第四届城市水安全与水管理学术研讨会暨
第五届城市防洪排涝学术研讨会，西安

新时代综合治水的适宜模式与风险管控的理性思考

程晓陶

国家减灾委专家委员会 委员

水利学会城市水利专委会 主任委员

《水利学报》主编

2021年10月11—12日

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

“十四五”期间城市洪涝防治的部署与进展

2020年7月17日，习近平总书记主持中共中央政治局常委会会议，研究部署防汛救灾工作，强调要把重大工程建设、重要基础设施补短板、**城市内涝治理、加强防灾备灾体系和能力建设等纳入“十四五”规划中统筹考虑。**同时，批示住建部、生态环境部以及水利部，希望十四五期间取得明显成效。

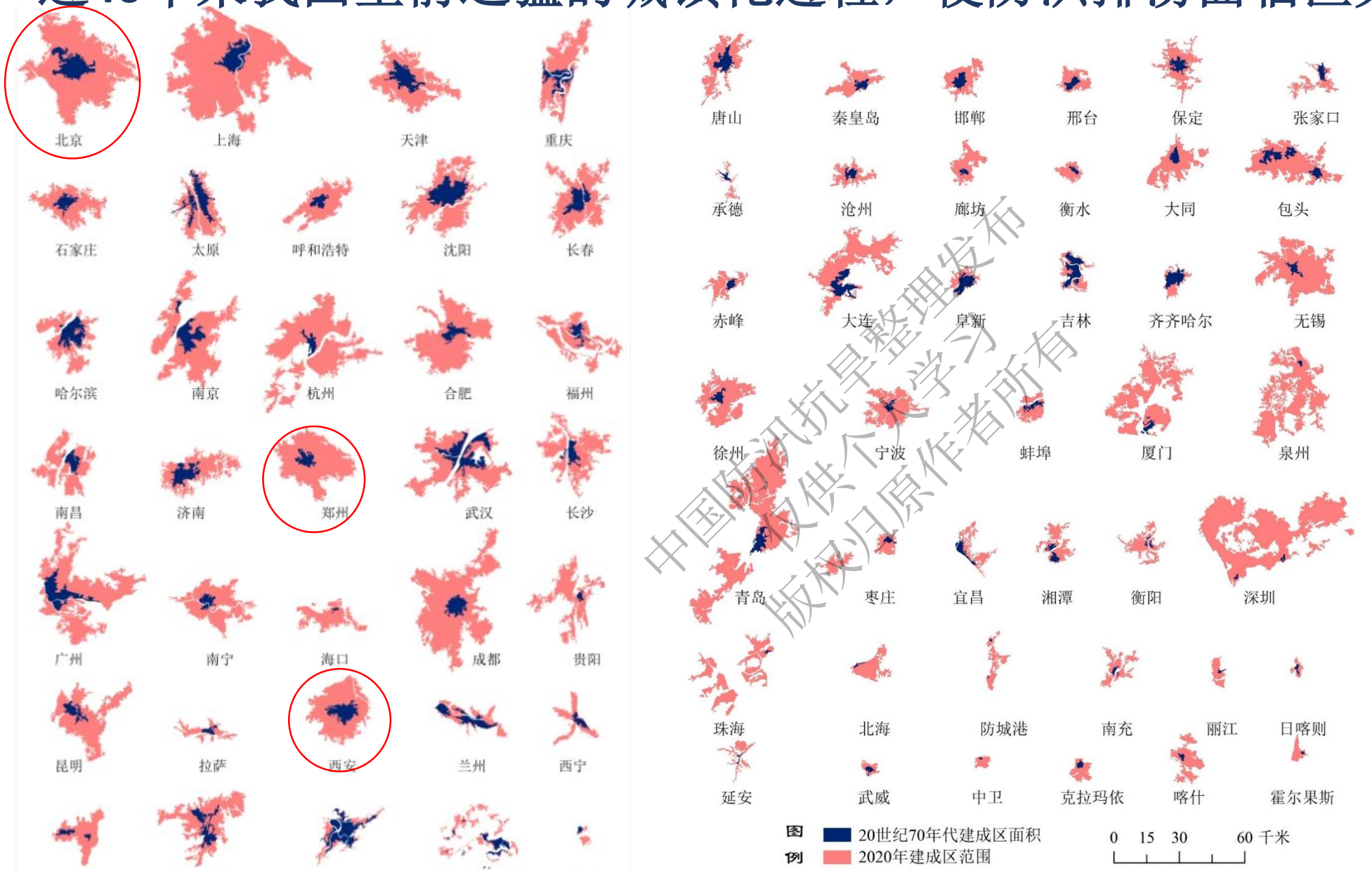
2021年3月12日发布《中华人民共和国国民经济和社会发展第14个五年规划和2035年远景目标纲要》明确指出，要推动**城市内涝治理取得明显成效，全部消除重点城市严重易涝积水区段。**

2021年4月8日国务院办公厅发布了《关于加强城市内涝治理的实施意见》（国办发〔2021〕11号），明确到2025年，各城市因地制宜基本形成**“源头减排、管网排放、蓄排并举、超标应急”**的城市排水防涝工程体系，排水防涝能力显著提升，内涝治理工作取得明显成效。到2035年，各城市排水防涝工程体系进一步完善，**排水防涝能力与建设海绵城市、韧性城市要求更加匹配**，总体消除防治标准内降雨条件下的城市内涝现象。

2021年4月25日财政部办公厅、住房城乡建设部办公厅和水利部办公厅联合发布了《关于开展系统化全域推进海绵城市建设示范工作的通知》（财办建〔2021〕35号），通过竞争性选拔，确定部分基础条件好、积极性高、特色突出的城市开展典型示范，**系统化全域推进海绵城市建设**，中央财政对示范城市给予定额补助。

中国防汛抗旱整理发布
仅供公众学习
版权归原作者所有

近40年来我国空前迅猛的城镇化进程，使防洪排涝面临巨大压力与挑战



中国典型城市扩展遥感监测数据库，国家遥感应用工程技术研究中心

我国快速的城镇化进程，经历了粗犷的发展阶段，在土地财政驱动下，城市建设用地急速扩张，2014年与1981年数据相比，我国城市人口增加了3.7倍，而城市建设用地面积却增加了7.4倍。城市外河成为城市内河，雨洪调蓄空间减少，不透水面积增大，城市内涝加重，并对生态环境保护构成巨大冲击，使水安全保障面临巨大压力。

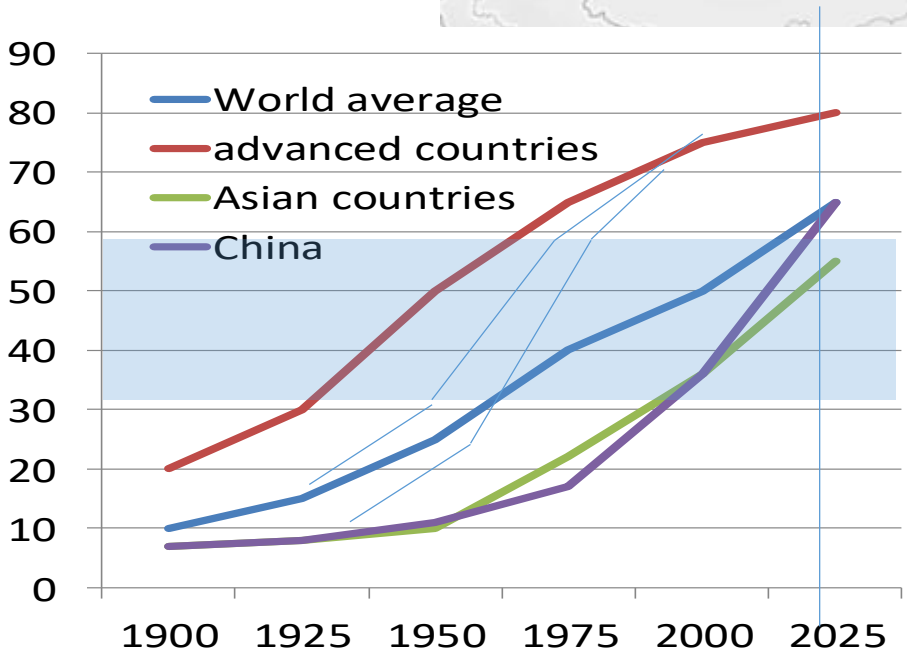
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

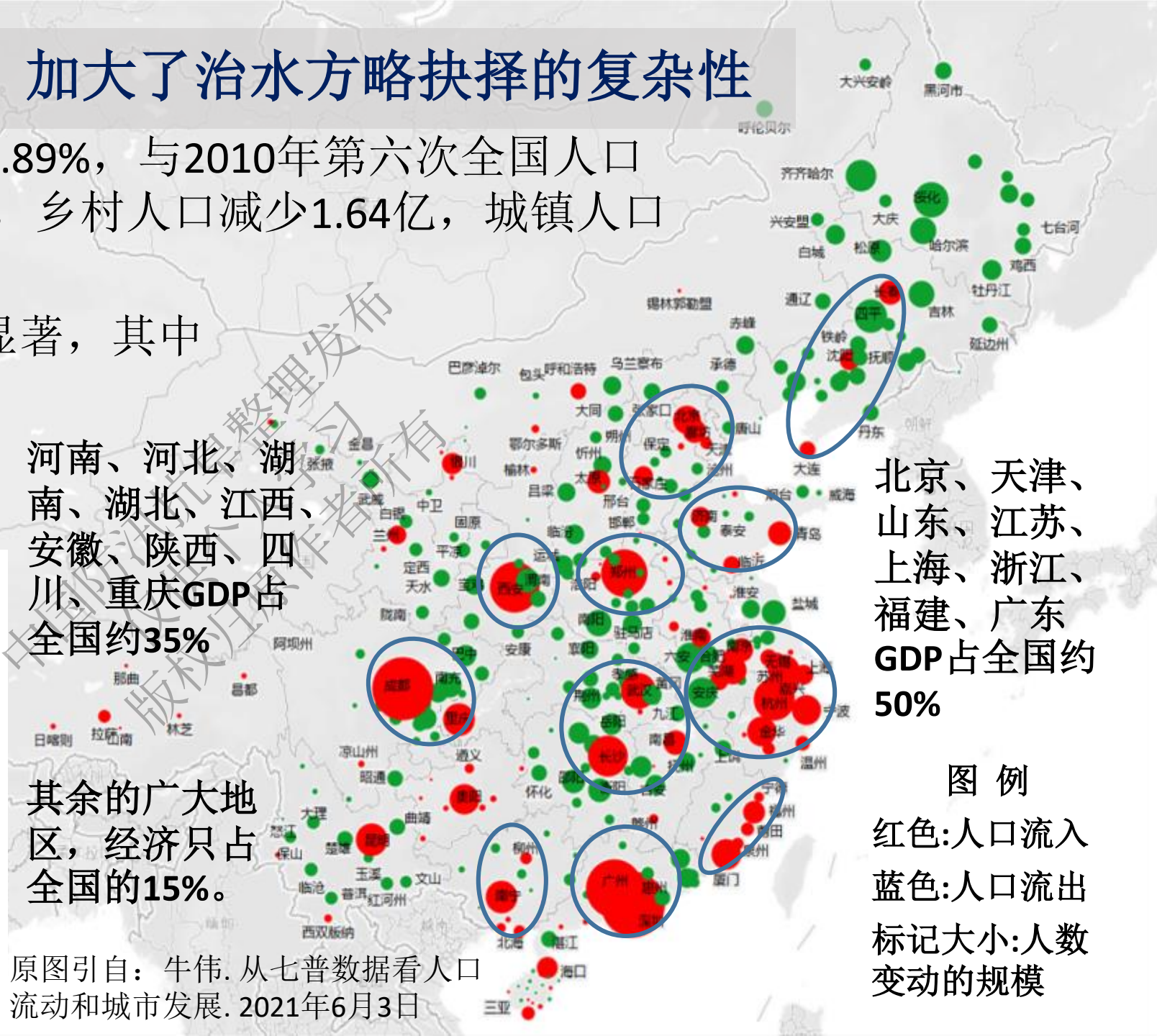
我国城市化进程的多样性，加大了治水方略抉择的复杂性

2020年，我国人口城镇化率为63.89%，与2010年第六次全国人口普查相比，城镇人口增加2.36亿，乡村人口减少1.64亿，城镇人口比重上升14.21个百分点。

