2021年城市水利专委会工作年会

基于Godunov格式的新一代排水管网模型研发及应用

汇报人：张大伟

水利部减灾中心

2021/10/11

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

汇报提纲

01 背景意义

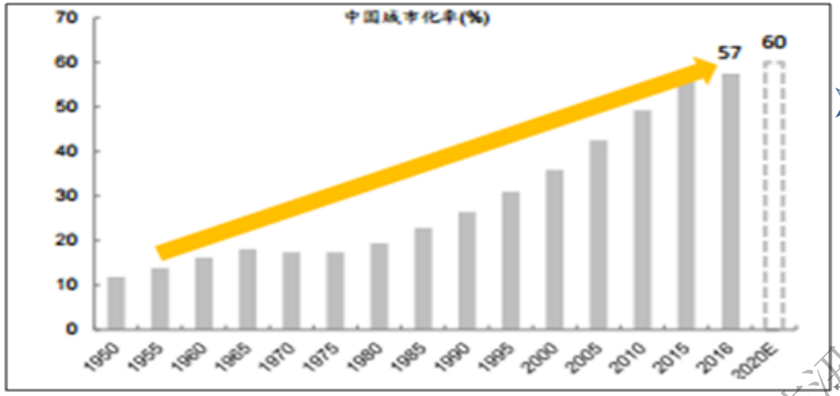
02 模型开发

03 模型验证

04 模型应用

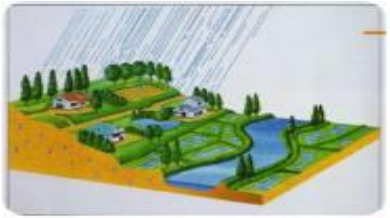
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

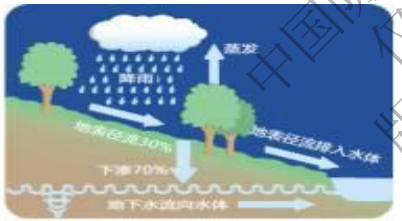
一、背景意义



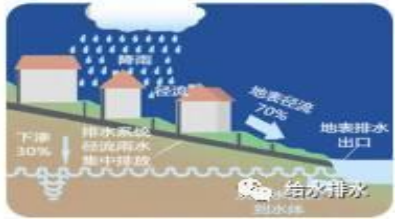
- 我国城镇化进程快速发展伴生了严重的城市洪涝问题
- 城市洪涝模型是研究解决城市洪涝问题的重要工具

城镇化之前





城镇化之后



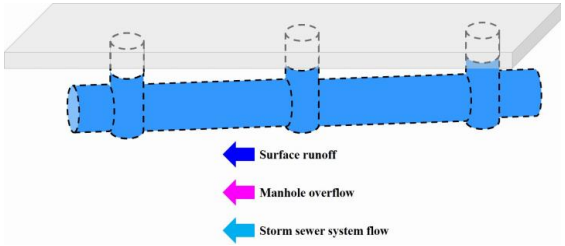
中国防汛抗旱监理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

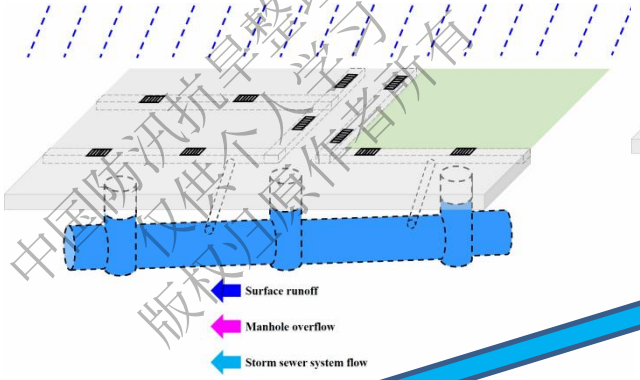
一、背景意义

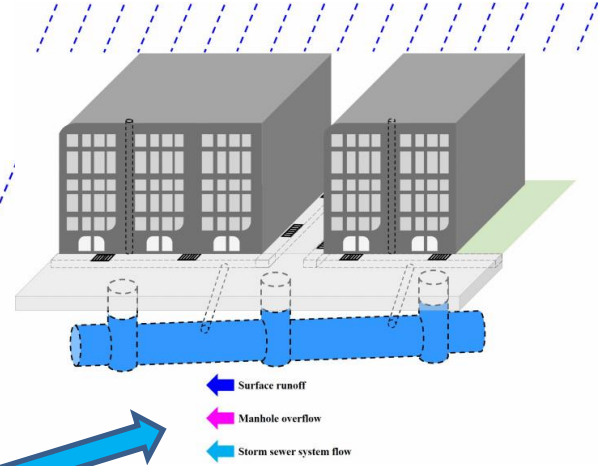
建筑物+2D网格+排水管网

2D网格+排水管网

集水区+排水管网



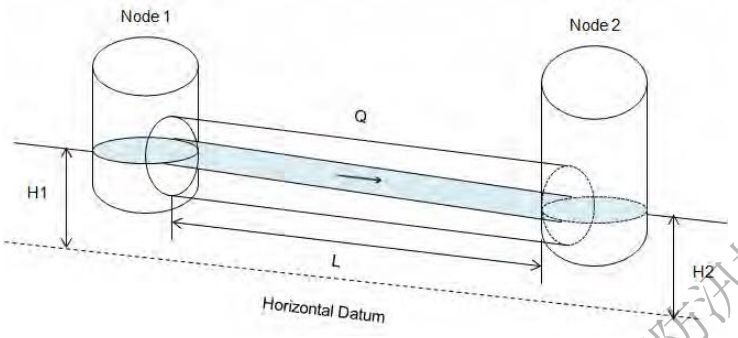




中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

城市洪涝模型的发展趋势：**实体化、精细化**

一、背景意义



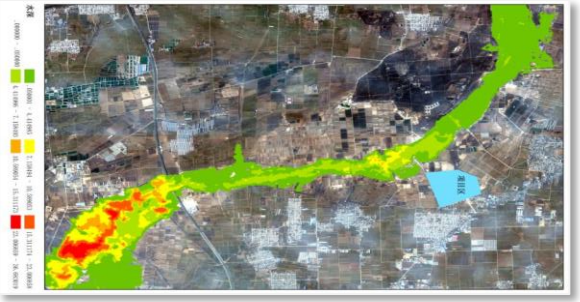
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

