

基于InfoWorks ICM模型的东沙湖流域内涝风险评估及应用

谢 珊, 向碧为, 李 敏, 蒋佳鑫

武汉市水务科学研究院, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年4月5日; 录用日期: 2025年4月22日; 发布日期: 2025年4月28日

摘 要

在城市内涝问题日益加剧的大背景下, 以武汉东沙湖流域作为研究对象, 基于InfoWorks ICM构建排水管网数学模型。通过对各类基础数据的深度整合实现模型的合理概化, 并采用特定降雨资料达成模型参数的精确率定。依据现状及规划要求, 选取不同降雨工况模拟东沙湖流域内涝风险。研究结果表明, 遭遇20年一遇降雨时内涝风险基本处于可控范围, 而面临100年一遇降雨时则涌现出较多中高风险区域。进一步针对水果湖片成果展开精细化剖析, 梳理出关键防护对象并绘制内涝主题风险图, 为水果湖片内涝防御工作提供了更为精准的指导。

关键词

东沙湖流域, InfoWorks ICM, 内涝风险评估, 主题风险图

Assessment and Application of Waterlogging Risk in Dongsha Lake Basin Based on InfoWorks ICM Model

Shan Xie, Biwei Xiang, Min Li, Jiaxin Jiang

Wuhan Institute of Water Affairs Science Research, Wuhan Hubei

Received: Apr. 5th, 2025; accepted: Apr. 22nd, 2025; published: Apr. 28th, 2025

Abstract

In the context of the increasingly severe urban waterlogging problem, this study takes the Dongsha Lake Basin in Wuhan as the research object and uses InfoWorks ICM to build a mathematical model of the drainage pipe network. Through the in-depth integration of various basic data, the reasonable generalization

作者简介: 谢珊(1981-), 女, 高级工程师, Email: 25819786@qq.com

文章引用: 谢珊, 向碧为, 李敏, 蒋佳鑫. 基于 InfoWorks ICM 模型的东沙湖流域内涝风险评估及应用[J]. 水资源研究, 2025, 14(2): 150-162. DOI: 10.12677/jwrr.2025.142016

of the model is realized, and the specific rainfall data is used to achieve the accurate calibration of the model parameters. According to the current situation and planning requirements, different rainfall conditions are selected to simulate the waterlogging risk in the Dongsha Lake Basin. The results show that when encountering the 20-year return period rainfall, the risk is basically controllable, while when facing the 100-year return period rainfall, more medium and high-risk areas emerge. Further, a detailed analysis of the results of the Fruit Lake area is carried out, the key protection objects are sorted out, and the thematic risk maps are carefully prepared, providing more accurate guidance for the waterlogging prevention work in the Fruit Lake area.

Keywords

Dongsha Lake Basin, InfoWorks ICM, Waterlogging Risk Assessment, Thematic Risk Map

Copyright © 2025 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在气候变化与快速城市化进程相互交织的大环境中,城市内涝问题已然成为制约城市可持续发展的重要瓶颈[1]-[3]。相关统计数据显示,我国约 62%的城市曾遭受内涝灾害[4],其中 39%的城市每年内涝发生次数达 3 次及以上[5]。武汉市地处两江交汇的独特地理位置,因其特殊的气候条件与复杂的地形地貌而洪涝灾害频发[6]。2011 年“6.18”降雨(最大日降雨量达 192 mm)致使东湖因排水不畅水位持续上涨,导致周边积水漫延,引发了广为人知的“武大看海”现象[7]-[9];2016 年“6.30~7.7”降雨(国家气象站周降雨量高达 582 mm,创历史极值),导致汤逊湖、南湖湖水漫溢,周边地区积水长达一周,造成直接经济损失 22.65 亿元[10][11];2020 年 7 月,武汉市遭受 8 轮强降雨冲击,持续时长累计 54 天,总降雨量达 941 mm,局部低洼区域出现严重渍水[12][13]。以上内涝事件深刻反映出城市内涝灾害治理的必要性和紧迫性。

