西安理工大学
XI'AN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室
STATE KEY LABORATORY OF ECO-HYDRAULICS IN NORTHWEST ARID REGION OF CHINA

基于高效高精度水动力-水质模型的城市内涝及合流制溢流污染研究

中国防汛抗旱管理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

王添　李欣怡　杨露

西安理工大学

2021年10月11日

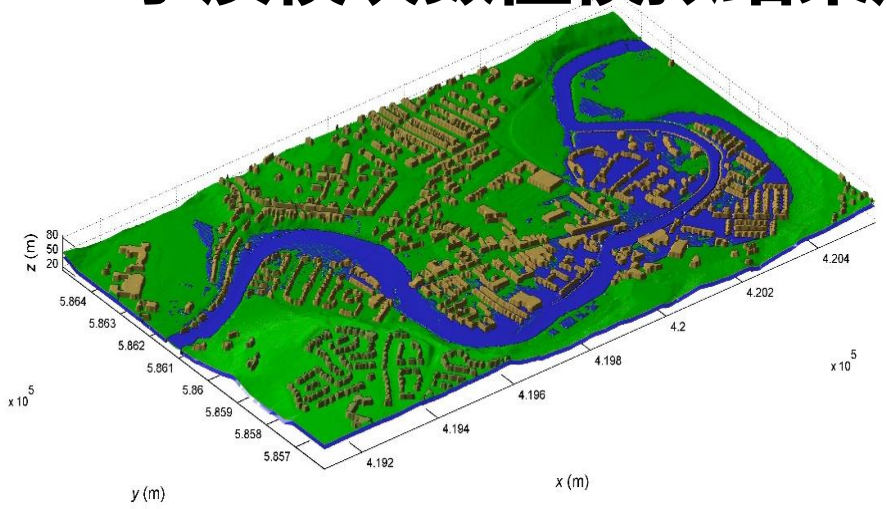
水模拟及灾害管理
Group of Water Simulation & Flood Management

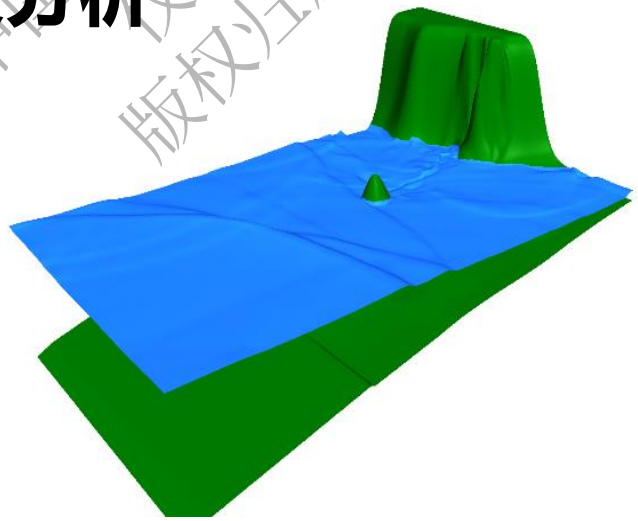
t.wang@xaut.edu.cn

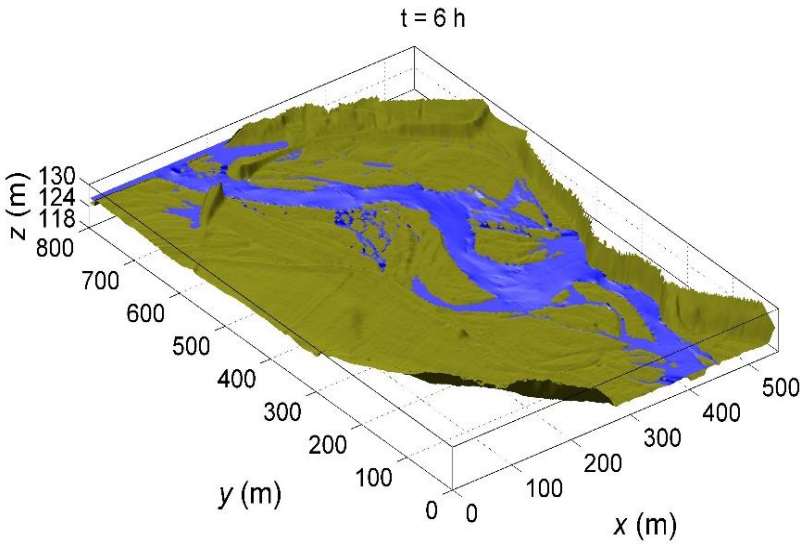
报告提纲

- ➢研究背景
- ➢GAST-SWMM数值模型
- ➢基础数据处理与模型设置
- ➢城市排水管网模块数值模拟及结果分析
- ➢城市雨洪模型模块数值模拟结果及分析
- ➢水质模块数值模拟结果及分析

中国防汛抗旱管理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有



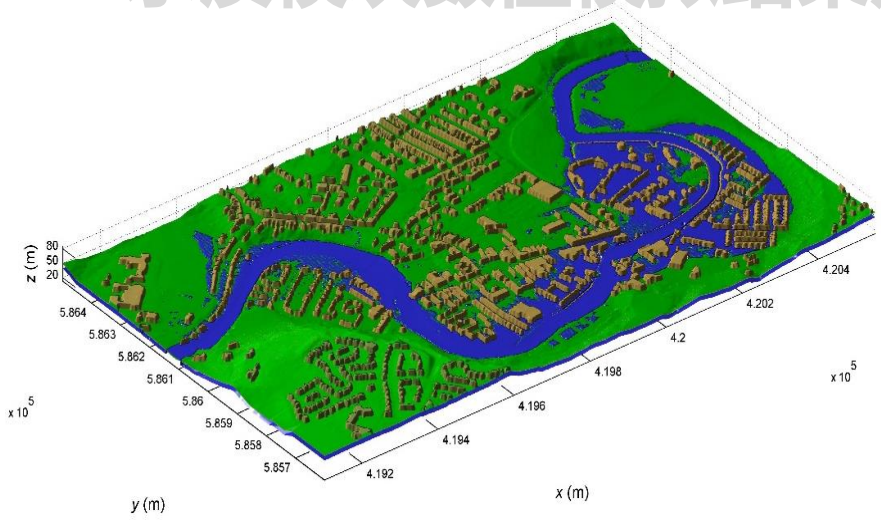


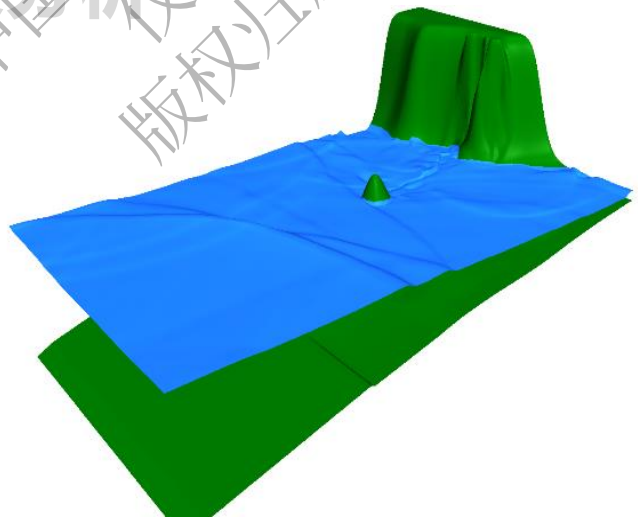


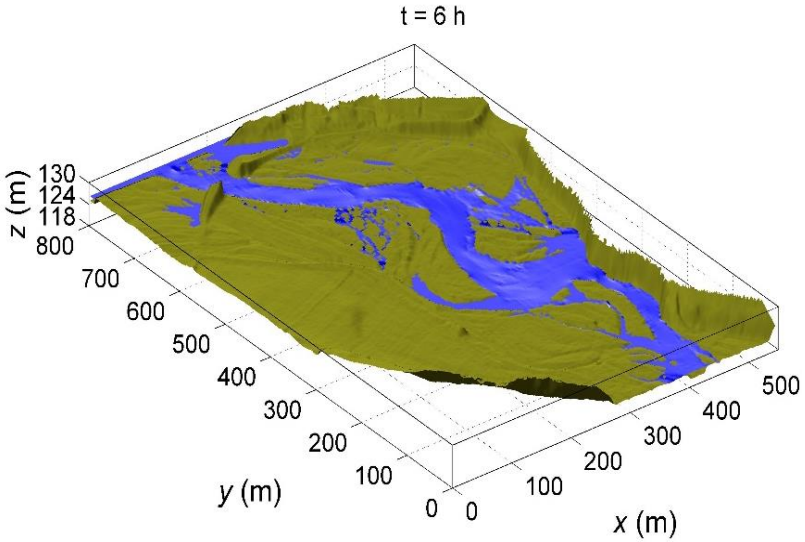
报告提纲

- ➢研究背景
- ➢GAST-SWMM数值模型
- ➢基础数据处理与模型设置
- ➢城市排水管网模块数值模拟及结果分析
- ➢城市雨洪模型模块数值模拟结果及分析
- ➢水质模块数值模拟结果及分析

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

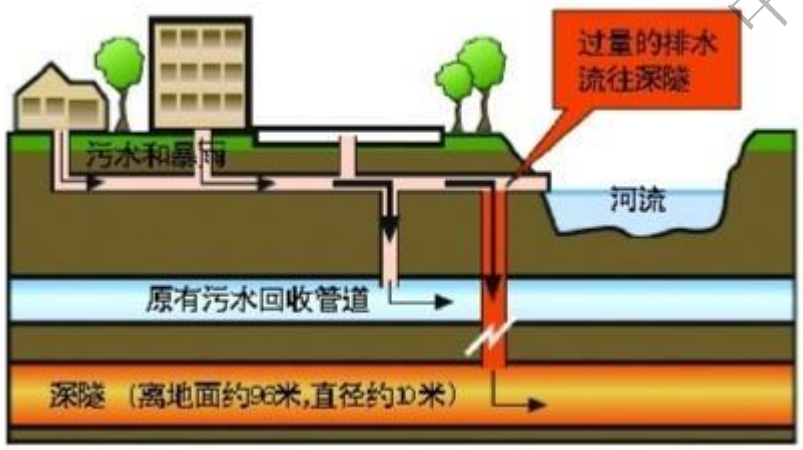






研究背景

近年来，随着城市生态环境的建设，我国城市点源污染控制效果良好，但**合流制管道溢流作为城市典型的非点源污染的危害日益凸显出来**。由于历史和经济等原因，合流制排水系统仍存在于国内外大多数老城区中，承载着城市生活污水和雨水收集、输送、排放等任务，**但在降雨时，存在着溢流污染问题**。溢流污水中含有各种病原微生物、氮磷等营养元素、各种病菌及有毒有害物质，会在降雨期间通过侵蚀或冲刷进行迁移，对城市水体造成污染。**合流制溢流污染已经成为城市水环境污染、生态系统失衡的重要原因，对城市生态环境产生了严重的威胁，因此，溢流污染的研究治理已十分紧迫。**

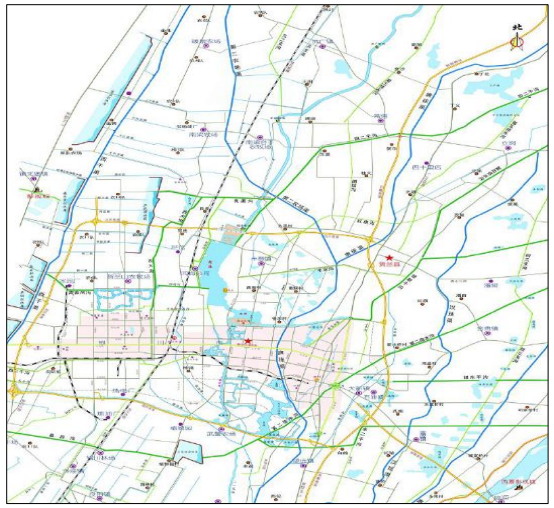


中国防汛抗旱管理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

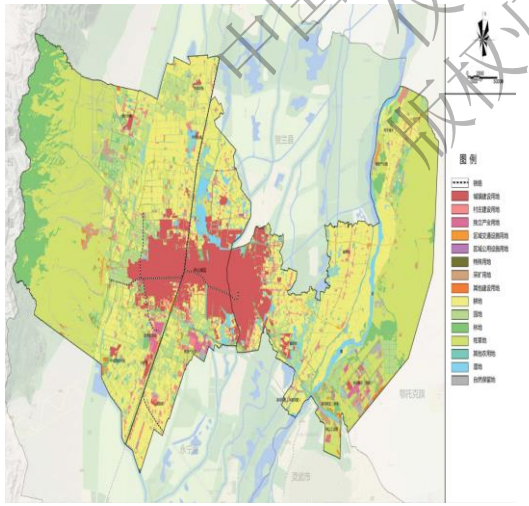
研究背景

银川市作为第三批全国黑臭水体治理示范城市，建成区的挡浸沟、银东干沟、城市四排沟、银新干沟、第二排水沟、西大沟、平伏桥四清沟、陈家圈沟、满城街东侧排水沟共9条黑臭水体整治工程全面完成。

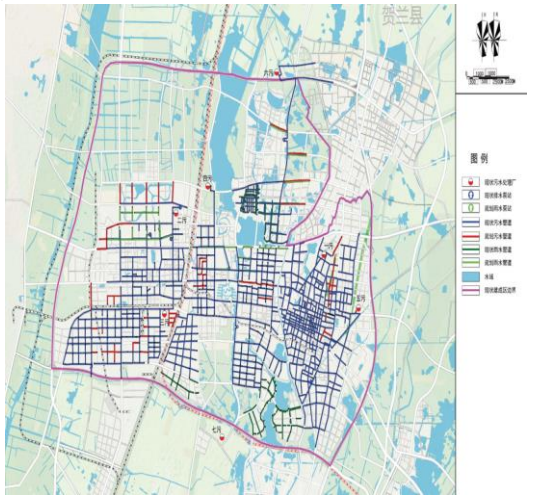
银川市属于合流制排水系统建设的城市，**绝大部分地区都已按雨污合流制建设**。为巩固治理成效，加快改善城市水环境质量，**本研究通过搭建数值模型进行模型模拟，对未来可能产生的污染和内涝风险进行模拟，起到预警评估的作用**。同时，根据目前银川市整体排水系统，充分发挥调蓄能力减缓降雨时城市产生的内涝积水问题和合流制溢流污染问题。



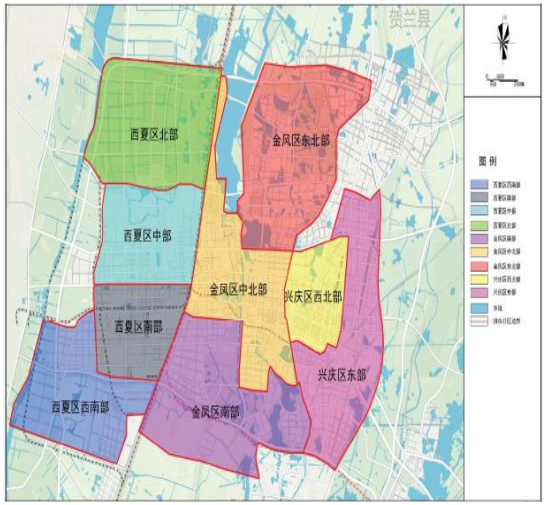
银川市水系分布图



银川市土地利用现状图



银川市排水设施现状图



银川市现状排水分区图

中国防汛抗旱管理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

研究目标

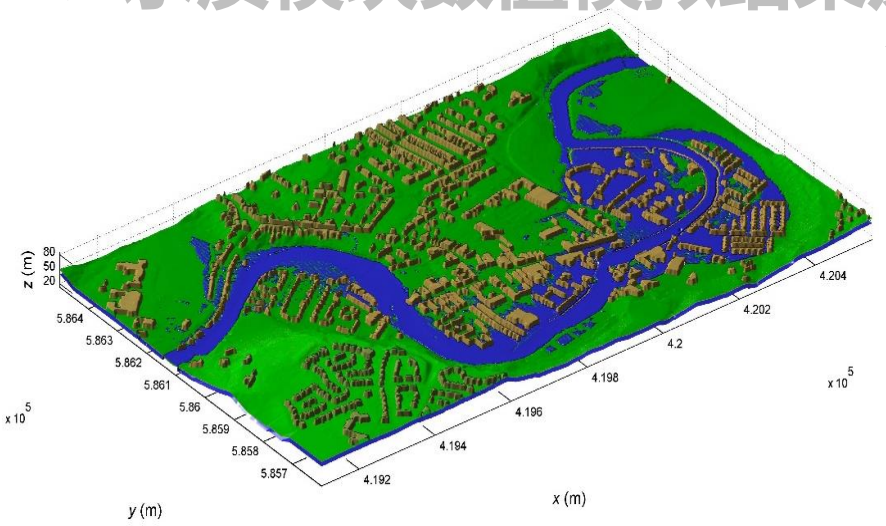
- 构建研究区域的城市产汇流、积涝及排水过程的高效城市雨洪模型
- 构建研究区域管网模型，对管网现状排水能力评估，并根据规划方案做规划前后对比
- 构建沟体水动力-水质模型，通过对工程建设项目前后的效果对河道的水质进行动态模拟

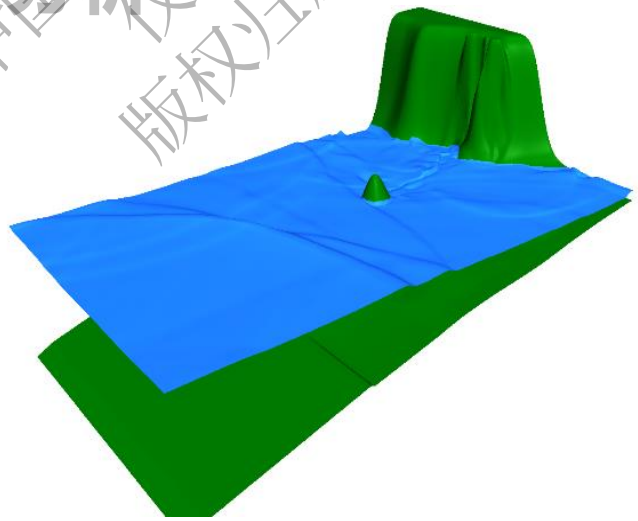
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

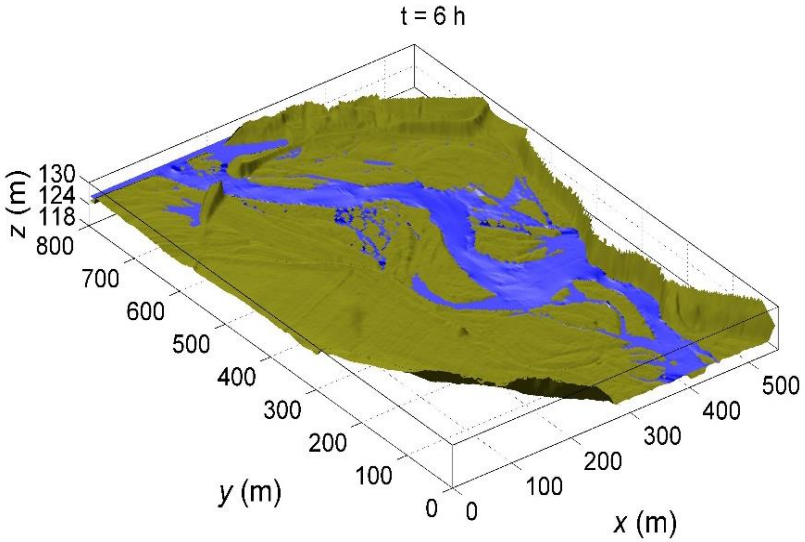
报告提纲

- 研究背景
- **GAST-SWMM数值模型**
- 基础数据处理与模型设置
- 城市排水管网模块数值模拟及结果分析
- 城市雨洪模型模块数值模拟结果及分析
- 水质模块数值模拟结果及分析

