第十一届防汛抗旱信息化论坛

论文集

中国水利学会减灾专业委员会

2021年4月 · 合肥

目录

基于 GIS 的杭州市雨量分析系统设计与实现..... 姬战生　黄薇 1

“六五”普法和依法治理工作研讨..... 崔如彬　陈好 8

黄河下游堤防淤背区调研情况分析..... 崔如彬 13

黄河北岸生态休闲走廊建设研究..... 崔如彬　陈好 17

枫树坝水库防御 2019 年“6.10”“6.12”洪水减灾作用分析..... 王扬　董志　倪培桐　等 21

土坝渗压分析一元线性回归模型构建与应用..... 秦根泉　田慧　廖承伟　等 26

密云水库信息化建设的现实分析与发展趋势..... 张志强　刘岩　王舒 37

密云水库防汛抗旱信息化建设探索..... 郑旭 44

Surfer 软件在清水沟口门海域水下地形冲淤计算中的应用..... 李美玉　杨晓阳 49

新型水位监测报警装置在防洪抢险中的应用..... 李元凤　任秀娟 55

浅谈信息技术手段在水利工程中的应用..... 刘海松　郭珊珊　郭召云 58

澳大利亚水敏感城市设计元素及启示..... 董芳睿　孙涛　李辉　等 61

赤水河干流水沙变化及其与植被覆盖关系探讨..... 闵毅　黎睿 69

历史中的水利——对中国水利发展史的认识..... 闵毅　尹世峰 80

铅丝笼维护简易封口器在防洪抢险中的应用..... 岳小亮 87

安徽省基层防汛语音服务平台研究与建设..... 刘超　赵辉　丁晓磊 90

水文信息化技术在水旱灾害防御的应用..... 程一帆　杨海亮 96

山东黄河防汛可视化应急调度会商系统应用研究..... 于晓波 99

农田水利防汛抗旱的对策 ..... 李美玉 103

新安江模型在滩坑洪水预报中的优化及应用..... 王庆平 106

黄河防汛遥感影像库系统分析与设计..... 刘道芳　李燕　李长松 112

基于 Vue 和 SpringBoot 框架的流域监管平台的研究和应用..... 刘欣　李亮亮　牛聪 118

基于大数据和人工智能技术的南平市山洪灾害特征分析..... 张晓蕾　刘启　翟晓燕　等 123
整体式柔性充水围井的研制与应用研究..... 程永辉　陈航　熊勇 128
基层治黄业务综合管理平台研发与推广..... 李艳　董栋 133
采砂深度实时监管系统研究与应用..... 杨敏　田力　李艳 137
供电电源远程保障管理系统研发与应用..... 董栋　张磊　李艳 142
闸门启闭数显位移传感器的研制与应用..... 赵凡　李艳 146
基层一线办公远程桌面及虚拟技术应用研究..... 杨敏　李艳 151
可调节式尺垫的研制与应用 ..... 赵凡　李艳 155
新型山洪灾害监测预警软件应用系统建设..... 赵丽平　何晓燕　任明磊　等 159
远程智能语音广播系统研发与应用..... 张磊　杨敏　李艳 164
基于 LSTM 深度神经网络的小型水库洪水预报研究 ..... 高月明　雷佳明　柳树票　等 168
无线宽带集群专网通信技术在黄河防汛中的应用研究..... 于晓波 176
基层黄河专网数据透传集成终端的研制与应用..... 田力　杨敏　李艳 183
全国山洪灾害调查评价数据质量审核方法研究..... 刘业森　张晓蕾 187
防汛综合业务管理系统在密云水库中的应用..... 刘杰　郭珊珊 196
安徽省农村基层防汛预警平台建设成效与思考..... 马浩 207
信息技术在防洪减灾领域的应用..... 王舒 211
小型水库水位自动监测站分类与选型分析..... 方应东　刘超　陈璞　等 215
不同流域水文模型的暴雨山洪模拟适用性研究..... 翟晓燕　张晓蕾　刘启　等 222
基于 SPI 指数的长江上游多尺度旱涝特征分析 ..... 王乐　訾丽 228
物联网技术在密云水库水文遥测站改造中的应用..... 张志强　潘轲旻　戴烨军　等 241
基于知识图谱生成水工程联合调度方案的技术研究..... 陈胜　刘业森　赵丽平 249
基于无人机超标准洪水应急监测..... 王成　钟良 255
我国城市内涝形成机理及防治策略..... 徐卫红　杜晓鹤 263

遥感监测干旱与早期预警方法进展.....卢洪健　赵兰兰 271
云技术在黄河防汛抗旱信息化建设中的应用.....李自尊　汤进　冯建 280
水利工程在防汛抗旱中的作用及发展对策.....李美玉 286
基于虚拟化应用支撑环境在防汛抗旱中的作用.....冯建　李自尊　汤进 289
山东黄河基层单位防凌防汛信息监测预警系统应用研究.....于晓波 294
城市治理中防汛防台指挥系统升级的经验和启示.....黄士力　陈升　高芳琴　等 297
三种监测仪器下土壤墒情的对比分析—以北京市为例.....马苗苗　苏志诚　吕娟 302
多传感融合的水下机器人姿态解算系统.....孙志平　王玉琼 308
半潜水下机器人搭载多波束探测仪实现黄河根石及河道探测研究与设计.....马德辉　张强 316
基于遥感技术的山东黄河河势查勘系统研究.....马德辉　于苹苹 319
移动式防汛守险房在黄河防汛工作中的应用分析研究.....梁腾飞　何文龙　安清宇 324
山东黄河取水口精细化流量在线监测研究与应用.....李民东 327
基于 STM 32 的数据采集传输维护系统在山东黄河防汛抗旱中的应用.....张锟　徐林 333
水利信息化人才队伍建设研究.....刘雯 337
微波铁塔通信维护无线音像交互装置应用研究.....袁野　赵伟 343
山东黄河信息通信固定资产管理系统方案研究.....马岚　郑东飞 349
移动式图像传输系统在山东黄河防汛抢险中的实践与应用.....庄秀竹　孙凡 355
安全警戒智能预警系统在堤防险工中的应用.....孙凡　庄秀竹 357
加快补齐水利信息化短板 推进济宁智慧防汛建设.....孟迎　刘驰　聂恒睿 360
山丘区在流域防洪抗旱中的作用探索.....唐万金　龙三　杨鸣 366
基于 ZigBee 技术的智能监测控制系统应用研究.....赵富孟　徐文彪 370
松辽委防洪工程数据库建设探索.....刘媛媛　宁方贵 374
从防御 2020 年黄河洪水谈补齐信息化建设短板的必要性.....王国强　关骁 378
多源信息融合的 VR 全景技术研究与应用.....张安妮　张安旗　郝相莲 382

虚拟现实全景技术在黄河节水型机关建设中的应用..... 张安妮　姜华　王玉民 386
基于“全国水利一张图”的防汛抗旱研究综述..... 李思齐 392
关于数字海河智慧“四预”建设路径初探..... 毛慧慧　邢斌　王勇 399
智慧水闸建设思路探讨 ..... 王磊　张大鹏　阚向楠 403
基于 CFD 的对液体喷施装备飘逸流场的研究 ..... 徐奕蒙　王磊　王天奕　等 407
基于多波束及 GPS-RTK 技术的水下地形自动勘测系统的应用 .. 王磊　邢方亮　徐奕蒙　等 417
实时流速监测漂流球的研究与应用..... 王天奕　陈俊　徐奕蒙　等 424
浅谈降雨预报技术和洪水预报技术的耦合研究..... 薛晨旺　顾拓　陈闯　等 429
关于对池州市防洪排涝调度管理系统的建设与思考..... 张勤　常仁凯　董军安　等 435
抢险“常用绳扣、家伙桩栓打方法”影像资料研制与应用..... 张军　张淑敏 439
大连市洪涝灾情数据处理的微观分析..... 蔡佳妮 441
洪水韧性城市建设研究—以金堂县为例..... 张洪斌　喻海军　张诚　等 444
基于 BP 神经网络的大湾区典型城市洪涝风险评估..... 王高丹　潘璀林　彭乐文　等 453
基于 MIKE11 模型的实时水资源调度研究..... 陈娟　王晓昕　雷德义 461
浅谈无人机技术在沂沭泗水利工作中的应用与前景..... 阚向楠　屈璞　李子穆 469
一种基于多普勒雷达数据和深度学习的山区致灾暴雨识别方法.. 刘启　翟晓燕　张晓蕾　等 475
“四预”措施在长江防洪调度中的应用..... 方祥俊　常仁凯　梁云　等 480
三门峡水利枢纽防汛抗旱指挥调度系统建设和应用..... 王海军　季利 486
三门峡水库无人机航空摄影测量及应用..... 季利　胡著翱　王海军 493
三峡入库洪水概率预报与调度风险决策..... 崔震　郭生练　王俊　等 498
基于数字孪生的流域水文实时预测方法……牛文静　冯宝飞　许银山　秦昊 506
沂沭泗流域近三年来暴雨洪水分析……张怡雯　朱冰 515

基于 GIS 的杭州市雨量分析系统设计与实现

姬战生　　黄　薇

（杭州市水文水资源监测中心，杭州 310016）

摘要：杭州市现有的雨量等值线绘制系统开发环境版本低，功能较为单一，只能绘制全市等值线图，不能适应当前水旱灾害防御工作要求。基于 GIS 等表现操作技术，利用等值线分析技术，设计开发了杭州市雨量分析系统。系统可提取多种数据源，绘制全市任意区域、任意时段的雨量等值线图、等值面图和热图，计算各级暴雨笼罩面积、面雨量，展示场次降雨动画过程，提供雨量数据和等值线人工订正、历史分析场景保存、分析成果输出或转存等功能，大大提升了降雨分析的工作效率和便利性，可为杭州市防汛防台指挥决策和灾后调查分析等提供直观、全面、专业的面雨量和水量分析成果。

关键词：雨量分析；任意区域；等值线；人工订正

0　引言

杭州市有天目山和清凉峰两大省级暴雨中心，极易形成暴雨洪涝灾害，因此雨量数据分析在我市防汛防台决策和灾后暴雨洪水调查分析中至关重要。2005 年“9.3”昌化暴雨[1]、2015 年“6.23”局地暴雨[2]和 2019 年“利奇马”超强台风局地暴雨均造成昌化溪上游局部小流域受灾严重，灾后进行暴雨分析时需计算局部地区水量、绘制等值线、计算笼罩面积等。但现有遥测雨量等值线绘制系统功能较为单一，只能绘制全市等值线图，无法实现绘制任意区域等值线图、计算降雨笼罩面积和水量、场次降雨动画展示等功能，不能适应当前防汛防台工作要求[3]。

为更好地服务我市水旱灾害防御工作，基于 GIS 技术重新设计研发了杭州市雨量分析系统。该系统可绘制全市任意区域、任意时段雨量等值线、等值面、热图，计算各级暴雨笼罩面积、面平均雨量，展示场次降雨的动画过程，提供雨量数据和等值线人工订正、分析成果输出等功能，大大提升了雨量分析的工作效率，可为杭州市防灾减灾工作提供强有力的技术支撑[4-5]。

1　系统架构设计

1.1　设计原则

为保证系统具有良好的技术先进性、可扩展性，必须坚持“协同开发、技术领先、分层设计”的设计和研发原则。

（1）协同开发。认真分析用户的需求，与用户共同进行需求分析和研究，最终制定一个合理的系统需求。

（2）技术领先。系统要解决很多新的需求问题，达到快速、准确、美观的目的，因此所采用的开发技术应具有一定的先进性。

（3）分层设计。系统要具有良好的可扩展性。在系统开发时，要按三层体系结构分层分块设计，各功能模块按设计的层次开发后，封装到一个平台，便于局部升级和维护。

1.2　总体框架

系统分为三层架构，总体框架见图 1。第一层是数据层，包括数据资源层和数据处理层，数据资源层用于存储各部门雨量、矢量、高程数据，数据处理层用于提取、存储、检索各类数据库中的数据，布置于服务端；第二层是业务支撑层，利用等值线分析、面雨量计算、GIS 等关键技术，分析计算数据，布置于服务端；第三层是业务应用层，用于对数据进行展示和操作，各类用户端均可使用该系统，布置于客户端。整体构架在 GIS 展示平台上，各种操作和表现功能都基于 GIS 平台运行。三层结构之间分块开发，模块之间进行数据交换。

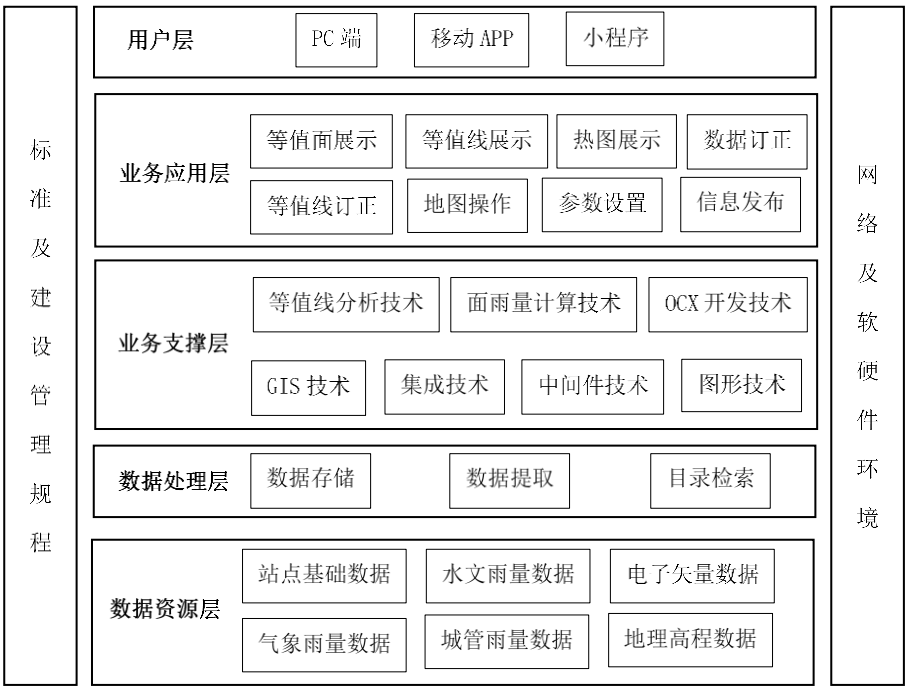


图 1　系统总体框架图

2　系统关键技术

系统技术框架以业务逻辑为基础[6]，描述了门户、业务应用、公用平台、平台资源各层采用的关键技术。

2.1　等值线分析技术

因雨量站点布设具有不规则、离散性的特点，分析计算雨量等值线时，系统采用距离加权平均法，建立规则化网格面，将雨量数据插值到网格点上分析计算[7]，再进行雨量等值线的搜索、追踪和平滑。主要步骤有：

（1）建立规则化网格。在雨量站分布区域上建立 m× m 的矩阵网格面，采用距离加权法对雨量数据进行网格化处理[8]。

（2）网格边上内插等雨量点。插值前，需要对雨量数据预处理。每一格点值都要先整数化处理，再加上一个很小、可忽略不计的数值进行修正[9]。

（3）等雨量线的搜索和追踪。原则有两个：先找到线头，再进行雨量等值线追踪；先追踪出开口等值线，再转入闭合等值线。

（4）等雨量线的平滑。追踪出的等雨量线为点连接成的折线段，采用实用三次样条插值法插值处理，即可绘出美观平滑的等值线。

2.2 表现操作技术

（1）GIS 技术

GIS 技术利用数学模型、数字孪生等技术将现实世界数字化、可视化，空间数据管理实现了可视化。当前，以组件开发方式为代表的 WEBGIS 软件应用广泛，其优越之处在于可将 GIS 功能以构件形式封装，便于嵌入到任何一种计算机语言中，或调用任意一种计算机语言的资源，且 GIS 功能在系统无缝集成中表现突出[10]。

（2）图形技术

图形技术是用计算机生成、显示、绘制图形的技术，它不仅能快速、准确、规范地制作大量的机械图、建筑图、电路图和地理图，而且可以制作运动图形和三维图形，使原来绘图做不到的事情得以实现。

（3）集成技术

集成技术主要是集成系统界面、数据和业务流程[11]，它可以生成联接不同应用系统的构件，通过这些构件对应用系统进行再构造，形成一个更强大的系统。它主要由开发套件、运行平台和应用集成联接构件三部分组成。

（4）中间件技术

中间件是存在于软件和硬件之间的通用服务，具有满足许多应用需求、有标准的程序接口和协议、支持分布计算、可应用于多种软件平台和硬件等特点。

（5）OCX 开发技术

ActiveX 是一种共享程序信息和功能的嵌入式程序技术。作为针对 Internet 应用开发的技术，ActiveX 被广泛地应用于 WEB 服务器以及客户端的各个方面，也被用于创建普通的桌面应用程序。

3 主要功能模块

3.1 总控制模块

用户界面采用多文档窗口，菜单驱动各子模块，其功能是驱动各子模块。

3.2 雨量数据提取模块

模块界面如图 2 所示。该模块用于从数据库中提取雨量数据，并将提取的雨量数据保存为一个文本文件。其过程为：①用户输入起止时间，时间数据格式化。起始时间和截止时间均为 YYYYMMDDHH（YYYY 为年、MM 为月、DD 为日、HH 为时），正确的判断条件为：起始时间小于截止时间。②分割时间数据。在数据库中雨量数据是按月旬日时方式保存的，提取的原则是在选取的时间段内有月按月、有旬按旬、有日按日、最后按时段。③按分割好的时间逐个在数据库中提取数据，并将其累加。④将结果保存到一个文本文件中。

图 2　雨量数据提取界面

3.3　分析制作和地图展示模块

（1）采用网格法分析，将点雨量插值到各个网格上统计分析，自动制作出选定区域任意时间段内的雨量等值线、等值面、降雨热图，在 GIS 地图上展示各种分析结果，并能以报表的方式显示、导出各行政分区和流域分区的面雨量、暴雨笼罩面积，见图 3-图 5。

（2）利用雨量动态展示分析技术，提供一场降雨的动画过程展示。

（3）手工圈画全市任意区域范围，可分析出任意时段的雨量等值线、等值面和降雨热图，并计算各级暴雨笼罩面积、面平均雨量，见图 6。

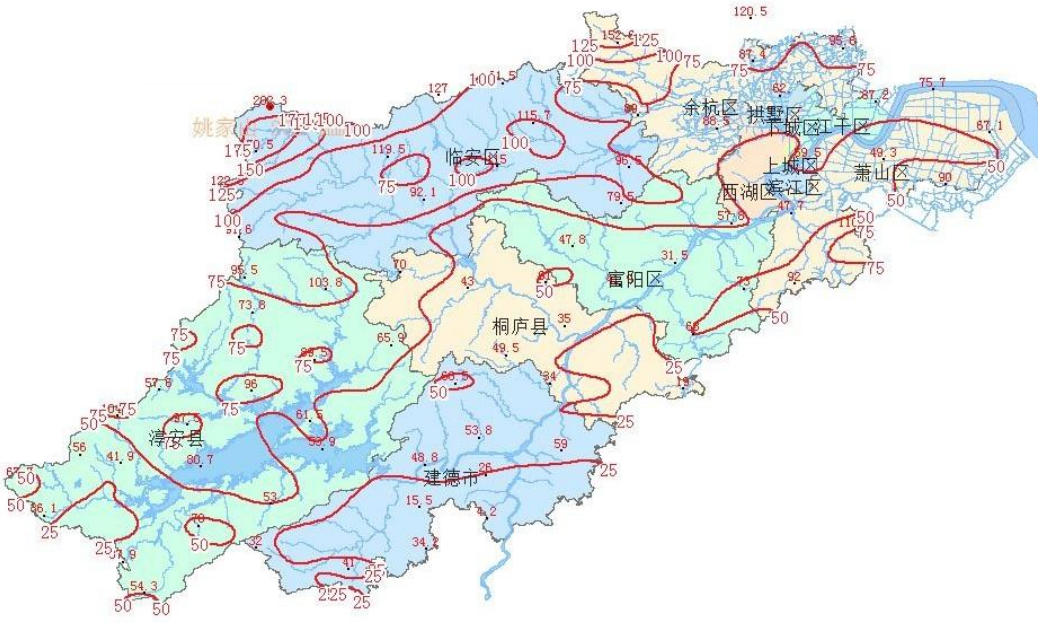


图 3　杭州市雨量等值线图

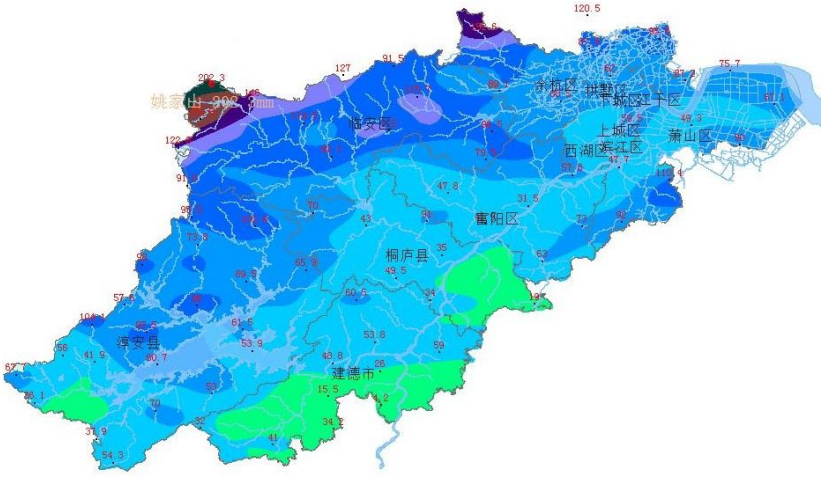


图 4　杭州市雨量等值面图

图 5　杭州市雨量热图

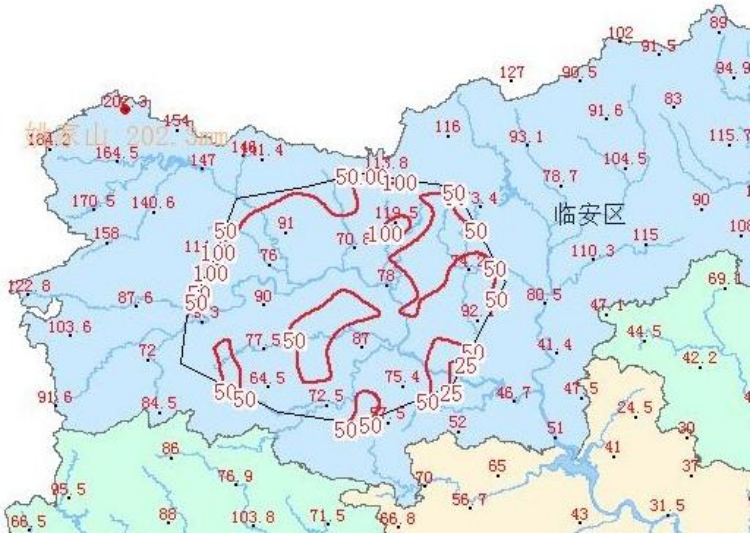


图 6　绘制任意区域等值线图

3.4　雨量数据和等值线订正模块

通过该模块可在操作界面上增删站点、实时修改错误雨量数据，并以交互方式修改已分析出的等值线，使其更加准确、美观。修改功能包括移动线、添加线、延长线、改线值、删除线、撤消修改、保存、不保存等。

3.5　地图操作模块

在数据准备阶段，将边界、河流、水文站点等信息采集为矢量数据保存，各显示要素分为几个图层；在参数设置中，可以对各图层的显示方式进行控制，各图层是以叠加的方式显示在画布上。

该模块提供杭州 GIS 电子地图的放大、缩小、漫游、显示信息等操作功能和控制各图层显示方式的图层配置功能。利用雨量站点分级展示技术，按雨量站点降雨量及站点的位置进行分级，按地图面积逐级展开。

3.6　参数设置模块

该模块用于系统的各种参数设置，包括显示参数、打印参数、WEB 参数、数据库设置参数、站网管理参数、雨量级管理参数，参数设置界面见图 7。该模块使用模态窗口显示，窗口中的各参数类型划分采用选项卡控件，展示一个选项卡内容时，其他选项卡是隐藏的。

图 7　参数设置界面

3.7　图形输出模块

（1）等值线图可以不同幅面在打印机、绘图仪上输出。

（2）制作的等值线图可直接被网站读取发布。

（3）雨量等值线图保存为位图方式。

（4）以动画方式展示降雨过程，并可以动画 gif 方式转出，用于会商汇报。

（5）典型降雨过程可保存为历史信息。

4 系统特点

（1）多种数据源提取。数据的提取可以从多种数据源选择，包括水情数据库和气象数据库等。多种数据源既可选其一，也可整合使用，并可互相插补空缺的区域。

（2）空间分析的多样性。不仅可以分析全市和各区县固定区域，也可以分析任意区域的雨量等值线、等值面和热图，同时可计算出水量、面雨量和笼罩面积等。

（3）时间分析的连续性。系统不仅可以分析某个时间段的静态图，还可以分析一个时间段内降雨变化的动态变化图。

（4）增加了人工订正功能。系统可人工订正某站点错误雨量数据，并可订正分析等值线的走向和光滑度，从而快速输出准确、精美的专题图。

（5）分析结果转存。系统不仅可以将分析结果打印输出，还可以将分析结果转出为图片、矢量图层、网站图片等，提供更多应用服务。

5 结论

杭州市雨量分析系统可提取多数据源，绘制全市任意区域、任意时段的雨量等值线图、等值面图、热图，计算各级暴雨笼罩面积、面平均雨量，实现场次降雨的动画过程成果输出，提供雨量数据和等值线人工订正、分析成果输出或转存等功能。该系统作为一个实用的分析应用工具，大大提升了降雨分析的工作效率，特别是在分析局地暴雨时，系统可以圈画任意区域等值线（面），为防汛指挥决策提供了更加全面直观的面雨量和水量分析成果，大大提高了工作便利性。

参考文献

[1] 王玉明, 陈雪芹, 卢益贡,等. 昌化附近特小流域特大暴雨调查[J]. 水文, 2009, 29(3): 93-95.

[2] 孙映宏, 孟健, 姬战生,等. 2015 年“6·23”临安昌化小流域山洪致灾成因分析[J]. 浙江水利水电学院学报, 2016, 28(5): 48-53.

[3] 刘志雨.2017 年防汛防台风水文监测预报预警工作实践与启示[J].中国防汛抗旱, 2017,27(6):70-73.

[4] 刘志雨.我国水文监测预报体系建设与成就[J].中国防汛抗旱, 2019,29(10):25-29.

[5] 刘志雨.我国水文监测预报预警业务展望[J].中国防汛抗旱, 2019,29(11):31-34,61.

[6] 肖敏,袁新迪. 任务驱动的电子政务系统[J].信息化建设, 2008(6): 26-28.

[7] 侯建兵. 城市土壤重金属污染及修复对策研究——以南京市某工业用地为例[D].南京师范大学,2006.

[8] 刘小虎,赵雅贤,杨鹏.利用网格插值算法计算流域面平均降雨[J]. 海河水利,2003(3):45-46.

[9] 杨鹏,刘小虎,梁树献.距离加权平均法数学模型在海河流域降雨等值线分析中的应用[J].水文,2003,23(2):42-45.

[10] 褚潇炜.地震应急指挥系统的设计与实现[D] .天津大学, 2014.

[11] 林永毅.面向客户服务的业务流程管理中的建模与优化研究[D].天津大学, 2007.

“六五”普法和依法治理工作研讨

崔如彬　　陈　好

（新乡黄河河务局，新乡 453000）

摘要：“六五”普法和依法治理工作的验收之年，为确保“六五”普法验收取得优异的成绩，多次组织人员进行学习并严格执行，坚持依法管理、规范管理、科学管理，进一步规范工程管理活动，与多部门协同对各单位的贯彻落实情况予以检查，实现工程管理各项业务的协调、有效、可持续发展。

关键词：普法；依法治理；业绩成果

2015 年是“六五”普法和依法治理工作的验收之年，为确保“六五”普法验收取得优异的成绩，按照《河南河务局“六五”普法依法治理工作验收实施方案》（豫黄水政〔2015〕2 号）文件精神，对 2011 年以来依法治理情况进行了汇总，现将情况分析如下：

1　宣传、培训、贯彻国家等有关法律法规情况

2011 年省局印发工程管理八项办法，2012 年黄委印发工程管理方面七项制度，2014 年黄委、省局又相继印发了《黄河水利工程维修养护经费使用管理办法（试行）》、《黄河水利工程维修养护技术质量标准（试行）》、《黄河穿河越堤管线安全监督办法（试行）》、《河南黄河堤顶道路管理维护办法》、《河南黄河防洪工程绿化管理办法》。针对淤区管理难点和规范运行观测人员等问题，2015 年我局准备出台《淤区管理办法》和《运行观测人员考核办法》。以上办法是近几年新出台的，我局多次组织人员进行学习并严格执行，坚持依法管理、规范管理、科学管理，进一步规范工程管理活动，与多部门协同对各单位的贯彻落实情况予以检查，实现工程管理各项业务的协调、有效、可持续发展。

2　依法建设情况

（1）近期防洪工程建设方面，经不断督促协调，新乡黄河防洪工程建设取得了决定性成果，武庄控导工程、曹岗控导、险工工程、防浪林工程已于去年通过投入使用验收，2014 年 5 月 20 日，我局对曹岗水保、环保、临时占地进行了验收，2014 年 6 月 30 日由建设中心组织对曹岗险工、控导进行了合同完工验收。

放淤固堤工程淤筑土方已全部完成，正在进行隔水层、包边盖顶、辅道施工：新乡近期防洪工程共完成土方 701.05 万方，占总数的 99%；石方 8.6 万方，已全部完成。封丘一标完成总土方 273.3 万方，占总数的 99.43%，其中完成淤筑土方 189 万方，盖顶已完成 91%，隔水层已完成 95%，新堤修筑及道路 1.25Km 已完成；长垣一期完成总土方 243.9 万方，占总数的 99.03%，其中完成淤筑土方 188 万方，盖顶已完成 70%、隔水层已完成 100%；长垣二期完成总土方 157.16 万方，占总数的 98.05%，其中完成淤筑土方 113 万方，盖顶已完成 84%，　隔水层已完成 100%。

（2）柳园、辛庄、石头庄等三处引黄闸除险加固工程进展顺利，将按照合同要求要求

完成建设任务。截止目前，柳园、辛庄引黄闸除险加固工程主体建设任务已经基本完成，石头庄引黄闸正在进行新建涵洞浇筑工作，工程进展顺利。共完成投资 620 万元，约占合同投资 90%。计划年底前做好三座涵闸除险加固工程质量和进度工作，做好附属工程的施工安排。

祥符朱闸已于年初通过了通水验收。5 月 27 日，对祥符朱闸除险加固工程水保、环保和临时占地组织了验收工作。祥符朱闸于 8 月 28 日通过了单位工程验收。

（3）危房改建工程顺利完工，大大改善了一线职工的住房条件。危房改建工程共涉及三县局基层单位 17 处危房，现已全部完工，完成合同投资 488 万元。下一步将做好危房改建工程的后续验收工作，及时发挥工程效益。

（4）新乡防汛仓库已于 9 月 23 日开工建设，我局积极推进工程进展，严把工程进度节点。

（5）涉黄补偿工程建设方面，目前，新乡黄河涉河建设项目共有 2 个，分别为哈密～郑州特高压直流输电线路黄河大跨越工程和锦州～郑州成品油管道过黄河工程。其相应防洪补偿工程为 2 个，补偿资金共计 1925.47 万元，其中哈密～郑州特高压直流输电线路黄河大跨越工程补偿工程（左岸）57.69 万元，锦州～郑州成品油管道工程穿越黄河北岸防洪补偿工程 1867.78 万元。目前，哈密～郑州特高压直流输电线路黄河大跨越工程补偿工程（左岸）已于 2013 年 4 月 17 日通过了新乡河务局组织的单位工程验收；锦州～郑州成品油管道工程穿越黄河北岸防洪补偿工程已全部完成，市局正在组织工程检测验收。

3　依法管理情况

（1）2011 年至 2014 年期间，我局每年年初召开新乡建设与管理工作会，传达上级会议精神，学习黄委、河南河务局工程管理有关规定，明确全年工作任务，制定下发多次工程管理工作意见和植树绿化工作意见，确定全年工程管理工作目标。开展工程管理重点难点综合治理活动。针对工程管理范围内存在违章建筑、违规种植、私搭乱建、广告牌、林木断带、乱堆乱放、倾倒垃圾、草木禁烧、摆摊设点、集市贸易、道路及路口损毁、沙场、浮桥路段等 13 种现象组织开展综合治理活动，着力解决工程管理范围内的重点难点问题，通过几年的努力，我局工程管理面貌得到了全面提升。

（2）植树绿化工作。按照《工作意见》指出，植树绿化工作推行三级管理模式，强化责任落实，实现计划目标。五年共计植树近百万棵，并对十多处植树难点段予以重点监督，落实植树责任制和奖惩制度，市局已连续 3 年对对新植树木成活率进行统计，并根据相关工作意见进行奖惩。

（3）淤背区治理工作。按照上级要求，我局连续多年对淤背区开展专项治理工作，传达落实上级要求，局属各河务局相应成立领导小组，进行责任分工。通过详细普查、宣传教育、集中清理和加强巡查等措施，五年共计清理违章垦植面积约千余亩，有效遏制住了垦植面积扩大的趋势。现仍存有境内违章作物，主要有小麦等。

（4）难点治理工作。新乡河务局堤防管理难点主要有三类十五项任务，包括近村堤段治理七项，浮桥通行段治理三项和上堤辅道治理五项。截止目前，该项工作已全部治理完成。

（5）维修养护专项工程建设。每年市局按照省局的批复，对三县局维修养护年度工程及各个专项工程进行监督管理，严格按照批复进行控制，并做好竣工验收工作，提出了验收组意见，下发了养护鉴定书。2011 年至 2014 年以来，共计几十个养护专项工程，从每年 3 月开工，于当年汛前全部完工，共完成土方 23.71 万方，石方 2.69 万方，总投资 4470.22 万元（不含根石加固）。市局逐月汇总上报维修养护进度月报，督促完成专项工程。

（6）完成维修养护项目储备工作和各年度养护经费预算上报工作。养护项目储备工作共涉及三县局堤坡整修、道路维修、控导防洪坝整修、定额修订差额经费、淤区网格化治理及部分新增工程的申报。2011 年养护经费为 4723.08 万元，以后各年养护经费为 5072.19 万元，2015 年预算申报仍保持 5072.19 万元，5 年间经费合计约 2.5 亿元。并根据预算新办法要求，对 2015 年维修养护经费实施方案进行了全面梳理，详细计算过程，并结合专项工程，对方案进行合理优化，以便更好的使用和管理经费。

（7）逐月进行工程管理巡查，及时上报巡查报告。对黄委、省局巡查问题进行整改，完成整改报告上报工作，确保问题整改到位。

（8）对维修养护实行绩效考核制度，扩大绩效工资浮动差距。2014 年针对县局考核过程中出现的畏难现状，考核分数差距过小的实际情况，新乡市局开始实行异地绩效考核制度，加大考核力度。4 月至 9 月，实行了三县局交叉，异地进行维修养护绩效考核。考核过程中对考分项目进行拍照留证，考核完毕对分数逐一核实汇总，提交被考核单位，作为绩效工资发放依据。养护公司加大绩效工资幅度，将一线人员绩效工资每人增加 300 元，提高了一线职工收入。

（9）基层一线班组“两堂一所”修缮任务。共完成包括涵闸班组在内的 26 个一线班组澡堂、食堂和厕所粉刷及改造任务，并对部分班组老化电气及管道线路进行维修改造，添置部分电气及淋浴设备，总投资 72 万元。

（10）汇总整理包括穿水利部直属水利工程统计表、河越堤管线统计表、堤顶道路修补统计表、所辖工程情况统计表、项目外包统计表、双岗责任制周安排统计表、河道分级管理情况调查表、石料统计数据情况表及确权划界情况统计表等在内多项数据统计工作。完成上级组织的维修养护堤顶道路、绿化管理和养护经费三个新办法的修订反馈及转发工作。完成植树总结报告、水利部堤防河道运行管理报告、涵闸安全管理报告、汛前安全管理报告、淤区管理调研报告和工程管理年度总结报告在内的多个报告编写工作。

（11）组织进行了 2011 年至 2015 年维修养护实施方案的编制工作，完成专项工程项目选择、现场查勘、预算编制等项工作，对实施方案进行全程监督管理。

（12）督促完成两次原阳县局国家一级水管单位复验工作，期间多次到县局进行指导和监督，2011 年和 2014 年，原阳局一级水管单位分别通过复验。2011 年至 2014 年期间，我局共完成 5 处示范工程申报和复验工作。对带动全局工程管理水平起到了良好作用。

（13）确权划界工作初步统计工作已完成，汇总上报确权划界工程统计表和调查表。结合开展的投资运营三年滚动规划编制工作，着重对后续划定工作开展过程中所需工作经费进

行了申报。

（14）按照省局座谈会议精神及相关通知要求，我局对维修养护人员、运行观测人员和涵闸管理人员依据其身份的不同进行了大范围的调整，基本上符合了省局要求的一线人员双岗责任制设置规定，填补了部分岗位出现的人员空缺或较少而给今后工作带来的隐患。并且通过本次调整，理顺了一线人员因身份不同导致的管理过程中出现的不平均现象，解决了多年困扰基层管理者的人员混编、不易管理的问题。并针对新近上岗职工多，业务知识不甚熟悉的特点，于 2014 年 11 月份开展了为期一周的工程管理业务知识培训，内容主要从工作体系、业务技能、职业责任等方面讲解，辅以现场观摩，使广大一线维修养护和运行观测班组长对本职工作认识更加深刻，责任意识更加明确。

4　警示标志设置情况

随着工程管理的深入开展，一些多年未解决的难点和热点问题逐渐显露出来，制约着工程管理整体水平的提高，有的已经成为影响工程管理水平进一步发展的障碍。近几年，我局针对确保堤顶道路完整畅通、路口辅道规范治理和打造工程范围清晰界限等项工作，进行了有步骤的清理整顿活动。

通过继续加强宣传教育工作，采取形式多样，群众喜闻乐见的方法和手段进行工程管理政策的宣传和潜移默化教育，消除“久占为业和损公利己”的错误认识，增强群众保护工程的意识，减轻临村工程管理的压力。对于安全警示标志标牌，按照堤防、控导、险工以及防洪工程相关部位再次进行了排查，查漏补缺，特别是 2012 年，结合维修养护专项工程，高质量完成了各类安全宣传标牌的设置工作。

5　水利风景区法治文化建设情况

新乡境内水利风景区包括堤防景点和控导工程景点。其中堤防工程有曹岗险工景点、铜瓦厢堤防溃决处景点等，控导工程景点多为雕塑绿化形成的小景点。结合工程管理工作和普法工作，每年夏季，我局都会加强河道内涉水安全管理，确保沿河群众的生命财产安全，通过修补防护围栏，加强日常巡查，悬挂醒目安全警示横幅、更新安全警示标语和向沿河群众发放涉水安全宣传单等形式，提醒游玩的群众不要在河边玩耍或从事涉水作业，增强沿河群众的安全防范意识，做好涉水区域的安全管理工作。并通过每年举办的普法教育活动，对法律法规进行巡讲宣传。

6　工作中所取得的业绩成果

近几年，我局工程管理水平稳步推进，各局工程管理年终评比名次也逐年提高，特别是 2014 年，我局工程管理水平有了较大提高，年终评比名次，原阳河务局名列第一，并且该局顺利通过了国家级水管单位复核和验收，并以 963 分取得了自 2003 年国家级水管单位创建以来的全河最好成绩。

参考文献

[1] 李殿魁.关于黄河治理与滩区经济发展的对策研究[J].黄河学刊，1997（3）：1-4.

[2] 刘晓燕.黄河健康生命理论体系框架[J].人民黄河，2005,27（11）：1-4.

[3] 李文学.黄河治理开发与保护70年效益分析[J].人民黄河，2016,38（10）：1-6.
[4] 高建民,王旭东,薛燕波.山西太原市防洪格局及风险应对策略[J].中国防汛抗旱,2020,30(12):83-85.
[5] 刘继芳.新疆车尔臣河防汛河道整治规划探析[J].中国防汛抗旱,2020,30(11):43-45，60.

黄河下游堤防淤背区调研情况分析

崔如彬

（新乡黄河河务局，新乡 453000）

摘要：由于该局堤防管理段较长，违章种植农作物种植较为分散，个别堤段清除后有复种现象，清除难度大。自 2009 年开始，持续开展了专项治理活动，每年都将此项工作列入年度重点工作，不断加强堤防工程范围内违章建筑及违章垦植的巡查力度及整治力度。通过近几年的专项整治活动，违章垦植现象得到了有效遏制，维持了工程管理良好面貌。

关键词：违章垦植；专项治理；管理办法；不同措施

1　新乡黄河堤防淤背区基本情况

现管辖各类堤防 218.345km，有淤背工程的堤防 149.072km，淤区总面积 19712 亩。其中淤背工程达标长度 84.243km，面积 11377 亩；未达标长度（不含新建淤区段）51.07km，面积 6416 亩；2012 年批复新建堤防淤区 13.759km，面积 1918 亩（其中只征不转共 805.28 亩，封丘 182.42 亩，原阳 622.86 亩）。

2　规范淤区管理

自 2009 年开始，持续开展了专项治理活动，每年都将此项工作列入年度重点工作，不断加强堤防工程范围内违章建筑及违章垦植的巡查力度及整治力度。该局精心组织、详细普查，联合当地政府，加强宣传教育，通过采取多种途径，如出动宣传车、发放宣传单、粘贴通告、悬挂标语等多种形式对沿黄村民进行宣传教育工作，并抓住关键时期集中进行清理，市县两级督查组织加强巡查、及时制止了复耕现象的发生。通过近几年的专项整治活动，违章垦植现象得到了有效遏制，维持了工程管理良好面貌。

由于该局堤防管理段较长，违章种植农作物种植较为分散，个别堤段清除后有复种现象，清除难度大。当地一些政府也存在地方保护主义，阻碍了淤区治理工作，另外，一些村庄群众，采取集体行动，强行耕种淤区土地，造成淤区治理难度加大。在清理过程中，为避免矛盾的激化，造成新闻媒体的介入，上访事件的频频发生等恶性事件的出现，保证下步工作的顺利开展，因此在进行此项工作中，该局采取了谨慎的态度对待淤区治理工作。

目前淤背区管理现状为原阳局堤防段全长 63.824 公里，淤背区已全部绿化，绿化方式以种植适生林为主，树种为杨树，有少部分淤区种植作物为经济林及苗圃。其中淤背区约有长 58.1 公里是原阳河务局与职工合作开发，该局向承租者提供土地使用权，承租者负责自行种植苗木及管理，在这 58.1 公里内间断存在 6.5 公里淤背区存有违章垦植现象。亚行二标施工段约有 1 公里长，因存在村民未全部得到征地补偿款，内部产生纠纷，树木成活率较低，存有违章垦植现象。另有长约 4.7 公里为该局种植树木与苗圃，树木由该局直接进行管理，树木生长情况较好，没有违章垦植等现象。封丘局堤防全长 55.944 公里，对难点段采

取与职工签订管护协议的形式进行联合管理，进行柳树或景观树苗培育总长约有 3.03 公里。约有 3.85 公里由于历史因素的影响，该局虽采取共同管护、联合开发等多种措施进行树木的种植工作，但整体效果不佳，树木成活率偏低，如 170+050-170-950、194+450-197+400 段。其余堤段树木长势良好。长垣局堤防全长 64.764 公里，经过近年来淤背区专项治理，现有管理范围没有垦植现象，树木长势良好。对于新建淤区段，该局目前正在进行统一规划。初步拟定以 500m 为一段，两端各为 100 米的隔离带。

多年来，上级一直没有出台过明确的有关淤区管理办法，淤区管理的模式、方法一直处于摸索状态。为规范已建淤区管理已建淤区，该局建议上级制定相关制度办法，一是要明确堤防辖区土地证办理的相关程序，确保工程管理工作处于主动；二是要明确具体工作程序、工作内容和责任划分，形成发现、制止、处理的工作闭合链条，提高工作责任感和主动性；三是要明确违章种植、建筑、私拉乱扯等行为的处罚标准的规定，提高违法成本，杜绝违章违法现象出现反复。四是要强化行政执法权力，使违章治理活动有法可依、有章可循。

3 新增淤区实施有效管理

2012 年黄河下游堤防新增淤背区，开始实行“只征不转”的征地政策，针对这种新型的建设用地征收方式下，新增淤区建设前期及建设期间及淤区建成后日常管理方面，该局提出以下建议：

3.1 新增淤区建设前期及建设期间

（1）明确新增淤区土地的权属

“只征不转”的土地征收模式涉及土地、农业、税务、河务等部门和相关方面的政策，建议黄委与有关部门沟通协调，在前期和工程建设期间，将黄河防洪工程新增淤区的土地权属明确为黄河河务局所有，由黄委制定相应的管理办法，进行统一管理。

（2）统一思想，进一步明确“只征不转”的内涵

按照《土地法》第四条之“国家编制土地利用总体规划，规定土地用途，将土地分为农用地、建设用地和未利用地。”和“前款所称农用地是指直接用于农业生产的土地，包括耕地、林地、草地、农田水利用地、养殖水面等”的规定，认为在淤区顶部植树植草也没有转变土地的用途。为此，建议在前期工作和工程建设期间的有关文件中明确，淤区植树植草也符合“只征不转”的要求。

（3）清晰划定新增淤区与原有淤区的边界

2012 年以来，该局 13.76 公里放淤固堤工程中 13.65 公里为复淤区，其中仅加高的淤区有 1.06 公里，新老淤区重叠堤段长度 12.59 公里。由于新增淤区顶部高程与原有淤区相同，如果允许农民耕种农作物，建议在前期工作和工程建设期间明确新、老淤区边界和耕种范围，并设置相应的管护设施。

3.2 新增淤区建成后日常管理

由于淤背区建后交给当地农民耕种，在进行日常维修养护过程中会出现阻挠、干涉等现象，治理难度进一步增大。

（1）要积极与当地政府协商尽快制订淤背区工程及管理设施使用管理办法，以确保工程及设施的完整性和功能性。在签订征地协议时，应明确提出新建淤区应首先保证工程、抢险使用，在确保工程防洪工程安全的前提下才允许村民进行合理耕种。无论在什么情况下，都应把确保防洪安全放在首位。

（2）该局建议根据具体情况采取不同措施，具体分以下三种情况：结合当地政府，尽量引导村民种植树木，以发挥防洪工程社会效益；种植树木协调不成的，适当放宽堤防淤背区树种，鼓励种植果树、苗圃等经济作物，以增加村民经济收入；村民坚持种植农作物的，一是要加强管理，坚决杜绝种植高杆作物，以维持良好的工程管理面貌。二是将管理区域与村民管理区域之间设置围栏、界沟等分界线，明确管理范围，有利于进行管理。

（3）采取工程措施对淤背区进行管理。尤其是对于临近村庄的堤段，可以在淤背区的背河边坡、护堤地等区域设置隔离网或硬化，以减少违章垦殖的现象发生；淤背区边坡可砌筑砼网格，网格内植草，也以达到防风固坡的目的。另外，在建成淤区上每隔一定距离设置横向、纵向通道，用于堤防防汛抢险、水雨毁修复。

（4）因防汛抢险、水雨毁修复对农作物造成损坏的，尽量同村民沟通，争取让村民理解防汛抢险、水雨毁修复的必要性和重要性，必要时给予适当赔偿。

（5）加强执法队伍建设，除依据现有淤背区管理工作方法和执法力度之外，更进一步加强资金投入和巡查力度，加强执法队伍的建设，加大执法队伍的组建，采用日常管理和不定期检查相结合的方式，确保新增淤背区治理成果得到保护和稳固。

（6）“只征不转”政策的实施，必将加大工程管理的难度，需要消耗大量的人力、物力、和财力，希望上级能够提高定额标准或给予专项资金支持。

4　协调水管单位与当地政府关系，促进淤区管理工作

在新增淤区建设和后期养护管理过程中，与当地政府搞搞关系至关重要。例如，长垣河务局分别于 2011、2012、2014 年以长垣县政府的名义下发了规范工程管理范围内活动的公告，为规范工程管理行为起到了积极的作用。

（1）加大滩区安全建设投资力度，多投入项目（如修建防洪撤退路，避水连台等），便于搞好地方关系，使滩区群众得到实惠。再如，今年夏季河南遭遇大旱，为沿黄抗旱工作做出了重大贡献，有力推进了与当地政府和老百姓的融洽关系，有利于工程管理工作的进行。

（2）适当增加移民安置和后扶持投资，并优化安置方案，以确保被征地农民生活水平不降低，以及为其今后经济发展提供条件。

（3）要认真签订和履行委托耕种协议，可以有效避免纠纷的发生。通过当地政府协商与耕种农民（或村委会）签订好耕种及工程日常管理委托协议，协议内容应根据土地管理法、合同法、农村土地承包法和黄河工程管理条例的有关规定，明确耕种方式、经营期限、履约保证、奖罚条款以及防汛责任与义务等。在委托耕种协议执行中对淤背区的工程建后管理情况进行定期或不定期的监督检查，发现问题及时督促责任方整改，以确保工程的完整性及汛期防洪功能的发挥。

5 存在的问题

该局98年以前确权划界取得土地证包含淤区较少，大部分是98年以后基建投资增加后形成的淤区，98年至2011年前淤区虽然取得了一部分土地证，但是缺少一定的法律上的支持，严格意义上讲这部分土地权属还是村民或村集体的。土地“只征不转”如果种植农种物，无论谁种，都将引起现有淤区失控的严重后果，导致农民抢地、占地，甚至会出现群众毁林占地的现象，现有淤区有可能逐渐会失去现有的阵地。

参考文献

[1] 张红武.未来黄河下游治理的主要对策[J].人民黄河，2004,26（11）：5-7,46.

[2] 刘晓燕.黄河健康生命理论体系框架[J].人民黄河，2005,27（11）：1-4.

[3] 李文学.黄河治理开发与保护70年效益分析[J].人民黄河，2016,38（10）：1-6.

[4] 毕顺华，王旭强，李岷.黄河宁夏段标准化堤防建设思路及成效探析[J].中国防汛抗旱,2016,26(6):95-97，100.

黄河北岸生态休闲走廊建设研究

崔如彬　　陈　好

（新乡黄河河务局，新乡 453000）

摘要：“近年来，该局黄河生态休闲走廊建设工作坚持以宜林区临河防浪，背河取材，储备防汛抢险料源的原则，大力推进沿黄生态林建设，加大与地方政府的沟通交流，积极探索沿黄生态林管养新模式，收到了良好效果。

关键词：走廊建设；合作框架；良好效果

近年来，新乡河务局本着优势互补、携手共赢、共建沿黄生态林带的方针，全力推进黄河北岸生态休闲走廊建设工作。现就近年来生态休闲走廊建设情况分析如下。

1　总体情况

新乡市黄河河段位于黄河下游左岸，上与焦作接壤，下与濮阳相连，位于河南黄河下游。新乡境内的黄河堤防，根据其修建的年代和所处的地理位置可分为临黄堤、太行堤、贯孟堤，总计 218.33Km。临黄堤上有险工 3 处；涵闸 11 座，虹吸 2 处。河道内布设控导工程 16 处。新乡黄河河务局下属三个水管单位，分别为原阳河务局、封丘河务局、长垣河务局。

近年来，该局黄河生态休闲走廊建设工作坚持以宜林区临河防浪，背河取材，储备防汛抢险料源的原则，大力推进沿黄生态林建设，加大与地方政府的沟通交流，积极探索沿黄生态林管养新模式，收到了良好效果。该局在邀请林业部门专家讲解树木日常病虫害防治管理和林木保护工作的基础上，通过市政府协调与市林业部门达成共识，增大合作范围和项目内容。所属原阳河务局与县林业局达成了合作框架，选取一至两段堤防淤区为试点，林业局负责苗木、病虫害防治、技术指导等事宜，双方共同负责树木的后期管理，试点成功后，再扩大面积进行推广。封丘河务局则与政府共同合作解决了植树重点难点段前期协调工作，为树木顺利的顺利栽植和后期管理扫清了障碍。长垣河务局则与林业局首次合作成立“联合护绿队”，共同巡逻，打击毁树行为，弥补执法力量的不足，“优势互补、携手共赢”的合作模式，不仅大力支持了地方林业的发展，也为该局沿黄生态林的建设打下了基础，为树木管养提供了新的借鉴。

2　工作措施

为植树绿化工作顺利开展，新乡河务局多措并举提供保障。

2.1　领导重视、落实责任

形成主要领导亲自抓、分管领导及责任领导具体抓、相关部门及各个职能组织协同抓的植树绿化领导责任体系和工作机制。将植树绿化的数量、品种、标准、规格、地点、措施等任务和要求，层层细化分解，落实到每位干部职工肩上，并实行责任领导和具体责任人植树挂牌公示制度。安排局属各河务局成立相应植树领导组织，下设各职能小组，各司其职，做

好苗木供应及信息报送、现场工作督导、后勤保障和宣传报道等项工作，全程参与责任区域内的植树绿化及后期管理工作。

2.2　突出重点、强化管理

根据植树绿化目标任务和要求，突出重点，抓好植树绿化各个环节的管理。提前谋划，多次召开专题会议，研究部署相关工作，主要领导多次深入一线，现场督促指导，解决困难和问题。对多处难点段和重点段进行跟踪督察，针对存在的多种问题，提出适宜的种植和后期管理方案，集思广益，全面完成重难点段植树任务。

2.3　严格标准、把好“四关”

（1）挖坑关：挖坑标准经验收后，方能进行栽植，标准不够则必须返工；

（2）进苗关：苗木供应组提供信息来源，加强对树木标准控制和挖运过程的跟踪，保证苗木质量，形成了买、种、管的全程负责制；

（3）种植关：苗木运到后，按照“三埋二踩一轻提”的标准尽快栽植，并打好养水盆；

（4）养护关：树木栽植后，根据自身条件，分别采取水泵抽水或洒水车喷灌的方式及时进行浇水，做到水浇足、浇透、浇全，同时对浇水效果进行抽查。

2.4　加大力度、注重宣传

加大宣传力度，到沿黄乡镇及村庄发放通告、宣传单，以增强群众保护生态环境的积极性和自觉性。在宣传过程中，根据之前的排查情况，对多处重点村庄以及农户进行挨家挨户发通告、讲政策，签订承诺书，从思想上遏制违规苗头。

2.5　加强巡查、做好管护

及时建立健全新植树木管护档案，切实做好新植树木防倒伏、防病虫害等日常管理工作，督促各单位加强巡查力度，做好昼夜值班，并加密夜间观察次数，严厉打击各类盗树、毁树违法行为，确保新植树木成活率和存活率，巩固植树成果。

3　取得成效

按照将黄河下游堤防建成集防洪保障、抢险交通、生态景观于一体的标准化堤防要求，该局高度重视，统筹谋划，科学安排，发挥优势，在大力提升堤防工程防洪保障及抢险交通能力的同时，局领导将植树绿化工作作为每年的一项重要工作，常抓不懈。成立领导小组，认真落实省局、市政府相关会议精神和整体部署，建立了定期会商和督导工作推进机制，主要领导靠前指挥，加快推进项目进展，取得了良好效果。

同时深入学习贯彻习近平生态文明思想和黄河保护治理工作的指示要求，本着优势互补、携手共赢、共建沿黄生态廊道的原则，全力推进黄河生态走廊建设，以实际行动扮靓母亲河，促进区域经济高质量发展，推动黄河流域生态文明建设水平全面提升。

截止目前，该局已完成绿化面积 5.37 万亩，其中植树面积达 4.08 万亩，植草面积 1.29 万亩，包含堤防行道林、防浪林、适生林和河道护堤林在内的绿化树木保有量共计 215 万余株，并建立了黄河堤防和河道工程树木档案，形成了新乡黄河工程靓丽的生态景观线。

4 当前水利绿化存在的主要问题和建议

（1）灌溉配套设施薄弱，抗旱能力差。

虽然工程靠近黄河，但由于缺乏水利配套设施，尤其是堤防两侧的灌溉条件无法满足植株生长需要。并且工程本身所具有的长度大、宽度小、地势较高、肥力稀薄、渗漏严重、地下水位低等特点，导致目前植树绿化作业时仍多采用人工运水浇灌，费工费时、效率较低，平时基本上靠雨水浇灌，抵抗自然干旱能力差。

（2） 部分群众生态保护意识薄弱。

长期以来，在一些堤段甚至存在着年年植树，年年不见树的情况。除了后期管护工作需加强外，常会出现部分沿堤群众在新植苗圃、树林内随意放牧啃食，随意套种农作物，甚至人为破坏、盗伐树木等现象，致使苗木保存率、成活率不高。

（3）绿化方案不够完善，需要加强统筹协调。

植树绿化方案站位不够高远，存在局限性，与沿黄地区乡村振兴、乡村旅游等发展规划融合深度不够。同时，沿黄生态廊道经过的乡镇、村庄较多，植树绿化过程中涉及土地、施工等多方面的利益，有关乡镇、部门之间缺少沟通交流的平台和机制，有时甚至会影响工作开展的进度。

（4）树木种植结构单一，生态效益较差。

工程管理范围内土地虽然优势较大，资源丰富，交通条件便利，但是由于防浪固堤、防洪抢险料物需要等多重因素影响，种植树木结构单一，主要以杨树、柳树为主，占比较重。存在问题主要有一是树种多样性不足，林内生态系统脆弱，导致抵御病虫害的能力较低，加大了病虫害防治的难度和次数；防浪林、护堤林种植的柳树虽然具有萌芽力强、性喜湿地、根系发达、生长迅速等优点，但虫害特别严重。二是杨树、柳树较为普通，观赏价值不大，经济效益、生态效益低。三是春季杨絮、柳絮飘飞，容易导致人员过敏，并会引发火灾，存在安全隐患。

5 下步工作重点

下一步该局仍会把防洪工程植树绿化作为重点工作来抓，以沿黄生态廊道建设为抓手，坚持新植林草的高标准、高起点、高品位，推动廊道绿化向多彩、美化升级。加快林木美化提升。进一步完善堤防工程行道林、淤区适生林及控导工程临背河两侧护坝林带，改植栾树、白蜡、五角枫、国槐、金叶复叶槭等高品质树木，逐步更新堤防淤区剩余杨树，控导工程临背两侧和年久柳树等，全面提升沿黄生态景观效果。

同时认真做好新植树木的后期管理工作，及时对新植树木进行浇水、扶正、药物防治、巡查，确保苗木存活率达到要求。在符合工程管理要求的基础上，兼顾生态和经济效益，同时将继续加强与政府的沟通协调，争取支持与理解。借助河长制平台，建立长效机制，坚持统一规划，细化工作任务，加强对工程管理范围内林木的管护力度，力争尽快打造成“一年四季景不同”的沿黄生态景观廊道。

参考文献

[1] 李国英.黄河治理的终极目标是“维持黄河健康生命”[J].人民黄河，2004,26（1）：1-2,46.

[2] 左其亭.黄人水和谐评价指标及量化方法研究[J].水利学报，2008,39（4）：440-447.

[3] 左其亭,王鑫,韩淑颖,韩春辉.论城市防洪排涝与生态海绵城市建设应和谐并举[J].中国防汛抗旱,2017,27(05):80-85.

[4] 左其亭,王鑫.防汛抗旱中的人水和谐观[J].中国防汛抗旱,2018,28(02):29-34+45.

[5] 林跃朝,朱晨东.我国河流生态治理历程[J].中国防汛抗旱,2020,30(11):73-76.

枫树坝水库防御 2019 年“6.10”“6.12”洪水减灾作用分析

王　扬[1,2,3]　　董　志[1,2,3]　　倪培桐[1,2,3]　　彭　艳[1,2,3]

（1.广东省水利水电科学研究院，广州 510635；2.广东省水动力学应用研究重点实验室，广州 510635；3.广东省水安全科技协同创新中心，广州 510635）

摘要：东江流域 2019 年“6.10”“6.12”暴雨洪水期间，枫树坝水库拦蓄 1.96 亿 m³ 洪水，削峰量达 87.5%，通过洪水分析模型计算表明，在水库拦洪削峰、错峰调洪的作用下，下游河源市各城镇水位降幅达 0.5~5.0m，龙川水文站洪峰水位降幅达 3.0m，降低了河源市受灾区域洪水影响，取得了显著的减灾作用。

关键词：枫树坝水库；防洪调度；减灾作用；数学模型

水库是防洪工程的重要组成部分之一，在汛期可以拦洪削峰、错峰调洪，很大程度上减轻了下游洪灾损失。研究水库防洪调度的减灾作用具有重要的意义，张鹏旋[1]等研究了陆浑水库在“2010.07”大洪水期间的防洪调度作用，并计算得出对下游地区的防洪减灾效益达到 13.9 亿元；陈艳[2]等以辽宁省丹东市通过对铁甲水库为例，研究水库调度在辽宁省丹东市 2013 年防洪减灾中取得的减灾效益；四川省 2013 年防汛抗洪工作中，通过对紫坪铺、亭子口等大型水库和琼江流域水库群的调度，成功降低了灾害损失，取得了较为显著的减灾效益和社会经济效益[3]，在 2017 年防汛抗洪工作中，对大型水库科学调度，充分发挥水库水电站综合效益，成功降低了灾害损失，取得了较为显著的减灾效益和社会经济效益[4]；欧朝敏等[5]运用对比分析方法，揭示 2010 年汛期三峡水库防洪调度对减轻洞庭湖区的洪水压力及减少洪涝灾害损失的贡献率。陈平等[6]通过分析河北省大、中型水库工程在防御 2016 年“7·19”暴雨洪水中拦蓄洪水的相关指标，阐明水库工程在滞蓄洪水、消减洪峰和错峰等方面的重要作用。

通过建立洪水分析模型， 模拟 2019 年“6.10”“6.12”暴雨洪水期间枫树坝水库坝址下游洪水淹没情况，分析水库调洪前后主要受灾区域洪水淹没程度及洪水水位的变化。

1　东江流域 2019 年“6.10”“6.12”暴雨洪水情况

2019 年 6 月 9 日至 14 日，东江流域中上游河源市发生了一次强降雨过程，强降雨落区集中在北部山区、东江上游，河源市平均雨量为 229.9mm，连平县上坪镇日降雨量 298.8mm，最大两小时雨强达 136.9mm，龙川县细坳日降雨量达 187.2mm。

受大范围暴雨影响，同时受东江上游江西境内的洪水叠加，导致河源市江河流量大、洪水急，河水起涨水位高、涨率大。东江干流龙川站及 9 个中小河流站点超警戒水位，多数站点接近警戒水位，13 宗大中型水库超汛限水位。枫树坝水库水位最高超汛限线水位 2.71m；枫树坝下游东江干流龙川站最高水位 70.25m（警戒水位 68.5m）出现在 6 月 13 日 18 时，超警 1.75m，最长连续超警 86 小时。

2 枫树坝水库及防洪调度情况

2.1 枫树坝水库概况

枫树坝水库为东江流域三大水库之一，位于东源上游约 138km，于 1973 年 9 月下闸蓄水，同年 12 月发电，电站装机容量 2×8 万 kW。枫树坝水库按千年一遇洪水设计，五千年一遇洪水校核，总库容 19.32 亿 m^3 。设计洪水位为 171.8m（珠基，下同），相应库容 18.78 亿 m^3；校核洪水位为 172.7m，相应库容 19.32 亿 m^3 。汛限水位 161.0~162.0m（每年 4 月 1 日~6 月 30 日）、162.0~164.0m（每年 7 月 1 日~9 月 30 日），防洪库容分别为 2.52、2.05 亿 **m^3 。水库设计正常蓄水位为 166m，死水位 128m，为不完全年调节水库。**

水库大坝是混凝土砼宽缝重力坝，坝顶全长 400m，坝顶宽 6.5m，最大坝底宽 87.1m，最大坝高 95.3m，坝顶高程 173.3m。水库泄洪设施包括溢洪道和放水管。设有六孔溢洪闸门，每孔净宽 13m，高 13.2m，堰顶高程 158.40m，最大泄洪流量 8518m^3/s；放水管直径 4.2m，最大放水流量 490m^3/s，当水库水位达设计洪水位 171.8m 时，需参加泄洪。

2.2 水库防洪调度情况

（1）调度原则

枫树坝水库的洪水调度原则是：蓄泄兼顾，大水多泄，小水少泄，当发生不超过五年一遇洪水时，控制龙川县老隆镇流量不超过 2000m^3/s；当发生五年至十年一遇洪水时，控制龙川县老隆镇流量不超过 3000m^3/s，相应水位不超过 70m；对大于十年一遇的洪水，以大坝安全为主，视来水量逐步加大下泄量以便下游有一定时间准备转移，尽量减轻水库下游损失。

（2）调度过程

枫树坝水库坝前水位由 2019 年 6 月 9 日 21 时的 161.0m 起涨，至 6 月 11 日 1 时，水库水位涨至最高 164.68m，涨幅 3.68m，小时最大涨幅为 0.30m。水库入库洪水过程由 6 月 9 日 21 时 300m^3/s 起涨，至 10 日 16 时达到洪峰 4460m^3/s（建库以来第六大）。根据龙川县三防调度令，10 日 13 时开一孔闸门泄洪，开闸时水位 162.73m，总出库流量 513m^3/s，11 日 1 时增开第二孔闸门泄洪此时水位达到 164.68m，总出库 1090m^3/s，至 12 日 23 时陆续增开至五孔闸门，开闸时水位 163.92m，总出库流量 1900m^3/s。

（3）调度作用

本次强降雨过程中，枫树坝水库共拦蓄了 1.96 亿 m^3 的洪量，水库入库洪峰流量由 4460 m^3/s 削减为 556m^3/s 的出库流量（其中发电 287m^3/s，泄洪 268m^3/s），削峰率为 87.5%。此外入库洪峰流量出现时间为 6 月 10 日 16 时，出库洪峰流量出现时间为 6 月 13 日 9 时，洪峰出现时间延迟了 66 个小时。

图 1　东江流域水系示意图

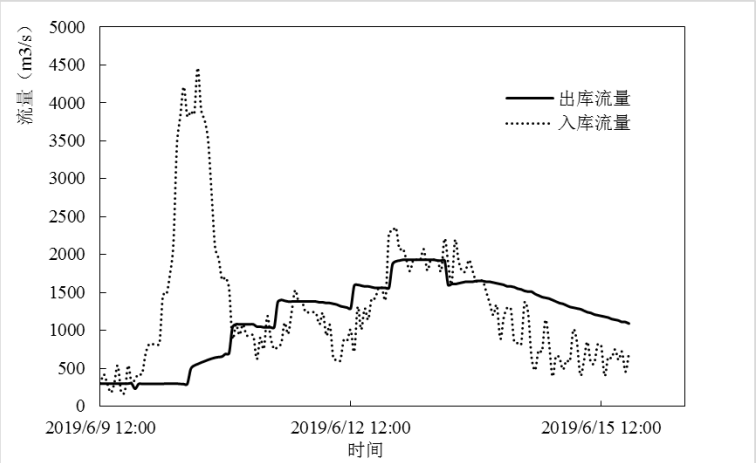


图 2　枫树坝水库入出库洪水过程

3　模型建立及减灾作用分析

3.1　洪水分析模型

根据东江流域地理位置及流域水系特征，确定区域洪水分析模型采用二维水动力数学模型进行计算。

（1）计算范围

模型上边界设置在枫树坝水库下游坝址处，计算区域自北向南经过车田、黎咀、黄石、东水、田都、龙川、老隆、佗城、柳城、蓝口至黄田镇，采用非结构三角网格对计算区域进行剖分。网格地形插值采用的高程点由 1:1 万 DEM 数据提取，插值方法采用自然临近法，洪水分析模型计算范围及地形如图 3 所示。

（2）计算方案

方案 1：上边界不考虑 2019 年“6.10”“6.12”洪水期间枫树坝水库调洪作用，即上边

界按照入库流量过程（洪峰流量 4460m³/s）考虑，同时考虑下游车田水、浰江、小庙水及区间汇流情况，下边界取黄田站的还原水位；

方案 2：上边界考虑 2019 年“6.10”“6.12”洪水期间枫树坝水库调洪作用，即上边界按照实际调洪后的出库流量过程（入库洪峰流量的相应出库流量 556m³/s）考虑，同时考虑下游车田水、浰江、小庙水及区间汇流情况，下边界取黄田站的实测水位。

计算方案见表 1。

表 1　洪水分析模型计算方案表

计算方案	洪峰流量/入库洪峰流量的相应出库流量（m³/s）				下边界
	枫树坝水库	浰江至枫树坝区间	浰江	龙川区间	
1	4460	1068	751	712	黄田站水位过程
2	556				

3.2　减灾作用分析

根据模型计算结果，枫树坝水库工程调洪后，黎咀镇受淹情况得到明显改善，水深降幅达 3.0~5.0m，东水、老隆镇的水深降幅在 1.0m 以上，再往下游，柳城、蓝口镇水深降幅在 0.5m 左右。

由图 5 可知，枫树坝调洪前，龙川站洪峰水位于 6 月 10 日 20 时出现，洪峰水位值为 72.58m；调洪后，枫树坝下泄流量由同时段入库洪峰流量 4460m³/s 削减为 556m³/s 的出库流量，龙川站相应洪峰水位 69.57m，水位降幅 3.0m。

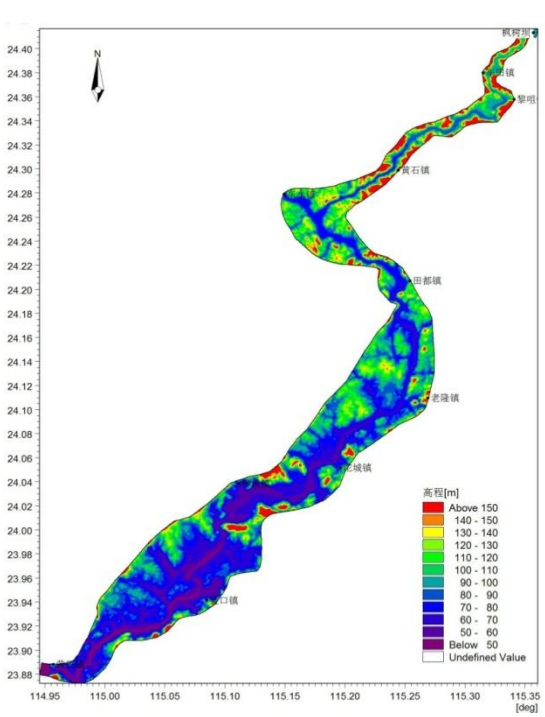


图 3　洪水分析模型计算范围及地形图

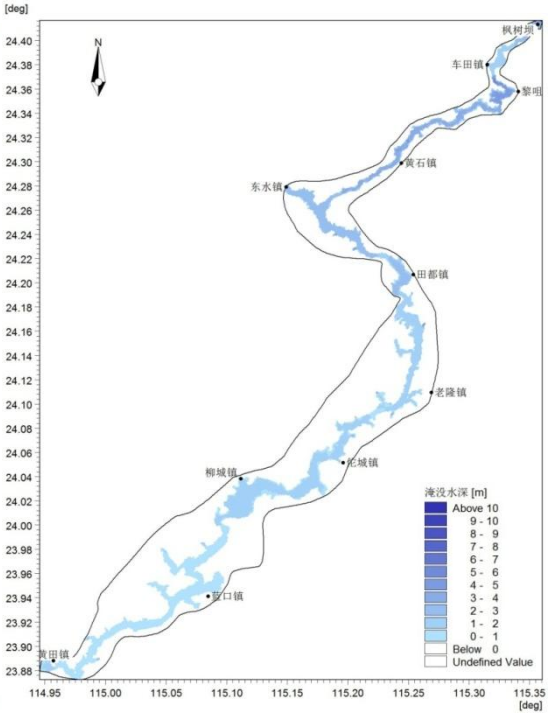


图 4　水库调洪前、后最大淹没水深差值

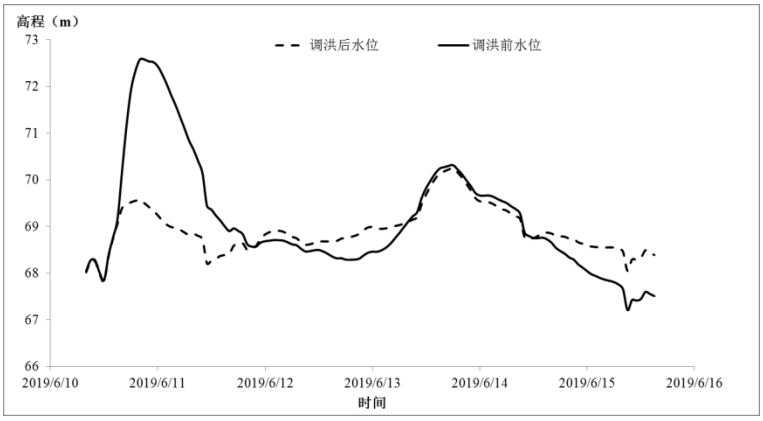


图 5　水库调洪前、后龙川站水位过程

4　结论

（1）2019 年“6.10”“6.12”暴雨洪水期间，枫树坝水库通过科学调度，共拦蓄了 1.96 亿 m³ 的洪量；大大削减了洪峰，水库入库洪峰流量由 4460 m³/s（10 年一遇为 4600m³/s）削减为 556m³/s 的出库流量（其中发电 287m³/s，泄洪 268m³/s），削峰率为 87.5%。此外，入库洪峰流量出现时间为 6 月 10 日 16 时，出库洪峰流量出现时间为 6 月 13 日 9 时，洪峰出现时间延迟了 66 个小时。

（2）根据洪水分析模型计算结果，通过枫树坝水库防洪调度，黎咀镇受淹情况得到明显改善，水深降幅达 3.0~5.0m，东水、老隆镇的水深降幅在 1.0m 以上，再往下游，柳城、蓝口镇水深降幅在 0.5m 左右。龙川站洪峰水位由 72.58m（6 月 10 日 20 时）降为 69.57m，水位降幅达 3.0m，降低了河源市受灾区域洪水影响，取得了显著的减灾作用。

参考文献

[1] 张鹏旋,赵留香,孙小艺,韩建芳. 陆浑水库对“2010.07”大洪水的调度效益分析[J]. 人民黄河,2011,33(6):22-23.

[2] 陈艳,毕悦澄,刘晓丹.水库调度在辽宁省丹东市 2013 年防洪减灾中的应用[J].黑龙江水利科技,2014,10(42):191-192.

[3] 陈曜, 杨江, 蒋晓华. 水库调度在四川省 2013 年防洪减灾中的应用[J]. 中国防汛抗旱,2013,05.

[4] 谭小平,修孝龄, 徐尧. 四川省 2017 年水库防洪减灾调度实践[J]. 中国防汛抗旱,2018,7 (28) .

[5] 欧朝敏,庄伟. 三峡水库防洪调度运行对洞庭湖区防洪减灾的贡献[J]. 长江流域资源与环境,2012,11.

[6] 陈平, 武亚辉, 及晓光. 河北省“7·19”暴雨洪水的减灾效益分析[J]. 水科学与工程技术,2017,3.

土坝渗压分析一元线性回归模型构建与应用

秦根泉[1,3]　田　慧[1,3]　廖承伟[1,3]　苏晓林[2]

（1.四创科技有限公司，福州 350100；2.福州大学土木工程学院，福州 350100；3.福建省防灾减灾信息应用工程技术研究中心，福州 350100）

摘要：研究了一种建立土坝渗压分析回归数学模型的方法。选取东圳水库土坝 2 个代表渗压计的实测值与对应水库水位历史数据，经 Grubbs 准则处理后，采用最小二乘法分别建立两者关系的一元线性回归模型，采用相关系数法进行可信度检验，并应用模型预测渗压值和控制库水位。所建立的两个回归模型的相关系数分别为 0.911、0.850，相关性良好，符合正常规律，且两者相互预测的区间都较为准确。随后应用该方法建立东圳水库全部 29 个渗压计数据回归模型，进行分析验证，并对少部分相关差异性较大的渗压计进行了归因分析。

关键字：渗压；最小二乘法；回归模型；预测控制；东圳水库

Construction and Application of Univariate Linear Regression Model in Seepage Pressure Analysis of Earth Dam

QIN Genquan[1,3]　TIAN Hui[1,3]　LIAO Chengwei[1,3]　SU Xiaolin[2]

(1. Strong Technology Co., LTD.，Fujian Fuzhou 350000，China; 2. College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fujian Fuzhou 350000，China; 3. Fujian Province Disaster Prevention and Mitigation Information Processing and Applied Enterprise Engineering Technology Application Research Center，Fujian Fuzhou 350000，China)

Abstract: This paper studies a method of establishing the regression mathematical model of earth dam seepage pressure analysis. The measurement data of two representative piezometers of the earth dam of Dongzhen Reservoir and their corresponding historical data of reservoir water level are selected and processed by Grubbs criterion. Subsequently, the least square method was used to establish a one-variable linear regression model of the relationship between the two, and the correlation coefficient method was used to test the reliability, and the model was used to predict the seepage pressure value and control the reservoir water level. The correlation coefficients of the two regression models established are 0.911 and 0.850 respectively, which are well correlation and conform to normal laws. And the results of mutual prediction of seepage pressure value and reservoir water level are quite accurate. Then, this method was used to establish all 29 piezometer data regression models of Dongzhen Reservoir. The results were mostly well correlated, and attribution analysis was performed on a small number of poorly correlated data.

Keywords: Osmotic pressure; least square method; regression model; predictive control; Dongzhen Reservoir

0 引言

大坝建成蓄水后，渗漏问题一直是影响大坝整体安全性的一个重要因素。就土石坝而言，因防渗机理和筑坝材料特性的原因，对大坝挡水渗流安全分析显得尤为重要[1]。前期，很多学者针对大坝渗流监测资料异常值成因分析、数据变化规律分析、安全监测系统研究及预测模型研究等展开了一系列的定性分析和工程实践验证，以此来评价工程的安全现状和推断未来变化趋势[2-4]。如雷艳等[5]基于实际工程特点建立考虑不同分区的有限元渗流分析模型，对水库土石坝进行了稳定—非稳定渗流分析，进而判断工程是否出现渗透破坏，为相似工程提供理论方法参考。吕高峰[6]等利用有限元分别计算测值异常增大前后的渗流场，并进行对比分析，以掌握测值异常增大对粘土斜心墙及渗流稳定的影响，为工程后期运行提供参考性意见。秦继辉等[7]采用逐步回归模型（SRA）、小波神经网络模型（WNN）和基于逐步回归和小波神经网络的土石坝渗压预测模型（SRA-WNN）进行对比，得出在土石坝渗压预测中，前两种模型得到的预测误差均高于 SRA-WNN 模型，且建立 SRA-WNN 模型的输入因子更为合理，更能反映出大坝渗流状况。刘聪[8]结合工程实例，以土体渗透系数与土体体积应变之间的关系作为耦合的桥梁，用迭代耦合算法对该工程进行渗流与应力耦合分析，得出在工程设计时考虑渗流场和应力场耦合作用将会更加有利于提高土石坝体的安全性。王宇等[9]针对土石坝渗流安全预测预警，采用重标度极差分析方法（R/S 分析），阐释了渗流时间序列具有分形标度不变性，揭示了渗流时间序列具有趋势性和随机性双重特性。

现有的研究成果中，偏重于对大坝渗流分析方法应用及特定的工程渗流安全问题分析，系统介绍工程模型建立方法和应用效果的则鲜有报道。本文采用东圳水库较为完整的大坝坝体渗压监测资料，根据统计学回归分析理论对水库水位与渗压监测值的非确定性关系进行了公式推导，建立一元线性回归模型，并实现了渗压值预测和水库安全允许水位控制的应用。通过对该工程 29 个渗压监测计的数据分析应用，得出了东圳水库大坝的渗流监测相关性的整体分析，并对该模型的可靠性和适用性进行了评价。

1 项目背景

东圳水库[10]位于福建省莆田市区境内的延寿溪中游，是一座具有灌溉、防洪、发电、航运、养殖、游览等综合效益的大（2）型水利枢纽工程，防洪标准按 1000a 一遇洪水设计，10000a 一遇加 20%校核，水库总库容 4.35 亿 m³，电站设计装机 2×1560kW。该工程主要分为枢纽工程和渠道工程两大部分，其中枢纽工程由大坝、输水涵洞、溢洪道三部分建筑物组成。大坝坝型为粘土心墙坝，坝长 367m，最大坝高 58.6 m，顶宽 8.34m。工程形象见图 1。

图 1　东圳水库大坝（资料图片）

东圳大坝 1960 年建成，2014 年除险加固时，建设了较为完备的变形、渗压和渗流监测项目。其中，渗压、渗流监测项目主要包括：坝体渗流监测、绕坝渗流监测等。渗流监测断面在坝体设置了 4 个断面和左、右岸各一组绕坝断面，总共设置了 29 孔测压管，渗压监测项目基础信息见表 1。测压管内监测数据于 2018 年 04 月 25 日始测，采用的是渗压计自动化监测，监测频率周期：运行初期为 30min，正常运行期为 8h。

表 1　大坝渗压计编号信息

监测断面	孔位轴距	管号	测点部位/高程	监测断面	孔位轴距	管号	测点部位/高程
B0+090	Z0-001	BS1	心墙/54.32m	B0+235	Z0+009	BS16	坝基/44.38m
		BS2	坝基/49.47m		Z0+071	BS17	坝基/26.70m
	Z0+009	BS3	心墙/47.35m	B0+310	Z0-001	BS18	心墙/61.88m
		BS4	坝基/45.46m			BS19	坝基/57.30m
	Z0+071	BS5	坝基/31.45m		Z0+009	BS20	心墙/60.72m
	Z0+130	BS6	坝基/32.44m			BS21	坝基/60.72m
B0+155	Z0-001	BS7	心墙/53.19m	B0+036	Z0-001	RR1	坝基/62.78m
		BS8	坝基/35.15m		Z0+019	RR2	坝基/67.15m
	Z0+009	BS9	心墙/42.36m	B0+060	Z0+009	RR3	右坝肩/34.80m
		BS10	坝基/37.18m	B0+210	Z0+165	RL1	左坝肩/23.40m
	Z0+071	BS11	坝基/26.58m	B0+276	Z0+108	RL2	左坝肩/27.45m
	Z0+130	BS12	坝基/26.55m	B0+309	Z0+065	RL3	左坝肩/53.40m
B0+235	Z0-001	BS13	心墙/51.30m	B0+355	Z0-001	RL4	坝基/71.15m
		BS14	坝基/43.24m		Z0+019	RL5	坝基/57.82m
	Z0+009	BS15	心墙/44.38m				

2　土坝渗压分析回归模型建立

2.1　数学模型建立方案

本文选取东圳水库大坝 B0+090 断面的渗压计 BS3、BS4 作为代表，采用历史数据研究模型构建方法和分析模型应用效果。建模过程包括：数据预处理、建立数学模型、模型显著性检验。

2.2　监测数据预处理

2.2.1　数据预处理方法

前期研究表明：在一系列的大坝监测值中出现异常值是不可避免的。异常值对回归分析

有显著影响，严重地影响参数的估计，引起较大的残差，进而影响回归方程的拟合效果及预测预报性能[11]。常用的异常值统计检验法有拉伊达（3σ）、格拉布斯（Grubbs）、狄克松（Dixon）及 t 检验（3S，又称罗曼若夫斯基准则）等准则，均是以正态分布和小概率原理为基础的[12]。根据选取的数据特性，本文采用的方法是 Grubbs 准则。

Grubbs 准则：服从正态分布的监测值序列若存在异常值，则有统计量

$$G=\frac{\left|x_d-\bar{x}\right|}{s_n}>\alpha\ ，\ 其中\ S_n=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}} \qquad （1）$$

式中，x_i 为序列监测值；x_d 为待检验的监测值；$\bar{x}$ 为序列监测值的平均值；S_n 为序列监测值的标准差；α 为 Gurbbs 准则的临界值表中的显著性水平[13]。

2.2.2 数据预处理结果

选取渗压计 BS3、BS4 各 20 组监测数据，根据上述计算公式，首先对渗压计监测数据进行预处理分析。采用 Grubbs 准则法对 BS3、BS4 渗压计监测值和水库水位进行统一检验，得到其 G 统计量和临界值（显著性水平α=0.05）见表 2。结果显示，仅 2018 年 12 月 21 日 8 时水库水位监测值的 G 统计量（4.25）大于临界值（2.56），检查发现，该数据对应的水位值为 35.3m，低于水库死水位（50m），明显异常，应予以剔除。

表 2　BS3 与 BS4 号渗压计监测值与 G 统计量

监测日期	监测数据			G 统计量			临界值
	BS3 管水位	BS4 管水位	水库水位	BS3 管水位	BS4 管水位	水库水位	α=0.05
2018/12/22 0:00	72.88	72.65	75.69	1.54	1.41	0.21	2.56
2018/12/21 16:00	72.88	72.64	75.7	1.54	1.65	0.21	2.56
2018/12/21 8:00	72.89	72.68	35.3	1.27	0.67	4.25	2.56
2018/12/20 16:00	72.89	72.66	75.73	1.27	1.16	0.21	2.56
2018/12/20 8:00	72.90	72.67	75.74	0.99	0.92	0.21	2.56
2018/12/19 8:00	72.92	72.69	75.77	0.44	0.43	0.22	2.56
2018/12/19 0:00	72.92	72.69	75.78	0.44	0.43	0.22	2.56
2018/12/18 16:00	72.92	72.68	75.79	0.44	0.67	0.22	2.56
2018/12/18 0:00	72.93	72.71	75.81	0.17	0.06	0.22	2.56
2018/12/17 16:00	72.94	72.7	75.82	0.11	0.18	0.22	2.56
2018/12/17 0:00	72.94	72.72	75.67	0.11	0.31	0.21	2.56
2018/12/16 16:00	72.94	72.71	75.85	0.11	0.06	0.23	2.56
2018/12/16 0:00	72.95	72.72	75.87	0.39	0.31	0.23	2.56
2018/12/16 0:00	72.95	72.72	75.87	0.39	0.31	0.23	2.56
2018/12/15 16:00	72.88	72.70	75.88	1.54	0.18	0.23	2.56
2018/12/15 0:00	72.96	72.73	75.9	0.66	0.55	0.23	2.56
2018/12/14 0:00	72.98	72.75	75.92	1.21	1.04	0.23	2.56
2018/12/13 16:00	72.98	72.74	75.93	1.21	0.79	0.24	2.56
2018/12/12 8:00	72.99	72.78	75.97	1.49	1.77	0.24	2.56
2018/12/12 0:00	73.00	72.80	75.97	1.76	2.26	0.24	2.56

2.3　数学模型建立

2.3.1 建模方法选择

对于大坝渗流监控预报，目前出现了多种方法和模型，主要包括统计回归模型、时间序

列模型、支持向量机模型以及神经网络模型等。其中，统计回归模型有着模型结构简单、参数少的特点，同时能够较好地处理非线性和高维数的问题，并在理论上得到的结果为全局最优。本文将大坝的坝体渗透系数、防渗措施、排水措施作为固定边界条件，水库水位作为大坝渗压值变化的唯一可变量，据此假定可建立水库水位和大坝渗压值的一元线性回归方程。

2.3.2　一元线性回归模型方程

假定存在一定关联性的两变量 x 与 y，两者的关系是不确定的，则有一元线性回归模型的基本形式：

$$\begin{cases} y = a + bx + \varepsilon \\ \varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \end{cases} \qquad (2)$$

其中 a、b、σ^2 是与 x 无关的未知参数；ε 是不可预测的随机变量，且假定 $E\varepsilon = 0$，$D\varepsilon = \sigma^2$。又因 ε 为随机变量，则 y 也为随机变量。因此，

$$y \sim N(a + bx, \sigma^2) \qquad (3)$$

为对参数作区间估计与假设检验，假定一组样本容量为 n 的数据序列 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), ..., (x_n, y_n)$。回归分析得 a、b 的估计值 $\hat{a}, \hat{b}$，由理论回归方程得

$$\hat{y} = \hat{a} + \hat{b}x \qquad (4)$$

这个函数称为 y 为 x 的回归函数，$\hat{a}, \hat{b}$ 为回归系数。

2.3.3　最小二乘法参数估计

对 x 的一组不完全相同的值 $x_1, x_2, x_3, ...x_n$ 作独立试验，得随机变量 y 的相应监测值 $y_1, y_2, y_3, ..., y_n$。因此，一元回归模型可以写为下列形式

$$\begin{cases} y_i = a + bx_i + \varepsilon_i \\ \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \end{cases} \quad i = 1,2,3,...,n, \text{各}\varepsilon_i\text{独立} \qquad (5)$$

若记

$$Q(a,b) = \sum_{i=1}^{n} (y_i - (a + bx_i))^2 \qquad (6)$$

需选取合适的 a、b 的估计值 $\hat{a}, \hat{b}$，使得

$$Q(\hat{a}, \hat{b}) = \min_{a,b} Q(a,b) \qquad (7)$$

分别求 $Q(a,b)$ 对 a 及 b 的偏导数，并令之为 0，得

$$\begin{cases}\dfrac{\partial Q}{\partial a}=-2\sum_{i=1}^{n}\left(y_i-a-bx_i\right)=0\\ \dfrac{\partial Q}{\partial b}=-2\sum_{i=1}^{n}x_i\left(y_i-a-bx_i\right)=0\end{cases} \quad (8)$$

其中，根据样本数据$(x_1,y_1),(x_2,y_2),(x_3,y_3),...,(x_n,y_n)$，有

$$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i,\overline{x^2}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i^2,\bar{y}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i,\overline{xy}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_iy_i \quad (9)$$

把（9）式代入（8）式，得

$$\begin{cases}a+b\bar{x}=\bar{y}\\ a\bar{x}+b\overline{x^2}=\overline{xy}\end{cases} \quad (10)$$

整理上述方程组，即得 *a*、*b* 最小二乘估计

$$\begin{cases}\hat{a}=\bar{y}-\hat{b}x\\ \hat{b}=\dfrac{\overline{xy}-\bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2}-(\bar{x})^2}\end{cases} \quad (11)$$

即得 *y* 对 *x* 的回归方程：

$$\hat{y}=\hat{a}+\hat{b}x=\bar{y}+\hat{b}(x-\bar{x}) \quad (12)$$

方程的图形称为回归直线，是一条经过点$(\bar{x},\bar{y})$，且斜率为$\hat{b}$的直线。

把x_i代入（12）式，有

$$\hat{y}_i=\bar{y}+\hat{b}(x_i-\bar{x}) \quad (13)$$

式中，$\hat{y}_i$称为回归值。

2.3.4　回归模型的显著性检验方法

对于变量 *x* 与 *y* 无论是否存在相关关系，都能得到样本回归直线。但需对建立的样本回归直线进行显著性检验。根据统计学理论，可通过对（4）式中回归系数$\hat{b}$作显著性检验，检验 *x* 与 *y* 的相关显著性，即是检验回归模型的显著性。可采用 *F* 检验法、*t* 检验法、相关系数（*R*）检验法[13]三种方法。本文采用的是相关系数（*R*）检验法，有

$$R=\frac{\overline{xy}-\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\overline{x^2}-(\bar{x})^2}\sqrt{\overline{y^2}-(\bar{y})^2}} \quad (14)$$

相关系数 *R* 体现 *x* 与 *y* 线性相关程度。根据数据样本长度 *n* 和给定的显著性水平α（一般取值 0.05 或 0.01），可查临界值表得临界值 *c*。当$|R|>c$ 时，说明 *x* 与 *y* 两者存在线性相关关系；反之则说明 *x* 与 *y* 两者不存在线性相关关系。

2.4　回归模型建立与检验

根据上文预处理后的监测数据和建模方法，分别建立该 2 个渗压计监测值与水库水位的一元线性回归模型，并根据式（14）对建立的模型进行显著性检验，结果见表 3、图 2。

从表 3 中可以看出，BS3 和 BS4 渗压计的相关系数均在 0.80 以上，均大于临界值 0.444，说明这 2 个渗压计监测值与水库水位存在显著的相关性；且由回归模型拟合得到的回归值基本符合监测数据的规律（图 2），说明以此建立的一元线性回归模型是有效的，可利用模型方程进行预测与控制。其中，确定的回归模型显示，渗压监测值相对水库水位变化的趋势是合理的，两者的变化斜率均小于 1，分别为 0.3500 和 0.3677，说明在渗流稳定情况下大坝渗压与水库水位线性关系较为稳定。

表 3　回归模型建立结果

管号	一元线性回归模型	相关系数	临界值(n=20,α=0.05)	显著性判断
BS3	y=0.3500x+46.4028	0.911	0.444	相关
BS4	y=0.3677x+44.8316	0.850	0.444	相关

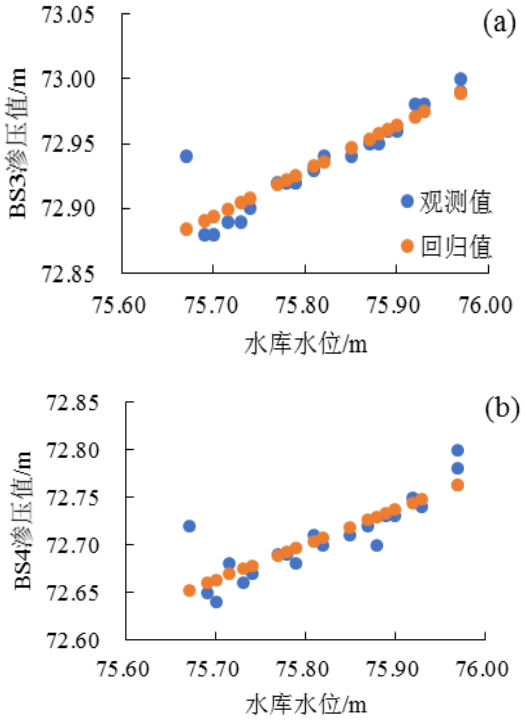


图 2　BS3 与 BS4 号渗压计监测值与回归值比较分析

3　应用回归模型预测与控制

3.1　模型预测方法

预测是对于一系列确定的水库水位值，在水库大坝渗流稳定时，预测渗压值以及渗压值的变化范围。在获得经验回归方程后，对给定的 $x=x_0$，将 x_0 代入经验回归方程，得

$$\hat{y}_0=\hat{a}+\hat{b}x_0 \qquad (15)$$

式中，$\hat{y}_0$ 为 y_0 的预测值。

在一元线性回归模型中，设 $y_1, y_2, y_3, ..., y_n$ 相互独立，则有

$y_0 = a + bx_0 + \varepsilon_0, \varepsilon_0 \sim N(0, \sigma^2)$ 及回归值 $\hat{y} = \hat{a} + \hat{b}x$，根据正态分布规律，可得：

$$y_0 - \hat{y}_0 \sim N(0, \left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{n(\overline{x^2} - (\bar{x})^2)}\right]) \qquad (16)$$

对于置信度 $1\text{-}\alpha$，可由

$$P = \{|t| < t_{1-\alpha/2}(n-2)\} = 1\text{-}\alpha \qquad (17)$$

得 y_0 的置信度 $1\text{-}\alpha$ 的预测区间为：

$$(\hat{y}_0 - \delta(x_0), \hat{y}_0 + \delta(x_0)) \qquad (18)$$

其中 $\delta(x_0) = t_{1-\alpha/2}(n-2)\sqrt{\frac{S_E}{n-2}}\sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{n(\overline{x^2} - (\bar{x})^2)}}$，$S_E = \sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2$，下同。

3.2 模型控制方法

控制是预测的反问题，当渗压值 y 在某区间 (y_1, y_2) 内取值时，要求水库水位 x_1 和 x_2，当 $x_1 < x < x_2$ 时，x 相应的监测值 y 至少以 $1\text{-}\alpha$ 的置信度落在 (y_1, y_2) 内。要求的 x_1 和 x_2 应为下列方程组的解：

$$\begin{cases} \hat{a} + \hat{b}x - \delta(x) \geq y_1 \\ \hat{a} + \hat{b}x + \delta(x) \leq y_2 \end{cases} \qquad (20)$$

转化为等式方程组，求得 x_1 和 x_2 为：

$$\begin{cases} x_1 = (y_1 - \hat{a} + \hat{\sigma} \cdot u_{1-\alpha/2}) / \hat{b} \\ x_2 = (y_2 - \hat{a} - \hat{\sigma} \cdot u_{1-\alpha/2}) / \hat{b} \end{cases} \qquad (21)$$

式中，采用了简化后的 $\delta(x) = \hat{\sigma} \cdot u_{1-\alpha/2}$，其中 $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{S_E}{n-2}}$；当设定一允许渗压值 y，令 $y = y_1 = y_2$，可用上式求解 x_1、x_2，若 $x_1 > x_2$，控制区间为 (x_2, x_1)，若 $x_2 > x_1$，控制区间为 (x_1, x_2)。

3.3 预测与控制结果分析

依据建立的一元线性回归模型，对于给定的水库水位和渗压值范围，预测和控制相应的预测渗压值、渗压值范围和水库水位范围，其结果如表 4 所示。

模型预测结果显示，给定水库水位 75.78，预测得到的渗压值分别为 72.922 和 72.693，均在合理范围内，说明预测结果正常；预测得到的渗压值范围分别为(72.888,72.955)和

(72.645,72.741)，也在合理范围内。

模型控制结果表明：对 BS3 和 BS4 分别给定渗压值 72.95 和 72.70，其1-α 的置信区间均在合理范围，控制分析得到水库水位预测值范围分别为(75.803,75.916)和(75.645,75.953)，均在库水位正常运行范围内。

表 4　回归模型预测与控制结果

	管号	BS3	BS4
	一元线性回归模型	y=0.350x+46.4028	y=0.3677x+44.8316
预测	给定水库水位	75.78	75.78
	渗压预测值	72.922	72.693
	渗压预测值范围	(72.888,72.955)	(72.645,72.741)
控制	给定渗压值	72.95	72.70
	水库水位预测值范围	(75.803,75.916)	(75.645,75.953)

4　项目模型应用评价

采用土坝渗压一元线性回归模型方法分别对东圳水库 29 组渗压计 2019 年 9 月 1 日-2019 年 11 月 19 日期间的监测数据建立了回归方程，并对监测序列中存在的异常情况进行归因分析（见表 5）。由相关性分析结果可知，29 支渗压计回归方程相关系数小于临界值（n=100，α= 0.05）的渗压计编号为 BS17、RL1。其它渗压计监测值与水库水位的线性相关性良好，相关系数最高可达 0.981（BS16）。大坝渗压值与水库水位的相关性受监测点位置、地质条件、筑坝材料等多种因子的影响。从监测点的位置分析，BS17 渗压计所在位置为坝背水坡坝脚，离上游水库挡水边界距离较远，RL1 位于大坝左右岸坝肩。受两岸山体地下水位或长距离的渗流路径影响，渗压计的数据和上游水位都有可能减弱相关性，该推论在东圳水库大坝的各渗压计回归方程相关性上得到了一定的验证。

表 5　渗压监测序列异常情况分析

编号	回归方程	相关系数	临界值	显著性判断	原因分析
BS1	y = 0.5025x+31.1798	0.891	0.197	相关	
BS2	y = 1.0066x+5.3355	0.904	0.197	相关错误	渗压监测值整体上大于水库水位值，渗压计设定的基数有误
BS3	y = 0.2972x+49.5646	0.350	0.197	相关	
BS4	y = 0.3938x+42.1538	0.436	0.197	相关	
BS5	y = -0.2916x+58.0253	-0.547	0.197	相关	渗压计水位和水库水位同步下降，渗压计水位下降速率低于水库水位的下降速率
BS6	y = 0.0691x+30.3704	0.353	0.197	相关	
BS7	y = 0.1936x+59.0868	0.921	0.197	相关	
BS8	y = 0.2217x+56.1950	0.938	0.197	相关	
BS9	y = 0.4725x+34.3961	0.922	0.197	相关	
BS10	y = 1.2399x-27.6590	0.873	0.197	相关	
BS11	y = -0.2520x+51.4600	-0.571	0.197	相关	渗压计水位和水库水位同步下降，渗压计水位下降速率低于水库水位的下降速率
BS13	y = 0.8344x+11.0264	0.952	0.197	相关	
BS14	y = 0.8474x+11.1718	0.952	0.197	相关	

续表 5　渗压监测序列异常情况分析

编号	回归方程	相关系数	临界值	显著性判断	原因分析
BS15	y = 0.4045x+42.7325	0.979	0.197	相关	
BS16	y = 0.4056x+44.3026	0.981	0.197	相关	
BS17	y = 0.031x+38.359	0.025	0.197	不相关	渗压计位于大坝背水坡坝体与坝基相交处，与坝轴线相距较远
BS18	y = 0.6635x+25.2948	0.865	0.197	相关	
BS19	y = 0.6933x+23.2099	0.869	0.197	相关	
BS20	y = 0.3935x+45.7808	0.828	0.197	相关	
BS21	y = 0.3942x+41.3905	0.827	0.197	相关	
RR1	y = -3.8089x+382.47	-0.719	0.197	相关	主要受右侧山体地下水汇流的影响
RR2	y = -0.1092x+79.5413	-0.293	0.197	相关	主要受右侧山体地下水汇流的影响
RR3	y = 0.5937x-0.5466	0.787	0.197	相关	
RL1	y = -0.3822x+103.281	-0.101	0.197	不相关	主要受左侧山体地下水汇流的影响
RL2	y = 0.3942x+41.3905	0.827	0.197	相关	
RL3	y = 0.5915x+29.5743	0.509	0.197	相关	
RL4	y = 0.1238x+45.9381	0.262	0.197	相关	
RL5	y = 0.2052x+21.7568	0.548	0.197	相关	

4　结语

（1）依据水库水位和坝体渗压值之间存在明显的非确定相关性判断，通过对东圳水库 2 支渗压计实测值和水库水位关系进行分析，采用最小二乘法建立一元线性回归方程，并用相关系数法进行相关显著性检验，结果总体相关性良好。

（2）采用 2 支代表渗压计土坝渗流回归模型的预测和控制方法得到的模拟结果与实测数据相差较小，说明用该种方法预测土坝渗压值和控制水库水位可行。

（3)通过对东圳水库 29 支渗压计建立的一元线性回归模型的相关系数计算和显著性判断，结果总体较好，且异常情况原因基本查明，说明了该方法在项目整体应用中的可行性。

（4）本文提出的一元线性回归模型适用于稳定渗流期，鉴于渗流过程的复杂性和阶段性，今后可采取固定场景边界的方法，考虑时间、材料等多种影响因子变化进行多元线性回归分析。

参考文献

[1] 郑辉. 基于 GPRS 的大坝监测系统研究与实现[D]. 北京:北京交通大学, 2011.

[2] 何金平. 大坝安全监测理论与应用[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2010.

[3] 沙成刚. 基于 Geo-Studio 的土石坝渗流与稳定分析研究[D]. 兰州:兰州理工大学, 2014.

[4] 刘杰, 谭少华, 李建林, 等. 基于改进遗传算法的渗压分析[J]. 水电自动化和大坝监测, 2005, 29(3):74-76.

[5] 雷艳, 王智阳, 张海洋. 赤金峡水库土石坝稳定-非稳定渗流分析与评价[J]. 陕西水利, 2019, 10:7-8.

[6] 吕高峰, 王玉洁, 周建波, 等. 某粘土斜心墙坝渗压计测值异常与渗流稳定分析[J]. 大坝与安全, 2017, 1:47-50.

[7] 秦继辉, 吴云星, 谷艳昌. 基于逐步回归和小波神经网络的土石坝渗压预测模型研究[J]. 安全与环境学报, 2018, 18(5):1670-1674.

[8] 刘聪. 土石坝渗流与应力耦合及其工程应用分析[D]. 成都:西华大学, 2013.

[9] 王宇, 陈超, 陈祥勇. 土石坝渗流安全预测预警研究[J]. 水利水电技术, 2018, 49(11):68-74.

[10] 林锦良.东圳水库水利工程防渗处理施工技术应用[J].黑龙江水利科技,2014,8(42):179-180.
[11] 吴中如.水工建筑物安全监控理论及其应用[M].北京:高等教育出版社,2003:5-6.
[12] 魏肖怡.大坝自动化监测数据粗差处理方法探究[J].理论研究,2019:227.
[13] 周中汉,王汉江,李梅,等.利用 DPS 剔除测量数据中的异常值[J].计量技术,2007:61-63.
[14] 盛骤,谢式千,潘承毅,等.概率论与数理统计(第四版)[M].北京:高等教育出版社,2010.

密云水库信息化建设的现实分析与发展趋势

张志强　　刘　岩　　王　舒

（北京市密云水库管理处，北京 101512）

摘要：密云水库的管理工作涉及水生态文明建设和水安全保障的各个环节，每一个环节都对信息化水平有很高的要求。密云水库主要承担拦蓄上游来水、水库防洪调度、调蓄南水北调中线来水等多功能，涉及水生态文明建设和水安全保障的各环节，对实时监测、智能模拟、综合研判具有很高要求。近年来，密云水库在水务信息化建设方面已经开展了大量工作，也取得了很大成就，但随着数据技术的快速发展和水务工作的加速改革，水务信息化工作中的一些矛盾与问题逐步显露，与密云水库的功能需求尚有一定缺位，今后，通过应用新一代信息技术，完善感知系统，实现信息互联和融合，提升系统智能化水平，对密云水库的信息化水平提升有更大的作用。

关键字：物联网技术；自动监测；人工智能；系统分析

0　引言

以信息化、互联网+、大数据、云计算等技术全面提升水库精细化管理水平，以全面的数据采集监测为基础，深入挖掘海量信息资源潜力，以高效率、专业化、智能化的分析方法为手段，为水务决策、水务建设、水务管理服务，是密云水库未来发展的重要任务。密云水库由潮白河上游两大支流潮河、白河汇流而成，是一座以防洪、供水为主要功能的水利工程，保护着下游京、津、冀地区的防洪安全。自从南水北调中线工程完工，正式向北京供水后，密云水库成为接纳南水北调水、战略储备蓄水的重要水源地。密云水库对首都防洪减灾、合理高效利用南水北调水源、加强本地水源战略储备具有重要意义。

为响应国家“信息化”、“精细化”和“智慧城市”的发展战略，以及北京城市总体规划和首都十三五时期“智慧水务”发展要求，适应北京市用水保障、防洪保障、生态保障等要求提高的现实需要，需加快推进智慧水务建设，全面提升密云水库的信息化水平。

1　信息化的发展现状

密云水库主要承担拦蓄上游来水、水库防洪调度、调蓄南水北调中线来水等多功能，涉及水生态文明建设和水安全保障的各环节，对实时监测、智能模拟、综合研判具有很高要求。近年来，密云水库在水务信息化建设方面已经开展了大量工作，也取得了很大成就，但随着数据技术的快速发展和水务工作的加速改革，水务信息化工作中的一些矛盾与问题逐步显露，与密云水库的功能需求尚有一定缺位，主要表现在：

1.1　物联网感知不足

现有自动监测站网覆盖范围不足，监测体系的站网密度、监测指标数量均不足，自动监测系统存在设备老化、采集精度不高、传输方式老旧等问题，不能满足日益精细化的智慧水务要求。密云水库雨水情遥测站点分布图：

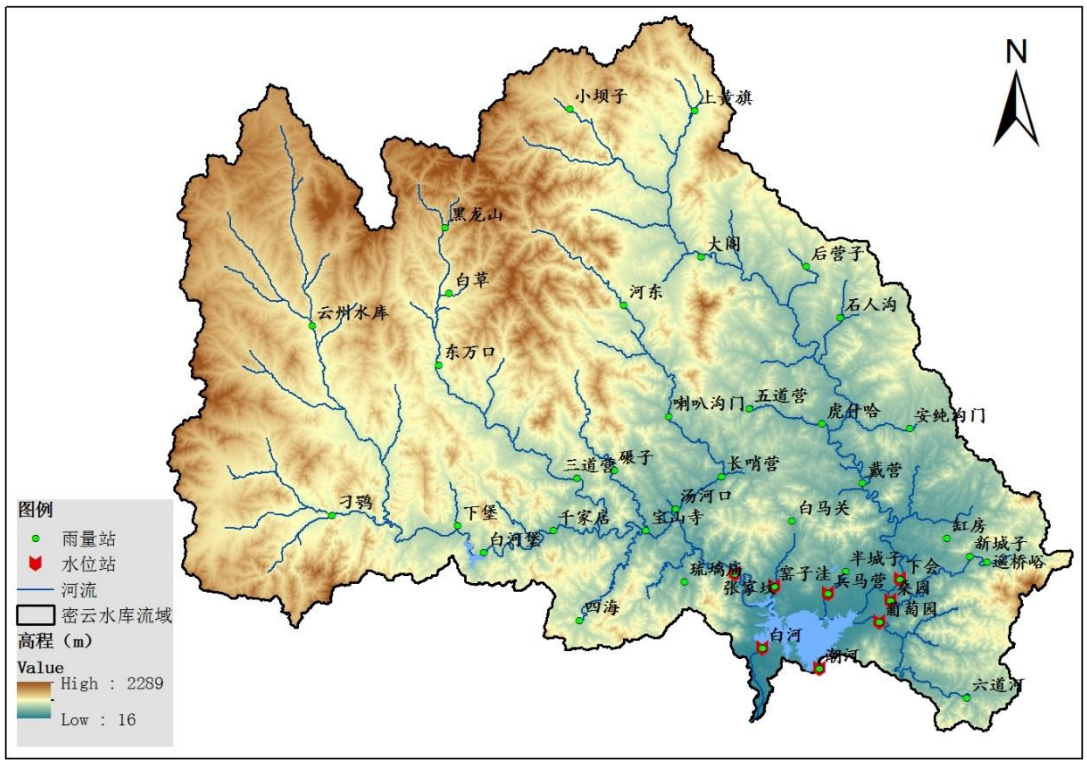


图 1　雨水情遥测站点分布图

1.2　信息系统整合不够

密云水库已经建成多个业务管理系统，但目前大多数系统均独立运行，存在操作复杂、内容单一、系统无法整合的问题，给管理人员的工作带来极大不便。现有的大部分系统仅实现了“一组数据、一张表和几张图”等的数据展示功能，对实际业务的支撑能力远远不够。随着技术的更新换代及精细化管理需求的变化，大部分平台已不能满足发展需求，需要及时的升级改造。

1.3　数据分析不深

由于数据整理更新不系统，近年开发的各种应用软件分析能力有限，各项数据独立现象严重，形成信息孤岛，缺乏数据关联、趋势分析、预测研判等深度挖掘的能力，给各项水务工作的有效开展带来影响。

2　现实需求分析

密云水库信息化建设需要提升的四个主要方面包括：数据采集、通信方式、数据管理和系统分析。

2.1　数据采集

数据采集是为管理者提供基础数据支撑，包括水文数据采集、水工数据采集、水环境数据采集、视频监控数据采集等。为实现密云水库流域科学管理，获取密云水库流域的防汛、水资源、水利工程、水环境等信息，全面提升密云水库流域各环节的监控水平。数据采集监测图：

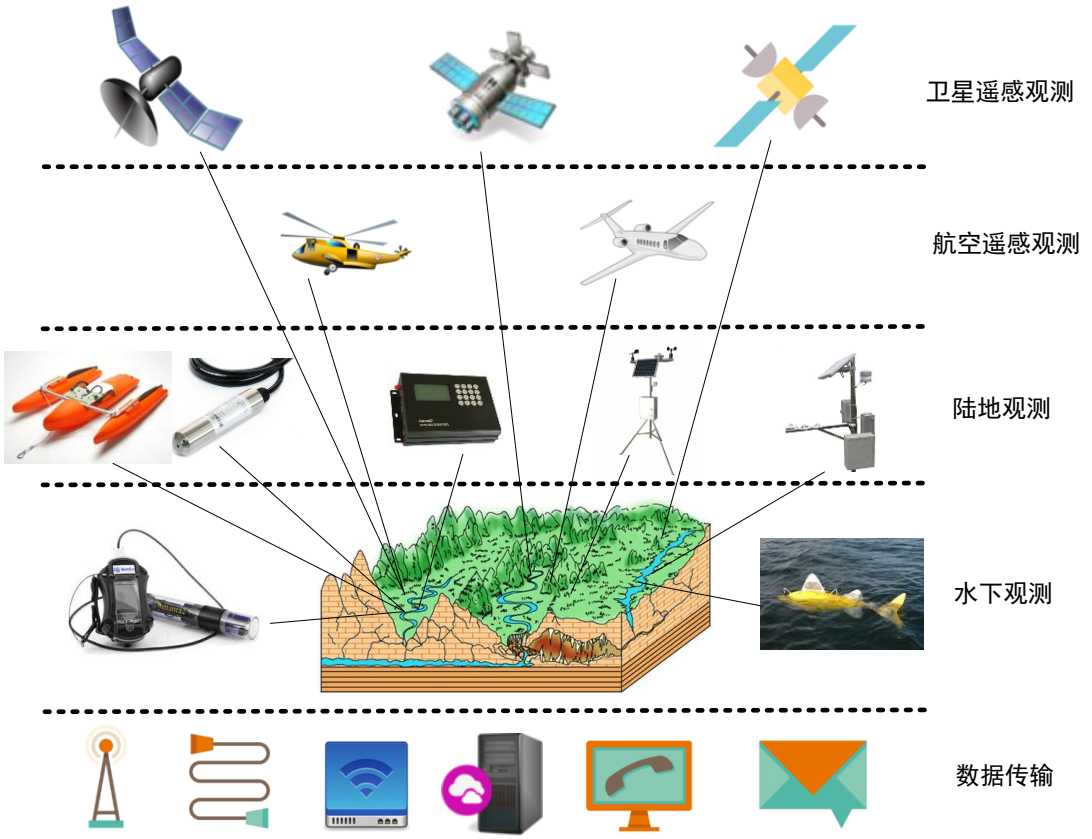


图 2　数据采集监测图

2.2　通信方式

在依托已建通信基础上，需增加和改造现有的通信方式和网络设备，提高信息传输和网络安全能力，满足系统安全可靠运行的要求。密云水库网络系统拓扑效果图：

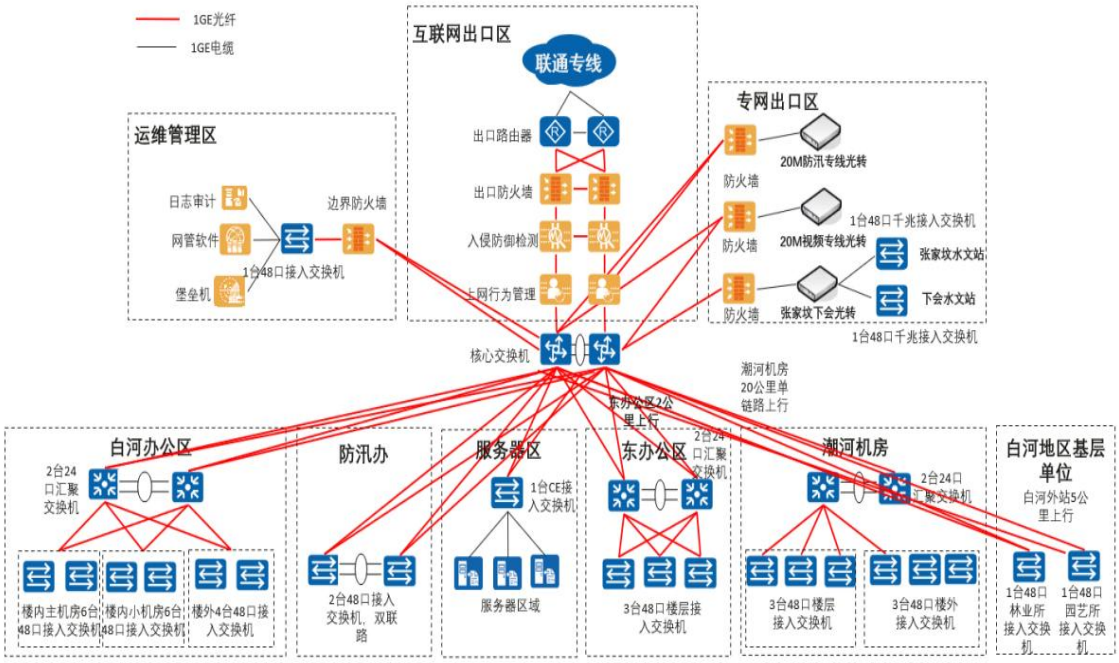


图 3　网络系统拓扑效果图

2.3　数据管理

为满足密云水库流域管理处内部及与其他单位的数据共享要求，应加强数据资源的集中存储、管理，有效提高流域管理的工作效率。数据库系统在统一规划、统一编码的基础上，按照水利部、北京市、市水务局信息资源和数据库建设方面的相关标准规范，进行信息资源整合和数据库系统建设，应用系统进行上链上云，构建共享资源。水务局信息系统展示图：

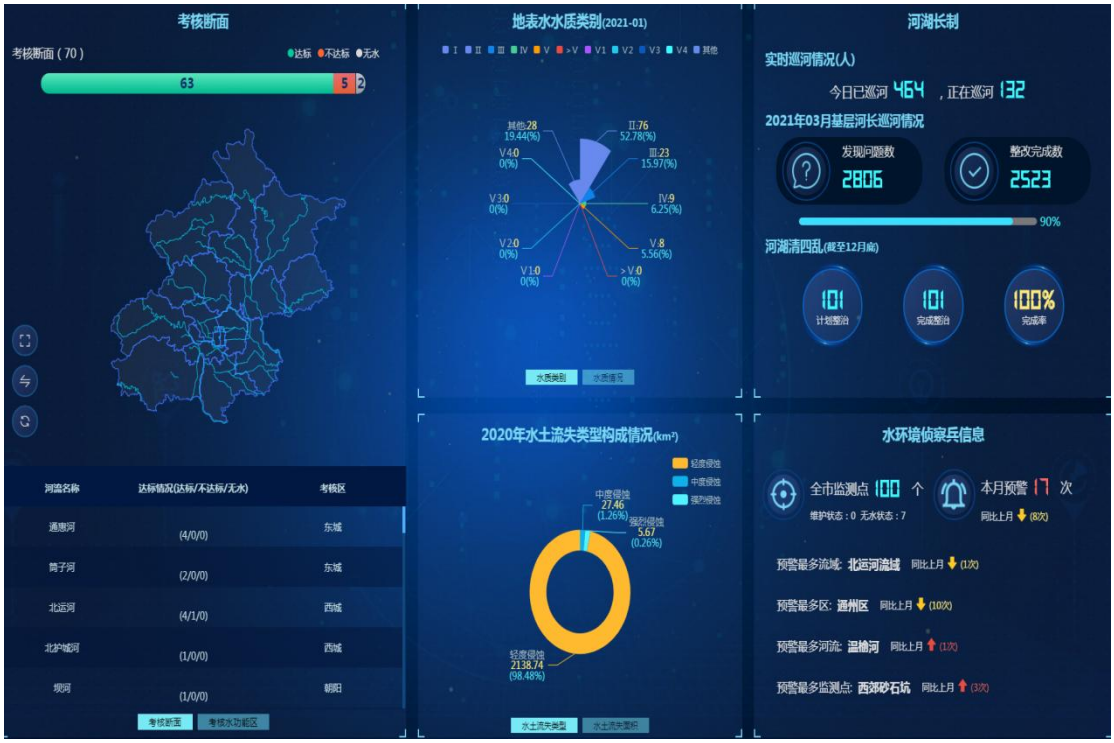


图 4　水务局信息系统展示图

2.4　系统分析

搭建支撑平台，实现业务流程的规范化管理。同时提供高效的分析工具，实现流域信息的实时监控、统计分析和模拟预测，满足流域管理的要求。

3　信息化建设的发展趋势

随着人工智能、物联网 IoT 平台和云数据库的快速发展，如何推动物联网多源数据采集和共享交换，向各个领域延伸大数据服务，为密云水库协同指挥提供基础，成为密云水库信息化建设的关键问题。利用现代先进的系统分析、人工智能、数学模型、大数据、云计算等技术，打通密云水库的“眼耳鼻”，也将打通信息化运行的“任督二脉”。

3.1　完善感知体系

结合实际，逐步完善密云水库自动化监测设施，通过物联网技术实现水库实时信息的采集与传输。信息采集框架图：

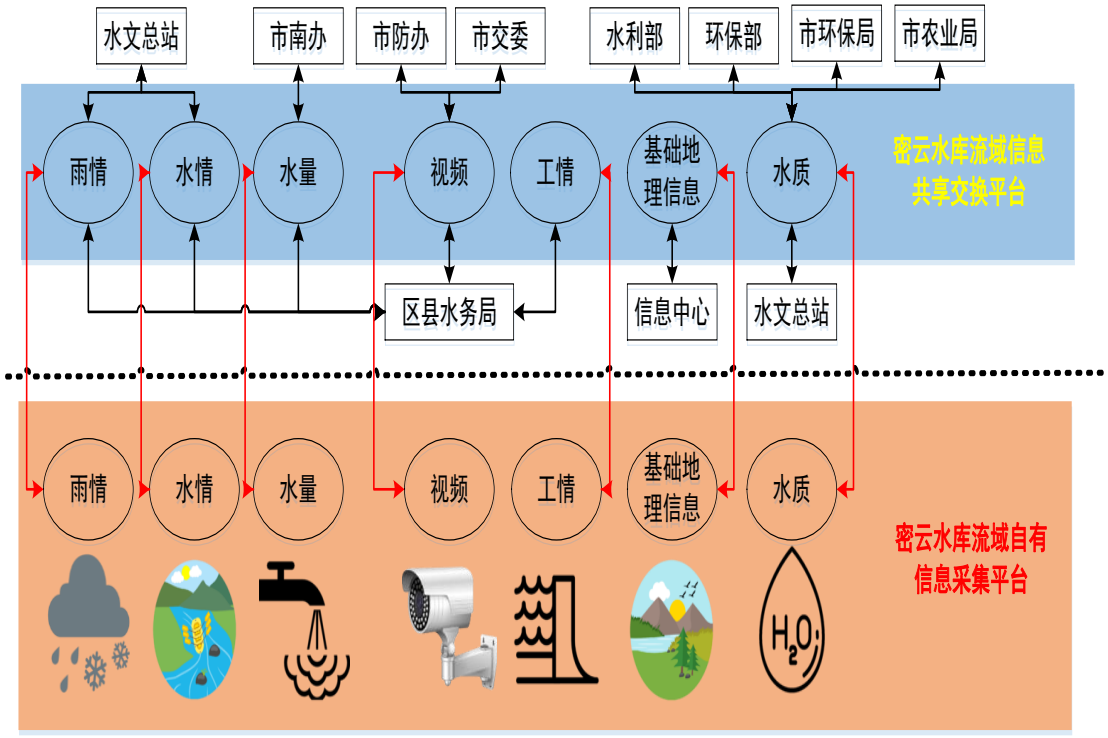


图 5　信息采集框架图

3.1.1　超高清视频监控系统（5G+AI）

在视频监控系统领域，“全覆盖、超高清、更智能”肯定是未来发展的主要方向之一。在水库流域重要监控区域建设多种类型的视频监控摄像机，利用摄像机的 4K 超高清、传输的 5G、后台的 AI 技术，掌握监控区域的整体情况及细节情况，形成纵览全局和掌控细节的视频监控系统。监控机房效果图：

图 6　监控机房效果图

3.1.2　水环境立体观测网系统

在密云水库库区现有人工及自动监测基础上，建立水上、水下全方位的水环境监测网络，集成遥感监测、自动在线监测、浮标监测、垂直剖面监测、水下机器人和库底接驳盒监测技术，结合重要位置的生物预警技术，构建密云水库水环境立体观测网系统。

3.1.3　大坝工情监测系统

增加 5 座副坝及 3 座溢洪道等主要水工建筑物监测设施，对渗流、水平位移、垂直位移等进行自动采集和分析，实时掌握大坝的各种工情信息。

3.1.4　水文监测系统

对密云水库的水位、降雨（雪）、蒸发、泥沙、冰凌、墒情、水质进行实时监测，对上游流域内各地区的雨水情信息进行实时数据采集，对上游流域重要河道的流量和水位进行数据采集，为水库预报和调度提供各种信息基础材料。

3.2　实现信息互联

现有的信息系统由不同承建商在不同的时期建设，由于缺乏相关的信息标准或遵循相关标准，这些系统存在信息存储形式、结构不同，以及同一属性定义不同等问题，导致各种数据不能进行共享，形成一个个信息孤岛。

采用信息标准化和深度融合、业务高度协同等方法及技术，可实现信息互联，充分发挥信息应有的作用。同时，水务系统的云上信息共享和业务协同可促进水库流域的管理，共享水文、水量、工程安全等信息，共同调节径流，最大限度地发挥水库的防汛、抗洪作用。

3.3　提高系统智能化

现有的系统智能化水平不高，特别是与密云水库密切相关的一些信息系统，存在准确性差、功能弱、须人工干预等问题。例如：视频监控系统需要职工在安防室进行 24 小时值班，每小时对各个监控点进行查看，浪费人力、物力和财力；雨水情遥测系统采集上来的流域雨水情信息，只是简单地采集出一些标准的数据报表，并没有对数据进行深度分析的能力。

随着现代先进科技，计算机技术以及AI 技术的飞速发展，自动化、数字化和信息化正日益融入人们的生活之中。通过采用人工智能、数学模型、大数据、云计算等技术，可让系统高度智能化，具有主动学习和自适应能力，使系统驱动方式由人工驱动转为事件驱动。

4　结语

信息化建设一直是密云水库的重点发展项目。应用新一代信息技术，完善感知系统，实现水库信息互联和融合，提升系统智能化水平，减少水库管理人员工作量，提高水库管理工作的效率，避免由于人为因素造成没必要的损失。目前，密云水库信息化建设还处于初级阶段，许多技术问题有待进一步研究，水库信息化的发展还依赖于信息技术的进步。

参考文献

[1] 王毅,刘洪伟,霍风霖.新形势下北京市防汛抗旱及水旱灾害防御信息化建设思考[J].中国防汛抗旱,2019,29(03):5-8.

[2] 赵娟. 基于物联网的城市防洪防汛系统的设计与实现[D].山东大学,2015.

[3] 杜晓玉. 面向水环境监测的传感网覆盖算法研究[D]. 南京邮电大学, 2015.
[4] 陈滢. 新时代防汛防旱信息化能力提升思考[J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(12):94-97.
[5] 詹晓龙. 智能超高清视频监控的发展及趋势[J]. 中国安防, 2019(09):40-43.
[6] 冯伟. 山西汾河水库水情自动测报系统的改进开发[D]. 太原理工大学, 2012.
[7] 臧敏. 充分发挥水利信息化中水文测控系统的作用[J]. 中国防汛抗旱, 2019, 29(05):10.
[8] 张美玲. 城市智慧水务建设成熟度评价体系研究[D]. 沈阳建筑大学, 2017.
[9] 王蒙. 水务数据分析服务云平台[D]. 郑州大学, 2018.

密云水库防汛抗旱信息化建设探索

郑　旭

（北京市密云水库管理处，北京 101512）

摘要：密云水库自建成以来，有效治理了潮白河水患。作为北京重要地表饮用水源地，多年来在防洪、供水、灌溉等方面起到重大作用。2014 年南水进京，江水反输密云水库，使得密云水库又负起更艰巨的调蓄任务。截至 2019 年，密云水库拦蓄大于等于 1000 立方米/秒入库洪峰 30 多次，累计减淹土地面积 3211 万亩。信息化技术在密云水库防汛抗旱工作中的作用至关重要，随着信息化技术的不断创新，密云水库的信息化发展也暴露出一些问题，对今后的发展方向提出了更高的要求，急需加强顶层设计，强化防汛抗旱信息化建设，提高密云水库防汛抗旱管理水平。本文结合密云水库近年来信息化发展实际情况，对密云水库防汛抗旱信息化建设进行探索。

关键词：密云水库；信息化；信息安全

1　密云水库信息化基本情况

密云水库信息化起步较早，目前信息化建设内容比较全面地涵盖了水库工程管理工作各个方面。系统的建立了一套以信息采集为基础，通信、网络为保障，利用数据库、Java、地理信息系统等技术建立了防汛综合业务管理、雨水情遥测、水质自动监测、大坝渗流监测、大坝变形监测等系统和相关子系统，各子系统与信息系统有机地融合为一体，保障密云水库信息系统全面稳定运行。系统功能的设置都是从满足实际工作需要出发，如图像监控子系统在运行期间发挥了安全监测作用，大坝渗流监测系统的建设促进了水库工程管理工作的发展。目前整个信息化系统的技术性能指标合理、规范，满足相关管理工作的需求，能够为密云水库防汛抗旱、水资源调度的指挥决策层提供工作决策依据。

2　“十三五”以来密云水库信息化建设情况

2.1　办公信息化建设

建立了密云水库综合信息发布平台，通知、新闻及动态可随时向全处发布；重要应用系统可从平台直接访问，雨水情、供水量、等重要信息资源可直接查看。

2.2　水务业务管理信息化建设

升级改造了密云水库防汛综合指挥平台。该平台利用现代信息技术为密云水库业务工作服务，通过数字化调度指挥建设，实现密云水库防汛指挥调度信息集成化，把雨情、水情、险情，实时监测在线信息数据与指挥调度会商进行融合，为领导决策和防汛抗旱工作提供方案和依据，增强非工程措施在抗御自然灾害中的作用，提高密云水库防汛抢险救灾的指挥调度决策水平，增强密云水库工作快速反应能力，不断提升防汛工作信息化、智能化水平。

升级改造了密云水库雨水情遥测系统。系统前端测站主要分布在密云水库库区及上游流域，包括北京密云、怀柔、延庆等区县，河北省赤城县、丰宁县、滦平县和兴隆县。由于早

起设计的海事卫星通信已经完全停用，并且 GSM 通信方式不稳定，经常出现拥堵现象，可靠性差，雨水情数据的时效性也无法得到保证。分三期完成了 42 个站点的改造，更换数据采集设备并完成配套施工，将 GSM 通信更换为 GPRS、海事卫星通信更换为北斗卫星通信，彻底解决通信方式不稳定问题。

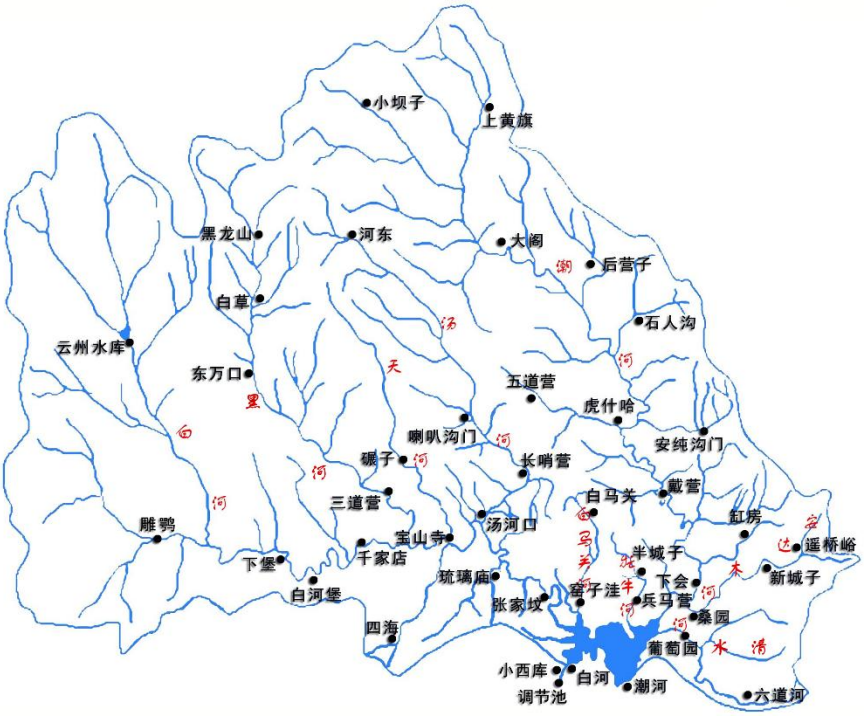


图 1　密云水库雨水情遥测系统站点分布图

升级改造了水质自动监测系统，监测站增加至 5 个，监测项目包括 pH、浊度、溶解氧、生物预警、COD、总氮、总磷等共 25 项。水质自动监测系统通过与传统监测的相结合构建了密云水库水质监测体系，预防了重大水质安全事件的发生。科学、准确的水质数据客观反映水体的水质状况，为指引水质改善与水体保障工程提供基础和参考，为领导科学决策提供引证和依据。

2.3　决策指挥信息化建设

升级改造了密云水库会商系统，加强了异地会商服务能力。通过改造，建设一个集日常值班、普通会议、信息收集整理、应急指挥调度于一身的综合指挥中心和防汛指挥中心。改造充分利用了密云水库会商室现有音视频设备，通过增加会商终端、MCU、高清矩阵、音频处理器和集中控制等设备，建立一个集日常会商、应急指挥、会商调度、指令下达的综合指挥中心。设置潮河管理所、林业管理所、下会水文站、张家坟水文站 4 个会商站点，实现与密云水库进行视频会商。

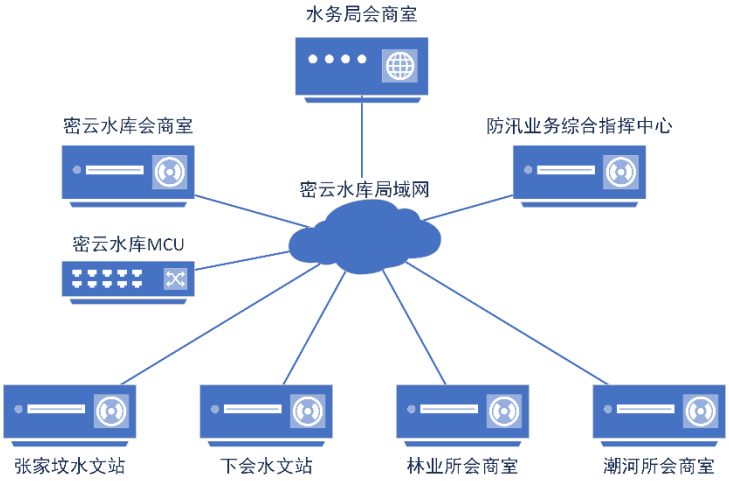


图 2　密云水库会商系统拓扑图

2.4　信息化基础设施建设

在信息采集方面，通过站点补充完善、优化整合等方式，使密云水库信息采集网络日趋完善。密云水库目前已累计建成各类信息自动采集站点 377 个，自动采集率达到 98.7%，自动采集信息在密云水库内部数据共享率可达 77.3%。视频监控对密云水库支持作用不断增强，目前密云水库视频站点总数量为 25 个，设备正常使用率 100%，为密云水库日常调度、应急指挥、领导决策提供了可视化手段。

在通信与网络方面，在骨干网络覆盖率达到 100%的基础上，二级单位网络覆盖率 100%。密云水库的互联网出口一条，对接上级水务局专线两条，办公效率得到较大的提升。对全处网络 IP 地址进行统一优化调整，实现内网资源的正常使用，提升整体网络可管理水平。

在密云水库信息化安全工作方面，制定了信息安全管理制度、应急保障预案，定期开展网络与信息安全自查、信息安全风险评估、应急演练等工作，建立了规范有序的信息安全管理体系，保障了基础网络和重要信息系统的安全稳定运行。同时加强信息安全技术防护体系建设，优化现有安全防护措施及内网结构，全面提高对网络攻击、病毒入侵的防范能力。

3　密云水库信息化建设短板

密云水库是北京水资源体系的重要组成部分，担负着为首都供水、防汛抗旱、水资源管理等艰巨任务。密云水库位于海河流域，潮河、白河为主要入库河流，水库水工建筑物多，上游流域面积大，密云水库的实际情况决定了信息化基础数据采集的难度。密云水库信息化是逐步完善起来的，早期的建设信息化程度较低，至今个别信息化系统仍旧在使用较早建设的信息化设施，信息化短板突出，主要表现在信息采集和感知能力不足、数据传输稳定性差、数据存储不集中、信息化数据分析能力不足、信息化安全防护能力薄弱等问题。

3.1　信息采集和感知能力不足

密云水库信息采集和感知体系不健全。雨水情信息监测方面存在采集范围小、采集点位密度低问题；水质监测站点数量欠缺，不能准确的、全面的满足水质检测需求；图像采集存在设备老旧、图像清晰度不高和稳定性差问题。密云水库信息采集和感知需要从技术、数量、质量上整体提升。

3.2　数据传输稳定性差

通信是信息化系统运行的基础保障，密云水库现有通信网络采用自有光缆和租用光缆混合使用的方式，存在覆盖面积小，部分通信线路老化严重，主干线路没有冗余考虑。

3.3　信息化数据分析不深入

密云水库信息化系统数据复杂，缺少对信息化数据的管理与分析，未能将水情、工情数据进行有效分析，同时缺少较为专业的数据管理系统，致使部分信息系统数据存放分散，整合度低。

3.4　信息化安全防护能力薄弱

密云水库信息化安全防护能力薄弱。网络设备已连续运行多年，部分设备配件停产造成无法对设备升级和维护，多次出现设备故障问题导致业务受影响。网络缺少必要的网络区域划分和安全防护设备，存在信息安全、运行安全、线路安全等隐患。同时，缺少信息化安全管理设备，出现问题后无法及时定位故障所在，对业务可持续性有极大影响。

4　“十四五”密云水库信息化建设工作方向

4.1　加强顶层设计

近年来密云水库在信息化不断发展建设中，因存在客观因素，对密云水库信息化顶层设计和总体布局认识不足，导致目前信息化系统的集成性、扩展性、适配性差，数据分散。所以迫切须要注重顶层设计，对密云水库信息化进行合理布局，将同类数据进行整合，统一数据标准，建设具有深度分析的、集成化的综合信息系统。

4.2　感知物联网建设

智慧水务是运用大数据、物联网、区块链等信息化新技术，促进水务信息化快速发展的新思路，是把信息化技术与水务业务相结合的高级形式。感知物联网在智慧水务建设中为水治理体系和治理能力现代化提供有力支撑和强力驱动。

4.2.1　水文监测新技术应用

增加对密云水库雨情、水情、水质、蒸发的监测能力，合理布设监测站点，选用先进的监测技术进行实时监测。在密云水库现有水文监测网络的基础上，增加新技术的应用，增加NB-IoT 物联网设备，解决站点多、监测面积广、监测站无人值守的水文监测难题。

4.2.2　视频监控建设

增加数字高清摄像机和相关的高清监控设备，增加对水工建筑物盲区的监控，全面提升密云水库视频监控能力。

4.3　信息化安全建设

建设安全的信息化网络环境，将密云水库信息化数据有效的进行保护，建立安全的数据存储环境，增加互联网边界防护、专线安全防护、内网安全区域划分，终端安全防护，形成有效的信息安全防护机制。建设高性能的网络设备及链路，提升内网传输速度至千兆；通过热备等方式实现系统的高可靠性，实现局部设备链路出现故障业务不中断。解决现存的信息安全隐患、稳定运行安全隐患，为密云水库提供一个稳定、高速、科学的可满足未来发展的

信息化网络环境。

5 结语

信息化是密云水库防汛抗旱的重要支撑。随着信息化技术发展，密云水库的信息化程度也逐步向智慧化迈进，对信息化工作的要求也随之提升。将先进的信息化技术与密云水库发展有机的结合起来，全面提升密云水库信息化水平，才能更好地做好水务工作，为密云水库长期稳定运行坚实基础。

参考文献

[1] 孟庆彬,蔡文俊,石磊,张兰芳,韩骅,陆亚良.物联网技术在智慧水务中的应用研究[J].电子世界,2020(17):207-209.

[2] 郦息明,郦四俊,陈霞,刘婧婧.卫星通信和物联网技术在水文数据传输中的应用[J].水利信息化,2019(06):55-58+62.

[3] 王常效,王鲲,邱德鑫,张波,张碧嘉,刘长杰.深圳市智慧三防系统的建设与思考[J].中国防汛抗旱,2021,31(02):46-50.

[4] 臧敏.充分发挥水利信息化中水文测控系统的作用[J].中国防汛抗旱,2019,29(05):10.

Surfer 软件在清水沟口门海域水下地形冲淤计算中的应用

李美玉[1]　　杨晓阳[2]

（1. 垦利黄河河务局，东营 257091；2.黄河河口管理局，东营 257091）

摘要：Surfer 软件是一款以画三维图的软件,具有的强大插值功能和绘制图件能力，可以在黄河三角洲水下地形冲淤变化计算分析中得到很好的应用。本文利用 1976 年至 2015 年的黄河清水沟海域断面实测资料，运用 SURFER 软件计算出相邻年际间海域高程差值数据文件，绘制冲淤图，进行相邻年份冲淤计算分析。

关键词：SURFER 软件；清水沟；海域；冲淤

1　黄河清水沟流路演变概况

清水沟流路为黄河口现行入海流路，行河至今已 40 余年，仍表现出较大行河潜力。受人为因素和水沙变化的双重影响，黄河口清水沟流路演变过程可分为以下四个阶段：

（1）1976～1996 年

清水沟流路是原神仙沟流路岔河故道与甜水沟流路故道之间的洼地，地面高程地势较两侧低 1.5～4.0m，地面高程大部分低于 3.0m。入海口处于两条故道突出沙嘴之间的莱洲湾海域凹湾内，水深相对浅缓，海洋动力相对较弱。因钓口河行河后期，西河口水位接近改道标准，改道时机成熟。1975 年“两部一省”会议决定实施非汛期人工改道，遂于 1976 年 5 月 20 日在罗家屋子截流后改由清水沟入海。改道初，黄河入海流程缩短了 37km，行河后经过淤滩成槽、溯源冲刷发展和溯源淤积的演变过程，至 1996 年西河口以下河长达到 65km。

（2）1996～2007 年

利用黄河泥沙淤滩造陆，变滨海区的石油海上开采为陆上开采是胜利油田滨海区油汽开发的战略之一。在黄河口清 8 出汉工程预行河海域发现 2 亿 t 新滩垦东油藏情况下，本着有利于延长流路，有利于防洪的原则，同时通过人工控制入海口门位置，利用黄河泥沙填海造陆，达到海油陆采的目的，1996 年 5 月 6 日到 7 月 18 日，黄委山东河务局实施了黄河口清 8 人工出汉工程,入海口门由东南向调整为东略偏北方向，由于缩短海流程 16km，再加上适逢水沙条件有利，河口河道发生了明显的溯源冲刷。随着清 8 汉河的不断地淤积延伸，入海口门位置、方向也随之进行调整，入海流路也由单一型向多股入海转变。至 2007 年汛期，口门向西北方向摆动了 7km，口门变成正北方向，分三股水流入海，向北两股（一股向东北，一股向西北），一股向东。

（3）2007～2012 年

2007 年汛后至 2008 年汛后，黄河入海口门持续快速向海淤进，入海方向向东偏移。因处于汊道新形成初始阶段，汊道向海淤进速度较快，新形成的入海河道向海淤进 1.7km。2008 年汛后至 2012 年汛前，黄河入海河道在汊 3 断面以下东北方向单一顺直入海，方向北偏东

12°～22°，原口门（清 8 汊河 2007 年汛前行河口门）发生蚀退，比 2008 年汛后蚀退了 2.5km 左右。

（4）2012～2018 年

2012 年汛后入海河道在汊 3 断面以下北偏东 19°方向入海，在入海口门处分为 2 汊入海；2012 年汛后至 2013 年汛前，口门处发生侵蚀，入海河道北偏东 20°方向单一顺直入海；2013 年汛后的入海河道在右侧沙嘴处分汊入海，一个是近正北的主汊，一个是东偏北的副汊；2014 年起至 2018 年，清水沟入海河道与 2013 年汛后相比，变化不大，口门沙嘴继续发育，2 汊入海。2018 年汛后与 2013 年汛后相比较，主汊的入海方向由北偏东 5°变为北偏东 10°，副汊入海方向由北偏东 65°变为北偏东 79°，主汊向北延伸了 2.645km，副汊口门向东延伸了 2.73km，主汊过水约占 75%，副汊过水约占 25%。目前，清 8 汊西河口以下河长 54～60km，推算西河口 10000m³/s 流量水位为 10.37m，较改汊控制条件西河口 10000m³/s 水位 12m 尚有 1.63m 的富裕，流路状况良好。

2　Surfer 软件介绍

Surfer 软件是美国 Golden Software 公司生产的制作等高线图和三维地形立体图的软件。在目前应用于制图的众多软件(如 ARC/INFO、Auto CAD 等)中。

Surfer 软件的主要功能，是将数字化或者人工读取、实际测绘获得三维空间数据转换成规则的格网数据(或称数字高程模型，DEM)，并根据格网数据生成等高线图和地形立体图，软件采用全菜单形式驱动，具有很好的环境支持。

Surfer 软件可以轻松制作基面图、数据点位图、分类数据图、等值线图、线框图、地形地貌图、趋势图、矢量图以及三维表面图等；提供 11 种数据网格化方法，包含几乎所有流行的数据统计计算方法；提供各种流行图形图像文件格式的输入输出接口以及各大 GIS 软件文件格式的输入输出接口，大大方便了文件和数据的交流和交换；提供新版的脚本编辑引擎，自动化功能得到极大加强。

3　清水沟附近海域水下地形冲淤演变

利用 1976 年～2015 年的黄河三角洲滨海区断面实测资料，进行相邻年份冲淤计算，得出相邻年际间滩海高程差值数据文件，利用 SURFER 软件，绘制了相邻年际间滩海冲淤图，并进行了冲淤计算，下面按照 1976 年～1985 年、1985 年～1996 年、1996 年～2006、2006 年～2015 年四个阶段分别进行冲淤分析。

3.1　1976 年～1985 年冲淤分布情况

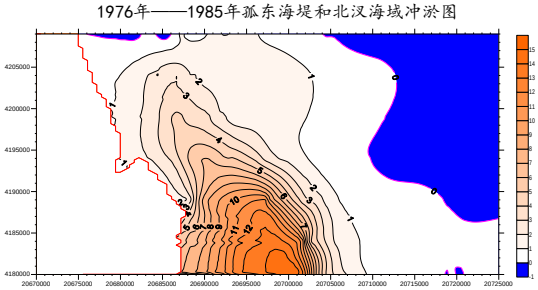


图 1　1976～1985 年孤东海堤及北汊海域冲淤图

从 1976 年～1985 年冲淤变化图可以看出:最大淤积厚度为 14.77m,位置在 CS24 断面上，1985 年黄河入海口门右侧沙嘴处，坐标为（20698889，4180586）；最大冲刷厚度为 0.52m，位置在 CS18 断面上，孤东海堤北侧海域，坐标为（20685555，4209000），1985 年水深 9.77m。冲淤总体表现为：因为 1976 年黄河改道清水沟流路，黄河入海口门随着大量入海泥沙的堆积造陆而不断淤积延伸，使得很多 1976 年的海域变成 1985 年的陆地，1985 年的黄河入海口门前和两侧沙嘴近海海域都发生了淤积。整个测量海域发生淤积的面积为 961.212km²，淤积量为 28.016 亿 m³，发生冲刷的海域面积为 293.095km²，冲刷量为 0.670 亿 m³，淤积面积占整个测量海域面积的 76.63%，淤积量是冲刷量的 41.815 倍。整体表现为淤积，总冲淤量为 24.347 亿 m³，平均淤积厚度为 2.18m。

在发生淤积的海域，淤积厚度在 0～1m 间的淤积面积百分比占 38.54%、淤积体积百分比占 26.24%；淤积厚度在 1～2m 间的淤积面积百分比占 24.12%、淤积体积百分比占 16.99%；在发生冲刷的海域，冲刷厚度在 0～0.5m 间的冲刷面积百分比达到近 100%、冲刷体积百分比也达到近 100%。

3.2　1985 年～1996 年冲淤分布情况

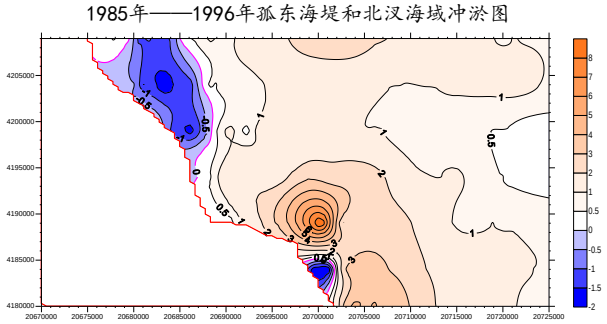


图 2　1985～1996 年孤东海堤及北汊海域冲淤图

从 1985 年～1996 年冲淤变化图可以看出:最大淤积厚度为 8.61m,位置在 CS22 断面上，1996 年汛后黄河入海口门前海域，水深 0.62m，坐标为（20700000，4189080）；最大冲刷厚度为 1.93m，位置在 1996 年汛后黄河入海口门南侧海域，坐标为（20700555，4183808），1996 年水深 4.05m。冲淤总体表现为：因 1996 年汛前实施了清 8 出汊工程，当年汛期利津站最大流量达到 4000m³/s，，2000m³/s 以上历时 21 天，入海口门在大量入海水沙的作用下在汛期迅速淤积延伸，入海口门前和沙嘴两侧近海海域都发生了淤积，孤东海堤前及北侧近海海域发生冲刷，最大处刷深达到 1.85m，在 1996 年沙嘴南侧海域也发生小范围冲刷。整个测量海域发生淤积的面积为 994.482km²，淤积量为 14.688 亿 m³，发生冲刷的海域面积为 97.900km²，冲刷量为 0.869 亿 m³，淤积面积占整个测量海域面积的 91.04%，淤积量是冲刷量的 16.902 倍。整体表现为淤积，总冲淤量为 13.819 亿 m³，平均淤积厚度为 1.27m。

在发生淤积的海域，淤积厚度在 0～1m 间的淤积面积百分比占 34.26%、淤积体积百分比占 60.47%；淤积厚度在 1～2m 间的淤积面积百分比占 45.11%、淤积体积百分比占 24.86%，即 85.33%的泥沙都淤积在淤积厚度 0～2m 范围内；在发生冲刷的海域，冲刷厚度在 0～1m 间的冲刷面积百分占 54.96%、冲刷体积百分比占 84.24%，即近 85%发生冲刷的泥沙都来自

冲刷厚度 0～1m 间。

3.3　1996 年～2006 年冲淤分布情况

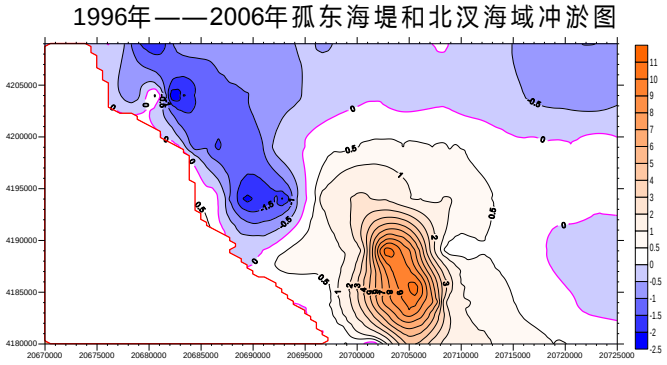


图 3　1996～2006 年孤东海堤及北汉海域冲淤图

从 1996 年～2006 年冲淤变化图可以看出:最大淤积厚度为 10.51m，位置在 2006 年 10 月黄河入海口门处，水深 0.05m，坐标为（20705555，4185566）；最大冲刷厚度为 2.48m，位置在 CS19 断面上，孤东海堤北侧海域，坐标为（20682222，4204020），1996 年水深 5.06m。冲淤总体表现为：入海口门在入海水沙的作用下淤积延伸，入海口门前和沙嘴两侧近海海域都发生了淤积，孤东海堤前及北侧近海海域发生冲刷，最大处刷深达 2.48m。整个测量海域发生淤积的面积为 624.207km²，淤积量为 8.950 亿 m³，发生冲刷的海域面积为 541.082km²，冲刷量为 3.166 亿 m³，淤积面积占整个测量海域面积的 53.57%，淤积量是冲刷量的 2.827 倍。整体表现为淤积，总冲淤量为 5.784 亿 m³，平均淤积厚度为 0.50m。

在发生淤积的海域，淤积厚度在 0～1m 间的淤积面积百分比占 70.94%、淤积体积百分比占 40.51%；淤积厚度在 1～2m 间的淤积面积百分比占 11.18%、淤积体积百分比占 16.27%，即 56.78%的泥沙都淤积在淤积厚度 0～2m 范围内；在发生冲刷的海域，冲刷厚度在 0～1m 间的冲刷面积百分占 80.58%、冲刷体积百分比占 88.94%，即近 90%发生冲刷的泥沙都来自冲刷厚度 0～1m 间。

3.4　2006 年～2015 年冲淤分布情况

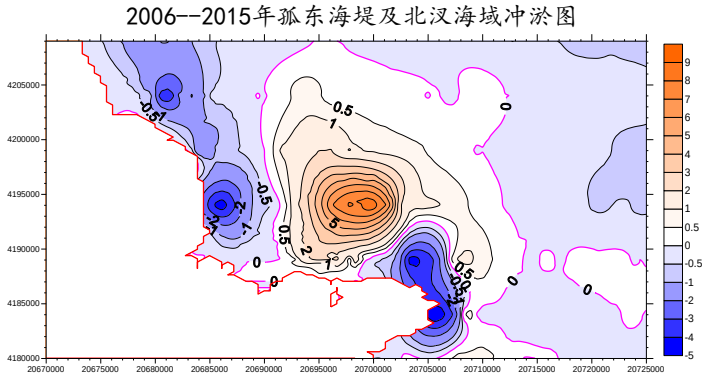


图 4　2006～2015 年孤东海堤及北汉海域冲淤图

从 2006 年～2015 年冲淤变化图可以看出:最大淤积厚度为 8.64m，位置在 CS21 断面，2015 年黄河入海口门前海域，水深 0.22m，坐标为（20699444，4194061）；最大冲刷厚度为 4.74m，位置在 CS23 断面上，2006 年汛后口门前海域海域，坐标为（20705556，4184101），

2006 年水深 0.53m。冲淤总体表现为：2007 年起，汊 3 下游 4km 的入海汊道发展成为黄河入海主汊，入海方向基本为正北向，黄河水沙由此新汊道入海，入海沙嘴不断淤积延伸，入海口门前和沙嘴两侧近海海域都发生了淤积；1996 年～2006 年淤积延伸形成的沙嘴，由于黄河入海口门改变而失去泥沙补给，加之口门突出于海中，海洋动力作用是沙嘴发生侵蚀后退，在孤东海堤前及北侧近海海域也发生比较大的冲刷，最大冲刷量为 4.47m，位置在孤东海堤前近海处 CS21 断面上。整个测量海域发生淤积的面积为 459.162km²，淤积量为 4.830 亿 m³，发生冲刷的海域面积为 653.156km²，冲刷量为 3.858 亿 m³，淤积面积占整个测量海域面积的 41.28%，淤积量是冲刷量的 1.252 倍。整体表现为淤积，总冲淤量为 0.972 亿 m³，平均淤积厚度为 0.09m。

在发生淤积的海域，淤积厚度在 0～1m 间的淤积面积百分比占 73.27%、淤积体积百分比占 46.74%；淤积厚度在 1～2m 间的淤积面积百分比占 10.91%、淤积体积百分比占 19.17%，即 65.91%的泥沙都淤积在淤积厚度 0～2m 范围内；在发生冲刷的海域，冲刷厚度在 0～1m 间的冲刷面积百分占 83.28%、冲刷体积百分比占 71.09%，即超 70%发生冲刷的泥沙都来自冲刷厚度 0～1m 间。

3.5　1976 年～2015 年冲淤分布情况

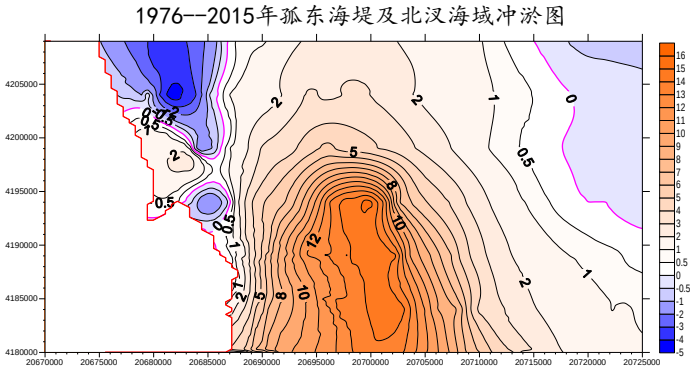


图 5　1976～2015 年孤东海堤及北汊海域冲淤图

从 1976 年～2015 年冲淤变化图可以看出:最大淤积厚度为 15.31m，位置在 CS21 断面附近，2015 年黄河入海口门前海域，水深 0.13m，坐标为（20699444，4193768）；最大冲刷厚度为 4.48m，位置在 CS19 断面上，孤东海堤北侧海域，坐标为（20682222，4204020），2015 年水深 6.73m。冲淤总体表现为：自 1976 年黄河改走清水沟流路以来，入海河道已经过几次改变，如 1976 年～1996 年改道前入海河道、1996 年～2007 年入海口门东北向的清 8 汊河道、2007 年～至今的汊 3 下游 4km 的入海方向近正北向的新入海河道，不同时期的入海河道的口门及两侧沙嘴由于黄河入海泥沙与海洋动力的共同作用而不断发生变化，当前期入海泥沙作用淤积延伸的沙嘴，由于黄河入海口门改变而失去泥沙补给，沙嘴就会发生侵蚀后退，总体上孤东海堤南侧海域由于黄河行河发生淤积，在孤东海堤前海域由于 1976 年～1985 年间的大量淤积，后期不断冲刷，1976 年～2015 年还稍有淤积，孤东海堤北侧近海海域由于无泥沙补给，发生比较大的冲刷，最大冲刷量也是发生在此处。整个测量海域发生淤积的面积为 1043.570km²，淤积量为 45.981 亿 m³，发生冲刷的海域面积为 210.737km²，冲

刷量为 1.922 亿 m³，淤积面积占整个测量海域面积的 83.20%，淤积量是冲刷量的 23.927 倍。整体表现为淤积，总冲淤量为 44.060 亿 m³，平均淤积厚度为 3.51m。

在发生淤积的海域，淤积厚度在 0～1m 间的淤积面积百分比占 19.55%、淤积体积百分比占 20.58%；淤积厚度在 1～2m 间的淤积面积百分比占 21.57%、淤积体积百分比占 15.67%，即 36.25%的泥沙都淤积在淤积厚度 0～2m 范围内；在发生冲刷的海域，冲刷厚度在 0～1m 间的冲刷面积百分占 70.80%、冲刷体积百分比占 56.75%，即近六成发生冲刷的泥沙都来自冲刷厚度 0～1m 间。

3.6 清水沟海域冲淤情况总结

通过对 1976 年～2015 年各年际间的三角洲海域冲淤情况的对比分析，可以找出一些共同点：

（1）一般发生淤积的位置都在口门附近海域，最大淤积厚度也出现在口门前海域，淤积的范围与入海泥沙的多少及口门附近海域的水深有直接的关系，即入海泥沙多，口门附近的水深小，淤积的范围就大，最大淤积厚度就小；反之，入海泥沙少，口门附近的水深大，淤积的范围就小，最大淤积厚度就大。

（2）一般发生冲刷的位置都发生在远离黄河行河口门或者海岸线凸出的浅水海域。

（3）在发生淤积或者冲刷的各厚度量级间（1m 为一个量级）一般都是 0～1m 间的范围所占的比例最大，一般都超过 50%，在此范围内淤积或者沉积的泥沙所占的比例也不少。经分析那些远离黄河入海口门的淤积厚度在 0～1m 的泥沙来源基本都是发生冲刷范围内的泥沙经过海洋动力作用起动，漂移搬运形成的。

（4）清水沟北侧孤东海堤前近海海域除了 1976 年～1985 年间发生比较大的淤积外，其余时段内都发生冲刷，10 年的时段内最大冲刷深度都在 2m 左右。

参考文献

[1] 郜国明,李书霞,张宝森,张防修,梁贵生.2013—2014 年凌汛期黄河头道拐断面冰塞演变及河床冲淤特性[J].中国防汛抗旱,2019,29(02):20-22.

[2] 马政委,侯登峰,路玉恒,靖秋焕,聂伟杰.调水调沙后山东黄河艾山至洛口河段主槽水位及冲淤变化分析[J].中国防汛抗旱,2012,22(04):37-41.

新型水位监测报警装置在防洪抢险中的应用

李元凤　　任秀娟

（焦作河务局武陟第一河务局，焦作 454000）

摘要：本文介绍一种新型水位监测报警装置。该设备在传统水位计的基础上，增加了淤泥自动清理装置，弥补了水位计在被淤泥淤塞后不能及时准确测量数据信息的缺陷，同时又加上了定位功能，在设备出现故障时能准确定位，及时检修，延长了设备使用寿命，避免了资源浪费，其工作原理是设备通过通讯模块与监测中心相连接，设备在进入水域后，清理淤泥装置自动工作；多组测距装置把测量的水位数据经数据处理器取得的水位平均值通过激光接收器和光源发射器传送至监测中心，当水位数据超过设定水位值时自动发出监测预警。该设备的研制延长了水位计的使用寿命，定位准确，提高了水位测量精度，节约了资源。

关键词： 清理淤泥；设备定位；多组测距；平均值

水位计是水利、石油、化工、电力等领域不可缺少的部件。虽然它体积相对很小，结构也很简单[1]，但它在汛情预测阶段提供了精准的水位数据，为险情精准判断提供了技术支撑，可见水位计在防洪抢险中的重要性。随着科学技术的不断革新，水位监测设备更是与时俱进，在传统水位计的基础上研制出了本文所述的新型水位监测报警装置。

1　研制背景

水位计适用于长期测量水库、河流、湖泊和坝体测压管等的水位，是监测水位变化的有效监测设备，水位计采用磁光编码原理进行测量，其测量精度高、没有温漂和时漂的影响，信号可接入计算机，实现水位变化的自动监测[1]。

在水位计测量水位时，设备进入河流、水库、河流、湖泊和坝体进行测量时，这些水域有大量的污泥，堵塞了水位计底部或进水口，导致设备损坏或失灵，造成水位测量不及时，不准确，且一旦堵塞，拆卸复杂，清理十分困难[2]；现有水位计不能定位，当水位计出现故障时，难以准确找到，导致水位计丢失需要重新采购，造成资源浪费。

2　现有水位计技术存在的问题

在防洪抢险中，水位测量是否准确及时对汛情前期能否准确预判起到至关重要的作用，尤其在洪水猛涨的紧急情况下测量水位对人身安全没有保障，且水位测量设备不能准确定位，淤泥一旦淤塞水位计底部，造成水位计损坏或者不能及时准确的反馈水位数据信息，难以满足时间紧迫的要求。水利工程中现有的水位计有浮筒式、水压式和超声波式等几种形式，也可连接有线和无线。在现有技术中，主要存在以下三方面的问题：

2.1　容易被淤泥堵塞

当水位计测量水位时，设备进入水域和坝体进行测量时，大量的淤泥容易堵塞水位计底部无法自行排出，造成进水口被淤堵导致设备损坏或失灵，造成水位测量不及时，不准确。

2.2　拆卸清理困难

水位计每过一段时间就要定期清理，在清理之前，需要先从水域中打捞上来，这中间水位数据不能得到持续测量。在清理水位计内部淤泥、通管及安装过程，过程繁琐复杂，大大增加了技术人员的劳动强[1]。

2.3　缺乏定位

清理水位计或者水位计检修时，需要把设备打捞上来，现有设备缺乏定位功能，增加了搜寻的难度，造成设备丢失或设备检修不及时。

3　新型水位监测报警装置设计及技术原理

根据水位监测过程中的出现的问题，对水位计进行了多次改进，分别使用蛟龙输送机清理设备内部淤泥，增加 GPS 设备定位[1]。（如图 1 所示）

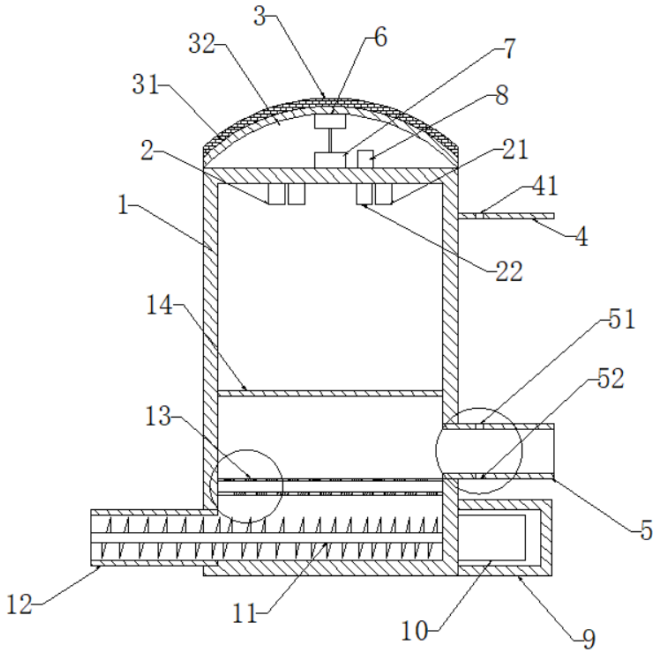


图 1　新型水位报警监测装置示意图

1-壳体	2- 测距装置	21-激光发射模块	22-激光接收模块
3-供电装置	31-光伏电池板	32-遮雨板	
4-承载板	41-光敏接收模块		
5-进水管	51-透孔	52-光源发射器	
6-蓄电池	7-数据处理装置	8-定位	
9-电机箱	10-电机	11-蛟龙输送机	12-排泥管
13-挡板组	14-浮板		

3.1　新型水位监测报警装置改进的目的

为了解决以上问题，在水位测量的过程中，经过多方探索实验，对水位计系统进行了改进[1]，研制出一种新型水位监测报警装置。该设备增加了自动清理淤泥和定位功能，方便实用，有效减轻了人员的劳动强度，同时也解决了水位计容易经常性被淤泥淤塞的问题[1]，延长水位计使用寿命，保证了水位数据测量的准确性。

3.1.1　安装蛟龙输送机自动清理淤泥

在水位监测设备的底座内部，安装一节排泥管，把小型的蛟龙输送机置于排泥管中，在水位计进入水域测量水位数据时，淤泥进入排泥管，蛟龙输送机就可以把水位计内部的淤泥自动清理出去，大大延长了水位计的使用寿命，节约了资源，同时也省去了经常性的拆卸清理水位计的繁琐程序，减轻了人员的劳动强度。

3.1.2　内部增设 GPS 定位功能

在水位计顶部内置 GPS 定位模块，增加了定位功能，当设备出现故障需要检修时能准确及时找到，节省了搜寻水位计的时间，避免了设备损坏检修不及时，保证了所测数据的准确性。

3.2　技术原理

水位监测设备通过通讯模块与监测中心相连接，在设备进入待测水域后，挡板组和浮板保持设备内水位的稳定，利用多组测距装置测量水位，经过数据处理器将测得的水位数据进行计算处理，求取平均值，最后利用激光接收器和光源发射器传送水位数据至检测中心，当水位值超过设定水位值时，自动报警。

4　成果的先进性和创新性

（1）本设备可以自行将设备内的污泥排出，解决了设备在工作过程中经常性被淤泥淤塞的问题，大大减少了故障出现的几率，延长了设备使用寿命；

（2）本设备增设定位系统。设备进水口设置有激光接收和发射器及透孔，在淤泥淤塞进水口时可以及时得到反馈信息，通过定位及时准确的找到设备，对设备进行检修，避免设备损坏造成水位测量不及时、不准确。

（3）本设备有多组数据测距仪和多个激光接收发射器，设备可以同时测量多组水位数据，并把数据传送至数据处理中心，经过数据处理求取水位数据平均值，提高了测量精度。

5　在防洪抢险中的推广应用

新型水位监测报警装置克服了水域内淤泥淤堵的技术难题，可以持续有效的提供精准的水位数据，可满足监控中心实时监测水情，及时发布预警信息，为汛情预判提供了科学依据. 该设备结构相对精简，性能稳定，操作方便，维护修理便捷，久耐度高，通过激光传送数据，适合偏远山区、交通不便地区以及特殊水域环境下水位监测的需要，可推广性强[2]。该设备实现了传统技术向现代化科学技术跨越的第一步，为汛情精准预判争取了宝贵时间。

参考文献

[1] 董文生,周志军.磁翻板水位计改进与应用[J].辽宁化工,2020,49(6):676-678.

[2] 宋富国,李平.防汛站远程水位检测及预警系统的研究[J].中国集成电路,2013(1-2):86-89.

[3] 孟辉,薛仓生,祝延金,朱琼,张锦堂.安徽省水文自动测报系统数据质量控制短板及对策[J/OL].中国防汛抗旱:1-3[2021-03-24].https://doi.org/10.16867/j.issn.1673-9264.2020438.

浅谈信息技术手段在水利工程中的应用

刘海松　　郭珊珊　　郭召云

（北京市密云水库管理处，北京 101500）

摘要：国内社会经济获得快速发展，配套基础设施也逐渐完善，水利工程作为惠民工程，是当前社会有序运转的支柱性工程。在兴建水利工程的时候，由于工程的特殊性，需要建设全过程的管理，优化措施提升施工质量。信息技术手段在建设与管理水利工程时具有积极意义，为实现管理水平提升和管理质量强化有着积极推动作用。本文重点研究在建设与管理水利工程中，信息技术手段应用的意义。通过分析水利工程施工建设与管理特点和信息技术应用现状，了解信息技术手段与水利工程施工建设与管理相结合为实现工程质量发展带来的作用。阐述建设与管理水利工程时，信息技术手段的应用措施。

关键词：信息技术；水利工程；建设管理；措施

建设与管理水利工程是有效控制水利工程施工质量的重要举措，伴随着我国水利工程的数量和规模持续增加，在兴建水利工程的过程中，技术方案和施工理念都趋向于成熟。但是建设与管理水利工程工作仍旧处于持续优化的阶段，所以要不断发现其中的问题，提出相应的解决方案，有序引导水利工程开展。建设与管理水利工程的时候，将现代信息技术引入其中，不仅可以深入管理水利工程盲区，还可以提高工程管理的科技水平，针对水利工程获取大量数据信息，具备很强的时效性。

1　水利工程建设管理特点和信息技术手段现状

1.1　水利工程施工建设管理特点

我国建设大型水利工程设施与管理工作正处于初期阶段，虽然已经获得了大量的成就，但是相比较于国外技术发展水平较高的国家而言，却存在略显滞后。我国地形复杂多样，兴建水利工程本身就需要克服诸多自然障碍，造成水利工程周期被拉长、工程量增加，投资量也持续上升。水利工程施工建设与管理时，需要快速收集与整理各类资料和数据，若是工作人员专业水平不高，职业素养较低，将会导致该工作面临着管理困境，降低水利工程施工建设水平。如今，水利工程施工规模和数量都不断增加，若是在建设与管理的过程中仍旧延续传统管理思路，将会水利工程施工建设带来严峻考验。信息技术建设与管理措施，对提升工程质量水平和管理能力存在很大促进作用，建设与管理水利工程时科学化应用信息技术，能够客服诸多问题，特别是收集与整理资料信息和工程管理的时候，将会获得良好的效果。所以，在新的时代背景下，创新水利工程施工建设与管理的思路和措施，是水利工程相关企业重要工作内容之一。

1.2　兴建与管理水利工程中信息技术应用现状

信息技术在水利工程建设与管理中，主要作用是收集各类数据信息资源，并且对数据信息资源展开合理化整理与处理。随着信息时代到来，各行各业都大力推广和广泛使用信息技

术，并且已经获得良好的使用效果。随着互联网技术的普及，计算机技术、现代通信技术等日新月异，无不显著强化了信息技术的功能和特性，为信息技术作用发挥和使用效率带来积极作用。就当前运用信息技术的手段看来，信息技术在处理信息数据的时候，方法具有多样性，可以根据信息数据类型的不同，提出具有针对性的问题解决方案，在各类计算机系统软件中通过对信息数据的有效使用，能显著提升水利工程建设与管理的科学性，以更加高效的手段完成信息处理。

2　信息技术在水利工程修建与管理中的优势

2.1　推动工程智能化管理，便于采集数据信息

水利工程施工管理中利用信息技术，可以将各类数据信息进行分散收集，管理的时候实现集中化，由此可以将水利工程系统划分成为河道处理系统、大坝管理系统和水文测量系统等多个部分，完成数据信息的分散收集与整理。在组织网络中，所有的子系统网络要具备独立的计算机系统，由此以来可以实现数据的分离，在确保信息数据不会出现掺杂的同时，为后期的信息数据集中管理提供方便。建设水利工程信息系统可以收集各类信息，并及时处理，为后期决策者决策提供方便。传统建筑工程施工设计与管理过多的依赖于人工，部分工作人员专业水平不高，导致最终的结果存在精确度不高的问题。采取信息技术可以转变人工收集与整理资料和数据所存在的不足，为工作人员提供衡量工作的指标。此外，利用信息技术强化水利工程施工建设与管理的抗干扰能力，保障结果的真实性。

2.2　保证水利工程图形绘制水平

信息技术在水利工程施工建设中的可以提升施工图纸绘制的便利性，也为更改施工图纸提供便利，在最短的时间内完成图纸修订。建设与管理水利工程，绘制图纸是尤为关键且重要的过程，在传统的水利工程设计阶段，绘制图纸有工作人员手工绘制，不仅浪费时间和精力，而且还存在中误差，为工程施工带来困扰。若是图纸出现问题，在进行修改的时候不得不面临多重麻烦，增加工作人员工作量。应用信息技术，可以在绘制图纸的时候利用 CAD 软件完成，为绘图工作效率提升提供支持，只需要将整体结构以及相关参数录入其中，便可以在最短时间内绘制出工程设计图，在降低工作量的同时，提升图纸设置质量。

3　建设与管理水利工程时应用信息技术的措施

3.1　网络技术的应用

网络技术是整合既有资源的重要手段，网络技术主要是指计算机系统技术在持续升级与更新的过程中，通过使用网络技术以保证建设与管理水利工程工作朝向科技化和智能化方向发展。计算机系统技术与建设管理水利工程存在直接联系，例如检测河道水文情况和处理河道数据信息等。高效整合水利工程施工与管理和网络技术，能够在最短的时间内获取信息数据，并且对信息数据进行整理。使用网络技术一方面可以强化收集与整理信息数据的效率和能力，另一方面还可以为水利工程施工人员作出决策提供支持，为保证决策结果的科学性和有效性作出保证。由此可见，建设与管理水利工程的时候，要特别注重网路技术的应用，搭建起网络技术平台，将信息技术在水利工程施工建设中的积极作用发挥出来。

3.2　数据库技术应用

在很多专业技术人员的思想中，普遍认为数据库技术是开发软件的基础和核心技术，不仅如此，在各项目管理时也离不开数据库技术的支持，通过数据库可以将水利工程中的资料、信息等数据进行存储与调取，方便工作人员工作中信息获取。换言之，在建设与管理水利工程的时候，难以脱离数据库技术而单独完成。建设与管理水利工程的时候，要灵活性的使用数据库技术提升管理质量与建设水平，作出有效辅助作用。建设水利工程的过程中，工程质量监督系统和检测系均具有很强的专业性和技术性，所以在运行的过程中需要拥有足够的数据支持。若是数据信息支持力度不足，将会造成系统运行的稳定性和可靠性大打折扣。由此可见，在水利工程施工建设当中强化对数据库技术的应用，可以将水利工程施工理念和信息资源进行共享，保证信息技术在水利工程施工建设中的专业度。

3.3　提高计算机信息技术应用广度和深度

在社会的各个领域中，计算机信息技术被广泛使用并且取得显著成效，在建设与管理水利工程的过程中应用计算机信息技术，能够为实现现代化管理水平具有积极作用。水利工程系统相机完成了数据库、局域网、电子政务等子系统的建设与优化，信息管理系统和网络平台构建，可以在发布、存储、查找和处理信息数据的时候提供便捷，增加效率。合理使用扫描仪设备和数码相机等电子产品，能够保证建设与管理水利工程可视化，由此也表示水利工程建设管理工作正式进入信息化时代。

4　结束语

综上所述，在建设与管理水利工程的过程中强化采集与传输信息数据能力，对收集的数据信息展开科学化处理，可以实时获取水利工程施工建设中的相关信息数据以提升管理质量。在本世纪发展中，信息化技术是最为主要的趋势，只有高度重视在水利工程施工建设中将信息化技术合理运用，才可以确保在施工过程中高效整理各类资源，保证资源分配合理性与高效性，进而实现水利工程事业快速发展。

参考文献

[1] 李彬. 水务系统信息化建设平台选择的思考——以水利工程运行维护工作为例[J]. 北京水务, 2019(01):43-46.

[2] 邱志章, 朱连伟. 水利工程标准化管理信息化建设模式构思与实践——以浙江省为例[J]. 浙江水利科技, 2019(01):58-60.

[3] 朱立松, 郑勇刚, 赵斌. 3S 技术在水利工程管理和保护范围划界中的应用——以兰溪市为例[J]. 矿山测量, 2020(01):39-42.

[4] 马瑞、邱鑫、张雄、徐志敏、刘成堃. 3DGIS+BIM 技术助力水利工程全生命期智慧化应用[J]. 中华建设, 2020(01):75-78.

[5] 李国凡. 论信息技术手段在水利工程建设管理中的应用[J]. 工程技术研究, 2019(12):47-48.

[6] 刘业森,陈胜,刘媛媛,郜银梁,曹大岭.近年国内防洪减灾信息技术应用综述[J].中国防汛抗旱,2021,31(01):48-57+66.

[7] 王毅,刘洪伟,霍风霖.新形势下北京市防汛抗旱及水旱灾害防御信息化建设思考[J].中国防汛抗旱,2019,29(03):5-8.