鉴于此严峻形势,国务院、住建部、应急部等多部门相继出台一系列旨在完善排水防涝标准体系、推进相关工程建设的政策文件,以期切实保障民众生命财产安全,显著增强城市防灾减灾能力[14]。在此背景下,本研究借助 InfoWorks ICM 构建东沙湖流域城市内涝水文水动力耦合模型,综合考虑了泵站、闸门和排水管网等设施,对流域内涝风险情况和现状排水系统效能进行全面评估,为东沙湖流域的科学规划与合理建设提供强有力的技术支持。

2 研究区概况及方法

2.1. 流域概况及数据

东沙湖流域面积约为 184.2 km²,流域地势较低,汛期外江(长江)水位高于区域平均地面高程,降雨进入湖泊调蓄后再由泵站抽排出江。流域内主要调蓄湖泊有东湖、沙湖、杨春湖、内沙湖,主要河道有沙湖港、罗家港、东湖港、青山港、新沟渠、东阳港、东沙湖渠(楚河)、青山一号明渠、青山二号明渠、董家路明渠,主要排涝泵站有罗家路一期和二期泵站(抽排罗家港水进入长江,设计排水能力为 93 m³/s)、新生路泵站(抽排沙湖水进入长江,设计排水能力为 40 m³/s)、港西一、二泵站(抽排青山区的管网水进入长江,设计排水能力为 76.8 m³/s)。东沙湖流域水系图见图 1。

本文用到的数据包括降雨、水位、泵站、涵闸等的运行监测数据。东沙湖流域范围及周边雨量站共有 11 处,水位站 4 处,详见图 2。分析各站点 2016 年 6~7 月的累计雨量数据的完整性,除 M11——挽月中学雨量站外,其