中国防汛抗旱管理发布
仅供个人学习
版权归原作所有



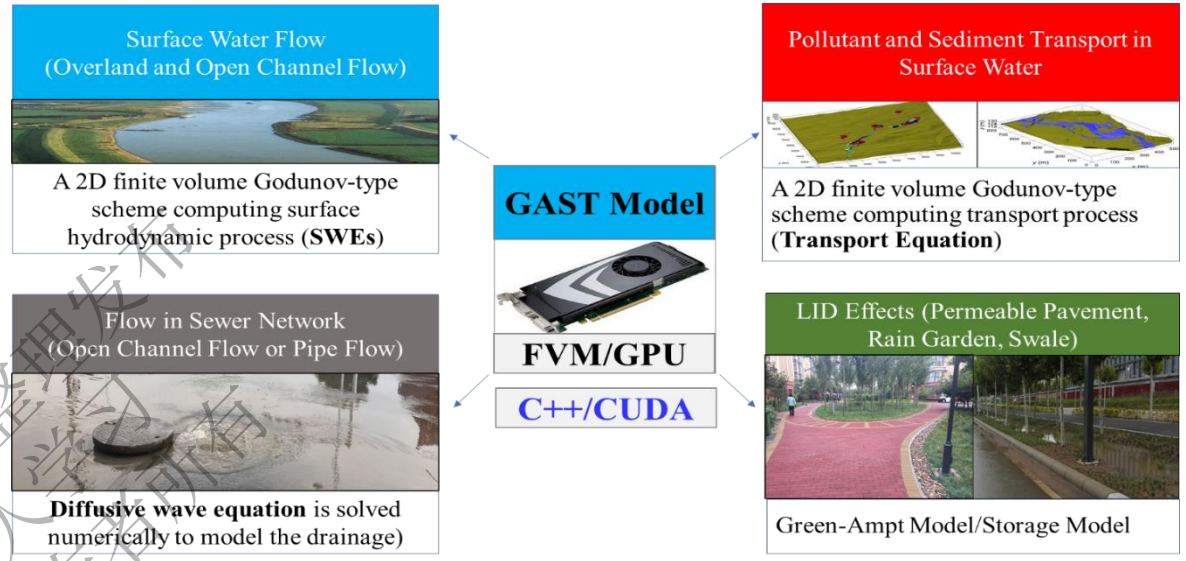




GAST-SWMM数值模型

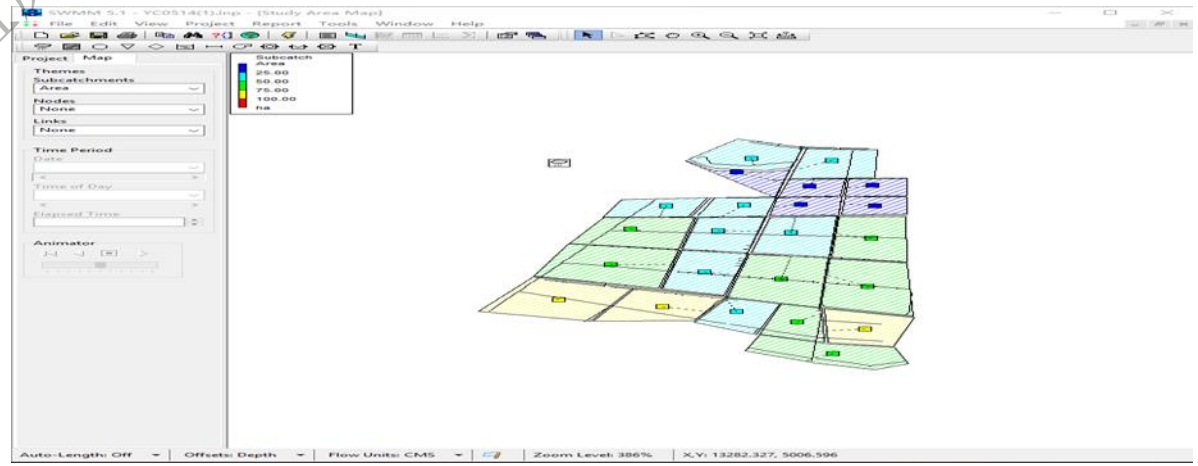
➢ GAST模型

GAST模型是西安理工大学水模拟及灾害管理研究团队合作开发的用于模拟地表水及其伴随输移过程的数值模型。为集合了地表、地下和管道水动力模型，并耦合了污染物输运、扩散和反应过程的模拟系统。语言采用C++及用于GPU并行计算的CUDA语言，具有高精度、高效率和高稳定性。



➢ SWMM模型

SWMM 是由美国国家环境保护署 于 20 世纪 70 年代研制的城市暴雨管理模型。该模型可模拟完整的城市降雨径流，包括地表径流和排水管网中水流、地表污染物的积聚与冲刷、合流污水溢流过程等。

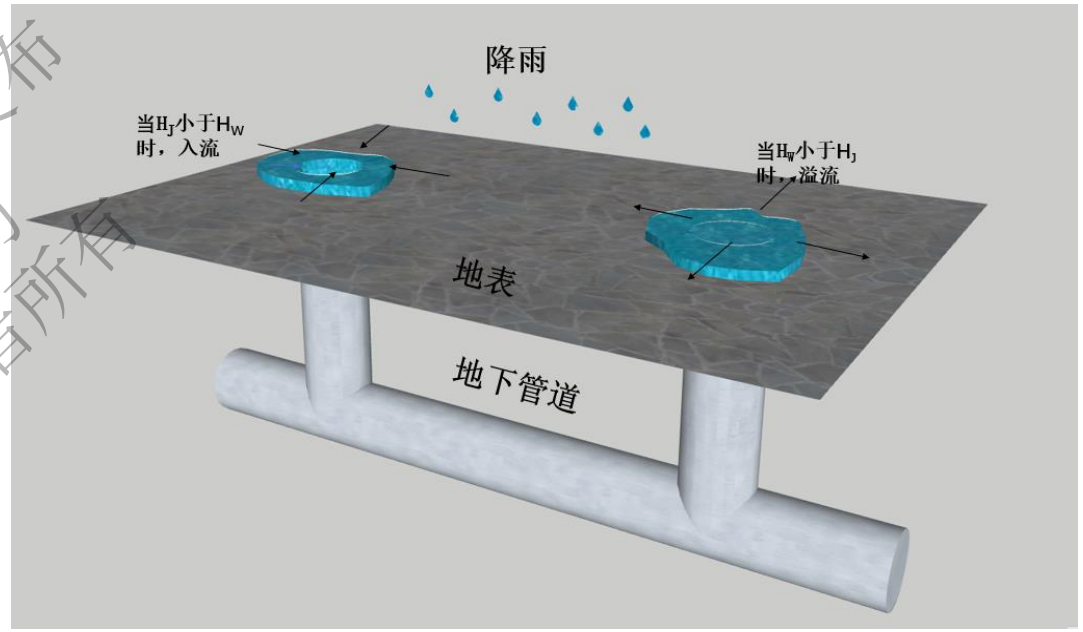


中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

GAST-SWMM数值模型

地表汇流过程中使用GAST模型进行汇流计算，在雨水井等节点处与地下管网进行水量交换（入流或溢流），耦合SWMM管网模块。

假设某一节点水位为*HJ*，而和该节点对应的地表网格水位为*HW*。



入流/回流 ***HJ > HW***

入/回流量

$$Q_R = \begin{cases} m_v b\sqrt{2g}H_w^{\frac{3}{2}} & if\ H_W > Z > H_J \\ m_k A_P\sqrt{2g(H_W - H_J)} & if\ H_W > H_J > Z \end{cases}$$

回流量限制

$$Q_R = \min\left(Q_R, Q_A, V / t^{n+1}\right)$$

溢 流 ***HJ < HW***

溢流量

$$Q_Y = m_k A_P\sqrt{2g(H_J - H_W)}$$

溢流量限制

$$Q_Y = \min\left(V_Z / t^{n+1}, Q_A, Q_Y\right)$$

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

GAST-SWMM数值模型

➢ 面源污染与水质模型

（1）地表污染物的累积模型

计算污染物累积的方法有很多，SWMM模型提供了四种方法对地面污染物的累积过程进行模拟，包括线性函数累积方程、幂函数累积公式、指数函数累积公式、饱和函数累积公式。

（2）地表污染物的冲刷模型

SWMM模型提供了三种方法对污染物的冲刷过程进行模拟，包括指数函数方程、流量特性冲刷曲线、次降雨平均浓度。

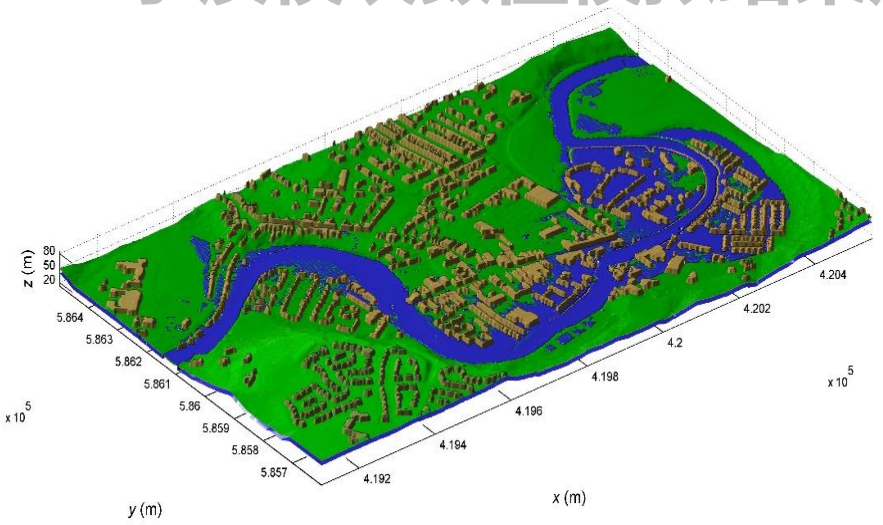
污染物排口处的照片及地图定位

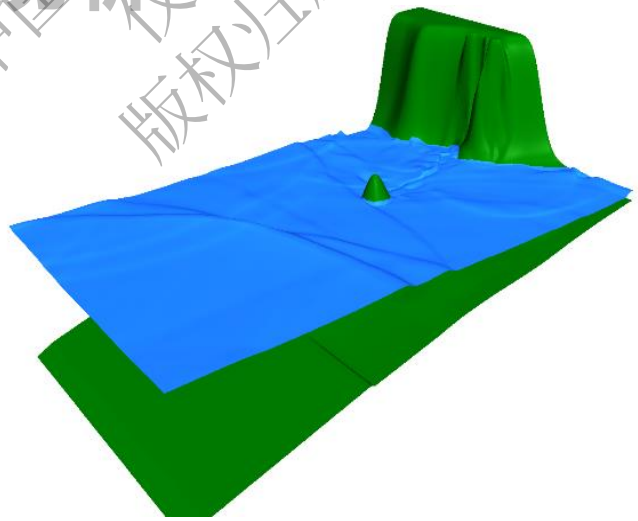
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

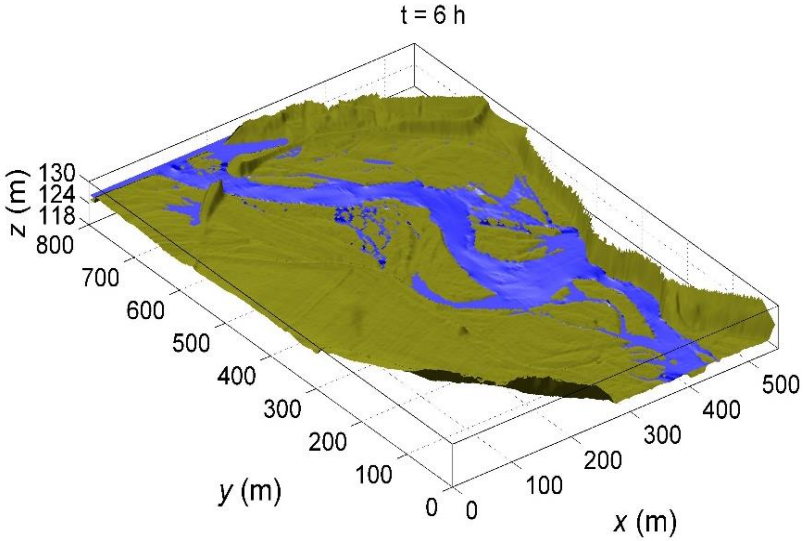
报告提纲

- 研究背景
- GAST-SWMM数值模型
- **基础数据处理与模型设置**
- 城市排水管网模块数值模拟及结果分析
- 城市雨洪模型模块数值模拟结果及分析
- 水质模块数值模拟结果及分析

中国防汛抗旱管理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有



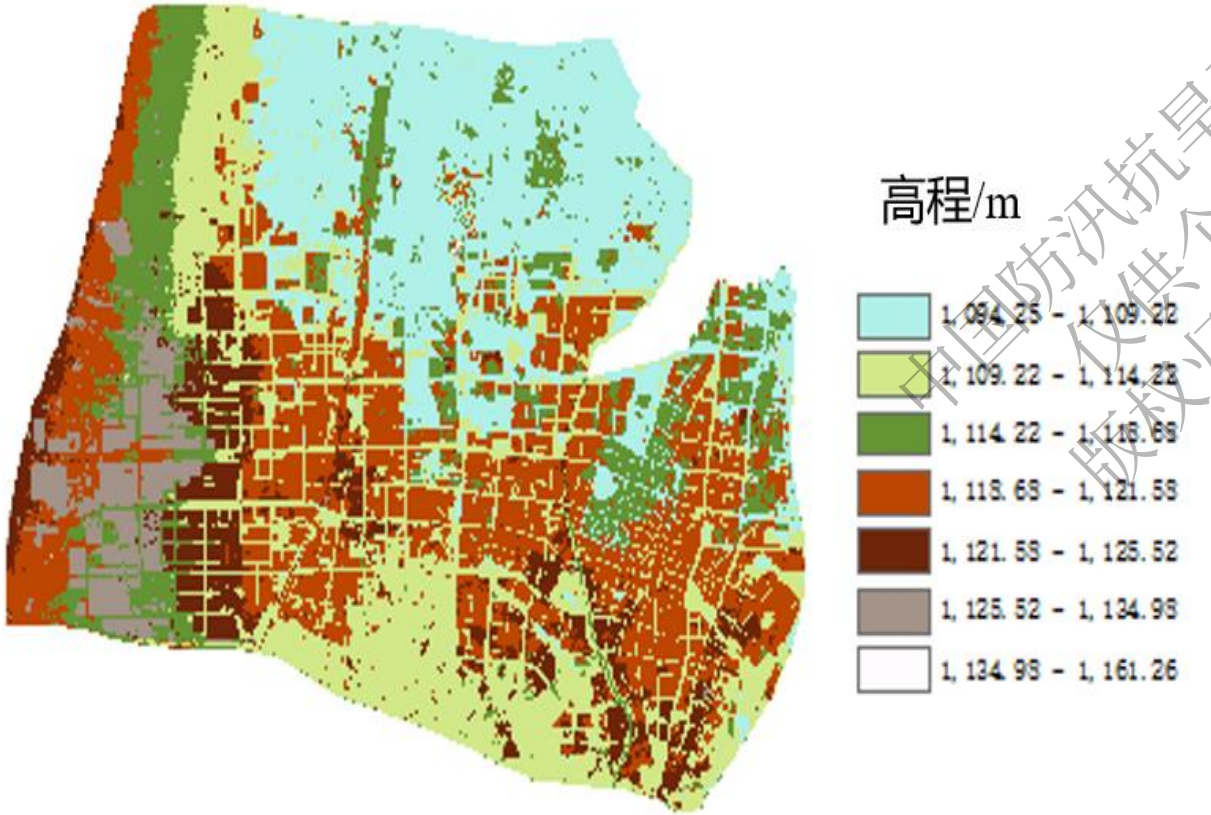




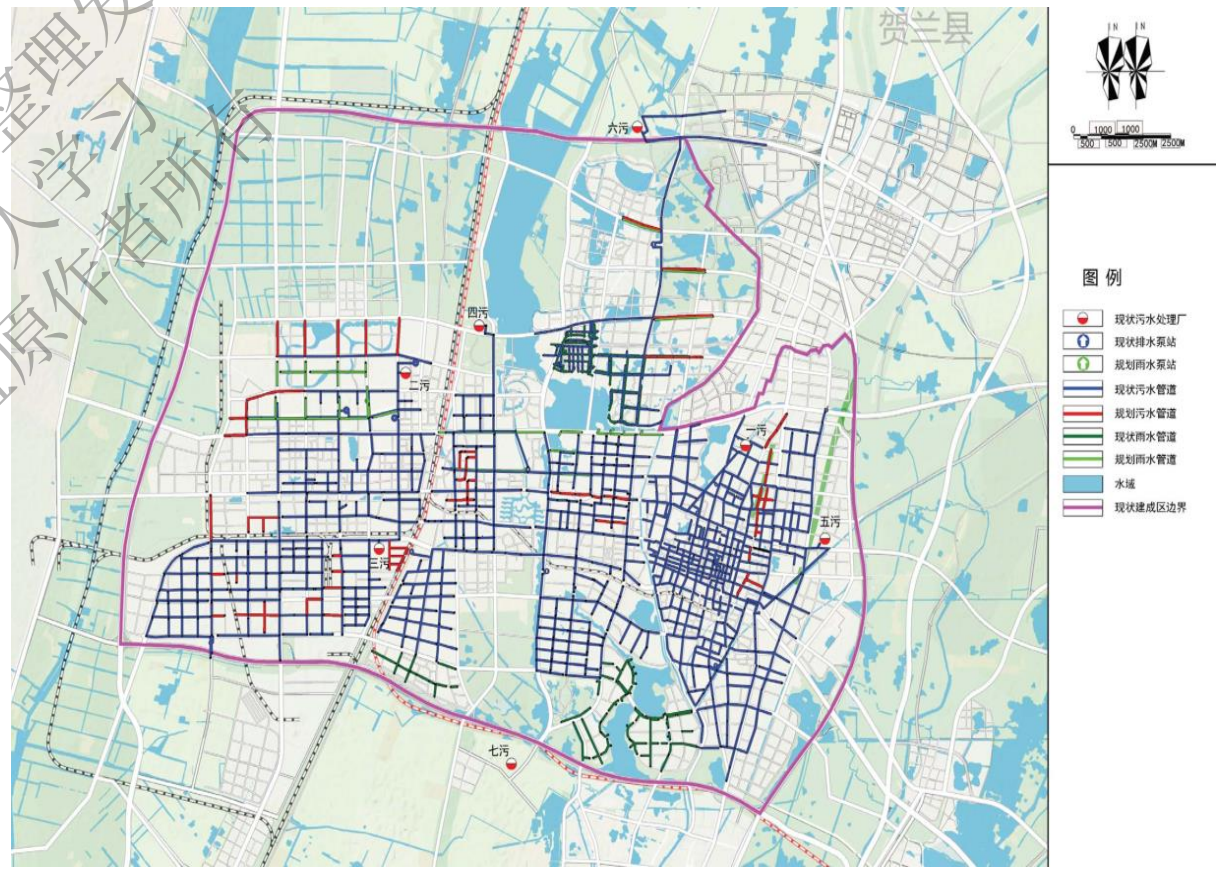
基础数据收集

➢ 地形及管网资料

模型主要输入资料为城市高精度地形数据以及管网数据。其中银川核心城区区域面积为310 km^2，总网格数约为500万。



银川市城市地点区域高精度地形数据



银川市城市管网布置图

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

基础数据收集

➢ 降雨资料

（1）利用银川市24h长历时设计降雨雨型分配比，将日均降雨数据转化为每小时降雨数据。

银川市24小时长历时设计降雨雨型分配表

时段	1	2	3	4	5	6
分配比	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
时段	7	8	9	10	11	12
分配比	0.045	0.1	0.37	0.18	0.07	0.035
时段	13	14	15	16	17	18
分配比	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	0.0166	0.0166
时段	19	20	21	22	23	24
分配比	0.0067	0.0067	0.0067	0.0067	0.0066	0.0066

（1）2h重现期短历时降雨

$$q=\frac{551.4(1+0.5841gp)}{(t+11)0.669}\ (L/s.ha)$$

式中：t—设计降雨历时(min)；

P—设计重现期(年)