澳大利亚水敏感城市设计元素及启示

董芳睿[1,2]　孙　涛[1,2]　李　辉[1,2]　董　喆[1,2]　张　盼[1,2]　苏亚鲁[1,2]

（中国水利水电科学研究院，北京 100038；2.水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心，北京 100038）

摘要：随着世界范围内，各国城市化进程的明显加快，区域土地利用类型也随之发生了剧烈的改变。城市化进程及土地利用类型的变化引发了雨洪灾害、水土流失、河湖污染等生态环境问题。水敏感城市设计的概念逐步在澳大利亚演化并最终形成，该概念也被澳大利亚应用于适应性环境管理中。本文从水敏感城市设计的发展历程、设计原则及目标出发，简要介绍水敏感城市设计包含的元素及其取得的综合效益，并提出该设计理念为我国城市建设与生态系统的和谐发展带来的诸多启示。

关键词：水敏感城市；雨洪管理；水土保持；设计理念；启示

1　前言

随着各国城市化进程明显加快，城乡空间急速扩张，这些因素为人类的生存环境带来众多负面影响[1]。例如，暴雨后城市的内涝积水问题，以及城区河流在雨后水位暴涨，从而发生洪水灾害等现象为人们所熟知[2]。这是因为城市建设通过植被清理、改变土地利用模式等极大地降低了土地的渗透性，改变了本应参与水循环的径流流向[3]。为了解决这些问题，人们试图通过各种技术手段恢复城市地表的自然状态。近年来，在澳大利亚形成的水敏感城市设计（Water Sensitive Urban Design, WSUD）具有诸如降低碳排放、提高城市宜居性以及地表保水等功能，能有效地在城市开发建设过程中，维持自然水循环完整性，力求实现人与自然的和谐相处，是现代社会应用广泛、实用的技术之一。目前，国内外对水敏感城市设计的研究多聚焦于其在雨洪管理或水治理、水供应上带来的益处。我国目前的城市规划仍主要基于传统的规划理念，与近年来倡导的环境友好型社会建设的目标之间还存在一定的差距，澳大利亚水敏感城市设计的理念能够为我国城市宜居性的提升及生态建设提供借鉴和思路。本文从水敏感城市设计的发展历程、设计原则及目标出发，简要介绍水敏感城市设计取得的综合效益，并提出该设计理念为我国城市建设与生态系统的和谐发展带来的启示。

2　澳大利亚城市水设计发展历程

澳大利亚城市水设计发展历程主要包含六个阶段，分别是供水城市、污水管理城市、雨水管理城市、水系管理城市、水循环城市、水敏感城市[4]。第一阶段的供水城市是为了满足市民基本生活需求；第二阶段污水管理城市的建设是为了提高公共卫生安全，通过铺设下水道实现污水排放的综合管理；第三阶段的雨水管理城市则是在城市急速扩张，土地硬化且下水道功能有限的条件下发展而来的，通过增设雨水管网对雨水进行初步过滤，实现污染治理等；水系管理城市是水系统发展的第四阶段，是在满足居民供水和提供良好健康的生活条件基础上，考虑市民的休闲娱乐和人文需求而形成的水管理系统；第五阶段的水循环城市是根

据城市发展进程和人口增加造成的水资源短缺问题而提出。在这个阶段中，倡导雨水储存、生活用水重复利用以及多水源分质供水。水敏感城市是目前澳大利亚水系统发展的最终阶段，该阶段不仅整合了前面各阶段所具有的功能，还旨在解决其他问题（如沉积物、污染源随径流扩散），以及提高城市面对气候变化造成灾害的抵抗能力和恢复能力。

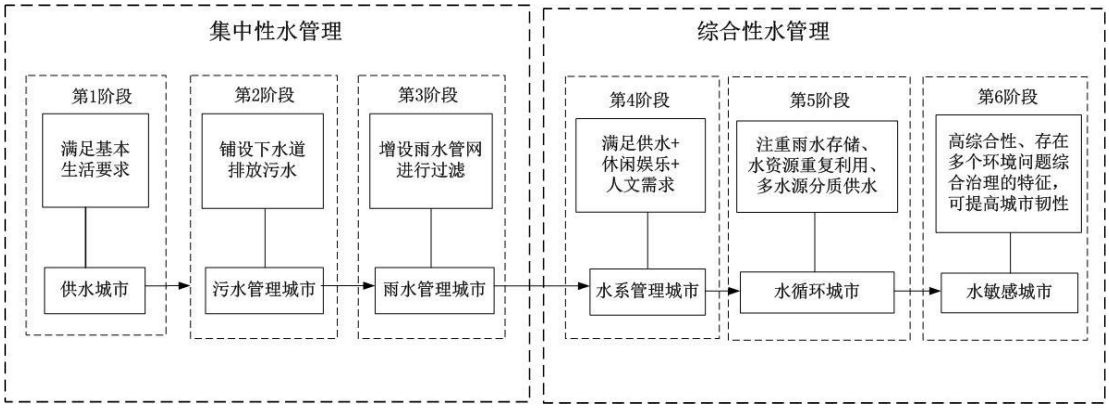


图 1　澳大利亚城市水设计发展历程

在传统的雨水管理过程中，为了达到城市区域快速排水的目的，径流总是未经处理便被各种输水管道直接引向河流。然而，在雨水汇流和排放途径中，径流会因接触到不同污染源，最终造成河流的水文扰动和污染物输入[5]。为了解决这些问题，人们提出水敏感城市设计的概念。在英国，他们将水敏感城市设计这一概念应用于可持续城市排水系统（SUDS），而在美国则是低影响开发（LID）[6]。虽然该设计在不同国家的应用方向存在细微差异，但是仍可以清楚地发现水敏感城市设计与传统雨水管理的区别。

根据 Dietz 和澳大利亚堪培拉的政府环境和规划局[7, 8]，水敏感城市设计的应用旨在通过增加植被或铺设透水铺装来增加地表土壤的渗透性，使雨水可以在原地下渗，这样既可以提升雨水径流的水质，也确保大部分径流可以被截留，并且留存下来的雨水经处理后可以留作其他用途。不同于先前的城市设计，此概念在设计过程中对水给予更多的关注。因此，WSUD 被认为是改善城市环境的更明智的方法。

总的来说，水敏感城市设计（WSUD）是指在保持城市完整水循环的条件下进行城市规划的综合管理方法[9-11]。此概念分为水循环和城市设计两个部分，融合了社会科学和环境科学[10]，开启了城市水循环管理的一种新模式。

3　水敏感城市设计简介

3.1　水敏感城市设计的原则及目标

水敏感城市设计的原则是城市水循环的保护、管理和可持续发展。为了让澳大利亚各州的水敏感城市设计措施能够遵循其基本原则，澳大利亚水敏感城市联合指导委员会颁布了《Evaluating Options for Water Sensitive Urban Design》，并制定了水敏感城市设计的执行框架，该框架包含了前期的规划评估（确定目标、初步场地分析、工程设施的选择）、场地规划设计、中期专家及委员会评估以及最终的实施文件编制等步骤（图 2）。依据这个框架，各级政府也分层进行了发展规划的细化（图 3）。此外，WSUD 系统还注重降雨与景观

植被之间的相互作用，通过增加绿化来改善土地渗透性可以作为一个目标。为实现这几个目标，水敏感城市设计原则的实现，需要个人、企业和政府等全方面的参与和努力[12]。各州政府制定了符合该州情况的发展目标及措施，主要涉及水体收集、合理利用和水质监测等方面。例如，根据澳大利亚南部阿德莱德地方规划[11]，水体收集包括了自然环境和人类生活用水，诸如屋顶雨水、不透水地表的径流以及浴室或厨房的生活用水的收集。合理利用是指通过提供经过处理的废水或雨水来满足人们的用水需求，并鼓励使用节水器具[9, 10]。水质监测是水敏感城市设计中最重要的因素，因为它关系到水生生态系统的健康（地下水排放）并影响水循环（保持水体流动）[8]。综上，澳大利亚水敏感城市设计系统可主要分为五大块，即渗透系统、过滤系统、传输系统、蓄水及应急系统，以及教育系统（提高公众认知和配合）[13]。

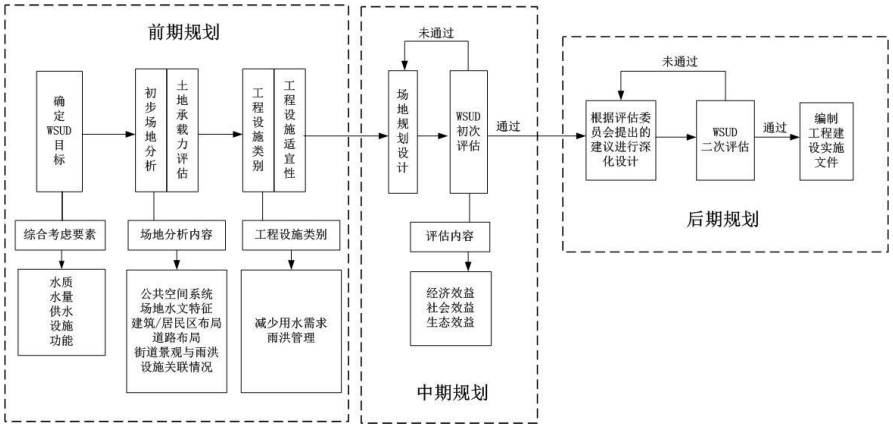


图 2　澳大利亚水敏感城市设计执行框架

Figure 2 the framework of water sensitive urban design in Australia

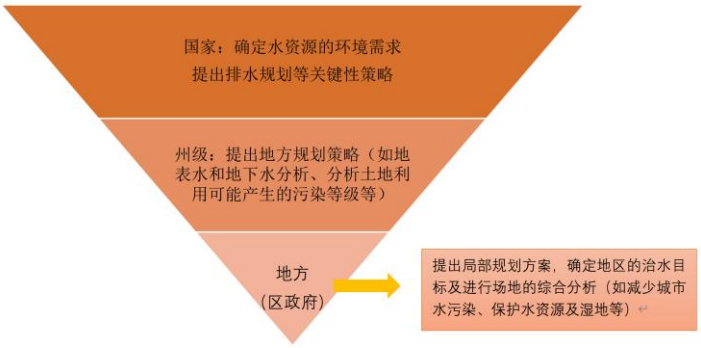


图 3　澳大利亚各级政府对水敏感城市设计发展规划的分工[14]

3.2　水敏感城市设计在澳大利亚的应用

澳大利亚水敏感城市设计有助于缓解热岛效应、水污染、城市水土流失严重等问题，问题的解决方案主要通过以下途径来实现：

（1）热岛效应：通过景观植被将雨水截留或吸收用作蒸散（增加空气湿度）、下渗（补充土壤水分）相结合的途径，有效减少城市热量，也有利于提高人体热舒适性[6]。

（2）城市水污染及洪涝问题：水敏感城市设计通过设置雨水箱和增加地面渗透性降低径流的产生和流动，这些措施有效减少水污染，并降低洪灾风险。

（3）水土保持：水土保持策略秉承“将对地表产生的扰动最小化就是对环境最有效保护”的原则[15]。水敏感城市设计的各种措施，通过维持城市区域的基本水循环和增加植被的方法有效降低人为因素对生态环境的影响，也有效地减少城市水土流失问题。

澳大利亚的水敏感城市设计的应用往往根据不同的城市条件，有不同的目标和实施方案。例如，澳大利亚的西澳州和堪培拉的问题是供水的不足，但前者侧重于增加雨水的下渗以维持地下水供应[16]，而后者则注重雨水收集以提供日常生活用水[17]。在昆士兰州，水敏感城市设计主要侧重于洪水管理。

2014 年布里斯班城市规划中列出的详细水敏感城市设计方案（WSUD）包括在街道（如中央分隔带或人行道）、公园、停车场和街区修建植草洼地；在住宅区的屋顶、排水管和生物滞留系统上安装雨水池；在下水道的入口和出口安装截水设施；在不透水区域（包括道路和集水区）下铺设管道，以及在道路上更换透水材料。这些措施具有以下效果：植被洼地被放置于不透水区域和排水管网之间，可提高地表土地的渗透性并去除中粗沉积物，有助于减少对受纳排水区的影响；此外，在坡地上恢复植被可以有效降低雨水汇流速度，确保洼地不会被淹没；生物滞留池可用于去除可溶性或细颗粒污染物，但需要花费很长时间来储存和处理这些污水。道路上透水材料的变化包括一些浅挖沟的增加，以及道路边缘区域高透水性土壤的使用。

图 4　水敏感城市设计概念图

（资料来源：https://watersensitivecities.org.au/solutions/case-studies/及文献[18, 19]）

水敏感城市设计在布里斯班的应用表明，暴雨径流中大部分未经处理的径流的大幅减少，有效改善汇入莫顿湾的水质；同时，中上游水土流失状况得到有效控制，有效降低了沉积物输移量，减缓了莫顿湾高程逐年淤高的情况[20]。此外，该设计有助于最大限度地利用现有植被以增加城市气候效益，并具有为当地动物提供栖息地和增加生物多样性的优势[21]。

根据纪莎莎等[21]人及昆士兰东南部健康水道的报告来看，水敏感城市设计在布里斯班应

用后，有助于清除河道中总氮的污染物负荷，约 2600 元/每公斤每年；每年节约修复和维护下游航道环境的资金约 100-1,5000 元人民币/每米；帮助节约 130 升/每人天的需水量，同时帮助缓解城市热岛效应（约降低体感温度 1-2℃）。

4 水敏感城市设计的启示

总的来说，澳洲的水敏感城市设计采取的措施（元素）可以分为五大系统，分别是渗透系统、过滤系统、传输系统、蓄水及应急系统以及教育系统。相应的措施可以组合或单独应用于不同的土地利用类型（如建筑、小区及城市道路）。表 1 列出了澳大利亚水敏感城市设计主要措施的分类、措施适用场景、以及取得的各方面效益（如径流治理、降低用水需求、恢复生态等）。

表 1 澳大利亚水敏感城市设计措施（元素）的分类、措施适用场景、取得的各方面效益

系统名称	涉及措施（元素）	适用场景	取得的效益
渗透系统	生物滞留洼地	建筑和小区	减缓产汇流速度及径流量，以减少对土地的冲刷，泥沙输送及径流污染等；
	生物滞留盆地	建筑和小区	
	渗水路面	/城市道路	补给地下水
过滤系统	沉积盆地	河岸/公园	
	砂过滤器	城市道路	
	人工湿地	河岸/花园	减少泥沙侵蚀和输移造成的河岸淤积
	绿色屋顶/雨水花园等	建筑和小区	
传输系统	洼地	河岸	减缓径流流动速度及径流流量，以减少对土地的冲刷，泥沙输送及径流污染等；
	缓冲带	城市道路/河岸	
	河道植被修复	河岸	
蓄水及应急系统	池塘和湖泊	建筑和小区	减缓产汇流速度及径流量；降低人们用水需求，减缓地下水开采
	蓄水层储存和修复系统		
	滞洪盆地等		
教育系统	政府、州及区级机构组织教育宣传	城市居民	提高人们环境保护意识，减少径流的非点源污染及生活垃圾堆放等造成的排水管道淤积等问题

4.1 对居民及水务专业人员的启示

水敏感城市设计的理念在澳大利亚实施的初期还比较新颖，实施过程中通常存在实施技术、经济、社会体制、法规建设等方面的认知差距[22]。以澳大利亚南部的阿德莱德为例，对当地具有不同学历、工作背景的人群进行调查显示，当地的开发人员、工程顾问、水工业团体对 WSUD 相关知识及技术上的认识存在差距；而对部分社区居民来说，一部分人认为水敏感城市设计的实施会给家庭带来的额外费用，而一小部分人希望参与水敏感城市设计的改进。此外，相关研究还调查了社区居民对公共健康风险的感知，居民对 WSUD 元素的技术理解以及他们对不同 WSUD 措施的接受程度（喜好度）等，以促进水敏感城市设计的推广使用。

通过对澳大利亚水敏感城市设计的理念、经验和实践的研究，我国水敏感城市设计可着重关注以下几个方面：

（1）在政策方面，政府可制定强有力的基础政策，鼓励开发人员在生产建设项目中积极主动应用水敏感城市设计措施；此外，及时收集、整理有关水敏感城市设计相关知识，提升水利工作人员的技术水平，提高相关设计、工程实施的效率和质量；

（2）需要对水敏感城市设计措施进行长期收益和成本的评估。建议全面了解水敏感城市设计维护需求、措施实施后的监控及绩效评估指标；

（3）水敏感城市设计需要社区居民的参与。加强社区、开发商、地方政府之间的沟通，让民众积极参与水敏感城市设计的教育科普活动，并提供建议反馈，推动居民根据自身经验和经历，积极参与到水敏感城市设计系统的运行和维护中。

（4）加强模型支撑。通过建模的方式对区域水敏感城市设计措施的有效性进行评估。在建模过程中,需要加入当地的城市化建设情况、气候条件、土壤质地、选用的水敏感城市设计措施等条件。根据建模结果对选取措施的尺寸，应用范围等进行适当的调整、规划。

4.2　对城市水土保持的启示

水蚀是我国常见的造成水土流失的一种形式。其中水力侵蚀可以发生在一切有坡度的土地上，此外强降雨也会造成水力侵蚀[23]，水土流失也存在于沿海地区、农村和城市[23]。水土流失的范围之广，影响之大已成为阻碍我国生态可持续发展和经济发展的因素之一[24]。

同澳大利亚水敏感城市设计的主要目的一致，国内水土保持工作的重点之一也在于雨水控制和利用。中国采取的防治措施通常是基于径流治理（减缓径流速度、减少坡地径流量）和土壤吸水、保水、坡面抗冲能力等方面进行[25]。但是实施中常存在以下几个方面的问题：

（1）生产建设项目数量众多且集中，水保工作被重视程度不够，城市水保措施被交互破坏[26]，生产建设项目造成的地表扰动易受天气原因影响（如暴雨、大风等）

（2）城市水土流失隐蔽性强，城市建设使地表径流被建筑物分割、阻隔，难以形成完整的水循环，地面植被存活率低 [27]。

（3）城市垃圾、废弃物污染严重，居民垃圾、工厂废水（水污染）随着径流流动污染自然水系或侵蚀土壤。

澳大利亚水敏感城市的先进理念和成功案例，为解决相应的城市洪涝、雨水径流污染、水资源紧缺、热岛效应等问题和提高城市环境质量提供大量参考经验，也可为我国水土保持工作的开展带来如下启示：

（1）澳大利亚的水敏感城市设计不仅为城市建设带来表 1 所列出的径流治理、降低用水需求、恢复生态等益处，也应用于生产建设项目建设过程中及运维期间的生态可持续性。澳大利亚的生产建设项目在施工阶段通常会有意识地就地取材[15]，如通过碎木覆盖、植树种草、开挖取材基岩并构建 U 型槽等方式减少砌石方量，使土地起码可以维持原有的排水能力。

（2）WSUD 有助于改善目前城市的治理雨水径流对土壤的冲刷、中上游沉积物转移导致的河道淤积等问题，对减少城市水土流失起到一定作用，在相应建设项目水土保持方案设计中予以考虑；同时倡导项目施工过程中加强水土保持措施的应用。

（3）WSUD 倡导个人、企业及政府的共同努力，建议调动利益相关各方参与城市水土保持工作的积极性。

5　结论

水敏感城市设计是缓解澳大利亚城市地区一系列水问题和相关灾害的新方法，其核心是可持续的城市水循环。通过引进水敏感城市设计理念，分析澳大利亚水敏感城市设计的成功

案例，提出一些可供我国参考的经验，对于我国城市设计和生态建设具有一定借鉴意义。

参考文献

[1] Walsh C J, Fletcher T D, Burns M J, et al. Urban Stormwater Runoff: A New Class of Environmental Flow Problem[J]. Plos One, 2012,7(9):e45814.

[2] Voisin J, Cournoyer B, Vienney A, et al. Aquifer recharge with stormwater runoff in urban areas: Influence of vadose zone thickness on nutrient and bacterial transfers from the surface of infiltration basins to groundwater[J]. Science of the Total Environment, 2018.

[3] Lee J, Pak G, Yoo C, et al. Effects of land use change and water reuse options on urban water cycle[J]. 环境科学学报(英文版), 2010(6):923-928.

[4] 段梦, 齐珊娜, 屈凯, 等. 基于水敏感城市框架下城市水系统综合管理评价方法研究——以西咸新区沣西新城为例[J]. 给水排水, 2019,v.55; No.453(01):48-55.

[5] Yang R, Cui B. Framework of Integrated Stormwater Management of Jinan City, China[J]. Procedia Environmental Sciences, 2012,13(none):2346-2352.

[6] Coutts A M, Tapper N J, Beringer J, et al. Watering our cities: The capacity for Water Sensitive Urban Design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context[J]. Progress in Physical Geography, 2013,37(1):2-28.

[7] Dietz M E. Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2007,186(1-4):351-363.

[8] Environment, Planning and Sustainable Development Directorate. Water Sensitive Urban Design Review Report[R].2014.

[9] Wong T H F. An Overview of Water Sensitive Urban Design Practices in Australia[J]. Water Practice & Technology, 2006,1:1-8.

[10] Wong T H F. Water Sensitive Urban Design - The Journey Thus Far[J]. Australian Journal of Water Resources, 2006,10(3).

[11] Department of Planning and Local Government. Water Sensitive Urban Design Technical Manual for the Greater Adelaide Region[R].2010.

[12] Morison P J, Brown R R. Understanding the nature of publics and local policy commitment to Water Sensitive Urban Design[J]. Landscape & Urban Planning, 2011,99(2):83-92.

[13] 刘焘玮. 基于雨水管理视角的LID与WSUD对比研究[J]. 建筑与文化, 2021(01):93-96.

[14] 穆文阳. 澳大利亚“水敏感城市设计”概述及启示[J]. 现代园艺, 2016(04):106-107.

[15] 田颖超. 澳大利亚水土保持工作的启示[J]. 河南水利与南水北调, 2010(05):42-43.

[16] Department of Water and Environmental Regulation. Urban Water Design[R].2018.

[17] Beecham S, Chowdhury R. Effects of changing rainfall patterns on WSUD in Australia[J]. Water Management, 2012,165(WM5):285-298.

[18] Beecham Simon, McIntyre Elizabeth, 崔玉忠. 用透水性路面改善城市径流的质量[J]. 建筑砌块与砌块建筑, 2016(05):11-14.

[19] Hoban A. Water Sensitive Urban Design Approaches and Their Description[J]. 2019:25-47.

[20] Lovelock C E, Bennion V, Grinham A, et al. The Role of Surface and Subsurface Processes in Keeping Pace with Sea Level Rise in Intertidal Wetlands of Moreton Bay, Queensland, Australia[J]. Ecosystems, 2011,14(5):745-757.

[21] 纪莎莎, 戴栋超, 任咏. 布里斯班水智慧城市建设管理模式及其启示[J]. 规划师, 2020,v.36;No.304(04):91-96.

[22] Sharma A K, Pezzaniti D, Myers B, et al. Water Sensitive Urban Design: An Investigation of

Current Systems, Implementation Drivers, Community Perceptions and Potential to Supplement Urban Water Services[J]. Water, 2016,8(7).
[23] 熊晓姣, 张家来, 闫峰陵, 等. 国内外水土流失与土壤退化现状及特点分析[J]. 湖北林业科技, 2006(4):41-44.
[24] 王彪东, 单晓翠. 我国水土流失现状和防治对策[J]. 农业与技术, 2016,36(05):83-84.
[25] 熊晓姣, 张家来, 闫峰陵, 等. 国内外水土流失与土壤退化现状及特点分析[J]. 湖北林业科技, 2006(4):41-44.
[26] 郭东. 城市水土流失和水土保持措施探讨[J]. 智能城市, 2020,6(03):121-122.
[27] 郝永宏, 郝亮亮. 城市水土流失和水土保持措施探讨[J]. 科技创新与应用, 2020(33):122-123.

赤水河干流水沙变化及其与植被覆盖关系探讨

闵　毅[1,2]　　黎　睿[1,2]

（1. 长江科学院流域水环境研究所，武汉 430010；2.长江科学院流域水资源与生态环境科学湖北省重点实验室，武汉 430010）

摘要：为研究植被覆盖对径流、泥沙的影响，用统计学方法对赤水河流域赤水河站、赤水站 2003——2016 年共十四年实测降水、径流、泥沙资料进行分析与趋势检验，结果表明：①赤水河干流降水主要集中在 5~9 月，径流量和输沙量同样集中在 5~9 月，5~9 月既是气象意义上的雨季也是水文意义上的丰水期；②赤水河干流径流量、输沙量都有显著的上升和下降波动，突变年份不完全一致；③在治理前后，输沙模数显著减少，而径流量略有增加，这使得含沙量显著降低；④植被覆盖的增加对赤水河站的影响大于赤水站。

关键词：径流；输沙；植被覆盖

1　概况

1.1　流域概况

赤水河是长江上游南岸一级支流，发源于云南省镇雄县，流经云南、贵州、四川三省 16 个县（区、县级市），干流全长 436km，天然落差约 1580 m，平均坡降 3.7‰，水流湍急[0]。流域面积 21010.52km²，流域内水系发达，支流众多，主要支流有盐津河、桐梓河、古蔺河、大同河、二道河、白沙河、母享河、五马河、习水河等[1]。

赤水河流域位于亚热带湿润地区，多年平均降水量 915~1059mm，空气湿度大，蒸发量小，径流系数大。赤水河是典型的雨洪河流，降水主要由径流形成，年内 5~9 月为丰水期，降水量、径流量占均全年总量的 65%以上；暴雨多发生在夏季 6、7 两月，且降水集中在短时段内，强度大，对土壤的冲刷力强[0]。

从河源到茅台镇为上游，河长 224.7km，落差 1274.8m，流域面积 8003km²，平均纵比降达到 5.67‰，两岸海拔普遍在 1000——1800m，由于该段地面坡度大，平地少，人们加强了对坡耕地的开垦，森林覆盖率只有 15%，造成了大量水土流失[0]。从茅台镇到赤水市为中游，河长 157.8km，落差 182.9km，流域面积 8619km²，平均纵比降为 1.16‰，地形较河源区平坦，人类对坡耕地的开垦比河源区弱，森林覆盖率上升到 30%[0]。从赤水市到河口为下游，河长 54km，落差 16.3m，流域面积 4388km²，平均纵比降为 0.302‰，此段进入四川盆地，两岸开阔，地势平坦，人们对坡地的开垦进一步减弱，由此森林覆盖率上升到 45%，沿河两岸甚至高达 70%[0]。

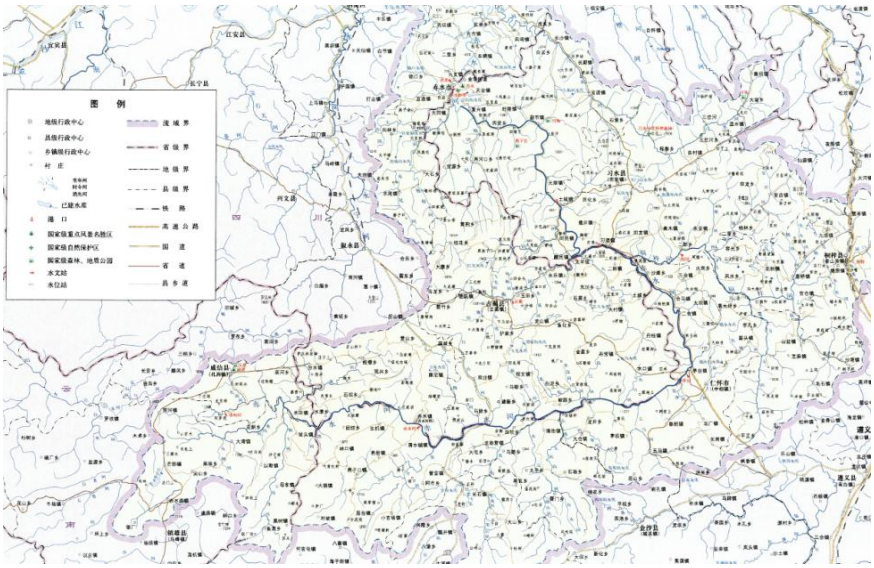


图 1　赤水河流域图

1.2　水土流失与植被覆盖情况

赤水河流域水土流失面积 9520.49 km²，占土地总面积的 46.58%，其中轻度流失 4400.35 km²，占水土流失面积的 46.22%；中度流失 3710.06 km²，占水土流失面积的 38.97%；强烈流失 1277.51 km²，占水土流失面积的 13.42%；极强烈流失 130.50 km²，占水土流失面积的 1.37%；剧烈流失 3.42 km²，占水土流失面积的 0.04%。年均土壤侵蚀总量约为 0.21 亿 t，年均土壤侵蚀模数 2300 t / km²，是长江流域水土流失较为严重的地区之一，属国家级水土流失重点治理区[0]。

进入 21 世纪以后，地方政府加大了赤水河流域水土保持建设，在赤水河上中游大力推进退耕还林，减少了对流域内坡耕地的开垦，增加了植被覆盖，在一定程度上减轻了水土流失。特别是从 2002 年到 2009 年，流域内林地与灌木面积显著增加，同时耕地与草地面积减少，且前者增加的面积约等于后两者共同减少的面积[0]。2002 年、2009 年赤水河流域土地利用类型面积见表 1。

表 1　2002 年、2009 年赤水河流域土地利用类型面积

土地类型	面积（km²）		占流域面积比例（%）		增加量	
	2002	2009	2002	2009	面积（km²）	占比（%）
耕地与草地	9278.4	7702.9	47.48	39.42	-1575.5	-8.06
其他	419.07	428.42	2.14	2.2	9.35	0.06
林地与灌木	9843	11409	50.37	58.39	1566	8.02
合计	19540	19540	100	100		

2　数据与方法

2.1　数据来源

本研究所用数据来源于长江流域水文资料赤水河部分和遵义市水资源公报（2002~2006,2007~2016），选用赤水河、赤水两站 2003~2016 年的逐月降水、径流、输沙

数据。

赤水河站位于贵州省毕节市七星关区清水铺镇，赤水河上游干流区，距离河口 312km，集水面积跨越云南、贵州、四川三省，处于整个流域的西南部。赤水站在赤水河站的下游，位于贵州省遵义市赤水市市中街道，赤水河中游与下游交界，距离河口 54km，处于整个流域的北部。两站基本信息及水沙特征统计见表 2。

表 2　赤水河干流各水文站水沙统计值0

站名	赤水河	赤水
资料长度	2003——2016	
河段	上游	下游
控制集水面积（km²）	3414	16622
多年平均降水量（mm）	699	1170
多年平均径流量（108m³）	14.2	69.2
多年平均径流深（mm）	416	416
多年平均输沙量（104t）	70.8	257
多年平均输沙模数（t/km²*a）	207	155

2.2　分析方法

2.2.1　月降水相对系数

旬降水相对系数由冯智文于 1987 年提出[0]，其意义是某旬降水量与该地多年旬平均降水量的比值，比值的大小反映了该旬降水量的相对多寡。旬降水相对系数计算公式简单，物理意义明确。

首先根据某流域(或某站点)计算该流域的多年旬平均降水量 $\overline{P}$，任一旬的降水量为 P_i，K_i 为该旬的降水相对系数，当 $K_i \geq 1.5$ 且 $K_{i+1} \geq 1.5$ 时，认为第 i 旬是雨季的开始。计算公式如下：

$$K_i = P_i / \overline{P} \qquad (1)$$

本研究对此法进行改进，以多年月平均降水量为 $\overline{P}$，任一月的降水量为 P_i，$K_i = P_i / \overline{P}$ 为该月的降水相对系数，当 $K_i \geq 1.0$ 且 $K_{i+1} \geq 1.0$ 时，认为第 i 月是雨季的开始；当 $K_j < 1.0$ 且 $K_{j+1} < 1.0$ 时，认为第 j 月是雨季的结束。

2.2.2　月径流相对系数

月降水相对系数是根据气象条件来划分雨季、干季的指标。对于一个流域，从降水发生到形成径流有一定滞时，可能会造成气候上的雨季、干季与水文上的丰水期、枯水期不同步。因此，仿照月降水相对系数，提出月径流相对系数。

首先根据某流域（或某站点）计算该流域（或该站点）的多年月平均径流量 $\overline{W}$，任一月的径流量为 W_i，K_i 为该月的径流相对系数，当 $K_i \geq 1.0$ 且 $K_{i+1} \geq 1.0$ 时，认为第 i 月是

丰水期的开始；当$K_j<1.0$且$K_{j+1}<1.0$时，认为第j月是丰水期的结束。计算公式如下：

$$K_i=W_i/\overline{W} \qquad (2)$$

2.2.3 累积距平法

对于时间序列x_1，x_2，x_3，x_n，其在某一时刻 t 的累积距平值计算公式为

$$\hat{x}_t=\sum_{i=1}^{t}(x_i-\bar{x}) \qquad (3) \qquad t=1,2,3\ldots\ldots$$

$$\text{其中}\ \bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i \qquad (4)$$

式中：x_i为x在第i年的观测值，$\bar{x}$为n年观测值的平均值，$\hat{x}_t$为第t年的累积距平。

对每个t，计算出相应的x_t，以t为横坐标，x_t为纵坐标描点，连成折线，折线的趋势反映了序列$\{x_n\}$的变化趋势：在折线的峰之后谷之前，是上升期；在在折线的谷之后峰之前，是下降期；峰、谷是变化的拐点[0]。

2.2.4 Kendall 趋势检验

对时间序列：x_1，x_2，$x_3\ldots\ldots x_n$，计算趋势检验统计量 S，公式如下：

$$S=\sum_{j=k+1}^{n}\sum_{k=1}^{n-1}Sign(x_j-x_k) \qquad (5)$$

式中x_j和x_k分别为第 j 年和第 k 年的数值，j＞k，n 为系列长度（观测次数），

$Sign(x_j-x_k)$为符号函数：

$$Sign(x_j-x_k)=\begin{cases}1\ldots\ldots\ldots\ldots\text{如果}\ (x_j-x_k)>0,\ j>k\\0\ldots\ldots\ldots\ldots\text{如果}\ (x_j-x_k)=0,\ j>k\\-1\ldots\ldots\ldots\ldots\text{如果}\ (x_j-x_k)<0,\ j>k\end{cases} \qquad (6)$$

随机序列S_i $(i=1,2,3\ldots\ldots n)$近似服从正态分布，则S_i的均值和标准差分别为

$$\mu_s=0 \qquad \sigma_s=\sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}} \qquad (7)$$

利用下式计算统计检验值Z_s：

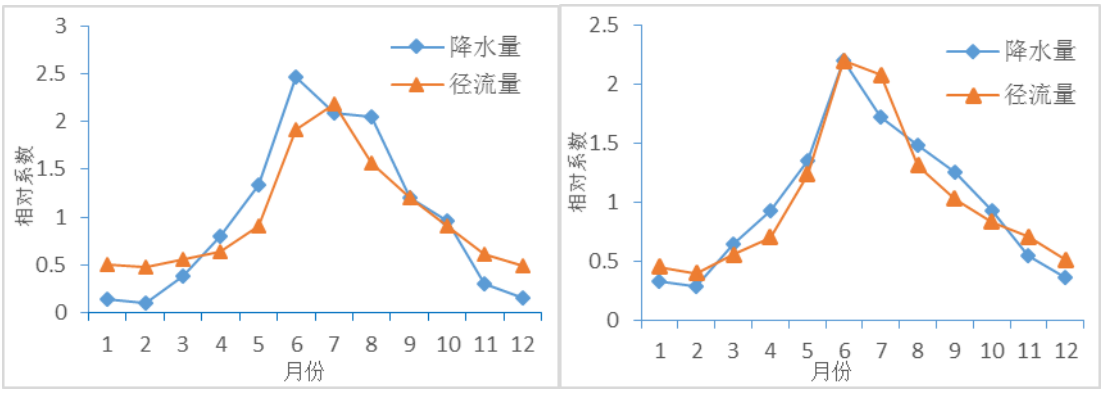
$$Z_s=\begin{cases}(S-1)/\sigma_s\ldots\ldots\text{当}S>0\\0\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\text{当}S=0\\(S+1)/\sigma_s\ldots\ldots\text{当}S<0\end{cases}\qquad(8)$$

利用 Z_s 的值进行趋势统计的显著性检验。当 Z_s 为正时，有上升趋势；当 Z_s 为负时，有下降趋势。对于上升或下降趋势还要判断其显著性，在双侧检验中，如果 $|Z_s|\le Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$，则趋势不显著，认为无显著变化趋势；如果 $|Z_s|>Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$，则趋势显著，认为有显著变化趋势。$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ 从标准正态分布函数表获得，α 为检验的显著性水平，相应地 $1-\alpha$ 为检验的置信度[0]。

3　结果与讨论

3.1　赤水河干流雨季与丰水期的确定

根据赤水河站和赤水站 2003~2016 年共十四年的实测降水、径流资料，计算各月降水相对系数、径流相对系数，见图 2。



(a)赤水河站　　**(b)赤水站**

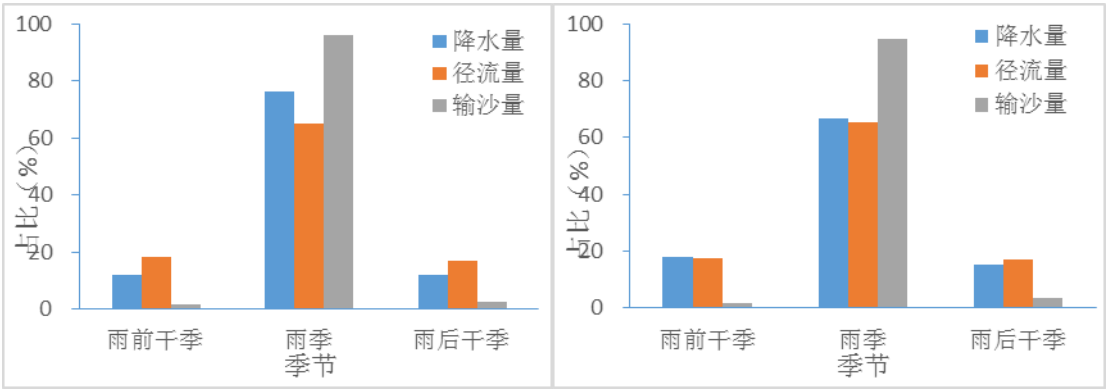
图 2　赤水河站、赤水站各月降水、径流系数

从图 2 可以看出：两站降水主要集中在 5~9 月份，其中任意一个月的降水相对系数都在 1.0 以上，所以 5~9 月为雨季，1~4 月为雨前干季，10~12 月为雨后干季。赤水河站月径流相对系数在年内的变化与降水略有不同，5 月径流相对系数仅有 0.914，6~9 月径流相对系数都大于 1，5、6 两月径流相对系数的平均值大于 1；赤水站 5~9 月径流相对系数都大于 1，其他月径流相对系数都小于 0.85，比赤水河站更加丰枯分明。

由于在赤水河流域径流多由降水形成，且降水对输沙的影响更大，所以按降水在年内的分配划分雨季与枯季，即 1~4 月为雨前干季，5~9 月为雨季，10~12 月为雨后干季。降水季节划分见表 3。两站降水、径流和输沙在年内三个季节的分配见图 3。

表 3　赤水河站与赤水站年内雨季与干季划分

站点	雨前干季	雨季	雨后干季
赤水河站	1~4 月	5~9 月	10~12 月
赤水站	1~4 月	5~9 月	10~12 月



(a)赤水河站 **(b)赤水站**

图 3　赤水河站、赤水站月降水、径流和输沙年内分配

两站雨前干季降水量、径流量和输沙量占全年总量的比例分别为 11.9%（18.1%）、18.2%（17.5%）和 1.49%（1.65%），雨季降水量、径流量和输沙量占全年总量的比例分别为 76.1%（66.6%）、64.9%（65.4%）和 95.91%（94.8%），雨后干季降水量、径流量和输沙量占全年总量的比例分别为 12.0%（15.3%）、16.9%（17.1%）和 2.60%（3.56%）。

两站雨季 5 个月降水量占全年总量的比例在 66%以上，径流量占全年总量的比例在 64%以上，输沙量占全年总量的比例在 94%以上：降水、径流和输沙都在雨季集中。所以雨季可以直接看做丰水期，雨前干季可以直接看做汛前枯水期，雨后干季可以直接看做汛后枯水期。径流季节划分见表 4。

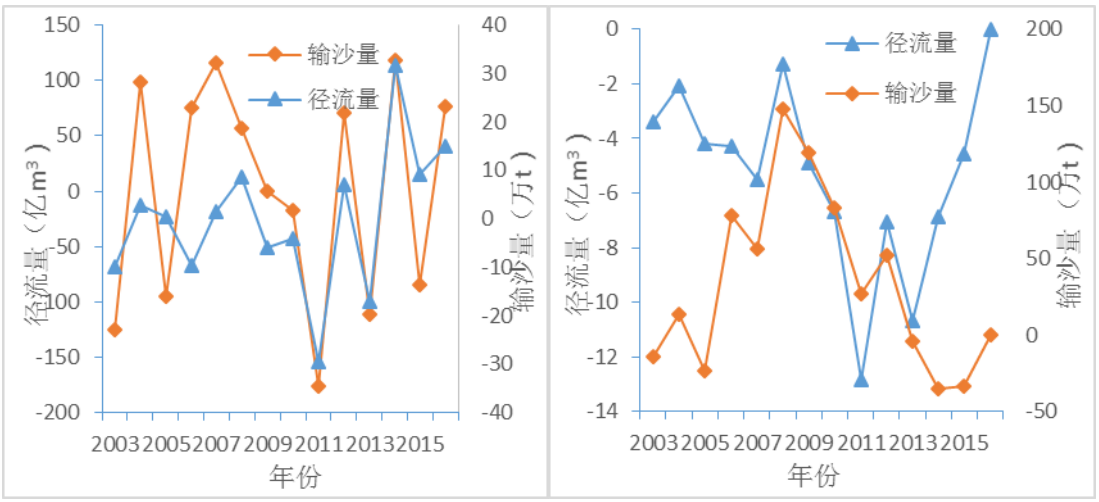
表 4　赤水河站与赤水站年内丰水期与枯水期划分

站点	汛前枯水期	丰水期	汛后枯水期
赤水河站	1~4 月	5~9 月	10~12 月
赤水站	1~4 月	5~9 月	10~12 月

根据相关研究，在湿润地区，降水是径流的主要来源，降水与径流、泥沙均有高度正相关关系，即降水越大，径流、输沙也越大，三者在时间上具有相同的变化规律。两站降水量、径流量、输沙量三者的年内分配具有一致性，都集中于 5~9 月，符合赤水河流域径流主要由降水形成的特点。但三者在 5~9 月的集中程度并不相同，输沙量集中程度最大，径流量集中程度最小，这是因为流域本身具有调节作用，使得径流过程滞后于降水过程且更加平缓；而泥沙由降水冲刷地面产生，与降水之间的时间同步性更强。

3.2　降水、径流、输沙在近十四年的变化

采用累积距平法分析两站观测近十四年降水量、径流量、输沙量变化趋势。此方法最大的优点是数形结合，把统计数据用折线图直观表示出来。如果累积距平值小于 0，则累积期平均值小于近十四年的平均值；如果如果累积距平值大于 0，则累积期平均值大于近十四年的平均值。当累积距平的绝对值达到最大时，就是发生突变的最可能年份。以突变年份为界，可以将近十四划分为不同阶段。



(a)赤水河站 **(b)赤水站**

图 4　赤水河站、赤水站径流和输沙量累积距平值曲线图

由图 4 可以看出，赤水河站径流量累积距平值有 1 个拐点，在 2011 年，径流量累积距平值在 2008~2011 年快速下降，表示径流量在这个阶段有逐渐减少的趋势；在 2011~2016 年波动上升，表示径流在这个阶段有逐渐增加的趋势。输沙量的累积距平值有 1 个拐点，在 2008 年，输沙量累积距平值在 2005~2008 年快速上升（虽有波动），表示输沙量在这个阶段有逐渐增加的趋势；在 2008~2014 年连续下降，表示输沙量在这个阶段有逐渐减小的趋势。

从图 2 可以看出，赤水站径流量累积距平值有 1 个拐点，在 2013 年，径流量累积距平值在 2008~2011 年快速下降，表示径流量在这个阶段有逐渐减少的趋势；在 2013~2016 年连续上升，表示径流在这个阶段有逐渐增加的趋势。输沙量的累积距平值有 1 个拐点，在 2008 年，输沙量累积距平值在 2005~2008 年快速上升，表示输沙量在这个阶段有逐渐增加的趋势；在 2008~2013 年连续下降（虽有波动），表示输沙量在这个阶段有逐渐减小的趋势。

从以上两图可以看出：赤水河站和赤水站径流量和输沙量都有上升和下降波动。但是径流量、输沙量的变化时间节点以及变化趋势并不相同：两站径流量在 2003~2011 年都呈波动下降趋势，在 2013 年~2016 年都呈波动上升趋势；而输沙量在 2003~2008 年呈波动上升趋势，在 2008~2013 年呈波动下降趋势。2008 年以后，流域内大力退耕还林，增加了植被覆盖率，大大降低了雨水对地表的冲刷，使含沙量大大降低，进而降低了输沙量。

3.3　不同阶段水沙变化

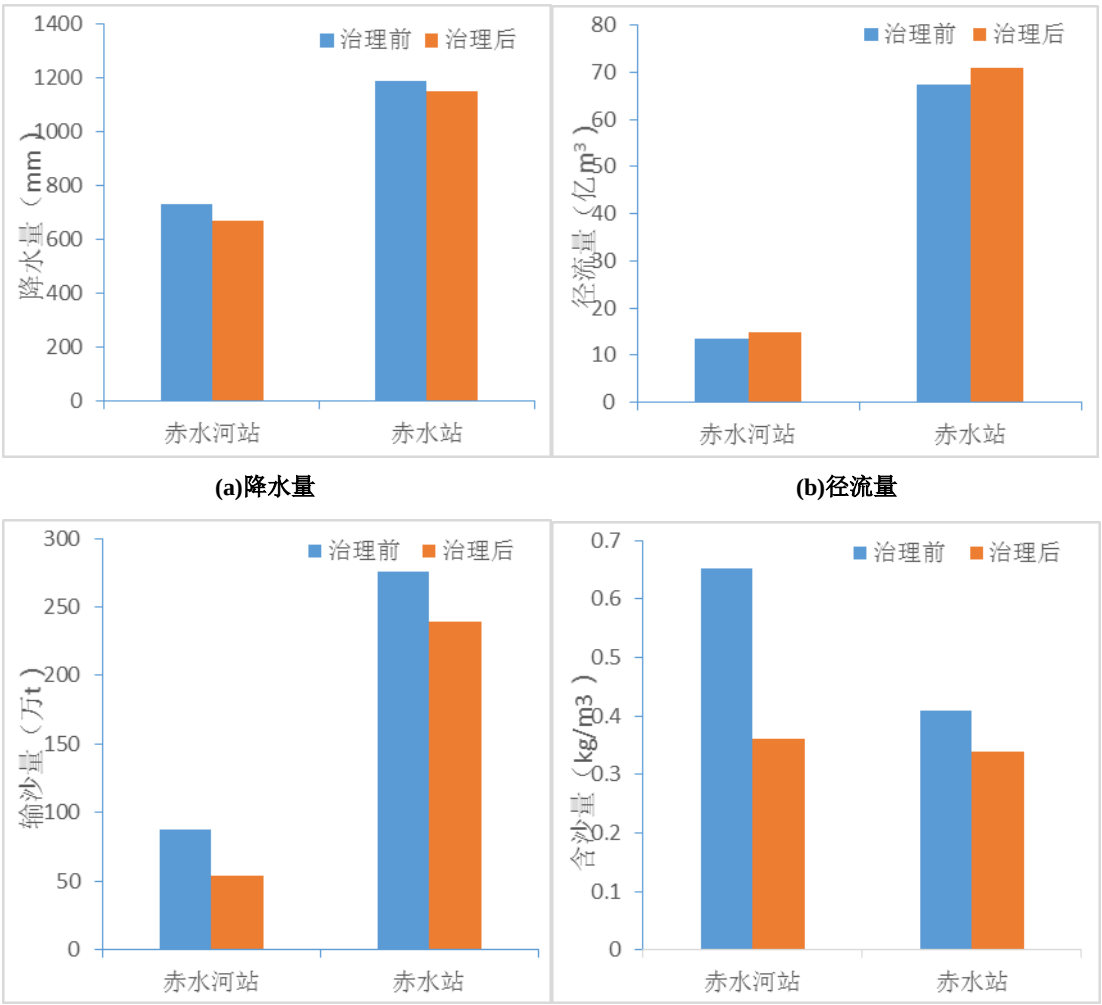
径流量和输沙量主要受气象因素和人类活动影响，自然因素主要是降水量与降水时空分布，在自然条件下，降水量和径流量、降水量和输沙量都呈正相关且大多为线性关系。但在流域下垫面条件发生变化时，降水量——径流量、降水量——输沙量关系就会发生变化[0]。根据实测资料，赤水河流域 2002 年的林地与灌木面积占流域面积的比例为 50.37%，耕地与草地面积占流域面积的比例为 47.48%；经过水土保持治理后，到了 2009 年，林地与灌木面积占流域面积的比例增加到 58.39%，耕地与草地面积占流域面积的比例降低到 39.42%。在治理后，赤水河站以上流域输沙模数从治理前（2002~2009）的 257.4t/（km²*a）降低到治理后（2010~2016）的 157.5t/（km²*a），赤水站以上流域输沙模数从治理前（2002~2009）

的 165.6t/（km²*a）降低到治理后（2010~2016）的 144.1t/（km²*a），而同期降水量并无显著变化。可见水土保持与流域输沙之间有较大关系。本节将对赤水河流域在治理前后的水沙情况进行分析，以更好地说明水土保持对流域输沙的影响。

3.3.1　水沙在治理前与治理后的变化趋势

把 2003~2016 年的观测数据分为 2 个阶段，水土流失治理前为 2002~2009 年，治理后为 2010~2016 年。

赤水河站和赤水站在治理前后的平均年降水量、径流量、输沙量见图 5。由图 5 可知，两站在治理后的多平均年降水量都比治理前有小幅度降低，分别降低了 8.33%和 3.42%；平均年径流量分别增加了 10.37%和 5.12%平均年输沙量分别降低了 38.81%和 13.00%；平均含沙量分别降低了 44.55%和 17.16%。降水量减少的幅度较小，而输沙量减少的幅度较大，说明输沙量的减少的原因不仅有降水量减少，还有植被覆盖率的提高。随着流域内，植被覆盖率的提高，林地与灌木占比升高，耕地与草地占比降低，保土效益总体增加，年输沙量总体递减。



(a)降水量　　**(b)径流量**

(c)输沙量　　**(d)含沙量**

图 5　治理齐前后，赤水河站、赤水站降水量、径流量、输沙率和含沙量变化

在降水略有减少的条件下，植被覆盖增加后的径流量反而增加，这与赤水河流域的气候

条件有关。

赤水河流域位于亚热带湿润地区，空气湿度大，土壤含水量大，流域多年面平均降水量为 1000mm[0]，由水文学知识可知该流域的产流以蓄满产流为主，包气带含水量大，径流系数大于 0.40[0]。由于包气带含水量大，无法保持更多的水，可以认为流域蓄水量常年不变，因此径流主要由降水、蒸发两者决定。植被的增加使植物散发增多，从而使径流减少；同时植被增大了遮光度，降低了土壤蒸发，从而使径流增加，植被增加对径流的影响是以上两者之代数和。由于该流域空气湿度大，植物蒸发量小，植树造林后植物蒸散发量无显著增加，而植物的遮光效应导致流域平均蒸发量减小，径流量反而增加。这一点与前人在黄河流域的研究结论不同[0]，是因为黄河流域位于干旱半干旱地区，而赤水河流域位于湿润地区。

从赤水河站——赤水站之间几乎全部属于贵州省遵义市，查阅遵义市水资源公报，可知：2003~2009 年平均耗水量为 9.1079 亿 m³，2010~2006 年平均耗水量为 10.969 亿 m³。考虑到治理后耗水量的增加，实际由植被覆盖增加所引起的赤水河站的径流增加还要大于 5.12%。

3.3.2　治理前后降水、径流年内分配

治理前后，赤水河站、赤水站降水与径流年内分配见表 5。

由表 5 可知，在治理后，赤水河站降水量在年内的分配几乎没有变化，丰水期降水量都占全年总量的 76.1%，而丰水期径流量占全年总量的比例从 66.1%下降到 63.8%；赤水站降水量在年内的分配比治理前更集中于丰水期，丰水期降水量都占全年总量的比例从 65.4%上升到 67.9%，而丰水期径流量占全年总量的比例从 65.5%下降到 65.3%。

两站丰水期降水量占全年总量的比例都有不同程度的升高（或不变），而丰水期径流量占全年总量的比例都有所降低，反映了植被对降水的涵养。

表 5　赤水河站、赤水站治理前后降水、径流年内分配

观测项目	分期	赤水河站		赤水站	
		丰水期（%）	枯水期（%）	丰水期（%）	枯水期（%）
降水量	治理前	76.1	23.9	65.4	34.6
	治理后	76.1	23.9	67.9	32.1
径流量	治理前	66.1	33.9	65.5	34.5
	治理后	63.8	36.2	65.3	34.7

治理前后，赤水河站径流年内分配比治理前更均匀，而赤水站径流年内分配无明显改变。这一方面是因为植被覆盖率的增加主要集中在上游段，对上游站点的径流年内分配的影响大于对下游站点的影响；另一方面是因为赤水站位于下游，径流过程不仅受赤水河站以上流域影响，还受中游各支流影响。

3.3.3　治理前后含沙量的变化

治理前后，赤水河站、赤水站输沙量年内分配见表 6，输沙量、含沙量见表 7。

由表 6 可知，治理后，赤水河站输沙量在丰水期的分配比例比治理前略有增加，而赤水站输沙量在丰水期的分配比例比治理前几乎不变。植被覆盖的增加对输沙量的年内分配几乎无影响。

由表 7 可知，治理后无论是丰水期还是枯水期，两站含沙量比治理前都有大幅降低，而

径流量仅有微小增加，使得输沙量大大减少。说明增加植被覆盖的减沙效益还是比较显著的。赤水站在丰水期、枯水期的含沙量的降低幅度均小于赤水河站，这是因为水土保持工程主要集中于上游，赤水站除了接纳上游来沙，还接纳中游各支流的泥沙。

表 6　赤水河站、赤水站治理前后输沙量年内分配

观测项目	分期	赤水河站		赤水站	
		丰水期（%）	枯水期（%）	丰水期（%）	枯水期（%）
输沙量	治理前	95.6	4.39	94.8	5.16
	治理后	96.4	3.59	94.7	5.27

表 7　赤水河站、赤水站治理前后含沙量变化

观测项目	分期	赤水河站		赤水站	
		丰水期	枯水期	丰水期	枯水期
含沙量	治理前	0.942	0.084	0.591	0.061
	治理后	0.545	0.036	0.490	0.051

用 Kendall 趋势检验法检验赤水河站、赤水站含沙量减小的显著性水平。检验结果见表 8。

表 8　赤水河站、赤水站含沙量变化趋势检验

检验统计	赤水河站			赤水站		
量	丰水期	枯水期	全年	丰水期	枯水期	全年
S	-23	-3	-21	-15	17	-17
Zs	-1.20	-0.11	-1.095	-0.77	0.88	-0.876
α	＜0.10					

由表 8 可知，治理前后赤水河站丰水期输沙量有显著降低，显著性水平达到 0.10；赤水河站枯水期含沙量没有显著降低，可能是因为枯水期径流来自流域蓄水，与泥沙来源不同；赤水站在丰水期和枯水期，含沙量都没有显著降低，因为水土保持工程主要集中于上游，该站在中下游。

赤水站枯水期含沙量有升高趋势，与表 6 中的数字相矛盾，这是因为 Kendall 趋势检验法实质是一种符号检验，只比较时间序列的前后差值的符号，而不考虑差值的大小，容易受到个别年份的影响。为了减小个别年份对整体趋势的影响，对含沙量进行五年滑动平均，再对滑动平均后的含沙量进行 Kendall 趋势检验，结果见表 9。

表 9　赤水河站、赤水站五年滑动平均含沙量变化趋势检验

检验统计	赤水河站			赤水站		
量	丰水期	枯水期	全年	丰水期	枯水期	全年
S	-27	-35	-29	-23	-3	-33
Zs	-2.326	-3.041	-2.504	-1.968	-0.179	-2.862
α	＜0.05	＜0.01	＜0.01	＜0.05		＜0.01

由表 9 可知，在排除个别年份的影响后，治理前后赤水河站和赤水站丰水期输沙量有显著降低，显著性水平达到 0.05；赤水河站和赤水站全年含沙量有显著降低，显著性水平达到 0.01。可见，植被覆盖的增加对降低赤水河流域含沙量有显著影响。

4　结论

通过对赤水河干流近十四年的降水、径流、输沙资料的分析，可以得到如下结论：

（1）赤水河干流降水主要集中在 5~9 月，径流、输沙也主要集中在这段，反映了该流域降水、径流、输沙在年内在时间上的分布具有一致性的特点。

（2）赤水河干流的径流量和输沙量都有上升和下降波动，突变发生的年份并不一致。

（3）治理前后，径流量、输沙量的年内分配并无显著变化；治理后输沙量减少；丰水期、枯水期含沙量都有降低趋势，其中赤水河站丰水期含沙量有显著降低趋势（显著性水平＜0.10）。

（4）植被覆盖的增加对赤水河站径流年内分配的改变大于对赤水站径流年内分配的改变。

参考文献

[1] 长江水利委员会. 赤水河流域综合规划（征求意见稿）[R]. 武汉：长江水利委员会,2017.

[2] 黄薇，马赟杰. 赤水河流域生态补偿机制初探[J]. 长江科学院院报，2011，28(12)：27-31.

[3] 王忠锁，黄明杰，姜鲁光，等. 赤水河流域生物多样性保护现状和对策[J]. 长江流域资源与环境，2017，16(2)：175-180.

[4] 黄真理. 论赤水河流域资源环境的开发与保护[J]. 长江流域资源与环境，2003，12(4)：332-339.

[5] 赵静，唐剑波，黄尚书，等. 赤水河流域水土流失类型区划分及防治对策[J].湖北农业科学，2015，54(14):3369－3371.

[6] 张聪，安艳玲，蔡宏.赤水河流域土地利用 / 覆被变化与生态环境效应[J].贵州农业科学，2014，42(4)：211-215.

[7] 赵卫权，杨振华，苏维词，等. 基于景观格局演变的流域生态风险评价与管控——以贵州赤水河流域为例[J]. 长江流域资源与环境，2017，26(8)：1218-1227.

[8] 顾朝军，穆兴民，高 鹏，等. 赣江流域径流量和输沙量的变化过程及其对人类活动的响应 [J]. 泥沙研究，2016(3):38 ～43

[9] 包为民. 水文预报（第 4 版）[M]. 北京：中国水利水电出版社，2009：16.

[10] 秦瑞杰，李桂芳，李 平. 降水和土地利用变化对罗玉沟流域水沙关系的影响 [J]. 水土保持学报，2018，32(5)：29-35.

[11] 冯智文. 西北地区降水特征及雨季的起讫[J]. 干旱地区农业研究，1987(2)：17-27.

[12] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京：气象出版社，2007：49-50.

[13] Burn Donald-H,Elnur Mohamed-A.-Hag. Detection of hydrologic trends and variability[J]. Journal of Hydrology，2002，255(1)：107-122.

[14] Helsel D.R.，Hirsch R.M.. Statistical Methods in Water Resources[Z]. WASHINGTON: U.S.DEPARTMENT OF THE INTERIOR，2002：323-356.

[15] Hirsch Robert-M.，Slack James-R.，Smith Richard-A.. Techniques of Trend Analysis for Monthly Water Quality Data[J]. WATER RESOURCES RESEARCH，1982，18(1)：107-121.

历史中的水利

——对中国水利发展史的认识

闵　毅[1,2]　　尹世峰[3]

（1.长江科学院流域水环境研究所，武汉 430010；2.长江科学院流域水资源与生态环境科学湖北省重点实验室，武汉 430010；3.长江水利委员会水文局汉江水文水资源勘测局，襄阳 441022）

摘要：中华民族有五千年的历史，是一个历史悠久的民族，也是一个多灾多难的民族，无数水旱灾害史不绝书，甚至有朝代因水灭亡。在历史的长河中，水旱灾害一直是中华民族生存发展的最大威胁。历朝历代无论官修史书，还是地方志，都为水利开设专篇，或名《河渠书》，或名《沟洫志》，或名《水利志》。从上古时期到秦汉时期，再到明清时期，最后到近现代，人类对水的认识越来越具体越来越精确，治理水患的思路也从原始的避害到现在的兴利，水利工程规模也从小到大，连通范围从局地到全国。随着技术的进步，人类加大了对自然的改造，但与此同时洪水造成的损失也越来越大，当下急需重新审视人与自然的关系。总结水利发展史，有助于处理人水关系。

关键词：水利发展史；水旱灾害；人水关系

1　人类对水的认识的演进

中国是世界四大文明古国中唯一传承至今的国家，拥有着五千年的历史。在五千年的历史长河中，发生过无数的水旱灾害，涌现出无数的水利先贤。查阅史书，历朝历代官修史书都有《河渠书》《沟洫志》《五行志》，用于记录水旱灾害与治水活动，各类地方志也都有《水利志》篇目。观诸史志，我们可以了解到人类对水的认识从远古到今天的变迁。

1.1　上古时期对水的认识

上古时期，由于生产力不发达，人类对自然界的认识非常匮乏，因此，对水充满敬畏之心，在大自然面前，人们祈愿有个圣贤带领大家克服水患、共度时艰。典型例子就是大禹治水。据《史记　五帝本纪》《史记　夏本纪》记载：

帝尧之时，汤汤洪水滔天，浩浩怀山襄陵，下民忧之。圣王在世，以民生为务，征召四岳，寻访能人。四岳举鲧，尧以为不可，且用之。鲧用堵法，历九年而无功，百姓不便。至舜践天子位，用禹以承先父之业。禹初用堵法如故，后用疏法，十三年乃功成[1]。

神话传说反映了当时的重大事件以及当时人们的愿望。从上古传说中的大洪水可以窥见中国上古时期水旱灾害频繁，人民苦于此久矣而无力解决，迫切希望圣人出世，带领大家兴水利、除水害。从鲧专用堵法历九年而无功，到禹疏堵并用十三年乃成，也反映了上古先民从零起步，不断探索治水经验的漫长艰辛历程。禹治水成功后，接受舜的禅让而登帝位，这也在很大程度上反映了上古之人对治水的重视，可以将治水人物推举为部落首领甚至天下共

主。

1.2　秦汉时期对水的认识

秦汉时期，人类对大自然有了一定的认识，已经开始主动修建水利工程。但对自然的认识还不够深刻，以致神异之说一直存在。汉武帝元光年间，武安侯田蚡还借用“天意”说服汉武帝，令其阻止郑当时的治水活动。《汉书　沟洫志》记载了权贵假借天意阻止治河：

汉武帝元光年间，黄河在瓠子决口……皇帝命令汲黯、郑当时率领民夫堵塞决口，堵后复决，如此数次，终不成功。当时田蚡当丞相，劝说皇帝“江河决口都是天意，不能以人力强行堵塞”。观察天文制定历法的官员都附和田蚡，使汉朝政府放弃了对水患的治理[2]。

秦汉时期，人们已经开始发挥自己的主观能动性，主动治理水患，保护人民的生命财产安全。但由于对自然认识不清，仍然心存“敬畏”，所以“天意”“天人感应之说”长期存在，并被权贵用来左右国政，谋取私利。也存在另一种可能：当时财政资金不足，政府在数次治水失败后也不愿意再投入资金与人力，所以借田蚡的“天意”放弃治水。同时治水只用堵塞决口的方法，而没有将水引入其他低洼地区，说明对自然规律的认识、应用还有不足。此时的治水者多是当时官员，且在国家政权之中占据重要地位，仅凭汲黯、郑当时能被记入《史记　汲郑列传》亦可反推出当时水利的重要。但与上古时代圣王躬身治水相比，官员治水显得更加实际，也反映出秦汉时期的人比上古时期更加积极的应对水害。

1.3　明清时期对水的认识

随着历史的车轮滚滚向前，一代又一代水利人不断实践、探索，总结经验教训。到了明朝，人们对水的认识已经提升到了新的理论高度。并且在不断的实践中摸清客观规律，摒弃了迷信之说。《明史　河渠志　淮河》记载了潘季驯的治河理论：

万历三年，淮河决口于高家堰，高邮、宝应、兴化、盐城被大水浸泡……。六年，总河都御史潘季驯言：“高家堰是黄河与淮河的关键。要想导淮河入海，必须集中淮河水流以冲刷泥沙。如果淮河向南流经湖泽，则会流速减缓，淮安清口这一带也会被淤塞。黄河必然决口漫溢，从平原地区流入淮河、泗河，淮泗流域都会被淹没。因此，淮河如果淤塞，黄河就会决口。”筑高家堰堤，使淮河不能东流。在淮河北岸有王简、张福二口堤阻挡黄河水，使淮河水不能流出，黄河水也不能由清口注入淮河，淮河的水都流向清口，汇入黄河后再入海[3]。

到了明朝，人类对水运动规律的认识在前人的基础上有了显著的提高，不仅考虑到了最基本的防洪排涝，还考虑到了黄河入淮对淮安、扬州的洪水威胁。而且还考虑到了水流速度对泥沙沉降的影响，最终综合考虑水沙关系，疏堵并用，使水流集中于一条水道，增大了流速，冲刷了泥沙，减轻了河道淤积。并且通观《明史　河渠志》，没有发现“天意”“天人感应”这类假借天来反对治水的言论，也无求神问道之事，说明此时的人们已经对自然有很多了解且对此种了解有一定的自信，逐步走出“无知而敬畏”的蒙昧状态。

1.4　现代对水的认识

在欧洲经过工业革命后，西方逐渐超过东方。随着西方科技的发展，西学传入中国。此

后中国自立耕生，紧跟时代步伐，在科技上取得长足进步。人们对水产生了新的认识，曾经认为“人定胜天”，将人的主观能动性发挥到极致来改造自然，使自然为人类服务。而近年来，随着大型水利工程造成的泥沙淤积、氮磷污染，以及围湖造田导致的洪涝灾害，人类逐渐认识到自然的力量，重新认识人与自然的关系，回归自然，与自然和谐相处。

三峡大坝修建之时，就考虑到了泥沙淤积、鱼类洄游、山体滑坡等后果，为此还专门修建了鱼道，通过水库调度排沙减於，在最大程度上减轻对环境的负面效应。经历了“畏惧自然”“了解自然”“改造自然”“回归自然”的认识过程。

2　从除害到兴利——治水思想的转变

从上古三代的抵御自然灾害，到秦汉的利用水势进行灌溉，再到隋唐的沟通全国，最后到现代的综合开发利用。随着时代的发展、技术的进步，治水思想不断由被动防御到主动开发利用转变，水利工程的规模也不断由小变大。

2.1　大禹治水——抗御水害

《史记 河渠书》《韩非子 五蠹》记载了大禹治水的具体过程：

大禹抑洪水十三年，三过家门而不入……薄衣食，致孝于鬼神，股无胈、胫不生毛。泥行蹈毳，山行即桥，依山开河，就地取贡，开通道路，在低洼地筑堤蓄水。而黄河仍时常泛滥成灾，最后集中治理黄河：从积石山引导河水至龙门、华阴、砥柱山、孟津、大邳山，而大邳山地势较高，水流经此地后难以平稳通过东部平原。大禹引水北流至地势较高的冀州，过大陆泽后分为九道，以减轻洪水淹没平原的风险。夏、商、周三带受益不绝[1][4]。

大禹治水主要是疏通河渠，防止水流漫溢而成洪灾，主要是除水害，并没有进行兴利开发。并且在当时技术落后的条件下，人们通常耗费大量人力进行旷日持久的治水活动。在禹之前，鲧治水九年而无功，虽然有方法不对的原因，但技术落后、音讯不通也是客观存在的重要因素。虽然那时技术落后，但其治水方式讲求自然，依山开河、就地取贡、洼地蓄水等完全遵循自然地势，在很大程度上使工程易行，且最大程度降低了水利工程建设期间的淹没损失，在今天仍然值得学习。作为治水领袖的禹薄衣食，致孝于鬼神，有迷信的成分，但其表现出对鬼神的“敬畏”与对自身的“严苛”也足以为天下人之表率，从而在精神上凝聚治水队伍。这种严于律己的精神在今天仍有借鉴意义。

2.2　都江堰——平水灌溉

《史记　秦本纪》《华阳国志　蜀志》《蜀都赋》记载了都江堰的建设：

秦将司马错攻灭巴蜀，得川中平原。秦于故蜀国故地置蜀郡，以李冰为守。公元前256年，李冰率领蜀地人民修筑都江堰。巧妙利用西北高、东南低的地势，因势利导……。利用弯道的水力学特性，使流入内江的水量在一年内保持稳定，保证了内江在汛期不受洪灾，在枯期不受旱灾。自秦朝至汉末三国，都江堰一直发挥着防洪、灌溉、槽运等效益。蜀相诸葛亮曾派兵守卫都江堰，此后历代设专职水利官员管理都江堰[1][5-6]。

到了战国时期，各诸侯国展开争霸，纷纷内修政策以徕民、外兴兵革以拓地。此时人们兴修水利的目的就不仅仅是除水害了，更是为了增加粮食产量以便养活更多人口，随后扩充

军队对外战争。相比于上古三代时期，治水思想从单纯的防洪排涝转变为防洪与灌溉并重，原因除了人们对自然的认识更加深刻，还有时代背景的推动。在当时礼崩乐坏、兵革屡兴的大背景下，为了在乱世立足，各国纷纷主动改造自然，开凿了大量的运河、灌渠，提高了粮食产量，缩短了漕运时间，提高了社会生产力。为灌溉、槽运而修筑的水利工程，还有关中平原郑国渠、漳河平原十二灌渠、淮河流域芍陂等[1][7]。

2.3　大运河——沟通宇内

大运河始建于公元前 486 年，当时吴王夫差为了北上争霸而开凿了邗沟，连通长江与淮河。此后从汉朝到南北朝，先后开凿了白沟、平虏渠、泉州渠、新河、槽渠和汴河等。至隋朝大业年间，杨广（隋炀帝）吸取高颎征高丽失败的教训，开凿大运河，把江南的粮食运到涿郡，意图用强大的军力加上完备的后勤保障征服高丽。杨广在前人的基础上疏浚了江南运河连通钱塘江与长江，疏浚邗沟（山阳渎）连通长江与淮河，疏浚汴河（通济渠）连通淮河与黄河，疏通永济渠连通黄河与海河。隋唐运河开凿后，加强了各地的交流，把中国关内地区连成一体，在古代陆路交通并不发达的背景下有着重要的意义。

《史记　魏豹彭越列传》《史记　黥布列传》《史记　淮阴侯列传》《史记　韩信卢绾列传》反映了中央王朝逐步消灭强大诸侯以维护中央权威的过程。自秦汉以来，中国由分散的诸侯国走向大一统，逐步成为一个中央集权国家。自汉高帝剪除韩信、彭越、陈豨、英布等异姓王侯，景帝年间平定宗室七王以来，经历了汉末三国的“合久必分”，再到南北朝隋唐的“分久必合”，中国在曲折中从分散走向统一[1]。水利是国之根本，在政治形势的变迁中，水利工程也随之变化。秦汉以来，全国各地修建的水利工程大都是局域性的，如白沟、槽渠、汴河等，对前人已建工程的疏浚也只是停留在“恢复原貌，维持功能”的层面。直到隋朝重新统一中国，政治上刚从分散走向统一，新征服地区不稳定，为了加强对远地的控制，隋朝政府急需将关中、吴越、幽燕等地连成一片。在这种全国统一的大背景下，隋朝政府开始了修建大运河，工程规模远胜前代，工程的目的也不是最初的以防洪、灌溉为主，而是以漕运为主，加强了长城以南农耕文明区的内部交流。

但从另一方面来看，隋朝连续对高句丽、突厥用兵，还疏浚前人已建运河，开挖新的运河，短期内上马这么多工程，使得民力耗竭，四海皆怨，给了李渊、李密这类门阀士族造反的机会，最终隋朝二世而亡，重蹈秦朝覆辙。司马光在《资治通鉴　隋记》中就批判隋炀帝滥用民力[8]。直至今天，仍有人把修长城、开运河分别当做攻击秦始皇、隋炀帝的武器。但从唐朝开始，对于隋炀帝开河的功过就有争议，晚唐诗人皮日休就作有《七绝　汴河怀古》二首，赞颂大运河对沟通南北、连接东西的重要意义，并对隋炀帝开河之功给与肯定，现引用该诗：

《七绝　汴河怀古》

唐　皮日休

其一

万艘龙舸绿丝间，再到扬州尽不还。应是天教开汴水，一千余里地无山。

其二

尽道隋亡为此河，至今千里赖通波。若无水殿龙舟事，共禹论功不较多。

2.4　三峡水库——综合开发

三峡工程位于湖北省宜昌市三斗坪镇，包括主体建筑物工程及导流工程两部分，建筑结构主要采用钢筋混凝土。整个大坝为混凝土重力坝，长 3035 米，坝顶高程 185 米，正常蓄水位 175 米，总库容 393 亿立方米。为了建设三峡水库，淹没耕地 43.13 万亩，移民 113.18 万人，主要淹没区在重庆万州、涪陵等区县，建成后能够抗御百年一遇的洪水。三峡水库以发电、航运为主，兼顾传统水利工程防洪、灌溉、养殖等功能，总装机容量达到 2250 万千瓦，年平均发电量达到 847 亿度，排名世界第一；有船闸和升船机两种通航建筑物，年单向通航能力由建坝前的 1000 万吨提高到 5000 万吨。

在隋朝以前，长江以南未被开发，《史记　货殖列传》有云“地卑多湿，丈夫早夭”，列入《史记　楚世家》的楚国被封于江南，号称“南蛮”，因此水利工程多在长江以北，长江以南仅有江南运河、灵渠等[1]。直至西晋永嘉之乱，士大夫衣冠南渡，才开始对长江以南的开发。衣冠南渡导致王导、王敦等江东士族有机会进入晋朝统治核心[9]。到了隋唐，随着大运河的建成，北方的文化技术被带到南方，促进了南方的发展；到南宋时，南方经济已经超过北方（金朝），完成了经济重心的第一次转移。随着人口往南方聚集，南方的水利事业开始不断发展。到了明朝，南方海上贸易兴起，人口繁多，在南方增设府县，加强对南方水患的治理，《明史　河渠志　直省水利》对此做了记载[10]。但受限于技术落后，一直未能兴建大型水利工程。直至现代，随着技术的革新，中国能够生产钢筋混凝土等建筑材料，修建拦河大坝才成为可能。自此，人类对水的治理由传统的防洪、灌溉、漕运转向以发电、航运为主的综合开发。修建三峡水库是历史上的伟大壮举，中国人民首次主动向大自然进军，为了兴水利，主动淹没土地、迁徙居民，完成了从“被动治水”到“主动开发”的转变。三峡水库的修建极大地提高了江汉平原、洞庭湖流域防御洪水的能力，再加上丹江口水库，使得《沔阳州志　地理》记载的“沙湖沔阳州，十年九不收”一去不复返[11]。最近几年，武汉、南京在梅雨季节看海，这是城市发展过快而排水能力不足导致的内涝，幸有三峡水库拦蓄川江洪水，使汉、宁等大城市在汛期少受洪水之害。

3　水利事业在中国的重要地位

我仔细查阅各代国史，发现中国历史上政府对内只做两件事，一是狱讼，一是治水。根据历史记载，在朝代更迭之际，总是会出现各种各样罕见的水旱灾害，所谓“国家将兴，必有祯祥；国家将亡，必有妖孽”。但是，由唯物辩证思想可知，单一的天灾并不会导致国家的灭亡，真正导致国家灭亡的还有人祸。由此可见兴水利除水害对一个国家的重要意义。查阅史料，中国历史上有诸多朝代因为治水得力而兴起，也有诸多朝代因为治水不力而灭亡。

因治水得力而兴起的朝代（诸侯）如下：

（1）《史记　五帝本纪》载，大禹治水有功，凭此得到帝舜的信任，登上帝位，后建立夏朝[1]。

（2）《史记　楚世家》载，楚庄王任用孙叔敖，在寿春修建了芍陂，此后楚国强大，北上争霸，问鼎洛阳[1][7]。

（3）《史记　河渠书》载，魏国西门豹治理邺县，命令三老带领百姓修筑漳河灌渠十二条，邺县大富，百姓安宁，此后邻国不敢窥视魏境。魏国成为战国时的首个霸主[1]。

（4）《史记　河渠书》载，韩国害怕秦国东进，派郑国游说秦王，以灌溉之利诱使秦人修渠，想以此使秦国疲乏，减慢东进的速度。但秦人修渠后，关中平原的田地免除了旱涝灾害，粮食产量大大提高，使秦国在短时间内迅速扩充军事力量，然后进军洛阳，迁移九鼎，周朝灭亡。此后三十多年，七雄混战，而史家以秦王纪年[1]。为了纪念郑国，此渠还被命名为“郑国渠”。

因治水不力而灭亡的朝代如下：

（1）《隋书　炀帝纪》载，隋朝大业年间，炀帝好大喜功，以一代人行三代人之事，欲成万世之业。开凿大运河，自大业元年三月辛亥日始，到大业七年正月乙亥日已成，六年即毕，造成大量民夫死亡。门阀士族遂并起而亡隋[12]。

（2）《明史　太祖本纪》载，元朝后至正四年，旱灾蝗灾并发，饥民遍地，瘟疫流行，政府无力赈济。朱元璋时年十七，孤无所依，入皇觉寺为僧。三年后，群雄并起，天下大乱[13]。

（3）《汉南续修郡志》载，崇祯元年，陕西全省天赤如血。五年大饥；六年大水；七年秋蝗、大饥；八年九月西乡旱，略阳水涝，民舍全没；九年旱蝗；十年秋禾全无；十一年夏飞蝗蔽天……十三年大旱……十四年旱[14]。终崇祯一朝，始终在应对西北叛军与东北的后金。而由于西北长期干旱，兵民缺粮，尽皆反叛，甚至饥兵带领饥民造反，使明朝陷入了“人民战争”的汪洋大海，最终于崇祯十七年灭亡[15]。

读史使人明智，从历史记载中，我们可以得知：水利兴则国家兴，水利衰则国家亡。在社会主义的今天，经济、科技远比古代发达，人类对大自然的开发、改造越来越剧烈，而频繁的洪水所造成的经济损失也越来越大。水利事业在国计民生中仍然扮演着不可替代的角色。

4　结语

华夏民族历史以治水开始，这是华夏民族的根源。从远古到现代，人类对水的认识不断深入，从原始的蒙昧状态走向文明，从对大自然的敬畏走向主动认识自然规律。伴随着认识的改变，人类治水的理念也在发生着着变化，从抗御水害到主动兴利，从单一的防洪、灌溉到发电、航运、养殖综合开发。

人类来源于自然，终归回归于自然。纵观水利发展史，人类对水的认识也从最初的“畏惧自然”“了解自然”到“改造自然”“回归自然”。

本人本科阶段在河海大学水文水资源学院（2010——2014），学习了水利基础理论知识，同时在图书馆翻阅了大量文史书籍，了解水利的产生与发展历史。本科毕业后曾在长江委水文局汉江水文水资源勘测局工作（2014——2018），积累了大量现场经验。在工作 4 年后辞

职，到长江水利委员会长江科学院读研（2018——2021）。经过这些年的学习工作，对水利有了很深的感情，难以言说。最后以我的一首诗作结。

《七长律　沟渎篇兼赞水利人》（中华新韵）

神舟自古多罹患，水土游移[①]数百年。渭洛清波[②]浮碧草，川峡巨浪[③]破白帆。

江淮漫溢[④]城垣浥，济卫枯竭[⑤]广野干。夏禹叔敖通五洫[⑥]，愚公智叟撼三山。

西极蜀益岷沱畔[⑦]，北抵幽燕易蓟边[⑧]。再造长城[⑨]十万里，河清海晏万民安。

注：①水土游移，指历史上的黄河改道与上世纪的黄河夺淮入海。

②渭洛清波，这是在唐朝才有的盛景，当时八水绕长安，而今不复见。

③川峡巨浪，在三峡大坝修建前，三峡江段有滟滪堆，巨石林立，枯水期难以通航。

④江淮漫溢，历史上长江中下游干支流以及淮河容易发生洪水灾害。

⑤济卫枯竭，历史上黄河以北各河流容易发生干旱。

⑥五洫，指黄河、淮河、汉江、长江、钱塘江 5 条主要河流。

⑦岷沱，指岷江和沱江，在近代以前，水利先贤到达的最西端就是岷江流域，并在那里修建了都江堰。

⑧易蓟，指易水和蓟运河，在近代以前，水利先贤到达的最北端就是山海关内，京杭大运河的最北端就在此。

⑨长城，此处指堤坝等水工建筑物。

参考文献

[1] [汉]司马迁. 史记[M]. 北京：中华书局，2016.

[2] [汉]班固. 汉书[M]. 北京：中华书局，2017.

[3] [清]张廷玉. 明史　河渠志[M]. 北京：中华书局，1974.

[4] [先秦] 韩非. 韩非子[M]. 北京：中华书局，2016.

[5] [晋]常璩. 华阳国志[M]. 北京：国家图书馆出版社，2018.

[6] [晋]左思. 蜀都赋[M]. 北京:中华书局，2019.

[7] 武安林编著. 孙叔敖与芍陂[M]. 北京:中国水利水电出版社，2016.

[8] [宋]司马光. 资治通鉴[M]. 北京：中华书局，2007.

[9] [南朝 梁]范晔. 晋书[M]. 北京：中华书局，1974.

[10] [清]张廷玉. 明史[M]. 北京：中华书局，1974.

[11] 童承叙. 沔阳州志[M]. 台北：成文出版社，1975.

[12] [唐]魏征. 隋书[M]. 北京：中华书局，1973.

[13] [清]张廷玉. 明史[M]. 北京：中华书局，1974.

[14] 凤凰出版社编选. 汉南续修郡志[M]. 南京：凤凰出版社，2007.

[15] 曹树基. 粮食与兵员：明末大旱与农民战争的关系[J].史林，2019,（02）.

铅丝笼维护简易封口器在防洪抢险中的应用

岳小亮

（焦作河务局武陟第一河务局，焦作 454001）

摘要：铅丝石笼在黄河防汛抢险中是最常用的抢险措施，在防洪工程以及防汛抢险和根石加固中，抛投铅丝石笼最为常见，铅丝笼维护简易封口器集拧、拉、绞等功能于一身，在封口网丝对接时有效地避免了划伤手臂的危险，通过两个拉勾拉紧铅丝笼接口，通过延长的绞臂可有效增大对铅丝的拧力，增加了施工中的实用性能。铅丝笼维护简易封口器在防洪工程以及防汛抢险和根石固中起到关键作用，大大提高了工作效率，加强了铅丝笼封口的牢固性和密封性。铅丝笼维护简易封口器制造成本低，可广泛用于堤防、险工、控导的装抛铅丝笼抢险工作。

关键词：铅丝笼；封口器；防洪抢险

1　研制背景及意义

据有关资料统计,我国是世界上自然灾害最为严重的国家之一。每年的灾情损失中，水灾占 40%，台风占 20%，干旱占 15%，地震占 15%。暴雨洪水危害着社会生活的方方面面，例如洪水常常造成大面积农田被淹、作物被毁，致使农作物减产甚至绝收；洪水灾害还会影响铁路干线，公路网络，严重制约着经济的发展。例如北京“7·21”特大洪水已造成，经济损失近百亿元。不仅如此，在四川、云南、长江中下游等地区，由于气候条件及地理环境特殊， 经常发生暴雨洪灾，导致泥石流，山体滑坡等自然灾害。因此，加强防汛抢险工作十分重要[1]。在防洪工程以及防汛抢险和根石加固中，抛投铅丝石笼最为常见，在铅丝笼装满块石时，需进行封口处理，传统的铅丝石笼封口时利用手钳、扳手或用单勾封口器等进行封口作业，往往出现许多问题，比如传统的铅丝石笼封口器在密封填装好的铅丝石笼时出现封口不严、铅丝捆绑不紧和划伤手臂等现象，造成铅丝石笼在防洪抢险的机动性和时效性大打折扣。本文针对传统的铅丝石笼封口器的种种弊端，研制出了具有铅丝笼封口牢固、密实良好效果的铅丝笼维护简易封口器，同时也保证了封口作业过程中作业人员的安全性。

铅丝石笼在防洪抢险中有着举足轻重的作用,其具有很强的抵御自然破坏及耐腐蚀和抗恶劣气候影响的能力，并具有承受大范围的变形，而仍不坍塌的抗冲刷能力，笼与笼之间采用铅丝绑扎连接牢固。为解决传统的铅丝石笼的封口操作中容易出现封口不严、铅丝捆绑不紧和划伤手臂等弊端，抢险队员根据抢险中总结的经验，在能够适应多种条件下，通过反复操作实验，研制成功铅丝笼维护简易封口器，延伸了操作人员手臂，有效的避免了划伤手臂的危险，实现铅丝笼封口牢固、密实的良好效果。

2　主要技术原理及特性

铅丝笼维护简易封口器的基本原理是采用人体工程力学原理，以 45 号钢筋为主，通过焊接加工，结构由拉勾、绞臂和手柄组成，集拧、拉、绞等功能于一身，通过拉勾拉紧铅丝

笼接口，通过延长的绞臂可有效增大对铅丝的拧力，是操作人员手臂的延伸，有效的避免了划伤手臂的危险，实现铅丝笼封口牢固、密实的良好效果。

图 1　铅丝笼维护简易封口器

2.1　实用性

铅丝笼维护简易封口器集拧、拉、绞等功能于一身，由两个拉勾、绞臂和手柄组成，是作业人员手臂的延伸，在封口网丝对接时有效地避免了划伤手臂的危险，通过两个拉勾拉紧铅丝笼接口，通过延长的绞臂可有效增大对铅丝的拧力，增加了施工中的实用性能。该封口器不仅便于携带、方便操作，而且在没有电源、无法使用电源的阴雨天等情况下均可以使用[2]。同时该封口器操作简单的特性减少了作业人员的培训环节。在抢险过程中，只要具备基本抢险经验的人员就会应用，易于被抢险施工人员接受，有利于该封口器的普及应用。

2.2　可靠性和安全性

铅丝笼维护简易封口器结构合理，在抢险施工中狭小的空间也可以任意旋转作业，且在铅丝封口拧死时，仍可以顺利脱钩，拧封点牢固不易开口[2]；该封口器具有一定的强度和硬度；拧钩有一定的作业安全高度，这些技术能够有效避免在作业过程中对人员造成的刮伤，确保了作业人员的安全，并大大减少人工作业的劳动强度。

2.3　可维护性

铅丝笼维护简易封口器设计合理、结构简单、材质坚硬，在抢险过程中不易损坏。该封口器部件单一，维修简单，有利于抢险作业的连续性[2]，确保险情抢护的效果。

3　成果的先进性与创新性

（1）通过铅丝笼维护简易封口器的使用，延伸了操作人员手臂，有效的避免了划伤手臂的危险，实现铅丝笼封口牢固、密实的良好效果。

（2）铅丝笼维护简易封口器结构简单，操作方便，通过该设备的使用，大大提高了工作效率，加强了铅丝笼封口的牢固性和密封性。铅丝笼维护简易封口器制造成本低，可广泛用于堤防、险工、控导的装抛铅丝笼抢险工作。

图 2　铅丝笼维护简易封口器在实际工程养护工作中的应用

图 3　铅丝笼维护简易封口器在实际工程养护中的应用

4　推广应用及效益

铅丝笼维护简易封口器广泛应用于堤防、防洪、控导的装抛铅丝笼抢险工作，采用人体工程力学原理，通过延长的绞臂有效增大了对铅丝的拧力，实现铅丝笼封口牢固、密实的良好效果。由于涉及了手动、快速的作业方式，具有对铅丝石笼封口快捷、高效等特点，是国内铅丝笼封口领域的实用新型成果。

铅丝笼维护简易封口器研究成功后，已在武陟第一河务局堤防养护工作和防汛抢险训练中得到实际应用，并取得了显著作用，有效的避免了操作中容易出险封口不严、铅丝捆绑不紧和划伤手臂等情况，可推广性强。传统的人工装抛铅丝笼封口效率低、用时长，投资大。利用该技术所取得的经济效益和社会效益显著。

5　结语

铅丝笼维护简易封口器结构简单，操作方便，制造成本低。该项成果的研制大大提高了工作效率，加强了铅丝笼封口的牢固性和密封性，提高了防汛抢险的作业效率，体现了由传统治黄向现代治黄的转变，是治黄实践发展中的一大进步。

参考文献

[1] 霍志久,董震,张志华,张丁.多功能打桩机在防洪抢险中的应用[J].山西建筑,2018,44(6):215-216.

[2] 程阳,林玉香,郭飞飞,等.铅丝石笼快速封口技术及其应用[J].中国防汛抗旱,2016,26(02):95-96.

安徽省基层防汛语音服务平台研究与建设

刘　超　　赵　辉　　丁晓磊

（安徽省（水利部淮河水利委员会）水利科学研究院，合肥 233088）

摘要：语音是信息传递的重要工具，其在信息化建设中发挥挥着越来越重要的作用。介绍安徽省基层防汛语音服务平台的建设背景及内容，通过私有化部署语音平台并完善水利专题语料库，构建智能语音引擎以及防汛抗旱专题知识库，结合高精度的语音识别服务和语义解析服务，赋予基层防汛信息化平台采用自然语句的形式查询并反馈应急情况的能力，通过语音命令完成实现对各种基础数据、实时信息及应急情况等信息的查询。平台建成并投入使用后，为防汛、抢险、山洪灾害预警等业务管理工作提供全方位和高效率的技术支撑。

关键词：语音服务；基层防汛；专题语料；语义解析

0　引言

当前，新一代信息化技术不断与传统业务深度融合，特别是智能语音、5G、云计算、区块链等，极大的提升了社会运行效率，深刻改变着政府公共服务和社会治理的方式。党的十九大报告中明确提出要建设数字中国、网络强国、智慧社会，把智慧社会作为建设创新型国家的重要内容。智慧水利是智慧社会的重要组成部分，但是距离智慧社会的建设要求还有很大的差距，人工智能、大数据等先进技术在水利行业还未得到充分应用。因此，下一步智慧水利建设应充分结合新一代信息技术的驱动引领作用，促进技术与水利业务的深度融合，推动智慧水利不断发展。

安徽省地跨长江、淮河和新安江三大流域，处于南北气候过渡带，地理位置特殊，气候条件复杂，水旱灾害多发频发。近年来，在水利部大力支持下，安徽省加快水利信息化建设，依托农村基层防汛监测预警体系建设项目，建成基层防汛监测预警平台，覆盖全省 16 个市、108 个县（市、区），业务范围扩大到水旱灾害防御的各个环节，实现了监测数据的集总接收、基础信息的同步共享、业务流程的协同处理、决策会商的一站式查询、预警信息的统一发布、运行维护的规范管理等功能，省市县乡四级共用，业务数据更加准确全面，系统访问更加流畅，界面展现更加简洁。

平台运行一年多以来，为全省各级水行政管理单位提供了强力的技术支撑。但在使用过程中，因信息查询、险情上报、数据录入等系统操作对使用者有一定的要求，因此需要一种更加方便、快捷的方式。随着智能语音技术的兴起，通过在“安徽省基层防汛监测预警系统”中引入智能语音交互服务，用户可以直接通过对话的方式实现对系统的操作，能够大大简化用户查询信息和上报数据的操作流程，提高用户的工作效率。本文从基层防汛语音平台建设思路出发，总结了平台建设内容与关键技术，为智能语音在水利行业的发展提供借鉴。

1　平台建设思路

1.1　技术路线

基层防汛语音服务平台通过将人的语音转换成相应的文本以便计算机进行理解和产生相应的操作，并最终实现人与机器之间的自然语音交互。具体流程为用户发出语音命令，相关业务系统将语音命令传递到语音服务平台，由语音识别引擎将语音命令转换成文字指令，然后将转换后的文字指令输入到语义理解引擎中，再通过接口协议的对接，传输到业务系统，业务系统对指令做出处理，并对目标信息进行展示。例如在基层防汛业务系统中，用户想查看 XX 水库的视频信息，用户只要对着麦克风说出“我要看 XX 水库的视频”，基层防汛语音服务平台会对用户的命令进行处理，将文本指令传入业务系统，业务系统会根据解析的意图，执行相关服务并展示出用户所需的信息。具体流程如下参见图 1 所示。

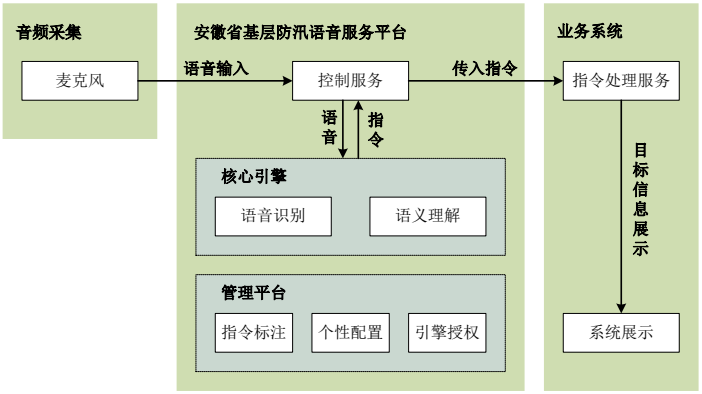


图 1　安徽省基层防汛语音服务平台技术路线图

1.2　系统架构

在安徽水利数据中心架构中，基层防汛语音服务平台作为应用支撑平台为各业务应用系统提供语音服务支撑，在系统架构上主要分为数据层、支撑层、交互层和应用层四个层级，通过构建可部署到私有化环境的智能语音引擎、水利专题语料库以及防汛抗旱专题知识库，结合高精度的语音识别服务和语义解析服务，赋予基层防汛业务系统采用自然语句的形式查询并反馈查询结果的能力，系统总体架构参见图 2 所示。

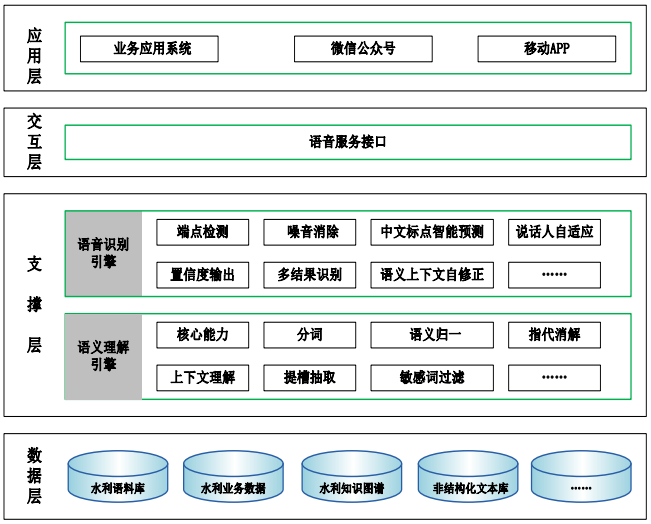


图 2　安徽省基层防汛语音服务平台总体架构图

1.3　业务流程

（1）业务系统通过拾音设备收取用户的语音数据；

（2）系统对输入的语音进行信号处理，将处理好的语音输入到唤醒服务中，判断输入语音是否满足唤醒词：

如果不满足，流程跳转到第一步骤，持续收取用户语音数据；

如果满足唤醒词，则将之后的语音数据通过音频传输服务发送到服务端；

（3）服务端调用语音听写识别服务将用户语音转换成文本；

（4）语义解析服务将用户语音转换后的文本和预先创建好的技能做规则匹配：

如果匹配到对应的语料，则输出对应的意图和解析后的 json 字符串；

如果匹配不到对应语料则转为问答匹配，将匹配后的问答结果返回给业务系统；

业务系统根据解析的数据结果来匹配相应的动作，并且进行相关动作的执行，在页面上反馈给业务用户。

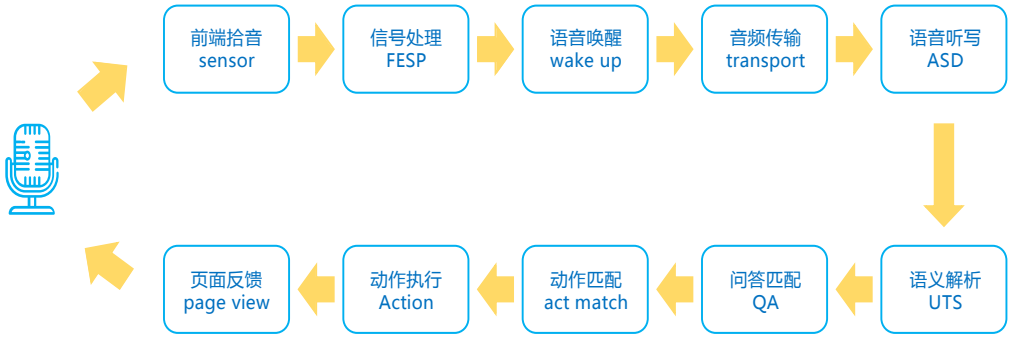


图 3　安徽省基层防汛语音服务平台业务流程图

2　平台建设内容

2.1　语音识别引擎

语音识别引擎基于深度全序列卷积神经网络框架，将音频流数据实时转换成文字流数据。主要包括前端语音处理和后端识别处理等功能。

（1）前端语音处理

前端语音处理指利用信号处理的方法对说话人语音进行检测、加密、降噪等预处理，以便得到最适合识别引擎处理的语音。主要功能包括：

端点检测。端点检测是对输入的音频流进行分析，确定用户说话的起始和结束的处理过程。一旦检测到用户开始说话，语音开始流向识别引擎，直到检测到用户说话结束。这种方式使语音识别引擎在用户说话的同时即开始进行识别处理。

噪音消除。在实际应用中，背景不可能是完全安静的环境，语音识别引擎能够有效消除背景噪音，提升输出指令的准确率，给用户带来良好的使用感受。

（2）后端识别处理

后端识别处理主要是对说话人语音进行识别，得到最适合结果，主要功能包括：

个性化语音识别。为提高用户的个性化词条识别准确率，基于用户的语音特征，搜集并

上传使用率较高的词语/热词，围绕基层防汛业务，建立个性化的词条语言模型。调整识别参数，修改上传热词的权重，持续优化识别效果。

置信度输出。置信度主要反映识别结果的可信程度，语音识别引擎在返回识别结果时携带该识别结果的置信度，应用程序可以通过置信度的值进行分析和后续处理。

多结果识别。在某些识别过程中，识别引擎可以通过置信度判断的结果向应用程序返回满足条件的多个识别结果，并按置信度从高到低进行排列，供用户进行二次选择。

说话人自适应。当用户与系统进行多次会话过程中，系统能够在线提取会话的语音特征，自动调整识别参数，使识别效果得到持续优化。

语义上下文自修正。根据语音识别结果以及上下文进行动态修正，使结果更符合当前语境。同时对应用所在的场景热词进行整理，以提高场景内热词语音识别率。

2.2 语义理解引擎

语义理解是通过一系列的模型算法，将文本解析为结构化的、机器可读的意图与词槽信息，主要功能包括核心能力、上下文理解以及提槽抽取等。

（1）核心能力，具备知识编译及语义解析能力，可以将知识库的数据资源编译成语义资源，能够根据语义资源将文本解析成固定格式的 json 字符串。支持实现长、短句的分词，相同词义的短词规整、合并。

（2）上下文理解，在交互过程中自动缓存、匹配上下文信息、历史数据等，提供多轮人机交互记忆机制。

（3）提槽抽取，配合知识库，实现对话意图的关键词槽抽取、如区域、时间、站点；多轮对话完善信息的过程中，当需要对之前填过的槽位信息进行变更时，会用到改槽功能。

2.3 语料库建立

语料库主要用于存储水利行业词汇，为意图配置、指令标注提供数据支持，是基层防汛相关系统理解语义的基础，可以规避同音词因素引起的识别准确率不高问题。语料库的建立主要包括以下内容：

（1）行业词汇收集。行业词汇主要包括水利工程、河湖水系、监测站点等名称，如水利工程包括响洪甸水库、梅山水库、月潭水库、董铺水库，河湖水系包括淠河、史河、新汴河、巢湖、淮河等；监测站点包括西河梁家坝水文站、水阳江宣城站、青弋江西河镇站、西河无为站等。

（2）意图配置。通过基层防汛语音服务平台进行意图配置，创建想让机器理解的文本，比如说“我要看王家坝的视频”，那么我们就需要设置王家坝、视频这两个关键字是我们的意图。只有准确的设置了意图，机器才能够理解文本的意思。

（3）创建实体。在意图配置之后，我们还需要进行实体的配置。实体是意图的扩展，以“我要看王家坝的视频”为例，其中王家坝和视频都是意图，但是我们想要看的并不仅仅是王家坝，也有可能是蚌埠闸。所以王家坝和蚌埠闸都是实体。需要把实体的内容配置进去，一旦语义识别引擎检测到相应的实体，便会把这些实体归结到与其对应的意图中，从而返回

给我们识别结果。

2.4 语音服务接口

基层防汛语音服务平台建设完成之后，需要以接口的形式对外提供语音支撑服务，主要流程包括服务接口开发、接口参数调用、接口响应，具体如下：

（1)服务接口开发。安徽省基层防汛语音服务平台数据服务接口基于 JavaEE 平台开发，功能主要包括语音识别，语音语义，文本语义接口，接收音频文件上传，返回解析结果等。采用标准 Restful 风格，以 Web Service 和 WebSocket 2 种协议标准进行设计，面向 Android、iPhone 以及 Web 客户端，支持 Andoid/IOS/H5 等渠道的接入。

（2）接口参数调用。应用系统上传音频等数据，基层防汛语音服务平台服务端下发服务结果，接口调用参数包括可选参数和必须参数，其中 TokenID（唯一性 id） 为必须参数，由应用系统前端自动传给服务端。

（3）接口响应及返回结果。封装为标准的 JSON 字符串格式返回结果数据，返回值包含服务状态码：标记服务请求得语音数据是否成功；服务返回数据：包含翻译结果 JSON 对象、属性值等。

3 关键技术研究

3.1 面向对象的水利语音数据建库技术

基于面向对象的数据模型构建具有水利业务特色面向水利领域的语音数据库，语音数据库的一部分语音资源是收集整理现有的各类防汛抗旱业务中的结构化数据，这些数据主要分布在各类业务关系数据库中，对这些数据按照业务分类包括：基础语音数据、雨水情语音数据、水利工程语音数据、预警语音数据、气象语音数据、通讯录语音数据、专家库语音数据等。另一部分收集、整理现有的文本、图片、视频等非结构化数据，将这些信息按照业务对象进行分类标注并进行存储。通过整合海量多源异构数据将所有音频数据抽象为不同的音频对象（实体），并且将各对象的唯一标识符、属性与方法封装在一起，建立各对象的联系。

3.2 基于机器学习的语音识别能力优化技术

安徽省基层防汛语音服务平台机器学习技术应用在语音特征提取、语音学习训练和分类匹配、语义理解三个模块。通过水利领域海量数据与多种先进算法的融合(DNN 模型、LSTM 模型、CNN 模型等)对语音信号进行分析处理识别语音特征数据并精准提取特征参数，基于 HMM(隐马尔可夫)模型对语音资料库进行语音训练，定制化处理水利行业信息，形成覆盖雨水情、险情、工情等水利各个业务应用场景的语言模型，通过 DNN(深度神经网络)学习技术，对现有语音库进行深度学习，以提升个性化数据的准确率并做到高度自适应对声学模型和语言模型的共同优化。目前整个模型的识别准确率和可靠性比较高，响应速度较快。

3.3 微服务架构及服务开发技术

web 应用系统架构由早期的一体化架构、垂直架构发展到后来的面向服务的 SOA 架构，近些年来，基于面向服务架构演变而来的微服务架构又得到了越来越多的应用。微服务架构提倡将应用分割为一系列细粒度的服务，每个服务专注于单一业务功能，运行在独立的进程

中，每个服务之间边界清晰，采用 HTTP/REST 等轻量级通信机制相互沟通来实现完整的应用。其特点服务功能单元独立化、通信接口标准化、服务开发组件化，极大增加了应用系统开发的开发效率和灵活性。

安徽省基层防汛语音服务平台基于微服务架构设计，由一系列细粒度语音服务组成，每个语音处理服务相对独立，内部实现一定的语音处理逻辑，对外承担特定的任务，通过服务组合实现更大程度上的语音业务逻辑。服务开发基于 JaveEE 平台实现，数据服务接口风格为表述性状态传递 REST，通过基于 JS 语言的轻量级的数据交换格式 JSON 进行交换数据。

4 总结

通过将智能语音识别技术应用到安徽省基层防汛管理工作，为辅助各级水行政管理人员做好日常防汛工作，提高工作效率、改善系统使用体验提供支撑，为行政领导查询信息提供便捷的手段，这项工作也为水利信息化向智慧水利发展提供了很好的示范，是安徽省智慧水利建设的重要组成部分。

参考文献

[1] 习近平.决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利——在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告 [J].理论学习 2017，(12)：4-25.

[2] 刘超. 安徽省水利信息化建设现状与展望[J].治淮,2020(2)：64-66.

[3] 刘汉宇.国家防汛抗旱指挥系统建设与成就[J].中国防汛抗旱,2019,29(10):30-35.

[4] 王海坤，潘嘉，刘聪. 语音识别技术的研究进展与展望[J].电信科学,2018，34(2)：1-11.

[5] 戴礼荣，张仕良，黄智颖. 基于深度学习的语音识别技术现状与展望[J].数据采集与处理,2017，32(2)：221-231.

[6] 蒋勇. 基于微服务架构的基础设施设计[J]. 软件，2016， 37 (5)：93-97.

[7] 王毅,刘洪伟,霍风霖.新形势下北京市防汛抗旱及水旱灾害防御信息化建设思考[J].中国防汛抗旱,2019,29(03):5-8.

水文信息化技术在水旱灾害防御的应用

程一帆　　杨海亮

（南京水利科学研究院，南京 210029）

摘要：信息化是水旱灾害防御的重要支撑。信息化技术发展的日新月异,应用日趋广泛,便利了我们的生产和生活。水文信息化技术主要用于水旱灾害防御工作中,便于工作人员获得及时、准确、可靠的水、雨情数据信息,改善水旱灾害防御制定决策的准确性可靠性。本文针对水文信息化技术在水旱灾害防御中的应用进行了分析，对新时代做好信息化下的水旱灾害防御工作提出工作建议，为提升水文信息化对水旱灾害防御的支持和服务能力提供了建议。

关键词：水文信息化技术；水旱灾害防御；建议

1　水文信息化技术在水旱灾害防御中应用必要性

江河湖泊的水文数据是水旱灾害防御的重要依据，水旱灾害防御与水文监测分析密切相关。近年来，水利部门大力提升水文信息的监测与数据传输能力建设，为汛期的防汛指挥提供水文数据支撑。通过对我国水旱灾害防御工作现状分析,虽然在信息技术在水文领域应用范围逐步扩大,但是从数据来源上看,仍存在部分人工管理和报送的水文数据,存在完整性不足，统计效率低的情况,甚至出现数据错误和不规范情况,影响预测预报准确度，无法准确支撑水旱灾害防御。因此,要提高水文预测和预报能力，同时应保证汇聚的信息高效与准确,必须加大对水文信息化技术的研究力度,通过赴一线调研分析与实际应用结合，科学运用信息化手段减少人为重复操作和干预，代替传统工作方式,让基层人员投入更多精力进行数据统计分析，改善预测预报精度,科学延长未来洪水的预报时间,打牢预测预报的基础。通过改善信息技术,打通基础水文数据收集到后期加工的各环节,提高数据精度和准度,为水旱灾害防御工作的开展提供更准时、更精确的数据支撑。水利部门将掌握的区域内水情和预测预报成果通报应急管理部门，便于更快应对可能带来的人员伤亡和财产损失，提高防御成效。

2　水文信息化技术在水旱灾害防御中的应用价值

2.1　降低灾害的影响

我国地域广阔，分布了各式各样的水利工程，环境差异大，水文监测难度高。而做好水文工作的基础就是水情监测，通过自动监测获取和人工采集的水情数据，提交计算机开展研究分析和预测，进而服务于水旱灾害防御，保障人民生命财产安全。而水情状况是一个非常复杂多变的过程,只有获得准确可靠的数据信息,才能开展切实有效的水旱灾害防御工作。通过水文信息化技术的应用,可以提高水情数据信息的准确可靠性,制定切实有效的防治措施,降低灾害的影响力度。

2.2　为水利行业带来了更多的经济效益与社会效益

水利是我国的基础设施,可以有效带动地方经济社会发展。水文信息化技术的应用，让全国各地的水利信息化技术走上了新台阶，形成了计算机网络监测系统，各地上报的雨水情快速汇集，能够提高对未来水情的针对性，改善预测的及时性和准确性和评估合理性，更有利于将灾害防患于未然，经济与社会效益成效显著。

3 信息化技术在水文领域的实际应用

3.1 信息传输网络的建立

网络与通信是水文信息化领域的技术载体。目前，卫星与计算机网络已成为水文信息传输的“生命线”，卫星播报信息通过网络逐级发布，为保证水、雨情数据信息传输的安全畅通，水利骨干网将省级和水利部通过专线连接，形成数据专用通道，为各省以及国家水工程调度中心提供调度依据。同时，为提升工作效率，水利部门建设了协议统一的视频会商系统，联通水文、气象、应急等部门，随时召开视频会议，远程开展多部门协商交流，实时传输预报图像，提高防汛会商和远程办公的工作效率，让防御决策更科学，调度更合理。

3.2 信息化技术在水旱灾害防御中的应用

当前，地理信息系统（GIS）、遥感技术、全球定位系统（GPS）、大数据及人工神经网络发展突飞猛进,在进入汛期预测预报模式下,全球定位系统能迅速给出洪水影响的坐标范围，地理信息系统直观展示相关水文信息，遥感技术方便快捷估算旱涝程度，大数据结合历史数据和相关气候地质数据进行分析模拟，为提前部署应急抢险工作提高了精度。同时，自动预测报系统与骨干网高度融合，一旦未来预测可能发生大洪水，系统将自动进行报警提示，经预报员分析提出处置建议，提升处置效率。如今，各类信息化技术广泛运用在我国很多河流,为我国水利信息化建设作出了相应的贡献。

4 新时代做好水旱灾害防御信息化工作的建议

新时代做好水旱灾害防御，要进一步强化水工程防洪调度信息化支撑。一是构建水工程调度规则库和雨、水、工、灾情数据库，同时规划建设预警下达、水工程调度、人员避险转移、险工险段抢护等历史库，为工程调度提供参考。二是加大人工智能、大数据、云计算、物联网、区块链等新技术的研究与应用，根据科研成果和历史数据及时调整建模，提高数据信息分析水平，加快处理能力，逐渐达到流域洪水预测预报和水工程调度的自动计算与模拟预测，通过人工智能应用学习常用预测经验，利用大数据分析和云计算进行多角度预报，结果预测更可视化，逐步修正计算机预测精度，提高水文支撑水旱灾害防御的信息化水平。

参考文献

[1] 吴泽雄,张彩云,张艺铭.水文信息化技术在水利防汛中的应用[J].建筑工程技术与设计,2017,(32):2451.

[2] 尚全民，褚明华，闫永銮，等. 2020 年全国水库防洪调度实践与思考[J].中国防汛抗旱，2020,30(12):1-4.

[3] 刘志雨. 我国水文监测预报预警业务展望[J]. 中国防汛抗旱, 2019, 29(11): 31-34,61.

[4] 刘昌军. 基于人工智能和大数据驱动的新一代水文模型及其在洪水预报预警中的应用[J]. 中国防汛抗

旱, 2019, 29(5): 11-11,22.
[5] 韩刚,王常效,刘业森,等.深圳市洪涝预警调度系统建设方案及实现[J].中国防汛抗旱.2020,(11).14-19,42.

山东黄河防汛可视化应急调度会商系统应用研究

于晓波

（山东黄河信息中心，济南 250031）

摘要：随着“智慧水利”、“智慧黄河”等顶层设计的提出及相关建设项目不断推进，信息化建设也不断推动着黄河治理能力与治理体系的现代化发展。本文立足防汛信息化实际，结合视频监控技术，探讨可视化应急调度会商系统在山东黄河防汛业务中的应用，系统可提早防汛应急调度决策的制定，迅速准确的下达调度指令，减少灾情的影响时间，降低灾害的危害程度，节省救援资源，旨在推动信息化与防汛业务融合发展，进一步提高黄河防汛现代化管理水平。

关键词：信息化；视频监视；防汛应急；调度会商

1 概述

黄河安危，事关人民群众的生命财产安全，黄河防汛正向现代化智能化快速转变，“数字黄河”也向“智慧黄河”发展升级。在防汛关键时期，黄河防汛指挥决策者需了解河道关键位置的实时图像信息以支持防汛决策会商。防汛抢险现场的险情、抢险情况的上传与防汛抢险决策命令的下达，传统语音电话等简单传输手段已被视频远程监控、水情自动测报、视频会商等多种现代信息化手段替代。

目前山东黄河主要由省市县局三级视频会议系统实现防汛应急调度，会场间可双向交互，但无法直接调取汛情现场实时视频资源，且只能在黄河系统内部进行视频会商，无法与外系统防汛部门进行会商交流。随着治黄信息化标准的不断提高，原系统已远不能满足对防汛应急调度日益增长的业务需求，亟需进行功能提升拓展。随着现代信息技术的飞速发展，利用先进的传输及图像采集技术，研发适合黄河特点的、视频广覆盖且图像高质传输、操作性强的防汛可视化应急调度系统，以实现在原视频会议系统功能基础上进行拓展与延伸。

以黄河防汛抗旱抢险实际业务需求为出发点，并基于黄河信息通信专网的具体情况和特点，集成融合多种信息采集及传输手段，建设山东黄河防汛可视化应急调度会商系统，可实现迅速召开可视化防汛应急调度会议。将防汛现场的险情工情等视讯信息实时传输到指挥调度中心，决策层可对远在千里之外的防汛抢险现场情况一目了然，并可随时和防汛现场沟通会商，进行指挥调度，充分提高防汛调度指挥决策的时效性、科学性、准确性。

2 系统方案

（1）在山东黄河重要险工坝岸等处建设视频监控点，实时掌握可视范围内河势、工程、水位、滩岸及冰凌等情况，实现重点管控位置的全时域监控。

（2）以黄河通信专网为基础，运营商电路为辅，将前端监控视频资源进行整合，做好视频数据的收集、显示与储存，实现视频资源跨区域统一调度管理。

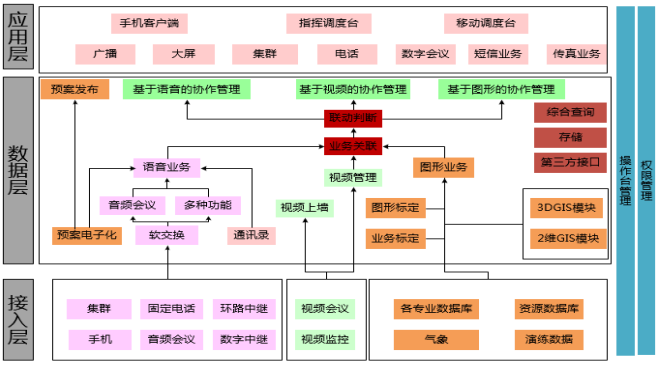
（3）建成集视频监控、远程会商、辅助决策等功能于一体的综合交互式系统。险情突

发时可迅速召开远程防汛应急调度会，会场可直接调取现场实时视频，并可双向交互、远程指挥，同时可结合 GIS 系统直观显示抢险物资与队伍情况，提高防汛应急调度决策的科学性。

3 系统组成

3.1 总体架构

山东黄河防汛可视化应急调度会商系统主要包括接入层、数据层和应用层，系统总体架构见如下图所示：



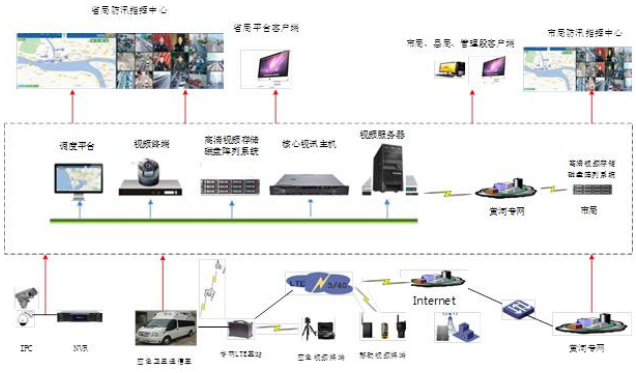
系统总体架构图

接入层主要完成防汛监视终端、视频会议终端、手机、水文气象信息、移动终端、移动通信指挥车等的综合接入。数据层主要完成视频、音频、图形等业务的管理和协作，完成存储和查询，完成与第三方的接口对接。应用层主要完成视频会议、监视、广播、电话等各系统的无缝整合，并完成在手机、调度台、大屏等各种显示终端的应用及展示。

3.2 系统组成

在山东黄河河务局省级部署视讯数据库服务器、高清视频存储磁盘阵列，安装防汛可视化应急调度系统管理软件；在省级防汛指挥中心部署核心应急调度主机、智能视频指挥通信调度台、以及系统客户端软件。在下属市局（管理局）市一级部署高性能视频存储阵列兼顾数据库服务器与数据存储的功能，级联纳入省级防汛可视化应急调度系统统一管理，并安装系统客户端软件。县局一级暂不作为重要节点考虑，但可以安装系统客户端软件，在县局本地参与防汛可视化应急调度。在省市县三级防汛可视化应急调度中心配置高清视频采集设备以及全向音频采集终端，并安装系统会商客户端软件。

系统连接示意图如下图所示：



系统连接示意图

4 系统功能

（1）集视频存储、视频调阅、电子地图、视频会商、语音数据多业务于一体，具备海量设备接入、存储、管理能力，将多种系统的视频、语音、数据应用融合，实现对多设备、多区域的可视化管理，通过音视频快速传输网络，将系统整合成一个统一由指挥中心管理、协调、指挥的防汛可视化应急调度系统，实现可视化实时指挥、调度和部署。

（2）可对接 GIS 地理信息系统、数字防汛预案等。可具备简单、直观、快速调度等多种优势，全面支持地理定位，一键式调度视频图像、语音对讲，在指挥调度中心可同步显示现场固定视频、移动终端等设备采集的视频数据；查询地理位置信息，查看实时视频，进行可视化管理；集成语音通信功能，可对前方指挥人员和防汛抢险人员进行通信，实现可视化指挥，进行视频巡视管理；指挥中心随时根据抢险现场实时视频，作出决策判断，下达指令。

（3）具备迅速召开防汛应急调度会议功能，实现组播、讨论、喊话等一些列功能，最主要的是能够在召开会议的同时，直接调取用户权限范围内可调取的所有前端视频资源，可同时调取多路前端视频资源，前端视频图像以浮动窗口的形式直接显示在会议界面，供与会者查看并直接作为决策依据，系统可结合电子地图的功能，显示带有 GPS 信息的监控点的位置。

5 系统特点

SOA 平台架构设计：面向服务的组件模型，它将系统的不同功能模块进行拆分，各功能组件间通过简化、精确的接口设计进行通讯，构建迅速、可靠的可视化应急调度系统。

兼容性和扩展性：具有较好的开放性、灵活性和伸缩性，并有较强的定制能力和二次开发能力，能满足系统应用范围、深度和规模发展的需要；基于多层模块化软件结构设计，方便功能扩展；提供丰富的二次开发接口，可与原有视频会议、涵闸监控、GIS 系统、数字防汛预案等应用系统进行对接，并可根据需求进行定制化开发。

多系统协同联动功能：可实现各种语音、视频、数据系统间的协同联动功能，将各独立系统融合到一起，实现声音、文字、图像、数据信息综合展示，提升系统的应用能力和推广价值，大大提高作业效率。

完善的流控功能：在多域互联的场景中，实现跨域浏览的流控功能，在有限的带宽中，可以优先保障业务中的重点用户的跨域浏览需求。

层级组网和分权分域：根据需求可进行灵活的多级组网，实现不同区域、部门的语音通信、视频、数据等信息的协同一体化指挥调度。根据需求给不同的用户分配管理权限，支持多种用户角色，管理员可随时添加和删除用户，并对各级用户的管理权限进行分配。同级用户根据不同的管辖区域划分调用权限。当对资源调度发生冲突时，高级别的用户有优先权。

6 应用情况

可视化防汛应急调度会商系统在山东黄河防汛抢险、行政执法、应急调度等方面得到较为广泛的应用，有效地提高了水旱灾害的公共安全保障能力以及相应的系统预警能力，能够长期为确保黄河安澜和公共安全体系建设提供信息化支撑。

整合接入的前端视频监控图像涵盖险工、控导、涵闸、浮桥等多面重要管控位置，通过系统统一调度管理，实现包括移动终端、可视对讲 APP、固定监控点图像等各类音视频信息的传输整合功能，并将采集到的图像快速、及时的传送到防汛指挥中心，系统已被各级防汛部门普遍运用在日常业务工作中，系统功能经受了实战的考验。

应用场景一

应用场景二

本系统在山东黄河防汛工作中发挥了重大的作用，提高了工作效率。提早防汛调度决策的制定，迅速准确的下达调度指令，减少灾情的影响时间，降低灾害的危害程度，节省救援资源。能够可视化获取流域河道实时运行状态及防汛现场实时情况，实现交互式多方异地会商、科学准确下达调度指令，提升了防汛抗旱应急指挥调度能力，提高了防汛指挥决策的时效性、准确性和科学性，推动治黄体系与治黄能力的现代化进程。

参考文献

[1] 黄朝忠.防汛抗旱应急组织指挥体系[J].中国防汛抗旱,2006,(02).

[2] 丁留谦.防汛抗旱信息化建设与未来发展思考[J].中国防汛抗旱,2017,27(03).

[3] 闫志平.黄河视频远程监控系统涉及研究[J].科学致富向导,33(2014).

[4] 王占华.视频融合在应急指挥调度系统中的应用研究[J].治淮,3(2016).

农田水利防汛抗旱的对策

李美玉

（垦利黄河河务局，东营 257500）

摘要：作为一个农业大国，农业是中国国民经济的生命线。农业的发展与社会稳定和经济发展密切相关。不言而喻，有效解决农民、农村地区及农业问题的重要性。作为农业发展的重要组成部分，农业用水保存管理、干旱防治对充分保障作物产量和农民利益具有重要意义。

关键词：农田水利；防汛抗旱；对策

农田水利对促进农业发展起着重要作用，是农村健康发展的前提。最近农民们开始充分注意农田水利项目的建设。主要是灌溉和水利项目的开发和经济收入有直接影响，因此灌溉和水利项目对农业健康有序发展起着重要作用，其重要性不容忽视。随着社会经济的快速发展，市长/市场经济越来越完善。近年来，农田水利工程取得了优异的成果，但目前中国的农业水资源管理长期处于不利地位。直到最近，政府才开始关注防灾减灾。

1　农田水利工程在防汛抗旱中的作用

1.1　降低干旱、洪涝的危害

中国从东到西，从北到南有大片领土，这导致时间和空间降水分布不均，容易发生对农业生产和社会生活非常不利的干旱或洪水。为此，相关部门必须根据特定的气候特点采取相应的控制措施，其中农田水利项目是常用项目。农田水利项目可以在洪水发生时排放洪水，干旱发生时可以使用灌溉中积累的水，从而最大限度地减少干旱和洪水的危险。

1.2　调控水量的空间分布

通过农田水利项目的建设，可以收集河流、湖泊和运河的水，并将其运往遥远的农田，确保农业生产活动的顺利发展。另外，通过农田水利事业的建设，水资源可以从其他地方输送，中国水资源不均匀的空间分配问题可以得到有效改善，在缺水地区满足了农管及畜产饮用水的需要，可以促进农业的稳定发展。

1.3　实现节水灌溉

传统的农业生产模式受干旱不能及时灌溉的气象因素限制，洪水时间排水，下雨天经常灌溉，因此作物产量很大程度上取决于天气。通过农田水利项目的建设，可以合理分配水资源，这对开发节水灌溉大有帮助。

2　农田水利抗旱防汛管理的重要意义

中国北部缺乏容易干旱的水资源。加强水利项目建设，可以在洪水季节妥善储存水，在干旱季节释放灌溉水，有效避免农业生产干旱。但是从目前开发的角度来看，该地区建设的水利事业很难抵御大规模洪水和干旱。水库的蓄水容量对严重干旱影响不大。因此，在水利项目中，加强防汛抗旱管理具有重要意义。大规模降水经常发生在导致严重水分砍伐的南部

地区。首都测井的发生将破坏农田和住宅，给人们的生活和财产造成巨大损失。在这种情况下，有必要在时间上建造河岸和沟渠。除了最大限度地提高农业生产效益外，还希望能最大限度地发挥水利项目在农业生产中的积极作用，有必要做好防洪和水利项目抗旱工作。农田水利项目可以减弱自然灾害，促进农业健康发展，在防洪和抗旱过程中从根本上提高人们的生活质量。中国大部分地区都有季节性特征明显的温和大陆气候，南部多雨，北部少雨，相对干燥。在农业生产过程中，自然灾害对农业生产的副作用可能会大大减少。水利项目的防洪和抗旱功能可以促进农业健康发展，实现水资源合理应用，将农田水利项目与周边环境紧密联系，形成多种生产模式，促进农田水利项目管理健康发展。在水利事业减弱自然灾害的背景下，可以促进农业可持续发展，帮助农户积极学习尖端技术，提高农业运行质量和效率，改善生产条件，减少盐碱化和土壤侵蚀的发生，真正提高农民的整体收入。

3 农田水利防汛抗旱管理措施

3.1 有效运用洪水旱情预测技术

目前，各种尖端信息技术不断普及，应用于多种领域，提高了现场制定专业工作对策的可能性。在农田水利领域，可以使用高度信息化的气象预报技术，更准确、更及时地获取气象信息，主动采取相应的防洪和抗旱救灾措施，保证野兔和干旱等灾害的清除效果，提高农田水利防洪和抗旱管理的准确性。例如，在该技术下，将气象卫星遥感测试技术应用于灵芝水利和干旱救灾管理，通过与辐射遥感测量技术相结合的运载各种气象观测仪器的卫星收集各种气象数据，之后工作人员可以通过科学算法进行反演计算，获得准确的未来气象信息。然后，根据预测信息，估计灾害和损失的可能性。最后，由于进行了目标水资源管理和干旱救济工作，以便于最大程度地降低损失，保证群众生命财产安全，以及农业的稳定生产。

3.2 推广节水技术

在当前社会发展背景下，节能已成为一个非常重要的主题，特别是节约水资源是节约能源的一个非常重要的方面。在中国农业开发过程中，作为促进中国可持续农业发展的重要途径和方法，农田水利管理时要积极推进节水技术。农田水利管理中采用新的节水技术，可以节约淡水资源，提高农业经济效益。节水技术的应用可以使用最少的水，促进作物产量和输出值的增加。目前，中国农业、林业和水利项目管理中常用的节水技术包括黏膜灌溉、运河渗透控制、喷灌、微灌等。将节水技术应用于农田水利项目管理，可以有效避免水资源浪费，另一方面可以避免水资源污染，提高农业生产力，优化产业结构。目前，在灌溉和节水项目中，中国应积极促进节水技术，以科学技术为管理基础，逐步改善水资源不足领域特别重要的农业生产、节水和节能、监测管理的优化配置。通过该措施的应用，促进中国灌溉和水利管理专业、科学、高效。

3.3 形成合理的管理机制，提升管理意识

随着经济的发展，国家注意农业生产，注意政策，但要尽快改善注意程度。因此，有必要提高农田水利管理者的经营意识，实现防汛抗旱管理的重要性。从系统和人才方面改善水利项目防洪和抗旱管理的特定过程。专门雇用的专家参与水利项目的管理和维护，加大对防

洪和抗旱工作重要性的宣传，普及基本知识，同时不断总结和形成科学的管理机制。责任要落实到人们身上，积极参与，加强管理者的主动性和热情。

3.4　保证洪水调度的合理性

在汛期运行农田水利的过程中，如果发生洪水灾害，应根据灾害的特定情况采取相应的洪水调度措施，引发洪水，消除洪水损失。在此基础上，在防汛和抗旱管理中，劳动者首先要通过支持技术措施来确定洪水的本质，然后提前制定针对不同性质洪水的转换计划，及时、有序地应对洪水调度工作，提高洪水管理的效果。洪水动员中，对于洪水季节一般规模的洪水，为了减少下游压力，应该引入水库水缓解政策。洪水是不寻常的洪水时，为了防止洪水调度时大坝崩溃，必须采取相应的水库安全措施。另外，为了实现洪水排放，需要水库洪水排放工作时，为了防止洪水排放工作造成的人员伤亡，有必要沿河与村庄进行通信。同时，为了优化防洪和抗旱管理的效果，必须将稳定、严格的调度计划和讲课的实际情况结合到混凝土工作中。

3.5　强化工作者业务能力

在防汛抗旱管理中，作为防汛抗旱管理措施的执行者，劳动者的专业能力水平直接影响农田水利项目的运行水平。因此，要注意提高劳动者的专业素质，要采取相应的教育和招聘措施，以提高工作队的整体专业性。在此过程中，为了丰富专业知识，有必要组织积极参与劳动者的教育活动。同时，内部教育软件可以引入教育交换平台，教育过程可以用视频记录，并随时发送到下载和观看的教育交换平台，这样工人就可以长期服用，利用碎片化的时间参加教育活动和相应的考试，以免影响工人的正常工作。另外，在人才引进方面，有必要加强评价，适当优化后处理及进入标准，吸收更好质量的人才，综合优化专业水平的劳动者。

综上所述，农田水利项目在防洪和抗旱救灾中起着重要作用，这不仅能保证作物的生长，还能提高作物的产量。因此，有关部门应更加重视农田水利事业的建设和管理，采取采用运河辐射技术、加强防洪排水项目等措施，充分发挥农田水利项目的防洪和抗旱效果，有效促进高稳定的农业生产。

参考文献

[1] 李爱芹.水利工程在防汛抗旱中的作用及优化策略[J].居业，2020（5）：148-149.

[2] 刘小平，万怡国，卢江海.浅析加快小型农田水利工程管理体制改革[J].农村科学实验，2019(24)：17—18.

[3] 焦文正.农田水利管理与防洪抗旱问题论述[J].农业科技与信息,2016(20):114+118.

[4] 程鹏.浅谈小型农田水利工程建设项目中灌溉水源工程溢流坝的设计计算 J].南方农业，2019(9):114—115.

[5] 李富祥• 浅论农田水利工程在防汛抗旱中的作用与建议[J]• 建筑工程技术与设计，2019$(2)

[6] 吕棚棚，史鹏飞.山西临汾市西涧北抗旱水源工程水量供需平衡分析[J].中国防汛抗旱，2019，29(12):33-35+64.

[7] 张伟兵,耿庆斋.北宋农田水利法及其对当前农田水利改革的借鉴意义[J].中国防汛抗旱,2018,28(05):60-63.

新安江模型在滩坑洪水预报中的优化及应用

王庆平

（宁波弘泰水利信息科技有限公司，宁波 315000）

摘要：结合滩坑水库的流域特征，利用高分辨率遥感影像数据及商业气象信息将三水源新安江模型计算流程加以优化。结合不同暴雨中心的流域综合单位线建立具有针对性的洪水预报模型，选择历史场次洪水对优化后的新安江模型进行对比分析，分析了模型模拟中出现的问题及提出相应完善方案。根据对比结果表明，该优化后的新安江模型在滩坑水库洪水模拟计算中具有更好的适应性和有效性，可为水库水文预报及调度提供技术支撑，为水库发挥防洪兴利综合效益提供科学依据。

关键词：新安江模型；滩坑水库；流域特征；洪水预报；优化及应用

Optimization and Application of Xin'anjiang Hydrologic Model to Flood Forecasting in Tankeng Reservoir

WANG Qingping

Ningbo Hong Tai Water Conservancy Information Technology Co., Ltd, Ningbo 315000, China

Abstract: Combined with the Tankeng reservoir basin, using high-resolution remote sensing image and commercial meteorological information to optimize the Xin'anjiang model.with the different rain centers a targeted flood forecasting model is established by synthetic unit hydrograph.The parameters of the Xin'anjiang model were calibrated and tested by historical floods. The results show that, the optimized Xin'anjiang model has better adaptability and effectiveness in flood forecasting of Tankeng reservoir. It can provide technical support for reservoir hydrological forecast, and provides a scientific for the preventing flood and increasing benefit, .

Keywords: Xin'anjiang model; Tankeng reservoir; basin characteristic;flood forecasting; optimization and application

水库防洪作为流域防洪工作中的一部分，对于确保水库大坝安全、下游河道行洪具有十分重要的意义，而水库洪水预报是保证其有效发挥防洪、调蓄的先决条件。滩坑水库地处中亚热带季风气候、温暖湿润、雨量充沛。基本具备了三水源新安江模型[1-2]的应用条件，但也具有其流域的特异性及差别性。本文将新安江模型在滩坑流域计算流程上的处理方法经过针对性优化并应用于流域洪水预报中，分析其在该流域洪水预报中的适应性和有效性。

1　流域概况

滩坑水库（水电站）位于浙江省丽水市瓯江流域小溪支流中段。水库上至景宁鹤溪，下至滩坑水库大坝，控制流域面积 3330 ㎢。地处亚热带季风气候，湿润多雨。水库正常蓄水位 160m，校核洪水位 169.15m，总库容 41.55 亿 ㎥，调节库容 21.26 亿 ㎥，防洪库容 3.50 亿 ㎥，水库库面面积约 70.93㎢，库面狭长，干流回水长度约 80km，系多年调节型水库。流域范围及测站分布图如图 1 所示。

图 1　滩坑流域范围及测站分布图

2　模型优化及计算流程

传统新安江模型首先对流域进行分单元划分，对每个单元流域分别进行单元蒸散发计算、单元产流计算、水源划分和坡面汇流计算，以此得到每个单元出口断面流量过程，同时通过河道汇流方法演算每个单元出口流量到全流域出口断面，最终耦合每个单元流量过程线，得到全流域出口断面的流量过程。本文针对滩坑流域特有性质，对传统新安江模型计算流程及计算方法进行优化。

2.1　蒸散发优化计算

蒸散发在流域水量平衡中起着重要的作用。滩坑流域内只有大坝处设置蒸发测站，以单站实测蒸发量与蒸散发折算系数进行流域整体蒸发能力计算无法达到精度要求，并且采用单一的蒸散发折算系数这一方法忽略了蒸发与流域下垫面植被覆盖的差异性等特点，本文基于地理空间数据服务（多光谱和全色波段）影像及高分辨率遥感影像分别对森林、农田、水体、建设用地等四种地类进行提取[3]（如图 2 所示）。基于商业气象信息数据（温度、湿度、风向、风速、气压、云量）对流域内不同地类蒸发量等指标进行计算，采用 Penman 综合公式(如式 1)对每个单元进行森林、农田等地类蒸发能力 E1 计算[4]。对水体蒸法能力依据实测蒸发数据及蒸发折算系数进行计算。

$$ET=\frac{A\frac{P_0}{P}\times\frac{k}{\gamma}\times R_n+0.26(e_s-e_a)(1+C_u)}{\frac{P_0}{P}\times\frac{k}{\gamma}+1}\quad(1)$$

式中：$\frac{P_0}{P}$为海平面标准大气压和地面点实际气压比；$\frac{k}{\gamma}$为饱和水汽压-温度曲线斜率和温

度计常数比；e_s、e_a分别为饱和水汽压和实际水汽压（mbar）；C_u为修正后风速（m/s）。

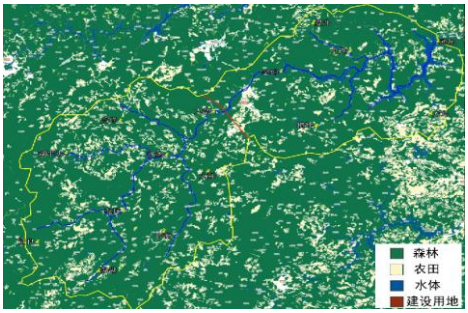


图 2　地类提取分布图

2.2　产流优化计算

基于已经提取的不同类型地类分布及相对应面积参数值，对水体及建设用地等地类（占总面积 4.56%）概化为不透水区域，则其所有的降水（扣除同期蒸发量）都产流。对森林、农田等地类（占总面积 86.32%和 9.12%）采用蓄满产流模式，降水在满足田间持水量前不产流，所有的降水都被土壤所吸收而成为张力水，降水在满足田间持水量后，所有的降水（扣除同期蒸发量）都产流[5]。

通过上述对不同地类产流模式的分析，只需要对各个地类建立以W_0为参数的降雨径流关系即可得到该区域内产水量 R。

2.3　汇流优化计算

水库回水距离约 80km，回水周边区域汇入水库库区的水传播速度、河槽调蓄能力等都有不同变化。由于回水距离过长，无法忽略其流速随时间和沿程的变化，而马斯京根法则是建立在忽略惯性项的基础上而来的，因此对整个库区内河道汇流采用传统的马斯京根方法则存在理论误差。基于以上考虑，本次研究采用经过历史洪水推演的流域综合单位线，考虑不同降雨时空分布等特性，将流域分为上中下游三部分。针对每个区域采用以该区域为暴雨中心的综合单位线进行汇流计算，计算公式如式 2。

$$QS = RS * UHi \quad (2)$$

式中：QS 为地表径流流量(m³/s)；RS 为地表径流量(mm)；UHi 为不同暴雨中心区域综合单位线（已根据历史水文资料推求完成）。

3　模型对比分析

3.1　资料的选取

研究选取流域内贤良、苏湖、官塘、湖坪头、毛垟、后垟、沙湾、大溪、大均、金钟、横坪、夏庄、九龙、万阜、滩坑等 15 个雨量站及流量站水文气象资料，依据上述优化后的新安江模型，分别对改进前后的模型进行分析计算[6]，研究优化后的模型对该流域洪水预报模拟的合理性及适应性。

3.2　结果对比

本文根据现有资料选取近年不同年份、不同量级场次洪水进行模型对比分析，首先根据模型参数依据人机交互方法进行优选。其次对各场次洪水进行径流深、洪峰、峰现时间计算[7]。其模型参数值见表 1，场次洪水模拟对比结果见表 2。

表 1　模型参数值表

参数	K			WM		WUM		WLM		B	
传统模型	0.9			130		20		80		0.3	
优化模型	1 类地	2 类地	3 类地	2 类地	3 类地	2 类地	3 类地	2 类地	3 类地	2 类地	3 类地
	1	气象计算值		140	150	15	20	90	90	0.25	0.23

参数	C		SM		EX	KI		KG	
传统模型	0.16		15		1.5	0.35		0.35	
优化模型	2 类地	3 类地	2 类地	3 类地	1.5	2 类地	3 类地	2 类地	3 类地
	0.2	0.18	20	25		0.32	0.4	0.38	0.3

参数	CS		CI		CG		KE	XE
传统模型	0.66		0.85		0.995		1	0.35
优化模型	1 类地	2 类地	3 类地	2 类地	3 类地	2 类地	3 类地	
	0.15	0.69	0.71	0.87	0.9	0.996	0.998	

备注：1类地为水体及建设用地，2类地为森林，3类地为农田

表 2　场次洪水模拟对比结果

洪号	P（mm）	R（mm）	R1（mm）	R2（mm）	Q（m³/s）	Q1（m³/s）	Q2（m³/s）	T1（h）	T2（h）	合格与否	
										优化后	传统模型
20100203	93.9	62.1	61.5	55.3	644	600	612	5	7	合格	合格
20100508	146.5	128.3	129.1	136.5	2266	1860	1897	-4	-5	合格	合格
20100512	182.8	172.1	180.8	177.7	2937	2991	3041	-4	-6	合格	合格
20100521	243.3	216.9	215.6	198.3	3194	2753	2660	13	12	合格	合格
20110429	182.6	147.4	150.8	162.5	1003	1025	1150	-2	-2	合格	合格
20110527	259.7	252.8	244.2	240.3	2676	2442	2400	2	3	合格	合格
20120721	353.1	322.6	330.8	328.2	5600	5716	5543	0	1	合格	合格
20120821	390.7	226.7	211.4	200.3	5070	5929	5754	1	2	合格	合格
20120830	536.4	424.3	443.9	404.4	7110	6261	6005	-2	-3	合格	合格
20130703	132.5	157.1	154.4	144.7	3380	2877	2770	3	-2	合格	合格
20130801	491.7	318.1	325	356.5	8400	7061	7212	0	0	合格	合格
20140618	305.8	217	227.2	215.3	3800	3779	3674	-3	-6	合格	合格
20140829	178.4	101.3	106	117.6	2240	1688	1710	1	-1	不合	不合
20150525	167.7	147.2	147.7	135.3	2240	1839	1890	-1	-2	合格	合格
20150711	299.4	181.3	183.3	211.4	2200	2495	2615	0	1	合格	合格
20160609	584.1	575.9	588.6	580.2	4160	4318	4249	-2	1	合格	合格
20160823	409.2	223	218.1	233.6	4670	5348	5800	-1	-2	合格	不合
20180624	183.9	111.6	106.8	124.3	2200	2195	2237	-1	0	合格	合格
20190812	383	172.3	183.3	200.7	2290	2553	2648	-4	-4	合格	合格

注：R、Q 分别为实测径流深、实测洪峰；R1、Q1、T1 分别为优化后模型计算径流深、洪峰、峰现时差，R1、Q1、T1 分别为传统模型计算径流深、洪峰、峰现时差；峰现时差+为计算提前，-为计算迟后。

表 2 中根据洪水预报精度评定准则，优化后模型 19 场洪水合格 18 场，传统模型合格 17 场。优化后的模型计算径流深平均相对误差绝对值较传统模型提高 5.34%，计算洪峰平均

相对误差绝对值较传统模型提高 1.61%。

3.3　结果对比分析

（1）通过模型计算结果可以看出，优化后的模型计算径流深及洪峰相对误差较传统模型更小（如图 3），径流深相对误差的提升也说明优化后的蒸散发模型更加符合流域实际情况，将流域按照不同地类进行分割后，不同的地类要素采用不同的蒸散发计算方法有效提升了流域整体蒸发能力计算精度，较传统采用单一蒸发折算系数法更加合理。

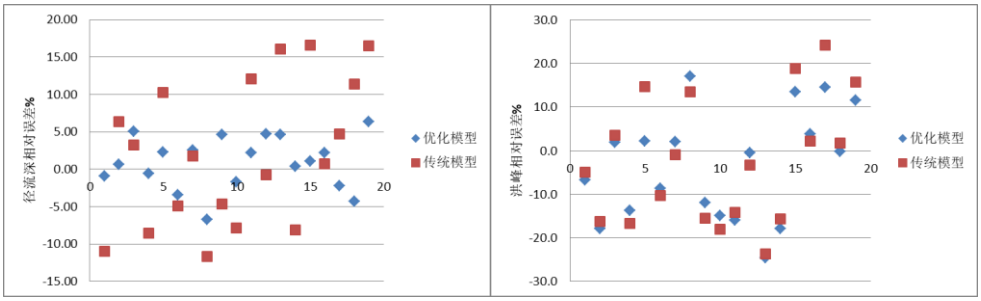


图 3　径流深及洪峰相对误差分布图

（2）通过对流域汇流方法的优化，优化后的模型在峰现时间误差上较传统方法有所提升，采用综合单位线法可有效规避马斯京根方法在水库回水区汇流的误差因素。

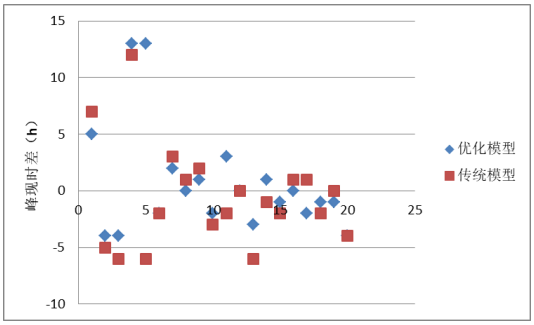


图 4　峰现时间偏离分布图

4　结语

（1）新安江模型目前主要应用于湿润，半湿润地区，本文根据滩坑水库流域地处湿润地区的实际情况，将新安江模型经过优化应用于滩坑水库洪水预报中取得了较好效果。结果表明，该预报模型和方案合理可行，可给水库洪水预报提供一定的借鉴。

（2）随着近年来流域内人类活动的增加，建设用地、植被的变化都直接影响着流域产流机理，加大基于地理信息系统的流域数据调查，无人机倾斜模型等新技术的应用，能极大提高防汛工作人员对流域产流的认识，为防汛预案的制定提供科学支撑。

（3）滩坑水库回水影响距离远（回水 80km），在采用马斯京根法对河道汇流进行演算过程中忽略了水流惯性波等因素，分析研究水库回水区河道汇流机理，也是提高水库洪水预报模拟精度的重要手段。

参考文献

[1] 包为民.水文预报[M].北京：中国水利水电出版社，2006.

[2] 李匡,韩刚,臧文斌,刘舒.新安江模型状态变量初值对计算结果影响分析[J].中国防汛抗旱,2020,30(04):32-36+47.
[3] 李纪人.遥感和地理信息系统在分布式流域水文模型研制中的应用[J].水文，1997(03):9-13.
[4] 段爱旺.提高彭曼—蒙太斯公式计算精度的一种简易方法[J].灌溉排水，1992(02):53-55.
[5] 王庆平，沈国华，王红艳.垂向混合产流模型在不同地区的应用与改进[J].节水灌溉，2012(05):11-15.
[6] 赵人俊，王佩兰.新安江模型参数的分析[J].水文，1988(06):2-9.
[7] 包为民.新安江模型参数的自动率定[J].河海大学学报，1986(04):22-30.

黄河防汛遥感影像库系统分析与设计

刘道芳　　李　燕　　李长松

（黄河水利委员会信息中心，郑州 450004）

摘要：随着遥感技术的快速发展，遥感在黄河防洪防凌中得到广泛应用。特别是随着国产中高分辨率数据在防汛监测中大量应用，防汛遥感影像数据以几何级数速度增长，防汛遥感影像库的建设变得越来越重要。本文在分析黄河防汛遥感影像的数据类型和建设需求的基础上，针对目前黄河防汛遥感影像管理中存在的问题，提出了黄河防汛遥感影像库系统总体框架和技术方案，分析了黄河防汛遥感影像库的数据存储方式和关键技术，并在黄河防汛影像库的建设中得到应用，初步形成了黄委范围内防汛像数据框架体系和存储、服务、应用模式标准，实现了黄委范围内防汛遥感影像数据的共建共享，提高了防汛遥感影像数据的使用效率。

关键词：防汛；遥感影像库；元数据；面向服务

0　引言

近年来，随着遥感技术的发展和国家对防汛减灾要求的提高，遥感在黄河防汛减灾中得到广泛应用。特别是随着中高分辨率数据在防汛监测中大量应用，遥感影像数据以几何级数速度增长，对高效管理共享海量防汛影像数据带来很大的考验。如何建设黄河防汛遥感影像库，管理海量防汛遥感影像数据，并及时为各防汛系统、各业务应用提供遥感影像服务，成为防汛遥感影像管理中一项重要任务。

基于以上需要，建设黄河防汛遥感影像库要解决三个关键问题：

（1）防汛影像数据库设计，包括防汛影像数据的分类、命名、存储设计等内容。解决“存储什么内容？怎样存储？”的问题。

（2）集中统一的元数据服务，包括元数据标准、集中的元数据查询检索服务。解决“有什么？如何获得？”的问题。

（3）面向服务的防汛遥感影像共享，解决“怎样使用？”的问题。

本文将在分析防汛遥感数据类型和防汛遥感影像库建设需求的基础上，介绍了黄河防汛遥感影像数据库的总体设计，进而结合建设过程的工作实际，对如何解决上述三个问题展开讨论。

1　防汛遥感数据类型

黄委防汛遥感监测中，主要使用了 RADASASAT、COSMO、GF3、HJ1A/B、GF1、GF2、GF6 等数据，分辨率从 0.8 米到 50 米左右，既包括雷达数据，也包括可见光数据。根据建库的需要，将黄河防汛遥感数据分为以下几类：

1.1　原始数据

原始数据是从网络上下载或从数据供应商处采购的数据。原始数据主要采用文件夹或压

缩包的形式存放，每景数据存储为一个文件夹或压缩包。不同类型的遥感数据存储格式可能不同，如 GF1 采用的是 TIFF 格式，RADARSAT-1 采用的是 ERS CEOS 格式。原始数据包括元数据信息和数据本身。

1.2 校正后的多波段遥感数据

原始数据经过几何校正或正射校正后的数据为校正数据，一般带有比较精确的地理坐标，可以进行影像叠加套合，能够为信息提取、图像分析提供数据支持。校正数据一般采用 GEOTIFF 或 IMG 格式存储，可以直接提供给用户使用。

1.3 影像产品

校正后的数据保留了原始数据的全部波段，没有经过增强处理，图像的亮度颜色一般不能满足用户浏览需要。为了增强遥感图像的显示效果，减少数据量，需要从校正数据中选择相应的 RGB 波段，进行彩色合成、匀光匀色、拉伸增强处理，达到较好的视觉效果后生成影像产品，建立影像金字塔后可以直接提供给应用系统作为影像底图使用。

2 防汛遥感影像库建设需求

2.1 数据共享的需求

在黄委系统，各个防汛单位根据不同的项目需要，采集了多种遥感数据。虽然黄委在这些年在数据共享方面做了很多努力，但是数据共享问题还是满足不了生产需要。一些防汛遥感数据仅限项目内部使用，没能充分发挥遥感数据的作用。为了扩大防汛遥感数据的使用范围，需要建立一个基于防汛遥感影像元数据的统一的数据信息发布平台，使得各个数据需求单位及时、准确、详尽的了解现有的防汛遥感数据情况，避免数据的重复购买、重复处理，提高防汛数据的应用效率。

2.2 数据维护管理的需求

防汛遥感数据类型多，数据量大，管理维护任务量大。这些数据是防汛工作的重要资料，需要加强管理，并保证数据安全。为了方便日后查询检索，需要将数据纳入防汛数据库管理，建立统一的防汛数据库管理软件系统，包括：数据的录入、修改、删除、查询浏览等。

2.3 影像服务的需求

在数据共享中，一些应用系统其实并不需要原始遥感数据，只是需要处理好的影像产品。在这种情况下，为其他应用系统提供影像服务接口，使得“数字黄河”中其他应用系统可以安全、方便的使用遥感数据及遥感影像数据库系统提供的各种服务，可能是一种更好地选择。

3 系统总体设计

3.1 系统总体框架

黄河防汛遥感影像数据库主要包括元数据库、原始遥感影像库、校正遥感影像库、数字正射影像（DOM）库、地理信息库、控制点库和应用成果数据库（影像产品存入应用成果数据库）七个子数据库，通过数据库专用引擎（数据访问接口）为客户提供各种专业的应用服务，包括防汛遥感影像数据预处理及入库、遥感影像分发和遥感影像 Web 发布，同时为“数字黄河”其他应用系统提供方便、快捷、高效的应用支持。其总体框架如图 1 所示。

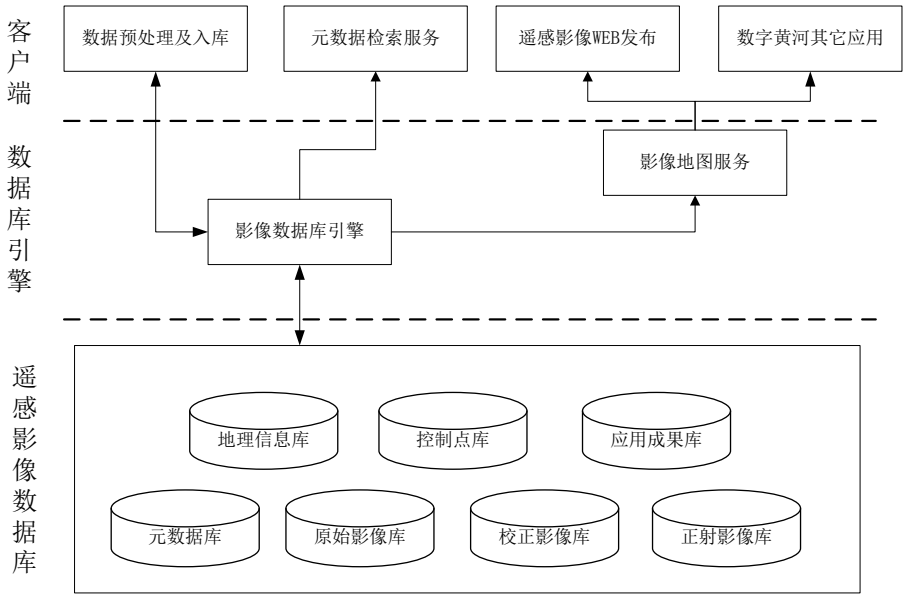


图 1　黄河防汛遥感影像数据库系统总体框架

3.2　总体技术方案

3.2.1　防汛数据预处理及入库

包括防汛遥感数据编码设计、防汛遥感影像数据预处理和防汛遥感影像数据入库三部分。采用主流开发技术进行开发，作为专门的防汛遥感影像入库工具，配置到各遥感影像应用单位。

防汛遥感数据编码设计包括遥感影像分类编码标准和遥感影像数据命名标准。其中防汛遥感影像分类编码是按照现在轨卫星采集的各类影像数据按照英文简写进行编码，数据命名采用“遥感影像分类编码+时间”的方式进行命名。

防汛遥感影像预处理转换包括影像压缩、格式转换、坐标投影转换、元数据编辑维护等功能。黄委防汛遥感影像数据庞大、种类繁多、数据格式不一、存储介质各异，因而，在防汛影像数据入库之前，必须进行预处理。

防汛遥感影像数据入库包括数据导入、数据管理维护和元数据注册功能。实现防汛遥感影像数据库的管理维护，并同时将数据的元数据在统一的元数据中心进行注册。

3.2.2　数据存储方式及内容

目前防汛遥感影像数据管理方式主要有：基于文件的管理方式、基于文件+数据库系统的管理方式、关系型数据库管理方式、镶嵌数据集等。

根据黄河防汛信息化对遥感数据的需求，单一的数据管理模式难以满足需要。为了满足黄河防汛遥感数据管理、应用系统共享的需要，我们拟采用文件系统十数据库系统及镶嵌数据集两种管理模式。

（1）文件系统十数据库系统存储管理模式

原始防汛遥感数据主要包括两类数据：元数据和原始遥感影像数据。元数据是日后进行

数据处理及数据研究的重要参考数据，需要存储在数据库中。由于原始影像数据是非结构化的数据，采用文件方式存储比较合适。为了节省存储空间，需要对原始影像数据的全部文件进行压缩存储。

文件系统十数据库系统存储管理模式采用文件系统存储非结构化的压缩原始遥感影像数据，使用数据库系统存储结构化的遥感影像元数据，包括数据分辨率、时间、数据类型、卫星类型、存储文件路径等。这种管理模式结合了文件系统和数据库系统的优势，既能存储和管理大规模原始遥感影像，又便于通过元数据对数据的查询和使用。这种模式比较适合黄河防汛原始遥感影像数据的管理问题。采用文件系统十数据库系统存储管理模式，可以通过应用系统将元数据信息发布出去，用户通过元数据信息，可以全面了解数据状况，根据用户权限，下载使用原始数据，为数据的管理及分发提供了有力支持。

（2）镶嵌数据集数据存储管理模式

为了满足防汛应用系统调用防汛遥感影像的实际需求，对于校正后（包括正射校正后）及影像产品数据，采用镶嵌数据集的数据管理模式。镶嵌数据集是由 ESRI 公司在 ArcGIS 10 以上版本中新增的影像数据模型。该模型是管理和显示大规模遥感影像的理想模型。

镶嵌数据集具有以下特性：

影像动态镶嵌。通过动态镶嵌技术，可以近乎实时的速度完成传统影像管理中的影像镶嵌过程，并可达到相同的镶嵌效果。

影像实时处理。影像实时处理技术是一种按需进行影像动态处理的技术。它能够让用户以近似实时的速度得到影像处理结果。通过实时处理技术可以实现遥感影像的几何处理和辐射处理，并减少冗余数据。

影像服务共享。利用镶嵌数据集管理的遥感影像可通过 Web 服务的方式进行共享(需要使用 ArcGIS for Server，Image Server Extension)。用户无需安装客户端组件和程序，即可通过网络快速访问共享的影像数据，从而实现大规模遥感影像的企业级访问。通过使用动态镶嵌和实时处理技术，用镶嵌数据集建立影像库的速度得到了质的提升。

当利用镶嵌数据集来管理遥感影像数据时，它仅在空间数据库中建立影像索引，不会拷贝或者改变原有的影像数据。镶嵌数据集充分发挥了存储系统和数据库系统的优势，具备管理大规模遥感影像的能力。

3.2.3　遥感影像服务

利用 GIS 服务器软件将影像数据进行发布成 OGC 标准的 WMS、WFS 服务，用户可以使用支持影像服务加载的 GIS 或遥感软件，实现专业应用数据与影像服务的叠加；或者引用影像服务开发 web 应用，实现遥感影像的在线浏览和叠加应用；

黄河防汛遥感影像数据库为用户提供服务的方式包括：

（1）在线检索浏览：通过网络，提供元数据查询检索和遥感影像在线浏览服务；

（2）数据服务：授权用户可以直接连接 SDE 数据库；

（3）影像地图服务：授权用户可以在开发的 WEB 应用或桌面程序中，引用发布的服

务。

4 关键技术

4.1 数据预处理

在防汛影像库建库之前，需要对防汛遥感数据进行预处理，提高影像的地理位置精度和显示效果。数据预处理包括遥感数据自动校正和空洞自动处理技术。自动校正就是将采集到的遥感数据自动配准到已有的影像产品上，实现一键式、无人工干预自动化处理。空洞自动处理技术即对影像内部的零值区域进行自动化处理。其基本原理是，计算机自动寻找影像内部的零值区域，自动在零值像元上增加一个灰度值，这样在透明化的过程中，影像内部的暗目标显示正常。

4.2 元数据信息自动入库

元数据是遥感影像重要的描述数据，是数据查询检索的依据。大量的元数据若全部采用人工录入的方式进行入库，工作量大，容易出错。为便于元数据入库，需要开发基于不同遥感数据的元数据读取程序。其基本思路是，开发基于不用元数据文件类型的数据读取接口程序，自动读取对应的元数据信息，导入数据库。对于需要人工录入的信息，事先建立查找表，通过选择的方式录入，统一数据录入内容，方便元数据管理查询。

5 黄河防汛影像库建设与应用

根据防汛遥感数据的属性，将防汛影像库分为元数据库、原始遥感影像库、校正遥感影像库、数字正射影像（DOM）库、地理信息库、控制点库和应用成果数据库（影像产品存入应用成果数据库）七个子数据库。

对于原始数据，为了提高元数据录入效率，设计开发了基于不同数据类型的元数据读取程序。针对不同的数据类型，自动读取元数据文件的元数据信息，并自动导入数据库中。对于校正后及数字正射后的遥感数据、地理信息数据、应用成果数据，设计了数据录入 GP 工具。通过选择录入数据源，选择填写必要的数据信息，如数据日期、数据类型等信息，可以实现有地理参考防汛数据的快速入库过程。

同时，为了检索原始数据，开发了原始数据查询系统，通过输入查询条件，自动完成查询任务，并将检索结构返回至客户端。建立的防汛遥感影像库在黄河凌情遥感系统、黄河下游防汛遥感监测系统中得到广泛应用。对于检索到的应用成果数据，实现多种模式的对比显示分析，包括多幅成果叠加显示、卷帘对比显示、多幅排列对比显示、横幅对比显示、竖幅对比显示等功能。

6 结论

通过建立黄河防汛遥感影像数据库，初步满足了防汛数据管理及应用系统的需要。形成黄委范围内防汛像数据框架体系和存储、服务、应用模式标准，实现了黄委范围内防汛遥感影像数据的共建共享，对于提高防汛遥感影像数据的使用效率、推广遥感技术应用将起到很好的作用。

参考文献

[1] 李宗华，彭明军.基于关系数据库技术的遥感影像数据建库研究[J].武汉大学学报（信息科学版）,30(2):166-169.2005.

[2] 黄杰，刘仁义，刘南等.海量遥感影像管理与可视化系统的研究与实现[J]. 浙江大学学报（理学版），35(6)：701-706.2008.

[3] 黄诗峰,辛景峰,杨永民.旱情遥感监测业务化应用现状、问题与展望[J].中国防汛抗旱,2020,30(03):18-21.

[4] 乔保军，张谦，余涛等. 基于 Oracle GeoRaster 的对象-关系型遥感影像库设计与实现[J].微计算机信息，28(10)：448-450.2012.

[5] 张畅，刘强，戴昌礼等.大规模影像数据库的设计与实现[J].测绘科学，35(3)：208-209.2010.

[6] 董杰，黄炎，董平.基于镶嵌数据集的大规模遥感影像管理研究[J].红外，33(10)：30-32.2012.

[7] 刘佳明.湖北梁子湖近 45 年来蓄洪容积变化遥感监测分析[J].中国防汛抗旱,2019,29(04):29-35.

基于 Vue 和 SpringBoot 框架的流域监管平台的研究和应用

刘　欣[1]　　李亮亮[1]　　牛　聪[2]

（1.黄河水利委员会信息中心，郑州 450003；2.郑州黄河河务局，郑州 450003）

摘要：为积极践行“水利工程补短板、水利行业强监管”总基调，黄委在水利部水利督查工作平台的基础上，扩展流域监管平台。流域监管平台实现监督信息的共享和监督工作的集中统一协调，是流域监管的一体化信息系统，为流域监管工作统筹规划、信息共享、部门协作提供支撑。本文的“流域监管平台”基于 Vue 和 SpringBoot 设计并实现，通过数据自动采集、信息共享、大数据分析、人工智能等信息化手段，动态查询情况、及时发现问题、有效跟踪整改、实时沟通交互，提高监督工作的实效性、协同性和科学性。本文从系统网络架构、总体框架几方面介绍系统设计，以流域首页、数字看板、流域推广模块为代表，介绍系统功能的实现。

关键词：流域监管；Vue；SpringBoot

1　概述

习近平总书记在中央财经领导小组第五次会议上,从全局和战略的高度,提出：水利改革发展要贯彻“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的方针。2019 年全国水利工作会议明确提出：要运用信息化手段，搭建一个覆盖水利各业务领域的信息互通平台，实行问题清单管理，实现发现问题、认定问题、整改督办、责任追究的有效衔接和闭环运行。

为积极践行“水利工程补短板、水利行业强监管”总基调，在水利部水利督查工作平台的基础上，扩展流域监管平台。流域监管平台整合流域水旱灾害防御、水资源管理等业务系统监管类信息，补充流域监管工作所需的事项和功能，实现监督信息的共享和监督工作的集中统一协调，是流域监管的一体化信息系统，为流域监管工作统筹规划、信息共享、部门协作提供支撑。本文的“流域监管平台”基于 Vue 和 SpringBoot 设计并实现，通过数据自动采集、信息共享、大数据分析、人工智能等信息化手段，动态查询情况、及时发现问题、有效跟踪整改、实时沟通交互，提高监督工作的实效性、协同性和科学性。本文从系统网络架构、总体框架几方面介绍系统设计，以流域首页、数字看板、流域推广为代表，介绍系统功能的实现。

2　技术架构

2.1　Vue.js

Vue[1] 是一套用于构建用户界面的渐进式框架。与其它大型框架不同的是，Vue 被设计为可以自底向上逐层应用。Vue 的核心库只关注视图层，不仅易于上手，还便于与第三方库或既有项目整合。该框架是轻量级的 MVVM（Model View View Model）[2][3]，其原理是数据的双向绑定，数据驱动加组件化的前端开发。虚拟 DOM 利用在内存中生成与真实 DOM 与之对应的数据结构，当数据发生变化时，能够智能地计算出重新渲染组件的最小代价并应

用到 DOM 操作上。

2.2 SpringBoot

Spring Boot[4]框架框架可以轻松搭建独立运行、产品级别的 Spring 应用。Spring Boot 是由 Pivotal 团队提供的全新框架，其设计目的是用来简化新 Spring 应用的初始搭建以及开发过程。该框架使用了特定的方式来进行配置，从而使开发人员不再需要定义样板化的配置。通过这种方式，Spring Boot 致力于在蓬勃发展的快速应用开发领域成为领导者。本系统后台服务端正是基于 Spring Boot 架构实现的。

2.3 Element UI 前端框架

Element UI [5]是一套采用 Vue 2.0 作为基础框架实现的组件库，一套为开发者、设计师和产品经理准备的基于 Vue 2.0 的组件库，提供了配套设计资源，帮助网站快速成型。由饿了么公司前端团队开源。Element UI[6]遵守四项设计原则：一致性、反馈、效率和可控性。一致性体现在与现实生活一致、在界面中一致；反馈体现在控制反馈和页面反馈；效率体现在简化流程、清晰明确、帮助用户识别；可控性体现在用户决策和结果可控。

3 系统设计

3.1 监督流程分析

监督流程可以笼统的划分为六个环节，分别是：前期准备、查、认、改、罚、成果运用。通过流域水利督查工作平台的开发实现六个环节的有效衔接和闭环运行。

（1）前期准备：对应监督前的准备工作，实现计划管理、任务管理、专家管理、队伍管理、方案管理。

（2）发现问题：对应“查”的环节，通过综合监管、专职监管、专业监管和日常监管实现发现问题。实现督查信息采集任务灵活定制。

（3）认定问题：对应“认”的环节，由被检查对象通过平台进行研判确认。

（4）整改督办：对应“改”的环节，由检查单位督促被检查对象进行整改并通过平台进行结果反馈、跟踪、自动生成报表。

（5）责任追究：对应“罚”的环节，由检查单位根据有关规定进行责任追究并在平台进行记录。

（6）成果运用：实现督查成果统计分析、考核评价、过程跟踪、水利部-流域-省区多维统计。

3.2 系统总体框架

图 1 系统总体架构

系统框架：面向六个环节，分别是：前期准备、查、认、改、罚、成果运用。实现三项信息化服务：采集、整合、应用。如图 1 所示。

最底层是采集层，内容涵盖移动 APP 采集，在线监督知识采集，影像资料采集，导航定位，以及轨迹记录。

基于采集层，向上层监督应用提供数据服务，包括：业务数据服务、历史数据服务、采集数据服务，还有问题研判模型、分析评价模型。

最上层的是监管应用，面向前期准备、查、认、改、罚、成果运用六个环节。前期准备实现计划管理、任务管理、专家管理、队伍管理、方案管理。发现问题通过综合监管、专职监管、专业监管和日常监管实现发现问题。认定问题由被检查对象通过平台进行研判确认。整改督办由检查单位督促被检查对象进行整改并通过平台进行结果反馈、跟踪、自动生成报表。责任追究由检查单位根据有关规定进行责任追究并在平台进行记录。成果运用实现督查成果统计分析、考核评价、过程跟踪、水利部-流域-省区多维统计。

4　系统实现

4.1　流域首页

流域首页，支撑监督前期准备、督查填报（查）、问题确认（认）、省区整改（改）、督查评价（罚）、成果运用各环节。由于流域单位层级多，流域首页选择条件更加丰富。与一张图结合，灵活展示搜索结果。综合查询各栏目联动示意如图 2 所示。

综合查询条件包括四个方面：时间范围、流域范围、监督单位和监督事项。条件确定之后，地图、数据列表和统计数字三个维度发生变化，包括左侧一张图的描点，右侧列表中的监督数据和顶部的统计数字。

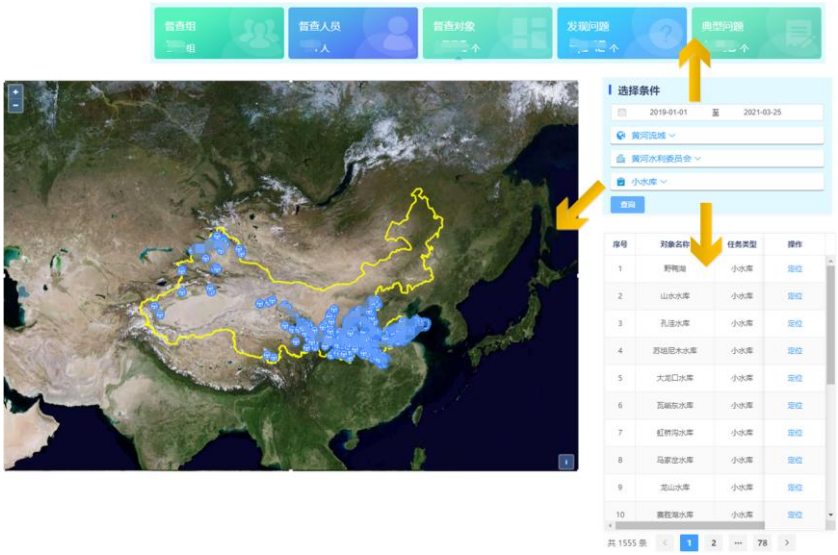


图 2　流域首页综合查询各栏目联动示意图

4.2　数字看板

数字看板采用 Echart 图表工具，从时间、区域、监管事项三个维度对流域督查区域的督查组、督查人员、督查对象、发现问题、典型问题数量进行统计分析。对比流域省区与全

国平均、流域平均问题数。对比流域省区历年督查问题数和整改问题数。从流域单位、监管事项角度展示任务进度。从流域区域和监管事项角度展示历年问题趋势。数字看板如图 3 所示。

图 3　数字看板页面展示

数字看板完整的请求响应过程如下所示。首先，用户登录水利督查工作平台，进行身份认证；获得身份信息，并作为访问数字看板的参数，并调用数字看板的数据上报接口，最终符合用户身份权限的监督数据返回给用户查阅，完成完整的数字看板数据请求响应过程。

4.3　流域推广

流域推广，根据“水利督查工作平台推进会”要求，黄委对流域级平台进行了通用性改造，收集其他六个流域的基础信息，已完成长江流域、淮河流域、海河流域、珠江流域、松花江流域、太湖流域的通用功能定制工作，并上线运行，流域推广内容如图 4 所示。

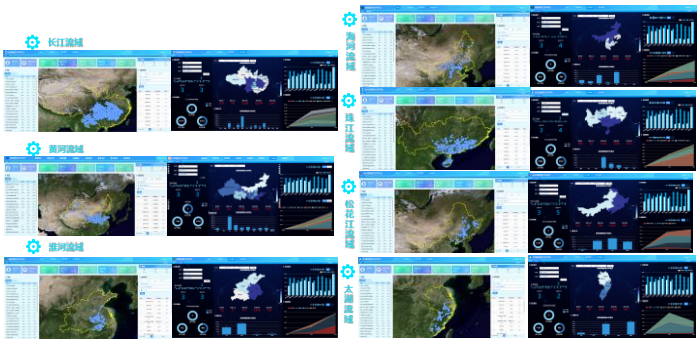


图 4　流域推广示意图

流域推广遵循标准先行、规范统一，需求导向、功能使用，资源整合、数据共享，统分结合、各有侧重。推广原则如图 5 所示。

图 5　推广原则

5 结束语

本文的“流域水利督查工作平台”基于 Vue 和 SpringBoot 设计并实现，为用户提供流域首页、数字看板等功能，并已完成长江流域、黄河流域、淮河流域、海河流域、珠江流域、松花江流域、太湖流域七大流域的推广工作。

对于未来的工作，我们一方面会在业务应用、页面美化、屏幕适应性等方面不断完善，另一方面也会成熟的架构模式拓展到其他督查业务事项上，为督查工作提供更加方便的服务。

参考文献

[1] Vue.js 官网： https://cn.vuejs.org/.

[2] 埃里克·汉切特(Erik Hanchett)，本·利斯顿(Benjamin Listwon):Vue.js 开发实战.清华大学出版社,2019.9.

[3] 麦冬、陈涛、梁宗湾：轻量级响应式框架 Vue.js 应用分析.计算机工程应用技术,2017(7):58-59.

[4] Spring Boot：https://spring.io/projects/spring-boot/.

[5] 王志文：Vue+ElementUI+Echarts 在项目管理平台中的应用.山西科技，2020(6):45-47.

[6] Element UI：https://element.eleme.cn/#/zh-CN.

基于大数据和人工智能技术的南平市山洪灾害特征分析

张晓蕾[1,2]　　刘　启[1,2]　　翟晓燕[1,2]　　刘荣华[1,2]

（1.中国水利水电科学研究院，北京 100038；2.水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心，北京 100038）

摘要：山洪灾害受复杂地形地貌条件、暴雨等气候特征和密集的人类活动等影响严重。本研究基于福建省南平市山洪灾害防御大数据，采用人工智能技术，深入挖掘分析了南平市山洪灾害的时空分布特征。研究结果表明，南平市历史山洪灾害集中分布于主要河流两岸，河网密集，河道比降大，洪水暴涨暴落，易于发生灾害事件，其中延平区、武夷山市、政和县和建瓯市 4 个市县山洪灾害密度较高，灾害频次多，研究结果对于深入研究南平市山洪灾害成因，识别山洪灾害风险，开展精细化山洪灾害预警，具有重要作用。

关键词：山洪灾害防御大数据；人工智能技术；灾害特征

1　研究背景

短时强降水和地形特征是山洪灾害危险性的重要来源[1]。南平市境内山峰耸峙，低山广布，河谷与山间小盆地错落其间，具有中国南方典型的“八山一水一分田”特征，形成以丘陵、山地为主的地貌[2]。复杂的地形地质条件、暴雨多发的气候特征、密集的人口分布和人类活动的影响，导致山洪灾害发生频繁，根据福建省山洪灾害调查评价成果，建国以来，南平市共发生有记载的山洪灾害事件 70 场，死亡 264 人，造成巨大的经济损失和大量人员伤亡[3]。

利用大数据和人工智能技术，深入挖掘南平市山洪灾害特征，对于研究南平市山洪灾害成因，识别山洪灾害风险具有重要的作用。

2　山洪灾害防御大数据与人工智能技术

2.1　山洪灾害防御大数据

2.1.1　山洪灾害小流域数据集

南平市小流域数据主要包括小流域及逐级合并流域图层、河网及属性信息等，如面积、坡度、最长汇流路径、比降、形状系数、土壤含水量、土地利用类型、土壤质地类型、设计暴雨、洪峰模数、汇流时间等。

2.1.2　山洪灾害调查评价数据集

山洪灾害调查评价数据集主要包括南平市山洪灾害调查评价相关成果，如：行政区划信息、防治村、防治区、危险区、人口分布、房屋分布、历史山洪灾害、自动监测站点（雨量、水位）、简易监测站点（雨量、水位）、无线预警广播站、涉水工程（桥梁、路涵、塘坝）、分析评价沿河村落、预警指标（1、3、6h/准备转移、立即转移）、现状防洪能力等。

2.1.3　空间数据集

空间数据集主要包括基础地理信息 DLG 数据、遥感影像数据、调查评价成果关联数据等，可细分为工作底图数据和调查评价专题数据。

2.2　人工智能技术

近年来，随着信息技术的快速发展,人工智能技术在防洪减灾领域应用广泛，有力支撑了"防洪工程"和"信息化工程"两大短板，呈现智能化、聚合化、安全化的大趋势[4]。充分采用数据挖掘、机器学习等人工智能新技术，进行大数据的统计、相关分析、数据挖掘、规律探究，可有效提高大数据分析的效率[5]。

数据挖掘是从大量的、随机的、不完全的、模糊的、有噪声的数据中提取出隐含在其中的信息和知识的过程。随着信息技术的高速发展，水利及防汛减灾积累的数据量急剧增长，动辄以 TB 计，如何从海量的数据中提取有用的知识成为当务之急。

3　研究区域与方法

3.1　研究区域

福建省南平市位于福建省北部，地处武夷山脉北段东南侧，是闽、浙、赣三省交界处，俗称“闽北”，东北部与浙江省相邻，西北部与江西省接壤，东南部与宁德市交界，西南部与三明市毗连，介于北纬 26° 15’—28° 19’，东经 117° 00’—119° 17’之间，市域面积 2.63 万 km²，占福建省的五分之一。2019 年末，全市户籍人口 318.26 万（常住人口 269 万），其中城镇常住人口 154.68 万人；实现地区生产总值 1991.57 亿元。

2010-2016 年，福建省南平市共完成了 10 个县区单位的山洪灾害调查评价任务，涉及受山洪威胁行政村 1557 个、自然村 5194 个，受山洪威胁企事业单位 2003 个，危险区 4925 个，受山洪威胁人口 269.8 万人。

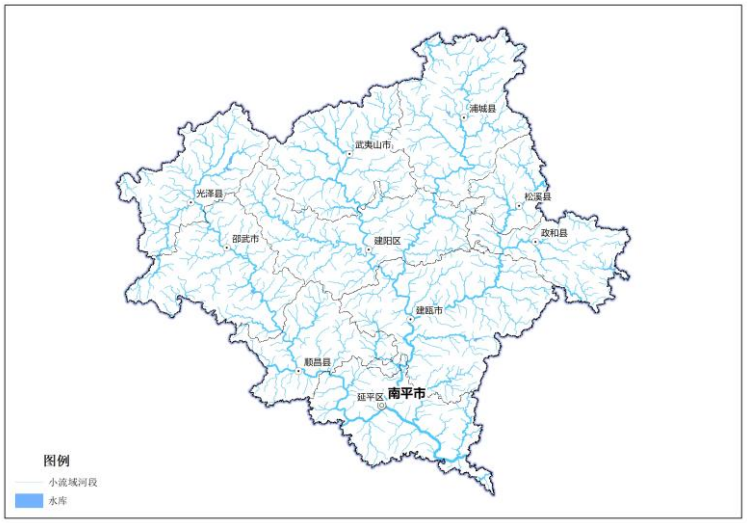


图 1　南平市河网分布图

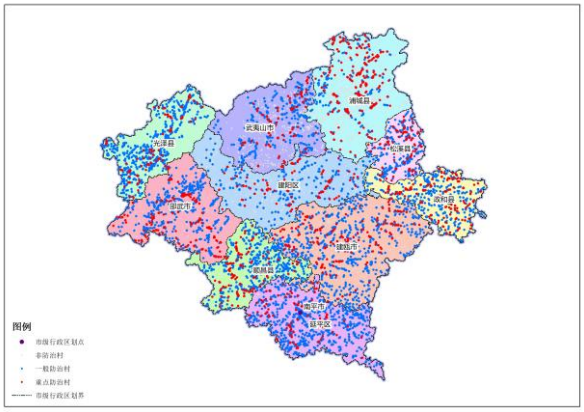


图 2　南平市防治村分布图

3.2　研究方法

本文基于南平市山洪灾害防御大数据，运用热点分析方法，分析南平市山洪灾害的特征，为山洪灾害风险分析提供支撑。

热点分析是局部空间自相关分析的判定模式，该方法通过计算数据集中每一个要素获得高值或低值要素在空间聚类的分布，可直观判断高低值在何处出现了聚类以及聚集的密集程度[6]。这种方法的统计学意义是：一个具有高值的要素并不意味着显著热点，只有高值要素被其他同样具有高值的要素所包围时才可称为显著热点（如图 3）。

图 3　热点分析示意图

4　结果与讨论

4.1　南平市历史山洪灾害时空分布

根据福建省山洪灾害调查评价成果，初步统计了建国后历史山洪灾害的场次、死亡人口、空间分布情况，并结合历史资料，初步整理了南平市建国后的历史山洪灾害。由图 4 可知，南平市历史山洪灾害主要分布在武夷山市、邵武市、顺昌县、延平区、建瓯市和政和县，其中发生人员伤亡的灾害主要集中在南平市北部的武夷山市、南部的顺昌和延平区及东部的政和县，在历史上均发生了死亡人口大于 10 人的灾害事件。由图 5 可知，南平市历史山洪灾害在 2000-2010 年间发生的频率最高，且死亡人口较多，在 2010 年以后，经过系统的山洪灾害防治项目建设，因灾所致的死亡人口大大降低。

图 4　建国后南平市历史山洪灾害分布图

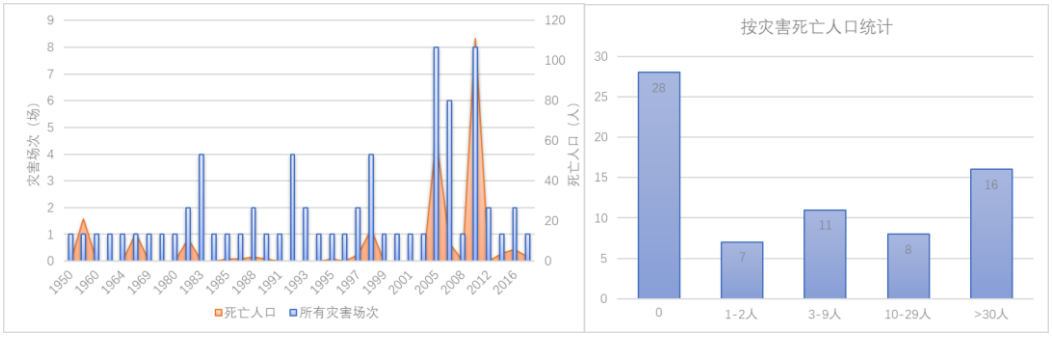


图 5　南平市建国后历史山洪灾害统计

4.2　南平市历史山洪灾害密度分析

运用热点分析，获得了南平市历史山洪灾害密度分布图（图 6）。由图 6 可知，南平市历史山洪灾害集中分布在主要河流两岸，南平市河网较为密集，河道比降大，导致汇流时间小，流速快，洪水暴涨暴落，易于发生灾害事件。从高密度分布区域可知，延平区、武夷山市、政和县和建瓯市 4 个市县密度较高，反映了山洪灾害事件发生频次的集中分布情况。对于灾害密集发生区域，要加强山洪灾害防御措施，科学识别山洪灾害影响因子，开展精细化山洪灾害风险评估，提高高风险区域的山洪灾害防御水平。

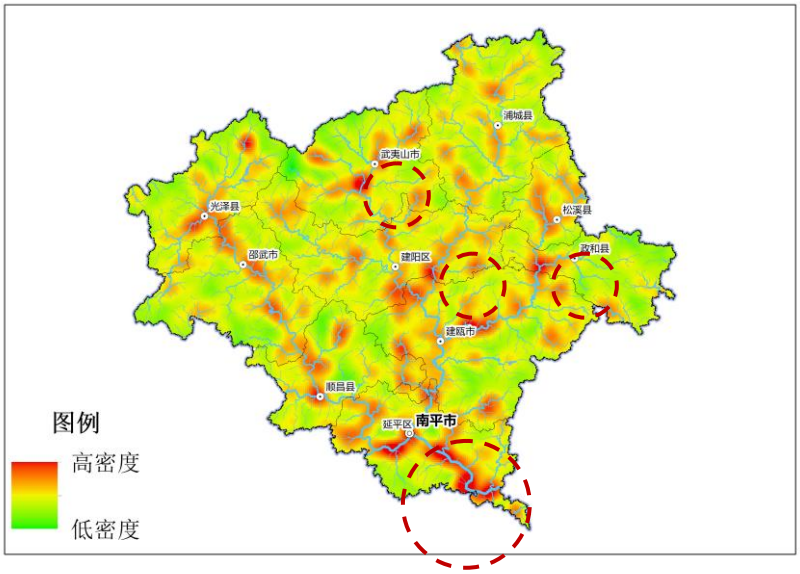


图 6　南平市历史山洪灾害密度分布图

参考文献

[1] 王建辉. 福建南平市山洪灾害成因分析及现行防治措施[J]. 中国防汛抗旱, 2014(S1):110-111.

[2] 陈垒, 衣秀勇, 雷宇明,等. 南平市"三位一体"防洪减灾体系规划思路[J]. 中国水利, 2020, 884(02):51-53.

[3] 郭良, 张晓蕾, 刘荣华, 等. 全国山洪灾害调查评价成果及规律初探[J]. 地球信息科学学报. 2017,19(12): 1548-1556.

[4] 刘业森, 陈胜, 刘媛媛, 等. 近年国内防洪减灾信息技术应用综述[J]. 中国防汛抗旱, 2021,31(01): 48-57.

[5] 刘媛媛, 李磊, 韩刚, 等. 数据挖掘技术在城市防汛中的应用[J]. 中国防汛抗旱, 2020,30(05): 52-56+64.

[6] 李华威, 万庆. 小流域山洪灾害危险性分析之降雨指标选取的初步研究[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(003):425-435.