- 传统的“LINK-NODE”排水管网计算模式，无法细致模拟管道内部水流运动
- 传统的有限差分方法，无法自动捕捉复杂流态自动过渡的问题（超短管、大坡度）

一、背景意义

□ 传统水动力模型 ：Preissmann 格式、Abbott-Lonescu格式、ADI格式等 20世纪

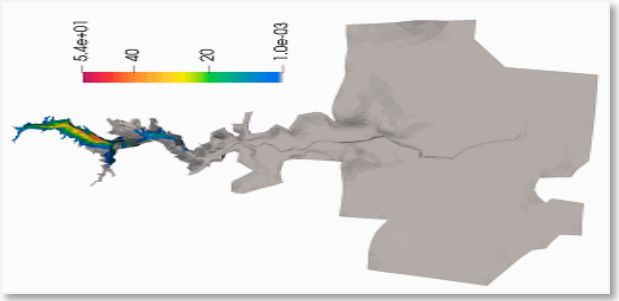
- 以隐格式为主，发展成熟，计算效率高
- 但处理流态过度问题时会出现数值震荡，甚至计算失稳
- 山丘区应用受到一定限制



普通河道洪水

□ 新一代水动力学模型 ：Roe 格式、HLL格式、HLLE格式等 21世纪

- Godunov模型被称为新一代洪水动力学模型
- 不仅能处理光滑的古典解
- 也能处理间断问题，能自动适应流态过度



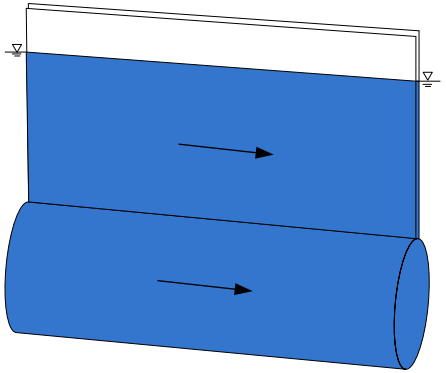
大梯度水流

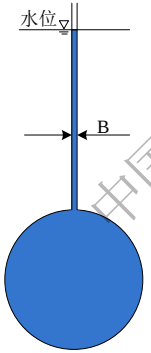
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

二、模型开发

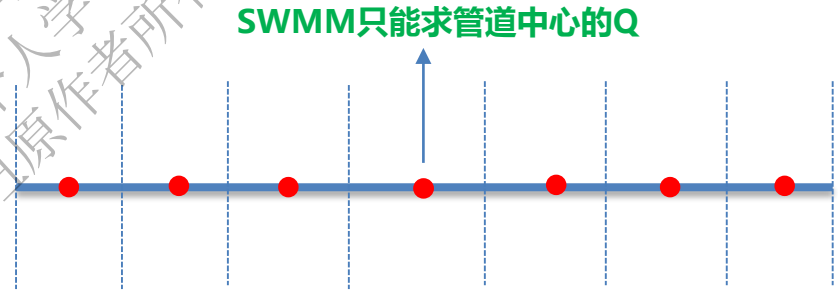
明渠流和压力流统一的控制方程：

$$D\frac{\partial U}{\partial t}+\frac{\partial F}{\partial x}=S$$





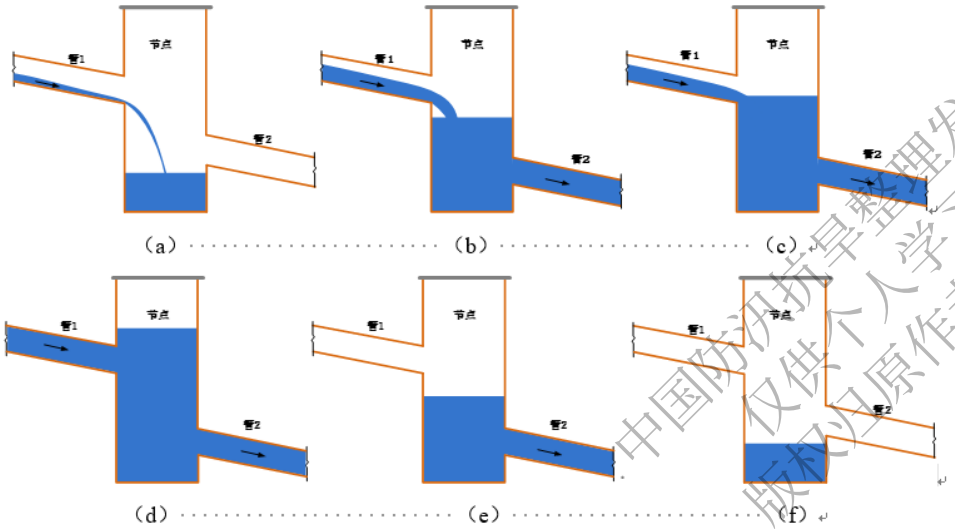
窄缝法统一明渠流和压力流控制方程

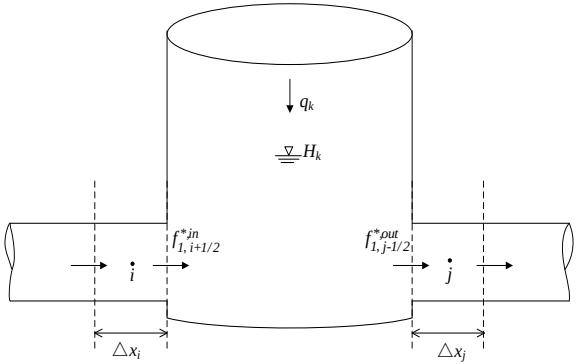


采用基于Godunov格式的有限体积法，管段任意分段可获得所有单元中心的Z，Q

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

二、模型开发





$$\sum_{i=1}^{m} f^{*,in}_{1,i+1/2} - \sum_{j=1}^{n} f^{*,out}_{1,j-1/2} + q_k = A_k \frac{H_k^{t+dt} - H_k^{t}}{dt}$$