642座防洪城市，地理气候差异显著，其中

- 滨海型城市57座（8.9%）
- 平原型城市288座（44.8%）
- 山丘型城市297座（46.3%）





河南、河北、湖南、湖北、江西、安徽、陕西、四川、重庆GDP占全国约35%

其余的广大地区，经济只占全国的15%。

北京、天津、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东GDP占全国约50%

图 例

红色:人口流入

蓝色:人口流出

标记大小:人数变动的规模

原图引自：牛伟. 从七普数据看人口流动和城市发展. 2021年6月3日

中国防洪学会整理发布
版权归原作者所有

难点何在？出路何在？

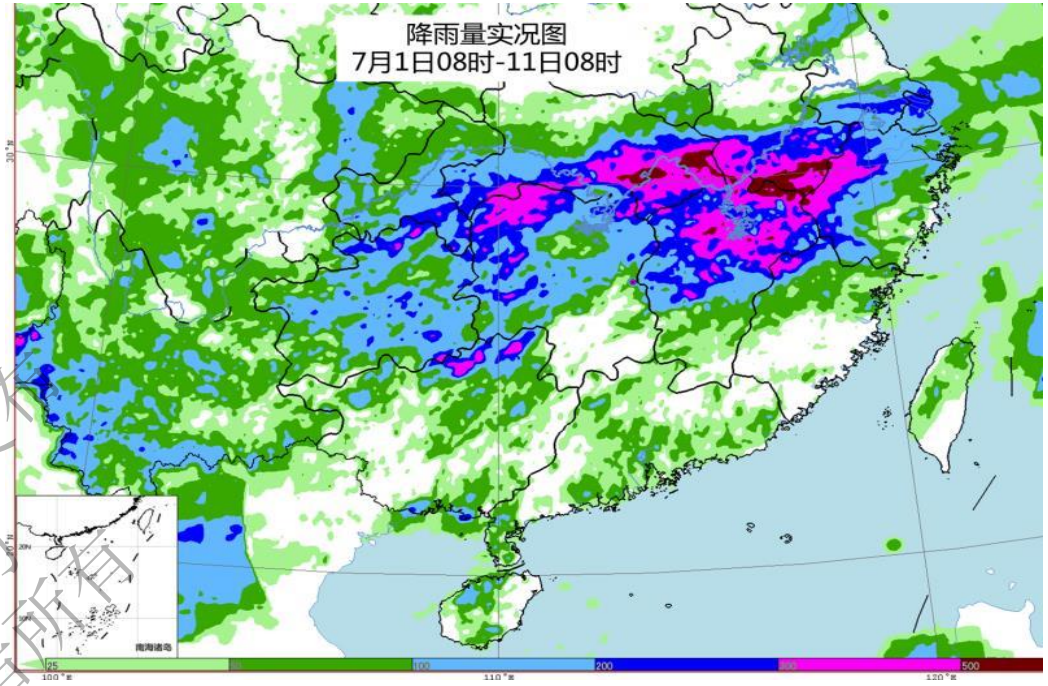
- 海绵城市建设前两期试点，为了实现水资源、水环境、水景观、水生态、水安全等全套的高指标，尽管措施集中于小区尺度，但是单位面积建设成本过高，以至前两期试点之后各地城市难以效仿。新一轮试点 提出了“系统化全域推进海绵城市建设”的要求。**若按前两期试点的模式，所需巨额资金的筹措，将面临极大困难。**
- 随着经济社会的发展，提高防洪排涝标准的呼声必然高涨。**简单沿袭传统模式，不断扩大防洪保护范围，提高防洪排涝工程标准，不仅面临投资、拆迁等方面的制约，而且难免加重区域之间、人与自然之间基于洪水风险的利害冲突。**

- 我国各地城市地理气候环境与经济社会发展状态的多样性，决定了各自水问题的不同成因与表现，也决定了各自治水需求与治水能力的差异。制定统一的、全面的高评价指标，指望短期高投入一举解决复杂的城市水问题，纯属幻想，并有导致洪涝风险转移、使部分群体面临风险无以承受的可能。
- 只有因地制宜、因势利导，积极寻求各自适宜、久久为功的综合治水模式，做到**治水目标的优化分解，治理步骤的优化安排，实施方案的优化比选，人与自然的力量整合，有效管控好各环节的风险，**才可能收到良性互动的效果。

中国防洪抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

案例1 2020年景德镇市洪灾分析

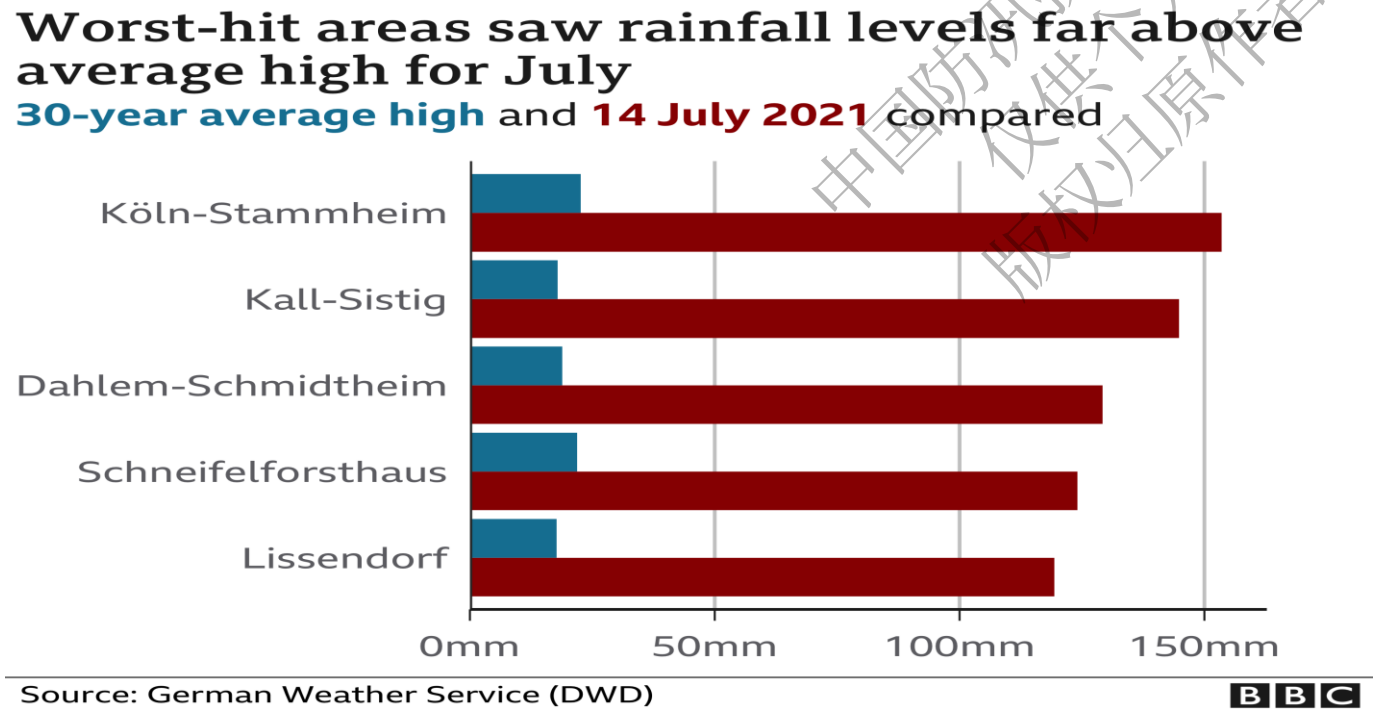
- 2020年汛期，江西省鄱阳湖湖区自7月2日起，遭受了自1998年以来最严重的洪涝灾害，景德镇所在的昌江流域7月上旬处于全国暴雨强度最大的区域中，也是鄱阳湖水系中降雨量最大的区域，降雨量达常年同期的5.88倍。
- 为保障景德镇的防洪安全，昌江上游新建了浯溪口大型防洪水库，防洪库容2.96亿m^3,可将景德镇市防洪标准从20年一遇提高到50年一遇。2020年浯溪口首次投入运行，就经受了特大洪水的严峻考验,发挥了显著的防洪效益。但景德镇市部分城区仍遭受了严重水灾。