整体式柔性充水围井的研制与应用研究

程永辉　　陈　航　　熊　勇

（长江科学院水利部岩土力学与工程重点实验室，武汉 430010）

摘要：管涌是汛期堤防最为常见的险情之一，一般采用在管涌口周围排垒土袋做成围井，根据需要在围井中铺填反滤料进行抢护。然而这种方法需要装填和搬运大量土袋，完成后时刻需要人力看护，抢险效率较低，且汛后处理麻烦。针对这些问题，本文研制了整体式柔性充水围井用于管涌险情抢护，通过开展结构方案比选、成型和壅水试验，验证了整体式柔性充水围井的可行性；基于结构特点和抢险要求，对其应用方法、应用条件、功能特性和运行维护进行介绍，总结了整体式柔性充水围井在抢险效率和险情监测自动化能力方面的优势，为管涌应急抢险提供一种新产品。

关键词：管涌抢险；柔性 PVC 材料；充水围井；运行维护；自动化监测

1　研究背景

管涌险情又称翻砂鼓水、泡泉或地泉，是汛期堤防最为常见的险情之一，如 2020 年鄱阳湖区圩堤险情中管涌是发生次数最多的类型，占比达到近 50%[1]，如图 1 所示。

图 1　鄱阳湖古埠联圩（桩号 10+850）管涌险情处置

关于管涌险情的成因、发展与致溃机理，许多学者开展了大量的研究与实践。毛昶熙[2]、张家发等[3]、吴庆华等[4]对管涌问题的研究发展过程进行了综述与评论。张家发等[3]建立了管涌危急性和致溃型管涌的概念，并根据危急性对管涌进行分类，提高了险情处置的针对性与科学性。陈建生等[5]对堤防渗流管涌发生后产生集中渗漏通道的机理进行了研究，确定了险情的发展过程。吴庆华等[4]讨论了管涌险情汛期与非汛期的抢险技术，认为研发便携式、装配式抢险材料与设备是当前堤防管涌抢险的研究方向。许多学者结合防汛抢险实践，总结了汛期堤防管涌险情的抢险关键技术和方法[6-10]，主要采用土袋构筑反压或反滤围井进行抢护，根据管涌位置、出水量和含砂情况围井形式有所不同。

然而，采用土袋构筑围井不仅需要土料、编织袋等物资储备，构筑过程需要人力搬运和排垒，构筑完成后滤砂排水过程需要人力盯梢，时刻关注险情发展，汛期结束后需要拆卸、搬运和分装，耗时耗财耗力，抢险效率较低。现有的装配式围井虽然能避免土料的使用，但

其零部件较多，需要交通工具运输，安装过程较复杂。

本文针对以上问题，研制了一种整体式柔性充水围井[11]，有效的实现了管涌险情的抢护和维护监测。本文从研制思路与过程、功能特性与应用等方面对整体式柔性充水围井进行介绍和分析，为管涌应急抢险提供一种新的抢护手段。

2　研制思路与过程

2.1　研制思路

（1）堤防附近水资源充足，抢险过程就近取材，以水治水，利用水代替土作为围井的填充物和压重。

（2）围井的外包材料在强度满足要求的情况下，尽可能做到柔性可折叠、质量轻，利用柔性 PVC 夹网布制作。

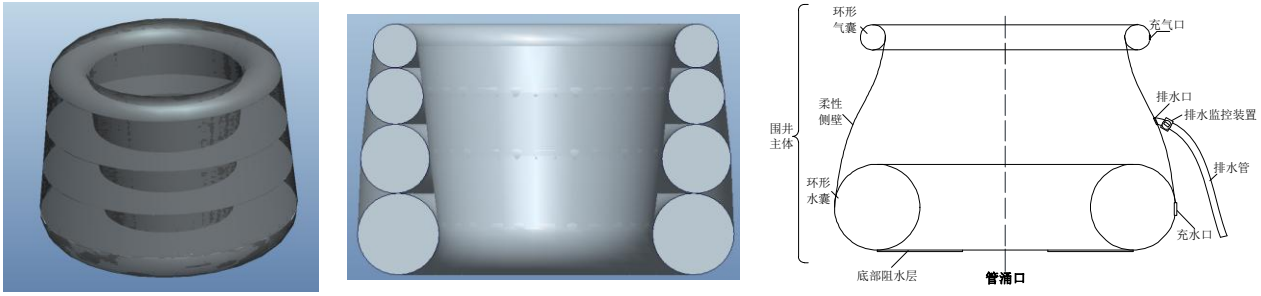
（3）整个围井密闭性能好，围井与地表之间设置阻水措施，防止底部出现大量渗漏。

（4）在管涌抢险的同时，对管涌出水情况能进行自动和实时监测。

2.2　结构方案比选

在整体式柔性充水围井的研制过程中，对 3 种方案进行了研究[11, 12]，包括多层单水囊式、多层多水囊式和水囊气囊结合式方案。其中，（1）多层单水囊式内部结构如图 2a 所示，围井侧壁采用一整个充水式水囊，内部设有环向开洞拉片维持侧壁的外形；（2）多层多水囊式内部结构如图 2b 所示，围井侧壁采用多个环形水囊堆叠而成，由下至上水囊外径逐渐减小，每层环形水囊外侧连有拉筋；（3）水囊气囊结合式内部结构如图 2c 所示，围井底部为环形大水囊，顶部为环形气囊，柔性材料与上部气囊和下部水囊连接形成侧壁兜水。三种形式的充水围井在侧壁均设有排水口，用于控制围井内水位。

通过定性分析结合初步充水成型试验对比，最终选择水囊气囊结合式结构用于整体式柔性充水围井的研制。



（a）多层单水囊式围井　　（b）多层多水囊式围井　　（c）水囊气囊结合式围井

图 2　不同结构形式内部结构图

整体式柔性充水围井的主体包括环形水囊、环形气囊、柔性侧壁和底部阻水层。整个围井主体均采用不透水不透气并可承受一定压强的柔性 PVC 夹网布制成，环形水囊和环形气囊上分别设有充水口和充气口。柔性侧壁下部与环形水囊外沿紧密连接，上部与环形气囊内沿紧密连接，其连接方式采用高频热熔连接，连接强度高于布料强度且保证密封不漏水。柔性侧壁在一定高度处开有排水口。底部阻水层共有两层，均为中间开孔的圆环形，上层与环形水囊材料相同，并与其紧密粘接，下层具有一定压缩性的柔性防水材料，与上层紧密粘接，

中心处开有孔洞，用于管涌出水进入围井中。

整体式柔性充水围井设有排水监控装置，安装在侧壁排水口外接的排水管上，包括流量计、温度计和微型水下摄像头，可用于监测水流的流量、温度以及水中含砂情况。

2.3　成型试验

整体式柔性充水围井的成型试验过程为：首先将围井主体摊平铺在平整场地上，然后先对气囊充气，再对水囊充水，完成后管壁充气口和充水口；再向围井内注水，观察围井是否成型。

（a）气囊充气　（b）水囊充水　（c）注水成型　（d）井内壅水

图 3　整体式柔性充水围井成型过程

从图 3 整体式柔性充水围井的成型过程可以看出，单层的环形气囊和水囊充气和充水后很容易成型，向围井内注水后，水囊在重力作用下压实底部，气囊在浮力作用下随井内水位逐渐抬升，水囊的重力和气囊的浮力对柔性侧壁提供了上下约束力的作用，使其在环向能兜住水，形成一个上部开口的壅水空间，实现成型目标。

2.4　壅水试验

分别在水泥地表和黏土地表对成型后的整体式柔性充水围井进行壅水试验，观察井内水位的变化情况以及围井与地表接触处的渗水情况，试验结果如图 4 所示。

（a）水泥地表第一天　（b）水泥地表第四天　（c）水泥地表第七天　（d）黏土地表

图 4　整体式柔性充水围井壅水试验

从图 4 可以看出，在水泥地表的蓄水试验过程中，围井内注入 1.4m 高水位后，底部有轻微渗漏，放置 3 天后，井内仍有约 1.2m 高水位；7 天后井内约剩 1.0m 高水位。结果表明，在水泥地表，围井内水无法流入地下，会从水泥地表与底部阻水层间缓慢渗透流出，阻水层在水囊重力作用下进行接触面阻水，无法 100%实现密封效果，但对底部渗透漏水的阻拦效果具有很大的作用。在黏土地表的蓄水试验中，围井内注入 1.4m 高水位后，一天时间就已完全向下渗流进入地层中，周边渗漏出水很少。

基于整体式柔性充水围井的成型和壅水试验结果，采用整体式柔性充水围井可实现充水充气成型、构建稳固的围井结构，达到壅高水位的目的，可作为反压围井进行抢险；同时根

据险情情况，可在井内设置反滤层（铺设一定级配砂石反滤或织物反滤），作为反滤围井进行抢险。

3　技术应用与功能特性

3.1　应用方法

整体式柔性充水围井在使用前可折叠在一起方便存储和携带，抢险时首先平整场地，然后以管涌处为中心，将底部阻水层的中心开孔对准管涌口，铺设围井主体，根据需要在围井内底部铺设反滤层覆盖管涌口，同时将气泵和水泵通过管道连接在环形气囊和环形水囊的充气口和充水口上，先充气后充水；环形气囊先充好后关闭充气口，环形水囊随着充水量增加高度不断增加，围井内部也涌入了一定量的管涌出水；待环形水囊充至指定水量后关闭充水口，井内水位逐步抬升，环形气囊在浮力作用下同步抬升，侧壁在水压作用下张紧并兜住井内的水。连接排水管，待井内水位达到一定高度后，打开侧壁排水口，将井内多余的水通过排水管排出。

3.2　应用条件

整体式柔性充水围井根据其结构形式、制作材料以及成型等特点，其应用条件有一定限制：

（1）地形：地面平整，坡度不大于 10°，距离堤脚至少半个围井外径的距离，使用前可人为进行地面整平；

（2）管涌位置：适用于地表或浅水里的管涌，不适用于较深水塘中的管涌；

（3）管涌范围：适用于单个管涌或小范围管涌群抢险，可根据管涌范围选择相应的围井尺寸。

3.3　主要性能与特点

相比于传统土袋围井，整体式柔性充水围井在具有以下性能和特点：

（1）用于单个管涌抢险的充水围井最大外径 2m，水囊直径 0.5m，围井高度 1m，总重量为 18kg，可方便折叠运输，单人即可完成搬运；

（2）使用的物资为水和空气，抢险现场可随取随用，无需额外准备其他物资，经济优势明显；

（3）可利用便携式水泵和气泵进行安装，15 分钟内即可完成，围井构筑时间大大缩短；

（4）围井材料具有一定的抗刺破强度和抗磨性能，在恶劣抢险条件下均能正常使用。

综合来说，采用整体式柔性充水围井，在运输、安装、物资消耗等方面均优于传统土袋围井，可大大提高管涌抢险的效率。

3.4　运行维护

在汛期高水位条件下，围井对管涌险情抢护完成后，管涌口在水头差作用下会持续涌水，此时围井需在维持一定井内水位的条件下排出持续涌入的水，一般采用在围井外壁上开设一道水沟进行排水。由于管涌内部土体情况未知，需在围井旁设专人值守，观察管涌的出水量、翻砂情况等，防止险情进一步加剧。

在整体式柔性充水围井的侧壁上设有排水口并连接排水管，围井运行过程中，可将超过指定水位的管涌出水排至井外特定区域，同时在排水管的起始端设有险情自动监测装置，集成有流量计、温度计和微型水下摄像头，通过无线网络将监测数据实时上传到信息平台，实现管涌出水流量、温度及出砂情况的实时在线监测，可为查险和抢险人员进行险情研判提供数据支撑。

汛期结束后，将井内的反滤层挖除后，对气囊和水囊分别放气放水，待排尽水和气后进行折叠包裹，搬离现场，即可实现汛后处理。

4 结论

传统土袋围巾进行管涌抢险主要依靠人力进行，抢险效率低。针对这些问题，本文研制了整体式柔性充水围井，并对其可行性和有效性进行了研究，得到以下几点结论。

（1）采用水囊气囊结合式结构的整体式柔性充水围井可充分利用重力和浮力，在成型和壅水方面具有较好的稳定性，可作为反压围井和反滤围井用于管涌险情的抢护，整体结构轻便、运输方便，安装工艺简单、抢险速度快、效率高；抢险过程充分利用堤防附近水资源充足的优势，就近取材，以水治水，汛后处理方便，不会造成浪费和环境污染。

（2）通过在整体式柔性充水围井上集成无线监测设备，实现了对管涌出水流量、温度和含砂情况的实时在线监测，使围井在整个汛期中的维护运行更加可靠和高效，为险情的发展研判和动态监测提供了数据支撑，有效提高了管涌抢险的信息化水平。

参考文献

[1] 程永辉，陈航，熊勇.2020 年鄱阳湖圩堤险情应急抢险技术回顾与思考[J].人民长江,2020,51(12):64-70+81.

[2] 毛昶熙. 管涌与滤层的研究:管涌部分[J]. 岩土力学, 2005(02):209-215.

[3] 张家发，丁金华，张伟，吴庆华，王金龙. 论堤防管涌的危急性及其分类的意义[J].长江科学院院报,2019,36(10):1-10.

[4] 吴庆华，张伟，邬爱清,等. 堤防管涌险情研究进展[J]. 长江科学院院报, 2019, 36(10):39-44.

[5] 陈建生，李兴文，赵维炳. 堤防管涌产生集中渗漏通道机理与探测方法研究[J]. 水利学报，2000,31(9):48-54.

[6] 徐福龄. 防汛抢险技术讲座(一) 大堤防汛抢险[J]. 人民黄河, 1981(06):21-27.

[7] 国家防汛抗旱总指挥部办公室. 堤防抢险技术[M]. 中国水利水电出版社, 1998.

[8] 杨光煦. 堤防险情及其处置[J]. 人民长江. 1999, 30(9): 13-15.

[9] 朱太顺. 防汛抢险关键技术研究[J]. 人民黄河. 2003, 25(03) : 1-2,46.

[10] 詹敏利，王雪. 堤防除险抢护的思考与建议[J].中国水利. 2016, 15 : 12-14.

[11] 长江水利委员会长江科学院. 一种用于管涌抢险的整体式柔性充水围井. 中国：CN202120602349.8[P]. 2021.3.25.

[12] 长江水利委员会长江科学院. 一种用于管涌抢险的折叠便携式充水围井. 中国：ZL201921649155.2[P]. 2020.6.30.

基层治黄业务综合管理平台研发与推广

李　艳[1]　　董　栋[2]

（1. 河南黄河河务局焦作黄河河务局，焦作 454000；2.焦作市黄河华龙工程有限公司,焦作 454000）

摘要：为统筹焦作黄河信息化资源，提高基层信息化管理能力，实现信息化建设与治黄业务深度融合，研发了“基层治黄业务综合管理平台”。其融合了坝岸监测、智能限高、云视频、河道及仓库监控、河道采砂及引渠清淤和供水、水政执法、无人机实时画面等多种信息化资源，是一款对综合治黄业务的汇集、分类的监管平台，可提供可视化管理界面并集中展示，便于查阅，有效解决了黄河基层信息化系统资源整合度低、系统维护管理滞后、用户使用体验差等问题，为基层治黄业务提供了综合管理支撑平台。

关键词：基层；信息化；治黄业务；可视化；监管平台；随身导航舱

1　概述

随着黄河信息化建设的不断深入，不同时期、不同部门先后建设了多处视频监控和信息采集点，且各系统独立运行，导致信息系统资源利用率及维护率较低，无法有效发挥信息化技术优势，甚至造成资源闲置甚至废弃。为统筹焦作黄河信息化资源，提高基层信息化管理能力，实现信息化建设与治黄业务深度融合，2019 年，焦作黄河河务局启动了“基层治黄业务综合管理平台”项目。该项目通过集成远程险情、工程巡查，砂场、供水信息实时监控，水文、环境数据实时采集，设备、工程项目远程监控等多种功能，将现有视频监控系统、清淤智能管理系统、智能限高系统、水政执法管理系统、无人机实时画面等信息化资源集中整合在大屏显示系统中，为河道内工程建设项目监控系统、防汛、工程、供水及水政等信息化系统建设预留接入端口，避免重复建设投资。有效解决了黄河基层信息化系统，因不同时期、不同途径、不同部门建设，导致的现有系统各自为战、资源整合度低、系统维护管理滞后、用户使用体验差等问题。

2　研发内容

该项目由“基层治黄业务综合管理平台”“信息设备维护管理系统”“随身导航舱”三部分组成。“基层治黄业务综合管理平台”将现有信息化设备或系统进行整合，实现多种信息化系统的集中管理；“信息设备维护管理系统”用于保障平台的安全稳定运行，实现设备的实时在线监测、故障报警等功能；项目组将平台中重要设备及数据汇总研发为“焦作黄河综合信息管理平台”搭配“随身导航舱”，实现信息数据终端随身携带。

软件开发遵循的国家标准和规范包括：《计算机软件开发规范》（GB/T 8566—2007）[1]、《计算机软件文档编制规范》（GB/T 8567—2006）[2]、《计算机软件需求规格说明规范》（GB/T 9385—2008）[3]、《计算机软件测试文档编制规范》（GB/T 9386—2008）[4]、《信息技术软件生存周期过程》（GB/T 8566—2007）[5]。

2.1　基层治黄业务综合管理平台

由于现有系统多而杂、系统之间数据不能共享，因此存在重复建设及无法集中管理等问题[6]。2019 年 1 月，项目组针对焦作河务局的实际情况定制设计，2019 年 4 月技术人员自主研发了“基层治黄业务综合管理平台”，将现有信息化设备和系统整合在一个界面中便于信息调阅、查询，优化人机界面，大幅提高系统易用性，最终实现多种信息化系统的集中管理。

基层治黄业务综合管理平台首页由市局全部信息化设备分布情况、信息化设备在线情况、监控分布图、主要摄像头实况、砂场数据示意图组成，如图 1 所示。县级界面在地图上标注了该类型设备的实际位置，红色标注代表在线，灰色代表不在线，使用鼠标滚轮可以缩放界面，鼠标悬停在标注点上会显示设备名称及设备类型。

图 1　基层治黄业务综合管理平台首页

该项目融合了坝岸监测、智能限高、云视频、河道及仓库监控、河道采砂及引渠清淤等多种信息化资源。

智能限高设备界面包含了升降记录、报警记录、趋势分析、限高实拍、设备控制、现场视频等。设备的升降记录包含操作人员信息、操作时间、操作内容及登录设备。报警记录包括操作人员信息、报警时间及报警信息。

监控设备查看界面包括已选择设备画面及热点视频监控等。球机可使用键盘进行左右及变焦等操作，方便操作者进行快速准确的查看。

坝岸监测系统界面包含了报警趋势、年度出险次数及出险方量趋势、报警记录及现场视频。

清淤工程界面包含了采砂量百分比、标段采砂总量对比、今日采砂量对比、七日采砂量对比、现场视频及采砂船在地图上的位置标注。

2.2　信息设备维护管理系统

2019 年 5 月研发的“信息设备维护管理系统”是基层黄河专网管理系统[6]的升级，实现了对焦作黄河网络设备全面、有效的管理，保障了“基层治黄业务综合管理平台”的安全稳定运行。信息设备维护管理系统首页由标题栏、菜单栏、标签栏、主页面组成。

2.3　随身导航舱及焦作黄河信息化管理平台

由于现有系统需要专业操作人员才可使用，不同软件的操作逻辑又不尽相同，因此指挥决策层无法直观快捷地获取需要的信息。2019 年 9 月研发了“焦作黄河信息化管理平台”，将“基层治黄业务综合管理平台”中的重要数据筛选汇总，安装在“随身导航舱”内，实现信息数据终端随身携带，便于指挥决策层随时随地查询相关信息。

随身导航舱由安卓平板电脑及“焦作黄河信息化管理平台”组成，10 寸平板电脑便于随身携带，平台具有分级管理功能，具备硬件加密授权，可随时断开数据传输，确保网络数据安全。连上网络即可进入系统查看平台内视频监控信息，也可投屏至显示器或电视上进行操作。

如图 2 所示，焦作黄河信息化管理平台由地图标注、侧面菜单栏、搜索框组成。需要查看设备可在菜单栏点击也可使用搜索栏进行搜索，搜索栏具备模糊查找功能。点击设备进入设备界面，点击右下角由设备控制按钮，可对画面进行变焦控制、清晰度调节、协议选择、观看回放等操作。

图 2　焦作黄河信息化管理平台设备界面

随身导航舱集成安装了由项目组自主研发的“基层云视频会商系统”，方便导航仓之间随时召开会议；安装了“智能语音广播系统”通过摄像头发现不文明行为等情况时可对现场进行喊话，方便主管业务科室及领导查看相关信息。

3　创新点

（1）“基层治黄业务综合管理平台”通过“网络透传”“解码分流”“电子地图”等技术，将现有信息化设备或系统整合在一个界面中便于信息调阅、查询，优化人机界面，提高了系统易用性，实现了多种信息化系统的集中管理。

（2）“信息设备维护管理系统”利用“SDK 接口”“ICMP 协议分析”等技术，实现信息化设备的实时在线监测、故障报警、维修记录追溯等功能，大幅提高信息化设备的在线率，

保障了各应用系统的安全稳定运行。

（3）“随身导航舱”配合“焦作黄河信息化管理平台”，通过“网络透传”“设备身份识别”“权限监管”等技术，实现信息数据终端随身携带，大幅提升用户体验，提高信息获取效率。

4 应用情况

“基层治黄业务综合管理平台”研发成功后，目前在焦作河务局及局属各县局信息化指挥中心应用。该平台自研发至今，从大屏幕指挥决策到小平板获取信息，解决了资源整合度低、系统维护管理滞后、用户使用体验差等问题，已成为工作人员获取数据、查询信息的必备手段，体现了“水利工程补短板、水利行业强监管”水利改革发展总基调，社会经济效益显著，推广应用前景广阔。

5 结语

“基层治黄业务综合管理平台”充分发挥信息化技术优势，融合了坝岸监测、智能限高、云视频、河道及仓库监控、河道采砂及引渠清淤和供水、水政执法、无人机实时画面等多种信息化资源，提高信息化设备管理能力，优化人机界面，实现信息化建设与治黄业务深度融合，助力焦作黄河治理高质量发展。随着项目后续开发，智能化模块的不断加入，可有望改变传统治黄工作方式，探索出利用信息技术、工业物联网、大数据分析、人工智能等新技术开展治黄工作的新模式。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 计算机软件开发规范：GB／T 8566—2007 [S]. 北京：中国标准出版社，2007：6-12.

[2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 计算机软件文档编制规范：GB／T8567—2006[S]. 北京：中国标准出版社，2006：24-32.

[3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 计算机软件需求规格说明规范：GB／T 9385—2008[S]. 北京：中国标准出版社，2008：3-8.

[4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 计算机软件测试文档编制规范：GB／T 9386—2008[S]. 北京：中国标准出版社，2008：5-10.

[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 信息技术软件生存周期过程：GB／T8566—2007[S]. 北京：中国标准出版社，2007：22-30.

[6] 邢天明，董栋，邢栋，等.基层黄河专网管理系统更新与远程管理[J].人民黄河，2018，40（3）：39-41.

采砂深度实时监管系统研究与应用

杨 敏[1] 田 力[2] 李 艳[3]

（1.焦作黄河河务局武陟第一黄河河务局，武陟 454950；2 焦作市黄河华龙工程有限公司，焦作 454000；3.河南黄河河务局焦作黄河河务局，焦作 454000）

摘要：针对目前河道清淤采砂越界开采等违法采砂行为管理技术手段不足的问题，进行了“采砂深度实时监管系统”研究，该项目利用水深传感器、无线传输、太阳能等技术，设计了适用于黄河滩区的网络传输、电力及控制系统，通过在采砂船安装摄像机、深度传感器、远程继电控制器等原件，并经过系统开发，实现采砂深度智能报警、视频监控、批量控制、精细化管理的整体解决方案。实现了对清淤采砂深度的实时监测，大大提高了河道主管部门的管理能力和监管效率，达到了范围可管控的目标，为清淤及砂场监管提供了可靠的技术支持。

关键词：采砂；深度传感；报警；监管

1 研究背景

为全力推进河长制和采砂试点工作，努力实现河道采砂的规范化、精细化、长效化管理，构建采砂管理新秩序，杜绝私采滥挖、越界开采等违法采砂行为，2018 年 10 月焦作河务局基层综合治黄业务信息化科技创新团队研发了融合视频监控系统、实时售砂计量系统、电子围栏系统的“沁河采砂智能化管理系统”。2019 年 12 月引黄入武清淤工程开工建设，由于引渠入口位于东安工程，常年靠河，部分清淤渠道需要维持原有框架，需要严格控制采砂深度，对管理工作提出了更高需求即：现场可监控，范围可管控，产量可统计。项目组结合工程实际研发了“采砂深度实时监管系统”，实现了对采砂深度的有效管控。

2 研究过程

采砂深度实时监管系统共分为现场设备及智能管理系统两部分。

2.1 现场设备

现场设备主要分为：深度传感器、电力系统、智能控制系统、视频监控系统四部分。

（1）深度传感器

深度传感器采用定制水深压力传感器，入水后传感器通过压力检测当前水深，通过串口服务器回传至系统。

图 1　传感器近照

图 2　设备总览

（2）电力系统

现场如能提供 220V 交流电，可直接引入系统使用。如不能提供，可搭配定制太阳能供电系统。该系统包括两块 300W 单晶硅太阳能面板，定制动力锂电池，可确保在滩区恶劣坏境中持续使用 48 小时。经定制开发太阳能控制器及交直流逆变器，可实现馈电后自动待机，待第二天电量充满后自动启动。

（3）智能控制系统

该系统为自主研发，具备网络传输、数据交换、深度传感等功能。

系统具备标准 TCP/IP 协议网络接口，可接入黄河专网，实现该系统在沙场采砂船恶略环境的网络传输及覆盖，保障了数据安全。

（4）视频监控系统

采砂船视频监控有两个需求：一是现场及传感器监视，二是低功耗保证系统长时间稳定运行。

为满足以上需求，项目组进行了优化设计，采用一台低功耗 POE 供电枪型摄像机，安装于船体可监测采砂管道的维胺酯上。网络带宽、电力等消耗也随之减少，可明显降低整体造价。

2.2　智能管理系统

自行设计研发“河道清淤采砂工程智能管理系统”，该系统具备图形化管理界面、多用户权限管理、超深报警记录、语音报警、实时视频监控等功能。软件开发遵循的国家标准和规范：《计算机软件开发规范》（GB/T 8566—2007）[1]、《计算机软件文档编制规范》（GB/T 8567—2006）[2]、《计算机软件需求规格说明规范》（GB/T 9385—2008）[3]、《计算机软件测试文档编制规范》（GB/T 9386—2008）[4]、《信息技术软件生存周期过程》（GB/T 8566—2007）[5]。

系统主要界面及功能如下：

（1）系统登陆界面

可确认登陆人员身份信息。具备管理员（可添加设备、增加人员、调整系统参数等）和操作员（查看记录，处置报警记录等）多种权限。

（2）系统主界面

系统主界面使用地图加图标的方式显示采砂船的具体位置，直观易读。实时显示采砂船位置及采砂深度信息，并具备范围及深度越界报警闪烁、船只锚固、设备在线状态等功能。

图 3　系统主界面

（3）采砂船控制界面

点击地图上采砂船图标可进入设备控制界面，该界面包含实时视频监控、船只锚固、现场喊话等功能。在报警发生时也需进入该界面处置报警信息。

图 4　采砂船控制界面

（4）报警记录及可采深度设置界面

报警记录可浏览超过深度之后的持续时间及采砂船的航行图等信息，管理员以上权限可更改可采砂深度，超过采砂深度自动报警及记录，系统会显示更改设置的操作员及现场图片信息。

图 5　报警记录界面

3　主要创新点

（1）利用水深传感器、无线传输、太阳能等技术，实现采砂船采砂深度的实时监测，达到了范围可管控的目标，为清淤及砂场监管提供了可靠的技术支持。

（2）研发的河道清淤采砂工程智能管理系统，实现了采砂深度的越界报警、分级管理等功能，自动记录超深后的持续时间及采砂船的航行图等信息，大幅提高了管理能力。

4 应用情况

项目完成后，2018 年 9 月首先在沁河沁阳段内的坞头砂场进行升级改造，完成了对采砂深度的实时监测，实现采砂精准化、智能化管理。

随后 2020 年 3 月在武陟第一河务局焦作市武陟引黄入武清淤工程黄河一标段和沁河二标段应用。同年 5 月引渠清淤深度误差满足设计要求，顺利通过初步验收。

5 效益分析

“采砂深度实时监管系统”针对黄河滩区清淤项目优化了供电及网络传输能力，可在滩区内任意位置安装布设，实现清淤及砂场的实时管控，增强了管理能力，有效防止河道被破坏。

系统使用太阳能或市电作为能源，不对环境造成污染。设备的安装布设有利于防止采砂船超深作业，对清淤河道提供了保护手段，具有显著的社会、经济和环境意义。

6 结束语

该技术可应用于各种类型的清淤及砂场管理，除黄河滩区外，也可用于地方采砂、采石作业等地点，该系统的应用，可实现对清淤采砂的精准化、智能化管理，大大提高了河道主管部门的管理能力和监管效率，体现了“补短板，强监管”的思路，实现了治黄工作与信息化的深度融合，填补了市场空白，具备广阔的市场推广前景。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 计算机软件开发规范：GB / T 8566—2007 [S]. 北京：中国标准出版社，2007：6-12.

[2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 计算机软件文档编制规范：GB / T8567—2006[S]. 北京：中国标准出版社，2006：24-32.

[3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 计算机软件需求规格说明规范：GB / T 9385—2008[S]. 北京：中国标准出版社，2008：3-8.

[4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 计算机软件测试文档编制规范：GB / T 9386—2008[S]. 北京：中国标准出版社，2008：5-10.

[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 信息技术软件生存周期过程：GB / T8566—2007[S]. 北京：中国标准出版社，2007：22-30.

供电电源远程保障管理系统研发与应用

董 栋[1] 张 磊[2] 李 艳[3]

（1. 焦作市黄河华龙工程有限公司，焦作 454000；2.焦作黄河河务局温县黄河河务局，温县 454850；3.河南黄河河务局焦作黄河河务局，焦作 454000）

摘要：针对黄河河道工程战线较长，现场电力环境较差，常出现电压不稳、短时停电等情况，利用移动网络、交直流逆变、断路传感、远程继电等技术，自行研发了供电电源远程保障管理系统，提供图形化操作界面，快速查看设备所在位置，承载任务及运行状态，实现了远程电源的断路监测、远程启闭、声光及短信报警、app 远程控制、电力维持等功能。及时为用电设备补充电力，保持设备全天候正常运行。设备具备自动恢复功能，无需人为干预，大幅增加用电设备保障率，并降低维护人员工作强度,提高了用电管理信息化、自动化水平。

关键词：断路监测；报警；远程控制；电力维持

1 研究背景

随着治黄业务信息化建设不断深入，用电设备如：电子水尺、视频监控、智能限高架、远程引水控制系统等，在黄河一线开始大量应用。但黄河河道工程战线较长，现场电力环境较差，现有供电方式多为引用当地农电、太阳能供电或便携式发动机，这三种供电方式常会出现电压不稳、短时停电等情况，导致用电设备设施在使用时才发现设备早已离线，影响工作正常进行，数据采集、视频传输、甚至防汛道路都会受到影响，严重影响运行效果。现有解决方式为人员驻留现场，或定时巡查，一旦出现电力供应异常，需要人员手动恢复设备运行，维修维护压力较大。如故障发生在汛期，将严重影响查险、抢险效率，导致严重后果。

2 研究过程

该系统使用移动网络、交直流逆变、断路传感、远程继电等技术，研发远程电源保障管理系统，实现电源的断路监测、远程报警、电力维持、远程重启等功能。系统共分为现场设备、监控平台两个内容。

2.1 现场设备

使用电路断路传感器监测目标电源运行状态（交直流均可），当监测目标发生断路时，通过移动网络反馈给监控平台。

系统配备磷酸铁锂电池组及逆变器，当设备外部供电断开时，可自动启用电池组储备电力为用电设备供电，保持用电设备正常运行，为电力维修争取时间，当故障恢复后，系统自动为备用电池充电以备下次使用。

2.2 监控平台

自行研发监控平台系统。包含报警功能、远程操作、短信报警、手机 app 控制、设备运行状态等功能。

系统主要界面及功能如下：

（1）系统登陆界面

可确认登陆人员身份信息。具备管理员（可添加设备、增加人员、调整系统参数等）和操作员（查看记录，处置报警记录等）种权限。

图 1　系统登录界面

（2）系统主界面

系统主界面使用地图加图标的方式显示设备的具体位置，直观易读。远程电源位置及深度信息，并具备报警闪烁、设备重启、设备在线状态等功能。

图 2　系统主界面

（3）运行状态及远程制界面

点击地图上设备图片可进入设备控制界面，该界面包含实时视频监控、设备启停、现场

喊话等功能。在报警发生时也需进入该界面处置报警信息。

（4）手机 app

登录手机 app 可观看设备简易信息，可通过移动网络控制远程继电器，实现远程电源的开启和关闭。

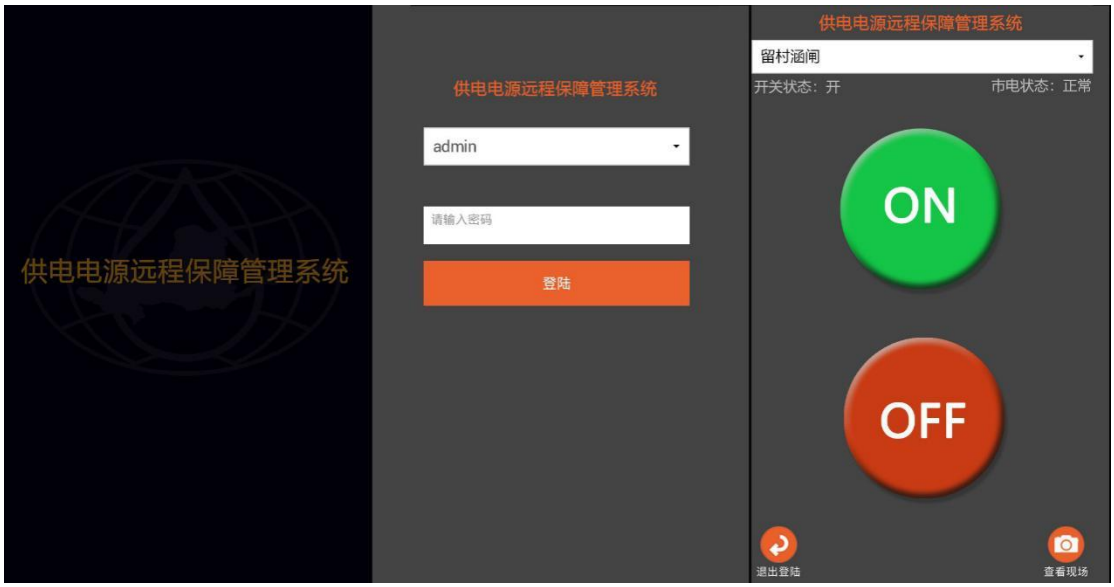


图 3　手机 app 界面

3　主要创新点

（1）使用移动网络、交直流逆变、断路传感、远程继电等技术，并研发远程电源保障管理系统监控平台，实现远程电源的断路监测、远程报警、电力维持、远程重启等功能。

（2）自行研发的“供电电源远程保障管理系统监控平台”可提供图形界面，快速查看设备所在位置，承载任务及运行状态，并具备声光报警、短信报警、app 远程控制、操作记录等功能。

（3）设备具备自动恢复功能，无需人为干预，大幅增加用电设备保障率，并降低维护人员工作强度。

4　应用情况

该系统于 2018 年 10 月，在博爱河务局丹河口智能限高架，以及博爱河务局“留村涵闸”项目中应用。丹河口智能限高架使用太阳能供电系统供电，因冬季雾霾导致限高架供电不稳，影响工程车辆通过。安装该系统后，实现了设备断电主动通知，工作人员及时为限高架补充电力，保持设备全天候正常运行，保证了施工工程的工期，节省了大量资金。博爱“留村涵闸”项目定期定时为博爱蒋沟河供水，为保障设备运行状态，以及远程定时启闭，安装应用该系统。

2019 年 3 月，系统推广至武陟第二黄河河务局道路智能限高设备，系统提供图形界面，具有设备断电主动通知，快速查看设备所在位置，承载任务及运行状态，并具备声光报警、短信报警、app 远程控制、操作记录等功能。及时为道路智能限高设备补充电力，保持设备全天候正常运行，节省了大量资金。

该系统实现了供水设备的远程启闭及定时运行，大幅降低了管理人员及往返车辆费用，并通过操作记录的应用大幅提高了管理能力。

5 效益分析

投资 0.8 万元，目前经济效益 3 万元。该系统实现了供水设备的远程启闭及定时运行，大幅降低了管理人员及往返车辆费用，并通过操作记录的应用大幅提高了管理能力。

6 结语

该系统提供图形界面，具有设备断电主动通知，快速查看设备所在位置，承载任务及运行状态，并具备声光报警、短信报警、app 远程控制、操作记录等功能。及时为设备补充电力，保持设备全天候正常运行。该系统的完成保证了设备的正常运行，提高了工作效率。

闸门启闭数显位移传感器的研制与应用

赵　凡[1]　　李　艳[2]

（1. 焦作黄河水利工程维修养护有限公司，焦作 454000；2.河南黄河河务局焦作黄河河务局，焦作 454000）

摘要：为解决卷扬式闸门启闭操作时升降高度无法准确判断以及操作不便等问题，研制了闸门启闭数显位移传感器。该设备主要由位移传感器、数显屏、传感线路三部分组成，通过该设备可准确确定闸门启闭高度，也可通过数显位移速度的快慢即能看出闸门启闭过程是否匀速正常，直接反映了启闭机是否存在运行故障，能够及时消除启闭过程中的安全隐患，保障涵闸工程的安全运行。安装后，1 人即可操作闸门启闭，解决了一般闸门启闭需要 2 人合作才可完成的问题，提升了一线工人的工作效率，具有良好的推广应用价值。

关键词：闸门；启闭高度；数显位移量；传感器

1　前言

涵闸工程是水利工程建设中的重要组成部分，其管理效率直接关系着水利工程建设实际应用价值的发挥。闸门开启高度是水闸管理工作需掌握的一个最基础数据，原始的闸门启闭高度通常是通过启闭机上钢丝绳的圈数确定，或者通过测绳挂轮重锤方式确定，即在闸门上绑一根铅丝通过启闭机房，绕过一固定滑轮，靠绑在铅丝末端的铅锤在固定的直尺上显示启闭高度。之后改进为闸门开度仪，又称闸门开度测控仪，该仪器由绝对值型旋转编码器、自动收缆装置或光电式或机械式系列编码器、外配安装支架、联轴器或齿轮等联结件构成。通过联轴器等联结件将编码器轴与被测件闸门联结，使编码器与被测轴同步转动，将被测轴的旋转转化为编码器轴的旋转，通过专用测试仪采集编码器值从而准确的测量出被测件的位移量，从而达到对被测件位移的实时测量与控制的目的。齿轮连接方式、弹性联轴器连接方式、偏心联轴器联接方式、链条链轮连接方式等。这些方法不仅操作不便、安装费时费力，且准确度不高，直接影响到涵闸的安全运行。

图 1　改进前的闸门升降高度靠数启闭机上钢丝绳的圈数确定

为改变闸门启闭操作不便，升降高度无法准确判断等问题，推进涵闸工程的规范化管理，结合工程管理实际，我单位组织经验丰富的技术人员，经过多次试验、改造，研制出了闸门启闭数显位移传感器。

2 项目简介

2.1 主要内容

闸门启闭数显位移传感器主要由位移传感器、数显屏、传感线路三部分组成。

（1）位移传感器

位移传感器主要由连接插头、编码器、拉线盒、固定螺丝四部分组成，其外观尺寸为50*50mm，总厚度为 80mm（包含编码器）。编码器是位移传感器的主要组成部分，其主要作用是作为位移输入的元件，将位移电信号输出。

图 2 闸门位移传感器主要组成部分

（2）数显屏

数显屏尺寸为 95mm*48mm，厚度约为 82mm。其输入电压为 220V，输出电压为 24V，其主要作用为接收位移传感器输出的位移电信号，使其在数显屏上显示。

（3）传感线路

传感线路长度可依据闸门需提升的高度进行定制。

2.2 技术原理

为方便闸门启闭数显位移传感器的固定，利用“7”字形铁架将闸门顶端作高度延伸，将传感器一端固定在铁架“7”字处，另一端固定在墙壁上，当闸门发生启闭运动时，位移传感器拉绳做相应往复运动。位移传感器上引出相应的线路，将闸门在关闭状态下数显屏的数值设置为 0，当位移传感器发生位移时，输出一个与拉绳移动距离、速度成比例的电信号，电信号在数显屏上准确显示。数显屏不用时，为常有电待机状态，使用时，随即反应，显示数值，显示范围可根据实际需求设置，精度可达 0.001m。

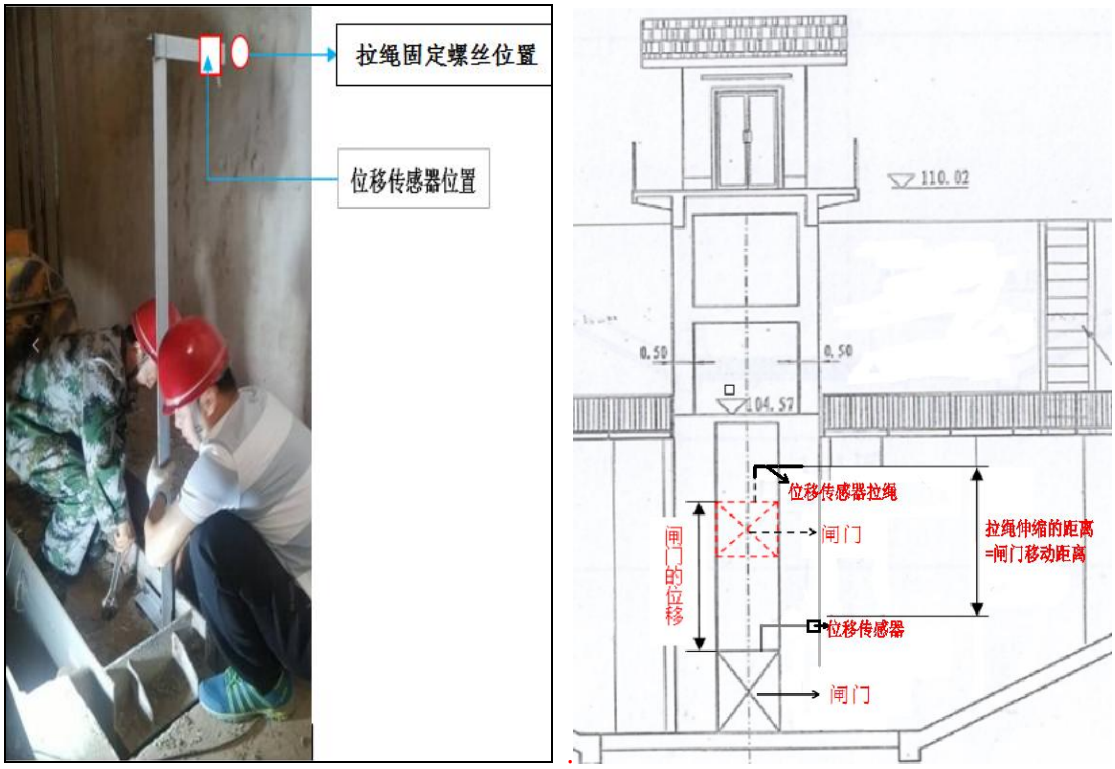


图 3　闸门位移传感器安装及位移示意图

（闸门的位移=传感器的位移）

图 4　数显屏安装位置及安装后启闭试验图

图 5　数显屏随闸门控制箱安装在合适位置

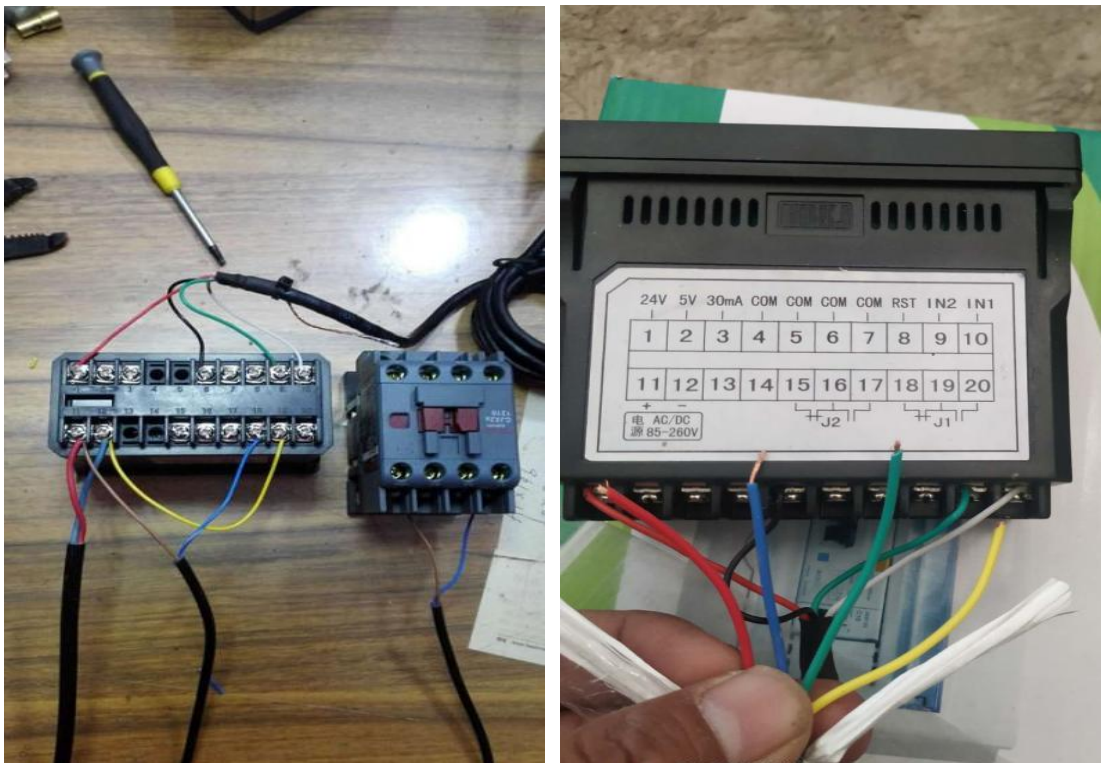


图 6　闸门启闭数显位移传感器线路设计

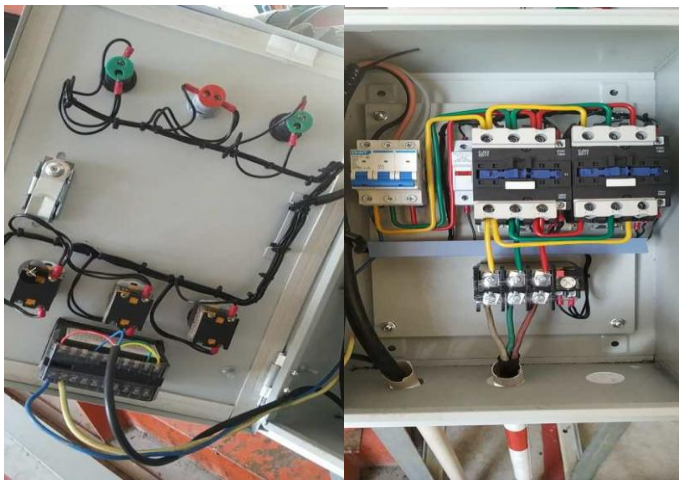


图 7　闸门启闭数显位移传感器安装后电路图

3　主要创新点

（1）通过在启闭机的控制箱上安设数显屏，解决了闸门启闭过程中，启闭高度无法实时准确控制的问题，且数显屏的精度可达到 0.001m，达到了直观精确、不受外界因素干扰的目的。

（2）通过闸门启闭数显位移传感器的使用，解决了启闭机在升降过程中需要反复停顿来确定升高位移的问题，且数显位移速度快慢，也可看出闸门启闭过程是否匀速正常，达到了省时省力、安全连贯可靠的目的，且能直接反映启闭机是否存在故障，能够及时消除启闭过程中的安全隐患。

（3）通过闸门启闭数显位移传感器的使用，1 人即可操作闸门升降，解决了闸门启闭需要 2-人才可完成的问题，达到了操作方便、使用灵活的目的。

（4）比较旋转编码器、自动收缆装置或光电式或机械式系列编码器的闸门开度测控仪，具有安装方便、故障率低、不受干扰等优点。

（5）通过设置上下限位可使闸门在到达限位值时停止运行，避免闸门超越安全运行范围。

4　应用效果

闸门启闭数显位移传感器研制成功后，在人民胜利渠渠首闸闸、共产主义闸、共产主义渠首闸、张菜园闸各安设了一组，设备应用后效果良好，可不受外界影响，精确控制及判断闸门启闭的高度，且操作方便、使用灵活，1 人即可完成，极大地减轻了一线职工的工作强度，保障了闸门启闭过程中的安全性及时效性，使涵闸管理工作得到进一步提升。

5　结语

闸门启闭数显位移传感器使用后，通过数显位移速度的快慢即能看出闸门启闭过程是否匀速正常，直接反映启闭机是否存在故障，及时消除启闭过程中的安全隐患，保障涵闸工程的安全。安装后，1 人即可操作闸门启闭，解决了闸门启闭需要 2 人合作才可完成的问题，提升了一线工人的工作效率，具有良好的推广应用价值。

基层一线办公远程桌面及虚拟技术应用研究

杨　敏[1]　　李　艳[2]

（1.焦作黄河河务局武陟第一黄河河务局，武陟 454950；2.河南黄河河务局焦作黄河河务局，焦作 454000）

摘要：基层一线办公远程桌面及虚拟技术应用研究针对基层单位无纸化办公中计算机软硬件不匹配的问题，提出并推广应用了远程桌面管理系统及虚拟技术解决方案，可根据不同办公环境使用多种不同的方法，解决了多种办公环境下业务办公软件无法顺利运行的问题。该项目能适应多种不同的办公环境，安装简单，一台服务器可支持多个科室共同使用。且后期只需维护一台电脑，维护较为方便简单。一方面可以解决办公人员工作中的难题，另一方面降低了网络管理人员的工作强度，提高了工作效率。

关键词：远程桌面；虚拟机；办公

1　研究背景

随着基层单位无纸化办公的普及，各单位业务部门都使用了专业性较强的办公软件，例如电子政务系统、财务记账软件、人力资源软件等。这些业务办公软件有一定的使用条件，有的需在指定操作系统环境下才能运行，如 2017 年 10 月焦作河务局采购一批新电脑，由于硬件较新只能安装 win7 及以上操作系统，无法与部分业务办公软件兼容，办公软件与操作系统如何匹配成为急需解决的问题。

2　研究过程

2.1　运行方法

在项目规划设计之初，已将基层单位无纸化办公中计算机软硬件不兼容的问题列为重要攻关课题。技术人员经过不懈努力，提出并应用远程桌面管理系统及虚拟技术，解决了多种办公环境下业务办公软件无法顺利运行的问题，为基层单位高效办公提供了技术支持。

最初，焦作河务局针对新电脑无法安装 xp 系统造成不能与部分业务办公软件兼容，旧电脑又因为配置不够无法安装较新的操作系统，不能使用新出的部分业务办公软件等问题，采取不同的解决方法，如：电子政务不兼容的解决方法是一个办公室有一至两台可以使用电子政务插件的电脑，工作人员共同使用。财务科及人劳科的解决方法是一个人使用两台电脑，不同的电脑负责不同的办公软件。

这些解决方法又有着不可避免的问题，人劳科两个办公室相隔太远，而其中一个办公室的两台电脑都无法安装 xp 系统；办公室所有工作人员都需要使用电子政务，多人共用一台电脑极不方便；财务科及人劳科一个人使用两台电脑对办公空间及办公环境影响较大。针对这一情况，又提出了两种新的解决方案：

（1）使用虚拟机

虚拟机（Virtual Machine）指通过软件模拟的具有完整硬件系统功能的、运行在一个

完全隔离环境中的完整计算机系统。虚拟系统通过生成现有操作系统的全新虚拟镜像，它具有真实 windows 系统完全一样的功能，进入虚拟系统后，所有操作都是在这个全新的独立的虚拟系统里面进行，可以独立安装运行软件，保存数据，拥有自己的独立桌面，不会对真正的系统产生任何影响，而且具有能够在现有系统与虚拟镜像之间灵活切换的一类操作系统。

通过安装 xp 的虚拟机实现业务办公软件在新电脑的顺利运行。该方法对比一人使用两台电脑可节约单位电脑资源。

（2）使用远程桌面

远程桌面连接组件是从 Windows 2000 Server 开始由微软公司提供的，当某台计算机开启远程桌面连接功能后我们就可以在网络的另一端控制这台计算机，通过远程桌面功能我们可以实时的操作这台计算机，在上面安装软件，运行程序，所有的一切都好像是直接在该计算机上操作一样。

在一台兼容业务办公软件的电脑上开启远程桌面，通过远程桌面连接这台电脑使用此软件，该方法对比多人共用一台电脑能有效提高工作人员的工作效率。

2.2　方案改进

两种方案在使用过程中又发现新的问题和难点，虚拟机的安装需要专业技术人员，且安装比较耗时间和精力，无法大面积解决各部门的问题。远程桌面无法满足多人同时使用，使用过程中用户之间会相互影响，一人一台电脑使用远程桌面会造成资源浪费。2018 年末到 2019 年 6 月焦作河务局同时存在新旧两个版本的电子政务，旧版电子政务无法在 win7 以上的电脑上使用，新版电子政务无法在 xp 系统下运行。

最后解决方案为，使用远程桌面补丁建立多个账户给不同工作人员使用，不同的账号和密码可互不影响同时远程桌面办公，解决了办公难题。

根据不同的办公环境可有以下几种解决方法：

（1）在单位机关等较多人的工作环境中，根据需要使用一台 win7 或者 win10 的主机作为服务器，在电脑中安装 xp 系统的虚拟机，两个操作系统配置不同的 ip 地址。为不同部门与工作人员建立账号，根据办公需要安装电子政务及专业业务办公软件，在工作人员电脑上安装远程桌面快捷方式，需要时只需双击即可。

（2）在公司或人数较少的机关单位可利用职工现有电脑安装远程桌面补丁，将 xp 共享给 win7 及以上系统，同时将 win7 及以上系统共享给 xp，其他人通过远程桌面访问自己需要的操作系统，不影响该电脑的正常办公。

（3）在电脑较少的办公环境，可安装虚拟机实现在不兼容操作系统下运行业务办公软件。

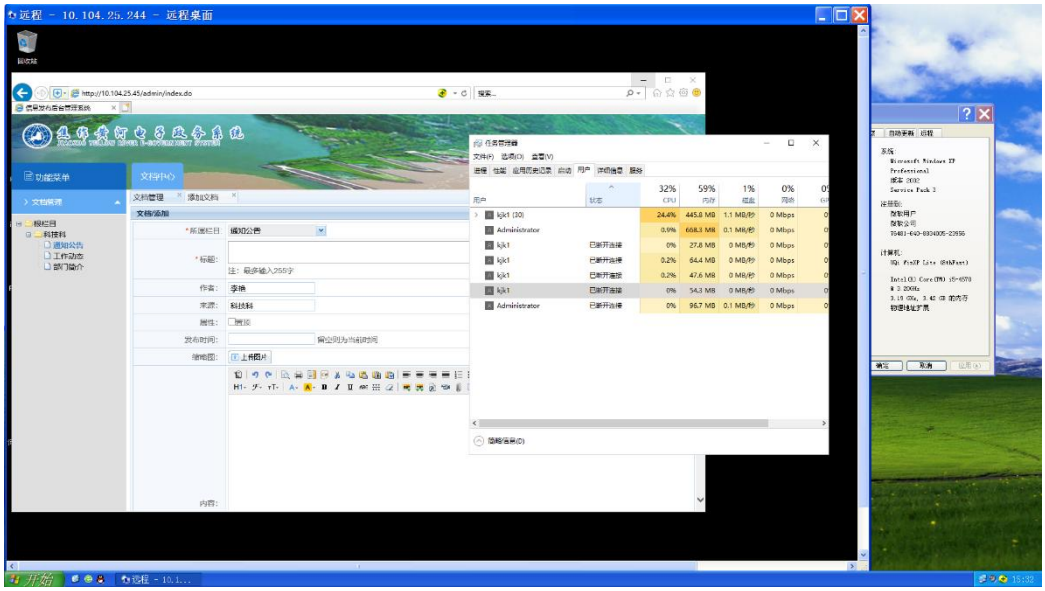


图 1　在 xp 系统下通过远程桌面使用新版电子政务且多名用户活动中

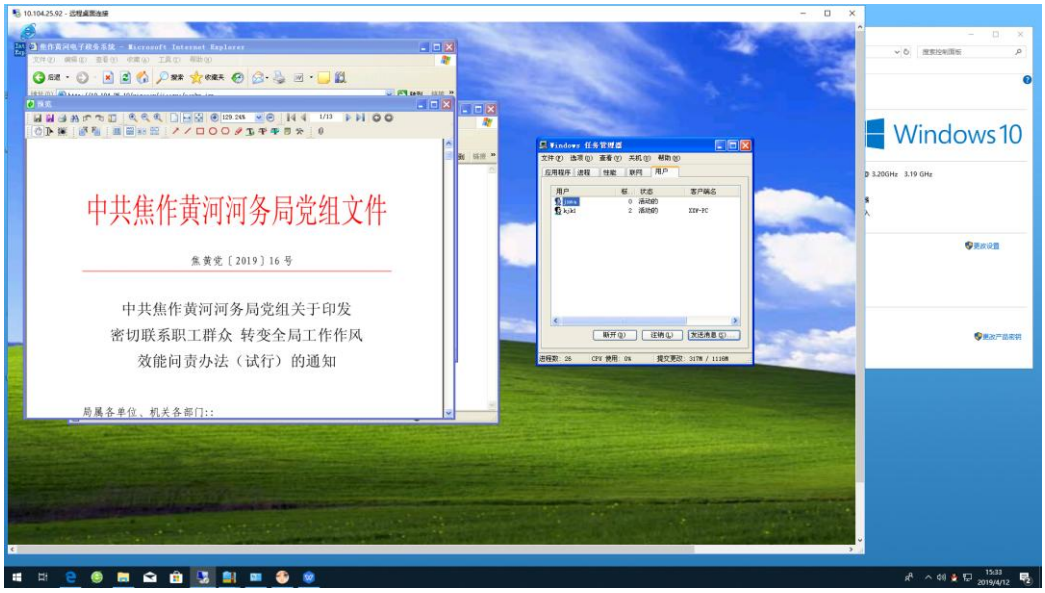


图 2　在 win10 系统下通过远程桌面使用旧版电子政务且多名用户活动中

3　主要创新点

（1）针对基层单位无纸化办公中计算机软硬件不匹配的问题，提出并推广应用了远程桌面管理系统及虚拟技术解决方案，解决了多种办公环境下业务办公软件无法顺利运行的问题，为工作人员高效办公提供了技术支持。

（2）利用虚拟机与远程桌面相结合，实现一台服务器同时运行多种版本的操作系统，满足办公软件所需的操作环境，有效节约了办公经费。

（3）使用远程桌面系统补丁，使多名用户同时登陆远程桌面互不影响，提高工作效率。

4　应用情况

2017 年 10 月，在焦作河务局人劳科进行应用，通过安装虚拟机，顺利使用电子政务。

2018 年 1 月，在焦作市黄河华龙工程有限公司应用，在机房安装服务器，职工电脑上安装快捷方式，所有电脑均可顺利使用电子政务。

2018 年 2 月，在焦作黄河水利工程维修养护有限公司得到应用，通过在机房设置服务器，工作人员电脑上安装远程桌面快捷方式，解决了公司在使用电子政务时遇到的难题，为工作的顺利开展提供了技术支持。

2018 年末至 2019 年 6 月焦作河务局同时存在新旧两个版本的电子政务，旧版电子政务无法在 win7 以上的电脑上使用，新版电子政务无法在 xp 系统下运行。2018 年 10 月开始，分别在局属各县局使用一台电脑作为服务器，通过虚拟机和远程桌面补丁等方式，解决了新旧两版电子政务无法同时运行的问题，且多人同时使用互不影响，大大提高了工作效率，有效节约了办公经费。

通过近两年的应用完善，该技术被焦作河务局认定为 2019 年度成熟的科技创新成果，确定为推广应用项目。

新版电子政务正常运行后，可兼容多个操作系统，但一线班组办公仍需要电子政务插件，往往因为操作不当影响工作，为提高网管工作效率，2019 年 6 月至今，利用该服务器，用于一线班组办公，通过远程桌面顺利打开电子政务插件，可实现多人同时使用互不影响，应用效果良好。

5 效益分析

5.1 经济效益

以电子政务为例，每个部门都至少需要 1 台可使用旧版电子政务的电脑和 1 台新版电子政务的电脑，温县河务局共有 10 个部门，现有电脑无法满足同时使用新旧两版电子政务，如每个部门购入一台电脑，每台单价在 5000 元左右，共需要 50000 元。该项目使用一台电脑，可同时满足单位各个部门需要，投资 5000 元，节约资金 45000 元。2019 年度在 5 个单位推广，累计节约投资约 22.5 万元。

5.2 社会效益

项目使用多种方法，解决了部分业务办公软件无法使用的问题。该项目能适应多种不同的办公环境，安装简单，一台服务器可支持多个部门共同使用。且后期只需维护一台电脑，维护较为方便简单。一方面可以解决工作人员使用业务办公软件中遇到的难题，另一方面降低了网络管理人员的工作强度，提高了工作效率。

6 结语

“基层一线办公远程桌面及虚拟技术应用研究”项目解决了多种办公环境下业务办公软件无法顺利运行的问题，具有安装简单、维护方便的优点，为基层一线办公提供了有力的技术支持，提高了工作效率，有很好的推广应用价值。

可调节式尺垫的研制与应用

赵　凡[1]　　李　艳[2]

（焦作黄河水利工程维修养护有限公司，焦作 454000；2.河南黄河河务局焦作黄河河务局，焦作 454000）

摘要：为解决每年汛前、汛后水尺校测时，由于水尺零点位置的特殊性不能正常使用普通尺垫，只能依靠粗略目测板尺与零点位置或需要借位点位置是否重合，转尺读取红黑面读数时误差过大，导致大量测量数据错误等问题，研制了可调节式尺垫。该尺垫由支脚、底托、螺母、螺杆、圆点、指向针、锁死螺杆等部分组成，只需 1 人操作，根据现场实际情况，简单调整后，水尺零刻度和尺垫圆点高程一致，转点、转尺读取红黑面读数轻松方便，整体测量误差大幅降低。与传统测量方法相比，测量结果精确，有效解决了因闭合误差过大导致整体测量数据无效，必须重复进行测量的问题，工作效率大幅提高。

关键词：尺垫；可调节；水尺校测

1　前言

为及时掌握汛前、汛后各工程水尺零点高程及引用水准点变化情况，保证险工、控导水位观测资料的准确性和可靠性，为研究河床演变及水情分析等工作提供科学参考依据，每年的汛前汛后河务部门都需要组织技术人员对所辖工程处水尺进行零点高程校测。

由于水利工程类测量要求的特殊性和局限性，经常会遇到一些特殊的水尺零点位置距地面过低或过高无法放置普通的尺垫，或因水尺零点高程位置污损后需要借位就近的整数刻度时，放置普通尺垫后尺垫的圆点高程和需要借位的水尺整数刻度高程不一致，此时转尺读取红黑面数据时读数误差大，造成整体测量结果误差值过大，从而导致大量测量数据错误，浪费大量人力物力。

2　项目简介

图 1　水尺高度无法放置普通尺垫

为解决上述水尺校测过程中出现的实际问题，我单位成立科研小组，试验让尺垫根据作

业需求，进行一定幅度内的升高或降低，以适应不同情况的水尺零点位置。经过项目调研、图型绘制、材料选定、具体制作、形状性能对比等等，和多次试验，终于研制成功了可调节式尺垫。

图 2　使用可调节式尺垫

该尺垫由支脚、底托、螺母、螺杆、圆点、指向针、锁死螺杆等部分组成，可根据作业需求无间隙升降 5cm-10cm，摆放尺垫前，需先将螺杆拧至最下端，然后根据需要将螺杆调整到相应高度，再根据需要进行调平，使指针指向的位置（测量点）和尺垫圆点高程一致。

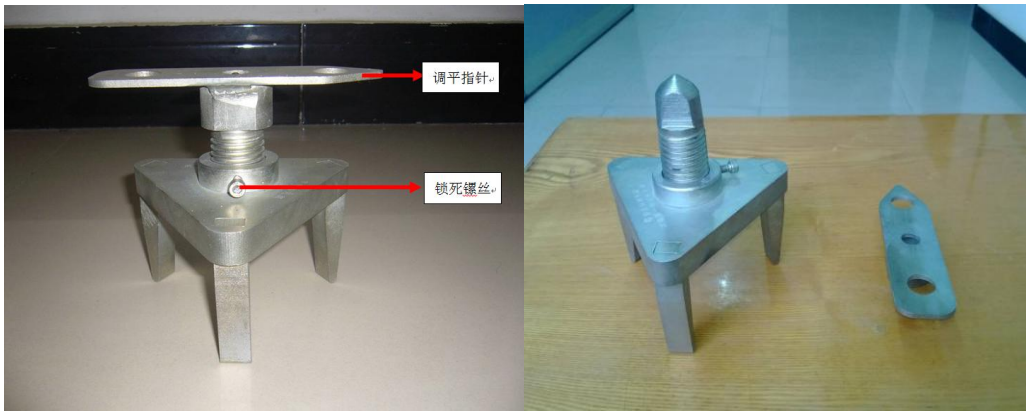


图 3　可调节式尺垫外观图

图 4　可调节式尺垫顶部图

图 5　可调节式尺垫底部图

3　主要创新点

（1）利用螺杆在螺母中的伸缩原理，可根据实际需要对尺垫进行一定幅度范围内的升高或降低调节，解决不同高度待测点的放尺难、转尺读数误差大等问题；

（2）升降调节后指向针准确指向需要测量的位置，指向针、尺垫圆点和水尺基准点三点相平，解决用普通尺垫放尺后实际测点高度难以准确确定的问题；

（3）根据实际需要，将圆点伸出固定高度利用锁死螺丝锁紧后，可以进行基准高定位测量；

（4）将可调节式尺垫圆点升高，解决部分凹陷地点易支尺垫但不易直接支塔尺的问题。

4　应用情况

可调节式尺垫研制成功后，首先在焦作黄河河务局武陟第一黄河河务局水尺校测过程中得到应用。

图 6　可调节式尺垫在野外实际应用图

可调节式尺垫在现场应用的效果为：只需 1 人操作，根据现场实际情况，简单调整后，

水尺零刻度和尺垫圆点高程一致，转点、转尺读取红黑面读数轻松方便，整体测量误差大幅降低。与传统测量方法相比，测量结果精确，有效解决了因闭合误差过大导致整体测量数据无效，必须重复进行测量的问题，工作效率大幅提高。

充分显示了其省力快速、转尺方便、读取水尺零点高程误差小等优点，为降低水尺测量投入人工成本起到了显著作用，具有很好的推广前景。

5 结语

目前，可调节式尺垫已在武陟第二河务局黄河下游防洪工程（河南段）堤防工程、沁河下游河道治理工程、黄河“十三五”防洪工程中得到应用。经过近年来在工程施工中的应用，可调节式尺垫提高了特点条件测量时的工作效率，降低了人工成本投入，测量结果精确，经济效益显著。

若将该设备推广到堤防工程、道路工程施工等更多的水准测量工作中使用，将产生显著的社会经济效益。

新型山洪灾害监测预警软件应用系统建设

赵丽平　　何晓燕　　任明磊　　陈　胜

（中国水利水电科学研究院，北京 100038）

摘要：山洪灾害监测预警是山洪灾害防治的一项重要非工程措施，新型山洪灾害监测预警软件应用系统建设，是按照“监测、预警、转移、反馈”的思路，形成了一套完整的山洪灾害防御体系。本文介绍了新型山洪灾害监测预警软件应用系统建设内容，包括基础云平台建设、数据产品加工与服务设计，平台系统建设、调查评价成果应用和软硬件设施设备综合应用；阐述了新型山洪灾害监测预警软件应用系统功能体系；对于提升山洪灾害监测预警标准，提升山洪灾害防御能力，为中小河流防洪减灾提供决策依据等方面具有重要的作用，可为全国山洪灾害防治工作提供参考和借鉴。

关键词：山洪灾害；监测预警；软件应用系统建设

1　前言

山洪灾害是典型洪水灾害类型之一，是指山丘区由降雨、融雪等引起的洪水、泥石流和滑坡灾害[1]。在全球气候变化大背景下，随着山丘区局地强降雨频次增加和山丘区人类活动的加剧，山洪灾害逐渐成为防洪减灾的短板，因山洪死亡人口约占洪涝死亡人口的 70%，山洪灾害监测预报预警和防御备受国际社会的高度重视[2]。很多国家已经或正在研发有效的山洪监测预警预报系统和洪水管理方法，力求使灾害程度达到最小。例如，从 1970 年代开始，美国研发了山洪预警指导系统（FFGS）[3]，已广泛应用于中美洲、湄公河流域、南非、韩国、罗马尼亚等地，基本实现了山洪灾害的实时监测预警，并研制了分布式水文模型山洪预报系统（HEC-DHM）[4-5]；日本开发了在加勒比海地区以社区为基础的山洪早期警报系统；欧洲部分国家建立了基于洪水预报的山洪灾害预报预警系统[6-7]。我国山洪灾害防治起步较晚，2010-2016 年才初步建成了山洪灾害防御体系[8]。开展新型山洪灾害监测预警软件应用系统建设，按照“监测、预警、转移、反馈”的要求，形成一套完整的山洪灾害防御体系，对于提升山洪灾害监测预警标准，高效发挥山洪灾害防治非工程措施作用，提升山洪灾害防御能力，为中小河流防洪减灾提供决策依据等方面具有重要的作用，可为全国山洪灾害防治工作提供参考和借鉴。

2　新型山洪灾害监测预警软件应用系统建设内容

新型山洪灾害监测预警软件应用系统，通过软硬件设施设备的结合，采用纵向业务集成、横向数据集成、云服务、统一标准、扩展开放等建设思想，实现“监测、预警、转移、反馈”的业务应用展示，形成集中管控、分级负责、乡村组三级联动的综合指挥体系。其建设内容包括基础云平台建设、数据产品加工与服务设计，平台系统建设、调查评价成果应用和软硬件设施设备综合应用。

2.1　基础云平台建设

以“云服务”为基础，在省一级建设数据中心内容，实现监测数据省中心统一接收、统一存储。系统设计“省级部署、省市县乡镇村五级使用”的服务模式，建设成果可以在未来向其它山洪防治区县进一步推广应用。“云服务”设计基础平台实现资源共享、按需分配服务器和数据资源，无须各区县分别建设、维护自身的新型山洪灾害监测预警软件应用系统，减少山洪灾害监测预警软件应用系统建设、运行和维护的总体成本，减少市县级用户单位对系统维护的难度和费用；同时通过服务器、计算资源的集中使用可以实现山洪灾害防治相关模型分析和数据分析对大规模计算资源的需求；另外一级部署也方便对数据中心数据资源的共享，可以利用省一级的资源优势实现数据产品的加工与制作服务，并提供给各区县用户使用。

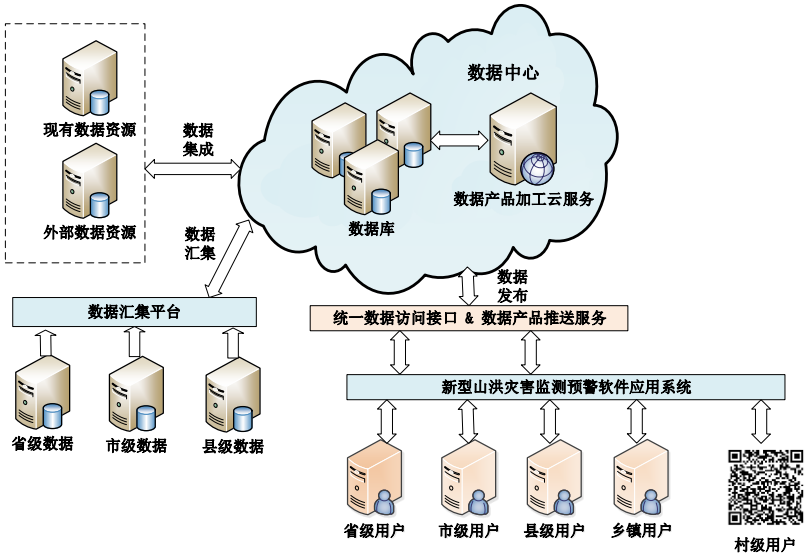


图 1　一级部署多级使用的新型山洪灾害监测预警软件应用系统

2.2　数据产品加工与服务设计

数据产品加工服务有水情预警计算服务、雷达回波图加工服务、降雨数值预报数据产品加工服务、智能化预案模型算法服务、数据产品推送服务。1）预警计算服务自动根据实时、预报的降水、河道水情数据进行预警计算，将预警计算结果作为数据产品提供给应用系统使用。2）雷达回波图数据产品加工服务用于下载、处理和存储各区县范围内的雷达汇报数据，并按照区县、市、省不同级别的用户对雷达回波数据的需求进行推送雷达回波数据产品。3）降雨数值预报数据产品加工服务用于获取、处理、存储降雨数值预报产品数据。4）智能化预案模型算法服务是依据智能预案数据结构化模型与工具发布为可自动化运行的服务，根据每次事件的实际情况，快速制定具体、可执行的行动方案，形成决策需要的预案数据。智能预案数据结构化模型与工具服务同时可以和其他服务直接交互，快速获取云 GIS 服务提供的数据服务、空间分析服务，并通过云 GIS 服务获取现场周边环境、基础设施状况和资源配置情况，动态掌握事件的发展演变过程。5）数据产品推送服务支持对数据的个性化推送，即不同部门，不同角色的用户应用端可以收到不同的推送数据。同时，用户可以设置数据推送的时间、内容，以及是否接收数据推送服务。

2.3　平台系统建设

新型山洪灾害监测预警平台系统是整个系统的核心业务系统，通过“省级部署、四级使用”的云服务平台机制，实现监测预警、应急响应、三维展示、监测设备和系统管理等功能。

2.4　调查评价成果应用

充分利用山洪灾害调查评价成果，将山洪灾害调查的基础数据、统计表、专题图层等植入新型山洪灾害监测预警平台，通过集成工作底图展示防治区、危险区、沿河村落与城集镇、居民户、小流域、涉水工程等数据。根据调查评价成果，结合当地实际情况，在新型山洪灾害监测预警平台中对各自动监测站点与各重点沿河村落相关联，对各站点设置好不同沿河村落的预警指标，让水情信息与具体受灾地点、各个调查对象的照片、社会经济情况等相结合，进一步拓展平台的防灾预警能力，使得预警信息更加准确，操作性更强，增强系统的会商决策支持能力。

2.5　软硬件设施设备综合应用

建立“三个五合一”硬件设施设备的台帐登记、日常检查、管理及运行情况统计分析等功能，为管理与运维单位提供必要的工具，协助运维单位提前了解系统故障及时进行维护。

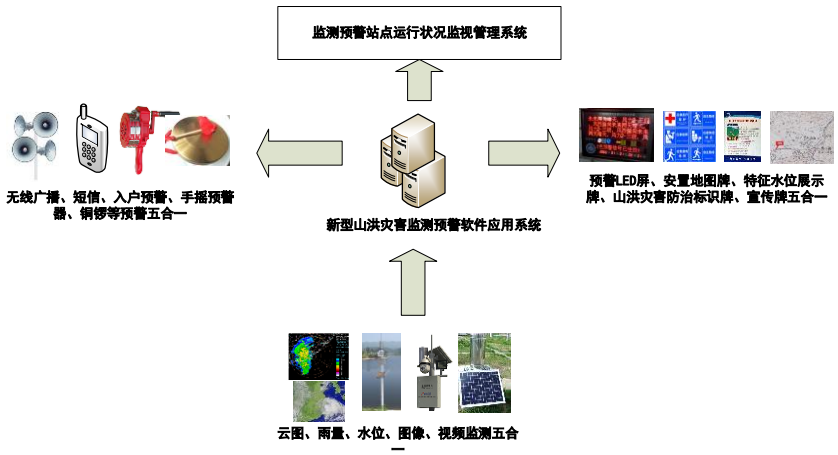


图 2　三个五合一与软硬件设备综合应用关系

3　新型山洪灾害监测预警软件应用系统功能

新型山洪灾害监测预警软件应用系统功能主要包括监测预警、应急响应、三维展示、监测设备和系统管理等功能。

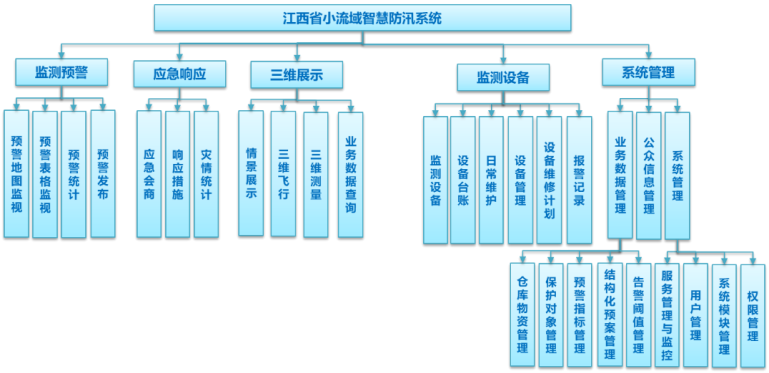


图 3　新型山洪灾害监测预警软件应用系统功能模块

3.1　监测预警

监测预警以 GIS 为信息组织中心，将实测或预报的雨情、水情，以及实时工情（视频监控）有机地结合起来，直观展示未来洪水规模、特点、发展趋势，有助于山洪灾害防治人员实时掌握防洪形势，明确当前山洪防治的主要问题和决策目标。通过智能化预警机制，根据预警规则实时计算，当达到预警条件时及时向工作人员发出预警信息，并将预警信息通过闪烁、声音的方式通知用户，便于及时做出相应的响应措施。

3.2　应急响应

当出现危险区预警时，需要对当前防汛形势进行研判，以及确定是否采取相应的应急响应措施，若采取应急响应措施则需对响应措施进行组织安排、反馈跟踪以保障防洪抢险工作有效执行。应急响应模块包括应急会商、响应措施制定以及查看历史预警、历史响应、历史灾情信息、预警发布信息、历史任务信息。应急会商主要用于分析、研判发生预警时的防洪形式，了解预警区域相关信息，提取和呈现各类综合信息，便于决策是否启动应急响应，以及启动对应级别的应急响应；响应措施制定是根据智能化预案，在启动应急响应时系统根据智能化预案和危险区的关联信息，得出针对危险区的应急响应处理措施，然后根据应急响应措施分配任务，以及进行任务执行情况反馈；历史预警查询功能根据条件查询历史上出现过的预警信息；历史响应查询功能查询历史上启动过的应急响应信息；历史灾情统计查询功能查询历史上的上报的灾情统计信息；预警发布信息查询功能查询历史上发布过的预警信息；历史任务查询功能查询历史上启动过的任务信息。

3.3　三维展示

三维展示平台是基于三维技术实现的山洪灾害防治区域空间数据展示平台，用于展示防治区的地形、地貌和相关水利工程信息。具体功能包括三维平台基本功能、工程展示、三维飞行、测量计算、工程模型展示等功能。三维展示平台的基本功能有三维数据的展示，三维数据浏览的基本控制，地图场景切换等功能；工程展示是将主要水利工程要素叠加到地图上展示，用户可以查询定位水利工程，并通过关联检索查看水利工程相关信息；三维飞行功能是为了便于查看流域三维场景及水利工程分布，可沿设定的路线以适合的角度和高度飞行，并具备适时调整俯视角和飞行高度等功能，从山洪沟的飞行查看山洪周边的村庄及水利工程的分布情况；测量计算功能是为了便于实现对三维地形、地貌的分析，平台系统测量计算功能形成针对三维地形的测量工具，包括距离测量、面积测量和高程测量等；工程模型展示功能是在重点防洪工程区域构建三维工程模型，三维工程模型能展现逼真的三维工程和其他设施、工程、建筑等模型，包括真实的地貌（山地、丘陵、河谷、平原、水体）类型分布、植被类型（森林、旱地作物、水田、自然草地、裸土等）分布的展现。

3.4　监测设备

监测设备功能主要以反映预警、监测设施设备的详细状态为主要目的。其中主要包括有监测设备（设备实时情况监测）、设备台账、日常维护、设备维修计划管理及设备报警记录等功能。监测设备功能展示了设备详情，如设备名称、设备类别、在线状态、电压值、电压

状态、报警时间；设备台账功能记录各基础设备设施的使用情况、数量以及其基本信息管理；日常维护功能记录用户所在政区所有监测设备的日常维护记录；设备维修计划管理功能是为各监测设备对应的维修计划的增删改查进行管理；设备报警记录功能是记录用户所在政区监测设备运行不正常导致的报警情况。

3.5　系统管理

系统管理可以实现用户管理、权限管理、单位管理、功能模块管理、预警指标管理、水文站点管理、应急预案管理、日志管理等功能。

4　结语

本文介绍了新型山洪灾害监测预警软件应用系统建设内容，包括基础云平台建设、数据产品加工与服务设计，平台系统建设、调查评价成果应用和软硬件设施设备综合应用；阐述了新型山洪灾害监测预警软件应用系统功能体系，包括监测预警、应急响应、三维展示、监测设备和系统管理等功能；对于提升山洪灾害监测预警标准，高效发挥山洪灾害防治非工程措施作用，提升山洪灾害防御能力，为中小河流防洪减灾提供决策依据等方面具有重要的作用，可为全国山洪灾害防治工作提供参考和借鉴。

参考文献

[1] 国家防汛抗旱总指挥部，中华人民共和国水利水利部. 中国水旱灾害公报 2010[R]. 2011.

[2] 郭良,丁留谦,孙东亚,刘昌军,何秉顺,刘荣华.中国山洪灾害防御关键技术[J].水利学报,2018,49(09):1123-1136.

[3] SWEENEY T L. Modernized Areal Flash Flood Guidance [Z] . 1992.

[4] REED S，SCHAAKE J，ZHANG Z . A distributed hydrologic model and threshold frequency-based method for flash flood forecasting at ungauged locations [J] . Journal of Hydrology，2007，337 (3/4)：402-420.

[5] GOURLEY J J，FLAMIG Z L，VERGARA H，et al . The FLASH Project：Improving the tools for flash flood moni- toring and prediction across the United States [J] . Bulletin of the American Meteorological Society，2017，98 (2)：361-372.

[6] ALFIERI L，THIELEN J，PAPPENBERGER F . Ensemble hydro-meteorological simulation for flash flood early detection in southern Switzerland [J] . Journal of Hydrology，2012，424：143-153.

[7] JAVELLE P，ORGANDE D，DEMARGNE J，et al . Setting Up a French National Flash Flood Warning System for Ungauged Catchments Based on the AIGA Method [C] //E3S Web of Conferences . EDP Sciences，2016 .

[8] 刘志雨. 山洪预警预报技术研究与应用 [J] . 中国防汛抗旱，2012，22 (2)：41-45.

远程智能语音广播系统研发与应用

张 磊[1] 杨 敏[2] 李 艳[3]

（1. 焦作黄河河务局温县黄河河务局，温县 454850；2.焦作黄河河务局武陟第一黄河河务局，武陟 454950；3.河南黄河河务局焦作黄河河务局，焦作 454000）

摘要：针对水利法规宣传工作难、对象不明确、方式方法单一等问题，开发了“远程智能语音广播系统”,该系统采用国际先进的智能语音引擎及音频处理技术，具有语音合成、定时循环播放、实时寻呼、实时在线查询、远程操作及手机 app 控制等功能。2017 年 5 月以来先后在焦作黄沁河多处工程安装应用，通过定时播报相应的宣传内容，有效降低了不文明行为事件的发生，通过现场监控及远程喊话，劝导了进入河道游玩的群众，防止了危险事情的发生。它自动化程度高，操作简单，经济实用，深受一线职工的好评，具有良好推广应用价值。

关键词：远程控制；监控；语音广播

1 研究背景

随着黄沁河文化旅游景观建设和人民生活水平的提高，越来越多的人到黄沁河参观游玩，期间不乏出现一些法纪观念淡薄之人，置公共安全和自身安全于不顾，破坏堤防工程、毁坏堤防设施、私自偷采、随处乱丢垃圾等不文明和违法现象时有发生，对此河道主管部门制作印刷大量宣传材料，安排专车和人员分发讲解，或录制音频用扩音喇叭重复循环播放，但收效甚微。为解决上述问题，2017 年 5 月，技术人员开始研发“远程智能语音广播系统”。

2 主要内容、技术原理及性能指标

该系统共分为现场设备及智能管理系统两部分。

2.1 现场设备

现场设备主要包括扩音喇叭、电力设施、视频监控设备、传输设施四部分。

2.1.1 扩音喇叭

扩音喇叭采用定制喇叭，确保在野外防洪工程音量传输的范围足够大，同时尽可能的保持音频清晰。

图 1 现场设备(大玉兰 32 坝)

2.1.2　电力设施

采用农电和太阳能二种供电方式，现场如能提供 220V 交流电，可直接引入系统使用。如不能提供，可搭配定制太阳能供电系统。该系统包括两块 260W 单晶硅太阳能面板，选用磷酸铁锂电池，可确保在滩区恶劣环境中持续使用 48 小时，经定制太阳能控制器及交直流逆变器，可实现馈电后自动待机，待第二天电量充满后自动启动。

2.1.3　视频监控设备

智能语音广播系统视频监控有两个需求：首先足够清晰的观察现场的情况，其次低功耗保证系统长时间稳定运行。为满足以上需求，项目组进行了优化设计，采用一台低功耗 POE 供电球型摄像机，安装于杆体背对河道的位置，保证可尽量无死角观察防洪工程情况。网络带宽、电力等消耗也随之减少，可显著降低整体造价。

2.1.4　传输设施

传输设施具备网络传输、网络透传、数据交换等功能，具备标准 TCP/IP 协议网络接口，能接入黄河专网、地方宽带等网络，也可使用联通、移动 4G 网络，使用“网络透传”技术连接后台系统，从而实现该系统在滩区道路的任意位置安装布设。

2.2　智能管理系统

该系统包括用户管理、语音合成、定时循环播放、实时寻呼、实时在线查询、远程操作及手机 app 控制等主要内容。软件开发遵循的国家标准和规范：《计算机软件开发规范》（GB/T 8566—2007）[1]、《计算机软件文档编制规范》（GB/T 8567—2006）[2]、《计算机软件需求规格说明规范》（GB/T 9385—2008）[3]、《计算机软件测试文档编制规范》（GB/T 9386—2008）[4]、《信息技术软件生存周期过程》（GB/T 8566—2007）[5]。

2.2.1　用户管理

为保证系统安全，设置了登陆界面，可确认登陆人员身份信息。具备管理员（可添加设备、增加人员、调整系统参数等）和操作员（查看记录，处置报警记录等）等权限。

图 2　登陆界面

2.2.2　语音合成（文字文本转化语音）

替代人工广播，解决人工广播发音不清晰、发音不标准的问题，降低人员及录音成本，

汉语和英语双语文本及地方话发音，而且可自定义语速等。

2.2.3　定时循环播放

解决广播不及时、不规范的问题，通过选择性来定时播放广播，提高时效。解决人工每日重复广播的问题。

2.2.4　实时寻呼

可以通过手机客户及电脑客户端进行实时语音喊话。

2.2.5　实时在线查询

可随时查看设备在线情况，任意调节音量、音调输出频率，让您随听所欲。

2.2.6　远程操作及手机 app 控制

为方便管理人员随时随地使用系统，开发了手机 app。

图 3　手机 app 控制界面

3　主要创新点

（1）利用信息技术，自行研发了“远程智能语音广播系统”，实现了语音合成、定时循环播放、实时寻呼、实时在线查询、远程操作及手机 app 控制等功能，自动化程度高，操作简单，经济实用，开辟了先进的水利法规宣传教育全新模式。

（2）研发的“远程智能语音广播系统”，采用国际先进的智能语音引擎及音频处理技术，实现中英文双语混合朗读、文稿转音频、播音文稿与背景音乐混合后导出音频文件等功能，可实时播放所需内容，替代人工广播，降低人员及录音成本。

（3）利用网络技术，通过电脑或手机客户端，观看现场情况，进行实时语音喊话，及时对不文明行为进行远程劝导，提高管理能力及管理水平。

4 应用情况

2017 年 5 月，在温县河务局大玉兰控导工程 32 坝安装了智能语音广播系统，系统安装后，定时播报相应的宣传内容，有效降低了该堤段的不文明行为事件的发生，通过现场监控及远程喊话功能，劝导了进入河道游玩的群众，防止了危险事情的发生。

2019 年 4-5 月分别推广应用到武陟一局木城管理班组、武陟二局驾部控导工程 45 坝、孟州开仪控导工程、沁阳水南关险工。安装该系统后，通过播放水利法规宣讲和不文明行为劝导服务，有效降低这些堤段的不文明行为事件的发生。

5 效益分析

经济效益方面，利用现有网络基础环境，实现不同环境下提供宣传教育功能，为节约每年的水利法规宣传教育投资提供可能。直接经济效益估算，每年节约资金大约 万元。

社会效益方面，该系统在黄河治理中的应用，提供了宣传教育基础，能够更好地为焦作黄河综合管理提供新的方式方法，更好的服务工程管理工作。

6 结束语

该本项目的实施与应用，有效降低了单位在水利法规宣传工作及工程面貌管理工作中的人力成本。解决了宣传工作难、对象不明确、方式方法单一等问题。为焦作黄河管理实体提供了信息化的活力，为治黄养护管理工作节约了一定的人力和财力。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 计算机软件开发规范：GB / T 8566—2007 [S]. 北京：中国标准出版社，2007：6-12.

[2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 计算机软件文档编制规范：GB / T8567—2006[S]. 北京：中国标准出版社，2006：24-32.

[3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 计算机软件需求规格说明规范：GB / T 9385—2008[S]. 北京：中国标准出版社，2008：3-8.

[4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 计算机软件测试文档编制规范：GB / T 9386—2008[S]. 北京：中国标准出版社，2008：5-10.

[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 信息技术软件生存周期过程：GB / T8566—2007[S]. 北京：中国标准出版社，2007：22-30.

基于 LSTM 深度神经网络的小型水库洪水预报研究

高月明[1]　雷佳明[1]　柳树票[1]　周晓斌[1]　卢达沛[2]

（1. 广东华南水电高新技术开发有限公司，广州 510000；2.华南理工大学，广州 510000）

摘要：小型水库流域面积小、汇流时间短、调蓄作用小，相对于大中型水库而言，众多小型水库由于资料缺失、资金缺乏等原因，尚无有效方法对水位进行预报预测，应对大暴雨洪水时主动防控能力极弱。为有效管控小型水库洪水风险，筑牢水库防洪安全防线，在已安装有水雨情自动测报设备的小型水库基础上，本文通过接入小型水库历史水雨情数据，基于小型水库水文特征，构建 LSTM 深度神经网络模型进行训练，结合预报降雨量延长预见期，预测小型水库未来洪水过程。结果表明，LSTM 深度神经网络在小型水库洪水预报上有较好的适用性，模型预报误差在合理范围内，逐时滚动预报能较好地模拟出小型水库洪水水位变化过程。

关键词：小型水库；洪水预报；LSTM

1　概述

1.1　研究背景

根据水利普查数据，我国水库总数约为 9.8 万座，其中库容在 10 万 m^3~1000 万 m^3 的小型水库约占水库总数的 95%以上[1]。然而，一方面，众多小型水库设施设备老化、带病运行；另一方面，小型水库普遍缺乏洪水预测预警手段，在暴雨洪水中主动排险避险的能力较弱。小型水库安全运行具有较大风险，新中国成立以来，全国共发生中小型水库溃坝事件 3000 多起[1]，其防洪安全问题已经成为我国防汛体系中最薄弱的环节之一。

近年来广东省山洪灾害系统先后建设了 3000 多座小型水库的水雨情遥测站点，能够及时监测水库现地水位、雨量及图像等实时信息，在防汛、抗旱等工作中发挥了重要作用。但遥测站点仅仅提供即时的自动化监测，在暴雨、洪水发生时能及时反馈现场情况，不能提前预测暴雨带来的洪水。小型水库流域面积小、汇流时间短、洪水来得快、调蓄作用小，相对于大中型水库而言，众多的小型水库由于资料缺失、资金缺乏等原因，在水位预报预测方面尚属空白，应对大暴雨洪水时主动防控能力极弱[2]。如何利用好现有资源，广泛开展和认真做好小型水库水文预报工作，提高小型水库防汛能力，是水利相关部门的当务之急[3]。

1.2　研究现状

1.2.1　小型水库洪水预报研究现状

小型水库普遍缺乏资料，且流域面积小、汇流时间短，不适宜进行复杂的调洪演算，按照传统方法制作实用洪水预报方案比较困难，通常是通过借用资料、经验公式等简易计算方法，编制小型水库产、汇流方案。如刘芝提出对于有实测资料的小型水库，根据水库历年各次实测洪水水位过程和出库流量过程进行还原计算，建立本水库的降雨径流关系曲线（P~R 关系曲线）进行查询[1]。王呈会在英房水库（小一型）洪水估报方案编制中应用代表流域法，

采用直接借用相近流域水文站降雨-径流相关图来查算入库径流深，从而进行小型水库产流预报[2]。

1.2.2　深度神经网络算法在洪水预报方面的研究现状

而随着大数据、人工智能时代的到来，水文观测数据不断丰富，计算机计算能力不断提升，以数据为驱动的模型在水文预报中得到越来越广泛的关注和应用。包红军等人在淮河中游河道水位预报中基于人工神经网络建立河道水位预报多断面实时校正模型，验证效果较好，对实际生产预报有一定的解决意义[4]。王竹等人根据大伙房流域特点提出了一种半分布式 B P 神经网络洪水预报模型，实现了模型中参数的自动率定，预报精度较好，可用于大伙房水库（大型）的正式预报[5]。王丽娟等人分别使用 LSTM 模型和新安江模型模拟计算安康水库（大型）的日径流和场次洪水过程，并比较了两者的优劣，最后表明采用 LSTM 模型进行洪水预报是可行的[6]。何伟等人在安康水库（大型）的日径流模拟计算过程，提出 LSTM 模型相对于新安江模型在一定程度上更简便，模拟效果也明显优于新安江模型[7]。崔巍等人利用福建省延寿溪流域渡里水文站逐时降雨数据和逐时流量数据，采用 BP 神经网络和 LSTM 神经网络构建模型，进行未来 1-24h 的逐时流量滚动预报，结果表明 LSTM 模型整体预报效果优于 BP 模型，能够满足短期洪水预报精度要求[8]。

目前，基于数据驱动的模型主要在一些水文数据充足的大型流域（水库）上，利用流域降雨及相应产生的径流（流量）数据进行了探索和尝试。由于小型水库资料缺失、资金缺乏等原因，暂无有效方法对其水位进行预报预测。针对这种情况，本文利用水雨情遥测站已有并正逐渐积累的水库水位、雨量数据，基于人工智能 LSTM 算法，构建了小型水库洪水预报模型，并结合小型水库防洪应用需求，提供水库未来 6h 的逐时水位过程预报。希望为小型水库科学防汛提供相应技术支撑，从而有效管控洪水风险，提升小型水库在暴雨洪水中主动排险避险的能力，实现小型水库管理由粗放式向科学化、系统化转变。

2　研究内容

2.1　LSTM 算法研究

长短期记忆模型（Long Short-Term Model，简称 LSTM）[9]是一种特殊的循环神经网络模型。循环神经网络模型一般只对短时间序列的信息比较敏感，难以提取长时间信息间的关联特征。而 LSTM 可以对有价值的信息进行长期记忆，不仅减小循环神经网络的学习难度，并且由于其增加了长时记忆，在一定程度上也缓解了梯度消失的问题。这是由于在传统循环神经网络的计算过程中会出现梯度消失的显现，而长短期记忆模型则有效避免了这个问题。

长短期记忆模型于 1997 年被提出，并在之后得到了多次改进。在长短期记忆模型中，循环神经网络的单个神经元被单元结构取代，如图 1 所示。每个单元含有 3 个“门”状态：输入门、输出门、遗忘门，在每个单元中，输入门选择性地将新信息记录到当前的单元状态，而遗忘门决定丢弃哪些信息，最后输出门将处理后的信息部分输出到其他单元。本文中的 LSTM 模型基于 Python3.6 环境下的 Keras[10]进行构建。

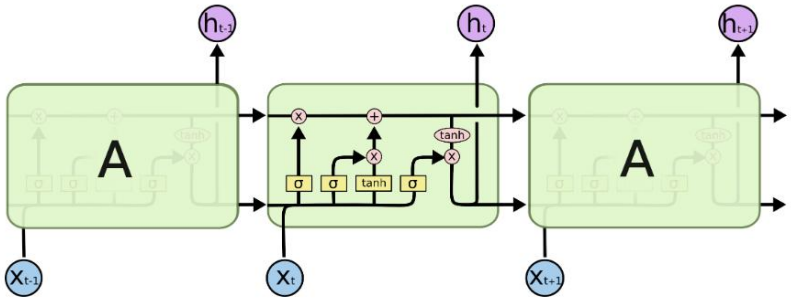


图 1　LSTM 完整处理单元[11]

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \tag{1}$$

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \tag{2}$$

$$C_t = f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot \tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \tag{3}$$

$$O_t = \sigma(W_O \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_O) \tag{4}$$

$$h_t = O_{t-1} + \tanh(C_t) \tag{5}$$

2.2　小型水库洪水预报技术路线

一般而言，传统洪水预报模型主要利用流域降雨及相应产生的径流（流量）数据，来寻找该流域上的降雨~径流关系进行预报，然而对于小型水库而言，这种方法实际上可能并不太实用。一是将水库水位还原计算至入库流量的过程工作量巨大；二是小型水库普遍存在资料缺乏且不准确的情况，在还原过程中会明显出现数据失实的情况。这也是导致传统洪水预报模型在小型水库上实际应用效果不佳的原因之一。因此，本文在考虑小型水库水文特征的基础上，将目光聚焦在小型水库入库流量的主要表现形式“可测水位”上。具体为利用前期降雨量、前期水位以及未来雨量预测未来水位，技术路线如图 2 所示。

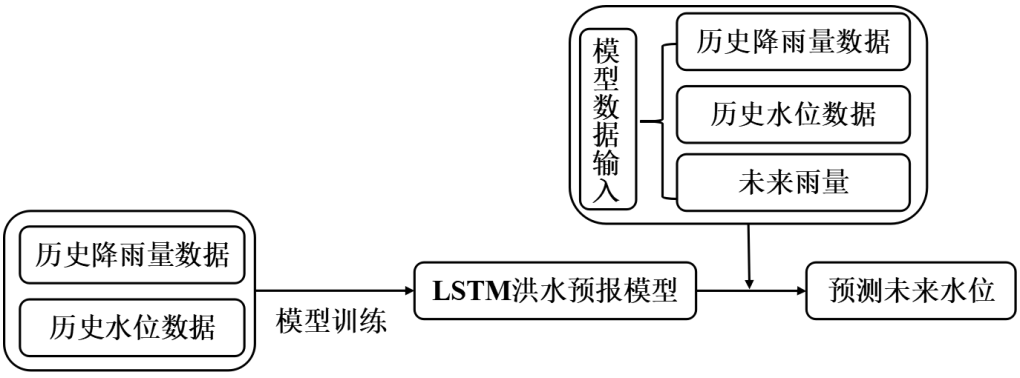


图 2　洪水预报技术路线图

2.3　模型构建

2.3.1　数据准备

本论文以鹤山市雅瑶河上游的小（1）型水库赤草水库为例。赤草水库库区在南靖村委会境内，坝址位于南靖村后，地理位置为东经 1125648.7"，北纬 223951.2"，距雅瑶镇政府

所在地约 10 公里，水库集雨面积 3.3 平方公里，多年平均降雨量 1756 毫米，设计总库容 307 万立方米，安全评估复核其总库容 287 万立方米。水库校核洪水位为 48.24 米，正常蓄水位为 46.47 米，死水位为 33.67 米。水库现有水工建筑物包括：主坝一座，副坝一座，溢洪道和输水涵管。其中主副坝为均质土坝，高程分别为 49.57 米和 48.80 米；溢洪道溢流堰型为实用堰，堰顶高程 46.47 米，最大泄量 29.10m^3/s。赤草水库现主要任务是灌溉和防洪，兼养殖等综合利用，担负着雅瑶镇的雅瑶、昆东、南靖等村委会及雅瑶圩镇 3800 多人的防洪任务，保护工农业总产值 8000 万元，水库安全与否直接影响到雅瑶镇工农业生产发展，及人民生命财产的安全。

赤草水库于 2012 年 5 月建设水雨情自动测报站，水雨情数据更新保存至今，其中整点水位、雨量数据质量相对较好。本研究中即采用了赤草水库 2012 年 5 月至 2020 年 5 月期间的整点水位、雨量数据进行研究。

（1）数据整编

对赤草水库 2012 年 5 月至 2020 年 5 月期间的整点水位、雨量数据进行整编处理，处理原则如下：

水位或雨量数据错误及缺漏连续较长的，数据质量连续较差的，不采用此段时间的数据。

水位数据少量错误及缺漏的，依据前后时刻的水位数据进行插补修复，必要时参考相应时间的图像进行复核。

雨量数据少量错误及缺漏的，依据相应时间附近正常运行的雨量站数据进行插补修复。

处理完成后得到赤草水库 2012 年 5 月至 2020 年 5 月期间整点水位、雨量数据情况如下表所示，共计 48485 条数据。

表 1　赤草水库整编数据详情

序列片段编号	起始时间	终止时间	数据量	所占比例
1	2012/5/1 12:00	2012/8/30 5:00	2899	0.06
2	2012/9/4 0:00	2013/3/17 8:00	4666	0.10
3	2013/5/29 0:00	2014/6/3 0:00	8882	0.18
4	2016/8/29 8:00	2017/10/25 8:00	10073	0.21
5	2017/11/6 8:00	2018/4/26 8:00	4106	0.08
6	2018/5/2 8:00	2019/4/12 20:00	8296	0.17
7	2019/4/29 8:00	2020/5/31 17:00	9563	0.20

（2）数据的归一化

归一化可以将不同来源、不同量纲的数据统一到同一个参考系下。在数据归一化之前，如果两个特征的取值区间相差非常大，在使用梯度下降算法寻找最优解的过程中，可能导致算法收敛速度非常慢甚至无法收敛。本研究采用的是线性归一化：

$$x' = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \tag{6}$$

归一化后所有特征属性和输出都规整到[0, 1]区间内。

（3）数据集划分

数据集预处理完成后，需要对数据集进行划分。赤草水库 2012 年 5 月至 2020 年 5 月期

间整点水位、雨量数据均为 48485 条。本论文中，为了确保模型训练和测试的准确性，将数据集划分为 3 个部分：训练数据集（train_set）、验证数据集（validation_set）和测试数据集（test_set）。经验上一般将数据集划分为 5:2:3 或者 3:1:1，分别代表训练数据集、验证数据集和测试数据集所占比例。本论文中，结合表 1 数据情况以及至少有一个汛期数据进行检验，将序列片段（1~5）作为训练数据集，序列片段（6）作验证数据集，序列片段（7）作测试数据集。经过如此划分后，训练数据集、验证数据集和测试数据集的数据比例是 30626:8296:9563。3 个数据集中水位、雨量数据的主要统计指标如表 2 所示：

表 2　赤草水库三个数据集主要统计指标

基本指标	训练集	验证集	测试集
水位最小值（m）	39.37	39.65	38.10
水位最大值（m）	46.34	45.39	42.51
降雨量最大值（mm）	82.0	62.0	48.5
数据量	30626	8296	9563

2.3.2　基于 LSTM 深度神经网络的模型

本论文中，采用了包含一个隐含层的 LSTM 深度神经网络，构造的 LSTM 深度神经网络结构如图 3 所示。

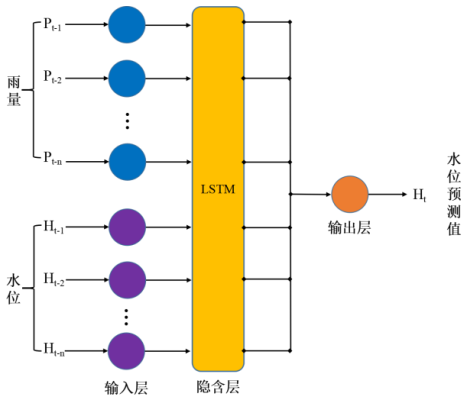


图 3　LSTM 模型结构图

输入层含有 2n 个神经元（n 即时间步长，表达意义为水库前期一些因素对未来水位的影响，大小主要与水库集雨区下垫面特征有关）。输入层分别接收 t-1—t-n 整点时刻的水位及雨量数据。隐含层节点数量为 m，表示隐含层的大小及复杂程度。m 越大，模型越复杂。一般而言，隐含层节点适宜即可，节点数越大越容易导致模型过拟合。输出层为只含有一个神经元的线性网络层，用来输出预测的 t 时刻水位 H_t。输入层到隐含层的激活函数采用双曲正切函数 tanh，隐含层到输出层的激活函数采用线性函数。本论文中，采用了从区间[12, 48]内每隔 6 单位选取一个数作为时间步长 n，从[6，54]内每隔 6 单位选取一个数作为隐含层节点数目 m，进行实验，比较模型在测试集上的均方误差以及验证集和测试集中主要洪水过程的均方误差，作为时间步长和隐含层节点数目的选取依据。对赤草水库而言，最终确定时间步长为 n=18，隐含层节点数 m=12。

本论文中，采用随机梯度下降法对网络参数进行更新，每个小批量数据集的容量确定为 200，这样在一次完整的 epoch 内可以迭代更新权值 153 次。不仅加快了收敛速度也减少了

每一次迭代过程的时间消耗，提高了模型的训练效率。

2.4　洪水预报

将前期水位、雨量以及未来降雨量作为模型输入，预测未来水位，循环滚动运行多次即可得到未来一段时间内的水库洪水水位过程。但由于长时预测误差的累积效应，预见期不宜过长，结合小型水库防洪应用实际，一般预见期选为 6 小时即可。

3　实验结果分析

3.1　模型评价指标

基于水文预报的规范以及小型水库的防洪应用实际情况，针对小型水库洪水，本文选择了纳什效率系数、最高水位误差和最高水位相对误差这三个指标，来对 LSTM 模型进行分析和评价。其中，纳什效率系数（Nash－Sutcliffe efficiency coefficient）：

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{T}\left(Q_0^t - Q_m^t\right)^2}{\sum_{t=1}^{T}\left(Q_0^t - \overline{Q_o}\right)^2}$$

式中：Q_0 指观测值，Q_m 指模拟值，Q^t 表示第 t 时刻的某个值，$\overline{Q_0}$ 表示观测值的总平均。E 取值为负无穷至 1，E 越接近 1，表示模型质量好，模型可信度高；E 越接近 0，表示模拟结果接近观测值的平均值水平，即总体结果可信，但过程模拟误差大；E 远远小于 0，则模型是不可信的。

3.2　LSTM 洪水预报结果分析

将已经训练好的模型应用于测试集中 2019—2020 年期间的主要洪水过程，对预见期 1h 的水位进行预报，并将其与实测水位数据进行比较，模型预测结果如图 4 所示。通过图 4 可以发现，LSTM 模型对于小型水库洪水水位预测虽有误差，但总体而言拟合效果较好。误差主要表现在水位急涨时，即水库发生较大洪水时。

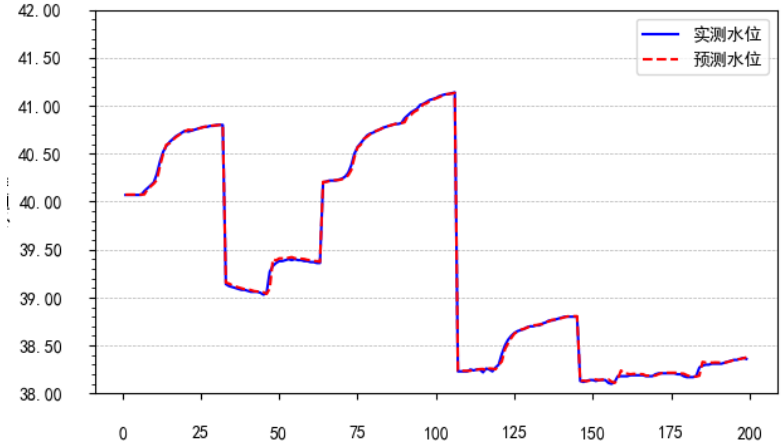


图 4　测试集主要洪水过程预测结果

利用训练好的模型做下一个小时（T+1）的水位预报，再以 T+1h 的水位作为当前水位输入，预报 T+2h 的水位，以此循环滚动进行计算，从而完成未来 T+6h 的循环滚动预报。本文选择了测试集中即 2019 年 5 月~2020 年 5 月期间发生的洪水事件，将洪水事件期间的 6h 滚动预测水位值分别与实测水位值进行比较，对 LSTM 模型在小型水库洪水事件及其防

洪应用实际情况中的预报精度进一步验证。验证结果见如下图表。

表 3　6h 预测结果统计

洪水编号	预报期总降雨量（mm）	预报期水位变幅（m）	最高水位（m）				纳什效率系数
			计算	实测	误差	相对误差（%）	
2019052909	86.0	0.44	40.49	40.58	-0.09	-20.45	0.928
2019061113	84.5	0.36	39.38	39.39	-0.01	-2.78	0.967
2019080108	87.0	0.37	40.56	40.61	-0.05	-13.51	0.950
2020051619	43.0	0.14	38.30	38.30	0.00	0.00	0.983
2020051621	41.5	0.14	38.31	38.31	0.00	0.00	0.915
2020052116	52.5	0.34	38.45	38.56	-0.11	-32.35	0.801

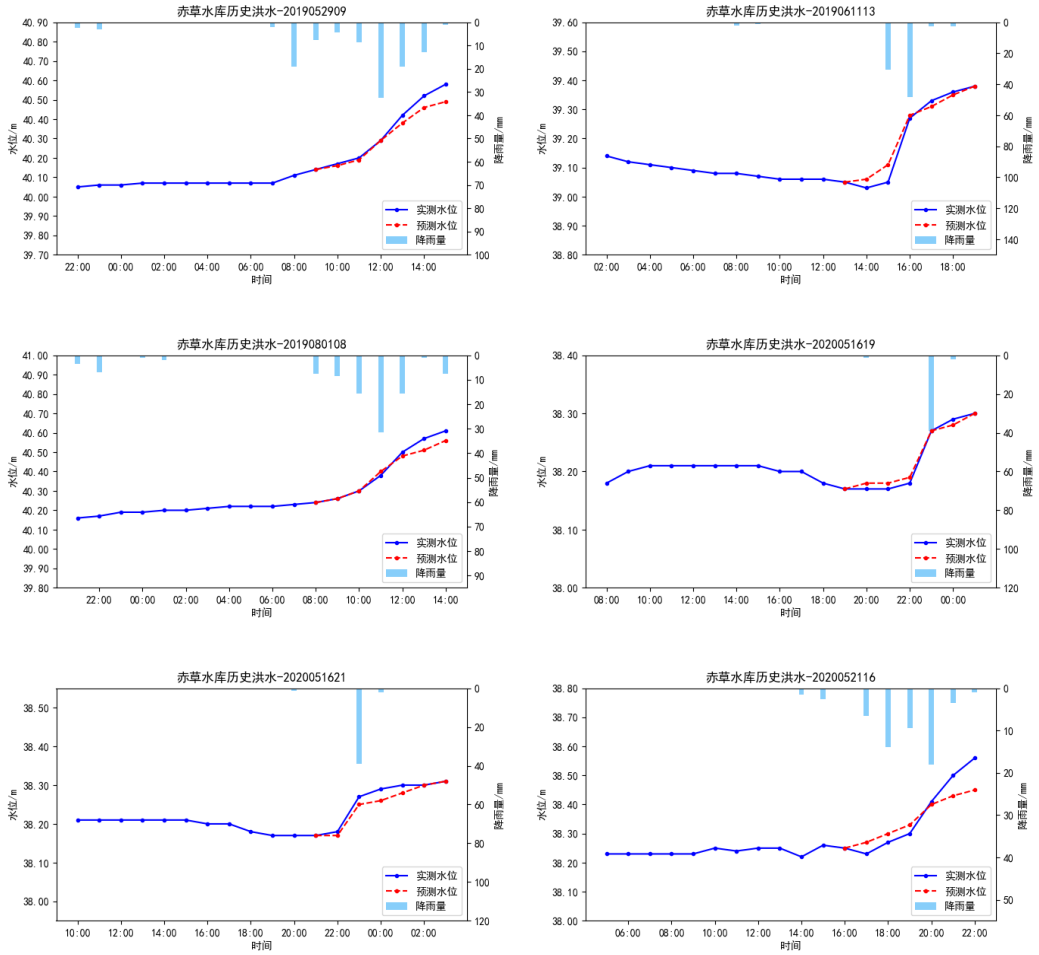


图 5　多场洪水 6h 预测结果

可以看到，LSTM 模型在小型水库预见期为 6h 的水位预测中依然能够较好的表现水库洪水水位过程，纳什效率系数大部分在 0.9 以上，误差最大在 10cm 左右，相对误差最大在 30%左右，对于小型水库而言，模型误差基本在合理范围内。另外，模型预测最高水位普遍小于实测，结合图表可以明显地发现，预见期从 1h 延长到 6h 后，LSTM 模型出现了系统性偏小的趋势，且一般随着预见期越长，偏小程度越明显，误差也越大。此现象的原因一方面可能是模型本身预测结果的系统性偏小，另一方面是由于循环滚动预测不可避免地会出现误差的累计，导致前面预测产生的误差会逐步累计到之后的预测中。

4 总结

小型水库具有汇流时间短、洪水突发性强、洪水预见期短的特点，传统预报方法很难对其进行有效预报，并且小型水库的历史数据和基础资料相对匮乏，传统水文方法中率定参数也变得困难。本文以赤草水库为例，使用 LSTM 深度神经网络构建了小型水库洪水预报模型，进行了 1—6h 的逐时水位滚动预报，利用 2019 年 5 月—2020 年 5 月期间发生的洪水事件进行了验证，得到如下结论：

（1）LSTM 深度神经网络模型在小型水库洪水预报上有较好的适用性，模型预报误差在合理范围内，逐时滚动预报能较好地表现出小型水库洪水水位变化过程。

（2）对于 LSTM 模型而言，预测结果的好坏主要取决于数据。一方面，水库数据质量好，噪声少，失实小，训练出来的模型才能更符合实际。另一方面，水库数据量越多，包含的各类型降雨水位信息越全面，得到的模型鲁棒性也更高、泛化能力更强。

（3）随着大数据时代的到来，基于数据驱动的模型在洪水预报中受到越来越多的重视，深度学习作为一种新型数据挖掘方法，将其推广应用到数量众多的小型水库洪水预报中十分必要。

参考文献

[1] 刘芝. 对小型水库水文预报和水库防洪安全的思考[J]. 科学技术创新, 2020, 000(011):103-104.

[2] 王呈会. 小型水库洪水估报方案的编制[J]. 吉林水利, 2016, 000(006):53-55.

[3] 田岩. 浅谈小型水利工程的安全问题与对策[J]. 陕西水利, 2013, 000(0z1):104-105.

[4] 包红军, 王莉莉, 李致家. 基于人工神经网络的水位预报多断面实时校正研究[J]. 中国农村水利水电, 2018, 430(08):96-99.

[5] 王竹, 杨旭, 张静,等. 基于 BP 神经网络的大伙房水库洪水预报[J]. 水电能源科学, 2016.

[6] 王丽娟. 基于大数据分析方法的汉江流域安康段洪水预报研究. 云南师范大学.

[7] 何 伟, 万 俊, 左园忠,等. 基于 LSTM 模型模拟安康水库洪水过程[J]. 水资源研究, 2020, 9(2):201-210.

[8] 崔巍, 顾冉浩, 陈奔月,等. BP 与 LSTM 神经网络在福建小流域水文预报中的应用对比[J]. 人民珠江, 2020, 041(002):74-84.

[9] 冯钧, 潘飞. 一种 LSTM-BP 多模型组合水文预报方法[J]. 计算机与现代化, 2018(7): 82-85.

[10] Keras [Oneline],Available:https://keras.io/zh/.

[11] Hochreiter S , Schmidhuber J . Long Short-Term Memory[J]. Neural Computation, 1997, 9(8):1735-1780.

无线宽带集群专网通信技术在黄河防汛中的应用研究

于晓波

（山东黄河信息中心 济南 250031）

摘要：为贯彻水利部“水利工程补短板，水利行业强监管”的决策部署，补齐防汛信息化建设短板，本文立足防汛信息化实际需要，结合利用数字无线宽带接入集群专网通信技术，探讨 TD-LTE 通信系统在黄河防汛业务中的应用，有效解决黄河防汛抢险救灾应急通信和基层单位日常办公等“最后一公里”通信传输问题，满足黄河防汛抢险和防洪工程运行管理对信息传输的需求，提升黄河防汛信息传输的时效性、准确性和科学性，推动治黄体系与治黄能力的现代化进程。

关键词：无线宽带集群；LTE；专网通信；黄河防汛

1 概述

为贯彻水利部“水利工程补短板，水利行业强监管”的决策部署，补齐黄河防汛现有信息化基础通信传输的这个短板，通过利用数字无线宽带集群专网通信技术，建设 TD-LTE 通信系统，可有效解决黄河防汛基层“最后一公里”通信传输问题，满足黄河基层防汛抢险和防洪工程运行管理对信息传输的需求，实现治黄防汛强监管的目的。

黄河防汛基层单位和防汛信息采集点大多分布在黄河两岸及滩区，点多、面广且偏僻分散，且大多处在行政区边缘，位于公网运营商的盲区。黄河专用通信网结构为黄委-省-市-县-沿河基层单位的五级专用通信传输且公专结合的基本格局。但目前的黄河专网传输保障水平已明显落后，不能满足黄河防汛基层单位对防汛信息传输所需要的通信网络基础支撑，信息通道落后已成为制约黄河防汛信息化发展的瓶颈。

为畅通黄河防汛信息上传下达的通道，实现防汛监管信息的实时传输，促进治黄应用的智能化转型，根据业务需求和技术调研情况，基于数字无线宽带集群专网通信技术并充分利用现有资源，建设技术成熟可靠、提供无线面覆盖、数据终端具有移动宽带传输等功能的 TD-LTE 通信系统，可有效解决黄河防汛信息的传输能力，提高信息监测手段，有效解决黄河防汛抢险救灾应急通信和基层单位日常办公等“最后一公里”通信传输问题，满足黄河基层防汛抢险和防洪工程运行管理对信息传输的需要，实现治黄防汛强监管、补短板的要求。

2 系统方案

利用原黄河通信系统的铁塔、机房等基础资源（并按无线覆盖范围增补少量），通过黄河原有光纤电路等公专结合的有线传输网进行基站联网，组建黄河数字无线宽带接入集群专网通信 TD-LTE 系统，进而以点带面，将通信覆盖范围延伸到黄河下游沿河两岸周边及滩区范围，每基站可提供最大 100M 的通信接入能力。实现沿河周边移动宽带数据的接入，为黄河（包括堤防和滩区）的移动宽带数据采集与传输、应急指挥调度、无线视频监控、水文智能测报移动抢险办公等和临时通信接入等治黄业务提供通信接入方案。同时可以作为有线网

络的补充，辅助解决移动办公自动化、无线语音电话等业务需求。

2.1　系统构成

依托黄河原有光纤电路等公专结合的有线传输网络（包括规划建设的黄河沿河光纤环网），充分利用黄委会现有 IP 骨干网和电话交换网络资源，建设以 IP 骨干网为支撑的宽带数字无线数据接入网络和以电路交换网为支撑的移动语音交换网络，系统架构主要包括核心网、无线接入系统、IP 承载网及终端四部分，整个网络采用扁平化架构。

2.2　系统建设

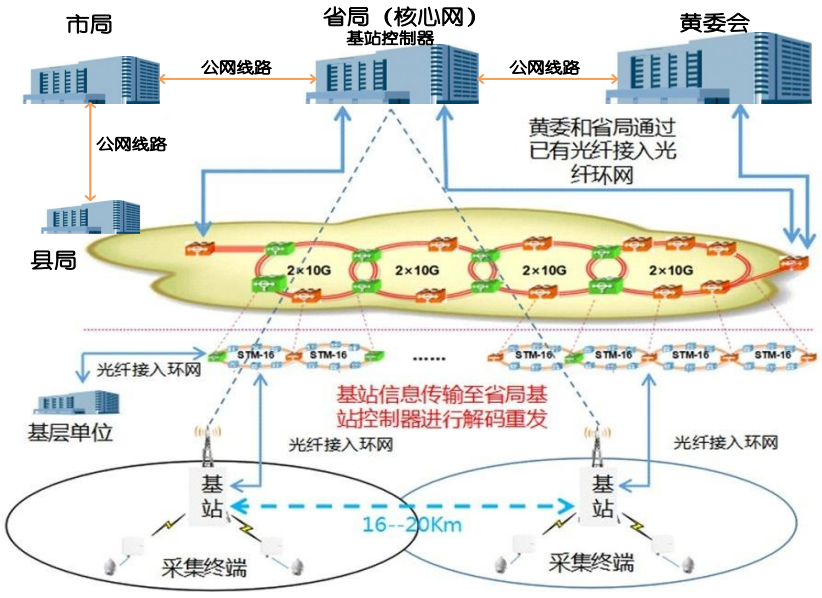
按黄河流域实际情况，覆盖黄河下游堤防、险工、控导及部分滩区。黄河沿岸每 20Km 左右周围部署一座 LTE 基站，基站设备采用分布式基站沿河道进行覆盖，提供无线终端接入。尽量利用现有铁塔资源设置站点，便于维护管理和接入传输网络，核心网（基站控制器）根据传输情况设置在中心机房。同时根据黄河防汛基层单位日常语音、数据、视频等多媒体业务的采集和上传以及应急抢险工作中指挥调度功能需求，沿河配备无线数据终端和宽带集群数字终端。

3　系统组成

3.1　总体架构

系统架构主要包括综合网管、核心网、基站和用户终端。在黄委会信部署综合网管系统，进行全系统管理；在省河务局部署网管系统客户端和基站控制器（核心网），负责本区域内所有基站数据业务和视频业务信息解码和数据重发；基站以下的无线接入部分含沿河所有基站及所有数据终端，基站就近接入有线传输网。

终端将数据信息通过无线信号传输至基站，基站通过有线传输网传输至省局基站控制器，基站控制器将信息解码后接入黄委计算机网络，各种信息经计算机网络传输至黄委、省局或各县局应用部门。系统总体框架图如下：



数字无线宽带接入集群专网通信 TD-LTE 系统总体框架图

3.2 系统组成

在黄委信部署综合网管系统进行全系统管理，在省局部署网管系统客户端和基站控制器负责本省所辖基站信息数据解码和数据重发，沿河建设无线 LTE 基站及无线数据终端 CPE，基站就近接入有线传输网。每基站可提供最大 100M 的通信接入能力，为沿河覆盖区内的信息采集点或基层单位提供无线宽带接入，后期可根据覆盖情况和业务需求通过同站址拉远扇区方式进行延伸覆盖，扩展系统数据无线传输覆盖面。

3.2.1 系统网管

采用集中网管方式。在黄委信部署综合网管系统，对整个系统进行统一管理。在省局部署网管系统客户端，实现本区域系统管理。

综合网管功能包括系统网络部署、网络监控和网络调整。

（1）网络部署：根据 LTE 协议及实现机制，实现无线网络设备的初始化建设、参数配置、基站自动化开站等。

（2）网络监控：提供网络设备在运行过程中实时性能数据、业务故障告警等。

（3）网络调整：综合网管可实现对系统接口进行网元的数据实时变更操作。

3.2.2 核心网

在各省河务局部署具备 B-TrunC 认证的基站控制器（核心网），将基站传输的数据信息在所属省局落地并存储，并支持按需转发至黄委及市局。核心网可对全网 LTE 接入设备进行远程维护管理，可提供集群调度服务，支持集群调度、集群呼叫、视频调度、GIS 可视调度。核心网支持接入基站数量不低于 100 个；最大用户数不少于 10000 个；最大系统吞吐率不小于 20Gbps。

3.2.3 无线接入基站

无线宽带基站采用分布式架构，黄河沿岸覆盖部署，沿河信息采集点及基层单位的信息传输采用 TD-LTE 无线宽带通信系统解决方案，采用 1.4GHz 专网频段，每基站覆盖半径约为 10km，单小区上行吞吐量平均值大于 40Mbps，单基站吞吐量平均值大于 100Mbs；单基站支持不低于 6 个扇区。系统提供双向无线鉴权功能，可防止非法“伪基站”的侵入和未经授权的用户使用网络，保障信息传输的安全。采用高功率 RRU、选用智能天线技术高增益天线等多种覆盖增强技术可满足开阔区域的广覆盖要求。

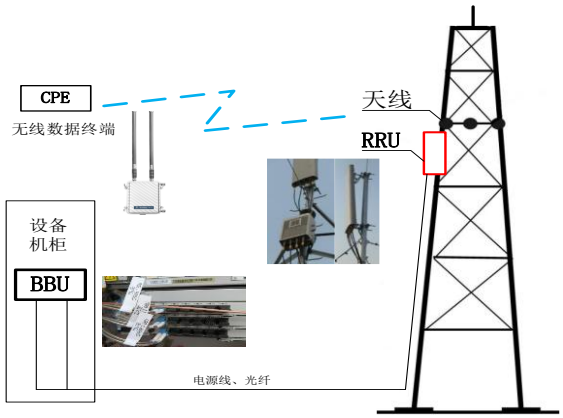
（1）基站应考虑布设在具有一定规模通信设备的管理单位，便于后期运行管理，并尽量利用现有机房、电源等设施，节省建设投资。为提高覆盖能力，需保障天线挂高，可利用原有铁塔等资源或新建简易铁塔架设天线。

（2）站间距设置可根据当地地形和建筑情况，预计单站可提供 10km 的覆盖长度。基站间距应不大于 20km，并确保 2M 带宽的边缘速率。尽量与光纤通信节点同站部署，便于基站接入沿河主干传输网络。

（3）基站布设应最大限度覆盖黄河下游堤防、险工、控导等处的信息采集点。

（4）无线数据终端（CPE）承担 LTE 无线广域网数据和本地有线或无线局域网数据之间

的转换任务，具备回传功能，室外部署，可独立使用。



无线接入基站典型应用示意图

3.2.4　联网线路

各站点通过固定光传输网络或 IP 网络，连接到核心网设备。由电路模型计算 LTE 系统采用 20MHz 带宽，理论传输速率可达 100Mbps。每基站-县局间需 100M 联网电路。每县局平均 3 个基站，考虑 33%业务并发，县-市-省局线路 100M 传输带宽可满足需求。省局至黄委联网电路为 200M。

3.2.5　接入容量

TD-LTE 系统基于 3GPP 协议，满足 B-TrunC 标准。基站选用基带处理单元（BBU）和射频拉远单元(RRU)分布式产品进行组网，支持 1.4G/1.8G BBU 共站组网，提供 MME/SAE-GW/HSS 等所有能力，支持基于 NFV 可扩展架构。单基站在时隙配比 3:1(上:下行)条件下，单小区上行吞吐量平均值大于 40Mbps，单基站吞吐量平均值大于 100Mbs。

3.2.6　频率规划

采用 1.4G 频段同频组网 TDD 系统，频率为 1447-1467MHz，信道带宽为 20MHz，理论可达 100Mbps 的传输速率。

（1)LTE 规范符号占用带宽标准:根据 LTE 宽带技术标准，每个宽带符号占用带宽 15KHz，20M 带宽，一共可以同时传送符号:20000/15=1333 个符号。按照 LTE 调制标准，需要预留部分带宽作为保护间隔，同时调制符号数必需是 2 的整数幂。LTE 技术规定，20MHZ 带宽，可同时传送 1024 个符号。

（2）每个符号包含信息量：按照 LTE 标准最高可采用 64QAM 调制方式，2 的六次方，即采用 64QAM 调制技术，1 个符号包含 6bit 信息量。

（3）传输时间：LTE 标准规定，每 1ms 为一个时隙，可传输 14 个 1024 的符号，所以每时隙可以传输的比特信息量为:14*1024*6=86016bit

（4）信道编码效率：LTE 标准采用了 2 倍的信息压缩技术和 2/3 的卷积码进行信道编码，所以每个时隙能够传输的有效比特信息量为：86016*2*2/3=114688bit

（5）信令开销：除去标准要求约 10%的各种信令开销，有效数据比特信息量为 114688bit *90%=103219bit

（6）数据传输速率计算：1 个时隙为 1ms,可传输的有效数据比特信息 103219bit，故 20M 带宽数据传输速率为 103219 bit/0.001s=103129000 bit/s=103Mbps

3.2.7 频率复用

在 LTE 系统中，所有基站使用同一个频点（每基站均为满频段复用）。LTE 采用 ICIC 技术（小区间协作），通过基站间的 X2 接口交换信息，基站可获知相邻基站的干扰状态，实施灵活调度资源，从而在分配无线资源（频率，发功等）时可避开干扰。ICIC 定义于 3GPP R8，其目的是减小在小区边缘使用相同频率的不同小区间的干扰。基站可以生成每个频率资源（RB）的干扰信息，并且通过 X2 消息将干扰信息传递给邻近基站，实施灵活调度资源，避免了相邻基站间因分配了相同的频率资源而产生干扰以避开小区间干扰。

3.2.8 无线覆盖区

应用 1.4G 宽带移动通信系统覆盖黄河沿线区域，主要覆盖场景为地形无较大起伏的乡村平原，满足无线数据终端接入业务需求，边缘业务速率需达到 2048kbps。电波在传播过程中的衰减是根据电波传播模型计算得到的。对于 LTE 系统的电波传播预测选用 Okumura-Hata(适用于 150～1500MHz)模型。

基站天线有效高度为 30～200 米；移动台天线高度为 1～10 米；通信距离为 1～35km；

Okumura-Hata 模型传播损耗公式为：

$$L_{b城} = 69.55 + 26.16\lg f - 13.82\lg h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55\lg h_b)(\lg d)^{\gamma}$$

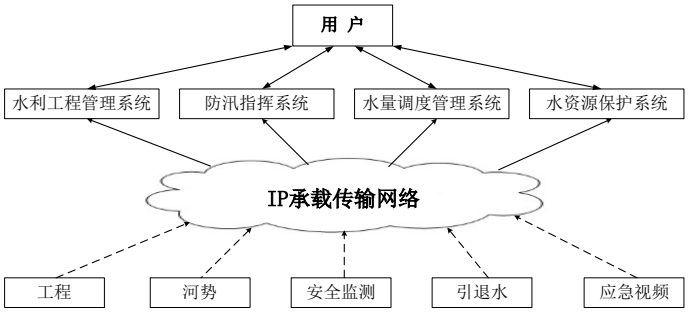
d 的单位为 km，f 的单位为 MHz；$L_{b城}$为城市市区的基本传播损耗中值；hb、hm—基站、移动台天线有效高度，单位为米；

基站天线有效高度计算：设基站天线离地面的高度为h_s，基站地面的海拔高度为h_g，移动台天线离地面的高度为h_m，移动台所在位置的地面海拔高度为h_{mg}。则基站天线的有效高度 hb=$h_s + h_g - h_{mg}$，移动台天线的有效高度为h_m。

站点设备采用分布式基站，4 通道定向天线，天线半功率角 650，射频单元发射功率为 46dbm。数据接入终端在 1400MHz 频段下满足边缘业务速率 2048kbps 数据业务连续覆盖。通过计算，覆盖半径约为 10km。

3.2.9 数据流程

工程、河势、安全监测、引退水及应急通信等数据和视频信息，利用 LTE 无线专网系统将数据实时传回到各业务应用系统数据库，供各应用业务系统使用。



系统数据流程图

4 技术分析

数字无线宽带接入集群专网系统基于B-TrunC由工信部主导制定的LTE宽带数字集群标准，采用SC-FDMA单载波多用户接入以及OFDM、MIMO、64QAM高阶调制等多种TD-LTE先进技术，同时具有专业集群通信性能、高可靠性和高实时性数据视频传输以及多媒体调度的能力。本系统可承载黄河防汛用户话音/数据集群调度，可用于防汛现场视频监控、防洪工程数据信息采集业务，协同作业的宽带无线数据传输等多种业务。

B-TrunC：“LTE数字传输+集群语音通信”专网宽带集群系统标准；

TD-LTE：时分双工4G技术；

MME：Mobility Management Entity，3G网络SGSN网元的控制面功能；

3GPP：以GSM核心网为基础，UTRA(FDD：W-CDMA，TDD：TD-CDMA)为无线接口的第三代技术规范；

SAE-GW：GW和PGW合设被称SAE-GW；

HSS：Home Subscriber Server-归属用户服务器；

NFV：Policy and Charging Rules Function-用户数据报文的策略和计费控制。

5 系统功能

数字无线宽带接入集群专网系统支持高速移动场景下数据上传下载、实时视频的传输和数据上传下载、高品质保证的语音和集群通信，并支持丰富的QoS保障、GPS、数据加密与安全等。并可承载如下业务：

宽带无线数据传输，用于远程数据采集、实时交互、定位、指令调度等；

数据业务：PS业务移动性、会话管理、动态和静态地址分配、用户数据管理；

视频监控及调度，用于现场实时视频传输、远程视频调度指挥；

语音集群调度，用于用户的专业语音调度；

多媒体业务：视频单呼、视频组呼：包括终端、调度台发起；

集群系统内的点到多点广播数据业务：如集团短消息、视频、图片分发等；

集群业务：可视组呼、语音组呼、广播呼叫、紧急呼叫、话权管理、调度台管理台功能、单站运行、脱网直通；

应用业务：防汛、水文、水资源、水环境、墒情信息采集、视频监控、定位功能等。

6 系统特点

数字无线宽带接入集群专网采用TDD技术，可充分利用频谱资源较多的TDD频段,适合于保密性要求高、移动性好、无线带宽大、突发情况下无线网络能够保持畅通的应用要求。

系统网络结构由应用层、网络层和应用层组成：

感知层：通过感知传感器和无线数据终端等感知设备，获取视频、图片和业务数据，汇总到应用层服务系统进行处理，同时感知层设备也可从应用层服务系统获得所需要的数据。

网络层：基于无线宽带集群专网，与现有的PSTN融合，构建完整的无线专网，提供高带宽的移动无线专有网络，同时可部署宽带集群调度业务，移动视频联动业务。

应用层:继续发挥黄河防汛现有的业务系统功能,并能对这些系统提供更为强大的带宽、无线和集群支持。

黄河无线专网以宽带集群传输为基础网络，以移动终端 CPE 等为前端设备，以综合业务平台为中心，结合防汛应用，集中调度、管理以及构建完整的、可与其他系统互联互通的一体化系统。

数字无线宽带接入集群专网提供宽带无线传输,一张网络同时支持宽带数据传输和集群调度，网络安全性、可靠性高，在发生突发事件时，不会发生网络拥塞。组网灵活，可扩展性好，支持从单站通信到流域大规模互连等不同规模的组网。

7 结束语

利用数字无线宽带集群专网通信技术，严格遵循国家和行业相关技术标准和规范，建设安全、实用，并覆盖黄河堤防的 TD-LTE 通信系统，提供无线宽带接入传输通道，为实现黄河防汛数字化管理，强化监管手段，信息动态监测和全面感知提供通信传输基础支撑。可解决黄河下游堤防、险工、控导、水闸的监测数据及视频采集传输问题，满足防汛抢险、工程安全监控、水量调度、水文测报、水政执法等对通信传输的需要，推动了信息化与防汛业务的融合发展, 提高黄河防汛现代化水平。

参考文献

[1] 丁留谦.防汛抗旱信息化建设与未来发展思考[J].中国防汛抗旱,2017,27(03).

[2] 万海斌.让防汛抗旱指挥系统更有“AI”[J].中国防汛抗旱, 2018,28(5).

[3] 万方.LTE 关键技术及其发展趋势研究[J].数字通信世界,2017,(3).

基层黄河专网数据透传集成终端的研制与应用

田　力[1]　　杨　敏[2]　　李　艳[3]

（1.焦作市黄河华龙工程有限公司，焦作 454000；2.焦作黄河河务局武陟第一黄河河务局，武陟 454950；3.河南黄河河务局焦作黄河河务局，焦作 454000）

摘要：为实现异地项目部的内网传输，加强对异地项目部的监管力度，研制“基层黄河专网数据透传集成终端”。该设备使用“网络透传”、“无线网络传输”、“信息采集传感器”、“视频会商”等技术，通过集成开发，使集成终端可通过黄河内网、地方公网、手机 4G 等多种通道回传数据，具备内网透传、手机 4G、无线传输等多种网络连接方式，可根据现场需要灵活组合，快速接入现有信息化系统。广泛适用于需要内网支持的场景，提供网络数据传输通道，为外地项目部及野外环境提供网络通道，适合在日常工作中，作为现代化高效沟通工具使用。

关键词：网络透传；信息采集；集成终端

1　研究背景

21 世纪是信息产业及技术飞速发展的时代，各行业对办公模式需求的不断升级，现代化、信息化建设步伐的加快，无纸化、信息化办公已经由概念逐渐应用到多个行业领域中。2017 年，华龙公司在海南成立了海南省红岭灌区工程西干支渠一标和二标两个项目部，项目部成立后无法使用内网服务，职工无法通过电子政务系统及时了解单位信息，对工作的顺利开展有很大的影响，而财务及审计软件也需要内网的支持，缺乏对异地项目部的监管。为解决以上问题，实现异地项目部的内网传输，加强对异地项目部的监管力度，2018 年 3 月，焦作河务局基层信息化科技创新团队成立项目组，经过需求调研、现场勘测、设备研制等阶段，初步研制成功了“基层黄河专网数据透传集成终端”并开始试运行。

2　研究内容

2.1　方案设计

“基层黄河专网数据透传集成终端”项目紧紧围绕三个主要问题进行研制，结合黄河具体情况，设计原则如下：

（1）设备的便捷性

设备便携设计，重量适中可放入小型汽车后备箱中。具备多种网络连接方式，针对不同情况，经过简单设置即可接入内网办公，大幅提高工作效率。

（2）网络传输的安全性

设备具有物理锁具、身份认证等多种安全措施，在方便快捷的同时又能保证内网数据的安全性。

（3）设备的适用性

设备具备内网透传、手机 4G、无线传输等多种网络连接方式，根据现场需要灵活组合。

可快速接入现有信息化系统，解决不同场景的办公需求。

综合以上原则，使用“网络透传”、“无线网络传输”、“信息采集传感器”、“视频会商”等技术，研制“基层黄河专网数据透传集成终端 ”。

2.2　集成终端组成及功能

终端设备主要由中心设备、终端设备及扩展配件组成。其中，中心设备主要包括内网透传单元、数据存储单元、音视频处理单元和数据传输单元；终端设备主要包括便携式设备箱和单兵前端设备。

图 1　终端设备

图 2　中心设备

该终端设备可放入小型乘用汽车后备箱，重量适中、操作简便。终端设备具备网络透传功能，可为或外地项目部提供黄河内网数据传输功能，实现远程浏览内网信息，使用内网办公软件。利用 4G 加网络透传功能，可实现在无内网无线覆盖的野外进行内网传输。

2.3　主要技术指标

通信信道：外网网络透传、4G，同时支持其它标准 TCP/IP 协议接口信道。

通信距离：外网网络透传及 4G 无距离限制。

重量：箱式终端：4kg。

体积：箱式终端：400×240×100mm。

冲击振动：满足 GJB150.16-86 标准要求；防水防尘：IP65。

环境条件：温度范围：-40°C～+70°C；　湿度范围：5%～90%（无冷凝）。

3　主要创新点

（1）研制“基层黄河专网数据透传集成终端 ”，广泛适用于需要内网支持的场景，提供网络数据传输通道，快速接入现有信息化系统，实现了多种场景的外网工作，为外地项目部及野外环境提供网络通道。

（2）通过集成开发，使集成终端可通过黄河内网、地方公网、手机 4G 等多种通道回传数据，大幅提高信号保障率以及终端设备适应能力。

4　应用情况

“基层黄河专网数据透传集成终端”于 2017 年通过多次测试完善，终端设备已经成熟，2018 年 3 月在华龙公司“海南省红岭灌区工程西干支渠项目土建施工Ⅰ标”和“海南省红岭灌区工程囤蓄水库渠道改造土建施工Ⅱ标”两项目部推广，配合安装了“基层云视频会商系统”，多次召开了施工管理视频会议，传输画面流畅、声音清晰，为公司项目管理装上了“千里眼”，助力华龙海南项目施工。

2019 年 5 月，将“专网数据透传集成终端”推广应用至福鼎市东北部沿海军民融合供饮水工程 A 标段，实现了视频会商功能，通过内网实现了对项目财务的有效监管。

2020 年 5 月，将“专网数据透传集成终端”推广至武陟一局，在武惠浮桥监控项目中应用。利用终端设备中的网络透传、数据传输功能，将监控内容传至局机关中，实现了武惠浮桥的远程监管。

2020 年 8 月，将“专网数据透传集成终端”推广至孟州河务局，在孟州黄河河道采砂智能管理系统项目中应用。利用系统中的网络透传、数据传输功能，实现上级管理部门对采砂现场的实时远程监管。

5　效益分析

通过“专网数据透传集成终端”，打破地域阻隔，实现对异地项目部专项业务的远程监管。同时向项目部提供内网，使异地工作人员可登录内部电子政务，及时了解工作安排和工作动态。

6 结语

专网数据透传集成终端通过多种技术手段，实现了异地内网服务，增强了沟通效率，适合在日常工作中，作为现代化高效沟通工具使用。该项目将伴随信息化与基层治黄工作深度融合，对治黄业务向“智慧黄河”升级发展产生深远影响。

全国山洪灾害调查评价数据质量审核方法研究

刘业森　　张晓蕾

（1. 中国水利水电科学研究院，北京 100038；2.水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心，北京 100038）

摘要：全国山洪灾害调查评价数据专业性强、数据量大、范围广、尺度跨度大、更新频率高，单一审核方法很难满足质量审核要求。本文设计了一套基于数据仓库的软件自动审核与人工判读相结合的数据审核方法，利用数据模型关系进行数据逻辑正确性自动审核，在统计算法和空间数据挖掘算法支持下，利用统计结果人工判读数据的合理性，最后利用在线分析技术，进行数据综合和质量评估结果集成。将此审核方法运用到全国山洪灾害调查评价中央级节点的数据审核中，结果表明，审核方法能有效发现数据中存在的问题，并能高效及时地提供综合结果和质量评估结果，达到了全国山洪灾害调查评价数据质量控制目标。

关键词：山洪灾害；调查评价；质量审核；数据挖掘；数据模型

0　引言

我国山丘区范围大，地质条件复杂，地貌类型多，近年来，由于人口增加及人类活动加剧，由短时强降雨引发的山洪灾害暴发频繁，山洪灾害是造成人口伤亡的主要灾种之一。在2006年及2010年全国山洪灾害防治县级非工程措施项目建设的基础上，水利部、财政部又联合启动了全国山洪灾害防治项目建设，其中包括全国山洪灾害调查评价工作[1][2][3]，通过全国山洪灾害调查评价，查清山洪灾害现状，为山洪灾害防治提供支撑。全国山洪灾害调查评价汇总数据包括40类表格数据、20类空间数据、14类多媒体数据和5类文档数据。从宏观尺度看，调查评价范围涉及大约700万 km² 国土面积，包括全国30个省（市、自治区）、305个地级区划、2058个县级区划；从微观尺度看，数据涵盖了全国山丘区的所有需防治自然村和小流域，细粒度调查数据内容包括自然村的人口、面积、房屋、村貌照片、沿河村落住户宅基高程，住户基本信息、河道断面、沿河村落预警指标等[4][5]。按照全国山洪灾害调查评价审核汇集工作要求，各地可根据实际情况采用按年度报送或按数据批次报送两种方法进行增量报送或全量报送。

据初步统计，全国山洪灾害调查评价汇总数据记录条数超过一亿，多媒体文件个数超过千万，总数据存储容量超过100TB。由于各省数据进行多批次上报，为了保证数据质量，需要对每一批次数据进行审核，因此，所审核的数据量远超过100TB，审核工作量巨大[6][7]。另外，各省调查单位在上报数据后，需要能及时得到反馈的审核意见，以改进调查工作。如此海量的数据，传统的自动审核方法无法进行调查评价数据的合理性审核，人工审核工作量又十分巨大，而且人工审核也很难保证审核标准的统一。本文设计了一套人机结合的审核方法，在数据仓库技术支撑下，利用数据模型关系、统计方法和空间数据挖掘方法，对全国山洪灾害调查评价数据进行质量审核。

1 数据质量控制研究综述

国内外关于数据质量要素、数据修复方法、数据评估手段等传统统计数据的质量管理有较多的研究和应用。如曾五一对我国统计数据质量关系，数据质量概念、数据质量评价标准、数据质量管理体系等方面，进行了比较全面的论述[8]。韩京宇等总结了数据质量的定义和质量提高策略的分类，比较和分析了数据质量中数据质量评估和数据质量提高技术的各种方法，对有代表性的数据质量提高工具进行了总结，提出了一个评估驱动的数据质量提高框架，并对数据质量研究方向进行了展望[9]。程益联等从制度管理角度对第一次全国水利普查数据质量控制进行了研究[10]。也有一些学者把数据挖掘、统计分析、数据仓库等技术和方法应用到数据质量控制中[11][12]，如L Berrahou，N Lalande等利用数据仓库技术和空间分析方法对法国水文生态调查数据进行质量评估，他们主要从数据的空间精度方法进行考虑[13]。李庆阳等开发设计了 DQETL 软件，进行数据质量的自动审核[14]。这些数据质量控制方法，都有明显的质量规则，如统计数据、调查数据、普查数据或者业务过程数据等，依据数据规则，利用人工或者借助软件辅助进行数据质量控制。但是全国山洪灾害调查评价数据，具有了大数据的大规模、多样性等特征，而这些特征更容易造成数据的出现一致性、精确性、完整性等问题或错误[15][16]。目前，大家对此类数据的关注点放在了如何获取这些海量数据或如何更好得利用海量数据，但很少会注意到如何进行数据质量的控制，或者认可了错误数据的存在，并在数据使用中考虑这种错误。但是，数据质量是所有工作的基础，是获得正确数据分析结果的重要保证，尤其像全国山洪灾害调查评价这种在不掌握实际情况下开展的大规模的调查工作，更需要进行数据质量的控制[17][18][19]。但是，到目前为止，没有成熟的适用方法可以对这类海量调查数据进行数据质量审核与控制。

2 数据质量审核方法设计

传统的数据质量控制注重记录和字段的准确性，可以从数据中发现确定型的错误。但对于海量调查数据而言，这种做法不切实际，因为海量数据最大的特点就是不能从某一尺度上观察到全域数据。海量调查数据的质量控制除了数据记录和字段值的准确性之外，更主要的是对数据总量和合理性（密度、比例、分布等）方面进行审核。全国山洪灾害调查评价数据的质量控制，需要满足几个目标：（1）从大量数据中快速发现错误或不合理的数据，如字段值不在值域范围、格式错误、数值对比关系错误等；（2）能够发现大量调查汇总数据中的异常规律，这些规律可能是数据内在的规律，也有可能是数据采集过程中由于操作方法或数据时相造成的；（3）即时汇总统计，实时掌握汇总数据情况、快速分析数据问题，及时改进调查方法，实现调查工作的过程控制。另一方面，因为汇总数据是海量的，各地情况有别，所以允许部分异常数据的存在，但需要掌握这种异常情况和发生原因。

根据全国山洪灾害调查评价数据质量控制目标，本文设计了一套数据质量控制体系，见图 1。利用数据关系模型，进行数据记录和字段层面的数据逻辑性审核，统计数据的错误率，对数据准确性进行定量评估；利用统计方法、空间数据挖掘方法，提取数据特征，进行数据合理性评估，数据合理性评估包括数据类内合理性和类间合理性；最后，按照数据特征进行

数据指标的即时统计，通过报告或图形的方式，将数据总体情况实时展现出来，进一步利用专家知识，人工判读其合理性。

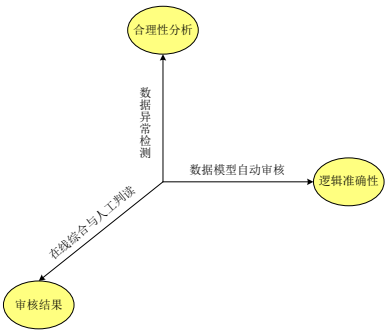


图 1　质量控制体系

2.1　基于数据模型的自动检查

利用小流域和行政区划两条主线，通过借鉴水利普查数据模型、ArcHydro 数据模型等方面的理论和经验[20][21]，按照统一建模语言（UML）标准，运用空间对象建模理论、面向对象方法，建立全国山洪灾害调查评价数据模型。将各类调查对象和数据，拆分为数据实体，对每类数据实体的属性进行梳理，设定属性字段的值域，并建立对象类之间、对象之间、对象属性（空间和属性）之间的逻辑关系，通过逻辑关系进行数据自动审核。将检查内容分为四大类：值域检查、拓扑关系检查、关联关系检查、属性关系检查，见表 1。属性检查包括所有表格字段的格式检查、值域范围检查、是否为空检查、枚举类型检查等，如日期格式或编号格式是否符合技术要求、高程范围是否在合理范围以内等。拓扑关系检查的对象是有空间属性的数据对象，利用 GIS 检查各类对象的拓扑关系是否准确，例如，按照山洪灾害调查技术要求，危险区定义为受山洪灾害威胁的居民区，危险区与村落居住区为包含关系，可以依此关系来校验危险区的标绘是否准确。关联关系检查内容包括隶属关系、指向关系等，主要通过校验数据对象编码来实现，例如，在水文气象资料收集中，需要收集历史的降雨洪水信息进行小流域汇流模型参数的率定。其中要求：（1）雨量站和水位站必须在同一流域，两者之间有汇流关系；（2）雨量站与水位站的监测为同一洪水场次。利用数据模型中的这种关联关系，可以检查所收集的水文气象数据是否合理。属性关系检查包括数据对象的字段值与被汇总对象的字段值之间是否有矛盾，如所调查的村落人口之和要小于等于全县的总人口（在实际工作中，由于统计口径等方面的问题，设定了一个误差范围，两者的误差小于此范围即可判定为数据合理）。每批调查数据汇总之后，利用审核软件进行自动审核，根据审核结果，统计逐类数据的通过率及批次数据的总体通过率。

表 1　对象关系表

关系类型	检查方法	检查内容举例
值域检查	格式、范围、枚举。	居民户高程是否在合理范围、桥梁类型是否在枚举类别中……
拓扑关系	点面关系、点线关系、面面关系、线面关系、线线关系。	危险区是否在居民地轮廓中、山洪沟是否交叉等……
关联关系	依赖关系、汇流（上下游）关系、指向关系、简单关联等	同一流域的降雨站点与雨量站点之间的汇流关系……
数值关系	比较关系、汇总关系等	受山洪威胁人口是否小于总人口……

2.2　数据异常检测

本文利用统计方法和空间数据挖掘方法进行海量调查数据异常审核。利用统计方法中的离群点统计，检测海量数据中的异常数值。离群点审核规则使用基于数据统计中离群点检测的一元检测方法，审核对象为调查表中的数值型字段[22]。

离群点审核规则一：

数值与四分位数 Q3 或 Q1 差值的绝对值大于 1.5 倍四分位数极差。

即　x +Q3>1.5 * *IQR*　　*(IQR 为四分位数 Q3-四分位数 Q1)*

$Q1-x < 1.5 * IQR$

离群点占总样本点小于 1%。

规则二：

数值减去平均值的绝对值大于三倍标准差。分布在 6σ 外即为离群点。

即$|x-\bar{x}|>3\sigma$

离群点占总样本点小于 1%。

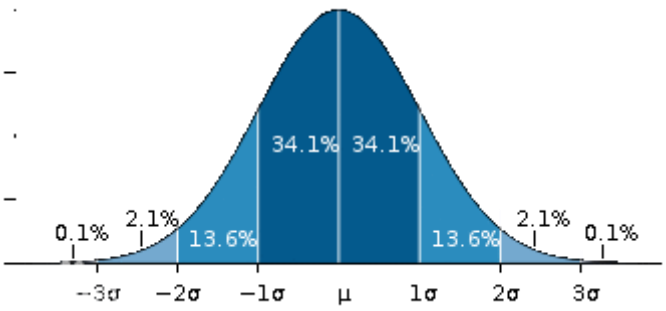


图 2　标准差及离群点示意图

全国山洪灾害调查评价数据调查单元多、空间范围广、参与人员多，容易发生由于调查方法或认识水平的差距，人为造成调查数据中存在异常分布模式。本文利用空间数据挖掘方法中的聚类和异常值分析方法 Anselin Local Moran's I 来识别数据对象的空间分布是否有异常，从而对海量数据质量进行合理性审核。该方法的输出结果为 Local Moran's I 指数、z 得分、p 值和聚类/异常值类型。 z 得分和 p 值主要用来度量统计量的显著性，从而判断调查单元的相似性（高值或低值的空间聚类）或相异性（空间异常值）。如果要素的 z 得分是一个较高的正值，则表示调查单元与周围的调查单元拥有相似值（高值或低值）；如果要素的 z 得分是一个较低的负值，则表示有一个具有统计显著性的异常调查单元，输出的要素图层中将显示该调查单元是否是高值单元而四周围绕的是低值单元，或者该要素是否是低值单元而四周围绕的是高值单元。

空间关联的 Local Moran's I统计数据如下所示：

$$I_i = \frac{x_i-\bar{X}}{S_i^2}\sum_{j=1,j\neq i}^{n} w_{i,j}(x_j-\bar{X}) \qquad (1)$$

其中x_i是调查单元i的属性（调查对象数量或密度），$\bar{X}$是对应属性的平均值，$w_{i,j}$是调查单元i和j之间的空间权重，并且：

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1,j\neq i}^{n}(x_j-\bar{X})^2}{n-1} - \bar{X}^2 \quad (2)$$

n 等于调查单元的总数。

统计数据的z_{I_i}得分的计算方法如下：

$$z_{I_i} = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (3)$$

其中：

$$\mathrm{E}[I_i] = -\frac{\sum_{j=1,j\neq i}^{m} w_{ij}}{n-1} \quad (4)$$

$$\mathrm{V}[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2 \quad (5)$$

在实际工作中，综合利用以上两种方法。离群点监测发现微观尺度上数值型字段中的异常值，利用空间聚类和异常值分析方法，发现调查单元中异常调查单元。最后，结合地形地貌、经济发展状况等实际情况，综合判断离群点或异常调查单元是否合理。

2.3　在线综合与人工判读

对于全国山洪灾害调查评价这种大范围多尺度多类型的海量数据审核，除了需要进行质量评价外，还要即时了解不同时间点汇总数据的情况。通过对比不同时间和空间切面的汇总数据，实现数据的过程控制，从而对一些错误的采集方法进行及时纠正，以保证最终的数据质量，数据仓库技术可以满足该需求。数据仓库是面向主题的、适用于反映历史变化的，并支持管理决策的数据集合[23]。全国山洪灾害调查评价数据具有多维特征，包括不同批次和不同数据采集时间的时间维以及全国省市县乡村的隶属关系维；包括表格、图层、多媒体的格式维和社会经济、历史灾害、自然条件的属性维；此外，还包括基于流域汇流关系的关系维度。本文借助数据仓库中的 ETL 方法和 GETL（GIS+ETL）方法分别对表格对象进行多种维度的汇总和对空间要素进行汇总，然后利用汇总表和分布图进行数据特征分析，最终通过数据综合化方法，从宏观上展现微观尺度数据的情况。

3　山洪灾害调查评价数据中央级审核

全国山洪灾害调查评价数据审核工作在县、市、省和中央各级节点进行。不同级节点有不同的审核任务，本文主要研究中央级节点的数据审核。根据全国山洪灾害调查评价审核汇集工作方案，全国山洪灾害调查评价数据中央级审核侧重逻辑合理性和宏观上对数据质量进行评定：

（1）通过数量对比检查各省调查数量的合理性；

（2）通过密度对比检查空间数据分布合理性；

（3）通过离群点分析检查表格数据的分布情况。

针对全国山洪灾害调查评价数据的特点和审核要求，本文将数据审核方法进行综合，设计了全国山洪灾害调查评价数据审核流程，如图 3。采用数据仓库技术来管理和组织海量的调查评价数据，采用 GETL（GIS+ETL）工具进行数据综合并支撑数据审核工作。

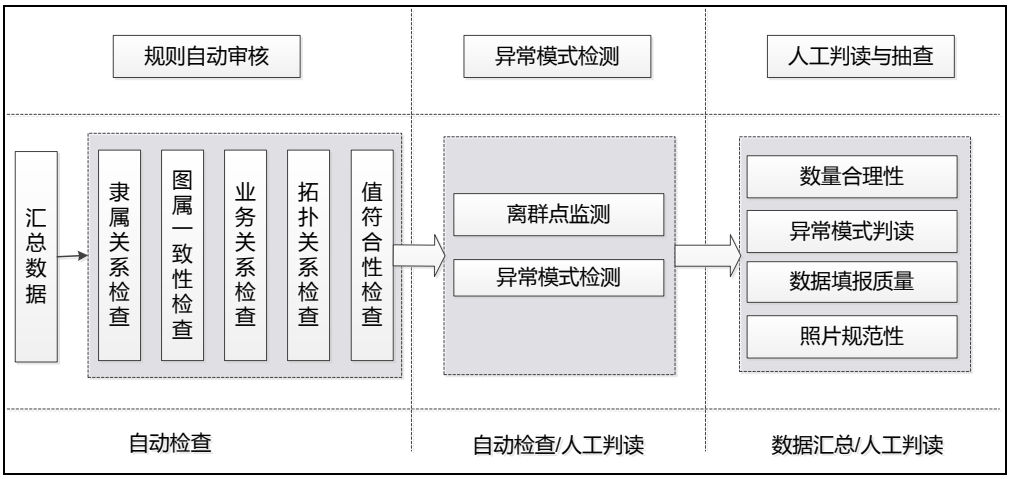


图 3　全国山洪灾害调查评价数据审核流程

3.1 软件自动检查

收到省级节点上报的数据之后，利用数据模型进行自动审核，利用值域检查、拓扑关系检查、关联关系检查、属性关系检查方法检查数据的隶属关系、图属一致性、业务关系、拓扑关系、值符合性等方面是否存在问题。软件自动检查完毕之后，会形成各表格的通过率，如表 2 为某批次部分数据的审核结果。行政区划总体情况表、防治区企事业单位汇总表通过率低于 40%；重要沿河村落居民户调查成果表、塘（堰）坝工程调查成果汇总表通过率达到 100%；总体通过率为 82.6%。在实际审核过程中发现，在调查数据初次上报时，通过率一般低于 70%，存在空值、人口面积数填错等问题，但通过几次修改之后，数据通过率一般会达到 95%以上。

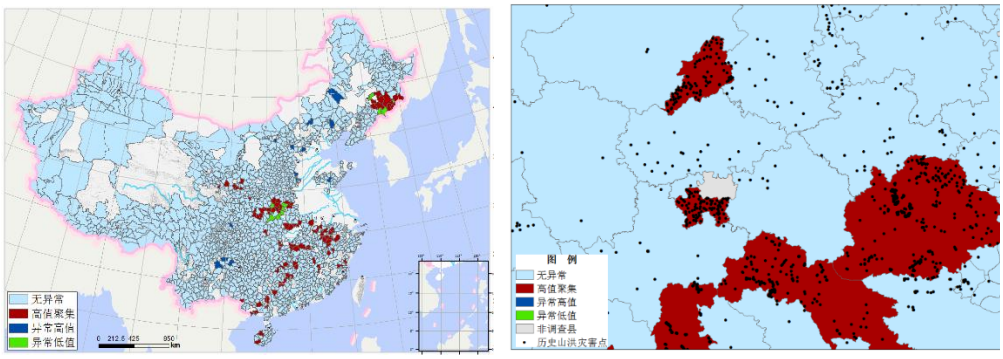
表 2　审核结果示例

序号	表名	总记录数	通过率（%）
	行政区划总体情况表	98230	42.80
	社会经济基本情况表	173	80.30
	防治区基本情况调查成果汇总表	47853	77.80
	危险区基本情况调查成果汇总表	11787	99.70
	防治区企事业单位汇总表	6033	33.80
	历史山洪灾害情况汇总表	1438	61.50
	重要沿河村落居民户调查成果表	231686	100.00
	自动监测站点汇总表	3186	72.70
	无线预警广播站汇总表	958	97.90
	简易雨量站汇总表	8891	95.10
	简易水位站信息表	2533	98.00
	桥梁工程调查成果汇总表	5069	99.30
	路涵工程调查成果汇总表	494	99.80
	塘（堰）坝工程调查成果汇总表	775	100.00
	总计	419106	82.60

3.2　异常数据与模式检查

利用统计方法，检测了在 6σ 外的离群点，结果发现，大部分离群点是由于小数点位数错误、单位错误等原因造成的。当然也存在一部分离群点，属于正确数据，如新疆维吾尔自治区部门行政区划的面积很大，会检测为离群点。

全国山洪灾害调查评价工作是以县级行政区划为工作单元，参与人员非常多，这就容易造成由于工作方法或理解的差异，县与县之间完成的数据不平衡。利用 Anselin Local Moran's I 方法进行异常调查单元的检测。以历史山洪灾害调查表为例，按全国山洪灾害调查技术要求，每个防治县都要调查 1949 年以后所发生的历次山洪灾害，下图为中央级汇总数据库中某一时间点的数据审核结果，全国接近 2000 个上报县数据中，有 17 个县出现低值异常，13 个县有高值异常，94 个县有高值聚集的情况，如图 4。通过结合地形地貌、人口分布等数据判断，除了有 1 个调查单元由于山区面积小，山洪灾害危害小，从而导致调查数据检测为异常的情况，其它检测出的异常调查单元的汇总数据中均存在问题，如单次山洪灾害分多次重复填报、一次暴雨过程按自然村填报等。



(a) 全国分析结果图　　**(b) 某区域放大图**

图 4　审核结果示例

3.3　在线综合与人工判读

为了能够实时掌握各省上报数据的情况，借助数据仓库的 ETL 工具和 office 的邮件合并功能，进行了全国和各省数据的即时汇总，自动批量生成审核统计表，可随时了解各批次数据的汇总数据量和质量指标，图 5 为利用 ETL 自动生成的某省的数据审核报告汇总表格。

序号	项目	数量	审核公式	比例%	密度
	①	②	③	④	⑤
1.	防治县个数	64			
2.	一、上报县个数	67	④=(2)/(1)	105	-
3.	行政区划面积（km²）	176631	-	-	-
4.	防治区面积（km²）	107019	④=(4)/(3)	61	-
5.	年鉴行政村数（2014 年）	20238	⑤=(5)/(3)*100	-	11.5
6.	上报乡镇数量	1052	-	-	-
7.	上报行政村数	20525	④=(7)/(5)	101	-
8.	上报自然村数	38667	≥(7)	-	-
9.	防治区行政村数	11178	④=(9)/(7) ⑤=(9)/(4)*100	54	10.4
10.	一般防治区行政村数	8215	-	-	-
11.	重点防治区行政村数	2963	-	-	-
12.	防治区自然村数	30092	④=(12)/(8) ⑤=(12)/(4)*100	78	28.1
13.	一般防治区自然村数	22415	④=(13)/(8)	58	-
14.	重点防治区自然村数	7677	④=(14)/(8)	20	-
15.	非防治区行政村数	9347	④=(15)/(7)	46	-
16.	非防治区自然村数	8575	④=(16)/(8)	22	
17.	分析评价村数	7805	④=(17)/(12) ⑤=(17)/(4)*100	26	7.3
18.	危险区数	21010	④=(18)/(12) ≥(12)	70	-
	危险区标绘数	20471			
19.	企事业单位数	17548	-		-
20.	历史山洪灾害记录数	677	-	-	-
21.	需治理山洪沟数（条）	1583	-	-	-
22.	自动监测站数量	3064	⑤=(4)/(22)	-	34.9
23.	简易雨量站数量	10253	④=(23)/(12) ⑤=(4)/(23)	34	10.4
24.	简易水位站数量	1329	-	-	-
25.	无线预警广播站数量	11428	④=(25)/(12)	38	-
26.	桥梁数	11411	④=(26)/(12)	38	-
27.	路涵数	4999	④=(27)/(12)	17	-
28.	塘（堰）坝数	1324	④=(28)/(12)	4	-
29.	断面测量组数	9727	④=(29)/(12) ⑤=(4)/(29)	32	11.0

图 5　审核报告示例

根据异常检测结果和在线汇总结果，对于错误数据进行确认与复核，结果表明，软件审核发现的错误和异常模式，囊括了所有的数据错误，同时将一些实际情况不符合规则的数据当作了错误数据，但总体审核结果的准确度很高。

通过分析审核结果，发现全国山洪灾害调查评价工作开展过程中，容易出现如下几方面问题：

（1）数据单位错误，造成数值异常；

（2）数据格式错误；

（3）数据违反约束规则，如各乡镇汇总面积超过全县总面积等；

（4）调查口径不一致导致区域差异，如历史山洪灾害点，有的调查单元将一场降雨引发的山洪标记为多条记录等；

（5）由于资料收集不到位，调查对象在相邻区域之间存在明显的差异。

4　小结

本文通过构建软件自动审核与人工判读相结合的数据审核方法，利用数据模型关系进行数据逻辑正确性自动审核，在统计算法和空间数据挖掘算法支撑下，利用在线分析技术，进行数据综合和质量评估结果集成，最终利用统计结果和数据综合结果，人工判读数据合理性。利用该方法对各省上报的调查评价数据进行审核，达到了中央级数据审核的质量要求，又极大优化提高了审核工作的效率，满足了中央级审核的要求。

当然，由于全国山洪灾害调查评价数据涉及的范围广，情况复杂，不管是自动审核还是异常检测，都不能完全保证发现所有错误或问题，或者说，发现的错误或问题就一定是不合理的，这要结合实际情况进行完善与判读。如空间数据异常检测，如果能结果地形地貌和调

查单元，效果可能会更好。

本文描述的海量调查数据审核方法适用于其它相似类型数据的审核，尤其是大尺度、细粒度的数据采集与调查。同时，数据模型和数据挖掘方法在数据质量审核中的应用可以为互联网数据或大数据的质量审核与评估提供参考。

参考文献

[1] 水利部,财政部. 全国山洪灾害防治项目实施方案 (2013—2015 年)[R]. 2013.

[2] 郭良, 刘昌军, 丁留谦,等. 开展全国山洪灾害调查评价的工作设想[J]. 中国水利, 2012(23):10-12.

[3] 黄先龙,褚明华,石劲松. 我国山洪灾害调查评价工作浅析[J]. 中国水利：2015 (9)17-18.

[4] 国家防汛抗旱总指挥部办公室,中国水利水电科学研究院. 山洪灾害调查技术要求[R]. 2014.

[5] 国家防汛抗旱总指挥部办公室,中国水利水电科学研究院. 山洪灾害分析评价技术要求[R]. 2014.

[6] 张晓蕾、李昌志、孙东亚、郭良. 基于调查评价大数据的全国山洪灾害风险分区研究[J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(Z1):78-80.

[7] 张竞楠、吕长春、王宴明. 山洪灾害调查评价成果行业应用的思考与探索[J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(Z1):109-111.

[8] 曾五一. 国家统计数据质量研究的基本问题[J]. 商业经济与管理:2010, 1(12):72-76.

[9] 韩京宇,徐立臻,董逸生. 数据质量研究综述[J]. 计算机科学.:2008, 35(2):1-5.

[10] 程益联,郭悦. 水利普查数据质量控制的研究[J]. 水利信息化:2012(3):1-4.

[11] 刘波,潘久辉,刘佩珊.规则评估方法与数据质量挖掘系统[J]. 计算机集成制造系统:2009, 15(7):1436-1441.

[12] 严宇平,萧展辉. 基于聚类分析的离群检测方法在电网数据质量管理中的应用研究[J]. 现代电子技术:2016, 39(15):137-139.

[13] L Berrahou,N Lalande,etc. A quality-aware spatial data warehouse for querying hydroecological data[J]. Computers & Geosciences:2015, 85(85):126-135

[14] 李庆阳,彭红. 面向数据质量的 ETL 框架的设计与实现[J]. 计算机工程与设计：2010,30(9):2057-2060.

[15] Li J Z, Liu X M. An important aspect of big data: Data usability[J].Journal of Computer Research and Development:2013, 50(6): 1147-1162.

[16] 王宏志. 大数据质量管理:问题与研究进展[J]. 科技导报:2014, 32(34):78-84.

[17] 刘媛媛, 李磊, 韩刚,等. 数据挖掘技术在城市防汛中的应用[J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(5):52-56.

[18] 王毅, 刘洪伟. 北京市防汛风险管理中大数据的应用[J]. 中国防汛抗旱, 2018, 28(6):17-21.

[19] 刘怀利, 马浩. 安徽省山洪灾害监测预警管理中大数据的研究与应用[J]. 中国防汛抗旱, 2017(2):32-35.

[20] Michael Zeiler. Modeling Our World[M]. ESRI Press, 2000.

[21] 蔡阳,谢文君,等. 全国水利普查空间信息系统的若干关键技术[J]. 测绘学报:2015, 44(5):585-589.

[22] 李连发,王劲峰.地理空间数据挖掘[M] 北京：科学出版社, 2014.

[23] W. H. Inmon Building the Data Warehouse(Fourth Edition)[M]. American,Hoboken:Wiley, 2005.

防汛综合业务管理系统在密云水库中的应用

刘　杰　　郭珊珊

(北京市密云水库管理处，101512)

摘要：密云水库是华北地区最大的水库，是一座以防洪、供水为主要功能的综合利用、多年调节的水利工程。密云水库是北京市重要的地表饮用水源地。防汛综合业务管理系统具有各类人机交互操作、信息查询、图形操作等实时响应；信息查询、操作、输入界面用图形、文字和数据三种方式在计算机上展现，数据表格具有报表打印功能，系统的操作简单易用.结合实际工作需要，密云水库防汛综合业务管理系统增强密云水库防汛综合业务管理系统的信息处理能力，强化防汛信息分析处理能力；提高密云水库管理处防汛抗旱指挥决策的信息支持力度和水平；构建科学、高效、安全的防汛抗旱决策支撑体系.