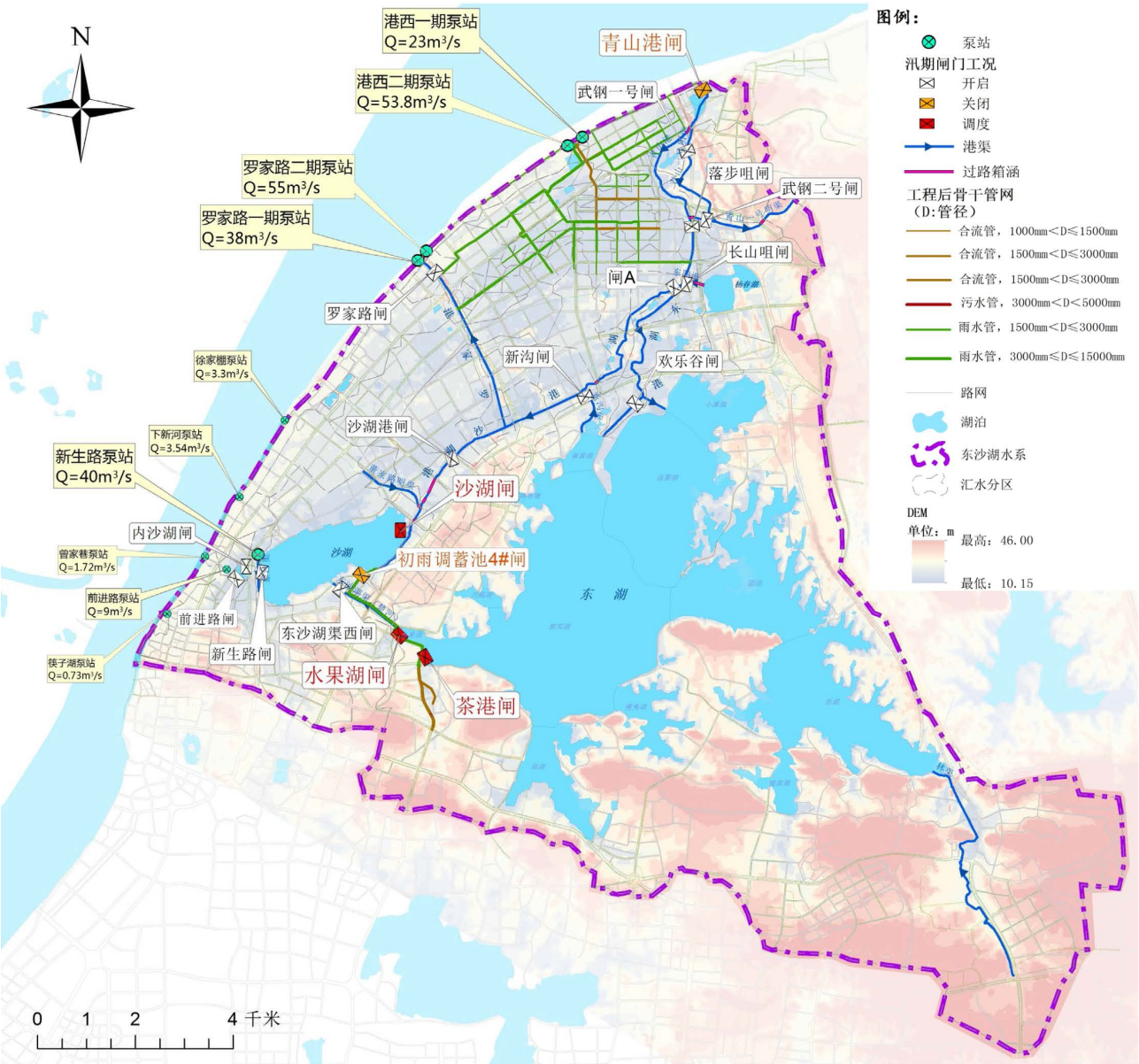


图 1. 东沙湖流域图

他站点的累计雨量数据变化形态相似，总雨量介于 800~1200 mm，M11——挽月中学雨量站由于监测数据严重缺失，不用于模型校验。对邻近的雨量站点从 2016 年 6~7 月雨量数据进行双累计曲线的相关性分析，评估雨量监测数据之间的相关性，进一步确定可用于模型校验和模拟计算的雨量数据。水位数据选取同期水位站监测数据，泵站运行参考运行台账，沿江涵闸期间处于关闭状态。

2.2. 模型构建及概化

当前国内外排水防涝模型领域中，SWMM 模型[15]、MIKE URBAN 模型[16]、HSPF 模型[17]以及 InfoWorks ICM 模型[18]等应用颇为广泛。其中，InfoWorks ICM 是英国 Walling Ford 公司开发的一款可以完整模拟城市雨水循环系统，实现城市排水管网系统模型与河道模型的整合，并在数据的后处理以及结果分析输出方面具有一定优势[19]~[21]。本文以东沙湖流域为例，采用 InfoWorks ICM 建立流域排水管网模型，对该区域的内涝风险进