管网节点水位对各相连管段的影响不同

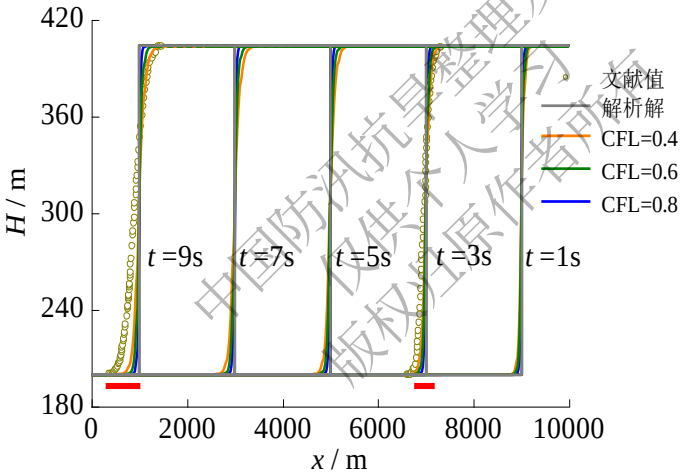
特征线与质量守恒法处理管网节点

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

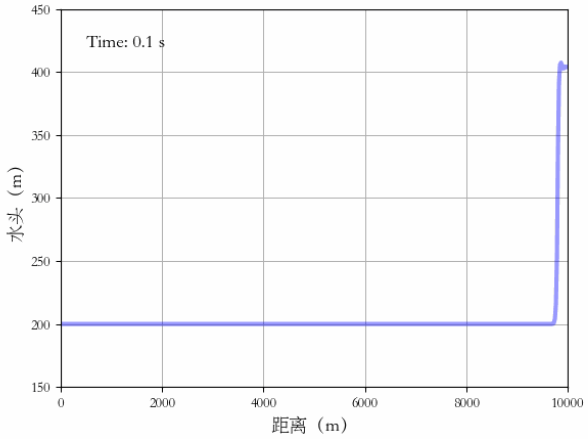
三、模型验证

1、有压瞬变流解析解算例 León et al （2009）

管道长10000m，直径10m，管道水平埋设，不考虑摩擦阻力。管道中初始恒定流速为2.0m/s，上游给定恒定的水头200m，压力波波速是1000m/s。假定下游端突然关闭，在管道中会形成水锤。在本算例中窄缝B取为0.77mm，管道离散为500个单元。



管道内压力变化过程结果比较



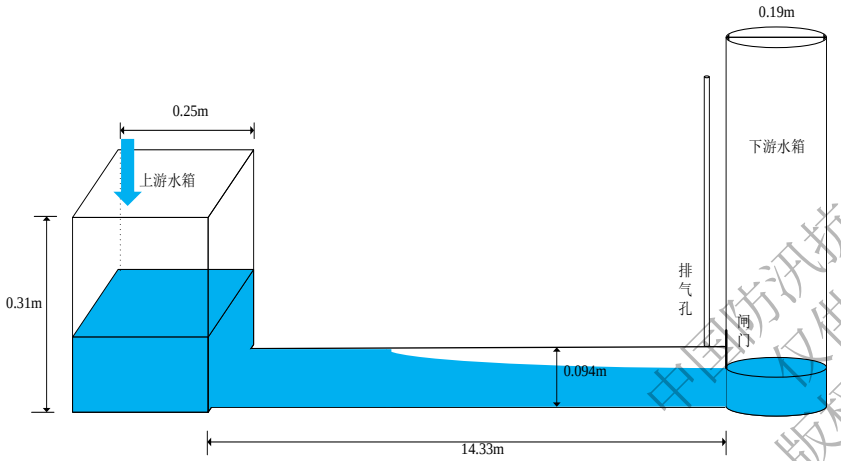
模拟的压力波运动过程

（本方法结果更锐利，无明显耗散）

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

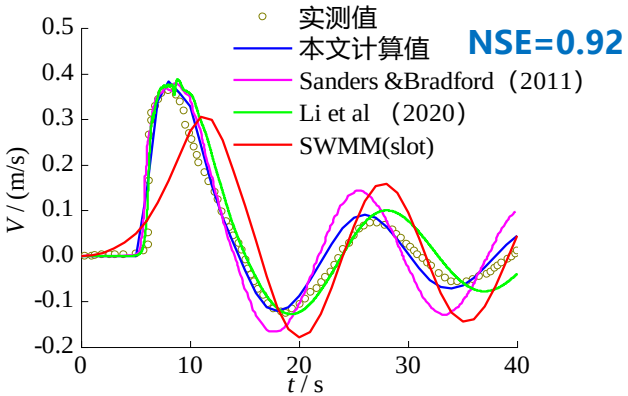
三、模型验证

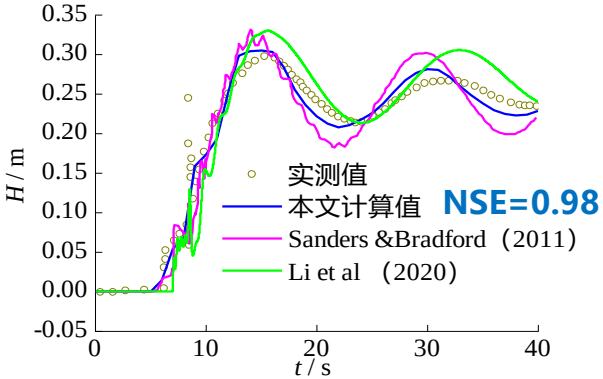
2、试验室瞬变混合流算例



Vasconcelos et al（2006）

初始水深7.3cm，上游以恒定流量3.l l/s注水。Manning糙率统一给定为0.012，水平圆管平均离散为20段，即N=20，平均每段长度72cm，波速设定为25m/s。