中国防汛抗旱整理发布
仅供大学习
版权归原作者所有

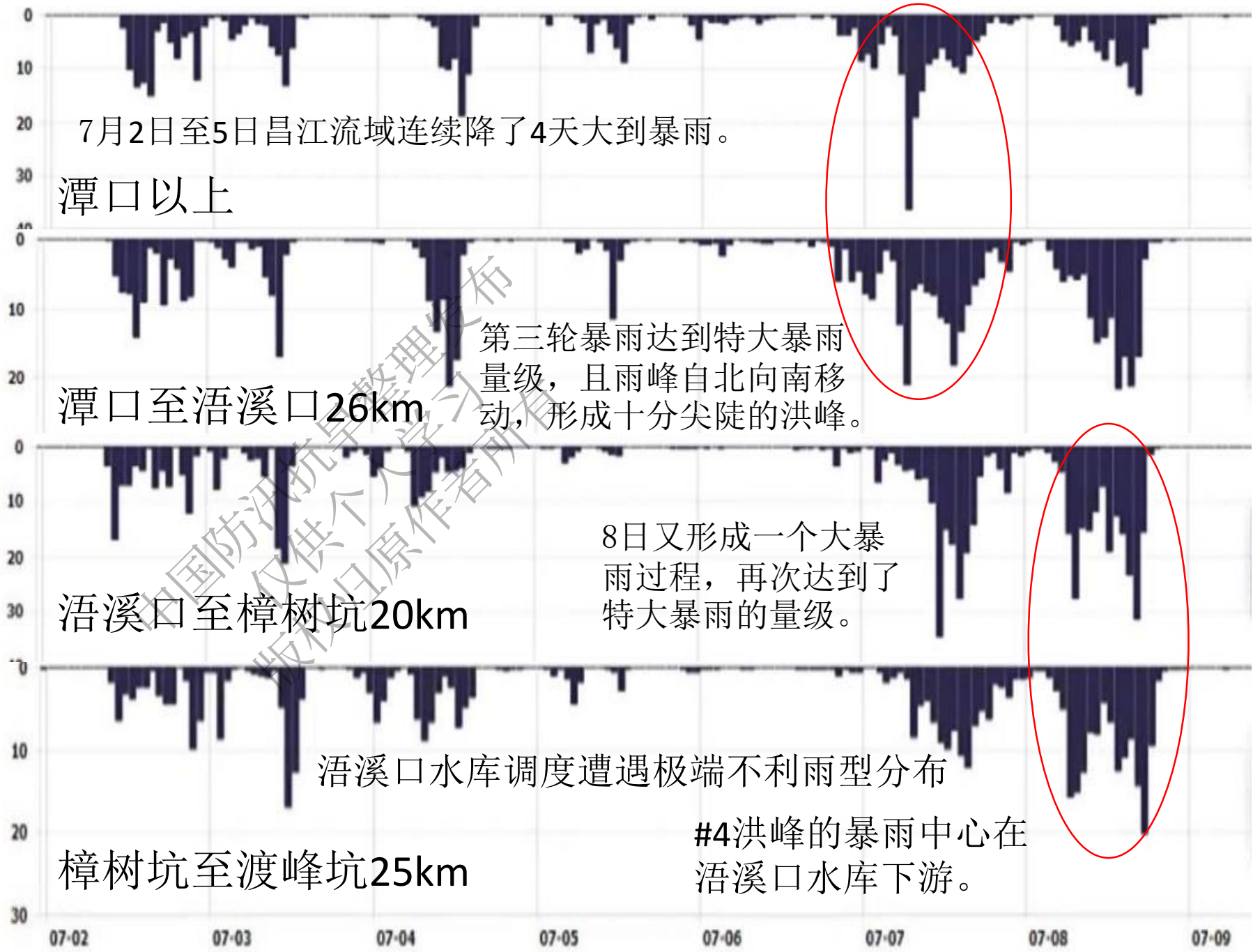
2021年7月西欧暴雨成灾

- 2021年7月12—15日，德国、比利时、卢森堡、荷兰、瑞士等国遭受破纪录的暴雨袭击。其中，在德国的Köln-Stammheim，7月14日降雨量达153mm，为常年7月最大日降雨量平均值的7倍。暴雨引发堤防溃决，江河泛滥，有超过200人因灾遇难。

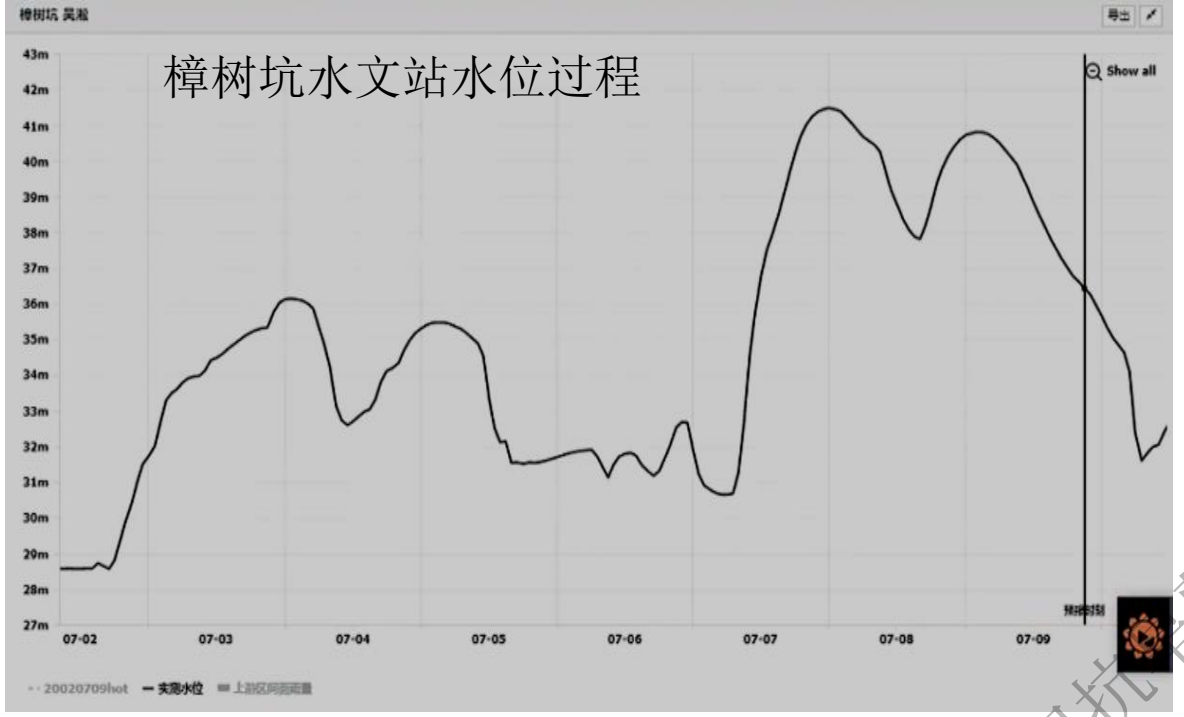


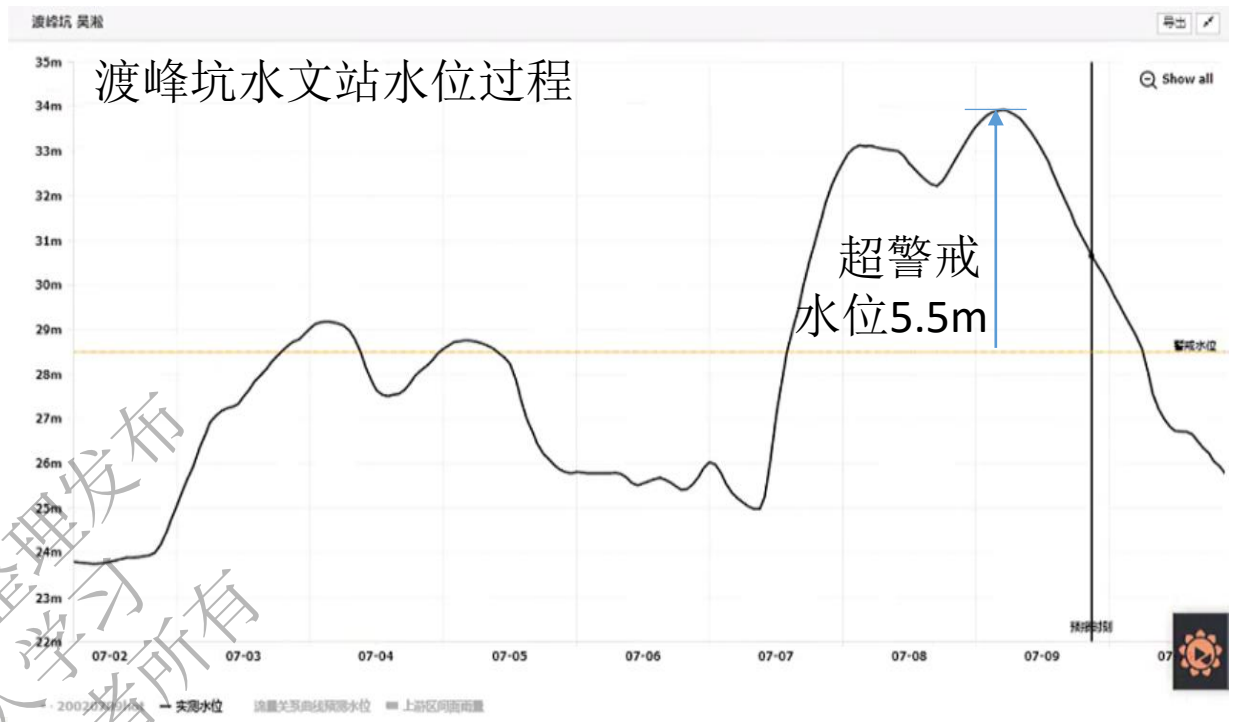
中国防灾减灾学会发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