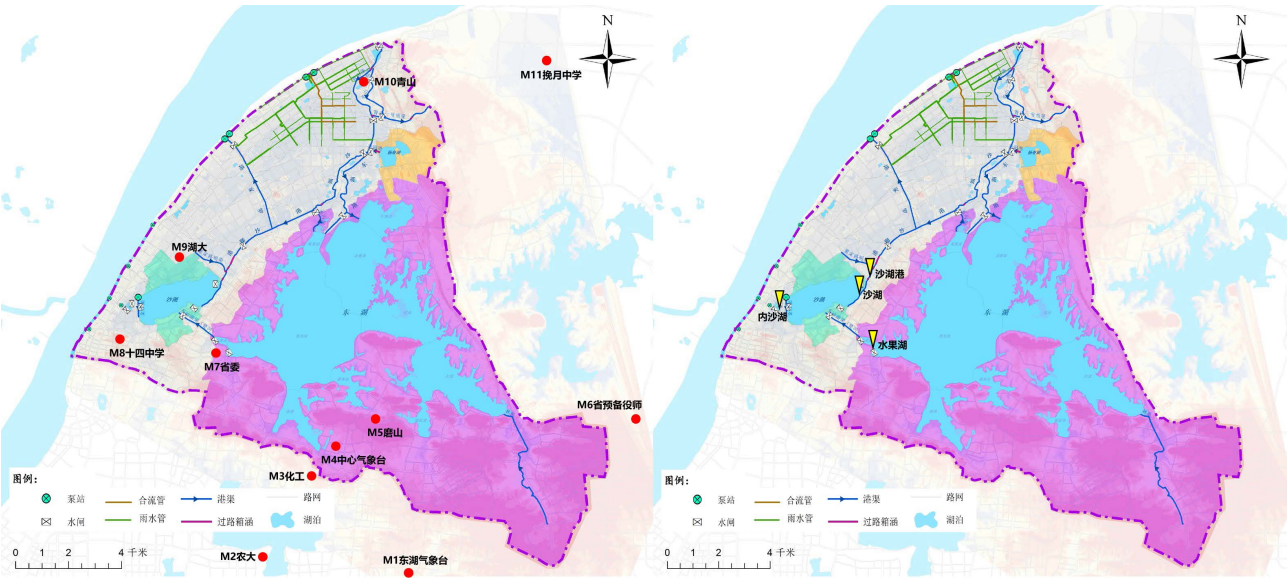


图 2. 东沙湖流域雨量站、水位站分布图

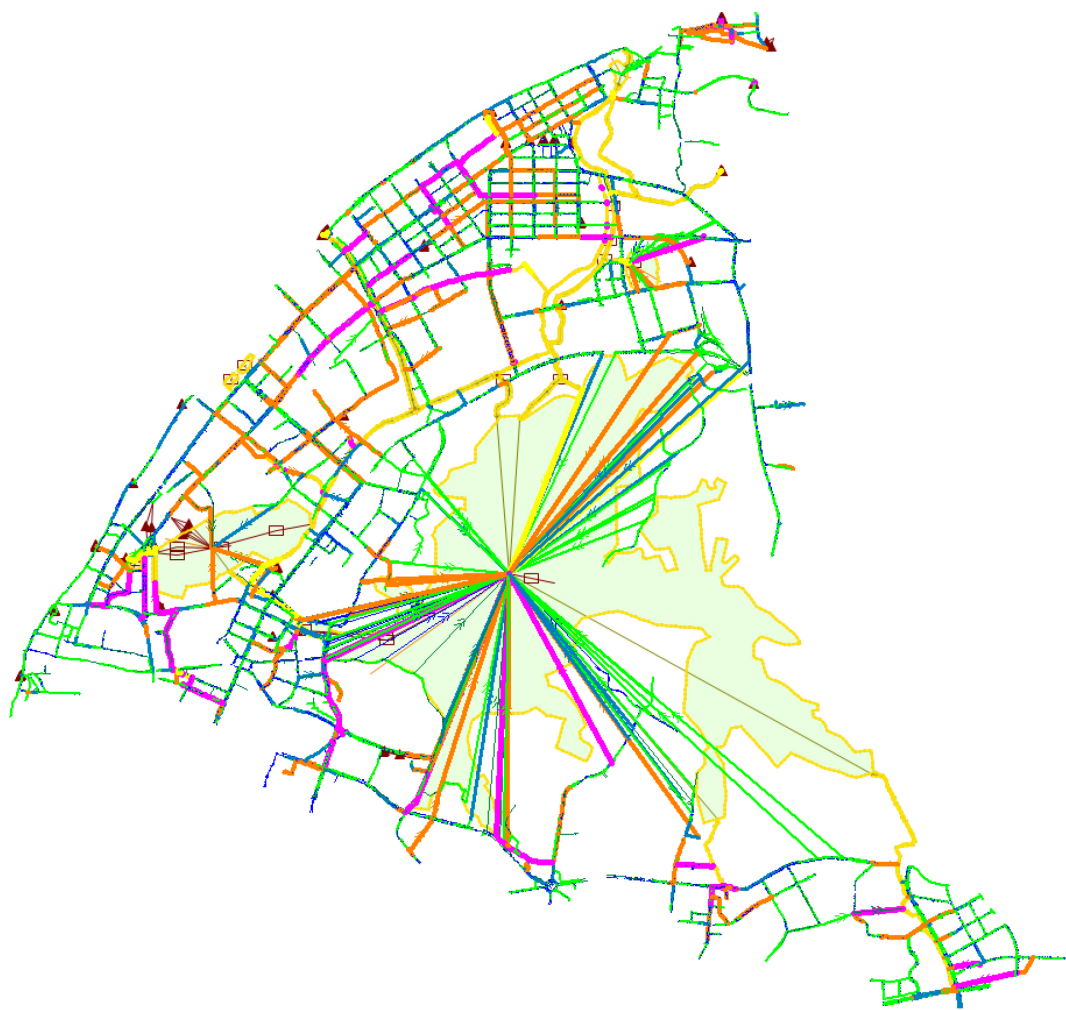


图 3. 模型网络概化图

行评估。

结合东沙湖流域管网、港渠和湖泊等基础数据，形成了由湖泊、港渠、泵站、闸门、骨干排水管网组成的模型网络，如图 3 所示，并核查了港渠上的主要阻水设施，模型包含 1946 个骨干节点、1809 条管渠、47 台水泵、16 座闸门、127 段河道共 717 个断面以及 90 个堰。