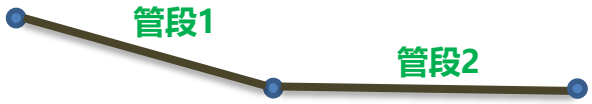


X=9.9m处计算结果比较（本方法结果更优）

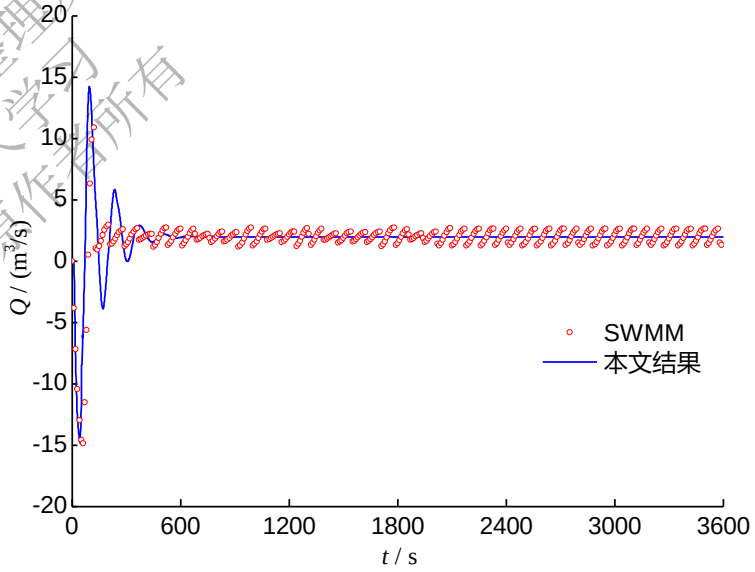
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

三、模型验证

3、大坡度管段数值算例



管段1和管段2均为100m长，节点1底高程5m，节点2和节点3为0m，管段1的坡度达到了5%，属于坡度比较陡的管段，管段1和管段2的直径均为3m，节点1提供恒定入流边界2m³/s，节点3为一恒定水位2m，糙率取为0.01，起始阶段管段和节点水深均为0m

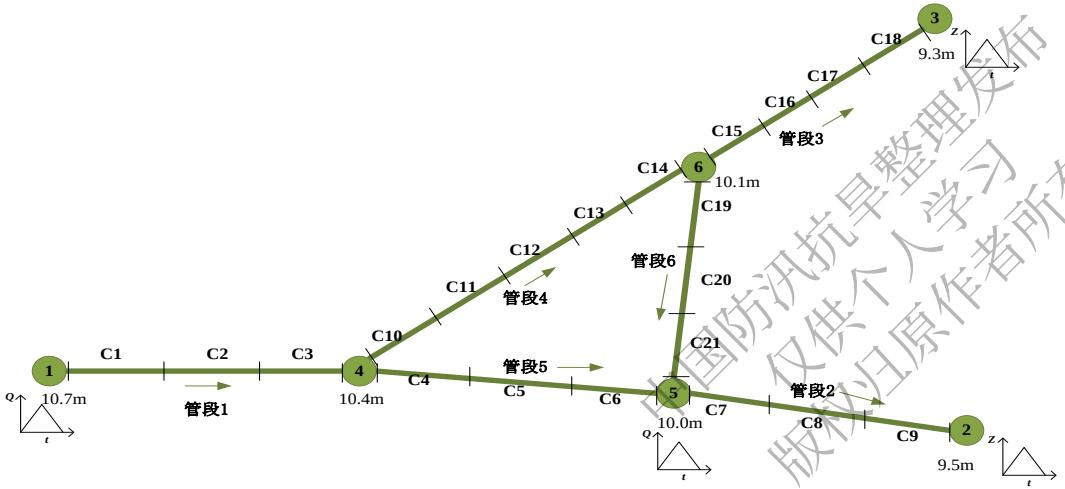


本文结果与SWMM比较（SWMM数值震荡）

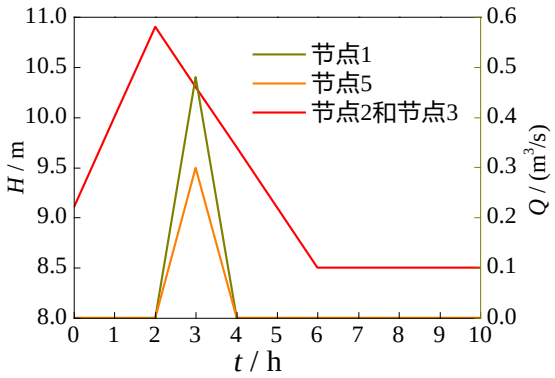
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