➢ 污染物数据

考虑BOD5、TSS、COD、 NH4+-N和TP共5种常规污染物作为研究对象。其中天然雨水中的污染物浓度取值TSS=50mg/L，COD=10mg/L，TP=0.9mg/L，TN=6.6mg/L，NH_4^+-N=1 mg/L。

根据所提供污水处理厂2019-2020年两年日进污量和日进污水质指标数据，统计年均进污量和年均进污水质数据，以此作为该污水处理厂所在片区旱季生活污水基础污水流量和水质浓度值。

旱季单位面积进污流量和水质因子平均浓度

污水处理厂名称	进污水量（m^3）	进污水流量(L/s)	进污水流量(L/s*ha)	水质进水指标(mg/l)				
				BOD_5	TSS	COD_{cr}	NH_4^+-N	TP
一污厂	89792.38	1039.26	0.33	222.56	275.09	425.52	21.84	6.39
二污厂	63038.89	729.62	0.23	151.24	203.26	310.24	42.19	4.93
四污厂	65554.54	758.73	0.27	219.01	245.27	416.56	36.67	7.00
五污厂	81594.86	944.39	0.34	125.02	278.29	431.35	42.30	9.02

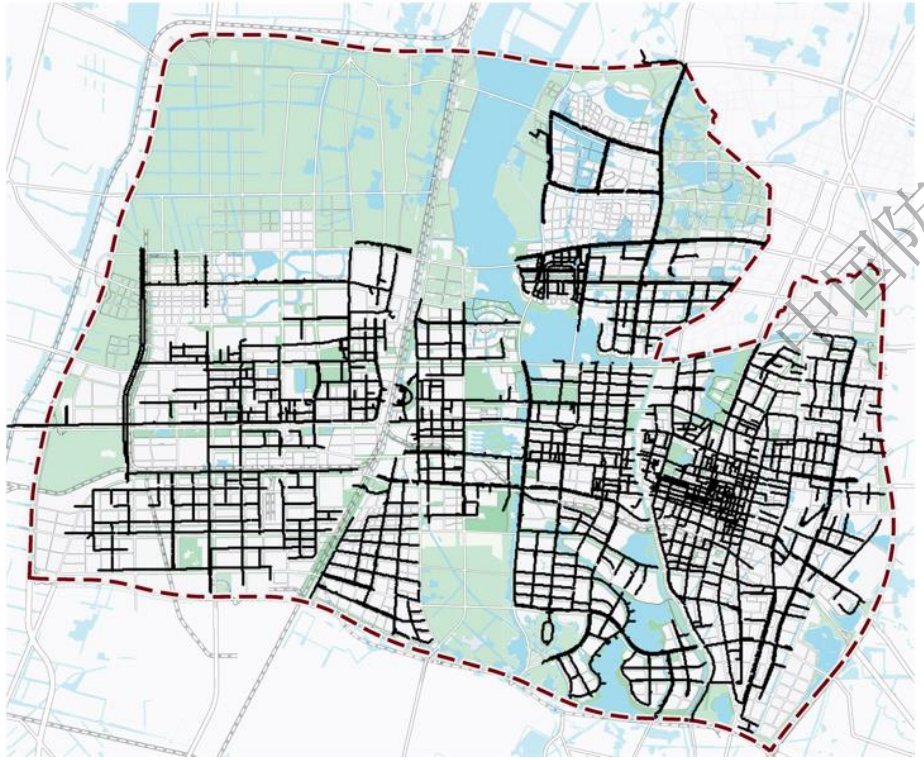
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

模型建立

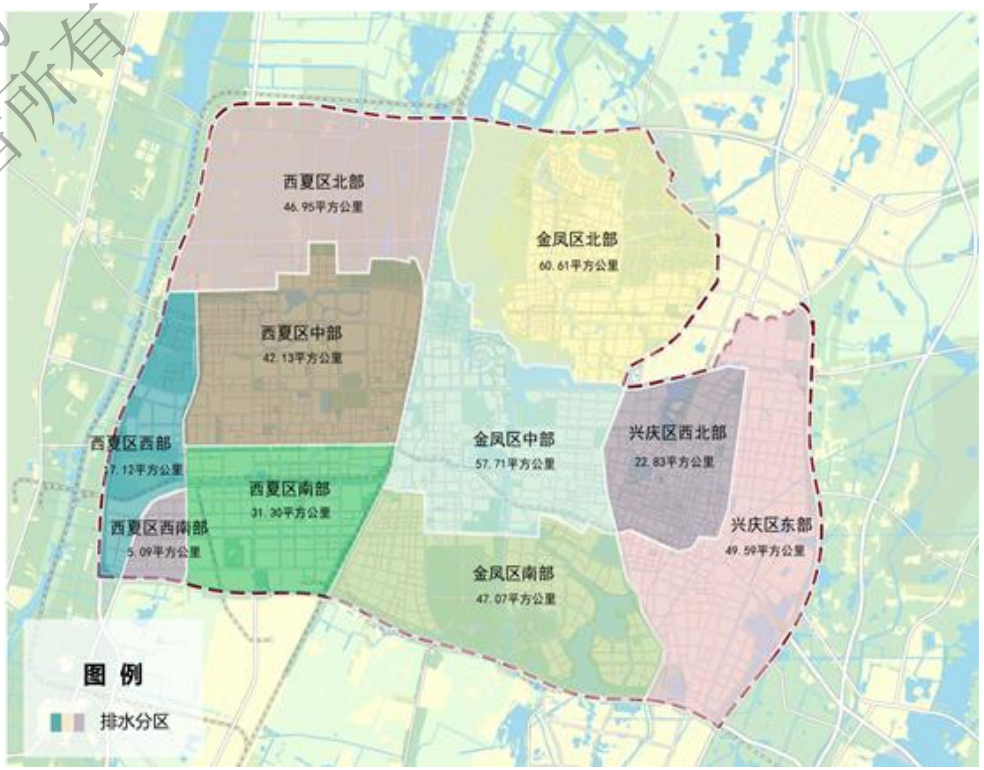
➢ 管网模型建立

在SWMM软件中将管网模型概化成25781个节点和23557个管道，并划分为七个排水分区。每个排水分区均设置排口，排水分区之间相互无流量进出。

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有



银川市管道布置详图



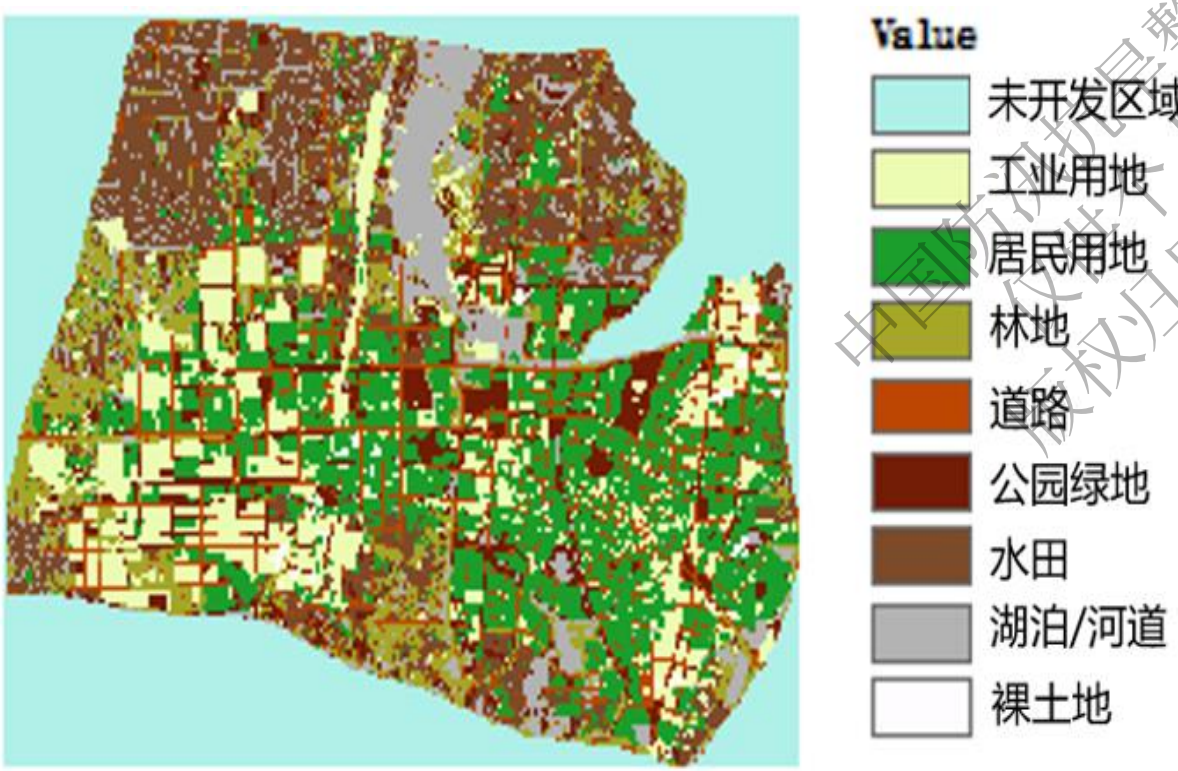
排水管网分区划分

模型建立

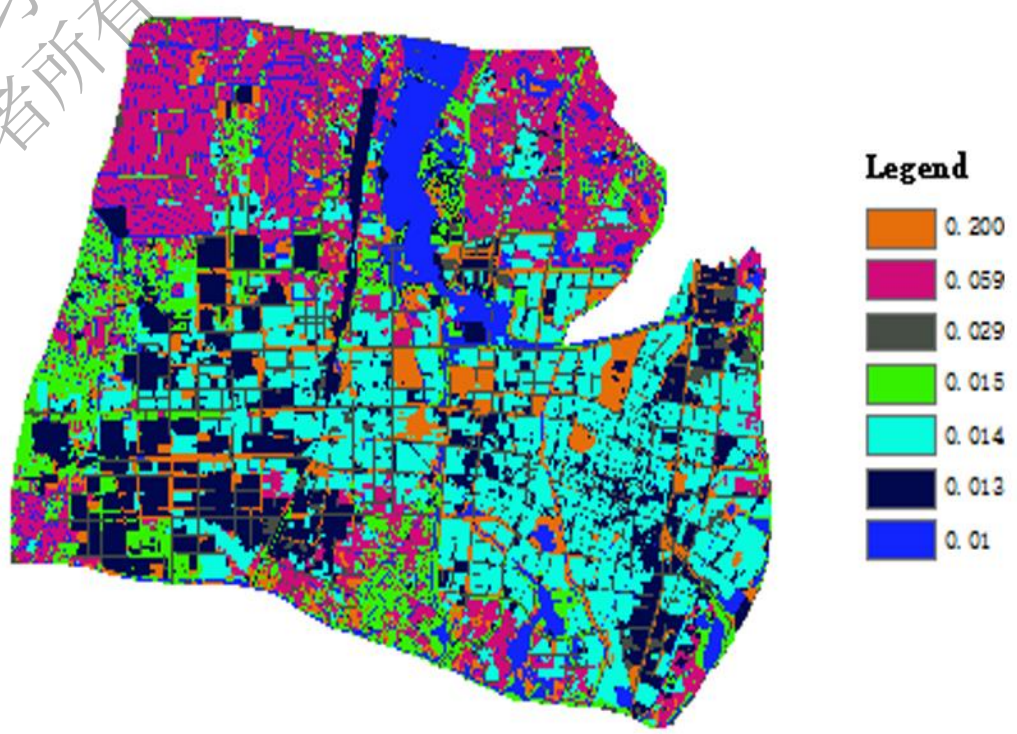
➢ 地表模型建立

根据研究区正射影像图，对建设前及现状用地采用最大似然分类法将所构建的方形网格单元进行划分。

模型计算采用开放边界，四周无入流。计算过程库朗数采用0.4，模拟降雨开始后4小时的积水及排水过程。



银川市城市地点区域土地利用划分



现状用地下垫面属性及曼宁系数值

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

模型建立

➢ 基本参数取值

根据银川市城市建设简介的介绍，基于土壤性质，选取Green-Ampt下渗模型描述黄土的下渗过程。

管网模型选取饱和函数累积模型模拟研究区域地面污染物的累积情况，采用指数函数模型模拟地表污染物的冲刷过程。

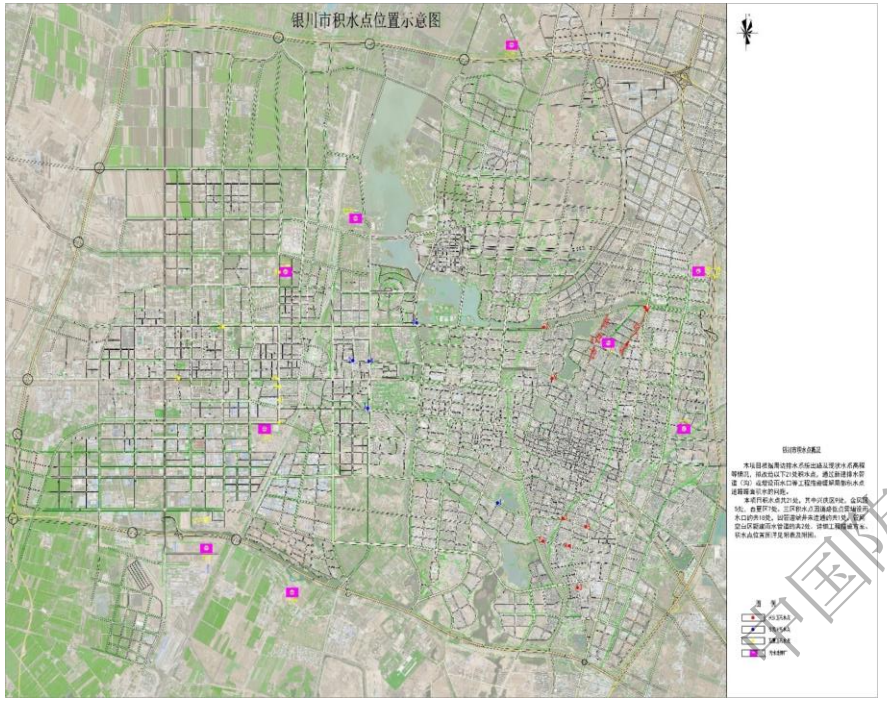
模型污染物参数取值表

项目	污染物参数	BOD_5	TSS	COD	TP	NH_4^+-N
房屋	最大累积量/（$kg \cdot hm^{-2}$）	10	140	100	0.6	1.4
	半饱和累积时间/d	7	10	10	10	10
	冲刷系数	0.002	0.009	0.008	0.004	0.008
	冲刷指数	1.7	0.4	0.54	1.7	0.54
绿地	最大累积量/（$kg \cdot hm^{-2}$）	20	120	120	0.5	5
	半饱和累积时间/d	20	10	10	1	0.3
	冲刷系数	0.008	0.09	0.085	0.002	0.005
	冲刷指数	1.2	0.2	0.53	1.2	2
道路	最大累积量/（$kg \cdot hm^{-2}$）	16	130	90	0.5	6.5
	半饱和累积时间/d	4	8	8	10	10
	冲刷系数	0.003	0.008	0.007	0.004	0.005
	冲刷指数	1.7	0.5	0.8	1.7	2
其他	最大累积量/（$kg \cdot hm^{-2}$）	10	80	65	0.6	8.5
	半饱和累积时间/d	7	5.5	8	10	10
	冲刷系数	0.002	0.008	0.007	0.004	0.004

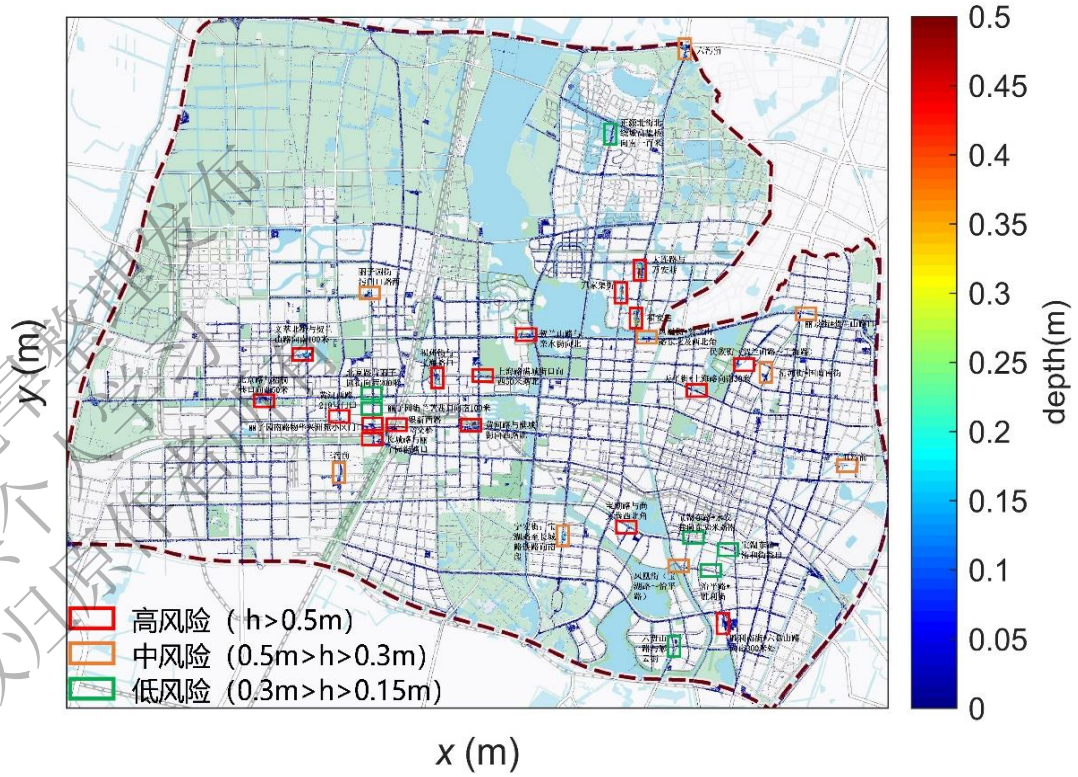
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

参数率定

➢ 模拟与实测对比



积水点位置



实际积水点图

中国防汛抗旱教理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

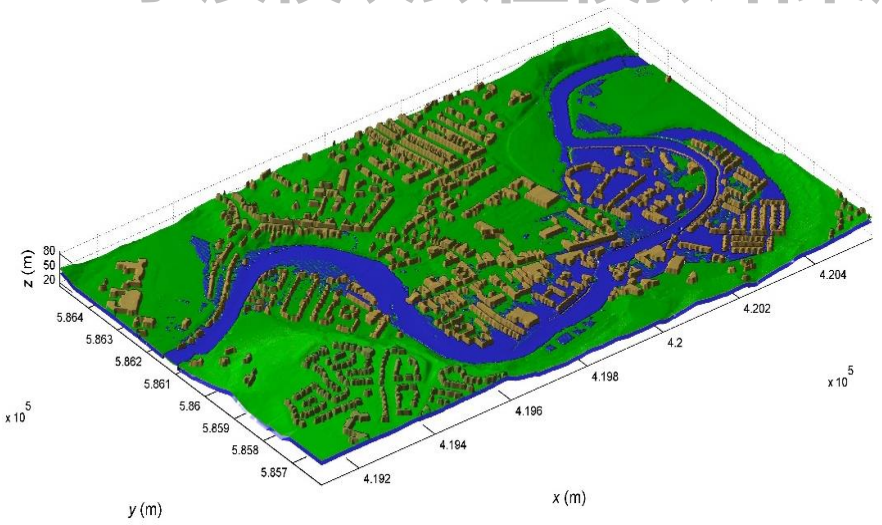
模拟值与实际值对照表

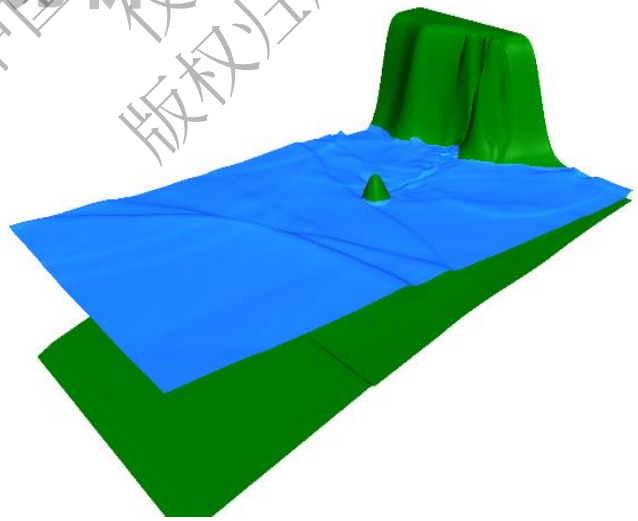
序号	实测积水面积（m^2）	模拟积水面积（m^2）	实测积水深度（m）	模拟积水深度（m）
金波南街和济民路交叉口向南200米	20000	19300	0.25	0.237
上海路与北塔巷口	16000	15800	0.34	0.355