关键字：人机交互；应用平台；防汛抗旱指挥

1　项目背景

密云水库位于北京市密云区城北 13km 处，坐落在海河流域潮白河水系上，位于燕山群山丘陵之中，建成于 1960 年。水库包括潮河、白河、内湖 3 个库区，2 座主坝和 5 座副坝，3 座溢洪道，1 座调节池，7 条输泄水隧洞。水库控制流域面积 15788km²，库容 43.75 亿 m³，是华北地区最大的水库，是一座以防洪、供水为主要功能的综合利用、多年调节的水利工程。密云水库是北京市重要的地表饮用水源地,在保障首都水源安全方面发挥着重要作用。

为此，面对北京市暴雨洪水灾害日益扩大的影响，面对密云水库业务工作规范化、精细化的要求，面对密云水库已建业务管理系统分散的现状，需要在信息资源的共享整合、决策分析的科学精细、应急指挥的协同交互、调度应用的流程规范等方面做出更多的努力，为密云水库业务工作提供全面的支撑，提高工作效率、辅助领导决策。防汛综合业务管理系统涵盖防汛信息整合完善、防汛信息全面监视、防汛值班指挥联系通畅、抢险调度综合指挥和信息共享与发布的功能。

2　总体设计

2.1　总体结构

密云水库防汛综合业务管理系统，采用 B/S 和 C/S 混合的多层体系结构。基于标准规范与安全环境保障情况下，系统从逻辑上分为六层体系结构，包括信息采集、中心环境、数据资源、应用支撑、业务应用和用户交互六层。

2.1.1　信息采集层

负责防汛工作所需各类数据的采集，如雨水情监测数据、人工上报水情数据、移动巡查数据等。

2.1.2　中心环境层

为系统应用提供服务器存储、网络安全等运行环境。

2.1.3　数据资源层

负责数据的存储与统一管理。

2.1.4　应用支撑层

应用服务层作为中间层，在数据资源层与应用层之间架起了数据获取、处理、共享、交换、应用展示的桥梁，为防汛指挥应用提供后台服务。包括数据服务、GIS 服务、报表服务、接口服务、认证服务等。数据接口服务支撑前台应用的数据获取，是应用程序与数据库之间的中间件，它将所有的业务应用和底层数据源隔离开来，便于应用的灵活开展。

2.1.5　业务应用层

结合 WebGIS 的综合展示、数据查询分析提供综合监视、信息查询、水情业务、防汛值班、应急支撑、信息发布和移动应用。本项目的业务应用包括 PC 端的防汛综合业务管理系统和基于智能终端的水库移动巡查系统。

2.1.6　用户交互层

本项目的各类用户通过浏览器、客户端、大屏幕、手持终端等方式与系统进行交互。

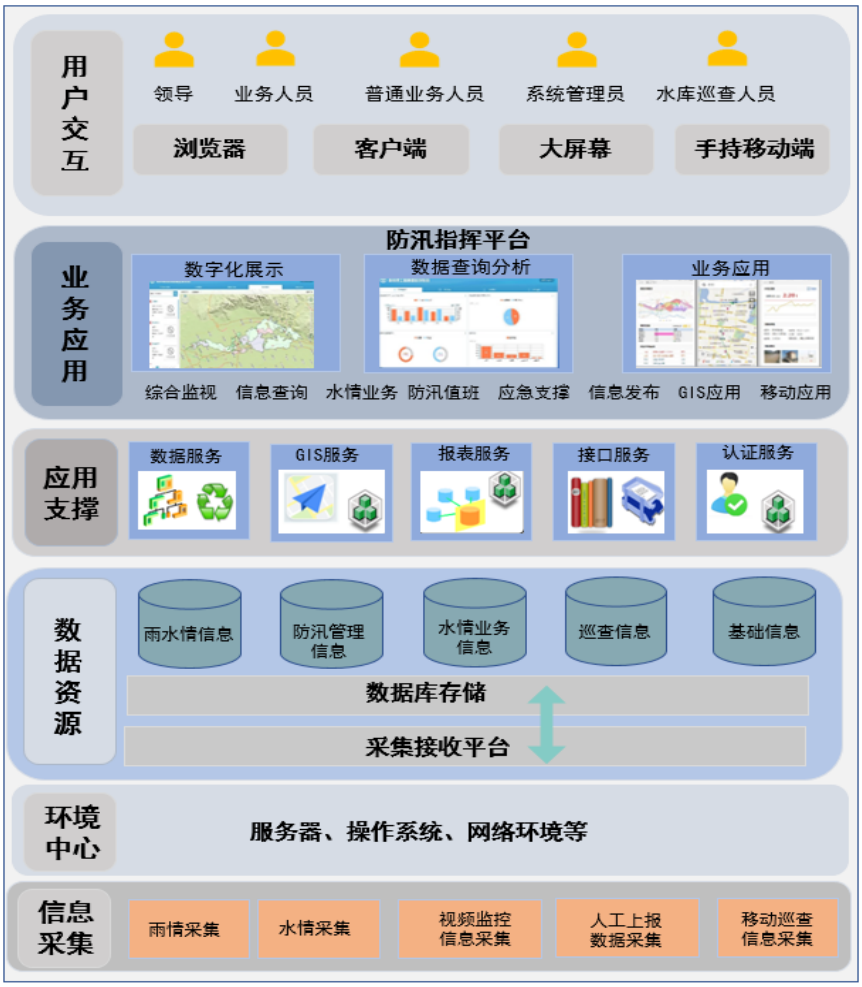


图 1　系统总体结构图

2.2　技术路线

本系统应综合运用地理信息系统（GIS）、在线监测、网络通信、多源数据等等先进技术，

建立一个防汛综合业务管理系统，为密云水库管理处的防汛决策提供强大实用的技术手段，全面提高水库防汛管理的效率。

根据系统的实际需求，系统设计和建设需要多项关键技术支持，以实现数据管理、数据分析及应用等。

计算机终端采用 B/S 架构，利用浏览器从服务端获取信息。关键技术主要有：SOA 体系结构、J2EE 技术、WebService 技术、组件开发方法多元数据融合利用及辅助决策技术等。

移动终端采用 MC/S 架构，客户端软件安装到移动终端。充分利用手机 3G 无线网络、GPS/MPS 定位技术、3G/3S 集成技术等先进技术，建立基于前端各类智能手机操作系统的移动查询平台。移动终端采集数据通过移动互联网传输到密云水库防汛综合业务管理系统服务器，由数据处理服务进行接收、存储。移动终端访问的信息是由数据服务推送到移动端。

2.3　部署策略

本系统在密云水库管理处，依托计算机网络系统和服务器进行系统部署。内部局域网和网络接入采用现有的链路和安全体系。

密云水库防办用户通过水利内网访问防汛综合业务管理系统;移动端信息由防火墙接入移动处理服务器，获取数据以及上报采集信息。PC 端的应用服务器和移动应用服务器同时调用移动端采集的数据。

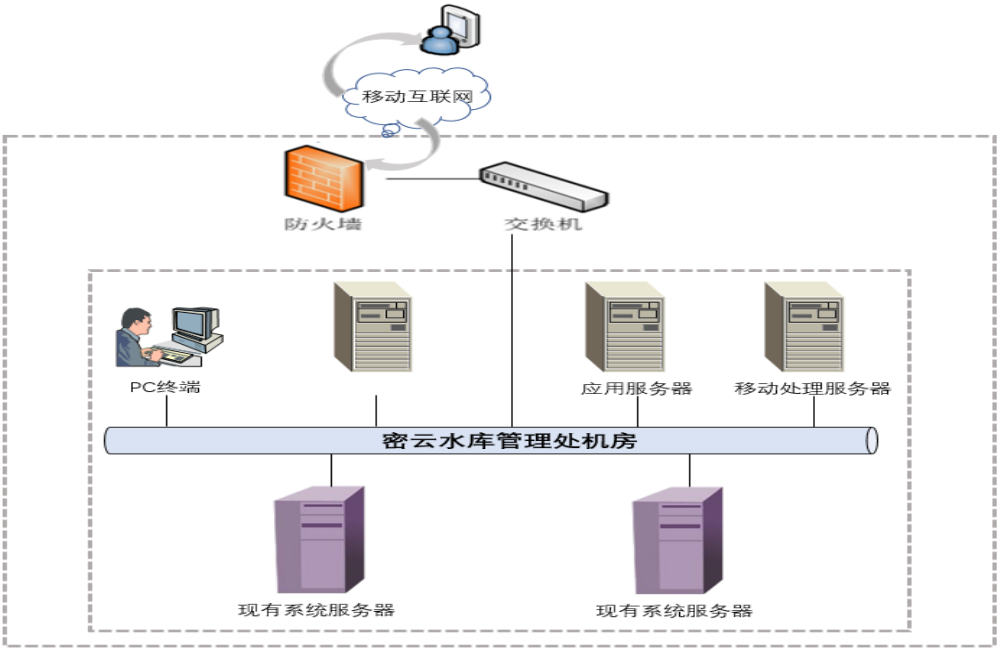


图 2　系统部署示意图

因移动系统特殊性，安装部署的服务器需配置独立的外网 IP，同时开放端口 31700、31710、31720、31730、50000 等端口，以便于手机端通过移动网络访问并上传数据，建议平台部署服务器配置如下：

CPU：4 颗 16 核 CPU、主频 3GHz

内存：64GB

硬盘：1T 以上*4 热插拔，支持 RAID5

配置水利专网 IP

本系统移动端物理体系结构遵循开放互联的原则，防汛抗旱等业务需求进行了融合，使之成为一个整体，系统整合了内外网数据交换、GPS、GIS、移动通信等多项技术，使用的网络包括政务内网、政务外网、移动网络，为保障系统安全，数据传输过程中进行了加密。同时采用混合云架构方式，充分采用服务器虚拟化技术(Vmware 虚拟机)，既保证系统的安全稳定，又简化系统结构，降低部署维护成本，提高服务器资源利用率。为保障数据可靠安全，使用专用备份软硬件分别在数据库层面和虚拟机层面进行备份，可以使虚拟机恢复到任意时间点状态，同时可以对虚拟机文件自动压缩备份，系统总体结构图如下所示：

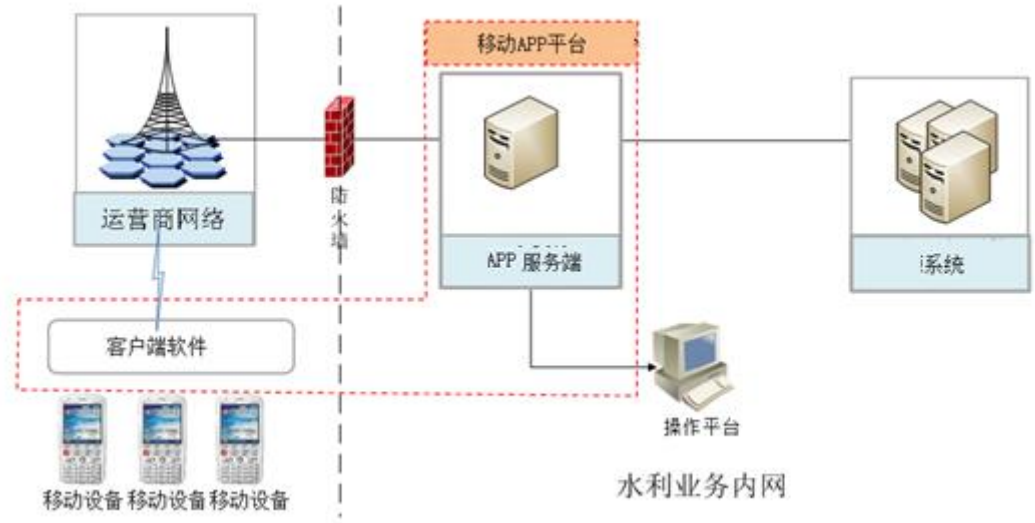


图 3　物理体系结构图

2.4　安全设计

系统的网络安全充分利用密云水库管理处现有网络及其网络设备，如防火墙、交换机和路由器等设备。系统网络架构图如下所示：

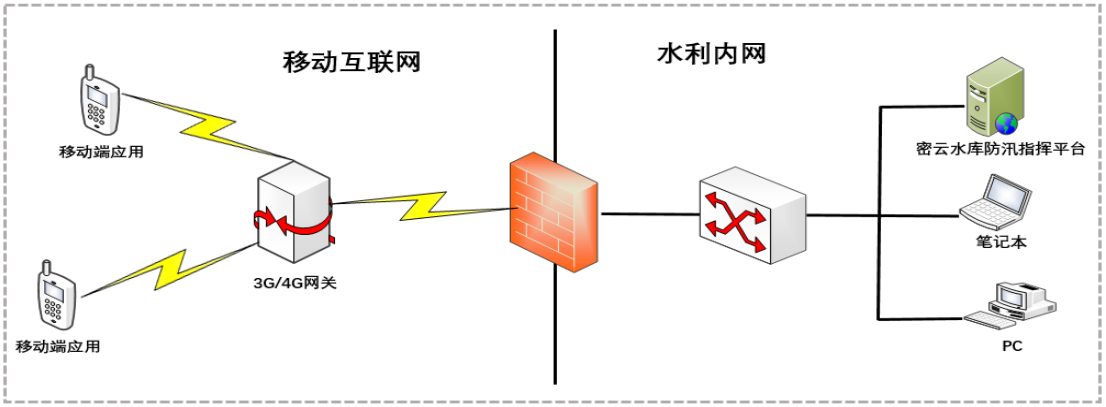


图 4　安全设计图

移动终端用户通过移动互联网访问密云水库防汛综合业务管理系统，水利内网用户通过 PC 和移动电脑访问密云水库防汛综合业务管理系统。系统设计从以下几个方面确保系统安

全性。

3 数据库设计原则

3.1 统一规划和布局

根据信息化建设相关文件的要求，按照统一规划、统一布局的原则进行数据库系统的设计。

3.2 贯彻执行国家标准和行业标准：

可贯彻执行国家标准、行业标准或在国标、行标的基础上补充编制符合开封市防汛抗旱工作实际的数据库标准。在无任何标准的情况下，可借鉴相关的内部规范、指导性技术文件等进行扩充编制。

3.3 层次分明、布局合理的原则

数据库系统必须层次分明、合理布局。数据信息应自下而上，逐层浓缩、归纳、合并、减少冗余，提高数据共享程度。

3.4 数据的独立性和可扩展性原则

应尽量做到数据库的数据具有独立性，独立于应用程序，使数据库的设计及其结构的变化不影响程序，反之亦然。应用系统在不断地变化，所以数据库设计要考虑其扩展接口，使得系统增加新的应用或新的需求时，不致于引起整个数据库系统的重新改写。

3.5 共享数据的正确性和一致性原则

应考虑数据资源的共享，合理建立公共数据库。采用数据库分层管理，使不同层次的数据共享。另外，由于共享数据是面向多个程序或多个使用者的，多个用户存取共享数据时，必须保证数据的正确性和一致性。

3.6 减少不必要的冗余

建立数据系统后，应避免不必要的数据重复和冗余。但为了提高系统的可靠性而进行的数据备份，以及为了提高数据库效率而保留的适当冗余还是必要的。

3.7 保证数据的安全可靠

数据库是整个信息系统的核心，它的设计要保证其可靠性和安全性，不能因某一数据库的临时故障而导致整个信息系统的瘫痪。

4 应用支持平台

应用服务层作为中间层，在数据资源层与应用层之间架起了数据获取、处理、共享、交换、应用展示的桥梁，为防汛指挥应用提供后台服务。包括数据服务、GIS 服务、接口服务、认证服务等。支撑前台应用的数据获取，是应用程序与数据库之间的中间件，它将所有的业务应用和底层数据源隔离开来，便于应用的灵活开展。

图 5　应用平台设计图

4.1　数据服务管理平台

提供数据资源的统一管理与访问分配，进行数据服务标准制定、服务注册管理、访问认证、服务授权。从而规范系统对数据的访问与使用，保证各类应用间对数据使用的统一性。为平台的扩充以及后续信息化建设奠定基础。

4.1.1　数据服务标准制定

对空间数据、结构化数据、非结构化数据分别提出数据服务标准与框架，本项目的防汛综合业务管理系统以及后续建设的相关业务应用系统按照统一标准与框架提供数据服务，纳入数据管理中心。

4.1.2　注册管理

数据服务进行注册。后续项目建设提供的数据服务可新增应用支撑平台。

4.1.3　访问认证

对系统、用户访问数据服务提供访问认证，确认其数据访问的合法性。系统的对数据服务的访问认证通过后，可以调用数据服务。

4.1.4　服务授权

通过访问认证后，认证访问对于数据服务的权限。

4.1.5　数据资源访问授权

对用户访问数据服务中的数据资源范围进行管理。数据资源范围除用户所属政区外，可通过授权访问上下游等相关联区域。

4.2　数据接口服务

提供防汛综合业务管理系统与其他系统的数据服务接口，具体如下：

4.2.1　气象信息数据接口

开发气象信息接口服务，实现卫星云图、雷达回波图、天气预报、天气形势等信息向平台数据库推送，推送内容包括存储图片信息和数据库表信息。

4.2.2　雨情信息数据接口

开发雨情信息接口，实现实时雨情、结构化雨情信息向平台数据库推送，骨干网接收频

率为 5 分钟/次，推送到平台数据库的频次为 0.5 小时/次。

4.2.3　水库水情信息数据接口

开发水库水情信息接口服务，实现实时水库水情、结构化水库水情信息向平台数据库推送。

4.2.4　预警信息数据接口

开发预警信息数据接口服务实现各类预警信息向平台数据库推送。

4.2.5　图像信息数据接口

开发图像信息推送接口实现各类图片、视频信息向平台数据库推送。

4.2.6　汛情通报等信息数据接口

开发汛情通报等信息接口服务实现汛情通报等信息向平台数据库推送。

4.2.7　值班信息数据接口

开发值班信息推送接口实现密云水库管理处各级防汛组织机构的值班信息向平台数据库推送。

5　综合管理系统

防汛综合业务管理系统功能分为 11 类。包括综合监视、信息查询、统计分析、水情业务、应急支撑、洪水预报、信息发布、水文信息快速查询、防汛值班、系统管理和工作桌面。同时平台还集成管理处已建成业务系统，提供访问接口如洪水预报等系统。

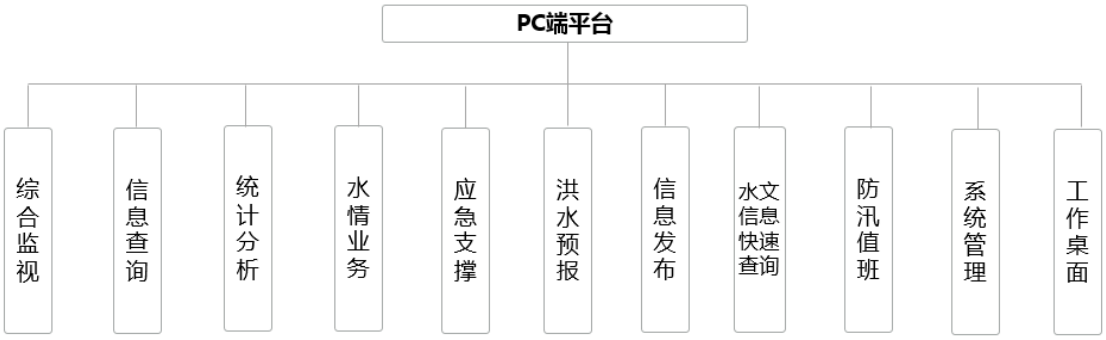


图 6　pc 端设计图

综合监视结合 WEBGIS 提供雨情、水情、视频和实时险情的监视；信息查询提供雨情、水情、气象、工程信息、视频、险情信息的查询；水情业务提供雨水情报表、水库蓄水动态、历史特征值的查询和报文管理功能；应急支撑提供移动巡查调度、防汛预案、责任制和通讯录的查询；洪水预报实现密云水库管理处现有洪水预报系统成果的集成展现；信息发布实现防汛信息向水库管理处极速信息发布系统的推送；工作桌面为防汛日常值班人员方便快捷的业务工作平台，将值班关注的信息展示在工作桌面上，并能定制工作桌面展示内容。

5.1　综合监视

依托 GIS 地图，显示密云水库流域水系、水库、水厂、输水工程、电厂、雨量站、水位站、蒸发站等分布位置，结合雨情、河道水情、水库水情、水量等实时信息进行综合监视，以及对气象信息和移动端采集的实时险情信息进行监视。

5.2　信息查询

5.2.1　气象信息

系统提供天气预报、卫星云图、雷达回波图等气象信息的查询功能。卫星云图、雷达回波图可根据设定的时间进行动态播放。

5.2.2　雨情信息

面雨量统计

统计密云水库流域在指定时间范围内的面雨量，并与指定年份同期进行对比、与多年平均降雨量进行对比，统计距平值。统计结果以图形和表格的形式展示。

时段极值统计

统计指定时间范围内，最大雨量、最小雨量值以及降雨站点、发生时间等信息。统计结果以表格的形式展示。

旬月雨量查询

统计指定时间范围内的各站的旬月雨量信息，并与多年均值对比，同时计算距平，以数据列表的方式进行展示。

雨强信息

提供指定时间范围内 1 小时、3 小时、6 小时最大雨量站及其雨量的查询。表格展示内容包括站名、雨量、发生时间、站址。

5.2.3　水情信息

河道水情查询

提供大阁、古北口、三道营、云州、白河堡、下堡、遥桥峪、半城子、苏庄、密云水库、张家坟、下会、白河电厂、第九水厂、二甲峪等站的水位、流量以及日均流量查询。结果以过程线和数据表的形式展示。

水库水情过程

查询水库水位、蓄水量及出入库流量信息，查询结果以过程线和数据表的形式展示。

输水流量查询

查询潮河输水隧洞、白河发电隧洞、第九水厂发电隧洞的流量自动监测情况。以表格和区县的形式展示实时监测流量的变化情况。

险情信息

按照时间范围和险情类别，查看经由水库移动巡查系统上报的险情信息，查询结果以表格、文本、图片的形式展示。并能够按险情类别进行出险统计。

5.3　统计分析

5.3.1　降雨频率分析

实现多种统计降雨的频率分析，包括密云水库流域降水频率分析、单站降水频率分析。以频率曲线的方式显示结果。计算出各种统计量的降雨频率，即重现期。

5.3.2　历年最大日雨量统计

提供统计单站历年日最大日雨量的时间和雨量值。

5.3.3　累计降雨对比

显示指定站点指定时间范围内的指定步长的实时降雨、历史同期降雨及多年平均降雨的滑动累计过程对比，计算时的滑动步长为 1 日，以数据表和对比图方式展示结果

5.3.4　历史同期降雨过程对比

提供单站降雨与历史某时段的雨量对比，对比数据为日雨量进行对比；实现不同场次降雨之间的对比显示。

5.3.5　流量频率分析

实现两个入流站张家坟、下会水文站流量的频率分析，以频率曲线的方式显示结果。计算出流量频率，即重现期。可以直接在查询结果中进行参数调整，实现适线过程。

5.3.6　洪水频率分析

实现两个入流站张家坟、下会水文站，多种统计洪量的频率分析，以频率曲线的方式显示结果。计算出洪量发生频率，即重现期，同时可以直接在查询结果中进行参数调整，实现适线过程。

5.3.7　与同期水文过程对比

实现查询水文站日、月、年实时、历史同期水位、流量对比统计，并对历史同期的对比数据进行排序。

5.4　水情业务

本平台集成整合已有水情综合业务处理系统。

5.5　应急支撑

5.5.1　巡查调度

通过本功能可以及时给现场巡查人员下达文字、语音调度指令。调度信息（文字）直接在中心系统上发送至巡查人员的移动终端中，便于对事发现场相关事宜进行指挥调度。

5.5.2　防汛预案

系统提供《北京市防汛应急预案》、《密云区防汛应急预案》、《密云水库防汛预案》以及其他相关预案的查询。预案查询提供网页上的内容定位，方便用户阅读。

5.5.3　责任制

查询水库防汛相关单位的责任制、责任人、联系电话等信息。

5.5.4　抢险队伍信息

查询抢险队伍的人员数量、责任人等信息。

5.6　洪水预报

本平台集成管理处已有业务应用洪水预报系统，通过平台提供的入口可进入预报系统进行使用，同时调用预报成果进行来水量情况、水情预报、洪水演进等成果展示。

5.7　信息发布

基于极速信息发布系统的推送信息接口，实现防汛信息向该系统的推送。同时还提供向移动查询系统的发布信息功能，包括汛情简报和汛情通报等信息。

5.8　水文信息快速查询

在工作桌面中可定制便捷的水文信息快速查询通道，便于用户第一时间掌握所需要了解的信息，可快速的支撑工作开展。可快速查询的内容包括如下：

（1）水位、蓄水量信息。

（2）闸门开度、泄量信息，该信息通过集成洪水预报系统获取。

（3）特征雨水情信息水位、蓄水量的查询，包括水位、雨量、流量的最大、最小、多年平均值等信息。

5.9　防汛值班

该功能主要是依托现有的值班系统功能，并进行升级补充，实现了密云水库管理处各级防汛人员在 PC 系统及移动端在线排班、接班、换班及统计等功能，并提供依据电话查岗情况管理防汛值班的工作情况，同时可生成防汛值班督查情况的统计报表，便于领导全面掌握防汛值班的整体情况。

同时针对防汛值班中传真接收功能进行改造，系统中增加声音提醒功能，在传真未进行接收时系统中进行声音提醒。

5.10　系统管理

系统管理，主要包括用户管理、移动端采集数据管理、监视参数管理、通讯录管理、日志管理等功能。

5.10.1　用户及权限管理

用户全部实行实名制注册登记管理。用户注册时，根据预先收集整理的用户名单和其他相关实名信息进行匹配认证，认证通过的用户注册成功。

对用户进行分组并对用户组进行功能权限的设置。

5.10.2　移动端采集数据管理

提供对多媒体采集数据、巡查影像数据、巡查记录数据、巡查范围设置、调度信息、停留超时等数据的删除、修改等维护功能。

5.10.3　监视参数管理

系统提供综合监视参数设置功能，包括对监视对象、监视等级、超警阈值、预警等级等信息的管理维护。

5.10.4　雨水情数据管理

提供密云水库各项基础信息、实时雨水情、报表数据、特征值等的管理维护功能。系统提供对实时雨水情数据、水库历史特征录入、基础信息的增加、修改、删除以及实时数据、历史数据的批量导入、导出等功能，有权限的用户可以进行数据修改删除。

5.10.5　责任制管理

提供责任制信息的增加、删除和修改功能，便于管理人员维护。

5.10.6　日志管理

记录系统日志，包括用户、登录时间、主要操作等信息，提供列表查询。管理员可对日志进行备份、删除操作。

5.11　工作桌面

防汛综合业务管理系统为防汛工作提供了的多个功能支撑，工作桌面能够为值班业务人员提供一个可定制的、便捷的工作平台，日常常用的功能信息可通过桌面定制一屏展示，提供常用的信息展示，提供短信、传真、邮件发送的快速入口。

参考文献

[1] 投标文件，《北京市密云水库会商系统升级改造投标文件》，2018.

[2] 中国标准出版社，《计算机软件工程规范国家标准汇编》，2000.

[3] 水利部，《实时雨水情数据库表结构与标识符标准》，2011.

安徽省农村基层防汛预警平台建设成效与思考

马　浩

（安徽省水利科学研究院）

2009 年以来，安徽省水旱灾害防御信息化在水利部统一部署下，全省市县合力支持下，全省水利信息化进入了快速发展阶段。特别是“十三五”期间，我省依托一批信息化专项，推进信息资源整合，打造建设了省级集中平台，为水旱灾害预警提供技术了支撑。我省省级农村基层防汛灾害预警平台投入使用，成功实现了省市县三级贯通应用，标志着我省水利信息化实现了质的突破和新的飞跃，为全省“十四五”期间水利信息化高质量打下了坚实基础。

1　我省农村基层防汛灾害预警平台建设历程

我省农村基层防汛灾害预警平台项目覆盖全省 42 个山洪灾害防治县和 57 个基层预警平原县，基本覆盖全省。平台按照技术路线成熟度历经三个发展阶段：散落期、整合期、聚合期。

第一阶段：县级平台为主体的“散落期”发展阶段。从 2009 年起，各县区分散部署监测预警平台，监测数据在县级落地并交换至省级平台。但数据交换环节多，传输时延长。县级技术力量难以满足运行要求，平台运用经常出现“掉链子”情况。

第二阶段：县级和省级平台并行的“整合期”发展阶段。2015 年以后，我省开始探索集中平台建设。按照前期兼容、后期统一的策略，保证现有业务系统不变的前提下，将县级平台数据整合到省级平台。监测数据在省级集总接收，预警数据通过骨干网交换，但由于设备品种杂乱、市县运行管理复杂，县区管理使用水平参差不齐，项目推进经常出现“卡脖子”情况。数据局限于部分项目建设站点，效益不能充分发挥。

第三阶段：全省同一平台的“聚合期”发展阶段。2018 年以来，我省抓住农村基层防汛监测预警体系建设机遇，组织人员对“点链子”“卡脖子”等环节进行技术攻关，采用全新技术路线，以提高平台建设质量和应用成效。通过对山洪预警平台软硬件优化升级和对数据使用进行充分的发掘，实现了基础数据同步共享、监测数据集中接收、预警信息统一发布和省市县乡四级共用的建设目标，精心打造一套多级通用农村基层防汛灾害预警平台。经过两个汛期应用和体验，业务数据更加准确全面、系统访问更加流畅、界面展现更加简洁美观，获得省市县乡四级用户好评。

2　技术创新与突破

“散落期”发展阶段，因系统顶层的技术架构设计与县区基层管理现状、环境条件、人员操作水平不相适应，暴露了一些的问题，建设成效与预期效果有一定差距。我对“散落期”存在问题概括总结十二个字“空池子、掉链子、卡脖子、花架子”。

“空池子”是数据缺失问题；“掉链子”是数据采集传输不畅问题；“卡脖子”是数据共享卡阻问题；“花架子”是系统实用性不强。解决这些问题仅靠行政手段、经济手段是无法

解决的，需要找准根源并组织科研团队进行技术攻。建好水利信息化平台就好比要制作一桌美味佳肴，数据就是食材，开发工程师就是大厨，软件系统就是餐具、桌椅等就餐环境，各级应用人员就是食客。哪一个环节出现掉链子，都会导致前功尽弃。我们在本项目中技术创新与突破，主要有以下几个方面。

2.1　筑牢数据“底盘”

我们清醒认识到，数据的准确性、及时性直接决定灾害预警的有效性。我省对各类水利信息化项目，都把数据质量作为主要指标，狠抓源头管理，追溯“一数一源”。把平台软件开发与业务数据整编打捆招标。整合山洪灾害调查评价成果、一张图成果数据，当预警产生时，平台可以根据危险区域范围自动判断可能影响到的人口、房屋、桥梁等信息，辅助分析受灾影响范围，大大提高了预警的准确性；利用防洪工程数据库建设成果，组织集中复核全省近 6000 座水库基础信息；完成 5 万多个责任人、预案在线填报，并每年更新，实现责任范围底数清晰，督促责任制落地生根，大大提高了平台预警的针对性。

全省基础数据从无到有、从粗到细、从虚到实，监测数据从慢到快、从疏到密、从误到准。基于平台及数据源，我省将水利信息化基础数据更新与管理工作进入常态化。

2.2　强骨传输“链条”

为了保证传输可靠，我们对数据传输链条实行分段包干制。比如在对全省水利视频进行整合过程中，本着属地原则，按行政区域归属要求统一落本地通信运营商（中国电信）机房，没有落地到指定低点的，由相应市县水利局承担责任。从电信机房到应用平台，由技术支撑单位负责。水雨情监测数据也是一样的，传输实行责任包干制，克服了以往因通信传输欠费以及不明原因导致设备下线无人问的事情。为了保障市县乡基层人员能访问平台，全省对市县水利局网络节点提出了较高技术要求，对接入方式和通信带宽提出了明确要求，并由省级给予经费兜底，彻底解决了网络传输不可靠的难题。

2.3　规约多家设备

针对防汛预警系统设备种类多、新旧设备并用、设备厂家技术水平和技术体系不一等情况，我省编制印发系统站点建设和平台集成规范，规范站点基础数据，标准化站点传输协议。出台了《水利信息化系统软件开发集成规范》《水利工程视频图像站建设技术规范》等 4 项地方标准。这些技术措施，规范了项目建设流程，确保地方实施的站点能够顺利接入统一平台，有效保障数据的共享使用。

2.4　实化功能整合

“十二五”以来，我省结合网络信息技术发展动态，研判水利信息化未来发展趋势，提出全省打造水利信息化“四个一”总体技术思路。即“一个大数据中心、一张图、一个业务应用门户、一套信息安全防护体系”持续探索。开展水利数据治理、水利云平台建设、水利业务整合，为全厅核心业务提供了统一标准的共享平台，水旱灾害防御、水资源监测、河长制管理全面采用“一级部署多级应用”策略，着力解决低水平重复、水利网信发展不平衡的问题。

2.5　攻关技术难题

（1）让“硬件”更硬，提高可靠性、稳定性、可维护性

通过“硬件”的集中实施，一是节省了各地硬件的重复投资；二是有效解决了基层信息化运维力量不足的问题；三是减少了协调环节，如短信网关的集中部署，一次性解决了三家运营商技术接口兼容性的问题。

（2）用“软件替代硬件”措施，最大化为硬件处理能力、传输压力、管理压力减负

针对水利工程偏僻、分散、环境条件恶劣等情况，本着软件措施优先原则，我们潜心研究如何通过对现场设备软件性能的提升，实现硬件最少化和微型化，把可能影响设备可靠性的硬件进行简化甚至优化掉。这样做不仅提高了现场设备可靠性，也大大提高可维护性，便于实现现场设备远程维护。

（3）研究技术的适应性，适应基层人员操作使用

对基层人员技术水平、操作技能等进行摸底，研究技术的适应性，防止操作使用要求太高，防范基层人员不会用、不愿用、用不了等情况。围绕支撑基层用户的业务职能，优化调整预警流程，创新预警信息发布方式，采用信息推送和大屏展播模式，实现应用免登录、免操作。

（4）聚焦应用实效

平台上线后，我省立即组织全省培训，强力推广应用。一方面，利用平台、钉钉等工具，开展线上培训。建立考核机制，对平台使用、信息处理情况定期通报，培养用户对系统的依赖性。同时，在线收集用户建议，完善软件功能，制订对采纳意见给与红包奖励的激励方案，切实推动系统从能用到好用的演变。另一方面，通过信息化共享平台建设，建立网络安全态势感知系统和“两地三中心”灾备系统，为平台提供从应用到数据的信息安全保障。

3　灾害预警工作成效

3.1　获得一批科技成果

《山洪灾害调查评价及预警关键技术研究与应用》获得了省科技进步二等奖，《学校山洪灾害预警系统关键技术及应用》”获得厅科技进步奖。被授予发明专利 4 项、取得实用新型专利和软件著作权超过 30 项。

3.2　防汛实战见成效

2019 年，我省利用监测预警数据，结合前期开展的山洪灾害调查评价成果，准确捕捉“利奇马”台风对宁国市城区可能造成的严重影响，提前将区域人员转移完毕，有效避免了人员伤亡。灾后调查发现，洪水淹没范围与系统判断的预报预警范围几乎一致。

2020 年汛期，安徽境内长江、淮河干流全线超警戒水位，巢湖遭遇 150 年未遇的历史高水位，长江、淮河、巢湖多条支流超历史最高水位，全省洪水南北夹击，江河频频告急！省基层预警平台在全省防汛调度工作中发挥了重要作用。据省水利信息中心统计，截止 2020 年 8 月，安徽省基层防汛监测预警平台注册用户数一万余人，日访问量最高达 11 万人次，占全省水利在用系统访问量的 90%以上。2020 年主汛期间，平台共发起预警 29159 条，向各

级防汛责任人发送预警短信 372746 条，启动山洪预警广播和信息展播 49561 次。

4 体会与思考

回顾我省农村基层防汛灾害预警平台走过的历程，我个人认为做好以下几个环节至关重要。

（1）开展技术适应性研究；

（2）以数据流向为链条梳理项目环节短板和弱项，找准痛点；

（3）加强项目建设规范约束，防偏纠偏；

（4）加强科研攻关解决“卡脖子”问题；

（5）做好系统的技术升级，并与时代科技同步。

下一步，我们将在安徽省基层防汛监测预警平台的基础上进一步升级完善，提高预警精准度、扩大预警覆盖面、增强预警时效性。主要提升点如下。

4.1 山洪预警信息发布再提前

山洪灾害具有快速性、突发性、局地性的特点，发出预警信息后，只有快速、及时送达至受威胁人员并转化为避险行为，预警才被证明是有效的。因此，能够提前精确预知灾害的发生，为人员转移留下更充足的时间尤为关键。

4.2 山洪预警信息发布范围再扩大

对来安徽山区旅游人员、流动人员以及外来务工人员等无固定对象人群，由于无法获取人员信息，很难做到预警全覆盖。下一步，平台需与移动、电信、联通三大运营商建立同步机制，拓展预警信息发布渠道。

4.3 山洪预警信息发布方式再优化

全省已建无线预警广播站点的覆盖范围和技术标准无法满足目前山洪灾害预警发布和管理的需要，需对站点进行升级改造并共享广电部门已建广播站点。

4.4 应急避险预案可视化

将纸质预案录入系统，实现各级防汛预案可视化。通过基于地图的方式打开村庄信息，并展示全部预案内容。叠加防汛物资、村庄住户分布、安置点分布、人员撤离路线、住户及人口信息，并于相应雨水情自动监测站自动监测数据进行关联。通过可视化改进，增强预案可行性，提高应急转移环节执行力，最大限度保护人民群众生命和财产安全。

信息技术在防洪减灾领域的应用

王　舒

（北京市密云水库管理处，北京 101512）

摘要：随着我国互联网信息技术与科学水平的不断提升，信息技术在众多领域中也发挥着不容忽视的关键性作用。当前信息技术在防洪减灾领域的应用十分广泛，通过应用更为先进高效的信息技术，工作人员能够及时、准确、可靠地获得水情数据信息，促使防汛决策的制定更加具有时效性和可靠性，在一定程度上对于我国目前的防洪减灾工作带来了极大的益处。由于防洪减灾工作存在的自身的特殊性，工作性质和工作环境受到外界不可控因素的影响较多，因此，做好防洪减灾工作就要力求全面细致。

关键词：信息技术；防洪减灾；发展

0　引言

本文主要通过介绍防洪减灾的相关概述，了解完善的地理信息系统是防灾信息化的基础平台，分析构建数据库是洪灾信息管理的核心环节，明确网络全覆盖是洪灾信息交互共享的重要渠道，以及观测遥感影像是洪灾现场的真实体现。

1　防洪减灾的相关概述

1.1　防洪减灾体系的构建工作

目前，我国在预测预报和防洪工程建设等多方面，已经具备防御大洪水的能力。截至目前，我国已建成 5 级以上堤防 31.2 万公里、水库 9.88 万座、水闸 10.4 万座、国家蓄滞洪区 98 个，设立了 12 万余个报汛站，逐步形成了较为完备的防洪工程和非工程体系，大江大河已经基本具备防御新中国成立以来实际发生的最大洪水能力。做好基础的防洪减灾体系构建工作是应对突发灾难灾害的必要措施。在构建防洪减灾体系的过程中，应当注重工程建设的质量和安全系数，针对灾害高发频发地区应做好基础的应急处理系统，运用更为先进全面的技术手段，将防洪减灾工作做到最好[1]。

2　完善的地理信息系统是防灾信息化的基础平台

当前在防洪减灾领域，合理的使用相关的信息技术，能够对防洪减灾工作带来积极的作用。其中，完善的地理信息系统是防灾信息化的基础平台。通过构建完善的地理信息系统，保证地理信息收集、处理、分析的准确高效。GIS 技术作为地理信息系统的主要技术代表之一，在实际的应用过程中，充分彰显了其自身的技术特性和技术能力。主要体现在地理位置确定、地理信息展示、行业信息展示、信息统计分析以及功能集成等方面[2]。

2.1　基础地理信息获取

基础地理信息的获取是地理信息系统工作运行的第一步，通过第一时间获取有效信息，鉴于相关工作人员掌握最真实合理的数据，以便于在接下来防洪减灾工作中采取更为有效正确的应对措施。GIS 技术基本功能是反映地理坐标，并通过地理坐标确定有关信息的坐标和

相对位置。根据所反映的坐标位置，可以快捷的找到灾害发生区域，以及此次灾害所波及的面积大小，呈现出动态的信息变化。

2.2　防汛专题信息展示

在基础 GIS 平台上展示防汛专题信息，防汛专题信息的展示十分细致不仅包括了防洪工程信息和雨情、水情、灾情等汛情信息，还包含防汛管理机制制、防汛物资分布、人员撤离路线等防汛减灾管理信息。面对海量的数据信息，为了使信息更加的清晰有序，通过对于信息的分类整合、有序展示，更为直观清晰的将防汛专题信息提供给相应的工作人员。

2.3　统计分析功能的运用

在运用相关的技术手段时，系统运行的是否合理，可以通过衡量其系统的数据测算。精度，信息的分类整理清晰度等指标予以测算。目前在防洪减灾领域中所运用的技术手段，就需格外关注统计分析功能的运用。掌握必备的计算方法，在面对大量的数据信息时，能够第一时间准确的进行测算，GIS 技术初步实现了在防洪减灾工作中对雨情、水情、灾情的粗略估算向定量分析转变。

3　构建数据库是洪灾信息管理的核心环节

由于防洪减灾工作在实际的工作过程中，并不仅仅局限于某个地区，其工作性质和工作环境较为复杂多变，此外还受到自然外部环境的影响和制约，因此构建数据库在防洪减灾的相关工作中就显得尤为重要。DB 技术是信息技术发展和应用的核心内容之一，数据库技术的应用主要包括数据存储和数据管理。

3.1　国家级水情数据库建设

目前，已经建设完成了国家级水情数据库建设。通过建设国家级水禽数据库，能够对国家范围内的各个省份，直辖市的降雨情况、水情监测信息等进行细致的管理和掌控。由于水情数据信息的管理将涉及大量的历史数据信息，其操作的工作量较大，难度系数也相对较大，因此，借助必要的信息技术就能够很好的处理应对，目前国家级水禽数据库的建设工作。此外，在进行国家级水情数据库构建工作的过程中，要按照具体的规范细则要求进行操作，防止数据库搭建工作的无序和低效率。

3.2　洪灾灾情信息管理数据库

洪灾灾情信息管理数据库的构建工作，是现阶段进行防洪减灾工作的必要环节之一。在洪灾灾情信息管理数据控的具体模块中，要做到信息的实时更新与传送，针对不同地区不同类别的数据信息进行分类的整理和储存，以便于相关工作人员能够在必要时刻，及时地调取出有效真实的数据信息。由于洪灾灾情信息的管理涉及的范围面较广，其中的众多信息都对后续的工作有着极大的影响，这就需要加强数据库的信息维护与管控工作。通过有力的信息技术做支撑，能够为信息的高效处理和存储奠定坚实的基础。此外，针对目前数据库搭建过程中存在的缺陷与不足，也要采取必要的措施进行及时的处理和解决。

4　网络全覆盖是洪灾信息交互共享的重要渠道

现阶段网络信息技术的发展应用，已经对众多领域和行业带来了重要的影响。而信息技

术在防洪减灾领域的实际应用环节中，透过网络的覆盖程度和使用效果，也能够清晰的展现出目前信息化技术在防洪减灾领域的发展程度。在防洪减灾领域，网络技术为气象信息、水情信息、工情信息、灾情信息和防灾管理信息的传输、共享、分析、管理和发布提供了强力的技术支撑[3]。

4.1　计算机网络技术

计算机网络技术是目前应用于防洪减灾工作中最广泛的网络技术之一，作为基础设施已经成为我国防洪减灾活动中信息采集、传输、处理和共享的重要手段。设置严密而高效的计算机网络技术，可以根据防洪减灾工作的真实需求，打造独特的技术程序和技术编排。此外，在实际的应用过程中，计算机网络技术的优势又体现在其安全的信息技术保障功能。根据防洪减灾工作的真实需求，将网络信息打造为不同的板块，便于防洪减灾工作的实际需求。在计算机网络技术发挥作用时，也会保证网络信息的传播速度和传播质量，都达到防洪减灾工作的要求和标准。

4.2　网络编程技术

网络技术除了以通讯传输技术为主的计算机网络硬件技术以外，网络编程技术也是网络技术应用的重要内容之一。做好网络编程技术的相关工作，对于防洪减灾信息的处理、分析和应用，都显得尤为关键。防洪减灾领域常用 WEB 技术应用十分普遍，也是网络化软件开发的基础，例如各级防汛指挥系统、决策支持系统、信息服务系统、会商管理系统、办公自动化系统等网络化软件系统部分都是基于 WEB 技术的网络化应用软件系统。

5　观测遥感影像是洪灾现场的真实体现

遥感技术是众多信息技术的代表之一，其自身具备着独特的技术特性，实现了动态信息化的呈现处理，以动画的形式将有关信息活灵活现的展示在相关工作的人员面前。随着 RS 技术的发展，影像识别精度的提高，数据处理能力的增强，影像获取成本的降低，遥感技术在防洪减灾领域中的作用日趋重要。

目前在市场上对于遥感影像的发展十分迅猛，不同的国家地区在遥感技术的发展上都有所突破和进步，而在防洪减灾工作中，对于遥感影像的使用有着特殊的要求和标准，这就要求遥感影像能够真实的反映出洪灾现场的情景。具体到防洪减灾的工作中，RS 技术主要是用于影像数据的接收和分析工作，以便于相关工作人员在现场进行工作的部署和完善工作。

6　结束语

目前信息技术的发展应用在众多行业领域中越来越凸显了其自身的独特性和不可替代性。联系防洪减灾目前的发展现状以及我国在防洪减灾工作中实际工作情况，适时地引入信息技术对于我国的防洪减灾管理工作，将带来极大的益处。信息技术的优势和发展特点，能够与现阶段的防洪减灾工作做到很好的融合，根据防洪减灾工作的规范条例，配备专业的信息技术，努力做到防洪减灾工作的全面化、具体化。

参考文献

[1] 苑希民，万洪涛，刘媛媛，等.《全国和七大流域三维电子江河系统建设》成果报告[R].中国水利水电

科学研究院，2006.
[2] 水利部水利信息中心，中国电子工程设计院.国家防汛抗旱指挥系统一期工程初步设计报告[R].2004.
[3] 周余保.地理信息系统在水利价息化建设中的应用[J]科技情报开发与经济.2005（15）：78-79.

小型水库水位自动监测站分类与选型分析

方应东　　刘　超　　陈　璞　　马　顺　　刘　方

（安徽省（水利部淮河水利委员会）水利科学研究院，合肥 233088）

摘要：小型水库分布点多面广，承担着重要的防汛或灌溉任务，其水位监测是水库主管部门的重要职责，对小型水库水位自动监测站进行分类并分析不同类型水位自动监测站的适用性可为小型水库水位监测工作提供科学性支撑。以安徽省近年来小型水库水位自动监测建设的实际成效为依据，对小型水库水位自动监站进行分类，并对不同类型水位监测站适用性进行对比分析。结果表明：小型水库水位自动监测站可按水位传感器种类或水位测井安装方式分类为依附式、简易岛式、简易井栈桥式、雷达式等几种类别；平原小型水库适用依附式或简易岛式等水位自动监测站，山区小型水库适用简易井栈桥式或雷达式等水位自动监测站。

关键词：小型水库；水位自动监测；水位站类别

0　引言

随着水利信息化进程加快，小型水库自动测报系统建设是当前水利部门一项重要任务。小型水库是重要的民生基础设施工程，其在调蓄水源、灌溉发电中的作用突出，为方便人民生活、保证人民的生命财产安全、促进地方经济发展方面做出了巨大的贡献。据统计，小型水库占我国各地水库总数量的 80%以上，仅安徽省就有小型水库约 5800 余座；受传统水库管理模式影响，我国小型水库的管理水平往往不高，工程中存在着较大安全隐患，给防汛安保工作带来了极大的压力。因此，小型水库的管理问题，已经成为当前我国水利事业发展中的关键问题之一。

1　安徽省小型水库测报建设历程

安徽省小水库自动测报系统建设分为三个阶段。早在 2010 年以前，我省合肥、巢湖、池州等市结合水库除险加固项目，小水库自动测报站进行了批量建设；2010-2018 年期间，我省防汛部门就结合山洪灾害非工程措施，在皖南部分山洪灾害县的小水库实施了水位自动监测站建设；前两期建设，由于设计选型不合理、厂家技术不成熟、管理跟不上等众多原因，存在很多问题，导致自动测报站难以稳定运行。到 2018 年 8 月，安徽省萧县永堌水库遭遇超百年一遇暴雨洪水，水库超千年一遇校核洪水位运行，导致两人在水库泄洪过程中死亡。安徽省委省政府高度重视小水库防汛安全，省长李国英就萧县永堌水库防汛问题提出了“双八问”，省防办、省水利厅以永堌水库防汛问题为鉴，深入反思，举一反三，率先在全国推进小型水库自动测报系统建设，于 2019 年启动全省小水库自动测报系统建设。截止 2020 年底，全省基本实现在册小型水库自动测报全覆盖，全省小型水库水位数据上线率达 90%以上。

2　小型水库水位自动监测站分类

小型水库水位监测不同于河道水位监测，具有量程小、水位平稳等特点。小型水库一般位置偏僻，存在供电和通讯条件差、工程投资小、缺少现场管理人员等情况，这些因素为水位自动监测站设计带来很大难题。近年来，安徽省依托山洪灾害防治、基层防汛预报预警、小水库雨水情自动测报等项目全面开展中小型水库水位自动监测工作。历经十余年的建设，投入大量资金，有成功经验，也走过不少弯路。笔者根据已建水位站经验进行总结，对几轮建站方式进行回顾，梳理了水位测站的常见几种类别。目前投入使用的水位自动监测站主要可按以下两种方式进行分类。（1）按照水位传感器的种类划分，可将自动水位监测站分为浮子式水位站、雷达式水位站、压力式水位站等。（2）按照水位测井方式划分，可将建站方式分为依附式、标准井式、标准岛式、简易岛式、简易井栈桥式等。本文着重介绍最常用的几类方式。

2.1　依附式水位自动监测站

依附式水位自动监测站是采用简易测井代替标准水位井的水位自动监测站，又称傍物固定式，一般采用 DN300~400 的 PE 管或钢管制成简易测井，并将浮子式水位计安装于内。对于现场有垂直可依附结构的水库，可建设依附式水位自动监测站，一般将简易测井用热镀锌角钢依附于水库放水涵外墙。依附式水位自动监测站建设示意参见图 1 所示。

图 1　依附式水位自动监测站示意图

2.2　标准井式水位自动监测站

标准井式水位自动监测站主要由标准水位井、仪器房、交通桥三部分组成，属于钢筋砼结构水工建筑物。标准水位井一般采用混凝土现浇制成内径不小于 1m 的空心圆柱形井身，内设浮子式水位计与检修爬梯；仪器房可根据需求采用砖混、轻钢或木质等结构，上部可用琉璃瓦制成六角或八角景观顶造型；交通桥多采用多孔排架结构，主要是为检修人员进入仪器房提供人行通道。标准井式水位自动监测站建设示意参见图 2 所示。

图 2　标准井式水位自动监测站示意图

2.3　标准岛式水位自动监测站

标准岛式水位自动监测站与标准井式水位自动监测站相近，均是钢筋砼结构水工建筑物。与标准井相比，标准岛与水库岸边没有交通桥相连，如同一座孤岛立于水库中央，故而称之为标准岛式。标准岛式水位自动监测站建设示意参见图 3 所示。

图 3　标准岛式水位自动监测站示意图

2.4　简易井栈桥式水位自动监测站

简易井栈桥式水位自动监测站相较于标准井式水位自动监测站，其区别主要在于采用 PE 管或钢管制成简易测井以代替钢筋混凝土标准水位井，其他部分基本等同于标准井式水位自动监测站，建造交通桥可为检修人员提供人行通道，同时也为前端的简易测井提供垂直

依附条件。简易井栈桥式水位自动监测站建设示意参见图 4 所示。

图 4　简易井栈桥式水位自动监测站示意图

2.5　简易岛式水位自动监测站

简易岛式水位自动监测站是标准岛式水位自动监测站的缩小版，一般采用 DN400 的热镀锌钢管制成简易测井，其上方用钢结构制成简易仪器平台以便放置监测设备箱、太阳能电池板等设备，用法兰盘将测井固定于钢筋砼基础之上。简易岛式水位自动监测站建设示意参见下图 5 所示。

图 5　简易岛式水位自动监测站示意图

2.6　雷达式水位自动监测站

雷达式水位自动监测站采用非接触式雷达水位计进行水位测量，安装方式主要以立杆式为主，即在岸边建设钢筋砼基础，然后建设立主杆，在主杆上部相应位置安装悬臂，水位计安装在悬臂伸向的一端，主杆高低、悬臂长短、基础的形式和大小等不尽相同，视具体条件而定。下图为雷达式水位自动监测站建设示意如图 6 所示。

图 6　雷达式水位自动监测站示意图

3　水位自动监测站选型与对比分析

3.1　水位自动监测站适用条件分析

3.1.1　依附式

由于依附式水位站内部安装的是浮子式水位传感器（由浮子与重锤构成的定滑轮结构，依靠水的浮力作用推动重锤上下滑动，从而采集水位数据），因此建设依附式水位站不可或缺的建站条件是现场必须具备垂直可依附结构。就小型水库而言，一般仅有放水涵启闭机房具备垂直结构面，对于部分建设斜拉式放水涵的水库，此种建站方式便不适用。另外，依附式水位站的监测量程也受放水涵建设位置或结构形式限制，例如，部分采用隐蔽式放水涵的水库，如建设依附式水位站则最低可测水位仅至启闭机房底部，量程过短，无法满足抗旱水位监测需求。

3.1.2　标准井式

标准井式水位站属于钢筋砼结构水工建筑物，其适用条件主要取决于现场地质条件，如库区地基土承载力不能满足要求，建设标准井式水位站前必须采取地基处理措施。另外，交通桥若修筑在水库主坝之上，在坝体处开挖基坑易对大坝渗流造成不良影响。

3.1.3　标准岛式

类似于标准井式水位站，对库区地基土承载力有一定限制。

3.1.4　简易岛式

简易岛式水位站适用条件较为广泛，不受地形或其他构筑物条件限制。但由于简易岛式水位站测井由钢管制成，考虑到其自身稳定性以及抗倾覆能力，通常选择坝高（或总量程）不超过 15m 的小型水库建设简易岛式水位站。

3.1.5　雷达式

雷达式水位站依靠水位传感器向水面发射超声波信号并触发回返信号，从而感知水面距传感器距离。雷达式水位站要求水体趋于静止状态且水质较好，水体流动或水中杂质会较大幅度影响雷达传感器测量精度。另外，雷达式水位站测量精度受水面距传感器距离影响较大，部分大坝迎水面坡比较缓的水库不适宜建设雷达式水位站。

3.2　水库水位自动监测站选型原则

3.2.1　平原水库

平原水库多分布在我省皖北、皖中等地区，包括皖西部分灌区内的反调节水库，总量约在 3000 余座，占比较大。此类水库坝高通常在 15 米以下，多以土石坝作为防洪主体工程。经过前期项目建设，多数已开展除险加固工程，具备较为标准的放水涵启闭机房。此类水库建设自动水位监测站，可选取依附式、简易岛式为主的建站方式。

3.2.2　山区土石坝水库

山区土石坝水库主要分布在皖南山区、皖西大别山区以及部分丘陵地带，此类水库通常坝高较高（15 米以上），不适宜建设简易岛式水位站，可根据依附条件选取依附式水位站的建站方式，无依附条件则可采用简易栈桥式，部分水库位于景区内部，考虑到景观效益，可选择标准井式以提升建设标准。

3.2.3　山区拱坝水库

拱坝型水库受地形限制，我省仅有少数县（市、区）分布，如皖西大别山区的金寨县、皖南山区的歙县等。此类水库一般不具备垂直依附条件，无法建设依附式水位站；施工条件较差，大型吊车、商砼运输车辆等施工设备无法进场，不宜选取标准井式或岛式的建站方式。针对此类水库，通常选择雷达式水位站，可大幅降低建设成本且达到监测目的。

3.3　各类测站对比分析表

将前文中介绍分析的几种小型水库常见的水位监测方式进行对比分析，汇总于表 1。

表 1　几种建站方式对比分析汇总表

分析指标 / 测站方式	适用条件	量程范围	施工工艺	施工周期（约）	投资造价
依附式	现场必须具备垂直依附面	受限于依附结构	易	一周	约 6~8 万元，偏低
标准井式	受地基条件限制	不受限	复杂	3 个月	25 万以上，较高
标准岛式	受地基条件限制	不受限	复杂	2 个月	20 万以上，较高
简易井栈桥式	基本不受限	不受限	复杂	2 个月	15 万以上，较高
简易岛式	坝高不宜过高	不受限	较易	1.5 月	约 8~10 万元，较低
雷达式	受水流水质等影响，一般建在山区拱坝	受传感器限制	易	一周	约 5~8 万元，偏低

4 结语

小型水库水位自动监测是水利信息化建设中一项长期的任务，随着电子技术和通信技术的快速发展，未来将会涌现出更为先进的测量方式。比如，采用视频识别技术观测水位，也已经接近成熟。随着 5G、卫星通信等技术的推广应用，水利信息化技术也会有很大的飞跃。相信新技术使用，小型水库水位测站会更科学、更可靠、更便捷、更安全。方案设计人员应拓展思路、开拓视野，进一步提升监测方案实用性、数据准确性、运维便捷性，为防汛抗旱业务做好基础支撑。

参考文献

[1] 刘超,虞邦义,马浩,刘怀利.山洪灾害预警系统远程运行维护技术研究[J].中国防汛抗旱,2017,27（2）:47-50.

[2] 马顺,刘超,汤帅.安徽省农村基层防汛预报预警体系建设综述[J].水利建设与管理,2017,39（10）:52-57.

[3] 孙晶晶.新型远程无线水位测报系统的研制[J].水利水电技术,2011,42（8）:90-91.

不同流域水文模型的暴雨山洪模拟适用性研究

翟晓燕[1,2]　　张晓蕾[1,2]　　刘　启[1,2]　　刘荣华[1,2]

（1.中国水利水电科学研究院，北京 100038；2.水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心，北京 100038）

摘要：选取中国山洪水文模型和新安江模型开展山丘区小流域暴雨山洪模拟对比分析，以江西省安和流域 18 场次山洪过程为例，分析各模型对水量平衡、洪峰流量、峰现时间及山洪过程线等多要素模拟的适用性。研究结果表明，中国山洪水文模型率定期和验证期的平均径流深相对误差均在 11%以内，平均洪峰流量相对误差均在 7%以内，平均峰现时间误差在 1.50h 以内，平均 Nash-Sutcliffe 效率系数均在 0.85 以上；新安江模型率定期和验证期的平均径流深相对误差、平均洪峰流量相对误差均在 14%以内，平均峰现时间误差均在 1.10h 以内，平均 Nash-Sutcliffe 效率系数均为 0.91；两个模型均能较好地模拟研究区次洪过程，中国山洪水文模型对水量平衡和洪峰流量的模拟精度较高，新安江模型对山洪过程线的模拟精度较高。研究结果可为中小流域暴雨山洪模拟及其精度提高提供参考。

关键词：中国山洪水文模型；新安江模型；暴雨山洪；安和流域

1　研究背景

山洪灾害突发性强、破坏性大、预报预警难度大，是世界上最严重的自然灾害之一，对山丘区人民生命财产安全构成了巨大威胁[1]。我国因山洪灾害死亡人数约占洪灾死亡人数的 70%以上，造成的财产损失超过 400 亿元/年（1950—2000 年）。山洪灾害防御已成为我国防汛工作的难点和薄弱环节，及时准确地进行暴雨山洪模拟和预报预警已成为防汛的关键[2]。

随着山洪灾害调查评价工作的实施、中小河流水雨情监测站网体系的建设，流域水文模型已逐渐用于暴雨山洪模拟和预报预警业务，为社会公众转移避险提供了及时可靠的决策信息支持。郭良等[3]耦合 HEC-HMS 模型、地貌单位线理论等技术，构建了基于分布式水文模型的山洪灾害预报预警技术，为河南省山洪灾害防御提供了新思路。刘志雨等[4]构建了基于网格的分布式水文模型 TOPKAPI，用于中小河流突发性洪水预报。翟晓燕等[5,6]基于大规模分布式体系架构和精细化地形地貌数据研发了中国山洪水文模型，并评估了该模型在不同流域暴雨山洪模拟的适用性。

本文选取中国山洪水文模型和新安江模型开展山丘区小流域暴雨山洪模拟对比分析，以江西省安和流域 18 场次山洪过程为例，分析不同流域水文模型对水量平衡、洪峰流量、峰现时间及山洪过程线等多要素模拟的适用性，以期为中小流域暴雨山洪模拟及其精度提高提供参考。

2　研究方法

2.1　流域水文模型

2.1.1　中国山洪水文模型

中国山洪水文模型（China Flash Flood hydrological model, CNFF）是由中国水利水电科学研究院自主研发的分布式水文模型，已用于国家级和多个省市的山洪模拟和预报预警业务。CNFF 模型结构如图 1 所示。以小流域（10—50 km²）为基本计算单元，采用三水源蓄满产流法进行产流计算，采用改进分布式单位线方法和线性水库法进行坡面汇流计算，采用动态马斯京根法进行河道洪水演进计算。

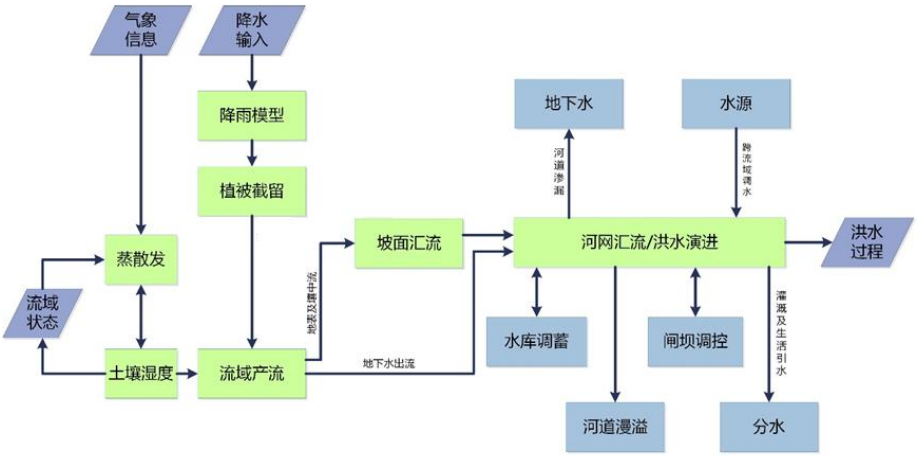


图 1　CNFF 模型结构示意图

应用高精度地形地貌数据（1:5 万 DEM 和 2.5m 土地利用和植被类型信息数据等），充分考虑流域内地形、植被等的空间分布异质性，基于“流域内各点到达流域出口汇流时间的概率密度分布等价于瞬时单位线”的思路，提出基于 DEM 网格单元、考虑雨强影响汇流非线性特征的改进分布式单位线方法。坡面流流速和汇流时间计算公式如下，考虑了雨强对流域汇流非线性的影响。

$$\begin{cases} V = KS^{0.5}i^{0.4} \\ \tau_j = \sum_{n=1}^{n_j} \dfrac{L_n}{V_n} \end{cases} \tag{1}$$

式中，V 为水流流速；K 为流速系数，主要反映土地利用特征对流速摩阻影响的经验参数；S 为流域某点处沿水流方向的坡降；i 为无因次雨强；L_n 为第 n 个网格的流路长度；τ_j 为第 j 个网格的汇流时间；n_j 为第 j 个网格汇集路径上网格的数量。

小流域分布式单位线的洪峰流量及峰现时间随雨强的不同而异（图 2），单位线洪峰流量呈现随雨强增加而增加的趋势，单位线峰现时间呈现随雨强增加而提前的趋势，表现出强烈的非线性。

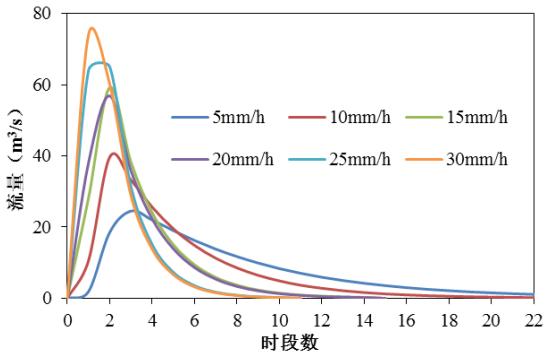


图 2　典型小流域不同雨强下的分布式单位线（时段长为 10min）

2.1.2　新安江模型

新安江模型是由河海大学赵人俊教授提出的概念性流域水文模型，已广泛用于我国湿润和半湿润地区中小流域暴雨洪水模拟。采用三水源蓄满产流法进行产流计算，采用线性水库法进行坡面汇流计算，采用分段马斯京根演算法进行河道洪水演进计算。三水源蓄满产流法中张力水蓄水容量和自由水蓄水容量的空间分布非均质性描述如下：

$$\begin{cases} \alpha = 1 - \left(1 - \dfrac{Wm'}{Wmm'}\right)^{B} \\ \beta = 1 - \left(1 - \dfrac{SMF'}{SMMF}\right)^{EX} \end{cases} \tag{2}$$

式中，α 为张力水蓄水容量曲线；β 为自由水蓄水容量曲线；Wm'为流域点蓄水容量；Wmm'为流域内最大的点蓄水容量；SMF'为产流面积上的点自由水容量；$SMMF$ 为产流面积上最大的点自由水容量；B 和 EX 为抛物线曲线的方次。

2.2　山洪模拟效果性评估

综合考虑水量平衡、洪峰流量、峰现时间和山洪过程线等多要素，采用径流深相对误差（*RER*）、洪峰流量相对误差（*REQ*）、峰现时间误差（*TP*）和 Nash-Sutcliffe 效率系数（*NSE*）等四个指标评估场次山洪模拟的精度，各指标的最优值分别为 0、0、0 和 1。各指标的计算公式如下：

$$RER = \frac{\overline{R}_o - \overline{R}_s}{\overline{R}_o} \tag{3}$$

$$REQ = \frac{Q_{o,p} - Q_{s,p}}{Q_{o,p}} \tag{4}$$

$$TP = T_{o,p} - T_{s,p} \tag{5}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{o,i} - Q_{s,i})^2}{\sum_{i=1}^{N}(Q_{o,i} - \overline{Q}_o)^2} \tag{6}$$

式中：$\overline{R}_o$ 和 $\overline{R}_s$ 分别为实测和模拟的平均径流深；$T_{o,p}$ 和 $T_{s,p}$ 分别为实测和模拟的峰现时

间；$Q_{o,p}$ 和 $Q_{s,p}$ 分别为实测和模拟的洪峰流量；$Q_{o,i}$ 和 $Q_{s,i}$ 分别为 i 时刻实测和模拟的流量值；$\overline{Q}_o$ 为实测的平均流量；N 为次洪序列长度。

3　应用实例

3.1　研究区概况及数据源

安和流域位于我国江西省赣州市上犹县（东经 114°00’~114°40’，北纬 25°42’~26°01’）。流域面积为 251 km²；多年平均降雨量为 1400 mm，干旱指数为 0.65。主要的土地利用类型为林地、草地和耕地，主要的土壤质地类型为砂粘土。

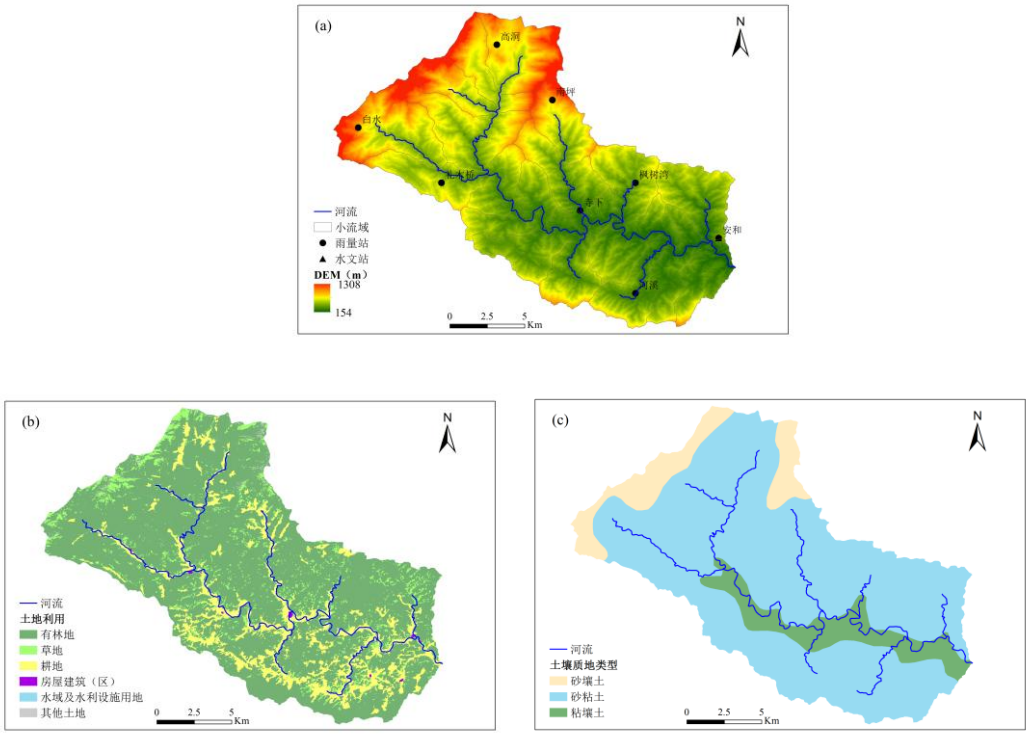


图 3　研究区 DEM(a)、土地利用(b)和土壤质地类型(c)分布图

收集的基础数据包括基础地理数据和雨洪数据（表 1），基础地理数据主要用于划分小流域和提取流域属性特征，安和流域共划分了 20 个小流域，平均小流域面积为 13.16 km²，如图 3 所示；共收集了 18 场次雨洪过程数据，以前 12 场次雨洪过程进行模型率定，以后 6 场次雨洪过程进行模型验证。

表 1　研究区基础数据列表

数据	数据类型	尺度	数据属性
基础地理数据	DEM	网格: 25 m×25 m	高程、坡度、坡长
	土地利用	1:250,000	土地利用分类
	土壤质地	1:500,000	土壤质地分类及其理化数据
雨洪数据	雨量站	8 个（1984—2008 年）	18 场次小时尺度降雨过程
	水文站	安和站（1984—2008 年）	18 场次小时尺度洪水过程

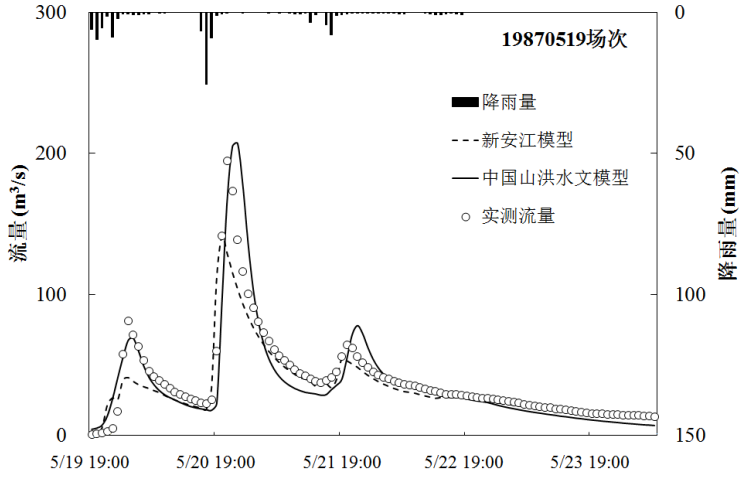
3.2　次洪模拟效果评估及对比

中国山洪水文模型和新安江模型率定期和验证期的评估指标见表 2。率定期和验证期典型次洪的实测和模拟过程如图 4 所示。

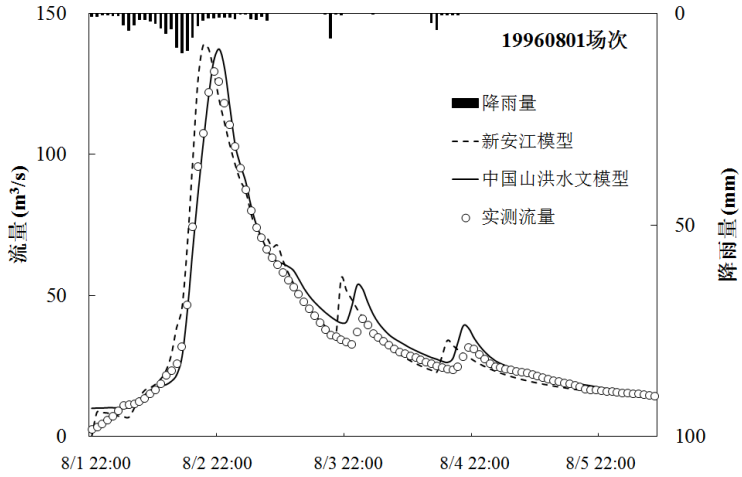
表 2　模型模拟效果评估列表

模型	时期	P/mm	RER/%	REQ/%	TP/h	NSE
中国山洪水文模型	率定期	106	7.53	6.97	0.67	0.89
	验证期	149	10.63	5.63	1.50	0.85
新安江模型	率定期	106	13.33	13.43	1.08	0.91
	验证期	149	10.63	12.32	1.00	0.91

中国山洪水文模型率定期和验证期的平均径流深相对误差为 7.53%和 10.63%，平均洪峰流量相对误差为 6.97%和 5.63%，平均峰现时间误差为 0.67h 和 1.50h，平均 Nash-Sutcliffe 效率系数为 0.89 和 0.85。新安江模型率定期和验证期的平均径流深相对误差为 13.33%和 10.63%，平均洪峰流量相对误差为 13.43%和 12.32%，平均峰现时间误差为 1.08h 和 1.00h，平均 Nash-Sutcliffe 效率系数均为 0.91。总体而言，中国山洪水文模型和新安江模型均能较好地模拟研究区场次山洪过程，中国山洪水文模型对于水量平衡、洪峰流量的模拟精度较高，率定期和验证期的平均 *RER* 和 *REQ* 均低于新安江模型；新安江模型对于次洪过程线的模拟精度较高，率定期和验证期的 *NSE* 均高于中国山洪水文模型。



（a）率定期



（b）验证期

图 4　研究区率定期(a)和验证期(b)次洪实测和模拟过程

4　结论

本文以江西省安和流域 18 场次山洪过程为例，对比分析了中国山洪水文模型和新安江模型对水量平衡、洪峰流量、峰现时间及山洪过程线等多要素模拟的精度。主要结论为：

（1）中国山洪水文模型率定期和验证期的平均径流深相对误差为 7.53%和 10.63%，平均洪峰流量相对误差为 6.97%和 5.63%，平均峰现时间误差为 0.67h 和 1.50h，平均 Nash-Sutcliffe 效率系数为 0.89 和 0.85。

（2）新安江模型率定期和验证期的平均径流深相对误差为 13.33%和 10.63%，平均洪峰流量相对误差为 13.43%和 12.32%，平均峰现时间误差为 1.08h 和 1.00h，平均 Nash-Sutcliffe 效率系数均为 0.91。

（3）两个模型均能较好地模拟安和流域 21 场次山洪过程，中国山洪水文模型对水量平衡和洪峰流量的模拟精度较高，新安江模型对山洪过程线的模拟精度较高。

参考文献

[1] 张志彤. 山洪灾害防治措施与成效[J]. 水利水电技术, 2016, 47(1): 1-5+11.

[2] 郭良, 丁留谦, 孙东亚, 刘昌军, 何秉顺, 刘荣华. 中国山洪灾害防御关键技术[J]. 水利学报, 2018, 49(9): 1123-1136.

[3] 郭良, 唐学哲, 孔凡哲. 基于分布式水文模型的山洪灾害预警预报系统研究及应用[J]. 中国水利, 2007,(14): 38-41.

[4] 刘志雨, 侯爱中, 王秀庆. 基于分布式水文模型的中小河流洪水预报技术[J]. 水文, 2015, 35(1): 1-6.

[5] 翟晓燕, 郭良, 刘荣华, 张永勇, 刘昌军. 中国山洪水文模型研制与应用：以安徽省中小流域为例[J]. 应用基础与工程科学学报, 2020, 28(5): 1018-1036.

[6] Zhai XY, Guo L, Liu RH, Zhang YY. Rainfall threshold determination for flash flood warning in mountainous catchments with consideration of antecedent soil moisture and rainfall pattern[J]. Natural Hazards, 2018, 94(2): 605-625.

基于 SPI 指数的长江上游多尺度旱涝特征分析

王　乐　　訾　丽

（长江水利委员会水文局，武汉 430010）

摘要：旱涝指数是实现旱涝信息化监测和预测的重要手段。本文利用 1961～2019 年长江上游 274 个雨量站逐日降水资料，计算各站点 SPI 指数，并分析近 60 年长江上游旱涝频率、强度、范围的多尺度时空变化特征。结果表明：长江上游月、季尺度旱涝事件震荡波动频繁，流域干旱事件多出现在秋冬季节，雨涝事件多出现在春季和冬季；长江上游不同范围的旱涝分布各有不同，全区域性的干旱和雨涝事件发生次数相当，区域性涝多于旱、部分性和局地性则是旱多于涝，干旱和雨涝强度基本呈反位相变化；长江上游各季节旱涝分布空间不均匀性显著，旱涝频率高值区呈点状的零星分布，大范围旱涝频发区较为稀少，近年来长江上游西部趋于涝，而东部南部趋于旱，冬春两季的变化较为明显，而夏秋两季的变化趋势相对较弱。

关键词：SPI；多尺度；旱涝等级；旱涝强度；旱涝范围

随着全球气候变暖，极端事件频发，全球旱涝灾害影响也随之加剧[1-2]。长江上游流域是我国重要的农业生产基地和经济发展区[3]，由于地形复杂、气候多变，流域内频繁出现旱涝灾害，这对长江上游生态环境产生巨大威胁，同时还严重阻碍社会经济发展。因此，正确认识长江上游流域旱涝变化特征对长江上游生态可持续发展具有重要意义，而且可为流域经济发展提供重要的科学依据。

国内学者针对长江上游流域旱涝特征，已进行了众多研究。对于长江上游干旱特征，目前研究主要从干旱变化趋势、评估指标和模型等方面进行，如贺晓婧等[4]指出长江上游干旱主要以轻度干旱为主，并有增加趋势；洪兴骏和郭生练等[5]提出考虑不确定性影响可以更加准确有效地评估干旱指标和量级；许继军等[6]建立了基于分布式水文模拟的干旱评估预报模型。对于长江上游雨涝特征，当前研究主要从暴雨洪水变化特征和成因方面来进行分析，如王乐等[7]发现长江上游大部分水系近几十年来暴雨日数有弱地上升趋势，而岷江水系有显著减少趋势；张洪刚等[8]分析了长江流域洪水类型、发生时间及过程，并研究了长江上游干支流洪水遭遇类型及其概率；李跃清[9]指出青藏高原东侧大气边界层风场演变与长江上游暴雨和长江洪水密切相关。也有学者综合分析长江上游旱涝特征，如刘志雄等[10]利用 Z 指数分析发现长江上游流域旱涝事件具有显著的年代际变化特征，并指出长江上游旱涝事件与 500hPa 高度场及海温场密切相关。但上述研究多是针对长江上游流域整体状况，针对流域内不同区域、不同范围、不同尺度旱涝具体变化特征的研究则相对较少，研究还不够深入。

旱涝指数是实现旱涝信息化监测和预测的重要手段，因此本文使用长江上游流域 1961-2019 年 274 站雨量站逐日降水数据，对近 60 年长江上游旱涝频率、强度、范围的时空变化特征进行细致的分类和分级研究。研究有助于更好地认识长江上游的旱涝演变特征，为长江流域防汛抗旱工作开展提供理论基础。

1 资料与方法

1.1 SPI 指数计算原理

标准化降水指数（standardized precipitation index，简称 SPI 指数）是一种表征某时段降水水平的指标之一[11-12]。SPI 指数具有无量纲、标准化、多时间尺度的特点，能够比较不同地区、时段的降水水平，可以反映长时间尺度的水资源演变状况，目前受到各大国家机构和学者的广泛应用。

设某一时间尺度下的降水量为 x，则其 Gamma 分布的概率密度函数为：

$$g(x)=\frac{1}{\beta\Gamma(\alpha)}x^{\alpha-1}e^{-x/\beta}(x>0)\ ,\ \Gamma(\alpha)=\int_0^{\infty}y^{\alpha-1}e^{-y}dy \tag{1}$$

式中：α和β分别为形状参数和尺度参数；$\Gamma(\alpha)$为 gamma 函数。

运用极大似然法估计α和β值，即：

$$\alpha=\frac{1+\sqrt{1+4A/3}}{4A},\ \beta=\frac{\bar{x}}{\alpha},\quad \mathrm{A}=\ln(\bar{x})-\frac{\sum_{i=1}^{n}\ln(x_i)}{m} \tag{2}$$

式中，$\bar{x}$为气候平均值，n 为序列长度。

由于 gamma 函数中不包括 x=0 的情况，而实际降水量可以为 0，故$\bar{x}$应该为降水系列中非 0 项的均值。若降水系列中为 0 的项数为 m，令$\mathrm{q}=m/n$，则累计概率计算如下：

$$H(x)=q+(1-q)G(x) \tag{3}$$

式中：$\mathrm{G(x)}=\int_0^x g(\omega)d\omega$，也就是$\mathrm{G(x)}=\frac{1}{\Gamma(\alpha)}\int_0^{x/\beta}t^{\alpha-1}e^{-t}dt.$

再将累计概率分布$H(x)$转换成标准正态分布就可以得到相应的 SPI 值：

$$当0<H(x)\le 0.5时,\ Z=SPI=-\left(k-\frac{c_0+c_1k+c_2k^2}{1+d_1k+d_2k^2+d_3k^3}\right),\ k=\sqrt{ln\left(\frac{1}{H(x)^2}\right)} \tag{4}$$

$$当0.5<H(x)<1时,\ Z=SPI=k-\frac{c_0+c_1k+c_2k^2}{1+d_1k+d_2k^2+d_3k^3},\ k=\sqrt{ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} \tag{5}$$

式中：$c_0=2.515517$，$c_1=0.802853$，$c_0=0.010328$；$d_1=1.432788$，$d_2=0.189269$，$d_3=0.001308$。

利用当前月和前 i 个月的累计降水量可以计算时间尺度为 i+1 个月的 SPI 指数，本文中计算了逐月尺度、季节尺度（3 个月）、以及年尺度（12 个月）三种时间尺度的旱涝指数。

1.2　旱涝等级划分及统计指标

本文参照国内通用的旱涝等级划分标准划分旱涝等级[11-12]，并确定相应的 SPI 指数界限值（见表 1）。

表 1　基于 SPI 指数的旱涝等级划分表

等级	SPI 值	类型	等级	SPI 值	类型
1	$SPI \geq 1.5$	重涝	5	$-1 < SPI \leq -0.5$	轻旱
2	$1 \leq SPI < 1.5$	中涝	6	$-1.5 < SPI \leq -1$	中旱
3	$0.5 \leq SPI < 1$	轻涝	7	$SPI \leq -1.5$	重旱
4	$-0.5 < SPI < 0.5$	正常			

文中引入旱涝频率、旱涝站次比、旱涝强度 3 个表征区域旱涝特征的评估指标。对评估指标分别说明如下：

（1）旱(涝)频率。旱(涝)频率P_i为研究区域站点 i 发生旱(涝)年数与总年数之比，即发生旱(涝)的频繁程度。

（2）旱涝站次比：旱(涝)站次比P_j为 j 年研究区内发生旱(涝)站次占全部站数的比例。利用P_j可定义不同旱涝事件范围，划分标准[13]为：P_j≥50%为全区域旱(涝)；50%＞P_j≥33%为区域性旱(涝)；33%＞P_j≥25%为部分地区旱(涝)；25%＞P_j≥10%为局部地区旱(涝)；P_j＜10%则表示无明显旱(涝)。

（3）旱涝强度：旱(涝)强度S_{ij}为 j 年发生旱(涝)的 i 站 SPI 绝对值的平均值，强度划分标准见表 1。

（4）区域旱涝计算：某区域的旱涝计算方法为，利用该区域所有站点的 SPI 指数或旱涝强度指数进行平均计算，得到的值即为该区域相应的旱涝指数。

1.3　研究区域划分

本研究所用的资料为长江上游 1961-2019 年 274 个雨量站的逐日（北京时间 08 时-次日 08 时）降水资料，站点数据已通过系统的质量控制和检验，保证了资料的连续性和完整性。

根据长江上游流域水系分布特征，将长江上游划分为金沙江流域、岷沱江流域、嘉陵江流域，长江上游干流、乌江流域 5 个一级子流域（站点分布及子流域分区见图 1）。按照传统的方法，本文中定义 3～5 月为春季、6～8 月为夏季、9～11 月为秋季、12～2 月为冬季。

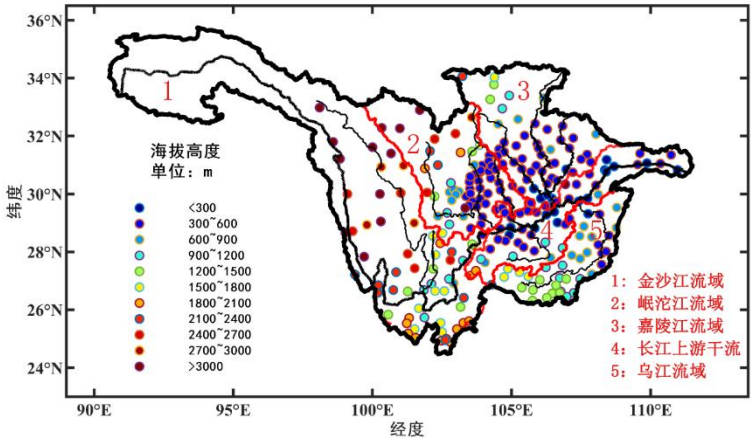


图 1　长江上游站点分布及子流域分区

2　旱涝频率分析

图 2 为 1961-2019 年长江上游及各分区不同程度的月尺度旱涝频率分布图。可以看到，对于整个长江上游流域而言，月尺度旱涝分布中正常事件的频率最高，多集中在 60%—80%之间，最高达 91.5%；轻涝和轻旱的频率次之，多集中在 10%—20%之间，个别月份在 10%以下；中涝和中旱的频率基本在 5%以下；重涝和重旱的频率则均为 0。上述结果中长江上游流域旱涝事件整体频率较低，这是由于长江上游疆域辽阔，降雨时空分异性显著，采用整个长江上游站点的 SPI 值进行平均计算，会使正负旱涝指数相互抵消。

对于长江上游一级子流域分区而言，旱涝事件频率总体分布类似，同样以正常频率最高，轻涝和轻旱次之，中涝和中旱再次，重涝和重旱最少，但由于面积较小，区域月尺度旱涝特征频率相对明显，各分区不同程度的旱涝事件频率均有所上升。图 2 结果显示，金沙江流域和岷沱江流域月尺度正常事件多在 50%—70%之间，轻涝和轻旱的频率多集中在 10%—20%之间，中涝和中旱出现的频率基本在 10%以下，重涝和重旱频率在 0—3.4%之间；嘉陵江正常事件的频率相对较低且分布更为集中，多在 50%—60%之间，轻涝的频率在 15%—23%之间，高于轻旱频率，中涝和中旱的频率多在 3%—10%之间，重涝的频率在 0—1.7%之间，重旱频率则多在 1.7%左右，最高达 5.1%；长江上游干流月尺度轻涝和轻旱的频率多集中在 10%—22%之间，中涝和中旱出现的频率基本在 7%以下，重涝出现的频率在 0—1.7%之间，重旱的频率在 0—3.4%之间；乌江正常事件的频率最低，多在 45%—55%之间，轻涝和轻旱的频率多集中在 10%—22%之间，中涝和中旱出现的频率多在 10%以下，重涝和重旱发生频率多在 1.7—3.4%之间。

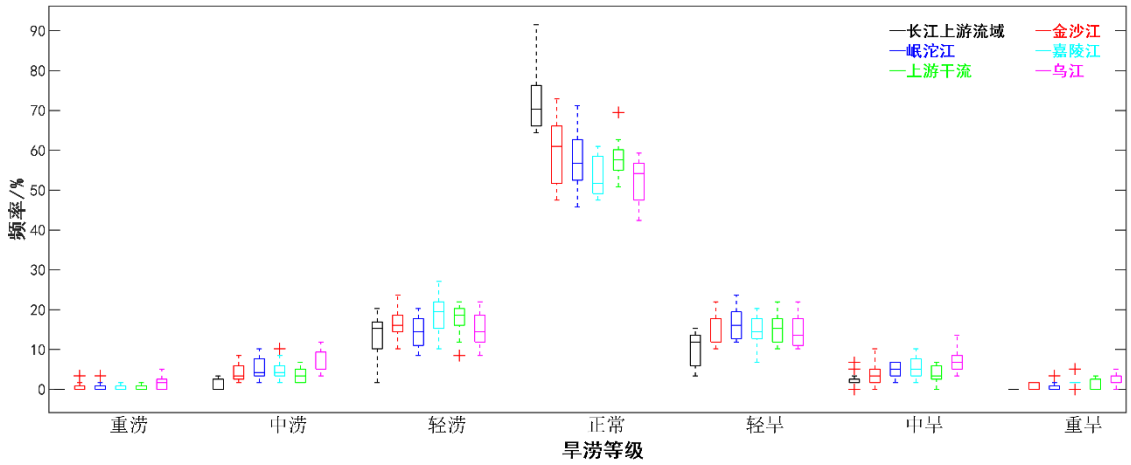


图 2　长江上游及各分区月尺度旱涝频率分布图

表 2 统计了 1961-2019 年长江上游流域各分区季节及年尺度不同等级旱涝频率。由表可知，近 59 年长江上游流域季节尺度旱涝事件以轻旱和轻涝为主，中涝事件仅在夏季出现过，频率为 1.7%，中旱事件在春夏冬季均有出现，但频率基本在 5%以下，重涝和重旱事件则从未出现过。长江上游流域区域干旱事件多出现在秋冬季节（频率分别为 17.2%和 15.5%），雨涝事件则多出现在春季和冬季（频率分别为 19%和 15.5%）。各分区中旱涝事件在各季节均有发生，金沙江流域秋冬季节干旱发生频率相对更高（频率为 19%和 18.9%），雨涝事件则在春季和冬季发生频率更高（频率分别为 31.1%和 22.4%）。岷沱江流域秋季发生干旱和雨涝事件频率相对更高（分别为 20.7%和 24.1%），夏季则相对较低（旱涝事件频率均为 15.5%）。嘉陵江流域夏季发生干旱事件频率相对更高（为 22.3%），夏季和冬季发生雨涝事件的频率相对更高（频率分别为 24.1%、24.2%）。长江上游干流秋季发生干旱事件频率相对更高（为 20.7%），夏季、秋季和冬季发生雨涝事件的频率均较高（频率分别为 22.4%、22.4%、24.1%）。乌江流域夏季发生干旱事件频率相对更高（为 25.8%），秋季发生雨涝事件的频率相对较高（29.3%）（具体统计值见表 2）。

年尺度旱涝频率分布表明，近 59 年长江上游流域及各分区年尺度区域旱涝事件均以轻涝和轻旱为主。其中长江上游流域轻旱和轻涝出现的频率均较低，分别为 6.8%和 8.5%；金沙江流域轻涝和轻旱的频率分别为 16.9%和 11.9%，中涝事件的频率为 1.7%，重旱事件的频率为 1.7%，重涝和中旱事件则未发生。岷沱江流域轻涝和轻旱的频率分别为 13.6%和 16.9%，中涝和中旱事件的频率分别为 3.4%、1.7%，重涝事件的频率为 1.7%，重旱事件则未发生。嘉陵江流域轻涝和轻旱的频率分别为 13.6%和 22%，中涝和中旱事件的频率均为 1.7%，重旱事件的频率为 1.7%，重涝事件则未发生。长江上游干流轻涝和轻旱的频率均为 15.3%，中涝和中旱事件的频率分别为 3.4%和 1.7%，重旱和重涝事件则未发生。乌江流域轻涝和轻旱的频率分别为 16.9%和 11.9%，中涝和中旱事件的频率分别为 3.4%和 6.8%，重涝事件未发生过，重旱事件发生频率为 1.7%（具体统计值见表 2）。

表 2　1961-2019 年长江上游流域各分区季节及年际不同等级旱涝频率统计表（%）

		重涝	中涝	轻涝	正常	轻旱	中旱	重旱	雨涝合计	干旱合计
长江上游流域	春	0	0	19	70.7	8.6	1.7	0	19	10.3
	夏	0	1.7	3.4	89.7	1.7	3.4	0	5.1	5.1
	秋	0	0	8.6	74.1	17.2	0	0	8.6	17.2
	冬	0	0	15.5	69	10.3	5.2	0	15.5	15.5
	年	0	0	6.8	84.7	8.5	0	0	6.8	8.5
金沙江	春	0	5.2	25.9	53.4	8.6	3.4	3.4	31.1	15.4
	夏	1.7	1.7	13.8	67.2	12.1	1.7	1.7	17.2	15.5
	秋	0	3.4	15.5	62.1	13.8	5.2	0	18.9	19
	冬	0	3.4	19	58.6	10.3	6.9	1.7	22.4	18.9
	年	0	1.7	16.9	67.8	11.9	0	1.7	18.6	13.6
岷沱江	春	0	5.2	15.5	60.3	15.5	3.4	0	20.7	18.9
	夏	0	5.2	10.3	69	13.8	1.7	0	15.5	15.5
	秋	0	8.6	15.5	55.2	15.5	5.2	0	24.1	20.7
	冬	0	5.2	17.2	58.6	8.6	10.3	0	22.4	18.9
	年	1.7	3.4	13.6	62.7	16.9	1.7	0	18.7	18.6
嘉陵江	春	0	6.9	13.8	58.6	13.8	5.2	1.7	20.7	20.7
	夏	0	3.4	20.7	53.4	17.2	3.4	1.7	24.1	22.3
	秋	0	6.9	13.8	62.1	13.8	3.4	0	20.7	17.2
	冬	0	5.2	19	55.2	10.3	6.9	3.4	24.2	20.6
	年	0	1.7	13.6	59.3	22	1.7	1.7	15.3	25.4
上游干流	春	0	1.7	15.5	67.2	12.1	3.4	0	17.2	15.5
	夏	1.7	0	20.7	58.6	15.5	3.4	0	22.4	18.9
	秋	0	1.7	20.7	56.9	13.8	6.9	0	22.4	20.7
	冬	0	3.4	20.7	62.1	8.6	5.2	0	24.1	13.8
	年	0	3.4	15.3	64.4	15.3	1.7	0	18.7	17
乌江	春	0	1.7	25.9	55.2	10.3	3.4	3.4	27.6	17.1
	夏	0	5.2	22.4	46.6	13.8	10.3	1.7	27.6	25.8
	秋	1.7	5.2	22.4	48.3	19	3.4	0	29.3	22.4
	冬	1.7	8.6	12.1	56.9	8.6	12.1	0	22.4	20.7
	年	0	3.4	16.9	59.3	11.9	6.8	1.7	20.3	20.4

3　旱涝时间分布特征

不同时间尺度的 SPI 值能够反映旱涝变化的不同特征，图 3 为长江上游及其一级子流域月、季、年尺度的 SPI 指数时间变化序列。由图可知，对于长江上游流域，月尺度 SPI 呈震荡波动形势，旱涝交替频繁，这是由于月尺度 SPI 计算未考虑前期降水，各月间变化比较大引起的。季尺度 SPI 表明，长江上游 1998 年夏季 SPI 指数大于 1，出现严重雨涝事件，1968 年冬季至 1969 年春季、1979 年春季、2006 年夏季、2009 年冬季、2011 年夏季、2012 年冬季 SPI 指数小于-1，出现严重干旱事件。从年尺度 SPI 可以看到，长江上游 1998 年严重涝，2006 年和 2011 年严重旱，其中 60 年代以涝为主，70 年代前中期旱涝交替，后期旱涝不明显，80 年代前期偏涝，后期略偏旱，90 年代前中期以偏旱为主，等级和程度加剧，90 年代末转为偏涝，00 年代以偏旱为主，10 年代前期偏旱，中后期转为偏涝。

对于长江上游子流域，金沙江流域 1974 年春夏季、1982 年冬季、1990 年春季、1998 年夏季、2016 年秋季出现中到重度雨涝事件，1963 年春季、1968 年冬季至 1969 年春季、2009 年秋冬季、2011 年夏季、2012 年冬季出现重度干旱事件。岷沱江流域 1961 年夏季、1967 年秋冬季、1975 年秋季、2005 年春季、2015 年冬季、2018 年春夏季出现中到重度雨涝事件，1968 年冬季、1980 年冬季、1984 年秋季、1986 年春季、2003 年秋季、2012 年冬季出现中到重度干旱事件。嘉陵江流域 1963 年春季、1967 年春季、1975 年秋季、1981 年夏季、1994 年冬季出现中到重度雨涝事件，1968 年冬季、1986 年冬季、1995 年春季、1997 年夏秋季、2006 年夏季、2009 年冬季出现中到重度干旱事件。长江上游干流 1982 年秋季、

1992 年春季、1998 年夏季、2003 年冬季、2014 年秋季、2015 年冬季出现中到重度雨涝事件，1968 年冬季到 1969 年春季、1984 年秋季、1993 年冬季、1998 年秋季、2002 年秋季、2006 年夏季、2009 年秋季、2011 年春夏季、2012 年冬季出现中到重度干旱事件。乌江流域 1970 年冬季、1972 年秋季、1977 年春季、1982 年冬季、1992 年冬季、1994 年秋冬季、1996 年夏季、1999 年夏季、2003 年冬季出现中到重度雨涝事件，1966 年夏季、1972 年夏季、1977 年冬季、1978 年冬季、1979 年春季、1991 年春季、2002 年秋季、2009 年秋冬季、2011 年春夏季、2013 年夏季出现中到重度干旱事件（具体见图 3）。

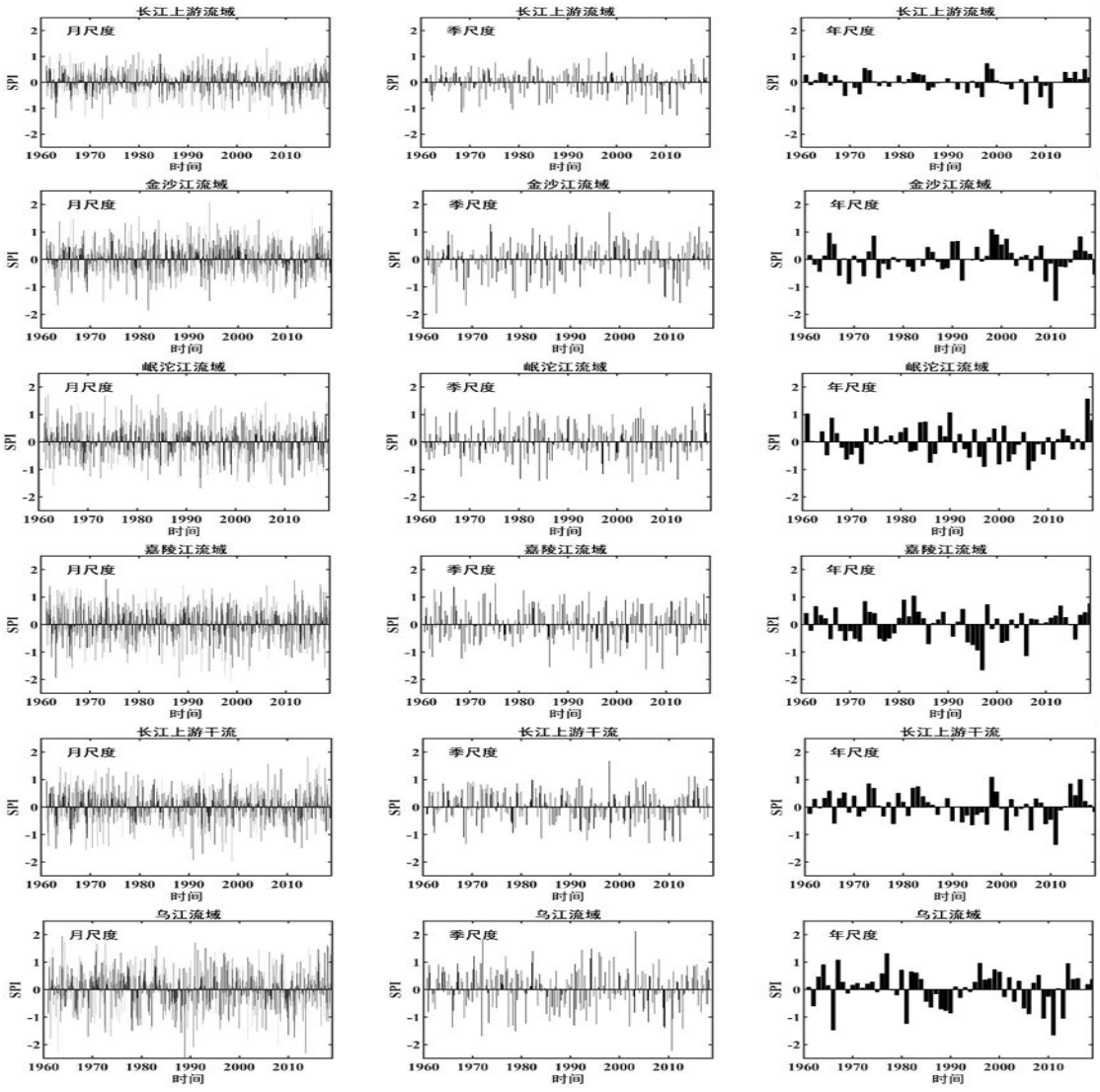


图 3　长江上游各分区不同时间尺度 SPI 指数时间变化

图 4 为 1961～2019 年长江上游年际及季节旱涝站次比和旱涝强度变化，由图可知，长江上游年尺度干旱站次比的变化范围为约在 10%～70%之间，其中 2006 年、2011 年干旱站次比大于 60%，即发生全区域性干旱。从变化趋势来看，近 59 年长江上游年尺度干旱范围呈弱的上升趋势，其中在 80～00 年代期间，上升趋势更为明显，进入 10 年代以后，干旱范围则有明显的回落。长江上游年尺度干旱强度多在 0.8～1.5 之间波动，波动幅度总体较小，但其中 1968 年干旱强度接近 2.2 左右，为极端干旱，2010 年干旱强度超过 1.8，为重度干旱。

从变化趋势来看，近 59 年长江上游年尺度干旱强度有弱的下降趋势，其线性变化趋势为-0.017/10a，但个别年份仍会出现极端干旱的情形；长江上游年尺度雨涝站次比的变化范围约在 0～60%左右，其中 1973 和 1974 年、1998 和 1999 年雨涝站次比均在 60%左右，即发生全区域性雨涝，近 59 年长江上游年尺度雨涝范围总体呈弱的下降趋势，但进入 10 年代以后转为上升趋势。长江上游年尺度雨涝强度多在 0.75～1.5 之间波动，其波动幅度同样较弱，且近 59 年中长江上游年尺度雨涝强度无明显变化趋势。

各季节中，近 59 年春季长江上游干旱范围呈较为明显的下降趋势，干旱强度有弱的下降趋势，雨涝范围总体呈较为明显的上升趋势，雨涝强度则无明显变化趋势。夏季干旱范围无明显的变化趋势，干旱强度有弱的下降趋势，雨涝范围无明显变化趋势，雨涝强度有微弱的上升趋势。秋季干旱范围有较明显的增加趋势，干旱强度无明显变化趋势，雨涝范围总体呈较明显的下降趋势，但其中 00 年代以后转为上升趋势，雨涝强度则有微弱的下降趋势。冬季干旱范围有弱的增加趋势，干旱强度无明显变化趋势，雨涝范围总体呈较明显的上升趋势，雨涝强度有较明显的上升趋势。具体变化见图 4，这里不再详述。

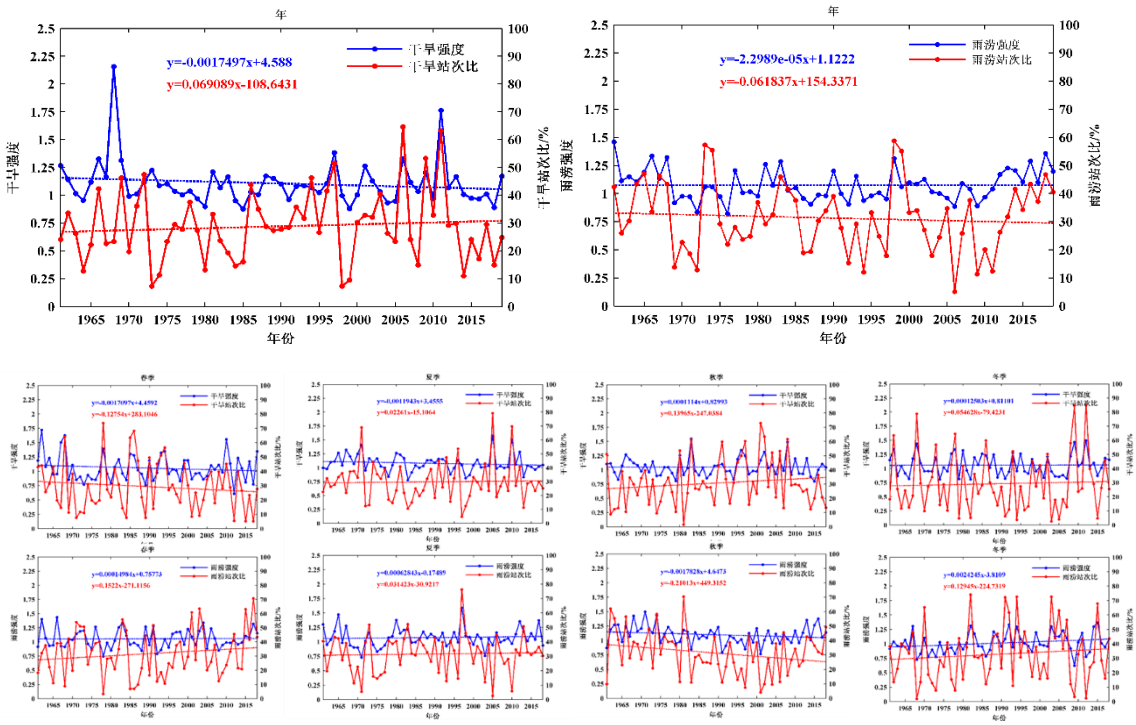


图 4　长江上游年尺度和季节尺度旱涝强度和范围年际变化序列

由于干旱范围年际波动显著，图 5 给出了 1961-2019 年长江上游年和季节尺度旱涝范围的年代际变化。由图可知，长江上游年尺度干旱范围无很明显的年代际波动，其中 60 年代到 80 年代平均干旱范围呈减小趋势，90 年代干旱范围明显增加（平均干旱范围达 30%），00 年代干旱范围影响最大（达 35%），10 年代以后干旱范围再度减小（28%）；长江上游年尺度雨涝范围在 60 年代影响最大（达 37%），70 年代减小，80 和 90 年代维持在 32%左右，00 年代影响最小（仅为 25%），10 年代干旱平均影响范围增加（达 33%）；从年代际季节旱涝特征来看，00 年代秋季干旱影响范围最大，平均干旱站次比超过 40%，90 年代春季、00

年代夏季、10 年代冬季干旱影响范围分别为各季节最大，干旱站次比均在 33%～36%之间。10 年代的冬季、90 年代的夏季、60 年代的秋季、90 年代的冬季分别为各季节雨涝影响最大年代，雨涝站次比均在 36%～41%之间。

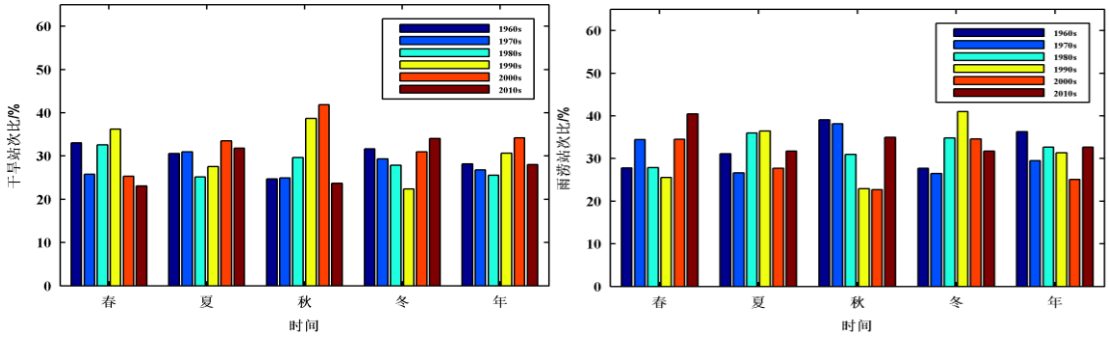


图 5　长江上游干旱范围年代际变化（左：干旱，右：雨涝）

表 3 为 1961～2019 年长江上游年尺度不同等级旱涝发生次数的统计表，可以看到，近 59 年中长江上游发生干旱事件的年份共有 56 年，其中全区域性干旱发生次数较少共有 4 年，区域性干旱有 13 年，部分地区干旱有 18 年，局地性干旱发生次数最多共有 21 年，而无明显干旱的年份仅有 3 年。近 59 年中，长江上游发生雨涝的年份共有 58 年，其中全区域性雨涝发生次数较少为 4 年，区域性雨涝最多有 23 年，部分地区雨涝有 13 年，局地性雨涝有 18 年，而无明显雨涝的年份仅有 1 年。这说明，由于长江上游范围广袤，降水时空分布不均，其内部绝大多数年份均存在旱涝并存的现象。

表 3　1961～2019 年长江上游不同范围旱涝发生次数统计表

类型	发生范围	1961-1969 年	1970-1979 年	1980-1989 年	1990-1999 年	2000-2009 年	2010-2019 年	合计
干旱	全区域性	0	0	0	1	2	1	4
	区域性	3	3	3	3	1	0	13
	部分地区	1	3	2	4	4	4	18
	局地性	5	3	5	0	3	5	21
	无明显	0	1	0	2	0	0	3
雨涝	全区域性	0	2	0	2	0	0	4
	区域性	6	0	5	2	4	6	23
	部分地区	2	2	3	2	2	2	13
	局地性	1	6	2	4	3	2	18
	无明显	0	0	0	0	1	0	1

总体而言，长江上游月、季尺度 SPI 指数震荡波动频繁，尤以月尺度最为明显，较高程度的涝季多于旱季，涝年多于旱年。60 年代以涝为主，70 年代前中期旱涝交替，后期旱涝不明显，80 年代前期偏涝后期略偏旱，90 年代前中期以偏旱为主，90 年代末转为偏涝，00 年代以偏旱为主，近年又转为偏涝。通常长江上游旱涝范围较高的年份相应的旱涝强度也偏强，而干旱和雨涝的强度年际变化基本呈反位相，不同范围的旱涝发生次数各有不同，全区域性旱涝事件年份相当，区域性涝多于旱、部分性和局地性则是旱多于涝。

4　旱涝空间分布特征

受独特地形和气候的影响，长江上游旱涝空间分布差异性显著。图 6 给出了近 59 年长

江上游年尺度及季节尺度旱涝频率分布，年尺度分布表明，金沙江中下游南部、雅砻江上游、向寸区间、岷江中游、嘉陵江下游、乌江上游及下游、三峡区间等地区干旱发生频率较高，均在 30%以上，部分地区达 35%以上，金沙江上游、雅砻江下游、嘉陵江上游、乌江中游等地干旱频率较低，小于 20%。金沙江中游、岷江中下游、嘉陵江下游、乌江干流、三峡区间下游为雨涝易发区，雨涝发生频率在 30%以上，雅砻江下游、嘉陵江上游、赤水河东部等地区雨涝发生频率较低，多在 25%以下。对比发现，年尺度旱涝频率高值区均呈零星的点状分布，不同地形全年旱涝频率分布没有明显规律，其中金沙江中游、岷江大渡河附近、乌江上游和下游、三峡区间下端地区旱涝频率均较高。

分析不同季节旱涝发生频率发现：春季，干旱发生频率较高（大于 35%）的地区位于金沙江奔子栏～石鼓、向寸区间、岷沱江下游、涪江下游、三峡区间下段附近，干旱频率较低的地区（小于 25%）主要位于金沙江下游、岷江上游、嘉陵江上游、赤水河上游、乌江中游等地附近。雨涝发生频率较高（大于 35%）的地区主要位于雅砻江、岷江中游、嘉陵江上游、渠江、乌江上游、宜宾附近，雨涝频率较低（小于 25%）的地区主要位于金沙江下游、三峡上段附近；夏季，干旱发生频率较高（大于 35%）的地区主要位于沱江下游、嘉陵江中游、乌江附近，干旱频率较低（小于 25%）的地区主要位于金沙江上游、向寸区间南部、嘉陵江上游附近。雨涝发生频率较高（大于 35%）的地区主要位于金沙江奔子栏和石鼓附近、雅砻江上游、岷江下游、乌江下游、渠江东部附近，雨涝频率较低（小于 25%）的地区主要位于金沙江下游，嘉陵江上游附近地区；秋季，干旱频率较高（大于 35%）的地区主要位于金沙江下游、嘉陵江上游、乌江上游、宜宾附近地区，干旱频率较低（小于 25%）的地区主要位于金沙江巴塘～奔子栏区间、渠江、乌江干流西部附近地区。雨涝频率较高（大于 35%）的地区主要位于金沙江上游、嘉陵江上游、乌江上游、宜宾附近，雨涝频率较低（小于 25%）的地区主要位于金沙江中下游、雅砻江中下游、岷江上游、嘉陵江中游、三峡区间上段等地区附近；冬季，干旱频率较高（大于 35%）的地区主要位于金沙江干流、向寸区间、嘉陵江上游、乌江干流附近，干旱频率较低（小于 25%）的地区主要位于雅砻江中游、赤水河东部附近。雨涝频率较高（大于 35%）的地区主要位于金沙江石鼓～梨园区间、龙街～乌东德区间、雅砻江上游、岷江干流、沱江下游、嘉陵江下游附近，雨涝频率较低（小于 25%）的地区主要位于赤水河东部、渠江上游附近。

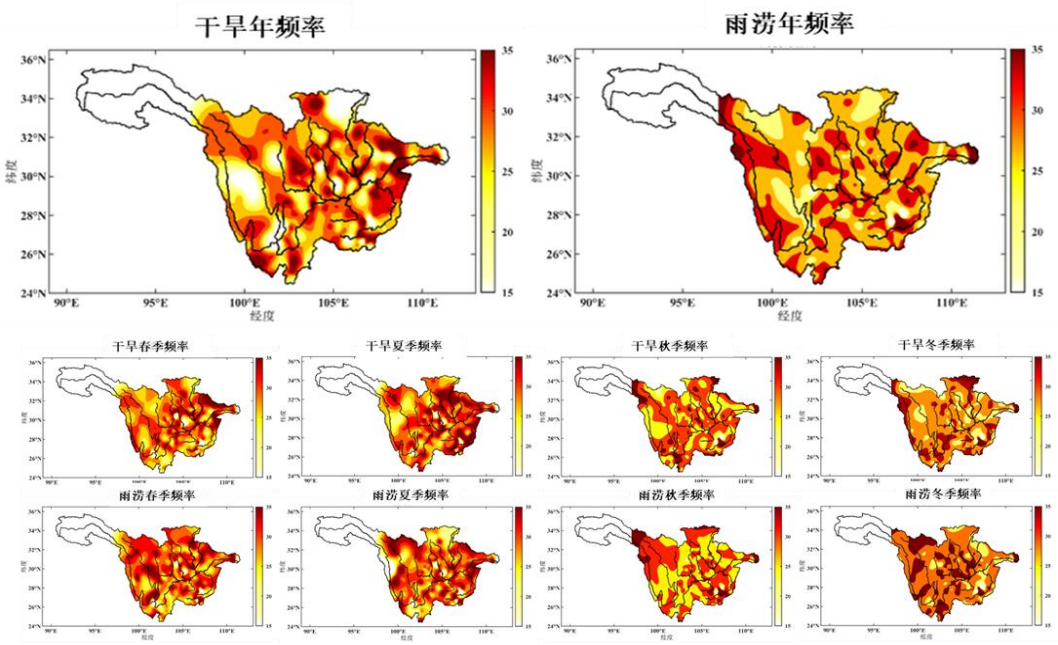


图 6　长江上游年尺度及季节尺度旱涝频率分布

图 7 为 1961～2019 年长江上游 SPI 指数线性变化趋势空间分布，由图可知，长江上游年尺度的旱涝趋势分布为东部趋于旱而西部趋于涝，其中岷沱江下游、向寸区间、乌江上游附近有明显的变旱趋势（通过 95%的显著性检验），金沙江上游、雅砻江上游有明显的变涝趋势（通过 95%的显著性检验）。进一步分析长江上游各季节的旱涝趋势空间分布，可以看到，春季，长江上游东部，主要是乌江流域、嘉陵江流域、及三峡区间有变旱的趋势，但变化并不显著，金沙江、雅砻江、岷沱江流域有大范围的变涝趋势，其中金沙江上游、雅砻江上游、岷沱江上游趋势通过 95%的显著性检验。夏季，雅砻江、大渡河、嘉陵江有变涝的趋势，长江上游其他地区有变旱的趋势，但变化趋势均不显著。秋季，长江上游东部及南部大部地区均有变旱的趋势，长江上游西北部则有变涝的趋势，其中大部分地区的变化趋势并不显著。冬季，沿长江上游干流附近有变旱趋势，其中向寸区间附近变化较为显著，通过 95%的显著性检验，长江上游其他地区则有变涝趋势，其中金沙江下游、乌江上游岷沱江上游变化较为显著，通过 95%的显著性检验。

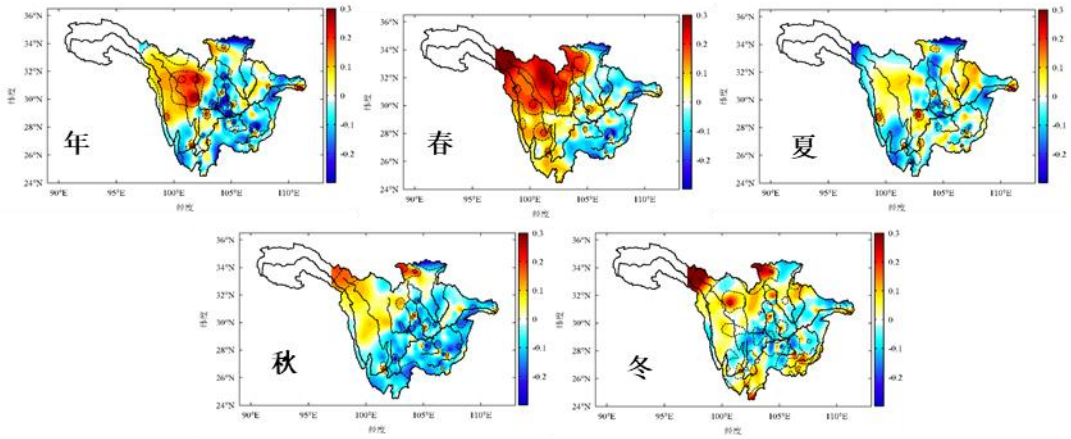


图 7　长江上游 SPI 指数线性变化趋势空间分布（等值线表示通过 95%的显著性检验）

总体而言，各季节旱涝分布均存在显著的空间分布不均匀性，旱涝频率高值区均呈点状的零星分布，大范围一致的旱涝频发区则较为稀少。各季节干旱和雨涝频率具有一定的相似性，通常干旱事件发生频率较高的地方对应的雨涝事件发生频率也较高，这说明这些地区的降雨存在显著的年际波动，出现极大值和极小值的概率都较大。反之，若某个地区的降雨年际变化小，长期保持一个较为稳定的水平，则该地区旱涝事件出现的频率相对较低。各季节之间的旱涝频率分布同样有明显差异，春夏季节旱涝频率高发区更多位于长江上游东部区域，秋冬季节则更多位于长江上游西部区域。此外，近年来长江上游西部趋于涝，而东部南部趋于旱，冬春两季的变化较为明显，而夏秋两季的变化趋势相对较弱。

5 结论

（1）1961-2019 年长江上游流域旱涝事件以轻旱和轻涝为主，中涝和中旱事件次之，重涝和重旱事件则从未出现过。流域各子分区旱涝事件频率分布与流域整体的状况类似，但各分区不同程度的旱涝事件频率较流域整体均有所上升；长江上游流域干旱事件多出现在秋冬季节，雨涝事件则多出现在春季和冬季，各分区中旱涝事件在各季节均有发生，分区之间旱涝发生季节差异显著，且各分区中涝年略多于旱年。

（2）长江上游月、季尺度 SPI 指数震荡波动频繁，尤以月尺度最为明显，流域内 60 年代以涝为主，70 年代前中期旱涝交替、后期旱涝不明显，80 年代前期偏涝后期略偏旱，90 年代前中期以偏旱为主，90 年代末转为偏涝，00 年代以偏旱为主，近年又转为偏涝。长江上游干旱和雨涝强度的年际变化基本呈现反位相，而长江上游旱涝范围与旱涝强度之间则呈正位相变化，不同范围的旱涝事件发生次数有所不同，全区域性的干旱和雨涝事件发生次数相当，区域性涝多于旱、部分性和局地性则是旱多于涝。

（3）长江上游各季节旱涝分布均存在显著的空间不均匀性，旱涝频率高值区多呈点状的零星分布，大范围一致的旱涝频发区较为稀少。春夏季节旱涝频率高发区更多位于长江上游东部区域，特别是岷沱江中下游、嘉陵江中下游、乌江、及三峡万宜区间附近地区；秋冬季节旱涝事件则更多发生于长江上游西部区域，重点是金沙江、雅砻江、岷沱江、嘉陵江上游附近地区。此外，近年来长江上游西部趋于涝，而东部南部趋于旱，冬春两季的变化较为明显，而夏秋两季的变化趋势相对较弱。

参考文献

[1] SHEFFIELD J, WOOD E F, RODERICK M L. Little change in global drought over the past 60 years [J]. Nature, 2012,491: 435-437.

[2] Li J, Zhang Q, Chen Y D, et al. GCMs-based spatiotemporal evolution of climate extremes during the 21st century in China. Journal of Geophysical Research, 2013, 118(19): 11017-11035.

[3] 方一平，朱冉．推进长江经济带上游地区高质量发展的战略思考[J]．中国科学院院刊,2020,35(08):988-999.

[4] 贺晓婧,荣艳淑.长江流域上游干旱特征分析[J].水电能源科学,2020,38(01):1-4.

[5] 洪兴骏,郭生练.长江上游水文干旱评估及其不确定性分析[J].中国防汛抗旱,2018,28(10):14-20.

[6] 许继军,杨大文.基于分布式水文模拟的干旱评估预报模型研究[J].水利学报,2010,41(06):739-747.

[7] 王乐,邢雯慧.1960-2017 年来长江流域暴雨特征分析[J].中国农村水利水电,2019(09):14-21.
[8] 张洪刚,郭海晋,欧应钧.长江流域洪水地区组成与遭遇规律研究[J].人民长江,2013,44(10):62-65+87.
[9] 刘志雄,肖莺.长江上游旱涝指标及其变化特征分析[J].长江流域资源与环境,2012,21(03):310-314.
[10] 李跃清.1998 年青藏高原东侧边界层风场与长江暴雨洪水的关系[J].大气科学,2000(05):641-648.
[11] 李常德,王磊,李晓霞,等.基于 SPI 指数的黄土高原区域旱涝特征分析[J].暴雨灾害,2020,39(05):524-531.
[12] 唐敏,张勃,张耀宗,等.基于 SPEI 和 SPI 指数的青海省东部农业区春夏气象干旱特征的评估[J].自然资源学报,2017,32(06):1029-1042.
[13] 黄晚华,杨晓光,李茂松,等.基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58a 演变特征[J].农业工程学报,2010,26(07):50-59.

物联网技术在密云水库水文遥测站改造中的应用

张志强[1]　潘轲旻[1]　戴烨军[1]　马　骁[1]　聂明杰[2]

（北京市密云水库管理处，北京 101512；2.北京市水利自动化研究所，北京 100036）

摘要：密云水库流域水文遥测对安全度汛起到重要作用，密云水库雨水情遥测系统始建于 2004 年，近年来由于设备老化等问题，需要升级改造保障水情信息采集的稳定性。在此背景下，基于物联网技术、移动通讯和北斗卫星通讯技术对密云水库水文遥测站进行了改造，提出了物联网与水文遥测系统的融合技术实现方案，解决了在新形势下水文遥测系统升级改造的问题。

关键词：物联网；水文遥测；移动通讯；北斗卫星通讯

Application of Internet of Things Technology in the Reconstruction of Miyun Reservoir Hydrometric telemetry Station

Zhang Zhiqiang[1]　Pan Kemin[1]　Dai Yejun[1]　Ma Xiao[1]　Nie Mingjie[2]

(1.Beijing Miyun Reservoir Management Office，Beijing101512；2.Beijing research institute of water affair automation, Beijing100036)

Abstract: The hydrological telemetry in the Miyun Reservoir watershed plays an important role in the flood season safety work of the Miyun Reservoir. The Miyun Reservoir Rainwater Telemetry System was established in 2004. In recent years, due to equipment aging and other problems, it needs to be upgraded to ensure the stability of the hydrological information collection. Under this background, based on the Internet of Things technology, mobile communication and Beidou satellite communication technology, the hydrological telemetry station of Miyun Reservoir was upgraded, and a solution for the fusion technology of the Internet of Things and the hydrological telemetry system was proposed to solve the problem of hydrological telemetry system upgrading under the new situation.

Keywords: Internet of Things; Hydrometric telemetry; Mobile communications; Beidou satellite communication technology

1　密云水库雨水情遥测系统概况

1.1　站网分布

密云水库是首都唯一地表饮用水源地，在首都水源安全保障中起着关键性作用，因此，“保安全、多蓄水”的目标对密云水库防汛工作提出了更高的要求。北京市密云水库管理处

于2004年开始建设雨水情遥测系统并于2014年进行改造，建成信息采集网络涵盖雨量、水位等信息，包括1个中心站（白河）、40个遥测站（其中32个为雨量采集站，8个为雨量、水位采集站），站网主要分布密云水库上游的河北省张家口、承德山区，其他分布在北京市密云区、延庆区等，站点分散、各站相距较远。通过采集上游来水区域的实时降雨量和水位数据，为水库防汛业务的决策、调度等工作提供有效的数据依据。

1.2 系统功能

密云水库雨水情遥测系统是典型的水文遥测系统，主要包括数据采集、接收、存储、信息应用四部分功能。

1.2.1 数据采集

遥测站实现雨量、水位数据的自动采集。以GSM通信为主信道，海事卫星通信为备用信道上报采集数据。

1.2.2 数据接收

管理处中心实时接收遥测站上报的雨量、水位数据，并通过报文解析功能提取出本系统所需的数据。

1.2.3 数据存储

管理处中心存储遥测站上传的各种自动数据，实现雨水情遥测数据的存储、管理和应用。

1.2.4 信息应用

管理处中心实现各类雨水情遥测信息的实时展示和历史数据查询。

1.3 改造必要性

雨水情遥测系统的信息采集站点通过GSM通信和海事卫星将采集信息传输到处中心，其中GSM通信为主信道，海事卫星通信为备用信道。由于海事卫星通信传输不稳定且设备供应商保障能力不足等原因，该通信方式已经完全停用，不能满足系统的正常运行。近几年，特大暴雨在北京频频出现，仅靠GSM通信一种通信方式，在发生极端天气情况下，无法保证通信的可靠性，防汛排洪工作的时效性无法得到保证。此外，由于系统建设年代久远部分设备老化损坏，无法支撑系统的正常运行。亟需对密云水库水文遥测部分雨量站进行改造，以保证雨水情遥测系统运行稳定可靠，数据采集正常完整，确保水文遥测部分雨量站的正常运行，为防汛业务提供有效的技术保障手段，提高防汛业务支撑能力和保障能力。

2.1　遥测站改造技术架构

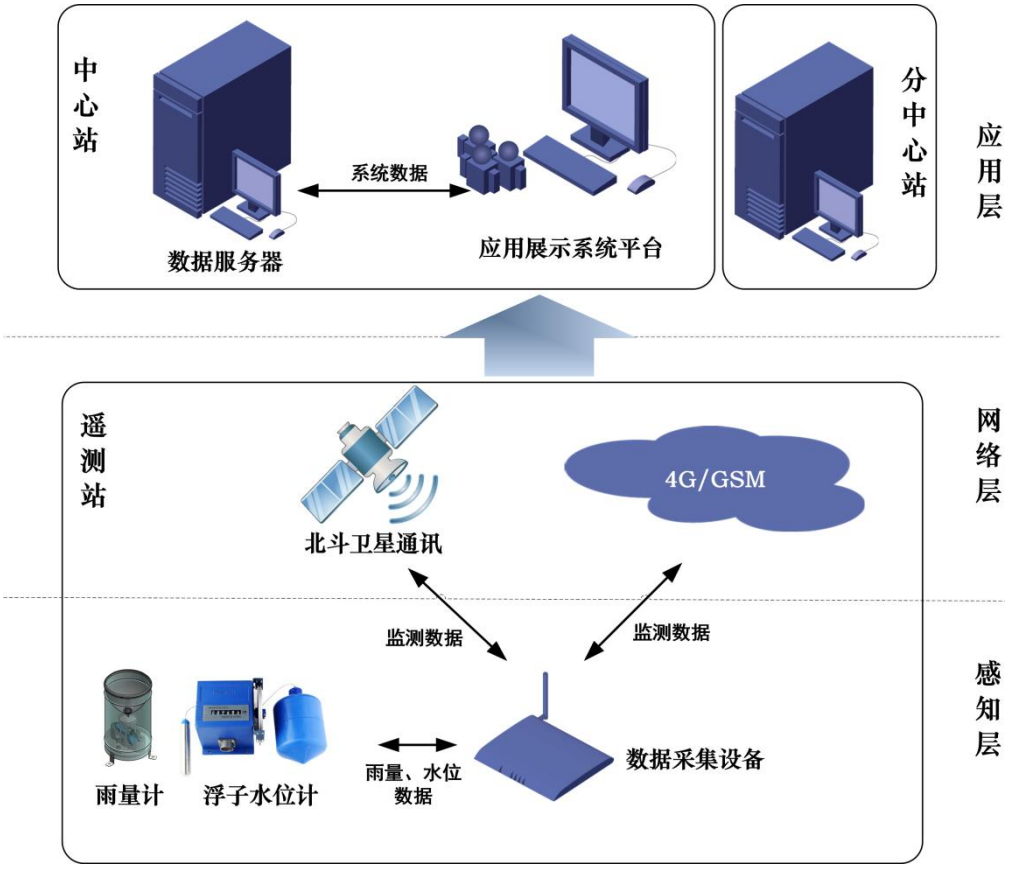


图 1　技术架构图

2　遥测站改造方案

本系统根据物联网架构改造，系统结构可分为感知层、网络层和应用层三部分。

感知层是整个系统的数据基础，负责遥测站前端数据的获取。感知层设备包括雨量计、水位计和物联网感知终端。其中，雨量计、水位计用于感测雨量及水位的变化，同时将雨量、水位信息转换为数字信息量，以满足信息传输、处理等需要。物联网感知终端对雨量计、水位计的数字信息量进行采集，实现遥测站雨水情数据的感知。

网络层是整个系统的中间环节，负责系统的信息传送。网络层包括 4G 通讯、北斗短报文通讯及 GSM 通讯。改造遥测站主信道均为 4G 通讯传输，将采集数据直接发送至管理处中心，备用信道为北斗卫星，现地北斗用户机将物联网感知终端上传的数据发送至管理处中心的北斗指挥型用户机。另外，两个水位站使用短信信道将监测数据发送至原系统的分中心管理站。

应用层承载着用户业务和功能。应用层包括在管理处中心部署采集接收软件，实现接收从现地上传的数据，并进行解析、存储、展示。原系统的分中心管理站仍正常接收两个水位站短信数据。

2.2　物联网感知终端

系统改造采用由北京市水利自动化研究所自主研发的物联网感知终端，该设备已取得发明专利并通过水利部型式检验。

作为改造系统感知层的关键设备，物联网感知终端主要满足两方面要求：

全面透彻感知。可灵活接入各类已有传感器、感测遥测站现场的各类自动信息。如现场雨水情传感器设备无故障，则无需新建传感器和测站基础设施，减少升级改造成本。

可靠稳定传输。首先须满足现阶段的遥测站稳定通讯需求，其次由于物联网及移动通讯技术发展较快，而遥测站需要长期服役运行，需要考虑日后的扩展升级。所以物联网感知终端需要支持主流的各种通讯方式，如 4G、NB-IoT、北斗卫星通讯、GPRS、GSM 等，并支持通讯方式的扩展升级。

2.2.1　原理结构

物联网感知终端硬件结构以 CPU 芯片为核心，配置输入输出模块、时钟模块、存储模块、AD 转换模块、电源模块等。输入输出模块负责与外部设备的连接与通信，其中输入模块包括 RS485、RS232、开关量、模拟量等，输出模块包括 RS485、RS232、RJ45、无线传输模块等。存储模块负责程序和数据的存储，电源模块负责对电源的管理，以实现终端的运行与低功耗待机，其包括电源芯片，DC/DC 模块等。原理结构如下图所示

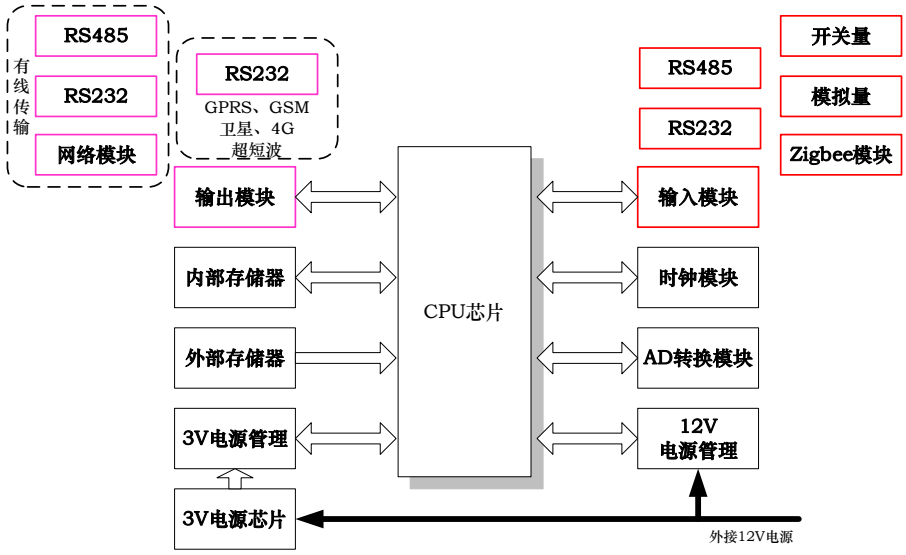


图 2　硬件原理结构设计

2.2.2　逻辑结构

图 3　逻辑结构设计

物联网感知终端的研制从水务应用场景入手，设计硬件接口，用于采集和整合各类水务传感器。

物联网感知终端系列产品根据不同水务应用场景的性能需求完成 CPU 选型。MSP430 芯片对应超低功耗遥测应用；Cortex-M³ 芯片对应性能和功耗平衡的在线监测应用；ARM9 芯片对应高性能的物联网组网和大数据量处理的水务应用。以 CPU 为核心完成硬件电路的驱动层设计后，根据水务应用需求，完成产品应用程序设计，实现数据采集、存储、4G/GPRS/GSM/NB-IoT、以太网、无线自组网等功能。

2.2.3 CPU 芯片选型

物联网网关、遥测终端机和物联网节点的 CPU 芯片侧重点不同，网关的 CPU 突出高处理能力和较快的响应速度，遥测终端机突出低功耗和简单的计算能力，节点突出微功耗和存储，因此在芯片选型上按照突出重点、兼顾性价比的原则进行，3 种终端的 CPU 选型及性能指标如下表所示。

表 1 物联网感知终端芯片选型表

物联网感知终端	CPU	主频	存储（RAM）	静态功耗
物联网网关	ARM9	400MHz	1GB	45mA
水文遥测	ARM cortex-m³	100MHz	32MB	3mA
物联网节点	MSP430	25MHz	32MB	500μA

2.2.4 接口

物联网感知终端硬件接口包括数字量输入输出、模拟量输入、串行通信口等，下面以数字量输入为例阐述接口设计。接口设计电路原理示意图如下：

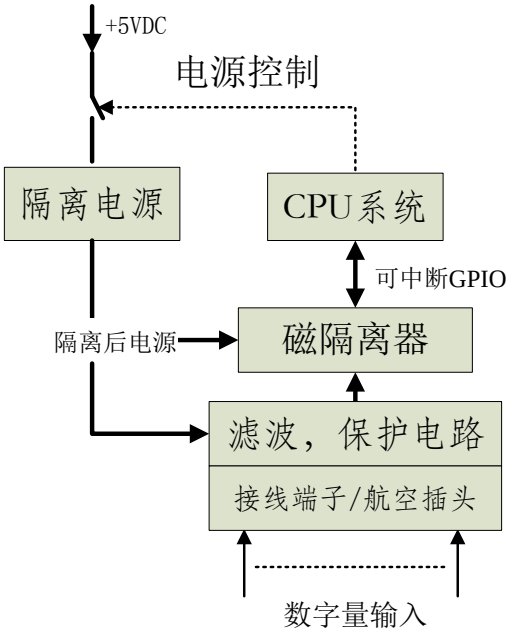


图 4 数字量输入原理图

根据水文遥测站野外环境特点设计以下几点：

电源隔离采用 2500V 隔离电压的隔离电源

信号隔离采用磁隔离器，隔离电压为 2500V。

输入连接到 CPU 上具有中断功能的 GPIO。

DI 输入部分增加滤波和保护电路，提高系统的安全性和可靠性。

2.2.5　电源

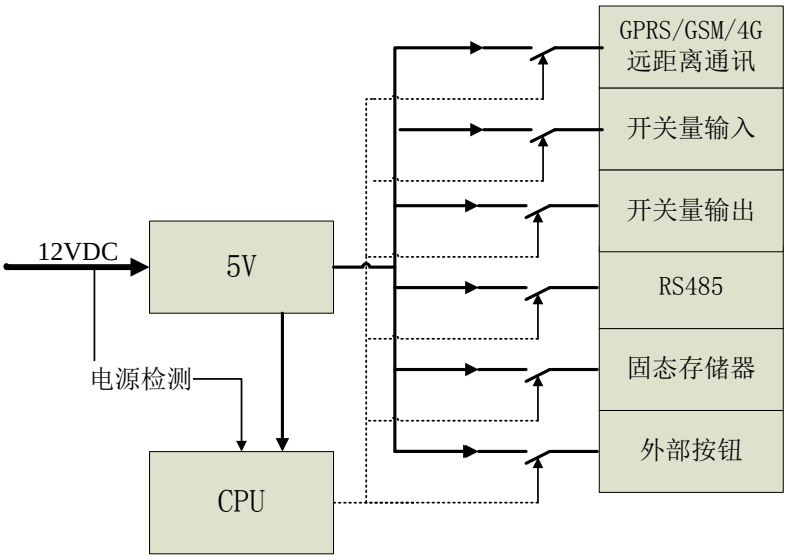


图 5　电源设计原理图

根据水文遥测站的设备低功耗需求，设计以下几点：

为了实现系统的低功耗运行，外围各个部件的电源都设置了独立的电路开关，根据需要由应用程序通过 CPU 的 GPIO 控制相应的开关来实现供电。

系统运行需要的电压由高效率的 DC/DC 转换得到，共有以下几种：+5VDC，+3.3VDC。

系统输入电源电压由 CPU 自带的 ADC 来测量。

2.2.6　存储

固态存储可支持 SD 卡，板载 FLASH，USB 存储器三种，SD 卡和 USB 的容量可根据需要选配。板载 FLASH 容量则结合终端 CPU 来匹配，采用板载 FLASH 的方式可以提高固态存储器的可靠性，并可以降低终端硬件成本。

2.2.7　终端嵌入式软件

物联网感知终端采用模块化程序，通过调用采集程序库、通信协议库以及配置库，定制终端嵌入式程序，实现不同场景下水务参数的采集、存储、上传，以及远程的终端配置，模块化的调用大大减少了开发周期，同时采集库、通信协议库以及配置库的多次应用和优化也大大提高终端程序的稳定性。终端嵌入式软件结构如下图所示：

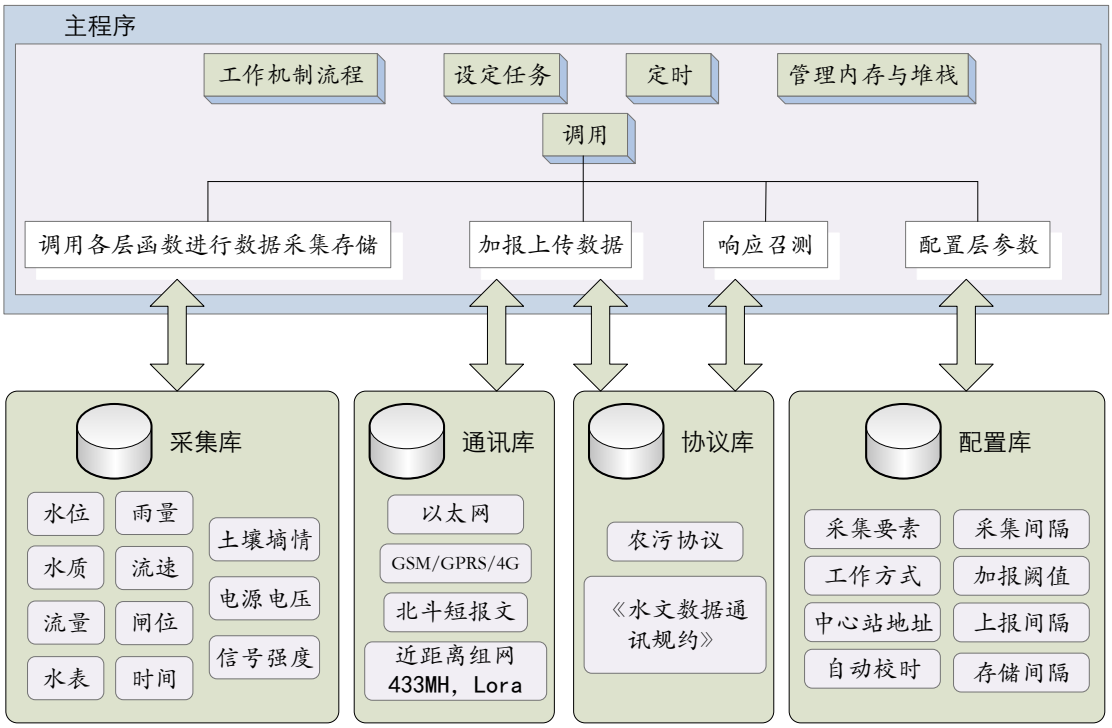


图 6　终端嵌入式软件结构

系统改造通过物联网感知终端连接现场已有传感器，实现感知层的数据采集，并通过物联网感知终端的内置 4G 通讯模块和外联的北斗用户机等设备，实现雨水情遥测数据传输。实现了遥测站雨量、水位数据的自动采集，并以 4G 通信为主信道，北斗卫星通信为备用信道上报采集数据。

2.3　通讯链路选择

改造遥测站实时数据通过 4G/北斗卫星实现数据的远程传输。4G 为主信道，北斗卫星为备用信道，当主信道无法通讯时，遥测站将信道自动切换为北斗卫星通讯发送数据。

4G 移动通讯信道，具有通讯费用低、数据容量大、通讯延时低等优点，能够满足一般情况下的系统数据传输需求。

作为备用信道，北斗卫星通讯在水文遥测领域应用效果良好，在山洪等地质灾害发生、移动通讯网络遭到破坏时能够完成报送数据，保障水文遥测站数据的可靠传输。

4G+北斗卫星通讯满足了雨水情遥测传输中功耗、信号覆盖能力、通讯费用、网络安全、通讯系统健壮性的综合需求。

2.4　供电系统配置

按照《SL61-2015 水文自动测报系统技术规范》的要求，电源设计根据日照条件和连续阴雨天数进行太阳能板和蓄电池的容量设计。根据北京市的日照条件，非阴雨天日照时间按照 6h/天，连续阴雨天按照 7 天计算。密云水库水文遥测站采用太阳能供电，由于改造过程中遥测站设备配置改变，需要对供电系统配置重新计算。太阳能蓄电池容量计算公式：

$$B = I \times H \times N / (C \times P) \quad (1\text{-}1)$$

公式（1-1）中

I为负载电流；

H为供电时间；

N为最长连续阴雨天数；

C为蓄电池放电深度，一般取 0.7；

P为电源转化效率

经过计算，当系统采用 4G 传输，可连续工作大于 10 个连续阴雨天；当系统采用北斗卫星传输，发送北斗信号时，可连续工作大于 9 个连续阴雨天。原遥测系统中的采用的 20Wp 太阳能电池板和 12V38AH 铅酸蓄电池可以支持改造系统在汛期连续阴雨天和极端天气条件下的长期稳定供电，满足水文遥测站工作需求。

3 系统改造与运行情况

2018 年至 2020 年，密云水库雨水情遥测站改造共分三期项目完成，为保证改造项目不影响汛期业务工作，在非汛期完成改造任务。改造后，遥测站设备运行正常、数据采集传输稳定，增强了雨水情遥测系统的健壮性，为防汛业务提供了有效的技术保障手段，有力支撑了密云水库防汛业务工作。

4 结论

随着水务精细化管理对信息采集要求的不断提高，物联网技术已经逐渐成为有效的支撑手段。基于物联网技术、移动通讯和北斗卫星通讯技术对密云水库水文遥测雨量站进行了改造,数据采集效果满足水文规范和实际应用需求。本文适应新时期下物联网、卫星通讯技术发展趋势，提出了物联网与水文遥测系统的融合技术实现方案，能够解决新形势下水文遥测系统升级改造问题，降低升级改造的难度和实施成本，取得良好的经济社会效益。

参考文献

[1] 孙其博，刘杰，黎羴，范春晓，孙娟娟。物联网:概念、架构与关键技术研究综述[J].北京邮电大学学报，2010.6，33(3)：1-9.

[2] 刘强，崔莉，陈海明。物联网关键技术与应用[J].计算机科学，2010，37(6)：1-10.

[3] 钱志鸿，王义君。物联网技术与应用研究[J].电子学报，2012(5)：1023-1029.

[4] 王保云。物联网技术研究综述，电子测量与仪器学报[J].2009(12)：1-6.

[5] 李建功，王健全，王晶等。物联网关键技术与应用[M].北京：机械工业出版社，2006：61-120.

[6] 李晓梅，雷健，贾陆璐。水务物联网感知终端的研制[J].物联网技术，2014(4)：21-25.

基于知识图谱生成水工程联合调度方案的技术研究

陈　胜[1,2]　　刘业森[1,2]　　赵丽平[1,2]

（1.中国水利水电科学研究院，北京 100038；2.水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心，北京 100038）

摘要：知识图谱作为一类可推理的信息，是人工智能技术的一部分，近年来在不同领域有着程度不同的应用。针对行业应用构建的知识图谱为领域知识图谱，水利行业的领域知识图谱其内涵能够表达水利工程对象的属性、关系，可根据水利领域的内涵进行知识的检索、推理和应用。水工程联合调度是在特定的条件下对相关可控制的水工程进行调度，形成防洪、航运、水生态等综合多方面考虑最优化的调度方案。水工程联合调度涉及的工程、保护对象、调度规程等，涉及对象众多且关系复杂，人工方法构建水工程联合调度方案的工作效率低且容易出错。本文基于知识图谱技术生成水工程联合调度方案生成的应用场景，研究和探索如何应用知识图谱技术支持水工程联合调度方案的自动化生成，同时也探讨了知识图谱在水工程联合调度其他方面的潜在应用前景。

关键词：知识图谱；水工程联合调度；知识推理；调度方案

0　引言

2012 年 11 月，Google 公司率先提出知识图谱（Knowledge Graph）的概念[1]以来，国内外已经建立了多个大规模知识，包括通用知识图谱和行业知识图谱。通用的知识图谱有 FreeBase，DBpedia，YAGO，Wikidata 等，行业知识图谱有 IMDb 电影相关知识图谱，MusicBrainz 音乐相关知识图谱。国内研究的还有开放式的中文知识图谱 Open KG，其定位是促进跨领域的交流，让知识图谱能更多地在垂直行业进行应用。目前知识图谱概念和边界还不是很清晰[2]，比如说知识图谱与本体论的定义既有联系也有区别。但不可否认的是，知识图谱是当前研究的热点，知识图谱在语义搜索、智能问题、决策支持等领域有着越来越广泛的应用。本文以水工程联合调度方案生成为切入点，研究知识图谱在水利行业的应用技术。

水工程联合调度是综合利用流域内的水库、闸门、蓄滞洪区等各类水利工程，从而达到防洪、水量、生态、航运等综合运用的最优效果。水工程联合调度的计算是个复杂的过程，构建水工程联合调度方案同样也是个复杂的过程，以长江流域为例其参与防洪、水量调度的节点就有 217 个节点[3]，要考虑的水利工程对象包括水库断面、河道断面、河流、河流交汇点、产汇流区间及相关雨量站等，以及库容曲线、水位泄量关系曲线、调度规程等属性信息和调度控制规则。传统的人工方法构建水工程联合调度方案不仅费时费力，还容易因为人为的因素产生错误；另外在应急防洪期间往往需要根据场景的需要快速构建水工程联合调度方案，这对于人工方法就更加具有挑战性。因而本文研究将水工程联合调度所需信息建设领域专题知识图谱，并利用知识图谱的知识推理能力来获取所需信息并自动生成水工程联合调度方案，这种方式生成水工程联合调度方案不仅速度快，而且也不会产生人为因素的错误。

知识图谱应用到水工程联合调度方案生成的研究内容包括知识表示、知识建模、知识抽取、知识融合、知识存储、知识检索和知识推理等[4]。知识表示（Knowledge Representation）是研究以最恰当的数据结构来表达相关知识,知识图谱通常是以网络和图的结构来表示三元组中的元素，网络和图中的节点表示实体，节点之间的边表示不同实体之间的关系[5]。知识建模需要具有丰富的行业知识，水利行业领域知识图谱的建模技术研究还比较少，冯钧等在水利信息知识图谱的构建与应用[6]研究中，针对水利行业提出概念层和实例层的定义，该研究为知识图谱在水利行业的应用奠定了一定的理论基础。知识抽取[7]（Knowledge Extraction）和知识融合[8]（Knowledge Fusion）是知识图谱是大样本环境下生成和更新知识图谱的重要手段，可以基于人工智能技术来进行知识图谱的抽取，但是在水利行业的水工程联合调度方案构建的应用领域还没有足够的样本，本文通过人工方法进行领域知识图谱的录入。知识推理（Knowledge Inference）是利用推理策略获取知识和求解问题的过程[9,10]，本文研究的水工程联合调度方案生成过程就是知识推理过程，特定的应用领域根据领域知识图谱的特点需要采用不同的推理策略。

1　知识图谱应用技术研究

知识图谱的应用包括一系列相关的技术，包括知识图谱的构建、存储、推理和应用等。不同领域的知识图谱的知识表示、知识存储和知识推理等方面可以采用相同的方法，但知识图谱概念模型的设计、知识推理策略和知识图谱应用等方面不同领域往往具有各自的特点。本文以水工程联合调度方案生成为例，重点介绍专题知识图谱的构建、推理方法和应用方法。

1.1　专题知识图谱构建及存储

知识图谱技术应用到水工程联合调度方案生成之前需要构建该领域的知识图谱，这种用于特定业务领域的知识图谱我们称之为专题知识图谱或领域知识图谱。水工程联合方案生成专题知识图谱的构建范围为构建方案所需的一切信息，如调度节点、调度目标、调度规程等信息，以及相关的外延信息。随着人们对领域的理解程度或应用范围的扩大知识图谱的构建范围也会扩大，本文是在现有的理解基础上进行水工程联合调度专题知识图谱的构建。专题知识图谱构建需要研究的几个问题分别是知识表示、知识建模和知识存储。

知识表示是一种对信息的描述或一组约定，从而形成一种计算机可以接受的用于描述知识的数据结构。知识表示方法有逻辑表示法、产生式表示法、框架表示法、面向对象表示方法、基于 XML 表示法和本体表示法等。如 RDF（Resource Description Framework）即资源描述框架，是一种框架表示法，RDF 由节点和边组成三元组，节点表示实体（资源）、属性，边则表示了实体和实体之间的关系以及实体和属性的关系。通过 RDF 即可表达知识，可以表达水工程联合调度系统中涉及水库、河道工程和相关属性，以及工程节点之间的关系，形成相关知识图谱库。

确定一种知识表示方法后需要进行知识建模，知识建模分为概念模型和物理模型的建模。水工程联合调度的概念模型构建首先需要分析水工程联合调度的业务模型，分析调度节点、调度目标、调度规程等业务对象及相互作用关系，形成领域业务模型。如考虑水工程联合调度的

方案生成所需的知识，则需要考虑流域内的工程对象、属性及关系。工程对象包括水库断面、河道断面、河流、河流交汇点、产汇流区间及相关雨量站等；不同的工程对象具有不同的属性信息，如水库工程涉及库容曲线、水位泄量关系、关联汇流区间信息等属性信息；汇流区间则有关联预报模型、流域面积等属性。工程对象之间的拓扑关系包括产汇流关系，河道连接关系、入流与泄流关系等相互关系。概念模型需要富有经验领域专家来设计，一次设计完成可以长期使用。以流域调度方案生成所需知识为例，形成的概念模型如下图（图 1）所示。

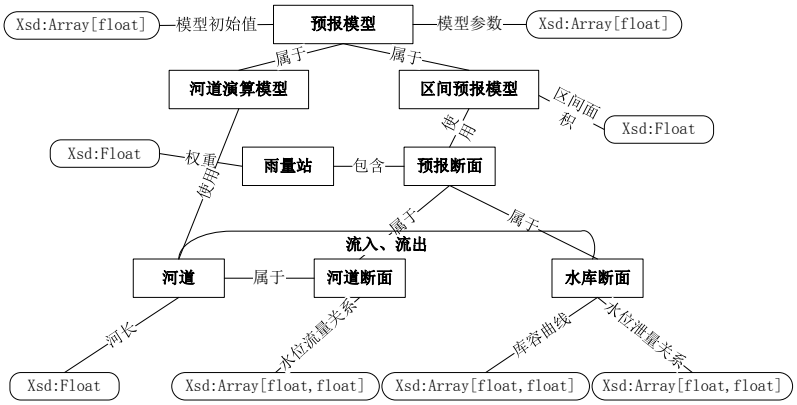


图 1　概念模型示例

概念模型是物理模型构建的依据和约束，也是知识推理及应用的依据。物理模型则是存储实际对象，对象属性和关系的专题知识图谱数据库。物理模型需要通过知识抽取和知识融合技术来形成。知识抽取根据定义的概念模型从前期准备数据源中进行知识抽取，包括属性抽取、关系抽取和实体抽取。大型的知识图谱需要通过计算机来自动化抽取知识图谱，实体抽取的方法有基于规则的方法、基于统计模型的方法和基于深度学习的方法等。关系抽取则有基于模板的方法、基于监督学习的方法等。知识融合是通过高层次的知识组织，使来自不同知识源的知识在同一框架规范下通过异构数据的整合纵向、消歧、加工、推理验证、更新等步骤，达到数据、信息、方法的融合，形成高质量的知识图谱库。通过知识抽取方法形成知识图谱，需要具有丰富的数据基础和构建相关的算法，对于大型知识图谱的构建十分必要。对于小型的知识图谱，在数据条件有限的情况下，则需要通过富有经验的专家手工构建。以安徽省淠河的水工程联合调度为例，其形成的物理知识图谱（部分）示例如下图（图 2）所示。

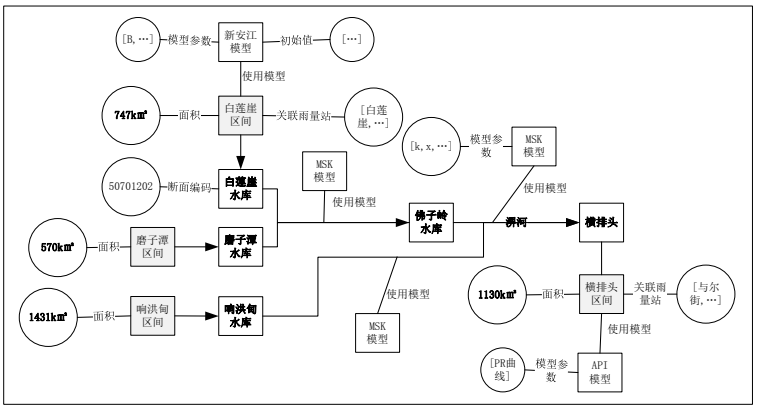


图 2　淠河流域知识图谱（部分）示例

构建的知识图谱物理模型需要存储起来，存储的形式可以是 XML、JSON 或图数据库等形式。考虑到实际应用的高效、简便，一般以图数据库形式存储，常用的图数据库有 Neo4j、FlockDB、GraphDB 等，本文研究选用了 Neo4j。Neo4j 是一个流行的、开源得图形数据库，基于 Neo4j 的应用不用关心知识图谱表示方法、存储方法。存储的知识图谱随着时间的变化，当实体、属性及关系发生变化时需要对知识图谱变化的部分进行更新。

1.2　知识检索与知识推理方法

知识图谱的应用是通过知识检索来实现的，可以通过基于模板、基于语义分析和深度学习等几种方法进行知识检索。对于较为复杂的知识获取，则需要通过知识推理来实现，知识推理是指在知识表示的基础上进行问题分析、解答的过程，即根据一个或者一些已知条件得到结论的过程。知识推理可以说是知识图谱技术中最为人工智能的技术，知识推理具体任务可分为可满足性(satisfiability)、分类(classification)、实例化(materialization)。概念可满足性即检查某一概念的可满足性，即检查是否具有模型，使得针对该概念的解释不是空集，比如判断在滨河流域佛子岭水库上游是否有可控制水利工程，即既要是在佛子岭水库上游，又要是可控制工程，结果不为空集，即可满足。分类是计算概念的包含关系，如判断白莲崖水库是否是可调度工程，则判断白莲崖水库是否属于水库、水闸、泵站的一类，因为水库、水闸、泵站都是可调度工程，白莲崖水库属于水库，所以白莲崖水库是可调度工程。实例化即计算属于某个概念或关系的所有实例的集合。以计算关系为例，在滨河流域，佛子岭水库是横排头水库的上游，而白莲崖水库和磨子潭水库在佛子岭水库的上游，所以白莲崖水库和磨子潭水库也在横排头的上游。

知识推理的方法包括语义推理、间接推理、基于规则引擎的推理、基于表示学习的推理和基于图计算的推理等。其中语义推理和图计算较为常用，语义推理(Semantic Reasoning)指的是依据词项之间的语义关系而进行的推理，是不同于依赖特定语境的语义推理。基于图计算的推理是以图论或者以图为基础建立模型来解决知识推理问题，即基于图之间的关系的特征构建分类器进行知识推理。知识检索和知识推理是获取水工程联合调度方案生成所需信息的工具，本文研究的知识图谱存储在 Neo4j 图数据库中，其查询语言 Cypher 支持知识的检索和推理，通过程序接口语言（如 java）的调用可实现水工程联合调度方案生成所需信息的检索和推理，所以实际应用时用户无须关注具体的知识推理的原理及实现。

1.3　调度方案智能化生成应用

传统水工程联合调度方案的制定是通过人工方式来组织工程对象之间的拓扑关系，以及设置各个对象的工程属性和调度规则。制定方案人员需要具备丰富的专业知识，并且对流域情况熟悉掌握。构建水工程联合调度方案是一件费时、费力且容易产生错误的工作。基于专题知识图谱的水工程联合调度方案构建根据知识图谱对相关工程对象和拓扑关系进行知识检索或知识推理，提取构建河水工程联合调度方案的相关工程、工程属性和相互关系等必要信息，按照水工程联合调度方案数据格式和存储方式需要生成相应水工程联合调度方案。相对于传统的人工方法构建水工程联合调度方案该方法更加高效、准确，通过该方法生成水工程联合调度方案也不需要每个方案构建人员非常熟悉方案构建区域的各类工程特点和水文特点。

基于专题知识图谱构建水工程联合调度方案也可以根据当前应急防洪的需要灵活多变，比如用户关心佛子岭以上区间的调度，则可以要求系统“构建佛子岭以上的调度方案”；用户希望研究佛子岭水库的调蓄作用，可以要求系统“构建考虑佛子岭水库没有建设的情况下的淠河调度方案”。这里涉及到通过 NLP 技术让系统理解用户的自然语言的含义，这是另外一项专门的技术，不是本文研究的内容。假定系统理解了用户的意图，则系统可以根据用户的意图进行知识推理，获取所需信息构建调度方案。以“构建横排头以上的水工程联合调度方案”的要求为例，系统首先使用关系推理得到横排头以上所有调度相关的节点及节点间的相互关系。

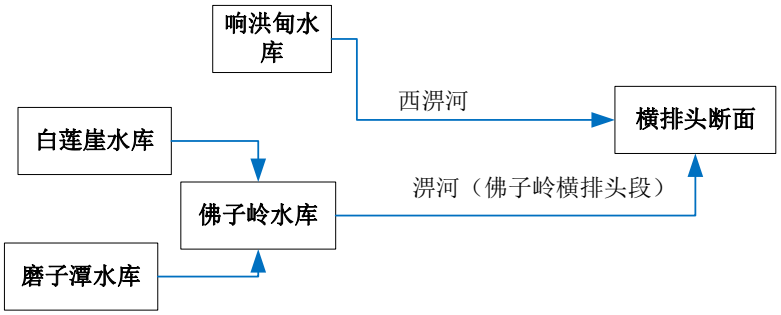


图 3　横排头以上主要工程节点及关系

然后系统判断各个节点和关系的类型（分类），对于水库类型的节点系统从知识图谱中检索其属性值建立水库区间预报模型和相关参数，同时设置水库调洪演算所需模型及参数；对于河道类型的系统则设置河道演算模型和相关参数；对于河道断面类型的系统则设置其汇流区间的预报模型及参数。所有的这些信息按照水工程联合调度方案的格式存储起来就形成所需的“构建横排头以上的水工程联合调度方案”。整个过程由系统通过流域知识图谱和相关知识推理自动完成，对于水工程多，关系复杂的流域来说，根据实际业务需要动态地构建复杂的调度方案尤为有价值。

2　结语

知识图谱如同人类大脑中存在的知识，表达自然界中万物的客观属性及关系，不同于普通的信息知识图谱具有可推理的能力，是人工智能的一部分，未来将有广阔而深刻的应用。本文基于知识图谱研究了水工程联合调度方案生成的应用技术，包括领域知识图谱的构建、知识图谱推理和应用等技术的研究，研究内容已在水工程联合调度系统中得到了初步的应用。同时，知识图谱还可以和对抗学习技术结合，来模拟生成各种组合的洪水场景及相应的水工程联合调度方案，从而模拟尽可能多的洪水场景下的最优调度方案，当实际洪水发生时能够快速匹配对应的洪水场景及最优化水工程联合调度方案。也可以利用知识图谱，对历史洪水调度场景进行知识化存储，并利用数字孪生技术进行推演，得到最优化调度方案，给实际洪水调度提供借鉴。除了在水工程联合调度领域的应用，知识图谱在整个水利行业领域的应用技术还有多个方面有待于进一步研究与探讨。

参考文献

[1] AMIT S. Introducing the Knowledge Graph [EB/OL]. (2012-05-01) [2019-03-15].

http://googleblog.blogspot.pt/2012/05/introducing-knowledge-graph-things-not.html.
[2] 黄恒琪, 于娟, 廖晓,等. 知识图谱研究综述[J]. 计算机系统应用, 2019, v.28(06):3-14.
[3] 金兴平. 对长江流域水工程联合调度与信息化实现的思考[J]. 中国防汛抗旱, 2019, 29(5):12-17.
[4] 冯钧,杭婷婷,陈菊,王云峰,王秉发,张涛.领域知识图谱研究进展及其在水利领域的应用[J].河海大学学报(自然科学版),2021,49(01):26-34.
[5] 翟社平,王书桓,尚定蓉,董苏苏.一种融入实体描述的自适应知识表示模型[J].中文信息学报,2021,35(01):43-53.
[6] 冯钧,徐新,陆佳民.水利信息知识图谱的构建与应用[J].计算机与现代化,2019(09): 35-40.
[7] Chen Chen,Tao Ye,Li Yan,Liu Qiyu,Li Song,Tang Zhong. A structure-function knowledge extraction method for bio-inspired design[J]. Computers in Industry,2021,127.
[8] Wang Lin,Bi Xinhua. Risk assessment of knowledge fusion in an innovation ecosystem based on a GA-BP neural network[J]. Cognitive Systems Research,2021,66.
[9] Zhong Ping,Li Zhanhuai,Chen Qun,Hou Boyi,Ahmed Murtadha. Numerical Markov Logic Network: A Scalable Probabilistic Framework for Hybrid Knowledge Inference[J]. Information,2021,12(3).
[10] Ge Hangli,Peng Xiaohui,Koshizuka Noboru. Applying Knowledge Inference on Event-Conjunction for Automatic Control in Smart Building[J]. Applied Sciences,2021,11(3).

基于无人机超标准洪水应急监测

王　成[1,2]　　钟　良[1,2]

（1.长江勘测规划设计研究有限责任公司，武汉 430010；2.长江空间信息技术工程有限公司（武汉），武汉 430010）

摘要：本文以三峡库区重点库岸段为例，采用遥感与地理信息空间分析技术结合，研究基于无人机超标准洪水监测指标以及监测信息获取方法，构建无人机超标准洪水监测技术体系，快速获取监测范围内高精度的正射影像图和数字高程模型成果，从而有效分析洪灾淹没范围、淹没水深、受灾对象类型及面积等灾情信息，结果表明：基于无人机的超标标准洪水应急监测效率高，信息精确直观、监测手段快速有效，能满足应急监测频率高、成效快的需求，为防汛应急救灾工作提供了有力技术支撑。

关键词：无人机；超标准洪水；应急；监测体系

1　概述

洪涝灾害信息实时、精确、可靠的采集获取与分析处理是洪涝灾害的评估和救灾及灾后重建的基础和依据。近年来，卫星遥感、无人机航空遥感等非接触式监测技术发展迅猛，在各类灾害监测中的得到了广泛应用。2004 年 7 月，马伦基等人利用无人机遥感监测手段，获取了广西桂平市蒙圩镇洪涝区、退水区、非洪涝区等信息的专题图，开创了无人机对洪涝灾害情况开展遥感监测的先河[1, 2]。

无人机遥感技术相较于卫星遥感和航空遥感，更加方便快捷，响应速度快，生存力强，气候条件和地形适应性强，不受重访周期限制，能实时进行厘米级影像传输，满足应急抢险监测要求[3, 4]。当洪灾发生时，在人力无法到达区域或环境极为复杂的防汛救援现场，可利用无人机开展侦察工作，迅速将现场的视频、音频及图像等数据传输到防汛指挥中心便于管理人员判断和决策[5-7]。

本文围绕超标准洪水监测两项指标-洪水危险性指标和洪灾影响指标，研究如何利用无人机快速获取监测指标关键技术，构建超标准洪水无人机监测体系，并基于三峡库区重点库岸段开展示范应用研究，结果表明基于无人机超标准洪水监测技术能为洪水应急处置提供有力技术支撑。

2　超标准洪水无人机监测体系

2.1　无人机洪灾监测指标

无人机主要用于对局部范围内的监测对象的精细化监测，分为水体和承灾体的监测。其中水体监测主要是获取洪灾发生的淹没范围信息，同时配合地面测量，可获取淹没水位、淹没水深等信息。承灾体的监测指标根据承灾体特性不同有所差别，主要包含承灾体位置、面积和承灾体的过水范围等信息，如图 1 所示。

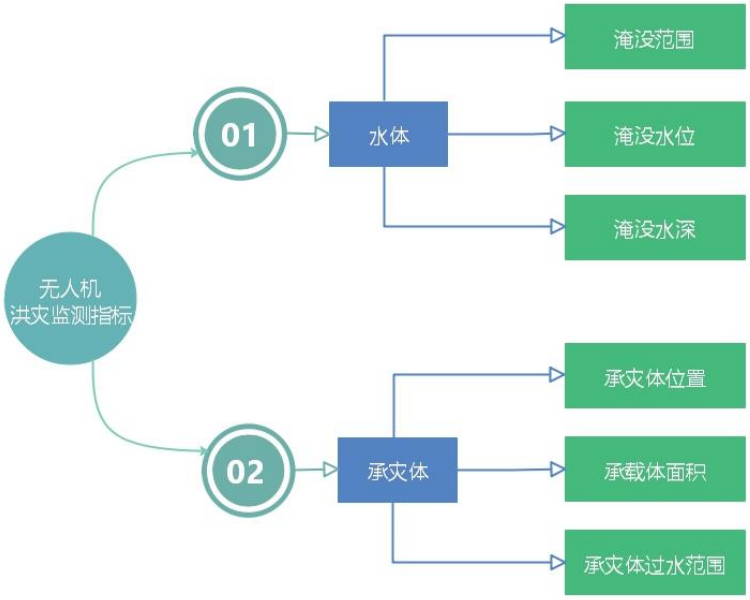


图 1　无人机洪灾监测指标

2.2　超标准洪水监测指标

超标准洪水监测指标分为洪水危险性指标和洪水影响指标两大类，如图 2 所示。

(1)　淹没水深、淹没范围、淹没历时等洪水相关属性；

(2)　受淹房屋面积、受淹耕地面积、受淹工矿企业个数、受淹道路长度。

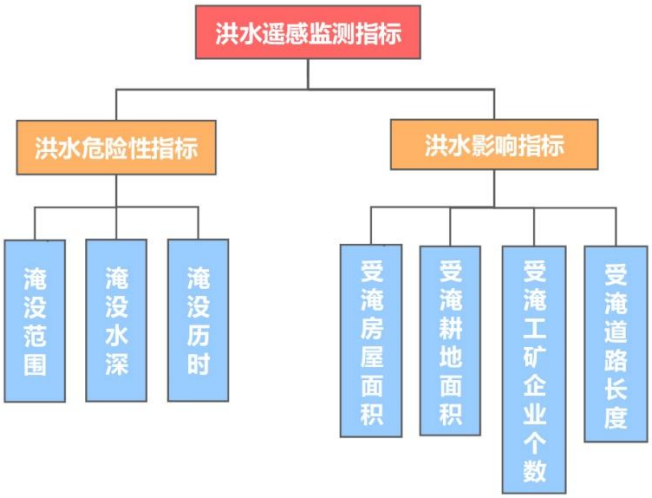


图 2　超标准洪水遥感监测指标

2.2.1　洪水危险性指标

洪水危险性指标包括洪水水位、淹没水深、淹没范围、灾害危害强度[8]。

（1）淹没范围

洪水的淹没范围的是发生洪水时，被洪水淹没在水面以下的受淹范围和区域。目前利用遥感影像监测水体的方法主要有计算机图像识别法、单波段法、多波段法和指数法。从遥感数据源的角度，不同的遥感影像，包括光学影像、微波影像，其水体监测方法也相应地多样化。

（2）淹没水深

除了淹没范围外，淹没水深也是评价洪涝灾害的重要指标之一。通常采用基于高精度的地面数字高程模型数据与采用遥感手段获取实时模拟生成的水面高程数据进行水深计算（见下式）。

$$D=EW-EG（EW\geq EG）$$

式中，E_W为水面高程，E_G为地面高程，D为淹没水深。根据上式，计算水深分布的步骤分为以下几步：

根据超标准洪水期间的影像，通过水体信息提取方法获取洪水水面边界线。

在水边与陆地交界处采集特征点，并根据水面边界区域的 DEM 利用 globalmapper 提取特征点的高程值，也可基于地面测量手段来实测水陆边界点的高程。

将获取的水陆边界线上的特征点的高程利用 GIS 的空间分析功能拟合生成洪水水面高程模型。

然后将洪水水面高程减去数字地面高程，从而得到水深分布。

水面高程的获取有多种方式，如激光测高仪来直接测定或通过水文观测；此两种方法容易受天气条件和仪器自身条件的限制且计算精确度不高。另外，还可以通过水文水力学的模型来模拟计算，该方法的计算量很较大，算法复杂，难以用于实时掌握灾情信息。在作业区域条件允许时，直接用网络 RTK 采集水陆边界的水面瞬时 WGS84 高程，再减去该区域高程异常值可得到水面 1985 高程。作业区域条件不允许时，则需要在观测区域附近用网络 RTK 做高程基准点，采集其 WGS84 高程，通过内业处理将高程值引测得水陆边界水面高程，减去区域高程异常值即可[9]。

（3）淹没历时

淹没历时是指淹没区域的积水时间，在获取水深后，可根据受灾体情况定义相应的临界水深，超过临界水深的时间定义为淹没历时。

2.2.2 洪灾影响指标

超标准洪水遥感监测洪灾影响指标包括洪灾淹没房屋和耕地面积、工矿企业个数、道路长度等[10]。主要通过基于遥感影像的承灾体信息提取。在卫星影像或无人机影像上，通过解译的方法，基于解译标志和经验知识，通过人工或者机器智能识别目标，并提取出目标的分布、结构、类型、面积、长度等指标数据。

2.3 无人机超标准洪水监测技术路线

基于无人机超标准洪水遥感监测方法，首先利用无人机低空航摄技术获取航测数据成果，然后基于无人机航片、pos 数据、像控测量成果等进行空三数据处理，继而生成 DEM、DOM 以及三维倾斜模型，利用遥感解译与空间分析技术，获取监测指标信息，实现无人机超标准洪水监测[11]，如图 3 所示。

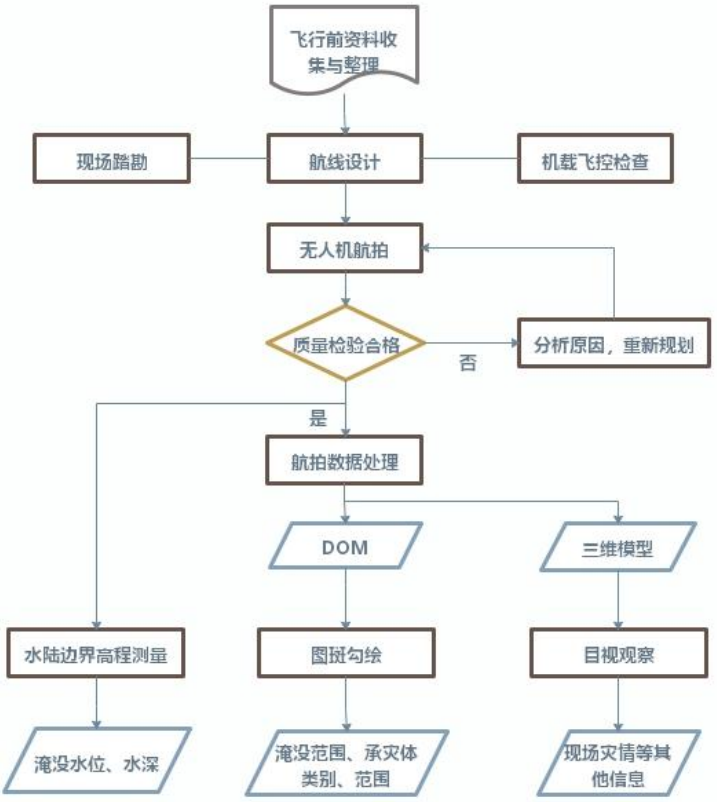


图 3　基于无人机遥感的超标准洪水监测技术路线

2.3.1　无人机航测

无人机航测主要分为现场踏勘、航线设计、无人机航摄、数据检查、像控测量等步骤[12]。

（1）现场踏勘

确认监测区域坐标与监测范围，组织人员进行现场踏勘。

查看测区气候条件，选择能见度好，太阳高度角大于 45 度等好的光照条件的时段飞行[13]。

查看测区周边地理情况，分析地形高度与高差，制定合适的飞行方案；

根据测区地形情况，选择合适的起降场地。在进入测区后了解测区的自然、地理、气候、环境等情况，熟悉测区交通线路，了解测区周围 50 千米范围内有无飞机场及军事基地等敏感区域，确定飞行安全；选择距测区最近的较大面积平坦地区做为无人机起降场地。

（2）航线设计

在飞行器配套的地面站系统中，基于事先收集的测区影像，进行航线设计。将测区的四个角点坐标输入到地面站软件中，然后设置航线的间距和飞行方向，软件可根据参数自动生成航线文件[14]。

（3）起飞前检查

飞行前，在到达起降点时对以下项目进行全面的检查并作记录：

无人机各项指标检查；

航摄仪各项指标检查；

地面数传模块检查；

电池或发动机检查；

（4）无人机航摄

在各项准备工作一切到位后执行飞行任务，在飞行过程中作好各项飞行记录，并监控各项飞行数据是否正常。

（5）数据检查

飞行完成后应结合飞行记录查看影像数据质量情况,检查影像各项参数是否符合要求,并对影像云雾覆盖情况抽样检查。若存在未全部覆盖目标区域或影像模糊严重等问题，则需进行补飞。

（6）像控测量

像控点应根据监测精度、地面分辨率以及地形特点等进行均匀布设，可先在像片结合图上进行航线网和像片控制点点位整体设计，再在模型上进行点位的具体设计。外业根据设计点位进行现场测量，可采用 RTK 测量方法开展像控测量。

2.3.2　数据处理

基于无人机获取的影像和外业实测的像控成果，采用 ContextCapture 或者 Virtuoso3D 等摄影测量系统，进行空三解算。空三成果导出后，通过自动滤波或人工编辑点云数据生成测区 DEM，继而生成 DOM 成果以及三维倾斜模型。

2.3.3　监测信息提取

无人机超标准洪水监测指标主要包括：淹没水位、淹没水深、淹没范围、承灾体类别、承灾体范围、现场灾情等其他信息[15]。监测信息提取方法分为三类：

（1）遥感解译

基于无人机低空航摄处理生成的高精度 DOM 为底图，基于 ArcGIS 采用人机交互方式提取解译目标，获取淹没范围、承灾体面积、承灾体类别等信息。

（2）综合分析

根据高精度 DOM、三维倾斜模型等成果，利用多源数据综合分析现场洪灾情况。

（3）淹没水深计算

基于数字地表模型，量取得到淹没水位；结合洪灾地区历史高程信息，计算得到淹没水深。

3　示范应用

实验区域位于三峡库区重点库岸段，地理位置为东经 107° 23′ 19″，北纬 29° 43′ 14″。正常情况下，三峡库区最高水位线为 175 米，此次超标准洪水监测试验选取 230 米水位线淹没范围为监测范围。

3.1　无人机数据采集

（1）首先对实验区域地形地貌和影像图等资料进行搜集与整理，选择合适的航飞时间和地点，针对研究区域地形地貌，按照地面分辨率 10cm、航向重叠度 80%、旁向 60%的要

求进行航线设计，如图 4 所示。

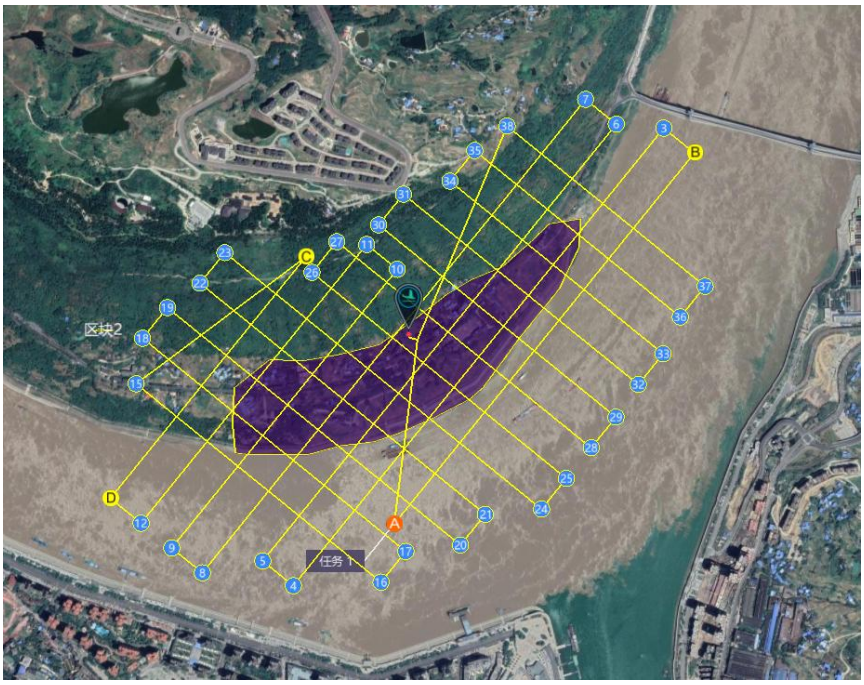


图 4　航线设计图

（2）水陆边界点高程测量

采用 RTK 结合 CORS 系统完成水陆边界点的高程测量。

3.2　数据处理

无人机航行耗时 46 分钟，共采集 328 张影像。采用专业无人机影像处理软件进行监测区域正射影像生产，结果如图 5 所示。采用一般配置电脑，数据处理步骤耗时约 1 小时。

图 5　监测区域正射影像（图中蓝线为 232 米水位线）

3.3　监测信息提取

（1）洪水水体：水面高程为水陆边界采集的水面瞬时 WGS84 高程，再减去该区域高程异常值可得到水面高程值，计算值为 150.18 米（吴淞高程）。与当日水利部门公布的水面

高程值相比，误差 0.24 米。

（2）承灾体：在监测区域 DOM 成果的基础上，进行超标准洪水监测指标的提取。共提取 7 类承灾体，分别为耕地、林地、草地、住宅、道路、公共基础设施、水利工程，结果如图 6 所示。其中，耕地占地面积约 12.4 万平方米，房屋为 2.9 万平方米。

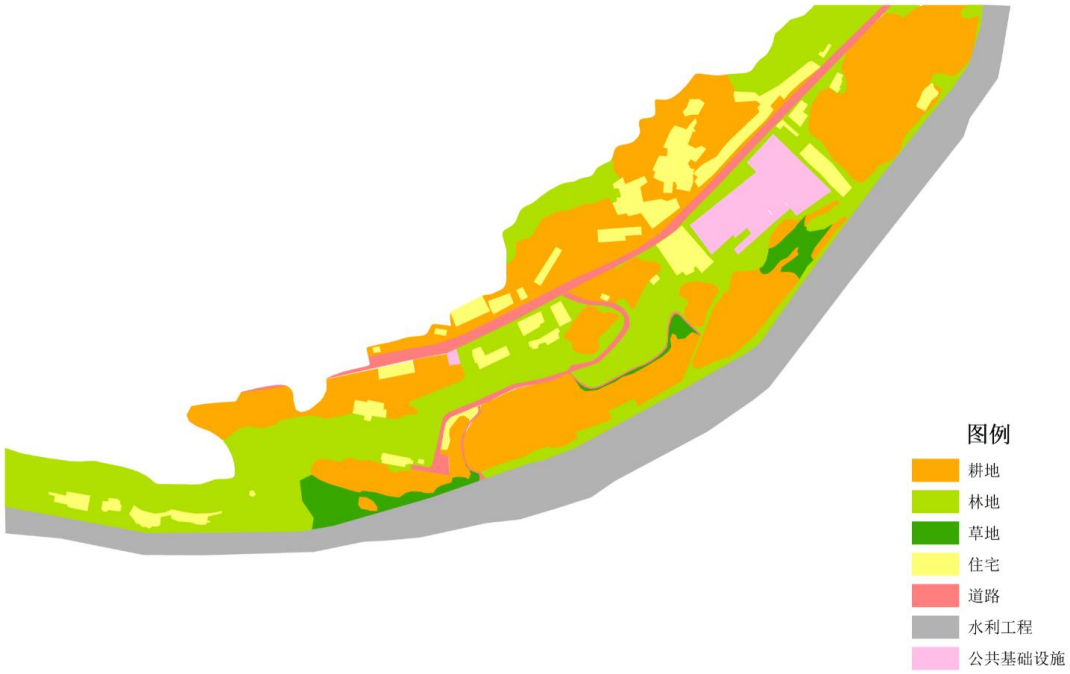


图 6　承灾体提取结果

3.4　试验结果

本次试验对局部区域的超标准洪水开展了无人机监测，针对洪水水体以及承灾体等监测指标进行了监测提取。本次试验共耗时约 3 小时，从试验结果可以看出，基于无人机的超标洪水监测方法能有效快速准确获取洪水水体面积和承灾体类型和面积，将洪水影响情况进行量化，有利于指导防洪救灾决策判断。

4　总结

本文以三峡库区重点库岸段为例，研究了超标洪水无人机监测体系，开展了超标准洪水无人机监测，对洪水水体以及承灾体等监测指标进行了监测提取。结果表明基于无人机的遥感监测方法精确快速有效，极大地提高了监测效率，对流域超标准洪水监测具有指导意义；另外对于其他突发灾害的应急调查、预警、分析评估、决策咨询等也具有参考意义。

参考文献

[1] 钟平安. 流域实时防洪调度关键技术研究与应用[D]. 河海大学水文学及水资源, 2006.

[2] 叶辅成. 水利水电工程应用无人机技术测量的分析[J]. 珠江水运, 2016(06):88-89.

[3] 陈百国. 多旋翼无人机技术在防汛抢险中的应用探讨[J]. 中国防汛抗旱, 2018,28(02):70-72.

[4] 姚炜. 无人机系统在水利设施管理中的应用探讨[J]. 建筑工程技术与设计, 2018(14):3742, 2466.

[5] 喻静敏, 马力, 黄珊, 等. 基于天空地协同的超标准洪水监测体系研究[J]. 人民长江, 2020,51(06):29-32.

[6] 刘斌, 唐雅玲, 马晨燕, 等. 无人机倾斜摄影三维模型在城市雨洪风险评估中的应用[J]. 测绘通报, 2019(10):46-50.
[7] 杨静学, 陈亮雄, 李昼阳, 等. 无人机遥感技术在河源紫金县洋头镇洪灾区监测中的应用[J]. 广东水利水电, 2015(01):56-61.
[8] 夏秀芳. 基于GIS的嘉陵江沙坪坝段洪水灾害风险评价[D]. 西南大学, 2012.
[9] 李斌. 长江中游洪涝灾害的MODIS时序监测与分析[D]. 山东农业大学, 2011.
[10] 张栋. 基于ArcGIS的温州市典型研究区域山洪地质灾害风险研究[D]. 长安大学, 2011.
[11] 刘昌军, 郭良, 岳冲. 无人机航测技术在山洪灾害调查评价中的应用[J]. 中国防汛抗旱, 2014,24(03):3-7.
[12] 喻静敏, 钟良. 无人机遥感在地面目标变化监测中的应用研究[J]. 电子测量技术, 2018,41(09):95-98.
[13] 郭忠磊, 赵俊生, 柯泽贤, 等. 基于无人机遥测系统的海岸带地形测量实施方法: 第二十一届海洋测绘综合性学术研讨会, 中国四川成都, 2009[C].
[14] 陈谏, 王斌, 罗莉. 高精度轻型数码航摄遥感系统在大比例尺测图方法研究及试验[J]. 北京测绘, 2017(S1):153-156.
[15] 黄艳, 马强, 吴家阳, 等. 堰塞湖信息获取与溃坝洪水预测[J].人民长江, 2019,50(04):12-19.