三、模型验证

4、经典排水管网数值算例



国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

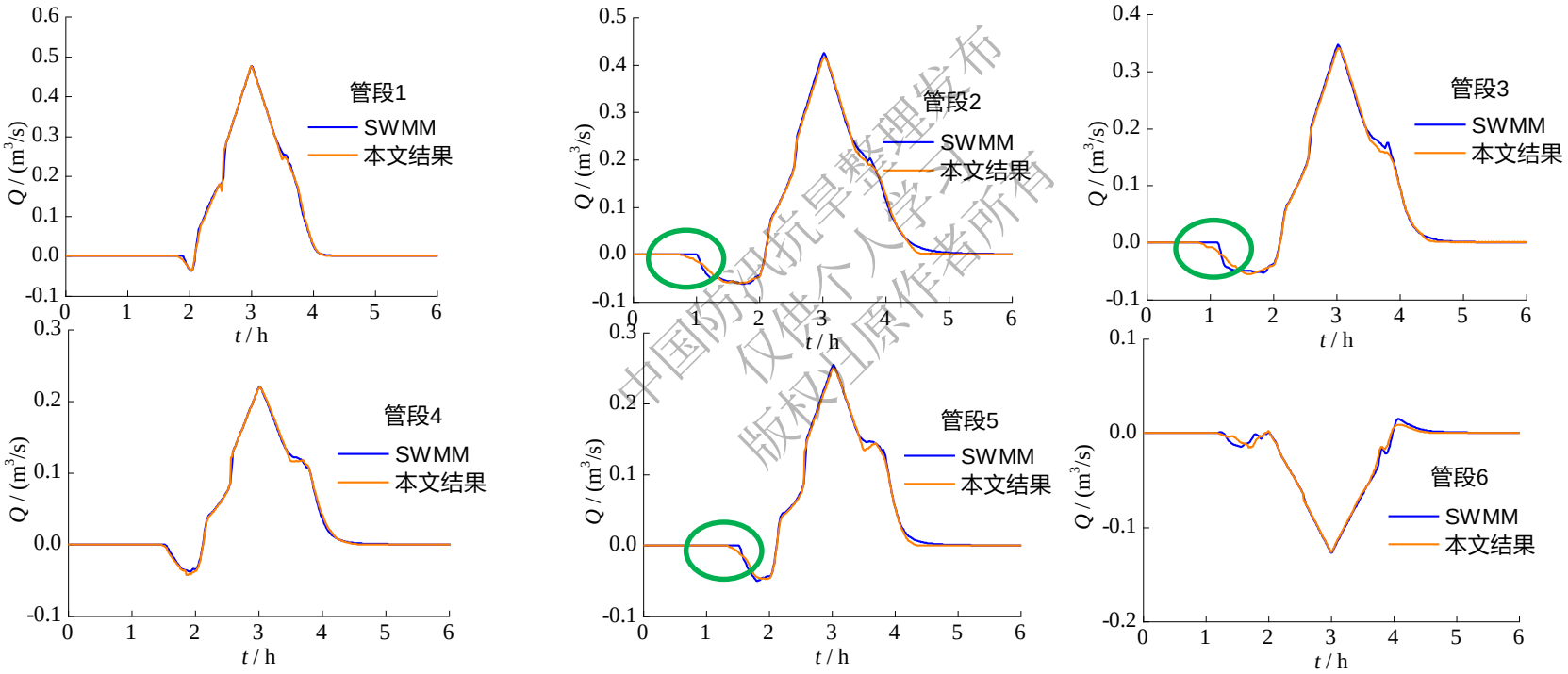


边界条件

管段编号	长度（m）	管径（m）	起点高程（m）	终点高程（m）	糙率
1	300	0.8	10.7	10.4	0.0125
2	300	0.5	10.0	9.5	0.0125
3	410	0.5	10.1	9.3	0.0125
4	500	0.5	10.4	10.1	0.0125
5	300	0.5	10.4	10.0	0.0125
6	310	0.5	10.1	10.0	0.0125

三、优势比较

3、经典排水管网数值算例

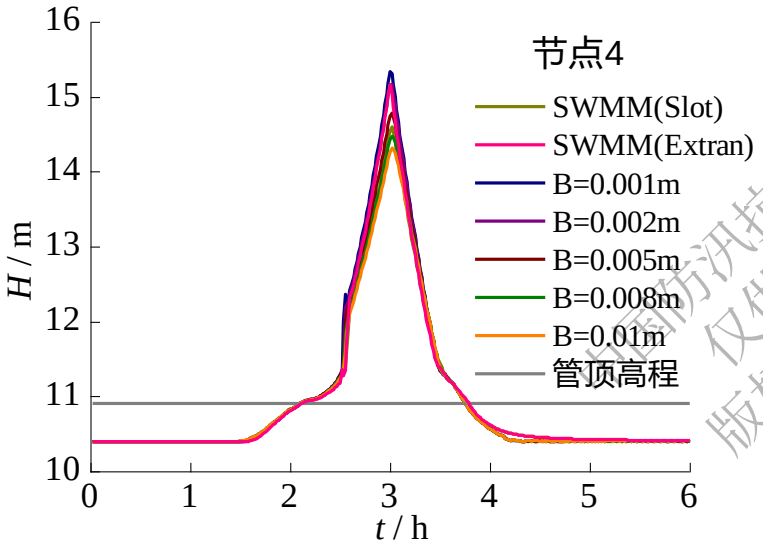


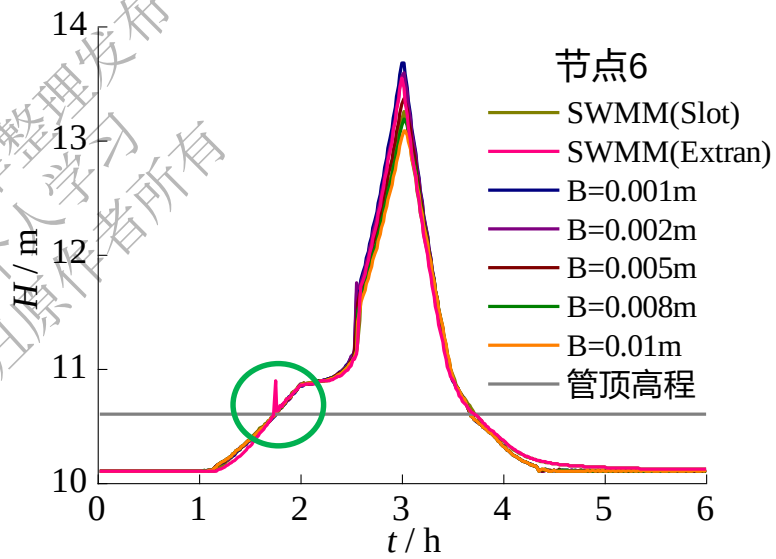
中国防洪抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