考虑到东湖面积和汇水范围均较大，由 12 个子湖组成且部分子湖间连接有阻水构筑物，本次模型将东湖概化为 7 个相连的调蓄节点，并根据湖泊间的连接形式和阻碍构筑物分布进行概化。

根据地形图与航拍影像图对区域现状下垫面进行解析，共解析为道路、房屋、裸地、硬地、绿地、水面这 6 种类型，解析后的各下垫面分布和面积将用于各子集水区的下垫面组成面积参数见表 1 和图 4。

表 1. 东沙湖流域下垫面组成统计表

下垫面类型	屋面	绿地	硬地	裸地	道路	水面	合计
占比	30.62%	22.10%	8.82%	3.28%	12.88%	22.31%	100.0%

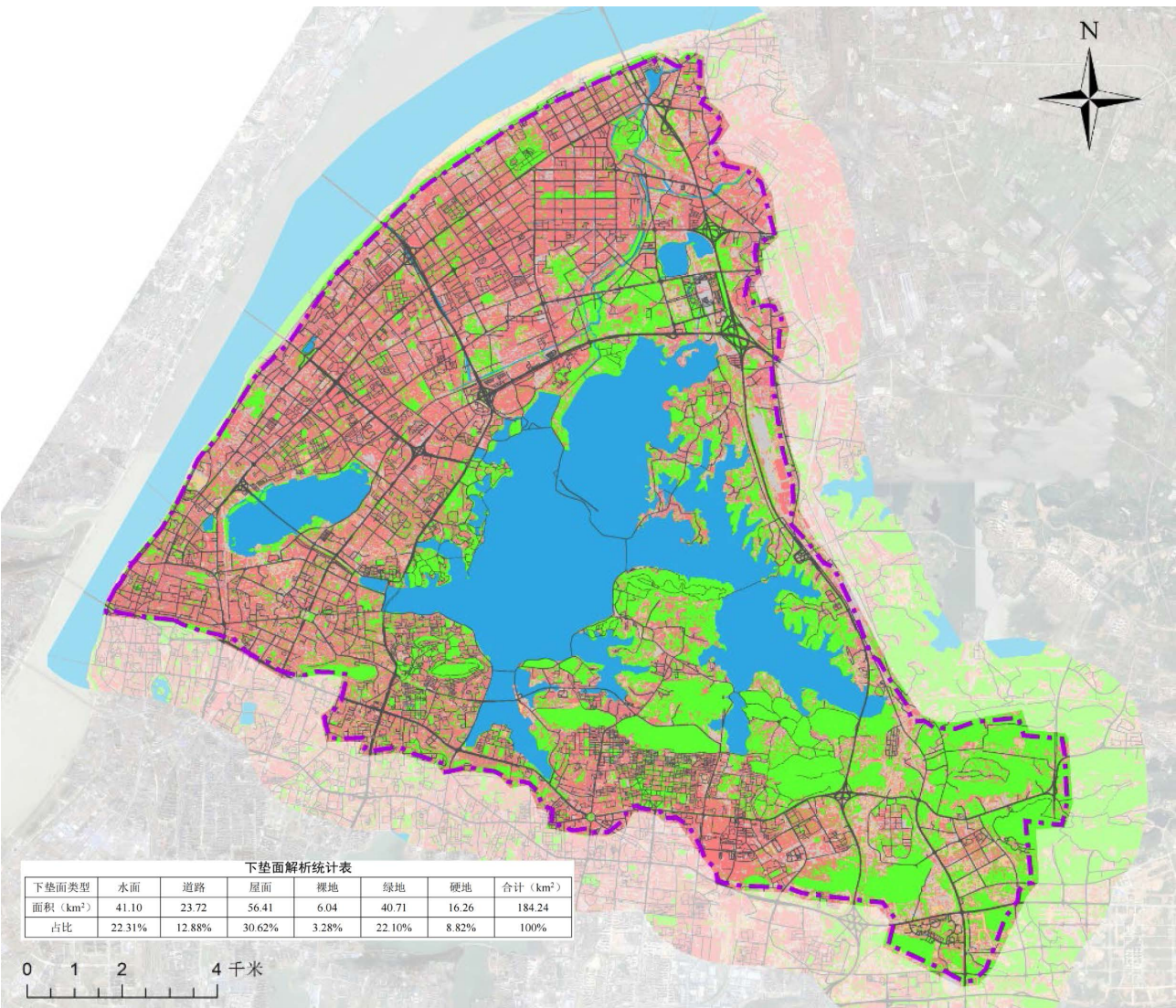


图 4. 下垫面解析后的组成分布

2.3. 计算工况

东沙湖流域现状排涝标准在 20~30 年一遇之间，根据《武汉市排水防涝专项规划(2021~2035 年)》，至 2035 年武汉市建成区综合防涝能力能够有效应对 50 年一遇暴雨，重点片区能够有效应对 100 年一遇暴雨。因此，本次选取了标准内 20 年一遇降雨和超标准 100 年一遇降雨来模拟东沙湖流域内涝风险。

为构建符合区域特征的设计降雨过程，本研究基于武汉站 1951~2023 年共 73 年的逐日降雨资料，对历年最大 1 日、3 日及 7 日暴雨量进行统计分析。结合东沙湖流域蓄排结合的功能定位，最终选定 3 日降雨时长作为设计标准。在典型雨型确定方面，鉴于武汉市历史极端降雨事件(最大 1 日、3 日暴雨)均集中于江夏乌龙泉站“2020.7”降雨，以该站实测降雨为典型雨型，通过同频率放大法推求设计降雨过程(见表 2)，保证水文模拟的物理合理性与计算可靠性。

表 2. 东沙湖流域典型降雨过程表

时段(h) “2020.7” 实测值(mm)				100 年一遇(mm)				20 年一遇(mm)			
时段(h)	“2020.7” 实测值(mm)	100 年一遇(mm)	20 年一遇(mm)	时段(h)	“2020.7” 实测值(mm)	100 年一遇(mm)	20 年一遇(mm)	时段(h)	“2020.7” 实测值(mm)	100 年一遇(mm)	20 年一遇(mm)