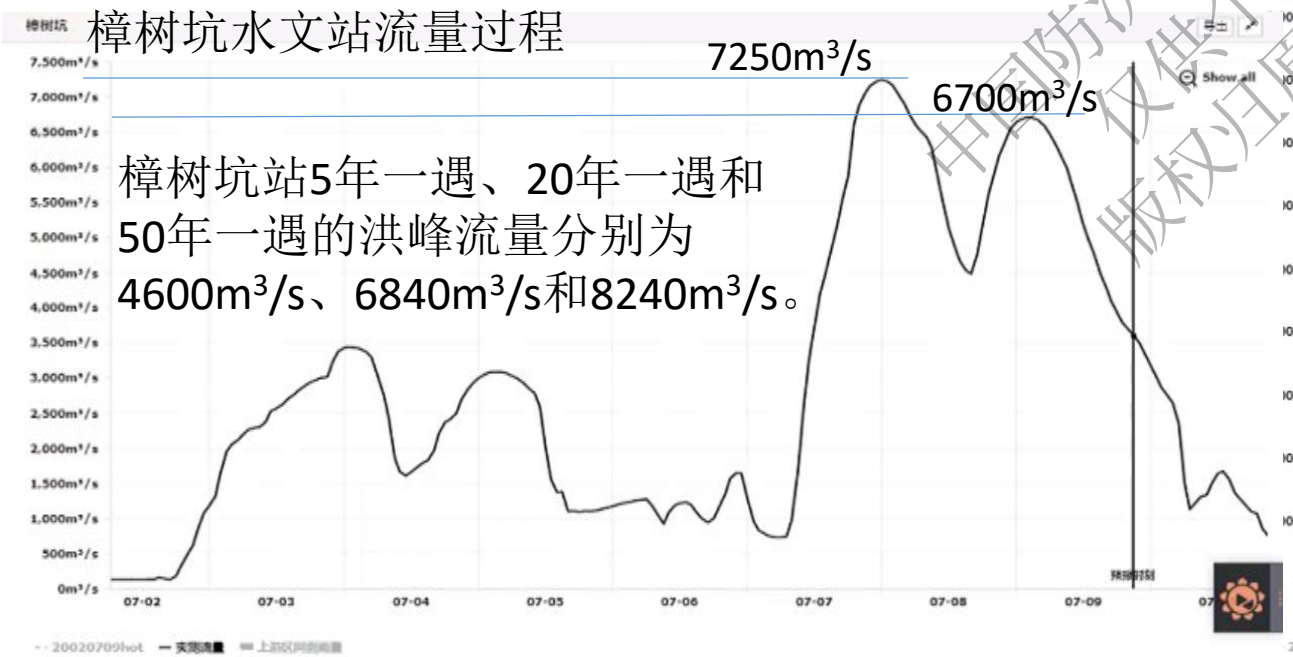
景德镇市2020年7月2—9日降雨过程

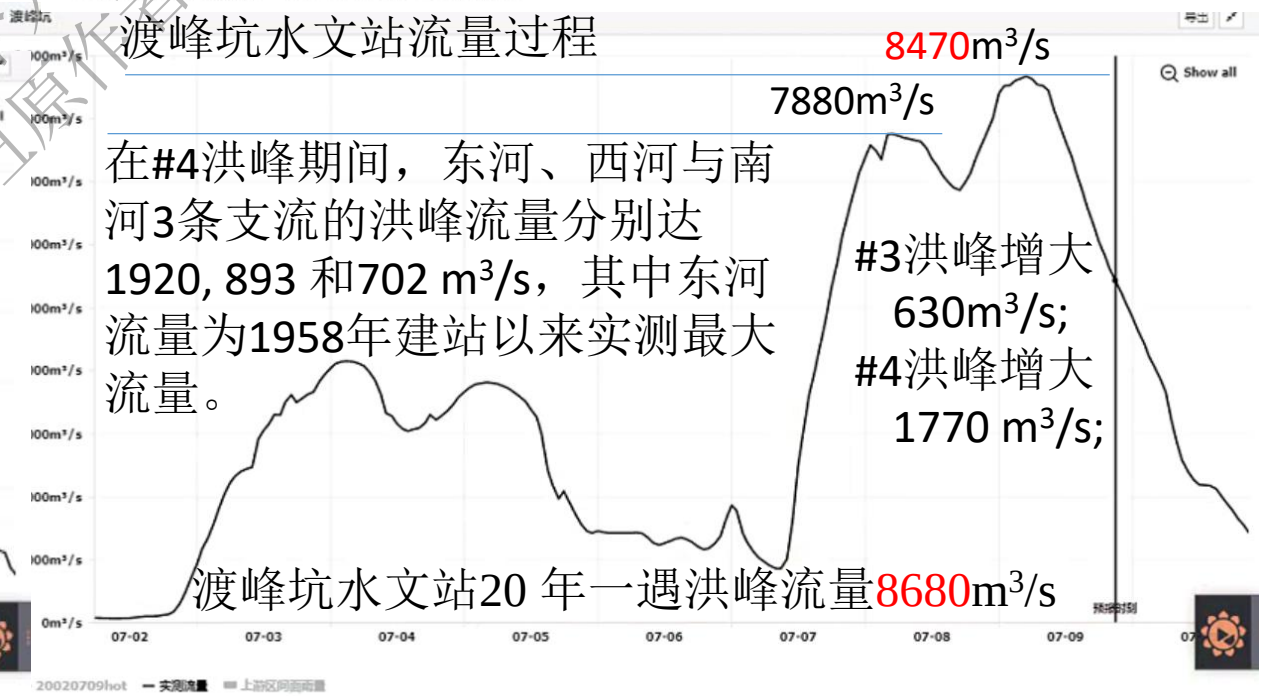


中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有









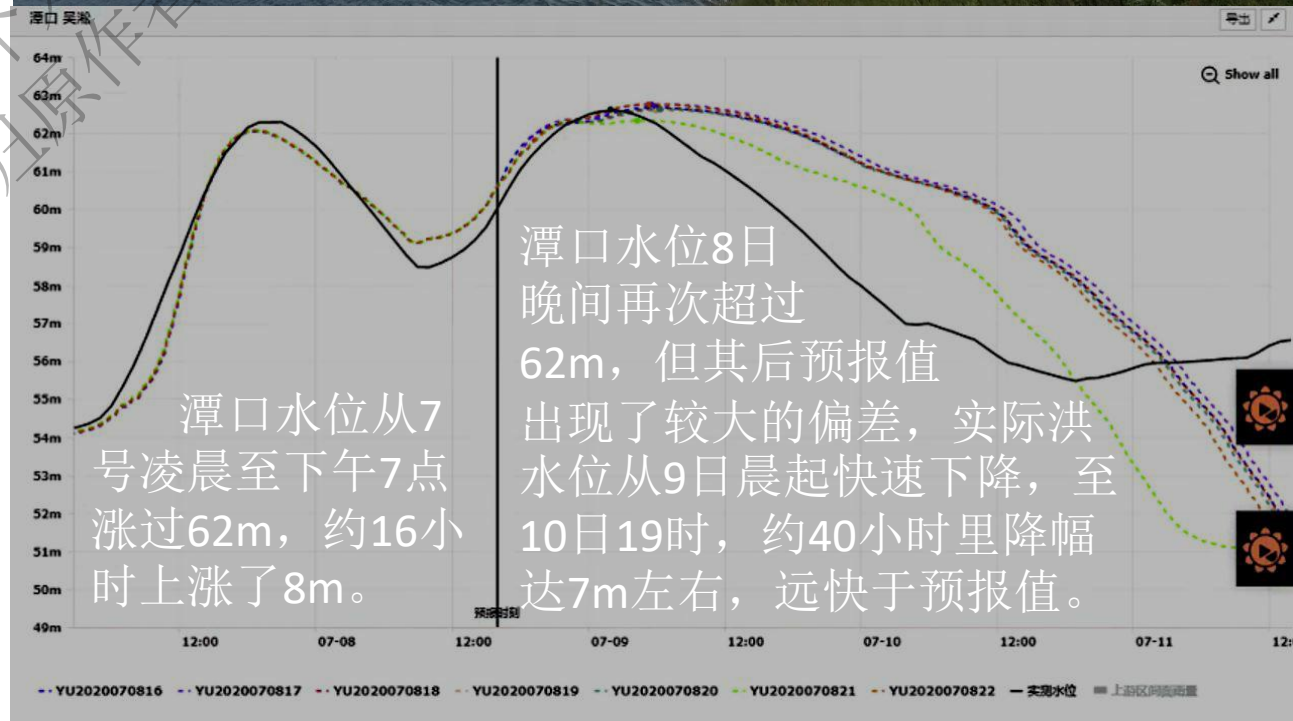
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

浯溪口水库调度的得与失

- 8日3:40，浯溪口坝前水位达到#3洪峰最高水位56.29m，但这时第4次暴雨过程已经开始。凌晨4时市防指及时决定浯溪口水库将启用56m以上防洪库容，浮梁县政府紧急转移出库区62.3m以下所有的群众2060人。经过水库的调控，7月9日4时#4洪峰坝前最高水位达60.18m，超汛限4.18m。
- 浯溪口水库潭口水位从9日早晨起快速下降，降幅远快于预报值。此现象表明，或洪水实际入库流量小于预期，或水库实际下泄流量大于作为计算条件给定的下泄流量，或者两者兼而有之。
- 由于库水位回水到达潭口水文站，水位-流量关系紊乱，入库流量只能根据出库流量和坝前水位反推，但坝下水文站尚未建立，出库流量也说不准。
- 极端不利暴雨分布条件下，景德镇出现了洪涝交加的困境。渡峰坑出现的8470m³/s洪峰流量未超过20年一遇8680m³/s，2020年受淹范围主要分布在几条支流入汇干流前且堤防尚未达标的河段。

- 完善的水利工程体系是增强气候变化适应能力、实现人与自然和谐共处的基本依托。
- 即使提高了防洪能力，仍需保持风险意识。
- 先进的水文气象监测、预报与优化调度系统，将有助于更好地发挥水利工程体系的综合效益。

浯溪口水库，昌江干流中游以防洪为主，兼有供水、发电等功能的大（二）型水利工程。水库正常蓄水位56.00m，死水位45m，防洪限制水位50.00m，防洪高水位62.30m，校核洪水位64.30（P=0.05%），总库容4.747亿m³，调节库容1.30亿m³，坝长498.62米，最大坝高46.8米。



潭口水位从7号凌晨至下午7点涨过62m，约16小时上涨了8m。

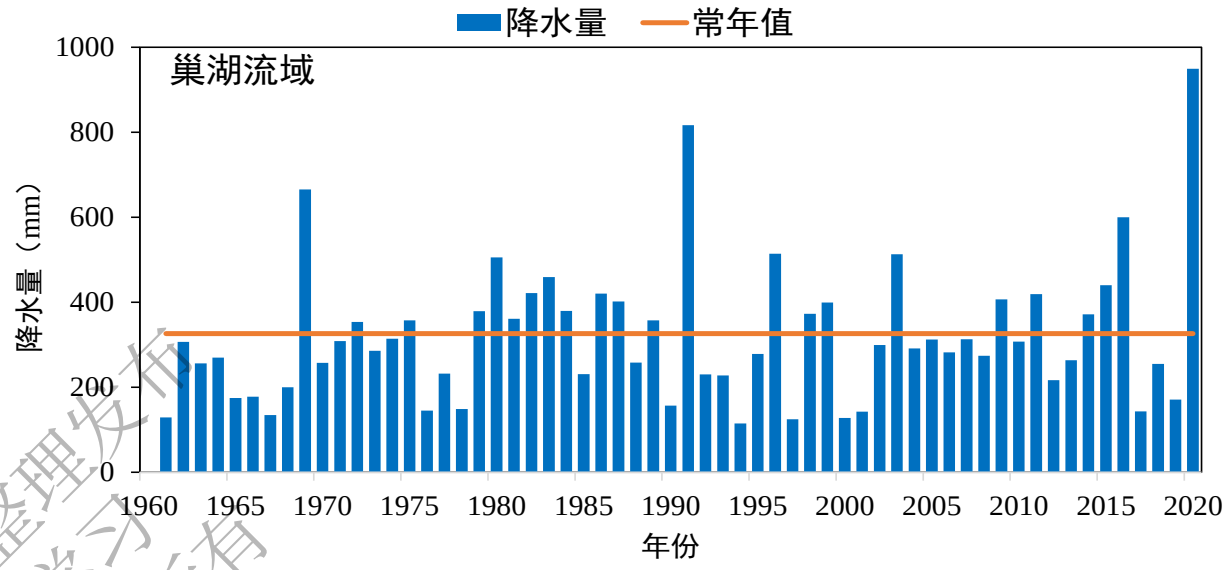
潭口水位8日晚间再次超过62m，但其后预报值出现了较大的偏差，实际洪水位从9日晨起快速下降，至10日19时，约40小时里降幅达7m左右，远快于预报值。