本模型与SWMM模型管段流量比较（本方法水流起涨模拟更准确）

三、优势比较

3、经典排水管网数值算例





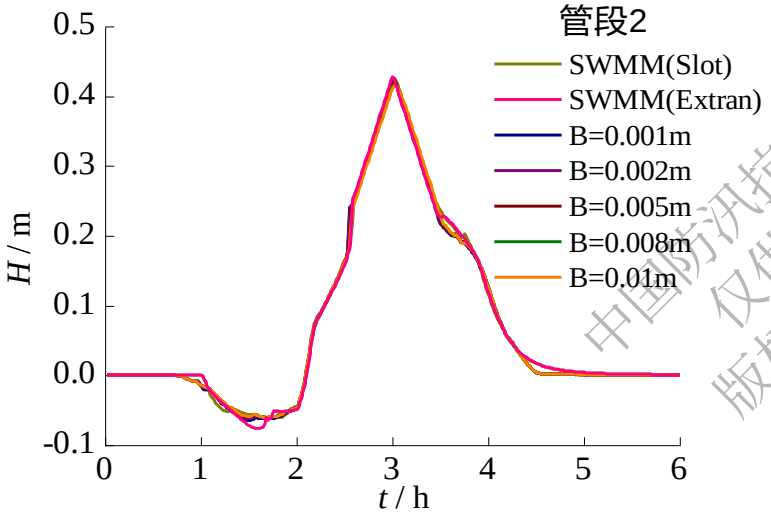
防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