1	0	0.0	0.0	37	3.6	2.9	2.0				
2	0	0.0	0.0	38	4.7	3.7	2.6				
3	0	0.0	0.0	39	17	13.5	9.5				
4	0	0.0	0.0	40	11.2	8.9	6.3				
5	0	0.0	0.0	41	30	23.8	16.8				
6	0	0.0	0.0	42	3.2	2.5	1.8				
7	0	0.0	0.0	43	1.6	1.3	0.9				
8	0	0.0	0.0	44	7.7	6.1	4.3				
9	0	0.0	0.0	45	0.1	0.1	0.1				
10	0.4	0.3	0.2	46	7.7	6.1	4.3				
11	5.1	3.5	2.5	47	14.2	11.3	8.0				
12	2.5	1.7	1.2	48	35.6	28.2	20.0				
13	2.3	1.6	1.1	49	12.6	8.6	6.1				
14	9.5	6.5	4.6	50	21.3	14.6	10.3				
15	25.3	17.3	12.3	51	1.1	0.8	0.5				
16	6.7	4.6	3.2	52	0	0.0	0.0				
17	14.2	9.7	6.9	53	0.1	0.1	0.0				
18	9.9	6.8	4.8	54	0	0.0	0.0				
19	10	6.9	4.8	55	2.4	1.6	1.2				
20	17	11.6	8.2	56	0	0.0	0.0				
21	3.8	2.6	1.8	57	0	0.0	0.0				
22	5.1	3.5	2.5	58	2.8	1.9	1.4				
23	0.7	0.5	0.3	59	0	0.0	0.0				
24	5.1	3.5	2.5	60	0	0.0	0.0				
25	1.4	1.1	0.8	61	0	0.0	0.0				
26	1.8	1.4	1.0	62	0.3	0.2	0.1				