中国防汛抗旱数字孪生技术
仅供个人学习参考
版权归原作者所有

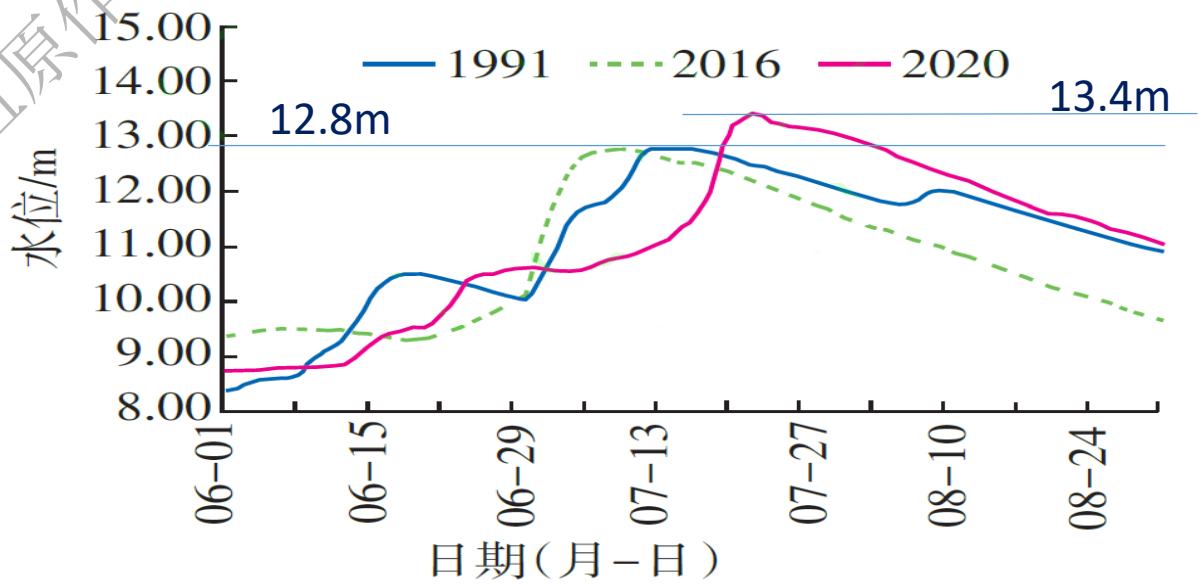
案例2 巢湖流域2020年洪灾分析

2020年入梅以来，巢湖流域连续遭遇9轮降雨。截至7月28日18时的平均降雨为847cm，是常年3.4倍。7月19日巢湖中庙站水位超历史最高水位0.04m，22日达到最高水位13.43m，至30日已连续历史最高水位11天，蓄水量约57亿m^3，为常年蓄水量近3倍

年份	降雨量（mm）	最高水位（m）	与2020年最高水位对比（m）	淹没范围（km^2）	与2020年淹没范围对比
1969	613.0	11.79	-1.64	470	-68.96%
1991	777.9	12.80	-0.63	2727	70.88%
2016	572.2	12.77	-0.66	434	-82.82%
2020	952.2	13.43	-	794	-



1961—2020年6月10日至7月31日巢湖流域降水量历年变化



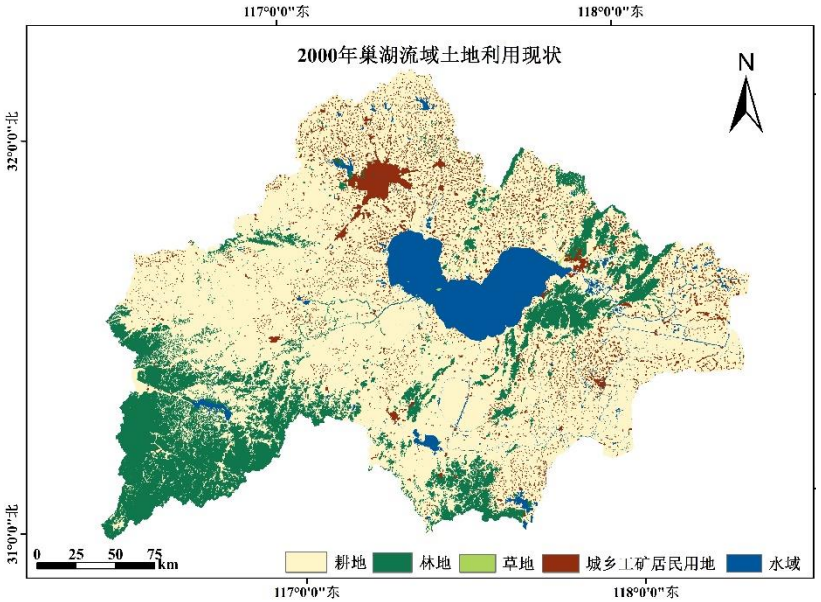
巢湖忠庙站典型年份水位图

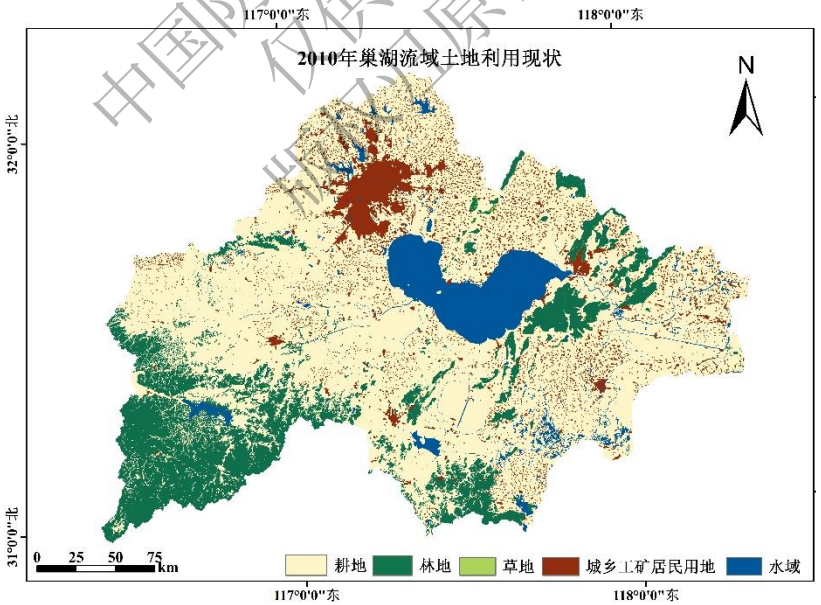
中国防汛抗旱整理发布
版权归原作者所有
仅供个人学习

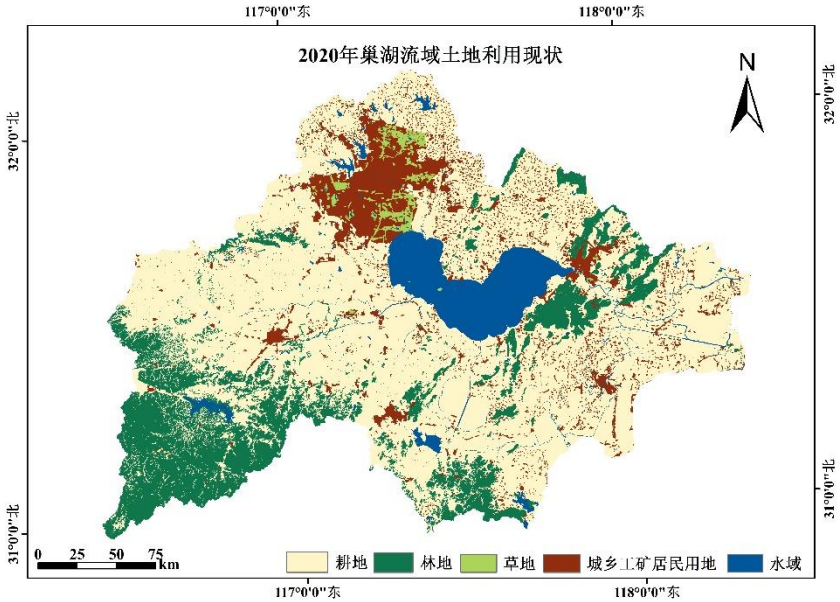
流域内城市快速扩张对水安全保障构成巨大压力

近20年来，随着城镇化加快，巢湖流域城市面积不断扩张。以下3图分别为2000年、2010年、2020年遥感解译土地利用分布图，可以发现巢湖流域城乡工矿居民用地增长明显。以省会合肥市为例，合肥市市辖区（包括瑶海区、庐阳区、蜀山区、包河区）2000年城乡工矿居民用地为254.8km²，2010年为401.2km²，2020年快速增长到480.8km²，2020年相比2000年增加了88.7%。流域内巢湖市、舒城县、庐江县等城镇也有明显扩大。快速城镇化全面增大了巢湖流域防洪排涝与水污染防治的压力，