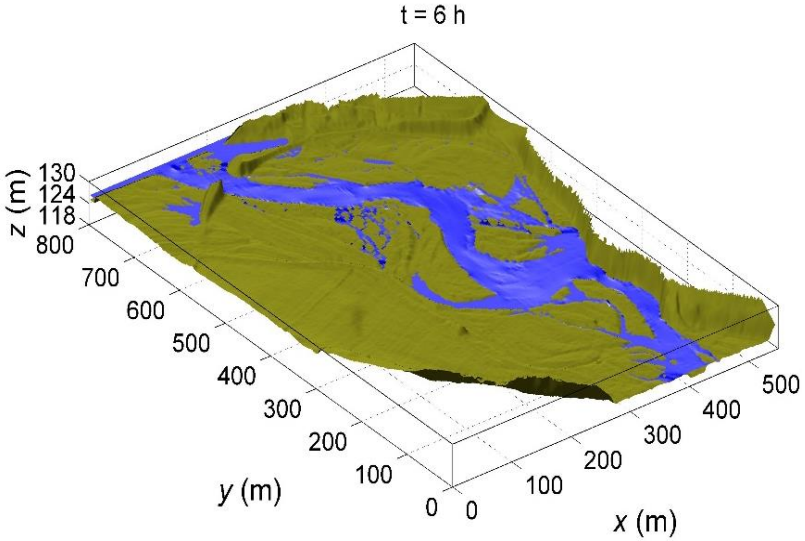
报告提纲

- 研究背景
- GAST-SWMM数值模型
- 基础数据处理与模型设置
- **城市排水管网模块数值模拟及结果分析**
- 城市雨洪模型模块数值模拟结果及分析
- 水质模块数值模拟结果及分析

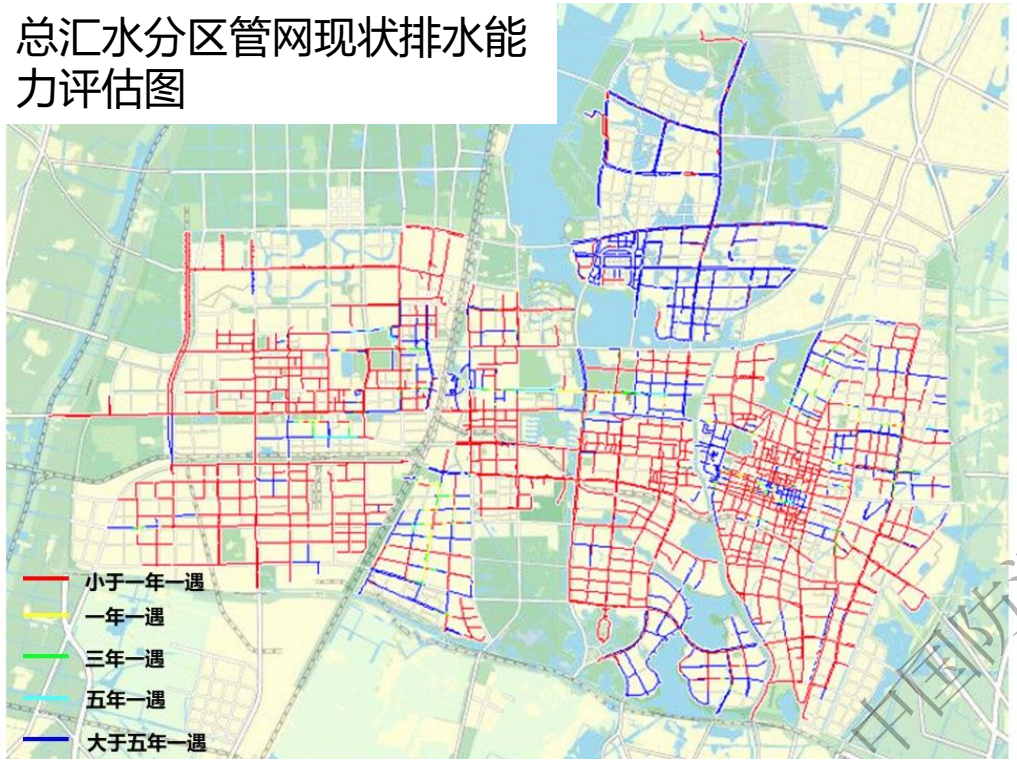
中国防汛抗旱管理发布
仅供个学习
版权归原作者所有

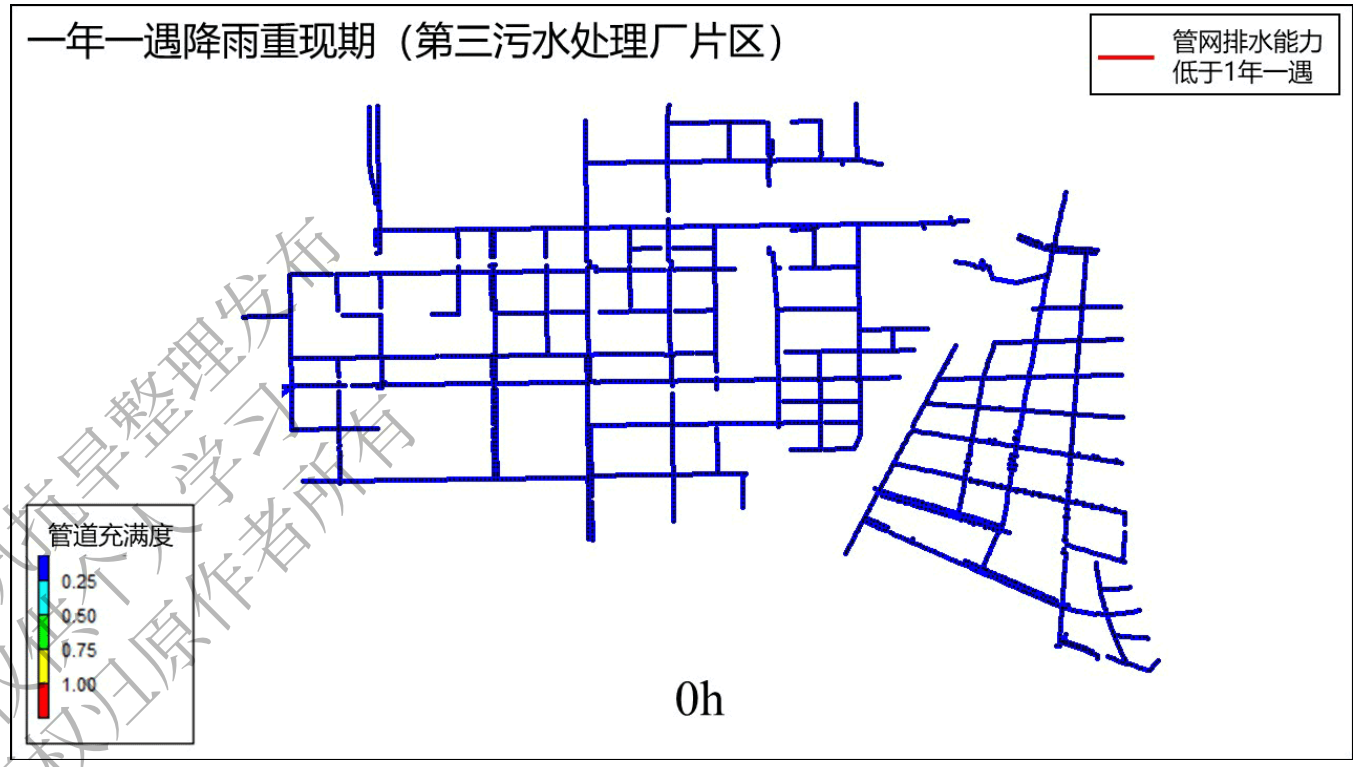






城市排水管网模块数值模拟及结果分析





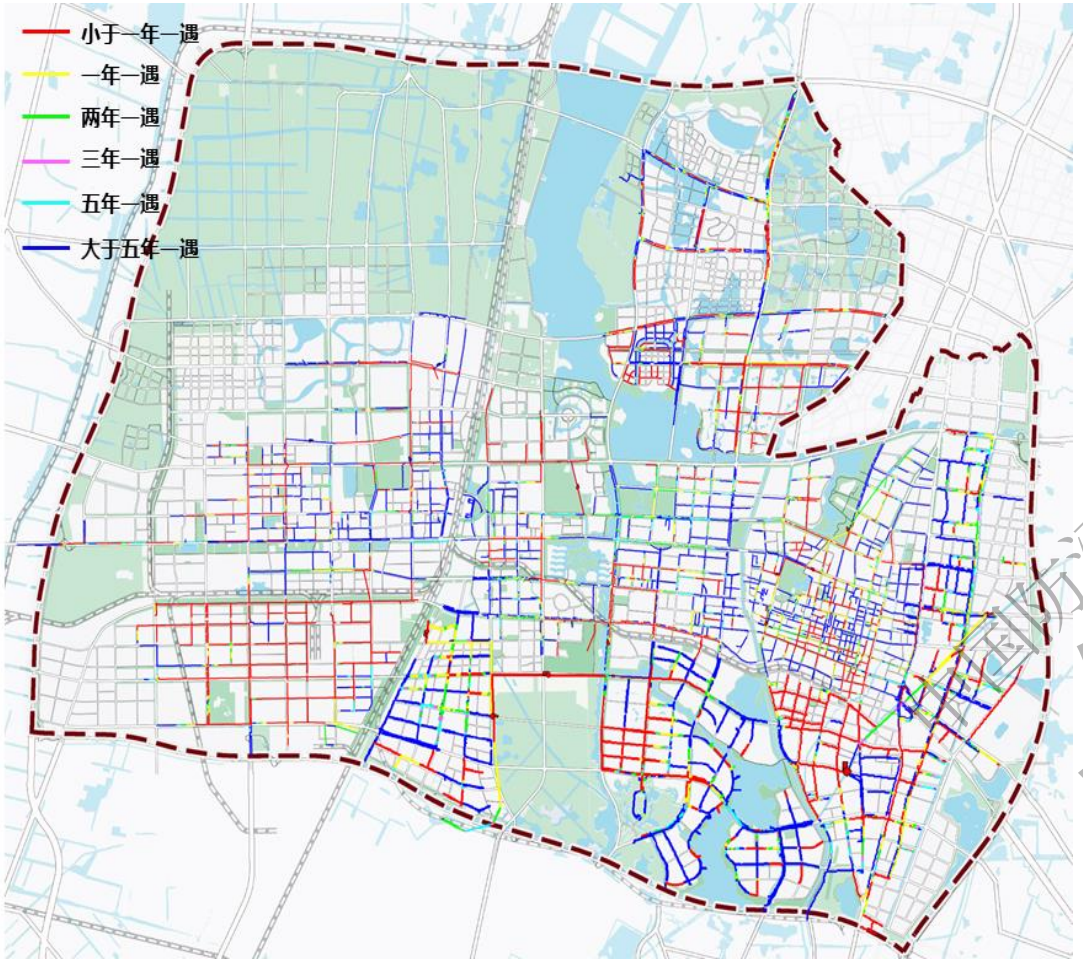
银川市总汇水分区管网现状风险评估图

第三污水厂分区管网现状排水评估图（一年一遇）

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

对银川市管网进行排水能力评估，总管道管网排水能力低于一年一遇的占**65.33%**，一年一遇的占**6.65%**，二年一遇的占**3.74%**，三年一遇的占**0.42%**，五年一遇的占**3.70%**，大于五年一遇的占**20.15%**。

城市排水管网模块数值模拟及结果分析



总汇水分区管网现状评估图

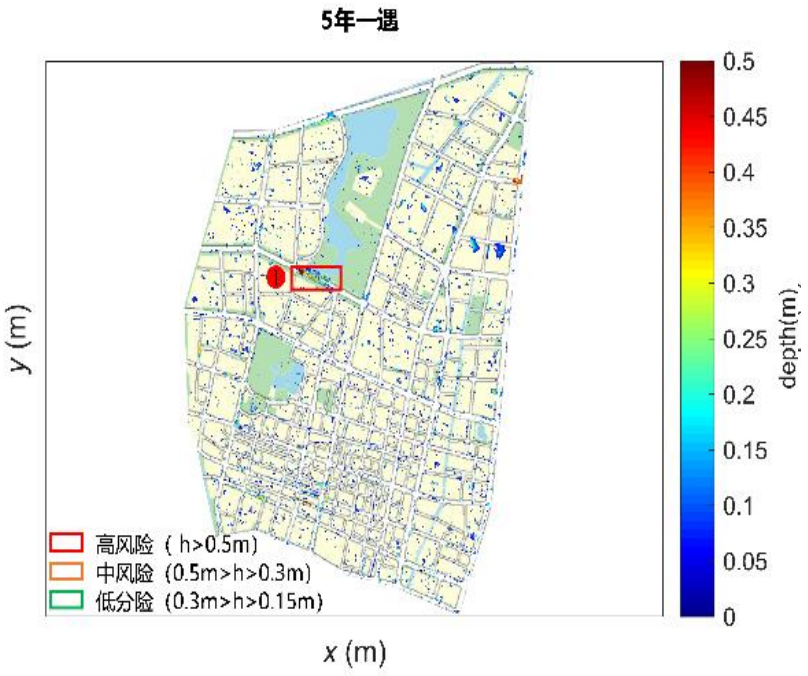
采用SWMM模型分片区对银川市区的现状调蓄及排放能力进行评估。对其不同重现期下短历时设计降雨的管网排涝能力进行分析。

	<1年一遇	1年一遇	2年一遇	3年一遇	5年一遇	>5年一遇
一污片区	25.88%	13.77%	8.23%	1.17%	4.12%	46.83%
二污片区	29.99%	3.82%	3.30%	1.01%	4.51%	57.38%
三污片区	65.33%	6.65%	3.74%	0.42%	3.70%	20.15%
四污片区	32.06%	7.04%	13.11%	2.70%	11.49%	33.60%
五污片区	35.58%	12.12%	8.83%	2.82%	5.45%	35.21%
六污片区	43.15%	10.09%	4.50%	1.37%	2.69%	38.20%
七污片区	27.19%	11.24%	7.26%	1.84%	5.03%	47.44%

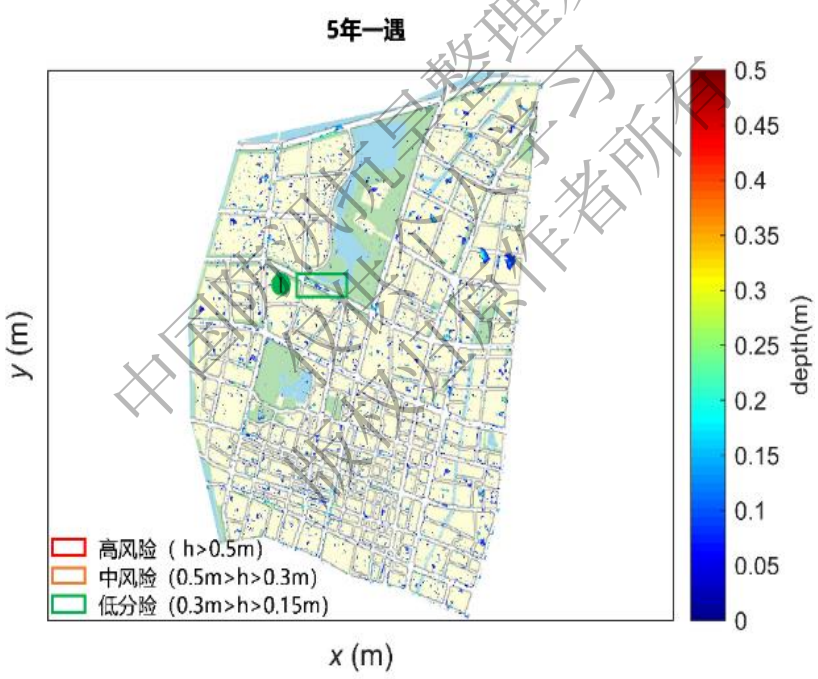
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

城市排水管网模块数值模拟及结果分析

基于一污及三污片区的内涝现状，针对数值模型模拟结果，根据城市布局情况，对一污排水分区及三污排水分区提出针对性的防洪排涝改造方案。



一污片区改造前



一污片区改造后

中国防汛抗旱整理发布
仅供学习
版权归原作者所有

五年一遇：

改造前一污片区不同风险积水面积：

高风险：1720.69m^2；

中风险：37105.02m^2；

低风险：198606.49m^2；

总积水：279764.38m^2。

改造后一污片区不同风险积水面积：

高风险：0m^2；

中风险：11836.50m^2；

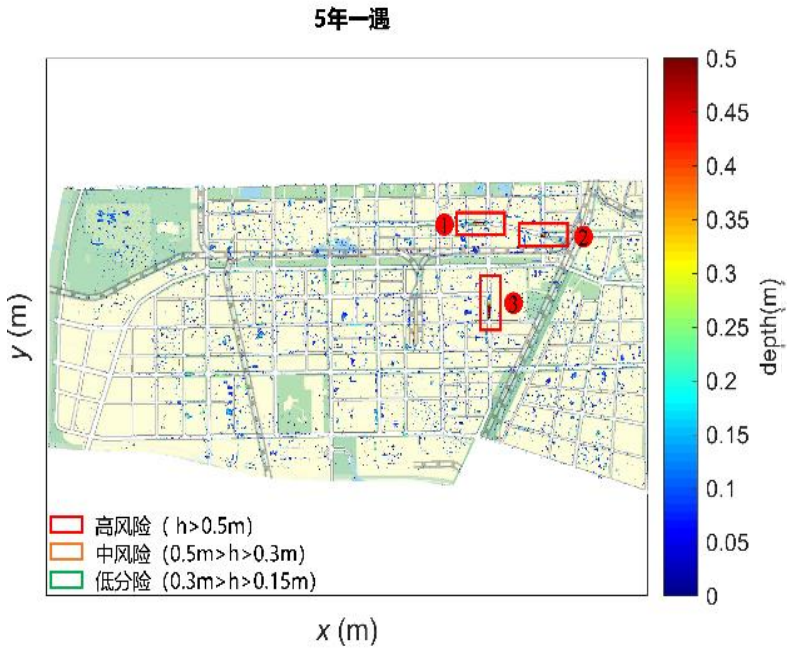
低风险：79818.43m^2；

总积水：91654.93m^2。

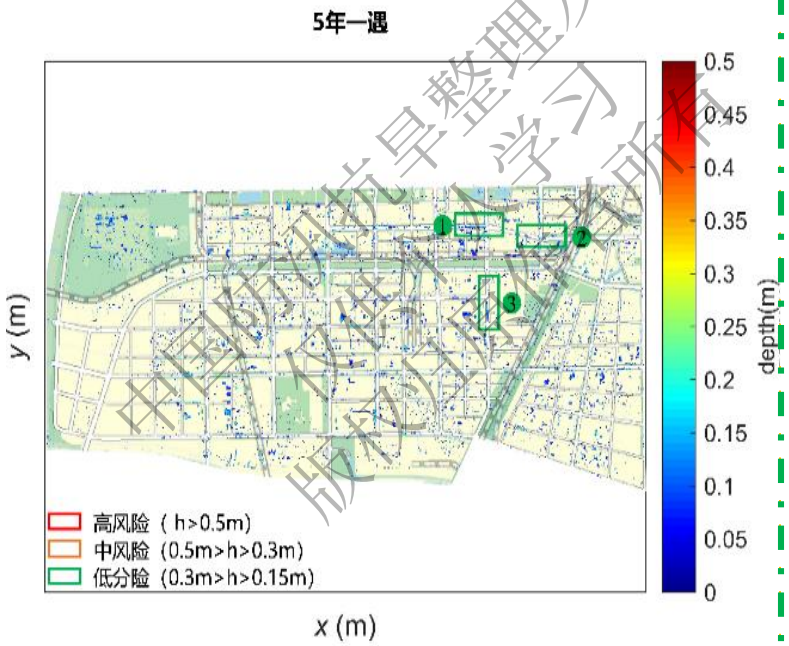
改造后1号积水点由高风险变为

城市排水管网模块数值模拟及结果分析

基于一污及三污片区的内涝现状，针对数值模型模拟结果，根据城市布局情况，对一污排水分区及三污排水分区提出针对性的防洪排涝改造方案。



三污片区改造前



三污片区改造后

中国防汛抗旱整理发布
仅供学习
版权所有

五年一遇：

改造前三污片区不同风险积水面积：

高风险：2776.76m²；中风险：73921.79m²；低风险：458966.57m²；总积水：535665.12m²。

改造后三污片区不同风险积水面积：

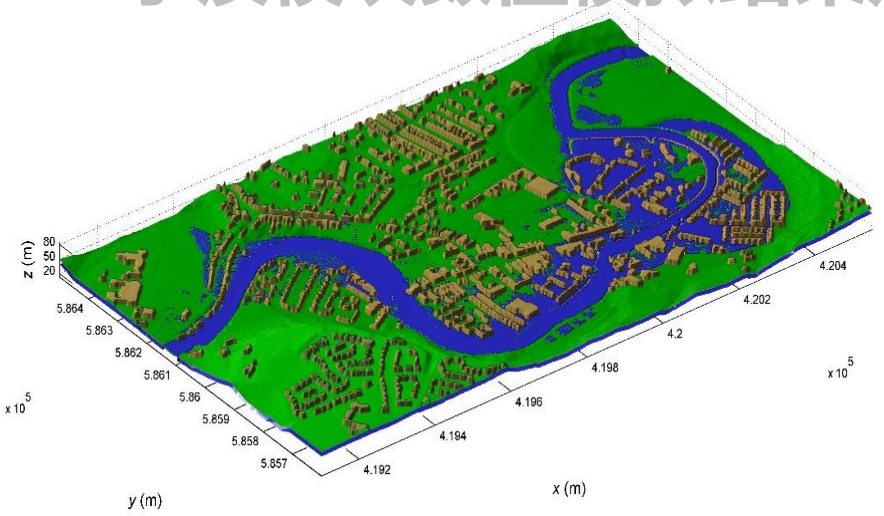
高风险：0m²；中风险：22915.75m²；低风险：154925.07m²；总积水：177840.82m²。