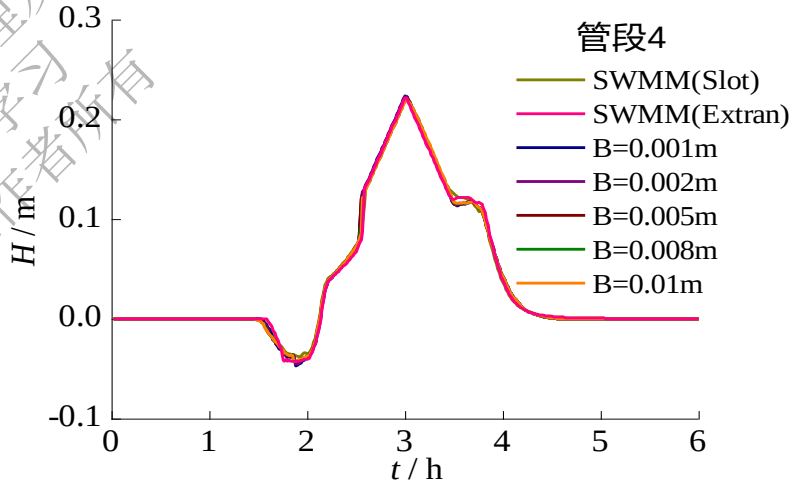
本模型与SWMM模型节点水头比较（SWMM（Extran）有震荡）

B=0.002m时的计算结果与SWMM（Extran）的计算结果最为接近，*B*=0.008m时的计算结果与SWMM（Slot）的结果比较接近

三、优势比较

3、经典排水管网数值算例



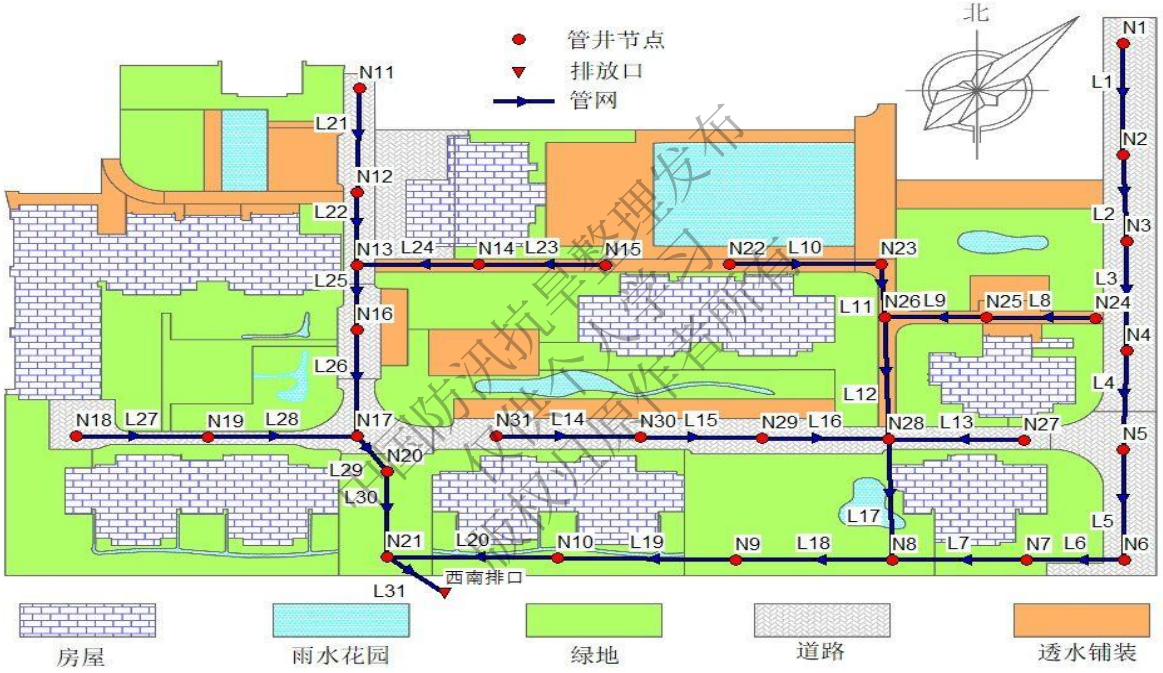


中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

不同窄缝值对管段流量的影响

*B*变化时，管道2的峰值流量由0.4157m^3/s增大到0.4245m^3/s，管道4峰值流量由0.2195m^3/s增大到0.2232m^3/s。

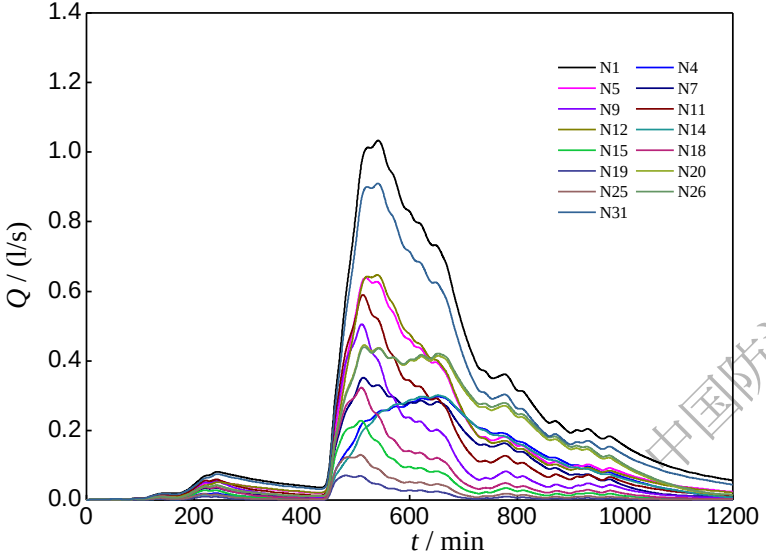
四、模型应用



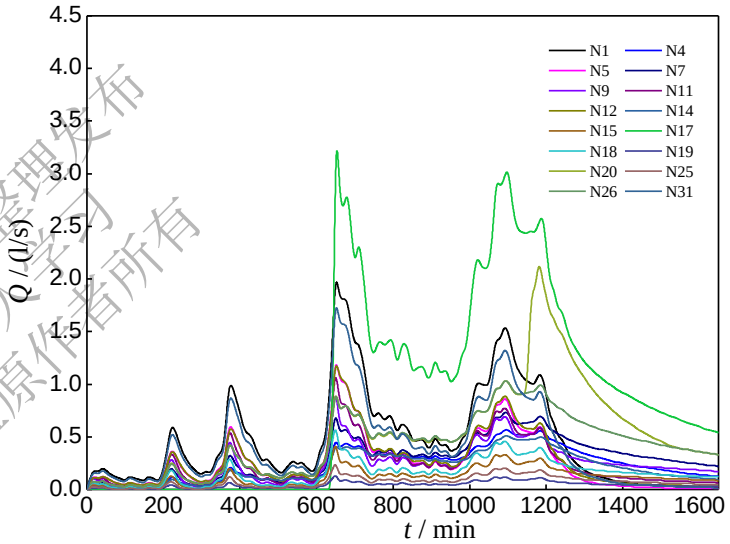
陕西省西咸新区内的天福和园小区

该小区共有31个管网节点，31段排水管和1个排水出口

四、模型应用



（a）20170909次

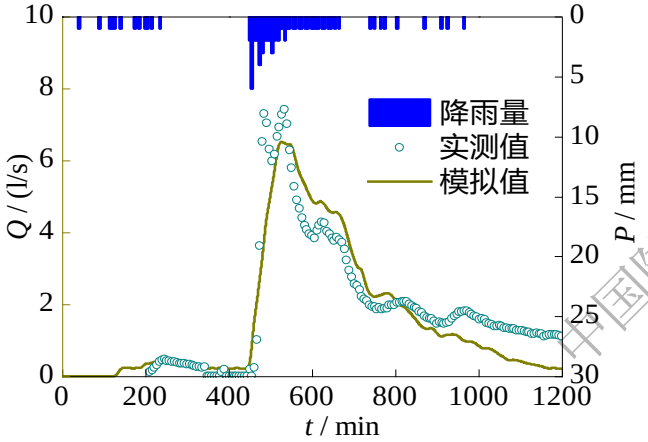


（b）20170926次

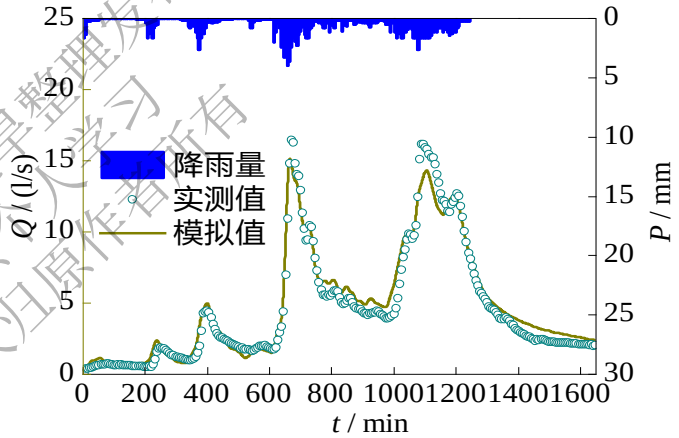
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

排水管网各节点入流过程

四、模型应用



（a）20170909次



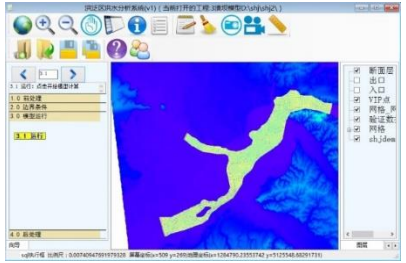
（b）20170926次

排水管网出口模拟出流过程与实测值对比

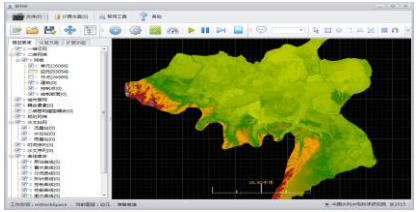
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