中国防汛抗旱杂志社
仅供个人学习
版权归原作者所有

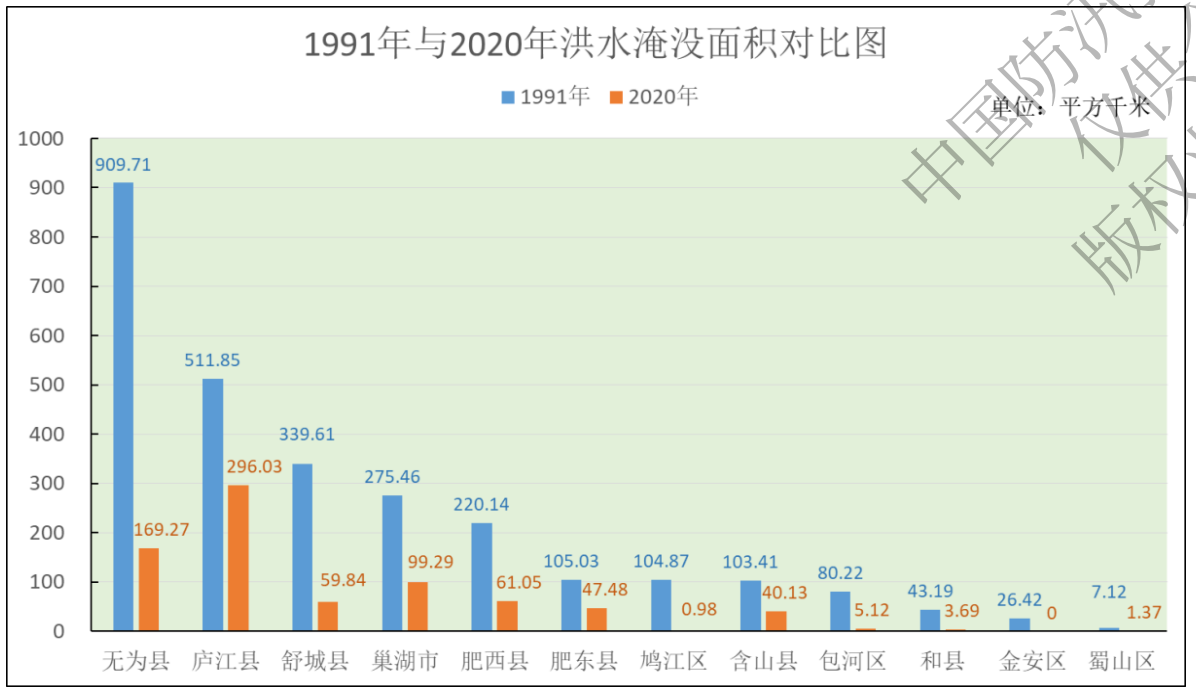


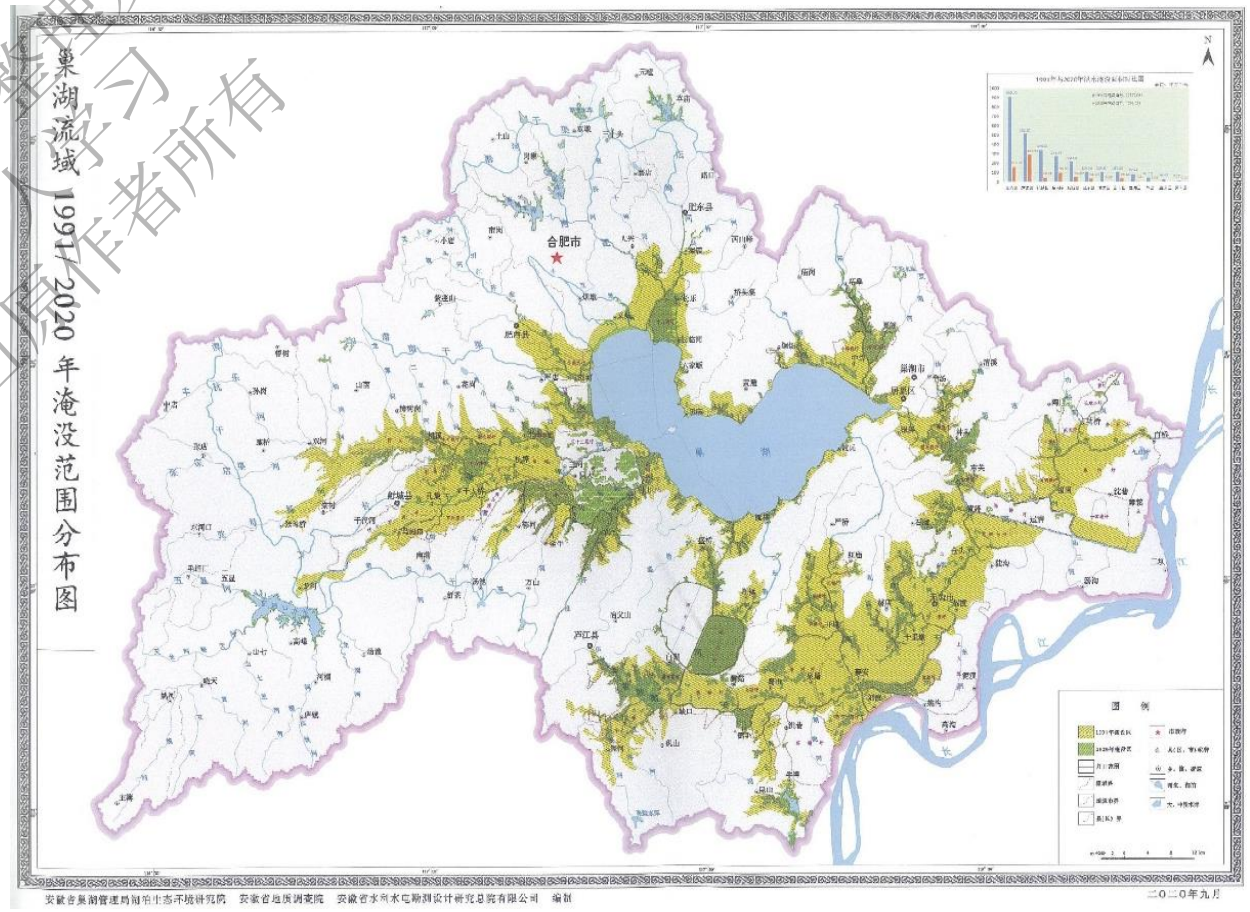




从被动溃口到主动进洪——防洪策略的积极调整

- 巢湖流域共溃破（含漫破、主要启用）圩区215个，面积68.72万亩，其中溃（漫）破千亩以上圩区91个，面积63.44万亩，包括石大圩、蒋口河联圩、滨湖联圩、牛广圩等万亩以上圩区13个；溃（漫）破千亩以下圩区124个，面积5.28万亩。
- 自7月19日起，合肥先后主动启用9个万亩以上的大圩，174个万亩以下中小圩分蓄洪水，为巢湖“减负”17亿m^3。





中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

在洪水风险区应做好建设项目的洪水影响评价

- 2020年汛期，许多光伏电站对洪水的考虑不足，导致电站洪水冲垮或被淹没，损失惨重。下图为合肥市永聚太阳能电力开发有限公司在巢湖胜利圩投资1.5亿建的渔光互补电站大水中遭受灭顶之灾，损失达1.2亿元。

- 国家电投江西共青江益106MW光伏电站，2020年汛期在电站场区进洪蓄水期间经受了考验，始终保持状况良好。

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习参考
版权归原作者所有

案例3 2020年8月20日重庆遭遇特大洪水

2020年8月20日长江第5号洪水、嘉陵江第2号洪水的洪峰通过重庆主城区

- 2020年7—8月，受强降雨的影响，长江发生流域性大洪水，干流形成5次编号洪水。其中岷江发生超历史洪水，寸滩站洪峰水位超1981年实测最高水位0.21m，三峡水库出现建库以来最大入库流量75000m³/s。

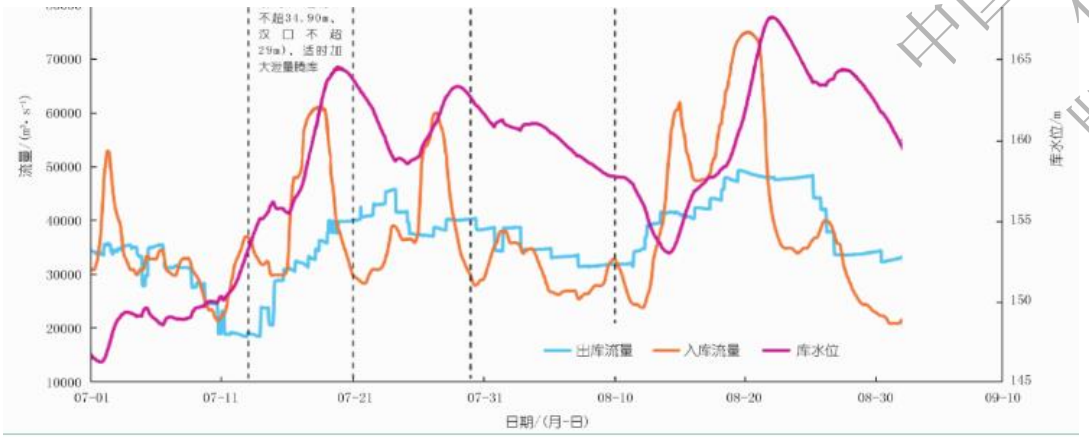


图 2　2020 年长江流域性大洪水水工程防洪调度目标及三峡水库运行过程

年份	寸滩水位/m
1870	196.25
1788	193.45
2020	191.55
1981	191.41
1905	190.00

第 6 阶段(2020 年 8 月 11 日至 9 月 1 日)。长江上游嘉岷流域发生集中性强降雨,岷江中下游、沱江和涪江上中游雨量超过 300 mm,局部地区超过 500 mm。干支流洪水恶劣遭遇,上游形成一次复式洪水过程(4,5 号洪峰),寸滩站洪峰水位居有实测记录以来第 2 位,三峡水库出现建库以来最大洪水。其中,岷江发生超历史洪水,沱江、涪江、嘉陵江及上游干流朱沱至寸滩江段发生超保证洪水,如图 2 所示。上游水库群在全力拦蓄洪水的同时,逐步调整出库流量,中下游宜昌至九江江段水位复涨,宜昌至螺山江段水位超警戒水位幅度约 0.2 ~ 1.1 m。