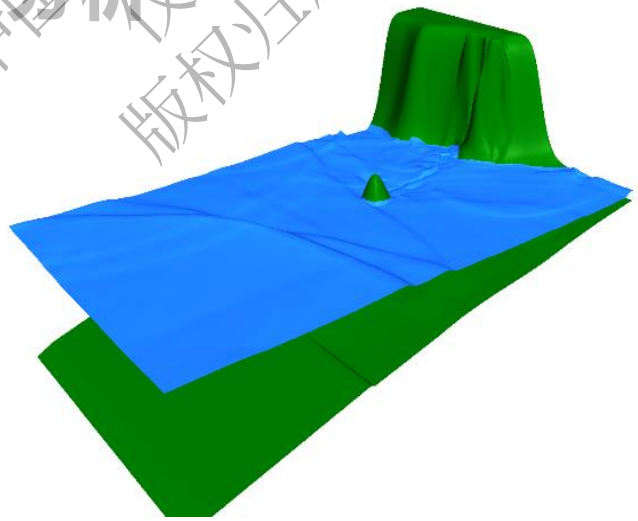
改造后1号积水点由中风险变为低风险，积水面积由1354.13m²变为1156.12 m²，2号积水点由高风险变为低风险，积水面积由1093.46m²变为826.42 m²，3号积水点由中风险493.29m²变为0，3号积水点由中风险变为无风

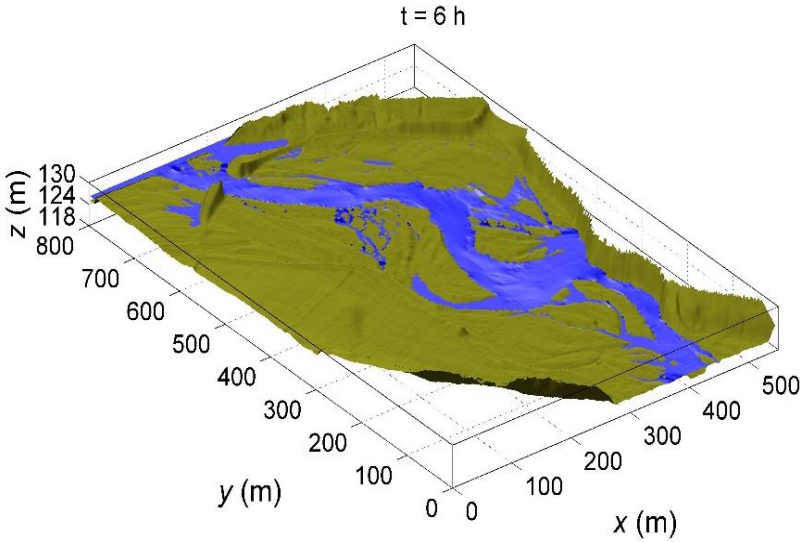
报告提纲

- 研究背景
- GAST-SWMM数值模型
- 基础数据处理与模型设置
- 城市排水管网模块数值模拟及结果分析
- **城市雨洪模型模块数值模拟结果及分析**
- 水质模块数值模拟结果及分析

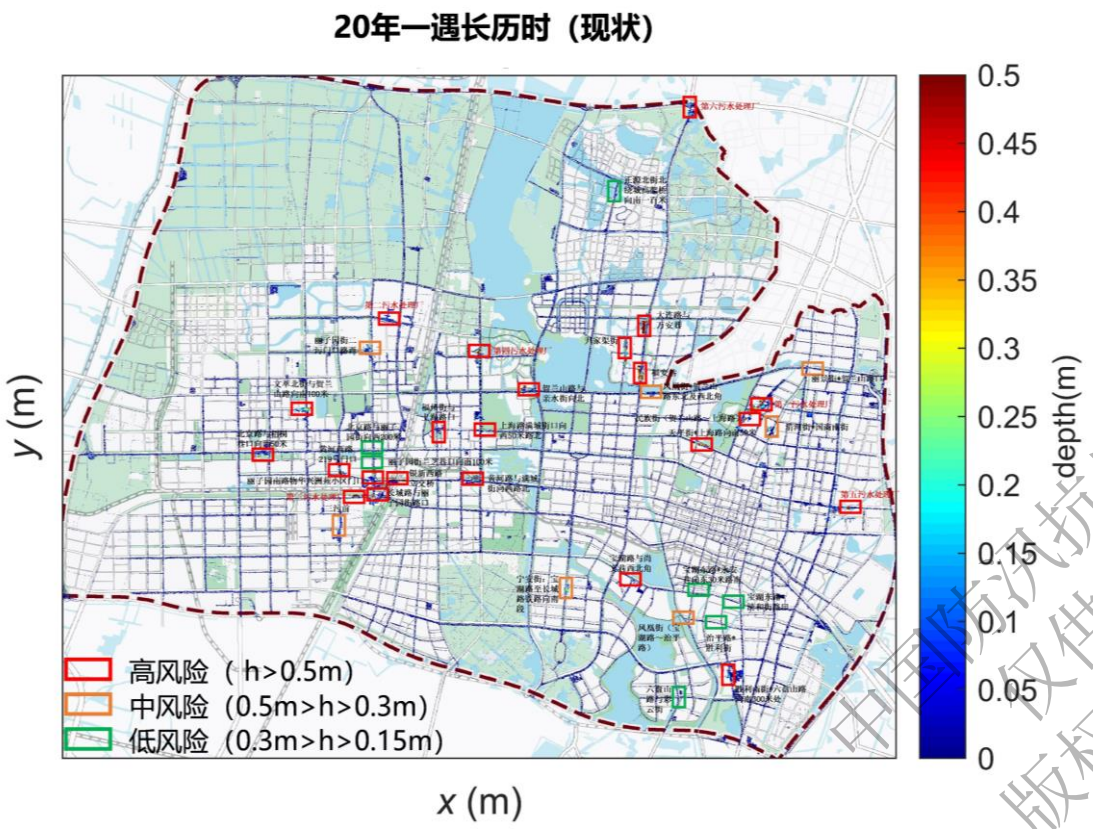
中国防汛抗旱管理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

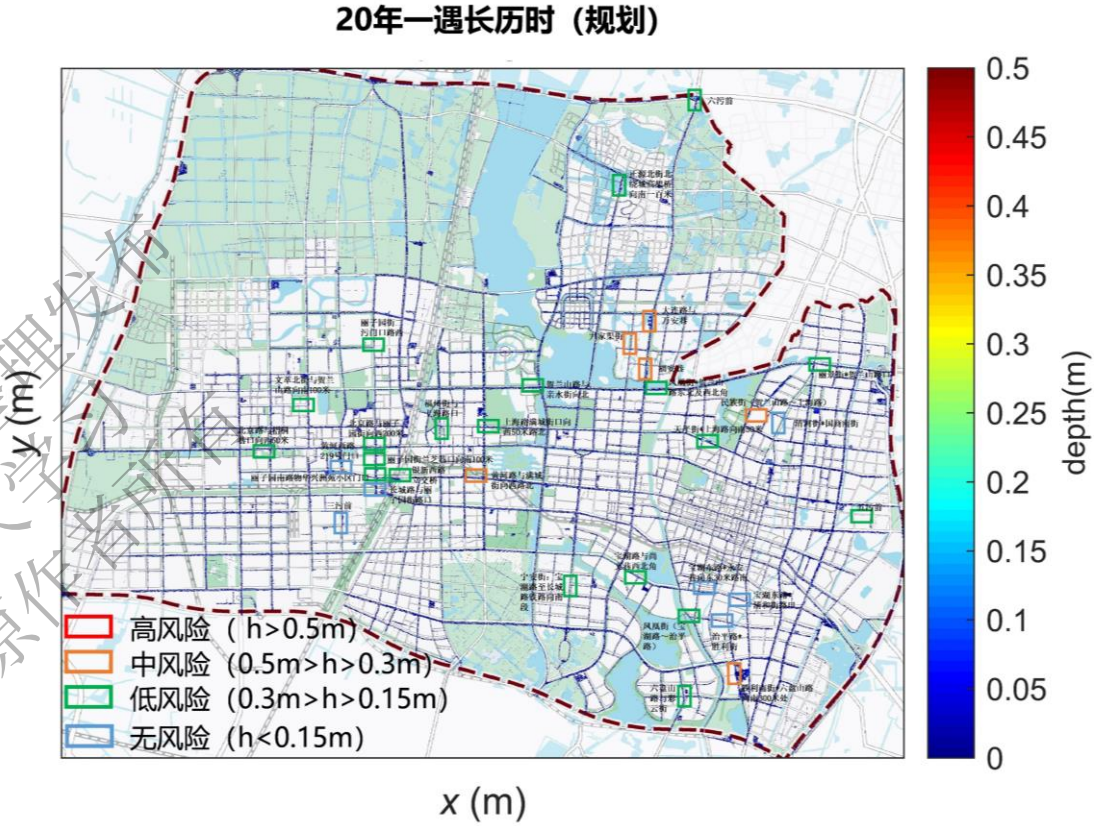






城市雨洪模型模块数值模拟及结果分析





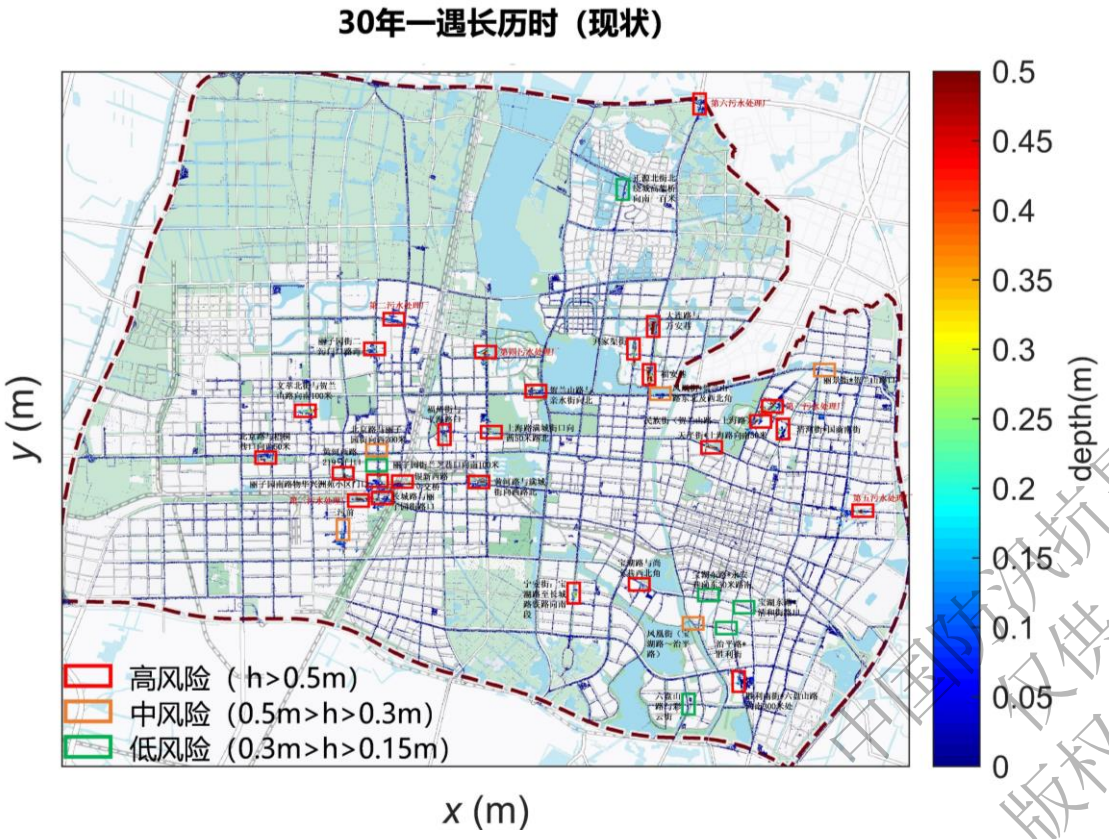
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

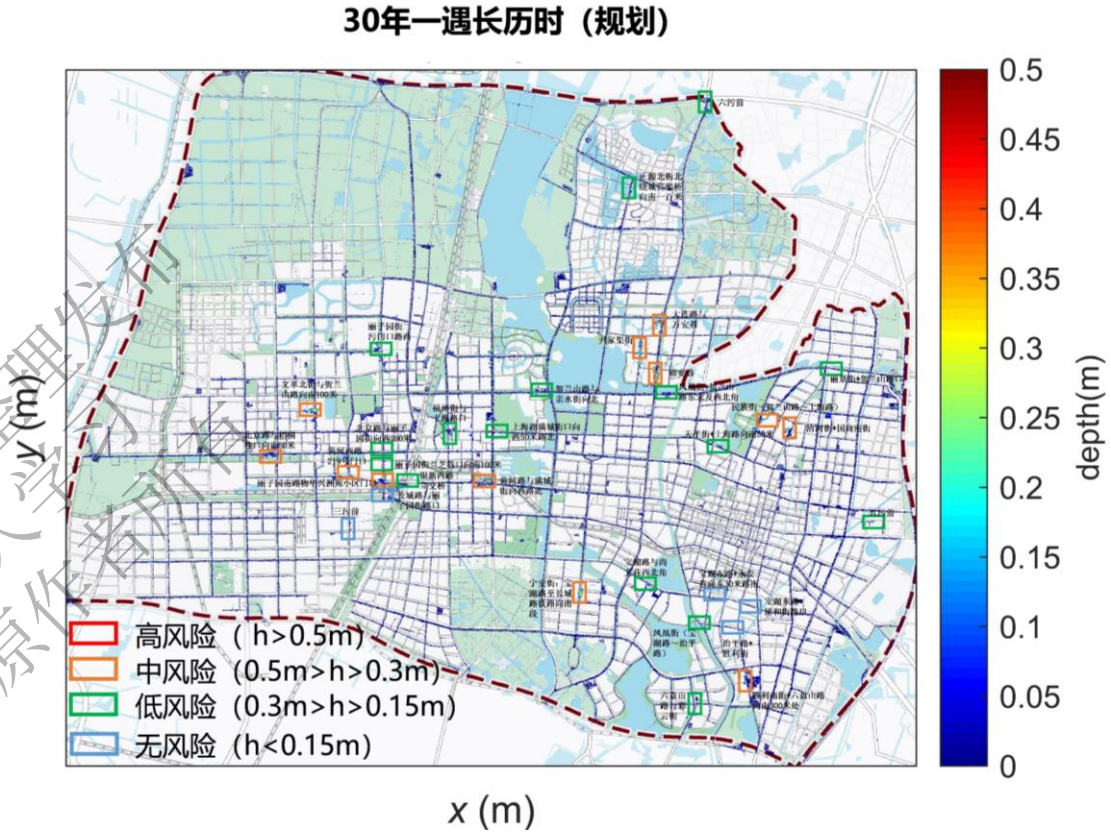
在原城市下垫面情况、排水分区、排水出路、地下管网运行情况、泵站及污水厂运行情况及地表排水沟道实际利用情况下建立的现状模型的基础之上；根据排涝规划方案，对城市排水出路和排水分区进行调整疏通；进行城市竖向调整及优化，对因地势低洼而产生的内涝积水位置，通过竖向优化，消除内涝风险；建立地上及地下调蓄池，进行雨水削峰；建立海绵单项措施，老旧小区改造等，进行雨水源头减排；建立规划内涝风险评估模型。

积水点数量

	高风险	中风险	低风险	无风险
现状	17	7	7	0
规划	0	6	18	7

城市雨洪模型模块数值模拟及结果分析





中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

对比发现：规划后高风险积水点均已消除，部分积水点变为无风险。海绵规划措施在内涝治理中有重要作用。

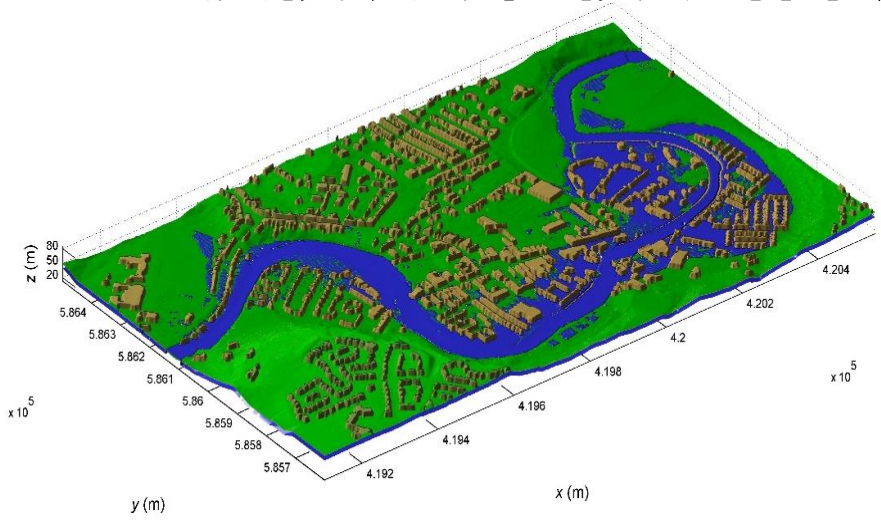
积水点数量

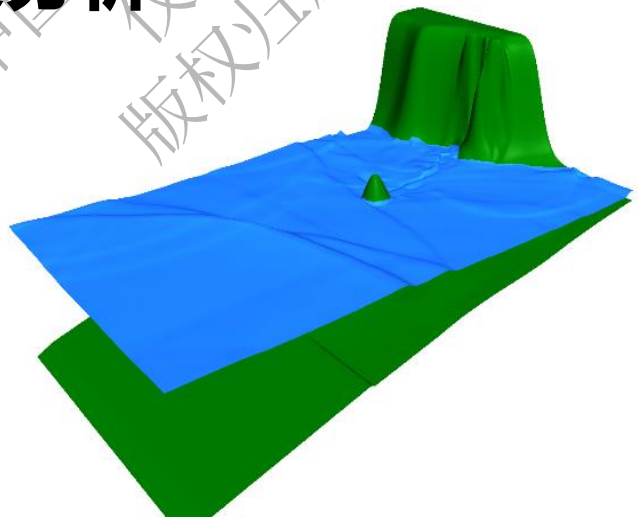
	高风险	中风险	低风险	无风险
现状	20	5	6	0
规划	0	12	14	5