我国城市内涝形成机理及防治策略

徐卫红[1,2]　　杜晓鹤[1,2]

（1.中国水利水电科学研究院，北京 100038；2.水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心，北京 100038）

摘要：基于城市化率和洪涝灾害直接经济损失统计数据，阐述了我国城市洪涝灾害呈增加趋势。从自然驱动力和社会驱动力出发，基于气候变化、雨岛效应、城市下垫面变化、城市行蓄空间变化、排水设施能力等方面，分析了城市内涝形成机理。从排水规划衔接、源头径流控制、提高排水设施能力、构建大排水系统、流域与城市协同控制雨洪等方面，提出了应对城市内涝的新思路。根据城市内涝机理研究与防治策略面临的问题，从城市内涝演变规律和机制、实时监测预报系统、应急管理体系三方面提出了需进一步研究和探讨的问题。

关键词：城市内涝；形成机理；防治策略

0　引言

随着我国经济社会的快速发展，我国城市化水平在不断提高，根据 1990~2019 年城市化率[1]（城镇人口占总人口的比重）变化情况来看，自 1995 年以来，我国城市化保持着快速增长的态势，从 2011 年开始，我国城市化率首次超过 50%，至 2019 年达到 60.6%。城市化水平的提高推动了城市区域的建设和扩张，城市人类活动导致城市不透水面积增加，城市降水、径流等水文效应随之改变，加之城市局地气候的变化，使得城市暴雨内涝问题凸显，灾害呈严重化态势。近年来，我国“城市看海”现象频发，如 2010 年广州“5.7”暴雨[2]，2012 年北京“7.21”暴雨[3]；2013 年上海“9.13”暴雨，2016 年武汉“7.6”暴雨等。据统计，1990 年以来我国洪涝灾害直接经济损失随着城市化率的提高呈增加趋势（见图 1），其中，2010 年、2013 年、2016 年我国洪涝灾害直接经济损失甚至高达 3745 亿元、3156 亿元和 3643 亿元[4]。我国暴雨洪涝灾害已演变为常态化现象，成为干扰城市正常运行、威胁城市公共安全的重要因素和急需解决的问题。面对城市化进程的加速和日益严峻的城市内涝问题，探究城市内涝形成原因，分析内涝防治措施，提出针对城市内涝形成机理及防治厄待解决的问题，是提高城市内涝灾害防治与减灾能力的关键。

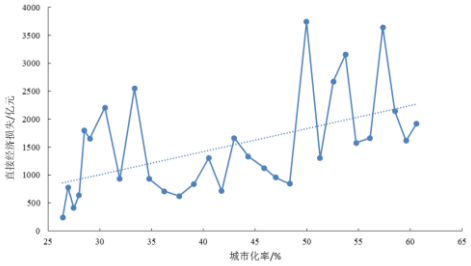


图 1　我国洪涝直接经济损失与城市化率相关关系

1　城市内涝形成机理

城市内涝的形成包括自然驱动力和社会驱动力。前者主要是指全球气候变化大背景下城市局地小气候的改变；后者包括城市化引起的雨岛效应、高密度的硬地面、河湖空间被侵占等。

1.1　气候变暖和雨岛效应导致暴雨频发

新世纪以来，全球气候变暖已成为共识，IPCC（政府间气候变化专门委员会）第五次评估报告指出，在地表平均气温上升的同时，大部分陆地区域极端降水事件发生的强度和频率都呈现增加趋势，洪涝灾害更为频繁[5]，20 世纪 80 年代以来，由气候变化引起的洪灾数量增加近 230%，且气候变化引起的许多全球性的风险都集中在城市[6]。

在全球大气候变化的背景下，随着城市化的加速，城市小气候也在变化。城市不透水面降低了土壤含水量、蓄滞水量，增加了城市地表对太阳辐射的吸收，加上城市人类活动释放的热量，造成城市大气增温，形成“热岛效应”。热能促使城市大气对流增强，同时，城市建筑物对气流的阻障容易引起湍流和抬升，城市人类活动排放的粉尘增加降雨凝结核，最终形成城市“雨岛效应”[7]。

众多研究表明，受城市“雨岛效应”的影响，城区降水量、降雨频率和雨强显著高于郊区。Jauregui 等人[8]研究了美国主要沿海城市的极端降雨事件，结果表明在城市地区降水增多，并且与城市化的程度密切相关。黄国如等人[9]研究发现济南市受城市“雨岛效应”影响，城区比郊区降雨量增加约 10%，且城市化对暴雨级别以上的降雨影响最为显著。周建康等人[10]研究发现，南京市城市化导致暴雨的发生频率呈增加趋势。曹琨等人[11]发现“雨岛效应”对上海市降水的影响主要集中在汛期。

1.2　城市建设改变天然产汇流过程

随着城市化进程的加快和扩张，城市径流量增加，洪峰流量增大，行洪历时缩短，峰现时间提前，详见图 2[12]。城市产汇流过程发生改变，对城市内涝的影响主要体现在两个方面：（1）城市地形地貌发生了极大的变化，大量天然林地与农田变成了不透水的街区与路面，城市下垫面不透水面积比例不断增加，阻碍了雨水下渗，暴雨径流系数增加，径流量增大，地面容易积水；（2）地表汇流速度加快，雨水快速向低洼地段汇集，同时，城市排水系统使雨水被尽快集中地输入河道，汇流时间减少，峰现时间提前，洪峰流量增大，河道水位快速上涨，又反过来影响排水系统的排水效率，加重城市内涝。

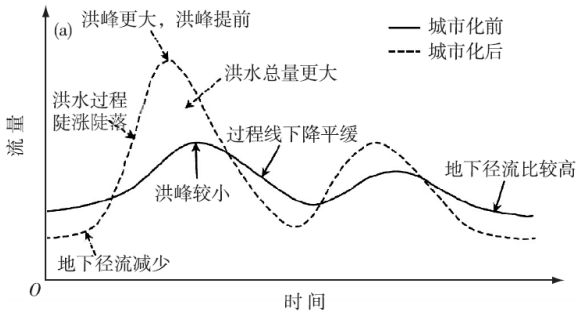


图 2　城市化对径流的影响示意图[12]

城市产汇流特征过程变化中，径流系数的增大导致产流量增加，对城市内涝的影响最为关键。城市化综合效应的径流模拟试验表明，当降雨条件相同时，水田变为变为不透水的柏油路面，径流系数将从 0.2 提高到 1.0，城市地表径流随不透水面积比例的变化情况详见表1[13]。Brun 等人[14]研究表明，城市下垫面不透水面积增加与产流系数的变化呈非线性关系，不透水面积增加 0.1~1 倍时地表径流量增加 2~5 倍。Seth 等人[15]对美国的自然流域和高度城市化流域做了对比，研究发现城市径流峰值比自然流域高 30%以上。许有鹏等人[16]模拟了我国南方城市的径流过程，结果表明快速城市化导致区域不透水率增加，河网滞蓄能力下降，区域径流深度和径流系数增大。

表 1　城市地表径流随不透水面积比例的变化情况[13]

不透水面积比	蒸发	浅层下渗	深层下渗	地表径流
天然流域	40%	25%	25%	10%
10%~20%	38%	21%	21%	20%
35%~50%	35%	20%	15%	30%
75%~100%	30%	10%	5%	55%

1.3　城市扩张侵占河湖行蓄空间

在城市大规模开发建设过程中，城市的扩张导致原本具有自然调蓄能力的河湖、湿地、池塘等被人为填筑破坏，城市水系不断萎缩，减少了原有的自然排水通道，降低了雨水的调蓄功能。例如，北京的前三门首段 18.8km 的护城河在 1965 年~1985 年间改为暗沟，大大降低了雨水的通行能力；武汉市洪山区图书城片区，本来是南湖的一部分，被填平造地后导致经过这里的雄楚大道逢暴雨必淹；北京莲花池原蓄水量为 20 万 m^3，现已无蓄滞水功能[17]；厦门市新城建设将原有的排水河道、天然河沟等行泄通道渠道化、暗涵化，水循环系统遭到破坏，大大降低了雨洪水的通行能力和调蓄能力。同时，部分受纳水体的蓄泄行洪能力不满足雨水排放系统的排水需求，暴雨发生时水位上涨，自由出流的雨水出口被淹没，无法排出雨水径流，甚至倒灌，影响排水。

1.4　排水设施能力不足且模式单一

我国城市排水设施能力不足的原因主要包括以下几方面：（1）雨水管网等排水设施的能力尚未达到规划标准，或者规划赶不上城市发展步伐，管道不能满足排水需求；（2）排水设施建成后缺乏有效、及时的管理维护，部分城市排水设施淤堵、老化，逐渐减小或丧失排水能力；（3）由于建设和管理主体不同，城市道路施工在建设过程中，易破坏原有排水设施，形成断头管，造成排水无出口；（4）部分城市存在雨水管和污水管混接的现象，造成排水不畅，降低了排水能力；（5）部分地势低洼处雨水容易汇集，但排水设施尚未建设，积水无法排出。同时，我国城市排水主要靠排水管网系统，模式比较单一，雨水在地面产流之后通过排水口汇入排水管道中，管网中的雨水再通过泵站抽排或自流方式排入河道。这种排水过程只能针对城市常见雨情，当发生超过管网排水能力的特大暴雨时，这种单一的排水模式难以满足排水需求。

2014 年以前，我国城镇排水设施建设标准执行的是旧版《室外排水设计规范》（2011 年版），要求城市一般地区雨水管网设计重现期为 1~3 年，重要地区是 3~5 年一遇。大部分

城市在建设排水系统时，采用设计标准的下限值，根据住房和城乡建设部 2013 年统计资料可见，我国 70%以上城市的管网排水能力在 1 年一遇以下，90%老城区的重点地区排水能力不达标。目前，大城市部分地区的现状排水能力为 1~3 年一遇，交通干道和特别重要地区可达到 5 年一遇，但大部分地区排水能力依然不足。例如，北京市现状排水干管标准为 1 年一遇左右，城市环路排水标准为 1～2 年一遇；武汉市目前仅 76%排水管网设计达到 1 年一遇的标准，外排泵站达标率仅为 40%。随着气候变化和城市化的加速，暴雨的发生越来越频繁，雨量、强度也越来越大，许多早期建设的雨水管网排水能力已经难以应对。

随着我国城市内涝的发生愈演愈烈，住房和城乡建设部于 2014 年发布了新版的《室外排水设计规范》[18]（GB 50014-2006，2014 年版），该规划进一步提高了排水管网的设计标准，其中，一般地区雨水管网设计标准提高为 2~5 年一遇，重要地区为 5~10 年一遇。在这一版的《室外排水设计规范》中，还首次增加了城市内涝防治设计重现期的规范，填补了内涝防治无设计标准的空白。目由于城市内涝防治体系提出较晚，我国应对城市特大暴雨径流，尚未有完善的工程设施和综合手段。

表 2　雨水管渠设计标准（2014 年版）[18]　　/年一遇

地区	中心城区	非中心城区	中心城区	中心城区地下通道和下沉广场等
超大和特大城市	3~5	2~3	5~10	30~50
大城市	2~5	2~3	5~10	20~30
中等和小城市	2~3	2~3	3~5	10~20

2　城市内涝防治策略

传统的城市内涝防治思路是将城市雨水快速排除，但面对极端暴雨情况，从频繁发生城市内涝问题的现实情况可以看出，该思路将无法应对。基于我国城市内涝防治面临的问题，我国于 2013 年发布了《关于加强城市基础设施建设的意见》（国发[2013]36 号），要求“全面提高城市排水防涝、防洪减灾能力，用 10 年左右时间建成较完善的城市排水防涝、防洪工程体系，解决城市积水内涝问题”。同年 12 月，中央城镇化工作会议中要求“建设自然积存、自然渗透、自然净化的海绵城市”，通过综合采用入渗、滞留、调蓄、排出等方式，以减少暴雨内涝对于城市的影响。这些措施的基本理念是通过源头径流削减、汇流过程控制、末端处理维持城市水文条件，以此缓解城市内涝。

2.1　加强排水规划的衔接

城市内涝防治是一项复杂的系统工程，涉及多个专业规划，需要全面结合排水工程、土地利用、道路开发、水环境、水生态等方面进行统一规划，考虑它们之间的协调性和综合性。如，在城市建设过程中，常常改变原有的地形和高差，破坏自然排水分区，部分雨水无法自然排出，规划时需要做好城市竖向设计，根据排水条件规划好排水分区；在城市建设用地布局、道路规划时，需要考虑雨水滞渗调蓄设施、排水管网的布置等问题，合理规划雨洪行泄通道。

目前，我国各项建设和规划分属于不同的部门，在进行总体规划时，需要多方协调联动，比如，区域总体规划、土地利用总体规划、排水专项规划等要相互衔接，城市工程建设、排

水设施建设要同步实施等，使城市排水能力和城市发展更加契合。同时，还需做好与城市内涝防治相关设计标准的顶层设计，包括排水管网系统设计标准、城市内涝防治标准、流域防洪标准、雨水径流控制标准等，在规划设计中做好这几项标准的衔接。

2.2　加强源头径流控制

通常，我国城市内涝问题主要依靠地下排水管网、排水泵站等市政排水工程来解决，虽然相关工程越来越多，但模式比较单一，并且利用这种传统的雨水排放模式，难以应对特大暴雨的排水问题。住房和城乡建设部于 2014 年 10 月印发了《海绵城市建设技术指南》（建城函[2014]275 号），提出了利用建设低影响开发（LID）雨水系统来缓解城市内涝的问题[19]，旨在通过分散的、小规模的源头控制工程达到对暴雨径流的控制，实现城市水文循环的良性发展。

源头控制是指在城市排水系统汇水分区的上游，采用低影响开发模式，通过有效的水文设计，使城市相关区域的水文功能接近自然状态，将雨水就地渗入地下，或暂时存储，达到减流、削峰、延长雨洪排放时间的目标。据统计，LID 能减少暴雨径流的 30%~99%，并延迟径流峰值 5~20 分钟，从而减轻市政排水管网的压力，对减轻城市内涝有非常积极的作用[20]。

源头径流控制设施可分为两种类型，第一种是用于控制较大强度暴雨洪水，通过滞、蓄减缓径流向下游排放的时间，减少下游洪峰峰值，延长洪峰形成时间，主要设施包括大型湿地、景观水体、滞留池塘等；第二种是用于控制低强度暴雨洪水，通过渗、蓄削减地表径流量，减小下游排水压力，主要设施包括透水铺装、下凹绿地、绿色屋顶、雨水桶、渗透排水沟、雨水花园等。近年来，随着“海绵城市”的建设与发展，部分试点城市已经开始建设源头控制设施，并已取得明显的效果，未来源头径流控制的开发理念需要进一步推行。

2.3　提高城市排水设施能力

面对我国排水管网设计标准偏低和管理措施不到位的现状，对管网系统的扩容改造并加强维护管理已迫在眉睫。针对新建区域，需要推动城市排水规划的修编工作，提高市政排水规划设计标准。针对已建城区，大范围的改造雨水排放系统难度较大。首先，城市排水管道一般铺设在城市路面以下，改建需要挖开路面，投资和影响均较大；其次，随着城市基础设置的逐步完善，地下铺设了给水、热力、燃气、电力等多种管线，地下空间有限，给雨水管道的扩容带来了限制。

面对大范围改建、扩容雨水管网的难度，可根据实际情况，针对有条件的地区逐步提高排水设施能力。比如，针对下凹广场、地下通道等重点地区，小范围的进行排水设施改造；同时，针对雨水自流排放管网，考虑河道水位对市政管网排水的影响，加强管网排水和河道排水的配合协调，合理调度保障汛期河道运行水位；其次，提高低洼地区排水泵站、非自流排水管网终端的排水能力，使低洼地区、雨水管网中的水流及时排除。针对排水设施改造有难度的地方，结合多种措施、多种方法，实现提高排水能力的目的。

2.4　构建城市大排水系统

在排水系统方面，国外发达国家一般有“小排水系统”和“大排水系统”两套系统，再加上源头径流控制系统，构建源头控制-小排水系统-大排水系统之间的协调关系，相辅相成达到渗、蓄、滞、排的目标，高效控制城市暴雨洪水。小排水系统是指城市排水管网、排水泵站等系统，主要理念是将雨水快速排走，针对低强度降雨可以起到较好的排水效果；大排水系统主要由“蓄”和“排”这两者构成，主要应对高强度暴雨。目前，我国城市大排水系统尚未形成完整的体系，2014 年在新一版的《室外排水设计规范》（GB 50014-2006，2014 年版，2016 年进行了修订）中，首次增加了城市内涝防治（即城市大排水系统）设计重现期的规范，提倡构建完善的城市内涝防治工程体系，以此应对高强度暴雨。

大排水系统中的“蓄”是指利用城市湖泊、坑塘等天然水体、绿地、人工调蓄池、深层调蓄隧道等调蓄城市雨洪，主要措施包括（1）从城市规划、法规等方面保护城市天然水体，如南昌市人大已经立法命令禁止填湖造地；（2）利用洼地、公共场所等空间建设储蓄和滞留雨水的调蓄池，当地面空间有限时，可利用地下空间建设深邃等调蓄设施。但是，大型调蓄池、调蓄深隧的建设工程量庞大，耗资巨大，可尽可能更多的发掘大型公园、绿地等地势低洼区域对雨洪调蓄的天然优势，保证城市有足够的调蓄空间。“排”是指利用城市原本地形中保留下来的天然通道和根据城市地形设计的具有排水功能的设计通道等输送城市地面径流。目前，在我国高密度开发的平原城市，受空间和坡度限制，很难依靠地面排水通道达到地表排水需求；在地面坡地较大的城市，利用地面排水通道排水流速大，也存在一定的风险，需要有专门的设计规范，以此来保障地表通道排水的安全性。

2.5　流域与城市协同控制雨洪

目前，我国在流域尺度建设了防洪工程体系，城市尺度建设了排水系统，但这两部分分别属于不同的部门在管理，两套系统之间缺乏衔接和系统规划。当城市外部河道作为雨水径流的受纳水体时，如果泄洪能力有限外河水位较高，会导致自流排水管网的末端不能及时排出雨水，同时，会引起河道洪水的倒灌，加重城市内涝。比如，2016 年梅雨期间太湖流域普降大雨，常州市主要河湖高水位，使常州市的洪水难以外排甚至产生倒灌。要实现城市雨水有效排出，需要依靠流域尺度完整的防洪排涝工程体系，将城市排水措施融于流域的整体框架，与流域自然水系连接成整体，遵从流域整体规划，设计匹配的标准，减少水体顶托和倒灌现象，形成完整的可持续城市雨洪管理基础设施。

3　展望

随着城市化进程的加快和城市极端天气的频繁发生，城市内涝机理研究与防治策略面临的问题日趋复杂，学科研究的领域也逐渐拓宽。纵观城市内涝成因、模拟方法、防治措施等研究成果，尽管取得了长足的进步，仍有许多问题需要进一步研究和探讨。

3.1　深入研究城市内涝演变规律和机制

受气候变化和强人类活动的影响，城市的产汇流特性与自然流域相比发生了深刻变化，针对城市复杂下垫面产汇流规律和特性的研究，国内外开展了一系列的试验[21,22,23]，但大多

数为实验室尺度的研究。城市暴雨内涝具有复杂性和不确定性，原型和试验观测难度较大，从不同情景、不同尺度、不同角度探究城市暴雨内涝产汇流特性，揭示变化环境影响下城市产汇流内在演变规律和驱动机制，成为当前需要深入研究的问题之一，同时，也为高精度城市内涝模拟模型的构建奠定了理论基础。反之，构建高精度的城市产汇流模型也将成为研究城市内涝演变规律和机制的有效手段。城市下垫面的空间分布错综复杂，在构建城市产汇流模拟时，难以提取有效的不透水面，并且很难构建不透水面之间的连通性。如何利用地形资料、遥感影像、土地利用等多源数据，提取精细化的下垫面信息，构建城市不透水面的有效连通，为构建更为精细的城市内涝模拟模型提供技术支撑，也是将来面对的挑战之一。

3.2　构建健全的城市内涝实时监测预警系统

在城市暴雨内涝模型研究成果的基础上，结合当前快速发展的信息化和综合集成技术，构建集监测、模拟、预警、决策等为一体的平台，将为城市内涝的快速响应提供决策支持。目前，我国城市内涝实时监测预警系统的构建水平在以下 4 个方面需要进一步提高：（1）加强城市排水管网、易积水点、重点区域等积水信息采集和视频监控设施的建设，提高城市内涝实时监测能力。（2）创建集基础地理信息、水文信息、社会经济、内涝淹没等多源信息于一体的信息数据库，利用完善的数据库系统实现城市内涝的高效管理，也为城市内涝相关研究提供数据支持；（3）随着气候变化和城市化的不断加速，深入开展暴雨洪水预报、城市内涝模拟的研究工作，进一步提高模拟精度和遇见期。（4）开发并普及诸如手机 APP 等更为高效的发布预警信息的途径，及时有效的发布给相关群体。（5）对内涝严重地区快速提出防灾与减灾方案，这方面涉及城市应急机制和预案方面的研究。

3.3　进一步加强城市内涝应急管理体系的建设

城市内涝的发生往往具有突发性，随着城市内涝的发生越发频繁，构建一套科学的、完善的、具有可操作性的城市内涝应急管理体系，成为迫切需要解决的问题，可提高城市暴雨内涝应对的主动性、时效性和有效性。健全的城市应急管理体系包括应急预案、预警实施、救灾抢险、避险转移等。应急预案体系从横向来说需要覆盖各专项的应急预案，从纵向上来说需要覆盖到基层，同时，预案需要明确事前、事中、事后各阶段的动作，使其具备可操作性。预警实施主要是提高监测预警水平，同时，更为关键的是在于预警信号要快速传递到居民和相关单位，落实应急响应处置。救灾抢险和避险转移方面，需要加强各部门、驻地部队之间的协调联动，平时加强实战演练，内涝发生时保障物资的充足和通讯的畅通。

参考文献

[1] 国家统计局. 中国统计年鉴 2020[M]. 北京：中国统计出版社，2020.

[2] 李娜, 韩松, 王艳艳. 由广州市特大暴雨洪灾谈城市雨洪灾害防治[J].中国防汛抗旱, 2010, 20(5):57-58.

[3] 程晓陶，李超超. 城市洪涝风险的演变趋向、重要特征与应对方略[J]. 中国防汛抗旱，2015，(3)：6-9.

[4] 中华人民共和国水利部. 2019 年中国水旱灾害防御公报[R]. 北京：2020.

[5] IPCC. Summary for policymakers [C]. Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental

Panel on Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
[6] 姜仁贵，韩浩，解建仓，等. 变化环境下城市暴雨洪涝研究进展[J]. 水资源与水工程学报，2016,27(3):11-17.
[7] 刘鹏. 城市化影响水汽输送及云和降水的数值模拟研究[D]. 南京：南京大学，2016.
[8] Jauregui E, Romales E. Urban effects on convective precipitation in Mexico City. Atmos Environ, 1996, 30: 3383－3389.
[9] 黄国如, 何泓杰. 城市化对济南市汛期降雨特征的影响. 自然灾害学报, 2011, 20(3): 7-12
[10] 周建康，黄红虎，唐运忆，朱红耕. 城市化对南京市区域降水量变化的影响[J].长江科学院院报，2003,20(4):44-46.
[11] 曹琨, 葛朝霞, 薛梅, 等. 上海城区雨岛效应及其变化趋势分析[J]. 水电能源科学, 2009, 27: 31－33
[12] 张建云，宋晓猛，王国庆. 变化环境下城市水文学的发展与挑战——I.城市水文效应[J]. 水科学进展，2014，25(4): 594-605.
[13] 刘金平，杜晓鹤，薛燕. 城市化与城市防洪理念的发展[J]. 中国水利. 2009, (13): 15-18.
[14] Brun S E, Band L E. Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed. Comput Environ Urban Syst, 2000, 1: 6－8.
[15] Seth R, Norman E. P. Effects of urbanization on stream flow in the Atlanta area (Georgia, USA): A comparative hydrological Approach [J]. Hydrol Process, 2001, 15: 1141-1157.
[16] 许有鹏, 丁瑾佳, 陈莹. 长江三角洲地区城市化的水文效应研究[J]. 水利水运工程学报, 2009, 4: 67-73.
[17] 谢映霞. 城市排水与内涝灾害防治规划相关问题研究[J]. 中国给水排水，2013，29(17):105-108.
[18] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50014-2006 室外排水设计规范(2014 年版)[S]. 北京：中国计划出版社, 2014.
[19] 住房与城乡建设部. 海绵城市建设技术指南[R]. 建城函[2014] 275 号，2014.
[20] 王江波，张茜，吴丽萍，等. 我国城市内涝问题研究综述[J]. 安徽农业科学，2013，41(30): 12072-12078.
[21] 岑国平，沈晋，范荣生，等. 城市地面产流的试验研究[J]. 水利学报，1997 (10)：47-52.
[22] SHUSTER W D，PAPPAS E，ZHANG Y. Laboratory-scale simulation of runoff response from pervious-impervious systems [J]. Journal of Hydrologic Engineering，2008,13(9)：886-893.
[23] ARMSON D, STRINGER P, ENNOS A R. The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2013, 12(3): 282-286.
[24] 朴希桐，向立云. 下垫面变化对城市内涝的影响[J]. 中国防汛抗旱，2014，24(06)：38-43.
[25] 梁骥超，解建仓，姜仁贵，等. 面向城市内涝的应急管理流程及快速应对方案研究[J]. 中国防汛抗旱，2019，29(02)：10-15.

遥感监测干旱与早期预警方法进展

卢洪健　　赵兰兰

（水利部信息中心，北京 100053）

摘要：干旱是全球性的极端气候水文事件，也是长期影响我国经济社会发展的主要自然灾害之一。本文概述了全球气候变化下世界范围内干旱发生的基本特征，以及半个多世纪以来干旱对我国的主要影响；重点介绍了遥感监测干旱与早期预警的方法进展，分析了遥感卫星在干旱监测方面的优势与特点，介绍了适用于监测涵盖水循环重要过程（植被状况、降水、蒸散发、土壤水分和地下水等）相关的前沿干旱指标，总结了遥感监测在干旱早期预警中的重要作用以及新兴遥感领域在干旱监测方面的发展方向。

关键词：干旱；遥感；干旱监测；早期预警

1　概述

干旱是一类持续时间长、波及范围广、循环往复出现的全球性自然灾害，与人类社会生活、生产和发展各方面密切相关[1-3]。研究表明，自 20 世纪初以来，全球各大洲内累计发生过数百次的严重干旱，例如，1930s 美国遭遇长达 8 年之久的“大尘暴”，最严重时期干旱面积超过 60%；北欧在 1950s、1970s 和 1990s 中期均出现大范围的干旱，尤以 2003 年为甚；西非萨赫勒地区经历了 1960s 后期至 1980s 中期的漫长干旱；东亚发生大面积持续的严重干旱主要开始于 1990s 后期[3-5]。近年来，全球干旱呈现更为频发的态势，其中包括一些广为报道的严重干旱事件：2010 年亚马逊流域的极端干旱[6,7]。

干旱是世界上造成损失最大、影响人口最多的自然灾害之一，虽然其直接影响的幅度可能不及洪水、飓风和地震等，但其间接影响往往横跨多个部门，且十分难以估算[8-10]。干旱通常导致水供应减少、河床干缩、水质恶化、作物减产和生态系统生产力下降，严重的旱灾甚至对农业、供水系统和环境造成毁灭性的打击。就经济损失而言，全球在 20 世纪由干旱所致的直接经济损失约 800 亿美元；美国干旱的年均损失为 60-80 亿美元。联合国防治干旱与荒漠化公约指出，荒漠化、土地退化和干旱等正在加剧全球水危机[11,12]。

干旱无法避免，只有在掌握其时空演变格局的基础上，不断提升监测、预报与预估能力，进行准确及时的影响评估与风险评价，制定合理有效的抗旱措施。近年来，世界范围内的干旱规划正由基于国家或区域的干旱应急项目向基于发展综合的、长期的干旱预备政策与行动计划的风险管理方式转变，其目的即是显著减轻干旱风险与脆弱性，增强干旱恢复力和社会应对干旱韧性，从而达到减缓干旱影响与规避风险的目的[3,8,11]。

2　中国干旱及影响

年际间季风的不稳定性和复杂的地理、地形、山脉等因素造成的水热分布不均导致中国成为一个干旱灾害发生极为频繁的国家，而华北和东北干旱可谓是中国干旱问题的重中之重。早在 1934 年，竺可桢先生就在“华北之干旱及其前因后果”一文中详细论述了华北干旱

的主要大气环流背景及对农业生产的不利影响。近二十多年来，很多学者针对中国北方干旱化及相关的生态环境问题，从干旱的时空分布、潜在驱动因素以及干旱与气候变化的联系等角度进行了较为全面系统的研究，并取得一系列丰硕的成果[6,7,9,13]。

中国的社会经济发展长期饱受干旱的困扰，据统计，中国每年的旱灾损失占各种自然灾害的 15%以上，据《中国水旱灾害公报》公布的数据，1950 至 2007 年，全国农业平均每年因旱受灾面积 3.26 亿亩，其中成灾面积 1.86 亿亩，年均因旱损失粮食 158 亿公斤，占各种自然灾害造成粮食损失的 60%以上。全国农作物年均因旱损失粮食由 20 世纪 50 年代的 43.5 亿公斤上升到 90 年代的 209.4 亿公斤，而 2000 年以来更是高达 372.8 亿公斤[4,7]。

1997 年、1999 至 2002 年中国北方很多地区出现严重干旱，导致巨大的经济和社会损失。2000 年，农业受旱面积超过 4000 万亩；2001 年，干旱导致 3300 万人口的水供给减少，同时家畜和农业损失达 64 亿美元。2007 年，川渝大旱导致大幅粮食减产和上千万人畜饮水困难。2009 年，华北主要省区冬春连旱，紧接着内蒙古和辽宁西北的伏旱和秋旱导致大面积粮食绝收。 2010 年春季，西南 5 省遭遇世纪大旱，5000 多万人受灾。这场罕见的大旱造成农作物受灾面积近 500 万公顷，其中 40 万公顷良田颗粒无收，2000 万人面临无水可饮的绝境。全国抗旱工作进入十分紧张的状态。2011 年，北方粮食主产区连续大面积干旱。

全球变暖背景下，中国干旱发生的频率和范围都在加大，从而造成粮食减产、水资源短缺和环境退化等问题频发。干旱对中国农业造成的损失占到所有农业气象灾害总损失的 60%左右，6 大耕作区中，东北、黄淮海、长江中下游地区受旱面积占全国干旱受旱面积的 69%，为全国的重旱区；大范围持续性的干旱成为农业生产的最大风险。作为世界上人口最多的国家，中国的粮食安全一直都受到高度关注，特别是由于人口增长、水资源短缺、城镇化带来耕地减少、土壤退化，使得中国的粮食安全问题显得更为突出[14-16]。

3 遥感干旱监测与早期预警

干旱监测是通过科学的方法、数据和理解，对干旱敏感的地球物理变量进行近实时的以及相对准确、可靠、全面和高分辨率的表征[17]。干旱指数（标）是干旱检测、监测和影响评估不可或缺的基础工具。在过去将近 100 年中，世界各地发展出 100 多个干旱指数用于干旱的各方面研究中[18-21]。目前，用于干旱监测的指数（标）主要可分为三大系列：（1）基于水量平衡的 PDSI 指数（PDSI、PHDI、Z 指数和 CMI 等）；（2）基于概率分布的标准化指数（SPI、标准化降水蒸散指数 SPEI 和标准化径流指数 SRI 等）；（3）基于卫星遥感的干旱指数（植被条件指数 VCI、温度条件指数 TCI、归一化差异水分指数 NDWI 等）。

卫星遥感提供了干旱观测的独特视角，其获取的空间分布信息，与传统的现场测量结合使用，能够更全面地了解整个区域的干旱状况，在协助更大空间尺度的干旱监测方面发挥着巨大作用[22]。卫星以一种整体的、系统的、客观的方式提供对空间连续信息的覆盖，可以利用现有的地基观测资料、丰富的观测网络或地基观测网络，从而对数据稀缺地区开展观测。卫星遥感在干旱监测和早期预警方面具有如下优势：

（1）提供局地尺度干旱监测和决策所需的空间尺度的资料，而这些资料不能充分地从

传统的、以点为基础的数据来源（例如，行政地理单元的单一区域值或空间内插的气候指数网格）中获得。

（2）填补可进行现场观测地区和缺乏（或拥有非常稀少的）地面观测网络的地区之间关于干旱情况的信息空白。

（3）与传统的气候指数相比，能够更早地检测干旱。

（4）提供一套工具和数据集，以满足与干旱有关的广泛决策支持活动的观测需求（例如，空间规模、更新频率和数据类型）。

此外，卫星遥感以客观和定量的方式收集的图像，提供了干旱探测和严重程度评估等环境监测活动所需的空间和时间一致性数据集。大多数卫星传感器记录光谱区域从可见光、红外到微波波长的电磁辐射（EMR）的反射或发射信号[23]。不同光谱区域的电磁辐射对应不同的环境参数，可用于估算和评估不同的干旱相关环境状况，如植物胁迫和土壤水分含量。因此，卫星评估环境状况为干旱监测所需的精确异常检测提供了内部一致的历史数据源。

早期卫星遥感在干旱监测中的应用主要涉及归一化差异植被指数（NDVI）的使用，这是大多数卫星传感器上识别的两个光谱波段——可见红和近红外（NIR）之间一个简单的数学转换。可见光区域对植物叶绿素含量变化很敏感，而近红外区域则对植物叶片海绵状叶肉层的细胞间隙的变化有所反应。基于这些相互作用，NDVI 作为反映植被覆盖度和生长状态的通用指示因子，其数值随绿色光合有效植被的数量而增加。大量研究表明，NDVI 与植被的几种生理化特征（如绿叶面积和生物量）有很大关系，且指数的时间变化与年际气候变化高度相关。因此，与同一时期的长期历史平均 NDVI 值相比，生长期 NDVI 值的负偏差表明植被生长受干旱等灾害抑制。这一理论为世界各地许多基于 NDVI 的干旱监测工作奠定基础，这些工作主要依赖卫星 AVHRR 传感器收集的历史 NDVI 时间数据序列进行分析。

基于 NDVI 概念的植被健康指数（VHI），采用遥感热红外（TIR）数据纳入温度分量，是另一用于干旱监测的传统遥感指标[22]。VHI 将两个指标集成到一起：基于 NDVI 的植被状况指数（VCI）和 TIR 温度指数（TCI）。VCI 指数假设 NDVI 历史最大值和最小值分别代表特定位置（即图像像素内的区域）植被的上限和下限，一般低 NDVI 值表示存在植被应力；类似的，互补的 TCI 基于 TIR 历史最大值和最小值分别代表特定位置植被热响应的上限和下限的概念。TCI 中高 TIR 异常应与植被干旱胁迫相对应，因为可以从植被和土壤中汲取和蒸发的水分较少，更多能量被划分为感热通量而不是潜热通量。

NDVI 和 VHI 虽然对干旱监测相当有用，但只提供了植被健康和农业干旱方面的干旱情况。NDVI 高值饱和效应、低值背景污染以及 VHI 中 NDVI-TIR 组合的经验性质进一步限制了它们在不同的地表环境和干旱条件下的适用性[23]。干旱是一种复杂的自然灾害，会受到水文循环若干环节的影响，因此，需要提供关于其他水文参数的补充资料，例如蒸散发、土壤含水量、地下水和降水，以便更全面地了解干旱情况。历史上，卫星遥感干旱监测对这类水文变量的评估能力有限，因为当时的卫星传感器没有获取这类信息所需的观测仪器，或者卫星观测历史记录长度不够，不足以计算出干旱异常。

自 21 世纪初以来，大量装载新型传感器的卫星发射，提供高时间频率获取的新型地球观测数据，以及更广泛的光谱范围，从而扩大遥感工具在监测水文循环不同环节的功能适用性，包括植被生长状态和健康状况、蒸散发、土壤含水量、地下水和降水，在当前干旱监测和早期预警中发挥着十分重要的作用。

3.1　植被状况

基于植被指数的方法往往是将该年某一时期的 VI 值与历史平均 VI 值相比较，以 VI 距平值表示干旱压力。因此，必须建立一个植被指数阈值，以标记在负植被指数异常值范围内的植被干旱胁迫信号。其他环境因素，如洪水、火灾、霜冻、虫害、植物病毒和土地利用或土地覆盖变化，也会导致模拟干旱信号的植被指数的负异常。因此应制定综合干旱指标，将各类信息，包括多种植被指数，纳入一个指标，以其代表特定干旱的植被条件。一个主要例子是干旱植被响应指数（VegDRI），它整合植被状况卫星观测结果、干旱气候指标和其他环境信息，描述干旱对植被的胁迫[24]。VegDRI 是以传统植被指数计算方法为基础，以 NDVI 异常值作为植被健康状况的一般指标，并与同期反映干旱状况（即 SPI）的气候指标一起进行分析。VegDRI 还结合了多个区域环境因子特征值（土地利用/土地覆盖面积、土壤、地形和生态环境），这些因子往往会影响特定地点的气候-植被相互作用。

VegDRI 有三个干旱等级—中度、重度和极度，以及一个反映潜在干旱爆发地区的预估干旱胁迫等级[25]。VegDRI 信息经常被 USDM 作者、美国土地管理局（BLM）牧场评估项目、NWS 干旱公报和美国西部的几个州干旱工作队使用。VegDRI 概念也引起国际的兴趣，加拿大正在为北美干旱监测（NADM）开发类似的 VegDRI 工具，中国、捷克共和国和印度也在开发该工具的改进版。VegDRI 在农业干旱监测应用中颇具成效，可以很好地反映作物几个月的长期季节性状况。

干旱迅速反应指数（QuickDRI）是另一个新兴的综合干旱指标，用来描述大约几周到一个月的短期干旱变化[26]。QuickDRI 采用与 VegDRI 类似的建模方法，整合数个新扩展的遥感时间序列数据集和对影响干旱胁迫的环境条件短期变化相当敏感的气候指标。这些变量包括代表水文循环蒸散发环节的蒸发热应力指数（ESI），被用以模拟北美土地数据同化系统-2（NLDAS-2）中代表地下水分条件的根部土壤湿度数据，以及基于气候的标准化降水蒸散发指数（SPEI）和表示降水、气温状况的 SPI。其他输入变量包括有 NDVI 时间序列推导出的表示植被健康状况的标准化植被指数（SVI），以及 VegDRI 中使用的同一组环境变量。

QuickDRI 模型每月采用同样的回归分析方法，来分析 ESI 异常值、土壤含水量和气候状况值[27]。因此，QuickDRI 旨在监测一个月以上时段内的干旱演变，可作为干旱迅速发展的“警报”指标，这是长期指标 VegDRI 所无法实现的。

3.2　蒸散发

除了用标准植被指数表示的绿色生物量外，植被健康的另一个指标是植物水量消耗和运输速率。当根区的有效土壤水含量耗尽至凋萎系数时，植物就会减少其蒸腾速率，以保存剩余水分。叶表减少蒸发冷却，于是空间站使用热红外传感器可探测到冠层温度升高的热信号

[28]。此时，裸露的土壤表面通常相当干燥，其温度也会升高，这进一步增强了干旱的综合热特征。因此，地表温度（LST）对遥感诊断干旱状况及干旱对植被健康的影响具有重要价值。经验植被健康指数（VHI）是 VI 与相反符号的 LST 异常值的线性组合，负 VI 值和正 LST 距平值被视为干旱胁迫的信号。

蒸散发量（ET）包括土壤蒸发、植物散发以及其他表面蒸发，因此蒸散发量对衡量土壤含水量和植被健康状况十分有价值。ESI 即是基于蒸散发量的干旱指标的一个例子，它用大气-陆地逆交换能量平衡模型描述实际蒸散发与潜在蒸散发比值的标准化距平[29]。ESI 与标准干旱降水指标的时空模式和 USDM 大体相吻合，但可以通过用 LST 代替降雨信息，生成更高空间分辨率的成果。研究表明，陆地卫星 ESI 可以用于区分不同土地覆盖类型（如农作物、森林和地表水体）的湿度响应，从而更好地捕捉农业干旱对各种陆面的影响。

与利用水平衡原理的地表或水文预测模型得出的估计相比，根据能量平衡对 ET 进行遥感 LST 检验，提供了独立的补充信息。基于 LST 的蒸散发量（ET）除了能反映局部降雨之外，还能内在地反映其他水分来源，包括灌溉用水或植被从潜水汲取的水分。这些水分来源可能有助于减轻当地的干旱影响，但如果没有对整个水文系统的广泛先验知识，则很难在水平衡模型中捕捉到。

遥感获取的实际蒸散发量也是对基于潜在蒸散发的干旱指数的补充，如蒸发需求干旱指数（EDDI），该指数描述了局部大气条件的干燥能力。高蒸发需求往往是快速干旱发生的一个有效的早期指标，尽管因可能受到辅助水源的补充它并不总是在地面上产生实际的干旱影响[30]。综合起来，通过比较从能量平衡和水量平衡得到的实际蒸散发异常和从气象条件推导出的潜在蒸散发异常，可以了解到生态系统的复原能力和干旱敏感性。

3.3　降水

地面降水测量被广泛用于监测和掌握干旱。大量国际规范的降水量产品已被开发用于干旱监测；然而，它们有一些使用限制，主要包括时间不一致、空间不均匀以及偏远和不发达地区观测受限。此外，地面观测数据往往是使用不同类型的仪器收集的，当需要长期历史记录来计算干旱降水指标时，可能难以建立空间和时间均一致的干旱信息。

遥感降水监测为全球干旱监测提供了一种独特的途径，它可长期提供全球降水的空间分布估计。现已根据同步地球轨道和近地球轨道中的多个卫星传感器，开发出数种反演降水的算法，例如，可以利用卫星热红外和可见光范围的辐射数据所提供的云顶温度信息来估计降雨量。通过测量来自地球和大气的微波能量，被动微波传感器可以用来估计瞬时降雨量。

相对于降水微波估测，红外降水估测提供更频繁（每 15-30 分钟）的观测和更大的空间覆盖范围。然而，微波估算比红外降水估计更准确，主要是因为微波辐射渗透到云层中，并提供云层含水量的物理估算。一些研究利用来自红外和微波传感器的遥感图像数据来改进降水估计[31]。目前，有一些多传感器降水产品，包括：热带降雨测量（TRMM）多卫星降水分析（TMPA）；综合多卫星反演全球降水（IMERG）；气候灾害组结合观测站的红外降水估测（CHIRPS）等；其中一些数据记录基于微波获得（如 TMPA、CMORPH），而另一些则

主要基于红外获得（例如 PERSIANN）。

卫星观测和地面测量相结合提供了更可靠的降水估计；然而，它们无法提供实时结果，这限制了它们在实际干旱预警系统中的作用。为解决这一限制，人们提出一些算法，将近实时卫星观测结果（如 PERSIANN、TMPA 和 IMERG）与长期经规范修正的记录结合起来[32]。卫星降水信息已被纳入不同的干旱监测和预报系统，如非洲干旱监测系统和全球干旱综合监测和预报系统。降水数据被用于计算干旱指标，如 SPI 和正常降水百分比（PNP）。或者，降水信息可以用来模拟与干旱相关的水文条件。

3.4 陆地水储量

3.4.1 土壤含水量

土壤含水量是干旱监测的一个关键参数，因为当接近凋萎系数时，土壤含水量是植被干旱胁迫的主要驱动因素。由于植物与土壤含水量关系紧密，且通过平衡水分供应和蒸发需求来调节其水分消耗，所以土壤含水量可代表早期植被干旱胁迫的一个指标。由于土壤的微波发射率受到土壤含水量的强烈影响，所以微波遥感对土壤含水量估计相当有效。这一灵敏度已被利用发展成技术，通过卫星观测的微波光谱推断表层土壤水分容量。20 多年的野外战役和飞机研究表明，微波 L 波段是这种反演的首选波段[33]。土壤含水量遥感进入一个新时代，发射专门为反演土壤含水量的前两个 L 波段卫星任务：2009 年欧洲空间局的土壤含水量海洋盐度任务和 2015 年美国航天局的土壤含水量主动/被动任务。

自 2010 年以来，SMOS 工作组生产出全球 45 公里分辨率的土壤含水量产品，SMOS 工作完全基于主动微波辐射测量。相比之下，NASA SMAP 任务的目的是将被动辐射测量和主动雷达观测同时获得的土壤含水量信息合并起来[34]。SMAP 雷达在 2015 年 7 月失效，但是辐射计仍然运行良好，产出高质量的土壤水分产品。SMAP 得益于先进的射频干扰抑制策略的应用，该策略是针对在 SMOS 工作早期发现的 L 波段无线电射频干扰而开发的。

基于微波的地表土壤含水量反演主要存在三个缺点：（1）空间分辨率低于标准 VI 数据集；（2）垂直取样深度有限；（3）植被密集处数据精度低。2017 年，SMAP 利用欧空局 Sentinel-1 卫星的后向散射观测，根据 SMAP 辐射计的降尺度观测，生产 9 公里的土壤含水量产品。这些产品的相对浅层垂直土壤渗透深度在农业干旱监测中显露出局限性，因为土壤含水量信息不能反映影响植物胁迫的整个根区的状况。

遥感地表土壤含水量时间序列的多指数滤波为有效恢复深层根区土壤含水量观测中所包含的农业干旱信息提供了可能。利用较长的微波波长观测，减少植被冠层的吸收，使土壤信号的衰减降到最低，植被对长波的散射和吸收作用相对短波较小。因此，L 波段 SMOS 和 SMAP 土壤含水量产品的植被冠层相对透明性大于用于早期土壤含水量遥感产品的高频 X 波段和 C 波段传感器。

3.4.2 地下水

相对仅限垂直土柱顶层几厘米的微波反演而言，重力遥感提供了陆地总蓄水量（TWS）变化的综合测量，包括浅层和根带土壤含水量和地下水储存的变化。重力测量可以探测到陆

地总质量的变化，包括那些由于长期水文变化而产生的各种 TWS 成分变化。GRACE 重力观测被纳入土地数据同化模型，如估计土壤含水量和地下水状况的流域陆面模型[35,36]。从 GRACE 数据同化结果中发展土壤湿度和地下水异常指标，用于干旱监测。也有研究侧重于分离每月 TWS 信号中的地下水成分，并在跟踪长期水文干旱对地下水储存的大规模影响方面取得重大进展。

4 结论与展望

随着人口增长和农业、能源以及工业部门的扩张，水需求可能不断增长，世界上几乎每年都有一些地区遭遇水短缺的问题。干旱与人类活动的交叠作用可能会使一些脆弱的干旱、半干旱和亚湿润地区土壤结构和肥力退化，生物生产资源锐减或消失，进而向荒漠化发展。气候变化条件下，干旱频率和烈度可能会增强，其造成的经济、社会和环境影响也可能更为严重。因此，有必要发展国家干旱政策，科学地建立合理、全面和整合的干旱监测与预警系统，以便能更好地从局地、区域和国家水平上理解干旱现象及其相关的风险和涵义[15,21]。

自 21 世纪初，卫星遥感在实际干旱监测和预警方面应用广泛，技术成熟。鉴于若干遥感干旱指标已具有相对长期的历史记录，关于评估其表征干旱模式与条件方面的时空准确性的研究是将这一新信息有效纳入干旱决策活动的下一个关键步骤。评估干旱需要比较各个干旱指标对卫星观测记录中的历史干旱事件相关影响的反应（例如作物产量降低、水库水位下降、土壤含水量亏损、经济损失以及生态系统服务减少）。由于各种原因，干旱影响文件有限，所以干旱影响与遥感指标的比较具有相当的挑战性[37]。

随着遥感工具和产品正式纳入实际运作的干旱监测和预警系统，维持必要的卫星观测以保证干旱指标的计算将十分关键，因为决策活动将依赖于这些信息。这对遥感界相当具有挑战，因为随着时间的推移，将需要一系列卫星传感器来取代老化退化的仪器。这将需要对传感器之间的遥感观测结果进行相互校准，以确保在计算干旱指标时使用相同类型的数据输入，从而产生一致的长期数据记录。

卫星遥感干旱监测的另一个新兴领域是开发一种反映水汽压亏损（VPD）的指标，该指标可显示大气实际含水量与饱和空气含水量之间的差异。随着气候干燥，VPD 增加（即湿度水平降低），这往往是干旱爆发或干旱恶化的前兆。利用 NASA 大气红外测深仪的遥感近地表温度和相对湿度观测资料，结合实地观测的露点温度和相对湿度数据，可以计算大范围 VPD。研究表明，VPD 在干旱形成和迅速加剧期间都显著增加，表明遥感 VPD 具有很大应用潜力，可以为干旱预警和评估提供新的大气观察视角[35]。

单一的干旱指数不能说明干旱演变的全部情况，理想情况下，应该部署一套遥感诊断工具，使能够观察干旱演化的各个阶段—从大气需求到蒸发损失加强，再到土壤含水量亏损，再到林冠胁迫和退化，最后到效益损失和相关影响。这种多指标筛查，有助于及早发现干旱开始的迹象，并追踪干旱发展引起的越来越严重的后果，从而使我们能够更有效主动地适应不断变化的环境条件。

参考文献

[1] 李克让，尹思明，沙万英. 中国现代干旱灾害的时空特征. 地理研究，15（3）：6-15.1996.

[2] 顾颖，刘静楠，林锦. 近 60 年来中国干旱灾害特点和情势分析. 水利水电技术，41（1）：71-74. 2010.

[3] 李茂松，李章成，王道龙，等. 50 年来中国自然灾害变化对粮食产量的影响. 自然灾害学报，14（2）：55-60.2005.

[4] 陈方藻，刘江，李茂松. 60 年来中国农业干旱时空演替规律研究. 西南师范大学学报（自然科学版），36（4）：111-114.2011.

[5] 程静和陶建平. 全球气候变暖背景下农业干旱灾害与粮食安全. 经济地理，30（9）：1525-1528. 2010.

[6] Dai Aiguo. Increasing drought under global warming in observations and models. Nature Climate Change, 3: 52-58.2013.

[7] 马柱国和任小波. 1951-2006 年中国区域干旱化特征. 气候变化研究进展，3（4）：195-201.2007.

[8] Heim R R. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. Bulletin of American Meteorological Society, 83(8): 1149-1166.2002.

[9] 倪深海，顾颖，王会容.中国农业干旱脆弱性分区研究. 水科学进展，16（5）：705-709. 2005.

[10] 裴源生，蒋桂芹，翟家齐. 干旱演变驱动机制理论框架及其关键问题. 水科学进展，24（3）：449-456.2013.

[11] Alley W M.The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions. Journal of Climate and Applied Meteorology, 23: 1100-1109. 1984.

[12] 荣艳淑. 华北干旱. 北京：中国水利水电出版社.2012.

[13] Brown J F, Wardlow B D, Tadesse T, et al. The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. GIScience and Remote Sensing, 45(1): 16-46.2008.

[14] 宋连春，邓振镛，董安祥，等（编著）. 干旱—全球变化热门话题丛书（秦大河主编）. 北京：气象出版社.2003.

[15] 宋艳玲，董文杰. 1961-2000 年干旱对中国冬小麦产量的影响. 自然灾害学报，15（6）：235-240.2006.

[16] Beguería S, Vicente-Serrano S M, Reig F, et al. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. International Journal of Climatology, doi: 10.1002/joc.3887.2013.

[17] Gao Bocai.NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, 58(3): 257-266. 1996.

[18] 严登华，袁喆，杨志勇，等. 1961 年以来海河流域干旱时空变化特征分析. 水科学进展，24（1）：34-41.2013.

[19] 杨绍锷，闫娜娜，吴炳方.农业干旱遥感监测研究进展. 遥感信息，1：103-109. 2010.

[20] 刘文琨，裴源生，赵勇，等. 区域气象干旱评估分析模式. 水科学进展，25（3）：318-326.2014.

[21] Gu Yingxin, Brown J F, Verdin J P, et al. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. Geophysical Research Letters, 34, L06407, doi: 10.1029/2006GL029127.2007.

[22] Gu Yingxin, Hunt E, Wardlow B, et al.Evaluation of MODIS NDVI and NDWI for vegetation drought monitoring using Oklahoma Mesonet soil moisture data. Geophysical Research Letters, 35, L22401, doi: 10.1029/2008GL035772. 2008.

[23] 商彦蕊.农业旱灾研究进展. 地理与地理信息科学，20（4）：101-105. 2004.

[24] 王小平和郭铌.遥感监测干旱的方法及研究进展. 干旱气象，21（4）：76-81. 2003.

[25] 王筝，赵天保，侯美亭，等. 21 世纪初中国北方地区植被变化特征分析. 气候与环境研究，18（2）：

156-164.2013.
[26] 卫捷,陶诗言,张庆云. Palmer 干旱指数在华北干旱分析中的应用. 地理学报, 58(增刊):91-99.2003.
[27] 徐建文，居辉，刘勤，等. 黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应. 生态学报，34（2）：460-470.2014.
[28] 袁文平和周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望. 地球科学进展，19（6）：982-991.2004.
[29] 赵天保，陈亮，马柱国. CMIP5 多模式对全球典型干旱半干旱区气候变化的模拟与预估. 科学通报，59（12）：1148-1163.2014.
[30] 白力改,燕琴,张丽,等. MODIS 干旱指数对华北干旱的敏感性分析. 干旱区地理,35(5):708-716.2012.
[31] Ghulam A, Li Z L, Qin Q, et al.Exploration of the spectral space based on vegetation index and albedo for surface drought estimation. Journal of Applied Remote Sensing, 1(013529): 1-12. 2007.
[32] Hao Cui, Zhang Jiahua, Yao Fengmei. Combination of multi-sensor remote sensing data for drought monitoring over Southwest China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 35: 270-293.2015.
[33] Kogan F N. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. International Journal of Remote Sensing, 11: 1405-1419.1990.
[34] Kogan F N. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. Bulletin of American Meteorology Society, 76(5): 655-668.1995.
[35] Long Di, Shen Yanjun, Sun Alexander, et al. Drought and flood monitoring for a large karst plateau in Southwest China using extended GRACE data. Remote Sensing of Environment, 155: 145-160. 2014.
[36] Peters A J, Walter-Shea E A, Lei J, et al. Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 68(1): 71-75.2002.
[37] Quiring S M and Ganesh S. Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. Agricultural and Forest Meteorology, 150: 330-339.2010.

云技术在黄河防汛抗旱信息化建设中的应用

李自尊　　汤　进　　冯　建

（黄河水利委员会信息中心，郑州 450004）

摘要：黄河防汛抗旱任务具有长期性、复杂性和艰巨性等特点，近年来防汛抗旱信息化建设按照“大平台、大数据、大系统”的集成整合建设思路，以基于云技术的黄河云平台为基础，集成整合基础设施资源、数据资源、平台资源，融合虚拟化、容器、微服务、云存储等多种云技术，为上层防汛抗旱业务应用提供支撑服务。本文阐述了基于云技术的黄河防汛抗旱信息化建设总体架构及关键技术，就云技术在基础设施资源整合和黄河一张图上的应用进行了重点介绍，并开展了应用效果分析。云技术的应用一定程度上解决了黄河防汛抗旱信息化建设中存在的资源整合共享难、遗产系统重用难、运行维护管理难等问题。

关键词：云技术；黄河防汛抗旱；资源整合；虚拟化；微服务

0　引言

黄河流域全长 5464 公里，流经 9 个省区，自然条件复杂，河情特殊，决定着黄河防汛抗旱任务的长期性、复杂性和艰巨性。近年来，在水利信息化及国家防汛抗旱指挥系统建设的大背景下[1]，黄河水利委员会（以下简称黄委）建成了水情、工情信息采集、洪水预报、防洪调度、黄河防汛决策综合会商支持等系统，在防汛抗旱信息化建设中取得了一定成绩，但与治黄发展的新形势及新要求相比仍存在不足。主要表现在：1）资源整合共享难[2]。已建各类应用系统建设分散，软硬件设备随项目建设单独采购单独建设，信息资源复用难，利用效率及部署速率低；2）遗产系统重用难[2]。由于缺乏用来快速部署异构应用系统的标准化环境，且随着时间推移，承载原有系统的服务器硬件老化难以支撑不断增多的用户访问。3）运行维护管理难。各业务系统独立建设，从底层硬件设备到中间层支撑软件各自成套，升级及运维成本高。

本文在当前防汛抗旱信息化工作的基础上，针对黄委防汛抗旱信息化建设实际需求，详细阐述了如何基于云计算的先进理念，综合运用多架构融合技术，搭建基于云平台的 IaaS、PaaS，解决当前现状中存在的“资源整合共享难、遗产系统重用难、运行维护管理难”等问题。

1　总体架构

以黄河云平台为基础，按照“大平台、大数据、大系统”的集成整合建设思路，集成整合计算、存储、网络资源，融合多种技术，搭建黄河一张图、一个库等应用支撑平台资源，为黄河防汛抗旱信息化系统建设提供基础支撑。总体架构分为监测感知层、基础设施层、资源平台层、业务应用层等[3]，其中基础设施层、资源平台层基于黄河云平台融合多技术构建，连接监测感知层及数据资源池，为业务应用层提供服务。黄河防汛抗旱信息化建设总体架构如图 1 所示。

图 1　黄河防汛抗旱信息化建设总体架构

1.1　监测感知层

监测感知层实现对防汛抗旱要素的的感知采集。监测感知手段包括通过各类传感器采集形成地面监测站网以及结合遥感卫星、无人机、视频监视等技术的天空地一体化监测。

1.2　基础设施层

基础设施层包含机房环境和计算、存储、网络等资源通过虚拟化技术组建的资源池，提供数据资源、资源平台及业务应用基础设施云服务，实现资源的高效利用和统一管理。

1.3　数据资源池

黄委防汛业务涉及的信息种类繁多，数据资源池主要包括涉及水利业务和政务应用全局的水利对象基础数据、空间地理信息数据、遥感数据等基础数据，包含经济社会、工情险情灾情、指挥决策、防汛部署等业务数据以及水文气象等监测数据。

1.4　资源平台层

资源平台层依据面向服务的体系架构（SOA）思想，结合云计算的特性，引入微服务架构，以业务组件化、组件能力化及服务化为设计思路[4]，实现将分散的功能资源转化为集中的功能服务，最大限度实现共享组件、数据服务、应用运行环境等的功能复用，同时整合、调用基础设施层的各类资源，全面支持黄委防汛抗旱业务的预报、预警、预言、预案等。

1.5　业务应用层

基于基础设施层提供的计算、存储、网络等云基础设施，调用资源平台层提供的各类平台组件服务，建立防汛抗旱各项业务系统。

2　关键技术

云计算是一种将信息技术资源以服务方式动态、弹性提供，用户可以按需使用的计算模式和服务模式，具有分布式计算和存储特性、高扩展性、良好的管理性等特点，涉及虚拟化、微服务、容器、资源管理等诸多关键技术。

2.1　虚拟化技术

虚拟化是将计算机物理资源如服务器、网络、内存及存储等予以抽象、转换后呈现出来，使用户可以采用比原本的组态更好的方式来应用这些资源。这些资源的虚拟部份不受现有资源的架设方式、地域或物理组态所限制。从基础设施、平台资源到应用资源，不同层次都可以应用虚拟化技术。常见的虚拟化技术如系统虚拟化、存储虚拟化、网络虚拟化等[5]。

虚拟化技术的采用使应用层和物理层呈松耦合状态，有利于资源的扩展和动态调度，为云计算资源动态管理提供了强有力的技术支撑。虚拟化可以在计算、网络、路由器和交换网络、存储网络、防火墙和负载均衡服务上实施，对虚拟资源的管理可以使用管理工具进行。

2.2　云存储技术

云存储是在云计算概念上延伸和发展出来的一个概念，是一个由网络设备、存储设备、服务器、应用软件、公用访问接口、接入网和客户端程序等多个部分组成的复杂系统，对外提供安全、可靠、高效的数据存储和业务访问。

云存储核心在于解决以下四方面问题。第一，提供高可扩展性，即容量可以通过横向增加服务器、磁盘等线性扩展；第二，高性能的存储，在 I/O 和数据吞吐率方面能满足成百上千台规模的集群服务器聚合访问需求；第三，提供安全的共享数据访问，便于集群应用程序的编写和存储的负载均衡；第四，提供强大的容错能力，确保存储系统的高可用性。总而言之，理想的云存储系统应该具有安全性、可跨平台数据共享、高性能及可扩展性等特征，对于用户而言，看到的是单一的存储空间，而不用考虑存储实现细节。

2.3　微服务技术

微服务架构是一种软件架构风格，目标是将一个复杂的应用拆分为多个服务模块，每个模块专注单一业务功能对外提供服务，并可以独立编译、部署、更新，同时各模块间通过轻量级的交互机制来通信，组合为整体对外提供完整服务。由于每个模块功能互相隔离、且以容器为载体、可细粒度伸缩[6]，微服务架构相较于传统架构更稳定、具有更高的兼容性、更灵活集约，主要适用于数据量大或服务类型复杂、需要局部平滑升级、故障恢复困难、高可用性等特点。

2.4　容器技术

容器化是一种轻量级的虚拟化技术，区别于虚拟机的硬件层面虚拟化，容器是建立在操作系统级的虚拟化技术，以有效地将单个操作系统管理的资源划分到孤立的组中，以更好地在孤立的组之间平衡有冲突的资源使用需求。与传统虚拟化不同的是，传统虚拟化的虚拟机会完全与主机分离，而容器化与主机共享操作内核，只会在操作系统层创建一个个容器，具备性能损耗小、升级更简单快速、部署快速、服务无状态化等特点。容器与微服务有着天然的契合度，是微服务的绝佳载体，如将微服务化的 GIS 业务封装在一个个容器中，体积更小、资源利用率更高、部署更灵活。

但并不是所有的应用都适合微服务化，也不是说将一个单体应用拆分的越细越好，且业务应用的微服务改造需要较高的技术水平及工作量支撑，因此基于虚拟机形式部署业务应用

与容器形式部署支撑平台，根据业务特性和应用场景不同形成良好的互补。

3　技术应用与探索

3.1　基础设施资源整合共享

3.1.1　技术应用

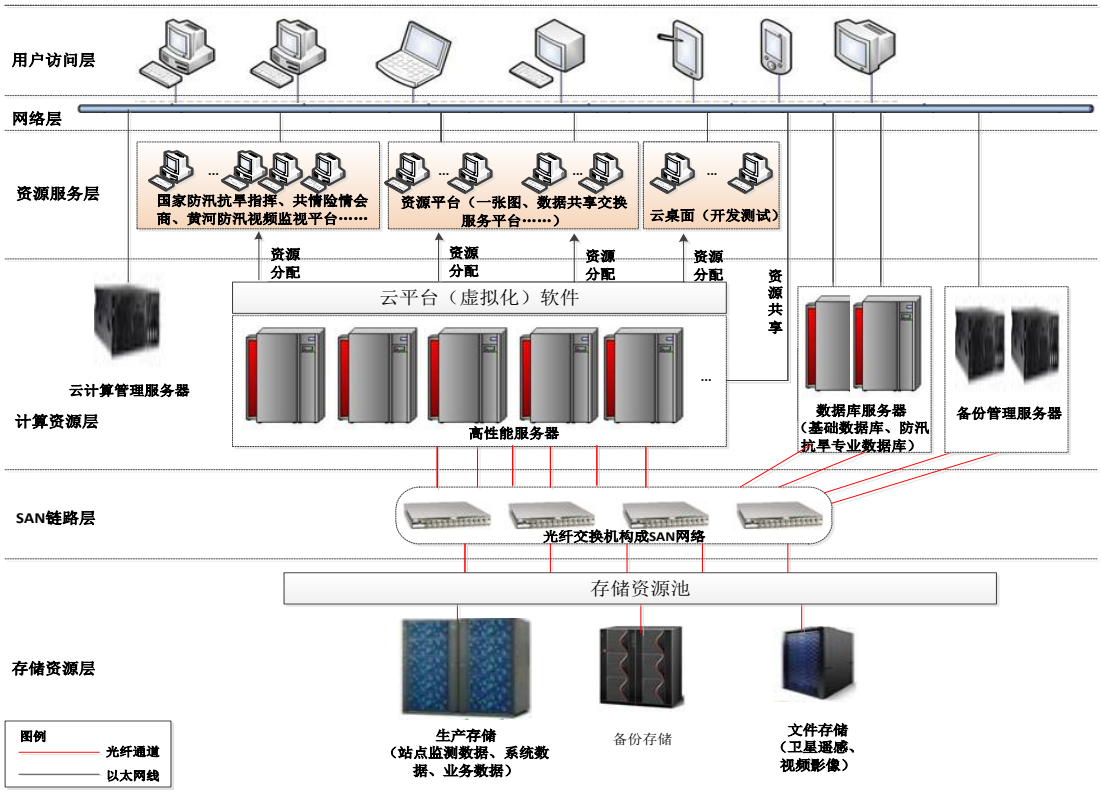


图 2　云基础设施部署结构

基础设施层通过融合多种存储备份架构、虚拟化技术、资源管理技术等，实现基础设施的整合共享，并采用 P2V 迁移技术，实现原有系统的云化迁移。

黄委防汛抗旱业务涉及到的数据种类繁多，既包括防汛抗旱工作核心的水雨情、工情、险情、灾情等结构化数据，也包括社会舆情、政务公文、防汛业务相关的图片和视频等非结构化数据，还有遥感影像和矢量等空间地理信息数据。针对不同数据类型，采用 FC-SAN、NAS 等存储架构，提供块、文件、对象等存储方式，通过存储虚拟化技术实现存储池化管理，使上层应用对具体存储技术的选择无感知。

计算资源池由一组可自动分配、弹性伸缩的 CPU、内存等资源组成，既包括新增高性能资源池服务器，同时兼顾原有性能较好的部分旧服务器，根据业务应用需求及资源性能特点，划分为业务应用集群、资源平台集群及开发测试集群，从而实现资源的高效利用，同时借助云平台特有的 HA、负载均衡等特性，实现业务系统的高可用需求。

在传统对文件、数据库等定时备份的基础上，利用云平台自身的快照、克隆等技术特点，实现对虚拟机的整机备份，当业务系统因意外宕机，可实现业务应用的快速恢复。

基于云计算管理平台，实现对计算、存储、网络、备份、资源平台等的统一管理与均衡调度。

3.1.2 效益对比

通过将原有黄河防汛抗旱信息化系统的云化改造，并基于云平台搭建防汛视频监视平台、黄河防汛抗旱综合信息服务平台等资源支撑平台，有效的解决了原有系统建设中存在的资源整合共享难、遗产系统重用难、运行维护管理难等问题，具体效益对比分析如下表所示。

表 1 云技术给黄河防汛抗旱信息化建设带来的价值分析

对比项	传统架构	云技术架构
业务连续性	双机高可用 小型机等高可靠服务器 达到 99.999%可用性成本高	零宕机业务连续性 普通的 PC 服务器集群 达到 99.999%可用性成本低
资源使用率	15%	60%
高可用覆盖率	20%	100%
部署新应用耗时	5 - 15 天硬件采购 1-2 天 部署	1 天内部署新服务器
系统维护	1 - 3 小时维护窗口 数天/周的变更管理准备 终端每天需要维护、升级	零宕机硬件升级 服务满意度更高 终端只需更新服务器即可
IT 基础设施管理方式	分散管理	集中管理
数据存储方式	分散存储	集中存储
IT 基础资源建设模式	单独采购、设备专用	集中采购、多业务共用
空间占用	5——6 个机柜	1——2 个机柜

3.2 “黄河一张图”平台层服务

3.2.1 技术应用

按照“基础共享，专业自建，分布服务”的创新地理信息服务模式，“黄河一张图”基础采用天地图和“水利一张图”提供的底图，各专业（如防汛抗旱、水资源、水利工程等专业）发布自己的专题信息服务，形成黄委统一的地理信息系统服务，重点实现资源整合和业务优化，消除应用壁垒和信息孤岛。针对 GIS 服务数据海量、计算密集、请求的超高并发等特点，“黄河一张图”基于黄河云平台建设，地图服务依托云中计算、存储、网络资源发布，由多台虚拟机支持一个发布地图服务的站点，并可根据负载弹性增加虚拟机。

黄河防汛抗旱信息化建设依托“黄河一张图”提供的基础空间地理服务，同时在业务建设过程中增加了河流、湖泊、水库、控制站、堤防、海堤、泵站、水闸、灌区、蓄滞洪区、跨河工程、治河工程、险工险点等单要素专题服务[7]。

3.2.2 发展探索

随着黄河防汛抗旱业务基于“黄河一张图”发布服务需求的增多、软件不断的更新迭代以及对安全要求的不断提升，传统基于虚拟机部署 GIS 服务的模式存在的升级缓慢、不能快速迭代、故障不能快速定位、问题无法快速解决等问题越发突出。基于微服务架构思想，以容器为部署载体，自动化编排、运维管理的 GIS 软件体系架构，具有敏捷、可靠、高弹性、易扩展、故障隔离保护、不中断业务持续更新等优势特点，可以很好的解决上述问题。

黄委防汛抗旱信息化建设更新迭代进程中，将 GIS 进行微服务化，GIS 服务之间的依赖被明确，且相互解耦，从单体式应用演变为分布式，支撑地理空间要素的采集、存储、建模、处理、分析等，给开发部署带来更多灵活性和技术多样性，使 GIS 能充分利用云计算的优势，构建和运行可弹性扩展的应用。

4 总结

按照“边整合、边应用、边完善”的建设思路，云技术已在黄委防汛抗旱信息化建设中全面推广使用，基于虚拟化、容器、微服务、云存储等关键技术搭建而成的云基础设施、数据资源池、资源平台等，有力的支撑了上层防汛抗旱业务应用，并在一定程度上解决了防汛抗旱信息化建设中存在的资源整合共享难、遗产系统重用难、运行维护管理难等问题。

参考文献

[1] 万海斌.顺势而上 加快构建新时期全国防汛抗旱智慧系统[J].中国防汛抗旱,2017,27(3):2.

[2] 朱跃龙.云计算与水利信息化[EB/OL].

[3] http://www.360doc.com/content/17/0821/23/35796855_681090961.shtml.2017

[4] 王封祚,王新福,高庆方,徐东彪.安徽省防汛抗旱地理信息云服务平台研究与建设[J].水利信息化,2019,(4):62-67.

[5] 张立鑫,王瑞明.基于云计算的水利综合管理信息平台技术架构的研究[J].河北省科学院学报,2016,33(2):12-16

[6] 肖建一. 中国云计算数据中心运营指南[M]. 北京：清华大学出版社. 2013.

[7] 曹帅,高祥涛,胡文斌,陈宁,丁玉鹏.基于云的省级水利数据中心关键技术探讨[J].水利信息化,2019,(5):54-58.

[8] 李长松,崔晓惠,杜文.黄河防汛抗旱综合信息服务系统设计与实现[J].水利信息化,2018,(5):56-60.

水利工程在防汛抗旱中的作用及发展对策

李美玉

（垦利黄河河务局，东营 257500）

摘要：众所周知，农业是国民经济的一个组成部分，必须积极发展。在农业发展进程中，特别是农业在防洪和抗旱项目方面，是农业生产的重要基础和基础，也是农业生产的重要保障。

关键词：水利工程；防汛抗旱；作用；发展对策

近年来，人类面临着人类与水之间严重的不平等。第一，水资源短缺并不能满足经济和社会快速发展的需要。随着经济和社会的迅速发展和生态建设的进展，对水的需求不断增加，水资源供求之间的矛盾将变得更加明显。第二，水生态环境的退化并不符合建设和谐社会的要求，地下水的水平正在下降，水受到严重污染。在易受污染地区，水土流失严重，山区的土壤和水处理速度无法跟上侵蚀的速度，环境也在恶化。

1　在防汛抗旱中，建设农田水利工程发挥积极作用

1.1　降低洪涝灾害对农业生产的冲击

中国其他地区水资源和降雨量不均分布对农业生产有很大影响。中国政府应加强农田水利事业建设，为农业生产提供安全用水，以解决水资源的最佳分配问题。在农业生产中，洪水对农业生产的影响是致命的，不能带来利益。农田水利项目可以分配水资源，在丰富的降雨下储存水资源，为干旱做好准备。同时，还可以减少洪水灾害。

1.2　调配水资源、节约水资源

在水资源保护项目运行中，可以分配水资源，管理和控制不同地区的水资源，合理利用水资源。水资源保护项目可以将水资源从雨量丰富的地区转移到农业灌溉水资源较弱的地区，确保水资源较弱的地区正常的农业生产。水资源保护项目的核心是合理利用水资源，促进不同地区农业生产的可持续发展。在水资源保护工作中进行了科学灌溉设计，在作物种植过程中，为了满足水资源需求，采用了可持续、平衡的灌溉方法。

2　在防汛抗旱中，提高水利工程管理水平发挥积极作用

2.1　加强管理措施的落实，提供可靠基础

水利工程建设质量和管理效率对中国农业基础设施的人力发展和建设进程有着直接影响。提高水利工程的管理水平，完善管理体制是重要的基础和前提。因此，有必要建立一个全面的水利工程建设和管理系统，并作出若干洪水管理安排，以便为预防洪水和干旱奠定坚实的基础。

2.2　对技术人员进行培训，提高基本能力

举世闻名的都江堰项目建成后，对旱涝控制起到了积极作用，而都江堰工程也使周边成为了丰沃的地区。一个好的水利项目，不仅可以有效地改善当地土壤肥力，使土地更加肥沃，

还可以带来更加丰富的水资源。人民是水利工程建设的主要机构，因此有必要提供职业培训，使人才能够在水利工程建设中发挥充分作用，使有关人员能够承担自己的责任。如果想要中国水利得到长期发展，相关部门必须制定相应的完善的可行性人才选拔和培养体系，提高工作人员的专业能力和综合素质，强化其管理能力和专业知识，同时从多种渠道引进技术高端人才，要强化各部门的沟通和协调能力，为中国水利工程建设做出积极贡献。加强监督和管理，严格控制水利工程的编制和招标，提高施工效率和工程质量，可以有效弥补水利工程监督机制的不完善。从建设到使用，我们应坚持信息披露、公平、公正、公开原则，监督水利事业的管理，吸引所有社会服务，确保水利事业达到更好的抗旱防洪效果。

2.3　推广科学灌溉技术，提高效率

随着社会经济的可持续发展，资源供应不足，可持续发展的概念正在扩大。这一理念的指导下，绿色农业的发展成为中国农业发展的根本方向。传统的洪水灌溉极其浪费水资源，相比之下，现代新的灌溉方法如滴灌、喷灌、管道灌溉和其他节水灌溉技术，不仅可以做到节约水资源，从而实现了在一定程度上节省农业灌溉成本并有助于改善的目标。中国人口众多，人均水资源较少。近年来，水污染加剧，水资源日益不足，推广这种科学灌溉技术已经是迫在眉睫的事情。南水北调项目在一定程度上缓解了北方的水压力，但对南方的水养护环境有一定影响。因此，除了北方和南方的水利项目之外，管理工作应该做得很好，应该以最少的投资实现最大的经济效益。只有这样，中国农业才能走上可持续发展道路，切实保障两岸人民的生产和生活安全，积极发挥防洪抗旱水库的作用。

3　强化水利工程防汛抗旱作用的对策

水利工程在防汛抗旱中起着重要作用。但是，目前水利事业的防洪和抗旱功能建设存在严重影响水利项目功能的问题，包括注意不足、防洪标准不足、资本供应不足等。在此基础上，水资源管理部门和相关行政部门应特别注意这一点，并采取有效措施，加强水利事业的防洪和抗旱救灾功能。

3.1　加强群众管理

水资源保护工作直接关系到人们的生产和生命，也是国家经济建设的基础。因此，有关部门应加强水资源保护事业，特别是农村地区水资源保护事业的宣传，公布水资源保护事业的作用，提高农民对水资源保护事业的了解，促进水资源保护项目的集体管理，并纳入村庄规章制度，让农民认识到水资源保护事业的管理是自己的责任。

3.2　重视水利工程管理，加大对技术人才的综合素质培训

“人们把食物送到天堂”的谚语和水资源保护项目的建设，对保障人们的粮食安全起着重要的作用。因此，水资源保护项目应加强管理，发挥防洪和抗旱作用。在这方面，地区领导人应注意这一点，以实施政策和基金。人们应该合作，形成良好的社会氛围，以便采取行动。

水资源保护项目要认识到专家对工程建筑质量和维护的重要性。在早期阶段，为了确保完美的设备，最好的才能将成为关键。因此，必须以计划的方式选择专家，以满足该位置的

实际需要。有必要以计划的方式组织研究和教育，加强员工的学习能力，提高专业质量和工作能力。水资源管理、水资源管理及水土保持专家应采用计划的方法招募，以更好地指导复杂工作的完成，确保项目管理的高质量。

3.3　正确理解水利产业政策

农村地区的水利建设项目根据其功能分为两类:一类是具有强大社会效益和公共福利的项目，另一类是具有特定经济和社会利益的项目，包括供水、地表水养殖和综合水资源保护和管理。灌溉和农田管理项目是生产性农业项目，农民应该成为农业生产投资的主要机构。

3.4　完善监督机制

在社会主义市场经济大环境下，水利项目在管理过程中应严格把关，应本着竞争、公开、透明的原则，在市场监管下建立监督机制是最终目标，提高管理效果。监督机制应该贯穿在项目编制、招标、项目建设和项目使用的整个过程中。在公开透明的监督机制下，工程建设质量得到最高保证，创立出优质优秀、更好防洪抗旱的水利水电工程。

3.5　加强对水资源的利用

为了保护生态环境，做到生态供水，绿色农业生产成为农业发展的总方向。传统的大面积灌溉既浪费水，又浪费人力和材料资源。为了灌溉面积最大的地区，使水资源得到最大利用，为农业生产提供长期有效的发展，有必要研究节能和节水技术，如运河防腐管技术、低压喷灌技术、管道灌溉技术等节能节水技术。

3.6　做好工程的维修管护工作，确保水利工程的正常运行

对水利项目做好后期维修养护工作，是保证项目完工后正常运行的必备条件。一方面，应实现管理权和财产权在市场上的运作，明确市场背景下的道德关系，完善各种制度，优化水土保持管理。另一方面，我们应该加强企业抑制制度，完善各种报酬和处罚制度承担明确的个人维护和管理责任，组织定期检查，在发现问题时解决问题，改善损坏时的问题，确保正常运作，探索潜在的社会和经济效益。

总之，水资源保护的建设与地区经济发展密切相关，在防洪和抗旱中起着重要作用，水资源保护部门和相关行政部门应采取积极有效的措施，充分解决水资源保护事业建设和管理问题。要通过高速公路建设，有效地开展水资源保护项目的防洪抗旱工作，改善工程设计，加强集体管理，建立综合防洪抗旱机制。

参考文献

[1] 雷天宇,金志伟,杭丹.关于水利工程防汛措施与抢险对策研究[J].科技展望,2015(34):85.

[2] 孙同江.探析水利工程在防汛抗旱中的作用及对策[J].农民致富之友,2015(7):271.

[3] 王岩.防汛抗旱中水利工程的作用及对策分析[J].黑龙江水利科技,2017(9):228-230.

基于虚拟化应用支撑环境在防汛抗旱中的作用

冯　建　　李自尊　　汤　进

（黄河水利委员会信息中心，郑州 450008）

摘要：基于虚拟化平台的应用支撑环境在黄河防汛抗旱信息化中的应用研究是为了探讨在虚拟化技术应用下，通过已建立的基于虚拟化的应用支撑环境，研究在黄河防汛抗旱信息化过程中所发挥的作用。本文首先对云计算技术概念做了简单介绍，随后对黄河防汛抗旱的信息化现状和黄河云平台现状进行描述，并对虚拟化的应用支撑环境在防汛抗旱信息化建设过程中，从信息化建设成本、业务部署效率、资源调度、运维保障、应急演练等方面所发挥的作用进行逐一分析，从而达到解决当前存在的问题和适应未来发展要求的目的。

关键词：云计算；防汛抗旱信息化；黄河云平台

1　云计算概述

百度定义的云计算有狭义和广义之分：“狭义云计算指 IT 基础设施的交付和使用模式，即通过网络以按需、易扩展的方式获得所需资源；广义云计算指服务的交付和使用模式，即通过网络以按需、易扩展的的方式或者所需服务。这种服务可以是 IT 和软件、互联网相关，也可以是其他服务。云计算产业的三级分层：云软件、云平台、云设备。”[1]

云计算从交付模型上可分为：公用云、私有云、混合云、社区云。公有云是面相公众提供的云技术设施，私有云是组织专用的云基础设施，混合云是有两个或两个以上公有云及私有云构成的基础设施，社区云是多个机构之间共享支持特定社区的云基础设施。[2]云计算从服务模型上可分为软件即服务(SaaS)、平台即服务(PaaS)、基础设施即服务(IaaS)。

2　黄河防汛抗旱信息化现状

黄河防汛抗旱方面的信息化在近几年主要是国家防汛抗旱指挥系统二期工程黄委建设项目，它是以流域水情工情信息采集系统为基础、计算机通信网络和信息安全系统为保障、防汛业务应用信息处理系统为支撑、决策支持系统为核心，构建科学、高效、安全的黄河防汛抗旱指挥系统。建设任务包括：水情信息采集系统、工情信息采集系统、工程视频监控系统、移动应急指挥平台、计算机网络与安全系统、数据汇集平台与应用支撑环境、防汛抗旱综合数据库、洪水预报系统、天气雷达信息应用系统、上游防洪防凌调度系统、抗旱业务应用系统及综合信息服务系统。

目前正在推进建设的防汛抗旱信息化项目有黄河中下游防洪联合调度方案和黄河中下游洪水预报防洪调度一体化平台，主要是在黄委防汛减灾综合门户下，采用 B/S 结构，充分运用黄河“一张图”和“一个库”成果，在基于黄河云平台虚拟化的应用支撑环境下开展系统建设，目前已有部分试点工程完成建设。

图 1　基于黄委“一张图”系统的防汛应用图

3　黄河云平台现状

这几年黄河数据中心通过相关项目的资金投入，建立了基于私有云模型的黄河云平台。黄河云平台采用多台高性能资源池（8 路）服务器、二台云平台管理服务器搭配高端磁盘阵列存储设备及 fc-san 网络进行云计算基础架构的搭建，通过华为 FusionSphere 底层的虚拟化功能将计算、存储、网络等池化成统一管理的虚拟化资源池，并配套对应的数据库资源和备份资源，形成完备的黄河云数据中心。目前云平台上运行的业务系统涉及有：黄委国家防汛抗旱指挥系统相关业务、水利财务系统业务、一张图系统、黄委 OA 办公系统、防汛业务系统、综合门户网站业务、电子公文系统、气象、水文、地理信息、遥感影像等等。目前黄河云平台上已运行了 350 多台业务虚拟机。

下图为黄河云平台拓扑结构图。

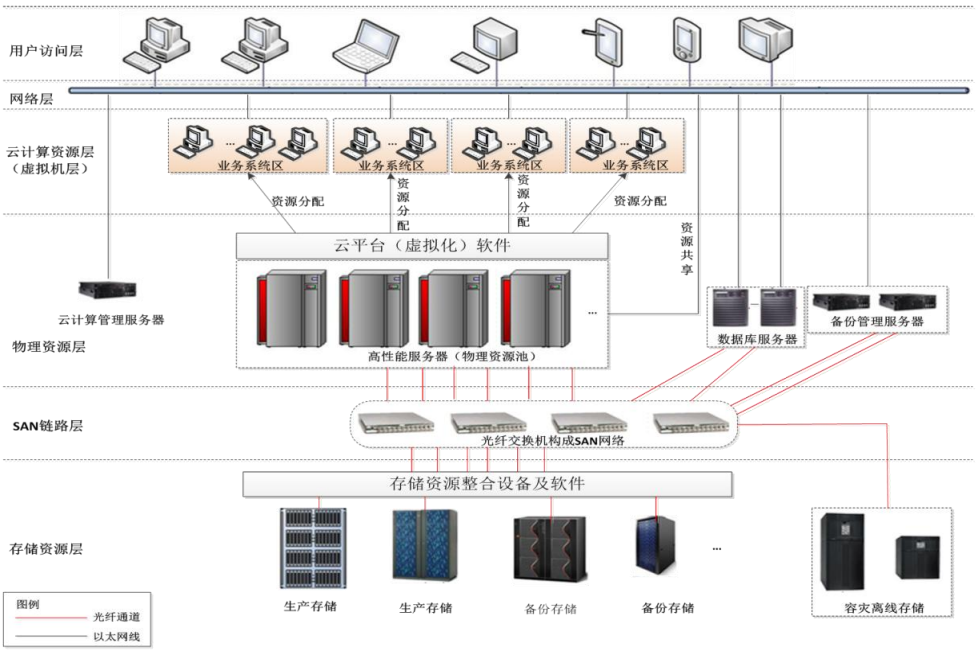


图 2　黄河云平台拓扑图

黄河云平台架构主要分为:存储资源层、SAN 链路层、物理资源层、云计算资源层、网络层、用户访问层几个层次。

存储资源层主要是生产存储设备、备份存储设备以及容灾离线存储设备等存储类设备，存储设备通过光纤交换机跟云平台进行联通，将存储设备纳入云平台的存储池，可将存储设备进行存储虚拟化，再通过云平台的存储资源分配机制进行分配。

SAN 链路层主要是光纤交换机设备，通过 FC-SAN 光纤交换机的 ZONE 配置，可将存储直接分配给云平台、数据库服务器和备份服务器等。这种 SAN 网络连接方式可以达到集中管理存储资源的目的。

物理资源层主要是纳入云平台系统的高性能服务器、云计算管理服务器、数据库服务器、备份管理服务器。高性能服务器主要是纳入云平台中，利用虚拟化软件将 CPU、内存等物理设备进行虚拟化，然后按需求进行分配创建虚拟服务器。

云计算资源层主要是通过云平台（虚拟化）软件，将虚拟化后的存储资源、计算资源、网络资源等进行合理规划后，按照实际应用需求创建出在 CPU、内存、存储、网络等性能方面和实际物理服务器配置一样的虚拟机服务器。对使用虚拟机服务器的用户来说，是看不到实际物理服务器存在的。用户可通过 IP 远程访问虚拟机服务器，可安装业务应用要求的操作系统、配置应用环境、搭建 WEB 发布环境、安装数据库等等。

网络层主要是局域网或者移动网，主要是应用服务对外发布访问的网络，对黄河云平台来说，由于安全机制方面的因素考虑，目前使用的网络主要是内部网络或者是通过 VPN 获得许可的外网终端访问。在网络安全方面也部署了诸如防火墙、堡垒机、安全审计等网络安全设备，对黄河云平台进行了全面的安全保护。

用户访问层主要是云平台用户通过个人电脑、笔记本电脑、移动终端设备等通过网络层进行应用访问，并不需要关心访问的应用是在物理服务器上还是虚拟服务器上。

4 主要作用

基于虚拟化应用支撑环境建设之后，在治黄信息化方面的作用比较明显，主要体现在以下几个方面。

4.1 信息化建设成本降低

2016 年之后，基本上新建的治黄信息化业务系统是都是部署在虚拟化平台上，一些旧有老化服务器上的业务系统也逐步迁移到虚拟化平台上，这部分虚拟机如果代替成物理服务器，至少需要上百台物理机，个别业务系统还需要配置成冗余的集群架构。每个物理机按照中等配置估算约 10 万，至少需要上千万资金花在采购服务器上。而且还需要配套相应的机柜、网络交换机、光纤交换机、光纤网线等基本配置，必要的时候还需要对机房电源进行改造。另外这类物理业务服务器如果进入生产运行阶段，耗费的电费也是不可低估的。通过虚拟化平台的建设，这些费用都节省下来，创造了很好的经济效益。

4.2 业务部署效率提高

在一次时间紧、任务重的防汛抗旱业务系统部署过程中，只用了 1 个小时之内就把应用

系统运行起来。而在以往，需要进行服务器比选、谈价、合同签订、发货、现场到货、开箱验收、上架加电、安装操作系统、最后再进行业务应用系统部署，这个过程前后至少要差不多 2 个月。

而且通过虚拟化的平台部署之后，还可以立刻利用云平台本身的快照、克隆、备份（或者基于第三方的备份软件）功能进行数据安全保护。特别是快照功能，可以在每一个部署的关键节点设置节点，一旦需要回退可以快速回退到上一个有效的配置的时间节点上。而物理应用服务器如果在部署过程出现问题，往往需要重新部署相关的操作系统或者业务系统，导致时间浪费、效率低下。

4.3　资源调度灵活

一个业务应用的物理服务器如果出现内存不够或者磁盘空间不够的情况，需要考虑采购内存或者硬盘进行资源扩容，这往往需要走比较繁琐的审批流程。而计算机产品的迭代速度是比较快的，在甚至极端情况下，有的型号内存或者硬盘甚至都已经停产而无法采购，从而无法进行计算性能提升或者磁盘空间的扩容。

基于虚拟化平台的应用支撑通过将计算资源和存储资源虚拟化之后，对虚拟机服务器的 CPU、内存和硬盘资源调度都很方便。当业务系统负责人提出需求申请之后，基本都是分钟级的相应速度。每次汛期期间，笔者单位的防汛部门在都要求对部署在云平台上的防汛业务系统进行 cpu 或者内存的扩容，待汛期过后再调到正常配置参数，从而保障安全度汛。

4.4　运维保障可靠

4.4.1　硬件维护

在传统的物理服务器上，如果业务应用系统是单机服务器架构，而且配套的硬件（电源、风扇或硬盘）也不具备冗余结构，那么这些服务器中任何一个硬件部分出现故障都可能会导致这个业务系统立刻宕机。

这点在虚拟化平台结构中几乎不会出现，这是因为业务虚拟机是运行在具有集群架构的多节点资源池服务器上的，一旦业务虚拟机所在的物理资源服务器出现硬件故障影响正常运行，虚拟化集群系统监测到这个变化之后，会将该物理资源池服务器上面所有的虚拟机自动迁移到其他正常运行的物理资源池服务器上。而高性能的物理资源池服务器的配件都是高冗余配置结构的，比如笔者单位的资源池服务器配置是 8 路 CPU、4 个电源加 4 个风扇，资源池服务器的系统硬盘也是以 RAID5 结构组成的系统盘。即使出现硬件故障也不会立刻导致物理资源池服务器宕机，会给予充足的处理时间，让运维人员联系厂家进行配件更换，而且一般情况下硬件部分配件更换都可以实现在线更换，不需要关机处理。

4.4.2　软件维护

近几年国家对网络安全非常重视，特别是水利部组织攻防演练后，需要对相关系统进行的整改，如果整改之前不做相应的系统备份应急措施，很可能进行某个整改措施操作之后，因为不兼容因素导致整个业务系统直接崩溃了。

而对于基于虚拟化应用支撑环境的业务系统，则可以通过快照、克隆或者备份等方式，

对虚拟服务器进设置一个时间节点的系统备份，随后根据整改要求对进行整改，万一整改过程出现异常可以快速回退到整改前的时间节点。笔者所在的单位涉及到需要整改的业务虚拟服务器都是先打快照，然后业务系统负责人进行整改，整改过程出现异常进行回退重新梳理整改方案。少部分业务系统的负责人因为不熟悉虚拟服务器有快照和克隆功能，直接进行了整改操作，导致业务系统直接崩溃了，最后不得重新部署的情况。

除了基于网络安全和攻防演练的整改要求，如果不小心中了勒索病毒或者蠕虫病毒导致数据文件无法正常访问，也可以通过提前做好的快照、克隆或者备份方式直接恢复起来。

4.5　应急演练便捷

根据防汛抗旱的应急保障要求，每年至少需要进行 1-2 次的应急演练，而在以往由于没有足够的经费采购应急服务器，导致应急演练落实往往不到位。即使有了足够的经费，应急服务器一般只做专项演练，演练完毕之后服务器就闲置起来了，别的业务系统想用也用不到，造成使用上的浪费。

而基于虚拟化的支撑平台可以提供临时的应急服务器，通过对生产业务系统的虚拟机进行克隆，可以搭建一个完美贴近实际业务生产机的应急演练环境。既不影响业务生产，又可以模拟业务生产机的环境。由于是通过克隆方式产生的应急演练环境，在涉密安全保障的基础上，上面的数据都是基于实际生产环境的数据，所以具备很高的演练真实性。可以达到很好的应急演练效果，检验各方面存在的问题。

5　结语

虽然基于虚拟化的应用支撑环境给黄河防汛抗旱信息化带来了便利性，但是 2021 年 3 月 10 日欧洲云计算巨头 OVH 在位于法国首府斯特拉斯堡的数据中心发生严重的火灾事故也说明了基于虚拟化的应用支撑环境也需要做好容灾建设。这次火灾中一个数据中心完全被毁，一个数据中心部分受损。而受损的数据中心没有数据备份，导致部分网站的数据无法被修复。这个火灾最后调研出来是 UPS 电源故障引起的火灾。这就说明了业务系统集中上云之后，除了要做好异地云容灾系统建设之外，日常机房的运行维护也要规范好，万万不可松懈。

参考文献

[1] 黎连业,王安,李龙.云计算基础与使用技术[M].清华大学出版社.2013.12-14.

[2] Joysula,V&M,Orr&G,Page.Cloud Computing Automating the Virtualized Data Center[M].张猛,云计算与数据中心自动化.人民邮电出社.2012.11-15.

山东黄河基层单位防凌防汛信息监测预警系统应用研究

于晓波

（山东黄河信息中心，济南 250031）

摘要：随着国家“智慧水利”、“智慧黄河”等顶层设计的提出及相关建设项目不断推进，提升黄河现代化信息化水平的需求也在日益提高。建设山东黄河基层单位防凌防汛信息监测预警系统，可实现实时对山东黄河基层单位管辖范围内重点河道的水位、水温等水情、凌情信息以及降雨量、气温等气象信息的在线监测，提高基层单位信息数据监测能力，能够及时掌握工程险情，实现对水情、凌情状况的预测、事件预警、信息自动上报、共享和业务协同，推动山东治黄防汛防凌管理现代化信息化水平的提升，补强治黄信息化短板、助力行业监管，提升山东黄河治理体系和治理能力水平。

关键词：防汛防凌；信息采集；监测预警；治黄信息化

1 概述

目前山东黄河基层单位管辖范围内重点河道的水位、水温、冰凌密度等防凌防汛信息，以及降雨量、气温、湿度等气象信息的数据依然依靠人工监测，基层单位防汛防凌信息数据采集、实时监测、信息感知能力等效率低下、能力不足、智能协同应用不健全。防凌防汛业务智能化不足，系统功能不完善、内容不全面、分析统计功能较差。数据采集的覆盖范围不全面，无法实时掌握山东黄河流域范围内的水雨工凌情等数据。信息采集大多还停留在视频监视、水位遥测等初级阶段，水雨工凌情观测等精度不够。在应急处置方面尚缺乏应急监测、跟踪、决策、处置和反馈等多个环节的信息技术支持。业务处理和统计仍以人工方式为主，自动化程度低。为切实减轻黄河防汛基层职工巡查监测劳动强度，降低巡查过程风险，提升治黄业务信息采集实效性，建设山东黄河基层单位防凌防汛信息监测预警系统，可实现省、市、县、基层段所四级同步获取采集信息，对沿黄河道汛情、凌情状况进行预测和报警，提升治黄防汛防凌管理的科技含量和管理水平，实现治黄各业务系统共享采集信息。

2 系统目标

基于视频监测、物联网等信息技术，结合气象、水情等基础信息，通过大数据和云计算技术，使各类信息资源得到充分整合和共享，建设开发山东黄河基层单位防凌防汛信息监测预警系统，对山东沿黄河道汛情、凌情状况进行预测和报警，提升治黄防汛防凌管理的科技含量和管理水平。

3 系统任务

山东黄河基层单位防凌防汛信息监测预警系统可实现对重点险工或控导处水情、凌情、水温视频监测、对水文测站及设施的视频监测和数据传输，数据资源的存储分析和支撑应用等各个方面。主要包括：信息采集智能感知体系、信息传输网络通道、防凌防汛信息监测预警系统开发等几个方面。

3.1　信息采集智能感知

建设重要险工或控导工程等重点区域处补充实时水情凌情监视点，建设智能监测气象站，建设水情水尺监测点，建设河道水温监测点，并对录像进行存储和智能分析。

3.2　信息传输网络通道

建设信息智能感知采集点至基层管理段信息通信机房的传输通道。

3.3　防凌防汛信息监测预警系统

开发防凌防汛信息监测预警系统，实现被监测对象的监测信息统一集中管理，整合信息资源，为防凌防汛管理提供决策支持，实现集自动化数据采集、智能化数据分析、实时数据上报一体的综合性监测预警平台。

3.4　防凌防汛信息监测预警中心

在山东黄河信息中心泺口通信站建设防凌防汛信息监测预警中心，在此将山东黄河所有基层管理单位防凌防汛信息监测预警系统与其他应用系统进行集成，实现统一的数据管理与调度。

4　系统方案

在山东黄河下属所有基层一线管理单位建设防凌防汛信息监测预警系统。主要包括：信息采集智能感知体系、信息传输网络通道、基层单位防凌防汛信息监测预警系统开发、防凌防汛信息监测预警中心建设等几个方面。

4.1　信息采集智能感知

在山东沿黄河道重要每个重要险工或控导工程等重点区域处补充实时水情、凌情、水位测站视频监测点 1 处，建设水温监测点 1 处，建设部分智能自动监测气象站，并对监视录像进行存储和智能分析，实现全天候、高清晰的实时视频监控。通过高分辨率视频影像进行识别解译，及时掌握获取监测范围的汛情、凌情、水文气象等动态信息，通过人工智能技术对监测数据综合分析及时获取水情、凌情、水温、降水量、气温等信息，提升综合监管能力。并实现对水雨情等进行动态监测预警，实现动态监测、智能判断识别，自动提示运行状况，提升感知对象的实时监测和自动预警能力。

4.2　信息传输网络通道

本方案只涉及信息智能感知采集点至基层管理段、所信息通信机房的传输通道问题。综合考虑成本及实施难易程度等方面因素，确定监测点距管理段、所距离较近的采用光纤或宽带无线网桥传输方式，距离较远且不宜敷设光纤、安装无线网桥者，采用 TD-LTE 传输方式，尽量本着简单易行且节约资金的原则进行建设。

4.3　山东黄河基层单位防凌防汛信息监测预警系统软件开发

开发山东黄河基层单位防凌防汛信息监测预警系统软件，实现消息推送服务、系统管理服务、数据计算处理服务；实现水情、凌情等被监测对象的大量监测信息的全过程、统一集中管理；实现数据采集自动化，数据分析智能化、在线监测智慧化，形成集自动化数据采集、智能化数据分析、智慧化在线监测、数据上报预警为一体的防凌防汛信息监测预警系统平台。

基层单位防凌防汛信息监测预警系统平台主要由监测数据汇集、监测信息管理、监测数据分析、监测预警分析、监测数据报告报表统计分析上报等几个部分组成。

4.4　防凌防汛信息监测预警中心

在山东黄河信息中心泺口通信站建设防凌防汛信息监测预警中心，在此将基层单位防凌防汛信息监测预警系统与多个应用系统进行集成：所有监测数据可经过系统接口与上级数据中心同步；与已有的黄河水情信息查询及会商系统、防汛决策指挥系统、水量调度系统等进行系统升级与接口集成；开发与水文部门的数据接口、与下游涵闸监控系统的接口、与各业务管理系统的接口，实现统一的数据管理与集成。

5　结束语

山东黄河基层单位防凌防汛信息监测预警系统是基于物联网、图像识别、GIS 等信息技术，结合气象、水情、巡检、视频等基础信息，通过大数据和云计算技术，使各类信息资源得到充分整合和共享，对沿黄基层单位防凌防汛信息状况进行预测和报警。实现“信息采集自动化、传输网络宽带化、安全管理智能化、决策支持可视化”，提升山东黄河基层管理段防凌防汛管理的科技含量和管理水平，补强治黄信息化短板、助力行业监管，提升山东黄河治理体系和治理能力水平，推动治黄业务智能化。实现系统实用、信息安全、技术超前、资源共享、体系融合、网络畅通六大信息化发展目标，服务治黄全业务、全面提升整体能力，不断推动山东治黄事业高质量发展。

参考文献

[1] 韩作强,王旭东,芦璐.2017-2018 年度黄河下游凌情特点及分析[J].中国防汛抗旱,2018, 28(12).

[2] 孙莉,孙玉勤,薛庆宇.黄河下游凌汛特征及防御措施[J]. 中国防汛抗旱, 2011, 21(3).

城市治理中防汛防台指挥系统升级的经验和启示

黄士力　　陈　升　　高芳琴　　沈建刚

（上海市防汛信息中心，上海 200050）

摘要：促进城市精细化管理，加强防汛防台智能指挥，是提升城市现代化治理水平和应急管理能力的重要措施。当前防汛防台指挥系统主要存在“跨部门信息共享不够、基层信息获取不畅、历史数据回溯分析不足、实战指挥支撑不够”等问题。“一网统管”是提高城市治理能力现代化水平的“牛鼻子”工作，上海市依托“一网统管”理念，在已有防汛信息化基础上，搭建了超大城市防汛防台智能指挥系统，支撑全市防汛工作统一实时调度和多部门联动协同，初步实现了防汛信息“全面、实时、精准”和防汛处置“快速、联动、闭环”的目标。

关键词：防汛防台指挥系统；城市治理；一网统管；上海市

0　引言

推进国家治理体系和治理能力现代化，必须抓好城市治理体系和治理能力现代化。当前，上海正在大力探索超大型城市创新治理的新模式、新路径，全面提升城市综合治理效能。2020年，“一网统管”作为上海提高城市治理能力现代化水平的“牛鼻子”工作，列入上海市信息化建设的重点内容，全市出台城市运行三年行动计划，加快推进“一网统管”建设，以大数据、人工智能等现代科技手段赋能传统管理，以提升处置各类事务的效能效率。

如何围绕城市防汛安全中重点、难点、热点和痛点问题，搭建支撑超大城市防汛防台指挥的智能化平台，促进城市精细化管理，减轻防汛抗灾压力，是提升城市现代化治理水平和应急管理能力的重要措施。上海市防汛防台指挥系统列入市“一网统管”十大重点系统，提出从“全社会防汛”的角度，打造防汛指挥的“一屏观全域、一网管全城”，实现态势全面掌握、趋势智能预判、资源统一调配、指挥人机互动。

1　当前防汛防台指挥系统主要存在的问题

上海市防汛指挥部门经过 20 多年防汛信息化投入建设和应用，基本形成了防汛基础设施、市区街镇三级组织指挥体系的“数字化一张图”，以防汛需求为导向，实现全社会信息汇聚，整合流域机构及测绘、气象、海洋、海事、住建、生态环境、公安、交通等部门相关信息；以汛情灾情处置为主线，打造多功能的业务应用，建设水雨情自动测报、积水自动监测、高清视频会商、防汛风险分析、水闸泵站调度、移动泵车调度等管理系统。

上海市防汛防台指挥系统走过了一条从单部门信息化到跨部门协同、从初级整合到深度整合、从单系统建设到平台信息化的实践道路，但对照超大城市精细化、智能化治理的新要求，上海市防汛防台指挥系统主要还存在“跨部门信息共享不够、基层信息获取不畅、历史数据回溯分析不足、实战指挥支撑不够”等问题。

1.1　跨部门信息共享不够

在防汛指挥信息方面，支撑应急指挥和联勤联动的灾情信息、指挥信息不全、不及时，在交通指挥信息、薄弱段视频监控信息，以及船只进港避风、高空坠物伤人、建筑工地度汛、地下空间雨水倒灌、危房简屋坍塌等信息方面获取存在覆盖不全、不及时、不准确问题，在与公安、交通、住建（三级网格化中心）等部门的信息联动方面渠道不畅。

1.2　基层信息获取不畅

已有的灾情信息统计仅覆盖到市、区两级，缺乏街镇防汛办和村（居）委等基层统计源头的数据，“条、块”报送存在重复的情况，业务流程有待梳理，灾情报送路径不畅，信息报送不够规范及时，数据质量不高，信息统计不能满足与城运系统、其他委办单位的联勤联动和即时通讯。

1.3　历史数据回溯分析不足

在历史台风汛情资料方面，历史台风汛情资料分散、结构不统一，未形成统一的数据库，存在历史汛情数据治理深度不够，汛情多要素数据之间的关联关系、统计分析、科学比对、实时模拟、量级分析，历史汛情数据治理深度不够，决策指挥的智能化应用有待提升。

1.4　实战指挥支撑不够

防汛指挥系统的建设，既要兼顾防汛日常值守模式，又要重点关注防汛应急指挥调度的实战模式。目前系统以“观”为主，实现了已有信息的汇聚和发布，但未能从实战角度出发，缺乏以事件态势以及相关处置全过程的呈现。

2　系统总体设计和功能实现

在已有防汛信息化基础上，按照防汛工作“横向到边、纵向到底、智能指挥、应急处置”的总体要求，上海市防汛防台指挥系统围绕“观管防”体系全面升级，从台风防御实战场景出发，以 GIS 地图和台风过程时间轴时空联动呈现，共设计为六个版块：地图版块、值班值守版块、汛情灾情舆情社情版块，视频监控视频指挥版块、防御准备版块和重点风险版块。

2.1　地图版块

从全社会防汛的角度出发，整合测绘、气象、海洋、海事、住建、生态环境、公安等部门相关信息，汇聚流域、近海及本市水情、雨情、风情、工情、灾情的神经元感知信息，各类防汛数据在“一张地图”上直观显示。以地图+时间轴“时空联动”的形式呈现台风、暴雨的全过程。

2.2　值班值守版块

实时显示全市市、区、街镇三级值班人员列表，防汛人员值班签到后即时呈现在系统上。可通过系统实时连线值班人员，便于下沉指挥。

2.3　汛情、灾情、舆情、社情版块

汛情直观反应影响上海汛情的四大致灾因子：台风、暴雨、高潮和洪水的特征变化，以及是否有预警。四大因子以特征值、面、点三个层次进行呈现，例如暴雨因子，特征值包括雨型、单站雨量最大值及预警信号级别，点击特征值后显示全市雨量面状分布，点击某一个

雨量站点，显示详细降雨过程，并关联到周边视频，直观精准了解点上雨情。

灾情统计来自于基层灾情直报，工作人员通过上海市政务微信的轻应用入口，将居民进水、树木倒伏、高空坠物等基层第一手信息，通过系统进行实时报送，形成了以块为主、街镇为主体的数据收集模式，灾情信息更加及时、规范。

舆情来自于市委网信办的实时网络舆情监控信息，主要是针对网站、微博、自媒体，聚焦网上与防汛有关的道路积水、小区进水、看海等 18 个关键词、敏感词，反映当前防汛相关舆情。

社情来自于市民热线报灾信息，集成了 110、12345、12319 等热线的防汛相关数据，实时关注市民报灾信息和灾情处置进程。

2.4　视频监控视频指挥版块

系统整合 1000 多路全市不同部门的视频资源，并按照重要区域、重要设施、重点工程进行分类、标注和查看。

2.5　防御准备版块

主要包括防汛预案准备和落实情况，具体为人员转移安置、船只进港避风，以及市、区、街镇三级防汛队伍、防汛物资以及移动泵车调度情况。其中船只进港避风，通过 AIS 信息显示上海境内和周边海域船舶动态，台风期间显示海事报送的船只进港避风情况。

2.6　重点风险版块

重点关注地下空间、危房简屋、在建工地等防汛 6 大风险。以区为单位定期开展防控风险排查（汛前每两个月一次、汛期每月一次），动态跟踪隐患整改，逐月滚动销项。

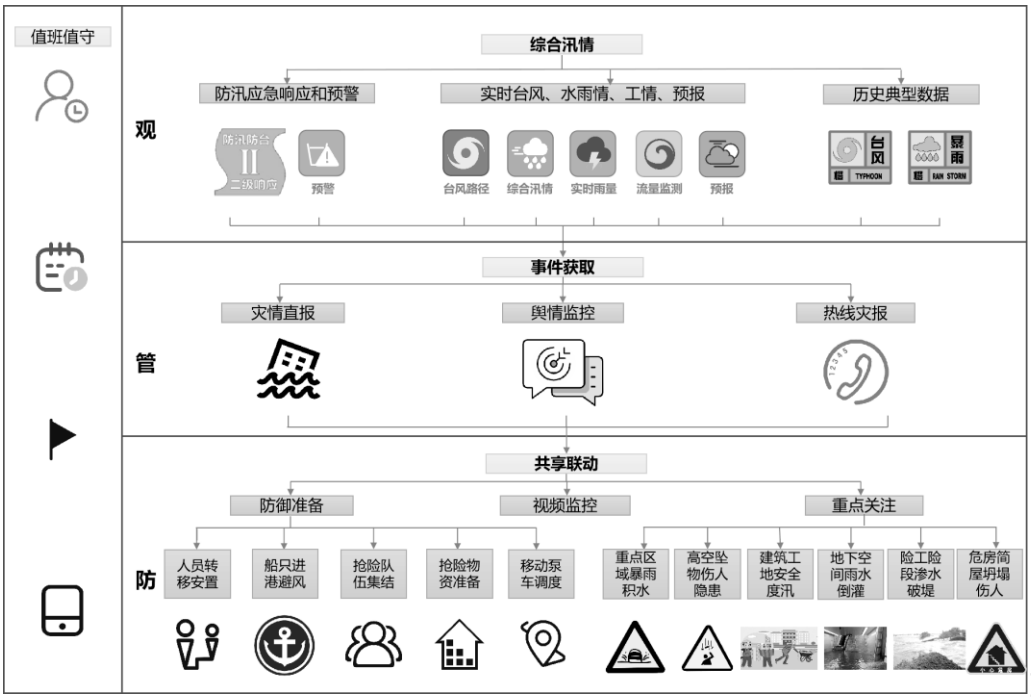


图 1　系统功能架构图

3　系统建设的主要经验和启示

2020 年汛期中，升级后的上海市防汛防台指挥系统在“超长梅雨期”和防御 4 号台风

“黑格比”的十余场暴雨台风中进行实战应用，为全市各级防汛部门全面掌握信息、预报预警、科学决策提供了有力支撑，保证了城市正常运转和人民生命财产安全。基于“一网统管”理念升级的防汛防台指挥系统是一个多部门协调运行的实战指挥系统，它的建设将促进城市精细化管理，减轻防汛抗灾压力，提升城市现代化治理水平和应急管理能力。系统充分发挥了“一网统管”理念在防汛防台指挥系统建设中的巨大优势，同时，也针对系统普遍存在的一些短板，在实践中摸索完善了自己的一些做法：加强数据汇聚、风险管控，通过智能预报支撑提前预警部署，并推动信息化向基层赋能。

3.1　数据从水务单部门转向全社会汇聚，提升数据价值

系统建设应不局限于以“水”为主的防汛调度，信息来源和覆盖范围更丰富，可通过基层灾情直报、网络舆情监控和 110、 12345、12319、网格化平台市民热线报灾等方式，多渠道及时获取防汛大量数据，真实了解民情民忧，关注的核心始终围绕着人、财产、安全等“市民群众的感受”。上海市防汛防台指挥系统升级的关键离不开数据资源共享共用，通过全域、全量、全要素的防汛相关数据汇聚、整合、共享、应用，将数据资源与防汛防台的实战指挥需求深度融合，挖掘数据价值，以数据赋能业务，全面支撑城市运行“一网统管”。

3.2　系统从防汛防台指挥实战场景出发，加强闭环管理

提升系统实效要从实战指挥场景出发，注重事件管理。围绕高效处置暴雨积水这件事，明确事件各个环节、各个子项内容归属职责范围，建立跨部门协同工作机制，通过事件分类、权限分配、流程设计，实现人与业务系统协作的全流程、智能化协同模式，从“预报预警”到“感知发现、报警联动、抢险处置、反馈解除”，形成暴雨积水处置的业务流程闭环。在发布降雨黄色预警后，实时启动道路积水预报，通过智能图像识别、积水在线监测、市民热线报灾等多种方式开展积水路段智能发现，针对下立交、道路、小区发生的积水突发事件，运用政务微信随时随地对相关责任单位（责任人）实现定向报警信息推送，并建立跨部门（交警、路政、排水、房管等）应急处置群，实现联勤联动应急处置。

3.3　技术赋能支撑防汛主动防御部署，提高调度效率

数模预测、大数据分析等技术的应用，使防汛部门在全面掌握数据的情况下，能够借助人工智能处理海量数据，通过智能化预报提前预判灾情。基于海量共享的视频资源，通过视频智能识别，能够实现道路积水问题从被动发现转向及时、主动获取。通过联动分析风险点、抢险人员、移动泵车和防汛物资的实时准备情况，可以实现防汛力量（人、车、物）的提前防御部署。同时，系统实现市、区、街镇三级防汛值守人员一键通讯和移动泵车实时智能调度，可实时连线值班人员远程指挥，也可以直接连线泵车排水现场实时获取信息，防汛指挥调度工作效率大大提升。

3.4　模块化服务为基层管理减负赋能，重构治理流程

“坚持以人民为中心的发展思想，坚持人民城市为人民”是习近平总书记对做好城市工作提出的明确要求。城市治理包括防汛防台中大量事件的处置需要跨层级、跨部门联勤联动，信息向上汇聚和数据向下赋能是“一网统管”的优势所在。上海市防汛防台指挥系统梳理为

五大类 36 个功能模块，在“水之云”平台信息化的基础上，采用模块化方式开发，实现云数网资源统筹集约、原生态开发敏捷迭代和微服务支撑应用协同，适应于多场景、多终端和多层级应用。通过数据接口和应用插件调用，区、街镇的“城运小脑”可以获取市级“防汛专业大脑”的智慧，从而实现信息化为基层赋能，促进工作减负和实战增效，畅通信息渠道、汇聚条块合力，找准用好城市治理的“绣花针”，有效支撑自上而下的指挥决策，真正将以人民为重心的发展思想落到防汛防台的具体工作上。

4 展望

“一网统管”防汛防台指挥系统取得了一定成效，但在跨条线、跨层级的协同处置方面仍处于探索阶段，还需要长期的滚动完善、持续提升。“一网统管”不仅仅是建平台、建系统和开发应用，还要将线上的系统和线下的防汛工作流程融合贯通起来，才能解决防汛的实际问题，联勤联动的线上线下融会贯通有待进一步深化。缺乏高效有力的线下管理和业务流程的支撑，线上平台的实用性将受到制约。同时，通过神经元感知和数据分析提前防控各类风险也还有很大提升空间，围绕“城市生命体”实时动态管理需求，感知端建设和共享还需要各部门和各区大力推动，形成跨部门、跨行业、跨领域的“城市神经元系统”，服务支撑城市风险管控，持续提升上海市城市运行“一网统管”体系的现代化治理能力。

参考文献

[1] 凌超. 以数据为驱动的上海城市数字化转型之路[J].张江科技评论，2021,（01）：20-22.

[2] 周玉蓉，柯芬，张淑春. 大数据背景下的基层网格化治理研究[J]. 黄冈师范学院学报，2020，40（05）：122-126.

[3] 李文钊. 数字界面视角下超大城市治理数字化转型原理－－以城市大脑为例[J]. 电子政务，2021，（03）：2-16.

[4] 刘晓涛. 上海水旱灾害防御工作的实践与探索[J]. 中国水利，2020，（17）：40-42.

[5] 王常效，王鲲，邱德鑫，等. 深圳市智慧三防系统的建设与思考[J]. 中国防汛抗旱. 2021,31(02)：46-50.

[6] 章伟伟，钱国民，胡龙平，等. 城市水务地理信息云服务技术研究[J]. 中国防汛抗旱. 2020,30(11)：61-63.

[7] 张万顺，王浩. 流域水环境水生态智慧化管理云平台及应用[J]. 水利学报. 2021,52(02):142-149.

三种监测仪器下土壤墒情的对比分析—以北京市为例

马苗苗[1,2]　　苏志诚[1,2]　　吕　娟[1,2]

（1.中国水利水电科学研究院防洪抗旱减灾研究所，北京 100038；2.水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心，北京 100038）

摘要：北京市土壤墒情监测点在抗旱工作中发挥了重要的作用，但其运行过程中经常出现监测数据与实际情况有较大偏差的现象。为了有效地减少监测数据偏差所导致抗旱决策失误，本文着重从监测数据分析的角度，对北京市 13 个区 84 个站点的采用固定式 TSC 型、移动式 C-Kit 及 TSC 型三种土壤墒情监测仪器探测土壤墒情值。通过对三种仪器的工作原理、标定方程、同一监测深度及不同监测深度所得的土壤墒情四方面的对比分析，发现奥地利生产的 C-Kit 移动设备的监测值较为稳定，土壤墒情值随土壤深度增加而增大。而固定式 TSC 监测设备存在严重的标定方程不合理现象，需要进行重新校正。

关键词：土壤墒情；旱情监测；固定式监测设备；移动式监测设备

土壤墒情监测是抗旱救灾决策和水土资源合理利用的重要的依据，也是实行节水灌溉、科学用水和灌溉自动化的基础[1]。国内外的专家学者已在土壤墒情监测研究中做了很多研究工作，研发出一系列的土壤水份监测仪器，并布设了一些站点[2]。其中，北京市作为严重缺水型城市，干旱事件频发，政府加大了土壤墒情监测站网的投资，先后建立了 80 多个墒情监测点，为全面监控把握全市旱情并制定合理的抗旱方案提供了信息支撑。此监测站网在以往的抗旱工作中发挥了重要的作用，但其运行过程中仍存在一些问题，经常会出现较大的系统偏差的情况，这与所选取的仪器设备的性能，站点布设位置等密切相关。本文主要从监测数据分析的角度，对北京市 13 个区 84 个站点分别采用三种不同仪器所测得的不同深度土壤墒情值进行对比分析，从而发现问题并提出相应的对策，使其有效地减少数据监测偏差导致的抗旱决策失误。

1　三种监测仪器工作原理

常用的土壤墒情监测仪分为固定式和移动式设备。北京市土壤墒情监测点大多采用固定式 TSC 型监测仪，布设在 13 个区县共 84 个站点。为了验证固定式监测仪所测得墒情数据是否合理，本文选用了其他两种移动式设备（国产的 TSC 型移动监测设备和奥地利生产的 C-Kit 便携式土壤水分测定仪）来进行监测对比分析。

固定式 TSC 型设备将 SWR-3 型土壤水分传感器水平插入土中，采集数据后将其短信发送于接收器，最后用远程计算机进行监控。此仪器读取电压值，然后通过三次多项式的标定方程，进行数据转换，从而得到土壤墒情值。此设备具有测量精度高，响应速度快、互换性好，土质影响较小，应用地区广泛，密封性好，耐腐蚀，可长期埋入土壤中使用，价格低廉等特点。

移动式 TSC 型监测设备与固定式设备工作原理类似，它将带有 SWR-2 型土壤水分传感器

的探测杆垂直插入测试洞中，将土壤水分传感器探针全部插入洞底，使传感器的探针与土壤紧密接触，接通电源后可测量电压数据，然后通过标定方程进行计算所得土壤墒情值。此设备具有移动灵活、仪器现场组装操作简单，价格低廉等特点。

移动式 C-Kit 便携式土壤水分测定仪测试表层土壤的水分含量，将传感器直接插入土中，按下采集模块上的开始键即可以进行测试。土壤水分数据通过蓝牙模块自动传输到手持式智能终端机。在终端机上，操作人员可以选择设定测试深度、标定曲线等，并可以人工置数，数据确定后，按发送键，水分测试数据和测点位置信息等可以自动通过 GPRS 传输到数据中心。与取土钻配合使用，便于对不同深度的土层中进行测试。此设备采用时域反射（TDR）原理传感器，能够方便、快速、准确地测定各种土壤的含水率。适用于不同类型土壤水分的测定，受土壤类型及盐分的影响很小。重量轻、体积小，便于对土壤墒情快速测试，数字摄像头可以随时对现场旱情、作物生长状况进行拍照。尤其适合在干旱发生时对墒情进行机动巡测，加密监测、动态监测。

从以上三种监测仪器的工作原理上来看，固定式和移动式 TSC 型监测仪的工作原理相似，区别在于固定式设备将 SWR 型土壤水分传感器水平插入土中进行数据采集，而移动式 TSC 型设备则将传感器垂直插入土中进行探测。相比之下，移动式 C-Kit 设备则采用时域反射（TDR）原理传感器，能够方便、快速、准确进行土壤墒情测定。

2 三种仪器标定方程的对比分析

土壤墒情监测仪器标定方程是土壤体积含水量（θ）关于传感器输出电压（v）的三次多项式：

$$\theta=a_0+a_1V+a_2V^2+a_3V^3 \qquad (1)$$

标定工作由提供仪器方采用烘干法进行标定，此标定过程要求较高、相对复杂，是较为准确可靠的方法。正确的步骤是取土样、测定电压、烘干法测定土样实际含水量、数据处理等。一个站点需要反复进行多次，历时 1 周左右。

北京市固定式 TSC 型监测设备的标定过程是对每台固定旱情监测设备都进行标定，得到原始标定方程，再在原始标定方程的基础上进行修订，得到修订标定方程。大部分区县站点的标定方程修订为一个方程，个别区县有多个方程，且部分不同的区县采用相同的修订方程（见图 1）。调查发现，固定式设备的标定工作存在不规范的地方。一是，其原始标定方程和修订方程的获得是分两次取土得到的，即第一次在每个站点附近取土样进行标定得到原始标定方程，第二次在各个区县取土样，但不是每个站点都取土样进行标定，并结合第一次的原始标定结果得到修订的标定方程，两次标定过程取的土样不同，且相隔时间较久，无法进行对比修正。二是，试样的制备过程不规范，梯度测试并没有反复烘干得到，而是直接根据理论配水比例得到试样，无法保证数据的准确性。

移动式 TSC 型监测设备标定方程是每个区县一个方程。各个区存在相同标定方程现象，如北京市昌平区、海淀区、延庆县和朝阳区的标定方程相同，门头沟区、房山区和丰台区，怀柔区和密云县也采用了相同的标定方程。

移动设备 C-Kit 对所有 84 个站点采用统一的标定方程，不受站点所在位置的影响。

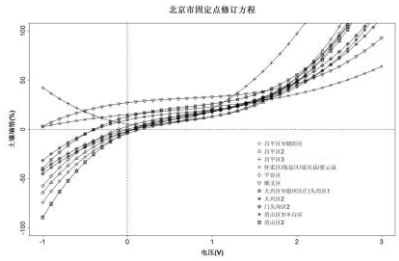


图 1　北京市各区县固定式 TSC 型监测设备的修订标定方程

3　同一土壤深度的土壤墒情对比分析

研究采用三种不同仪器对深度为 10cm、20cm、40cm 三个深度的土壤墒情进行探测。选取站点较多的区县，如昌平区、怀柔区、平谷区、顺义区、大兴区、通州区和房山区，对同一土壤深度不同仪器所测得土壤墒情值进行对比分析（见图 2）。

10cm 的土壤深度，移动设备 C-Kit 所测的土壤墒情值的区间范围比其他两种设备大。移动设备 TSC 所测得顺义区和大兴区的土壤墒情较固定式设备的值偏低，而其他 5 个区的墒情值较固定式偏高(图 2)。从区域分布来看，顺义区和通州区的土壤墒情值较高，在 20%~35%之间；昌平区最低，在 5%~25%之间，这与相对应的区县标定方程有关。

标定方程的截距是在电压为 0 的情况下所得到的土壤墒情值。从截距方面来看，修订方程的截距有正有负，各个区差异较大，其中顺义区的截距最大，为 27%（图 1），意味着如果电压值为 0 时，土壤墒情值为 27%，估计值过大，与实际情况不符。因此顺义的土壤墒情值普遍偏高与标定方程的采用大的截距有关，可靠性低。其次，怀柔区、海淀区、延庆县和密云县的截距都为 15% （图 1），导致所估计的土壤监测值偏大（图 2）。而昌平区的标定方程的截距则较小，为-10%（图 1），所测得的墒情数值普遍偏小（图 2）。

20cm 的土壤深度，顺义区的固定式设备所测的土壤墒情值最大，在 30%左右，其次为大兴区和通州区，在 20%~30%之间(图 2)，这与其标定方程有关。大部分区县的移动设备 C-Kit 的区间范围比其他两种设备大，而固定式设备与移动设备 TSC 所测得土壤墒情差异较大，这与其相似的工作原理而得到不同的墒情值相矛盾，因此这些值需要反复验证其可靠性。

40cm 的土壤深度，同 10cm 和 20cm 土壤墒情监测值一样，顺义区的固定式设备所测的土壤墒情值最大，在 30%左右（图 2），这与采用的固定式修订方程的截距过大有关。移动设备 TSC 在顺义区和大兴区所测的土壤墒情值的区间范围过大，分别为 20%~45%和 10%~45%（图 2），与其相对应的固定式设备所测值差异较大，因此合理性不高。

从上述 10cm、20cm、40cm 不同深度的土壤墒情分布图可以看出移动设备 C-Kit 性能更稳定可靠。

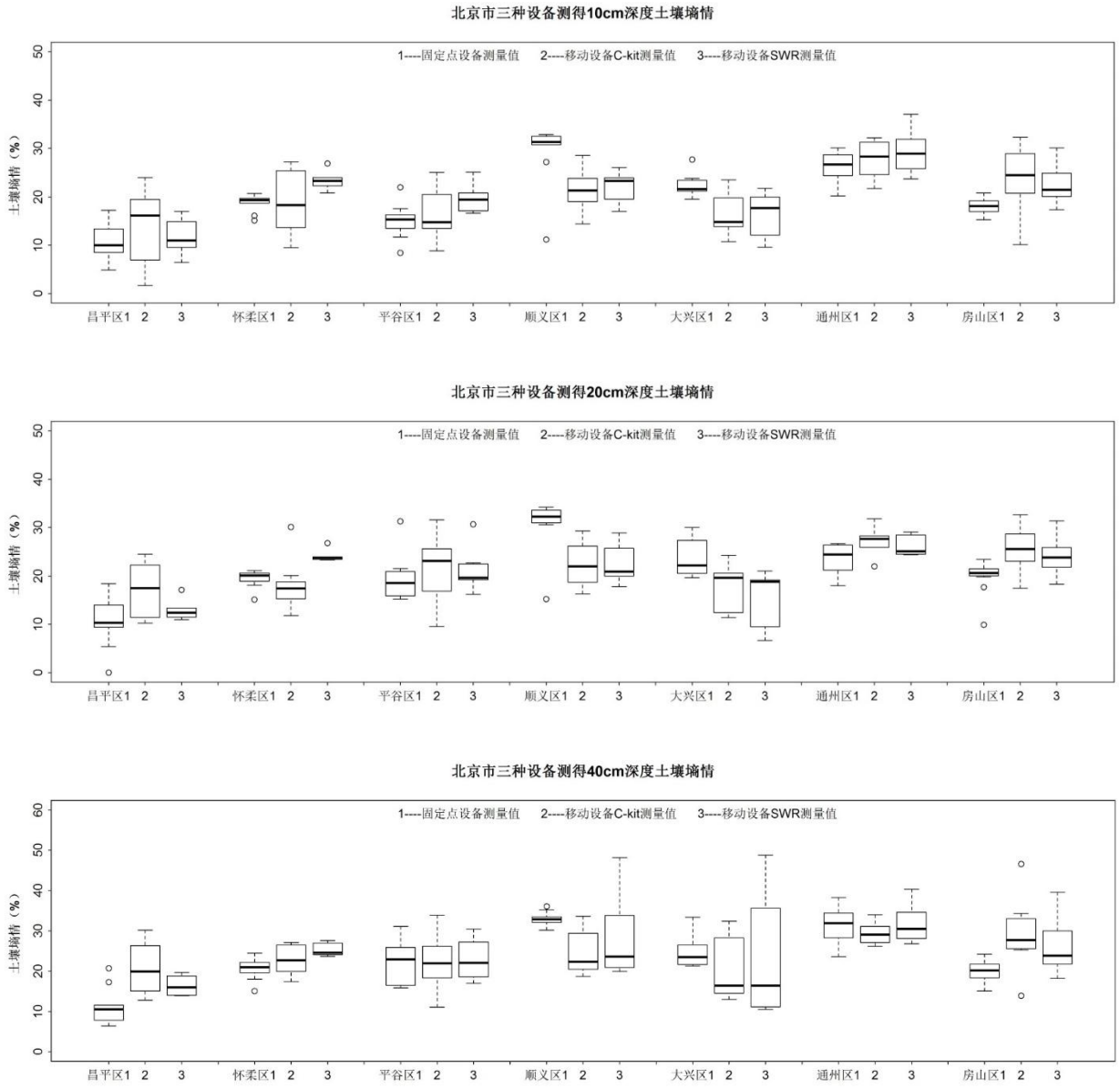


图 2　北京市三种设备测得同一深度土壤墒情

4　不同监测深度土壤墒情对比分析

研究对同一仪器在不同深度所测得土壤墒情的进行对比分析，选取 10cm、20cm 及 40cm 三个不同深度，其土壤墒情值在北京市 7 个区县的分布见图 3。

固定式设备在昌平区、怀柔区、顺义区和房山区所测的不同深度的土壤墒情值相近，而其他三区则存在差异，40cm 深度的墒情值较其他深度偏大。从土壤墒情值所在区间范围来看，固定式设备所测的土壤墒情在昌平区最小，为 5% ~15%，顺义区最大，为 30%左右。其他 5 个区所在范围在 10%~30%之间。

移动设备 TSC 在通州区所测的 20cm 的土壤墒情值明显较小，不合理，因此需要参照其相对应的 10cm 和 40cm 所测的值。同理，顺义区和大兴区所测的 40cm 墒情值较大，也不可靠，需要参照其他深度的墒情值。排除上述不合理的值，移动设备 SWR 所测值除昌平区外基

本上 15%~35%之间，昌平区值最小，为 5%~15%。

移动设备 C-Kit 在 7 个区所测值基本上集中在区间 10%~30%之间。在昌平区、平谷区、顺义区和大兴区的土壤墒情值随深度的增加而增大，所测值范围明显较其他仪器稳定。

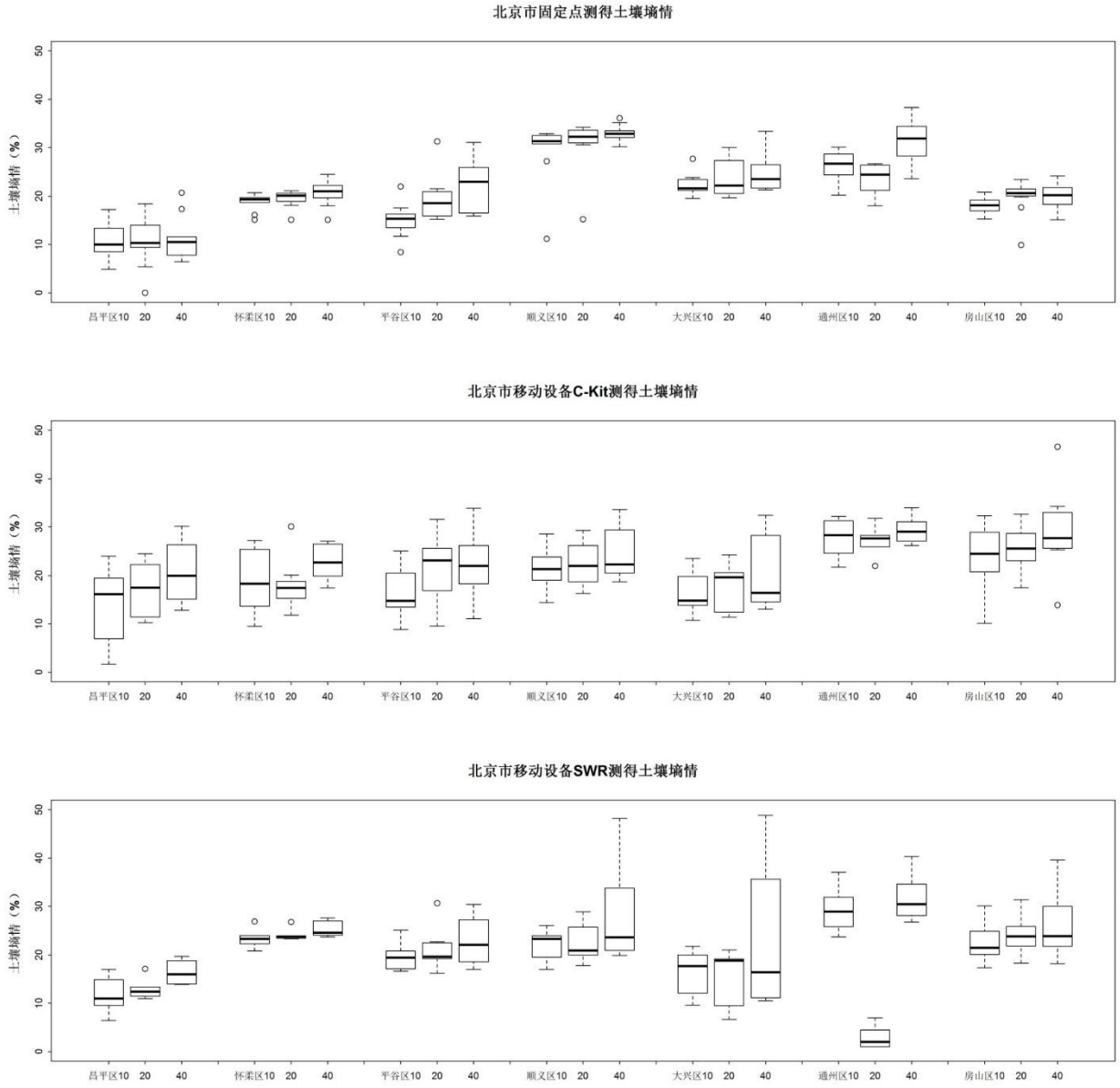


图 3　北京市同一设备测得不同深度土壤墒情

5　结论

本文通过以上对三种监测仪器工作原理、标定方程、同一监测深度及不同监测深度的土壤墒情值得对比分析，发现移动设备 C-Kit 的监测值较为稳定，土壤墒情值随土壤深度增加而增大，而站点的固定式监测设备存在严重的标定方程不合理现象，需要进行重新校正。此外，土壤墒情还受监测时间和土壤类型的影响，通过调研发现冬季冻土的存在，用固定式监测站所测得的土壤墒情值与实际值偏差较大，不能直接用这些值作为当前旱情的参考值。未来研究将提出冬季墒情的修正方法，为冬季抗旱工作提供有力的技术支持。

参考文献

[1] 刘炳忠，张鑫， 国内外土壤墒情监测技术及应用，山东水利，2008，12，13-17.

[2] 孙凯，王一鸣，杨绍辉，华勇刚，区域墒情特征的研究，水利学报，2005，36（3），355-364.

[3] 孙凯，王一鸣，杨绍辉，墒情监测取样方法的研究，农业工程学报，2004，20（4），74-78.

[4] 中国水利水电科学研究院防洪减灾中心，北京市旱情监测系统运行分析研究报告[R]，北京，中国水利水电科学研究院，2014.

多传感融合的水下机器人姿态解算系统

孙志平[1]　　王玉琼[2]

（1.济南黄河河务局，济南 250000；2.济南黄河河务局，济南 250000）

摘要：随着物联网、视联网、智能控制、大数据、机器人等技术的不断进步，水下机器人的应用已拓展到水利行业，新兴的应用领域包括水利工程检测、水下目标搜索、水文环境监测等，水下机器人在水下执行探测与勘查任务时，为保证光学、声学传感器的探测精度，应尽可能保持静止悬停或者水平运动状态，水下机器人姿态的精确测量，是其在复杂水流环境下实现平衡控制和稳定运动的基础。本文针对水下机器人对姿态测量的高精度、低成本、轻量化需求，设计了一种基于多传感微机电器件的的姿态解算系统。通过引入基于姿态角误差的自适应卡尔曼滤波器，有效融合硅微加速度计、磁力计、陀螺仪的输出数据。试验结果表明，该系统有效地消除了陀螺仪的累积误差和加速度计磁力计的的随机噪声，能为水下机器人提供高可靠性、高精度的动态姿态信息。

关键词：水下机器人；多传感融合；姿态解算；卡尔曼滤波

0　引言

水下机器人作为探索水下环境的重要智能潜具，最早在深海探测、海洋资源开发等领域发挥了重要作用[1]。其设计与研发可追溯到 20 世纪 60 年代，为了寻找遗失的核弹，由美国海军资助的第一台水下搜寻机器人 CURV（cable-controlled underwater recovery vehicle）研制成功[2]。

近年来，随着物联网、视联网、智能控制、大数据、机器人技术的不断进步，水下机器人的应用已拓展到水利行业，目前新兴的应用领域包括水利工程检测、水下目标搜索、水文环境监测等。以黄河大坝、水闸为例，长时间水流泥沙冲蚀会造成坝体渗漏、金属结构腐蚀等问题，由于此类问题在丰水期多隐藏在水面之下，单纯依靠传统的人工巡检模式，排查难度大，无法全面排查水坝水闸的安全隐患及老化病害。

相比传统的人工地面与潜水巡检模式，水下机器人具有全天候作业、安全系数高、作业半径大等优势，代表着水利监测未来自动化、无人化、智能化的发展趋势。

水下机器人在水下执行探测与勘查任务时，为保证光学、声学传感器的探测精度，应尽可能保持静止悬停或者水平运动状态。对水下机器人姿态的精确测量，是其在重负载和复杂水流环境下实现平衡控制和稳定运动的基础。

针对水下机器人对姿态测量高精度、低成本、轻量化需求，本文提出了一种适用于微惯性测量单元的间接自适应卡尔曼姿态更新算法，通过有效融合硅微加速度计磁强计、陀螺仪多传感信息获得稳定可靠的高精度姿态输出。由于惯性器件的发散性，基于陀螺仪积分更新算法获得的姿态角在短时间内会产生较大的累积误差。本文的卡尔曼滤波器利用加速度计和磁力计的测量信息自适应地校正了基于陀螺仪积分产生的累计误差。同时，根据加速度计的

输出信息，对滤波参数进行自适应调整，在水下机器人处于非均匀运动状态时可以保持一定的精度。

1 陀螺仪积分姿态测量

陀螺仪积分方法只使用陀螺仪的数据来计算载体随着时间的姿态变化。基于四元数的姿态更新算法计算量小、运算可靠，在工程实际中被广泛采用。根据四元数姿态解算理论，载体的姿态角可以用四元数表示。由刚体运动学知识，四元数更新的微分方程可表示为式（1）：

$$\dot{q}=\frac{1}{2}q\circ\omega \quad (1)$$

其中，$\circ$为四元数乘法，ω表示陀螺仪的实时角速度输出，可四元数形式表示为式（2）：

$$\omega=0+\omega_{bx}i_b+\omega_{by}j_b+\omega_{bz}k_b \quad (2)$$

将式（2）带入式（1），并按四元数乘法展开成矩阵表示为式（3）：

$$\begin{bmatrix}\dot{q}_0\\ \dot{q}_1\\ \dot{q}_2\\ \dot{q}_3\end{bmatrix}=\frac{1}{2}\begin{bmatrix}0 & -\omega_{bx} & -\omega_{by} & -\omega_{bz}\\ \omega_{bx} & 0 & \omega_{bz} & -\omega_{by}\\ \omega_{by} & -\omega_{bz} & 0 & \omega_{bx}\\ \omega_{bz} & \omega_{by} & -\omega_{bx} & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}q_0\\ q_1\\ q_2\\ q_3\end{bmatrix}=\frac{1}{2}[\omega]\begin{bmatrix}q_0\\ q_1\\ q_2\\ q_3\end{bmatrix} \quad (3)$$

式中，$[\omega]$称为载体坐标系相对于导航坐标系旋转角速度的反对称矩阵，用毕卡法将式（3）进行指数展开，得式（4）：

$$q(t)=e^{\frac{1}{2}\int_{t_0}^{t}[\omega(\tau)]d\tau}q(t_0) \quad (4)$$

设$[\Delta\theta]=\int_{t_0}^{t}[\omega(\tau)]d\tau$，则有：

$$\begin{aligned}e^{\frac{1}{2}[\Delta\theta]}&=[1-\frac{(\frac{\Delta\theta}{2})^2}{2!}+\frac{(\frac{\Delta\theta}{2})^4}{4!}-\frac{(\frac{\Delta\theta}{2})^4}{6!}-\mathrm{L}\ \mathrm{L}\ ]I\\ &+\frac{[\Delta\theta]}{\Delta\theta}[\frac{\Delta\theta}{1}-\frac{(\frac{\Delta\theta}{2})^3}{3!}+\frac{(\frac{\Delta\theta}{2})^5}{5!}-\frac{(\frac{\Delta\theta}{2})^7}{7!}+\mathrm{L}\ ]\\ &=\cos\frac{\Delta\theta}{2}I+\frac{[\Delta\theta]}{\Delta\theta}\sin\frac{\Delta\theta}{2}\end{aligned} \quad (5)$$

结合式（4）、（5）将四元数更新方程写成递推形式：

$$q(n+1)=(\cos\frac{\Delta\theta}{2}I+\frac{[\Delta\theta]}{\Delta\theta}\sin\frac{\Delta\theta}{2})q(n) \quad (6)$$

为减小计算量，便于计算机数值解算，将式（6）中三角函数做泰勒展开，取四阶近似，得到四元数数值更新的近似表达式为：

$$q(n+1)\cong((1-\frac{\Delta\theta^2}{8}+\frac{\Delta\theta^4}{384})I+(\frac{1}{2}-\frac{\Delta\theta^2}{48})[\Delta\theta])q(n) \quad (7)$$

$\Delta\theta$，$[\Delta\theta]$分别为$n:\ n+1$时刻的角增量模和角增量反对称矩阵，其中：

$$\Delta\theta^2=\Delta\theta_{bx}^2+\Delta\theta_{by}^2+\Delta\theta_{bz}^2 \quad (8)$$

$$[\Delta\theta]=\int_{t_k}^{t_{k+1}}[\omega(\tau)]d\tau\approx\begin{bmatrix}0&-\Delta\theta_{bx}&-\Delta\theta_{by}&-\Delta\theta_{bz}\\ \Delta\theta_{bx}&0&-\Delta\theta_{bz}&-\Delta\theta_{by}\\ \Delta\theta_{by}&-\Delta\theta_{bz}&0&\Delta\theta_{bx}\\ \Delta\theta_{bz}&\Delta\theta_{by}&-\Delta\theta_{bx}&0\end{bmatrix}\quad(9)$$

上式中 $\Delta\theta_{bx},\Delta\theta_{by},\Delta\theta_{bz}$ 分别为 n： $n+1$ 时刻沿载体三个轴的角增量，已知 n 和 $n+1$ 时刻陀螺输出的三轴角速度 $\omega_{bi(i=x,y,z)}(n,n+1)$，角增量可以近似表示为：

$$\Delta\theta_{bi}=\int_n^{n+1}\omega_{bi}dt\approx\frac{\omega_{bi}(n)+\omega_{bi}(n+1)}{2}dt\quad,i=x,y,z\quad(10)$$

硅微陀螺仪以一定的频率实时输出三轴角速率信息，通过式（10）可以计算出每个轴的角增量，并代入到式（8）、（9）中。只要知道前一时刻的四元数值，就可以根据式（7）推算出当前时刻的四元数值。四元数和姿态角存在一一对应的关系，可以通过可逆变换完成两者之间的相互转化[]。已知初始时刻姿态信息，基于四元数的三轴陀螺姿态更新算法流程如图 1 所示。

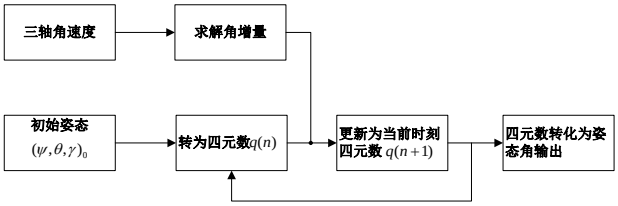


图 1　陀螺仪姿态角更新流程图

本文使用 XsensNav1 超微陀螺仪，该陀螺仪最高以 50Hz 频率实时输出三轴角速率信息。为估计该陀螺的白噪声，在静止水平状态下采集实时数据，三轴角速率输出如图 2 所示。

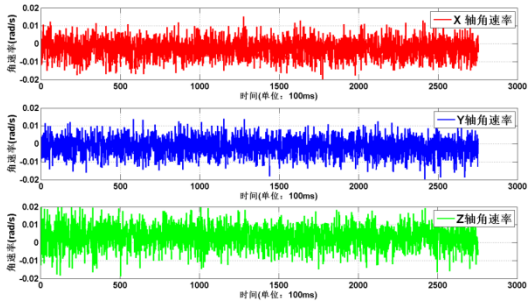


图 2　陀螺仪姿态角更新流程图

由图 2 看出，角速度输出存在较大随机噪声。本文首先采用均值滤波进行数据预处理，消除部分随机噪声。算法如下：实时取 7 帧的数据，去掉绝对值的最大值和最小值，然后求取均值。滤波后的三轴角速度输出如图 3 所示：

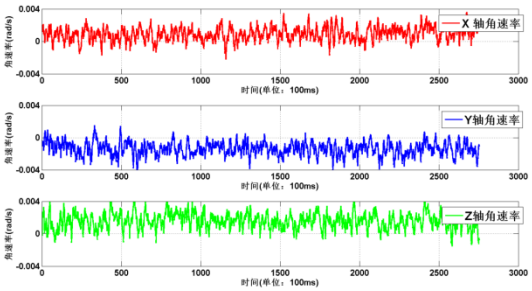


图 3　均值滤波后角速率输出

对图 3 和图 2 输出结果可看出，经过均值滤波，角速率输出的随机噪声明显减小。给出了滤波处理前后角速率输出标准差的对比。

表 1　滤波处理前后方差对比

方差（10-5 rad/s）	X 轴	Y 轴	Z 轴
滤波前	2.80	2.56	3.56
滤波后	0.07	0.07	0.09

利用均值滤波后的角速率实时解算姿态角，输出结果如图 4 所示：

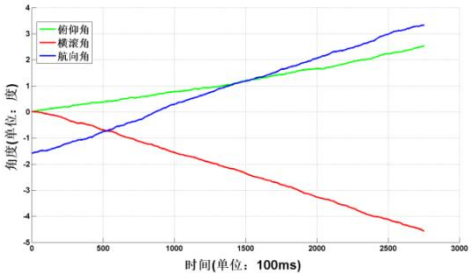


图 4　姿态角解算结果

由图 4 可知，在静止状态下，姿态角的漂移与时间大致成线性关系。航向角、横滚角和姿态角的零漂大致为 0.872°/min、0.982°/min 和 0.545°/min。由于 MEMS 陀螺器件的测量噪声较大，单纯利用角速率积分进行姿态更新得到的姿态角误差是随时间而发散的。必须引入其他的传感器信息对误差进行校正。

2　加计/磁强计姿态估计

除了硅微陀螺仪，利用磁强计和加速度的输出，也可以对载体的姿态进行估计[4]。以三轴加速度和磁强计输出表示的俯仰，滚动，航向角解算如式（11）、（12）所示。

$$\theta = a\sin(\frac{a_x}{g}),\quad \gamma = a\sin(\frac{a_y}{g\cos(\theta)}) \tag{11}$$

$$\begin{aligned}\psi_m &= \mathrm{a}\tan 2(M_y^n, M_x^n)\\ &= a\tan 2(M_y^b\cos\gamma + M_z^b\sin\gamma, M_x^b\cos\theta + M_y^b\sin\gamma - M_z^b\cos\gamma\sin\theta)\end{aligned} \tag{12}$$

本文采用 ST 半导体的 LSM9D 系列三轴加计/磁强计，通过解析其的三轴加速度和磁场输出$a_{x,y,z}$和$M_{x,y,z}^b$，代入式（11）、（12）中，同样得到静止水平状态下载体的姿态估计信

息，如图 5 所示。

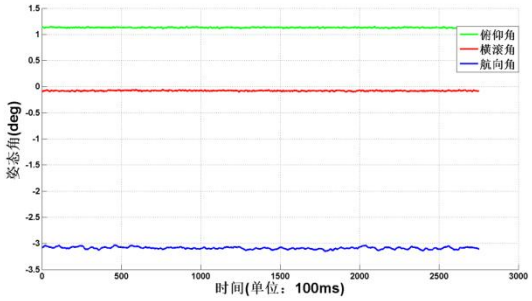


图 5　加计/磁强计姿态解算结果

由图 5 可见，在静止状态下，利用加速度计和磁强计估计的姿态角有较好的稳定性，不存在累积误差，但是存在随机噪声。

3　多传感融合姿态估计

由前两章分析可知，陀螺积分的姿态更新算法存在累积误差，无法单独长期使用；而利用加计/磁强计解算的姿态角信息存在随机噪声，且只能适用静止或者加速度较小的情况下（非匀速下存在干扰加速度，依靠重力分量估算姿态的加速度计解算算法失效）。为此，本文提出一种基于姿态角误差的 Kalman 滤波算法，融合角速率，加计/磁强计多传感信息，对水下机器人姿态进行实时估计。该算法可以抑制消除陀螺累积误差，同时克服加计/磁强计载体非匀速状态情况下的估计失真。

3.1　离散 Kalman 滤波器简介

离散 kalman 滤波是一种基于一系列数学递推公式的最小均方差估计，主要分为初始化、时间预测、量测更新三部分[5]。

要使用好卡尔曼滤波器，首先要建立准确估计变量的状态方程和量测方程，并对过程噪声协方差和测量噪声协方差进行正确的估计，才能对状态变量进行准确估计，消除其累积误差和随机噪声。典型的离散 Kalman 滤波过程如图 6 所示。

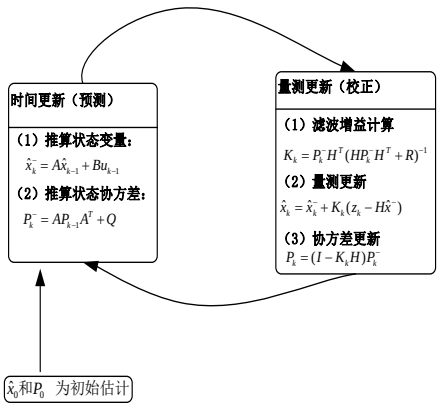


图 6　Kalman 滤波递推过程示意

3.2　姿态估计状态与量测方程

将角速率积分算法解算的姿态误差作为 Kalman 滤波的估计量。实际姿态与估计姿态

的差值即是姿态的估计误差。以四元数形式表示的姿态角误差状态方程可以表示为：

$$\begin{bmatrix}\dot{\delta\gamma}\\ \dot{\delta\theta}\\ \dot{\delta\psi}\end{bmatrix}=-\begin{bmatrix}0 & \hat{\omega}_3 & -\hat{\omega}_2\\ -\hat{\omega}_3 & 0 & \hat{\omega}_1\\ \hat{\omega}_2 & -\hat{\omega}_1 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\delta\gamma\\ \delta\theta\\ \delta\psi\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\delta\omega_1\\ \delta\omega_2\\ \delta\omega_3\end{bmatrix} \quad (13)$$

即：

$$\dot{\delta(\gamma,\theta,\psi)}=-\Omega_b\delta(\gamma,\theta,\psi)+\delta\omega \quad (14)$$

式（14）中，$\dot{\delta(\gamma,\theta,\psi)}$ 代表姿态角的误差估计，Ω_b 代表角速率反对称矩阵，$\delta\omega$ 是陀螺仪的噪声。

记姿态角的真实值为 A。利用角速率积分得到的姿态估计为：$A+\delta A$，δA 表示姿态估计的累积误差。利用加速度磁强计得到的姿态估计为：$A+W$。W 表示估计白噪声。将两者相减，可得姿态估计误差的量测方程：

$$\begin{aligned}&Z(\delta A)=(A+\delta A)-(A+W)\\&=\delta A+(-W)=\delta A+W'\end{aligned} \quad (15)$$

$$P_{\mathrm{ld}}\approx\frac{\bar{q}}{\bar{v}\bar{E}}\left[\left(r+\frac{k\bar{E}}{E}\right)\left(\frac{P_{\mathrm{d}}}{\eta_{\mathrm{p}}}\right)^2+\frac{k\bar{E}(\bar{E}-E)}{E}\frac{P_{\mathrm{d}}}{\eta_{\mathrm{p}}}\right] \quad (2)$$

3.3　迭代矩阵与噪声参数

将为方便数值计算，将式（14）（15）离散化，记状态变量为x_k, 量测变量为z_k，则离散化的状态和量测方程可表示为：

$$x_k=(I-\Omega_b\Delta T)x_{k-1}+w_{k-1} \quad (16)$$

$$z_k=Ix_k+v_k \quad (17)$$

其状态转移矩阵和量测矩阵分别为：

$$A=\begin{bmatrix}1 & -\hat{\omega}_3\Delta T & \hat{\omega}_2\Delta T\\ \hat{\omega}_3\Delta T & 1 & -\hat{\omega}_1\Delta T\\ -\hat{\omega}_2\Delta T & \hat{\omega}_1\Delta T & 1\end{bmatrix},\ H=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \quad (18)$$

为简化起见，设过程和量测噪声互相正交，则过程噪声协方差矩阵 Q 和量测噪声协方差矩阵 R 可简化表示为对角矩阵，即：

$$Q=\begin{bmatrix}w_1^2 & 0 & 0\\ 0 & w_2^2 & 0\\ 0 & 0 & w_3^2\end{bmatrix},\ R=\begin{bmatrix}v_1^2 & 0 & 0\\ 0 & v_2^2 & 0\\ 0 & 0 & v_3^2\end{bmatrix} \quad (19)$$

w_1, w_2, w_3表示角速率测量的误差，v_1, v_2, v_3表示有加速度计磁强计测量得到的姿态角误差。根据表 1 可计算出协方差矩阵，量测噪声矩阵可由静态标定即图 5 进行估计，即：

$$Q = \begin{bmatrix} (10^{-4})^2 & 0 & 0 \\ 0 & (10^{-4})^2 & 0 \\ 0 & 0 & (10^{-4})^2 \end{bmatrix},$$

$$R = \begin{bmatrix} (0.02)^2 & 0 & 0 \\ 0 & (0.02)^2 & 0 \\ 0 & 0 & (0.08)^2 \end{bmatrix} \quad (20)$$

3.4　自适应判断与融合估计结果

当机器人处在悬停或以近似匀速运动时，可以按照图 6 的递推过程，实时预测姿态误差。在非匀速状态下，由于存在干扰加速度，依赖加计的量测更新过程将失真。

因此，在使用滤波算法时，应该先对机器人的运动状态进行判断，如果加速度计的输出满足：

$$|\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} - g| < \varepsilon \quad (21)$$

则表示当前处在近似静止或匀速状态，此时 预测和更新过程同时执行。否则，表明干扰加速度偏大，此时只则只利用陀螺角速率输出进行预测过程，不进行量测更新。

为验证算法的可靠性，使机器人处在运动状态，分别依据陀螺仪、加计磁强计和融合算法得到的姿态解算结果如图 7 所示。

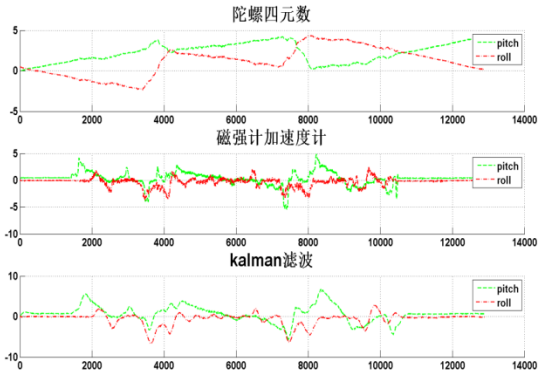


图 7　姿态解算对比结果

从图 7 可知，依靠陀螺得到的姿态角解算存在较大累计误差；依靠加计和磁强计进行的解算存在较大的白噪声。而滤波算法融合多传感的输出，有效消除累积误差及白噪声，为水下机器人导航提供精确的姿态角解算结果。

4　结语

本文为水下机器人的精确平衡控制和稳定运动，设计了一种低成本、高集成的多传感姿态测量系统。由于惯性器件的零漂，通过陀螺仪计算获得的姿态会随着时间增加而逐渐失真。同时，加速度计和磁强计解算的姿态中存在较大白噪声。通过设计自适应 Kalman 滤波器，融合多传感输出，可以有效消除累积误差和随机噪声，为水下导航提供可靠、精

确的姿态解算。

参考文献

[1] 谭界雄,田金章,王秘学.水下机器人技术现状及在水利行业的应用前景[J].中国水利,2018,12:33-36.

[2] 吴 杰,王志东,凌宏杰,等.深海作业型带缆水下机器人关键技术综述[J].江苏科技大学学报,2020,34(4):1-12.

[3] 刘维亭,白杨.基于四元素的扩展卡尔曼滤波航姿参考系统算法设计[J].船舶工程,2015,37(4):53-56.

[4] 徐瑞超,常丽园.基于三轴加速度计的姿态测量系统设计[J].东莞理工学院学报,2019,26(5):110-114.

半潜水下机器人搭载多波束探测仪实现黄河根石及河道探测研究与设计

马德辉　　张　强

（山东黄河信息中心，250013）

摘要：研制一款由半潜式水下机器人、多波束探测设备、双目视觉建模系统、地面站系统组成的软硬件产品，解决黄河汛期水流湍急，旋涡多，根石容易走失，有人船只无法在河道进行探测的问题，实现适应不同环境条件下的险工、控导、坝底根石监测，生成全息效果的三维图像，通过计算分析获取坝体变形、根石缺失量及河底地形地貌数据，为防洪决策、河道整治、科学研究提供更加准确可靠的资料。

关键词：机器人；声呐；三维图像；点云数据

1　研究背景

黄河下游根石探测技术一直是困扰堤防安全监测的重大难题之一，解决水下根石探测技术问题，及时掌握根石的分布情况，对减少险工出险、保证防洪安全至关重要。几十年来，水下根石状况完全靠人工探摸估计，传统的人工锥探法存在探测精度差、劳动强度大、功效低、成本高、探测人员水上作业安全得不到保证等问题，难以满足防洪保安全的要求。治黄专家和科技工作者不断探索，利用浅地层剖面仪等新技术和设备应用到根石探测当中，经过多年的实践，探测根石缺失量基本与实际数据基本相符，但利用浅地层剖面仪进行探测需要船只拖曳搭载，而黄河汛期水流湍急，旋涡多，根石容易走失的多发期，有人船只无法在河道行驶，因此研制一款无人水面航行工具，能够适应不同环境条件下的探测，满足防汛工作对水下根石、地形地貌探测成果准确、及时、迅速和快捷的报送要求，为防洪决策、河道整治、科学研究提供更加准确可靠的资料是非常有必要的。

2　研究目标

在含沙量大、能见度低、水下地形复杂的黄河水域环境中工作，可获取水上水下地形情况模型及目标外观轮廓细节描述，能够对目标物如险工、控导、坝底根石、河底散落根石、闸门、桥墩进行实时监测，获得高密度的点云数据，实时生成全息效果的水上水下目标三维图像，通过工作站计算分析获取重点工程坝体变形和根石缺失量，并根据河道深度和平面位数据计算出河底地形地貌。

3　系统设计

根石及河道探测系统由半潜式水下机器人、多波束探测设备、双目视觉建模、地面工作站组成，如图 1 所示。

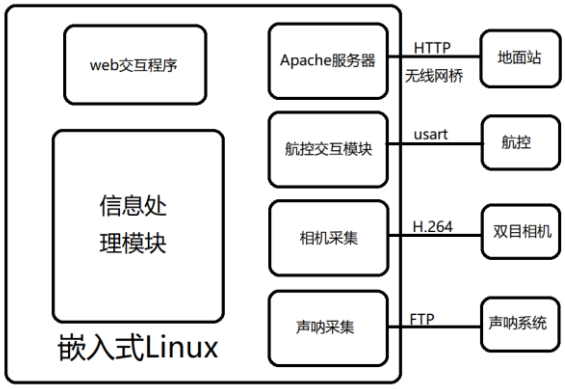


图 1　系统架构图

3.1　半潜式水下机器人

半潜式水下机器人是整套探测系统的载体，也是为探测系统航行移动、信号统筹处理、通信等服务的核心。

半潜式水下机器人设计为三层六模块，分别为：电气层（电池和电源管理模块、集成电子调速器模块、推进电机模块），核心驱动层（航控模块），应用整合层（嵌入式核心服务器、无线传输模块）。

电气层主要用于驱动推进器和为各个模块提供供电支持，集成电子调速器用于接收航控模块的转速指令，为六具推进器分别提供转速信号和供电支持，如图 2-1 所示。航控模块以三层 PCB 搭载 GPS、九轴陀螺仪加速度计，能随时获取运动方向、速度、姿态等信息，便于调整各个方向的推力，以达到稳定姿态和航向的作用，如图 2-2 所示。嵌入式核心服务器的作用为处理来自地面站的指令、返回各模块数据信息、多波束测深仪数据预处理、双模视觉相机视频储存、为地面站提供实时视频信号等，无线传输模块实现地面站和嵌入式核心服务器之间的无线数据传输，如图 2-3 所示。

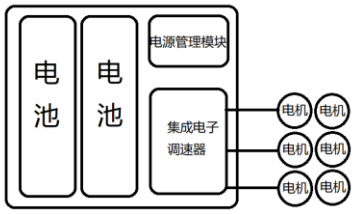


图 2-1　电气层架构示意图

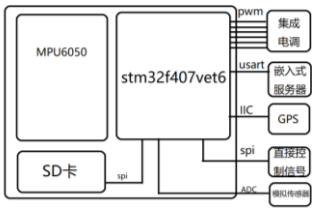


图 2-2　航控模块硬件架构图

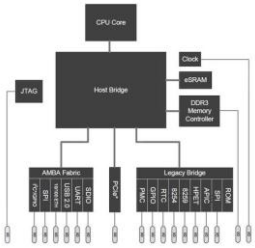


图 2-3　嵌入式核心服务器

3.2　多波束探测设备

根据根石探测建模测量、河底地形地貌成像的需求，水质及水文环境的综合条件，选定成品多波束测深系统的声纳换能器阵作为前端声呐探测设备，并自主开发驱动软件和后端系统为其提供支持。

换能器阵是多波束测深系统中最前端的核心探测设备，作用为向探测目标发送多波束超声波，并分区探测超声波回波时间，将每个波束的回波时间返回至控制系统，进行坐标系转换和点云数据的形成。

控制系统包含扫描驱动、信号处理、数据处理、通信接口四个模块。扫描驱动用于发送

发射命令、计算信号扫描时机、扫描 FPGA 信号。信号处理用于处理从 FPGA 获取的信号，过滤杂波，将信号转换为轴向空间数据。数据处理用于处理空间数据，完成径向到二维空间，二维空间到三维空间的转化，生成点云数据。通信接口用于与航控通信，获取航控系统的位置和姿态信息，用于空间计算补偿，向嵌入式服务器提供数据接口。

3.3 双目视觉建模系统

双目视觉建模系统为水面以上根石流失探测方式。双目视觉是基于视差原理，由多幅图像获取物体三维几何信息的方法。在机器视觉系统中，双目视觉一般由双摄像机从不同角度同时获取周围景物的两幅数字图像，或由单摄像机在不同时刻从不同角度获取周围景物的两幅数字图像，并基于视差原理即可恢复出物体三维几何信息，重建周围景物的三维形状与位置。

双目视觉系统一般由两个摄像机构成。拍摄视频素材传输至载具所搭载的嵌入式核心服务器内暂存，后期传输至由图形工作站使用定制版 CMVS-PMVS 进行点云生成和建模操作。

3.4 地面站系统

地面站系统硬件由手提箱壳体、定制工控电脑、操控手柄、系统网关和千兆半全向远距离网桥等设备组成，软件由自主定制开发的嵌入式 Linux 操作系统和航控、图像/数据采集软件组成。主要功能为：在卫星地图上为半潜式 ROV 规划航线；手动遥控半潜式 ROV 航行；半潜式 ROV 因故障失控时可实时显示其备用 GPS 位置信息，便于找回；向机载设备（双目立体视觉模组、多波束声纳探头等）发送工作指令，接收回传数据，生成实时数据和画面。

4 应用前景

根石是坝、垛、护岸的基础，其深度、坡度的完整是决定坝、垛稳定性的重要条件。坝、垛主要是控制主溜、稳定河势，确保黄河工程安全，每年的汛情洪水经过，经常造成根石走失造成工程破坏，因此，通过半潜水下机器人搭载多波束测深仪进行探测，及时发现根石走失的部位、数量，并采取加固与预防措施，对保持工程完整、防止出现工程破坏、减少抢险投入、确保防洪安全具有重要意义。

参考文献

[1] 杨军，吴凤雷，郭黎伟.对黄河中下游河道整治工程根石探测工作的研究[C].技术探讨，2016.03.

[2] 王震宇，黄淑阁.“X—STAR 剖面仪”在黄河下游河道整治工程根石探测中的初步应用[J].人民黄河，1998. 02.

[3] 张晓予.黄河河道整治工程水下根石探测专有技术[C].理论研究，2009.05.

基于遥感技术的山东黄河河势查勘系统研究

马德辉[1]　　于苹苹[2]

（山东黄河河务局山东黄河信息中心，济南 250013）

摘要：河势查勘主要是对河床平面形态、水流状态的观测，分析河势演变状况、了解工程险情及管理状况等，对黄河安全度汛具有重要意义。通过总结黄河下游（山东段）河势查勘的传统方法，分析其存在的问题，结合遥感图像，利用 3S（RS、GIS、GPS）技术，进行河势查勘及应用关键技术研究，完成基于遥感技术的山东黄河河势查勘系统建设，逐步实现河道智慧化管理。

关键字：山东黄河；遥感技术；河势查勘；河道管理

1　建设背景

河势查勘是黄河防汛的重点内容，对黄河安全度汛具有重要意义。河势查勘主要是对河床平面形态、水流状态的观测，分析河势演变状况、了解工程险情及管理状况等，通常采取仪器测量和人工估测相结合的办法。河势查勘后绘制河势图，在图上标出河道水边线、主溜线的位置，水流的流量比例，工程靠溜情况等，用以分析河势变化规律，进行河势预估，在大洪水期间预防突发险情，争取防洪主动[1-2]。

同时，经过近几年的调水调沙，黄河下游部分河段河势变化较大[3]。由于河势的改变，多年不靠水的险工坝岸又出现靠水、靠溜，一些常年靠溜坝岸出现脱河现象。河势溜向的变化，打破了以往演变的规律，给查险、抢险带来一定的困难[4]。因此要加强河势查勘，积累河势数据，分析研究河势变化的规律，为查险、抢险提供正确的决策依据[5]。

当前河势信息采集大多较为单一、人工绘制河势图费时费力，卫星、无人机等遥感监测技术应用基本处于空白状态，导致河道岸线、主溜线等河势数据无法自动获取且精度不够[6]。因此，利用遥感信息解译数据自动获取山东黄河水边线、主溜线等河势数据，对保障河势数据获取精度、减少人工投入、确保防洪安全具有重要意义。

2　建设目标

从山东黄河河道综合管理需求出发，以黄河下游（山东段）河势信息管理和决策分析为目标，以山东黄河数据整合资源中心为依托，将遥感数据作为主要数据基础，利用 3S（遥感 RS、GIS、GPS）、人工智能作为技术手段，进行河道信息分析和应用关键技术研究，完成系统建设，逐步实现河势变化模拟及预测，实现河道智慧化管理。

3　系统框架

平台由感知层、数据层、应用支撑层、业务层、展示层和用户层组成。总体架构图如下。

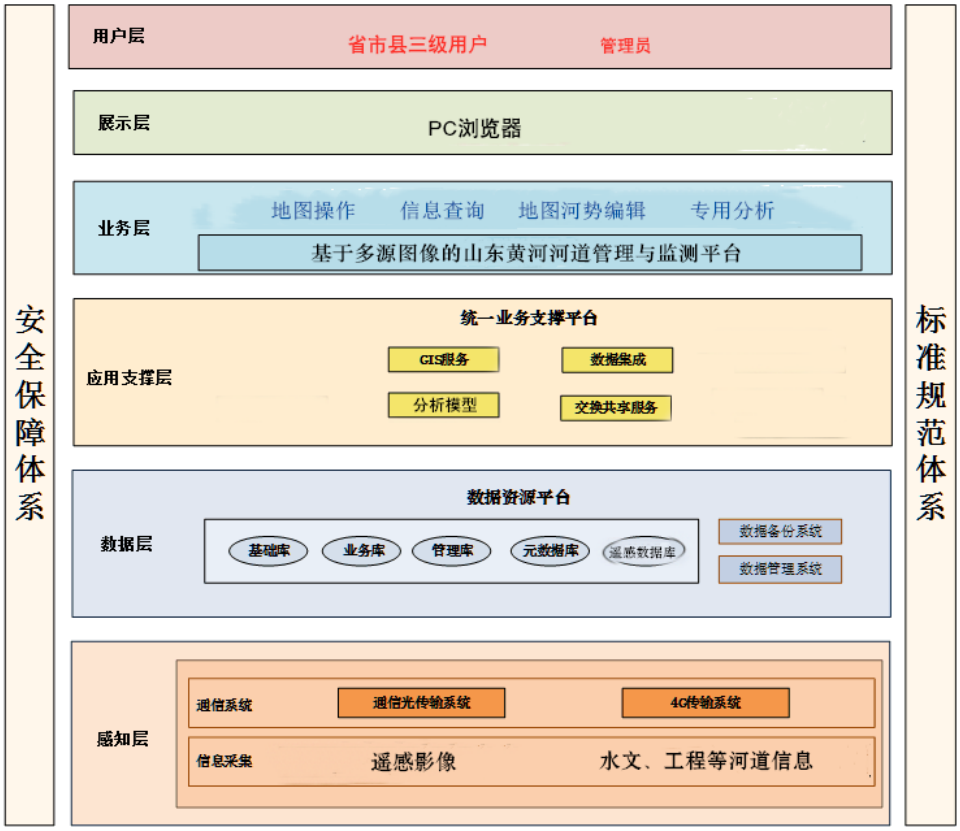


图 1　系统框架图

感知层。感知层是平台建立的基础，主要是对系统相关各类基础信息进行梳理；定期下载更新山东黄河区域遥感影像。

数据层是系统信息汇集的目的地，通过整体规划、统一标准，采用分布式数据管理模式，为平台提供数据源，主要分为基础数据库、业务类数据库、管理类数据库等。其中，对遥感数据单独隔离存储。同时，可根据业务与省局数据资源中心进行数据调用和汇集，实现数据统一汇聚、同步更新、泛在服务。

应用支撑层提供通用的技术和服务，用于支撑应用系统的开发、部署和运行，由成熟的中间件软件、GIS 平台、计算模型访问接口等组成，实现流畅的海量数据交换和对已有数据统计模拟功能，提供多种信息表达和输出模式，为业务应用系统开发提供友好的交互环境。

业务应用层地图操作、信息查询、信息管理、河势编辑、专用分析。以山东段河势信息为主要操作对象，以实现其数据信息的查询、浏览、编辑、存储、管理为主要目标突出河道综合管理特点建设山东黄河河势查勘系统。

4　建设内容

4.1　多级用户

根据河势查勘的实际情况，按照山东黄河管理机构设置三级级操作用户，不同用户拥有不同的使用权限，并在河势查勘、信息管理中实现由县局至省局审核报送功能。

县局用户是整个河道管理的最低级管理机构，代表县区负责管理范围内河势的相关信息，主要包括管理所辖区域内工程靠水靠溜等情况，并负责录入上报；在河势查勘中，负责

编辑所辖范围内滩岸坍塌、淤积、生产堤等图层内容并上报到市局审核。

市局用户是整个河道管理的次级管理机构，代表市局负责管理范围内河势的相关信息，在河势查勘功能中，负责编辑审核县局报送的滩岸坍塌、淤积、生产堤等图层内容并上报到省局审核。

省局用户是整个河道管理的最高级管理机构，代表全省负责管理河势的相关信息，其主要功能为浏览和编辑所辖区域范围内的河势和工程信息，掌握全省范围内的黄河干流河道的现状情况；在河势查勘功能中，负责编辑审核市局报送的滩岸坍塌、淤积、生产堤等图层内容。

4.2　多源地图

4.2.1　多比例尺电子矢量地图

根据实际需求，将 CAD 制图转换为 Arcgis 下最大可达 1:4500 的多比例尺分层电子地图，其中包含交通、居民地、农田等社会信息及准确的坝号、断面、险工堤防等黄河要素信息。

4.2.2　遥感图像监测分析

获取卫星提供的雷达和多光谱等遥感影像，经过影像拼接、大气校正等处理后，通过算法模型解译提取山东黄河水边线、主溜线等数据并叠加到矢量地图中，弥补传统人工查勘带来的不足。

4.2.3　天地图

利用天地图接口将天地图加载进平台中，提高河道综合管理直观性。

4.3　遥感解译

在汛前、汛期、汛后定期利用哨兵 2 号、高分 4 号等遥感影像对黄河山东段水边线、进行解译，提高河道信息提取精度，减少了人工投入。

4.3.1　确定阈值，区分水体

利用水体指数法计算后可形成反映影像中水体的空间分布状况的图像，通过反复实验确定水体阈值[7]。灰度阈值法也称为二值法，是一种简洁有效的图像分割方法，目前已被广泛地用于各种图像分割[8-9]。对计算后图像定出一个合适的水体阈值，将低于该值的像元定为水体，高于该值的像元则为非水体，这样就将水体与其它地物分开。阈值的选择必须根据区域研究对象及周围环境的特点来确定。在不同的区域、不同的时间、不同的图像上采用的闭值会有所不同。确定阈值后 , 将水体部分的像元亮度值全部变换为 0，非水体部分的像元亮度值全部变换为 1，成为只有“0”和“1”两种值的图像，将此二值图作为水陆划分的图像掩膜[10-11]。

4.3.2　生成矢量图

在 Arcgis 中将水体二值图转换为矢量文件。提取出的水体除河道外 , 还包括部分坑塘等细小水体　将细小水体删除后形成各时相河道矢量图。

4.3.3　水边线提取

利用河道矢量图提取河道外轮廓即得到相应时相山东黄河水边线。

4.4　河势查勘作业

河势查勘是黄河防汛的重点内容，对黄河安全度汛具有重要意义。河势查勘获取的河道信息是河道管理中的重要内容。河势查勘主要是对河床平面形态、水流状态的观测，分析河势演变状况、了解工程险情及管理状况等，通常采取仪器测量和人工估测相结合的办法。河势查勘后绘制河势图，在系统中利用遥感图像解译的河道水边线、主溜线的位置，编辑水流的流量比例、坍塌淤积、生产堤等工程情况，用以分析河势变化规律，进行河势预估，在大洪水期间预防突发险情，争取防洪主动。

4.4.1　地图编辑

地图编辑功能利用 ArcGIS API for Javascript 技术实现在浏览器中对地图进行编辑。ArcGIS 接口提供了矢量线段绘制、多边形绘制、添加备注等地图在线编辑功能接口，实现主溜线、坍塌等在线编辑。

河势编辑是由县局、市局、省局的编辑用户进行操作。系统对不同管理单位预设了编辑范围，当编辑超过管辖范围时，系统自动提示“不在范围内”，无法进行地图编辑操作。

地图编辑可以在系统中编辑主溜线或者利用遥感图像解译的河道水边线、主溜线的位置，编辑水流的流量比例、坍塌淤积、生产堤等工程情况。

4.4.2　河势提交与审核

（1）编辑用户提交

编辑用户绘制完成之后，进行提交编辑用户一旦提交，河势编辑按钮无法打开，地图不可继续编辑。下一级审核用户不通过，则退回本次编辑，编辑功能可再次使用。

（2）审核用户提交

审核用户登录系统对上一级编辑用户数据进行审核。

审核用户可对地图进行编辑操作，点击菜单栏“审核”按钮，选择是否通过审核，审核用户确认信息无误后通过审核，点击提交按钮提交到省局用户。

（3）河势编辑用户分级审核流程

系统只有当下级用户提交数据后，上级用户才能看到下级的数据，进行编辑、审核与上报。

县局编辑用户编辑具体河势数据，提交给县局审核用户；县局审核用户通过审核后提交给市局编辑用户；县局审核不通过退回到县局编辑用户。

市局编辑用户对县局绘制河势内容进行简单编辑连接，所属县局全部提交并勾选后，可提交给市局审核；市局审核用户将所属县局全部审核通过，并全部勾选后提交到省局编辑；市局审核不通过退回到县局审核用户。

省局编辑用户将所有市局内容进行简单编辑后，全部提交到省局审核用户；省局审核用户审核通过并全部提交，完成流程；省局审核不通过退回市局审核。

4.5 制图

制图模块实现地图打印功能，以方便用户更加细致查看地图。将勾绘的河道主溜线、遥感解译的水边线、心滩、工程数据等叠加到黄河下游山东段河道矢量图上。根据山东黄河流向方位，按照出图要求划分不同的区域，进行不同的角度调整，实现河势图生成与输出打印。

5 结语

针对传统河势查勘费时费力、绘制复杂等问题，本文提出建设基于遥感技术的山东黄河河势查勘系统，该系统运用遥感影像解析和矢量电子地图叠加技术，实现了水边线自动提取、河势查勘作业线上操作、工程靠溜位置变化分析等功能模块，实现黄河下游河势信息的提取和综合分析，为防汛调度提供支持。下一步，系统将充分利用遥感等先进技术，研究主溜线自动提取、重点河段河势分析等，逐步实现黄河河道智慧化管理。

参考文献

[1] 雷震, 祝远雷, 汤文静. 浅析做好河势查勘工作的必要性[J]. 科技信息, 2009(29):1113.

[2] 张卫军. 2008 年度长江荆江河段河势查勘与评述[J]. 长江大学学报(自科版)(4 期):300-302.

[3] 韩琳, 刘学工, 张艳宁,等. 黄河下游 2010 年汛前调水调沙河势监测分析[J]. 人民黄河, 2011(06):6-8.

[4] 薛庆宇, 李静, 裴庆春,等. GPS 手持接收机在黄河河势查勘中的应用[J]. 人民黄河, 2010(01):18-19.

[5] 姚文艺, 王卫红, 李勇. 基于河势稳定原理的黄河游荡性河道整治机制研究[J]. 水利学报, 2007.

[6] 袁峥, 梁林江, 杨军. 渭河下游河势查勘的实践与探索[J]. 陕西水利, 2019, 000(011):170-171,176.

[7] 简兴, 陈鸿, 邢忠亚,等. 利用遥感技术提取水体面积时水体类型对阈值的影响[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(018):267-270.

[8] 赵传海. 用于图像压缩的文档二值化方法[D]. 吉林大学.

[9] 陆渊, 林怡, 张绍明. 灰度阈值方法下的 SAR 图像水体检测[J]. 山东建筑大学学报, 2010, 25(002):125-128,133.

[10] 刘小磊, 覃志豪. NDWI 与 NDVI 指数在区域干旱监测中的比较分析——以 2003 年江西夏季干旱为例[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(005):608-612.

[11] 徐蓉, 赵春哲, 熊江. 几种湖泊水体遥感提取算法的比较研究[C]// 第 26 届中国过程控制会议(CPCC2015).

移动式防汛守险房在黄河防汛工作中的应用分析研究

梁腾飞　　何文龙　　安清宇

（山东黄河河务局山东黄河信息中心，济南 250013）

摘要：移动式防汛守险房立足于黄河防汛抢险工作的实际需求，切实解决基层单位日常工作中的难点、痛点，根据基层单位巡堤查险守险的具体情况与要求，建成一个集现场办公、调度指挥、视频会商、数据传输、生活保障多功能于一体的防汛一线“作战堡垒”。

关键词：移动式；信息化；防汛守险

0　前言

为应对黄河汛期复杂汛情，根据相关班坝责任制要求，各级黄河水行政管理部门会在黄河滩岸、险工控导等重要防守位置搭建临时防汛守险点，派驻巡堤查险人员，实行 24 小时拉网式不间断巡查。建设临时防汛守险点是为了各级防汛部门能够及时掌握水情、汛情和堤坝险工等工程情况，发现险情及时报告和处置，查早、处小、抢了，严防小险发展为大险。目前临时守险点建设，通常采用移动帐篷的方式，设立位置一般为汛情一线，地处偏远、无水无电、设备简陋、条件艰苦。巡查人员工作方式较原始，巡查结果只能在巡查结束后回到基层单位通过黄河通信专用网络，利用黄河行业内部应用系统进行数据汇总、整合、上报，在时效性方面存在很大的局限性。为应对解决此类问题，提升防汛守险工作效率与成效，本文分析研究能够在黄河防汛工作中推广应用的移动式防汛守险设施。这种移动式防汛守险设施，以人为本、服务基层，旨在提升基层工作人员工作生活条件的同时，利用信息化手段推进黄河治理能力现代化进程，增强工作时效性，提升基层工作人员防汛守险工作生活保障。

1　目标分析

移动式防汛守险房立足于黄河防汛抢险工作的实际需求，切实解决基层单位日常工作中的难点、痛点，根据基层单位巡堤查险守险的具体情况与要求，建成一个集现场办公、调度指挥、视频会商、数据传输、生活保障多功能于一体的防汛一线“作战堡垒”。此设施能够在有防汛守险需求时，迅速灵活部署至防汛重点位置；在投入日常防汛守险工作后，此设施能够提升优化基层工作人员办公工作环境，提供必要的办公设备，处理基本的日常工作；随着信息化建设不断与治黄业务深度融合，各类信息化手段应用于黄河防汛抗旱、水量调度、水政执法、工程建设等业务工作中，此设施应当能够提供黄河通信专用网络接入功能，安装部署各类黄河相关优质应用系统，并可连接各级电子政务系统，了解各级防汛抢险工作部署，及时上报回馈巡堤查险一手资料；如若有相关险情发生，在应急抢险工作中，可根据工作需求，实现功能转换，能够依托房搭建防汛抢险临时指挥部，基于信息化设备可进行交互式异地会商，远程获取视频信息，传达部署调度命令等功能。综上所述，移动式防汛守险房应能够切实提升基层单位防汛抢险救灾的管控能力，逐步改变以人工巡查观测记录为主的传统防

汛查险及指挥调度现状，进一步提高防汛指挥决策的准确性、科学性、时效性。

2 功能模块分析

移动式防汛守险房立足“平战结合”原则进行功能设计。战时，可机动灵活部署在重要险工、控导、水闸、泵站等重点位置，为日常工程巡查、查险报险提供必要的硬件支撑，一线工作人员能够依托本设施及时回馈工程巡查资料，应急抢险时，以此设施为基础，可构建防汛抢险临时指挥部，提供交互式异地会商、远程获取视频信息、传达部署调度命令等功能，为防汛决策提供技术支撑；平时，此设施可满足基层单位各类工作需要，作为基层单位移动办公场所，为防浪林防守、水政执法宣传、经济作物看护等日常工作提供功能保障。针对移动式防汛守险房的功能进行细分，主要分为一下几个功能模块。

2.1 整体结构

移动式防汛守险房设计为移动拖车式结构，无机械动力，可由其他动力车辆牵引移动，整体设计为全承载封闭式房体结构，采用专用的拖车底盘、高强度专用钢材和多层防锈措施，有效保证整体的强度和抗腐蚀能力，大幅度延长使用年限，房体尺寸充分保障了房内的超大空间布局，以满足三人防汛巡查小组的工作生活空间。合理的窗口设计提供了宽广的视野，为防汛驻守人员提供自由舒适的工作生活环境，提高工作及休息质量。房体设置四处顶升装置，在停放时使用时，利用顶升装置将放屋整体提升，确保房屋使用的平衡性，同时避免轮胎长时间负重，延长整体使用寿命。尾部设计外挂脱钩，必要时，可拖挂应急照明装置、移动厕所等辅助设施。

2.2 工作保障模块

移动式防汛守险房配备必要的办公设备，维护终端、传真机、语音通信设备、视频显示设备等。维护终端为防汛守险一线工作人员提供基础的办公功能，可进行日常的文本编辑、资料整理等工作；传真机，可提供传真接受、发送，复印、打印功能，接受各级传真电报；语音通信设备，及时上报巡查资料以及简单工作交流。办公设备均采用可靠固定措施严格固定在防体框架上，防止在移动过程中滑落，造成人员或设备损坏。

同时结合传输通信设备，可部署黄河各类优质应用系统，例如黄河水雨情系统，能够及时获取黄河各水情测报点实时的数据，为下一步工程巡查工作安排以及附近工程未来汛情的预测有一定的帮助；部署视频综合管理平台，可根据权限，观测各级视频监控点图像，通过调取附近工程视频监控点图像，提前预判当前防汛形势，减轻工程巡查工作量；连接各级电子政务系统，及时了解各级主管部门的防汛工作安排；部署异地视频会商系统，能够实现参与各级视频会商会议，为打造防汛抢险一线指挥部提供可能。

2.3 专网通信模块

移动式防汛守险房提供黄河防汛专用网络接入功能，利用 4G 运营商网络结合 VPN 传输设备接入黄河防汛专用网络；并通过无线 AP 设备提供一定范围内的黄河防汛专用网络无线接入功能。通过接入黄河防汛专用网络，现场工作人员即可利用移动终端设备登陆各类黄河防汛应用系统，及时获取各类防汛相关信息，为下一步防汛守险工作打好坚实的基础。如若

防汛守险设施附近有有线介质互联网接入时，可通过有线传输介质连接 4G 接入设备，提供两路互联网接入功能，并能够实现双路自主切换。

2.4　巡查物资模块

根据黄河汛期防汛巡查相关要求，移动式防汛守险房按照三人巡查小组的规格配备相关巡查物资，主要包括：铁锹两把、雨具（包含雨衣、雨靴）三套、救生衣三套、摸水杆一根、冰钎一根、安全绳一条、强光照明设备三套、灭火器两个。为工作人员的日常防汛巡查工作提供物资保障。

2.5　生活保障模块

为防汛守险人员营造一个舒适的工作、休息环境，移动式防汛守险房提供完备的生活设施，值班卧铺、储物冰箱、微波炉、空调。为防止饮水机、微波炉在车辆拖行过程中掉落，根据设备尺寸，设置固定式设备柜，将饮水机与微波炉全部放入固定柜中，确保设施移动过程中设备安全。

3　结语

移动式防汛守险房，立足以人为本、关注基层、支持基层、服务基层原则，切实为基层单位减轻工作负担，增强职工幸福感、获得感，运用计算机网络、4G 传输、VPN 通道技术，为各级黄河水行政管理单位打造防汛抢险一线“作战堡垒”。该设施能够为基层工作人员提供一个方便、舒适、安全、可靠的工作生活场所，配备必要的办公设备及巡查物资，提供黄河防汛专用网络接入功能，并根据需要部署山东黄河各业务系统，形成一个集日常办公、传输通信、物资储备、生活保障等功能于一体的小型工作生活站。总体契合幸福单位建设要求，有利于推进黄河治理能力与治理体系现代化，能够将先进的信息化技术延伸至防汛守险一线，为治黄业务工作的最末端提供有力的信息化支撑，具有一定的推广应用价值。

参考文献

[1] 丁留谦 防汛抗旱信息化建设与未来发展思考[J].中国防汛抗旱，2017（3）：8-10.

[2] 张海燕 王哲 浅论我国防汛抗旱信息化建设“四个统一”[J].建设工程技术与设计，2017（33）.