续表

27	0	0.0	0.0	63	1.6	1.1	0.8
28	6.7	5.3	3.8	64	3.0	2.1	1.5
29	71.9	57.0	40.3	65	10.3	7.1	5.0
30	28.6	22.7	16.0	66	10.2	7.0	4.9
31	15.8	12.5	8.9	67	6.3	4.3	3.1
32	34.5	27.3	19.3	68	9.8	6.7	4.8
33	27.4	21.7	15.4	69	6.7	4.6	3.2
34	88.3	70.0	49.5	70	1.6	1.1	0.8
35	42.9	34.0	24.1	71	1	0.7	0.5
36	5.2	4.1	2.9	72	0.7	0.5	0.3
合计					670.5	508.9	360.0

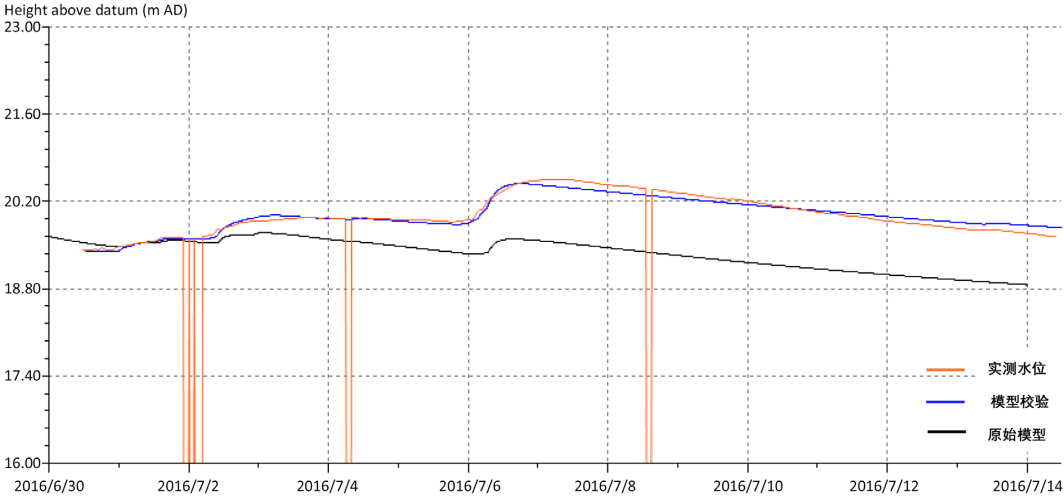


图 5. 水果湖站点模拟水位与监测水位过程

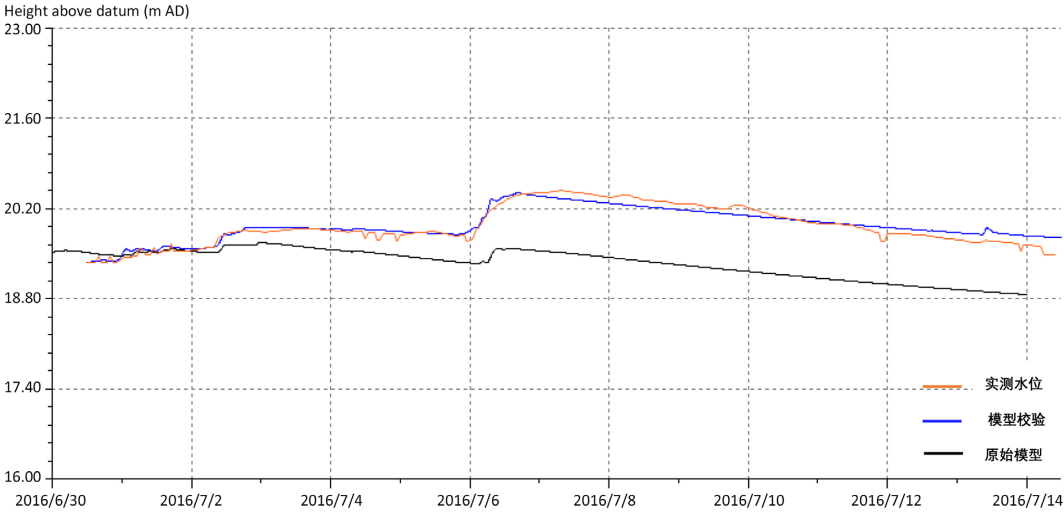


图 6. 沙湖站点模拟水位与监测水位过程

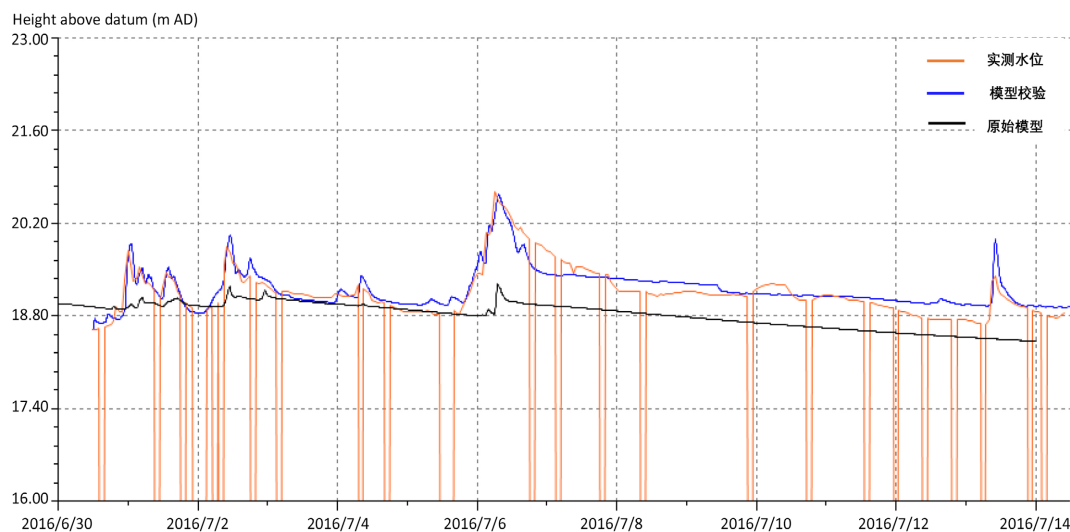


图 7. 沙湖港站点模拟水位与监测水位过程

3. 研究结果及分析

3.1. 模型参数率定

采用武汉市 2016 年“6.30~7.7”降雨进行模型率定。经过率定后的水位模拟过程与实测过程吻合良好，水果湖、沙湖、沙湖港三个站点的计算与实测最高水位差均控制在 10 cm 以内，降雨期间的水位上涨趋势和雨后退水下降趋势相近。如图 5~7 所示，对比各监测站点的模拟水位和监测水位过程，趋势较为吻合，涨水过程和落水过程较为一致，纳什效率系数均大于 0.8，率定效果良好。