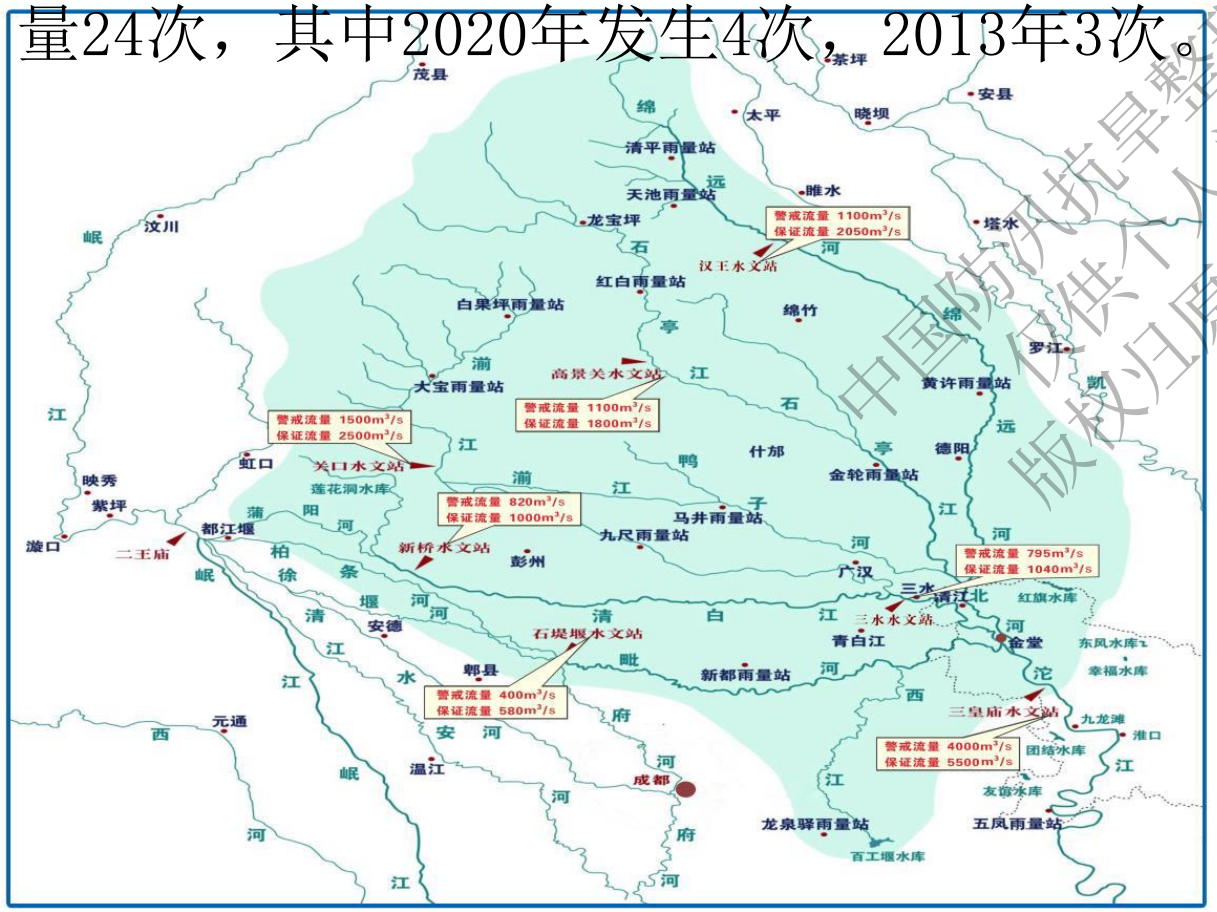
图 2　第 6 阶段长江上游主要支流控制站流量变化过程

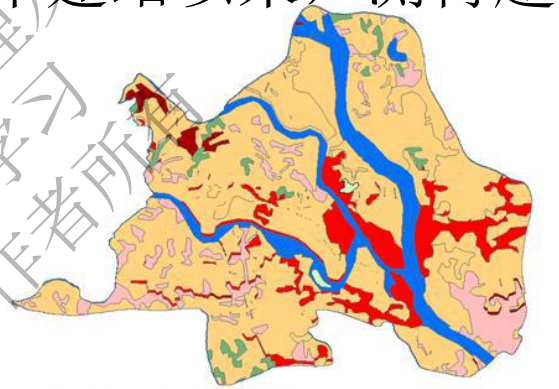
引自：金兴平.水工程联合调度在2020年长江洪水防御中的作用. 人民长江，2020（12）　引自：陈敏.2020年长江暴雨洪水特点与启示. 人民长江，2020（12）

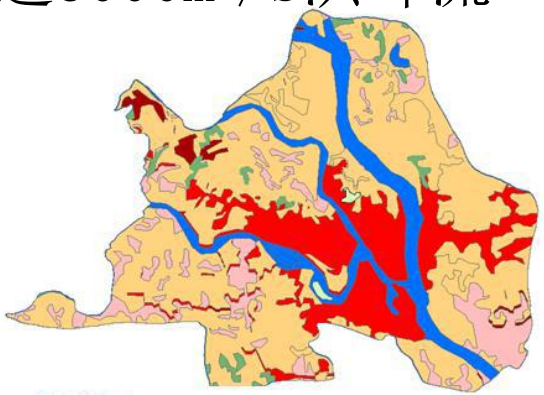
中国防汛抗旱管理发布
仅供学习
版权归原作者所有

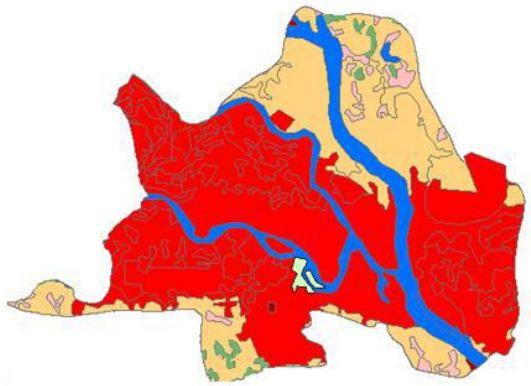
案例4 成都市金堂县城区洪水风险演变的成因

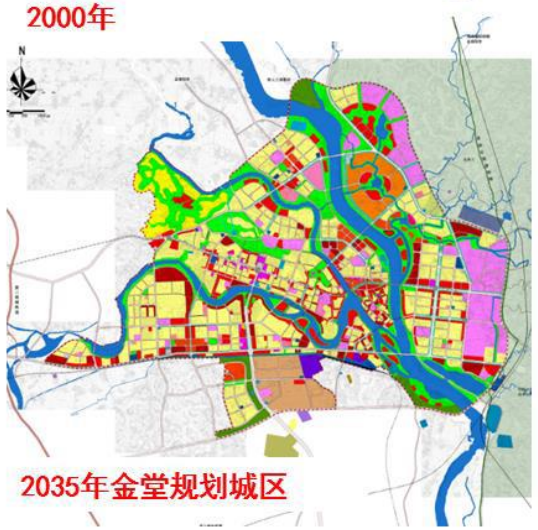
- 2020 年沱江流域金堂段持续发生“8.12”和“8.17”两次大洪水，三皇庙水文站水位流量实测资料显示：第一次洪峰最大流量7910m³/s，最高水位446.29m；第二次洪峰最大流量8100m³/s，水位达到446.55m。“8.17”洪水为本世纪最大洪水，洪水量级达到将近100 年一遇。三皇庙水文站1939年建站以来，测得超过5000m³/s洪峰流量24次，其中2020年发生4次，2013年3次。




1980（70年代末期）


2000年


2020年（现状）


2035年金堂规划城区

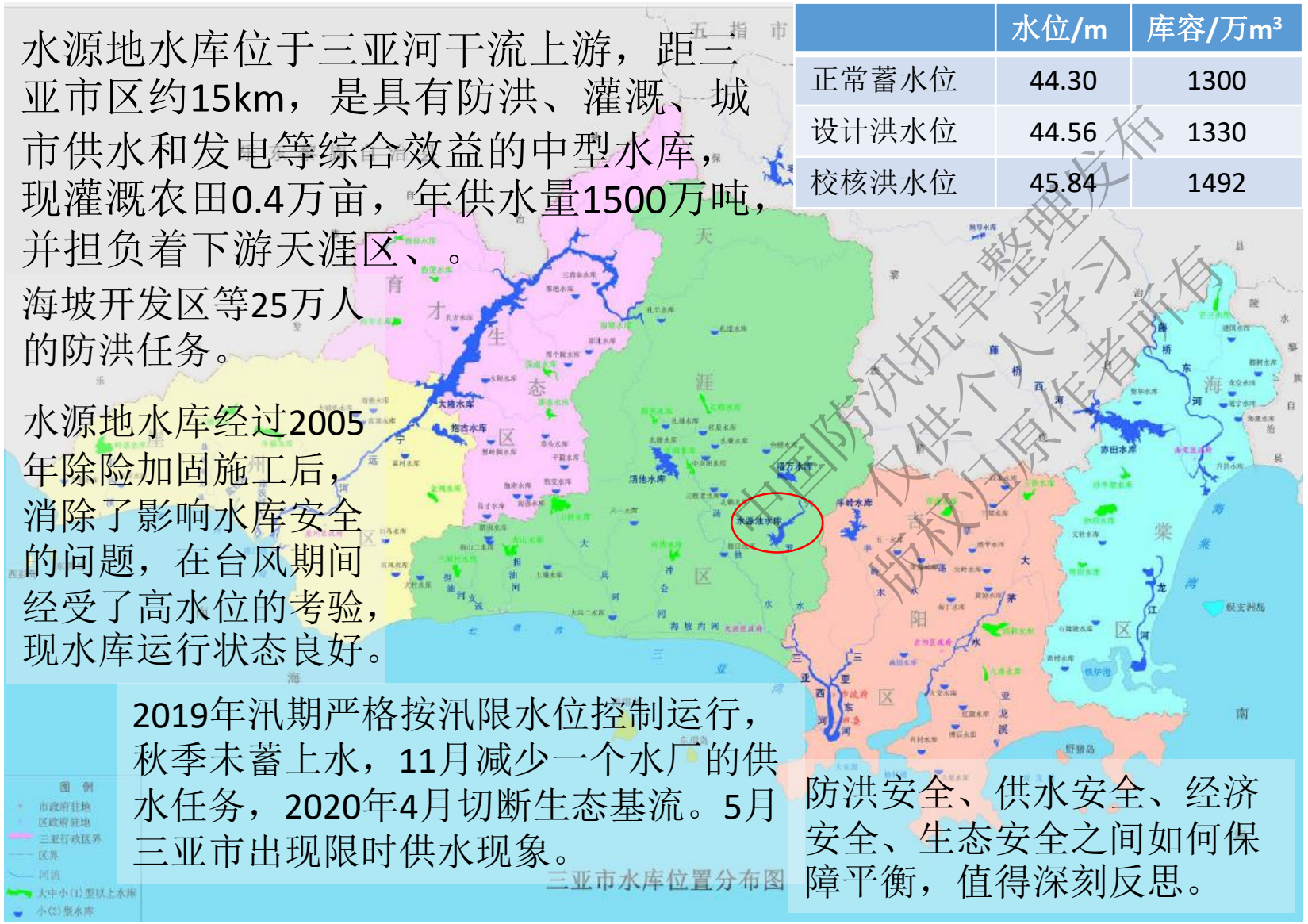
中国防汛抗旱整理汇编
仅供个人学习
版权归原作者所有

案例5 三亚市水源地水库调度的窘境

水源地水库位于三亚河干流上游，距三亚市区约15km，是具有防洪、灌溉、城市供水和发电等综合效益的中型水库，现灌溉农田0.4万亩，年供水量1500万吨，并担负着下游天涯区、。海坡开发区等25万人的防洪任务。

水源地水库经过2005年除险加固施工后，消除了影响水库安全的问题，在台风期间经受了高水位的考验，现水库运行状态良好。

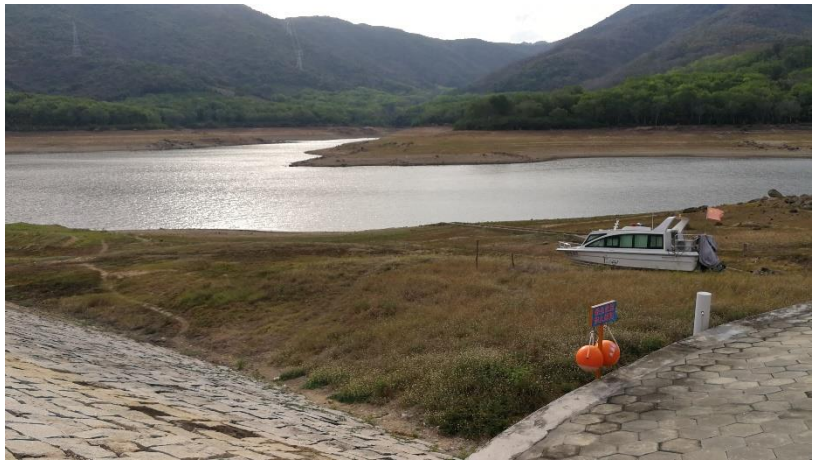
	水位/m	库容/万m³
正常蓄水位	44.30	1300
设计洪水位	44.56	1330
校核洪水位	45.84	1492