山东黄河取水口精细化流量在线监测研究与应用

李民东

（山东黄河河务局山东黄河信息中心，济南 250013）

摘要：为了提高山东黄河取水口流量全天候、高频次、高精度在线监测，根据山东黄河泥沙大、取水口情况复杂等特点，通过对主流流量在线监测多项技术比选，选用 H-ADCP、非接触雷达流速仪、水位流量关系法三种技术手段，在此基础上结合图像识别、物联网技术、机器学习等前沿技术加以改进，最终根据各取水口实地情况采用一闸一策方案，有效提高了取水口水资源管控能力，为“合理分水、管住用水”提供有力支撑。

关键词：精细化流量在线监测；图像识别；物联网技术；机器学习

0 前言

山东黄河全长 628 公里，共有 179 个取水口分布在黄河两岸，目前对取水口流量计量主要采用传统人工测流方式和在线测流方式，计量频次和计量精度都无法满足新时期需求。特别是随着黄河流域生态保护和高质量发展的不断推进，全面实施深度节水控水行动，推进水资源节约集约利用，这些都对黄河水资源精细化管控提出更高要求，原有监测方式亟需改进。因此，通过对山东黄河取水口精细化流量在线监测研究与应用，提升山东黄河取水口在线监测能力，才能更好地为地方经济社会发展服务，推动黄河流域生态保护和高质量发展，具有显著的经济效益和社会效益。

1 山东黄河取水口流量监测现状及存在问题

1.1 现状

山东黄河取水口流量监测手段目前主要有人工测流和在线监测两种。其中人工监测主要为工作人员通过使用定期率定的测流设备，采用畅流期流速仪法，在放水期内固定时段（一般每天两次）对渠道内过流水进行测量，取平均值后计算得出每日过流水量。

在线监测主要为使用自动化测流设备，自动对水量进行测算，自动测算又分为两种：一是水工建筑物测流法，主要依托依托涵闸远程监控系统一期工程、二期工程及除险加固工程建设的监测系统，实时采集取水口取水工程前、后水位数据、闸门开启高度，根据水位流量关系函数曲线推算出流量和一段时间内的总引水量；二是自动测流法，通过雷达多普勒流速仪、H-ADCP 实时采集流速、水位、风速等数据，通过流速和所测量断面面积得到实时流量。

1.2 存在问题

1.2.1 山东黄河取水口各站点差异性大

山东黄河全长 628 公里，取水口众多，由于地域跨度过大、引水任务不同造成各站点引水情况差异性大，上游站点引水情况良好，闸后渠道比较规整，但是下游部分站点需要依靠泵站等辅助引水，且闸后渠道不规则；取水口引水工程孔数也从 1 孔到 9 孔不等，取水工程

后渠道宽度从几米到最宽六七十米，部分取水口设计引水最大可达 300 多 m³/s。

1.2.2　河流泥沙量大，监测环境复杂

由于黄河含沙量大、河势变化大、取水工程后渠道易淤积等原因，造成监测环境非常复杂，而且在线监测的站点都建设在野外，环境恶劣、电力无法保障、设备工作温度变化大、渠道内漂浮物杂质多等等，都影响到最后的在线监测数据。

1.2.3　原有在线监测准确性不高

由于河床变化和渠道淤积，原有水位流量关系曲线已无法反应引水情况变化，通过关系曲线得到的数据和人工测量实际数据差别很大；由于断面变化及原有监测原理不完善，造成测流数据和人工实际测量数据误差大，无法代替人工测量。

2　流量在线监测主流技术分析

2.1　水工建筑物测流法

水工建筑物测流法是之前山东黄河取水口监测采用的在线监测方法，其原理是利用观测水工建筑物上游水位、下游水位、闸门开启高度等，根据水工建筑物泄流公式计算出流量。需要通过不断率定获取流量系数，测验精度受到率定采用的测流方法和水位、开度等数据采集精度影响较大，因此需要经常率定且精度不高。

2.2　电磁流速仪

电磁流速仪是利用水流切割磁力线产生电动势的原理来测量流速的，它全部为电子部件，不像转子流速仪一样有机械转动部件，不存在进沙、缠绕等问题；它可采用多垂线流速面积法测量流量，根据设计确定的垂线通过底部基础或水上插入的方式，将电磁流速仪固定在水中指定位置，土建费用较高，适用于清水渠道的测流，由于引黄渠道里漂浮物太多，对水中构件破坏严重，因此电磁流速仪不适合在引黄渠道上适用。

2.3　超声波时差法

超声波时差法经过 30 多年发展，目前已经广泛应用到管道和渠道的流量测验中，工作原理是利用安装在渠道两侧、与渠道 45° 夹角一对或分层的多对声学换能器互动收发声波，利用声波往返的时间差来测量流速的，它测量的是某层的平均流速；两岸传感器要求对准精度极高，必须达到三维对准毫米级，水体的泥沙影响也非常大，含沙量必须小于 1 公斤以下才有较好的测量效果。同时，不同水深一对传感器无法全控制，必须安装多层传感才能实施较好控制，安装维护难度很大，必须停水才能安装、维护，不适合引黄渠道使用。

2.4　H-ADCP

水平固定式声学多普勒剖面仪（H-ADCP）是以物理学中的多普勒效应为基础，利用声波遇到水中微粒而反射，通过测量反射波的多普勒频移来测量流速的，由于它测量的是反射波，所以声波不必穿透整个渠道，而且它测量的是某层的流速分布，所以具有较高的精度。由于它是单侧安装，相对土建成本会低一些；但受含沙量及水深太浅的影响，在引黄渠道上使用受到很大的限制。H-ADCP 曾在山东黄河李家岸引黄闸试验使用，效果较好，部分含沙量较小、水深较深的渠道使用，说明在部分具备断面条件的渠道安装使用，可以达到在线测量的

要求的。

2.5　非接触雷达测流仪

非接触雷达测流仪是利用电磁波的多普勒效应来测量水体表面流速的，然后通过安装在每条垂线上的雷达流速仪采用流速面积法计算流量。由于传感器安装在水体上方，属非接触测量，具有不受水质及含沙量影响、对水深无要求（可测极浅水）的优点；由于低速或静止时水面波浪较小，反射信号较弱，会被淹没在噪声信号中，所以非接触雷达测流的缺点是低速性能较差，试验证明当流速太低时其表面流速有可能不受水体流速控制而受风速控制，产生虚假的表面流速，这种表面流速由于是风速引起的，不能代表真正的水体流速，所以雷达流速仪测流一般要求流速要大于 0.3 米/秒；而渠道运行时为避免泥沙淤积，会通过调整闸门开启的数量及开度的方式来加大流速，恰好避开了非接触测流仪在低流速下工作的情况。另外还可通过降低安装高度和风速仪补偿的方式来弥补其低速方面的不足。由此可见采用非接触雷达测流的方式具有较大的优势。从 2015 年以来，非接触雷达测流仪在山东引黄渠道上开始使用，目前已在八个引黄闸上安装了该测流设备，由于其性能稳定，环境要求低，几乎免维护等优点，推广应用于目前在建的 12 个站点测流工作。

2.6　水位流量相关法

水位流量相关法，就是通过对渠道综合状况好，存在水位流量关系的站点进行水位实时监测，通过水位流量关系获得实时流量。但是受大河水位波动影响较大，只适合于部分取水口。

3　技术比选

结合山东黄河含沙量大、取水口情况复杂等特点，对各技术进行比选，具体情况如表 1。

表 1　流量在线监测主流技术对比

	水工建筑物测流法	电磁流速仪	超声波时差法	H-ADCP	非接触雷达测流仪	水位流量相关法
测流原理	水工建筑物泄流公式 1 多处传感器	多垂线流速面积 1 多探头	层平均流速面积 1 多对探头 2 声波穿透断面	指标流速法 1 单探头 2 声波不穿断面 3 内置声学水位计	多垂线流速面积 1 多探头	水位流量关系法 1 水位计
测量方式	间接测量 1 需监测多个数据 2 需定期维护率定	接触测量 1 受水质、含沙量、水中杂物影响较大 2 恶劣环境下可能损坏仪器 3 需定期维护	接触测量 1 受水质、含沙量、水中杂物影响较大 2 恶劣环境下可能损坏仪器 3 需定期维护	接触测量 1 受水质、含沙量、水中杂物影响较大 2 恶劣环境下可能损坏仪器 3 需定期维护	非接触测量 1 不受水质等因素影响，可靠性高 2 恶劣环境下损坏的可能性较小 3 免维护	间接测量 1、需确定水位流量关系 2、需定期维护率定
流速性能	-	4 水深需淹没仪器 性能一般 1 范围：0~8m/s 2 精度：1% 3 分辨率：2mm	4 水深需淹没仪器 性能一般 1 范围：0~10m/s 2 精度：1% 3 分辨率：2mm	4 水深需淹没波束 性能好 1 范围：-20~20m/s 2 精度：0.5% 3 分辨率：1mm	4 对水深没要求 低速性能差 1 范围：0.1~15m/s 2 精度：1% 3 分辨率：1mm	-
安装	安装相对简单 1 水上安装 2 立杆安装 3 费用低	安装麻烦、复杂 1 水下安装需停水 2 渠底基础，布线 3 费用高	安装复杂 1 水下安装需停水 2 两侧安装三维对准 3 费用高	安装较麻烦 1 水下安装需停水 2 单侧安装 3 费用中等	安装相对简单 1 水上安装 2 桥下、双缆、悬臂 3 费用低	安装相对简单 1 水上安装 2 立杆安装 3 费用低
限制条件	一般 1 对数据精度要求	较高 1 水中杂物	较高 1 含沙量、水质、水	一般 1 含沙量、水质、水	较低 1 极低流速	较高 1 对渠道综合状况

	水工建筑物测流法	电磁流速仪	超声波时差法	H-ADCP	非接触雷达测流仪	水位流量相关法
	大	2 最小水深	中杂物	中杂物	2 镜面水面	要求高
			2 最小水深	2 最小水深		2 受大河影响较大
前期试用	误差大	无	失败	少部分成功	成功	无

综上所述，各技术存在其优点和局限性，且考虑到山东黄河特性和各取水口实地情况，不能单单采用同一种方式对山东黄河取水口进行流量在线监测。其中水工建筑物法由于精度所限，不予考虑；电磁流速仪、超声波时差法对含沙量要求较高，不符合黄河实际情况，不予考虑。最终采用一闸一策，根据各取水口特点采用 H-ADCP、非接触雷达流速仪、水位流量关系法等方式中一种进行流量在线监测。

4 关键技术改进

为实现全天候、高频次、高精准的精细化流量在线监测，原有技术上存在局限性，需要能够适应山东黄河复杂的情况，为此结合图像识别、物联网、机器学习、大数据等新技术，在原有监测技术的基础上进行引进优化融合，从而提高监测精度和系统稳定性。

4.1 基于图像识别的水位监测

基于图像识别的水位监测主要通过高倍率高清数字球机捕获含有水尺图像的视频,并从视频图像中实时截取水位图像,对图像进行灰度转换、中值滤波,边缘检测等处理后,计算出水位结果的方法。水位数据主要由软件识别算法获得，具有测量精度高、维护方便、设备简单，可有效处理复杂条件下的水位监测问题。如图 1 所示为图像识别数据处理流程。

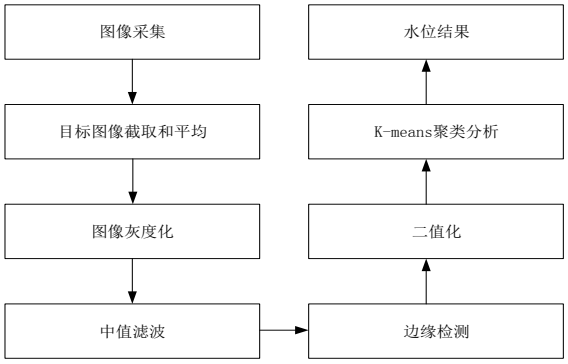


图 1　图像识别水位监测处理流程

基于图像识别的水位监测系统由一体化智能球机、水尺、无线数据传输模块组成，目前在大王庙引黄涵闸闸前使用，能够准确读取水位数据，如图 2 所示。

图 2　大王庙引黄闸闸前水位监测

4.2　基于物联网技术的数据采集传输系统

由于山东黄河站点众多，且分布较广，为方便流量在线监测后期率定参数调试及维护工作，基于物联网技术开发一套数据采集传输系统。该系统包含 STM32F4 嵌入式 MCU、太阳能供电、接线端子、避雷器、空气开关、检测维护监控软件等组成，其中控制器软件由 C 编写。主要由 20 多个模块组成，每个模块完成特定功能，组合实现传感器信号采集、数据解码、数据分析、数据计算及处理、数据打包、内部通讯控制、与 DTU 数据收发等功能。通过软件与硬件配合，结合物联网技术，实时将水位数据、流速数据、流量数据通过无线数传终端传输到服务器。服务器端软件对接收到的数据流进行解码，进一步分析处理。并且通过后台监测维护监控软件实现远程参数修改、系统状态监测等功能，实现智能化识别和管理。目前该系统已在山东黄河邢家渡引黄闸使用。如图 3 所示为基于物联网技术的数据采集系统硬件构成，图 4 为监测维护监控软件界面。

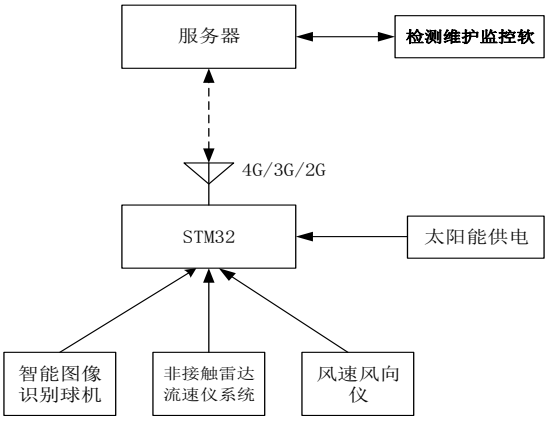


图 3　基于物联网技术的数据采集系统硬件构成

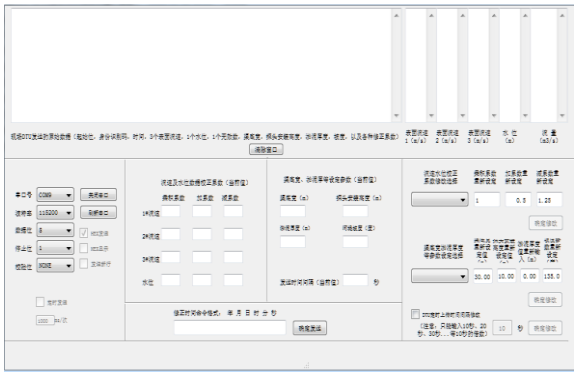


图 4　监测维护监控软件界面

4.3　基于机器学习的水位流量关系法

以水位流量关系较好的李家岸引黄闸为例，通过分析李家岸引黄闸 2018-2020 年近三年来人工监测闸后水位与流量关系，可获得如图 5 所示曲线。但是经实验计算，通过水位流量曲线所得流量数据与实际人工监测数据相比低于 5%误差的数据仅占 37.6%，无法满足实际工作需要。

图 5　李家岸 2018-2020 年闸后水位与流量关系

为提高水位流量关系法监测精度，通过使用机器学习来不断迭代学习，计算出水位流量关系。采用机器学习中多元线性回归与梯度下降法。通过对数据获取-数据预处理与特征选择-模型训练与调优-模型诊断-模型融合等，最终确定闸前水位、闸后水位和闸门开度三个变量对流量影响，通过不断迭代学习，提高了对参数响应的敏感度，通过得出的模型计算出流量数据与实际人工监测数据相比低于 5%误差的数据高达 96.9%。图所示为模型计算数据与人工数据误差百分比。

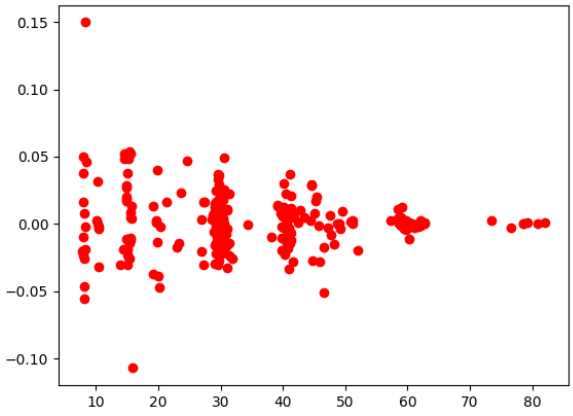


图 6　李家岸 2018-2020 年模型计算数据与人工数据误差百分比

5　结论

通过对多项主流流量在线监测技术比选，结合山东黄河泥沙大、取水口情况复杂等特点，采用一闸一策方案，同时结合图像识别、物联网、人工智能等前沿技术对现有技术改进，最终提出了山东黄河取水口精细化在线监测解决方案，为“合理分水、管住用水”提供有力支撑。

参考文献

[1] 严义顺. 水文测验学[M]. 南京：河海大学出版社，2002.

[2] 龚声蓉. 数字图像处理与分析[M]. 北京：清华大学出版社，2014.

[3] 戴凌全，戴会超. 基于最小二乘法的河流水位流量关系曲线推算[J]. 人民黄河. 2010，(32)：37-39.

基于 STM32 的数据采集传输维护系统在山东黄河防汛抗旱中的应用

张 锟　　徐 林

（山东黄河河务局山东黄河信息中心，济南 250013）

摘要：为了提高山东黄河防汛抗旱数据采集、传输及维护问题，将信息化与防汛抗旱业务深度融合，根据山东黄河防汛抗旱点多线广特点，基于 STM32 处理器、物联网技术及内网穿透技术的软硬件结合，采用 STM32 处理器对实时数据采集和存储控制，数据通过 NB-loT 技术传输至指定公网地址端口，通过内网穿透技术映射到内网服务器端口，并开发出检测维护监控软件实现随时随地远程维护，为防汛抗旱科学决策提供数据和技术支撑。

关键词：数据采集；STM32；物联网；内网穿透

0 引言

随着计算机网络、通信及自动化技术的飞速发展，各种用于水旱灾害防御工作的传感器如水位计、风速仪、雨量计等设备数量也出现激增，特别是山东黄河防汛抗旱工程点多面广，相关传感器数据的采集、传输、维护工作量巨大。STM32 处理器和无线物联网传输技术具有成本低、功耗低、抗干扰性强，能够适应于实时连续监测的恶劣环境中，满足山东黄河防汛抗旱一线需求，同时借助于服务器内网穿透和检测维护监控软件能够实现随时随地远程维护，大大提高了系统容错率，缩短了响应时间。

1 系统原理

1.1 STM32 处理器

本系统基于 ARM Cortex-M4 的 STM32F4 系列高性能微控制器。该处理器采用了意法半导体的 NVM 工艺和 ART 加速器，在 180 MHz 的工作频率下通过闪存执行指令时可实现 225 DMIPS/608 CoreMark 的性能，是迄今所有基于 Cortex-M 内核的微控制器产品所达到的最高性能得分，其主要特点是性能优异、功耗超低、集成度高，适合系统集成整合和易于开发。

1.2 物联网技术

物联网是指通过信息传感设备，按约定的协议，将任何物体与网络相连接，物体通过信息传播媒介进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监管等功能。 [1]物联网技术综合计算机软硬件、传感器技术、集成电路技术、电子应用技术于一体，实现末端设备互联互通，基于公网和黄河专网能够实现实时在线监测、远程维护、在线升级、远程控制等管理和服务功能，实现管控营一体化。

1.3 内网穿透技术

内网穿透，也即 NAT 穿透，进行 NAT 穿透是为了使具有某一个特定源 IP 地址和源端

口号的数据包不被 NAT 设备屏蔽而正确路由到内网主机。山东黄河防汛抗旱业务系统一般部署在黄河专网中，内网无法覆盖到所有一线站点，这就需要通过内网穿透技术，将固定公网 IP 地址端口映射到内网数据服务器端口，实现数据的采集及维护软件远程维护。

2 系统设计

2.1 硬件设计

该系统硬件主要包含 STM32F4 嵌入式 MCU、NB-IoT 传输电路、电源电路、A/D 转换电路。如图 1 所示为系统硬件结构图。

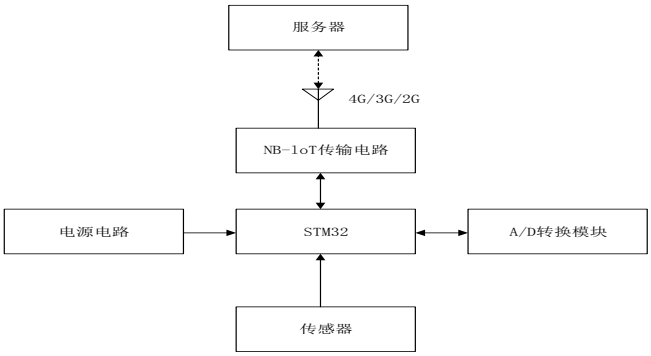


图 1 系统硬件结构图

本系统采用的 STM32F4 处理器，具有 512KB-1MB Flash 和 192KB SRAM，2 个 USB 接口，多达 15 个通信接口，12 位 ADC，高速 SPI，高速 USART 等。

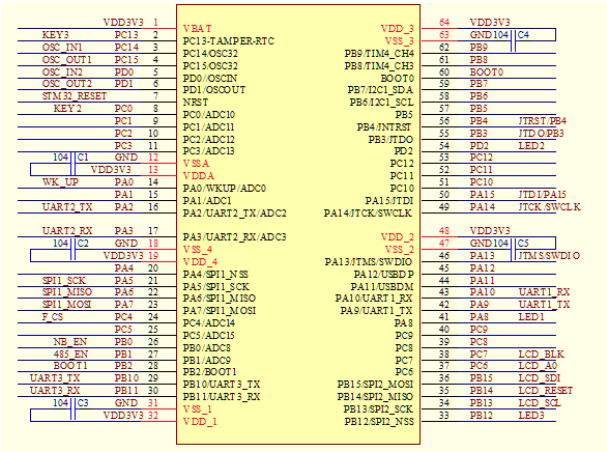


图 2 STM32 电路图

NB-IoT 传输电路就是将处理器处理的数据通过无线传输至服务器，是 IoT 领域一个新兴的技术，支持低功耗设备在广域网的蜂窝数据连接，也被叫作低功耗广域网。NB-IoT 支持待机时间长、对网络连接要求较高设备的高效连接。

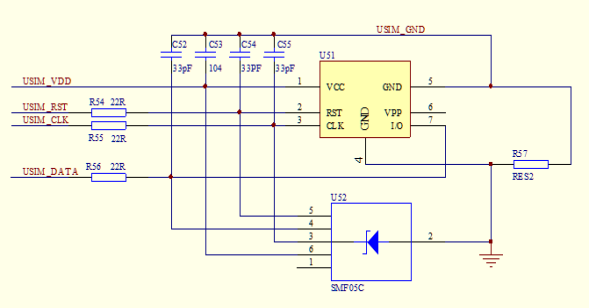


图 3　NB-IoT 传输电路图

电源电路采用太阳能浮充锂电池作为供电电源，锂电池组基本参数为 12 V/16 Ah，通过电源转换为系统提供 12 v，5v 及 3.3 V 三路工作电源,微控制器通过程序管理协调实现各部分电源供给,实现系统的低功耗。5 v 电源由 TPS54229E 转化提供，支持宽电压输入，集成高效率 FET,电路 PCB 空间较小,适合多通道数据采集系统的多电源总线调节设计 4,3.3V 电源采用功耗非常低的降压模块 LTC3631 转化提供。

因为传感器多为模拟信号，处理器处理数字信号，需要对信号进行模数转换，因此增加模数转换模块，设计 MAX3485 模块和 MAX232 模块，实现 485 信号和 232 信号转换。

2.2　软件设计

系统软件分为 STM³2 控制软件和检测维护监控软件，都是由 C 编写。

其中 STM³2 控制软件主要由 20 多个模块组成，每个模块完成特定功能，所有模块组合，实现：传感器信号采集、数据解码、数据分析、数据计算及处理、数据打包、内部通讯控制、与 DTU 数据收发等功能。 软件与硬件配合，实时将水位数据、流速数据、流量数据通过无线数传终端传输到服务器。服务器端软件对接收到的数据流进行解码，进一步分析处理。如图 4

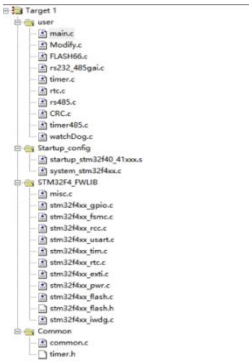


图 4　控制器软件结构树

数据采集触发条件限定为:定时器时间间隔到达;接收到数据采集**命令**,可以在满足数据采集要求的前提下减少数据采集的次数,最大限度节约能量,将数据。 网络协议采用 TCP/IP 透明传输，将数据打包传输至指定公网地址端口，然后通过内网穿透技术，映射到内网服务器地址端口，最终存储进服务器。

检测维护监控软件根据具体业务进行页面定制,如图所示,为水资源在线监测维护界面,通过软件可以实现远程对水位参数、水位计参数、渠道参数、发送时间间隔、时间日期等修

改。

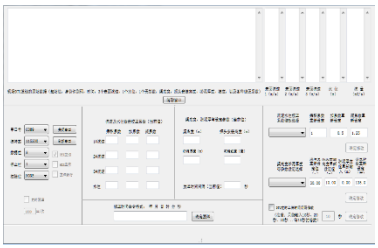


图 5　检测维护监控软件界面

3　结语

本系统根据山东黄河防汛抗旱工作实际特点，将信息技术与防汛抗旱业务深度融合，采用 STM³2 控制器、物联网技术等软硬件结合，旨在为新发展时期，为山东黄河防汛抗灾数据采集传输维护工作提供技术支撑，减轻一线员工工作压力，提高数据采集、传输质量，解决后期维护困难的问题，为山东黄河防汛抗旱科学决策提供数据及技术支撑。

参考文献

[1] 董永贵.微型传感器[M].清华大学出版社，2007.

[2] 王永虹，徐炜，郝立平.STM 系列为 ARM Cortex-M³ 为控制器原理与实践[M].北京：北京航空航天大学出版社，2013：305-313.

[3] 徐航，罗巍.基于嵌入式的多通道高速数据采集系统[J].自动化与仪器仪表.2013（1）：148-150.

水利信息化人才队伍建设研究

刘　雯

（山东黄河信息中心）

1　背景

水利信息化是实现水利现代化发展的重要先导因素之一。上世纪 70 年代水利信息化开始起步，1998 年特大洪水后，国家防汛指挥系统工程加快了关于水利信息化的构想。2001 年水利部党组确立了"以水利信息化带动水利现代化"的发展思路，并在同年召开的全国水利信息化工作座谈会上，将水利信息化建设正式命名为"金水工程"。随着水利信息采集、网络设施的逐步完善，信息资源的开发利用逐步加强，以及业务应用系统开发逐步深入，行业信息化水平不断加强，在防汛、抗旱、抢险、救灾中起到的支撑作用越发显著。

2019 年，鄂竟平部长提出了“水利工程补短板、水利行业强监管”的新时代水利改革发展总基调。其中，明确了补齐信息化工程短板的重要地位。这一论断既是鞭策，又是机遇，再次凸显了水利信息化工作的重要性。同年 3 月，水利部办公厅《关于印发 2019 年水利网信工作要点的通知》指出“全力推进信息技术与水利业务深度融合，加快提升水利网信水平，为新时代水利改革发展提供强力驱动和有力支撑”。由此可以看出，加快推进水利信息化，支撑和保障水利改革发展，促进并带动水利现代化，是一项事关水利发展全局的重大战略任务。

然而，我国水利信息化建设起步较晚，与其他行业信息化发展进程相比还存在不小的差距，尤其是人才培养和人才结构上差距显著。“补短板、强监管”的水利改革总基调凸显了对水利信息化人才的需求，加快建设一支高素质的水利信息化人才队伍对于“补齐短板”推动水利信息化进程具有重大意义。

2　水利信息化人才发展的现状

“十三五”以来，水利信息化人才队伍稳步发展。以山东黄河系统从事信息化工作人员为例，截至 2020 年共有信息通信人员 124 人。

年龄结构来看，35 岁以下 26 人，占比为 21%；35-50 岁 60 人，占比最高，为 48%；50 岁以上 38 人，占比为 31%。（见图 2-1）

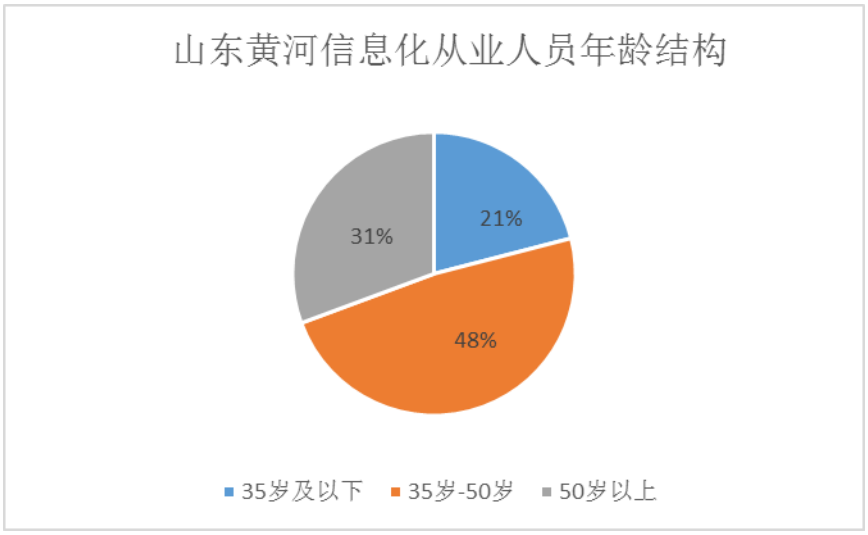


图　2-1

学历结构来看，专科及以下学历 28 人，占比 23%；本科学历 81 人，占比 65%；研究生学历 15 人，占比 12%。（见图 2-2）

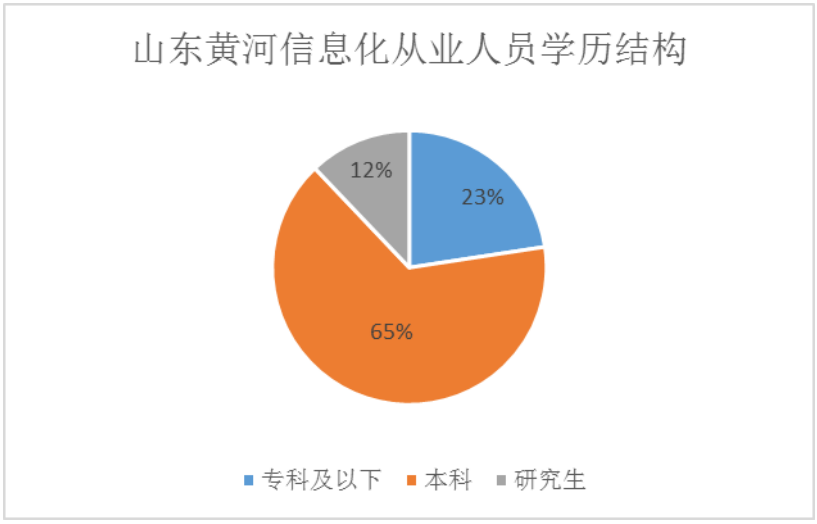


图　2-2

专业技术及工勤技能来看，助理及以下专业技术职务 20 人，占比 16%；中级 38 人，占比 31%；副高级及以上 37 人，占比 30%；工勤技能岗位共 29 人，占比 23%。（见图 2-3）

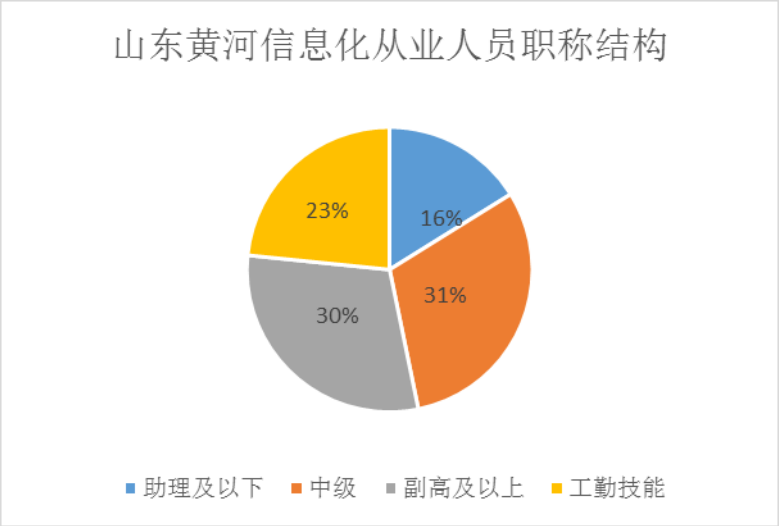


图　2-3

3　水利信息化人才队伍存在的问题

多年来，水利信息化人才队伍建设尽管取得了一定成绩，人才总量持续增长，人才素质稳步提高，但仍存在一定问题，主要体现在以下几个方面：

3.1　缺少既具备水利专业知识又精通通信技术的复合型人才

水利科学是一门人类社会改造自然的科学，涉及到自然科学和社会科学许多门类的知识，有其自身的复杂性和特殊性，如水文、地质、农学、生态等众多领域，涉及面广、专业性强；通信技术专业是通信技术、电子技术与计算机应用技术相结合的复合型专业，所涉及的领域同样广泛而专业。而水利信息化建设，则是融合了水利专业知识与通信科学、水利行业管理等多方面的知识，建设项目的专业性及技术性更是“强上加强”。

众所周知，专业性的应用软件开发难度大、投入大、风险高，专业水平高却不懂计算机技术的工程专家难以开发出像样的专业应用程序；同理，不懂行业需求的程序高手即使设计出了顶尖的应用软件却和实际应用南辕北辙，和水利工作实际“水土不服”，就好比语言文化习惯各不相同的“跨国婚姻”，同样难以取得理想的效果。因此，无论是高水平的信息通信从业人员，还是专业的水利专家，都受各自专业的局限，难以在水利信息化行业的发展中大展身手。

而在山东治黄通信实践中，这一特点尤为突出。山东局专职信息化人员中，在全日制教育中接触过水利知识系统学习的，或在工作中有过治黄水利工作经历的少之又少。这一特点决定了理想的水利信息化人才应该是既具备水利专业知识又精通通信技术的复合型人才。然而，这类人才不仅严重匮乏，并且“后继无望”。一方面，目前山东治黄通信人员大多是毕业于计算机相关专业，几乎没有接触过水利知识；另一方面，在专业的水利高校中，计算机技术仅仅作为公共课等基础类课程，专业性要求较低。“通才”难寻，成为制约水利信息化发展的一大重要因素。

3.2　基层信息化人才匮乏

水利信息化建设是一项贯穿各级单位的系统性建设，既需要顶层的设计，更需要基层的

建设与操作。然而，目前山东黄河基层单位水利信息化人才匮乏的现象尤为突出。尽管各县局均设有通信站，但是从事通信相关业务的人员大多为兼职人员，且所学专业多为非通信类专业。据统计，在各地市局 62 名信息化从业人员中，仅有 18 人所学专业为通信工程及计算机科学与技术等相关专业。在运用信息化设备、操作相关系统的过程中，部分一线信息化从业人员仅能完成最基本的简单操作，不能深入挖掘设备系统的潜力，难以对其进行进一步完善和升级，极大限制了信息化建设向更高层次发展的进程。同时，机器设备一旦出现问题，基层一线信息化从业人员无法在第一时间完成问题判断和故障修复，大多需向省市级信息中心请求援助，严重影响了防洪工程的日常监管，存在延误防汛抢险的可能。

从系统内部来看，“信息化建设仅仅是日常工作的补充”这一意识在各级单位根深蒂固，信息化部门的地位和受重视程度普遍偏低。正是由于在潜意识对信息化业务的忽视，导致在基层单位从事信息化业务的职工职务晋升相较其他部门晋升较为困难。同时由于所从事的行业非水利主业，晋升路径也较为狭窄。此外，基层信息化业务较为单一的特性也影响到了其职称的评定。由上述原因导致，大多在基层通信部门任职的员工队伍稳定性较差，人员流失严重。

3.3 高端人才匮乏，缺乏领军人物

总体来看，水利行业内部的信息化发展程度相较其他行业来讲，还处于一个比较基础的阶段。若想在未来的发展过程中有所突破，离不开高端人才和领军人物的正确引领和卓越贡献。高层次的科技人才在行业科技创新中起着关键作用，他们是行业发展不可替代的战略资源。一个或几个顶尖人才往往决定着一个研究团队、一家企业甚至全行业在该领域的地位。然而，现实情况是，目前水利行业内部信息化人才结构极度失衡，存在大量的管理类和技术应用类人才，而高端人才和领军人物严重匮乏，尤其在软件开发、网络安全方面表现尤为突出。水利信息化建设并不是简单的对现有业务流程进行再处理、再优化，而是对现有的水利工作方式进行全面的创新，利用现代化信息技术对水利工作的各方面进行深度的发掘和分析，打造一个全新的工作体系。高端人才和领军人物的匮乏无疑会严重影响工作推动的方向和进程。

造成现有人才结构失衡是由多方面因素导致的。一方面，信息化行业作为现阶段最热门的行业，行业平均工资较水利行业高出甚多，水利行业的福利待遇远远达不到网络信息行业的平均水平，从工资薪酬角度无法对高端人才和领军人物产生吸引力；另一方面，水利行业内部领导层多为水利工程相关专业，作为管理层他们往往会处于原专业角度对信息化发展提出意见和思路，常常会与现有信息化发展方向相悖，并且作为行政命令必须完成，从一定程度上影响了高度技术人才创新的积极性，造成人才的流失。

3.4 培养模式滞后、培养方式单一

在当前难以引进业内大咖的情况下，加强培养现有信息化人才对于推动水利信息化的发展势在必行。必须相应建立起统一、规范、系统的培训体系和培训制度，才能有效的起到培养人才的作用。然而，近年来行业内部信息化人才培养力度还有待加强。

首先是培训频次不高。受各方面因素影响，每年专门的信息化培训平均仅有一两次，行业内多数信息化从业者更多的时间是在运用原有掌握的技术闷着头干工作，除非本人利用业余时间进行个人自学，很难通过单位培训对个人技术进行打磨升级；其次是培养缺乏系统性，每年的培训主题往往没有什么连贯性，联系性也不强，没有层次感，大多是为了培训而培训，或是为了学员能够通过培训完成一项具体任务而举办，学员接受到的知识都很零散，较难形成完整的知识构架，很难触类旁通；再次是培养方式较为单一，多为以开办短期培训班为主，且邀请的讲师多为行业内部行政管理者，没有与专业的信息化龙头企业建立起联合培养合作的模式。

4 解决措施

4.1 以水利高校为依托，培养复合型信息化人才

培养适应实际工作需要的技术人才是目前水利信息化建设的当务之急。目前，行业内部人才引进方式多以公务员和事业编考试为主，人才多为应届大学毕业生。因此，为了使刚毕业的大学生能够适应工作需要，加快融入工作岗位的进度，符合岗位的实际需要，加强与各水利专业学校的合作交流势在必行。

各相关水利专业高校尽管没有水利与信息化融合的复合型专业，但是都设有计算机专业，且相关资料设备都较为齐全，具备培养复合型人才的物质基础。作为用人单位，应当积极向其反馈目前在引进人才过程中存在的问题和难点，共同编制适应工作需要的学习培养方案，在水利相关专业中设置有关计算机课程，或者积极鼓励水利专业学习申请计算机第二学位依托高等院校提前做好相关人才的培养工作，便于相关人才在进入工作岗位时更加符合实际需要。

通过高等院校人才培养方式上的变革，创新专业培养方式，为水利信息化发展建成最大的人才摇篮。

4.2 编制信息化人才规划

水利信息化人才的培养不仅需要具体实施，更需要顶层设计，为未来信息化人才队伍的建设培养指明方向和道路，然而目前没有针对信息化人才发展的规划出台。编制实施信息化人才发展规划是夯实水利信息化人才培养渠道的重要基础性工作之一，也是引导推动人才事业改革发展、贯彻落实创新驱动发展战略重要举措，是一项重要而紧迫的任务。

在今后的一段时间里，系统内各级单位都应在工作中，加强对信息化队伍的调查研究和统计分析工作，定期研究水利信息化发展的现状、存在的问题，集中研讨解决问题的方案，研究未来对信息化人才的技能素质需求，清楚掌握人才的流动方向和供需模式。通过大量的统计分析，清晰的描绘出未来水利信息化人才队伍建设的总体目标、具体任务和工作要点，做到引才用才有的放矢。从而在人才培养过程中有计划有目的的开展工作，既不片面追求高端人才，又不降低门槛片面追求从业者数量，保证切实提高工作质量和工作效率。

4.3 创新培养模式

逐渐摒弃以培训教学为主的单一人才培养模式，以高等院校、互联网企业为依托，加强

深度交流，丰富培养方式和培养内容，逐步构建完善的人才培养体系，与水利业务高度融合，全面服务于水利信息化升级进程。

选择师资力量强、课程设置先进的高校进行合作，以提升专业技术水平为目的，共同研究制定培养计划，设置培养课程，有目的性、有层次性的展开教学培训，同时筛选业务骨干定期到高等院校进行短期脱产式培训，学习先进的网络理念和编程技术，发挥其带动作用，逐步提升整个信心化队伍的技术水平，跟上时代潮流。

根据日常工作要求，加强与相关互联网公司的技术交流。在引进、采购外界先进技术的同时，在有关协议中加入培养条款，定期派业务骨干加入企业工作团队，深入参与产品研发，了解最新互联网技术和更具活力的管理机制，更新自身知识储备，开阔自身眼界，应用于本岗位实际工作中。采取走出去、请进来的方式，与科研院所、设施厂商广泛开展前沿技术交流，积极参加高层次信息化论坛、展会等活动，开拓技术人员视野，提升业务技能。

进一步推进与业务需求部门的深度融合。定期选派技术人员进入上级单位主要业务部门进行短期交流，通过日常工作，分析总结治黄业务部门实际工作中的具体需求，进而改善现有信息化系统、设备和工作方向，提高水利信息化工作效率更好的服务治黄主业。

4.4　构建创新载体，进行团队建设

在攻坚水利信息项目时，突破现有的人员管理模式，逐渐模糊单位内部业务科室的界限，进行创造性的团队建设。在研发一个项目时，从研发、维护等不同业务科室抽调工作人员组成临时的研发团队，发挥团队力量，充分吸收不同业务人才提出的构想和设计，使得设计的项目在未来竣工后更好的发挥作用，减轻运行管理单位负担，从管理角度，将研发团队扁平化，将有利于更好的提升工作效率。同时，在研发过程中，将全面提升信息化从业者的个人综合能力，补齐业务短板，使其向全面化发展。

扎实推动治黄信息化科研工作，积极开展创新团队建设。组建信息化创新科技团队，创建互联网+创新工作室，逐步培养优秀科技创新人才。

4.5　完善人才奖励机制

借助事业单位改革的东风，逐步完善人才奖励机制。在符合相关法律法规的前提下，遵从“多劳多得，少劳少得”的基本原则，制定符合本单位实际的绩效考核、薪酬分配和竞争机制，激发信息化从业人员的工作热情和工作潜力，推动水利信息化改革发展进程。在每年预算经费中申请设立人才奖励经费，对具备自主研发能力的单位，指定任务指标，按照任务完成情况，给予不同额度的物质与精神奖励。

微波铁塔通信维护无线音像交互装置应用研究

袁 野　　赵 伟

（山东黄河河务局山东黄河信息中心，250113）

摘要：随着现代信息技术在设备制造领域的广泛应用，大型装备正朝着综合化、复杂化、信息化的方向发展，这就使得装备的保障维修工作对技术的依赖度越来越高，保障过程也变得复杂且时效性强。当前，在“数字黄河”向“智慧黄河”建设升级的过程中，信息化建设是新形势下实现黄河生态保护和高质量发展的重要手段，防汛抢险、生态监测等各项治黄业务都在向信息化、智能化的方向发展。智能化的最基本前提在于数据实时互通、资源实时共享，因此，做好“智慧黄河”建设过程中的通信保障工作就显得尤为重要。

关键字：通信；信号传输；交互装置

Abstract: With the wide application of modern information technology in the field of equipment manufacturing, large-scale equipment is developing towards the direction of integration, complexity and informatization, which makes the equipment support and maintenance work more and more dependent on technology, and the support process becomes more complex and time-effective.At present, in the process of upgrading from "Digital Yellow River" to "smart Yellow River", information construction is an important means to realize the ecological protection and high-quality development of the Yellow River under the new situation. Flood control, emergency rescue, ecological monitoring and other Yellow River Control businesses are developing in the direction of information and intelligence. The most basic premise of intellectualization lies in real-time data interchange and real-time resource sharing. Therefore, it is particularly important to do a good job in the communication guarantee work in the process of "smart Yellow River" construction.

Key words:signal communication;Signal transmission of interactive device;Interactive device

1　系统概述

1.1　系统建设的必要性

作为黄河通信专网的重要组成部分，微波收发装备的运维保障过程内容复杂且技术要求高。在现实情况下，微波收发装备通常放置在高几十米的铁塔上，现场操作危险系数较高，而我们的专业技术人员因不具备高空作业资格或身体条件不适宜从事高空作业等原因导致无法对设备进行深入一线的诊断。在以往的工作当中，专业技术人员采取的解决方案是利用对讲机和高空作业工人进行沟通，但由于工人缺乏一定的专业知识，很多问题无法靠语言解释清楚，我们的专业技术人员看不到实时的画面也常常无法做出准确诊断基于对微波设备保障知识与技术的迫切需求，本文介绍了一种头戴式远程诊断装置，帮助专业技术人员实时掌

握故障源头，并给出解决方案。

1.2　装置的可行性

随着信息技术的不断发展，中短距离无线图像传输技术已经作为一种必备的通信方式广泛应用于生活当中。我们比较常见的技术有微波传输、蓝牙传输、WiFi 传输以及无人机等技术经过长久发展已经非常成熟，这也使得我们依靠这些技术开发出一款低成本、低功耗、易携带的图像传输装置的设想是合理的、可行的。

考虑到本装置当前的应用是在视距范围内，我们可以利用微波信道的点对点通信来实现诊断过程中音视频的即时传输。微波通信具有频带宽、容量大，通信质量高的特点，能够满足音视频传输对于时效的要求，非常适合应用于中远程诊断装置当中。

2　方案分析与设计

2.1　OSD 实现方式分析

图 2.1 为本装置的 OSD 实现方式。NE592D 芯片包括视频信号发生器、显示存储器（VRAM）和字形存储器接口，具有功耗低、应用广的优点，而且外围电路的搭建相对简单，完全满足本项目的要求。

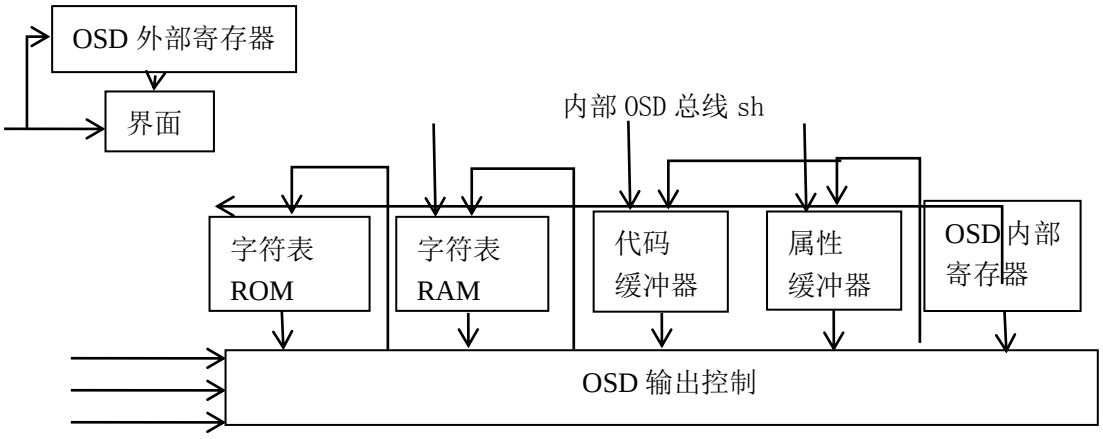


图 2.1　OSD 输出流程演示

2.2　装置方案设计

2.2.1　总体框架设计

该视频传输装置通过搭配 NE592D 芯片来实现 OSD 技术，同时设计采用 ATMEL426 单片机作为核心器件实现对外围芯片和模块的调度，如图 2.2 所示。整个装置分为采集端设备和指令端设备，通过搭配不同功率的微波前端和不同增益的天线，实现不同距离的传输，如图 2.3 所示。

整个装置分为采集端和指令端两个部分。采集端对来自视频采集设备的数据进行编码压缩处理，并将编码后的信号调制到 L 频段（1 ～ 2 GHz），通过微波前端功率放大后发送至地面。指令端通过地面天线接收该下行信号，经过前端低噪声放大后，在地面设备中分离出压缩的视频数据，经过解调后显示视频。同理，地面设备可以通过上行链路对背负设备发送语音指令，进行实时沟通。

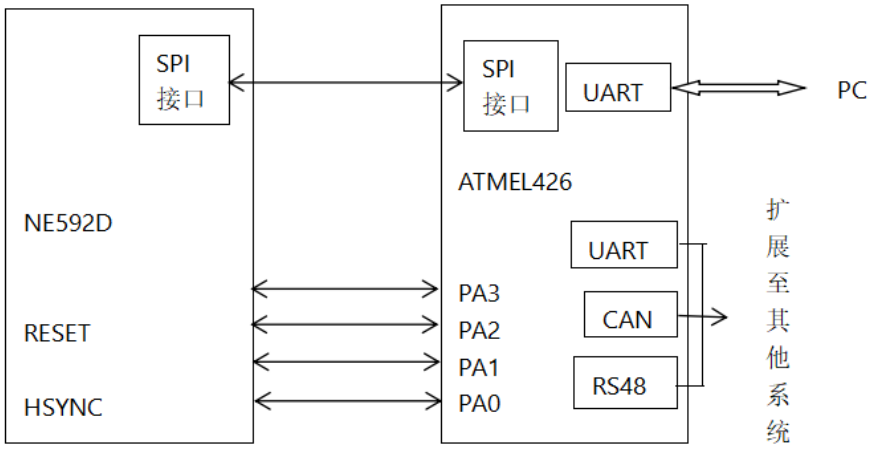


图 2.2　装置总体框图

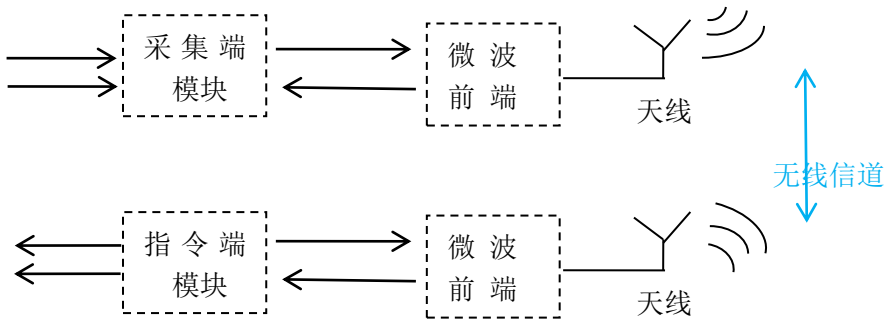


图 2.3　装置工作过程示意图

2.2.2　射频电路设计

射频电路采用成品模块，12 V 供电，可实现 L 频段（1 ～ 2 GHz）信号的调制和解调。射频电路在设备中作为调制模块使用，接收来自单片机压缩后的数据，进行组帧、编码、调制处理。为了验证接收数据的完整性，在程序设计中采用了特定的帧结构，如图 2.4 所示，每一帧由帧头、数据和帧尾组成，地面设备和机载设备的数据帧结构相同，可以进行比对和校验等处理。

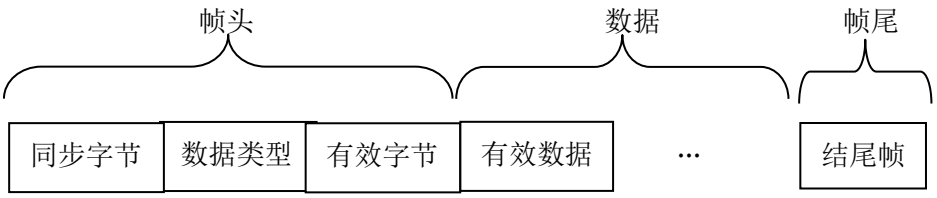


图 2.4　帧结构

射频部分接收到数据之后，会对数据添加帧头和帧尾，帧头中包含的数据类型表明了该帧是控制数据还是视频数据，有效字节表明该帧数据区包含的有效字节数。接收设备在得到数据帧之后，可以通过帧头中包含的信息对数据的完整性进行校验。组帧完成后，根据指定的通信体制进行编码和调制，然后由中频变频到射频传输。

2.2.3　视频显示部分设计

地面设备在接收到信号后，首先将射频信号变频到中频，然后按照采集端设备的通信体

制进行解调和译码。在解帧过程中，首先进行帧同步，然后检测帧头中的数据类型和有效字节是否正确。如果正确说明没有丢帧，如果不正确则留下记录。解帧之后得到的有效视频信号通过解码传到显示屏显示出来。

2.2.4　电源相关

由于本装置采用 12V 的摄像头和彩色显示屏，5V 的单片机、OSD 模块、无线发射和接收模块。综合考虑装置单次使用时间和使用频率的特点，我们采用 3 串 4.8AH 锂电池为装置提供动力。电池如图 2.5 所示：

图 2.5　电源实物图

3　装置的实现与测试

3.1　装置整体框架的实现

采集端模块如图 3.1 所示：

图 3.1　采集端模块

指令端模块如图 3.2 所示：

图 3.2　指令端模块

3.2　装置整体测试结果

3.2.1　基础功能测试

该装置最基础功能即图像传输，能够反馈当前画面。具体测试结果如图 3.3 所示：

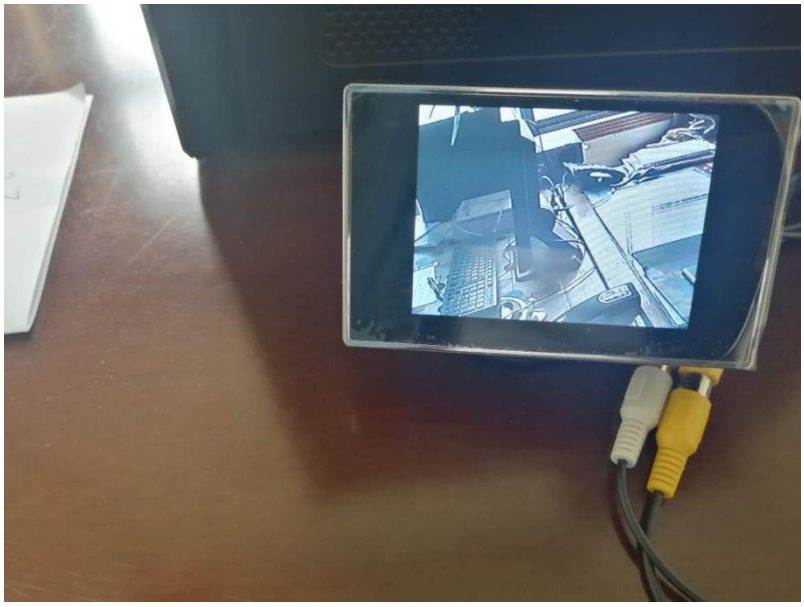


图 3.3　基础功能测试结果图

3.2.2　实时性测试

该装置对实时性要求较高，需能够实现即时通信。因图像延时很大程度上取决于编码器压缩编码所花费时间，而编码过程又受到周围环境影响，故本次测试比较了采集端在静止，轻微抖动，剧烈抖动三种情况下的时延大小，结果如表 3.1 所示：

表 3.1　装置时延测试

测试次数	摄像头状态	分辨率	测试结果（毫秒）
1	静止	720P	202
2	轻微抖动	720P	265
3	剧烈抖动	720P	336

总体看来，采集端在不同抖动情况下装置的时延相差不大，且都小于 500 毫秒，满足实际情况下的操作。

3.2.3　可靠性测试

装置的可靠性是指在规定时间内，装置完成规定功能的能力。在这里我们结合实际情况将其量化为装置在 30 分钟内是否能够稳定工作。测试结果如表 3.2 所示：

表 3.2　装置可靠性测试

测试次数	测试用例	预期结果	测试结果
1	采集端开启 30 分钟	稳定工作	通过
2	指令端持续发出指令 30 分钟	稳定工作	通过

4　结束语

因为在不同的场合对于实时数据采集和传输技术的要求也有所不同，所以根据实际问题选择合适的技术设计是非常重要的。人们之前使用的采集设备虽然使用方便，但是由于硬件的相关性强，使用起来会发生运用不灵活的现象，在一些比较复杂的场合就不太适合应用。针对这一现状，开发出一款低成本、低功耗、易携带的实时数据传输装置就显得十分必要。

参考文献

[1] 殷学文,苏桂平.无线网络及其安全性 [J]. 计算机工程. 2006 (13) .

[2] 杨文超,贾世楼.移动 IP 网络层切换改善方案的研究(英文) [J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版). 2007 (03) .

[3] 董瑞峰.无线 Mesh 网络的起源与演进 [J]. 科技资讯. 2010 (05) .

[4] 戴长江,卢军.无线 ADHOC 网络技术现状研究[A]. 第一届中国高校通信类院系学术研讨会论文集[C]. 2007.

山东黄河信息通信固定资产管理系统方案研究

马　岚　　郑东飞

（山东黄河信息中心，济南 250013）

摘要：为了加强山东局信息通信固定资产的管理，提高固定资产的使用效率，拟定《山东黄河信息通信固定资产管理办法》，以规范固定资产管理权限，界定好各单位固定资产的管理、维护职责。创建一套有效连接全局信息通信固定资产管理的平台，以实现山东局信息通信固定资产信息共享，责任到人的精细化、规范化管理模式，因此有必要研发山东黄河信息通信固定资产管理系统。

关键字：信息通信；固定资产；管理系统

1　系统建设的必要性和可行性

1.1　系统建设的必要性

长期以来，山东黄河信息通信固定资产是由各级财务部门行使管理职责，其他相关部门承担相应的责任。由于缺乏信息通信固定资产管理平台，资产使用部门与管理部门分工不明确，资产的管理职责无法得以很好地落实，再加上组织机构和职贵划分不够清晰，决策者无法实时、准确的掌握信息通信资产的相关信息。为了加强山东局信息通信资产的管理，提高资产的使用效率，依据《行政事业单位会计准则》和《行政事业单位国有资产管理办法》的规定，拟定《山东黄河信息通信固定资产管理办法》，以规范固定资产管理权限，界定好各单位资产的管理、维护职责。创建一套有效连接全局信息通信资产管理的平台，以实现山东局信息通信固定资产信息供享，责任到人的精细化、规范化管理模式，因此，有必要研发山东黄河信息通信固定资产管理系统。

1.2　系统建设的可行性

经过需求分析和工作调研，确定目前该系统软件开发技术已经成熟，风险较小，效果显著。山东局和信息中心有一支技术力量较强的软件开发队伍，具有一定的软件开发经验，并且有业务能力强，经验丰富的财务人员共同努力。能够完成拟定《山东黄河信息通信固定资产管理办法》，开发山东黄河信息通信固定资产管理系统的任务。

2　设计思想及原则

2.1　设计思想

山东黄河信息通信固定资产管理系统在 WINDOWS 平台上开发，面向对象的设计和模块化设计相结合，流程设置灵活，可扩充性强，对于系统的应用操作和系统管理操作全部采用 B/S 结构实现，采用 COM+组件为中间层，该系统采用基于 Internet/Intranet 的 Web 技术，实现资产数据的统计与实时的数据查询，资产信息的检索与发布；该系统利用 JAVA 语言进行代码编写，数据库数据存储采用 SQLSERVER 数据库管理系统。

2.2 设计原则

山东黄河信息通信固定资产管理系统要求方便、开放、完备，适用于Windows9x/2000/NT/XP 等多种操作平台，为了确保系统的先进性、实用性和具有较长的生命周期，更好的实现各项辅助决策功能，在设计时遵循了以下原则：

2.2.1 规范性

软件开发应按照软件工程的规范和标准进行；通信资产的科目名称、编码等符合黄河财务有关的规范、规程和条例要求；数据编码分类遵循水利信息系统运行维护定额的有关规定和标准。

2.2.2 先进性

针对系统的具体需要，综合利用网络技术、数据库技术及其它先进的软件技术与开发工具。

2.2.3 可靠性

在建设过程中，采用各种软件质量控制技术，保证软件系统运行稳定，各类数据准确无误。

2.2.4 易用性

系统整体结构清晰，系统界面简明直观，易于操作。

2.2.5 集成性

各子系统有良好的集成性，数据调用处理和各种功能实现平滑过度，建立良好的软件支撑平台，以使系统使用多用户、多协议的运行环境。

2.2.6 开放性

考虑到便于对系统进行修改、补充和不断完善，系统采用开放式的结构设计，使系统在具有可扩充性的软硬件环境下，能在运行过程中不断地添加新的操作功能和加入新的信息。

2.2.7 实用性

充分结合山东黄河信息通信固定资产管理系统特点、从山东黄河实际业务出发，提高系统的实用性。

2.3 设计特点

2.3.1 基于 WBB 的应用

山东黄河信息通信固定资产管理系统是采用 Java 语言开发的、基于 J2BB 技术架构设计的多层 B/S 结构，具备以下特点：集中化管理和维护，客户端的免安装和零维护，极大的降低了企业的维护成本。

2.3.2 易安装、零维护

零客户端安装，安装和维护仅限于服务器端。

2.3.3 高效率的应用

在 B/S 多层结构和大规模网络化应用中，效率瓶颈往往在数据库，因此在数据库设计时，我们将存储过程和触发器完成的工作作为业务逻辑部署到应用服务器上来，从而大大提高整

个系统的处理效率。

2.3.4　跨平台多数据库支持

山东黄河信息通信固定资产管理系统采用纯 Java 技术开发，可以在多种主流服务器和操作系统平台上运行，如在主流 Unix、Linux、WindowS 平台上运行。实现对多数据库的适配，支持的数据库有 ORACLB 、DB2、SQL SERVER、Sybase、Informix 等。方便用户对系统的扩展、升级、维护，同时也能充分保护用户的投资。

2.3.5　高度的安全性

采用 B/S 多层结构，系统代码全部放于服务器上，只有服务器管理人员才能更改代码。只有运行在服务器上的代码才可以访问数据库，客户端不能直接访问，这样可以保证服务器安全。同时，提供了以功能和数据为基础的权限控制，有效地保证了的数据安全性。

2.3.6　XML 技术与数据交换平台

XAML 具有简单性、开放性、可扩展性，并具备自我描述等特性，系统利用 XML.技术和 SOAP 协议进行对外的数据交互，使得系统具有更强的开放性和可扩展性。

2.4　系统环境

2.4.1　硬件需求

服务器 PII300/2S6M/10G 可用硬盘空间以上；客户端 P166/32M 以上。

2.4.2　软件平合

服务器 WIN98+PWS/WINNT+OPTION

PACK4/WIN2000 SERVER+IIS/WINDOWS XP/LINUX+APACIE，推荐采用 WIN2000 SERVER 做服务器；客户端 WIN98/WINNT/WIN2000/WINDOWS XP，IE8.0 以上。

2.5　系统总体方案

山东黄河信息通信固定资产管理系统，以山东黄河办公自动化系统为依托，以规范信息通信资产管理为主要内容，以资产资料为基础，将信息通信资产管理、统计、信息上报、导出转换、报废、汇总、监督、考核等实行网上操作运行。实现县局--市局(局直)--省局三级信息通信资产管理的自动化。

图 1　系统拓扑结构图

山东黄河信息通信固定资产管理系统主要有系统管理、资产录入、资产调拨、数据查询、数据汇总等功能组成。

3　开发达到的目的

（1）信息通信固定资产管理由人为控制向智能管理型转变利用山东黄河信息通信资产管理系统智能优势，通过网络在线监控，随时了解固定资产数量、使用、报废、调拨、资产管理人员等动态资料。

充分利用山东黄河办公自动化系统，改变以往省局与市河务(管理)局、县(区)局单位信息重复制作，统计数据分级制作最后汇总的繁琐模式，可实现单项、多项、多部门数据汇总，部门领导及财务人员根据自己的使用权限能够随时掌握固定资产情况，避免重复记账、重复统计，减轻工作量，提高工作效率。

（2）　规范化、信息化管理

随着中央级行政事业单位资产核实工作的深入进行，对我局信息通信资产的规范化、信息化有了更高的要求，信息通信资产内容细、数量多、名称不统一，依据传统的管理手段无法对资产进行细化管理。应用该系统，可实现按部门，按科目对资产进行实施监控，解决了资产规范化、信息化管理的要求。

（3）实现网上无纸化办公

利用数据库和省局办公自动化网络，将原来书面递送得报表文件等办公形式通过远程控制，中间存储等信息技术进行管理和运用。

（4）系统使用安全保密

采用大型数据库作为数据服务系统， 充分利用其系统权限、数据权限、角色权限三级安全体系结构、保证数据库不被入役对操作人员分级管理，不同操作人员有不同权限，这样更能有得使工作人员各司其职。

（5） 拟订新办法

按照《行政事业单位会计准则》和《行政事业单位国有资产管理办法》的规定，结合多年来信息通信固定资产运行维护的惯例，拟订新的固定资产管理办法，规范和加强资产的管理、提高资产得使用效率保证资产的使用安全，使资产符合规范化和信息化要求。

4 系统的主要创新点

4.1 该系统实现了山东全局信息通信固定资产的管理方式的创新

当前，山东黄河信息通信固定资产分布在山东黄河信息中心和市河务(管理)局、县(区)局，分别由各单位财务部门管理、缺乏一个有效连接全局信息通信资产管理的平台。该系统根据山东局固定资产管理的实际情况，实现了山东局信息通信资产信息供享，贵任到人的精细化、规范化管理，提高了资产管理水平，有效防止资产流失。

4.2 拟定了《山东黄河信息通信资产管理办法》

为了加强山东局信息通信固定资产的管理，提高固定资产的使用效率，依据《行政事业单位会计准则》和《行政事业单位国有资产管理办法》的规定，拟定了《山东黄河信息通信固定资产管理办法》，规范了固定资产管理权限，界定了各单位固定资产的管理、维护职贵，提高了闲置资产的再利用。

4.3 首次提出信息通信固定资产分类标准，规范了山东黄河信息通信资产分类

多年来山东局信息通信固定资产分类标准不规范，出现了重复记账、统计数据不准确现象。根据以上问题，制定了信息通信资产分类标准。该分类结合山东局信息通信固定资产的实际情况，按照无线、有线、计算机网络、电源设备等 17 项大类进行划分。彻底解决了设备记账归类混乱、统计数据不准确，重复记账等问题。

4.4 该系统首次实现了与水利部新拟订的《水利信息系统运行维护定额标准》数据对接的功能

近年来，水利信息通信工程建设规模的越来越大，运行维护和管理工作比重也逐渐加大，为此水利部新拟订了《水利信息系统运行维护定额标准》。该系统充分考虑山东局实际情况，在钦件开发中与《水利信息系统运行维护定额标准》紧密结合起来，实现了数据对接的功能，提高了数据统计、上传、汇总的效率。

4.5 该系统首次实现信息通信固定资产网上调拨、报废、统计汇总等流程的自动管理

目前，调出的信息通信固定资产要在调入单位处重新录入卡片及登记，如要查询设备的

调枕、根皮情况也比较繁明，该系统不需进行二次录入和查询、在调按单、根废单中清晰地显示调找和报废的资产、资产被调找后，被调校单位可以在系统中轻松接收到调拔的资产，不必进行再次录入，查看资产一目了然，真正实现了全山东局信息通信固定资产的统一管理。

4.6　首次实现信息通信固定资产图片自动网络上传功能

该系统首次开发了网络上传、录入图像资料(包括扫描照片。历史照片、录像、多媒体资料)功能，并提供了图片的有关附加说明，格式灵活(例如 doc、pig、gif、ox1 等)，管理者可以清晰地了解、掌握设备的样式及生产厂家、联系方式、电子邮件、网址等相关信息，为以后的查询提供了便利条件。

5　系统建设的作用、效益及推广应用分析

5.1　系统建设的作用

该系统的开发应用于山东局、山东黄河信息中心及各地市局。系统汇集了省局、直属单位、市河务(管理)局、县(区)局的资产数据、图片、文字描述等信息，资产管理人员能快速、方便地查询到所需要的信息，避免了大量的重复劳动。该系统首次实现信息通信固定资产网上调拨、报废等流程的自动管理，使调拨、报废程序更加简单，大大提高了工作效率，为进一步完善山东局信息通信固定资产的管理提供了便捷的管理技术平台。系统紧紧结合水利信息系统运行维护定额标准，首次规范了山东黄河通信固定资产科目名称，与以往固定资产系统相比更加适合山东局信息通信固定资产的管理。

5.2　系统的应用情况及效益

该系统的应用，实现了责任到人的精细化、规范化管理，提高了信息通信固定资产管理水平，有效防止资产流失，实现了资产保值增值，方便了对信息通信固定资产的合理调配，将闲置的资产进行再利用，节约了大量的资金，并有效地防止资产的流失。据估计，每年可为国家节省十余万元的资金，经济效益显著和社会效益显著，具有较好的推广应用前景。

移动式图像传输系统在山东黄河防汛抢险中的实践与应用

庄秀竹　　孙　凡

（1.山东黄河信息中心，济南 250013；2.济南黄河河务局，济南 250032）

摘要：信息化建设是实现黄河治理开发与管理现代化进程的重要手段。近年来，随着“数字黄河”工程建设的不断发展，治黄各项业务工作逐步由人工化向智能化、现代化转变，极大地提高了工作效率和治黄现代化水平；移动式图像传输系统在山东黄河防汛抢险中的实际应用，不仅满足了黄河防汛抢险现场指挥和信息传输的需要，还实现了黄河防汛抗旱抢险现场图像和语音的快速传输与沟通，为防汛抢险提供了高质量的通信支撑。

关键词：移动式；图像；传输；防汛抢险；应用

1　前言

通信技术的飞速发展，为社会各个行业提供了前所未有的通信保障方案，解决了先前难以处理的问题。例如个人移动通信业务，从单方接收数据的传呼发展到了如今的双方、甚至多方的视频语音通话，短短十余年的发展，已经深刻改变了人们的生活和行为方式。另一方面，社会各领域也对通信技术提出了更高的要求。在治河实践中，通信保障日益重要，信息化程度的高低已经成为衡量黄河治理开发和管理现代化水平的重要标志。当下我们不仅要求日常工作的语音、办公自动化网络业务，而且要求在现有网络基础上实现视频会议、远程会商等业务功能。事业的需求和技术的进步互相促进，将黄河治理与开发事业推向了一个新的高度。

山东黄河通信网经过几十年的建设，有了长足的发展，基本建成了宽带网络干支线、语音平台、视讯平台等功能较完备的宽带通信网络，为目前黄河防汛指挥、调度及日常工作提供了重要的信息通信保障，基本满足了山东治黄事业对信息传输“通达性、正确性、安全性、实时性”的要求。

2　系统的结构与特点

该系统通过宽带多媒体接入设备，解决车载设备到中心站及黄河专用通信网内音视频信号的传输。在泺口机务站机房放置一端设备，连接到机房内网络交换机。将用户端设备安装在车内，并安装好吸顶天线。车内电源通过逆变器给车载用户端设备供电。可通过网线和电话线接笔记本电脑和电话。

系统主要技术特点：覆盖范围广、绕射能力强、抗干扰能力强、抗衰落能力强、传输速率高、采用无线宽带扰码加密技术、全数字信号处理，系统可靠性、稳定性、保密性强。

3　系统实际情况分析

现在多采用的 5.8GHz 宽带无线接入系统一般为固定使用，仅可在固定时进行图像和语音数据传输，从而使拍摄场景有较大的局限性。而该系统采用 LP3300 宽带多媒体接入设备，

可以实时不间断地传递语音及高清晰的动态视频图像，解决了在移动中传输图像和语音数据的问题，且传输效果较好，移动速度可达 80km/h 以上。当黄河出险地点范围广、战线长时，利用该系统，可以灵活、机动地深入到出险现场一线，根据需要移动跟拍险情状况，并将拍摄画面及时传送至抢险决策机构。

传统图像传输系统的车载台设备只能在天线安装的 60° 可辐射范围内进行信号接收，从而进行图像传输，如果对天线端设备角度稍有偏差，就会影响信号接收，导致图像传输系统无法使用。而移动式图像传输系统通过安装全向天线，在规定半径范围内 360° 均可接收车载台传送的图像信息。

单兵系统小巧、灵活，通过技术人员将其与移动式图像传输系统相连接，将车载主设备的输出口与用户端设备音视频接口相连接；摄像机和副设备随身携带；在离开车载系统 200m 处进行实时摄像，画面通过车载多媒体设备和单兵系统传至中心站和黄河通信专网系统中。通过单兵系统可以拍摄现场条件较恶劣、地形环境较复杂的图像，可灵活机动地完成抢险任务。

4 实践与应用情况

现在多采用的 5.8GHz 宽带无线接入系统仅可在固定时进行图像和语音数据传输，从而使拍摄场景有较大的局限性。而该系统采用 LP3300 宽带多媒体接入设备，通过实际性能测试，可以实时不间断地传递语音及高清晰的动态视频图像，解决了在移动中传输图像和语音数据的问题，且传输效果较好，移动速度可达 80km/h 以上。当黄河出险地点范围广、战线长时，利用该系统，可以灵活、机动地深入到出险现场一线，根据需要移动跟拍险情状况，并将拍摄画面及时传送至抢险决策机构。

传统图像传输系统的车载台设备只能在天线安装的 60° 可辐射范围内进行信号接收，从而进行图像传输，如果对天线端设备角度稍有偏差，就会影响信号接收，导致图像传输系统无法使用。而移动式图像传输系统通过安装全向天线，在规定半径范围内 360° 均可接收车载台传送的图像信息。

根据黄河通信专网战线长，通信站点多的特点，在沿黄微波站机房内安装多台接入端主设备及室外天线，并联入当地微波站点的网络中和连接当地的语音电话，将车载主设备的 IP 地址设置为当地微波站点专用通信网段，通过单兵系统由人员随身携带进行实地摄像，其拍摄画面通过单兵系统、车载多媒体设备传至通信专网系统中，同时就可将车载摄像机拍摄的防汛情况和抢险现场实时图像上传至黄河专用通信网络系统中。各级领导均可使用联入网络系统的电脑通过浏览器或监控软件看到远在几公里或几百公里外的实时图像，并可与现场人员进行通话，使各级领导及时地掌握情况和进行指挥。

5 结语

移动式图像传输系统的应用，在黄河防汛抢险现场指挥和信息传输中发挥着重要作用，进一步提高现代化应用水平，提升了黄河防汛抗旱和抢险现场指挥调度决策的准确性、时效性、科学性，为推进科技治河进程奠定良好的基础。

安全警戒智能预警系统在堤防险工中的应用

孙　凡　　庄秀竹

（1.济南黄河河务局，济南 250032；2.山东黄河信息中心，济南 250013）

摘要：该系统集电子字幕、红外感应、自动报警、远程监控、智能预警、语音警示于一体，为巡查人员增添了信息化手段，能够使水事违法问题早发现、早处理，更好的保护防洪工程安全，大大节省了人力，减轻了维修养护经费使用压力；汛期亦可公布大河流量和实时水位，效果十分明显。利用安全警戒智能预警系统，实现精准的人车分类侦测及警戒功能，达到了节约人力、物力、财力的效果。

关键词：安全警戒；智能预警；堤防险工

0　前言

随着黄河工程管理标准的不断提高，工程的景点效果和生态效果逐步提升，到黄河工程管理范围内参观游玩的人员不断增多，同时溺水事件经常发生，并且在游玩中经常出现私自移动、破坏工程管理设施及乱丢垃圾现象。我们对这种现象一般采取加强巡查、张贴标语、发放传单等方式进行警示宣传，但因为工程管理战线长游玩人员多，巡查人员人数有限，经常巡查人员跑断腿、磨破嘴，还是难免顾此失彼。平面化的宣传标语和警示标志更是容易被忽视。为了解决目前的突出问题，通过充分分析管理段的实际需求、管理和业务工作的不同要求，结合上级对安全警示要求及进一步提高工程管理水平的目的，研制一种集电子字幕、红外感应、自动报警、远程监控、智能预警、语音警示于一体的堤防险工安全警戒智能预警系统是可行的，并具有先进性、可优化性、可操作性、可扩展性、安全性。

1　总体设计

通过堤防险工安全警戒智能预警系统，对游人起到了提醒、警戒和宣传作用，对职工起到了辅助巡查，远程监控，达到了人员安全，堤防安全。解决工程管理范围内游人多、涉水安全隐患多、破坏工程管理设施等实际问题。

堤防险工安全警戒智能预警系统由红外网络智能警戒球机、4G 无线路由器、室外有源音柱、LED 屏、红蓝警示灯五部件组成。通过各组件的有效组合、功能转换完成警戒目的，该系统也可以根据需要进行升级。

该系统采用自动跟踪技术，是在智能识别的基础上，对图像进行差分计算，自动识别视觉范围内目标的运动方向，并自动控制云台对移动目标进行跟踪目标在进入智能高速球的范围到离开的这段时间内，通过所配置的高清晰自动变焦镜头，使所有动作都被清晰地传送到监控中心。而一旦某个区域发生报警时，其它相关的智能高速球将 自动旋转到报警点开始追踪，保证监控图像能够记录目标物体的移动全过程。自动跟踪技术的实现完全是基于其特有的功能模块，智能高速一般 由动力机构、精密传动装置、CCD 摄像头、数字解分组成。机械设计结构紧凑轻巧，定位精度和可靠性高，这使得堤防险工安全警戒智能预警系统能够

快速、准确地进行自动跟踪，即可任意定位，又可以全范围自动巡航，实现真正的无盲点监控。自动跟踪技术，有效满足了用户监控清晰度、距离控制、监控范围、智能化等方面的需求，而且适用于平安城市、银行等诸多监控领域。采用锁定跟踪的方法，即操作者指定目标后，系统会自动跟踪物体的移动轨迹，针对特定人物或物体，摄像机可以进行锁定跟踪，即使有其他的人或移动物体进入摄像机的监控范围，摄像机也不会跟丢之前锁定的目标物体。在人流量较大广场，只要手动锁定被跟踪的目标之后，就不会出现因外部原因而造成的跟踪不准确的现象。

2　实施与应用

本系统由室外红外网络智能警戒球机、室外有源音柱、LED 屏、红蓝警示灯组成，安装在险工 4 米水泥立杆上，电源取自河务段，通过网线与内网连接。将该系统安装在济阳管理二段葛店险工上，设备红外网络智能警戒球机、有源音柱、LED 屏、警示灯通过无线路由器连接互联网，当游人超过预设警戒线时，系统警示灯会感应闪亮提示游人，同时管理人员手机 APP 报警，管理人员可通过该系统对现场进行喊话提示警告，同时可以通过 LED 屏显示字幕，对游人进行劝阻，从而实现对葛店险工周边监控的覆盖。

在 2019 年、2020 年汛期和 2020 年黄河超标洪水实战演练中，工作人员通过移动端接收报警信息，通过手机语音喊话对险工现场游人进行劝阻警示，通过移动端远程对 LED 屏发送实时水情信息、警示信息，尤其是大洪水大流量期间，夜间开启警示灯对游玩群众进行提醒。随着黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家战略，河城融合愈加紧密。目前，近城区段黄河堤防工程已经沿黄群众和市民休闲娱乐健身的重要场所，基层管理段人力、物力、财力有限，巡查管理任务十分繁重。该系统集电子字幕、红外感应、自动报警、远程监控、智能预警、语音警示于一体，为巡查人员增添了信息化手段，对乱倒垃圾、破坏工程、摆摊设点、游人不文明行为等起到了提醒、警戒和宣传作用，对职工起到了辅助巡查、远程监控的作用。自在我段应用以来，能够有效应对黄河工程管理范围内游人不断增多的新形势，降低溺水事件的发生概率；能够使水事违法问题早发现、早处理，更好的保护防洪工程安全，大大节省了人力，减轻了维修养护经费使用压力；汛期亦可公布大河流量和实时水位，效果十分明显。该系统适用性强，性能稳定、技术可靠、性价比高、投资小，效果显著，推广范围广，可适用于大部分的管理段所和险工险点，社会效益、经济效益都十分显著，具有极高的应用及推广价值。

3　系统的先进性与创造性

3.1　实现监控图像识别与智能警戒设备联动

警戒摄像头可以对人体的精确检测、跟踪，实现对人体检测分析识别，实时预警周界区域内的人员入侵情况，当有人员进入危险区域内时现场发出报警信号以及语音提醒，提示入侵者及时撤出，确保安全。

3.2　实现实时手机预警提示

远程手机 APP 接收到报警消息后，可随时通过手机 APP 或者电脑进行语音警告喊话，劝

阻进入危险区域的人员及时撤出。

3.3　实现 LED 宣讲屏根据需求随时更新

工作人员可以通过现场 WIFI 微型热点基站，也可以远程通过内网或 4G，实现手机、电脑端远程对智能杆上的 LED 屏随时设置提示信息，根据实际情况对现场进行标语修改，也可公布大河流量和实时水位进行提示。

4　结语

安全警戒智能预警系统是对现代化、智能化堤防险工安全警戒智能预警的成功探索，为类似问题提供了可行的解决方案，从防汛查险报险，到安全警戒提示，一举多得，用途广泛。随着社会的不断发展，该技术将会得到进一步的推广和应用。

加快补齐水利信息化短板 推进济宁智慧防汛建设

孟 迎　　刘 驰　　聂恒睿

（济宁市水利事业发展中心，济宁 272000）

摘要：当前，以云计算、大数据、物联网、移动互联、人工智能等为代表的信息新技术与水利行业的融合逐步深入，新技术日益成为水利事业创新驱动的先导力量，促使防汛抗旱工作发生新的变革。本文从济宁市水利信息化系统的建设入手，详细地论述了济宁市水利信息化系统建设的优势，客观地分析了制约水利信息化建设的困难和问题，并在科学调研的基础上，提出了建立水利一体化业务应用平台、加快构建天空地一体化水利物联感知体系、建设完善济宁水务云系统、建设信息安全监测预警和应急响应体系、构建完善智慧水务信息保障体系等切实可行的解决方案，对于加快济宁市水利信息化建设、提高防汛抗旱综合能力具有重要的指导意义。

关键词：信息新技术；智慧水务；一体化应用；物联感知；防汛抗旱

习近平总书记在党的十九大上明确提出建设以“数字中国”为目标的创新发展方向，他强调:信息化为中华民族带来了千载难逢的机遇，必须加快数字中国建设，这对提高社会治理能力现代化水平具有非常重要的意义；全国水利工作会议也明确要求尽快补齐信息化短板，在水利信息化建设上提档升级，紧跟国家信息化战略新布局，将水利信息化作为智慧水利建设的重点和方向。当前，以云计算、大数据、物联网、移动互联、人工智能等为代表的信息新技术，不断与经济社会各领域深度融合，大大提升了社会运行效率，新一代信息技术不断成熟，高新技术与水利行业的融合逐步深入，新技术日益成为创新驱动的先导力量，深刻影响着经济社会的发展，也将重塑水利信息化发展模式，促使水利信息化发生新的变革。

济宁市地跨黄、淮两大流域，北部黄河、大汶河、东平湖纵横交错，东部山区水库众多，湖东河道源短流急，西部黄泛平原河流峰低量大，中部南四湖承接着四省八地市三十四个县区 31700 平方公里的来水，入湖河流 53 条，防洪任务十分艰巨。济宁市境内水利工程众多，流域面积 50 平方公里以上的河流有 93 条，其中大中型河道 8 条，堤防长度 1718 公里；有各类水库 251 座，其中大型水库 2 座，中型水库 5 座，总库容 5.81 亿立方米；有大中型闸坝 42 座，塘坝 1184 座，固定机电排灌设施 2300 余处。经过几十年的建设，虽然已初步形成了比较完整的防洪工程体系，但各工程建成时间跨度大，防洪级别不统一，在数据监测、水情传递、信息共享等信息化防洪能力方面仍有较大的缺陷，无法适应现阶段对涉水信息动态监测和智能感知的要求，极大地影响了防洪工作的开展，而打破这一困局的根本方法，就是通过运用互联网、大数据、人工智能、5G、区块链等新技术，以水利数字基础设施、数据资源体系、网络安全保障为支撑，以水利数字化为核心，以水利信息化应用为重点，大力推进信息化技术与水利业务的深度融合，实现从传统水利建设到水利工程+IT 的转型，提高信息化综合防洪能力。

1 济宁市在水利信息化建设方面的优势

济宁市在水利信息化建设方面做了大量的工作，在山东省率先完成了市级防汛抗旱指挥系统和水利信息化综合服务平台，东部山区的泗水县、曲阜市、邹城市等县（市）构建了中小河流山洪灾害视频监控系统及山区小水库信息化监测平台，各县区也根据自身特点建设了河长制管理平台，初步建立起以信息采集系统为基础，通信系统为保障，计算机网络为依托，决策支持系统为核心的市级水利信息化系统，

1.1 水利信息采集体系初具规模

依托河长制湖长制、中小河流水文监测、山洪灾害监控及小水库信息化监测建设等重点项目，现已建成雨水情水文站 400 处、墒情站 11 处、水土保持监测站 3 处及 780 处视频监测点，全市 11 条主要河道、556 条中小河道、1000 余段堤防、248 座湖库、104 座水闸、2300 处灌排设施及相关建筑的信息化采集工作已初步完成。

1.2 水利信息基础设施日趋完善

2019 年，济宁市大数据局成立了大数据中心，对水利信息进行了统一托管，大大降低了系统运行成本，提升了信息利用深度，为各业务部门统一提供基础软硬件设备资源打下了坚实的基础。同时，济宁市以移动互联网为载体，建成了覆盖市、县两级水务部门的带宽 10M 的水利业务内网，实现了省、市、县三级骨干网的互联互通，保障了视频会议、综合办公和业务信息的即时传输。

1.3 水利信息数据资源不断丰富

通过水利数据中心和各级业务系统的建设，济宁市水利信息数据资源不断丰富，可以为水旱灾害防御、水资源监控、河长（湖长）制、水利移民安置等多个业务应用系统和应急管理、指挥调度等部门提供数据服务，实现了依托政务信息资源交换平台上传历史数据和数据共享交换。

1.4 水利信息应用系统成果丰硕

水旱灾害防御信息系统累积已采集 90 个表单类型、约 80 万条数据，已有 2 个数据接口接入省级共享交换平台，发布政务信息资源 200 余项，开放 88 项共享服务共 2496 条数据，与生态环境等 13 个部门对接，获得共享数据业务库 3 项；市县两级河长制管理信息系统平台整合了水质、水文、视频等各类涉河湖数据，标绘了 117 条河流、248 个湖库及 3000 余处河湖长责任段，为实现省市县乡村五级河长制管理体系的一体化管理提供了保障；国家防汛抗旱指挥系统工程二期、中小河流水文监测系统、山洪灾害防治系统、重点地区洪水风险图系统等项目也初步形成了覆盖县级以上水务部门的防汛抗旱指挥调度体系，实现了对全市河道外许可水量 92%以上和全市总用水量 50%以上的取用水量在线监测，实现了 5 万亩以上灌区渠首取水在线监测，实现了 1 万亩至 5 万亩灌区渠首取水在线监测和规范计量，实现了对供水人口 20 万以上的地表水饮用水源地实现水质在线监测全覆盖，基本满足了水资源管理的信息化支撑需要。

2 存在的问题

虽然济宁市在水利信息化建设方面具有明显的优势，但仍然存在着阻碍信息化建设的困难和问题，主要体现在：

2.1 水利业务与信息化技术融合不深

随着国家大数据战略的实施，云计算、大数据分析、智能化决策等新一代计算机技术的运用，都要求必须加强水利业务系统与信息化技术之间的深度融合，在以往实施过程中，许多项目处于单独立项的状态，各业务应用系统缺乏宏观规划，建设目标单一，系统间缺乏有机的联系，水利业务融合程度不深，业务协同不够，水利综合决策指挥能力薄弱，整体优势和规模效益难以充分发挥。

2.2 信息感知体系不完善

水文、水资源等感知监控体系较好的业务，也只针对重点流域或重点设施进行了监测，山洪沟治理、水土保持等业务监测多采用传统监测技术，监测的要素不够丰富，河湖水系、地形地貌、水利工程、历史数据等基础数据仍停留在纸质化、碎片化的状态，没有建立系统全面的数字化数据库；加之站网密度不足，监测频次低且以单点采集为主，手段单一、被动，无法全面、真实、准确地反映感知全貌，数据的连续性、精度和稳定性都有待进一步提高，信息感知体系不完善造成了基础数据的不完整，不能满足业务应用的需求。

2.3 信息资源整合与共享不够

由于水利业务分散建设和局部应用，开发的系统往往为单一部门服务，信息孤岛现象普遍存在，没有形成统一的信息资源共享平台，造成了基础设施资源、数据资源、系统资源的分散；对互联网数据的应用还处于起步阶段，统一平台和同一用户（一个平台、一个账号）建设力度不大，外部共享受到了制约，虽然接入了防汛需要的部分气象数据、测绘部门的基础地理数据、工商部门注册的企业数据等，但是环保、交通、国土、住建、工信、民政等部门的相关数据还不能做到真正共享，极大地制约了水利信息化资源的高效利用。

2.4 信息安全防护能力不足

水利信息安全防护总体水平不高，水利信息化系统核心设备和软件存在安全隐患，部分应用技术落后，安全风险高，对云计算、大数据、物联网、新一代移动互联网等新技术缺乏完善的防护手段，信息安全体系无法满足新技术的发展需要。

2.5 信息管理保障体系不够完善

水利信息化管理体系尚未理顺，在水利信息化建设运行管理过程中，缺乏有效的协调分管机制，存在多部门管理、权责不明晰的情况，尤其市县两级职责不明的现象较为普遍，管理力度不够，运行机制不活，维护制度不全，导致信息化管理上下级不贯通，信息化资源同一级不共享，大大影响到水利信息化管理的效能；缺乏信息化人才引进培养体系，导致无法吸纳专业技术人员从事水利信息化、智慧化工作，县级信息化专业人员严重不足；业务信息应用系统各成体系，资源重复浪费，软件开发平台互不衔接，标准不一，导致数据库内容相互矛盾，极大的阻滞了信息化工作的开展。

3 加快水利信息化建设的措施与途径

3.1 建立水利一体化业务应用平台，提升水利业务融合与协同能力

通过互联网、大数据、人工智能与水利管理深度融合，整合现有水利业务信息系统，建设统一门户、统一用户、统一服务的信息化技术系统，对现有业务系统实行“先上云，逐步升级”的策略，对新建业务系统按照微服务架构体系进行建设，逐步完成新旧融合，建设以水灾害防御、水资源保障、水生态保护、水工程监管、水政务协同和水公共服务为核心的水利一体化业务应用平台，实现水利业务与信息化技术的全面融合与协同。

3.1.1 提升水灾害防御服务水平

积极运用分布式洪水预报、区域干旱预测等水利专业模型，开展旱情监测分析，强化水情旱情预警和工程联合调度，提高洪水预报和水灾害防御管理服务能力；推广逐网格高时空分辨率的精细化洪水模拟、旱情预警评估与影响预评估等新技术，拓展包括水库、河道、堤防、蓄滞洪区、闸坝等流域防洪工程体系的联合调度，提升旱情监测预警、水量调度及应急响应能力，提升洪水灾害防治体系和防治能力现代化水平。

3.1.2 提升水资源保障管理能力

加强专业水利水文模型、大数据等信息技术应用，建立基于地面监测和卫星遥感相结合的水资源立体监测体系和水资源动态调配模型，实现全市重点河网水系的智能调度，提高水资源调配决策支撑能力；构建全市统一的节水信息化管理平台，支撑节水行动实施和节水型社会达标建设等工作；推广水源地水量水质分析与安全预警、农村供水安全预警等模型，增强城乡供水安全分析评价和预警能力，全面提升城乡供水安全监管和应急处置能力，为城乡供水安全监管提供支撑。

3.1.3 提升水生态保护监管水平

围绕河长制湖长制、水域岸线管理、河道采砂监管、水土保持监测监督治理等重点需求，在全市河长制管理信息系统、水土保持监测系统等基础上，运用高分遥感数据解译分析、图像智能分析、人工智能等技术，提升河湖治理和水土保持的精准监管能力。

3.1.4 提升水利工程监管能力

采用空间遥感、倾斜摄影、BIM 等技术，加快推进全市大中型水库、灌溉工程、重点河湖流域工程数字化和相关标准化管理应用系统建设进程，开发工程建设全生命周期管理平台，对工程建设进行数字化管理，实现相关信息的实时更新，并选取部分工程与三维地图相结合，探索直观便捷的信息管理服务，提升工程运行管理能力。

3.1.5 提升水利政务协同管理和公共服务能力

在内部政务协同方面，利用人工智能等技术支撑，进一步优化现有系统，创建智慧政务平台；在对外公共服务方面，运用移动互联网、虚拟/增强现实、互联网+、用户行为大数据分析等技术，构建个性化水信息服务、动态水指数服务、水智能问答服务和一站式水政务服务体系，为不同用户和社会公众提供高水平、高质量的数字化水利服务。

3.2　加快构建天空地一体化水利物联感知体系

通过构建天空地一体化水利物联网感知体系，推广应用遥感和无人机技术，实现对河流水系、水利工程和管理活动的全面感知，将重要河流湖泊水文监测覆盖率和水库水雨情自动监测覆盖率提高到95%以上，将大中型水库安全监测覆盖率提高到90%以上，在此基础上采集卫星遥感数据、导航及无人机监测数据、视频解析数据等大量数字化基础数据，并通过物联网对数据和信息进行分析，将分级分类后的数据信息在水利物联网平台上进行汇聚，从而实现对河流湖泊、地形地貌和水利工程的全感知，充分发挥感知体系和基础数据对水利信息化建设的支撑作用。

3.3　建设完善济宁水务云系统

依托济宁市政务云提供的计算、存储和网络等基础资源，以“一湖三中台”的建设模式，建设和完善济宁水务云系统：“一湖”指济宁水利大数据湖，主要是建设统一的水利数据资源体系和水利数据仓库，并构建数据监测体系、数据质量体系和数据服务体系，完善数据监测、质量管理、数据分析、数据展示和共享交换机制，实现关键水利数据的全汇聚，保障数据有效更新和充分共享；“三中台”指技术中台、AI中台和业务中台，主要提供业务支撑、服务支持、决策辅助的应用支撑能力，同时探索建设水利模型库、算法库以及人工智能在水利业务决策上的支撑应用，对下实现云资源的管理和服务，对上支撑全市一体化业务应用平台，实现对重点水利业务应用的全支撑，促进水利信息智能化水平进一步提升。

3.4　建设信息安全监测预警和应急响应体系

在济宁市智慧城市顶层设计规划纲要框架下，围绕济宁市智慧水务发展需要，建设覆盖综合感知、分析处理、智能应用全过程的信息安全监测预警和应急响应体系，实现水利信息的全面安全管理和全流程闭环运营，全面提升网络信息安全感知和应急处置能力。

3.5　构建完善智慧水务信息保障体系

根据水利信息化建设的要求，结合水利信息“感知、互联、共享、支撑、应用”各层面运维的特点，明确工作领导机构，落实市县工作分工和协调机制，建立覆盖各级水务部门和信息基础设施运行管理单位的智慧水务信息保障专职机构，全面保障智慧水务信息建设与发展；完善信息化人才引进培养考核机制，加大信息化技能培训，在现有考核体系中融入水利信息化相关内容，提高各级水行政主管部门人员信息化素养，确保智慧水务信息保障“建得快、用得好”；参照山东省数字水利信息化标准，制定济宁市水利信息数据共享标准、技术应用标准、政务服务标准、运行维护标准和系统集成标准，形成统一的水利行业信息标准规范体系，彻底解决应用系统各成体系、软件平台互不衔接、数据库相互矛盾等突出问题，进一步促进水利信息化工作的开展。

参考文献

[1] 孙洪林.国家防汛抗旱指挥系统二期工程应用支撑平台构建与应用[J].中国防汛与抗旱，2021（02）：40-45.

[2] 王常效，王鲲，邱德鑫，等.深圳市智慧三防系统的建设与思考[J].中国防汛与抗旱，2021（02）：46-50.

[3] 刘业森，陈胜，刘媛媛，等.近年国内防洪减灾信息技术应用综述[J].中国防汛与抗旱，2021（01）：48-57+66.
[4] 王铭铭.基于物联网的山洪预警多渠道发布技术探讨[J].中国防汛与抗旱，2020（11）：70-72.
[5] 倪广玉.水文自动采集系统智能化初探[J].中国防汛与抗旱，2020（06）：32-35.
[6] 龚海杰.以信息化助力广州市河长制工作的实践[J].中国水利，2021（02）：19-21+25.
[7] 桑国庆，鲁晓喆，曹方晶，等.基于“空天地一体化”河湖水域岸线遥感监管模式[J].中国水利，2020（20）：76-78.
[8] 刘志雨.洪水预测预报关键技术研究与实践[J].中国水利，2020（17）：7-10.
[9] 赵以国.安徽省河长制业务移动平台设计及应用[J].中国水利，2020（14）：59-60.
[10] 宋东东，李夏，成建国，等.智慧化驱动的水利高质量发展思考[J].中国水利，2020（09）：61-64.

山丘区在流域防洪抗旱中的作用探索

唐万金　　龙　三　　杨　鸣

（长江岩土工程总公司（武汉），武汉 430010）

摘要：随着我国城市化建设的推进和山洪的治理疏导，城市防洪压力越来越大，协同山洪治理与城市防洪的均衡发展十分必要。本文对山丘区在流域防洪抗旱中的作用及措施进行了初步探索。山丘区具有广阔的空间，在山丘区修建蓄水池、塘坝等小微型蓄水工程拦蓄洪水，增加流域雨洪纳蓄能力；利用山丘区岩溶洼地、岩溶洞穴蓄水滞洪，变疏水为堵水，滞延洪水下泄的时间。根据新时期“空间均衡、系统治理”的治水方针，同时治理山洪，蓄水抗旱，并减轻城市的防洪压力，实现洪旱共治、流域统筹目的。

关键词：山丘区；蓄水滞洪；措施；防洪抗旱

0　引言

我国的治水历史悠久，从鲧禹治水至今几千年。上古时期，洪水泛滥，严重影响人民生活，鲧禹父子受命治水，鲧以“堵”治水而失败，禹汲取教训，变“堵”为“疏”，洪水得到了治理。著名的水利工程都江堰，采用分水导流，治洪抗旱，兴利避害，至今仍发挥重要作用。

新中国成立后，百废待兴、水利基础设施残缺不全，防洪能力非常薄弱，党和政府高度重视，投入大量的人力物力修建水库、开辟蓄滞洪区、疏浚整治河道，防洪体系不断完善。1998 年大洪水过后，中央作出兴修水利的重大战略部署，加高加固大江大河重要堤防，整治病险水库，建设长江三峡、黄河小浪底等干支流防洪控制工程，大江大河的防洪标准和整体防洪能力显著提升。2010 年以来，我国加大了中小河流治理、山洪灾害防治以及小型病险水库除险加固的力度，中小流域兴利除害能力显著增强[1]。

目前，我国基本形成了堤防、水库、蓄滞洪区、排洪渠（洞）、河道整治和山洪灾害防治等组成的防洪减灾工程体系，流域防洪能力有了较大提高。尤其是近十年来，以长江三峡为主的骨干水库在流域防洪抗旱中发挥了巨大的作用，同时也存在一些问题，一是骨干水库在拦蓄洪水时，加大了上游城市的防洪压力；二是洪水在水库中的存在蓄时间短，对洪水资源的利用率不高。

2020 年长江流域发生大范围强降雨，长江中下游莲花塘至大通江段流量不断增加，水位不断上涨，同时两湖的蓄江水量也基本达到极值；上游岷江发生超历史记录的洪水，三峡水库出现建库以来最大入库流量（74600m³/s），重庆寸滩水文站水位 191.62m，超 1981 年历史最高水位 0.21m[3]。通过三峡和上游水库联合调蓄，沙市和汉口的洪峰分别降低了 1.5m 和 1.0m，为长江中下游防洪作出了巨大的贡献，但同时增加了长江上游川渝河段（特别是重庆附近）的防洪压力[4]。

2020 年 8 月长江 5 号洪峰过境重庆，漫过防洪堤，造成了较大的损失，防洪堤标准有

待提高，但如果加高防洪堤，沿江许多房屋面临拆迁重建，失去亲水性，将对人居环境产生较大的影响，也与重庆市打造两江四岸“生态走廊，国际大都市的形象窗口”的定位不协调。在不加高防洪堤的同时做好防洪工作，需要从流域统筹考虑防洪减灾体系，可充分发挥上游山丘区的蓄水滞洪作用，延长洪水下泄时间，降低城区洪水位。

党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央高度重视防洪减灾工作，提出了“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的新时期治水方针和“两个坚持、三个转变”的新理念，为统筹流域防洪减灾工作指明了方向。

1　山丘区防洪现状

山丘区地势较陡，冲沟发育，降雨快速汇集，易形成山洪。山洪具有突发性，水量集中流速大，来势猛，陡涨陡落，冲刷破坏力强，易造成人员伤亡，致灾性强，成灾范围相对较小且分散[5]。

2006 年 10 月，国务院印发了《全国山洪灾害防治规划》，确定了“以防为主，防治结合，以非工程措施为主，非工程措施和工程措施相结合”的山洪防治思路。这主要是由山丘区洪水的特点、保护对象和经济条件所决定的。

目前山丘区的防洪工作以防治山洪灾害为主，全国山洪灾害防治区面积 386 万 ㎢，涉及受威胁村庄 57 万个，人口 3 亿。开展了重点山洪沟治理，“以保村护镇，守点固岸、防冲消能”为目标，主要采取堤防、护岸、疏浚、排涝等工程措施，完成了 831 条重点山洪沟防洪治理；建立了监测系统和群测群防体系，完善了预警机制[6]。据统计，2000—2009 年，山洪灾害平均每年死亡 1014 人，2010—2019 年，发生山洪的次数逐年增加，山洪灾害平均每年死亡降到 353 人，死亡人数大幅减少 7 成，取得了显著的防洪减灾效益。其中 2018 年死亡 129 人，为历史最低。

十年来，我国的山洪灾害防治工作取得了显著的成绩，但也存在一些不足，一是目前山丘区防洪减灾以疏为主，中小河流和山洪灾害得到了有效的治理，但同时加大了上游降水的快速排泄，不利于下游的防洪，也不利于抗旱；二是按照水利改革发展总基调的要求，实现山洪灾害防治体系从“有”到“好”的深刻转变，防御思想从“被动跑”到“主动防”的转变。目前山洪灾害防治主要采用“避让”措施，2019 年在山洪灾害防治中转移人员 2409 万人，还处于“被动跑”的阶段，山洪灾害防治措施需要有新的突破；三是山洪灾害防治体系相对独立，定位偏低，在流域防洪抗旱中的作用偏小，广阔的山丘区地理优势未能得到充分发挥。

2　山丘区防洪抗旱措施探索

2.1　防治基本思路

随着我国城市化建设的加速，农村富余劳动力向城市转移，人与土地的关系发生了改变，广阔的山丘区地广人稀，城市人口越来越多，人和地的矛盾突出，城市的防洪压力越来越大，为了缓解城市防洪压力，需流域协同均衡，系统治理。把城市防洪抗旱措施向山丘区转移，提高山丘区在流域防洪抗旱中的定位，山洪防治变“疏”为“堵”，变“导”为“滞”，从源

头治理，充分利用山丘区广阔的空间，增强雨洪纳蓄能力，蓄水滞洪，达到流域系统治理的目的。

2.2　防洪抗旱措施探索

我国山丘区面积约占国土总面积的 2/3，广阔的山丘区为防洪抗旱提供了有利的条件。

（1）利用岩溶洼地、岩溶洞穴蓄水滞洪

我国岩溶面积约占总面积的 14%，主要分布在山区，岩溶洼是岩溶的主要类型，地势相对较低，多为山洪汇集区，山洪通过落水洞、暗河等岩溶管道向溪沟或河流排泄。当发生特大暴雨时，岩溶管道不能及时排泄引起内涝，是岩溶地区典型的山洪灾害，目前这类山洪灾害主要通过修建排洪洞引流治灾，加速了洪水的下泄，给下游的城镇防洪带来的较大的压力，这就需要建立流域防洪抗旱体系和制度，统一规划，建立防洪经济补偿机制，利用岩溶洼地天然优势，变“疏”为“堵”，蓄水滞洪。

岩溶洞穴是岩溶地区常见的形态，具有较大的空间和丰富的纳蓄水能力，由于存在岩溶渗漏问题，不易长久蓄水，可修建拦洪库临时蓄水，让洪水暂时在水库里滞留一周或半月，以达到滞洪调峰的目的，在蓄水的过程中，地表水补给地下水，地下岩溶空间也可得到充分的利用。

（2）发挥小微型水利工程的防洪抗旱作用

山丘区河流纵横，溪沟发育，在山洪灾害治理中共梳理了 53 万个小流域水系，347 万条 0.5㎢ 以上的沟道[5]，具有较大汇流面积，可修建水田、蓄水池、堰塘、跌水坝、小型水库等小微型蓄水工程，将洪水化整为零，梯级拦蓄洪水，增加流域雨洪纳蓄能力，降低坡面和沟道汇流速度，进而降低洪峰流量。小微型蓄水工程积蓄的洪水又可以利用于抗旱。根据水利普查资料，上世纪七十年代，安徽省肥东县八斗镇在江淮分水岭两侧修建了密集的塘坝，最大蓄水量可达 20 万 ㎥/㎢，蓄水总量基本上能够达到或接近蓄集在 P=50％水文年份的地面径流的标准，其防洪抗旱作用十分突出。

将山丘区小河流水系拿入流域防洪综合规划，修建小微型蓄水工程，改扩建已有小型水库蓄水，洪旱共治，增加防洪抗旱的综合效益十分必要。

（3）统筹城乡防洪抗旱与新农村建设，山丘区防洪抗旱可结合生态治理、新农村建设和脱贫后续工程建设等综合考虑。目前，在山丘区已建立了比较完善的山洪监测预警预报系统，人员在山洪来临之前撤离，减少了人员伤亡，但灾后重建费时费力，对山区人民生产生活影响较大，也影响新农村建设。统筹城乡防洪，加大对山区防洪措施的投入，充分发挥山丘区拦蓄洪水的能力，把雨水蓄存在山丘区，有利于山洪防治、抗旱保收和新农村建设，并减轻下游城市防洪压力。

3　结语

（1）党的十八大提出了“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的新时期治水方针。目前山丘区防洪以疏导为主，加大了上游降水的快速排泄，给下游的防洪造成较大的压力，需统筹流域防洪抗旱措施，以达到“空间均衡，系统治理”的防洪减灾要求。

（2）利用岩溶洼地、岩溶洞穴蓄水滞洪；利用山丘区广阔空间修建蓄水池、堰塘、跌水坝等小微型蓄水工程拦蓄洪水，改扩建已有小型水库蓄水，增加流域雨洪纳蓄容量，延缓洪水下降速度，提升流域整体防洪能力。

（3）充分发挥山丘区强大的蓄水滞洪能力，洪旱共治，提高防洪抗旱综合效益。

参考文献

[1] 姜晓明，王艳艳，向立云.我国防洪减灾体系建设与成就[J].中国防汛抗旱，2019，29（10）：6-9.

[2] 陈敏.长江流域防汛抗旱减灾体系建设与成就[J].中国防汛抗旱，2019，29（10）：36-42.

[3] 黄艳，喻杉，巴欢欢，等.2020 年长江流域水工程联合防洪调度实践[J].中国防汛抗旱，2021，31（1）：6-14.

[4] 姚仕明，郭小虎，陈栋，等.2020 年汛期长江中下游河道洪水过程及特征分析[J].中国防汛抗旱，2021，31（2）：5-10.

[5] 孙小亚，郭良，匡尚富，等.我国山洪灾害防治理论技术体系的形成与发展[J].中国防汛抗旱，2020，30（9/10）：5-10.

[6] 尚全民，吴泽斌，何秉顺.我国山洪防治建设与成就[J].中国防汛抗旱，2020，30（9/10）：1-4.

基于 ZigBee 技术的智能监测控制系统应用研究

赵富孟　　徐文彪

（山东黄河信息中心，济南 250013）

摘要：为解决防汛信息控制系统复杂的现场连线的问题，实现在无线环境下对防汛参数的有效监控。本文介绍一种基于 ZigBee 的无线网络控制技术。具体使用 CC2430 等芯片，组建基于 ZigBee 协议的无线通讯网络，实现自动检测与控制。ZigBee 网络底层是采用IEEE 802.15.4标准规范的媒体访问层与物理层。主要特色有低速、低耗电、低成本、支持大量网上节点、支持多种网上拓扑、低复杂度、快速、可靠、安全。研究表明，ZigBee 无线网络控制结构简单，通信灵活方便，可以使控制系统降低投资，减少人力资本，完成优化创收。

关键词：ZigBee；智能控制；CC2430

0　引言

目前，物联网技术迅速起步并得到较快发展，但物联网技术与防汛参数控制技术的完美结合还有待于深入研究，对于控制工业，设计使用基于 ZigBee 技术的无线传感器网络控制技术，以先进的物联网技术为基础，结合传感器技术和无线通信技术，达到实时准确的监测控制的目的。

1　系统总体结构

物联网的经典体系分为感知层、传输层和应用层。感知层即为多个传感器节点的对所需要的数据的监测，同时根据应用层的数据比对，进行反馈控制。传输层即为传输网络，这里通过无线网络对传感器采集的信息进行传输。应用层即控制处理数据的工控机或 PC，对数据进行收集、存储、处理，并发送数据信息对目标进行控制。系统由多个监测控制节点以及多个路由节点、协调节点，还有 PC 机构成。系统采用 PC 机完成对数据的收集、分析、显示及保存，协调节点连接 PC 机与路由节点，路由节点连接各个终端的测控节点。如果需要远程监控，协调节点可以通过 GPRS 模块加入 internet 与远程控制中心通信。发酵控制系统结构如图 1 所示。

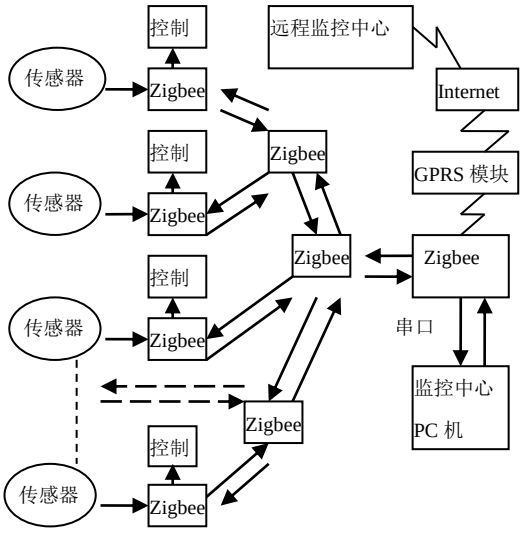


图 1　控制系统结构

2　传感器终端监测控制模块

该模块的 ZigBee 是精简功能设备，由传感器、ZigBee 模块和参数控制模块组成。传感器可以采集水位、流量，温度等信息，本文以温度参数为例，通过数字温度传感器 DS18B20 采集温度信息，送给 ZigBee 模块，ZigBee 模块是带有 8051 微控制器内核的 CC2430，它支持 2.4GHz IEEE802.15.4/ZigBee 协议。ZigBee 发送采集到的信息，接收控制中心发送的控制信息，然后送给控制模块，对温度等参数进行控制。该模块框图如图 2 所示。

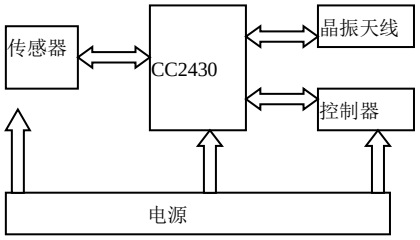


图 2　终端节点框图

数字传感器 DS18B20 接线方便，其封装形式多样，适用各种狭小空间设备数字测温和控制领域。分辨率可以从 9 到 12 位选择，可通过程序设定。精度可以配置成 9、10、11 和 12 位 4 种状态，对应的可分辨温度分别为 0.5℃、0.25℃、0.125℃和 0.0625℃，寄存器 R1 和 R0 用来设置分辨率，R1 与 R0 组合了四个转换精度，00、01、10、11 分别为 9 到 10 位转换精度。

温度信息经过单线接口送入 DS18B20 或者从其中送出；DS18B20 的电源可以由数据线本身提供；其测量范围从-55℃～+125℃，可在 1s 内把温度变换成数字。

3　ZigBee 无线传输网络

通信网络选用的是 ZigBee 网络，其定义了两种设备：全功能设备(FFD)和精简功能设备(RFD)。全功能设备作为网络协调器或路由器，精简功能设备作为终端。

网络拓扑结构如下：各个 ZigBee 节点，完成不同的功能。监控终端具有多种检测功能，针对自身监控的设计进行信息采集，并完成数据上报功能，同时接收信息进行控制。路由节点具备报文转发能力，它在协调器与监控终端之间建立通信转发的通道，方便报文传送，拓

展网络范围。协调器节点是网络部署的中心，管理、控制、命令下达的主节点，直接与管理中心相通信，协调节点还可选择带有 GSM/GPRS 模块，以便同远距离管理中心联系[6]。ZigBee 网络拓扑结构如图 3 所示。

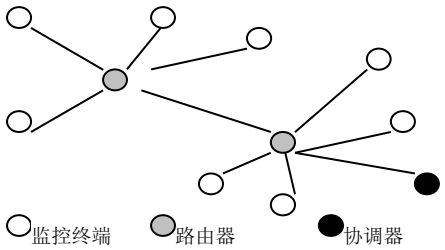


图 3　ZigBee 拓扑结构

路由器和协调器比终端节点模块少了传感器和控制器，只是协调器还需要通过串口与 PC 机通信。CC2430 在单个芯片上整合了 ZigBee 射频前端、内存、微控制器。使用 1 个 8 位 MCU(8051)，具有 128KB 可编程闪存和 8KB 的 RAM，还包含模拟数字转换器、定时器、AES128 协同处理器、上电复位电路、掉电检测电路，以及 21 个可编程 I/O 引脚等。集成符合 IEEE 802. 15. 4 标准的 2.4GHz 的 RF 无线电收发机；硬件支持 CSMA/CA 功能；具有电池监测和温度感测的功能。

由于 CC2430 将 8051 内核与无线收发模块集成到一个芯中，因而简化了电路的设计过程，省去了对单片机与无线收发芯片之间接口电路的设计，需要很少的外围部件配合就能实现。

4　上位机监测控制中心模块

ZigBee 的协调节点接受到的数据信息通过串口送给控制中心的计算机。当领域扩大后，无线传感器网络会被划分成多个小的区域，协调节点在每一个小区域中的充当着标识该区域和与下一个区域的协调节点进行通信的作用。协调节点通过无线方式获得的信息，通过串口发送给 PC 机；接收 PC 机的信息指示，并通过无线方式发送给其他节点。

在传输信息的过程中难免会出现随机误差和干扰误码等等随机误差，随机误差是由随机干扰引起的，其特点是在相同条件下测量同一量时，其大小和符号会现无规则的变化而无法预测，但多次测量的结果符合统计规律。为克服随机干扰引起的误差，硬件上可采用滤波技术，软件上可采用软件算法实现数字滤波。采用取均值的方法，去掉最大和最小的值。误码错误可采用汉明码纠错和自校正编码技术实现。

通过串口可以方便地实行协调节点与 PC 机之间的通信。PC 机有标准的 RS-232C 串行口，信号电平采用负逻辑，即逻辑“1”为-5～-15V，逻辑“0”为+5～+15V。CC2430 的 P0.2 和 P0.3 分别为串行数据接收端 RxD 和发送端 TxD，接收和发送信号为 TTL 电平。因此和 PC 机串行通信时需利用 MAX3232 进行 RS-232C 电平和 TTL 电平的转换，如图 4 将 MAX3232 的 7、8 脚分别接入 PC 机串口的 2、3 脚，9、10 脚接 CC2430 的 P0.2、P0.3，即可以实现 PC 机与单片机的串行通信。

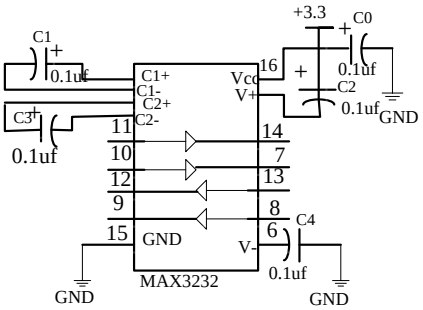


图 4　MAX3232 的应用电路

5　节点软件设计

ZigBee 终端节点只负责加入网络收发信息，路由节点负责转发信息，协调器节点主要负责组网，配置网络参数、启动网络并维护网络正常工作。

5.1　协调器节点软件设计

协调器组网过程：首先，协调节点发送广播进行组网，向相同信道的节点告知自己为网络协调器，并且广播网络的 PAN ID (Personal Area Network IDentity)，同时定时侦听有无网络连接的请求；其次，如果收到路由节点或终端节点的请求，则依据请求信息做出判断是否允许加入网络，若允许，协调器发送回应告诉节点加入，给节点分配一个地址作为唯一的身份标识；最后，给子节点定时发送相关的控制命令，对整个网络运行维护。为了保证网络的成功搭建，监测网络采用唯一的网络 PAN ID，每个节点包含一个唯一的 IEEE 地址。

5.2　传感器节点软件设计

传感器终端节点主要是负责温度信息的采集发送以及接收执行来自协调器的控制命令，拥有子节点的节点还需要将子节点的数据转发到协调节点。传感器节点启动后，将扫描有效的网络信道，发现协调器建立的网络并请求加入。设备加入网络后进入轮询式操作，执行周期性发送数据的任务，将采集到的信息经过处理以后周期的发送给中央控制单元。

6　结语

对 ZigBee 和智能检测控制技术的分析，将物联网与自动控制实际相结合，探讨了无线网络检测控制的可行性，改变了传统有线监测的方式。本文对温度参数监测控制，采用基于 ZigBee 的无线网络，该网络以 CC2430 为核心，采用 DS18B20 获取数据，电路结构简单、工作稳定可靠，具有通信灵活方便等特点，特别适用于现场环境。

参考文献

[1] 李洋,张永辉.基于物联网技术的冷藏车智能监控系统[J].通信技术,2010,43(11):59-60.

[2] DS18B20[OL].http://baike.baidu.com/view/1341776.htm,2011.

[3] WANG Wei,FAN Zebin.Design of Wireless Temperature Detect Based on CC2430[J]. Electronic Engineer,2007,33(8):78-80.

[4] 郭渊博,杨奎武,赵俭等.ZigBee 技术与应用:CC2430 设计、开发与实践[M].北京:国防工业出版社,2010,6.

[5] 顾德英,张健,马淑华等.计算机控制技术[M]北京:北京邮电大学出版社,2005:106.

松辽委防洪工程数据库建设探索

刘媛媛[1]　　宁方贵[2]

（1.松辽水利委员会水文局（信息中心），长春 130021；2.松辽水利委员会，长春 130021）

摘要：防洪工程数据库是流域水旱灾害防御工作基础的、重要的数据资源和能力。2008 年至今，通过两期工程建设，松辽委防洪工程数据库的工程类别扩充至 15 类，收集建设 15 项直管工程的基础数据，280 条跨界沿界河流基础数据及流域所辖省（区）数据，在流域与省（区）数据共建、跨界沿界工程数据建设复核及更新维护机制等方面进行了探索，取得了一定的成果。本文总结了一期项目中本级建设、省区数据复核工作情况及二期项目在直管工程、跨省工程、省区数据审核及数据版本等方面的成果情况，总结了两期项目数据建设经验及防洪工程数据库表结构与实际数据、工作需求间的差异和存在问题，提出了防洪工程数据库建设展望。

关键词：防洪工程；数据库；防汛抗旱

0　引言

我国洪水与干旱灾害严重，由于全球气候变化，极端天气频发，洪涝与干旱交替威胁，洪旱并存，形势严峻。行之有效的解决途径是在努力提高防洪抗旱工程能力的同时，大力加强防洪抗旱非工程措施的建设，充分采用现代化信息技术全面改造和提升传统的防汛抗旱效率。防洪工程数据库是流域水旱灾害防御工作基础的、重要的数据资源和能力。2008 年，松辽委防洪工程数据库建成（以下简称“一期工程”），推进了水利防洪工程基础数据的信息化建设，为防御工作信息化发展奠定了基础。2019 年，松辽委防洪工程数据库二期工程（以下简称“二期工程”）建设完成并投入运行，为提高流域防汛抗旱决策时效性和科学性，增强流域防汛抗旱工作能力，提供了有力手段。

1　一期情况

1.1　本级建设

松辽委一期项目包括两个方面内容，一是完成数据库环境搭建和建库，收集整编察尔森水库及洛古河、上马厂、卡伦山三个水文站的数据并入库的工作，二是收集省区工程数据，整编后入库。建设期数据库平台采用 SQL Server 2000，水利部下发的最终成果采用的是 oracle。流域直管部门工程共收集 18 项工程信息，工程图及音像文件 887.75MB，从黑、吉、辽三省共收集 1036 项工程信息，工程图及音像文件 1897.44MB，个别工程名录有所增减，基本满足《关于报送<国家防汛指挥系统一期工程松辽流域防洪工程数据库最终入库名单>的函》对入库工程名单的要求。2007 年，尼尔基水利枢纽首台机组运行后，进行了补充建设，入库 1 项水库工程和 58 个遥测站数据，共 651 行记录。

1.2　省区复核

在完成本级建设的基础上，对辽、吉、黑三省申报数据进行了抽查，发现了五个方面的

问题。一是工程名单表和行政区表中均出现代码重复，工程代码与工程名称、行政区代码与行政区一对多或多对多的情况。工程与行政区关联表中出现没有在工程名单表或行政区表中记录的数据。二是时间类型的数据填写格式不规范，存在引用单元格，数据处理和规范化工作量较大。三是实际数据存在与数据库结构设计冲突的情况，实际数据长度超过允许的长度。四是部分数据记录主键不唯一。五是部分数据可能为历史数据，但没有进行标注。为使防洪工程数据库能为预报、评估等分析系统提供良好信息支撑，松辽委防办组织对已基本完成建设的防洪工程数据库进行复核。2007 年 8 月，松辽委防办主持召开了松辽流域国家防汛抗旱指挥系统一期工程防洪工程数据库建设协调会，商流域各省（区）项目办确定防洪工程数据库建设入库工程名单，并形成会议纪要。入库工程名单以项目办[2007]5 号文件上报国家防总，见表 1。

表 1　松辽流域国家防汛抗旱指挥系统一期工程防洪工程数据库建设工程数量表

省份	河流	水库	堤防	控制站	水闸	合计
辽宁	52	89	56	114	2	313
吉林	11	36	113	30	1	191
黑龙江	12	30	433	46	8	529
内蒙古	22	15	15			52
委直属		1		3		4
松辽合计	97	171	617	193	11	1089

按照《防洪工程数据库建设实施方案》中关于“上报与数据复核”的要求，对上报的数据成果进行三项复核，即工程名单是否齐全、上报的文件是否符合规定、接收到的成果与建库单位的数据库成果之间的一致性检查。经统计，除内蒙古自治区数据未获得统计外，共收集整编五类 1036 项工程信息，包含河流 73 条、水库 153 座、控制站 190 个、堤防 608 段、水闸 10 座，数据记录 88422 条，工程图及音像文件 1897.44MB，与项目办[2007]5 号文件中要求的工程数量相比，河流少上报 24 条，水库少上报 17 座、堤防少上报 9 段、水闸少上报 1 座，控制站工程数量满足要求。黑龙江省的富地营子、磨盘山水库、肇源古恰泄洪闸工程因尚未建成，未纳入。辽宁省的西泡子水库因无数据，改为棋盘山水库。吉林省对堤防工程进行了重编码，上报的 123 条堤防中，有 110 属于原名录，缺少大安嫩江堤防三道岗子堤段、大安嫩江堤防王焕泡堤段、松原第二松花江右堤（松原市右堤）3 段堤防，并补充了大安嫩江右堤新店段、大安嫩江右堤东山段等 13 段堤防。

1.3　存在问题

一期工程建设和数据核对基本满足涉及要求，对水库水位间隔不超过 1m、工程图及音像文件满足电子图纸存为 DWG/DWF/JPG 格式等要求，也在数据源基础上进行调整后满足要求。但存在的主要问题有两类，一是工程数据收集仍然不足，个别省的部分数据表空缺较多，黑龙江省堤防（段）横断面特征值表，吉林省堤防基本情况表等表格记录数明显少于工程数量，个别水闸泄流能力曲线数据记录少，无法绘制曲线。二是数据填报规范化有待提升，由数据资料报告到数据库的建设中，对结构化数据的理解还不足，数据规范化做的还不够，缺少元数据建设。三是数据库表结构与东北地区实际工程数据和防汛工作需求还有一定差距，部分数据项难以获得对应资料或填入时存在数据取舍和丢失，如尼尔基水库的汛限水位为一

区间值，而数据库结构设计中的汛限水位为一个单精度的数值，在入库时，采用了最高值填入表中，取值区间放在了备注项中，给下一步数据分析和应用调用带来了问题。

2 二期情况

2.1 总体情况

二期工程在一期工程建设成果的基础上，根据水利部下发的统一数据库结构设计，将防洪工程类别扩充至 15 类，重建数据库实体；整合、收集录入松辽委直属工程数据；汇集松辽流域内各省填报防洪工程数据库数据，集成和整合跨省工程的数据；完成数据库的数据资源的建设和数据更新维护机制设计。

在直管工程方面，按照《关于印发二期工程〈防洪工程数据库项目流域机构和省级单位建设范围和任务〉的通知》（办建〔2015〕27 号）、《松辽委国家防汛抗旱指挥系统二期工程松辽委防洪工程数据库（按旱情库）建设实施方案》和国家项目办“防洪工程数据库数据录入与更新维护系统”下发至流域的工程名录，松辽委本级防洪工程数据库直管工程共 14 项，包括 5 座水库、6 个水文站、2 个蓄滞洪区和 1 座水闸。2017 年 7 月，数据第一次上报国家项目办后，因胖头泡蓄滞洪区的老龙口分洪口门采用由已建老龙口破堤扒口口门和新建老龙口分洪闸组成结合方案，因此增加一座水闸，即老龙口分洪闸。本级直管工程增至 15 项。

在跨省工程方面，国家项目办划分任务包括了 280 条河流、2 个湖泊和 1 个灌区，其中湖泊和灌区 3 项工程，因主要范围落在黑龙江省内，经项目办协调，从名录中迁移给黑龙江省汇总填报。对 280 条跨省河流，按照流域面积比重为主确定了划分规则。划分规则为：①主体只涉及 1 省的跨界沿界河流，由所在省份填报，如乌苏里江，由黑龙江省填报。②仅涉及入海的，由所在省份填报，如六股河，由辽宁省填报。③跨省或多部门跨界的，由流域面积比重最大的省份填报，如黑龙江，由黑龙江省填报，相关省份补充填报。④与河北省跨界的，因工作联系较少，由四省区中所对应的省份填报。如宋杖子河，由辽宁省填报。名录协调确认后，以项目办函方式印发，并组织流域内相关省份共同填报和汇总，各省涉及组织汇交河流数量见表 2。在数据汇集的基础上，按照松辽委工作需要，对 11 条主要河流的基本情况、横断面特征及洪水传播时间进行了数据补充，确保河流基础信息与水情部门目前使用的数据相一致。

表 2 跨界沿界河流工程划分至省（区）数量分布情况表

	吉林	辽宁	内蒙	黑龙江	河北	入海	单省	多行政区	各省合计
黑龙江	10	0	17	---	0	0	8	4	39
吉林	---	10	14	16	0	0	8	5	53
辽宁	11	---	30	0	4	7	4	5	61
内蒙	25	16	---	41	12	0	27	6	127
合计			206			7	47	20	280

在省区数据审核方面，参考省区水利工程有关资料手册，对 178 个水库工程的省区数据进行了核对，含黑龙江省 33 个、辽宁省 83 个、内蒙古自治区 21 个、吉林省 42 个，主要参考数据依据包括《辽河流域内蒙古部分防洪工程手册》《黑龙江省大型及重点中型水库手册》《辽宁省大型及重点中型水库手册》、《吉林省重要水库防汛基础资料手册》及水情部门掌

握的部分资料。数据差异主要表现为数值类差异、日期差异和字典型差异 3 种，其中数值类差异占比超过 84%左右，日期差异占比 15%左右 ，字典型数据差异占 1%左右。差异主要出现在水库一般信息表、水库水文特征值表、水库特征值信息表中。吉林和黑龙江省以数值类差异居多，辽宁省数据差异主要为工程建成日期差异。

2.2　成果版本

由于二期项目整体进度安排紧凑，数据库建设和应用开发是同步开展的，先期开发的部分二期项目业务应用系统开发需要调取数据进行测试，为满足这一需要，2016 年 2 月，对一期成果在二期运行环境下进行了数据恢复，按最新要求扩展了表和字段结构，一部分数据成果进行了沿用。2016 年 9 月，按表结构第二版本更新了建库脚本，在结构对比后，利用 TI 工具完成了数据导入，这两个数据库成果版本在建设期，为应用测试调用提供了支持。在建库脚本编制中发现项目标准的表名重复、主外键不统一、数据类型与数据库平台描述不一致等问题均及时提供给了国家项目办承建单位。水利部汇总数据成果后，按流域进行了切分下发，将导出文件在本地恢复后，作为最终成果。

2.3　存在问题

部分工程正在或即将开展除险加固工作，在入库时也采纳了来自于工程除险加固报告等资料的数据，但仍需要确认完善。数据入库时的差异不完全来自于承建方因素，资料中的区间值或枚举型数值无法填入浮点型数据记录中等一期问题仍然存在。此外，一些工程建成较早，资料报告对日期的描述精度到月或仅到年，无法满足到日期的填录要求，对“工程建成”、“工程竣工”等概念也有一些定义差异。工程级别等信息的差异原因主要为资料来源采用的分级标准不一致。

3　结语

防洪工程数据项目繁杂，数据量庞大，涉及地方单位部门繁多，各地数据建设成熟度和应用能力差异大，因此防洪工程数据库的建设务必获得领导的高度重视，参与数据建设各个环节的人员都能充分认识到防洪工程基础数据的重要作用和意义，强化沟通、专人负责，才能确保数据完整准确入库。同时，防洪工程数据库的更新机制尚未落地，数据建成后形成了数据孤岛，迫切需要在管理层面打通数据更新途径，确保流域数据的有效更新，延长工程数据寿命，一些建设期未完工工程也需要陆续补充入库。此外，目前防洪工程数据库中的数据仍为点源信息，由于缺乏河道高精度地理模型，无法形成点、线、面的协同信息运用和立体化分析；调度工作只能停留在调洪演算阶段，无法开展下游河道洪水演进、风险模拟分析等，不能对上下游水库群联合调度提供立体化分析能力支撑。防洪工程数据及江河数字化模型建设，是开展河道行洪能力评估和底数确定、重点河段洪水风险预判、流域面网格化预报调度协同的数据基础，也是流域水灾害防治和水利信息化双短板，迫切需要得到建设和补充，以支撑增强洪灾防御能力和应急水平。

从防御 2020 年黄河洪水谈补齐信息化建设短板的必要性

王国强[1]　　关　骁[2]

（1.山东菏泽黄河工程有限公司，菏泽 274000；2.黄委驻北京联络处，北京 100054）

摘要：“黄河宁，天下平”中华民族治理黄河的历史也是一部治国史。黄河自 1996 年以来，基本上就没发生过大的水情，即便是在这些年小浪底调水调沙期间，菏泽段最大流量基本上在 4000m³/s 左右，这么多年不发生大洪水，根据黄河洪水发生的规律，黄河发生大洪水的可能性越来越大，2020 年黄河水利委员会启动“防御大洪水实战演练”菏泽段（高村站）最大流量达到 5120m³/s，这是 24 年来最大洪水流量，洪水期间出现了新的险情，也暴露了一些短板弱项，信息化管理水平低下是短板中的短板，为提升黄河防汛管理水平，加强信息化建设对提升防汛管理水平显得尤为重要。

关键字：防御；洪水过程；信息化建设

0　引言

历史上，黄河三年两决口、百年一改道，从先秦到解放前的 2500 多年间，黄河下游共决溢 1500 多次，改道 26 次，北达天津，南抵江淮，给沿岸百姓带来深重灾难。人民治黄 70 多年以来，基本建成了完善的黄河防洪减灾体系，保障了伏秋大汛岁岁安澜。但黄河水少沙多、水沙关系不协调的问题没有变。尽管黄河多年没出大的问题，但黄河水害仍是中华民族的心腹大患。菏泽黄河段处于下游是著名的豆腐腰段，二级悬河形势依然严峻，防御大洪水仍然是黄河部门的工作的重点。黄河防汛多通过实地察看、人员值守、人工测报等形式完来成，自动化、智能化的技术使用较少。本文就 2020 年洪水演练中出现的信息化建设短板等新问题进行了深入的思考，对如何做好今后的防汛工作提出有针对性的建议。

1　菏泽黄河防洪工程情况

1.1　防洪工程基本情况

菏泽黄河的基本特征是堤线长、工程多、基础差、洪水预警期短、滩区大、滩区人口多、滩区群众迁安救护难度大，防洪任务十分艰巨。黄河流经菏泽市东明、牡丹、鄄城、郓城 4 县（区），河道长 185km。河道特点是上宽下窄，比降上陡下缓，排洪能力上大下小。自菏泽市上界到高村水位站长 66km，属宽、浅、散、乱的游荡型河段，两岸堤距最宽达 23.1km，最窄 5km，排洪能力 20000m³/s，河道纵比降约为 1/6000；高村至菏泽市黄河下界（郓城仲潭村）河道长 119km，属过渡型河段，堤距最宽 9km，最窄 4km，比降约为 1/8000。

菏泽黄河防洪工程主要包括：155.907km 临黄堤；12 处险工，357 段坝岸（302 道坝，19 个垛，36 段护岸），工程长 38.37km；17 处控导工程，346 段坝岸（332 道坝，12 个垛，2 段护岸），工程长 36.63km；东明和鄄城刘口 2 处顺堤行洪工程，64 道坝（其中乱石坝 63 道，格堤 1 道），工程长 27.94km；现有引黄涵闸 9 座。

1.2　菏泽黄河近五年汛情

从表 1 可以看出，流量在 4000㎥/s 以上时，虽没有发生灾情，但出现了滩岸坍塌、根石走失等险情，对滩地农业生产还是有一定的影响。

表 1　菏泽黄河近五年汛情信息

年份 汛情	水情	工情	滩岸坍塌情况
2016	流量 263～1630m³/s，含沙量 0.308～3.23kg/m³。	东明霍寨险工 10 号坝出险 1 次，抢险共用石方 0.79 万 m³。	没有发生坍塌
2017	流量 232～913m³/s，含沙量 0.388～1.71kg/m³。	没有出现险情。	没有发生坍塌
2018	流量 865～4140m³/s，含沙量 1.42～55.7kg/m。	共有 9 处工程 24 道坝出险 40 次，抢险用石 13909.16m³。	6 个滩区 7 处滩岸坍塌，长度 10700 m，面积 26.86 hm²。最大坍塌宽度 82 m（鄄城董口滩），最大坍塌长度 3600 m（鄄城董口滩）。
2019	流量在 392-4520m³/s，含沙量 1.52-29kg/m³。	共有 8 处工程 19 道坝出险 26 次，抢险用石 8944.27m³。	5 个滩区 8 处滩岸坍塌，长度 6620 m，面积 11.55 hm²。最大坍塌宽度 33.5 m（东明西滩），最大坍塌长度 1730 m（鄄城董口滩）
2020	流量 840-5120m³/s ，含沙量 2.44-26.7kg/m³。	共有 9 处工程 16 道坝出险 25 次，抢险用石 7715.7m³。	5 个滩区 7 处滩岸坍塌，长度共 8060 m，面积 13.81 hm²，其中坍塌面积最大的为东明西滩共计 4.83 hm²。

1.3　大流量洪水后防汛面临的新问题

2020 年大流量洪峰创下了 1996 年以来黄河下游洪峰过境流量之最。本次大流量洪水过后，整体来看河势变化不大，但局部河段河势变化明显，个别河段河势往畸形发展，有鸡心滩、汊河现象，部分滩岸出险坍塌、淤积。如青庄险工上首对岸滩地持续坍塌，造成河势严重下滑，青庄已整体脱河；高村险工至刘庄险工河段，该段坍塌已导致左岸濮阳南小堤险工脱河，失去节点工程控制作用，当前该河段依然靠右岸行洪，一旦生产堤失守，水流将直冲菜园集镇 2 号村台，危及滩区居民迁建村台安全。

2020 年洪峰期间，菏泽市局共出险 16 次，抢险用石 7715.7㎥。目前对防洪工程日常巡查还是靠人工完成，缺少现代化信息监控设备。出险工程涉及四个县局 8 处工程，点多线长，由于现场缺少抢险设备，只能就近租赁社会闲散设备，采用人工配合机械抛石的方式抢护。

2　菏泽防汛工作信息化管理的短板

菏泽黄河防洪工程具有战线长、分散广的特点，以及防洪信息的时效性要求，决定了信息采集的难度。防洪工程是随着治黄事业的发展逐步完善起来的，早期的建设信息化程度低，基本上没有远程监控设施。现在基本上是靠人工现场采集后，逐级上报，成本高，效率差，信息化短板突出，主要表现在监管信息采集和感知能力不足、承载监管数据传输的网络通信保障能力薄弱、支撑监管数据资源存储计算的基础能力不足、保障治黄信息化可靠运行的网络安全防护能力薄弱、支撑全方位强监管的信息化应用能力不足等方面。 从防御 2020 年大洪水过程看，信息化建设主要存在以下几个问题：

2.1　监管信息采集和感知能力不足

采集信息不全面，信息采集和感知体系不健全，采集网络薄弱、采集密度和范围不够。除堤防、河道整治工程以及岸线的除部分段落有监控摄像头外，基本上无其他信息采集设施；

穿堤建筑物监测主要是引水监测系统，先进技术手段不足。采集信息不及时、不准确，数据来源渠道不够规范，缺乏对数据准确性的监管。例如：水闸安全监测数据基本为人工采集，且设备老化，堤防及河道整治工程基本靠人工巡检，所取得的数据不全面、不规范，无法有效、及时分析工程的运行状况；取用水信息的监测覆盖面不全，不能满足全面、准确、及时的用水监测要求。需在传统采集手段的基础上，利用现代互联网技术，扩展感知信息来源。

2.2　数据传输的网络通信保障能力薄弱

菏泽黄河河务局的基层管理段、险工班、闸管所、抢险队等基层管理单位有 22 个，是治黄业务开展的最前线，也是产生信息最多，查看信息最频繁的单位，而黄河下游微波通信系统只覆盖市、县级河务局，沿黄基层单位缺少可靠的信息传输通道。

2.3　支撑全方位强监管的信息化应用能力不足

水利业务监管方面的信息化应用，未实现业务管理范围全覆盖。水工程建设与安全运行信息化管理设施基本上为零。菏泽黄河防洪工程体系具有点多、线长、面广的特点，工程建设中大量的信息收集、处理工作目前仅依靠常规的人工收集、统计、报送、查询、管理，劳动强度大、效率低、人为错误多，工程建设期各阶段和各参建单位的工程建设信息无法共享，影响了工程建设投资效益的发挥。工程管理巡检仍然采用传统管理模式，环节多、历时长，无法实施快速、高效的指挥调度，无法对涉及工程毁坏的事件和当事人进行及时的制止、查处，导致部分防洪隐患不能及时消除，增加了防洪风险。黄河水量调度管理应用缺少针对水生态文明建设、农村饮水、节约用水等业务的应用功能和预测分析功能，督查考核能力不足。

3　提高信息化管理水平的建议

信息化是提高黄河防洪管理水平，补齐管理短板的重要手段。目前菏泽黄河基层通信带宽窄、保障率低，已成为防汛信息化的最短的短板，严重影响各类防汛系统正常使用，制约防汛信息化的发展。应加大对防汛基础设施建设力度，实现菏泽各类防洪工程安全状况和工作性态进行监测、预测、报警及评价，为水工程管理提供技术支撑。尽快补齐防汛信息化发展短板，满足黄河治理体系和能力现代化的需要。

3.1　建设一体化的信息采集感系统

遥测水情测报系统、监控系统等科技信息化相结合，实现全天候、不间断、多方位的进行水位观测、查看河势工情，以信息化代替人力，弥补一线巡查观测人员不足的短板。监测对象包括堤防、险工、河道整治工程、跨河交通、生态林带、涵闸等方面，通过专门的监控网站，结合地面视频监视、工程自动监控设施、无人机等技术，形成一体化即时监测系统。对常年靠河堤段、重要雍水河段及穿堤建筑物等操作安全隐患部位进行全覆盖监测，对常年靠河的经常出险的重点险工、对河势变化起主要控制作用的控导工程等河道整治工程，进行工程内外部变形、河势溜势变化监测，水闸工程主要监测闸前闸后水位、水闸与大堤接合部渗流及引水变化情况。

3.2　防汛决策信息支持系统

防汛决策信息支持系统构建信息共享的防汛业务管理及值班管理系统平台，内容主要包

括县域黄河河道、黄河防洪工程、跨河交通和穿堤管线等非黄河防洪工程的基本资料；历史洪水、防汛队伍、防汛物资等各类防汛资料；提供黄河水情、工情、险情的分析、预测报告和综合分析抗旱信息报告，以便于防汛抗旱指挥决策的准确、快速、高效；实现前线指挥部与后方指挥部、上级指挥机构以及工程现场的视频、语音沟通会商；能够满足各级黄河防汛单位对水雨情数据和防汛信息数据的查询，及时上传更新数据。有效提升监测数据的利用效率，提高工程管理及工程监测水平。

3.3　逐步提高监测系统智能管理能力

构建综合智能应用平台，提升工程信息的可视化、智能化管理水平。围绕流域管理工作重点，突出日常管理、洪水信息管理、水资源节约集约利用、水环境监测、水生态保护等重点任务。对不同的检测数据，按类别设定智能化管理程序，做到监测信息定向推送，提高数据的利用效率。建立大数据库，给研究工程变化规律提供科学依据，根据实际需要加强工程观测设施、养护机械设施配备，改善与提高管理技术手段，切实加强水利工程管理队伍科技能力建设，提升工程管理水平。全面扭转长期以来‘重建轻管’的思维模式，为菏泽黄河治理高质量发展提供强有力的支持。

4　结语

水利工程补短板、水利行业强监管，是水利工作总基调。防洪工程信息化、数字化、智能化建设，整合了多种应用功能，能大大提高安全生产工作效率，实现互联互通、信息共享、业务协同。全面提升黄河防汛信息化水平，补齐短板，为黄河岁岁安澜奠定坚实基础。

参考文献

[1]《2020 年菏泽市黄河防汛工作总结的报告》.

[2]《菏泽防洪工程基本材料》.

多源信息融合的 VR 全景技术研究与应用

张安妮[1]　　张安旗[2]　　郝相莲[3]

（1.山东黄河河务局信息中心，济南 250013；2.济南黄河河务局历城黄河河务局，济南 250100；
3.山东黄河河务局信息中心，济南 250013）

摘要：多源信息融合的 VR 全景技术，是一种基于图像技术生成真实感图形的虚拟现实技术，借助全景制作软件生成能够 720 度全方位展示的实景，可以通过鼠标或键盘进行上下左右移动，任意选择自己的视角，并进行放大和缩小，如亲临现场般环视、俯瞰和仰视，具有很强的动感和影像透视效果。对全景图像添加各类热点设计，定制步进方式、设计前端显示、应用多类人工智能图视算法，实现多源信息融合的 VR 全景应用。

关键词：虚拟现实；全景技术；人工智能；模式识别

1　背景

传统的各类场景展示，要想进行全方位展示，通过情况下，至少要拍摄最少 6 张图片展示出来，这样就花费大量的人力和物力。而 VR 全景拍摄的场景展示出来的效果就不一样，它只需一个场景就能让用户在 720 度范围内的各个角度来参观场景全貌，让人感觉身临其境。VR 全景技术的应用，不仅给用户提供方便，同时也给单位节约了制作图片的时间和人力等成本，应用前景十分广阔。

虚拟现实是一种人与通过计算机生成的虚拟环境之间可自然交互的人机界面，其应用开发前景非常广阔，市场潜力不可估量。目前在很多领域都得到了初步的应用，而且很多应用是其他技术所无法替代的。

基于全景图像拼接方法的虚拟现实系统中，虚拟场景按以下步骤生成：首先利用采集到的离散图像或连续图像序列作为基础数据，经过处理形成全景图像，然后通过合适的空间模型把多幅全景图像组织为虚拟全景空间。用户在空间中可以进行前进、后退、720 度环视、仰视、俯视、近看和远看等操作。虚拟全景空间具有如下优点：

（1）具有实时性和交互性。“实时性”和“交互性”是场景 VR 全景展示的魅力所在，具有实用性和极好的投入产出比率。

（2）降低沟通成本。对于各应用单位，VR 全景互动展示加速了互联网技术的应用，降低了沟通成本，相对平面的场景呈现形式来讲，优势是显而易见的。

2　主要技术

多源信息融合交互式 VR 全景技术，是一种基于图像技术生成真实感图形的虚拟现实技术，借助全景制作软件将数十张不同角度的视觉图拼接，生成能够 720 度全方位展示的实景，可以通过鼠标或键盘进行上下左右移动，任意选择自己的视角，并进行放大和缩小，如亲临现场般环视、俯瞰和仰视，具有很强的动感和影像透视效果。对全景图像添加各类热点设计，

定制步进方式、设计前端显示、应用多类人工智能图视算法，实现多源信息融合的 VR 全景应用。

2.1　技术特点

（1）多感知性。全景图片是通过对实物实景进行实地拍摄 6－10 张图片拼接生成，具有很强的真实感。

（2）交互性强。可以用鼠标或键盘等计算机外设控制实景 720 度的环视，进行上下、左右、浏览，也可以进行放大缩小。

（3）沉浸感。对介入者的刺激在物理上和感知上使得人的感官作为体验的主角。

（4）网络互联。通过计算机、手机和 ipad 等终端进行网上浏览。全景显示页面，可通过独立的二维码扫描浏览。

（5）实地影像采集。与传统的 3D 图像不同，VR 全景图像是实地拍摄的，有较强的真实感，增加用户的信任度。

（6）内容展示丰富。全景图像除了可以随意控制任意视角互动性地观察画面，还能够嵌入视频、音频、文字、网页链接等多种媒体。

2.2　主要技术指标

（1）实现全景图像的实时无缝拼接；

（2）高度灵活、性能卓越的轻量化全景漫游浏览器。

（3）兼容 HTML5 和 Flash，支持 Webgl 下的 WebVR 展示。

（4）使用专用的 krpano xml 代码编写全景漫游，可开发出高度定制化的项目，也可利用 krpano 工具开发在线全景制作及展示平台。

（5）支持多种类型的全景图以及全景视频和环物全景。

（6）支持多种投影模式。

（7）简单高效的批处理方式，可在无需代码干预下迅速生成一个基本功能兼备的全景漫游项目。

3　成果的先进性与创新性

（1）自由步进交互设计：VR 全景作为一种新型的视觉展示技术，其显示效率高，操作简单，制作和运行成本低。该技术实现上、下、左、右、前、后全部场景 720 度无死角展示，可以放大缩小，调整角度，自由操控。该技术制作成本仅需一次，规避了一次性使用的弊端。各应用场景可以定制、更换、修改，多角度添加步进，这是传统媒介所不具备的，极大地增强了视觉真实感、全面性和沉浸感。

（2）多类热点设计：全景中可以添加多种媒体类型，例如图片、视频、音频和各类程序按钮等，可以更大范围地实现用户需求。

（3）个性前端定制：应用场景实例，通过程序优化设计，个性化定制前端界面、菜单、按钮等显示样式，以满足各类不同需求，提高用户体验感受和质量。

（4）推广渠道便捷多样：通过全景技术制作的影像、视频，制作生成显示网页，可在

各类公有或私有服务器进行部署，用户通过浏览器、二维码扫一扫等多种渠道，在各类终端进行全景的浏览漫游。

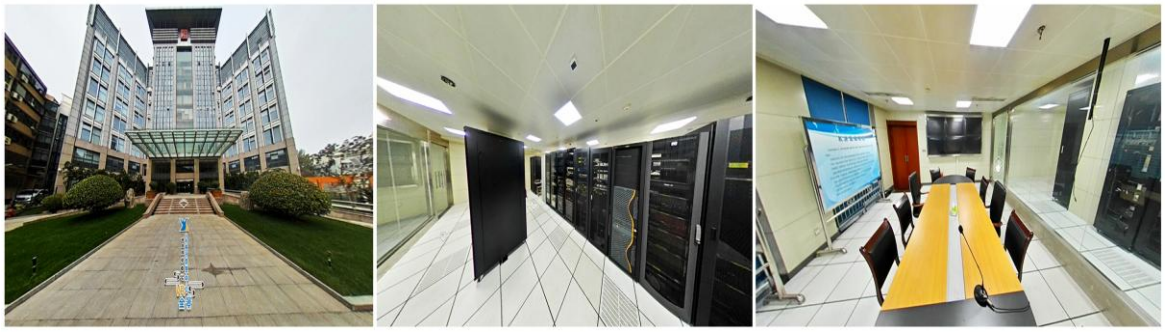
（5）VR 全景智能开发：在全景影像中引入人工智能算法，对场景中的图像进行 3D 环物信息采集，识别、分析计算及建模等。

4 应用实例

该技术在文化展馆、节水机关建设和网管中心进行应用，实景实例如下图所示：

济南黄河文化 VR 展览馆

山东黄河节水机关建设 VR 展示



山东黄河网管中心 VR 全景

5 小结

该技术具有轻量级平台架构，图像处理算法高效，图像采集处理便捷，设备便携，省时省力，尤其是数据量不大，系统要求低，适合各种方式，各种终端设备上观看。该技术的应用前景广阔，具有较高的推广价值。

参考文献

[1] 吉文军. 虚拟现实（VR）动画的交互性设计研究 [D]. 中央美术学院. 2017.

[2] 丁宁. 虚拟现实在机身生产线优化中的设计应用研究 [D]. 沈阳航空航天大学. 2017.

[3] 王晨. 基于虚拟现实的沉浸式触觉交互教学应用研究 [D]. 吉林大学. 2017.

虚拟现实全景技术在黄河节水型机关建设中的应用

张安妮[1]　　姜　华[2]　　王玉民[3]

（1.山东黄河河务局信息中心，济南 250013；2.山东黄河河务局信息中心，济南 250013；3.山东黄河服务中心，济南 250011）

摘要：为全面贯彻习近平总书记关于黄河流域生态保护和高质量发展的重要指示精神，推进黄河流域水资源节约集约利用通过 VR 全景技术，流域各单位开展了节水型机关建设，并取得显著成果，应用虚拟现实技术实现对节水型机关建设各项成果的全方位多角度漫游和线上展示，具有很强的交互性和现场感。该技术，设备体积小、易操作、实用性强、更新便捷、成本低等优点，该技术的应用，为节水型机关建设提供了强大的虚拟现实技术支持，现场感强、交互灵活、具有较强的推广应用价值。

关键词：虚拟现实；全景技术；人工智能；节水机关

1　背景

为全面贯彻习近平总书记关于黄河流域生态保护和高质量发展的重要指示精神，推进黄河流域水资源节约集约利用，各单位充分发挥水利行业示范引领作用，开展了节水型机关建设工作，建设成果显。为进一步加强宣传效果，提高管理效能，应用虚拟现实全景技术，将各项节水型机关的建设成果在网上实现 720 度全维度实景的步进交互式，具有很好的推广应用前景。

2　主要技术

2.1　技术原理

虚拟现实技术（Virtual Reality）通过计算机技术可实现对虚拟世界的构建，为体验者提供三维立体性虚拟环境，通过全景式立体展现可使体验者融入到体验环境中。随着技术的不断成熟，现 VR 技术已广泛应用到各个领域之中，如远程可视性操控、网络分布式计算技术、VR 成像等。

虚拟现实技术由于涉及领域较多，其技术较为复杂，需各项技术进行独立工作但彼此间应产生相应的联动功能。 其主要技术包括虚拟现实建模语言技术（VRML）、开放式图形库技术（Open GL）、视觉场景技术（Viewpoint）、多细节层次技术（LOD）。VRML 技术在运行过程中一般以现实世界为参照物，对现实场景进行模型式构建，并采集相应信息，通过比例式成像，在虚拟世界进行建模。VRML 技术具有良好的兼容性，可在不同平台进行设计与实现，在其运行过程中，可对体验者进行行为监控，防止因操作行为不当造成事故，在体验者进行相应的行为动作时，VRML 技术可进行对虚拟环境改变，为体验者提供真实性。VRML 技术是一种建模语言技术，其可增强信息环境的交互性，通过信息解释功能，将对象、行为目标和信息语言进行融合，使整体虚拟环境更加真实。VRML 在虚拟环境中其技术主要目标为虚拟节点，在虚拟环境进行构建中，当环境结构较为复杂时，一般以节点作为

拆分单元，使其在运行过程中，通过对节点的组合利用进行重复性定义，使其参与到构建场景中。

Open GL 技术通过外接设备来实现，其属于程序式接口，与系统硬件运行方式不同，可在多平台进行转换，其具有融合性，可兼容平台格式文件并实现转换。Viewpoint 技术作为视觉场景技术，通过对图像进行采集与存储，可为环境提供丰富资源。通过技术对场景的设置，将三维图像进行多角度审查，对阴影部位进行参数设置，并对光线进行优化，使虚拟环境更具真实性。

LOD 技术通过多细节层次的展示，提升体验者对虚拟环境的认可度，增强体验者的沉浸感。体验者在进行运动中，通过对动作所经历的场景进行细节优化，提升成像速度，将虚拟场景内部的动态性质进行优化，降低交互延迟，防止在体验者视角中发生顿挫感。

2.2　关键技术

（1）使用十连拍（Burst）照片合成超分辨率照片。

该方法提高静态拍摄照片像素，将机器放置于一个周围物体尽可能静止的环境下拍摄，以减少运动物体的差异造成合成效果不佳或重影等现象。

（2）使用十连拍（Burst）照片（8K 分辨率）可以通过超分辨率技术导出 12K 的照片。

通过设定参数，可以创建导出任务，得到一张更高分辨率的超分辨率照片。

将 8K 原图（上面）与 12K 超分辨率照片（下面）进行相同放大效果对比（约 30° FOV），明显能看出 12K 的照片的细节更锐利和细腻。

3 硬件设备

3.1 技术参数

镜头：6×200°F2.4 鱼眼镜头；

单路照片最大分辨率：4000*3000；

文件格式：图片：JPG，RAW 格式，视频：MP4；

存储支持：V30 速度级别,UHS-I 的 TF (MicroSD)卡*6,UHS-I 的 SD 卡，推荐 Sandisk Extreme Pro；

电源与续航：5100mAh 可拆卸电池（续航时间约 50min），12V/5A 电源适配器（常温状态可数小时连续录制）；

电源输入：12V 5A；

直播支持协议：rtsp、rtmp、hls ；

ISO 范围：100-6400；

曝光模式：自动、手动、各镜头独立曝光、快门优先（仅拍照）、ISO 优先（仅拍照）、录像模式可以设定 ISO 上限。

单镜头视频码率：最高 120Mbps ；

WiFi 支持：802.11b/g/n，2.4GHz，空旷环境通讯距离 20m，播放范围 0－5m，预览流为 30 帧/秒 ；

信号天线：GPS、AP；

操控软件支持：Windows/Mac /ios/Android；

3.2 设备连接方式

（1）图传连接

用网线将其与全景相机相连接。等待相机屏幕顶部显示出 192.168.100.XXX 的 IP 地址后，则代表相机与图传发射端连接成功。

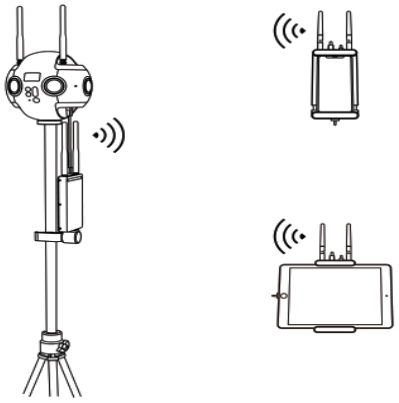


图 1 图传系统连接

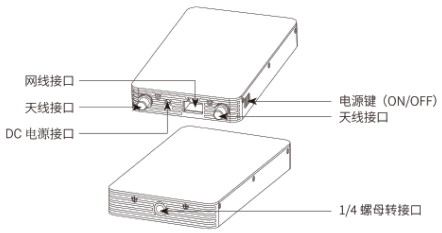


图 2 图传发射端

将手机/平板通过配套的 USB 转接数据线与接收端相连接。以 iOS 设备举例，等待约 15S 左右，在手机/平板的设置页（一般是系统设置菜单）会出现“以太网”选项，点击进入以太网设置界面，“配置 IP”设置为自动，确认 IP 地址是否也是 192.168.100.XXX。安卓设备

大多没有这个“以太网”的选项，接好数据线后可以直接使用。如果想将接收端与电脑相连接，则须使用网线来连接，连接好之后电脑的网络设置为 DHCP，即可自动获取接收端分配的 IP 地址。

（2）有线连接

有线连接有 DHCP 方式和 Direct 直连两种方式。

DHCP 方式——进入相机设置菜单，将 Ethernet 设置为 DHCP 模式。用网线与路由器相连接，路由器 IP 分配方式也要为 DHCP，并且电脑也连接入了路由器的局域网。确保相机与电脑同处于同一个局域网内，打开电脑上的操控客户端软件，输入相机屏幕顶部显示的 IP 地址进行连接。（连接见图 3）

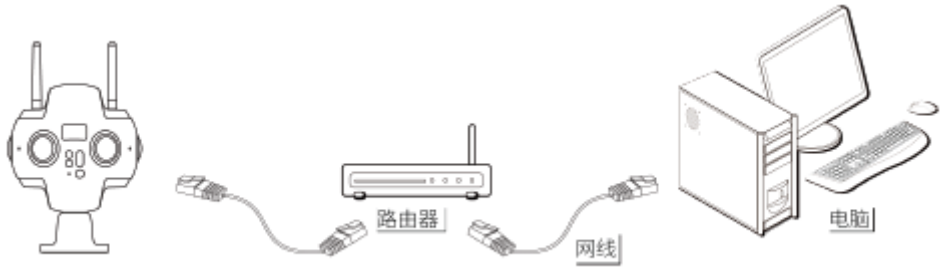


图 3　有线连接（DHCP 方式）

Direct 直连方式——相机设置菜单，将 Ethernet 设置为 Direct 模式。此模式下，相机的 IP 地址固定显示为 192.168.1.188，需给电脑设置静态 IP 为 192.168.1 网段的 IP，建议设置为 192.168.1.100，子网掩码为 255.255.255.0。

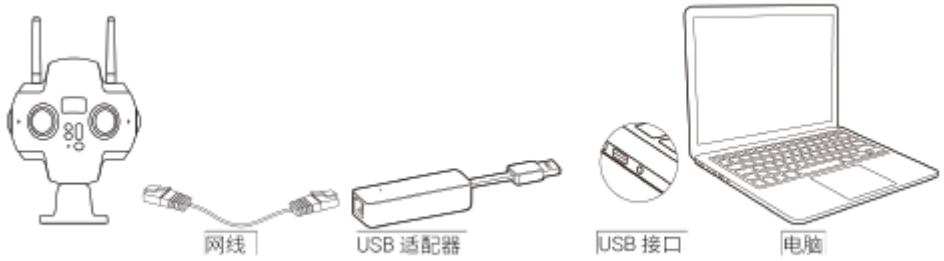


图 4　有线连接（Direct 方式）

（3）无线连接

将客户端设备连接至相机的 AP 热点。（见图 5）

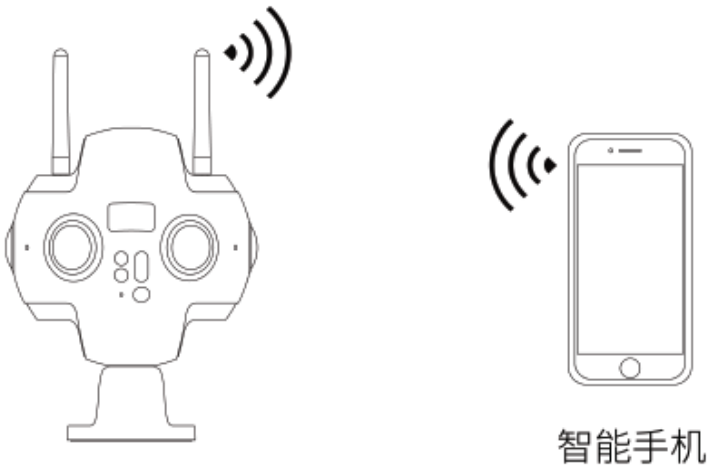


图 5　无线连接方式

点击打开相机屏幕首页的 wifi 标志，相机会开启自身的 AP 热点。打开客户端设备（手机、平板、手提电脑），搜索附近的 wifi 热点，连接成功后则客户端设备与相机已处于同一个无线网，在客户端操控软件上输入 IP 192.168.XX.1，点击连接即可。（见图 5）

3.3　性能特点

（1）FlowState 防抖

设备配备了九轴陀螺仪，并且实现了针对运动场景的 FlowState 超级防抖。

（2）自动包围曝光拍照

采用自动包围曝光拍照的模式，可选择拍摄 3、5、7、9 张相等 EV 间隔的照片，便于后期合成高动态范围的照片。

（3）模式支持 Raw+jpg 双格式拍摄

设备所有拍照模式（普通单张拍照、包围自动曝光拍照、Burst 十连拍、Timelapse 延时摄影）均可开启，将存储 dng（Raw）与 jpg 两种格式的照片。

（4）HDR 视频

设备视频档位，可选择拍摄出具有 HDR 高动态范围效果的视频。适合光比大的拍摄场景。

（5）多路拍摄，码率更高，色阶更广，画质更优。

设备采用了 6 张 TF (MicroSD)卡+1 张 SD 卡共 7 张卡的存储方式，在存储实时拼接与低码率代理视频到 SD 卡的同时，可以存储高码率的原片 6 张 TF 卡中，最高可达 120Mbps 码率，画质细节更好。采取了色阶更广的 YUVJ420P，能表现的亮部和暗部颜色更广。

（6）双天线，信号更远更稳定。

增加外置 AP 天线，可保证 0-20m 内流畅操控预览。增加机身 GPS 模块和天线，无需使用额外 GPS 配件，解决街景拍摄时外接配件接线杂乱，易受遮挡影响信号的问题。

（7）Farsight 图传系统

Farsight 图传系统，配合使用可实现远距离的流畅操控。地对地空旷无遮挡环境下通讯距离长达 300 米，地对空空旷无遮挡环境下通讯距离长达 1 公里。

4　创新点

（1）自由步进交互设计：该技术实现上、下、左、右、前、后全部场景 720 度无死角展示，可以放大缩小，调整角度，自由操控。该技术制作成本仅需一次，规避了一次性使用的弊端。各应用场景可以定制、更换、修改，多角度添加步进，极大地增强了视觉真实感和沉浸感。

（2）个性前端定制：应用场景实例，通过程序优化设计，个性化定制前端界面、菜单、按钮等显示样式，以满足各类不同需求，提高用户体验感受和质量。

（3）多类热点设计：全景中可以添加多种媒体类型，例如图片、视频、音频和各类程序按钮等，可以更大范围地实现用户需求。

5　节水型机关场景实例

节水型机关建设 VR 场景实例如下图所示：

山东黄河节水机关建设 VR 展示

6　小结

该技术在山东黄河、淄博黄河和高青黄河省市县三级节水机关建设中进行实际应用，均取得了很好的应用效果。全面真实地再现了节水机关建设措施的各个环节，让评审专家，足不出户，就像到达现场一样，身临其境地查看节水措施每一个验收环节，大大节约了人力、物力和时间成本，收到上级专家的一致好评。为各单位起到了名片宣传效果，通过对场景的步进式进行场景观摩，详细了解节水建设各环节详细内容，网上展示不受时间、地点和空间的限制，可以随时随地，在电脑、手机、平板等多种终端进行漫游观摩，该技术具有较高的推广应用价值。

参考文献

[1] 操蕾. 虚拟现实电影交互环境下受众体验价值研究 [D]. 浙江工商大学. 2017.

[2] 佟骏超. 基于深度学习的视频图像质量增强技术研究与应用 [D]. 杭州师范大学. 2019.

[3] 刘从晋.　面向虚拟健身的人机交互技术与系统 [D]. 杭州师范大学. 2017.

基于“全国水利一张图”的防汛抗旱研究综述

李思齐

（宁夏大学土木与水利工程学院，银川 750021）

摘要：为了响应“十四五”的号召，加强国家建设，提高抢险水平，为防汛抗旱提供依据，做到有效防汛抗旱。本文简述了近年来全国各地的洪涝灾情及抵御灾情的常见措施，概述了“水利一张图”的概念、发展历程、关键技术及其应用，并且谈及了大数据、物联网、无人机、遥感等信息科技在洪涝灾害上的应用。根据现有水利信息化技术在洪涝灾害上应用的优缺点，提出防汛抗旱工作将往智能化、安全化、聚合化的方向去发展，另外也将在调度抢险和人员转移安置等方面建立起完善有效的应对措施。

关键词：防汛抗旱；水利一张图；水利信息化；非工程措施

Summary of Flood Control and Drought Relief Research Based on "One Map of National Water Conservancy"

Li Siqi

（School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University，Yinchuan750021）

Abstract: In response to the call of the "14th Five-Year Plan", strengthen national construction and achieve effective flood control and drought relief. This article briefly describes the flood disasters and common measures to resist disasters across the country in recent years. It outlines the concept, development history, key technologies and applications of "One Picture of Water Conservancy", and talks about big data, Internet of Things, drones, Application of information technology such as remote sensing in flood disasters. Based on the advantages and disadvantages of the existing water conservancy information technology in flood disasters, it is proposed that flood prevention and drought relief work will develop in the direction of intelligence, safety, and aggregation. In addition, it will also establish a complete and effective response in the aspects of dispatching emergency rescue and personnel transfer and placement.

Keywords: flood control and drought resistance; a picture of water conservancy; water conservancy informatization; non-engineering measures

0 前言

2021 年是实施“十四五”规划,开启全面建设社会主义现代化国家新征程的第一年，为

响应《防汛抗旱应急能力建设“十四五”规划大纲》中提出要加强应急能力建设[0]，鄂竟平在全国水利工作会议上表示 “十四五”时期水利改革发展的主要目标是提升水旱灾害风险防控能力，优化水资源配置格局，增强涉水事务监管效能[0]。

“十三五”时期是我国水旱灾害防御成效最好的五年[0]，因洪涝灾害死亡失踪人数和倒塌房屋数量较近 5 年均值分别下降 53%和 47%[0]。所以在“十四五”时期的第一年，我们要积极地响应国家的号召，努力整改自己的薄弱环节[0]，为提高抢险救灾水平、更好地储备救灾物资、合理地建立符合自身特色的信息共享机制而奋斗。

1 近年来各地灾情及常见措施

1.1 各地灾情汇总

据统计从 1950—2009 年，贵州省平均每年洪水灾害损失 7.78 亿元，平均死亡人口 307 人[0]。辽宁省在 2009—2018 年期间，洪涝灾害共造成 1300 余万人受灾，倒塌房屋 6.41 万间，农作物受灾面积 248.18 万 hm²，成灾面积 156.55 万 hm²，直接经济损失 754.23 亿元，包含了水利相关设施直接经济损失费用 149.24 亿元[0]。2019 年天祝县部分乡（镇）受灾，造成了直接经济损失费用 82.38 万元[0]。安徽省长江、淮河、新安江流域在 2020 年梅雨期同时发生大洪水，历史罕见。滁河流域发生超警戒水位洪水，历史上第 5 次启用荒草二圩、荒草三圩蓄洪区分洪蓄水[0]。2020 年 8 月 17 日，四川金堂县县城区及沿河部分镇（街道）受强降雨影响出现特大洪涝灾情[0]，对居民人身及财产安全造成重大威胁。

由此可见，防汛抗旱的形势并不乐观。为了有效解决洪涝灾害，减少受灾人口数量、缩小农业受灾面积、降低直接经济损失等，我们要加快防洪除涝工程建设步伐，结合工程措施与非工程措施，加快防洪除涝工程建设，建立信息共享机制，提升总体应急救援的能力。

1.2 常见的工程措施

工程措施主要是增强坝体建设，做到汛前安全隐患排查，汛后水毁工程修复以及维修养护等日常管理工作。

1.3 常见的非工程措施

非工程措施主要利用云计算、软件开发和大数据[0] 等信息科技。云计算是一种便捷的网络资源模式，可以及时提供网络服务、信息存储、软件计算、服务器模拟等功能。软件开发是我国防汛抗旱指挥系统实现了业务使用系统的协同、资源共享和标准统一技术。大数据是一种数据集合，他不仅可以处理、分析数据，还能共享、存储相关信息。

目前我国防汛抗旱信息种类多、信息量大，通过图片、视频等数据形式，可以汇总地质、水文、气象、水流等信息，向防汛抗旱提供更多的价值信息，完善防汛抗旱工作[0]。对此更应该充分运用物联网、大数据、人工智能、区块链等新一代信息技术，加快智慧水利建设，推进涉水业务智能应用，提升信息整合共享和业务智能管理水平。

2 概述水利一张图

2.1 水利一张图的概念及其发展历程

2.1.1 水利一张图的概念

水利“一张图”是指在基础地理信息数据的基础之上，建设公用的水利空间数据，另外叠加各种环保专题空间信息，并基于此建立数据的共享与更新[0]，形成一个水利信息系统。该系统通过建立标准体系、建设基础设施、整合多源数据、开发应用服务从而形成全国水利一张图[0]

2.1.2　水利一张图的发展历程

自 2005 年起，长江水利委员会启动了以“一张图”为载体的空间信息平台建设工作[0]。它不仅增强空间数据的时效性、丰富了数据资源，构建了完整统一的“一张图”服务体系，还加强了空间信息技术与业务工作的融合。

发展至今长江委“一张图”作为长江委资源整合项目的成果之一，其服务平台形成了“4 个 1 加 N”的架构，即：1 个“一张图”应用系统、1 个“一张图”管理系统、1 个“一张图”门户、1 套配套管理制度以及 N 个以“一张图”服务平台为基础的业务应用[0]。

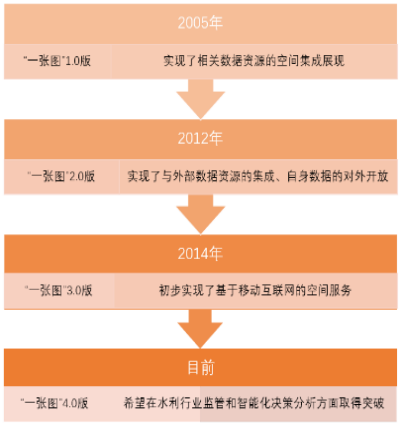


图 1　水利一张图的发展历程

2.2　水利一张图的关键技术及应用

2.2.1　水利一张图的关键技术

水利“一张图”汇集已建和在建各类工程信息和相关水利要素信息，实现了空间和业务信息的关联，可以进一步构建各类业务专题图，如防汛抗旱、水资源、河长制等，促进水利空间信息与业务的深度融合，有效支撑各类业务应用。它的关键技术是基于全关系水利数据组织的建模理论与方法、面向集约共享的水利一张图服务平台研发、“全国水利一张图+”的业务应用体系等[0]。这样不仅可以融入矢量、遥感、DEM 等不同类型数据，还能进一步构建或完善二、三维模型及专业的 GIS 可视化服务，提高应用智慧化管理和三维可视化水平[0]。

2.2.2　水利一张图的应用

随着信息技术的发展，同时秉承着鄂竟平、叶建春提出的水利“一张图”的十二字理念，满足水利信息整合、水利业务协同以及智慧水利建设的要求，水利“一张图”的建设在全国各地拉开了帷幕。

刘方等[0]介绍了安徽将防汛抗旱、水资源管理、水利工程建设管理、水土保持、农村水利、政务服务等各类业务共用“一张图”，来支撑以图监管、挂图作战的水利工作模式。刘国强等[0]介绍沧州市防汛抗旱决策支持系统在 2015 年“8 • 31”暴雨、2016 年“7 • 19”暴

雨洪水、2018 年“魔蝎”、2019 年“利奇马”等强台风工作中提供了及时、准确、可靠的数据支撑。常仁凯等[0]介绍池州防汛抗旱智慧决策系统可以通过 “GIS 一张图”实现了防洪抗旱工程分布、基础信息、在线监测信息及预警信息展示。宋黎黎等[0]阐述了丹东市防汛抗旱指挥系统，该系统开发了 PC 端和手机客户端两个层面的功能设计，为丹东市现代化防汛发展和重点防汛工作部署提供了技术支撑。黄雄等[0]介绍了湖南省芷江侗族自治县使用的防汛抗旱综合数据信息平台，在气象技术服务、流量的研判和人员安全转移方面起到了支撑作用。曹帅等[0]通过介绍江苏省水利“一张图”技术架构，其中包含数据融合、云计算、面向服务的体系结构（SOA）、省、市、县三级对地理信息的应用等，强调了数据资源、建设管理和应用服务的标准。江雨田等[0]介绍山洪灾害在短历时的预警平台上能够比传统监测提前 1-3 小时准确预判山洪灾害风险区域。在宁波市“20180917”“利奇马”等多场次台风暴雨中得到成功应用。徐健等[0]利用福建省沙县智慧水利信息平台，将山洪灾害预警系统及河长制管理系统整合，建设与其配套的水利数据库，并制定了智慧水利的标准。周辉等[0]介绍四川省依托河长制推进智慧水利大数据建设，利用大数据分析、云计算等技术，加强河湖治理。詹小国等[0]介绍了重庆市智慧洪水灾害防御体系，并以重庆市主城区为核心的区域进行实验验证，效果良好。王常效等[0]提出深圳市的智慧三防系统，自 2020 年 4 月上线以来，共启动防台风防汛应急响应 20 余次，初步实现了对风雨汛情前端智能感知、精细化动态模拟、实时预报预警、应急指挥和灾后评估等全流程功能。

“水利一张图”也是作战图，汇总了水利政务信息系统、视频指挥系统、山洪灾害监测预警系统、图像检测信息系统、水文遥测信息系统、智慧水利平台、水资源检测信息系统、水土保持监测信息系统[0]等，充分展现数字化、智能化、信息化和现代化的过程[0]。

3 其它非工程措施

3.1 RFID 技术

随着“互联网+”的普及，RFID 技术应用于防汛抗旱物资仓库管理中有明显优势，这也是趋势使然。RFID 技术保证了设备管理数据的准确性，确保单位及时准确地掌握真实数据，为防汛抗旱应急救援提供更强的技术支撑[0]。

3.2 遥感技术

防汛抗旱中遥感技术的应用，如洪涝灾害监测、洪涝灾害评估、洪水预报预警、洪水风险图等。遥感提供的技术支持和空间信息占防汛抗旱数据的 90%以上，从旱情监测、洪涝灾害预报的层面体现该技术的适用性与可行性[0]。

3.3 无人机技术

无人机在防汛抗旱工作中应用在工情三维量测、灾情巡查摄影、应急救援指挥等，随着无人机信息采集准确性及传输时效性的提高，他为预测预报、制定调度方案、水资源评价等决策提供科学依据[0]。

3.4 物联网技术

城市安全物联网建设可以加强江河水库特别是中小河流、小水库和病险水库水情汛情及

土壤墒情的监测预报预警，加强城镇内涝、排水管网的监测，加强山洪灾害易发区、涉水旅游景区等防洪重点区域的监测[0]。

3.5 大数据

四川联通利用大数据核查被困人员数量，及时提供大数据报告，成功转移被困群众 8 批次 522 人[0]。移动互联及应急通信技术使长江防汛视频会商和视频监控系统响应更迅速、场景更丰富、覆盖更全面，为方案商讨、指令下达、调令监督等工作提供了重要保障[0]。

3.6 扫描雷达技术

利用扫描雷达等新装备，缓解农村地区巡查人员不足的问题，完善各堤防水闸管理信息系统，实现险情的位置、文字、图像、视频完整记录，为今后防汛抢险提供技术支撑，促进并提高责任落实、险情反馈和处置时效性[0]。

4 结论

“一张图”的建设“已经初具规模，实现了实时共享气象水文信息资源、抗洪抢险协调联动以及防汛物资调用保障等[0]。据统计防汛“一张图”系统在 2020 年汛期访问量累计达到 2 万余次，使用范围广泛，应用效果良好[0]，但还存在数据资源分散、信息共享不足、业务协同困难[错误!未找到引用源。]、重复建设、标准不一等问题，并且缺少既精通计算机知识又熟悉水利专业的复合型技术人才，导致信息孤岛、浪费资金现象仍然很严重[0]。尤其业务数据对象体系和空间数据配套还没有建立起来，仍在存在大量亟待解决的问题和工作[0]。我国目前中小型水库大多数没有安全监测设施，且物联网数据类型相对单一，目前主要考虑了地面监测信息，随着智慧水利建设的推进，水利物联网数据会日渐丰富[0]。另外，受极端天气、传感器光谱条件和遥感数据时间分辨率等多种因素限制，有时会出现没有合适可用数据源的情况，随着国家陆地水资源卫星和更多国产卫星的发展和应用[00]，多源数据同化的水利应急服务技术将更有效、更及时。

据资料汇总，防洪减灾未来将向智能化、安全化、聚合化方向发展。智能化体现在物联网、大数据、无人机技术、虚拟现实技术等信息技术。安全性主要是因为越先进的技术，依赖链越长，就越脆弱。各种资源、技术呈现出共享聚合的趋势，一方面任何一种需求有多种新技术可以选择，另一方面，各种新技术、资源的聚合，可以互相促进。另外在保障演练、监测预警、调度抢险和人员转移安置等方面要建立快速有效的应对措施，最大限度减少超标准洪水带来的损失和影响[0]。

参考文献

[1] 张妍.《防汛抗旱应急能力建设“十四五”规划大纲》通过应急管理部评审[J].水力发电,2020,46(10):131.

[2] 深入践行水利改革发展总基调 2021 年全国水利工作会议在京召开[J].水资源开发与管理,2021(02):1-2.

[3] 李坤刚. 立足新发展阶段 努力推进能力建设 全力做好防汛抗旱防台风工作[N]. 中国应急管理报,2021-02-16(002).

[4] 杨丽君.新形势下界首市防汛抗旱工作思考[J].江淮水利科技,2020(05):24-25.

[5] 裘峰,周亮,王丽萍.贵州省山洪灾害防治工作十周年回顾[J].中国防汛抗旱,2020,30(Z1):130-133.
[6] 高丹,张路新.2009—2018 年辽宁省洪涝灾害综合评析及防御对策[J].中国防汛抗旱,2021,31(03):58-61.
[7] 赵建梅.天祝县2019年防汛抗旱工作旱情、汛情及灾情分析[J].农业科技与信息,2020(21):73-74.
[8] 张锦堂,洪建智,朱琼,方泓.2020年滁河洪水调度实践与分析[J].中国防汛抗旱,2021,31(03):32-35.
[9] 张炳耀.四川金堂县“2020.8.17”特大洪水分析与思考[J/OL].中国防汛抗旱:1-4[2021-03-30].https://doi.org/10.16867/j.issn.1673-9264.2020279.
[10] 毛晓华.水利信息化在防汛抗旱工作中的应用探究[J].南方农业,2020,14(21):180-181.
[11] 赵明钰.基于GIS平台水资源管理信息系统分析[J].水科学与工程技术,2017(05):36-38.
[12] 蔡阳.谢文君.全国水利一张图建设与应用[J].水利信息化，2020（1）：1-5 .
[13] 詹小国，杨鹏，孙忠华，等. 基于 GIS 的长江流域水行政管理信息系统的研究［C］//全国水利信息化论坛. 深圳：水利部信息化工作领导小组，2007.
[14] 杨欢,乔延军,刘莉芳.基于信息资源整合的防汛“一张图”系统设计与实践[J].人民长江,2020,51(12):191-195.
[15] 蔡阳,谢文君,程益联,陈德清,陈子丹,付静.全国水利一张图关键技术研究综述[J].水利学报,2020,51(06):685-694.
[16] 薄伟伟,高庆方,赵芳.“黄河一张图”建设研究[J].水利信息化,2018(02):39-43.
[17] 刘方,谢艾玲.安徽省水利“一张图”建设探讨[J].长江技术经济,2020,4(04):86-90.
[18] 刘国强.沧州市防汛抗旱决策支持系统的设计与实现[J].河北水利,2021(01):18-19+39.
[19] 常仁凯,董军安,何雯,常大海,徐海伟,梁云.池州防汛抗旱智慧决策系统设计[J].治淮,2020(10):38-40.
[20] 宋黎黎.丹东市防汛抗旱指挥系统的技术实现研究[J].黑龙江水利科技,2020,48(11):112-115.
[21] 黄雄.湖南：建设“三大系统”推进信息技术与应急管理深度融合[J].中国应急管理,2020(11):96.
[22] 曹帅,司存友,丁玉鹏,胡文斌.江苏省水利“一张图”技术架构与标准解析[J].江苏水利,2019(03):65-68.
[23] 江雨田,范仲丽,孙如飞,赵思远,朱从飞.山洪灾害短历时风险预报预警平台研究及应用[J].水利信息化,2021(01):76-79.
[24] 徐健,李国忠,徐坚,肖潇,赵保成,付珺琳.智慧水利信息平台设计与实现——以福建省沙县智慧水利信息平台为例[J].人民长江,2021,52(01):230-234.
[25] 周辉,宋超.智慧水利一张图与共享服务平台构建探索[J].水利信息化,2020(06):7-11.
[26] 詹小国,王迪友,谢非,邓晶.重庆市智慧洪水灾害防御研究[J].水利信息化,2020(04):12-15.
[27] 王常效,王鲲,邱德鑫,张波,张碧嘉,刘长杰.深圳市智慧三防系统的建设与思考[J].中国防汛抗旱,2021,31(02):46-50.
[28] 韩大鹏.济源市水利信息化建设现状及思考[J].河南水利与南水北调,2020,49(09):78-79.
[29] 赵明钰.基于GIS平台水资源管理信息系统分析[J].水科学与工程技术,2017(05):36-38.
[30] 丁海涛.RFID在防汛物资管理系统中的应用[J].江淮水利科技,2020(04):35-37.
[31] 刘宇.防汛抗旱中遥感技术的应用[J].黑龙江水利科技,2020,48(07):163-166.
[32] 梁辉.浅谈无人机在陕西防汛抗旱工作中的应用[J].陕西水利,2020(12):69-70+75.
[33] 城市安全物联网建设与应用[J].通信世界,2020(28):28.
[34] 四川联通“大数据”“舆情通”成为抗洪救援利器[J].通信与信息技术,2020(05):16.
[35] 戴能武,曾俊轩,董伟,郭丽娜.移动互联及应急通信技术在防汛抗旱中的应用[J].水利水电快报,2021,42(01):91-95.
[36] 孙长城,廖鸿志.2020 年长江中下游堤防巡堤查险暗访督查实践与思考[J].水利水电快报,2021,42(01):77-80+85.