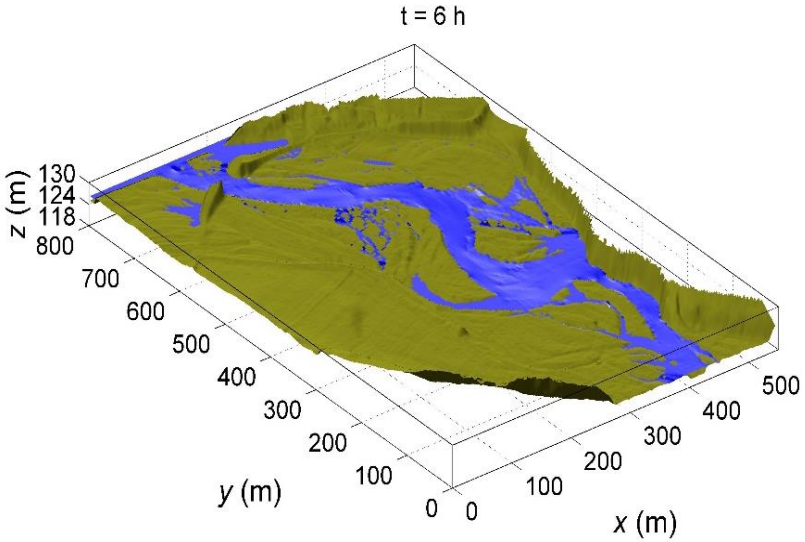
报告提纲

- 研究背景
- GAST-SWMM数值模型
- 基础数据处理与模型设置
- 城市排水管网模块数值模拟及结果分析
- 城市雨洪模型模块数值模拟结果及分析
- **水质模块数值模拟结果及分析**

中国防汛抗旱管理发布
仅供个人学习
版权归原作所有

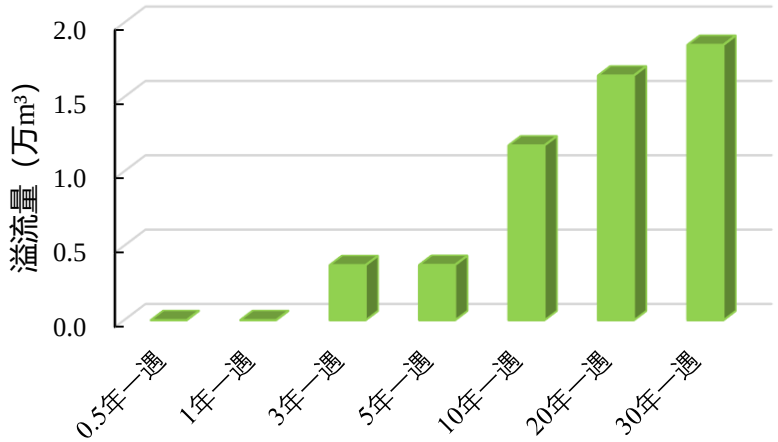




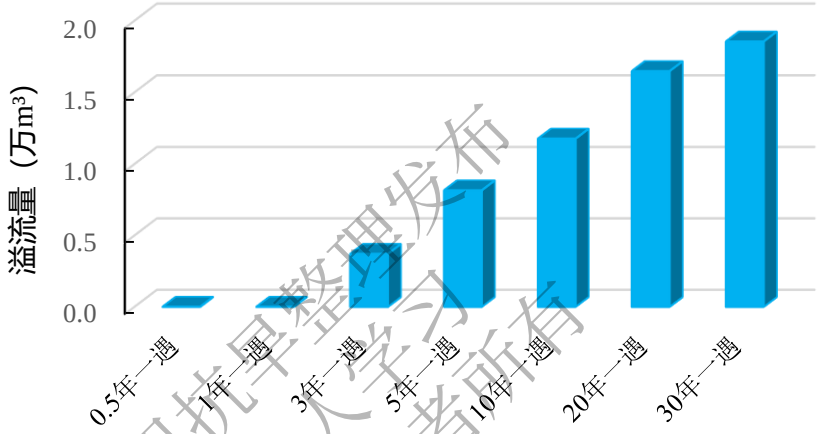


水质模块数值模拟及结果分析

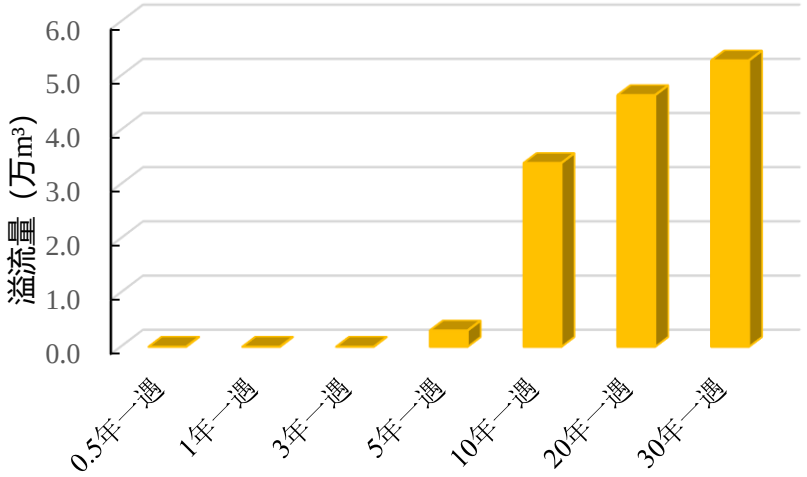
➢ 不同重现期下合流制管网溢流污染模拟



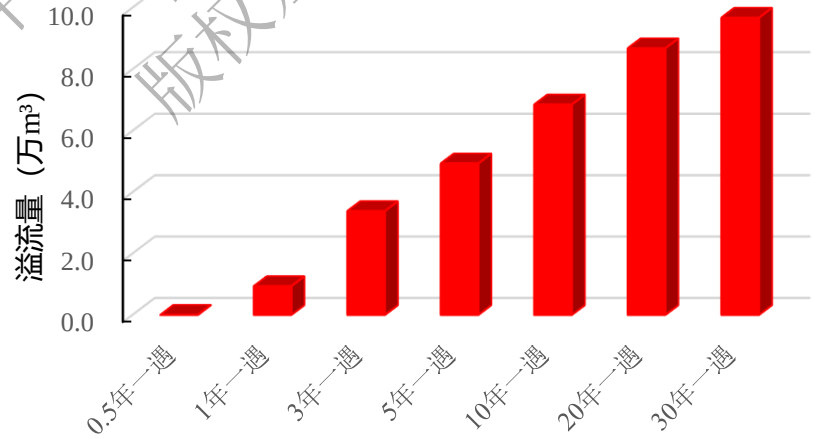
不同重现期一污排至沟道溢流量情况



不同重现期二污排至沟道溢流量情况



不同重现期四污排至沟道溢流量情况



不同重现期五污排至沟道溢流量情况

3年一遇（2 h累积降雨19.5171 mm），一污和二污片区合流制管网开始发生溢流，污水排至第四排干沟和西大沟中；5年一遇（2 h累积降雨21.4944 mm，四污片区合流制管网开始发生溢流，污水排至西湖挡浸沟中；1年一遇（2 h累积降雨量15.2635 mm），四污片区合流制管网开始发生溢流，污水排至第二排水沟中。

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

水质模块数值模拟及结果分析

➢ 不同重现期下合流制管网溢流污染模拟

重现期	污染物负荷（t）				
	BOD_5	TSS	COD	NH4+-N	TP
0.5年一遇	--	--	--	--	--
1年一遇	--	--	--	--	--
3年一遇	1.427	2.136	1.725	0.744	0.177
5年一遇	1.430	2.140	1.729	0.746	0.178
10年一遇	4.274	5.662	4.581	2.333	0.479
20年一遇	5.907	7.583	6.131	3.247	0.656
30年一遇	6.645	8.402	6.792	3.651	0.739

一污排至沟道溢流污染物负荷量情况

重现期	污染物负荷（t）				
	BOD_5	TSS	COD	NH4+-N	TP
0.5年一遇	--	--	--	--	--
1年一遇	--	--	--	--	--
3年一遇	1.430	2.140	1.729	0.746	0.178
5年一遇	2.930	4.063	3.284	1.581	0.333
10年一遇	4.283	5.673	4.590	2.338	0.480
20年一遇	5.918	7.599	6.143	3.253	0.657
30年一遇	6.658	8.419	6.806	3.668	0.741

二污排至沟道溢流污染物负荷量情况

重现期	污染物负荷（t）				
	BOD_5	TSS	COD	NH4+-N	TP
0.5年一遇	--	--	--	--	--
1年一遇	--	--	--	--	--
3年一遇	--	--	--	--	--
5年一遇	2.691	10.980	8.963	0.286	0.713
10年一遇	5.480	23.512	19.024	0.467	1.652
20年一遇	6.753	29.147	23.473	0.532	2.104
30年一遇	7.298	31.559	25.334	0.556	2.303

四污排至沟道溢流污染物负荷量情况

重现期	污染物负荷（t）				
	BOD_5	TSS	COD	NH4+-N	TP
0.5年一遇	--	--	--	--	--
1年一遇	1.312	6.060	3.829	0.064	0.512
3年一遇	4.633	21.211	13.781	0.213	1.887
5年一遇	6.160	28.024	18.374	0.267	2.548
10年一遇	8.008	36.134	23.961	0.320	3.377
20年一遇	9.787	43.861	29.311	0.365	4.191
30年一遇	10.747	47.985	32.181	0.394	4.637

五污排至沟道溢流污染物负荷量情况

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

水质模块数值模拟及结果分析

➢ 实际降雨合流制管网溢流污染控制模拟

选择典型年和现状年降雨条件，以**受纳水体溢流排口**为对象，分别计算得到溢流污染物负荷情况。

得知，**城市四排沟、西大沟、西湖挡浸沟和第二排水沟接纳溢流污染。**

各污	沟道名称	溢流总量（万m³）	溢流污染物总量（t）				
			BOD_5	TSS	COD	NH_4^+-N	TP
一污	城市四排沟	38.959	52.326	108.516	115.566	9.055	4.695
	银新干沟	--	--	--	--	--	--
二污	西大沟	92.220	309.53	469.895	385.751	162.304	28.868
	平伏桥四清沟	--	--	--	--	--	--
	陈家圈排水沟	--	--	--	--	--	--
四污	西湖挡浸沟	33.141	31.064	130.545	105.116	2.561	9.378
	满城街东侧沟						
五污	第二排水沟	48.320	49.954	240.914	156.389	3.531	21.318
	银东干沟	--	--	--	--	--	--

典型年各污片区排至沟道全年溢流量及污染物量情况

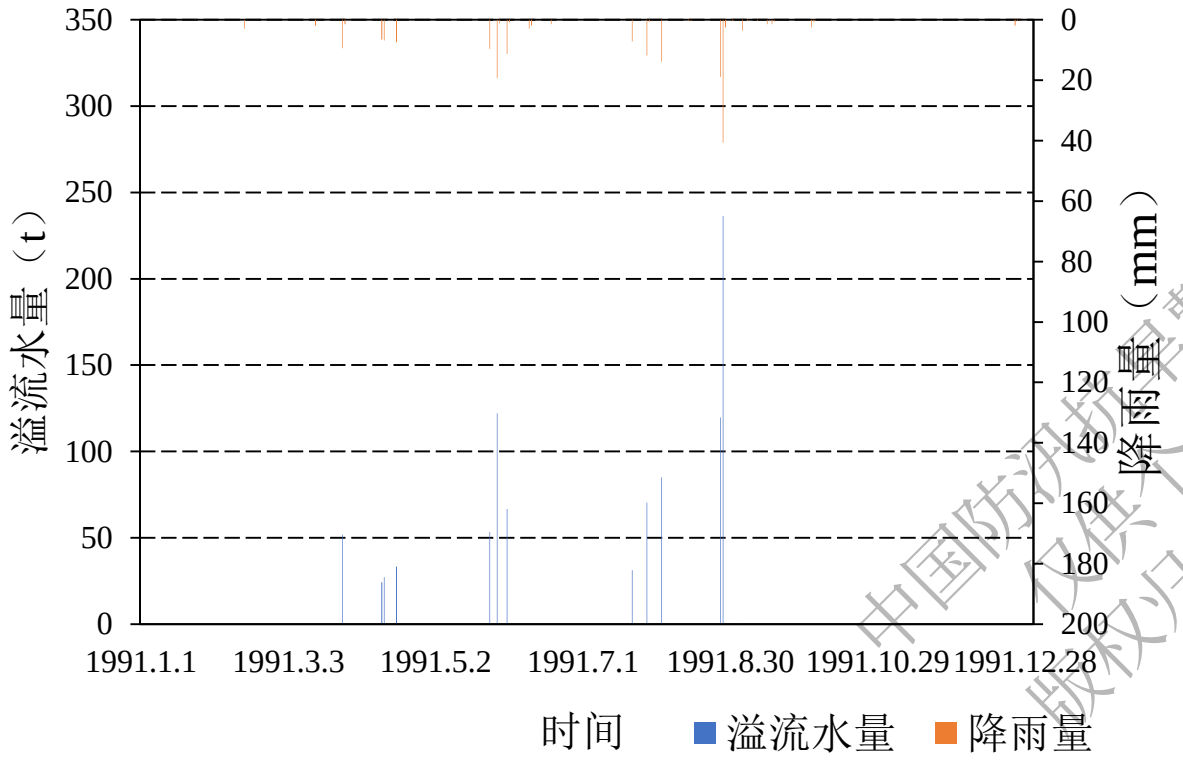
各污	沟道名称	溢流总量（万m³）	溢流污染物总量（t）				
			BOD_5	TSS	COD	NH_4^+-N	TP
一污	城市四排沟	21.996	31.516	66.149	70.038	5.499	2.864
	银新干沟	--	--	--	--	--	--
二污	西大沟	51.975	175.276	266.256	218.406	92.282	16.383
	平伏桥四清沟	--	--	--	--	--	--
	陈家圈排水沟	--	--	--	--	--	--
四污	西湖挡浸沟	15.609	14.726	61.552	51.014	1.467	4.142
	满城街东侧沟	--	--	--	--	--	--
五污	第二排水沟	48.236	47.747	241.169	134.776	3.934	16.615
	银东干沟	--	--	--	--	--	--

现状年各污片区排至沟道全年溢流量及污染物量情况

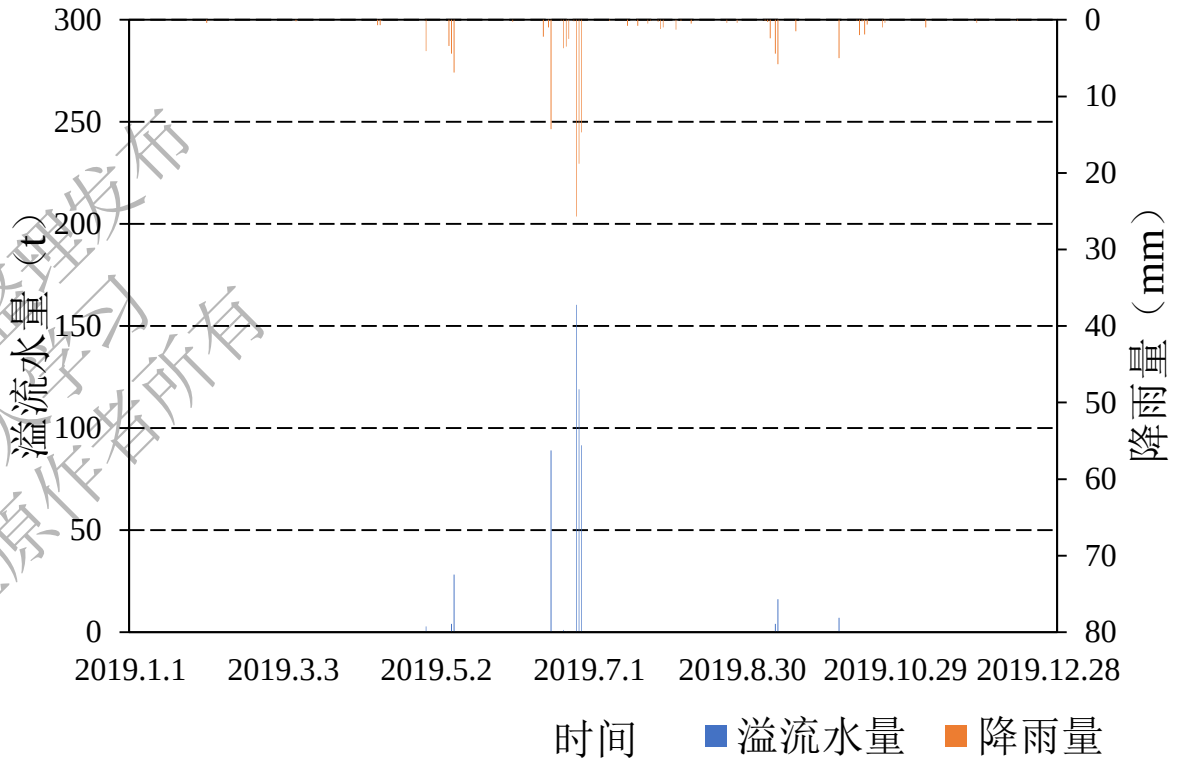
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