三亚市水库位置分布图

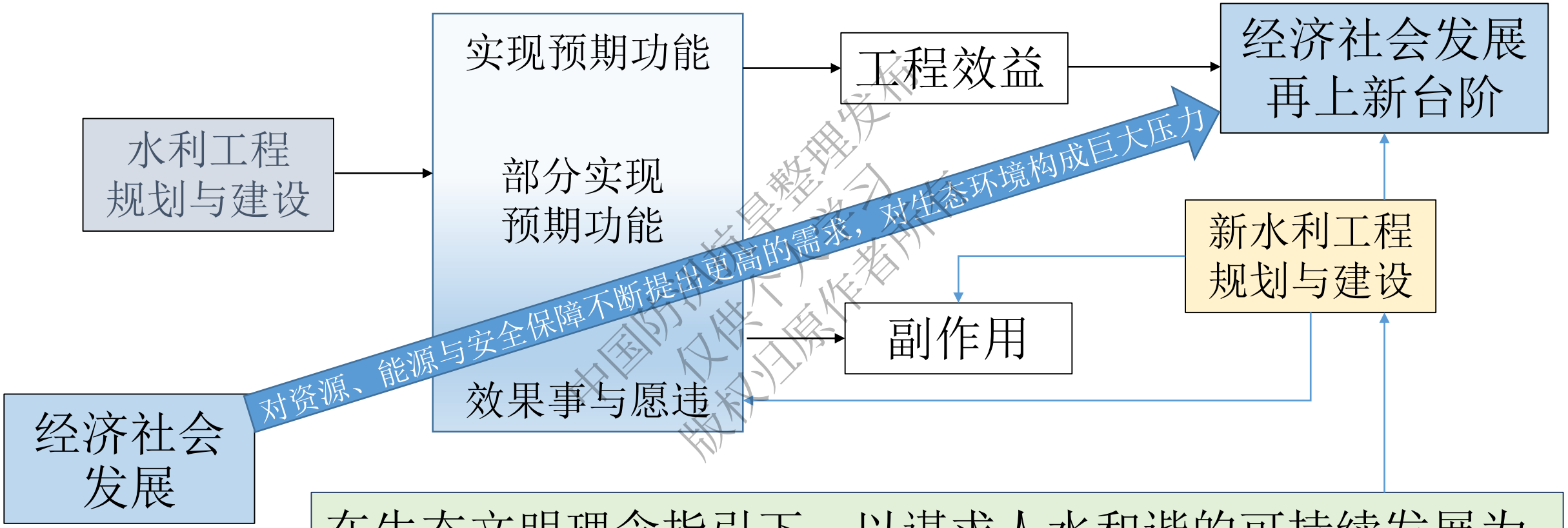
2019年汛期严格按汛限水位控制运行，秋季未蓄上水，11月减少一个水厂的供水任务，2020年4月切断生态基流。5月三亚市出现限时供水现象。

防洪安全、供水安全、经济安全、生态安全之间如何保障平衡，值得深刻反思。



中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

要辩证地看待水利工程

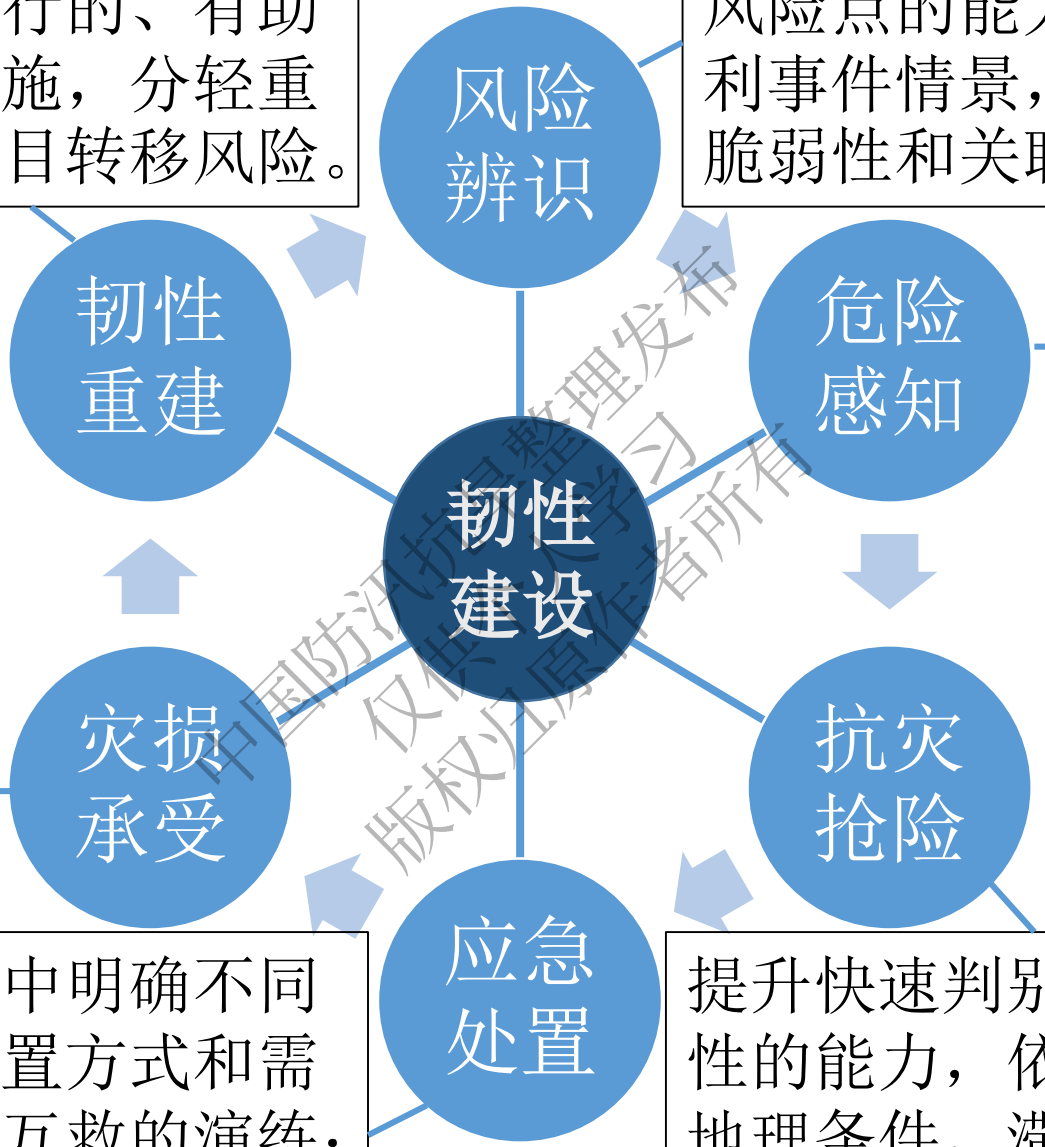


在生态文明理念指引下，以谋求人水和谐的可持续发展为目标，统筹规划，综合治理，道法自然，天人合一，依靠科技与管理的进步，构建生态环境友好的水利工程体系。

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

综合研判灾难成因、薄弱环节与短板，重建中吸取教训，探讨可行的、有助于提升系统韧性的改进措施，分轻重缓急，统筹兼顾，避免盲目转移风险。

增强识别灾害种类及其高风险区/高风险点的能力，考虑最大可能与最不利事件情景，判别可能受灾对象及其脆弱性和关联性。采取必要防范措施。



积极采取减轻风险、减少损失的防范性措施，尽可能将风险降低到可承受限度之内。采取有利于分散风险的生产经营与生活方式；以投保机制或方式在时空上分担风险。

改进监测、预报、预警系统，明确分级预警信息发布的范围、对象与有效送达方式；熟悉不同等级危险临近的前兆，加强对多源信息进行快速、综合研判的培训与演练。

增强应急处置能力，预案中明确不同规模险情的转移范围、安置方式和需要帮扶的对象，组织自保互救的演练；保障生命线系统的运营与快速修复。

提升快速判别险情类别、等级与紧迫性的能力，依托水利工程体系与自然地理条件，滞洪削峰，减势消能，将洪水破坏力调控到可承受限度之内。

中国防汛抗旱整理发布
仅供大家学习
版权归原作者所有

韧性城市不是不能淹，而是不怕淹！

- 辨识可能造成人员伤亡的高风险点，设立必要的警示标志，采取必要的防范措施，制定有效规避、撤离高风险区的应急预案。
- 对于可能受淹的建筑物，特别是城市地下空间和受突发性山洪威胁的区域，经过风险评估，设计建造或改造出可逃生的通道。
- 预见生命线工程的薄弱点与薄弱环节，采取必要防范措施；对于超出设防标准的灾害，做好生命线快速修复的预案与准备。
- 尽力增强“减势消能、滞洪削峰”的能力，设法降低雨洪流速、淹没水深，缩短受淹时间，设法将受淹状态调控在可承受的限度之内。
- 认清现代社会中灾害连锁性、突变性、传递性的特征，设法斩断灾害链，即可有效防止次生衍生灾害的发生，从而降低灾害的风险。
- 处理好发展与安全的关系，洪涝风险区中建设项目，要切实做好洪水影响评价，既防范洪水对建设项目的伤害，也避免人为加重灾害风险。

国家防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

综合治水适宜模式与风险管控值得深入思考的若干问题

- 综合治水全流程各方力量间如何建立良性互动的整合机制？
- 针对区域间自然禀赋的差异和经济社会条件的差异，综合治水如何实现治理目标的优化分解，治理方案的优化比选，实施顺序的优化安排？
- 从减少灾害损失向减轻灾害风险转变，是新时代防灾减灾的必然需求。风险普查与防控如何形成可持续模式，减轻风险措施的投入-产出如何量化？
- 基于自然的解决方案，蓝-绿-黑结合的解决方案，如何论证其合理性与有效性？在国土空间规划中，如何使方案落地？
- 增强韧性与适应性的有效措施有哪些？ 其成本-效益如何计算？如何纳入行业发展规划？
- 从谋求不断“扩大保护范围、提高防洪标准”，到注重“滞洪削峰，减势消能”，技术手段上有哪些不同？风险分担、利益共享的机制如何建立？

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习参考
版权归原作者所有

谢谢大家，
敬请指教！

城市水利专委会愿为跨学科、跨部门协作助一臂之力

扫描二维码，敬请关注水利学报

中国防汛抗旱杂志社发布
仅供个人学习
版权归原作者所有