[37] 王传宝,廉旭丹,王传兴.南水北调东线山东聊城段工程融入地方防汛抗旱体系实践[J].中国防汛抗旱,2020,30(12):89-93.
[38] 杨欢,乔延军,刘莉芳.基于信息资源整合的防汛“一张图”系统设计与实践[J].人民长江,2020,51(12):191-195.
[39] 陈海山.防灾减灾救灾新理念下防汛抗旱减灾工作探讨[J].中国防汛抗旱,2020,30(12):86-88.
[40] 韩大鹏.济源市水利信息化建设现状及思考[J].河南水利与南水北调,2020,49(09):78-79.
[41] 刘媛媛. 科学求实创新推进“一张图”建设[A]. 河海大学.2020 年（第八届）中国水利信息化技术论坛论文集[C].河海大学:北京沃特咨询有限公司,2020:4.
[42] 蔡阳.智慧水利建设现状分析与发展思考［J］. 水利信息化，2018（4）：1-6 .
[43] 张建新，蔡阳 . 水利感知网顶层设计与思考［J］. 水利信息化，2019（4）：1-5 .
[44] 李纪人.与时俱进的水利遥感［J］. 水利学报，2016，47（3）：436-442 .
[45] 倪光南. 贯彻落实“4·19 讲话”精神，建设网络强国[J]. 信息安全研究，2019，5（4）：282-284.
[46] 水利部.水利网信水平提升三年行动方案（2019—2021 年）[R].2019.
[47] 杨好周.常庄水库超标洪水风险及应对措施[J].河南水利与南水北调,2020,49(11):12-13.
[48] 薄伟伟,高庆方,赵芳.“黄河一张图”建设研究[J].水利信息化,2018(02):39-43.

关于数字海河智慧“四预”建设路径初探

毛慧慧[1]　　邢　斌[1]　　王　勇[2]

（1.水利部海河水利委员会，天津 300170；2.天津市水文水资源勘测管理中心，天津 300061）

摘要：海河流域区域位置重要，区内有北京、天津、雄安新区等重要城市，流域防洪具有目标点多面广、河系分散，防洪任务重、政治影响大的特点。本文在系统回顾海河流域水利信息化建设现状情况的基础上，对标京津冀协同发展、雄安新区建设等重大国家战略对流域防洪格局和防御能力提出的新要求，剖析了现有防汛抗旱业务系统同新时代智慧水利建设要求相比存在的差距，结合流域实际情况，分析给出了数字海河智慧“四预”（预报、预警、预演、预案）建设的有效路径，为实现“以水利信息化带动水利现代化”的发展目标进行了有益探索 。

关键词：数字海河；水利信息化；四预；建设路径

海河流域区域位置重要，流域防洪关系到华北平原，特别是首都北京，天津、雄安新区等重要城市，南水北调工程等重要基础设施，京广、京九、京雄等交通干线，华北、大港等油田以及主要通信干线的安全，流域防洪具有目标点多面广、河系分散，防洪任务重、政治影响大的特点。数字流域是流域水利信息化建设的通俗化表达，它来源于数字地球，是数字地球概念下局部的、更专业化的数字系统，是传统水利向现代水利发展的必经之路[1]。多年来，诸多学者针对海河流域水利信息化建设开展了研究[2-5]，并取得了一定成效。

为落实习近平总书记关于防灾减灾救灾重要讲话精神指示批示精神，积极践行“两个坚持、三个转变”防灾减灾救灾理念，全面提升水旱灾害防御决策支撑能力和现代化调度指挥能力，以超前的情报预报、精准的数字模拟、科学的调度指挥，牢牢守住水旱灾害风险防控底线，确保人民生命财产安全和经济社会发展安全，智慧海河建设刻不容缓。现代化的预报、预警、预演、预案等智慧“四预”是实现海河流域智慧水利的核心内容之一，积极探索数字海河智慧“四预”建设路径十分必要。

1　水利信息化现状

1.1　数据资源采集传输情况

截至 2020 年底，已建成了覆盖全流域的雨情、水情、旱情、工情等多专业信息的采集网点，建成涵盖河流、水库、堤防、海堤、蓄滞洪区、控制站、湖泊、水闸、跨河工程、险点险段、机电排灌站、墒情监测站、灌区等 14 类工程数据库，以县为单位的社会经济数据库以及直属工程地理空间库。建立了海河流域气象信息共享平台；建成了水利专网与公网相结合的信息传输系统，实现了水利部、流域机构和流域内 8 省（自治区、直辖市）实时数据交换。

1.2　业务系统情况

海河流域初步建成了以水雨工旱灾情信息采集系统为基础、通信系统为保障、计算机网

络系统为依托、决策支持系统为核心的防汛抗旱指挥系统，基本实现了洪水预报调度的程式化，提高了防洪决策的时效。

国家防汛抗旱指挥系统（海河流域部分）：2005～2007 年和 2014～2016 年先后实施开展了国家防汛抗旱指挥系统一期工程和二期工程建设，开发了综合信息服务、防洪调度、洪灾评估、抗旱业务应用、工情业务应用等系统，为海委及其直属管理局提供了实时雨水工情信息的监控及预警，基础数据、业务数据的查询统计，业务资料管理以及防洪调度计算等功能，是现阶段流域机构开展防汛抗旱业务的主要决策支持，在近年的业务工作中发挥了重要作用。

国家水资源监控能力建设（海河流域）：2012～2014 年和 2016～2018 年，先后实施开展了国家水资源监控能力建设（海河流域）一期项目和二期项目，基本建成取用水、水功能区、省界断面监控体系，建设了信息服务、应急管理、调配决策、业务管理系统，实现了中央、流域和省（自治区、直辖市）水资源管理过程核心信息的互联互通和主要水资源管理业务的在线处理。

海委水情信息业务系统：2010～2013 年完成的“十一五”水文水资源工程水情信息业务系统建设，实现了气象卫星云图接收处理、雷达拼图、台风、未来天气、雨量分析、水文信息查询、汛情监视、超警信息等功能。

海河流域洪水风险图成果应用与管理系统：该系统集成了流域内 78 处风险编制单元的洪水演算成果，以此为基础，开发了漳卫河大名泛区洪水风险实时分析及动态展示系统，实现了对大名泛区雨水情实时监视、入流条件设置、洪水实时计算和洪水计算结果查询与展示等功能，发挥了洪水风险图成果在漳卫河防洪实时调度中的应用。

与此同时，不断完善各级防汛治理体系，强化洪水调度管理，先后制定了永定河、大清河防御洪水方案，以及各河系洪水调度方案和超标洪水防御预案；编制了《海河流域防汛应急响应预案》、《雄安新区起步区安全度汛方案》等流域性防洪预案，以及县、乡、村三级的防御山洪灾害预案，预案体系建设不断加强。

现状工况下，工程措施与非工程措施相结合，基本可防御流域新中国成立以来的最大洪水。

2　存在问题

经过近几十年的治理，海河流域防洪工作已经取得了较大成效，但流域已近 60 年未发生流域性大洪水，水情、工情、社情发生了深刻变化，现有工程体系尚未经历大洪水考验。流域防洪目标点多面广、河系分散，防洪任务重、政治影响大等洪水防御的老问题，同京津冀协同发展、雄安新区建设等重大国家战略对流域防洪格局和防御能力提出的新要求交织，流域洪水防御工作面临巨大挑战，现有防汛抗旱业务系统同新时代智慧水利建设要求不相适应。

（1）站网密度不够，监测能力距现代化要求差距较大。水文站网布局尚未实现对所有防洪任务河流的全覆盖，中小水库监测预警系统不完善，水文监测现代化水平低，技术手段

落后，流量在线监测率仅为 25%。巡测和应急监测体系不完善，尚未建成流域级的水文巡测基地，应急监测设备配置不完善，应急机动监测能力不强。

（2）洪水预测预报技术手段落后，模拟精度低。现有预报方案多为集总模型方案或经验方案，预报模式和模型参数不能及时反映流域下垫面要素动态变化，方案适用性较差，尚未融合雷达测雨信息，局地强降水洪水预报精度不高，并且流域多年没有发生洪水，大中洪水模型参数率定和预报方案修订存在困难。

（3）洪水调度与预报结合不充分，缺乏水工程实际联合调度经验。洪水调度过程中对洪水预报成果以及数字模拟等新技术应用不足，调度方案的灵活性差。流域防洪工程调度权限分散，统一调度难度大，缺乏水工程联合调度方案，模拟分析成果与实际情况还有很大差距，在实际洪水调度中精准化决策的数据支撑不足。

（4）现有业务系统分散，流域智慧化洪水管控水平亟需提升。预报系统与调度系统未一体化整合，现有系统还不适应大数据、云计算、并行计算等新技术要求，软硬件环境需要升级，部分模块计算方法有待改进，可视化展现效果方面有待提升。山洪灾害预警系统老化失修，急需更新换代。

（5）流域下垫面变化剧烈，基础研究及科学实验能力不足。在全球气候变化和人类活动的双重影响下，流域极端水旱灾害事件呈突发、并发趋势，并且产汇流规律复杂，目前对于流域产流、汇流和洪水演进规律缺乏深入研究，不能有效指导流域预测预报技术得到根本性提升。

3 建设路径

智慧“四预”建设作为数字海河的重要建设内容，是提高水旱灾害防御实战能力的重要依托。具体建设过程中要充分利用相关已建系统，完善优化业务流程和功能，深度融合水利业务与信息技术，切实提高预测预报和数字模拟的精准度和时效性。

（1）构建数字流域。以河系为单元，充分运用 3S 技术，获取流域下垫面条件信息，对重点区域嵌套数字地形，对重要水库、堤防、蓄滞洪区等水利工程形成数字影像，构建基于智慧化模拟的数字流场。

（2）健全监测体系。实施水文站提档升级和现代化改造项目，提升水文测站自动化、现代化水平；加强水文巡测基地建设，在太行山、燕山山前平原区重点河道增设临时监测断面，建立空天地一体化的立体水文监测体系，提高流域监测体系的覆盖度、密度和精度。建设水安全保障智慧监控工程，对规模以上水库大坝、堤防的渗漏、变形等重点风险要素进行在线监测。

（3）建设互联互通高速信息网。在现有防汛骨干网的基础上，充分利用公网资源，适当建设水利专网，扩展网络覆盖范围，提升链路带宽，建设完善覆盖各级单位的高速水信息传输网络，利用光纤、5G、卫星等技术提升信息采集传输能力，完善应急通讯手段，重点加强基层单位和站点接入，实现流域内各级水利单位网络全覆盖和高速互联。

（4）建设流域大数据中心。着力整合水文、水工程、经济社会等资料，建设标准统一

的基础数据库，形成洪水防御大数据资源池；整合已有的信息化基础设施，建设云计算基础设施，提供统一的基础软件运行支撑及标准化的数据服务、地图服务、模型算法服务等。

（5）建设智能应用系统。统筹考虑预报、预警、预演、预案业务需要，梳理业务之间的协同关系，应用数字模拟等新技术，构建智慧业务应用系统，实现流域监管精细化、业务处理协同化、调度决策智能化、水利服务社会化。

（6）建设流域智慧调度中心。以数字流域、监测体系、高速信息网络传输和智能应用系统为基础，基于已有的水利业务调度控制物理环境，搭建海河流域调度控制中心、各级调度控制分中心、水工程工控室，形成从流域机构至基层管理单位的多级联动的流域智慧调度控制网，为流域各级管理单位的业务协同、调度管理提供工作环境和工作平台。

4 结语

21 世纪初，我国第一部以大江大河流域为单元的信息化规划《数字海河流域总体规划》编制完成，较早时间提出了“数字海河”概念，经过多年建设，流域初步建成了防汛抗旱指挥系统、水情信息业务系统、国家水资源监控能力建设（海河流域）、海河流域洪水风险图成果应用与管理系统，信息化建设取得了丰硕的成果，成为现阶段流域水旱灾害防御的决策依据。但是，十九届五中全会对水利改革发展提出了更高要求，明确水旱灾害防御要能做到“四预”，从新发展阶段来看，智慧水利成为水利高质量发展标志。

海河流域内有北京、天津、雄安新区、北京市城市副中心等重要防洪保护目标，水资源需求大，流域水旱灾害防御工作任务重，现阶段流域水旱灾害防御决策支持系统与新时期的现代化要求相比，仍有不少差距。水管理智慧化建设是个新兴概念，尚处于起步阶段，如何开展智慧化的整体建设尚需进行不断地实践探索。本文以有序推进、资源共享、先进创新、深化应用、统一标准为指导思想，构建海河流域水利信息化发展体系，提出构建数字流域、健全监测体系、建设互联互通高速信息网、建设流域大数据中心、建设智能应用系统、建设流域智慧调度中心的数字海河智慧“四预”的建设路径，着力解决感知层信息采集数据源和数字模拟准确性的问题，探索了全面提升流域水旱灾害防御现代化调度指挥能力的方法。

参考文献

[1] 赵立坤，郭书英.基于水管理对象的数字流域顶层设计技术方法研究[J]. 中国水利.2012.14：25-28.
[2] 杨井泉.海委水利信息化机遇与发展[J]. 海河水利.2011（2）：67-70.
[3] 范国辉，李巍，柳林.海河流域水利信息化建设初探[J]. 海河水利.2011（3）：66-68.
[4] 杨凯.海河下游管理局水利信息化的分析与研究[J]. 水利信息化.2015（1）：20-23.
[5] 康蛇龙.建设数字海河系统的意义及技术条件[J]. 水科学与工程技术.2007：62-64.

智慧水闸建设思路探讨

王　磊　　张大鹏　　阚向楠

（沂沭泗水利管理单位水文局（信息中心），徐州 221009）

摘要：按照新时期工程管理现代化和精细化的要求，提出研究开发水闸工程管理信息系统，全面实现水闸技术管理的数字化、网络化，具体表现为工程管理全过程信息的存储、管理、统计、检索、查询及维修养护项目的申报、审批和监管，利用先进的标签、微信及数据魔方技术、实现设备的全寿命周期管理，以提高工程管理工作效率，降低管理成本，实时掌握工程信息，有效地规范日常管理行为，创新符合水利现代化建设要求的工程管理新方式，有效地规范水闸管理单位日常管理行为，提高工程管理水平和效率。

关键词：工程；管理系统；系统；建设；探讨

长期以来，水利工程管理手段较为传统和粗放，工程管理过程控制不规范，没有形成流程化管理；形成的工程档案和信息大都以纸质保存，信息收集保存不及时，查询不方便，检索不直观，不能实时全面了解工程管理信息，对管理过程情况的检查、监督不能及时到位；项目的申报、审批程序较为繁琐，办事效率不高。

按照新时期工程管理现代化和精细化的要求，提出研究开发智慧水闸管理信息系统，全面实现水闸技术管理的数字化、网络化，具体表现为工程管理全过程信息的存储、管理、统计、检索、查询及维修养护项目的申报、审批和监管，利用先进的标签、微信及数据魔方技术、实现设备的全寿命周期管理，以提高工程管理工作效率，降低管理成本，实时掌握工程信息，有效地规范日常管理行为，创新符合水利现代化建设要求的工程管理新方式。

1　系统构建目标及原则

智慧水闸系统建设目标主要包括以下几点：一是水闸管理规范化。在水闸管理平台实际运行阶段，采取了精益生产的管理思想，尽可能实现设备精细化管理，并做到设备维护作业的全面开展，以便提高设备管理效率和质量。同时在信息有效共享下，能为工作人员设备运行情况的的分析提供有关指标。二是管理业务流程化。将设备管理平台应用在实际工作中，可提高设施运作环节的流程化，即是在具体运作时按照规范标准执行各项操作。例如，在平台发出指令后，各设备能自动调拨、分配及出库等。三是资源集中化。在进行设施管理时，要确保各类资源的有效整合，根据设备资源安排方案采取调度处理，以便做到资源的科学配置，为设施管理工作高质量开展加以保障。在系统设计原则方面，应满足业务需求原则，从水闸基础设施管理要求角度出发，确保在对客户需要的业务信息进行分析的基础上，提高管理系统适用性。同时还应满足统一规划这个原则，管理系统建设主要采取分步实施、统一规划的设计原则，在对设备管理整体要求和管理体系有所掌握的条件下，逐步进行管理平台的建设，体现平台建设中的一体化原则。

2　系统整体框架

在进行管理系统整体框架分析时，可发现智慧水闸建设主要包括信息数据中心、数据服务集群、水闸管理系统、应用服务集群以及收费系统等部分，通过借助网络系统的数据传递作用，能保证数据及时传输到服务器上，进而执行各项管理操作。管理人员利用管理系统，合理开展任务执行、设备维修等作业，在执行一系列操作行为的同时将产生大量数据信息，而系统收集到的数据将通过传输接口上传至管理中心云平台上，这时工作人员可根据信息反应的设备运行情况，有针对性的规划设施管理方案，是管理平台应用价值的体现。管理中心借助管理平台作用，能随时查看平台上的数据信息，并在网络系统中发布会议通知、维修任务等信息，同时，信息的及时传输还能保证管理人员全面掌握其业务范围内的数据，并进行报表统计，为之后设备运维工作的开展提供保障。

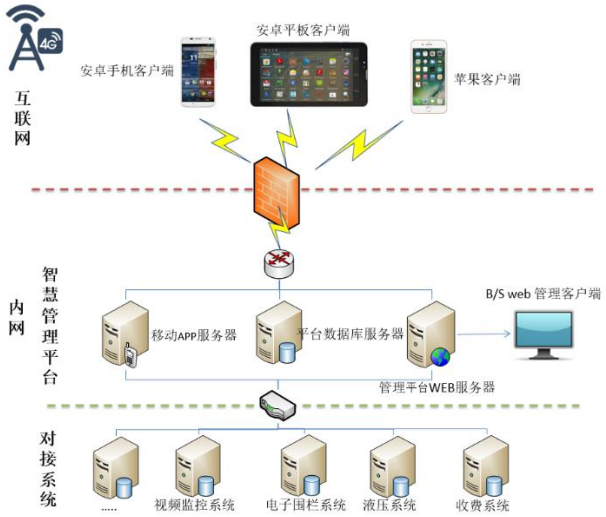


图 2-1　系统层次结构

这一系统设计主要包括四层架构，分别包括以下几种：一是互联网层，指的是用户能通过使用无线或 4G 网络来访问管理服务器。二是智慧管理平台，该平台包括数据库服务器、移动软件服务器等，利用数据库储存设备运行信息，并在系统内部进行数据处理等。其中移动软件服务器，可提供软件访问接口，设备运行阶段产生的数据都将储存在这一服务器中，在实际设计这一服务器时，应通过开放互联网端口实现，并在接口处进行数据交换。三是管理平台服务器可为管理人员提供操作界面，从而实施网页登录、巡检计划设定以及发布操作指令等操作。四是其余系统的对接，管理中心目前实现了水闸管理系统、监控系统、收费系统以及液压系统的对接，将这些系统与接口连接起来，进而将各类业务数据整合到管理平台中。

3　软件系统解决方案

在进行该管理平台的软件系统设计及构建时，应主要从以下功能着手合理设计：一是账号登录及退出界面的设计。当用户输入正确的账号信息后，可进入系统中开展管理工作，账号及密码应在后台数据库中储存并分发配置，从而保障账户安全性。二是对水闸运行状态的管理。为了实时监控水闸运行状况，则需要借助视频监控系统、液压系统等功能系统的作用，

将这些系统与数据传输接口对接起来，以便保证设备运行数据呈现在移动设备上。并且系统内功能模块在接收到相关信号信息后，将自动对其进行分析，当水闸运行过程中存在故障问题时，管理系统间在接受故障信号后发生预警，进而保证在管理系统作用下，真正实现智慧化管理。以液压系统为例，管理平台收集该系统数据后，如果不存在异常情况，则界面显示正常，异常状态下将发出报警信号。对于智慧水闸来说，是智慧水闸整体运行、管理及调度执行单位，负责一定范围内的工程管理及日常调度运行等。在设计组织架构时，应能在功能界面显示出部门职工数量、部门名称、自动拨打电话等内容，当用户点击任一部门时，则系统将为其提供职工信息，包括姓名、岗位职能、电话等基本信息，并且在点击拨打电话按钮后，能实现自动拨打电话。而在考勤方面，可通过点击考勤按钮，进一步查看打卡日期，在考勤界面，系统将实现拍照功能，并自动定位员工位置信息。

在培训及反馈这一系统功能上，管理人员主要是在信息平台上发布培训方案及日期通知后，用户终端将接收到相关信息，这时用户打开培训界面，则系统将推送数据库中的培训方案等，并提供有关培训信息，用户可点击有用信息查看详情，并在接收信息后点击确认按钮。在会议管理功能上，工作人员可在系统平台发布系统信息，当用户接收信息后，可确认已签收，方便管理人员掌握信息传达情况。另外，管理平台还应具有文件流转功能，在相应功能模块作用下，管理人员可将文件上传至系统后台，并且系统将直接形成文件传输列表，之后用户可进行文件流转或查看等操作。从设备管理角度出发，当管理人员将设施型号、规格等信息输入后台后，系统将为各个系统安排其对应编号，同时打印体现设备类型的标签。在设备信息记录完成后，移动终端用户能在设备管理界面，查看数据库中包括的设备信息，并且用户可通过扫描二维码，进一步收集设备相关信息。处理设备基础信息外，系统该将为用户提供各设备运行状态、安全等级等详细信息，有利于管理工作的高效开展。另外，在等级鉴定方面，为了确保智慧水闸稳定运行，则需要对设备等级有所掌握，用户可点击界面按钮获取设备等级界面，之后可将重新鉴定得到的设备等级输入对话框中，从而系统数据库中将储存设备新的等级信息。在对上述软件系统进行合理设计的基础上，能为管理系统运行功能的发挥奠定基础。

4 硬件解决方案

这一管理平台主要包括多个服务器硬件设施，具体为台负载服务器、台数据库服务器、台应用服务器等，其中应用服务器与数据库服务器可分开使用，在受到资源限制时，可在同一管理平台下结合运用。在对服务器进行说明时，可发现移动端应用在与应用服务器连接后发挥作用，管理平台中负载服务器由两个应用服务器共同组成服务群；而数据库服务器主要由两个服务器构成。为了达到理想的服务器应用效果，有必要注重服务器安装内容、配置要求的合理设置，以应用服务器为例，该管理平台对应的应用服务器主要配置包括 CPU 核心、CPU 频率、本地磁盘以及内存等，其中 CPU 核心配置要求为 8 核、CPU 频率为 1.86GHz 以上、内存为 32G、本地磁盘内存要求为 1024G。要求系统设计人员能结合项目运行情况，合理设置数据库储存容量，以便保证数据信息的全面收集。具体来说，管理平台整体运行效果与其

硬件设计情况有紧密联系，因此，应重点关注数据库服务器、应用服务器以及负载服务器等硬件设施的设计，以便充分发挥管理平台在设备运行管理及维护等方面的应用价值，有利于加大管理中心对设备运行信息的实时把握，进一步提高管理质量。

5 结语

按照新时期工程管理现代化和精细化的要求，研究开发水闸智慧管理系统，为工程管理全过程信息的存储、管理、统计、检索、查询及维修养护项目的申报、审批和监管提供支持，实时掌握工程信息，提高工程管理过程规范化，提高信息化水平实现办公无纸化，提高工作人员工作效率。实现信息资源共享、深度挖掘水利信息资源等应用提供科学的技术基础，进而促进管理单位水利信息化建设，促进新技术的研发应用，有效解决管理单位人员不足，各种涉河湖活动特别是采砂、岸线利用、建设项目、圈圩围垦涉水事件难以及时发现和处理的难题，提高水利工程管理业务工作效率，为防洪安全管理、维护河湖健康生命提供技术保障。

基于 CFD 的对液体喷施装备飘逸流场的研究

徐奕蒙[1]　王　磊[2]　王天奕[2]　陈　俊[2]　邢方亮[2]　郭泽斌[2]

（1.珠江水利科学研究院，广州 510610；2.珠江水利科学研究院，广州 510610）

摘要：针对早期农田施水喷雾机漂移量对整体喷雾效果的影响过大这一问题，模拟喷雾机作业时的流场，通过 CFD 探究喷雾机在移动时的飘逸距离变化规律，同时建立飘逸距离与行进速度的关系。结果表明：喷雾机在工作过程中，随着行走速度的增加，一方面扩大了喷雾机流场的作用范围，对雾滴的均匀分布和沉积十分有利，另一方面过大的车速增加了流场的漂移量和漂移距离，因此选择适当的车速对提高喷雾机的工作效率和喷雾效果十分有利；随着车速的增加，漂移量随之变大，一定车速但不同高度下的漂移量也不近相同，当车速小于 0.5 m/s 时，流场漂移太小可忽略，车速大于 2.0 m/s 时喷雾机的流场高度小于 5 m，即漂移比较严重，通过 CFD 动网格技术建立了流场漂移距离与行走速度的模型：在车速为 0.5 m/s—2.0 m/s 时，随着车速的增加，漂移距离也逐渐递增，漂移距离的增幅由先是递增而后逐渐递减。

关键词：计算流体动力学（CFD）；动网格技术；流场漂移；喷雾机

0　引言

近年来，我国农业发展迅速，智能化喷雾机是设施农业中用到的重要器械，CFD 技术在喷雾机的设计和喷雾技术的发展起到了重要的作用。空气流体力学中，G.Pergher 等的研究表明距离出风口距离越远则最大速度下降越多[1-4]。K Kim 等(2008)利用计算流体动力学技术对温室中的气流循环进行了模拟分析，结果表明出风口的高度对雾滴沉积模型有显著的影响[5-14]；温室中，影响喷雾机流场的因素较多研究人员也对其影响因素进行了探究(孙国祥等 2012;祁力钧等 2013)。同时，作者还利用动网格技术对烟雾机在行走过程中流场的分布进行了初步研究，模拟结果表明烟雾机产生的回旋涡流有助于雾滴在温室中的均匀分布[15-18]。喷雾机不仅要求喷雾作业质量好，而且喷施效率也应提高，风送喷雾机的行走速度对喷雾质量和效率影响较大，因此研究喷雾机行走速度对于喷雾作业的影响规律至关重要。由于风送式喷雾机实际工作过程中并非静止不动，而且实际检测不同种植模式下喷雾机的最佳行走速度，研究喷雾机行走速度对喷雾流场和雾滴沉积模型的影响规律成本高、精度低、劳动强度大、可操作性差。针对这种情况国内已开始运用动网格技术对喷雾机行走过程中的气流场进行了探究[19-22]，但仅局限在二维状态下(李慧 2014)，因此采用 FLUENT 的动网格技术在三维状态下对风送喷雾机在不同行走速度下的动态流场进行模拟，研究流场飘逸距离与喷雾机行进速度的关系，针对不同种植模式确定喷雾机的最佳行走速度，并搭配以适当的喷雾策略，以期为精准施药的动态控制提供理论依据。

1　几何建模

在 ANSYS DesignModeler 中建立如图 1 所示的动态模拟几何模型，将喷雾机简化成图 1 内部所示的厚度为 0.15 m、半径为 0.7 m 的半圆体，将半圆体的轴中心位置作为坐标原点，

半圆体厚度方向作为 Z 坐标轴，坐标范围为-2.0~12.0 m，模型高度方向作为 Y 坐标轴，坐标轴范围为-0.5~4.5 m，水平方向作为 X 坐标轴，坐标轴范围为-2.0~2.0 m，图 1 外部为喷雾机的行走区域。将建好的模型进行网格划分，然后导入到 FLUENT 中。

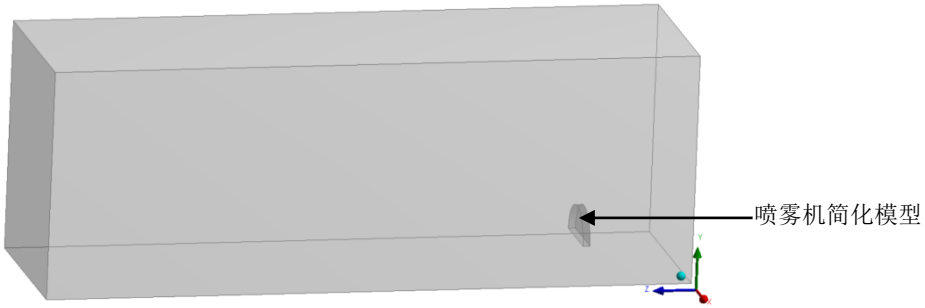


图 1　模拟几何模型

Fig.1　Simulation of regional geometric model

2　初始条件的设定

模型流体区域的连续相介质设置定为空气“air”，将半圆体的圆环面设定为速度进口“velocity inlet”， 半圆体的两个半圆和流体区域下表面设置定为墙面“wall”，半圆体下面和的模拟区域其他表面设定为压力出口“pressure outlet”，模拟区域内部设置定为内部域“interior”，边界的湍流强度“Tubulent Intensity”由式 1 确定，边界的水力直径“Hydraulic Diameter”由式 2 确定，在一般设置（General）中打开重力加速度，重力加速度的方向沿 Y 轴负方向，大小为 9.81 m/s2。

$$I = 0.16 R_{\mathrm{e}}^{-\frac{1}{8}} \qquad (1)$$

$$D = \frac{A}{P} \qquad (2)$$

式中：I——湍流强度，%；Re——雷诺数；D——水力直径，m；A——截面积，m²；P——周长，m。

解算器设置为基于压力“pressure-based”的非稳态解算器“Transient”，求解模型为二方程湍流模型“K-epsilon”的标准模式“Standard”，壁面处理选择标准墙功能“Standard Wall Functions”同时为保证计算精度，打开能量方程“Energy”和能量交换方程“Species Model”的能量传输“Species Transport”。

3　动网格的设定

FLUENT 中的动网格技术是用来计算流体区域或边界随着计算的进行而变化的情况，也可以计算物体在流体区域内的移动问题，比如风扇的转动、子弹的运动、车辆的交汇、气球充放气的过程等。FLUENT 动网格模型在计算过程中会自动调整网格和节点，动网格模型的应用目前主要停留在二维问题上，三维动网格问题的应用还比较少，但对三维动网格理论研究相对较多。

在 profiles 中设定好边界的运动参数，profiles 中定义喷雾机的行走方向沿着 Y 轴正

向，在边界条件设置中将 profiles 文件导入到 FLUENT 中，FLUENT 中创建的运动区域即为喷雾机模型。将动网格模型（Dynamic Mesh）打开，对动网格模型参数进行如下设定。

（1）选择弹性光顺模型（Smoothing）和局部网格重构模型（Remeshing）为动网格模型。

（2）弹性光顺模型设置。弹性光顺模型适用于任何一种网格，参数设置的不同对动网格的变化影响较大，不合理的参数会增大网格的畸变率。边界点松弛因子由 0 至 1 表示边界上的节点受运动边界约束越来越小，因此将边界点松弛因子应设置为 0.5，其他值为默认。

（3）局部网格重构的设定。局部网格重构在三维网格中仅适用于四面体网格，二维网格仅适用于三角形。在计算过程中若畸变率大于设定的值，或网格尺寸落在了最大值与最小值外侧，则网格会被标记，所有被标记的网格在测试后会被重新划分，以改善网格质量，若仍不能满足则会被继续使用重构前的网格。最大畸变率设定为 0.8，最小网格尺寸设定为 0.1m，最大网格尺寸设定为 0.5 m，其余为默认值。

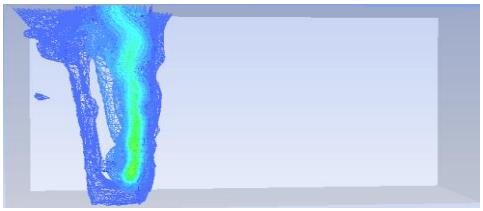
（4）在区域名字（zone names）中依次选择运动区域的边界，将运动区域设定为刚体运动（Rigid Body），并在 Motion UDF/profile 选择导入的 profile 文件，并输入其重心坐标和方向。

4 模拟结果的分析

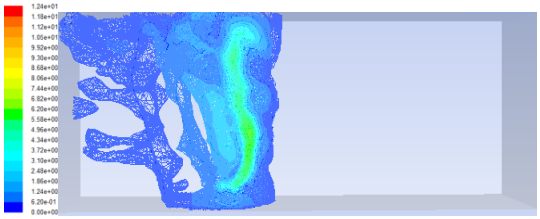
如图 2 为喷雾机在不同行走速度下的流场分布情况，图 2（a）为喷雾机静止时的流场，（b）（c）（d）（e）（f）为 t=3.5 s 时喷雾机在不同行走速度下形成的流场。在喷雾机静止时，流场不发生漂移，整个流场基本关于出风口中心面对称，当行走速度为 0.5 m/s 时，喷雾机的流场向后上方发生轻微的漂移，随着车速的增加，流场的漂移逐渐扩大，当车速达到 2.0 m/s 时喷雾机的流场在达到 5 m 高度之前就整体向后上方漂移，即此时流场所能达到的高度小于 5 m。

不同行走速度下，流场产生的漂移量和漂移距离也不同，流场的漂移量和漂移距离随着行走速度的增加而逐渐增大；在同一行走速度下，自流场下部至上部的漂移范围也逐渐扩大。如图 3 为喷雾机行走速度为 0.5 m/s 和 1.4 m/s 情况下在不同时刻的流场分布情况。

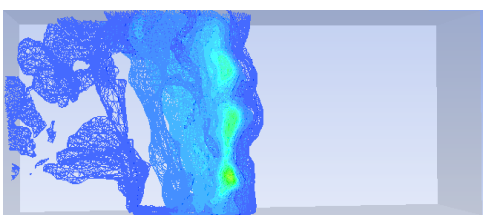
（a）v=0 m/s



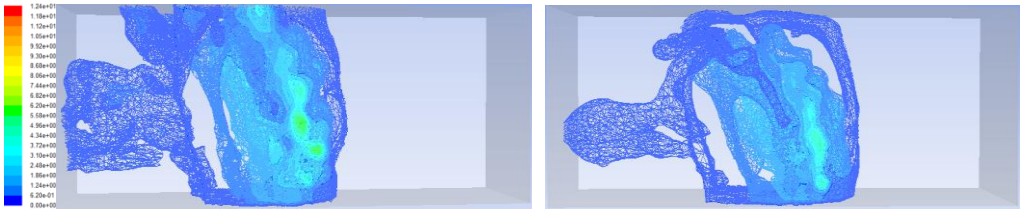
（b）t=3.5 s，v=0.5 m/s



（c）t=3.5 s，v=1.1 m/s



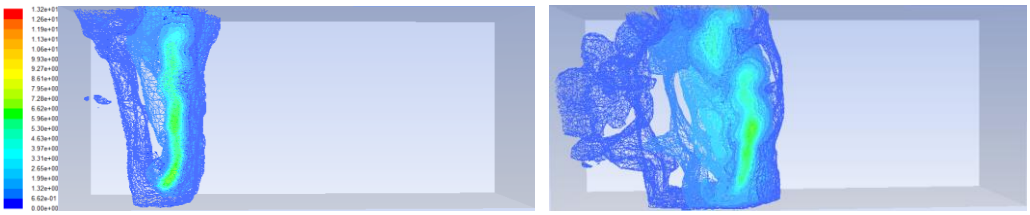
（d）t=3.5 s，v=1.4 m/s



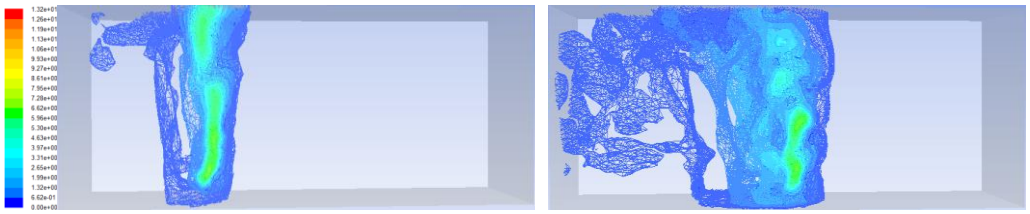
（e）t=3.5 s，v=1.7 m/s　　（f）t=3.5 s，v=2.0 m/s

图 2　不同行走速度下的流场

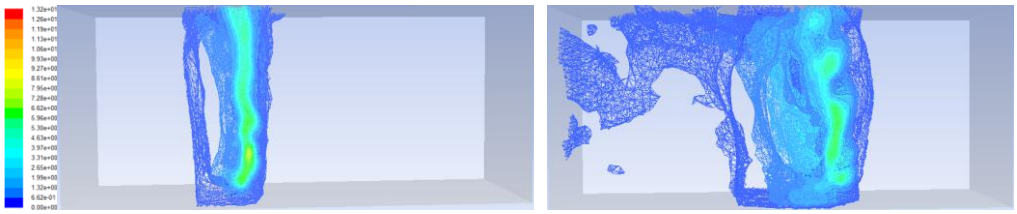
Fig.2　airflow distribution at different walking speeds



（a）t=3.0 s，v=0.5 m/s　　（d）t=3.0 s，v=1.4 m/s



（b）t=5.0 s，v=0.5 m/s　　（e）t=4.0 s，v=1.4 m/s

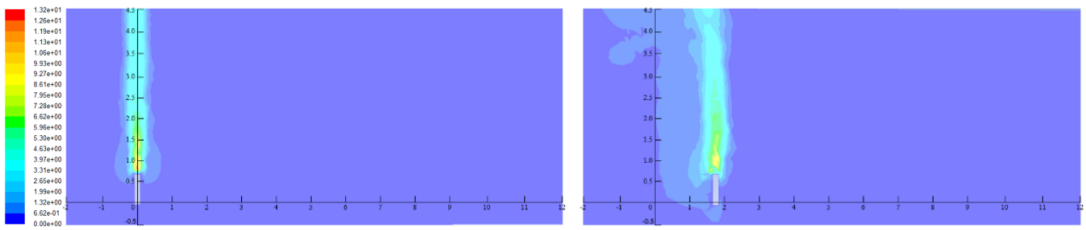


（c）t=7.0 s，v=0.5 m/s　　（f）t=5.0 s，v=1.4 m/s

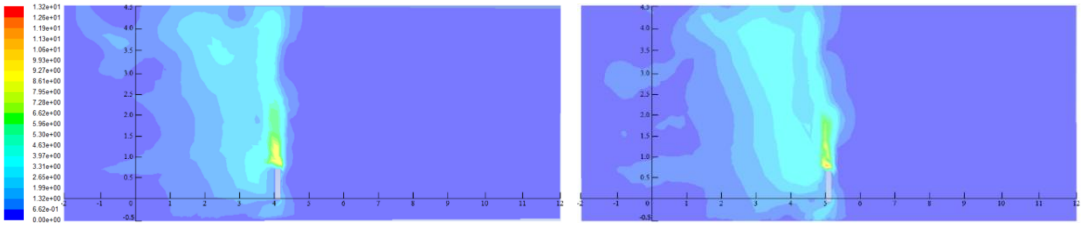
图 3　不同行走速度不同时刻的流场

Fig.3　airflow distribution at different walking speeds and different time

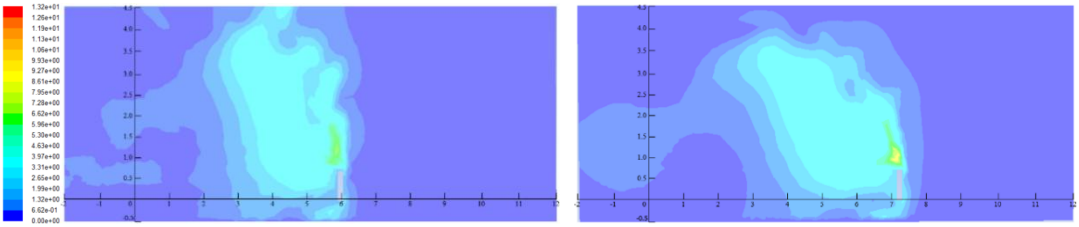
如图 4 为同一时刻下喷雾机行走速度为 0 m/s、0.5 m/s、1.1 m/s、1.4 m/s、1.7 m/s、2.0 m/s 时，在 x=0 m 截面上的速度云图。由图可知，喷雾机在行走过程中形成的流场会向后发生漂移，当喷雾机行走速度增加时，漂移量和漂移距离也逐渐的增加；在同一行走速度下，随着在高度的增加，漂移量和漂移距离也逐步扩大。



（a）x=0 m，v=0 m/s　　（b）x=0 m，v=0.5 m/s



（c）x=0 m，v=1.1 m/s　　（d）x=0 m，v=1.4 m/s

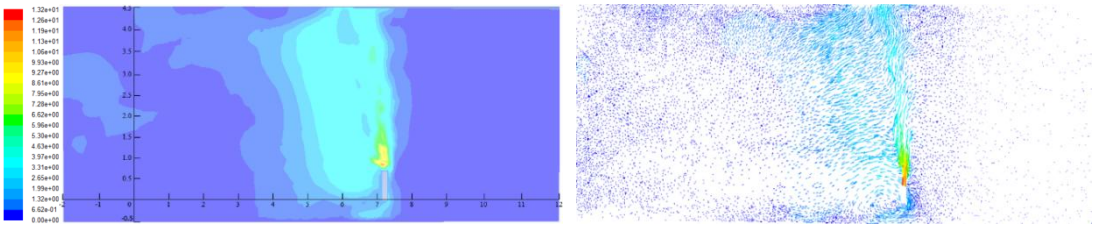


（e）x=0 m，v=1.7 m/s　　（f）x=0 m，v=2.0 m/s

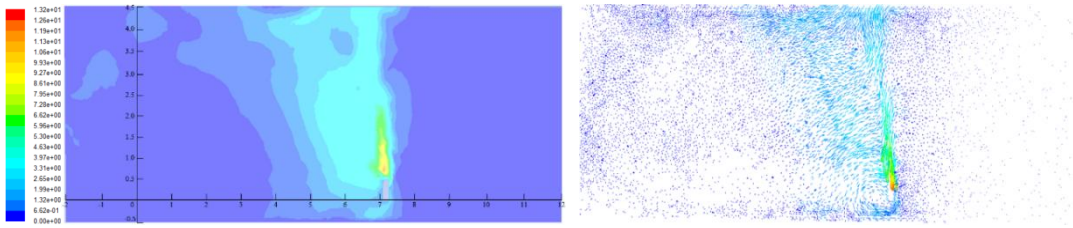
图 4　不同行走速度下在 x=0 m 截面的速度云图

Fig.4　Speed cloud map at x=0 m cross section at different walking speeds

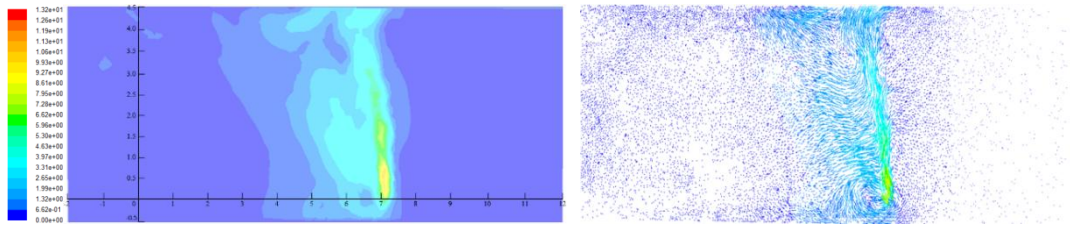
在流场的不同截面，产生的漂移不同。如图 5 为喷雾机行走时间为 5.0 s、行走速度为 1.4 m/s 时，在喷雾机行走方向的不同截面（由于流场关于 x=0 m 对称，现只对一侧进行分析）的速度云图和矢量图。由图可以看出，流场在对称中心 x=0 m 漂移最大，由中间向两侧漂移量和漂移距离逐渐减小，喷雾机产生的气流向后上方流动。



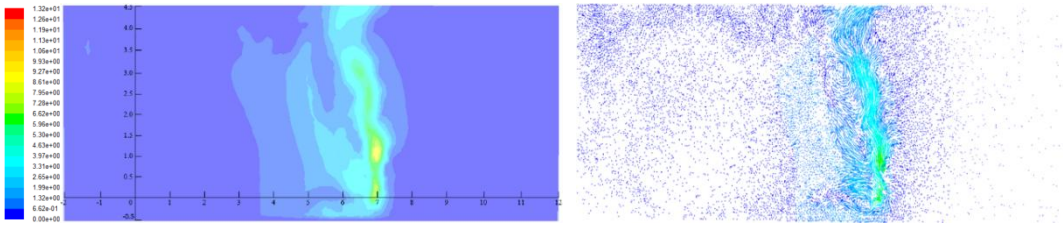
（a）x=0 m 速度云图　　（b）x=0 m 速度矢量图



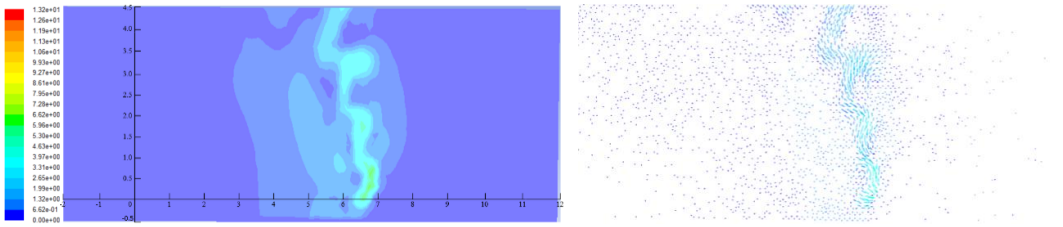
（c）x=0.5 m 速度云图　　（d）x=0.5 m 速度矢量图



（e）x=1.0 m 速度云图　　（f）x=1.0 m 速度矢量图



（g）x=1.5 m 速度云图　　（h）x=1.5 m 速度矢量图

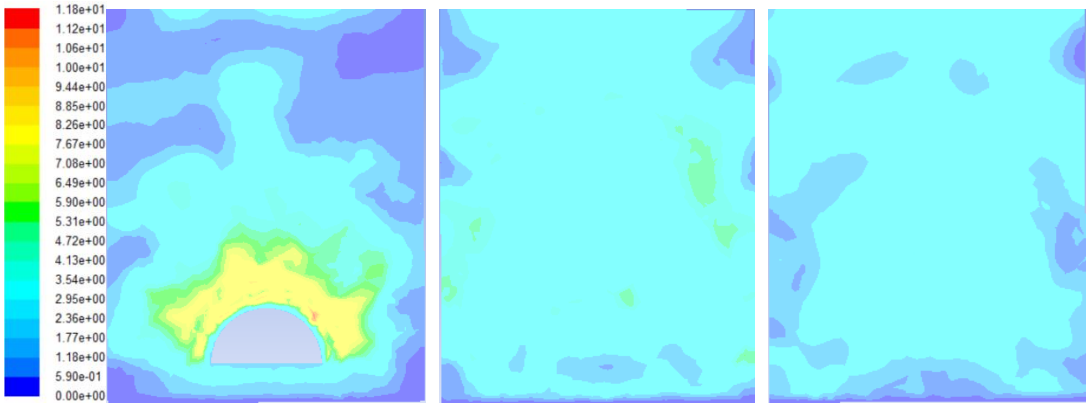


（i）x=2.0 m 速度云图　　（j）x=2.0 m 速度矢量图

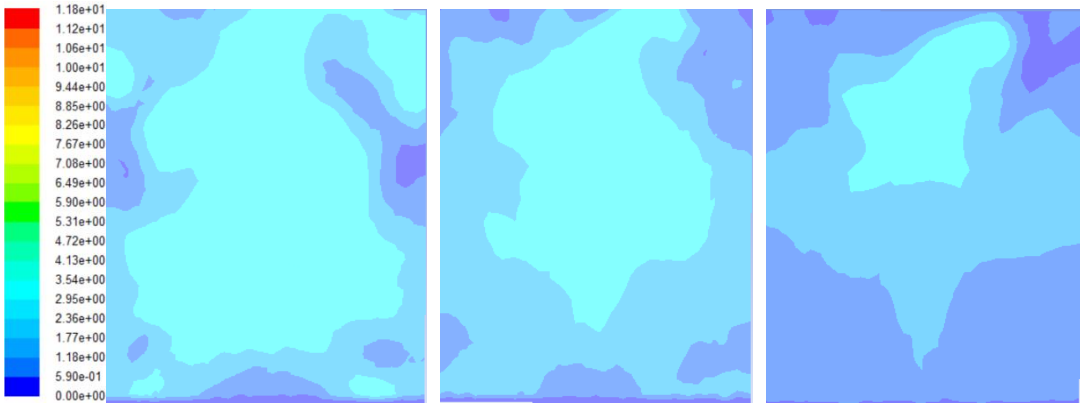
图 5　v=1.4 m/s 和 t=5.0 s 时不同界面的速度云图和矢量图

Fig.5　Speed cloud map and Vector illustration of different interfaces at v=1.4 m/s and t=5.0 s

如图 6 是喷雾机行走速度为 1.4 m/s 和行走时间为 5.0 s 时与扇叶平面平行的不同截面的流场分布图。当 t=5.0 s 时，喷雾机行至 z=7 m 的截面，自 z=7.0 m 至 z=4.5 m 截面上流场的变化由图可以看出，流场的作用范围先是增大，而后随着距离的增加喷雾范围逐步减小，且气流的最大值逐渐上升，即喷雾机在行走过程中，流场逐渐向后上方漂移。



（a）z=7.0 m，v=1.4 m/s　（b）z=6.5 m，v=1.4 m/s　（c）z=6.0 m，v=1.4 m/s



（d）z=5.5 m，v=1.4 m/s　（e）z=5.0 m，v=1.4 m/s　（f）z=4.5 m，v=1.4 m/s

图 6　t=5.0 s 时各截面的速度云图

Fig.6　Speed cloud map of each section at t=5.0 s

当喷雾机形成的流场衰减到一定程度时，气流不在对雾滴具有携带雾滴的功能，即雾滴的分布不在受流场的影响。喷雾机在行走过程中流场会向后形成漂移，并随着行走速度的增加漂移也逐渐扩大，上述仿真可知，整个流场的分布关于 x=0 m 对称，且在该平面产生的漂移最大。为进一步研究流场的漂移，并为喷雾机的变量动态控制提供理论支持，现对各行走速度漂移量进行研究。

喷雾机在静止状态下，流场关于 z=0 m 对称，随着车速的增加，流场逐渐向后移动。为进一步研究流场的漂移，当向后的流场超过了静止状态下的流场作用范围时，认为是流场发生的漂移。因此将自喷雾机静止状态下流场的作用距离至该车速下流场风速大于 0.8 m/s 的距离定义为该风速下的漂移距离。由模拟可知，静止状态下喷雾机向后测风送的距离为 0.6 m，当车速小于 0.5 m/s 时，流场漂移距离太小可忽略，车速大于 2.0 m/s 时喷雾机的流场高度小于 5 m，即漂移比较严重，因此通过 CFD 动网格技术得到了如图 7 所示的喷雾机行走速度与漂移距离的关系曲线。

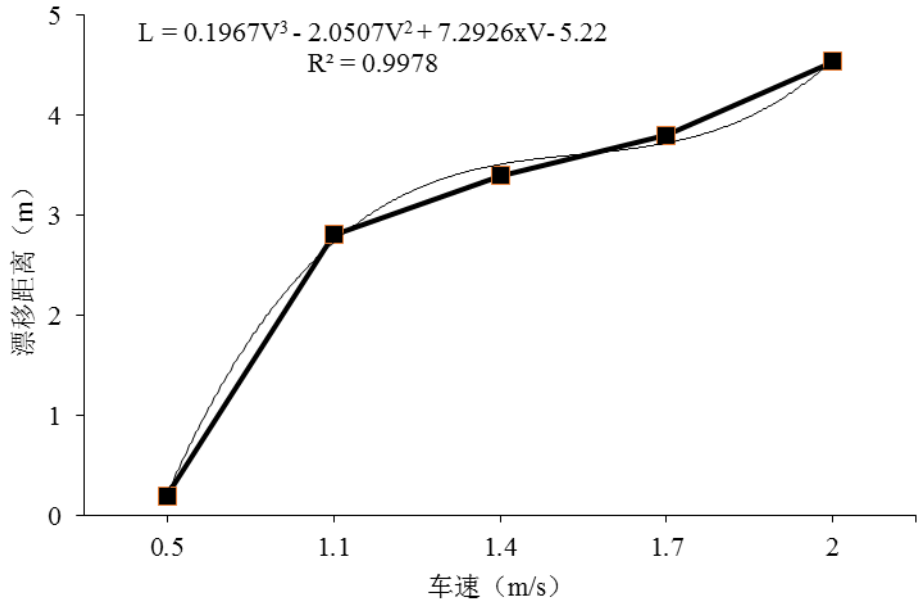


图 7　车辆行走速度-漂移距离关系

Fig.7　Travel speed-drift distance relationship

通过数据分析处理，得到了如式 3 所示的流场漂移距离与行走速度的关系曲线：

$$L = 0.1967V^3 - 2.0507V^2 + 7.2926V - 5.22 \quad (3)$$

式中 L—漂移距离 （m）；V—喷雾机行走速度 （m/s）；

对该函数的一阶导函数和二阶导数分别为：

$$L' = 0.5901\mathrm{V}^2 - 4.1014\mathrm{V} + 7.2926 \quad (4)$$

$$L'' = 1.1802\mathrm{V} - 4.1014 \quad (5)$$

由曲线图和函数分析可得：在车速为 0.5 m/s—2.0 m/s 时，随着车速的增加，漂移距离也逐渐递增，漂移距离的增幅由先是递增而后逐渐递减。

因此在喷雾机作业过程中，可以通过实时检测喷雾机的行走速度得到流场的漂移情况，以此来调整喷头的流量，实现变量喷雾，为喷雾机的自动化控制提供理依据。

由上述喷雾机静止状态下及行走过程中的流场分布规律可以发现：喷雾机在工作过程中，随着行走速度的增加，一方面扩大了喷雾机流场的作用范围，对雾滴的均匀分布和沉积十分有利，另一方面过大的车速增加了流场的漂移量和漂移距离，因此选择适当的车速对提高喷雾机的工作效率和喷雾效果十分有利。

5　结论

基于 CFD 的动网格技术，对喷雾机在不同行走速度下的动态流场进行了模拟，得出结论如下：

（1）喷雾机在工作过程中，随着行走速度的增加，一方面扩大了喷雾机流场的作用范围，对雾滴的均匀分布和沉积十分有利，另一方面过大的车速增加了流场的漂移量和漂移距

离，因此选择适当的车速对提高喷雾机的工作效率和喷雾效果十分有利。

（2）流场的分布规律受喷雾机行走速度的影响明显，当车速小于 0.5 m/s 时，流场漂移太小可忽略，车速大于 2.0 m/s 时喷雾机的流场高度小于 5 m，即漂移比较严重，通过 CFD 动网格技术建立了流场漂移距离与行走速度的模型：在车速为 0.5 m/s—2.0 m/s 时，随着车速的增加，漂移距离也逐渐递增，漂移距离的增幅由先是递增而后逐渐递减。

（3）建立了流场漂移距离与行走速度的模型，为喷雾机的自动化控制和高效对靶提供理依据。因此在喷雾机的智能化和自动化控制过程中，可以通过实时检测喷雾机的行走速度得到流场的漂移情况，以此来调整喷头的流量，实现变量喷雾。

参考文献

[1] G.PERGHER,R.GUBIANI,A comparison of methods for assessing vertical spray distributions from air‐assisted sprayers,EPPO Bulletin,Volume 27, Issue 2-3.

[2] H.GÖHLICH,H.GANZELMEIER,G. BÄCKER,Air‐assisted sprayers for application in vine, orchard and similar crops,EPPO Bulletin,Volume 26, Issue 1.

[3] J V. Cross,A M. Berrie，Field evaluation of a tunnel sprayer and effects of spray volume at constant drop size on spray deposits and efficacy of disease control on apple，Annals of Applied Biology,Volume 127, Issue 3.

[4] Julián Sánchez‐Hermosilla,Víctor J Rincón,Francisco Páez,Francisco Agüera,Fernando Carvajal,Field evaluation of a self‐propelled sprayer and effects of the application rate on spray deposition and losses to the ground in greenhouse tomato crops,Pest Management ScienceVolume 67, Issue 8.

[5] Mac Nichol A Z, Teske M E, J W Barry. A technique to char-acterize spray deposition orchard and tree canopies [J]. Transac-tions of the ASAE,1997 , 40(6): 1529-1536.

[6] Endalew M, Debaerb C, Rutten N, et al. A new integrated CFD modelling approach towards air-assisted orchard spraying-Part I. Model development and effect of wind speedand direction on sprayer airflow[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 71(1): 128-136.

[7] Endalew M, Debaerb C, Rutten N, et al.A new integrated CFD modelling approach towards air-assisted orchard spraying-part II: Validation for different sprayer types[J]. Computers and Electronics in Agriculture,2010 , 71(1): 137-147.

[8] Nuyttens D, De Schampheleire M, Baetens K , et al. Drift from field crop sprayers using an integrated approach: Results of a year study[J]. Transactions of the ASABE,2007,56 (2): 161-173.

[9] Delele M A, Jaeken P, Debaer C, et al. CFD prototyping of an air-assisted orchard sprayer aimed at drift reduction[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2007,55(1):16-27.

[10] Delele M A, Moor A De, Sonck B, et al. Modelling and validation of the air flow generated by a cross flow air sprayer as affected by travel speed and fan speed[J]. Biosystems Engineering,2005 ,92(2): 165-174.

[11] Tsay J, Fox R D, Ozkan H E, et al. Evaluation of a pneumatic-shield spraying system by CFD simulation[J].Transactions of the ASAE, 2002,45 (1): 47-54.

[12] Baetens K, Nuyttens D, Verboven P, et al. Predicting drift from field

spraying by means of 3D computational fluid dynamics model[J].Computers and Electronics in Agriculture, 2007, 56(2): 161-173.
[13] Bykov V, Goldfarb I, Gol'dshtein V, et al. System decomposition technique for spray modelling in CFD codes[J]. Computers and Fluids, 2007, 36(3): 601-610.
[14] Sidahmed M M, Brown R B. Simulation of spray dispersal and deposition from a forestry airblast sprayer-part Ⅱ:droplet trajectory model[J]. Transactions of the ASAE,2001, 44(1):5-17.
[15] 王景旭，祁力钧，夏前锦. 靶标周围流场对风送喷雾雾滴沉积影响的 CFD 模拟及验证[J]. 农业工程学报，2015，31(11)：46-53.
[16] 吕晓兰，傅锡敏，宋坚利，等. 喷雾技术参数对雾滴飘移特性的影响[J]. 农业工程学报，2011，42(1)：59-63.
[17] 崔志华，傅泽田，祁力钧，等. 风送式喷雾机风筒结构对飘移性能的影响[J]. 农业工程学报，2008，24(2) : 111-115.
[18] 王福军. 计算流体动力学分析：CFD 软件原理与应用[M]. 北京：清华大学出版社，2004：113-142.
[19] 于勇. Fluent 入门与进阶教程[M]. 北京：北京理工大学出版社，2008：145-153.
[20] Saleh J M.流体流动手册[M].邓敦夏,译.北京:中国石化出版社, 2004：3-52,159-210.
[21] 吴子牛. 计算流体力学基本原理[M]. 北京：科学出版社，2001：91-117.
[22] 陶文铨. 数值传热学[M]. 西安：西安交通报,2004,20(3):81-84.

基于多波束及 GPS-RTK 技术的水下地形自动勘测系统的应用

王　磊[1]　　邢方亮[2]　　徐奕蒙[2]　　陈　俊[2]　　王天奕[2]

（1.珠江水利科学研究院，广州 510610；2.珠江水利科学研究院，广州 510610）

摘要：我国现有水库 9.8 万余座，其中绝大多数为小型水库。小型水库在灌溉、供水、改善生态环境等方面发挥了巨大作用，效益显著，是水利基础设施的重要组成部分。水库水下三维地形资料是水库安全运行管理和水环境及水生态治理的基础资料。我国小型水库数量众多，却因历史原因，该类资料几乎空白，相关问题严重。随着 GPS RTK、多波束超声波地形测量、无人船、自主导航、航迹规划等测量技术的发展，使用水下地形测量系统对小型水库进行全水域测量，实时获得水下地形数据，与相应软件配合，自动生成水库水下三维地形图已成为可能。该系统为水库库容曲线获得、水环境水生态治理和水资源管理工作提供有效的数据支撑。

关键词： GPS RTK；多波束超声波地形测量；无人船；自动勘测

0　引言

我国现有水库 9.8 万余座，其中绝大多数为小型水库。小型水库在灌溉、供水、改善生态环境等方面发挥了巨大作用，效益显著，是水利基础设施的重要组成部分。但是小型水库多建于 20 世纪 50 年代，运行维修养管理不完善。据统计，我国小型水库平均病险比例高达 53.3%，习近平总书记多次对安全生产工作作出重要指示批示，强调要坚持安全第一， 加强隐患排查预警和整治。 “十四五”时期必须要解决防汛中的薄弱环节， 确保现有水库安然无恙。2020 年我国部分流域遭遇大洪水和超标准洪水之后，许多水库尤其是小型水库受到了较大影响，解决其中的防汛薄弱环节成为当务之急。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》明确提出要加快病险水库除险加固。但由于绝大多数小型水库缺乏水下地形资料及配套资金，除险加固方案迟迟无法落实。如何高效、快速、低价进行水下地形测量已迫在眉睫。水下地形自动勘测系统将 GPS 定位、多波束超声波地形测量、无人船、自主导航、航迹规划等测量技术相结合，用水下地形测量系统对小型水库进行全水域测量，实时获得水下地形数据，与相应软件配合，自动生成水库水下三维地形图已成为可能。该系统为水库库容曲线获得、水环境水生态治理和水资源管理工作提供有效的数据支撑。

1　系统原理

GPS-RTK 技术（Global Positioning System Real Time Kinematic)又称为载波相位差分技术，是建立在实时处理两个测站的载波相位基础上的，它能实时提供观测点的三维坐标，并达到厘米级的高精度。与伪距差分原理相同，由参考站通过数据链实时将其载波观测量及

参考站坐标信息一同传送给用户站。用户站一方面通过接收机接收 GPS 卫星的载波相位，同时通过无线电接收设备接收参考站传送的信息，根据相对定位原理组成相位差分观测值进行处理，实时地以厘米级的精度给出用户站三维坐标。

连续运行参考站系统(Continuously Operating Reference System, 简称 CORS)可以定义为一个或若干个固定的、连续运行的 GPS 参考站，利用现代计算机、数据通信和互联网(LAN / WAN)技术组成的网络，实时地向不同类型、不同需求、不同层次的用户自动地提供经过检验的不同类型的 GPS 观测值(载波相位，伪距)，各种改正数、状态信息，以及其他有关 GPS 服务项目的系统。随着 CORS 基站的建设和连续运行，就形成了一个以永久基站为控制点的网络。连续运行参考站系统能够全年 365 天，每天 24 小时连续不间断地运行，全面取代常规大地测量控制网。用户只需一台 GPS 接收机即可进行毫米级、厘米级、分米级、米级的实时、准实时的快速定位或事后定位。可将 CORS 系统理解为基于互联网的高精度 RTK 静态定位系统。

多波束测深的工作原理，是利用换能器发射出的脉冲声波，遇到水下地物发生反射这一原理进行水下地形测量。但是，多波束测深系统利用多个换能器单元组成阵列，在测深过程中可以同时发射和接收多个波束，并对水下地形进行条带式测量。多波束测深系统在测量范围、速度、精度和效率上优于单波束测深系统。多波束将测深技术从点、线扩展到面，并逐步发展到三维立体测深及自动化成图。

2 水下地形自动勘测系统

水下地形自动勘测系统由三部分组成：无人测控船、地面控制基站、手动控制终端。如下图所示：

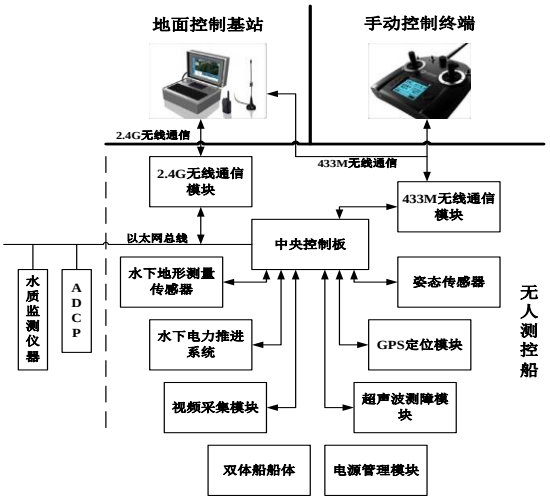


图 1 水下地形自动勘测系统总体结构

2.1 无人测控船

无人测控船由：船体、推进装置、嵌入式中央控制器、GPS 设备（RTK 流动站）、多波束测深仪、姿态仪等设备组成。

（1）船体采用充气式双体船结构，便于折叠携带普通 SUV 即可完成整船的运输；有效的减小航行阻力，提高航行速度；有效的提高了抗浪性，增强航行稳定性；有效的增加了甲

板面积，增加了负载能力，可实现有人操控。

（2）推进装置采用自主设计的直流电驱动的水下吊舱式推进系统。该系统采用直流电驱动，不会产生油污，非常环保；将推进电机置于水下，不仅解决了电机冷却的问题，且轴系极短，有效的提高了传动效率，极大的减少了噪音污染；系统能够直接改变推进电机的推进方向，极大提高舵效，使得船体几乎实现原地转向；新设计的防水草缠绕装置，有效的提高了系统的测量效率。

（3）GPS 设备选用合众思壮高精度 GNSS G970。设备不但 CORS 功能，单点静置半个小时以上即可实现毫米级定位，也具备 RTK 功能，固定站与移动站之间实现间距 5 公里以上的移动厘米级定位。

（4）多波束测深仪选用海卓 MS400P。它体积小巧，重量轻，探头只有 4.5 公斤，特别适合无人船搭载；功耗低，小于 40W；安装和单波束一样快捷方便；同时，功能强大，测量精度高，完全满足 IHO 特级标准。

无人测控船可实现以下功能：

a.自主导航、自主航行（不需手动遥控）。

b.可以接受遥控器的手动遥控指令。

c.可以接受基站的自动航行指令。

d.超声波避障，障碍物探测距离：不少于 10 米。

e.水深数据与无人船的状态参数（位置、朝向、航速等数据）合并成一个数据包，在通信范围内，可一并无线发送回基站

f.具有声光报警功能

g.通讯距离：不小于 5 公里（433M Hz）、不小于 5 公里（2.4G Hz）

h.航速：最大 3 米/秒。续航能力：不少于 6 小时。

2.2　地面控制基站

地面控制基站由箱式集成电脑、通讯天线及支架、电源逆变器，大容量锂电池和无人船测量软件组成。

为方便野外操作使用，系统将便携式电脑、无线通信模块以及电池组集成在一个防爆箱内，既防尘防水、又坚固耐用、还便于搬运。

箱式集成电脑采用触摸式显示屏，便于工作人员在野外进行操作。无人船测量软件运行在电脑上，具有十分强大的功能，实现控制基站对无人测控船的远程控制、数据上传和下载、实时状态跟踪和地形数据分析等功能。

无人船测量软件具体功能包括：水域边界识别、路径规划、状态监控、数据传输和存储、实时轨迹跟踪、地形分析和成果输出、手动遥控。

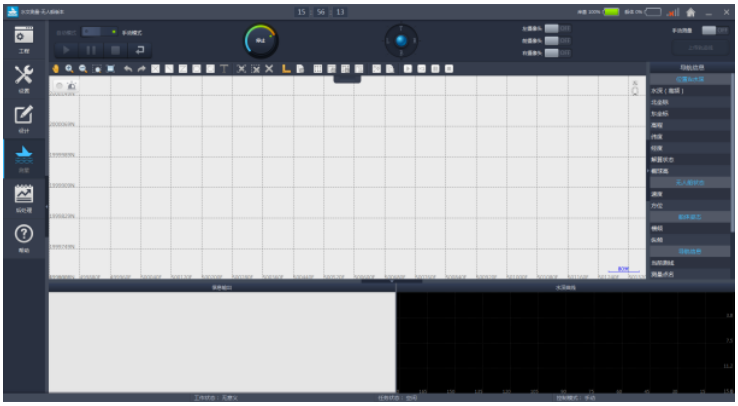


图 2　无人船测量软件主界面

2.3　手动控制终端

手动控制终端用于无人测控船的简单控制，便于在特殊情况下测试人员进行人工介入。本终端通过 433MHz 天线与无人船进行通讯，可以手动控制无人船航行，并实时显示无人船的各种状态（如速度、航向、电池电压等参数），并可以切换至自动航行状态，稳定通讯距离可达 5km。

3　水下测量实例

本次实例是在广州市直属的梅州水库进行。使用水下地形自动勘测系统进行库区测量，制作库容曲线图及水下地形三维图，分析淤积情况，复测水库库容，可为水利工程管理人员的决策提供直观、可靠的参考依据。

3.1　控制点获取

为保证整个测量过程的精度，需选取几个高精度坐标点作为测量过程的控制点，进行测量精度校验。选取原则一般为 3 个以上的高精度坐标点，且坐标点所覆盖的区域能包含整个测量区域。梅州水库管理部门仅能提供两个高精度坐标点。为保证测量精度，使用合众思壮高精度 GNSS G970CORS 功能，获取了 5 个高精度坐标点作为控制点，覆盖了整个水库范围。其中 2 个点与水库管理部分提供的坐标点对比，误差小于 1 厘米。

3.2　测量范围确定

通过人工控制无人船，沿当前水岸线对水库进行边界测量。使用无人船测量软件进行处理，生成水岸线，即测区范围。

3.3　航迹线生成

使用无人船测量软件可对测区进行规划，将测区分为多块进行测量。无人船测量软件可根据需要设定航迹线的间距以调整生成航迹线的疏密程度。

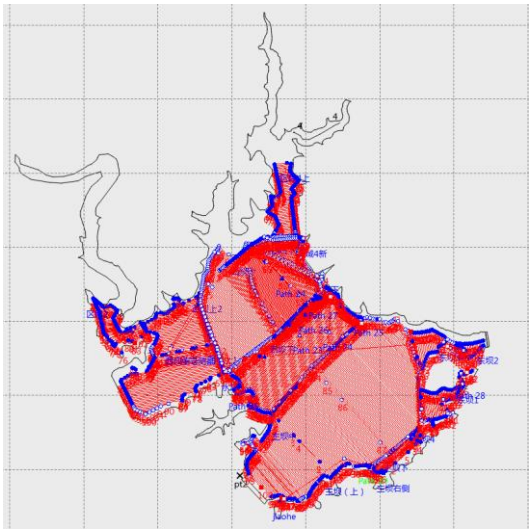


图 3　测区边界线及航迹线

3.4　现场实时测量

在合适位置将无人船放入水库中，然后使用地面控制基站的电脑与无人船建立起无线通信，同时建立起手动控制终端与无人船之间的无线通信。无人船会实时回传数据，地面控制基站和手动控制终端会实时显示出水深、船位、航向、船速及偏航距等信息。手控无人船到达起始位置附近，通过无人船测量软件将航迹线上传到无人船的主控器中，将无人船转到自动航行模式，无人船会按预先布设的航迹线行驶，无人船会同步采集定位数据和水深数据，位置、确保了水深记录的连续性，也克服了因定位与水深测量不同步而造成的位置误差，极大地提高了水深成果的精度。无人船按照航迹线行驶得到的定位数据和水深数据会实时传回基站的电脑中，并进行保存。

3.5　数据处理

结束现场测量。所有测量数据会保存到基站电脑的无人船测量软件中。因为测量中受多种因素干扰，数据会出现毛刺点，需要进行后处理。在无人船测量软件中逐条打开测线数据，显示出水深曲线，使用软件自动对曲线进行平滑处理，然后对无法自动处理的毛刺点进行手动修改。

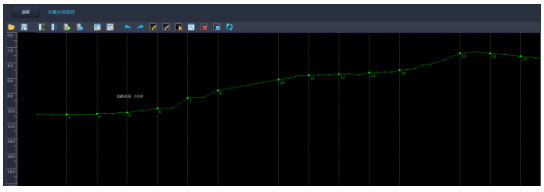


图 4　水深曲线平滑处理

3.6　成果生成

将所有的测线进行处理后，无人船测量软件可自动生成水库的水下地形图、库容、库容曲线等成果。

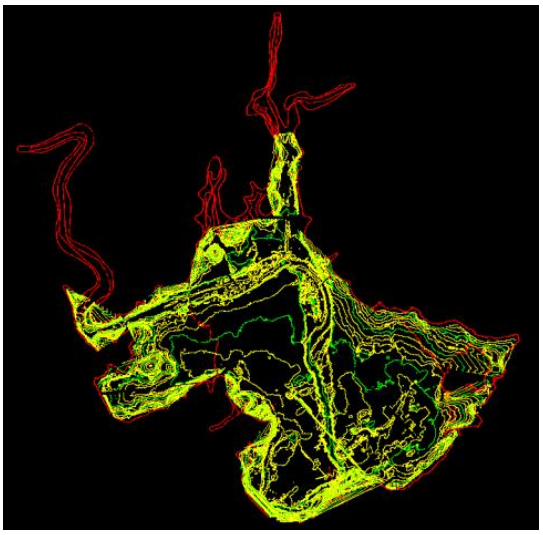


图 5　二维地形图

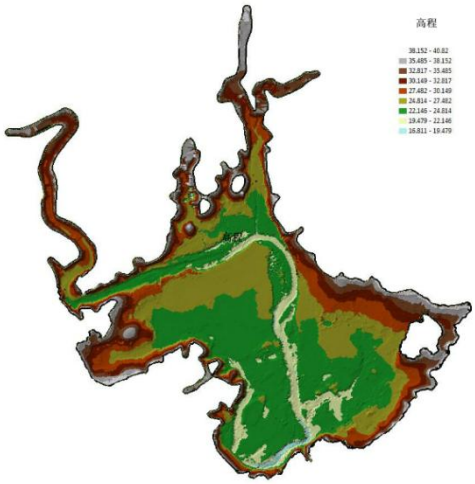


图 6　三维地形图

4　结语

本次研究采用水下地形自动勘测系统对梅州水库水底高程进行测量，得到了梅州水库的水下地形，计算出实际库容，与原有库容比较，结果几乎一至，研究成果比较理想，表明水下地形自动勘测系统数据精度高。水下地形自动勘测系统实现了自动化、智能化，提高了工作效率，工作人员无需涉水，保障了工作人员的人身安全，具有良好的水下地形测量的实际应用价值。下一步的研究方向，将水下地形自动勘测系统应用于大型湖泊、河流，验证该系统在复杂水情下的表现。同时也将在水下地形自动勘测系统中，搭载水质监测仪器、ADCP，进行水质监测、测量水体流速等工作。

参考文献

[1] 黄晓丽. 关于加强小型水库安全管理的思考[J]. 中国水利，2013 (18)：40-41.

[2] 吴敬文,沈理,汪明海. 基于 GPS 动态监测技术进行测船动吃水测定的方法研究[J]. 测绘通报,2012(S1):695-697.

[3] 刘文勇,江林,钱立兵等. 超短基线水下定位校准方法的探讨与分析[J]. 测绘通报,2011(1):82-84,93.
[4] 佘继红,李文林,吉建兵. 利用网络 RTK 进行水下地形测量的方法探讨[J]. 现代测绘,2010,33(4):26-27.
[5] 何书镜. 基于 CORS 的网络 RTK 技术在水下测绘中的应用[J]. 海洋测绘,2011,31(6):69-71,79.
[6] 殷海峰. GPS 在水下地形测量中的研究与应用[D]. 北京:清华大学,2009.
[7] 程剑刚. 网络 RTK 联合声波测深仪在水下地形测量中的应用[J]. 测绘工程,2014(3):63-65.
[8] 程剑刚. 网络 RTK 联合数字测深仪在湖泊库容测量中的应用[D]. 北京:中国地质大学(北京),2014.
[9] 王冰,魏志强,李兆均等. GPS-RTK 在海洋水深测量中的应用[J]. 矿山测量,2012,4(8):3-4.
[10] 金久才,张杰,邵峰等. 一种海洋环境监测无人船系统及其海洋应用[J]. 海岸工程,2015,34(4):87-92.
[11] 刘星桥,陈海磊,朱成云. 基于 GPS 的自学习导航游弋式水质监测系统设计[J]. 农业工程学报,2016,32(1):84-90.

实时流速监测漂流球的研究与应用

王天奕　　陈　俊　　徐奕蒙　　王　磊　　丘瑾炜　　郭泽斌

（珠江水利科学研究院，广州 510610）

摘要：响应新时代水利改革发展号召，践行水利改革发展的总基调，本文的目的是改善近年来匮乏的洪涝灾害监测方法，针对传统水文监测站监测及预警洪涝灾情存在的弊端，结合 CFD 技术进行数/模实验研究并根据研究结果设计相应外部结构与内部框架，进而设计开发匹配控制系统等，最终研发一种漂流式实时洪涝测流设备，其具有实时定位、实时通信、水流跟随特性好、体积小、造价低可抛弃、续航能力强等特点，将过往静态待机式监测转化为动态实时监测，为洪水测验及预报预警提供第一手的准确数据，在测得实时流速等信息后通过后续控制算法将其转化为实际洪水轨迹与洪水淹没范围，进而判断洪水拓展速度与演变情况，为后续的洪涝区域的提前预测、相关人员财产的提前疏散转移等提供依据。

关键词：CFD；漂流球；动态实时监测

1　研究目的及应用

1.1　研究目的

长久以来洪涝灾害就是横亘在人民通往“幸福河”上的一座大山，因此在 2019 年 1 月 29 日，水利部就明确发布了加强 2019 年水旱灾害防御工作的通知，其中尤其强调了提高洪水预报能力、加强监测预报预警是防御工作中的首要任务。洪涝灾害特别是山洪灾害以及城市内涝每次爆发都对人民生命财产造成极大的危害。目前由于缺乏可靠的实时测量手段，仅能依靠建立水文监测站的方法来对洪涝灾害进行监测。这些水文监测站因造价及维护的原因，数量少，且分布不均，导致当洪涝及内涝等灾情发生时，流速、水位等信息采集不同步，且滞后严重，不能实时反映灾情演变的情况，这最终使得采集来的数据无法及时用于对整个洪涝灾情的有效分析判断，对正在发生的洪涝灾害仍只依靠已有的部分数学模型的仿真计算结果来做出应对。

综上所述，如果能够实时的采集洪涝及内涝等灾情的数据，并通过数学模型计算，对预报结果进行实时修正，将为杜绝人员伤亡，提前疏散可能淹没区域，避免城市人员财产损失、提前开启可能没水道路等提供极大的便利，避免造成极大的资源浪费与财产损失。

1.2　国内外研究现状

目前较为常用的流速监测用仪器大多为定点式测量设备，相关产品较多且技术较为成熟如：HADCP 流速测量仪，其采用侧视水平 ADCP 的方式，安装在河渠岸边，水平发射波束覆盖河宽范围内的水域，达到区域性流速监测的目的[1]；超声波时差式流速测量仪器，其通常在流场内设定前后两点位，通过声速与水速的差值测量点位之间的水域流速；声学多普勒流速测量仪器，其与 HADCP 式流速测量仪类似，通常安装于测流断面底部，向上发射声波，同时测量流速与水位，除上述仪器外，类似设备还有雷达式测速仪、电磁式流速仪、电波式

流速仪等[2]，测量原理不尽相同但应用手段较为类似。

目前市面上暂未出现成熟的动态实时流速测量设备，相应的研究亦是近年来被提上日程，澳大利亚昆士兰科技大学研究出一种设备，其外形为瓶状，内部仅设置 GPS 定位装置，投放时使用同位素进行标记以方便回收，其在试验中暴露了较多问题：瓶状外形导致漂流过程中无法较好的豁免碰撞冲击对内部仪器设备的损伤，采用同位素标记法使得成本较高，通过 GPS 定位进而估算流速值无任何精度可言。

综上所述，目前流速监测设备存在着以下问题：

（1）大部分水域的流速监测使用定点式测量仪器，区域受限导致无法对水域内的流速变化做出实时反馈。

（2）传统流速测量仪器存在测量局限性，如 ADCP 式流速仪器对于低速水域的测量不够精准、转子式流速测量仪器在浑浊水体中作业时易发生故障等。

（3）现有记录的动态漂流式流速测量设备[3]外形结构不合理，测量手段单一，无法保证精度。

1.3 发展趋势和应用前景

近年来对于水域内流速信息采集的要求逐渐向着实时采集、实时传输的方向发展，力求做到动态轨迹采集而非固定断面采集，同时设备尽量小、轻，造价尽可能低，性能方面做到更广的测量范围与更强的抗干扰性等。针对这些需求的变更，当下研发的产品更需要与前沿科技结合：如大数据技术、云计算/云平台技术等，通过技术革新，为洪涝灾害的防治提供更可靠的技术设备支持，为水域流速监测领域提供新的测量方法。

实时监测漂流球的研究，除可应用在发生洪涝灾害时的灾情监控，还可用于大中型河工模型的合理性检验，险滩、悬岸等常规设备无法作业的条件下的水体流速监测[4]与岸线轮廓测量，固定断面内的流速监测，涵洞等地下水域的岸线轮廓测量等，同时相关水文数据的测量是水利水电相关科研事业中的重要依据，因此本项目亦可用于水资源管理和保护、航运以及河床演变的研究中。

2 研究内容

2.1 基于 CFD 技术以及有限元方法的结构数模与物模研究

采用计算流体动力学技术对不同外形、材质下的设备体与流场的交互影响做出研究分析，同时使用有限元分析方法研究结构体遭受不同影响时的结构内部力学性能变化，主要为后续的硬件结构设计等提供参考，研究过程包括：使用三维/二维建模软件建立合理仿真模型并抽取其物理属性，在流场仿真软件中搭建合理的流场环境并将仿真模型置入，最终通过相关参数（流速、水温、环境压强等）的设置进行仿真研究。

结合研究结果，加工物理试验模型，于合理的试验平台下进行物理模型试验，检验数模仿真结果的可靠性。

2.2 结构设计

结合相关研究成果，对包括内部空间、支撑结构、外形、材料等进行设计与选型，在保

证安全性的前提下，减小与水体接触面，减小体积。目前设备外形拟设计为球形，将直径控制在 15 公分~20 公分，重量保证控制在 1.5~3.0kg。漂流球的结构设计图如图 1：

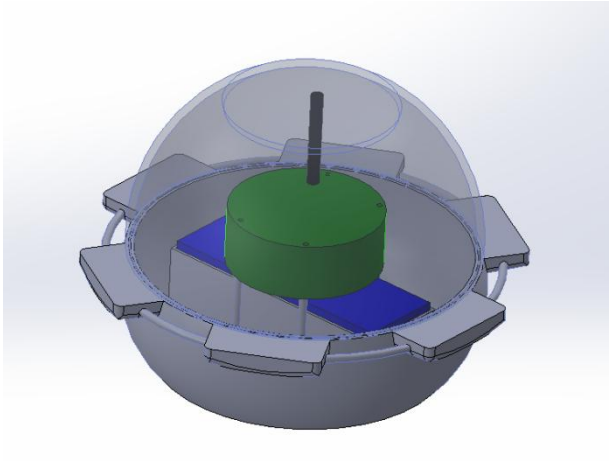


图 1　漂流球结构设计图

2.3　电路系统、控制算法设计

结合硬件结构，根据设备功能即：对设备附近的流体流速实时采集、传输并实时定位并上报，进行电路系统设计，根据选用芯片开发控制算法，尽可能优化控制体系，减少物理响应时间，于设计层面增加流速测量精度。

2.4　远程云平台通信系统设计及测试

搭建云端服务器（由外部接入），开发终端监测软件实现信息实时接受、记录、处理等功能并设置实验测试，主要测知：传输准确性、传输稳定性与可接受信息包大小等。

2.5　供电系统设计

根据实际内置芯片模块的不同，采取的供电电源需随之配置，由于产品对于续航能力有着较高要求，因此需要对供电系统的供电电压、峰值电压、放电电流等参数做出严格定义。

3　解决的技术难题

通过合理的外形与内部结构设计减少了实时流速监测漂流球与水体的接触面积，减弱了设备受到碰撞时的内部震颤，最大可能延长了设备的工作寿命；通过设计控制系统以及相应的算法实现了流速信息的实时采集、传输，采集范围不再被约束在固定断面，使得洪涝灾情整体的实时状况得以被获知，同时可以设置多定点区域进行断面流速测量；通过合理的选材降低实时流速监测漂流球的成本，因此使用时可大批量投放增加信息准确性且无需回收；通过设计定位系统使得设备得以实现实时位置信息确认与传输，在发生特殊情况需要进行设备回收时可快速定位；通过设计相应信号增强系统使得设备在恶劣条件下的信号传输稳定性大大增强；通过设计新型流速采集系统，解决以往大中型洪水流速变化范围较大，难以捕捉洪峰，测量精度较低的问题。

4　特色和创新

4.1　体积小、重量轻、水流跟随性强、造价低可抛弃

使用 CFD 技术建立数学模型、物理模型并以此为参考，对实时流速监测漂流球的内部

架构与外部形状进行设计，使得本项目研发的实时流速监测漂流球具有：小体积、轻载荷、水流跟随性强、造价低可抛弃的特点。

4.2　信息采集即时、设备运行轨迹可循、区域全覆盖监测

通过控制系统、软件算法设计，使得本项目研发的实时流速监测漂流球可对仪器附近流速进行实时、动态的采集，同时收集自身位置信息并同步输送至监测终端，打破以往洪涝灾情信息收集的区域局限性，以点破面，实现洪涝灾害发生时，第一手水文情报的动态采集，基于其漂流式的作业性质，实现全投放区域的覆盖性数据监测。

4.3　面对恶劣环境时的高质量信息传输

通过设计具有：多级信号放大系统、不同波段下的滤波系统的信号增强电路并搭配以降噪算法，从信息采集、坐标确认开始进行信号增强、锐化[5]，最终增强设备整体的收发信号强度，增强在恶劣环境下的可靠性，使得在一些复杂环境区域、不便设站/人员无法抵达流域内亦能依靠本设备实现相应数据监测。

5　研究方法

5.1　技术路线

研究的技术路线如图 2 所示：

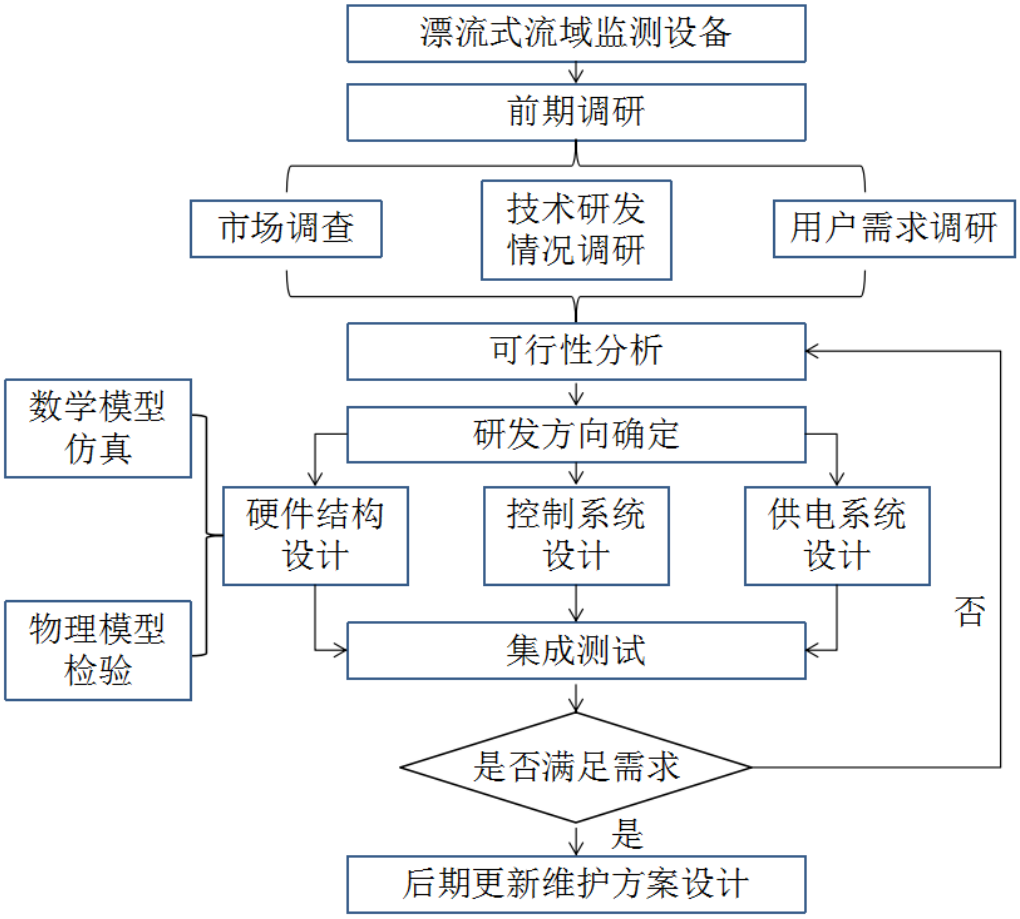


图 2　技术路线

（1）通过前期调研，确立研究的可行性与必要性。

（2）确定主要研究方向即：主要技术难点与创新点。

（3）采用 CFD 技术建立数学模型并初步分析本项目不同外形下与流场的交互影响。

（4）采用有限元分析方法对本项目外形、内部结构的力学特性进行研究。

（5）建立相关物理模型试验检验上述流体仿真与力学仿真结果的可靠性。

（6）结合内部结构、空间与外形设计控制系统（包括软件算法、电路结构等）与供电系统。

（7）加工试验用设备并投放至试验平台进行系列试验，检验各部分性能。

（8）研究成果符合设计初衷后着手对后期研究更新方向进行探讨，并设计维护方案。

5.2 研究的效益

研究完成后，不仅解决了以往洪涝灾情信息收集困难的问题，且大大解放了人工，人员在投放完成只需进行后续的终端操作即可实时获知对应信息;同时本研发设备的低成本使得无需刻意回收设备，节省了财力与时间。

5.3 应用情况

研究完成并可投入使用后，除可应用在发生洪涝灾害时的灾情监控，还可用于大中型河工模型的合理性检验，险滩、悬岸等常规设备无法作业的条件下的水体流速监测与岸线轮廓测量[6]，固定断面内的流速监测，涵洞等地下水域的岸线轮廓测量等。

6 结语

本文以实现洪涝灾情的动态状况反馈为出发点，以收集流速信息和洪涝灾情演变态势作为主要手段，为中小流域以及城市提供一种有效即时的洪涝灾情监控设备，具有实时采集设备附近流速信息、实时定位、实时传输坐标及流速信息的功能，同时通过科技创新，增强在恶劣工作条件下的信息传输准确性，通过减小体积、减轻重量来增强水流的跟随性，同时降低成本使设备在投放后无须回收。设备通过上游投放以漂流球的形式收集沿途的流速信息并实时反馈自身坐标，将被动式监测变为实时动态监测[7]，在测得实时流速等信息后通过后续控制算法将其转化为实际流动轨迹与洪水淹没范围，进而判断洪水拓展速度与演变情况，为后续的洪涝区域的提前预测、相关人员财产的提前疏散转移等提供科学依据，另外也可以用于规定断面内的流域信息采集、未知水体探索等方面。

参考文献

[1] 马志敏，苏姗，胡文斌.多路水深流速自动采集系统设计与应用[J].长江科学院院报，2014，31（5）：97-101.

[2] 金松日.一种小管径超声波流量计的设计[D].辽宁：大连理工大学，2013.

[3] 华东师范大学.一种同步监测水流和水质的浮动式系统：中国，CN201610403937.2[P].2016-09-14.

[4] 杭州电子科技大学.一种水流信息采集与处理方法：中国，CN201610015779.3[P].2016-06-08.

[5] 南京中网卫星通信股份有限公司.一种基于北斗卫星应用的水利检测系统：中国，CN201720888230.5[P].2018-03-02.

[6] 山东交通学院.一种港区水文信息监测系统：中国，CN201720323411.3[P].2018-02-13.

[7] 肖剑.一种漂流水质监测平台：中国，CN200920065653.2[P].2010-07-28.

浅谈降雨预报技术和洪水预报技术的耦合研究

薛晨旺　顾　拓　陈　闯　马　晴　王宇航　李　宾
樊　敏　邵　帅

（北京市密云水库管理处，北京 101500）

摘要：洪水预报技术的前期主要信息来源于降雨预报技术中高精度的定量预报或定性的集合预报，基于此，从以下三个方面阐述了降雨预报技术和洪水预报技术的耦合研究：与人工智能相结合的短时定量降雨预报技术、定性的集合降雨预报技术发展趋势和洪水预报技术的主流模型，归纳了传统预报技术与人工智能技术的充分互补方式和定性与定量降雨预报的有机结合设想等，对降雨预报技术和洪水预报技术的发展有一定的意义。

关键词：短时降雨预报；高分辨率模型；人工智能；集合降雨预报；洪水预报

1　背景

水资源作为组成地球生命体的基本物质，广泛存在于世界各处，但人类可利用的淡水资源仅占地球水量的 0.01%[1]。随着人口的增加和社会的发展，淡水资源的匮乏与人类对水的需求的矛盾日益增加。洪水作为一种非常规的水资源，是一把双刃剑，一方面存在灾害风险，另一方面又有综合效益[2]。现阶段，在降雨预报技术和洪水预报技术的高速发展下，洪水资源的利用已经成为了解决水资源匮乏的新思路[3]。

降雨预报技术是洪水预报技术的主要的输入信息源，并且降雨预报技术发展影响着是洪水预报技术[4]。降雨预报技术是根据降水和温度等气象特征数据，利用气象学和统计学等相关学科的原理和方法，定性或定量对降雨过程进行预报。降雨预报技术的理论发展较快，由传统的外推技术，到概念模型和数值模式技术，最终发展到人工智能技术，近些年又提出集合预报技术，并且此技术已经成为了研究洪水预报的主流[5-6]。洪水预报技术是以水文和气象资料为数据基础，通过选取适当的模型，预测未来洪水演变的过程[7]。洪水预报技术的理论经过了多次发展，以经验模型为开端，逐渐发展到黑箱子水文模型，再到概念性水文模型，最后到分布式水文模型[8]。

现阶段，降雨预报技术和洪水预报技术的耦合研究主要集中在高精度的定量预报和定性的集合预报。由于大气演变规律的复杂性，中长期降雨预报的定量研究一直处于发展阶段，因而高精度的定量预报研究集中在短时降雨预报的高分辨率模型，也就是与人工智能技术相结合的降雨预报。虽然高分辨率模型的发展较快，但在洪水预报的实际应用中仍不理想，自从能够提供不确定性的集合预报技术被提出后，概率性降雨预报在洪水预报中得到了较多的应用。基于此，本文阐述了短时降雨预报技术在人工智能方向的发展、集合预报技术的进展和洪水预报技术主流模型，研究了三种技术的现存问题，并给出了相应的建议，对雨洪预报

技术的发展有一定的参考价值。

2 降雨预报技术

现阶段降雨预报技术分为单一模型预报技术和集合预报技术。单一模型预报技术通过某一个集合对降雨进行预报，根据预报时间的不同，分为五个类别，即临近预报（0-2 小时）、短时预报（0-6 小时）、短期预报（0-72 小时）、中期预报（3-15 天）和长期预报（10-15 天），而短时预报是人们研究的热点[9]。集合预报技术是多个类似的集合对降雨进行重复预报，根据集合类型分为低分辨率集合模型和高分辨率集合模型，并且高分辨率集合模型是一个较新的研究领域[10]。

2.1 短时降雨预报技术

短时降水预报技术的主流研究方法为机器学习法和深度学习法。早期的机器学习法以人工神经网络（ANNs）为主，将输入和输出的降雨信息训练 ANNs，经过学习的 ANNs 可以在一定程度上描述复杂的降雨过程[6]。Luk[11]等对降雨时空差异的研究发现，当输入的空间数量达到最优时，ANNs 可以进行较为精准的短期预报，此外，过多数据输入会导致 ANNs 的可靠性降低。Valverde 等[12]对圣保罗地区的研究发现，ANNs 预测的降雨结果明显优于线性回归模型，并且 ANNs 的预测能力可以降低人工预报的工作强度。之后，hong 等[13]对台湾北部地区的研究中，提出了一种基于支持向量机（SVM）的混合预测模型，该模型采取结构风险最小化策略，具有较好的降雨预测能力。Yu 等[14]对随机森林法（RF）和 SVM 进行比较分析，发现基于 SVM 的模型和基于 RF 的模型在 1 小时之内均表现为良好的降雨预测效果，但 2-3 小时的预报中，基于 SVM 的模型预测效果更好。Sharma 等[15]提出来一种新的降雨预测模型-监督学习模型，此模型通过降雨量大小，优化设计了数据集的多种功能，模拟出的降水数据的精度超过了 90%。张晨阳等[16]结合地形特点，提出加权随机森林法（TWRF），其预测效果明显高于传统随机森林法，提高了雨量估计的精度。

深度学习可以用少量的参数表达复杂函数，对非线性网络结构具有较强的学习能力，在解决非线性降雨预测问题具有明显的优势。现阶段，深度学习主要以卷积神经网络法为主，还包括递归神经网络法和深度信念神经网络法等。施恩等[17]将雷达外推技术与动态卷积神经网络技术相结合，解决了传统雷达技术可利用时刻点少的缺点，提高了降雨预测的精确度。Ayzel 等[18]利用全卷积神经网络技术，将雷达图像作为输入数据，最终的预测精度达到了现今降雨预报技术的较高水准。张帅等[19]利用递归神经网络技术，建立了长短记忆网络 LSTM 模型，与传统方法相比，LSTM 模型对动态和非线性变化的降雨量有较好的预测能力。此外，Shi 等[20]提出了新的深度学习方法，以卷积 LSTM 为基础，将降雨预测问题转化为时空序列预测问题，预测结果优于当前最先进的算法，是短期降雨预测的新思路。

2.2 集合预报技术

集合预报起源于“蝴蝶效应”，将初值集合作为输入，利用相应模型分析输入数据，从而得到预报值的集合，但这种集合的方式并不是简单的联合，而是充分考虑到初值集合和物理过程的不确定性。简单来说，集合预报就是利用多个相似的初始值进行重复性预报，来增加

预报的准确性[9]。近些年来，随着集合预报相关理论的发展，和增长模繁殖法与演化的奇异向量法等新方法的提出，许多国家开始建立自己的集合预报系统[21]，而这些集合预报系统输入数据主要来源于全球多模式集合预报（TIGGE）资料中心。

集合预报技术不同于单一模型预报技术，对模型分辨率的要求较低，有研究表明，在预报技巧方面，单一的高分辨模型低于低分辨率的集合模型[22]。集合预报技术的另一大优势是能够提供预报的不确定信息，有利于进行概率性降雨预报，延长了洪水预报的预见期，为防洪调度提供了更可信的基础信息[23]。WU 等对淮河王家坝子流域的研究中，发现多模式集合预报系统不仅增加了洪水预报的预见期，而且降低了洪水预报的不确定性[24]。彭涛等对漳河流域汛期的洪水预报研究表明，将集合预报技术提供的预见期降水数据作为新安江模型的输入，模拟出的洪水预报结果更好[25]。林锐等利用 DHSVM 模型对洪水预报的研究表明集合预报提供的 8 天之内的预报结果较为可靠，有效的延长了洪水预报的预见期[26]。目前，主流的集合预报技术是利用同一模式和不同的初值条件与边界条件或物理参数来建立集合预报[10]。但是，随着计算能力的快速发展和高分辨率的单一模型的逐渐成熟，又产生了一个集合预报技术的新思路，即将高分辨率的单一预报和低分辨率的集合预报的结合，由高分辨率模型提供基础预报，低分辨率模型提供不确定信息，这种应用方式被称为高分辨率集合预报[27]。已有研究表明，高分辨集合预报系统，前期主要受物理过程或高分辨率模型的初始值的不确定性影响，后期主要受低分辨率模型的边界条件影响[10]。

3 洪水预报技术

水文模型是洪水预报技术的核心技术手段，主要分为集总式和分布式。现阶段，由于集总式模型操作简单，工作效率高，所以应用较为广泛，但随着计算机技术和遥感技术的发展，分布式模型表现了较强的预报能力和细致的预报过程，是水文模型今后发展的热点[28]。常使用的分布式模型包括 LISFLOOD、SWAT、HEC-HMS 和 TOPMODEL 等。

LISFLOOD 模型是全分布式水文模型，对于不同的气候条件和洪水类型表现为较强的适应性，Thiemig 等将 LISFLOOD 模型和 ECMWF 模型混合构建了非洲洪水预报系统，此系统对洪水事件的命中率达到了 70%[29]。Alfieri 等[30]基于 LISFLOOD 等分布式水文模型构建的洪水预警系统，对大河流域的超大洪水的预见期达到了 1 个月。SWAT 模型是基于物理机制的分布式水文模型，李云嫚等[31]西江流域的研究发现，将 TIGGE 集合降雨预报数据作为输入的 SWAT 模型，在使用多模型集合平均法时，预报精度等级为甲级，但 Wagena[32]的研究表明 SWAT 模型低估了洪峰的存在。

HEC-HMS 模型具有物理概念的松散耦合型分布式水文模型，包括 HEC-GeoHMS、HEC-DSSVue 和 HEC-HMS，能够利用 Gis 的空间分析功能，模拟洪水演变过程。王璐等[33]对 14 个山区流域的研究中，发现 HEC-HMS 模型在湿润地区和半干旱与半湿润地区均有较好的适用性。田景环等[34]对小流域暴雨洪水预报问题的研究，发现 HEC-HMS 模型能够预报小流域的暴雨洪水，但预报精度略差于 FFMS 模型。马俊清等[35]对颍河及其支流的研究表明，HEC-HMS 模型对研究区域的降雨径流过程模拟效果较好，其率定期洪水场次合格率

达 85.6%，为甲等精度。TOPMODEL 模型利用地形特点描述水文过程的半分布式模型，其优点在于模型结构简单，优化参数少。李东奎[36]对辽东某中小流域的研究中，发现利用 TOPMODEL 模型构建的洪水预报系统，模拟出的洪峰时间分布能为防汛决策提供参考。董小涛等[37]对滦河宽城流域的洪水模拟研究表明，TOPMODEL 模型对数据拟合的准确率达 70%以上，对半干旱区域的洪水预报有较好的适应性。李振亚等[38]利用 TOPMODEL 模型构建的松散型分布式水文模型模拟了 40 场典型洪水的过程，结果表明模型模拟出的峰现时间的误差绝对值合格率达 97.5%，为甲级预报精度。

4 展望

通过归纳近期降雨预报技术和洪水预报技术的发展，发现了以下几点趋势：

（1）短时降雨预报在人工智能方向的发展取得了不错的效果，但整体研究仍处于初级阶段。虽然人工智能技术前期数据大部分由雷达回波外推技术等传统方法提供，但两者之间的优势并没有完全融合，还存在着不充分的双向互补问题，即利用传统预报方法，研究短时降雨预报在人工智能方向的偏差纠正;利用人工智能技术,研究传统预报方法信息处理问题，提高传统预报方法的准确性和及时性。

（2）现阶段，随着科学技术的发展，定量降雨预报技术得到较大的进步，但仍存在着精度和分辨率偏低的问题，而集合降雨预报技术能够有效的降低降雨预报的不确定性，因此可以通过研究多种模式下的降雨预报信息，来提高降雨预报的可靠性。

（3）在洪水预报中，由于结构、参数和初始条件等多方面的影响，分布式模型的预报性能略差于集总式模型，而洪水预报的校正技术能有效的提高分布式模型的预报精度，因此随着信息技术的高速发展,研究与大数据分析相结合的校正技术可能是解决分布式模型应用困难的新思路。

5 总结

本文阐述了与洪水预报耦合的降雨预报技术的发展,即定量的短时降雨预报技术和定性的集合降雨预报技术，归纳了现今主流的分布式洪水预报模型，如 LISFLOOD 和 SWAT 等，总结了雨洪预报技术的发展趋势，对提高雨洪预报技术的精度和分辨率有一定的意义。

参考文献

[1] 李云龙. 黄河三角洲地表水体变迁及其生态环境效应研究[D]. 山东师范大学, 2020, 1-15.

[2] 周如瑞. 并联水库群防洪预报调度方式及其风险分析研究[D]. 大连理工大学, 2017, 3-20.

[3] 孙方剑. 水库防洪预报调度及其风险动态变化特性研究[D]. 大连理工大学, 2020, 1-3.

[4] 彭涛, 沈铁元, 高玉芳, 等. 流域水文气象耦合的洪水预报研究及应用进展[J]. 气象科技进展, 2014, 4(02):52-58.

[5] 包红军, 王莉莉, 沈学顺, 等. 气象水文耦合的洪水预报研究进展[J]. 气象, 2016, 42(09):1045-1057.

[6] 方巍, 庞林, 王楠, 等. 人工智能在短临降水预报中应用研究综述[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2020, 12(04):406-420.

[7] 陆奕. 基于水文模型的山洪灾害预警系统研究与应用[D]. 浙江工业大学, 2020, 1-7.

[8] 贺玉彬, 朱畅畅, 陈在妮, 等. 大渡河流域径流预报不确定性溯源及降低控制方法[J]. 武汉大学学报(工学版), 2021, 54(01):65-71.

[9] 张建全. 基于人工神经网络的集合洪水预报研究[D]. 浙江大学, 2016, 1-15.
[10] 毕宝贵, 代刊, 王毅, 等. 定量降水预报技术进展[J]. 应用气象学报, 2016, 27(05):534-549.
[11] Luk KC, Ball JE, Sharma A. A study of optimal model lag and spatial inputs to artificial neural network for rainfall forecasting[J]. Journal of Hydrology, 2000, 227(1):56-65.
[12] Valverde Ramirez MC, De C, Ferreira NJ. Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to the Sao Paulo region[J]. Journal of Hydrology, 2005, 301(1):146-162.
[13] Hong WC. Rainfall forecasting by technological machine learning models[J]. Applied Mathematics and Computation, 2008, 200(1):41-57.
[14] Yu PS, Yang TC, Chen SY, et al. Comparison of random forests and support vector machine for real-time radar-derived rainfall forecasting[J]. Journal of Hydrology, 2017, 552:92-104.
[15] Sharma AK, Chaurasia S, Srivastava DK. Supervised rainfall learning model using machine learning algorithms[J]. International Conference on Advanced Machine Learning Technologies and Applications, 2018, 275-283.
[16] 张晨阳, 杨雪冰, 张文生. 气象大数据超短临精准降水机器学习与典型应用[J]. 农业大数据学报, 2019, 1(01):78-87.
[17] 施恩, 李骞, 顾大权, 等. 基于卷积神经网络的雷达回波外推方法[J]. 计算机应用, 2018, 38(03):661-665.
[18] Ayzel G, Heistemann N, Sorokin A, et al. All convolutional neural networks for radar-based precipitation nowcasting[J]. Procedia Computer Science, 2019, 150:186-192.
[19] 张帅, 魏正英, 张育斌. 递归神经网络在降雨量预测中的应用研究[J]. 节水灌溉, 2017(05):63-66.
[20] Shi X, Chen Z, Wang H, et al. Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation nowcasting[J]. MIT Press, 2015, 1506.
[21] 雍斌, 任立良, 陈喜, 等. 大尺度水文模型 TOPX 构建及其与区域环境系统集成模式 RIEMS 的耦合[J]. 地球物理学报, 2009, 52(08):1954-1965.
[22] Grimit EP, Mass CF. Initial results of a mesoscale short-range ensemble forecasting system over the Pacific Northwest[J]. Wea Forecasting, 2002, 17(2):192-205.
[23] Thomas E, Randel L. Possible hydrologic forecasting improvements resulting from advancements in precipitation estimation and forecasting for a real-time flood forecast system in the Ohio River Valley, USA [J]. Journal of Hydrology, 2019,579:124-138.
[24] Wu J, Lu G, Wu Z. Flood forecasts based on multi -model ensemble precipitation forecasting using a coupled atmospheric-hydrological modeling system [J]. Natural Hazards, 2014,74 (2):325-340.
[25] 彭涛, 殷志远, 冯光柳. 定量降水预报及其集合预报产品在中小流域洪水预报中的应用[A]. 中国气象学会.第 33 届中国气象学会年会 S9 水文气象灾害预报预警[C]. 中国气象学会:中国气象学会, 2016, 9.
[26] 林锐, 泮苏莉, 刘莉, 等. 耦合降水预报和多目标参数优化的洪水预报方法[J]. 水力发电学报, 2017, 36(10):27-34.
[27] Du J. Hybrid ensemble prediction system: A new ensembling approach[C]. Symposium on the 50th Anniversary of Operational Numerical Weather Prediction, 2004.
[28] 刘莉. 基于 TIGGE 数据的分布式集合洪水预报研究[D]. 浙江大学, 2020, 1-20.
[29] Thiemig V, Bisselink B, Pappenberger F, et al. A pan-African medium-range ensemble flood forecast system[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2015, 19(8):3365-3385.
[30] GloFAS－global ensemble streamflow forecasting and flood early warning[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2013, 17(3):1161-1175.

[31] 李云嫚. 耦合降水集合预报的SWAT模型研究及其在洪水预报中的应用[D]. 华中科技大学, 2018.
[32] Wagena MB, Goering D, Collick AS, et al. Comparison of short-term streamflow forecasting using stochastic time series, Neural Networks, Process-Based, and Bayesian Models[J]. Environmental Modelling and Software, 2020, 126:104669.
[33] 王璐, 叶磊, 吴剑, 等. 山丘区小流域水文模型适用性研究[J]. 中国农村水利水电, 2018, 02:78-84.
[34] 田景环, 樊素琦, 王文川, 等. FFMS模型与HEC-HMS模型在暴雨洪水预报中的应用比较[J]. 长江科学院院报, 2021, 38(03):59-65.
[35] 马俊清. HEC-HMS模型在颍河上游流域洪水预报中的应用研究[D]. 华北水利水电大学, 2020.
[36] 李东奎. 基于定量降水和集合预报的北方旱区中小流域洪水预测研究[J]. 水利技术监督, 2018, 03:91-95.
[37] 董小涛, 李致家, 李利琴. 不同水文模型在半干旱地区的应用比较研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2006, 02:132-135.
[38] 李振亚, 黄国新, 肖凤林, 等. 基于TOPMODEL的分布式水文模型在中小流域的应用研究[J]. 江西水利科技, 2020, 46(05):374-381.

关于对池州市防洪排涝调度管理系统的建设与思考

张　勤[1]　　常仁凯[1]　　董军安[2]　　何　雯[2]

（1.中水三立数据技术股份有限公司；2.池州市城市防洪管理处）

摘要：为适应社会经济发展对防汛抗旱业务的要求，促进信息技术与防汛抗旱业务深度融合，加速防汛抗旱工作信息化发展。池州市针对性的开展信息化建设，对系统功能进行详细的设计，建设了全面专题数据库，对防汛信息做到实时监测，并按一定的边界条件通过洪水预报模型编制预报方案，生成洪水过程、洪峰水位、洪峰流量等洪水预报成果，按照预案等级提前发布预警，制定调度方案等。通过系统的建设，提高了池州防汛调度管理水平，提升了信息采集、传输、处理的及时性与可靠性，真正实现了以基层为单位的全民防汛联动与领导科学调度，充分体现了信息化建设在现代防汛工作中的作用。

关键词：防洪排涝；调度管理；信息化；系统建设

0　引言

池州市城区地处长江下游南岸，城北有长江干流依城而过，流经城区 4.44km；城区西部有白洋河绕城到池口入江，白洋河总来水面积为 593km²。东面紧靠平天湖，平天湖流域集水面积 75km²，平天湖主要功能是在汛期拦蓄流域内山丘区域洪水，汛期由城区泵站调控水位，在非汛期则通过下清溪闸排泄入长江。防洪排涝水利建设视为池州城市建设的一项重中之重，为适应社会经济发展对防汛抗旱业务的要求，需深入贯彻习总书记提出的“网络强国”“智慧社会”的战略思想和总部署，全面推进落实水利部“智慧水利”建设总目标[1-2]，同时要坚持水利部部长李国英在部署“十四五”水旱灾害防御工作时强调的人民至上、生命至上，坚持建重于防、防重于抢、抢重于救，加快完善流域防洪减灾工程体系，牢牢守住水旱灾害风险防控底线。立足现有信息化基础，进一步促进大数据、云计算、物联网、移动互联等信息技术和其他先进科技手段与防汛抗旱业务的深度融合，实现对水利信息的实时感知、高效传输、迅速决策和安全共享，提高防汛调度工作管理水平与效率，加速防汛抗旱工作信息化发展。

1　现状及问题

池州城区长期以来在汛期阶段受到长江洪水及本地强降雨的影响，洪涝灾害严重，水利工程易受不同程度的损坏，圩口、排涝站易出现不同类型险情，如管涌、渗漏、滑坡等等，对人民群众的生活及财产安全造成了严重的威胁。当前池州防汛抗旱水利工作正处于水利信息化的起步阶段，信息化水平不高，工作存在较多薄弱环节，如基础设施建设欠缺、自动监测站点较少，信息采集频次低，现代化监测手段缺乏，部分区域仍采用人工巡测；共享机制不成熟，水利各部门已建系统之间未能实现数据共享；业务支撑平台薄弱，会商展示手段落后，缺乏对 GIS 地图、虚拟现实等新技术的应用；监管应用发展不平衡，系统功能多重数据处理、统计查询与文档管理，而对模型研究、智能调度等模块应用较少[3]。

防汛工作一直是池州市委、市政府的头痛问题，作为一个信息及时性较强的行业，防汛工作的第一战场便是在基层，要求基层防汛人员能获取防汛一手消息，并及时快速响应，将其准确传输给各级防汛指挥机构迅速做出决策，然而传统的信息获取手段如让人工观测、电话报汛等测报方式落后，已无法满足繁重紧急的防汛需要以及现代化防汛信息化的需求。

2　设计思路

池州市针对性的发展信息化建设，建立了防洪排涝调度管理系统，牢牢抓住防汛主动权，加强雨情水情监测，运用信息化手段，及时采集水情、雨情、山洪灾害预警等各类信息，同时构建水动力学模型及调度模型演算，对汛情进行预报，生成最优的调度方案，联动各级防汛办、各基层单位，迅速做出判断，实现科学调度，精准发布作战指令，为池州水利安全保驾护航。

3　系统功能架构

系统采用 SOA 体系架构及业界主流的 JavaEE 技术路线，满足跨操作系统与跨硬件平台的要求。采用松耦合体系结构，实现业务同服务分离、服务又与技术分离，以业务驱使服务、以服务驱使技术，降低每一个层次发生变化对到整个体系的影响，减少因变化带来的运行维护困难，提高信息化服务水平。防洪排涝调度管理系统主要是为地区提供针对防洪排涝调度指挥管理服务，包括防汛检查管理、汛情预报管理、灾情评估管理、防汛调度管理等子系统，其系统总体逻辑结构图如下。

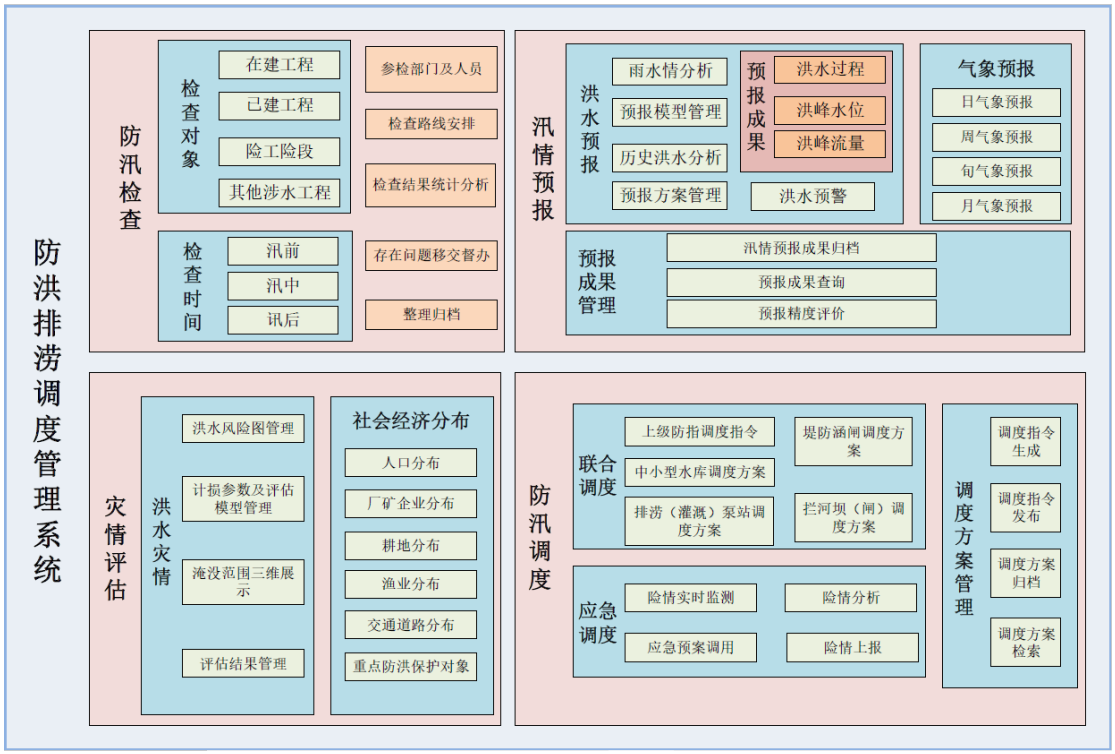


图 1　防洪排涝调度管理系统总体逻辑结构示意图

4　信息化建设内容

防汛排涝调度管理系统的建立，提高了对水雨情、工情、旱情和灾情信息采集的准确性及汛情预报的及时性，系统自动生成的防汛调度方案可为防汛抗旱决策提供科学依据，从而

最大可能达到防灾减灾效果。系统建设的主要内容包括以下几个方面。

4.1　全面专题数据库

系统根据数据流程分析，按照统一的基础数据、水利数据模型、数据目录，依据建设标准，按照数据库总体设计从逻辑上划分包括基础数据库、公共数据库、专业数据库和元数据库共四类综合数据库。

基础数据库是指系统涵盖各对象的基本型数据，较长时期内不会发生容的数据，如泵站装机规模、特征水位、水闸孔数和闸门启闭机规格、湖泊库容和特征水位等等数据，相应对象的基本型数据建立对应的数据库。这类数据库主要向各应用系统提供类似于常态量的数据服务。

公共数据库是指本系统各业务应用系统均需要使用且经常性更新的数据库，这些数据库包含的数据主要是可供相关应用子系统调用的成果数据和交换数据，以及社会经济数据库、空间基础地理信息数据库等。

元数据库是对本系统采集到的各类数据的说明，利用元数据信息共享的特点，我们可以对分散在各个地方的重要信息资源有效利用。支持图形、图片、文档、图表、多媒体及其它所有种类的数据形式。

专业数据的采集管理归不同的应用系统执行，各业务应用之间不同数据库中的数据访问通过应用支撑平台的数据交换服务实现，各业务数据库的建设随各应用系统一起进行，例如包括工程防洪数据、应急响应数据、防汛物资数据等。

各应用系统间的数据交换通过应用支撑平台的数据服务功能来实现，各应用系统访问基础数据库和公共数据库的数据也要通过应用支撑平台。

4.2　实时信息监测

运用监测、遥感和物联网等高新技术，建设水利信息感知一张图，逐步采用自动监测替代传统人工监测，全面感知流域水情、工情、旱情、灾情信息、气象和其它与防汛抗旱工作有关的信息。其中水情、工情、旱情、灾情和其它与防汛抗旱工作有关的信息，由水利部门负责采集、传输、处理和使用；而气象信息可通过气象部门负责采集、传输和处理，并提供给水利相关部门使用。

4.3　洪水预报

洪水预报是防洪调度决策的重要依据，预报对象可分为水库、河道、蓄洪带等，结合水库、河道、堤防、拦河建筑物等的基本特性，按水力学基本原理构建洪水预报数学模型，同时对历史洪水规模的成因、危害等级进行分析，用以修正洪水预报数学模型，依据近、中、长期气象预报成果和实际雨水情监测情况，按一定的边界条件通过洪水预报模型编制预报方案，生成洪水过程、洪峰水位、洪峰流量等洪水预报成果，按照预案等级提前发布预警。

4.4　联合调度

在建的防汛排涝调度系统以上级部门的调度指令为基础，对下级管理处防洪工程制定调度方案，同时生成调度公文和指令，下发至辖下各建筑物管理单位按指令执行，并由相关单

位执行调度方案，保证汛期安全。提出推荐的调度方案或处置措施，主动将相关结果信息推送到交互界面，为调度会商与决策提供全面的支撑信息。

4.5　应急调度

应急调度模块为防汛期间河道、堤防、建筑物等出现险情时提供紧急应对措施，险情监测包括两方面：一方面对可预见的险情监测（如险工险段、穿堤旱闸等）；另一方面是非可预见性的险情监测，包括泵站、堤防、水闸等运行过程中出现的险情。对险情监测模块采集的数据进行统计分析，预测其发展趋势，如渐趋恶化且造成后果严重，启动险情上报模块，为险情的即时处理提供时间保证。

5　结论

通过针对性的对防洪排涝调度管理系统建设，对系统功能进行详细的设计，建设了全面专题数据库，对防汛信息做到实时监测，并按一定的边界条件通过洪水预报模型编制预报方案，生成洪水过程、洪峰水位、洪峰流量等洪水预报成果，按照预案等级提前发布预警，制定调度方案等。完善了防汛调度管理系统，提升了信息采集、传输、处理过程的及时性与可靠性，真正实现了以基层为单位的全民防汛联动与领导科学调度，是防灾减灾的重要措施，充分体现了信息化建设在现代防汛工作中的重要作用，对其他地区的防洪排涝信息化工程具有一定的指导意义。同时也会促进信息技术与传统水利的深度融合，加速传统水利向现代水利的转变。

参考文献

[1] 中华人民共和国水利部.水利部关于印发水利信息化发展“十三五”规划的通知(水规计〔2016〕205号)[A].北京:中华人民共和国水利部，2016:1-2.

[2] 水利部参事咨询委员会.智慧水利现状分析及建设初步设想[J].中国水利，2018 (5): 1-4.

[3] 以智慧太湖支撑水利补短板强监管的思考[J].水利信息化，2019 (2): 1-6.

抢险“常用绳扣、家伙桩栓打方法”影像资料研制与应用

张　军　　张淑敏

（焦作黄河河务局武陟第二黄河河务局，焦作 454950）

摘要：在机械化抢险占主导地位时，传统抢险技术也不能废弃，怎样巩固和发扬传统抢险技术，使传统技术代代相传也是我们这一代人的任务和使命，在传统抢险中，常用绳扣及家伙桩的应用没有现成的书本，一直依靠上一代技术工人的口口相传进行现场教学，所以很有必要研制影像资料进行传授与研究。

关键词：绳扣；家伙桩；栓打方法；影像资料

1　研制背景与原由

随着防汛抢险机械化程度的不断提高，传统人工抢险技术及方法逐渐被人们遗忘，虽然一些书籍和教材中也记录有人工拴绳扣及打桩抢险方法，但不同时期的教材也有许多分歧之处，并且以前的常用绳扣及家伙桩栓打方法教材多为书本知识，书中所附的栓打方法图片都是平面图，还有的图片由人工徒手绘画，不够清晰，还有教材与教材中的一些栓打方法也想互存在异议，导致职工技能鉴定和技术比武标准不统一，不利于初学者学习，更为重要的是里边的部分内容不适合现代防汛抢险应用。

2　研制原由

由于机械化抢险工具受环境、场地、气候等自然条件的限制，不能完全满足防汛抢险的需要，加之汛期大险、恶险的产生几率依然存在，防汛抢险形势依然十分严峻，掌握传统的抢险技术很有必要。此外，每年的职工技能鉴定和技术比武中所使用规范技术标准及教材的缺少，使教者与学者没有准确的依据，所以研究开发传统抢险技术与现代抢险技术相结合的方法，是解决汛期大型机械抢险不能发挥作用最有效的办法。

3　研制过程

为了在特定条件下防汛抢险，也为了今后的技能鉴定和技术比武有一个统一的评判标准，便于广大青年职工学习，使传统抢险技术中的“常用绳扣及家伙桩栓打方法”得以延续，专门成立了项目研制小组，并召集具有高级技师人员担任技术指导，具备技师资格人员为操作成员，小组成立后进行作业分工，使其各负其责，然后在黄河驾部控导班附近寻找演示场地，并准备木桩、麻绳、油锤、铁锹等必备物品，工具、料物备好后对操作人员进行分组，先由一组人员进行拴绳、打桩训练，另外人员进行观摩，并循环操作，操作过程中由高级技师在现场作技术指导，出现错误立即更正，如有异议大家共同商量解决，经过长时间培训与演练，总结出了绳扣、家伙桩的栓打方法及适用范围，并组织有关专家、学者参考一些有关资料对教材存在异议的栓、打方法进行了研究和更正，经过精心组织多轮演习、操作，最后挑出动作最熟、方法最简便的一组定为最新绳扣、家伙桩拴打方法，并请专业摄像师摄像、抢险高技能人才审定，共同编制完成了抢险“常用绳扣、家伙桩栓打方法”的影像资料，并

制作成光盘进行推广应用。

4 成果特点

4.1 便于初学者进行模拟训练、学习

该教材是将栓打方法用真人演示和同步配音讲解融合到一起，学习起来比较直观，便于自行模拟，起到了易学的效果。

4.2 便于技能鉴定和技术比武统一技术标准

此前有关书本教材制作不够规范，甚至相同的叫法在不同的教材中存在不同的栓法，此次声像教材对此进行了统一规范，给基层的职工技能鉴定和技术比武提供了标准答案。

4.3 有利于继承和发扬传统防汛抢险技术

利用现代技术将传统的防汛抢险技术制作成影像片，既继承了以前传统抢险技术，又使该传统黄河文化得以保存和发扬光大，给后人留下了丰富的文化遗产。

5 适用范围及推广应用

5.1 适用范围

“常用家伙桩、绳扣栓打方法”影像资料，适用于大江大河的防汛抢险、水利工程临时抢险及农村水利工程抢修等水利工程施工。

5.2 推广应用

该成果曾在山东聊城河务局、焦作华龙公司、武陟第二河务局近几年的职工晋级培训及专业比武工作中实际应用，其效果非常明显，由于该教学片可观性、模拟性较强，便于更多的人掌握此种防汛抢险技术，为培育优秀的防汛抢险技术人才提供了良好的工具，更为技能评定提供了可靠的标准依据。

该成果分别获得河南河务局科技创新成果特等奖和黄委科技创新成果三等奖，在河南河务局 2014 年中级修防工技能鉴定培训中应用，收到了良好的效果，受到培训老师和学员的一致好评，2015 年被评为黄委三新成果认定项目，2016 年成果作为焦作市河务局科技创新推广项目在其辖区范围内推广应用。

6 经济效益和社会效益

使用该教材，可以大大减轻教师和学员的劳动强度，材料实用性强，使用方便，可操作性好，学习效率高，无论新职工还是需要晋级的技术工人，都可便利学习，特别是在技能比武评比中，可以作为评审者重要参考工具，因此经济效益和社会效益比较显著，具有很好的推广前景。

大连市洪涝灾情数据处理的微观分析

蔡佳妮

（辽宁省水利水电科学研究院有限责任公司沈阳分公司，沈阳 110003）

摘要：处理洪涝灾情数据在于使大连市的居民了解自己所处的地理位置的风险概率和受灾的严重程度，从而提高防范意识，也能够提高大连市防汛抗旱相关部门的管理技术水平，洪涝灾情数据的整理与分析是防办制定防汛规划方案和防洪减灾决策的科学依据。

关键词：水库；堤防；超高压输电线；通信基站

1　基本情况的统计

首先，大连市自重新划分行政区划以来，新成立的高新园区分两部分管辖，凌水街道、七贤岭街道[1]归于甘井子区管辖，龙王塘街道归旅顺口区管辖，复州湾街道、石河街道、炮台街道由金州新区管辖，明阳街道自己成立花园口经济区管委会，长兴岛街道和交流岛街道合在一起成立长兴岛经济开发区管委会。大连市具有海洋特点的暖温带大陆性季风气候，冬无严寒，夏无酷暑，四季分明。年降水量 550-950 毫米，60%-70%的降水集中于夏季，多暴雨，且夜雨多于日雨。

1.1　基本情况

根据《大连统计年鉴 2016》和《辽宁统计年鉴 2016》大连地区合计行政村数为 1603 个，人口为 618.5 万人，人口户数为 211 万户，房屋 627 万间，辖区面积 13313 平方公里，地区生产总值为 6722 亿元。

1.2　工矿企业生产情况

根据大连市地方上报数据，大连市工矿企业按类型划分为大、中、小、微型，资产总计 926 亿元，大型工矿企业总计 3365 个，大型 87 个，中型 418 个、小型 1023 个、微型 1837 个，主要分布在庄河市、瓦房店市、普兰区、甘井子区。

1.3　农业作物的生产情况

大连地区农业总产值为 258.18 亿元，其中粮食作物的耕地面积为 258601 公顷，产量为 919437 吨；经济作物的耕地面积为 59999 公顷，产量为 3350906 吨，这两类作物主要分布在庄河市、瓦房店市、普兰店区、金州区、长海县、甘井子区、旅顺口区。

1.4　教育事业基本情况

大连市学校按类型可划分为普通高等学校、中等学校、小学、幼儿园、其他教育机构，其中中等学校分为初中、高中、专业学校。普通高等学校拥有 30 座，分布在中山区、西岗区、沙河口区、甘井子区、旅顺口区、金州区，在校学生总计 290025 人；中等学校总共拥有 303 座，在校学生总计 256646 人；小学拥有 524 所，平均每个县（区）拥有 52 所，在校学生总计 288034 人；幼儿园拥有 1266 所，平均每个县（区）拥有 127 所，在校学生总计

147544 人，其他教育机构 1 所，在校学生 147 人。

1.5　畜牧业情况

大牲畜指牛、马、驴、骡、骆驼的数量，不含其它畜类及鸡鸭等家禽，5 只猪或 5 只羊算一头大牲畜。畜牧业总产值是以货币表现的畜牧业的全部产品总量和对畜牧业生产活动进行的各种支持性服务活动的价值。大连市的牲畜总计 775023 头，分布在庄河市、瓦房店市、普兰店区、金州区、长海县、甘井子区、旅顺口区。肉类总产量为 782000 万吨；奶类产量为 70000 吨；禽蛋产量为 270000 吨；畜牧业总产值达到 2161278 万元。

1.6　渔业情况

渔业总产值是以货币表现的渔业的全部产品总量和对渔业生产活动进行的各种支持性服务活动的价值。大连市水产养殖面积为 677548 公顷，鱼类的数量为 226178 万吨；甲壳类为 4421 万吨；贝类为 12077 万吨；藻类 64068 万吨；渔业总产值达到 3869580 万元。

2　水利基本情况统计

在大量的基础统计数据和专项调查研究的基础上，通过综合分析预测和专项统计分析研究对各项水利工程设施的运行情况进行监测和评估，特别要针对洪涝灾情数据的处理工作和热点问题开展分析研究，提出有价值、高质量的分析研究报告，为水利管理和政策制定提供参考。

2.1　水库情况统计

按照水库等级[2]划分：总库容≥10 亿 m³ 为大（1）型；总库容 10～1.0 亿 m³ 为大（2）型；总库容 1.0～0.1 亿 m³ 为中型；总库容 0.10～0.01 亿 m³ 为小（1）型；总库容 0.01～0.001 亿 m³ 为小（2）型。大连市大（2）型水库合计 7 座；中型水库为 16 座；小（1）型水库为 45 座；小（2）型水库为 142 座。

2.2　水闸情况统计

水闸工程分等指标：最大过闸流量≥5000(m³/s)为大（1）型；5000～1000(m³/s)为大（2）型；1000～100(m³/s)为中型；100～20(m³/s)为小（1）型；＜20 (m³/s)为小（2）型。大连市大（2）型水闸合计 3 座；中型水闸为 11 座；小（1）型水闸为 11 座；小（2）型水闸为 93 座。

2.3　泵站情况统计

泵站分等指标：装机流量 ≥200（m³/s）或装机功率≥3（万 kW）为大（1）型；装机流量 200～50（m³/s）或装机功率 3～1（万 kW）为大（2）型；装机流量 50～10（m³/s）或装机功率 1～0.1（万 kW）为中型；装机流量 10～2（m³/s）或装机功率 8.1～0.01（万 kW）为 小（1）型;装机流量 ＜2 （m³/s）或装机功率 ＜0.01（万 kW）为 小（2）型。大连市大（2）型机电泵站有 1 座，中型有 7 座，小（2）型有 340 座。

2.4　堤防及其他水利设施情况统计

堤防工程级别[3]划分：防洪标准（重现期）≥100（年）为 1 级；100～50（年）为 2 级；50～30（年）为 3 级；30～20（年）为 4 级；20～10（年）为 5 级。大连市 2 级堤防为

7 处，共 124.27 千米；3 级堤防为 10 处，共 441.69 千米；4 级堤防为 40 处，共 629.62 千米；5 级堤防共 310 处，共 3307.51 千米。大连市另有塘坝 2495 座；灌溉设施 846 处；农村饮水工程 121452 处；水文测站 11 个，机电井 500425 眼；水电站 4 座。

3 交通运输与电力通讯的情况统计

面对前所未有的经济下行压力，坚持稳中求进，主动适应和引领经济发展的新常态，全面落实稳增长防风险的各项防洪任务，保持社会和谐的良好局面，交通运输与电力通讯两项指标也对减灾决策的制作起到重要的作用，不可忽视。

3.1 交通运输业基本情况统计

铁路共计 12 条，全长 200.25 千米；高速公路 22 条，全长 631 千米；国内和国际机场各 1 个；大连市有大中小港口共计 35 个。

3.2 电力通讯基本情况统计

超高压的输电线[4]为 21 条，共计 498.44 千米，通信基站 1238 个，线路共计 18887 条。

4 结语

大连市洪涝灾情的内容和数据量都非常大，需要注意的细小环节特别多，必须严细认真进行每一项统计、调查，最终将通过审核汇集软件集中到洪涝灾情成果数据库，为辽宁省洪涝灾情分析评价提供基础数据。

参考文献

[1] 袁克力.大连统计年鉴 2016.中国统计，2016，(10)：55-59

[2] 国务院第一次全国水利普查领导小组办公室.水利工程基本情况普查.中国水利水电，2010，(11)：22-25.

[3] 尉成海.辽宁省水利普查成果.中国水利水电，2014,（1）:471-485.

[4] 魏洪江.2016 辽宁统计年鉴.中国统计，2016，(12)：70-74.

洪水韧性城市建设研究—以金堂县为例

张洪斌[1]　喻海军[1]　张　诚[1]　吴滨滨[1]　穆　杰[1]　史虹键[2]

（1.中国水利水电科学研究院，北京 100048；2.三峡大学，宜昌 443002）

摘要：四川省金堂县地处三江交汇处，地势低洼，洪水频发，给当地居民的生产、生活带来了极大的困扰，也造成了社会和经济上的损失。本文在充分调研金堂县 2018 年洪水灾害、建筑和生命线工程现状条件以及现有风险管理措施的基础上，提出了金堂县洪水韧性城市拟改造范围、改造内容及改造方案，并建议在未来城市发展建设用地规划中对包括洪灾在内的多灾种防御进行综合考虑的方法，从而提升金堂县未来在遭遇流域大洪水后的快速恢复能力，帮助当地居民建立与水共生、与水共融的理念和生活方式。

关键词：洪水韧性城市；生命线工程；洪水淹没图；风险管理

1　洪水韧性的提出

近年来，为了应对快速的城镇化发展以及气候变化，在国际范围内，传统的以降低脆弱性为驱动的洪水管理方法开始向洪水韧性管理转变，洪水的韧性管理被视为一种更具有前瞻性和系统性的方法，是将洪水管理的多环节、多过程、多响应进行耦合的系统方法。

韧性理念最早在生态学和工程学领域开展了较长时间的研究与应用，但是将之应用于自然灾害管理则是近十几年来才开始的。虽然近年来，不同学者对于将韧性理念应用于洪水管理领域的关注度不断增加，但是对洪水管理领域中韧性的定义尚不统一，不同专家学者均有各自的见解。

Walker 等人于 2006 年发表的书籍中对韧性的定义如下：对于一个事物或系统来说，其韧性通常指吸收外部扰乱并保持自身基本功能和结构的能力。韧性还与可持续发展的概念相关，以及在实现当前系统的需求的同时不破坏潜在的未来需求[1]。也有学者将系统的韧性定义为系统承受较大的扰乱的能力，并且仅产生一些可接受的部分参数下降、并在相对较短时间内恢复[2]。

洪水韧性，通常指的是一个系统/社区在洪水的侵害下造成对人类和基础设施的风险可以被降到最低，同时需要保证系统内的河流、湖泊等水体具有足够的空间以容纳洪水的发生。洪水韧性还代表着洪灾后的恢复所需资金较少、与曾经的灾后重建相比能让居民更快地恢复正常生活、水资源不会受到严重的负面影响并可以逐渐自行恢复等。

联合国减灾署（UNISDR）明确提出：“至 2030 年，全球要通过提高韧性等方法，大幅减少灾害对重要基础设施的损害。”

具有韧性的洪水风险管理致力于塑造一个系统抵御洪水的能力，需要将洪水造成的后果纳入考虑。决策者将应用韧性管理策略，考虑如何在洪水的冲击下生存并将洪水的破坏减小至最小，而不是“与洪水正面抗争”——即加强现存洪水防护措施。该方法重在尽可能降低洪水的破坏，并帮助受到洪水灾害的地域尽快恢复正常生活。

2　洪水韧性建设

洪水韧性建设主要分为工程措施和非工程措施两个方面。

工程措施方面。补齐工程短板，新建骨干工程或加固现有水利工程，打造水利工程网络；提升堤防防洪标准，开展蓄滞洪区建设并强化管理；开展生命线工程的强韧性建设，打造一套洪水时可以“不断路、不断电、不断气、不断信号”的生命线运作体系。充分考虑在易涝点建设地下蓄水空间，强化地下、地表河流的水力联系，发挥城市地下蓄水空间的作用，同时提升新建城区排水设计标准，确保下渗能力。

非工程措施方面。需要提升气象和水文预警预报能力，防汛抢险专业化能力等；要构建以社区（街区）为防御主体，交通路网和河湖联通的排涝体系，做到大水来了“防的住、不壅水；有通道、排的出”。针对特殊建筑，如学校、医院等，需进行建筑物韧性提升工程，按照：“洪水来时不用跑，通水通电照运行”的标准进行设计补强。同时，加大常时宣传力度，以风险管理为核心，大力宣传全民应对洪水风险的知识以及“与水共生、与水共融”的理念，并定期开展不同规模的防洪演练。

3　金堂县洪水韧性城市建设

3.1　金堂县基本概况

四川省金堂县地处北河、中河、毗河三江交汇处，地势低洼，历史上洪水频发，尤其是最近十年中，金堂县发生了三次大洪水（2013 年、2018 年、2020 年），给当地居民的生产、生活带来了极大的困扰，也造成了较大的社会和经济损失。为从根本上解决金堂县的防洪问题，中国水利水电科学研究院对金堂县城区的综合防洪体系进行研究，将结合金堂县现状的防洪工程布局中的薄弱环节提出“补短板”的工程措施，从而提高城市的防洪标准。在此基础上，洪水韧性城市建设这一国际上先进的理念也被引入到金堂县，进一步提升其在流域超标准大洪水中的自救能力及快速恢复能力，并帮助当地居民建立与水共生、与水共融的理念。

图 1　金堂县水系图

3.2　2018 年金堂县受灾情况

3.2.1　商用建筑

2018 年，金堂县新老城区商铺、商厦大面积受淹、暂停营业最长长达一个多月。以金堂水城商会大厦为例，它是集商业卖场、会议中心、办公写字楼、星级酒店、餐饮娱乐为一

体的综合性商贸中心。大厦由裙楼和双塔构成，裙楼 5 层，主塔总高度 99 米，副塔总高度 92 米，总建筑面积 11.5 万平方米。大厦位于毗河左岸，2018 年洪水期间，地下车库遭遇洪水倒灌，不仅车主损失惨重，而且由于供电设施全部位于地下车库，导致整个大厦供电瘫痪。此外，污水管道超负荷运转，有污水外溢的情况发生。灾后大厦物业启用临时应急发电设备系统，优先恢复抢险供电，经过两个多星期的抽水、排污、清淤，恢复运营。但截至目前，大厦的常规供电设备仍然在维修，虽然在洪水来临前采取了紧急断电措施，但由于洪水浸泡过久，损坏严重，预计花费将超千万元。

2018 年灾情过后，每年汛期，大厦物业在地下车库进出口处，均配备了防洪挡板和沙袋，以防洪水的再次倒灌。

图 2　金堂县商会大厦

3.2.2　居民建筑

（1）棕榈湖国际社区

棕榈湖国际社区是一处商业楼盘，位于金堂县北河二桥旁的新城区，该楼盘占地面积约 20000 平方米，以洋房别墅为主，打造亲水宜居高端社区。然而在 2018 年洪水受灾之后，该小区房价迅速下降，给业主带来极大的物质和精神压力。

图 3　金堂县棕榈湖国际社区

小区主要受灾有几个方面：一是一楼住户家中进水，来不及转移的财产遭到浸泡；二是小区供电系统遭到破坏，至今依然使用临时发电设备供电；三是地下车库车辆受灾严重。面对亲水社区遭受水灾，部分一层居民购买了二层的住宅，并打通连接起来，以防未来洪水来临时，迅速向二层转移财产；小区物业也准备在地下车库出入口安装防洪挡板，并备好沙袋等防汛物资。

（2）现代生态水城

图 4　金堂县现代生态水城

现代生态水城位于新城区，拥有 20 万平方米半岛洋房，4 万平方米环岛别墅，15000 平方米商业街区，2000 平方米游艇会所，2000 平方米幼儿园，3000 平方米生活品市场。倡导真正亲水居家文化，打造名副其实生态社区，其最大的特色是所有楼房均建在混凝土基柱上，一层的空间全部腾空，在 2018 年洪水期间，洪水虽然给居民出行带来了不便，但无一户进水受灾。在洪水的冲击浸泡下，基柱稳定性良好，安全性高。但本小区车库未能幸免，遭遇跟大部分其他小区一样的洪水淹没。

3.2.3　供水工程

金堂县一水厂和二水厂共同保障金堂县城区的供水，其中一水厂日供水能力约 4 万吨，二水厂日供水能力约 6 万吨，金堂县城区日均总用水量为 6～6.5 万吨。两个水厂互为备用，共同保障金堂县城的供水安全。

图 5　金堂县一水厂

一水厂的电器设备均布设在二楼及以上位置，而且其泵房是全封闭式建筑。但是在 2018 年洪水期间，因输水环节中输水管道被冲毁、受水环节中二次加压设备受淹没等影响，居民生产生活用水也遭受到了不同程度的影响。二水厂场址地势较高，未受到较大影响。

3.2.4　排水工程

2018 年受淹地区排水管网受损比较严重，尤其是洪水携带着泥沙、垃圾等物质，在排水管道中淤积，引起堵塞。灾后，水务部门请相关公司进行清淤疏通工作，大约两个月之后才恢复正常的排水系统运转。此外泵站受损也比较严重，有两个泵站完全被淹没，不能发挥作用，灾后进行了维修更换。

3.2.5　污水处理厂

为考虑到尽量经济地形成城市排水体系，污水处理厂通常选址在城市地势相对较低的位置，这就使得在洪水期间，这些污水处理厂首先遭受到洪水的袭击。2018 年洪水期间，金堂县共有 10 座污水处理厂受灾，其中城区 1 座，为海天水务有限公司（县城生活污水处理厂），位于赵镇街道韩滩社区，紧邻中河（沱江），主要收集县城居民生活污水，日处理污水能力为 3 万吨。污水处理厂自救措施，包括厂区断电、设备转移到更高楼层，但其变配电设施仍然遭到损坏，部分污水外溢，对周边环境造成了不利的影响。污水处理厂在灾后二周左

右恢复生产，但完全恢复到正常水平则花费了 2～3 个月的时间。

图 6　金堂县海天水务有限公司

3.2.6　交通道路

相比村道由于山体塌方引起的道路中断，金堂城区的道路受洪水影响主要是由于洪水淹没以及泥沙淤积，使得车辆和行人无法正常通行。金堂县紧急组织本地力量并寻求外援，对 118 条受灾街道划分责任区，统一分派工作任务、调配救灾资源，先交通主干道和公共区域，后背街小巷和居民小区，分片包干、地毯式推进排涝清淤，恢复一片、移交一片、常态化管好一片。灾后恢复组织工作有力、有序、有效推进，市民生产生活一周内基本恢复，基本实现大灾之后不见灾的目标。

图 7　2018 年金堂县道路受淹和清淤情况

3.2.7　供电工程

金堂县城区变电站地势均较高，2018 年没有遭到洪水淹没。公变高程在 2.5～3m 之间，只有当洪水接近到 50cm 时才会停电，2018 年洪水期间，做到了供电不停电。对于架空线入地，通常地下管线埋深约 80cm，洪水来临反而风险更大，一是停电的几率更大，二是洪灾过后管道恢复起来非常麻烦。目前金堂县没有实施架空线入地，所以这方面未受到洪水影响。2018 年洪水供电问题主要出现在位于地下室的终端变配电设施的损坏上。目前，新建建筑一律要求其变配电设备抬高，而已建建筑也在逐步推进改造。金堂县正在推进城市重要节点统计，将清单中的重要节点接入到公共变压设备上，确保在洪水期间，重要节点的供用电得到保障。

3.2.8　供气工程

为城区主配的两个供气站为清江供气站和杨柳供气站，2018 年洪水期间均正常运行，没有受到影响。因为供气设施的仪表和阀门如果没有完全被淹没，是可以正常运转的。除了个别处的输气管道被冲毁以外，2018 年洪水期间，金堂县没有造成大面积停气的现象。

3.2.9　通信工程

2018 年出现了基站被水浸泡的状况，被迫断电，信号中断，站内通信设备及其支撑的防汛通信告急。另外，光缆过河都是绑在桥梁的侧面，河水上涨，造成光缆受损严重。政府组织对基站进行抢修，评估受灾情况，对地势较低的基站进行设备上移，同时用沙袋封堵机房门，对无法恢复的基站改链路快速恢复，并临时应急竖杆，使通信网络得以很快恢复正常运行，但完全恢复到灾前水平，耗时了 2～3 个月。灾后，部分基站地势低和光缆过河的问题尚未得到解决。

3.3　问题分析

金堂县由于上游无控制性蓄泄工程、下游峡口过流能力有限、自身堤防防洪标准偏低、预报预警能力不足等原因，导致每逢大雨暴雨均会引发洪水灾害的局面。为彻底解决金堂县城区防洪问题，需要在流域层面开展系统而完整的研究。坚持 “以预防为主、从减少灾害损失向减轻灾害风险转变”和“工程措施与非工程措施相结合”的指导思想，以水文、水动力模拟技术等为手段，开展上蓄（水库）、下排（河道整治、拓峡）、中分（蓄滞洪区）等工程措施，大幅度提升金堂县城区的防洪标准。在这些工程措施的基础上，开展洪水韧性城市的改造与规划，从而进一步提升金堂县城区应对超标准大洪水的自救能力，最大限度地减少灾害损失，并迅速从洪水灾害中恢复。

目前金堂县已经在洪水韧性城市建设方面进行了一些探索，如现代生态水城建筑建在混凝土立柱上、一水厂的全封闭泵房等，事实证明这些探索在 2018 年洪水中取得了很好的成效，但是面对整个金堂县城区，这些点上的探索还远远不够，需要系统地、全面地、综合地分析评估易受淹区域及防洪薄弱环节，调研和梳理国内外洪水韧性城市建设所开展的实用技术，凝练各项生命线工程韧性提升的改造方法，改善生命线工程的抗淹性能；开展城区风险管理措施研究和土地利用规划布局优化研究，降低高风险区的洪涝淹没损失。因地制宜，形

成一套针对金堂县城区合理可行的洪水韧性城市建设初步方案及风险管理措施。

3.4 韧性规划改造建议

3.4.1 大力推进城市功能性改造

深度优化老城区空间结构，推动产业、人口布局更加科学合理，塑造城市发展新格局。针对老城区人口密度大、地势低洼易淹没、房屋建筑标准低、基础设施欠账多的实际，借鉴成都市“中优”理念，对旧城实行功能性改造。大力争取棚户区改造项目，拆旧建新提升旧城抗灾避险能力；加强政府性土地收储，还建公共绿地等开敞空间，以休闲功能置换人居功能，降低旧城人口密度。

3.4.2 进一步调整城市发展方向

借鉴成都市“南拓”理念，结合金堂县水安全研究成果进一步将城市发展的重点区域向南做出调整，在亲水和防洪之间做出平衡。跨越达成铁路，在地势较高的盘龙寺、香龙山、石子岭片区，按照公园城市标准规划分阶段建设县城副中心，引导城市重心向安全区域转移，以绝水患。新城规划布局还要综合考虑包括洪灾在内的多个相关灾种，做到有备无患。

3.4.3 推动移动式防洪墙的使用

金堂县已经将提升堤防防洪标准纳入规划。近期按 20 年一遇设防标准，提升河岸堤防等防洪设施；远期按 50 年一遇设防标准长远规划、分期建设防洪设施。但面对超标准大洪水时，堤防不可能一再加高，需要借助临时的移动式防洪墙，提升防御标准。在新建及升级改造的堤防规划中，建议预留卯榫等相关埋件，为将来移动式防洪墙的安装使用提供便利。

3.4.4 推广建筑物抬高、封闭等先进经验

因地制宜，对于新建的建筑，建议有条件的可以借鉴现代生态水城的成功案例，把建筑整体抬高。没有条件的新建建筑及已建建筑，建议把变配电设备、供水二次加压设备、通信基站等至少抬高到 1981 年历史最大洪水位以上。目前金堂县完成设备抬高的小区仅有 10 个左右，比例很低，阻力在于部分业主不愿意承担改造费用，也不愿意将设备建在自己家附近的位置，另外在城市街道上的设备抬高还需要协调城管部门的配合。建议政府提供合理的施工设计方案、进行科学的论证，推进这一关键工作的实施。在此之前，可以将城市重要节点梳理出来，接到公共变电设备上，确保在洪水期间城市重要节点不受影响。

目前，金堂县 49 个低洼易涝小区的地下车库全部配备了沙袋，并安装了防洪挡板，但品质不一，其中 26 个安装了两侧有卡槽和密封条的“标准化”挡板。但洪水来临时，能否在携沙水流的冲击浸泡下长时间阻水，是一个极大的考验。低层的商户和居民也建议安装临时防洪挡板防止进水。目前英国、荷兰等地已经有相对成熟的经验可以借鉴，荷兰甚至有全屋封闭的措施，洪水来临时，门窗均可以临时进行封闭阻水。

3.4.5 强化管道日常检修与维护

调研中发现供水、供气等初端设备并没有受到洪水影响，反而在运输过程中，由于管道被冲毁，引发了局部的断水、断气以及排水受阻等现象。生命线工程是由一条条线组成，线上的结点出了问题，往往会影响整条线路的正常运转。建议组织专业班子进一步加强管道日

常检修与维护，尤其是在历次洪水中出现问题的管段。对于每一次的防汛检查都要作详细记录，发现隐患现场制定整改措施并限期整改。

3.4.6　提升风险管理措施

一是出台滨河城市规划设计强制标准。划定滨河建设基线，城市建筑与河道滩涂保持足够退距，严控逾线开发。二是加强洪水预警预报的能力，编制洪水风险图，建设洪水预警预报系统和防汛指挥系统。三是加强应急指挥和保障能力建设，确保防汛道路全畅通、设备运转全天候、预警信息全覆盖，提升应急抢险软硬件能力，并定期开展全城防洪演练。四是鼓励和引导居民购买财产险种，增强抵御风险能力，并帮助居民建立与水共生、与水共融的先进理念和生活方式。

4　总结与展望

本文首先介绍了洪水韧性概念的提出，并从工程措施和非工程措施两个方面阐述了洪水韧性建设的内容。在充分调研金堂县 2018 年洪水灾害、建筑和生命线工程现状条件以及现有风险管理措施的基础上，提出了金堂县洪水韧性城市拟改造范围、改造内容（建筑物及地下空间防护、城市蓄洪工程建设、生命线工程保护与恢复等）及改造方案，并建议在未来城市发展建设用地规划中对包括洪灾在内的多灾种防御进行综合考虑的方法，从而提升金堂县未来在遭遇流域大洪水后的快速恢复能力，帮助当地居民建立与水共生、与水共融的理念和生活方式。洪水韧性的理念目前在国内外被广泛提出，但其理论框架以及评估指标体系还有待进一步的深入研究，其信息化、智能化、智慧化程度不高，未来还有大的发展前景。

参考文献

[1] Walker, B. H., & Salt, D. (2006). Resilience thinking: Sustaining ecosystems and people in a changing world. Washington, DC: Island Press.

[2] Bogdanoski, M. (2015). Handbook of Research on Civil Society and National Security in the Era of Cyber Warfare.

基于 BP 神经网络的大湾区典型城市洪涝风险评估

王高丹　　潘璀林　　彭乐文　　杨　跃　　赖　杭

（水利部珠江水利委员会珠江水利科学研究院，广州 510611）

摘要：粤港澳大湾区社会经济高速发展，因城市“雨岛效应”和下垫面快速变化导致暴雨洪涝灾害频发，严重制约大湾区向充满活力的世界级城市群建设发展。本文考虑气候变化和快速城市化对洪涝灾害的影响，以广州为典型研究区，提取并分析城市化时空格局变化特征及近十年较严重洪涝灾害降雨特征、影响范围及灾害损失，综合考虑主要致灾因子、孕灾环境和承灾体，构建了城市洪涝灾害风险评估体系。采用 BP 神经网络进行训练，挖掘评估指标与灾害经济损失之间的耦合关系，构建大湾区典型城市洪涝风险评估模型。研究结果表明，BP 神经网络等机器学习算法在洪涝灾害风险评估方面应用效果较好，具有较广泛的应用空间，能够支撑粤港澳大湾区洪涝灾害预报预警与风险防范能力建设，促进灾害防御从减少灾害损失向减轻灾害风险转变。

关键词：城市暴雨洪涝；BP 神经网络；风险评估；大湾区

0　引言

粤港澳大湾区是人口高度密集、城市化程度较高、经济高速发展的重要地区，截止 2019 年，大湾区总人口居全球四大湾区之首，生产总值排名第二，其经济社会地位决定了洪涝灾害防御的重要性。大湾区位于珠江三角洲地区，地势较平坦，河网密集且相互贯通，受上游西江、北江和东江洪水及珠江河口潮汐、风暴潮的共同影响，常常会形成大洪水甚至特大洪水。在高速城市化和气候变化的影响下，大湾区城市因“热岛效应”“雨岛效应”改变了局地小气候，雨强增加、极端降雨发生频率加大；土地利用向城镇建设用地快速转变改变了产汇流机制，产流量增加、汇流速度提高，城市洪涝灾害防御形势愈加严峻[1]。以广州为例，在 2017 年~2020 年连续发生 5 场特大暴雨，2020 年“5• 22”特大暴雨造成全市多地严重水淹，增城区广汽本田生产基地被淹、地铁 13 号线官湖站、新沙站受灾严重导致地铁停运，全市死亡 4 人，经济损失约 28 亿。

国外对洪水风险管理起步较早，美国于上世纪 60 年代启动国家洪水保险计划和风险图绘制工作[2]，日本于 1994 年将全国洪水风险图纳入法律范围[3]，我国自 1997 年提出洪水风险图的编制计划[4]，城市洪涝风险管理近年来也逐步引起重视[5]，国内学者分析讨论了城市内涝防治的根本问题[6]、城市洪涝灾害应急管理框架[7]，探讨了水文气象大数据分析与网络预警平台建设的可能性[8]。灾害风险分析方面，遥感和 GIS 技术在山洪灾害风险评估[9]、上海市洪涝灾害损失定量分析[10]中深度应用，风险评估指标体系用于中山市[11]、广州市番禺区[12]内涝风险评估，采用 RCP 模式进行了珠三角地区洪涝风险的联合影响研究[13]。人工神经网络方法也逐渐应用于流域洪水预报[14]、农业旱灾脆弱性评价[15]、水库水质预测[16]、台风灾害经济损失评估[17]等研究并取得较好成果。综上，目前城市洪涝灾害风险评估重要性

已经凸显，常用的 GIS、指标体系、情景模拟等方法在数据资料要求、复杂性、准确性等方面，各自存在不同程度的局限，而机器学习方法的快速发展为灾害评估提供新途径。本文在大湾区典型城市快速城市化背景下，综合考虑城市化及气候变化对洪涝灾害的影响，采用 BP 神经网络模拟洪涝致灾因子与灾害损失之间的耦合关系，构建大湾区典型城市洪涝风险评估模型。

1　快速城市化对暴雨洪涝的影响分析

1.1　广州城市化时空格局变化特征

城市化的最主要表现就是在空间上用不透水地表，如道路、停车场、广场及屋顶等代替以植被为主的土地利用类型，造成区域径流系数提高，导致洪峰流量增加、峰现时间提前。本文基于《中国土地利用现状遥感监测数据库》的数据资源，选取 1990 年、2000 年、2010 年、2020 年四期数据，对大湾区典型城市广州近 30 年的城市化时空格局变化特征进行了提取和分析，其中：城市扩张面积表示一段时间内城市面积的增长量，城市扩张速度表示一段时间内城市平均扩张的面积。

广州的城市化时空变化格局相对集中、发展迅速，在粤港澳大湾区具有一定的代表性。4 期土地利用数据统计分析表明（表 1），广州市 1990 年不透水地表面积为 649km²，占广州市总面积的 8.73%；2000 年不透水地表面积为 808km²，占总面积 10.87%；2010 年不透水地表面积为 1349km²，占总面积 18.15%；2020 年不透水地表面积为 1495km²，占总面积 20.11%。广州市 1990-2000 年不透水地表面积年平均增长率为 2.45%，2000-2010 不透水地表面积年增长率为 6.70%，2010-2020 不透水地表面积年增长率为 1.08%，1990-2020 年 30 年共增长了 846km²，平均每年增长 28.2km²，平均增长率为 4.35%。

表 1　广州市城市化时空格局变化情况

年份	不透水地表面积/km²	占广州市总面积的比例	不透水地表面积增长量/km²	不透水地表面积年平均增长率
1990 年	649	8.73%	-	-
2000 年	808	10.87%	159	2.45%
2010 年	1349	18.15%	541	6.70%
2020 年	1495	20.11%	146	1.08%

广州市 1990-2020 年不透水地表的空间分布情况如图 1 所示，近 30 年来，广州市保持稳定持续高速发展，城乡建设用地大规模增长，城市呈现出快速向外扩张的趋势，其中以天河区、白云区、花都区、黄浦区、番禺区的扩张趋势最为明显。2000-2010 年期间，城市扩张速度较 1990-2000 年明显加快，其中扩张速度最快的是黄埔区，其次是白云区；2010-2020 年期间，中心六区即荔湾区、越秀区、天河区、海珠区、黄浦区、白云区的扩张速度明显降低，而周边区域继续保持稳定的增长速度。可以预见，在一定时期内，广州的城市化面积将继续扩大。

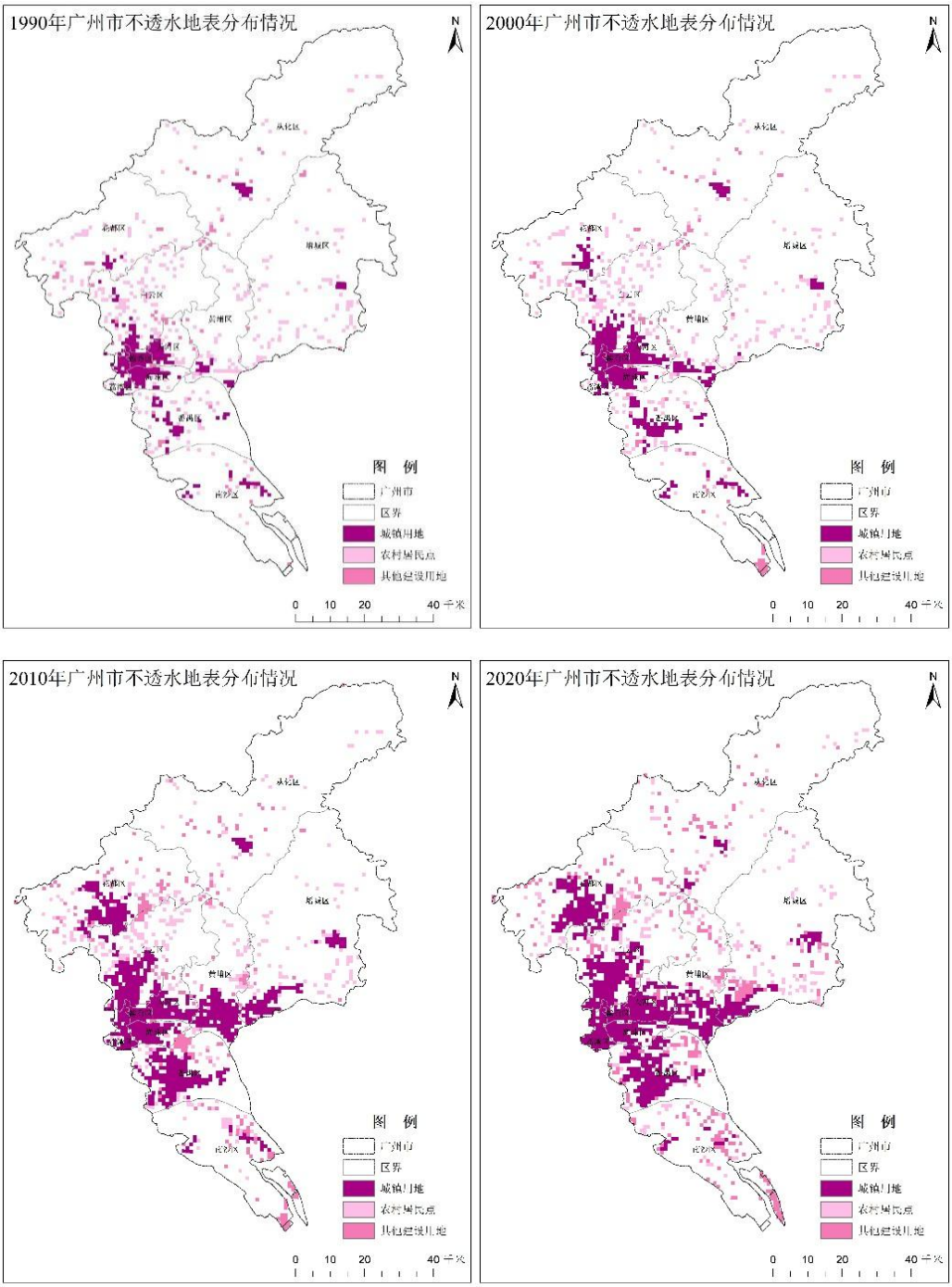


图 1　1990-2020 年广州市不透水地表面积变化情况

1.2　广州市洪涝灾情分析

极端降雨事件对高度城镇化地区的社会经济造成的影响更为突出，广州是中国经济最发达、城市化程度最高的城市之一，本文收集了近 11 年广州洪涝灾害情况以及降雨数据，统计整理了广州城市洪涝灾害发生的时间、主要内涝点以及损失情况，具体如表 2 所示。

表 2　2010-2020 年广州市洪涝灾害情况统计表

发生时间	地点	最大雨量/mm	主要内涝点	损失情况
2010/5/7	市三防	162	中山一路梅东路段、广州大道沙河大街段、广园快速、中山大道华师段、黄石东路江夏段、火车站站前路、大观路、林和西路、龙口西路等路段；新赛格电子城、暨南大学教学大学和行政办公楼。	水浸街 44 个，21 条道路严重堵塞，白云机场大面积延误，经济损失超过 10 亿。
	中大	92		
	龙洞水库	219		
	南大水库	138		
	长洲水闸	160		
2011/10/13	市三防	128	中心城区共出现 32 处涝点，越秀北路、广州城市职业学院越秀校区、暨南大学、太古汇地下商场、康王路、龙津路、机场路新市墟路段等区域水浸严重。	白云机场 30 多个航班延误。
	中大	141		
	龙洞水库	72		
	南大水库	47		
	长洲水闸	133		
2015/5/4	市三防	144	环市路旁边的地下隧道；广园路转天寿路口桥洞。	无人员伤亡、无重大财产损失
	中大	64		
	龙洞水库	109		
	南大水库	61		
	长洲水闸	45		
2016/8/2	市三防	112	珠江堤岸有部分水浸；芳村西塱立交桥顶积水较深、面积较大。	无人员伤亡、无重大财产损失
	中大	63		
	龙洞水库	115		
	南大水库	-		
	长洲水闸	93		
2017/5/7	市三防	67	九龙镇、永和街；番禺大道与金山大道交界、105 国道、富怡路与金龙路交界、市新路东环街、桥南街、市桥街、盛泰路与平康路交界；潭村隧道辅道、长福路桥底、广园快速路、东圃大马路。	广州全市倒塌房屋 172 间，安全转移群众 6925 人。
	中大	38		
	龙洞水库	88		
	南大水库	51		
	长洲水闸	137		
2018/6/8	市三防	117	花都区：新雅街、建设北路永发电脑城、宝华隧道、工业大道隧道、云山路段、建设北路-人爱医院、永大新城路段、大陵变电站等；越秀区：永胜上沙二巷；白云区；天河区：珠江新城金穗路、员村二横路。	约 2.6 万户用户停电；受灾 21.47 万人，因灾死亡 5 人，直接经济损失 4.6 亿元。
	中大	141		
	龙洞水库	114		
	南大水库	186		
	长洲水闸	110		
2020/5/22	市三防	76	本次降雨共发生 443 处积水，其中：增城区 208 处、黄埔区 180 处、天河区 23 处、海珠区 8 处、从化区 7 处、白云区 5 处、番禺区 5 处、南沙区 4 处、花都区 2 处、荔湾区 1 处。	13 号地铁线停运；4 人死亡，大量群众受灾，造成了 28 亿元的巨大经济损失。
	中大	98		
	龙洞水库	54		
	南大水库	80		
	长洲水闸	96		

从上表可以看出广州城市洪涝具有明显特征：

（1）时间上，短历时大暴雨更为频发，暴雨强度显著增加，时段降雨记录不断刷新；城市洪涝灾害发生频率显著增加，尤其是 2017-2020 年连续发生了 5 次特大暴雨洪涝灾害；

（2）空间上，暴雨和洪涝灾害中心由西部的传统中心区荔湾区、越秀区向东部城市化进程更快的黄埔区、增城区转移；

（3）成因上，暴雨是城市洪涝的主要来源，广州市北部靠山、南部向海、河网交错复杂，特殊地形造成局部暴雨成因复杂；广州市老中心城区大部分主干管网按 1 年一遇标准建设，新城区也仅达到 3 年一遇排水标准[1]，快速城市化下垫面和低标准的排水管网造成城市行洪排涝能力偏低；

（4）应对措施上，基本能够实现气象预报，但短临预报的时间和空间精度都有待提高；城市水务管理及市政部门能够根据气象预报或城市洪涝发生情况启动相应等级的应急响应，

及时应急抢险、统计灾损、灾后修复，但是在城市洪涝的预报、预防方面还有欠缺。

2 洪涝灾害风险评估模型设计

2.1 城市洪涝致灾因子分析

城市洪涝灾害是在城市范围内发生的内涝和洪水及其引发的一系列次生灾害的统称，因广州市背山面海，可能同时受到上游山洪入城和下游潮水顶托的威胁，洪水和内涝存在相互作用，可能导致“因洪致涝、因涝致洪”灾害风险相互转移，必须统筹考虑。城市洪涝风险评估大多从“危险性、暴露性、脆弱性”或者“危险性-易损性”等角度构建评估指标体系[18]，本文根据广州的城市洪涝灾害特征，综合考虑主要致灾因子、孕灾环境和承灾体，构建城市洪涝灾害风险评估体系如图 2。

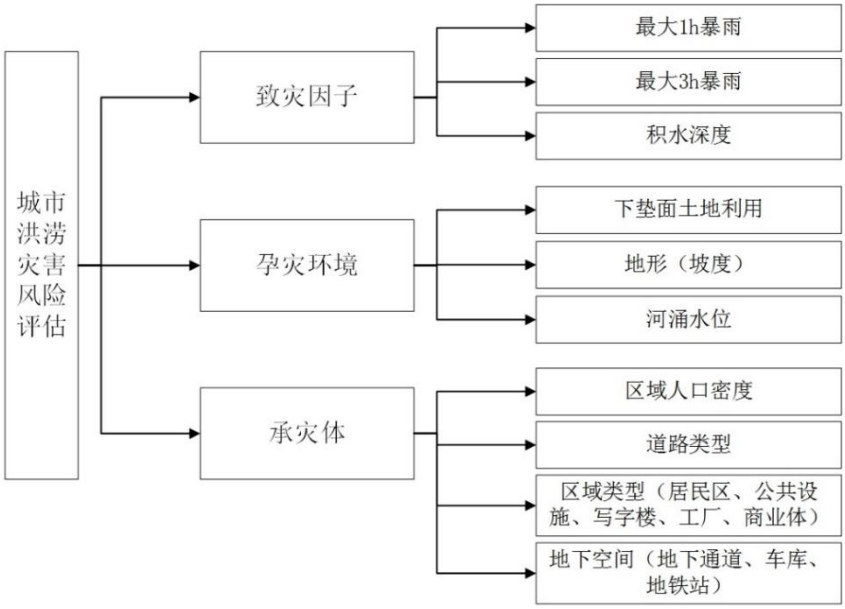


图 2 广州市城市洪涝灾害风险评估体系

评估指标来自实测或统计数据，其中最大 1h 暴雨和最大 3h 暴雨由各场次实测降雨统计获得，积水深度由全市 95 个内涝监测点的实测积水深度数据获得，下垫面土地利用由《中国土地利用现状遥感监测数据库》2020 年数据获得，坡度由广州市 50 米等高线数据通过 GIS 坡度提取获得，河涌水位由广州市内河涌及珠江前航道水位站实测数据获得，区域人口密度由《2020 广州统计年鉴》获得，道路类型、区域类型、地下空间等由广州天地图提取获得。本文采用 BP 神经网络对指标进行分类，将历史洪涝灾害损失情况作为模型训练的输出，挖掘评价指标对应的数据和灾害损失之间的关系。训练数据来源是 2010-2020 年的内涝灾情统计报表及相关水雨情实测数据、土地利用和城市建设资料。

2.2 基于 BP 神经网络的模型训练

人工神经网络（Artificial Neural Networks, ANN）是一种模仿人脑的神经元网络进行分布式并行信息处理的数学模型，由大量的节点（或称神经元）相互连接构成，通过调整节点间的连接关系，从而达到处理实际问题的目的[20]。目前人工神经网络领域常用模型有多层感知器（Multilayer Perceptron, MLP）、递归神经网络（Recursive Neural Network, RNN）、卷

积神经网络（Convolutional Neural Networks, CNN）以及反向传播神经网络（Back Propagation, BP）四种。BP 神经网络是 1986 年由 Rumelhart 和 McCelland 为首的科学家小组提出的一种按误差逆传播算法训练的多层前馈网络，通过提供大量的输入－输出模式，由模型自动学习挖掘数据间的潜在复杂关系，且具有多层网络结构，使得模型的输出更为准确，是目前应用最广泛的神经网络模型之一[21]。BP 神经网络可在任意的$\mathrm{E}=\frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{m}(Tr_j^i-ky_j^i)^2}{N}$>0 精度内逼近$f:\mathrm{X}(x_1,x_2,\ldots x_n)^N\rightarrow y_m^N$。其中，E 为网络输出数据集与目标数据集的误差，$n$为输入层神经元数，N 为输入数据集行数，$m$为输出向量的维度，$\mathrm{X}(x_1,x_2,\ldots x_n)^N$与$Tr_m^N$（由 X 所得的实际结果）为训练数据集，$y_m^N$为网络输出数据集。

本文采用包含 1 个隐层的 BP 神经网络，输入层按照城市洪涝灾害风险评估体系的各因子包括 10 个输入节点，输出层为城市洪涝损失等级（按照灾害经济损失分级）。实现步骤主要包括：

（1）进行训练数据的预处理；

（2）进行网络初始化，在（0,1）范围内随机确定各连接的权值、输入输出阈值；

（3）给定训练样本和目标输出值，计算并输出各类神经元实际输出值；

（4）计算网络输出值和目标输出值之间的均方误差 E，如果均方误差和大于设定的目标，则调整输入层与隐含层、隐含层与输出层之间的连接权值，返回第三步重复迭代；如果均方误差和小于设定的目标，则结束训练，输出神经网络建立模型；

（5）利用确定的神经网络，输入广州城市洪涝灾害风险评估指标数据，得到研究区域的洪涝灾害风险评价成果。

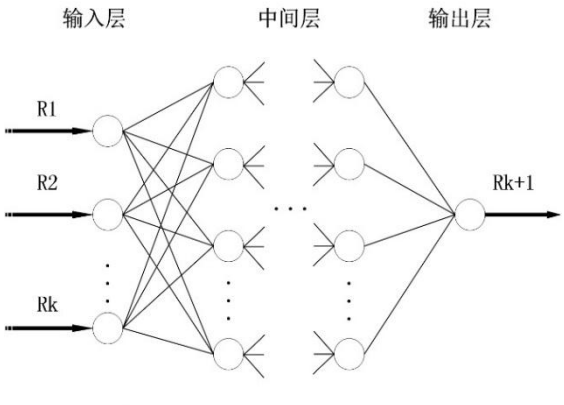


图 3　BP 神经网络结构示意图

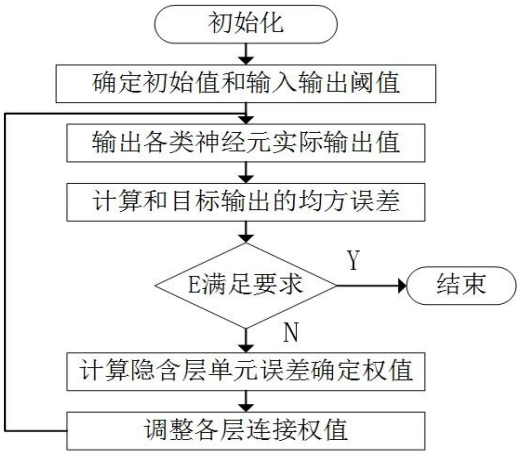


图 4　BP 神经网络运行模式图

针对广州市 50 个易涝点，选取近 11 年共 500 场暴雨洪涝灾害，将其分为 2 组，第一组 450 场洪涝灾害作为训练集（Tr_set）用于训练模型，第二组 50 场洪涝灾害作为验证集（Te_set）用于测试模型的有效性，两个数据集的洪涝灾害样本数如表 3 所示。

表 3　模型训练集和验证集的洪涝灾害样本数量分布

经济损失等级（元）	1 级(<0.1 亿)	2 级(0.1-1 亿)	3 级(1-5 亿)	4 级(5-10 亿)	5 级(>10 亿)
训练集	253	128	39	16	14
验证集	16	14	11	5	4

3　实验结果分析

利用 450 场洪涝灾害数据的训练集 Tr_set，比较输出结果与训练集的实际经济损失等级之间的均方误差，对 BP 神经网络进行训练。经过 450 场次训练之后，其训练均方误差为 6.314×10^{-3}，由图 5 的训练曲线可知，在 100 次训练以后均方误差逐渐趋于稳定，训练曲线趋于平缓。

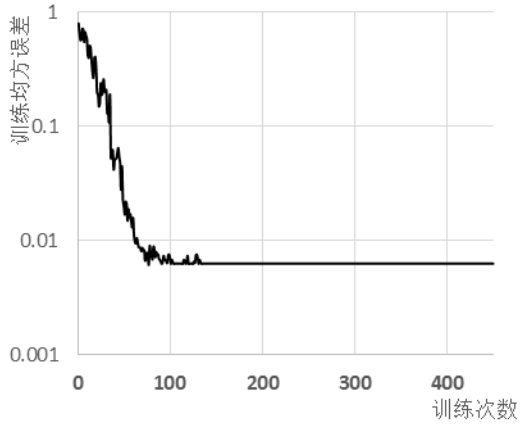


图 5　BP 神经网络训练曲线

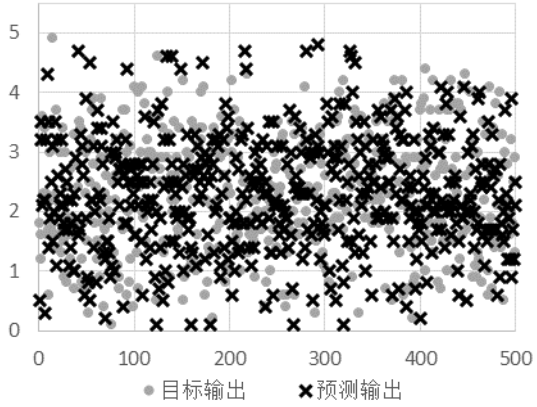


图 6　城市洪涝风险目标—预测数据对比

采用验证集 Te_set 的数据对训练后的 BP 神经网络进行验证，将总共 500 次计算结果的目标输出与预测输出结果进行对比，发现结果比较多的经济损失等级在 1 级以上 4 级以下，城市洪涝灾害经济损失在［1 千万～1 亿］之间的灾害占了 31%，经济损失在［1 亿～5 亿］之间的灾害占了 36.6%，经济损失在［5 亿～10 亿］之间的灾害占了 19%。城市洪涝灾害风险的目标输出和预测输出结果如图 6 所示。

4　结论

针对现有城市洪涝灾害风险评估及预报的不足，根据城市洪涝灾害特征，综合考虑主要致灾因子、孕灾环境和承灾体，提出了一种基于 BP 神经网络的城市洪涝灾害风险评估体系，通过 50 个易涝点的 500 场次暴雨洪涝数据对 BP 神经网络进行训练，建立了粤港澳大湾区典型城市广州的洪涝灾害风险评估模型。该模型以数据驱动，挖掘城市洪涝灾害经济损失与评价指标之间的复杂联系，一定程度上克服了洪涝灾害风险评价存在的主观性。该方法应用范围较广，可针对大湾区快速城市化地区的洪涝灾害防御能力进行评估，还可基于气象预报数据对暴雨可能导致的灾害程度进行评估，可以推广到大湾区其他城市进行验证和应用。

参考文献

[1] 陈文龙, 何颖清. 粤港澳大湾区城市洪涝灾害成因及防御策略[J]. 中国防汛抗旱, 2021, 31(03):14-19.

[2] 张尚义, 阳妍, 邵知宇, 等. 美国洪水风险地图编制技术分析及对我国的启示[J]. 中国给水排水, 2017, 33(21):124-128.

[3] 翟国方.日本洪水风险管理研究新进展及对中国的启示[J].地理科学进展,2010,29(01):3-9.
[4] 向立云.关于我国洪水风险图编制工作的思考[J].中国水利,2005(17):14-16.
[5] 李娜,张念强,丁志雄.我国城市内涝问题分析与对策建议[J].中国防汛抗旱,2017,27(05):77-79+85.
[6] 徐宗学,任梅芳,程涛,陈浩.“城市看海”：城市水循环是基础，流域统一管理是根本[J].中国防汛抗旱,2020,30(04):20-24.
[7] 张念强,李娜,王艳艳,丁志雄,俞茜.我国城市洪涝灾害应急管理框架探讨[J].中国防汛抗旱,2020,30(07):5-9+77.
[8] 林炳章.水文气象大数据分析与网络洪涝灾害预警平台探讨[J].中国防汛抗旱,2019,29(05):3.
[9] 张永民,程维明,王楠.基于 GIS 和 Logistic 回归模型的山洪灾害风险评估[J].中国防汛抗旱,2018,28(10):21-26+30.
[10] 尹占娥,许世远,殷杰,等.基于小尺度的城市暴雨内涝灾害情景模拟与风险评估[J].地理学报,2010,65(05):553-562
[11] 聂铁锋,黄兆玮,徐辉荣,等.中山市主城区内涝风险区划[J].广东水利水电,2016(10):17-24.
[12] 詹玮璇.城市内涝风险评估方法探讨——以市桥街道为例[J].中国水运月刊,2016,16(03):192-193.
[13] 张瀚.气候变化与城市化对珠三角地区城市洪涝灾害风险影响研究[D].广州:华南理工大学,2019.
[14] Chen J Y, Adams B J. Integration of artificial neural networks with conceptual models in rainfall-runoff modeling. J Hydrol, 2006, 318: 232—249
[15] 车四方,舒维佳.基于随机权神经网络的农业旱灾脆弱性评价[J].中国防汛抗旱,2018,28(02):50-55.
[16] 王鑫东.小波神经网络模型在水库水质预测中的应用研究[J].中国防汛抗旱,2016,26(03):54-56.
[17] 林江豪，阳爱民. 基于 BP 神经网络和 VSM 的台风灾害经济损失评估 [J]. 灾害学，2019，34(1):22—26.
[18] 殷杰,尹占娥,许世远,等.灾害风险理论与风险管理方法研究[J].灾害学,2009,24(02):7-11+15.
[19] 张驰,郭媛,黎明.人工神经网络模型发展及应用综述[J/OL].计算机工程与应用:1-15.
[20] 冯快乐,周建中,江焱生,孙怀卫,李薇,蔡佳明.基于 BP 神经网络的湖北省山洪灾害危险性评价[J].自然灾害学报,2018,27(01):148-154.