水质模块数值模拟及结果分析

➢ 总溢流水量年内变化（以二污片区 西大沟 为例）



典型年二污片区内排至西大沟总溢流量年内变化情况



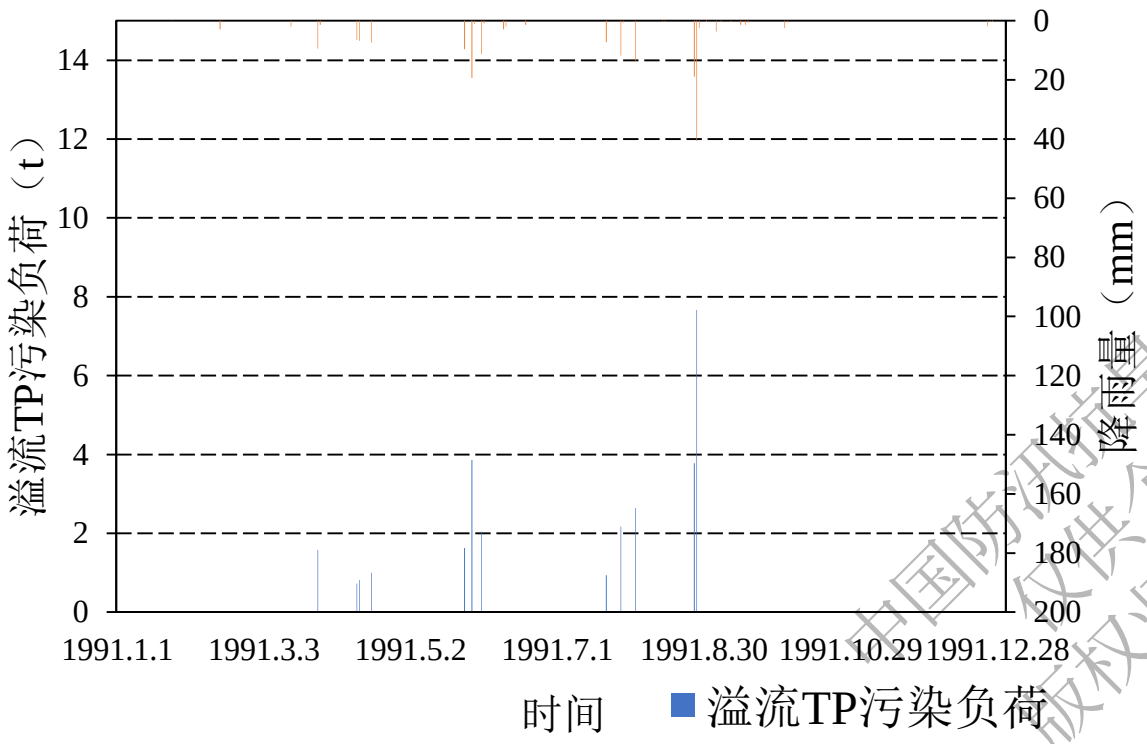
现状年二污片区内排至西大沟总溢流量年内变化情况

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

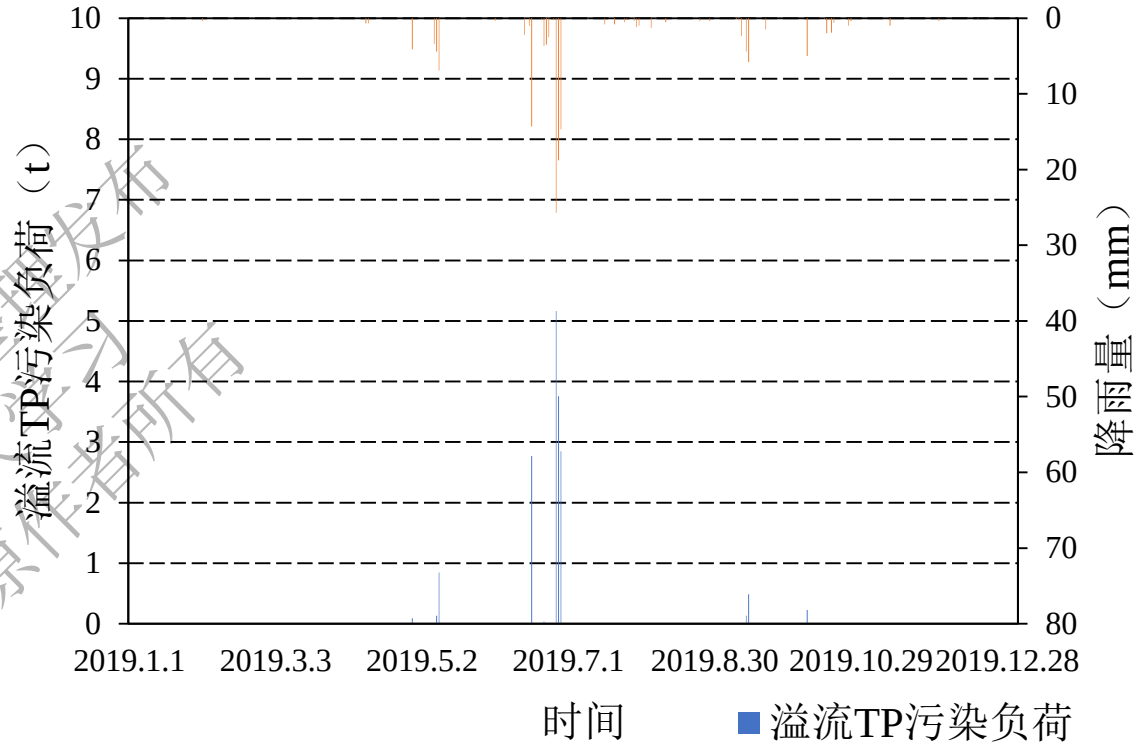
据典型年和现状年降雨条件，随着降雨量增加，溢流污水量也随之增加，表明降雨量越大，排至受纳水体溢流污水量越多。

水质模块数值模拟及结果分析

➢ 溢流污染物负荷量年内变化情况（以二片区 西大沟 水污染物TP 为例）



典型年二污片区内排至西大沟水体内污染物TP 溢流负荷量年内变化情况



现状年二污片区内排至西大沟水体内污染物TP 溢流负荷量年内变化情况

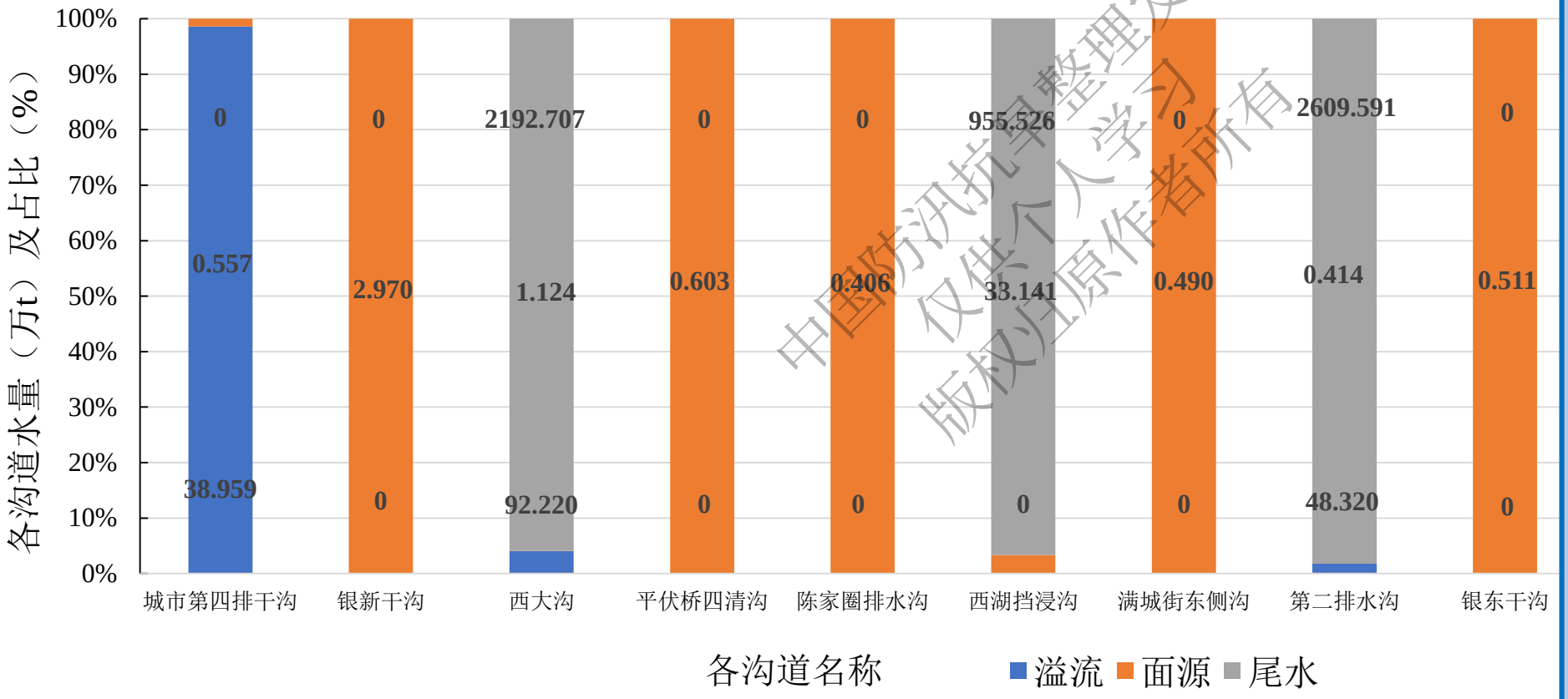
中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

据典型年和现状年降雨条件，随着降雨量增加，溢流污染物负荷量也随之增加，表明降雨量越大，排至受纳水体溢流污染物负荷量越大。

水质模块数值模拟及结果分析

➢ 有溢流典型年污水量及污染物负荷量情况

各沟道污染物负荷主要有尾水、溢流和面源污染物负荷，通过尾水排口、溢流排口和雨水排口排至沟道中。



有溢流典型年各沟道污水量情况

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

由典型年降雨条件各沟道污水量污染物负荷量情况：

无尾水有溢流的沟道，主要是溢流和面源污染，溢流贡献率很大；

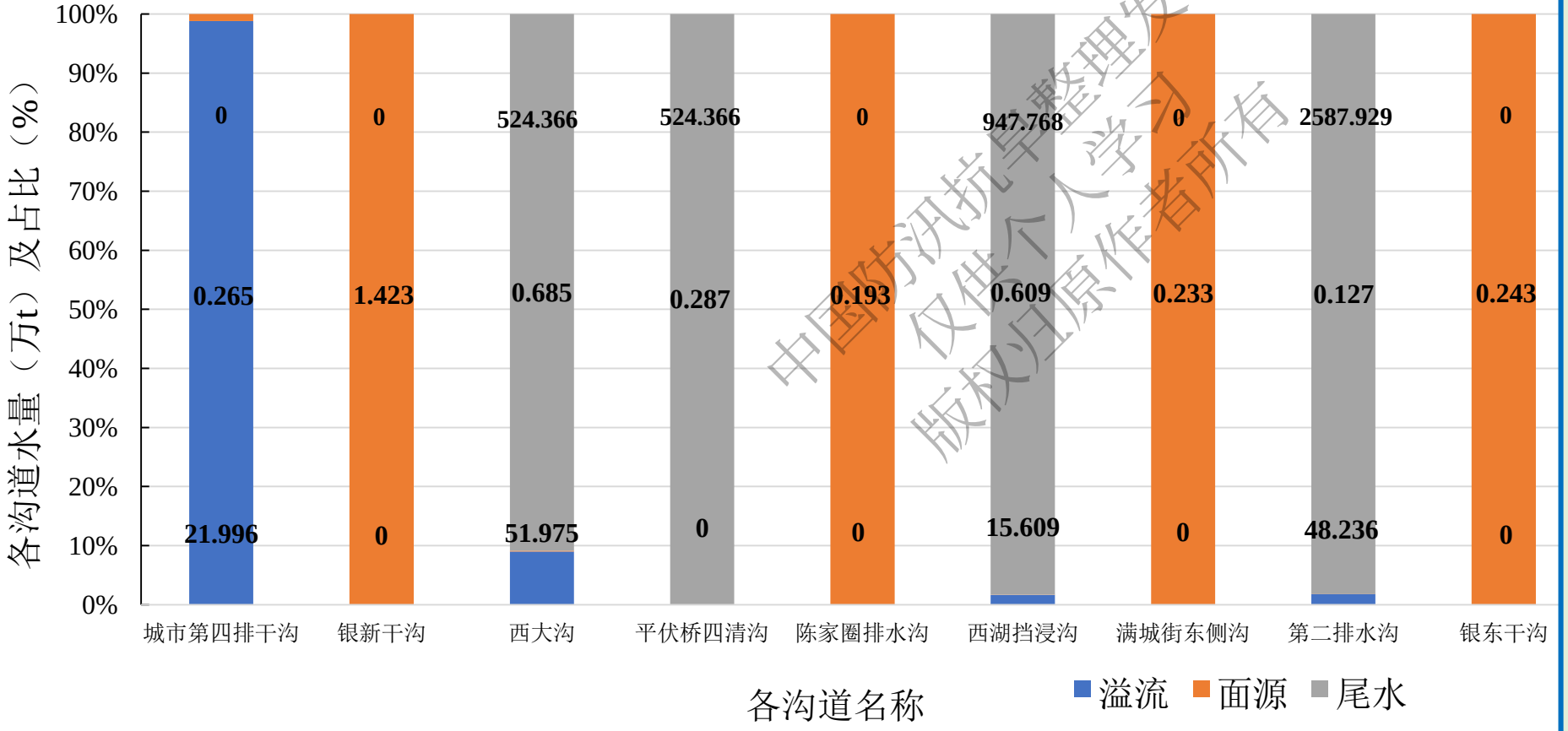
无溢流和尾水的沟道，主要为面源污染；

有尾水有溢流的的沟道，主要是尾水和溢流污染，溢流污染相对于面源污染贡献率较大。不可忽视溢

水质模块数值模拟及结果分析

➢ 有溢流现状年污水量及污染物负荷量情况

各沟道污染物负荷主要有尾水、溢流和面源污染物负荷，通过尾水排口、溢流排口和雨水排口排至沟道中。



有溢流现状年各沟道污水量情况

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

由现状年降雨条件各沟道污水及污染物负荷量情况：

无尾水有溢流的沟道，主要是溢流和面源污染，溢流贡献率很大；

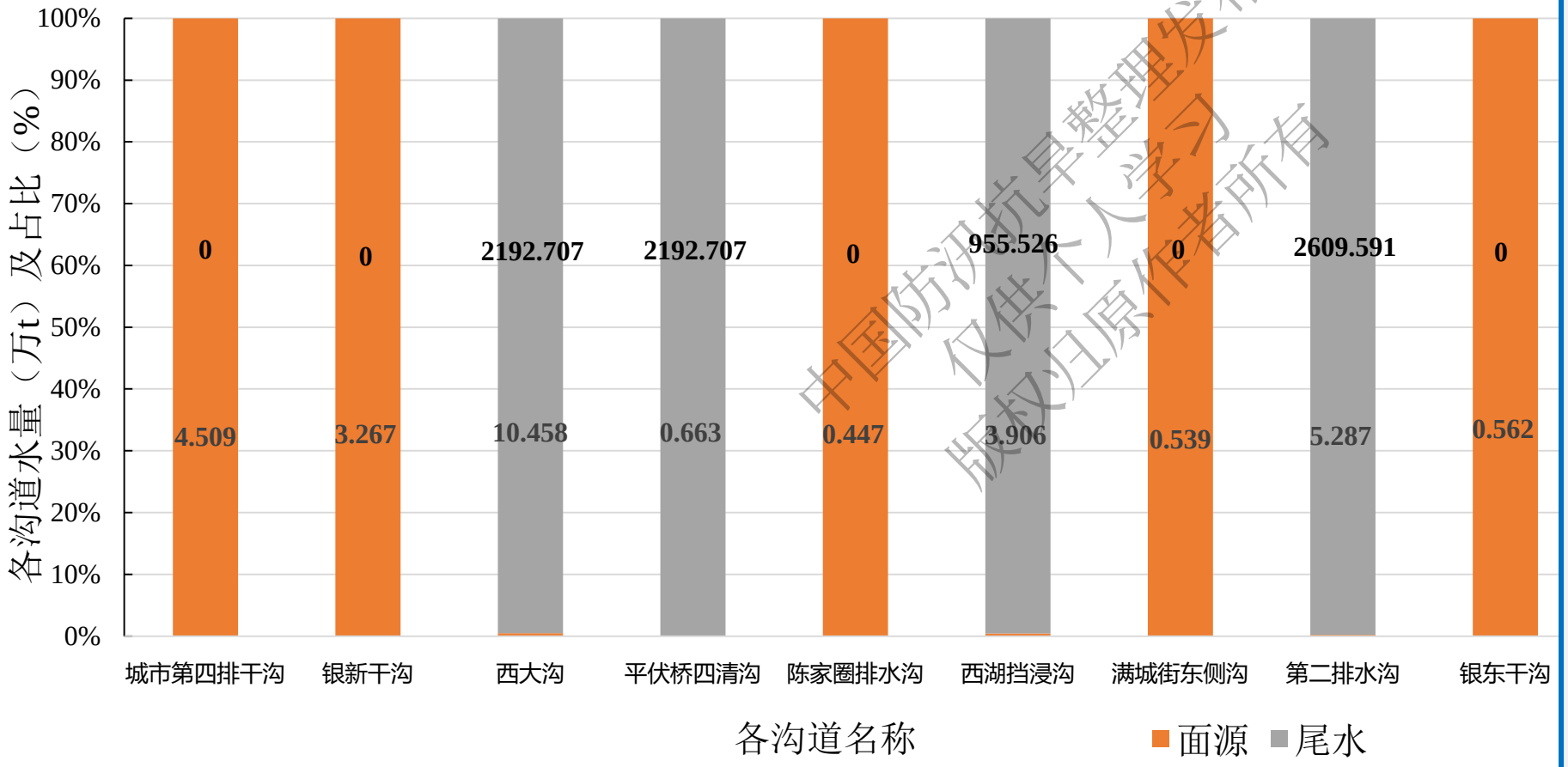
无溢流和尾水的沟道，主要为面源污染；

有尾水有溢流的沟道，主要是尾水和溢流污染，溢流污染相对于面源污染贡献率较大。不可忽视溢流污染

水质模块数值模拟及结果分析

➢ 无溢流典型年污水量及污染物负荷量情况

各沟道污染物负荷主要有尾水和面源污染物负荷，通过尾水排口和雨水排口排至沟道中。



现状年各沟道污水量情况

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

由典型年降雨条件各沟道污水及污染物负荷量情况：

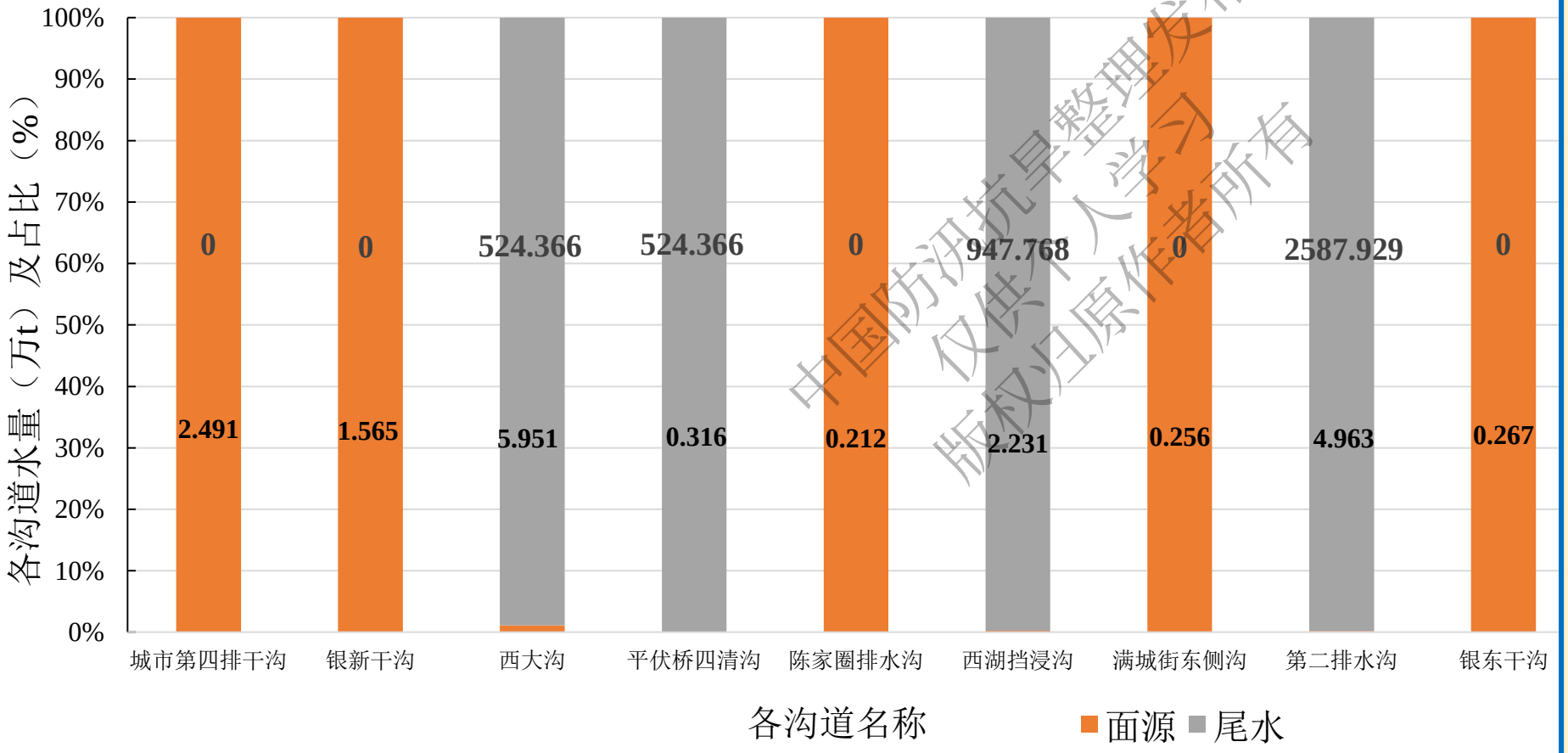
无尾水的沟道，主要是面源污染；有尾水的沟道，主要为尾水和面源污染，尾水污染贡献率较大。