四、模型应用

溃坝洪水分析系统（2008）

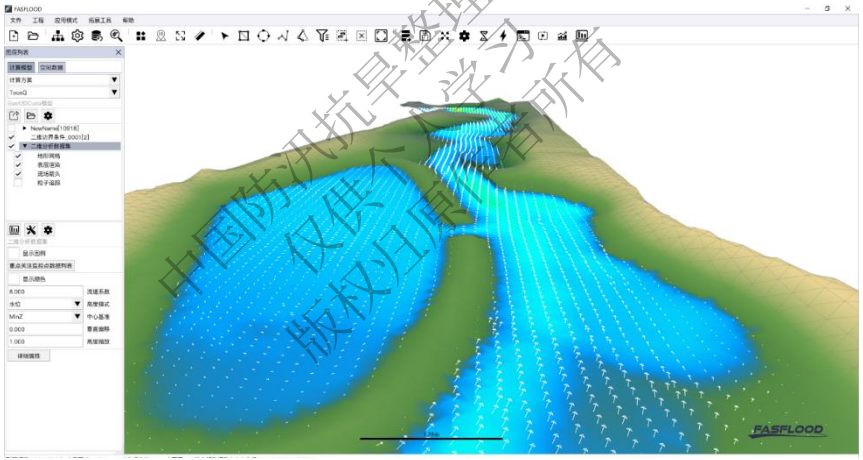


洪泛区洪水分析系统（2012）



洪水分析软件IFMS（2015）

建模过程FAST ＋ 计算速度FAST ＋ 结果渲染FAST



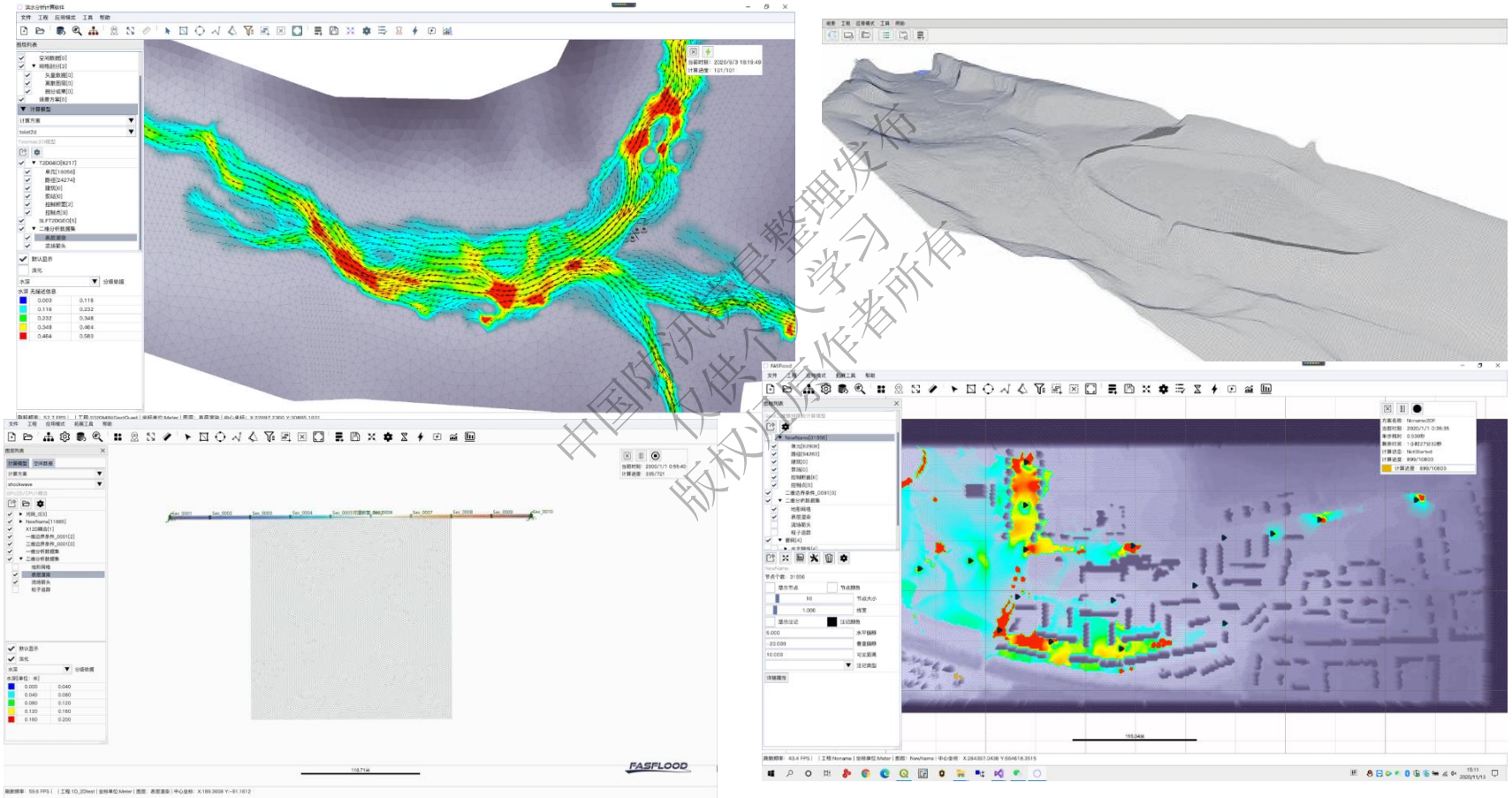
FASFLOOD主界面（2021）

(Fast Analysis System for Flood)

- 十年的延续性工作；
- 3DGIS平台；
- 二维非结构网格剖分；
- 2DGPU、MPI、TPL；
- 1D GPU、TPL、SWMM；
- Coupled 1D-2D；
- 完善的前后处理功能。

中国防汛抗旱管理发展
仅供个人学习
版权归原作者所有

四、模型应用



中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

恳请各位领导、专家批评指正！

- 张大伟(13810783315)
- 水利部减灾中心
- zhangdw@iwhr.com

个人微信

中国防汛抗旱整理发布
仅供人学习
版权归原作者所有