基于 MIKE11 模型的实时水资源调度研究

陈　娟[1]　　王晓昕[1]　　雷德义[2]

（1.松辽水利委员会流域规划与政策研究中心，长春 130021；2.水利部松辽水利委员会，长春 130021）

摘要：松花江流域持续性干旱和暴雨洪涝等灾害频发，旱灾引发的水资源问题已成为制约经济社会和生态环境高质量发展的瓶颈。采用 MIKE 11 水动力学模块（HD）和对流扩散模块（AD），搭建松花江流域哈尔滨以上区域实时水资源调度模型，考虑传播时间对水资源调度的影响，研究流域实时水资源调度，提出干旱年份实时抗旱调度方案。通过丰、平、枯和特枯年份方案计算分析，在枯水年、特枯水年河道外用水与河道内生态环境、航运用水产生矛盾时，可以通过实施尼尔基、丰满水库应急调度，满足河道内生态基流要求。该模型精度较高，总体模拟效果较好，可用于实时水资源调度计算分析，为松花江流域应对旱情、制定抗旱应急调度预案的科学决策提供技术支持。

关键词：松花江；实时调度；干旱；数值模拟；传播时间

0　引言

松花江流域气象灾害频发，以持续性干旱和暴雨洪涝等灾害较为常见，给农业生产和生态环境等造成诸多不利影响。流域旱灾主要集中在松嫩平原，松嫩平原旱情以春旱、夏旱及春夏连旱为主[1]。据统计，1997 年、1999 年和 2000 年干旱，仅在吉林省就造成了每年超过 50×10^8kg 粮食的减产。旱灾引发的水资源问题已成为制约经济社会和生态环境高质量发展的瓶颈，解决这一问题的措施就是实现流域水资源统一调度以及实时水资源调度，充分发挥骨干工程联合调度的抗旱应急作用。

实时水资源调度主要包括：针对水量过多情况的防汛调度，如黄艳和喻杉等[2]分析了长江流域 2020 年不同场次洪水下以三峡水库为核心的多组合水工程联合调度的实时防洪调度运用方式和调度效果；针对水位、水量偏小情况的抗旱调度，如目标断面水位偏低、流量偏小影响河道内生态、航运以及取水口水位偏低、水量偏小影响引提水等；针对突发性水污染事件的水污染应急调度，如李洪利[3] 进行了需求分析的辽宁省水资源应急调度系统。本研究重点关注实时调度中的抗旱调度，应用丹麦水利研究院的 MIKE 11 模型中的水动力学模块（HD）和对流扩散模块（AD），搭建实时水资源调度模型，以松花江流域哈尔滨断面以上的嫩江、第二松花江、松花江干流区域为研究范围，考虑骨干工程的多年调节功能，对可能出现的缺水情况，提出丰、平年份水量优化调度方案和干旱年份实时水量调度方案，即考虑水量的传播时间，根据沿程用水户的需求制定实时调度规则，从骨干工程水库预先加大放流，以满足沿程各用水户的需求，减轻干旱缺水带来的损失，旨在为松花江流域应对旱情、制定抗旱应急调度预案提供决策支持和技术服务。

1 研究区域概况

研究范围包括嫩江流域、第二松花江流域以及哈尔滨断面以上的松花江干流的部分流域。第二松花江是松花江的南源，河长 958km；嫩江是松花江的北源，河长 1370km；两江在三岔口汇合后始称松花江干流，至哈尔滨为松花江上游段，河长 240km。流域多年平均降水量在 400-750mm 之间，降水年内分布不均，年际变化也较大，连续数年多雨和连续数年少雨的情况时有出现。

2 MIKE 11 模型与计算原理

2.1 水动力学模块（HD）

水动力学模块是基于垂向积分的物质和动量守恒方程，即一维非恒定流 Saint-Venant 方程组模拟河口、河流、河网的水流状态，采用六点隐式差分格式（Abbott-Ionescu）和“追赶法”求解，计算河道各个断面、各个时刻的水位和流量等水文要素信息。

2.2 对流扩散模块（AD）

对流扩散模块是对河流中的溶解物或悬浮物的对流扩散过程进行模拟的模块，其基于 HD 模块生成的水动力条件，应用对流扩散方程进行计算。AD 模块的功能特点包括：求解溶解质或悬浮物的一维对流扩散方程，计算污染物的较大浓度梯度过程，模拟粘性泥沙的侵蚀和沉积[4]。

本研究在水动力模型中加入不同浓度的 AD 模块，通过追踪其演进过程，准确就算实时调度水量的传播时间。

3 水资源调度模型的搭建

3.1 河网与重要涉水工程概化

3.1.1 河网概化

在河网的概化中，应根据地形条件及水流情况，着重考虑主要河道，水量较小、对整个河网影响不大的短小河段、支流，不予考虑或与其它河道结合考虑[5]。综合考虑对干流水量影响较大的支流，将模拟河网概化为嫩江、第二松花江和松花江干流等 3 条干流及 12 条主要支流，各子流域内的支流及取退水口均概化到该支流汇入干流的节点处，见图 1。

图 1　研究区域河网概化图

3.1.2　重要涉水工程概化

（1）水库

松花江流域内尼尔基、丰满水库对整个流域的水资源调度起着至关重要的作用。一维河网模型中包含了这两座水库，使水库联合调度等模拟成为可能。

（2）围堤

对河道行洪有明显阻水作用的 10 个设计标准为 20 年一遇的重要围堤，概化为两端与主河槽通过虚拟闸连接的虚拟河道，以相对准确地模拟有围堤河段河段的行洪能力。

（3）桥梁和公路

在一维河网模型中，对桥梁的关注是因其阻水作用，所有桥梁可被概化为一种涵洞与堰相叠加的水工建筑物。对研究范围内 13 座有明显阻水作用的桥梁，将桥面高程高于堤顶高程的桥梁概化为涵洞，将桥面高程低于堤顶高程的 5 条过河公路概化为宽顶堰。

（4）决堤/蓄滞洪区

一维河网模型中将蓄滞洪区和洪泛区概化为一个储水节点，通过若干虚拟河道与河道决口处相连，每条虚拟河道上均设有一座虚拟水闸，平时关闭，当实际发生决堤时开闸，从干流分洪至洪泛区。

3.2　模型的边界条件设定

嫩江尼尔基水库、第二松花江丰满水库进行实时水资源调度的水源，本研究重点关心嫩江尼尔基水库以下、第二松花江丰满水库以下至松花江干流哈尔滨断面以上区域边界条件的设置。模型边界条件包括上游来水边界、水利枢纽调度规则、用水户取水和退水过程、下游边界四个方面，具体为：来水过程、区间耗水、干流主要取水口、水库泄流过程、AD 模块——污染团、下游边界。

来水包括尼尔基和丰满水库常规调度下泄流量、干流区间天然径流及支流来水。尼尔基和丰满水库泄流过程采用按照调度规则计算的下泄流量过程或者实测泄流时间过程线作为计算时段的输入数据;干流区间来水采用计算的各子流域的天然径流时间序列作为计算时段的输入数据；支流来水采用水文站的实测值或预报值。

干流取退水用户概化为干流区间主要取退水口和区间分散用户取退水。主要取水口在河道中某一点取退水，分散用户视为在干流区间均匀地取退水。干流主要取退水口 15 个、用水户 26 个，区间用水户 7 个。

在边界条件中加入 AD 模块——污染团，并赋予流体一定的浓度，以区分正常泄流水体，便于在水库实时调度方案中更形象直接地追踪调度水量的动态变化过程。

下游边界采用哈尔滨水文站实测水位——流量关系。

3.3　模型的参数及率定

HD 模型需要率定的参数为河床糙度，即曼宁系数。模型率定的方法是调整河床糙率值，使水位和流量的模拟值与实测值尽量吻合。松花江流域内河道的横断面多为复式断面，分主槽和滩地，主槽窄而整洁，滩地宽而散乱且植被复杂，不同量级洪水糙率的变化规律有所不同。研究发现，松花江流域的河道主槽糙率一般随水位上涨而逐渐减小，变化幅度在不同河段有所不同，有的较大而有的极小；跑滩后糙率则明显增大。在嫩江、第二松花江、松花江干流上共选定布设了 20 个比降、糙率监测断面，获得了河床糙率随水位的变化曲线。率定过程中，糙率初值参考了《松花江流域中小洪水糙率分析报告》及《松花江流域防洪规划》中各河段主槽和滩地糙率值，在此基础上根据多年实测水位资料进行细调，对各河段不同水位给定不同的糙率值。最终获得的松花江流域主要河道的糙率值在 0.020-0.075 之间。

2000 年流域内整体气象干旱情况属正常或轻微干旱，根据收集到的数据资料和用水数据，选择 2000 年为率定年，以该年的实测数据为基础率定水资源调度模型。率定过程中重点比较的数值项包括子流域径流、用水户取退水量、水库运行水位、水库下泄流量、控制测站的流量等。从图 1 和图 2 的流量实测值与模拟值对比分析可知，MIKE 11 建立的水动力学模型精度较高，总体模拟效果较好，可较准确反映河段的水动力变化过程。

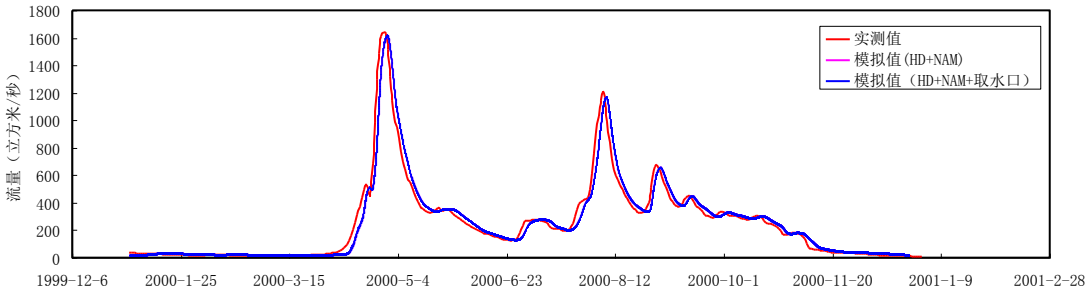


图 1　阿彦浅实测流量与模拟流量比较图

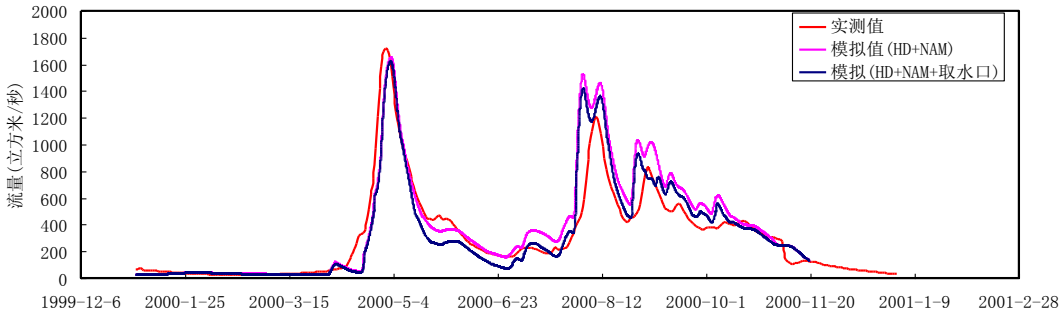
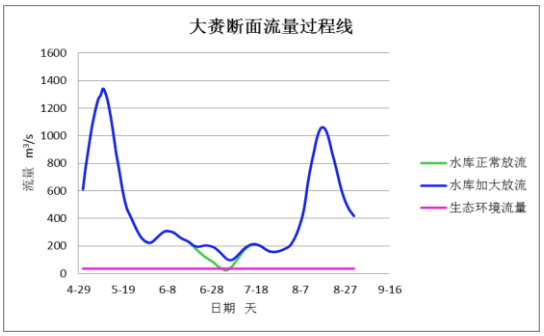


图 2　富拉尔基实测流量与模拟流量比较图

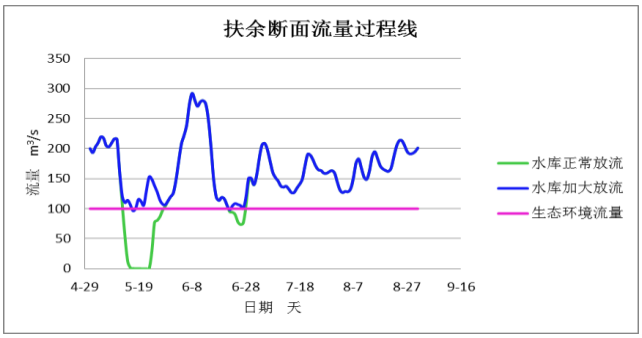
4　实时调度案例分析

水资源调度方案按照丰水年(P=25%)、平水年(P=50%)、枯水年(P=75%)和特枯年(P=90%)4 个典型年考虑，分析不同来水情景模式下，采用 2012 年取用水水平，编制水资源调度方案。实时水资源调度中，调水方式的选择应从调水需要和实际工程情况等多方面考虑，在此不做深入研究，仅仅按照目标断面缺水量和补给水库（尼尔基水库、丰满水库）下泄传播时间两方面考虑。在丰水年、平水年情景下，尼尔基、丰满水库正常调度情况下，河道内、河道外用水户用水过程均能得到满足，不需要对水库进行实时调度。枯水年、特枯年情景下，尼尔基、丰满水库正常调度情况下，满足河道外用水户用水过程，则嫩江 35m³/s、第二松花江 100m³/s、哈尔滨 250m³/s 的河道内生态基流将不能完全满足，需要对水库进行实时水量调度。

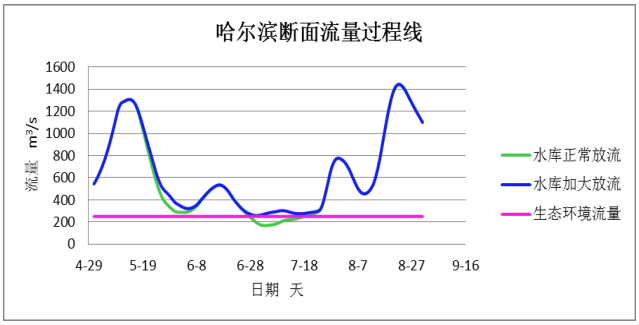
在实时调度中需通过大赉、扶余、哈尔滨断面流量过程与设定目标值对比，通过对缺水时长和缺水量大小分析估算，考虑水量传播过程，设定补给水库多个加大放流流量过程方案，通过多方案比选，推荐以最小代价满足大赉、扶余、哈尔滨断面流量过程设定目标的最优方案，即加大放流总水量最小、目标断面流量过程满足最吻合。经多方案计算与比选，以满足河道内生态基流为目标的较优方案实时水量调度，枯水年（P=75%），则丰满水库需加大放流 17712 万 m³，尼尔基水库需加大放流 14256 万 m³；特枯年（P=90%），则丰满水库需加大放流 5616 万 m³，尼尔基水库需加大放流 46656 万 m³。枯水年、特枯年各控制断面流量过程线分别见图 3、图 4。



（a）

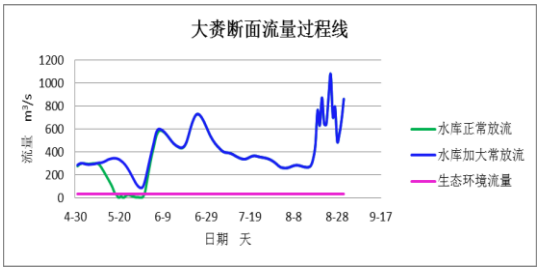


（b）

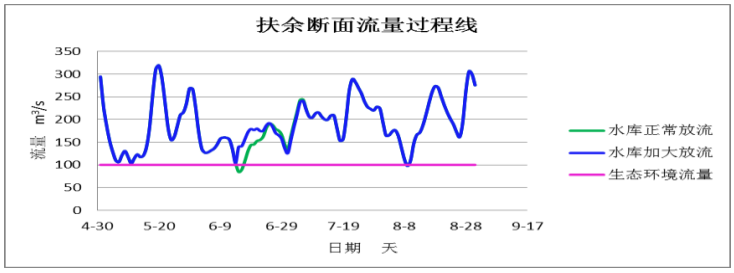


（c）

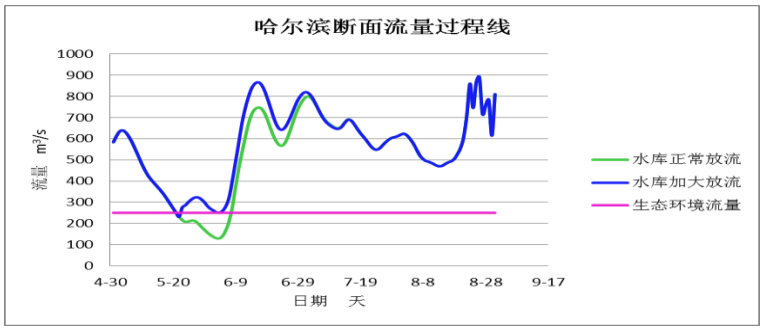
图 3　枯水年各控制断面流量过程线



（a）



（b）



（c）

图 4　特枯年各控制断面流量过程线

实时水资源调度时，补给水库调水到达目标断面的时间，是较优调水方式与措施选择需要考虑的重要因素。补给水库实时调度水量到目标断面的传播时间受来水、取水、泄流流量、泄流持续时间等诸多因素影响，因此，利用实时水资源调度模型进行模拟计算，对不同方案的实时调度方式、调度效果进行演算与分析评估，对于实时调度的决策具有重要意义。上述特枯年实时调度方案，尼尔基水库、丰满水库加大放流水量到达目标断面的时间统计见表 1。

表 1　特枯年实时调度加大放流水量到达目标断面时间统计表

目标断面	加加大放流水量到达目标断面的比例	到达目标断面所需时间（天）	
		尼尔基水库	丰满水库
尼尔基水库-大赉/丰满水库-扶余	1%	8 天	6 天
	20%	12 天	8 天
	50%	15 天	10 天
	90%	21 天	12 天
哈尔滨	1%	13 天	11 天
	20%	18 天	15 天
	50%	22 天	17 天
	90%	29 天	22 天

5　结论

本文采用 MIKE 11 水动力学模块（HD）和对流扩散模块（AD），搭建松花江哈尔滨以上区域实时水资源调度模型，整理分析研究区域长系列天然与实测径流、取用水、水库调度规则与实际泄放流量等资料，采用 2000 年实测数据进行模型率定，经过多次调参试算，得到计算结果较为理想的参数，验证结果表明模型可靠。不同于常规水资源调度模型，实时水资源调度模型加入对流扩散模块（AD），可较准确计算调度水量传播时间、各个断面实时到达水量，在缺水的干旱年份，能够计算分析出调水量最小、调度效果最优的调度方案；并且可根据沿程取用水户对取水水位、流量的需求制定实时调度规则，以满足沿程用水户的需求，减轻干旱缺水带来的损失。该模型使用方便、总体模拟效果较好，适用于计算丰、平、枯和特枯不同来水情境下水资源常规调度、实时调度及取用水过程，计算效率、精度可满足流域实际调度要求，对增强流域水资源统一调配能力、缓解缺水年份与地区的用水矛盾具有重要意义，可为松花江流域水资源合理调度以及应对干旱、水污染等制定实时水资源调度方案提供科学依据和辅助决策支持。

参考文献

[1] 王晓妮，尹雄锐. 松花江流域旱涝事件水利应对措施[J]. 水利发展研究，2016，16(10)：36-36.

[2] 黄艳，喻杉，巴欢欢，等. 2020 年长江流域水工程联合防洪调度实践[J]. 中国防汛抗旱，2021，31(01)：6-14.

[3] 李洪利. 辽宁省水资源应急调度系统设计与开发[J]. 中国防汛抗旱，2019，29(8)：48-50.

[4] 刘莎，刘伟，佟洪金，等. 基于 MIKE11 的航电枢纽建设工程水质模拟[J]. 四川环境，2020，v.39；No.191(05)：40-46.

[5] 吴作平，杨国录，甘明辉. 河网水流数值模拟方法研究 [J]. 水科学进展，2003，(3)：350-353.

浅谈无人机技术在沂沭泗水利工作中的应用与前景

阚向楠[1]　　屈　璞[1]　　李子穆[2]

（1.沂沭泗水利管理局水文局（信息中心），徐州 221018；2.沂沭泗水利管理局综合事业发展中心，徐州 221018）

摘要：随着国内信息化技术飞速发展，无人机在交通监管、航拍测绘、军事预警、电力巡检、消防救援等领域的使用中无疑具有普遍的灵活、机动、高速特性。近年来，沂沭泗流域水旱灾害频发，无人机在沂沭泗局水旱灾害防御、水利工程管理、水行政执法、河（湖）长信息化管理、水利安全生产等相关工作中发挥了重要的作用，本文结合水利工作的特点，就现阶段沂沭泗局无人机的实际应用优势做了综合性的探讨，针对现阶段无人机在水利行业应用短板进行分析，并简要介绍了无人机技术未来发展方向。

关键词：无人机；水利；应用

0　引言

近年来，无人机技术发展迅速。由于其机动性和灵活性强，无人机技术已在各行各业取得了较为突出的应用，尤其在交通管理、农林植保、电力巡线、安防应急、航拍航测等领域。2018 年 9 月份，世界海关组织协调制度委员会（HSC）第 62 次会议决定，将无人机归类为“会飞的照相机”。无人机作为一种前端数据采集的重要手段，不仅能够实时传输高清影像，而且无视交通、地形、地面环境等条件限制，是卫星遥感的有力补充，也是对常规水利信息监测、突发水灾害应急监测的重要手段的补充。在水利领域采用无人机技术，可以使水利部门能及时获取常规监视手段无法获取的灾情的信息，从不同角度了解灾害的发生发展情况并及时制定相对的对策，为最大限度地减轻灾害损失提供了至关重要的帮助。无人机技术具有独特的优势，能够为水利现代化发展提供更加完善的技术支持。

1　无人机技术概述及其特点

1.1　无人机技术概述

无人驾驶飞机简称“无人机”，英文缩写为“UAV”，是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞机，或者由车载计算机完全地或间歇地自主地操作。无人机通过搭载不同种类的设备，可以完成不同种类的飞行目标任务。按飞行平台构型分类，无人机可分为固定翼无人机、旋翼无人机、无人飞艇、伞翼无人机、扑翼无人机等。固定翼无人机载荷大，飞行速度快，续航能力强，但不能悬停并且需要跑道辅助起飞降落。无人直升机对起降场地要求小，垂直起降能够空中悬停，载重能力大，续航时间长，但是结构相对来说比较复杂，操控难度也较大。无人飞艇、伞翼无人机和扑翼无人机受气流影响较大。多旋翼型无人机相比于无人直升机，其机械结构相对简单，体积较小便于携带，运行相对稳定，并且折旧率低、消耗小、易于维护，能够满足水利工作需要。本文主要以多旋翼无人机作为飞行平台进行应用分析。

1.2　多旋翼无人机特点

多旋翼无人机作为应用最为广泛的无人机，相对于其他种类的无人机，具有一些特殊的优势，应用在水利行业，主要有以下优势：

（1）机动性强。目前先进的多旋翼无人机可以达到 140km/h 的速度，百公里加速仅需 2s，可以在 7s 之内上升到 100m 高空，进行空中作业不受地形限制，同时对起降条件的要求较低，只需要一个相对较小的平面例如石墩、车顶就可以作为起降平台。根据操作员所处空间环境和磁场条件不同，可覆盖半径 3—10km 高度达 500m 的监测区域，并且在车船等移动平台上，操作员作为中心还可以将此覆盖面积无限延伸。

（2）安全性高。多旋翼无人机可以在阴天、低雾等环境下升空作业，采集大量监测数据，尤其在水旱灾害现场，操作人员可以选择较为安全的区域对无人机进行操控，最大限度保障了其人身安全，即使无人机故障，也可最大限度地避免人员伤亡，降低损失，具有较高的安全性。

（3）采集数据多样化。多旋翼无人机主要通过携带高清影像采集设备采集地面图像，并且可以实时传输现场情况，有利于防汛抗旱减灾的及时决策。通过搭载一体式多光谱成像系统、热成像传感器、环扫毫米波雷达、RTK（Real — time kinematic，实时动态）模块、探照灯、喊话器等不同功能模块及设备可以实现不同应用场景的多样化数据采集传输，能够应对各种复杂困难局面。

2　无人机技术在水利行业的应用实例

2.1　在水旱灾害防御中的应用

近年来，沂沭泗流域暴雨洪水频发，2018 年防御台风“温比亚”，2019 年防御台风“利奇马”，2020 年防御“8.14”大洪水，在汛情，可使用无人机携带可见光感相机对洪涝灾区的环境进行勘探检测，无人机还可以充当了防汛指挥者的“千里眼”，通过远程系统将前方洪灾实时情况传输到后方防汛指挥调度中心，实时了解最新的洪水动态，为防汛决策指挥提供有力技术支撑。

图 1　2020 年防御“8.14”大洪水无人机提供的洪峰实时情况

2.2　在水利工程管理中的应用

保障防洪工程安全运行是防汛工作的重要工作内容之一。利用无人机挂载光感相机、热成像相机等设备，可有效代替人工巡查防洪工程，留下大量观测资料，能够利用历史观测资料科学对比，有效监测险情发生的动态全过程，不仅能减少人力成本、又能降低巡查人员的危险性。

图 2　2020 年防御“8.14”大洪水沭河最大管涌险情

2.3　在水行政执法中的应用

无人机系统不仅可以收集信息和进行监管，还可以持续跟踪事件的发展情况，辅助指挥决策部门进行不间断的信息搜集。无人机使用方便，可以在第一时间到达事件发生地，迅速展开工作，便于追踪突发事件和掌握事件的态势。在水行政执法过程中，无人机通过搭载热成像传感器，能够在夜间第一时间发现非法采砂犯罪活动并进行实时跟踪，为水行政执法全过程记录提供有力技术支撑。

图 3　第一时间发现非法采砂活动

2.4　在河（湖）长信息化管理中的应用

在常态化河（湖）巡查任务中，无人机具有高清图像实时传输，深入危险区域实时监测，机动性强等优点。能够将河湖高清影像适时导入管理信息平台，对河湖岸线情况、乱占、乱

采、乱堆、乱建、非法排污等实现精准监测和记录，有效提升巡河湖效率，助力河道基础数据、工程建设情况、岸线管护成效数字化管理，推动和提升河（湖）长制下的河道治理等多方面的综合管理。

图 4　洪水过后涉河建设项目监管

2.5　在水利安全生产中的应用

在常规检查工作中，多旋翼无人机可以通过高危险区，监测年久的堤坝、堤防、水库和堤防险段，无需专业攀登人员即可对防汛铁塔挂载设备和锈蚀情况实时监控，使管理人员能够及时了解水利设施的运行情况，极大方便了施工，简化了水利设施的检查维护工作。

图 5　防汛通信铁塔安全情况监测

3　无人机技术在水利行业中的缺陷

3.1　续航时间不足

现有旋翼无人机在储电技术没有根本性变革的前提下，电池储能密度提升空间不大，要提升储电总量就需要用更重、更多的电池。但是增加电池数量或单个重量的同时，也会增加机身重量，从而导致功耗的提升。当电池总容量增加到一定值后，对于续航时间的提升必然

开始减弱，而盲目加大电池总容量，对续航提升有限，还会牺牲无人机的体积和重量。目前各行各业所采用的无人机续航时间基本在 20—30min，对于河湖岸线较长、监测区域较广的工作需要反复起降更换电池，在固定起降点的飞行任务中会增加往返次数，浪费了有效飞行时间。

3.2　在恶劣环境条件下的操控距离有待加强

目前用于无人机遥控器主流的无线电频率是 2.4G，所谓的 2.4GHz 所指的是一个工作频段 2400M—2483M 范围,这个频段是全世界免申请使用。因为无线电波在传输过程中可能受到干扰或是数据丢失等等问题，所以在高压线附近、控制器和无人机点对点信号通道遮挡、强磁场环境、浓雾天气情况下，无人机的有效飞行距离会受到极大限制。

3.3　搭载重量不能满足水利行业需求

现有高性能无人机搭载重量在 40—60kg 之间，能够搭载大量外部设备，在农药喷洒、快递配送等高负重情况下能够较好完成分型任务。但水旱灾害防御有其特殊性，例如在洪水行进过程中，现阶段无人机的性能还不足以搭载走航式 ADCP（声学多普勒流速剖面仪）进行测流。

4　无人机在水利行业的展望

4.1　无人化空中自动巡检系统

无人化空中自动巡检系统是由无人机平台、机库平台、外部智能气象站、云端平台构成的智能立体化巡检平台。具备自主起飞，智能巡检，自动、手动飞行模式无缝切换，精准回巢，远程控制，快速充电复飞，视频实时回传，系统智能分析等诸多功能，真正做到了无人值守，自主充电，远程监控，无人数据处理，全自主飞行作业。将无人机机巢部署在移动平台和重点监控地段即可实现定点定期巡航监视，操作人员也在指挥中心远程操控复数无人机进行实时信息采集，进一步提高应急响应速度。

4.2　5G 助力无人机飞的更远

4G 网络在带宽、时延、干扰协同等方面都存在着进步空间。首先在信号干扰性方面，无人机的飞行路线的基站主要是依靠地面覆盖建设，而且 4G 网络智能覆盖空域 120 米一下的范围。5G 除了可以帮助视频得以实时传输，还可以保证无人机能够在恶劣的环境下应用，当出现灾害或进行地理勘测的时候，人力总是存在着不可抗力的因素，这个时候无人机的作用便凸显出，网连无人机配合蜂窝通信基站可以将飞行覆盖范围进一步扩大，理论上不瘦局里的限制，并且能够提供更加清晰的 8K 超高清实时监视图像，5G 技术带来的边缘计算技术可以帮助无人机在本地筛选无用或冗余的信息，提高系统的工作效率。

4.3　无人机智能集群控制技术

无人机智能集群指的是在大数据、人工智能、数据链整合以及云计算的基础上，同时发射数十架乃至数百架无人机进行集群化指挥，并在智能分工的情况下，无人机自行进行精准编队、精确分工，同时执行多种任务的集群化智能作战方式。通过集群化无人机编队可以进一步克服无人机搭载重量、视角覆盖范围、通讯保障等问题，形成流域水系智能化天空。

5 结语

无人机技术以其机动性强、安全性高、数据采集多样化、实时高清图像传输等独特优势，在水利工作中，弥补了遥感系统与地面感知平台之间的盲区，有助于创新防汛抗旱减灾的工作方式，提高工作效率。随着无人机技术、卫星遥感、5G 通信、人工智能、大数据等技术的不断发展和成熟，无人机在水旱灾害防御、水文水资源监测、水土保持、河湖监管、水利工程运行管理等水利行业的各个领域的应用会更加广泛，在水利现代化、信息化、智能化工作中将会扮演越来越重要的角色。

参考文献

[1] 李鹏. 论无人机系统在水利事业中的应用 [J] . 治淮，2016(08):43－44.

[2] 曾令炜,李睿,刘强. 基于无人机技术的防汛抗旱减灾应用探讨[J]. 治淮 ,2018,000(010):33－34.

[3] 朱春刚. 浅谈无人机技术在防汛抗旱工作中的探索与应用[J]. 科技风 ,2019,000(003):86.

一种基于多普勒雷达数据和深度学习的山区致灾暴雨识别方法

刘　启[1,2]　　翟晓燕[1,2]　　张晓蕾[1,2]　　刘荣华[1,2]

（1.中国水利水电科学研究院，北京 100038；2.水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心，北京 100038）

摘要：山区短时强降水相关的气象特征繁多，采用单一的特征判断很容易误判。目前各类短时强降水识别方法对于山区致灾性暴雨预报的适用性不强，未能将强降水识别结果和致灾性关联起来，未能关联多种强降水要素进行自动识别判读，在实际应用中很难为山洪灾害的预警与决策提供帮助。本文基于多普勒雷达和深度学习的方法进行山区致灾暴雨识别，基于测雨雷达数居和多源气象数据，提取和短时强降水相关的多种多普勒雷达特征及物理矢量特征，结合中国山洪灾害调查评价数据，提取不同区域内的风险特征，建立山区致灾暴雨模型特征数据库作为样本集，引入机器学习的方法构建以深度学习为框架的短时强降水自动识别模型，提供全国范围内山区致灾暴雨识别及预警服务。

关键词：多普勒测雨雷达；人工智能技术；山区致灾暴雨识别预警

1　研究背景

受特殊的自然地理环境、极端灾害性天气以及经济社会活动等多种因素的共同影响，我国山洪灾害事件频发多发，群死群伤事件时有发生。据统计，上世纪 90 年代以前，全国每年山洪灾害死亡人数约占洪涝灾害死亡总人数的 2/3，新世纪以来已上升到 80%左右。山洪灾害具有点多面广、季节性和区域性明显、突发频发、成灾快、破坏力强等特点，而短历时山区暴雨是引发山洪灾害的主要因素，因此，对于山区致灾暴雨的预警预报是中国山洪灾害防御最重要的决策依据。

短时强降水是一种突发性强、降水时间短、降水量大的天气过程，主要由强对流天气形成，是一种重要的气象灾害，对于短时强降水的定义有一套气象标准（即指 1h 降雨量超过 20 ㎜，3h 降雨量超过 50㎜，强降水历时不超过 6 h，出现范围不超过 100×100 ㎢（中尺度），以产生局地短历时强降水为主、无大风和大冰雹伴随的强对流天气）。

我国是世界上气候类型最多的国家之一，地形和社会经济分布情况多变，每个地区的致灾特点、气候分区都不一样，而目前的强对流识别算法均未把山区暴雨与其致灾性联系起来，只采用统一的气象标准对短时强降水进行识别，无法直接应用于山区洪水的致灾性预警预判。

在短时强降水识别方面，目前有物理参数判别法和基于多普勒雷达识别法。采用物理参数模型识别短时强降水方法主要依赖于人工判别，未能考虑雷达数据和其他气象要素。而基于多普勒资料的短时强降水识别方法也仅限于在雷达基本反射率产品中抽取单一回波特征，

对于回波形态的判别准确率不高，且都是针对于某一种特征（如逆风区、单体）进行识别，并没有对强降水相关的全部雷达特征进行提取。

而和短时强降水相关的气象特征非常繁多，气象预报时使用的物理量参数之间的关系不明确，采用单一的特征进行判断很容易造成误判，需要基于多源多要素特征进行判别、为了综合运用雷达特征、物理特征、矢量特征、风险特征，需要对这些特征进行区域化匹配，保证在强回波区能够获取区域内所有相关特征参数，同时，为了保证山区致灾性暴雨预报的高效化，需要采用自动识别判读的方法进行。

因此，目前各类短时强降水识别方法对于山区致灾性暴雨预报的适用性不强，应用效果较差，未能将强降水识别结果和致灾性关联起来，未能关联多种强降水要素进行自动识别判读，因此，在实际应用中，很难为山洪灾害的预警与决策提供帮助。本文基于多普勒雷达数据研究利用深度学习算法进行的山区致灾暴雨识别方法，其解决的技术问题是基于多普勒雷达数据和多源气象数据，提取和短时强降水相关的多种多普勒雷达特征、物理参数特征，矢量特征，结合中国山洪灾害调查评价数据，提取不同区域内的风险特征，建立山区致灾暴雨模型特征数据库作为样本集，引入机器学习的方法构建以深度学习为框架的短时强降水自动识别模型，提供全国范围内山区致灾暴雨识别及预警服务。

2 基于多普勒雷达数据和深度学习的山区致灾暴雨识别方法

2.1 提取多普勒雷达数据中的致灾暴雨特征

多普勒雷达数据源为中国气象局专线共享的全国 6min 单站雷达体扫基数据产品及全国雷达拼图产品，包括全国基本反射率、组合反射率 CR、基本径向速度 V，VAD 风廓线，垂直累计液态水含量 VIL，反射率等高面位置显示 CAR，混合扫描反射率 HSR，回波顶高 ET，风暴追踪信息 STI，中尺度气旋 M。

表 1

雷达数据	提取特征
基本反射率	强回波单体、强回波单体形状、运动方向及速度
组合反射率 CR	强回波区域块
基本径向速度 V	逆风区，零速度线，正负速度差
VAD 风廓线	风廓线
垂直累计液态水含量 VIL	垂直累积液态水含量
反射率等高面位置显示 CAR	强回波所在高度
回波顶高 ET	回波顶高
风暴追踪信息 STI	风暴路径
中尺度气旋 M	中尺度气旋所在位置

多普勒雷达特征选取：我国的多普勒气象雷达（雷达型号包括 CINRAD/SA、SB、SC 和 CINRAD/CB、CC、CD、CCJ 等）可以测定散射体相对于雷达的速度，在一定条件下反演出大气风场、气流垂直速度的分布以及湍流情况等。雷达的采样间隔为 6min 一次，因此每 1 小时内一般有 10 个时次的数据文件组，目前已接收的单站雷达产品及全国雷达拼图中包括的产品为：基本反射率、径向速度、组合反射率、VAD 风廓线、回波顶高、中尺度气旋、垂直累积液态水含量 VIL 等（具体可见表 1），通过提取和短时强降水相关的雷达特征，建立特征集合，可建立用于深度学习模型的输入样本集。强降水发生

时，70％的回波强度在 50－59d BZ 之间，强度为 60－69dBZ 的回波迅速下降到为 18％，而强度＜50d BZ 和≥70d BZ 的回波非常少，不到强降水总数的 10％。因此 50－69d BZ 的回波强度最有可能产生强降水，至少有 90％的强降水是发生在该区间的。强回波单体的持续时间也是判断短时强降水的重要参数。“列车效应”也是产生强降水的一种机制，及强降水单体先后经过同一单体，导致大的雨量。逆风区是判断短历时强降水的一个重要指标，短历时去昂降水就出现在逆风区前沿、径向速度符合最大的区域。逆风区即为在径向负速度区包含正速度区，或在正速度区包含负速度区，正、负速度区之间有一个零速度过渡带。由于逆风区先于强降水出现，因此，它可以作为短时强降水的监测和预报判据。VIL 垂直累计液态水含量熟知的大小对于是否产生小雨、中雨、大雨、暴雨的反映并不十分敏感，垂直累积含水量指的是单位面积柱体内液态水的含量。强降水的垂直累积含水量值多集中在 20－39 kg/m²，约占总数的 90%。

雷达强回波区域块提取及运动矢量：选取 5km×5km 模板，对不同仰角的回波组合反射率场进行平滑滤波，采用阈值分离法获得雷达强回波区域块（>50dBZ），采用区域追踪法在每 6min 雷达图像中提取强回波块的运动矢量、起始位置、持续时间，以 1km 为单元存储强回波块运动轨迹。

逆风区自动识别提取：采用双阈值法对待分析图像区域进行二值化运算，如公式(1) ~ (2)所示，其中 $f(i,j)$ 表示原始图像，$I_{Pos}(i,j)$ 表示正风速区二值图像，$I_{\mathrm{Neg}}(i,j)$ 表示负风速二值图像，i,j 表示图像中像素点的位置，取色标所示正风速索引值的最大值和最小值作为双阈值区间的上下限，将符合该阈值区间的图像区域赋值为 1，其余区域赋值为 0。

$$I_{\mathrm{Neg}}(i,j)=\begin{cases}1, \min(H_{NegIndex}) \le f(i,j) \le \max(H_{NegIndex}) \\ 0, \text{其他}\end{cases} \quad (1)；$$

$$I_{Pos}(i,j)=\begin{cases}1, \min(H_{PosIndex}) \le f(i,j) \le \max(H_{PosIndex}) \\ 0, \text{其他}\end{cases} \quad (2)；$$

其中，H_{PosIndex} 和 $H_{NegIndex}$ 分别表示正速度索引值和负速度索引值，这种雷达图像色标在获取图像时即为已知状态。

形态学组合滤波之后，采用交叉逻辑运算提取逆风区域，并同时存储逆风区区域面积。

$$I_{AWA=}[I'_{Pos}(i,j), I_{Neg}(i,j)] \quad (3)；$$

$$I_{AWA=}[I'_{Neg}(i,j), I_{Pos}(i,j)] \quad (4)；$$

其中，I_{AWA} 表示提取出来的逆风区域，$I_{Pos}(i,j)$ 表示正向风场区域，$I_{\mathrm{Neg}}(i,j)$ 表示逆向风场区域。$I'_{\mathrm{Pos}}(i,j)$ 表示滤波和填充后的正向风场区域，$I'_{\mathrm{Neg}}(i,j)$ 表示滤波和填充后的

逆向风场区域。

来自于气象产品以及雷达数据的气象要素分散性强、相关性弱、数据量巨大。分类存储多普勒雷达数据中与短时强降水相关的所有气象要素。基于短时强降水演变发生机理对所有气象条件进行综合分析，建立短时强降水的三类高相关特征集合：包括物理参数特征集合、矢量特征集合、雷达数据特征集合，建立特征集合-气象要素之间的相关关系。其中，三类特征集合包括的强降水特征及相关基本要素如表 2 所示：

表 2

特征集合	短时强降水特征	基本要素
物理参数特征集合	K 指数≥35° C	气压、水汽压、湿度、2min 平均风速、10min 平均风向、10min 平均风速、温度、露点温度、相对湿度、所属气候带
	$\theta_{se500}-\theta_{se850}\geq -8^{o}$	
	$S_i<0^{o}$	
	$t-t_i\leq 4^{o}C$	
矢量特征集合	“列车现象”	基本反射率 组合反射率 CR 速度谱宽 基本径向速度 V 风暴追踪信息 STI VAD 风廓线
	强回波区运动轨迹	
	风暴追踪	
雷达数据特征集合	云体识别：层状、块状、絮状	基本反射率 组合反射率 CR 速度谱宽 基本径向速度 V VAD 风廓线 垂直累计液态水含量 VIL 反射率等高面位置显示 CAR 回波顶高 ET 风暴追踪信息 STI 中尺度气旋 M
	回波区强度、持续时间	
	强回波区起始位置	
	逆风区	
	钩状回波，弓状回波	
	零度层亮带	
	辐合场、辐散场	
	零速度线	
	反射率因子垂直向上回波平均变化率	
	垂直累计液态水含量	
	回波顶高 ET	
	风廓线	
	风暴追踪信息	
	中尺度气旋	

综合分析全国山洪灾害调查评价成果，叠加历史山洪灾害分布图、全国山丘区设计暴雨陈国、全国山洪灾害危险区划分成果，获取 5km×5km 网格山区致灾暴雨风险特征集合。接入 5 年内所有实测气象数据及雷达数据，建立山区致灾暴雨模型特征数据库

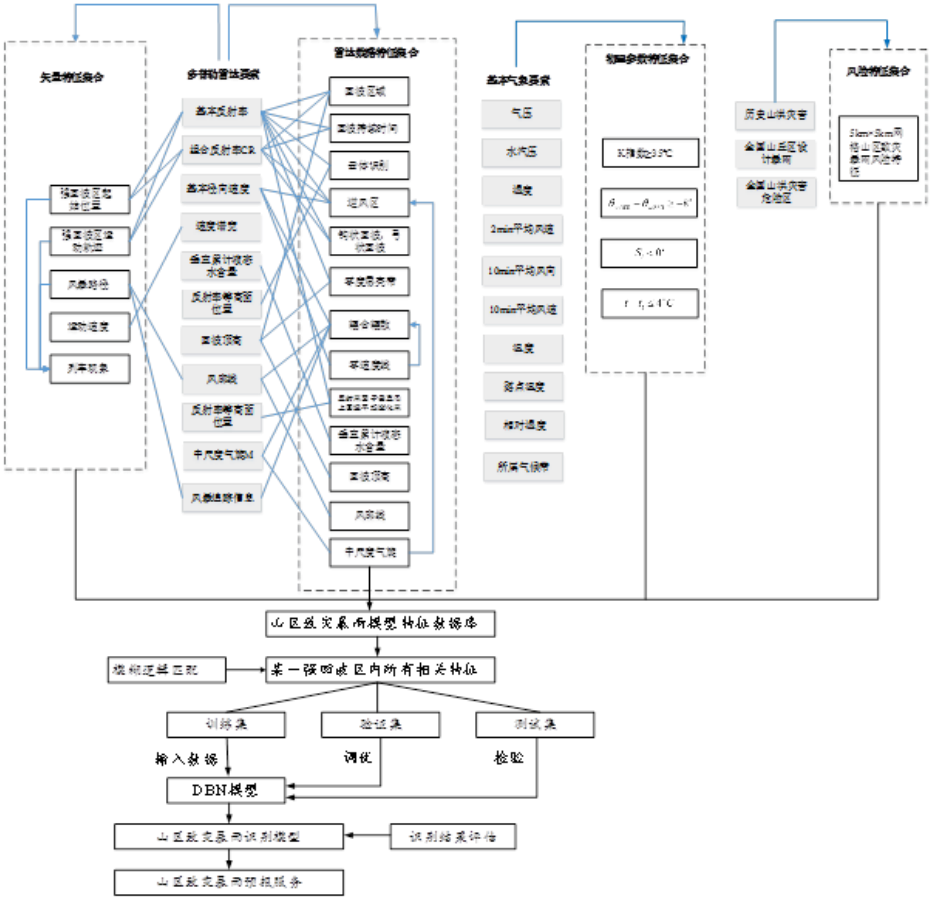
2.2　基于深度学习方法构建具有区域性的山区致灾暴雨识别模型

基于多普勒雷达强回波区域特征，以每个强回波区域为基本范围，采用模糊逻辑法对区域内所有特征在空间维和前后 6h 时间维内进行搜索匹配，从而获取区域内所有山区暴雨的所有特征。

采用模糊逻辑匹配法对山区致灾暴雨模型特征数据库中的所有特征进行搜索匹配，获取多普勒雷达强回波区内所有与致灾性短时强降水相关联的所有特征，将一个强回波区内的所有相关特征组合为一个新的样本。

以致灾暴雨特征库作为数据样本集，采用受限的玻尔兹曼机（RBM）构建多输入结构的

深度信念神经网络，采用 DBN 训练算法建立山区致灾暴雨识别模型。用 25 个特征维度描述作为识别模型的输入，将构建好的数据集进行分类，分为训练集、验证集和测试集。构造一个具有 3 层 RBM 的区域性的 DBN 模型，第一个 RBM 为输入层，节点数 25。隐层节点数为 80。输出层节点为 2，输出为致灾暴雨风险识别结果（致灾/不致灾），使用特征数据库中的样本进行训练。使用 Contrastive Wake-Sleep 算法对模型进行调优，并对识别结果进行评估，引入实时气象数据进行山区致灾暴雨预报。



参考文献

[1] 俞小鼎等,多普勒天气雷达原理与业务应用,气象出版社,2006.

[2] 吴顺君等,雷达信号处理和数据处理技术[M],电子工业出版社.

[3] 樊李苗,俞小鼎.中国强对流天气的若干环境参数特征分析[J].高原气象,2013,32(1):156-165.

[4] 刘业森，陈胜，刘媛媛，等. 近年国内防洪减灾信息技术应用综述[J]. 中国防汛抗旱，2021,31(01):48-57.

[5] 廖移山,李俊,王晓芳,等. 2007 年 7 月 18 日济南大暴雨的β中尺度分析[J].气象学报,2010,68(6):944-956.

[6] 俞小鼎,周小刚,王秀明.雷暴与强对流临近预报技术进展[J].气象学报,2012:70(2):311-337.

“四预”措施在长江防洪调度中的应用

方祥俊　　常仁凯　　梁　云　　班友康

（中水三立数据技术股份有限公司）

摘要：本文以长江防洪调度为研究对象，结合水利部在水旱灾害防御工作会议中提出的强化“四预”措施，防范灾害风险要求，系统介绍了长江防洪调度的建设目标、技术路线和预报、预警、预演、预案措施在长江防洪调度中的应用。“四预”措施的加强可以有效提高长江防洪调度的数字化和科学化水平，同时可提高防洪指挥决策的及时性、有效性和准确性。

关键词：“四预”措施；防洪调度；数字化；洪水预报

Application of the "Four Predictions" measures in flood control and dispatching of the Yangtze River

Fang Xiangjun、Chang Renkai、Liang Yun、Ban Youkang、Sheng Zhenghua

China Water Sunny Data Technology CO.,LTD.

Abstract: This article takes the Yangtze River flood control and dispatch as the research object, combined with the strengthening of the "four predictions" measures proposed by the Ministry of Water Resources in the flood and drought disaster prevention work conference, and prevents disaster risk requirements, and systematically introduces the construction goals, technical routes, forecasts, early warnings, rehearsals, and pre-plan measures of the Yangtze River flood control and dispatch in the flood control and dispatching of the Yangtze River. Strengthening the "Four Predictions" measures will help improve the digital and scientific level of the Yangtze River flood control dispatching, and also help improve the timeliness, effectiveness and accuracy of flood control command decisions.

Key Words: the "Four Predictions" measures；flood control dispatch；digitizing；flood forecast.

0　引言

根据水利部在水旱灾害防御工作会议中的要求，要强化预报、预警、预演、预案“四预”措施，加强对实时水雨情的监测与分析，进一步优化防洪预警发布流程，对水工程联合调度进行预演模拟，完善制定江河湖泊防洪调度预案。“四预”措施的提出对于防汛工作开展具有指导性意义，在长江防洪工作中也得到了实施应用。

通过强化“四预”措施在长江防洪调度中的应用，是提高长江防洪调度数字化、科学化水平的有效手段。长江流域面积大，水文气象特征复杂，洪涝灾害时有发生，人民的生命财

产受到洪水的严重威胁，防洪形势依然严峻。经过多年的建设，长江流域初步形成了以三峡水库为骨干、以堤防为基础、以干支流防洪水库、蓄滞洪区工程、洪水预警预报等工程措施和非工程措施为组成的综合防洪减灾体系。洪水预警预报方面，初步建立了覆盖长江流域干流及主要支流的洪水预报系统，但随着上游干支流控制性水库的建成运行，长江流域防洪格局已发生大的改变，长江上游预报方案体系已不能满足现有实际的预报调度需求[1]。防洪调度方面，由于江河水库实时调度需要考虑的因素多、问题复杂，多年来长江洪水调度主要基于人的经验，在数字化和预测预报方面还较为欠缺。

本文以长江防洪调度为研究对象，结合水利部在水旱灾害防御工作会议中提出的强化“四预”措施，防范灾害风险要求，系统介绍了长江防洪调度的建设目标、技术路线和预报、预警、预演、预案措施在长江防洪调度中的具体应用。本文结合长江防洪调度实际情况，以国家规范为基础，以问题导向和需求导向为原则，强化“四预”措施在长江防洪调度中的应用，可以有效提高长江防洪调度的数字化和科学化水平，同时可提高防洪指挥决策的及时性、有效性和准确性。

1 建设目标

长江防洪调度系统是为实现长江防洪调度数字化和科学化水平，通过加强“四预”措施在防洪调度中的应用，结合气象、水文、工情等基础数据，建设科学有效的长江防洪调度系统，实现数据驱动防洪调度，有效提高长江防洪调度的数字化和科学化水平[2]。具体目标如下：

（1）构建符合长江流域洪水调度需求的预报方案，延长防洪预报预见期；

（2）优化防汛调度预警交互方式，及时有效发布防洪预警；

（3）充分融合防洪与水工程信息，利用数字化对洪水进行调度预演；

（4）促进长江流域水库、蓄滞洪区等水利工程科学统一调度，制定有效的决策调度预案。

2 技术路线

根据防洪调度理论，结合流域防洪调度实际情况[3]，“四预”措施在长江防洪预报调度系统应用的技术路线如下图 1 所示。在预报方面，基于流域基础数据和实时的水雨情、工情数据，通过预测预报系统对洪水进行预报；在预警方面，当汛情、险情出现系统将给予多种交互方式进行预警；在预演方面，可以结合河道洪水演进和洪水淹没进行模拟预演；在预案方面，可结合流域洪水预报预测和模拟预演的结果制定预案[4]。最后根据选择的调度方案，进行方案调度实施，对调度成果进行分析对比、可视化展示，并对调度成果进行管理和上报形成防洪调度成果。

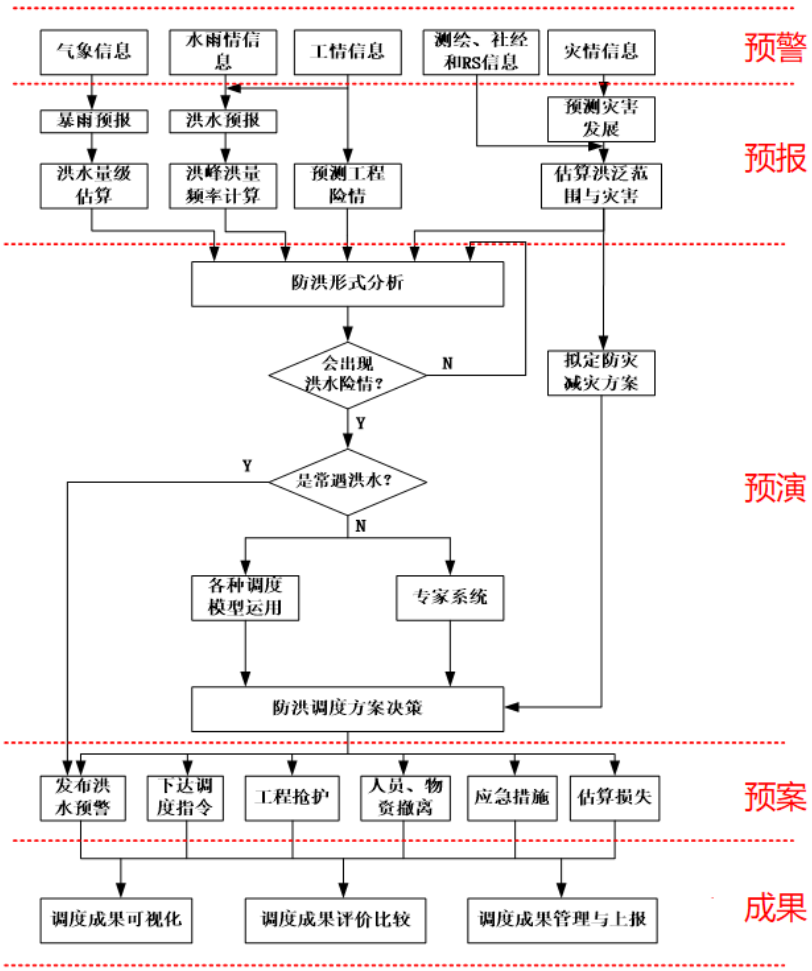


图 1　“四预”措施在防洪调度中应用的技术路线图

3　预报措施的应用

预报措施的应用需要和气象、水文等部门加强联合会商，提高对防汛调度预报的综合准确度和预见性，延长预报预见期。通过结合气象、水雨情、工情、灾情等数据，对江河湖库主要控制站进行洪水预报，充分利用历史资料和模型等手段，针对各种洪水频率做出具有针对性的预报，可以盘活历史数据供实际防洪决策参考和使用[5]。

依据流域上实时雨量、水位、流量以及预见期降雨等信息，通过自动或交互模式实现长江防洪预报计算及相关分析功能，包括水库入库流量、库水位预报以及河道洪水演进，其成果作为调度的依据。系统可任意选择多模型、多方法制作预报，实现长江流域范围内江河、湖泊、水库不同预见期的洪水预报，并具有实时校正和交互分析功能，应用计算机图形界面，提供预报制作和人机交互分析工具。具体功能包括：预见期降雨设置、河系预报、交互预报、考虑预见期降雨预报、交互分析、预报成果比较、预报精度评定等。交互分析主要包括雨洪对照、涨差分析、与历史对比分析、相关图预报分析等。

4　预警措施的应用

预警措施的应用需要优化防汛调度的发布流程，在江河湖库险情发生时及时进行发布预警。水雨情实时监视过程中提供实时汛情、工情自动监视和险情告警服务，以完全自动、直

观醒目的方式提供单点和区域的实时汛情、各类工情的实时运行情况，可实现自动、及时、全面的实时数据监视功能，并能对监视对象做更进一步的查询。实时监视可以对实时水雨情、实时工情的监视和险情告警，通过对已有水文监测系统数据的实时接收，在数据异常时能以声音、动画、图、表等方式醒目预警。

预警模块是在综合数据库和专用数据库的支持下运行，以综合数据库中的实时雨(水)情、 实时工情和实时灾情信息为依据，结合防汛背景资料和历史资料，自动进行汛情实时监视、汛情预警和汛情发展趋势预测服务。在整个汛期，该模块应该自始至终处于自动运行状态，向防汛值班人员动态提供实时汛情，并自动判断超警状态和发布警报信息，提醒值班人员注意异常汛情。同时，也提供一定的交互式操作和专题信息查询访问功能，支持预警工单触发和流程执行记录。

（1）基于一张图的预警。通过颜色改变、动态闪跳等方式让用户快速准确区分汛情严重等级，结合穿戴设备和手持终端给用户及时预警。如不同颜色的雨量站符号表示不同等级的降雨；不同颜色的测站符号表示正常、超警；闪烁表示超过保证水位测站、出险工程等。

（2）基于列表工单预警。矢量图上对应测站、工程在表格上占一行,当某一测站超警、超保或某一工程出险时,其表格中的相应行用不同颜色表示,并移动至列表的顶部醒目表示。同时根据预警级别系统自动生成预警工单,防汛工作人员根据预警工单完成防汛预警任务销号，预警销号率将作为工作任务指标之一。

（3）基于提示性的预警。当综合数据库接收特殊汛情(如山洪、冰雹、台风等)、特殊工情(决口、扒堤、堵口、漫滩等)、实时工情、实时灾情、实时旱情以及预报、调查信息时,系统弹出提示信息对用户预警，并及时将提示信息通过移动端发送给具体工作人员，并通过系统提供预警工作开展任务流程和实时提醒。

5 预演措施的应用

预演措施的应用可以在防洪调度中充分利用数字化,结合 GIS 和 BIM 将防洪信息与水工程信息充分融合，根据系统设定的参数和基础数据，模拟预演洪水演进和淹没分析，直观形象展示洪水动态演进过程，便于对设定的调度方案进行验证，最终有效提高防洪调度决策合理性。

洪水演进可以在地图上显示主要干流和支流的节点信息,通过多种交互方式显示节点洪水信息，显示内容包括：时间、坐标、水位、流量、洪水量级、该站历史最高、警戒水位的信息，不同量级的洪水采用不同颜色来表示。另外可以通过降雨量数据、节点洪水数据以及地形数据，计算洪水的流量、流速，在地图上制作洪水推进栅格专题图，不同时段的专题图进行叠加显示，以数字高程模型为基础，叠加遥感影像和基础地理信息的方式动态展示出洪水推进的过程。

洪水淹没分析可将研究区的DEM转换为TIN模型提取三角单元格网并对每个三角网格赋高程值，高程值按 3 个顶点从 GRID 上取得的高程值取平均求得生成的三角格网就是要进行洪水淹没分析的三角单元格网模型。通过淹没图与基础地理信息图、业务数据叠加分析，获

取淹没的区域大小、影响范围以及影响的对象内容，再通过缓冲区分析得到洪水淹没分析结果。

6　预案措施的应用

6.1　水库调度预案

水库调度预案的制定需要进行水库的调洪计算，包括入库洪水过程线、水库水位—容积关系曲线、泄水建筑物泄流能力等，对给定的入库洪水推求出库流量过程线，以及相应的蓄洪容积、最高调洪水位及最大下泄流量[6]。在充分利用河道宣泄洪水能力的前提下，依据洪水组成情况，采用预报的洪水，也可以对水库使用预泄、固定流量下泄或者补偿调节等方式进行水库联合调度。水库调度预案方式如图 2 所示：

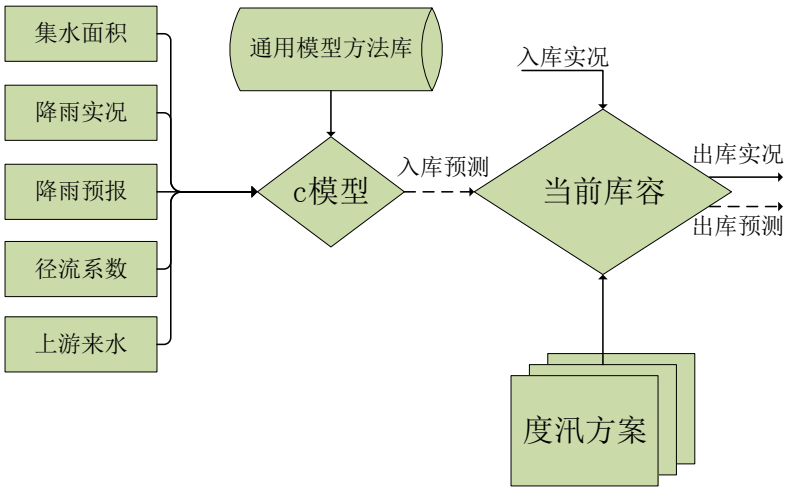


图 2　水库调度预案

6.2　分洪工程与蓄滞洪区的调度预案

水库与分蓄洪工程是江河防洪系统中重要的防洪工程措施[7]。水库可以利用其蓄水容积对入库洪水起有效的调控作用，分蓄洪工程可利用分蓄洪区的容积，适时将超出河道安全泄量的超额洪水分入分蓄洪区内，并对洪水起蓄、滞作用。水库工程根据其拦河筑坝条件的要求，一般选址于河流干支流上中游；分蓄洪工程一般利用中下游临近于重点防洪区的有利地形加筑周边围堤及进出洪水设施而形成。水库对于各种重现期的洪水都在不同程度上起调控作用；分蓄洪区一般只有在发生超常洪水时作为应急措施启用。因此，水库群与分蓄洪工程的联合运用的条件一般是流域出现超常洪水，而且可以认为分蓄洪水工程是在水库群对超常洪水进行联合调控基础上的一种应急防洪手段。水库蓄洪损失相对较小、控制运用灵活。一般先用水库（群）对洪水进行调控，然后相机启用分蓄洪工程。分蓄洪工程靠近重点防洪区，适时启用有利于控制防洪区重点堤段水位不超过其安全保证水位。

水库群与分蓄洪区工程联合运用时，原则上并不改变水库群自身的联合调洪规则，只是在启用分蓄洪水区时，考虑在下游分蓄洪区分洪及其蓄滞洪水作用条件下，水库群应合理地进行补偿调节。例如在洪峰出现之后的退洪泄水阶段，一般以不超过河道安全泄量为控制条件，先泄分蓄洪工程的蓄洪量，而水库群按洪水补偿调节方式控制泄量。

7 结论

强化预报、预警、预演、预案措施在长江防洪调度中的应用可以满足长江防洪调度实际需要，有效提高长江防洪调度的数字化和科学化水平。“四预”措施的强化应用也有助于结合实时数据对长江防洪预报，使用多种交互方式及时有效多渠道发布防洪预警，并可充分利用数字化对洪水调度进行预演，服务制定有效的决策调度预案，进而提高防洪指挥决策的及时性、有效性和准确性。

参考文献

[1] 周华艳. 长江上游控制性水库群联合防洪调度及库容分配研究[D]. 华中科技大学, 2019.

[2] 秦昊, 陈瑜彬. 长江洪水预报调度系统建设及应用[J]. 人民长江, 2017, 48(04):16-21.

[3] 金兴平. 水工程联合调度在 2020 年长江洪水防御中的作用[J]. 人民长江, 2020, 51(12):8-14.

[4] 赵文焕, 李荣波, 訾丽. 长江流域水库群风险防洪调度分析[J]. 人民长江, 2020, 51(12):135-140+178.

[5] 刘汉宇. 国家防汛抗旱指挥系统建设与成就[J]. 中国防汛抗旱, 2019, 29(10):30-35.

[6] 尚全民, 褚明华, 闫永銮, 骆进军. 2020 年全国水库防洪调度实践与思考[J]. 中国防汛抗旱, 2020, 30(12):1-4+24.

[7] 卢有麟, 周铁柱, 王亚平, 王超. 长江上游控制性水库群联合调度及水资源影响分析[J]. 云南水力发电, 2021, 37(03):6-11.

三门峡水利枢纽防汛抗旱指挥调度系统建设和应用

王海军　　季　利

（三门峡黄河明珠(集团)有限公司，三门峡 472000）

摘要：利用大数据、物联网、云计算、GIS 等现代信息技术，对三门峡水利枢纽原有分散化数据源水情监测、大坝安全监测、闸门运用、电站运行等信息等进行有效整合，实现对信息的一体化管理，与水库河道、枢纽建筑建立空间交互分析，实现水库蓄水淹没变化、枢纽实时下泄运用场景的三维动态显示。开发建设三门峡枢纽会商指挥、防汛巡查、防汛管理、水文分析、协同办公等综合应用系统的防汛抗旱指挥调度系统，大幅提升了三门峡枢纽管理运用整体信息化水平。

关键词：三维建模；可视化；信息化；防汛抗旱；三门峡水利枢纽

0　引言

三门峡水利枢纽是新中国在黄河干流上修建的第一座大型水利枢纽工程，位于河南省三门峡市和山西省平陆县交界的黄河峡谷段。控制黄河流域面积 68.84 万 km²，占黄河流域面积的 91.5%，控制黄河水量的 89%、沙量的 98%。水库于 1960 年 9 月投运，至今已 60 年，主要功能是防洪、防凌、调水调沙、发电、灌溉、供水。水库按千年一遇洪水设计，设计总库容 96.4 亿 m³，目前总库容近 60 亿 m³。

随着信息技术的发展，先后实施了三门峡枢纽基础性信息化项目，包括水情信息系统、闸门运用信息系统、发电信息系统、视频监控系统等项目，基本完成了业务数据、运行数据、生产数据采集和信息传输建设。这些系统属于 MIS 数据流性质，一是缺乏空间分析技术支撑，监测、观测、业务、生产等数据未能与空间地理融合形成可视化应用；二是数据源相对分散，没有集成整合对水库调度运用、防汛抗旱形成更系统、更直观、更智慧的服务。

水利部明确智慧水利发展要求，概括为“物联感知、互联互通、科学决策、智能管理”，利用物联网、云计算、GIS 等现代化技术，推动水利工程信息化建设。三门峡水利枢纽防汛抗旱指挥调度系统建设，即充分利用现代信息技术，融合整合监测、观测、业务、生产数据形成大数据应用支撑，实现提高枢纽防汛抗旱调度指挥、运行管理业务一站式服务水平。

1　系统建设目标和任务

1.1　建设目标

满足三门峡水利枢纽防汛抗旱指挥调度系统的应用需求、业务需求和创新需求，依托全球三维、全球河网和水三维智能仿真系统等成果和云服务、大数据等先进技术，有效创建水库调度管理空间信息支撑环境，将现有信息化数据升级整合为一套可视化、以大数据服务为支撑的信息化平台，为防汛指挥、运用管理提供丰富的应用功能和信息服务。

(1)构建水库三维空间地理应用环境，实现枢纽地形地貌、河网水系、河道地形、监测

站网、固定断面等空间信息的数字化、可视化管理。

(2)通过三门峡枢纽数字三维建模，实现枢纽运行、淹没变化的动态展示，直观显示水情、工情、闸门、泄流等实时信息。

(3)依托空间地理数字化、工程数字模型，将水情、河道冲淤、闸门与电站运行、防汛巡查等信息升级为可视化模式，实现相关大数据分析服务。

(4)以大数据集成为基础，基于可视化环境实现枢纽运行综合信息集成服务，形成面向防汛、调度、运行、发电、控淤、水能等多业务支持服务。

1.2 建设任务

1.2.1 信息系统建设

主要包括协同办公、枢纽运行管理一张图、综合业务系统、手机 APP 建设。

(1)协同办公 构建管理门户，为防汛会商、调度运用、防汛巡查、发电生产提供一套信息传递、信息浏览、日常管理交互的平台。

(2)枢纽运行管理一张图 采用三维空间分析技术，提供一套支持“枢纽空间信息静态展示、运用过程空间信息动态显示、水位变化模拟仿真、超限值实时预警、人机交互模拟显示”服务系统，作为系统主窗口提供直观可视化服务。

(3)综合业务系统 结合空间分析技术，实现水情信息、闸门运行和电站运行可视化。基于三维可视化环境，提供水库运用过程历史重现服务，展示某一具体日期枢纽运用场景。同时在线接入厂坝区视频监控系统，基于防汛抗旱系统的一张图功能提供一站式服务。包括防汛抗旱管理、会商指挥、工程信息、防汛巡查、河道空间分析、水文数据分析相关模块。

(4)手机客户端 APP 以系统后台功能为驱动，开发适合于手机端的前台应用页面，以满足水库调度管理门户日常工作交互需求，提供协同办公、信息服务、视频直播、现场巡查、问题上报、指令推送和信息反馈需求。

1.2.2 数据接入建设

主要包括监测、运行两类数据。监测数据主要有水情监测、水文整编、断面测验数据；运行数据主要包括闸门设计、闸门启闭、机组设计、机组运行数据。为视频接入预留接口，支持用户通过 PC 端远程调用视频服务。

1.2.3 大数据建设

系统需具备空间大数据支撑，以实现多业务的数字化、专业化、可视化管理，大数据建设内容包括：覆盖库区回水和坝下的地理、河道信息数据库以及遥感影像数据库；覆盖入库范围的六级河网、监测站点数据库；枢纽防汛责任区域空间数据库；库区固定断面等空间信息专题地图数据库；气象、水情、水文监测数据库；防汛巡查专题数据库；视频监控数据库。

2 总体设计

2.1 总体架构

系统总体功能架构（如图 1）以空间分析和可视化技术为支撑，以融合、整合形成时空大数据为核心，接入采集水情、闸门、机组数据信息，支撑实现各项业务系统服务。

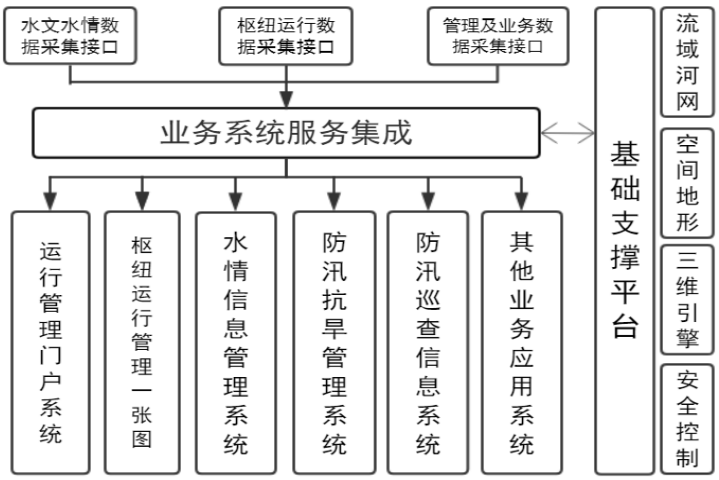


图 1　系统总体功能架构图

系统技术实现上以 B/S 架构为主，总体架构图如图 2。架构包含应用终端层、SOA 技术支撑与服务层、业务应用层、基础服务层、数据访问层以及数据存储层多个相互独立的层。整个系统以数据层为基础，以业务应用和基础服务为核心，以 SOA 技术服务层为媒介，为用户提供全面的高品质服务。

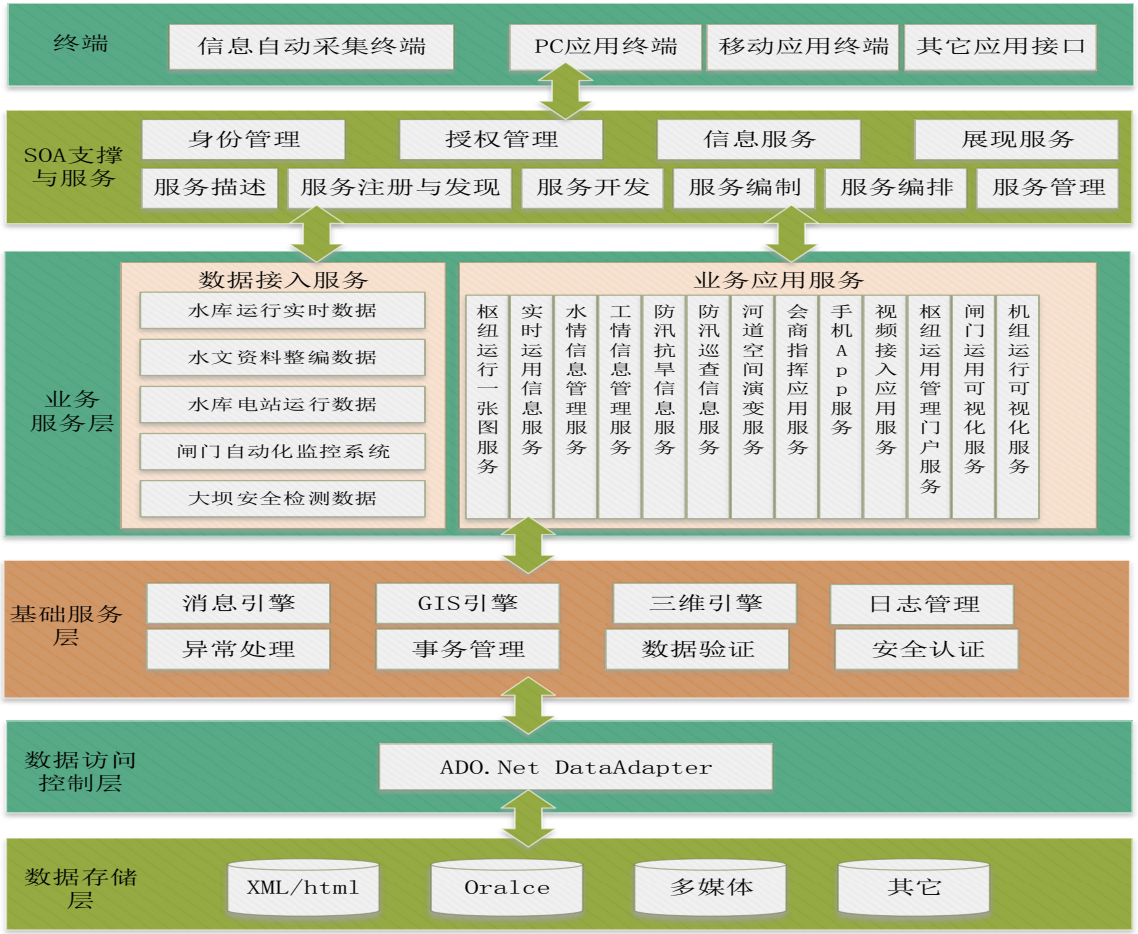


图 2　系统总体技术构图

（1）应用终端层　主要任务是向用户展示系统界面、与用户交互、进行数据自动采集

以及与其它系统进行交互服务，应用层通过 SOA 技术服务层获取终端所需的服务，它仅知道 SOA 层的细节，而不需了解业务服务的详细信息。应用终端包括 PC 应用端、智能移动应用端和数据采集端。

（2）SOA 技术支撑与服务层　包括：服务描述与发现、服务管理、服务组合、服务流程编排、服务开发、服务安全、服务交互通信、信息服务、展现服务、身份管理服务、授权服务等。实现在异构的环境中信息稳定、可靠的传输，屏蔽掉硬件层、操作系统层、网络层等相对复杂、烦琐的界面，为用户提供一个统一、标准的信息通道，保证用户的逻辑应用和这些底层平台没有任何关系，最大限度地提高业务应用的可移植性、可扩充性和可靠性。

（3）业务应用层　主要依据项目需要，实现各种业务的计算分析和处理。遵循高内聚、低耦合的原则，把每个业务模块的功能分解成适当力度的插件，以支持对服务的调用和业务的扩展。根据水库实际应用需求，把业务应用层的功能插件分为两类：一类用于对数据的分析和查询提供服务的功能插件，主要面向各种查询应用、数据分析和挖掘、对外接口等提供查询或分析结果数据；另一类专门用于数据集成服务，为各业务模块提供数据集成服务，接收各数据采集模块提供的数据，进行逻辑验证后存入数据集成中心。

（4）基础服务层　提供通用的功能集来完成系统所需的各种基础服务，如用户身份验证、GIS 服务、日志管理、消息流转、报表引擎等。服务对象一般是业务应用层，业务应用层通过组合业务逻辑和基础服务功能，完成业务功能的封装。

（5）数据访问层　为业务应用和基础服务层提供数据的查询和存储服务，通过改变数据访问层对象参数，实现连接不同的数据库，如 Oracle、Excel、文件数据和模型数据等。

（6）数据存储层　负责各种数据的物理存储，支持各种关系性数据、对象数据、文件数据等存储，并负责保证数据的安全性和一致性。

2.2　网络设计

利用现有水利专网建设，实现大坝管理区、办公楼之间的信息通讯、系统运行。移动手机与平台通讯通过公网联入系统，通过网闸实现与外网之间的数据交互，隔断业务应用系统与手机端的直接通讯。通过有关水利专网，支持防汛抗旱业务系统远程操作、显示、演示。

2.3　数据库设计

数据库中的数据从全局观点出发建立，按一定的数据模型进行组织、描述和存储。其结构基于数据间的自然联系，可提供一切必要的存取路径，且数据不再针对某一应用，而是面向全组织，具有整体的结构化特征。不同用户按各自用法使用数据库中的数据；多个用户可以同时共享数据库中的数据资源，同时满足各用户之间信息通信的要求。

2.4　用户管理设计

（1）统一用户登录　系统通过门户提供统一登录界面进入系统，实现统一用户登录功能。统一用户登录实现功能是根据用户名和密码（密钥）实现登录支撑平台系统的功能。通过单点登录，实现对所有接入支撑平台的应用系统的访问。

（2）机构、角色、人员及权限信息的设置与维护　系统提供一个自助控制台，是基于

Web 的图形化界面，允许终端用户和目录管理员搜索和管理目录中的数据。目录管理员可以借助这个图形化界面构建机构、角色、人员、权限等树形结构并进行维护。

（3）分布式、分级管理权限　采用分布式、分级管理模式，将使对不同部门、不同级别的权限管理具有更好的可管理性、可扩展性和灵活性。

3　安全体系

整个信息化工程平台部署在单位网信中心，按照信息系统安全等级保护第二级要求进行保护。安全体系包括安全管理、应用安全、系统安全、传输安全、网路安全、物理安全，以安全标准为依据，制定各个层次的安全策略，为整个系统提供安全服务，如图 3。

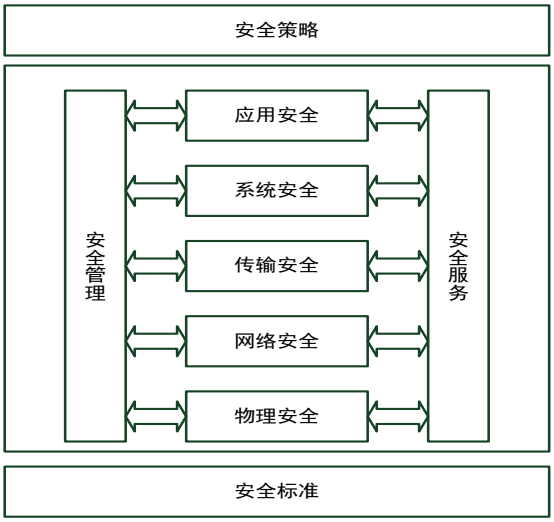


图 3　安全体系框架图

3.1　应用安全

为保证信息的保密性与完整性，主要依赖认证、加密、访问控制、数字签名等安全服务来完成。设置有本地认证、登录双向身份认证、权限控制、数据的数字签名与认证等。

3.2　系统安全

操作系统安全方面采用统一的用户识别和认证、自主型访问控制、审计等措施实现物理、登录、用户、文件系统、注册表、RAS、数据和应用系统等方面的安全。对数据库提供完整性支持的并发控制、访问权限控制、数据的安全恢复等提供数据库的安全能力。建立功能日志和系统日志记录，并定期检查，对操作系统和应用系统进行安全审计。

3.3　传输安全

采用传输加密技术，将 IKE（Internet 密钥交换协议）用于在 VPN 通道建立前对双方的身份进行验证，然后协商加密算法并生成共享密钥。对设备进行增强安全性的相关设置，主要包括 VLAN 的划分、MPLS 交换设置、VLAN 汇接设备上的访问列表以及针对路由更新的过滤。

3.4　网络安全

在网络内部安全性上主要采用存取控制和用户分级身份识别。对网络外部安全威胁利用防火墙技术、入侵检测和病毒防范技术保证外部攻击安全。系统中骨干交换机采用冗余设计，以保证网络传输的安全性。为各级有数据库的网络系统配备一套备份与灾难恢复系统，一旦

数据库服务器发生故障，可利用灾难恢复系统快速恢复。

3.5　物理安全

网络的物理安全是整个网络系统安全的前提。通过严格管理及提高员工的整体安全意识实现系统环境和设备安全保护。采取一定的防护措施，减少或干扰扩散出去的空间信号，实现媒体数据及媒体本身的安全。加强对存贮介质的访问、撤出、接收和报废等的管理，保证介质存储安全。

4　建设内容

4.1　空间信息建设

水库河道空间应用环境建设，实现枢纽地形地貌、河网水系、河道地形、行政区划、防汛区域、防汛设施、监测站网、固定断面等空间要素的数字化管理，支撑二维、三维可视化应用。建设内容主要涉及的数据如表 1。

表 1　空间信息建设数据内容表

序号	类别	项目	内容
1	矢量数据	河网数据	沿坝区上游的河网分布
		行政区划	沿黄河周边的行政区域分布图
		库区滩地	滩地在库区的分布情况
		库区风景区	库区内的风景区分布
		库区码头	库区内码头布置情况
		断面分布	断面分布图
		监测点分布	各类监测站点分布图
		监控点分布	监控视频分布图
2	影像数据	库区遥感影像	库区影像数据
		库区地形数据	库区地形数据，包括水面地形和水下地形
3	三维数据	库区三维	基于库区遥感影像和地形数据，进行库区三维建设
		坝区主体建筑物	坝区主体建筑物建模
		水流态势	库区和泄流建筑物水流态势
		库区主体建筑物	主要包括库区内的桥梁和标志性建筑物

4.2　综合业务系统开发

在实现空间应用支撑的基础上，运用大数据分析、云计算、移动互联网技术，结合防汛抗旱指挥调度、枢纽运行管理业务需求，建立完整的综合业务应用系统。

(1)系统首页（2D/3D 信息） 集成显示 2D/3D 枢纽运行管理一张图、枢纽水情信息、枢纽运行信息、视频监测操作、重点区域导航、测站导航、断面导航等功能模块。

(2)实时信息服务　主要包括枢纽运行实时信息、入库水情实时信息、黄河水情实时信息、卫星气象实时信息、黄委部门链接、坝区监控连线等信息服务。

(3)大坝安全监测系统　采用坝体剖视图方式，展示水平位移、扬压力、渗流三大类各测点分布情况，同时基于大坝安全监测中心的提供的数据接口，通过快捷操作交互方式，实时显示各测点的数据信息及测点数据变化趋势分析图。

(4)工程信息系统　将与枢纽工程相关的规划、设计、建设、管理、组织和应用类信息分类管理，采用分类、分级的展示方式，为用户提供便捷的信息查询服务和系统应用服务。

(5)会商指挥系统　为指挥中心、运行单位、生产单位、抢险队伍、外部协作单位建立多窗口在线会商服务，支持参会人员手机签到、在线信息滚动播报、抢险信息滚动播报、用

户通过手机收看会商。

(6)防汛巡查系统　为用户提供一套适用于防汛巡查工作管理的功能系统，功能模块包括巡查通知、巡查记录、巡查报告管理，后续将增加巡查轨迹显示功能。

(7)防汛管理系统　基于可视化空间技术，为防汛抗旱管理工作提供防汛一张图专题服务、防汛组织管理系统、防汛会商管理服务、防汛物资信息服务。

(8)水文数据分析系统　根据接收存储的水文数据，提供三门峡水利枢纽进出库各类水文要素大数据分析服务，为水库运行和防汛抗旱调度指挥提供信息服务。

(9)河道空间分析系统　基于空间分析技术，结合库区固定断面观测数据，自动对库区河道形态变化、冲淤量空间分布、特征库容变化进行空间计算、分析和展示，为科学运行和保护水库寿命提供决策依据。

(10)协同办公系统　为领导层、部门层、运行单位、生产单位之间提供协同办公服务，满足各级人员日常管理与信息交互，支持 PC 电脑、平板电脑、手机之间信息无缝衔接。

(11)手机 APP 系统　作为移动端服务，将更加便于实时查询各类数据信息，及时进行业务交流和开展办公服务。

(12)系统管理　对用户增删和信息更改，对登录用户的信息进行管理、对用户的权限进行设置，同时保存和管理平台操作的工作日志。

(13)视频监控服务系统　系统内置对多厂商家监控视频无缝接入，可控制监控视频的云台操作，同时也支持监控视频拉流播放，提供多种方式显示视频监控画面。

(14)综合专题数据库建设　收集并整理相关数据信息，建立数据录入规范，组织编写管理流程和标准，确定信息采集标准和录入标准，实现业务数据的规范化、数字化管理。

5　建设成果

(1)空间信息数字化成果　依托全球三维系统、全球河网系统和水三维智能仿真系统等科技成果和先进技术，完成了三门峡库区范围、三门峡枢纽工程、厂坝区主要建筑物、坝下游 10km 河道的空间信息的数字化处理，构建三门峡水利枢纽全场景虚拟现实应用环境。

(2)数据整合与交互应用　对分散化数据源进行有效整合，通过水情监测数据、大坝安全监测数据、闸门运用信息、电站运行信息的一体化管理，与水库河道、枢纽建筑建立空间交互分析，实现水库蓄水淹没变化、枢纽实时下泄运用场景的三维动态显示。

(3)综合业务系统建设　在数据整合、构建虚拟现实环境的基础上，进一步完成实时信息、大坝安全监测、工程信息、会商指挥、防汛巡查、防汛管理、水文分析、河道空间分析、协同办公、视频监控、手机 APP 等应用系统综合服务于防汛抗旱指挥调度系统。

(4) 大幅提升了三门峡水利枢纽整体信息化水平　系统开发运用了移动互联、云服务等新一代技术，形成了一套以数字化、可视化、大数据服务为支撑，以自动数据处理、便捷服务为导向的综合业务管理信息化平台，信息化水平得到较大提升。

三门峡水库无人机航空摄影测量及应用

季　利[1]　　胡著翱[2]　　王海军[1]

（1.三门峡黄河明珠（集团）有限公司，三门峡 472000；2.黄河水文勘察测绘局，郑州 450008）

摘要：为掌握三门峡水库最高水位以下滩区地形、土地利用、村镇交通等经济社会情况，为库区灾害防御、水量调度、库区管理、进一步优化三门峡水库运行等提供基础数据，2020 年，三门峡黄河明珠（集团）有限公司组织开展了三门峡水库滩区航空摄影测量项目，获取了大量数字化成果和数据，并将成果应用到防汛减灾实践中，取了良好效果。

关键词：三门峡水库；无人机航测；灾害防御；信息化

0　引言

三门峡水利枢纽是新中国在黄河干流上修建的第一座大型水利枢纽工程，位于河南省三门峡市和山西省平陆县交界的黄河峡谷段。枢纽控制黄河流域面积 68.84 万 km²，为全流域面积的 91.5%，控制黄河水量的 89%，控制黄河沙量的 98%。水库主要功能是防洪、防凌、调水调沙、发电、灌溉、供水。

水库按千年一遇洪水设计，设计洪水位 333.65 米（1985 国家高程基准），设计总库容 96.4 亿 m³，目前总库容近 60 亿 m³；水库防凌运用水位 324.65m；2002 年 11 月前非汛期春灌水位最高按 322.65m 控制。2002 年 11 月至今开展原型试验，非汛期控制水位 318m，汛期控制水位 305m。

原型试验以来，由于水库运用水位大幅度降低，原库区淤积形成的高滩被大量长时间裸露，库周百姓人为活动逐渐下移，致使滩区非法利用，农业种植、道路、景区、小型加工厂等增加较多，甚至有移民返库居住。这些情况都为三门峡水库防洪运用和特殊情况下应急调度造成很大被动。亟需对三门峡库区社会经济情况进行摸底调查，掌握库区各级水位下滩地、河道以及生产生活等人为活动情况，为水库防御超标准洪水和特殊情况下应急调度提供了基础数据支撑。

三门峡水库滩区航空摄影测量共分两个阶段开展，第一个阶段在汛前 3-4 月份开展，利用滩区植被稀疏和树叶稀少的时间窗口，获取水库防洪水位 335m（大沽高程，下同）和非汛期利用水位 318m 之间滩区影像和地形信息。第二个阶段在汛期 7 月份开展，利用汛期水位下降和部分滩区外露的时间窗口，获取汛限水位 305m 与 318m 之间的滩区影像和地形信息。投入纵横 CW-20 型油电混合复合翼无人机和纯电动飞鹭 Heron 复合无人机，航测面积共计 1093km²，其中水域面积 160km²，拍摄影像 52508 张，测量平面像控点 1126 个，高程像控点 477 个；制作完成库区 0.5m 分辨率的 DEM 和 0.2m 分辨率的 DOM 共计 1249 幅，编绘专题影像图一幅；完成了 335m 水位以下相关社会经济要素，并建立社会经济要素调查数据库。

1 无人机航空摄影测量

1.1 像片控制测量

三门峡库区控制点历史悠久，资料繁多，有些区域有多套成果数据，本次测量最终成果需要统一到2000国家坐标系及1985国家高程系上，对于资料的整理、分析及进一步的应用提出了更高的要求。

测区面积较大，无法采用统一的坐标系转换参数，根据已有控制点分布情况，采用分区计算转换参数的方法进行。潼关以下河段采用已有成果的两套坐标分3个区计算参数，潼关以上河段使用网络RTK现场采集WGS-84坐标，分2个区计算参数。相邻分区之间重合两个及以上控制点，整个测区分为五个参数校正区域，经计算，平面、高程残差均小于0.05m。像控点测量采用单基站的方法测量，每次作业前均进行了已知点或重合点检测，符合要求后开始作业。共计测量1126个平高像控点，477个高程点控制点。

1.2 无人机外业航拍

1.2.1 测区划分及航摄平台

根据设计方案和已有设备情况，将整个库区分为潼关以上和潼关以下两个测区，分别采用飞鹭Heron无人机和CW-20无人机同时进行外业航拍。

飞鹭Heron无人机，飞行高度100-750m，测控半径10km，搭载索尼A6300相机。采用100HZ RTK实时差分技术，在完全无需地面像控点的情况下，平面精度可达3cm，高程精度可达5cm。主要应用在潼关以下至三门峡大坝测区。该段河道窄，滩区小，周围多山地，使用该款无人机可以免做像片控制，或者做少量的控制点，可大大提高工作效率。

纵横CW-20无人机，无线电链路范围35km，搭载IXU-RS1000中画幅工业相机，续航时间180分钟，巡航速度100km/h。采用固定翼与多旋翼相结合，大大提高单架次航飞效率，主要应用在潼关以上渭河平原测区。

1.2.2 航摄技术要求

根据分区要求，航摄最低点地面分辨率不能低于0.15m。航向重叠度一般应为85%，最小不应小于65%；旁向重叠度一般应为60%～70%。航向覆盖超出摄区边界线应不少于三条基线。旁向覆盖超出摄区边界线一般应不少于像幅的50%；在便于施测像片控制点及不影响内业空三加密时，旁向覆盖超出摄区边界线应不少于像幅的30%。同一航线上相邻像片的航高差不应大于30m，最大航高与最小航高之差不应大于50m，实际航高与设计航高之差不应大于50m。要求影像清晰，层次丰富，反差适中，色调柔和；应能辨认出地面分辨率相适应的细小地物影像，能够建立清晰的立体模型。

1.2.3 航摄检查

航摄作业时，安全是首要考虑的要素。飞机组装完成后，要进行一系列严格的检查并进行详细的记录，在确保安全的情况下才能升空作业。具体的检查项包括：俯仰检查、滚转检查、水平设置、空速检查、高度计检查、转速检查、遥控器检查、震动测试、数传发射对传感器的影响测试、接插件检查、动态传感器数据观察、空速计系数、相机检查等。

1.2.4　地面站监控

无人机升空作业后，地面站开始对无人机工作状态进行实时监控，地面站人员应时刻关注发动机的转速、飞机的高度及速度等指标，如发现异常应立刻做出判断和处理。

1.2.5　现场数据整理检查

航摄完成后在现场对航摄数据进行检查和整理。检查曝光点数与影像数是否一致；检查每条航线的记录值与实际飞行的影像数是否一致。在保证原始影像每张都能打开，每张存储完整，且不发虚、曝光适中的情况下进行数据整理，并现场填写航摄飞行记录表。根据航摄鉴定表，现场航摄负责人确定需要重飞或补飞的区域，并组织实施重飞或补飞，并对航摄鉴定表进行修改和补充完善。

1.3　内业数据处理

1.3.1　数据准备

内业数据处理使用 PhotoScan 软件进行，相机标定采用自适应模式。

所需准备的数据包括原始影像、POS 数据、控制点数据。数据准备过程中需删除多余的影像，同时 POS 文件中影像 ID 与影像名称需对应。

1.3.2　相对定向和绝对定向

将准备好的 POS 数据和原始影像分别导入 PhotoScan 中,执行添加照片、照片导入功能，进行影像全自动匹配。然后执行对齐照片、生成连接点功能，完成相对定向。利用外业布设的控制点进行绝对定向，将控制点导入处理软件，使用控制点转刺功能进行刺点，完成绝对定向。并根据需要设置检查点，检查点应均匀分布整个测区。

1.3.3　空三加密和平差

使用软件中自动生成连接点功能，自动完成空三加密。平差采用光束法区域网平差，区域网根据航摄分区、计算机性能、地形条件、像控点的分布和大面积水域分布等情况，对实际航测分区进行合并，相邻航测分区重叠处理一架次数据，最终组成 25 个区域网进行处理。平差计算时对加密像控点进行粗差探测,并分析各项误差产生的原因,使其不存在系统误差。根据需要对部分单模型进行绝对定向，检查定向点残差，并对部分区域网进行人工修测。

1.4　社会经济要素调查

为了解和掌握滩区植被、耕地、建构筑物、人口等情况，计算不同水位下淹没情况，为防汛抗旱提供数据支撑，进行社会经济要素调查。调查以 318m-325m 之间的滩区为主，325m 以上滩区调查适度放宽要求。调查采用先内业、后外业的方式开展。

1.4.1　内业数据处理

内业数据处理前，先对库区相关资料进行搜集，主要搜集库区淤积测验断面、行政界线、干流沿河治理工程、库区违法建构筑物、水文站、水位站资料等，并对资料进行位置判读、上图标注；同时在航测图上判读景区、滩地、耕地、林地、园地、鱼塘、温室大棚、道路、村庄等的地类地物。

1.4.2　外业调查测量

结合内业上图和判读情况，进行外业调查和测量。主要调查水文站、水位站名称、位置；干流及渭河提水工程、实测取水口、干流沿河治理工程的高程、名称、隶属、灌溉面积等；县乡及以上等级道路、景区、重要工业、市政设施跨河桥梁、河道控导工程的名称、归属，并进行高程测量；村庄、滩地、集中连片的设施农用地、码头的位置、现状等。

1.4.3　图斑提取

依据航飞正摄影像，结合外业调查资料，对调查范围内的面状、线状、点状图斑进行勾绘，完善图斑相关属性，如地域、地类等，以利于数据分析应用。

2　形成的成果

2.1　数字高程模型

数字高程模型（Digital Elevation Model，简称 DEM），是通过有限的地形高程数据实现对地面地形的数字化模拟，其它各种地形特征值均可由此派生。通过空中三角测量连接点加密和平差，建立测区的密集点云，通过构建测区 TIN 模型，生成规则格网数字高程模型。

全测区共形成 DEM 模型 1249 幅，格网大小 0.5m×0.5m，根据分块内的 DEM 模型通过 QMosaic 软件进行自动拼接，形成整体的 DEM 模型。对于落在树、桥梁上的规则格网 DEM 模型采用人机交互的方式进行处理修正，使其高程点切准至表面，且保持与周边的自然过渡。

2.2　数字正射影像图

数字正射影像图（Digital Orthophoto Map,简称 DOM)是以航摄像片或遥感影像（单色/彩色）为基础，经逐像元进行辐射改正、微分纠正和镶嵌，按地形图范围裁剪成的影像数据。它具有地形图的几何精度和影像特征，可作为地图分析背景控制信息，也可从中提取自然资源和社会经济发展的历史信息或最新信息，为防治灾害和公共设施建设规划等应用提供可靠依据。

项目通过航拍影响和点云模型，通过辐射改正、微分纠正、镶嵌和匀光匀色，形成了色调均匀，反差适中，精度符合要求，全覆盖的 DOM 影像数据 1249 幅，地面分辨率 0.2m，并按要求生成 GeoTiff(*.tif)格式影像和影像定位信息(*.tfw)格式文件。

2.3　数字线画图

数字线划地图(Digital Line Graphic，简称 DLG)：是与现有线划基本一致的各地图要素的矢量数据集，且保存各要素间的空间关系和相关的属性信息，可进行空间分析、决策。

项目根据实际需要，以数字高程模型为基础，以 0.5m 为间距，生成整个库区 305m-335m 滩区全覆盖的等高线数据，采用人机交互的模式，对等高线进行修饰，保证等高线圆滑、连贯、无死角、不缺漏，并用软件进行拓扑分析，确保等高线不相交。同时绘制测区道路、河流、水边线等要素，叠加土地利用图斑、社会经济要素，形成测区数字线画图。

2.4　三维实景模型

为了更精确掌握库区重点区域和建筑物形态结构等信息，采用倾斜摄影等技术手段，构建了几处重点区域的三维实景模型，分别为三门峡大坝、潼关水文站、三门峡水文站、天鹅

湖城区部分、4 座跨河大桥等。三维实景模型同时具备密集点云、TIN 模型和三维实景影像格式，可直观展现重点区域的地形现状，可直接量测建筑物和构筑物的三维坐标、大小、面积等信息。

3 信息化应用

3.1 防汛会商系统应用

项目形成的数字高程模型和数字正射影像数据，作为底图和基础数据引入三门峡水利枢纽防汛会商系统，形成三门峡水库库区三维模型，可直观展示防汛会商的各种信息数据，模拟不同水位下洪水淹没情况，统计分析淹没面积和滩区现状，为防汛决策提供基础数据。

3.2 社会经济要素数据库建设

为满足信息管理和成果信息化应用需要，实现水文水位站、码头、道路、工程、村庄、滩地等地理要素数据管理，实现专项数据查询及要素特定属性数据统计，建立基于 ArcGIS 的地理数据库，创建特定区域的点、线、面地理要素数据集。数据库涉及的点状要素主要有水文站、水位站、提水站、码头；现状要素有公路、公铁两用桥、桥梁、铁路、治理工程等；面状要素主要有村庄、景区、工业设施、面积较大的码头、设施农用地、滩地（包括：林地、耕地、苗圃等）、鱼塘、体育场以及其他建设用地等。

结合数据库中的等高线数据，对数据库点、线、面调查要素按类型分类，并统计每米高程下各种要素面积、长度以及人口等数据，实现实时查询，自动生成统计报表，可更为清晰直观了解三门峡水库滩地社会经济情况，保障滩区人民安全，为黄河可持续发展提供基础资料。

3.3 专题挂图制作

为了便于日常工作的开展，利用项目成果，编辑制作三门峡水库库区影像专题图一幅。该专题图以公共影像、公共道路及行政区划为基础，叠加测区航摄影像、社会经济调查要素及与水库运行相关的专题要素，综合编辑制作而成，可作为挂图和工作用图使用。专题影像图的制作，更加直观地展示了三门峡库区的各类重要设施，尤其跟水库运行相关的治理工程，水文站、水位站、电灌站以及其他重要工业设施等等，为沿黄各地区开展抗旱减灾，合理开发利用黄河滩区提供了准确信息。

三峡入库洪水概率预报与调度风险决策

崔　震[1]　郭生练[1]　王　俊[1]　王何予[1]　张　俊[2]　王　乐[2]

（1.武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室；2.长江水利委员会水文局，武汉）

摘要：基于 Copula 函数的贝叶斯处理器分析三峡入库洪水预报的不确定性，结合调度会商决策过程，将概率预报结果转化为库水位变化区间，并计算超过水位区间上限的风险。结果表明，95%置信度的流量预报区间是合理可靠的，经调洪获得的水位区间可以清晰地反映三峡水库在预见期内的水位变化范围，能够定量描述水位的不确定性，为决策者提供有力的参考，实现洪水概率预报调度一体化。

关键词：入库洪水；概率预报；水库调度；风险分析；置信区间

0　引言

为了更好地量化不确定性，向决策者提供有用的风险信息，以概率分布估计代替确定性估计的洪水概率预报有着极其重要的潜在价值[1]。贝叶斯预报处理器可操作性强、理论可靠，因此可以快速地实现洪水概率预报[2]。贝叶斯预报处理器是由美国著名水文学家 Krzysztofowicz 提出的，通过构建实测流量和预报流量的统计关系，获得以预报流量为条件的实测值后验分布函数，实现洪水的概率预报[3]。但该处理器只能适用于正态分布的流量变量，并且实测值和预报值之间具有线性和同方差相关结构的情形。虽然 Krzysztofowicz 后续研发了将服从偏态分布的流量进行正态分位数转换的亚高斯 BPF[4]，但是转换过程繁琐复杂，不可避免地存在随机误差和计算误差，在逆转换时容易使结果失真，影响了该方法的传播[5]。刘章君等[6]在 BPF 的框架下，引入 copula 函数构建实测值和预报值的联合分布，推导了实测值的似然函数，避免了正态转换过程，提出了基于 copula 函数的贝叶斯预报处理器。为了将概率预报提供的不确定性信息应用到水库调度的风险分析中，许多学者做了相关研究，李响等[7]考虑了入库洪水预报误差和洪水过程线形状的不确定性，推求出三峡水库汛限水位动态控制域。卫晓婧等[8]采用 MMGLUE 方法估计水文模型的不确定性，依据多种调度目标函数驱动水库调度模型，获得了水库预报调度区间，并以实际调度过程位于预报调度区间外的概率作为水库调度风险率，为水库调度风险估计提供一种新思路。

本文以三峡水库为例，开展洪水概率预报对调度风险影响的分析。基于 Copula-BPF 得出流量置信区间，结合实际调度决策工作中多种固定出库流量方案，对预见期内流量置信区间的上限和下限过程线进行调洪演算，获得一定置信水平下的水位区间，并得出预报时刻超过水位区间上限的概率，从而真正实现概率预报调度一体化，为决策者提供有价值的参考。

1　数学模型和方法

1.1　基于 Copula 函数贝叶斯预报处理器的数学描述

令 Q_t、$\hat{Q}_t$（$t=1,2,\mathrm{L}\ ,T$）分别表示预报时刻的实测流量和预报流量，T 为预见期长

度。根据贝叶斯公式，预见期 t 的实测流量 Q_t 的后验密度函数为

$$\phi_t(Q_t \mid \hat{Q}_t) = \frac{f_t(\hat{Q}_t \mid Q_t) \cdot g(Q_t)}{\int_{-\infty}^{+\infty} f_t(\hat{Q}_t \mid Q_t) \cdot g(Q_t) dQ_t} \qquad (1)$$

式中：$\phi_t(Q_t \mid \hat{Q}_t)$ 为 Q_t 的后验密度函数；$g(Q_t)$ 为流量先验概率密度；当 $\hat{Q}_t$ 确定时，$f_t(\hat{Q}_t \mid Q_t)$ 为 Q_t 的似然函数。

Copula-BPF 中，可以实测和预报流量序列估计边缘分布函数参数，根据 Sklar 定理构造实测值和预报值的二维联合分布，从而推导实测流量的后验分布函数，实现概率预报。

令 Q_t、$\hat{Q}_t$ 的边缘分布函数分别为 $u = G(Q_t)$，$v = W(\hat{Q}_t)$，相应的概率密度函数为 $g(Q_t)$ 和 $w(\hat{Q}_t)$。利用 Sklar 定理，Q_t、$\hat{Q}_t$ 的联合分布函数可以表示为

$$F_t(Q_t, \hat{Q}_t) = C(G(Q_t), W(\hat{Q}_t)) = C_t(u, v) \qquad (2)$$

当预报值 $\hat{Q}_t$ 确定后，实测序列 Q_t 的后验密度函数和后验分布函数为

$$\phi_t(Q_t \mid \hat{Q}_t) = c_t(u, v) \cdot g(Q_t) \qquad (3)$$

$$\Phi_t(Q_t \mid \hat{Q}_t) = \int \phi(Q_t \mid \hat{Q}_t) dQ_t = \frac{\partial C_\theta(u, v)}{\partial v} \qquad (4)$$

给定某一置信水平 $(1-\xi)$，则实测流量 Q_t 置信区间的上下限计算公式如下：

$$\int_0^{Q_{t,d}} \phi_t(Q_t \mid \hat{Q}_t) dQ_t = \xi_1 \qquad (5)$$

$$\int_0^{Q_{t,u}} \phi_t(Q_t \mid \hat{Q}_t) dQ_t = 1 - \xi_2 \qquad (6)$$

式中：$\xi_1 + \xi_2 = \xi$，为显著性水平，一般取 $\xi_1 = \xi_2 = \xi / 2$。因此有

$$P(Q_{t,d} \le Q \le Q_{t,u}) = 1 - \xi \qquad (7)$$

即 $[Q_{t,d}, Q_{t,u}]$ 为实测流量 Q_t 置信水平 $(1-\xi)$ 的区间估计，根据置信区间可以对 Q_t 点估计值的不确定性进行定量评价。

1.2　调洪演算

洪水概率预报相对确定性预报的优势是能够考虑到未来时刻洪水过程的不确定性，但在实际调度决策时，决策者并不能直接参考不确定性信息得出调度方式。通常决策者做决策时最关心的是调度方式的风险，即如果实施某一调度方案会产生怎样的后果（或者库水位会达到多高）。一个清晰明了的调度风险分析方法能够使决策者更快、更好地做出决策，从而能

够有效保障人民生命财产安全。

通过作者的研究调查，三峡水库遭遇洪水时，预报工作人员在考虑到下游控制站安全水位的同时，为决策者提供多个出库流量方案（即在未来预见期中按照多个固定出库流量方案下泄）[9]。决策者通常会商讨论调度方式，尽可能的拦洪削峰。为了能够在调度决策时体现出概率预报的优势，真正地实现概率预报调度一体化，本文采用实际决策过程中的出库流量方案，提出一种新的风险分析方法。在调洪演算时采用水量平衡原理计算，公式如下：

$$V_{t+1} = V_t + (Q_{out} - Q_{in}) \cdot CL \qquad (8)$$

Q_{in} 表示三峡水库入库流量，Q_{out} 表示出库流量，V_{t+1} 表示 t+1 时刻的库容，V_t 表示 t 时刻的库容，CL 表示单位换算系数，为 4.32×10^{-4}。

洪水概率预报可以得到流量置信区间，将每个预报时刻的置信区间上限连接，构建上限分位数过程线（$Q_{t+1,u}, Q_{t+2,u}, \mathrm{L}\ , Q_{t+r,u}$，$r$ 为最长预见期）。决策者在会商决策时，出库流量方案是固定出库，因此由上限分位数过程线经过公式（8）的计算，可以得出相同置信水平（$1-\xi$）下，未来预见期中三峡水库的最高库水位过程（$Z_{t+1,u}, Z_{t+2,u}, \mathrm{L}\ , Z_{t+r,u}$）。同理，可以构建下限分位数过程线，获得最低库水位过程（$Z_{t+1,d}, Z_{t+2,d}, \mathrm{L}\ , Z_{t+r,d}$）。由最高和最低水位过程线构成的区间，为（$1-\xi$）置信水平下的水位区间。根据该水位区间可以清晰的表示出（$1-\xi$）置信水平下未来预报时刻水位的变化范围，也可以表示（$1-\xi$）置信水平下，三峡水库按照 Q_{out} 进行下泄，超过 $Z_{t+i,u}$（t+i 为任一预报时刻）的概率为 $\xi/2$。

1.3 评价方法

对于确定性预报结果采用模型纳什效率系数（NSE）、平均绝对误差（MAE）和径流总量相对误差（RE）。NSE 表征预报流量与实测流量模拟精度，取值范围为[0，1]，MAE 表征预报流量与实测流量之间的平均误差，取值范围为[0，+∞]，RE 表征实测流量总量和预报流量总量误差，取值范围为[-1，1]。NSE 接近于 1，MAE 和 RE 接近于零，表明预报精度越高。

对于置信区间采用覆盖率（CR）、平均相对带宽（RB）和单位平均相对区间宽度所包含的实测点据比例（PUCI）来评价预报置信区间的优良性。CR 是指预报区间覆盖实测流量数据的比率。令 $Q_{t,u}$、$Q_{t,d}$ 分别为第 t 时刻的预报区间的上界和下界，平均相对带宽是预报区间宽度（$Q_{t,u} - Q_{t,d}$）与实测值 Q_t 的平均比值。对于指定的置信水平，在保证有较高的覆盖率前提下，预报区间平均带宽或平均相对带宽越窄越好。

对于概率预报整体性能采用连续概率排位分数（CRPS）等指标来评定概率预报的性能。

连续概率排位分数是结合可靠性和分辨率的综合指标，是评估概率预报结果总体效果的标准方法。当预报结果为单一确定性值时，CRPS 变为预报平均绝对误差（MAE）。这是指标 CRPS 的一个优势，它是沟通确定性预报和概率预报的桥梁，使得我们可以更加直观地比较确定性预报和概率预报结果的性能优劣，CRPS 越低表示预报结果越好。

2 研究数据和结果分析

三峡工程是长江流域开发和治理的关键性骨干工程，具有防洪、发电、航运、供水等多种综合效益。大坝坝址位于湖北省宜昌市三斗坪，控制流域面积约为 100 万 km^2，多年平均流量为 14300m^3/s，多年平均径流量为 4510 亿 m^3 [10]。

三峡水库入库实测和预报流量、实测库水位资料均由长江水利委员会水文局提供。在 12h~120h 预见期的研究中选用 2016~2020 年三峡水库汛期（4 月 1 日~10 月 31 日）入库流量（干支流断面实测区间产汇流计算得到）和长江水利委员会水文局发布相应的确定性预报入库流量资料，样本数量分别有 861、861、861、861、861、860、688、687、687 和 685 个。预报依据时间为每日 8 时，预报间隔为 12h。

2.1 三峡水库洪水概率预报

考虑到预报值与实测值通常服从同一种分布类型，以及前期研究成果[5-6]，选用 P-III 分布作为边缘分布，Gumbel-Hougaard Copula 函数构造实测流量和预报流量的联合分布。

（1）确定性预报结果评价

将概率预报的后验期望值预报结果与水文局发布的预报结果做对比，见表 1。经表 1 分析可知，发布的预报结果与后验期望值预报结果精度相似，但经过 Copula-BPF 法校正以后，发布预报结果的相对水量误差指标 RE 值得到明显改善。并且随着预见期的延长，两种确定性预报流量精度逐渐下降。

表 1 12-120h 预见期确定性预报流量评价指标

预见期	预报类型	NSE	RE（%）	MAE（m^3/s）	预见期	预报类型	NSE	RE（%）	MAE（m^3/s）
12h	水文局	0.94	-0.32	1271.90	72h	水文局	0.76	-0.10	2487.87
	期望值	0.94	0.00	1289.92		水文局	0.76	0.00	2488.01
24h	水文局	0.91	-0.64	1480.77	84h	期望值	0.74	1.07	2760.60
	期望值	0.92	0.00	1497.82		水文局	0.73	-0.01	2763.98
36h	水文局	0.88	-0.26	1765.71	96h	期望值	0.73	1.39	2922.29
	期望值	0.88	0.00	1773.81		水文局	0.72	-0.01	2880.18
48h	水文局	0.83	0.18	2014.48	108h	期望值	0.74	1.57	3049.64
	期望值	0.84	0.00	2004.04		水文局	0.74	-0.02	3029.94
60h	水文局	0.79	0.14	2299.28	120h	期望值	0.74	1.83	3100.63
	期望值	0.79	0.00	2303.84		水文局	0.74	-0.02	3043.60

（2）置信区间和概率预报整体性能评价

表 2 描述了 12-120h 预见期预报流量 95%置信区间和概率预报整体评价指标。

表 2　12-120h 预见期瞬时预报流量 95%置信区间和概率预报整体评价指标

预见期	CR	RB	CRPS	水文局发布预报流量 MAE（m³/s）	CRPS 降幅（%）
12h	0.90	0.40	1062.58	1271.90	16.46
24h	0.91	0.42	1192.55	1480.77	19.46
36h	0.92	0.50	1397.78	1765.71	20.84
48h	0.92	0.54	1576.88	2014.48	21.72
60h	0.91	0.60	1797.19	2299.28	21.84
72h	0.91	0.63	1923.78	2487.87	22.67
84h	0.92	0.66	2106.18	2760.60	23.71
96h	0.91	0.68	2208.17	2922.29	24.44
108h	0.91	0.73	2278.33	3049.64	25.29
120h	0.92	0.75	2294.21	3100.63	26.01

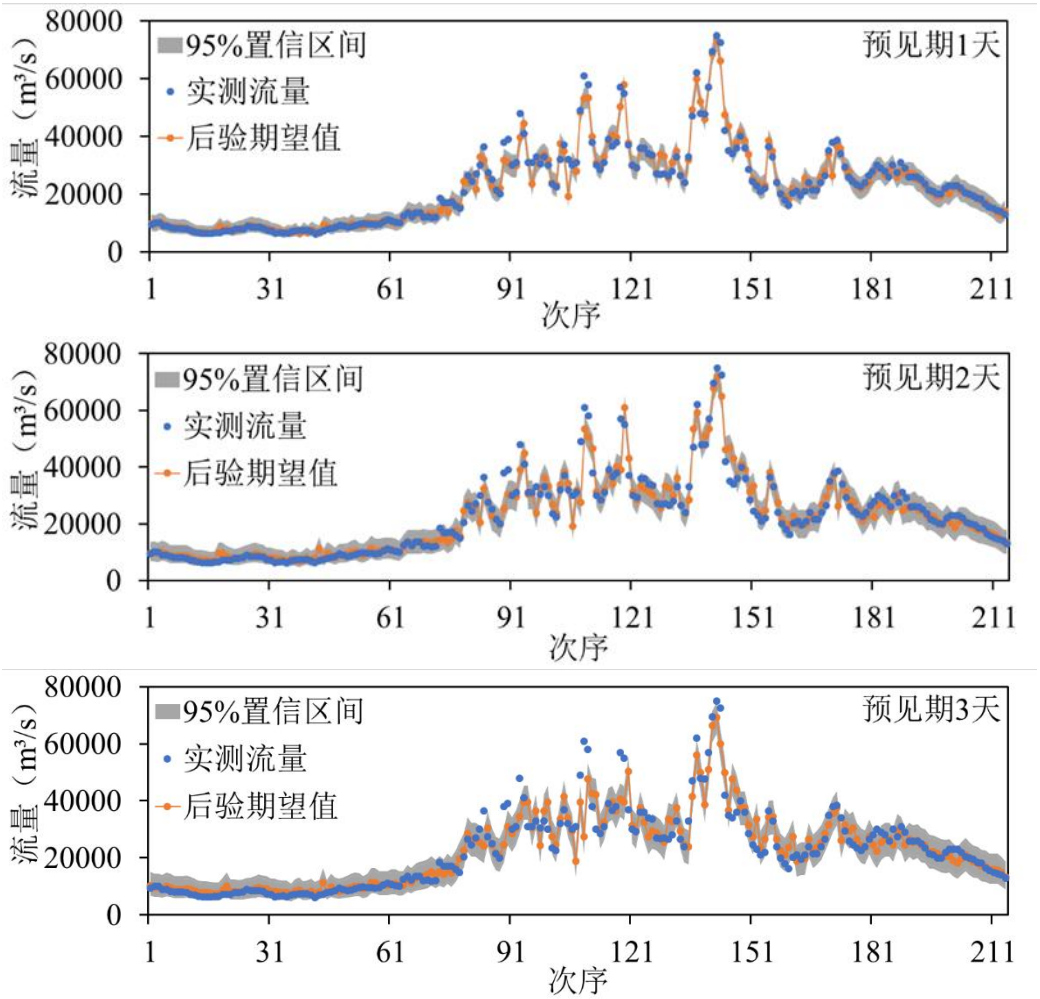


图 1　三峡 2020 年汛期 95%置信区间、实测流量和后验期望值预报结果过程图（以 1-3 天预见期为例）

随着预见期的增加， RB 值逐渐增大，表明预报不确定性逐渐增加，并且置信区间的覆盖率 CR 值均超过 90%，接近置信水平 95%，因此置信区间是合理可靠的；随着预见期的增加， RB 值逐渐增大，表明预报不确定性逐渐增加，并且置信区间的覆盖率 CR 值均超过 90%，接近置信水平 95%，因此置信区间是合理可靠的；随着预见期的增加，CRPS 逐渐增加，概率预报的整体性能呈下降趋势，但不同预见期概率预报的 CRPS 值总是小于水文局发

布预报流量的平均绝对误差（MAE）值，彰显了概率预报的有效性。并且 CRPS 降幅随着预见期的增加逐渐增大，表明改进的程度逐渐增大。

图 1 显示了 2020 年 1-3 天预见期下三峡水库 95%置信区间、实测流量和后验期望值流量过程图。基于 Copula-BPF 法得到的概率预报后验期望值结果与实测流量序列拟合效果较好，但拟合效果随着预见期的延长而降低。预报区间基本上可以包含实测资料，表明得到的概率区间预报是可靠的，可以为防洪决策提供更多的信息。

2.2　三峡水库基于概率预报结果的调度风险分析

为了实现预报调度一体化，将概率预报在实际应用中发挥量化不确定性的优势，选取 8 月 19 日-8 月 24 日场次洪水在概率预报的基础上做风险分析。在 8 月 19 日 8 点基于 12-120h 预见期概率预报结果，在不同出库流量方案（40000m³/s、45000 m³/s 和 50000 m³/s）下进行调洪演算，得到 95%置信度的水位区间。其中，8 月 19 日 8 点的水位为 159.21m，实测流量为 69500m³/s。

表 3　出库流量为 45000 和 50000 m³/s 方案下的水位过程

日期	出库流量为 45000m³/s 方案				出库流量为 50000m³/s 方案			
	发布预报	后验期望值	2.5%分位数	97.5%分位数	发布预报	后验期望值	2.5%分位数	97.5%分位数
2020/8/19 20:00	160.95	161.03	160.83	161.22	160.65	160.73	160.53	160.92
2020/8/20 8:00	162.67	162.66	162.27	163.03	162.11	162.10	161.69	162.47
2020/8/20 20:00	164.23	164.17	163.55	164.74	163.41	163.35	162.72	163.93
2020/8/21 8:00	165.40	165.24	164.38	166.02	164.34	164.17	163.29	164.97
2020/8/21 20:00	166.09	165.90	164.76	166.92	164.78	164.58	163.40	165.64
2020/8/22 8:00	166.35	166.14	164.69	167.43	164.78	164.57	163.06	165.91
2020/8/22 20:00	166.25	166.04	164.20	167.63	164.42	164.19	162.27	165.86
2020/8/23 8:00	165.90	165.63	163.38	167.56	163.77	163.49	161.10	165.53
2020/8/23 20:00	165.39	165.07	162.35	167.37	162.96	162.61	159.69	165.07
2020/8/24 8:00	164.81	164.42	161.18	167.12	162.05	161.63	158.13	164.53

经过水量平衡计算，可以得到三种出库流量方案下的水位过程，见表 3。该过程将流量置信区间的不确定性信息传递到水位区间中，即保持了流量间的相关性，又包含了预报流量的误差，进而构成了预报时刻一定置信水平下的水位集合。按照 45000m³/s 方案下泄，第 5 天预见期超过 167.12m 的概率为 2.5%；按照 50000m³/s 方案下泄，第 5 天预见期超过 164.53m 的概率为 2.5%。这样清晰明了地表现出三峡水库每一预报时刻的水位范围，真正实现了洪水概率预报为水库调度决策提供风险信息的价值。

由图 2 可以看出，随着预见期的增加，预报区间宽度逐渐变大，表明水文预报不确定性的影响加大。95%置信度的水位区间均能包含发布预报流量水位过程线和后验期望值水位过程线，因此，可以认为在未来 1-5 天三峡水库调度风险可控。

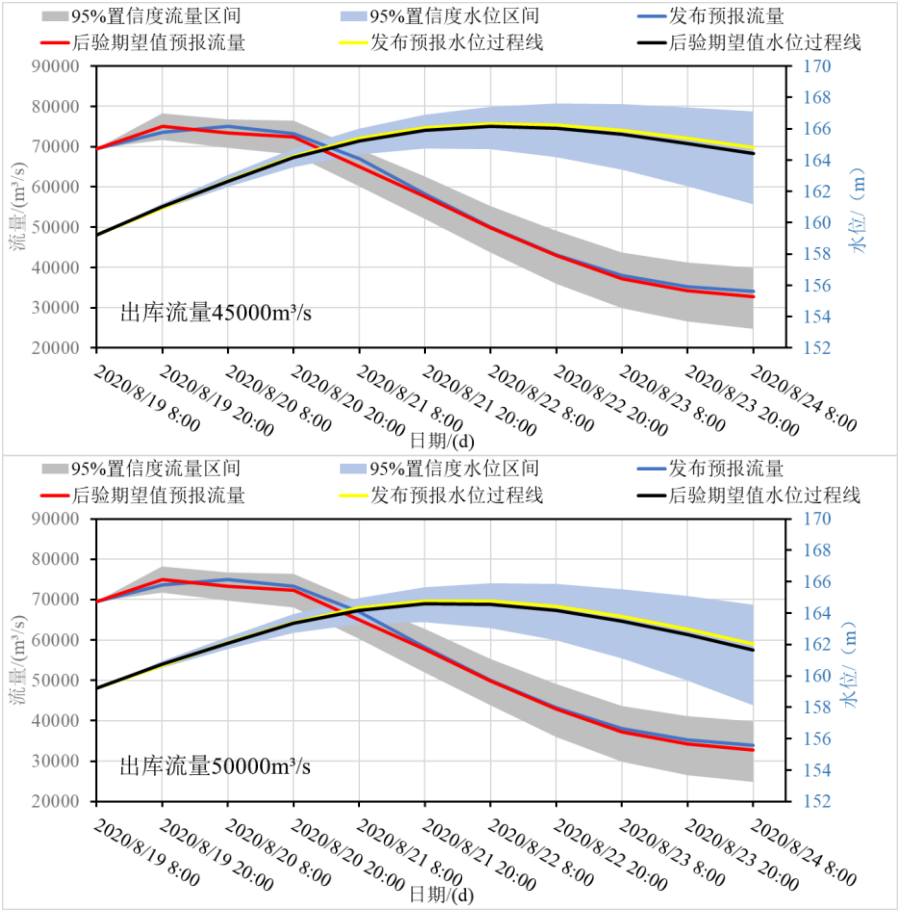


图 2　三峡水库在 45000 和 50000m³ /s 出库流量方案下的 95%置信度水位区间和流量区间

3　结论

本文采用 Copula-BPF 法综合考虑了三峡入库流量预报流量的不确定性，并结合实际调度决策中拟定的出库流量，对流量置信区间的上下限调洪演算，得出一定置信水平下的水位区间，并获得超过水位区间上限的概率，以此反映概率预报对水库调度风险的影响。得到以下结论：

（1）基于 Copula-BPF 法校正过后的后验期望值预报流量能够较好的拟合实测流量序列，相对水文局发布的预报流量，各项指标性能有所提升，其中，相对水量误差 RE 值得到明显改善。

（2）95%置信度的流量预报区间覆盖率 CR 值均在 90%以上，接近置信水平 95%，因此置信区间是合理可靠的。同时，不同预见期概率预报的 CRPS 值总是小于水文局发布预报流量的平均绝对误差（MAE）值，彰显了概率预报的有效性。

（3）根据预报结果的综合不确定性信息和实际调度决策过程，获得三峡水库在预见期内的水位区间，该区间中包含了一定置信水平下入库流量产生水位变化的范围，并得到超过水位区间上限的概率，真正意义上实现了概率预报调度一体化。

参考文献

[1] 郭生练，钟逸轩，吴旭树，刘章君．水库洪水概率预报和汛期运行水位动态控制[J]．中国防汛抗旱，2019，29(06):1-4.

[2] 刘章君, 郭生练, 许新发, 成静清 ,钟逸轩, 巴欢欢. 贝叶斯概率水文预报研究进展与展望[J]. 水利学报, 2019, 50(12):1467-1478.
[3] Krzysztofowicz R. Bayesian forecasting via deterministic model[J]. Risk Analysis, 1999, 19(4):739-749.
[4] Krzysztofowicz R, Evans W B. Probabilistic Forecasts from the National Digital Forecast Database[J]. Weather and Forecasting, 2008, 23(2):270-289.
[5] 刘章君, 郭生练, 何绍坤, 巴欢欢, 尹家波. 基于 Copula 函数的多变量水文不确定性处理器[J]. 水利学报, 2018, 49(03):332-342.
[6] 刘章君, 许新发, 成静清, 温天福. 基于 Copula 函数的贝叶斯预报处理器研究及应用[C]. 面向全球变化的水系统创新研究——第十五届中国水论坛论文集等:中国水利水电出版社,2017:330-336.
[7] 李响, 郭生练, 刘攀, 等.考虑入库洪水不确定性的三峡水库汛限水位动态控制域研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2010,42(3):49-55.
[8] 卫晓婧, 刘攀, 曹小欢. 基于不确定水文预报的水库防洪调度风险分析[J].中国农村水利水电, 2013, (12): 27-29,33.
[9] 王俊, 郭生练.三峡水库汛期控制水位及运用条件[J].水科学进展, 2020, 31(04):473-480.
[10] 巴欢欢, 郭生练, 钟逸轩, 刘章君, 吴旭树, 何绍坤.考虑降水预报的三峡入库洪水集合概率预报方法比较[J].水科学进展, 2019,30(02):186-197.

基于数字孪生的流域水文实时预测方法

牛文静　　冯宝飞　　许银山　　秦　昊

(长江水利委员会水文局，武汉 430010)

摘要：高精度水文预报是水旱灾害防御的重要技术保障。结合水文监测预报信息和数字孪生思想，构建了基于数字孪生的径流实时预测体系，并提出基于数字孪生的径流实时预测方法。体系以数字孪生拓扑结构为主体，以人工智能虚拟模型为核心，通过 5 个层次实现水文监测、水文预报和决策管理的密切耦合；方法以高效机器学习方法为主体预报模型，采用群体智能算法优选模型计算参数，同时通过数字孪生拓扑结构和实时监测信息来动态更新径流预测结果。工程应用表明，所提方法能够有效提升径流预测精度，为水资源高效利用提供一种实用可行的技术途径。

关键字：数字孪生；径流预测；实时预测；机器学习

1　引言

及时可靠的径流预报信息对水旱灾害防御、水资源优化配置、水工程科学调度等具有重要指导意义。然而，受水文气象条件、自然地理特征及人类活动等诸多因素综合影响，径流过程通常呈现较强非线性、突变性和随机性等复杂特征，如何研发具有更高预测精度的径流预报模型一直是水文预报领域国内外研究热点与难点问题[1]。

数字孪生技术是通过物理实体、传感器以及历史数据库之间的交互仿真，实现数字虚拟空间与实际物理装备的拓扑对象智能映射，进而实现数字孪生体与实体装备的全生命周期同步演化[2-4]。目前，已有大量学者针对数字孪生技术在不同领域的应用进行了一定探索[5-9]，但是时至今日，将其应用于水文水资源领域的文献报道尚不多见[10]。众所周知，水文预测预报工作离不开大量气象水文监测站点的实时监测报汛，两者恰好可以构成预测体系的物理实体和虚拟实体。因此，本文基于水文监测预报体系结构和特点，创新性地引入数字孪生概念，提出基于数字孪生的径流实时预测方法，实现水文监测预报、人工智能算法与数字孪生概念的有机结合。实例应用表明，所提模型方法提升径流预测预报精度，为水资源高效利用提供了强有力技术支撑。

2　基于数字孪生的径流实时预测体系

2.1　预测系统数字孪生拓扑结构

根据对水文监测预报体系和数字孪生的认知[6-9]，本文试图建立一种基于数字孪生的径流实时预测系统(图 1 所示)，由物理层、感知层、传输层、数模层和决策层五个部分组成。

(1)物理层

物理层是径流实时预测系统数字孪生体的实体基础。主要为预报断面或站点控制范围内的实时监测站网，包括水文(水位)站、雨量(蒸发)站等。监测站点是预测系统的主要信息源，同时是孪生数据的载体，可为感知层提供实测水位、流量、降雨、蒸发等信息。

(2)感知层

感知层主要作为数字孪生体系信息接入的媒介，由预报断面或站点覆盖范围内的各类传感器、卫星雷达等监测设备组成，用于收集可能影响预报断面或站点预报数据的实时信息，感知系统所处环境的复杂变化，进而保障数字孪生体的正常运行。

(3)传输层

传输层是实现数字孪生拓扑结构的关键纽带，主要由以太网和交换机组成，实现数据存储和传输功能。一方面，传输层接收物理层和感知层的实时数据，按照数据类型进行分类存储；另一方面，传输层将各类数据实时传输至对应的数据模型接口，保障数据的动态交互。

(4)数模层

数模层是预测系统数字孪生体的核心，也是实现径流实时预测的关键。一方面，数模层根据模型结构和预测目标调用传输层的数据进行模型计算、学习和分析，获得相应径流预测结果，实现输入特征与目标输出的非线性映射。另一方面，数模层输出的径流预测结果可为决策层提供制作综合调度方案的依据，保障梯级水库群和其它水利工程设施安全高效运行。

(5)决策层

决策层是保障流域防洪安全的重要窗口。其根据数模层输出的径流预测结果，制作可调度水利工程的运行方案，用以指导水库、圩垸、蓄滞洪区等水利工程科学调度，切实保障流域防洪安全和水资源高效利用。

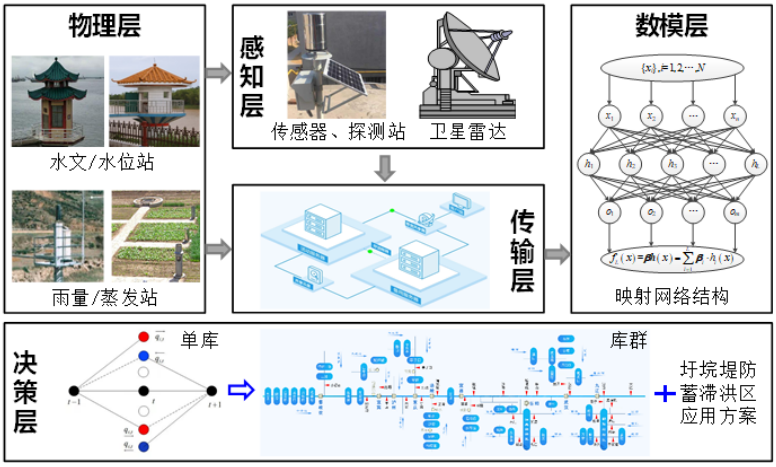


图 1 径流实时预测数字孪生拓扑结构

2.2 预测系统工作原理

基于数字孪生的径流实时预测系统工作原理示意见图 2，通常由测站构成的物理实体、各类传感器和卫星雷达等构成的感知实体、执行数据处理和传输的数据仓库、虚拟模型(如机器学习方法)组成。一方面，水文站、水位站、雨量站等各类测站通过自动、手动等方式采集水文气象数据，经数据仓库清洗、降噪等处理后驱动虚拟模型开展预测预报工作，获得初步径流预报结果；另一方面，初步预报结果反向传输至数据仓库，与物理实体、感知实体监测获取的实时数据对比分析和校正，并将最新径流预测结果传输至决策层，支撑会商决策和调度指令以指导流域内水库、圩垸等水利工程的调度运行。

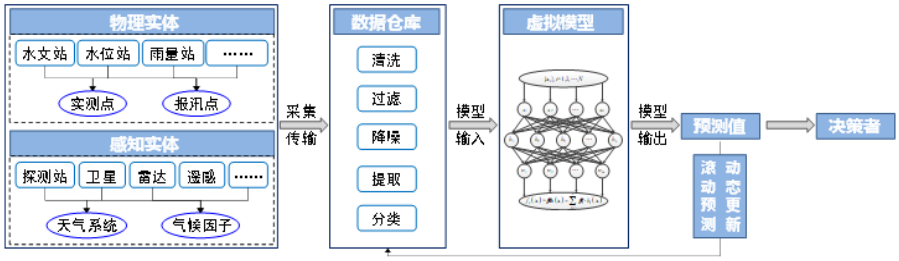


图 2 径流实时预测系统工作原理

3 基于数字孪生的径流实时预测方法

根据预测系统工作原理，本节提出基于数字孪生的径流实时预测方法作为系统模型核心：以经典的极端学习机（Extreme learning machine，ELM）为主体学习模型，采用正余弦算法（Sine cosine algorithm，SCA）实现参数优选。

3.1 极端学习机（Extreme learning machine，ELM）

ELM 是三层结构组成的经典单层前馈网络[11-18]：包含 n 个神经元的输入层；包含 L 个神经元的隐藏层；包含 m 个神经元的输出层。在 ELM 中，首先随机确定输入层和隐藏层之间的权重向量、以及隐藏层的偏差项，而后直接使用最小二乘法获得隐藏层与输出层的权重向量。与传统基于梯度的网络相比，ELM 具有计算参数少、泛化能力强和学习速度快等优点，在实际工程问题得到广泛应用。不失一般性，ELM 网络的输出数学描述如下：

$$f_L(\boldsymbol{x})=\boldsymbol{\beta}\boldsymbol{h}(\boldsymbol{x})=\sum_{l=1}^{L}\boldsymbol{\beta}_l\cdot h_l(\boldsymbol{x}) \tag{1}$$

式中：$\boldsymbol{\beta}=[\boldsymbol{\beta}_1,\mathrm{L},\boldsymbol{\beta}_l,\mathrm{L},\boldsymbol{\beta}_L]^{\mathrm{T}}$ 为隐藏层和输出层之间的权重向量，$\boldsymbol{h}(\boldsymbol{x})=[h_1(\boldsymbol{x}),\mathrm{L},h_l(\boldsymbol{x}),\mathrm{L},h_L(\boldsymbol{x})]^{\mathrm{T}}$ 为根据输入向量 $\boldsymbol{x}$ 输出的隐藏层神经元，$h_l(\boldsymbol{x})$ 为输出的第 l 个隐藏层神经元。

对于包括 N 个训练样本的数据集 $\{(\boldsymbol{x}_i,\boldsymbol{t}_i)\}_{i=1}^{N}$，ELM 需要优化如下模型：

$$\text{minmize}\left\{\|\boldsymbol{\beta}\|_p^{\sigma_1}+C\|\boldsymbol{H}\boldsymbol{\beta}-\boldsymbol{T}\|_q^{\sigma_2}\right\} \tag{2}$$

式中：σ_1、σ_2、p 和 q 是正值系数；C 用于控制网络经验风险的参数；$\boldsymbol{T}=[\boldsymbol{t}_1,\mathrm{L},\boldsymbol{t}_N]^{\mathrm{T}}$ 为目标输出矩阵；$\boldsymbol{H}=[\boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}_1),\mathrm{L},\boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}_N)]^{\mathrm{T}}$ 为隐藏层输出矩阵；$\boldsymbol{\beta}$ 表示隐藏层与输出层之间的权重向量，可由下式获得：

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}=\boldsymbol{H}^{\dagger}\boldsymbol{T} \tag{3}$$

式中，$\boldsymbol{H}^{\dagger}$ 为矩阵 $\boldsymbol{H}$ 的 Moore–Penrose 广义逆矩阵。

3.2 正余弦算法（Sine cosine algorithm，SCA）

作为一种新型随机优化算法，SCA 利用正弦、余弦函数逐步引导种群逐步逼近目标问题的全局最优解[19,20]，具有原理简单、易于实现等优点，已在水火协调、参数辨识等领域崭

露头角。在随机生成初始种群后，SCA 利用下式完成各个体的位置更新：

$$\boldsymbol{X}_i^{k+1}=\begin{cases}\boldsymbol{X}_i^k+r_1\times\sin(r_2)\times\left|2\times r_3\times\boldsymbol{gBest}^k-\boldsymbol{X}_i^k\right| & \text{if } (r_4<0.5)\\ \boldsymbol{X}_i^k+r_1\times\cos(r_2)\times\left|r_3\times\boldsymbol{gBest}^k-\boldsymbol{X}_i^k\right| & \text{otherwise}\end{cases},i\in[1,I],k\in[1,K] \tag{4}$$

$$r_1=2\times(1-k/\bar{k}) \tag{5}$$

式中：K 为最大迭代次数；I 为个体数量；r_2、r_3 和 r_4 分别为在[0,2π]、[0,2]和[0,1]区间均匀分布的随机数，其中，r_1 为线性递减函数，用于实现全局搜索与局部勘探的动态平衡；r_2 表征个体远离或靠近目标位置的移动距离；r_3 对目标随机赋予权值，用于调整移动距离对个体的相对影响；r4 用于实现正余弦函数算子在个体位置更新的等效切换；$\boldsymbol{gBest}^k$ 为第 k 次迭代种群全局最优位置，在越小越优问题中更新如下：

$$\boldsymbol{gBest}^k=\arg\min\left\{F\left(\boldsymbol{X}_1^k\right),\text{L },F\left(\boldsymbol{X}_I^k\right),F\left(\boldsymbol{gBest}^{k-1}\right)\right\} \tag{6}$$

式中：$F(\boldsymbol{X})$ 为个体 $\boldsymbol{X}$ 的适应度值。

3.3　基于数字孪生的径流实时预测方法

基于数字孪生的径流实时预测方法概要描述如下：

(1)首先运用专家经验等方法确定预报对象相关影响因子。

(2)分别选用 ELM 作为预报模型、SCA 优化模型参数，对应流程为：

①对原始数据序列归一化处理得到训练集和测试集；

②设置 SCA 方法中计算参数取值，包括种群规模 I 和最大迭代次数 K；

③设置 ELM 模型隐层节点数量 L 和激活函数 g(x)。本文选用选择经典的 sigmoid 函数作为激活函数，具体表达式如下：

$$g(x)=1/\left(1+e^{-x}\right) \tag{7}$$

④令计数器 k=1，定义个体编码策略并随机生成初始群。在进化过程中，任意个体均由隐藏层所有神经元的偏差和输入权向量组成，则第 k 次迭代个体 i 位置 $\boldsymbol{X}_i^k$ 为：

$$\boldsymbol{X}_i^k=\left[\boldsymbol{w}_{1,(i,k)}^T,\text{L },\boldsymbol{w}_{l,(i,k)}^T,\text{L },\boldsymbol{w}_{L,(i,k)}^T,b_{1,(i,k)},\text{L },b_{l,(i,k)},\text{L },b_{L,(i,k)}\right] \tag{8}$$

式中：$\boldsymbol{w}_l$ 和 b_l 分别为第 l 个隐层节点的输入权向量和偏差。

⑤计算得到各个体的适应度值，具体公式为：

$$F\left[\boldsymbol{X}_i^k\right]=\frac{1}{N}\sum_{s=1}^{N}\left\|\boldsymbol{t}_s-\sum_{l=1}^{L}\boldsymbol{\beta}_l g\left(\boldsymbol{w}_{l,(i,k)},b_{l,(i,k)},\boldsymbol{x}_s\right)\right\|_2^2 \tag{9}$$

$$\hat{\boldsymbol{\beta}}=\boldsymbol{H}_{(i,k)}^{\dagger}\boldsymbol{T} \tag{10}$$

$$\boldsymbol{H}_{(i,k)}=\begin{bmatrix} g\left(\boldsymbol{w}_{1,(i,k)},b_{1,(i,k)},\boldsymbol{x}_1\right) & g\left(\boldsymbol{w}_{2,(i,k)},b_{2,(i,k)},\boldsymbol{x}_1\right) & \text{L} & g\left(\boldsymbol{w}_{L,(i,k)},b_{L,(i,k)},\boldsymbol{x}_1\right) \\ g\left(\boldsymbol{w}_{1,(i,k)},b_{1,(i,k)},\boldsymbol{x}_2\right) & g\left(\boldsymbol{w}_{2,(i,k)},b_{2,(i,k)},\boldsymbol{x}_2\right) & \text{L} & g\left(\boldsymbol{w}_{L,(i,k)},b_{L,(i,k)},\boldsymbol{x}_2\right) \\ \text{L} & \text{L} & \text{L} & \text{L} \\ g\left(\boldsymbol{w}_{1,(i,k)},b_{1,(i,k)},\boldsymbol{x}_N\right) & g\left(\boldsymbol{w}_{2,(i,k)},b_{2,(i,k)},\boldsymbol{x}_N\right) & \text{L} & g\left(\boldsymbol{w}_{L,(i,k)},b_{L,(i,k)},\boldsymbol{x}_N\right) \end{bmatrix}_{N\times L} \tag{11}$$

式中：$\boldsymbol{x}_s$ 和 $\boldsymbol{t}_s$ 分别为第 s 个样本的输入、输出向量；N 为样本数量；$\boldsymbol{H}_{(i,k)}$ 为个体 $\boldsymbol{X}_i^k$ 的隐层输出矩阵；$\boldsymbol{H}_{(i,k)}^{\dagger}$ 为矩阵 $\boldsymbol{H}_{(i,k)}$ 的 Moore–Penrose 广义逆矩阵。

⑥使用公式(6)获取当前种群中的全局最优解，而后使用公式(4)更新各个体的位置；

⑦令 k=k+1。此时若 k≤K，则转至步骤⑤；否则，停止计算，将全局最优位置视为 ELM 模型的最佳输入权向量和偏差，并采用矩阵运算理论获得对应的隐层输出权向量。

(3)输出 ELM 网络模拟计算结果作为径流预报初始结果，反向输入数据仓库实现滚动更新预报，以此作为最终预测结果。

4 工程应用

4.1 评价指标

为科学合理评价模拟结果的准确性和可靠性，选择均方根误差（RMSE）、平均绝对误差（MAE）、平均绝对百分比误差（MAPE）、相关系数（R）、确定性系数（DC）等五个评价指标，各个指标计算表达式如下：

(1)均方根误差（Root Mean Square Error，RMSE）

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{obs,i}-Q_{fore,i}\right)^2} \tag{12}$$

式中：$Q_{obs,i}$ 和 $Q_{fore,i}$ 分别为第 i 个实测值和模型预测值；i 为序列编号，$i=1,2,...,N$。

(2)均方根误差（Mean absolute error，MAPE）

$$MAE=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|Q_{obs,i}-Q_{fore,i}\right| \tag{13}$$

(3)平均绝对百分比误差（Mean absolute percentage error，MAPE）

$$MAPE=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i-y_i}{y_i}\right|\times 100\% \tag{14}$$

(4)相关系数（Coefficient of Relationship，R）

$$R=\left(\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{obs,i}-\bar{Q}_{obs}\right)\left(Q_{fore,i}-\bar{Q}_{fore}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{obs,i}-\bar{Q}_{obs}\right)^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{fore,i}-\bar{Q}_{fore}\right)^2}}\right) \tag{15}$$

式中：$\bar{Q}_{obs,i}$ 和 $\bar{Q}_{fore,i}$ 分别为第 i 个实测值和模型预测值的平均值。

(5)确定性系数（Coefficient of Determination，DC）

$$DC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{fore,i} - Q_{obs,i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs,i}\right)^2} \tag{16}$$

4.2 结果分析

以长江流域某站点为研究对象，采用其 2010~2020 年实时径流序列进行所提方法可行性和有效性的验证分析。表 1 给出了不同预见期下 ELM 模型与本文所提方法的预报结果指标对比。可以看出，4 种预见期下本文所提模型方法的模拟效果基本均优于 ELM 模型。例如，在预见期为 1 时段时，本文方法能够将 ELM 模型的 RMSE 指标分别降低 30.17%，同时将 CE 指标分别提升 2.89%。由此可知，本文采用方法能够有效模拟站点径流过程，实现预测预报。

表 1 不同预见期下不同方法结果对比

预见期	模型	训练期					检验期				
		RMSE	MAE	MAPE	R	CE	RMSE	MAE	MAPE	R	CE
1	ELM	1963.0568	1312.5425	10.8215	0.9692	0.9393	2131.6549	1584.7702	12.4349	0.9745	0.9466
	本文方法	1267.0874	737.2320	5.8647	0.9874	0.9747	1488.6087	1067.1596	8.4654	0.9877	0.9740
2	ELM	1924.8816	1187.8683	9.4681	0.9706	0.9416	2223.7700	1739.5711	14.2560	0.9714	0.9419
	本文方法	1535.0525	858.5458	6.6143	0.9813	0.9629	1522.8415	930.3585	6.7112	0.9864	0.9728
3	ELM	1891.7538	1018.0555	6.9625	0.9717	0.9436	2196.3103	1358.2750	8.8242	0.9753	0.9433
	本文方法	1691.8762	909.9028	6.9513	0.9772	0.9549	1671.0971	1059.2487	7.7539	0.9835	0.9672
4	ELM	2089.1647	1184.6141	8.3295	0.9650	0.9313	2163.1532	1380.0460	9.2535	0.9734	0.9450
	本文方法	1790.4151	892.2401	6.2920	0.9745	0.9495	1734.0279	999.7676	6.5119	0.9825	0.9647

图 3 进一步给出了不同预见期两类方法的检验期统计指标变化。由图可知，随着预见期的延长，误差累积效应不断增大，不同模型的模拟精度逐渐降低，其中本文所提方法在不同预见期的效果较为稳定、且模拟精度明显高于对比模型，具体体现在更高确定性系数和相关系数、更小的均方根误差和平均绝对百分比误差。

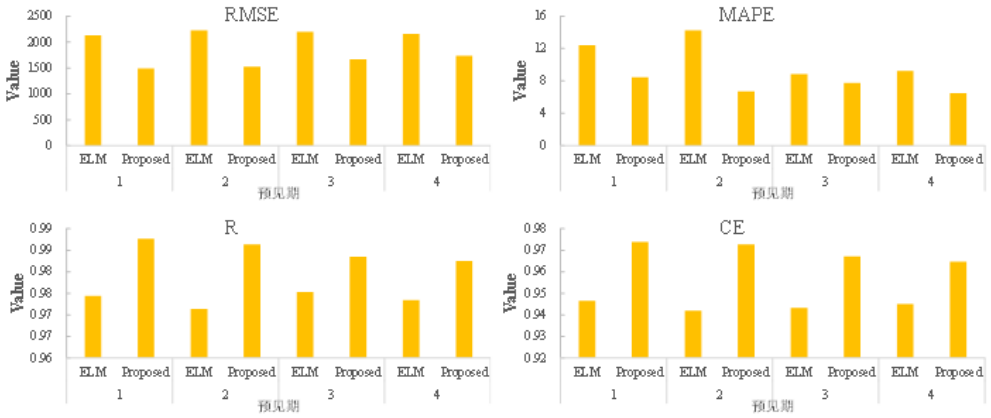


图 3 不同预见期下不同方法检验期统计指标对比

图 4 为不同预见期下两种方法检验期结果对比。可以看出，在不同预见期下本文方法均可以较为准确的捕捉峰值变化，整体过程的模拟效果比较理想，预报值与实测值的散点分布比较集中。由此可知，本项目方法不失为一种合理可行的径流实时预测预报方法。

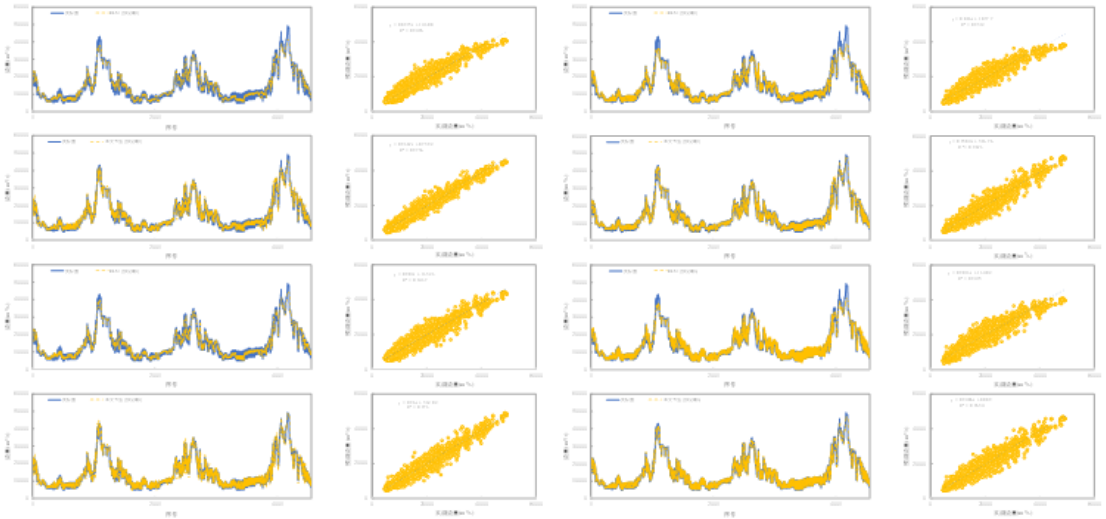


图 4 不同预见期下本文方法检验期结果对比

为选择最佳输入变量集合，选择不同前期影响因子进行测试。表 2 为详细计算结果，其中 m 表示所有影响因子的前期影响时段均为 m。表 2 和图 5 为不同前期影响因子下本文方法训练期和检验期统计指标对比分析。可以看出，预报结果受输入变量集合影响较大，模型效果明显在前期影响时段 m 取为 1 时最差；随着 m 取值增大，模型相应统计指标波动性变化。综上，在优化模型过程中十分有必要精选前期影响因子和模型参数。

表 2 不同前期影响因子情景下 ELM 模型结果对比

前期影响因子	训练期					检验期				
	RMSE	MAE	MAPE	R	CE	RMSE	MAE	MAPE	R	CE
m=1	2030.5081	1382.3443	12.5158	0.9673	0.9351	2320.3072	1851.9504	16.2843	0.9689	0.9368
m=2	2105.3544	1509.7871	13.7157	0.9648	0.9302	3294.1708	2780.5213	25.1211	0.9342	0.8725
m=3	1674.4906	1079.2304	8.9982	0.9777	0.9558	2050.2359	1563.7887	12.5470	0.9767	0.9506
m=4	1928.5241	1289.7506	11.1068	0.9703	0.9414	1931.8885	1382.6797	11.2223	0.9794	0.9562
m=5	1536.3920	1016.4853	8.7642	0.9815	0.9628	1975.2381	1603.3052	13.8357	0.9774	0.9542
m=6	2088.8197	1328.9726	10.6818	0.9652	0.9313	2014.8916	1445.7626	11.2775	0.9766	0.9523
m=7	1599.4490	985.2975	7.4817	0.9797	0.9597	1718.1952	1104.7825	7.9110	0.9836	0.9653
m=8	1750.2632	1202.5606	10.2247	0.9756	0.9517	2564.1790	2116.9093	18.5669	0.9607	0.9228
m=9	1726.5005	1151.3789	9.7558	0.9763	0.9531	1822.8437	1325.3332	10.5870	0.9816	0.9610
m=10	1483.4332	895.6648	6.8201	0.9826	0.9653	1798.1276	1131.8369	7.6392	0.9833	0.9620
m=11	1295.2587	728.6058	5.5054	0.9868	0.9736	1413.4977	925.7825	6.7763	0.9889	0.9765
m=12	1302.5123	741.8550	5.6994	0.9866	0.9733	1489.7604	1045.8089	7.9786	0.9874	0.9739
m=13	1476.3731	864.5695	6.4770	0.9828	0.9657	1818.4414	1292.9275	9.6874	0.9818	0.9612
m=14	1366.2647	803.3098	6.1355	0.9853	0.9706	1448.9775	970.2723	7.1536	0.9884	0.9753
m=15	1375.4467	811.6222	6.2543	0.9850	0.9702	1593.1193	1168.4936	9.2094	0.9855	0.9702
m=16	1410.2619	810.4168	5.9138	0.9843	0.9687	1605.3883	979.4889	6.7089	0.9858	0.9697
m=17	1926.6284	1279.2592	10.5343	0.9704	0.9415	2178.3686	1577.4130	11.8419	0.9750	0.9443
m=18	1298.5248	700.2977	4.9804	0.9867	0.9734	1506.3817	925.1888	6.3041	0.9875	0.9733
m=19	1566.7434	917.3620	6.6603	0.9805	0.9613	1802.3332	1168.4223	8.1108	0.9821	0.9618
m=20	1519.8000	865.1979	6.1835	0.9817	0.9636	1716.6697	1130.1687	7.8762	0.9836	0.9654
m=21	1507.7075	873.8356	6.4355	0.9820	0.9642	1729.4843	1154.1735	8.2510	0.9833	0.9649
m=22	1454.2816	852.6011	6.2911	0.9833	0.9667	1758.9938	1215.8907	8.8898	0.9828	0.9637
m=23	1306.3916	730.3850	5.3927	0.9865	0.9731	1360.4836	880.4802	6.4316	0.9892	0.9783
m=24	1315.1075	756.1372	5.6670	0.9863	0.9728	1445.7029	953.2868	6.9443	0.9881	0.9755
m=25	1399.5464	821.5474	6.1531	0.9845	0.9692	1641.1611	1089.9173	7.7020	0.9846	0.9684
m=26	1362.1717	794.1855	5.8986	0.9853	0.9708	1488.3475	984.5536	7.0665	0.9872	0.9740
m=27	1393.2576	783.3420	5.5858	0.9846	0.9694	1526.8164	982.1235	6.8521	0.9867	0.9726
m=28	1547.8109	920.9174	6.8416	0.9810	0.9623	1709.1815	1145.5456	8.2200	0.9835	0.9657
m=29	1347.6684	772.3561	5.6359	0.9856	0.9714	1497.8483	980.0723	6.9183	0.9872	0.9737

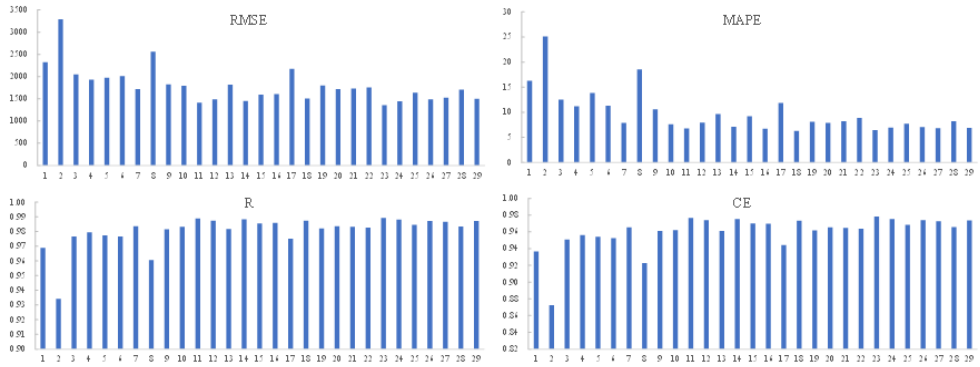


图 5 不同前期影响因子情景下 ELM 模型检验期统计指标

5 结论

本文结合水文监测预报体系和数字孪生概念，尝试提出基于数字孪生的径流实时预测方法。该方法以数字孪生拓扑结构为主体、以机器学习虚拟模型为核心，通过 5 个层次实现水文监测、水文预报和决策管理的密切耦合；采用机器学习模型为核心预测技术，利用群体智能算法进行参数优选。实例应用表明，所提模型方法能够有效实现高精度径流实时预测，可为水资源高效利用提供有力支撑。综上，本文提出了一种基于数字孪生的流域水文实时预测方法，未来可以深入开展相关研究以进一步提升水文预报精度。

参考文献

[1] 王忠静，王光谦，王建华，等. 基于水联网及智慧水利提高水资源效能[J]. 水利水电技术,2013,44(01):1-6.

[2] Tao F, Zhang H, Liu A, et al. Digital Twin in Industry:State-of-the-Art[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2019,15(4):2405-2415.

[3] 陶飞,刘蔚然,刘检华,等.数字孪生及其应用探索[J].计算机集成制造系统,2018,24(1):1-18.

[4] 刘大同, 郭凯, 王本宽,等. 数字孪生技术综述与展望[J]. 仪器仪表学报,2018, 39(11):4-13.

[5] 蒲天骄,陈盛,赵琦,等.能源互联网数字孪生系统框架设计及应用展望[J/OL].中国电机工程学报: 1-16 [2021-02-28]. https:// doi.org/ 10.13334/ j.0258-8013. pcsee. 201757.

[6] 白浩，周长城，袁智勇，等. 基于数字孪生的数字电网展望和思考[J]. 南方电网技术,2020,14(08):18-24+40.

[7] 贺兴，艾芊，朱天怡，等. 数字孪生在电力系统应用中的机遇和挑战[J]. 电网技术,2020,44(6):2009-2019

[8] 孙荣富,王隆扬,王玉林,等.基于数字孪生的光伏发电功率超短期预测[J/OL].电网技术: 1-9 [2021-02-28]. https:// doi.org/ 10.13335/ j.1000-3673. pst. 2020. 0711.

[9] 魏一雄,郭磊,陈亮希,等.基于实时数据驱动的数字孪生车间研究及实现[J/OL].计算机集成制造系统: 1-18 [2021-02-28]. http:// kns.cnki.net/ kcms/ detail/ 11.5946. TP. 20210105.1518.036.html.

[10] 蒋亚东,石焱文.数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J].科技通报,2019,35(11):5-9.

[11] Liu X, Yang T, Hsu K, Liu C, Sorooshian S. Evaluating the streamflow simulation capability of PERSIANN-CDR daily rainfall products in two river basins on the Tibetan Plateau. Hydrol Earth Syst Sc. 2017;21:169-181.

[12] 赵全升,杨天行,詹志习.基于人工神经网络的黄河下游枯季径流预测研究[J].长春科技大学学报,2001(03):268-272.

[13] Chau KW. Particle swarm optimization training algorithm for ANNs in stage prediction of Shing Mun River. J Hydrol. 2006;329:363-367.
[14] Liu Y, Ye L, Qin H, Ouyang S, Zhang Z, Zhou J. Middle and Long-Term runoff probabilistic forecasting based on gaussian mixture regression. Water Resour Manag. 2019;33:1785-1799.
[15] Huang G B, Zhu Q Y, Siew C K. Extreme learning machine: theory and applications [J]. Neuro computing, 2006, 70(1): 489-501.
[16] 王浩,王艳,纪志成.基于改进极限学习机的风电功率预测仿真研究[J].系统仿真学报,2018,30(11):4437-4447.
[17] Huang GB, Wang DH, Lan Y. Extreme learning machines: A survey. Int J Mach Learn Cyb. 2011;2:107-122.
[18] Huang GB, Zhou H, Ding X, et al. Extreme learning machine for regression and multiclass classification. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics. 2012;42:513-529.
[19] Nenavath H, Jatoth RK. Hybridizing sine cosine algorithm with differential evolution for global optimization and object tracking. Applied Soft Computing Journal. 2018;62:1019-1043.
[20] 徐松金,龙文.求解高维优化问题的改进正弦余弦算法[J].计算机应用研究,2018,35(09):2574-2577.

沂沭泗流域近三年来暴雨洪水分析

张怡雯　　朱　冰

（水利部信息中心（水利部水文监测预报中心），北京 100053）

摘要：2018—2020 年沂沭泗流域暴雨洪水接连发生，2018 年受台风“温比亚”影响，沭河出现超警洪水，重现期约为 8 年；2019 年受台风“利奇马”及冷空气共同影响，沂河和沭河分别发生一次编号洪水，沂河发生超警洪水，重现期约为 10 年；2020 年沂河发生 1960 年以来最大洪水，洪水重现期约为 15 年，沭河发生 1974 年以来最大洪水，重现期为 22 年。本文利用中国洪水预报系统分析了“2018.08.11”、“2019.08.20”和“2020.08.14”三场暴雨洪水的暴雨成因、天气背景、降雨过程、洪水特性等特点。以了解沂沭泗流域的暴雨形成特点、洪水过程、变化规律，为今后科学调度和预测预报提供参考依据。

关键词：沂沭泗流域；暴雨洪水；对比分析

0　引言

沂沭泗流域位于淮河流域东北部，北起山东沂蒙山、东临黄海、西至黄河右堤、南以废黄河与淮河水系为界，地处南北气候过渡带，属暖温带半湿润季风气候区，降雨年际变化大、年内分布不均衡，易形成峰高流急、陡涨陡落、致灾性强的洪水。历史上沂沭泗水系受黄河改道影响，较为混乱，洪涝灾害频繁。1949 年以来经多次治理，逐渐形成独立的水系，防洪工程已经初具规模。但由于工程及水系错综复杂，洪水预报，工程调度仍存在较大难度。特别是近年来受台风等天气因素影响，沂沭泗流域暴雨洪水频发，1949 年以来相继发生了 1957 年、1960 年、1963 年、1974 年、1991 年、1993 年、2012 年、2018 年、2019 年和 2020 年洪水，其中流域性大洪水有 1957 年、1963 年、1974 年和 2020 年。为更好的把握沂沭泗地区的暴雨洪水变化规律，积累洪水预报经验，本文对近三年的 3 场洪水进行了再分析，为今后把握洪水特点、预测预报提供参考依据。

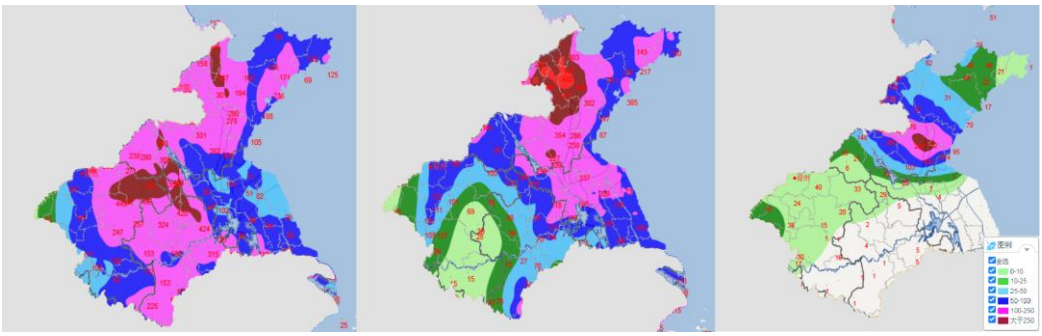
1　降雨成因分析

2018 年第 18 号台风“温比亚”于 8 月 15 日 14 时左右在东海东南部海面生成，中心附近最大风力 8 级，中心最低气压 996hPa；8 月 17 日 4 时 5 分在上海浦东登陆，中心附近最大风力 9 级，中心最低气压为 985hPa，台风登陆后继续向西偏北方向移动经过江苏、浙江、安徽、河南最终于山东北部进入渤海，18 日 14 时减弱为热带低压，20 日 23 时在黄海停止编号。虽然“温比亚”生成初期周围螺旋云系较为松散，但低层旺盛的东南气流不断将水汽和能量输送到低压区，后期北方冷空气前部渗透南下加大了热带低压系统的快速发展，副热带高压减弱东退减慢了“温比亚”的移动速度，导致了山东中部和西南部、安徽北部、江苏西北部、河南东部等地出现大暴雨或特大暴雨[1]。虽然“温比亚”登陆时仅为热带风暴级别，却是 2018 年登陆台风中影响较大的一个。

2019 年第 9 号台风“利奇马”于 2019 年 8 月 4 日 14 时在菲律宾以东洋面生成，中心

最大风力达 17 级，最强盛时中心气压 915 hPa，8 月 10 日 1 时 45 分在浙江温岭城南镇沿海登陆，登陆时近中心最大风力 16 级，中心最低气压 930 hPa，是新中国成立以来登陆华东地区的第 3 强台风。登陆后台风持续向偏北方向移动，穿过浙江、江苏和山东省后，移入黄海西部海域，强度逐渐减弱，10 日 20 时减弱为热带风暴；11 日 20 时 50 分，再次登陆山东青岛沿海地区，并在山东半岛北部回旋少动，尽管登录后强度减弱，但由于有利的环境动力条件和充足的水汽输送，以及冷暖空气的对峙，导致了山东半岛、东北南部等地的强降雨。而后台风进入渤海；13 日 8 时强度减弱为热带低压，14 时停止编号[2]。

2020 年 8 月 13 日 8 时，贝加尔湖北部为阻塞高压维持，其东南部为冷涡，副高较强，其阻挡作用使冷涡东移缓慢。低层切变线呈东北—西南向位于华北南部，且有低空急流建立，不断的将南海的水汽和能量输送到山东和辽东半岛附近。13 日 20 时，随着华北南部的切变线逐渐南压，雨带开始进入沂沭河地区。14 日 8—20 时切变线位于沂沭泗水系北部且保持稳定，沂沭河地区始终处于 850 hPa 切变线与急流轴之间，加之流域范围内水汽条件充沛，导致了沂沭泗地区的强降雨，而后随着西南暖湿气流减弱，雨强逐渐减弱。15 日凌晨，副高北抬增强，沂沭河地区降雨结束[3]。沂沭泗流域 2018 年、2019 年和 2020 年日降水量等值面图 1



（a）2018 年 8 月 17—20 日　　（b）2019 年 8 月 10—12 日　　（c）2020 年 8 月 13 日—14 日

图 1　沂沭泗流域 2018 年、2019 年和 2020 年日降水量等值面图

2　雨洪过程分析

受台风“温比亚”影响，2018 年 8 月 17—20 日沂沭泗流域遭遇强降雨，有效降雨历时达 43 小时列为 1960 年以来第二位，累计面平均降水量 135mm，其中沂河 100mm 以上降雨量笼罩面积为 0.88 万 km2，沭河 100mm 以上降雨量笼罩面积为 0.42 万 km2，南四湖 100mm 以上降雨量 2.84 万 km2；强降雨主要发生在 8 月 18 日，以南四湖区沿河鹿楼站 354mm 为最大。2018 年、2019 年和 2020 年面平均降雨量比较表见表 1。由于此次降雨前沂沭泗水系已经连续受到 3 个台风影响，特别是 8 月 13—15 日受台风“摩羯”影响已经出现强降雨，因此土壤含水量高，极易于产流，沂沭河水位迅速上涨，骨干河道出现了明显洪水过程，沂河临沂站 8 月 20 日 9 时洪峰流量 3220m3/s，相应水位 60.32m；沭河重沟站 8 月 20 日 13 时洪峰流量 3200m3/s，相应水位 57.48 m；新沂河沭阳站 8 月 21 日 12 时洪峰流量 3860m3/s，相应水位 10.11m。彭家道口闸、刘家道口闸、大官庄枢纽新沭河泄洪闸相继开闸行洪，新沭河大官庄闸（新）20 日 18 时闸上最高水位 51.77m，总过闸流量 4640m3/s。刘家道口闸

20 日 9 时最大过闸流量 2110m3/s，相应水位 57.35m；彭道口闸 20 日 12 时最大过闸流量 1580m3/s，相应闸上最高水位 57.23m。

受台风“利奇马”影响，2019 年 8 月 10—12 日沂沭泗流域自南向北先东后西出现连续降雨过程，累计面平均降雨量 141mm，此次降雨偏北，其中沂河 100mm 以上降雨量笼罩面积为 0.99 万 km2；沭河 100mm 以上降雨量笼罩面积为 0.43 万 km2；南四湖 100mm 以上降雨量 2.84 万 km2。强降雨主要发生在 8 月 10 日，以沂河上游东里店 309mm 为最大。受此次强降雨影响，沂河、沭河均发生编号洪水，沂河临沂站 8 月 11 日 16 时洪峰流量 7300m3/s，相应水位 62.28m。沭河重沟站 8 月 11 日 18 时 52 分洪峰流量 2720m3/s，相应水位 57.13m。新沂河沭阳站 8 月 12 日 8 时最大流量 5900m3/s，列 1974 年有实测资料以来第 1 位；6 时 30 分出现历史最高水位 11.31m。新沭河大官庄闸（新）11 日 22 时闸上最高水位 52.66m，总过闸流量 4020m3/s。刘家道口闸 11 日 17 时最大过闸流量 5880m3/s，相应闸上最高水位 59.72m；彭道口闸 11 日 14 时最大过闸流量 1420m3/s，相应闸上最高水位 59.03m。

受低涡东移及副高减弱南退影响，北方冷空气和南方暖湿气流形成对峙，2020 年 8 月 13—14 日，沂沭泗流域中上游普降暴雨局地特大暴雨，累计面平均降雨量 54mm。其中沂河 100mm 以上降雨量笼罩面积为 0.69 万 km2 占沂河总面积的 70%；250mm 以上降雨量笼罩面积的占总面积 21%；沭河 100mm 以上降雨量笼罩面积为 0.36 万 km2 占沭河总面积 84%。2020 年沂沭河降雨强度为 1974 年以来最大。沂河支流东汶河和庄站单日最大降雨量为 377mm，为该站有资料以来最大，沭河上游张家抱虎站最大单日降雨量为 329mm。此次降雨的总量和历时与 2019 年相似，但强度大于 2019 年，且干支流遭遇严重，因此，此次洪水具有峰高量大，洪峰持续时间长，超警河流多等特点。其中，沂河临沂水文站 14 日 19 时 7 分最大流量 10900m3/s，仅低于 1957 年的历史最大流量(15400m3/s)，为 1960 年以来最大洪水；沭河重沟水文站 14 日 19 时 22 分最大流量 5940m3/s，为有实测资料以来最大。新沭河大官庄闸（新）14 日 23 时闸上最高水位 56.44m，总过闸流量 8680m3/s，为 1953 年以来最大。刘家道口闸 14 日 18 时最大过闸流量 7900m3/s，19 时闸上最高水位 61.74m，其水位、流量均为 1953 年以来最大；彭道口闸 14 日 17 时最大过闸流量 3360m3/s，19 时闸上最高水位 61.74m，其水位、流量均为 1953 年以来最大。8 月 14 日 12 时 8 分，沂河葛沟站洪峰流量 6320m3/s，为 1960 年以来最大。

表 1　沂沭河面平均雨量比较表

名称	年份	平均雨量/mm	≥50mm/万 km2	≥100mm/万 km2	≥250mm/万 km2	名称	年份	平均雨量/mm	≥50mm/万 km2	≥100mm/万 km2	≥250mm/万 km2
南四湖	2018	191	3.11	2.84	0.46	骆马湖	2018	81	0.88	0.14	0.02
	2019	98	2.98	1.14			2019	167	0.93	0.71	0.05
	2020	28	0.56	0.10			2020	29	0.18	0.03	
沂河	2018	159	0.99	0.88		新沂河	2018	64	1.76	0.19	
	2019	231	0.99	0.99	0.38		2019	137	2.24	1.99	
	2020	160	0.99	0.69	0.15		2020	29	0.44	0.23	
沭河	2018	159	0.43	0.42							
	2019	207	0.43	0.43	0.10						
	2020	178	0.43	0.36	0.09						

表 2　沂沭河洪峰流量比较表

测站名称	2018 年			2019 年			2020 年		
	洪峰流量 /m3s-1	峰现时间/ 月-日 时:分	历史 排位	洪峰流量 /m3s-1	峰现时间/ 月-日 时:分	历史 排位	洪峰流量 /m3s-1	峰现时间/ 月-日 时:分	历史 排位
临沂	3220	08-20 09：00	25	7300	08-11 16：00	9	10900	08-14 19：07	3
刘家道口	2110	08-20 09：00	9	5880	08-11 17：00	3	7900	08-14 19：00	1
彭道口闸	1580	08-20 12：00	7	1420	08-11 14：00	8	3360	08-14 17：00	1
重沟	3200	08-20 13：00	2	2720	08-11 18：52	3	5940	08-14 19：22	1
大官庄闸新	4640	08-20 18：00	2	4020	08-11 22：00	3	8680	08-14 23：00	1

表 3　沂沭河洪峰水位比较表

测站名称	2018 年			2019 年			2020 年		
	洪峰水位 /m	峰现时间/ 月-日 时:分	历史 排位	洪峰水位 /m	峰现时间 月-日 时:分	历史 排位	洪峰水位 /m	峰现时间/ 月-日 时:分	历史 排位
临沂	60.12	08-20 10：00	61	62.28	08-11 16：00	28	64.12	08-14 19：07	3
刘家道口	57.35	08-20 09：00	9	59.72	08-11 17：00	3	61.74	08-14 19：00	1
彭道口闸	57.23	08-20 12：00	7	59.03	08-11 14：00	8	61.74	08-14 17：00	1
重沟	57.48	08-20 13：00	2	57.13	08-11 18：52	3	59.64	08-14 19：22	1
大官庄闸新	51.77	08-20 18：00	2	52.66	08-11 22：00	3	56.44	08-14 23：00	1

3　近年暴雨洪水特点及其比较分析

沂沭河流域在 2018 年、2019 年和 2020 年均发生了较大洪水，其中以 2020 年洪水为最大。近三年的三场洪水有共同点也有不同之处，主要表现在以下几个方面：

沂沭泗洪水多发生于 7、8 月份，近年来受台风影响明显偏多。回顾 1949 年以来的 1 洪水，其中受到台风影响的有 1974 年、1991 年、2012 年、2018 年、2019 年，近年来受台风影响明显偏多，影响沂沭泗流域的台风常于 8 月由福建上海浙江一带登陆，由南向北移动，但每场台风路径及强度都有所不同；如 2018 年台风“温比亚”和 1974 年台风“露薇”类似登陆后继续从南向北方移动最终于山东北部进入渤海。2019 年台风“利奇马”于浙江登陆后北上穿过浙江、江苏及山东省移入黄海又于山东青岛再次登陆。

近年来沂沭泗河中小洪水过程偏胖，洪水组成及传播时间变化不大。本文基于中国洪水预报系统对沂河临沂站及沭河重沟站进行了再分析，采用新安江三水源蓄满产流模型和三水源滞后演算模型计算产流过程，采用马斯京根河道分段连续演算法计算汇流。临沂站、重沟站的预报计算结果见图 2、3，洪水组成及洪峰贡献分析见图 4、5。由图可以看出，预报拟合总体良好，但在大洪水的时候存在沂河偏小、沭河偏大的现象。洪水组成及传播时间变化不大，近三年沂河均是以葛沟来水为主，沭河以莒县和区间来水为主。2020 年葛沟流量占临沂洪峰流量的 58%为近三年以来最大。

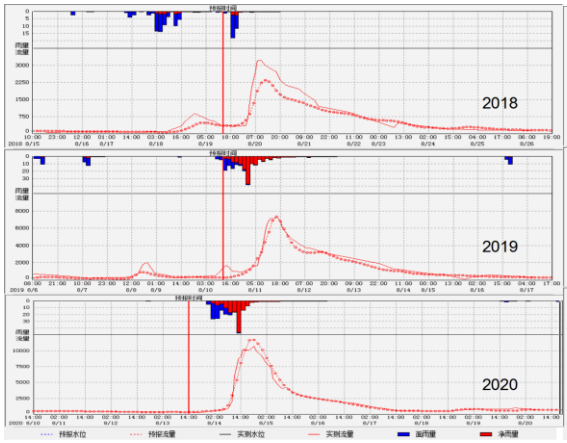


图 2 临沂站 2018、2019 和 2020 年预报结果

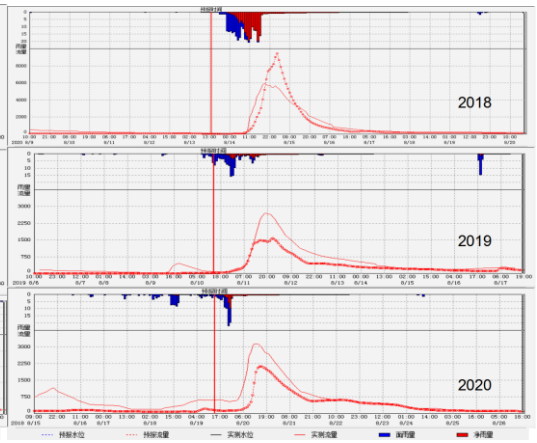


图 3 重沟站 2018、2019 和 2020 年预报结果

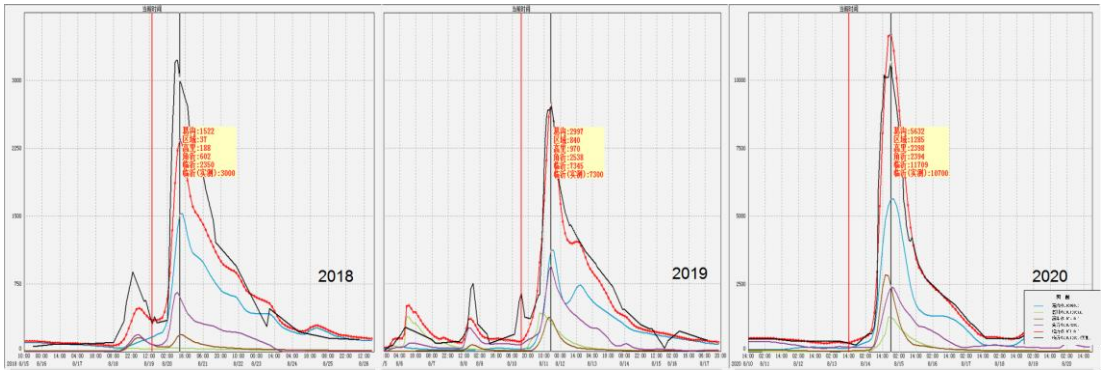


图 4 临沂站 2018、2019 和 2020 年洪水组成

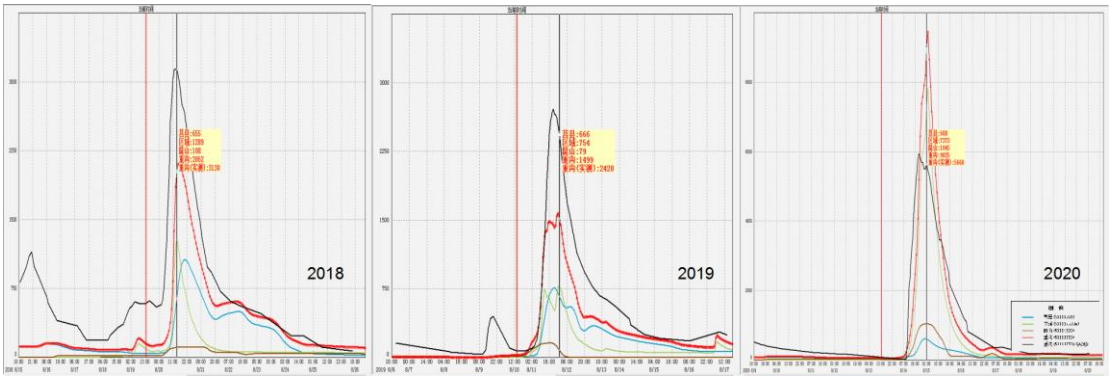


图 5 重沟站 2018、2019 和 2020 年洪水组成

临沂站断面过流能力有减小趋势，重沟站水位流量关系较稳定。由图 6、7 临沂和重沟站的 2018、2019 与 2020 年临沂站水位流量关系曲线可得知，临沂水位流量关系在小流量时变化并不明显，但在大流量时水位流量关系逐年抬高趋势，相同流量下 2020 年水位偏高，断面过流能力有减小趋势；但重沟站水位流量关系曲线变化较小，重合度较高。

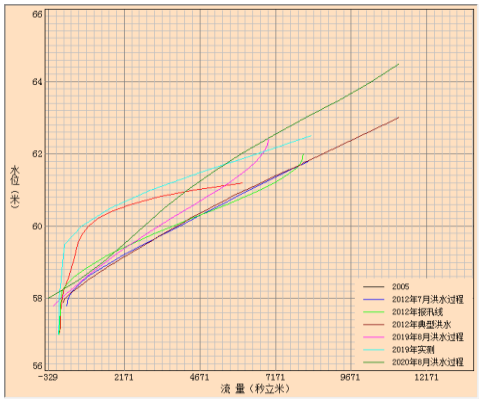


图 6 临沂站水位流量关系曲线

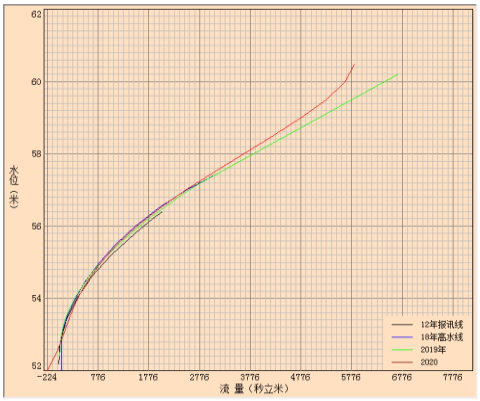


图 7 重沟站水位流量关系曲线

4 结语

通过对“2018.08.11”、“2019.08.20”和“2020.08.14”三场洪水进行对比，可知沂沭泗流域以暴雨引发洪水为主，多发生于 7—8 月，洪水发展迅猛。以上 3 年多场洪水连续发生，且多站接连超过历史最大记录，表明近年沂沭河洪水发生较为频繁。特别是近年来台风影响显著增加，要加强对台风影响下特大暴雨洪水的警惕性和预见性。根据资料分析，流域内一些区域的河道水文站水位流量关系逐年抬高，过流断面流量有减小趋势，因此要及时更新曲线以提高水位预报精度；此外，近年来沂沭河水系中河道内橡胶坝工程众多且缺乏报汛数据，加大了对首场洪水的量级及传播时间把握的难度。建议增加拦河闸坝报讯任务，同时创新预报方法，运用集总与分布式结合的方法构建方案，提高预报精度。

参考文献

[1] 张凤翔，李开峰.2018 年沂沭泗河水系洪水防御效果分析与思考[J].中国防汛抗旱,2019,29(09):35-37.

[2] 詹道强,李沛,赵艳红,王秀庆.201909 号台风“利奇马”影响期间的沂沭泗流域洪水预报工作与思考[J].中国防汛抗旱,2019,29(11):39-42+53.

[3] 赵艳红,王秀庆,于百奎.沂沭泗河 2020 年“8.14”暴雨洪水及调度简析[J/OL].中国防汛抗旱:1-5[2021-03-11].https://doi.org/10.16867/j.issn.1673-9264.2020289.