无溢流面源污染负荷量相对于有溢流而言均有所增加，这由于部分污染物通过管网系统检查井溢出，经地表径流输运雨水排口，排至沟道，增加了各沟道污染物负荷量。

水质模块数值模拟及结果分析

➢ 无溢流现状年污水量及污染物负荷量情况

各沟道污染物负荷主要有尾水和面源污染物负荷，通过尾水排口和雨水排口排至沟道中。



典型年各污片区污水量情况

由典型年降雨条件各沟道污水及污染物负荷量情况：

无尾水的沟道，主要是面源污染；有尾水的沟道，主要为尾水和面源污染，尾水污染贡献率较大。

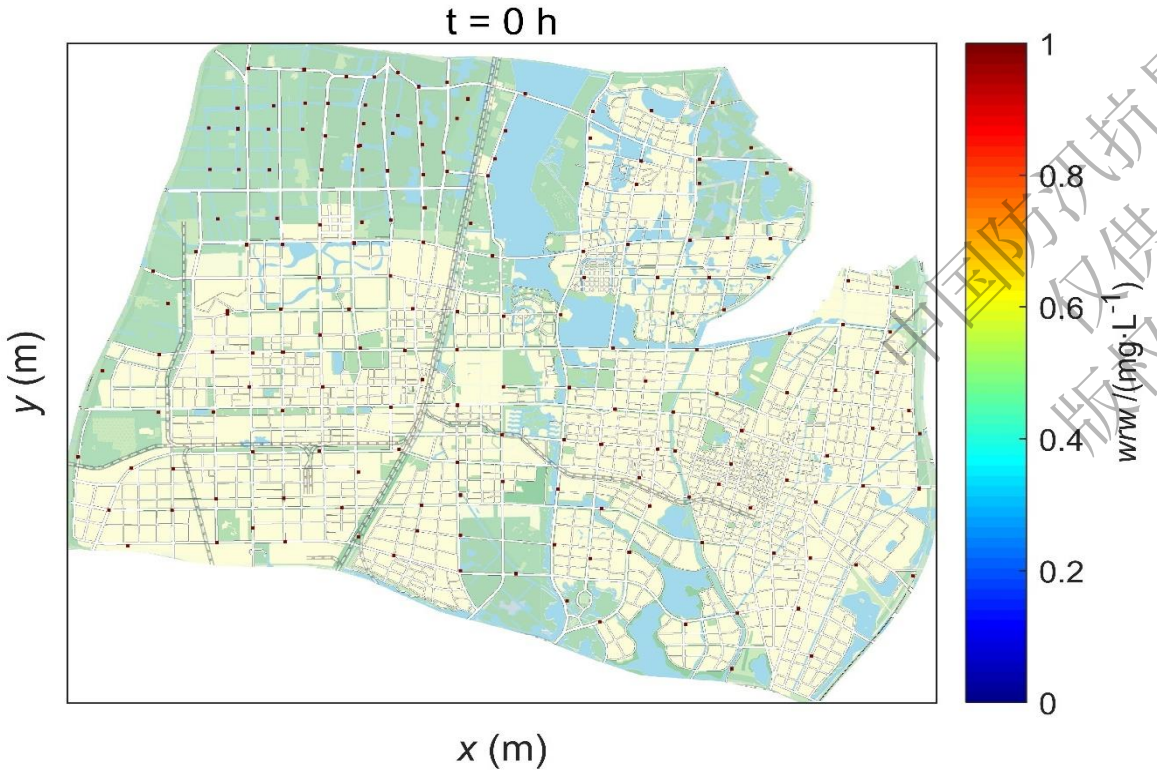
无溢流面源污染负荷量相对于有溢流而言均有所增加，这由于部分污染物通过管网系统检查井溢出，经地表径流输运雨水排口，排至沟道，增加了各沟道污染物负荷量。

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

水质模块数值模拟及结果分析

➢ 地表二维输移模拟

为研究实际降雨银川市全区域城市非点源污染物输移过程，采用典型年单日最大降雨量（24h）降雨过程 来进行模拟。假设初始时刻污染物分布在街道、人行道等极易受雨水冲刷区域，其浓度为1mg/L。以银川市整个片区及六污片区24个水质监测点，通过对多组分污染物输移计算，得不同降雨污染物随地表径流输移过程。

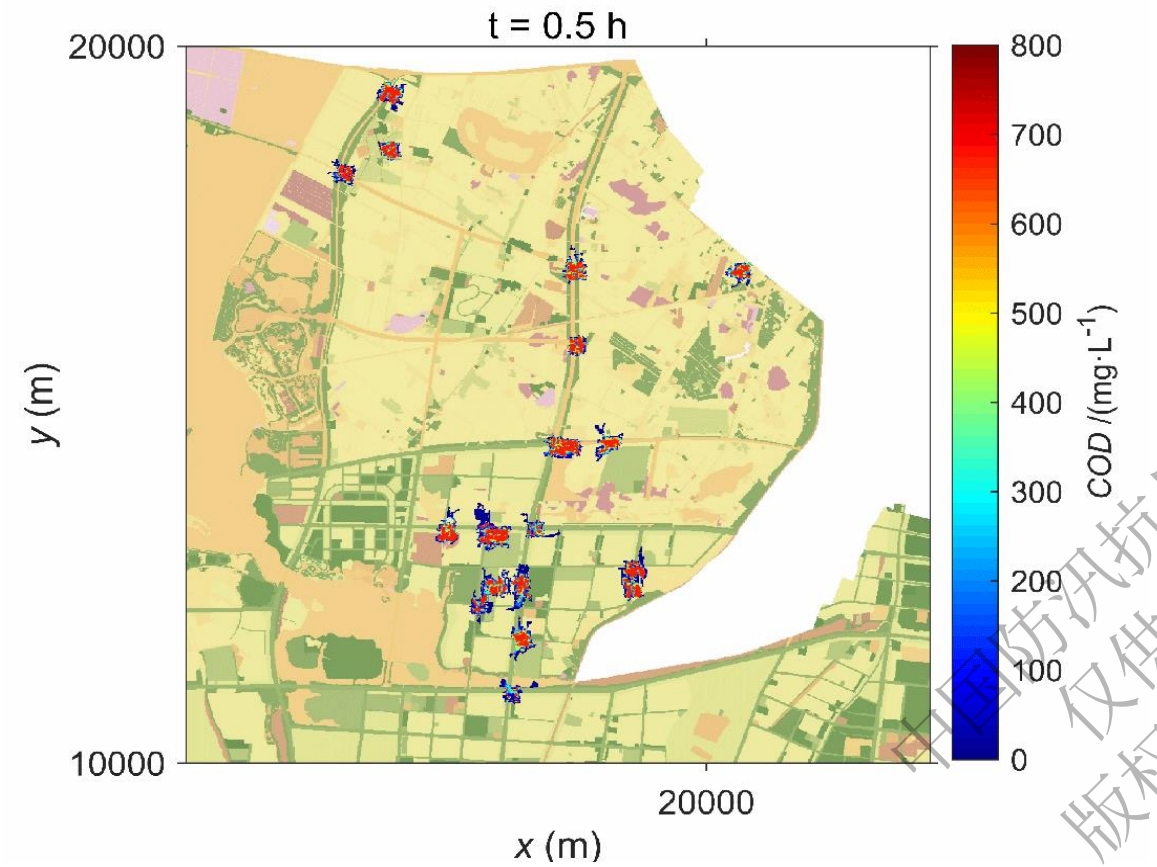


银川城市地表非点源污染初始位置分布图

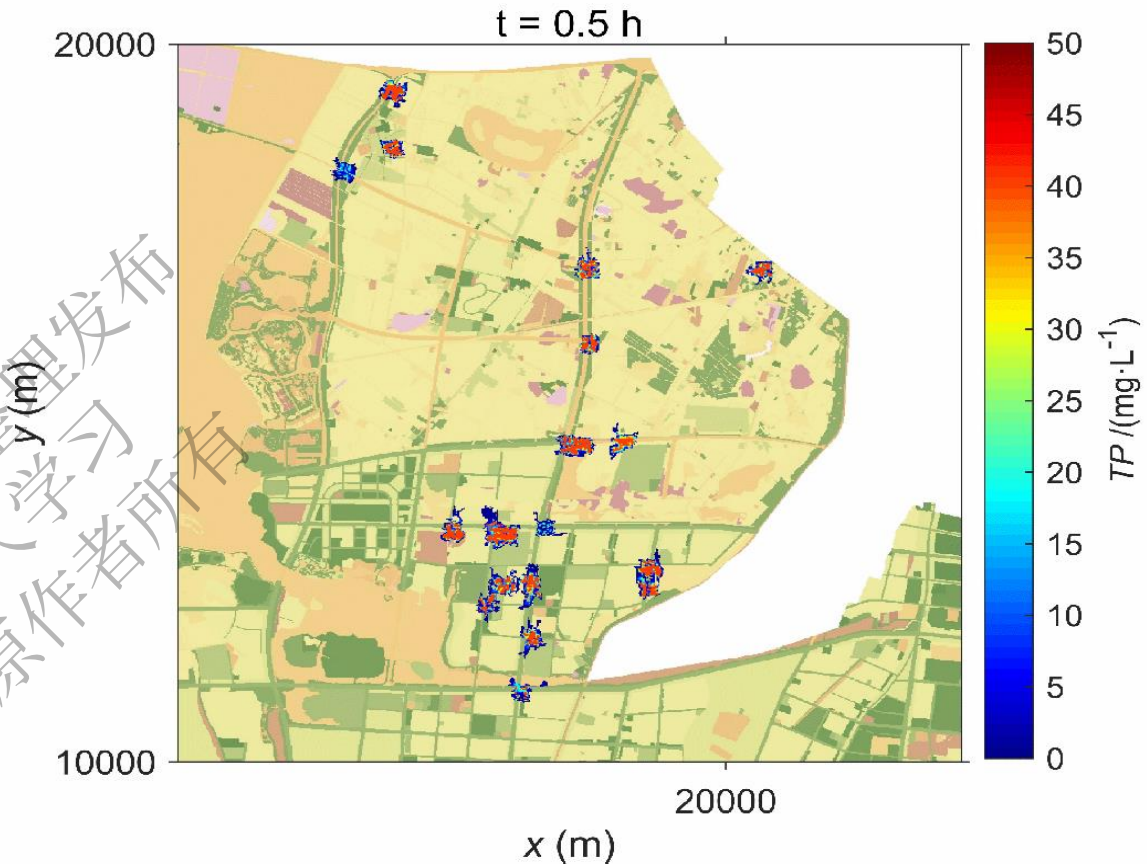
24h时刻地表非点源污染物输移过程

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

水质模块数值模拟及结果分析



第六污水处理厂区域COD输移过程模拟



第六污水处理厂区域TP输移过程模拟

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

不同土地利用类型污染物输移速度差异较大，草地植被区污染物随径流输移较慢，得出增加植被缓冲带对面源污染的治理有很大作用。虽面源污染源时空分布离散，但在地表输移往往随地形特征成一定规律。不同地形特征污染物的输移路径不同；面源污染的控制可据污染物输移路径，找出最优植被规划区域，以最小的投资达到最优的治理效果。

水质模块数值模拟及结果分析

➢ 沟道环境容量计算

选择西大沟、西湖挡浸沟、银新干沟和第二排水沟和银东干沟，据现状污水厂分布管辖区，**一污片区**受纳水体为银新干沟，上游水质Ⅲ类；**二污片**区受纳水体为平伏桥四清沟和西大沟，上游水质Ⅲ类；**第二再生水厂**的尾水排至受纳水体为西湖挡浸沟；**五污片区**受纳水体为第二排水沟，上游水质Ⅳ类。各沟道水质标准为Ⅳ类水质。

沟道名称	沟道环境容量（t/a）				
	BOD_5	TSS	COD	NH^+_4-N	TP
银新干沟	559.757	2798.786	2798.786	139.939	27.988
西大沟	1055.863	5279.314	5279.314	263.966	52.793
西湖挡浸沟	117.104	585.522	585.522	29.276	5.855
第二排水沟	995.834	4979.167	4979.167	248.958	49.792
银东干沟	85.573	427.864	427.864	21.393	4.279

沟道环境容量

环境容量与上游来流量及污染物浓度、排污口流量及目标水质等相关，由于TSS和COD目标水质浓度相同，得TSS和COD环境容量负荷相同。

中国防汛抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

水质模块数值模拟及结果分析

➢ 有无溢流各沟道三天衰减断面浓度

根据各沟道最大单日降雨条件排至沟道污染物负荷量，得到入沟道第三天污染物负荷浓度变化情况。已知雨季第三天沟道达到III类水质。

沟道名称	有无溢流	最大单日降雨量雨季第三天污染污浓度（mg/L）				
		BOD_5	TSS	COD	NH_4^+-N	TP
城市第四排干沟	有溢流	33.22	74.16	74.39	6.56	3.7
	无溢流	13.167	33.42	32.253	2.532	1.459
银新干沟	有溢流	0.31	14.2	13.16	0.69	0.31
	无溢流	2.969	13.868	12.949	0.942	0.243
西大沟	有溢流	129.64	177.84	145.81	70.07	12.27
	无溢流	53.118	77.884	68.483	28.284	5.081
平伏桥四清沟	有溢流	4.61	19.88	17.16	1.76	0.49
	无溢流	3.439	11.11	20.06	1.094	0.364
陈家圈排水沟	有溢流	2.99	13.79	13.28	0.68	0.22
	无溢流	3.087	14.041	13.421	0.689	0.24
西湖挡浸沟	有溢流	35.6	150.28	122.46	3.21	10.78
	无溢流	16.69	68.07	63.35	2.62	4.29
满城街东侧沟	有溢流	2.9	13.67	12.86	0.89	0.23
	无溢流	5.04	23.59	21.96	1.6	0.42
第二排水沟	有溢流	126.96	126.96	86.23	2.7	11.17
	无溢流	14.38	64.22	52.51	2.01	4.2
银东干沟	有溢流	3.48	14.2	13.16	0.69	0.31
	无溢流	5.96	23.57	21.55	1.13	0.57

III类水质:COD ≤ 20 mg/L, BOD_5 ≤4mg/L, TSS ≤ 30 mg/L, NH^+_4-N ≤1.0mg/L, TP ≤ 0.2 mg/L。

原有溢流→无溢流沟道，三天后污染物浓度减少值几乎50%以上；原无溢流→无溢流沟道，污染物浓度出现一定程度增加；这是由于溢流排口封堵，导致市区管网系统发生一定程度溢流，这部分污染物负荷通过地面径流排至沟道。

据沟道水质雨季三天后目标水质，无论有/无溢流，沟道三天后监测断面浓度均无法全部达到水质要求，需要增设相应改造措施以改善沟

南国防洪抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

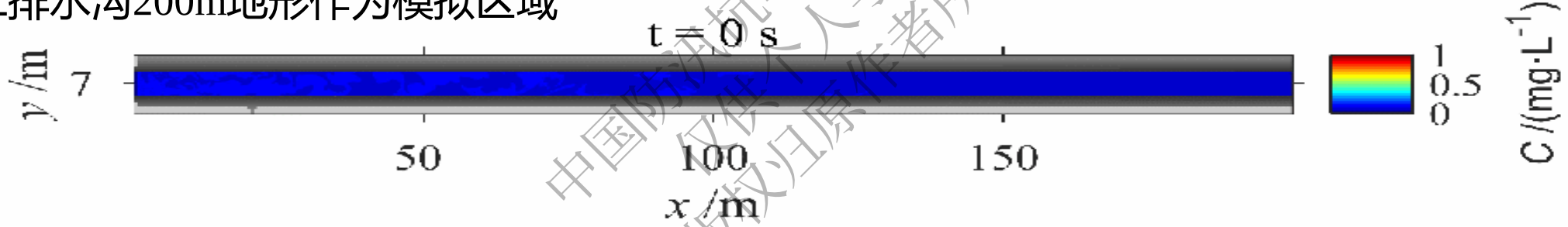
水质模块数值模拟及结果分析

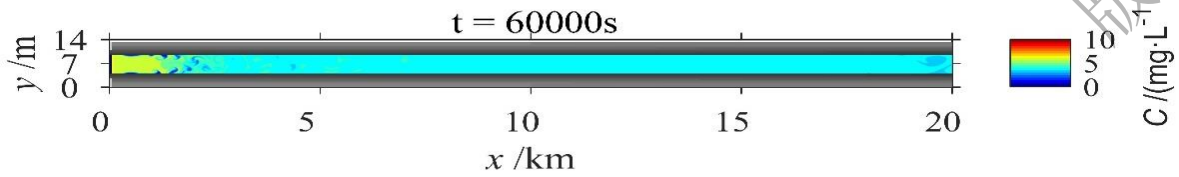
➢ 沟道对流扩散过程可视化模拟

以第二排水沟中水质因子BOD_5为例，五污位于二排下游靠近末端位置，截取排口至下游200m作为模拟地形，模拟沟道二维对流扩散，同时对排口至下游20km沟道二维衰减过程进行模拟。

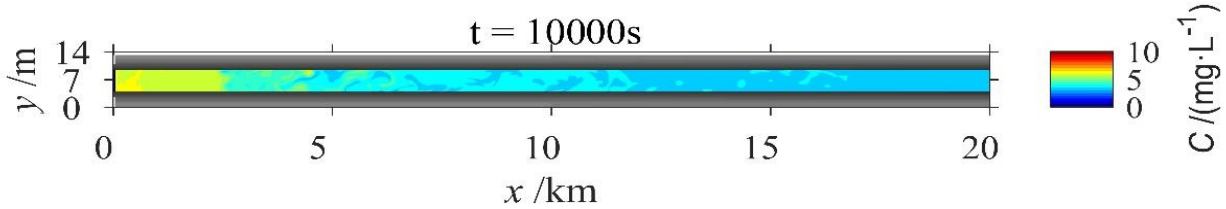
溢流污染物输移衰减过程，由于污染物浓度过大，加重了沟道污染程度。而尾水污染物浓度小于上游来水污染物浓度，加速了沟道污染物浓度的衰减。

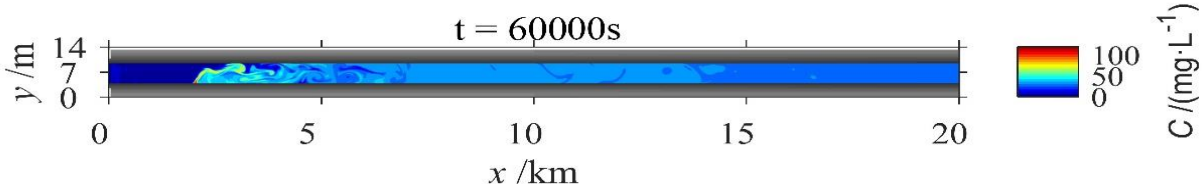
截取第二排水沟200m地形作为模拟区域



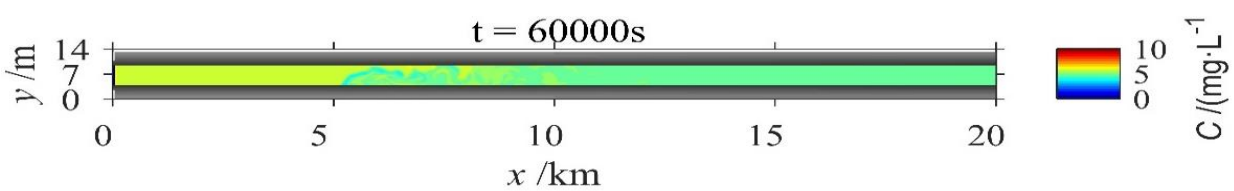


沟道二维衰减过程





溢流排口污染物输移过程



尾水排口污染物输移

中国防洪抗旱整理发布
仅供个人学习
版权归原作者所有

西安理工大学
XI'AN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室
STATE KEY LABORATORY OF ECO-HYDRAULICS IN NORTHWEST ARID REGION OF CHINA

基于高效高精度水动力-水质模型的城市内涝及合流制溢流污染研究

中国防汛抗旱杂志社
仅供个人学习
版权归原作者所有

王添　李欣怡　杨露

西安理工大学

2021年10月11日

水模拟及灾害管理
Group of Water Simulation & Flood Management

t.wang@xaut.edu.cn