3.2. 东沙湖流域内涝淹没面积分析

采用模型分别模拟标准内 20 年一遇 3 日降雨与超标准 100 年一遇 3 日降雨。渍水情况按照最大淹没水深进行分级，0.5 m 为国标《城市内涝防治规划标准》交通中断临界值；1.2 m 为成人失稳状态，对行人造成较大影响。因此本次成图中低风险为 0.1~0.5 m 区域，中风险为 0.5~1.2 m 区域，高风险为 1.2 m 以上区域。

20 年一遇降雨情景下(见图 8)，大部分区域最不利淹没水深集中在 0.5 m 以下，风险基本可控，个别高风险点集中在流域东南面的东湖花木城。

100 年一遇降雨情景下(见图 9)，出现了较多中风险和高风险区域，中风险区域集中在新生路泵站周边、罗家港西侧友谊大道片、港西随州街片、和平大道建港南街片等。高风险集中在武汉大学八一路片、紫松箱涵上游段等。

3.3. 东沙湖流域关键设施风险点分析

为推动积水内涝应急管理向风险管理的积极转变，持续强化积水内涝风险防控工作，本次研究对东沙湖流域水果湖片 100 年一遇内涝风险评估成果进行深入细化研究，充分利用大数据等先进分析手段，梳理水果湖的生命线设施、排水防涝设施、重要交通设施、弱势群体集中区域等重点防护对象，制作不同主题的风险图，从而有效提升防灾的精准度。

当降雨较大时，个别道路会变成泄洪通道，加之地面积水后，人会处于失稳状态，被涝水冲走。综合文献及国内外的流速判定[22]，将区域道路按流速分为 4 个等级，用于指导道路避险。结果表明(见图 10)，水果湖片大部分道路流速在 0.5~1.0 m/s 之间，少部分道路流速在 1~2 m/s，主要集中在地势起伏较大的珞珈山片。

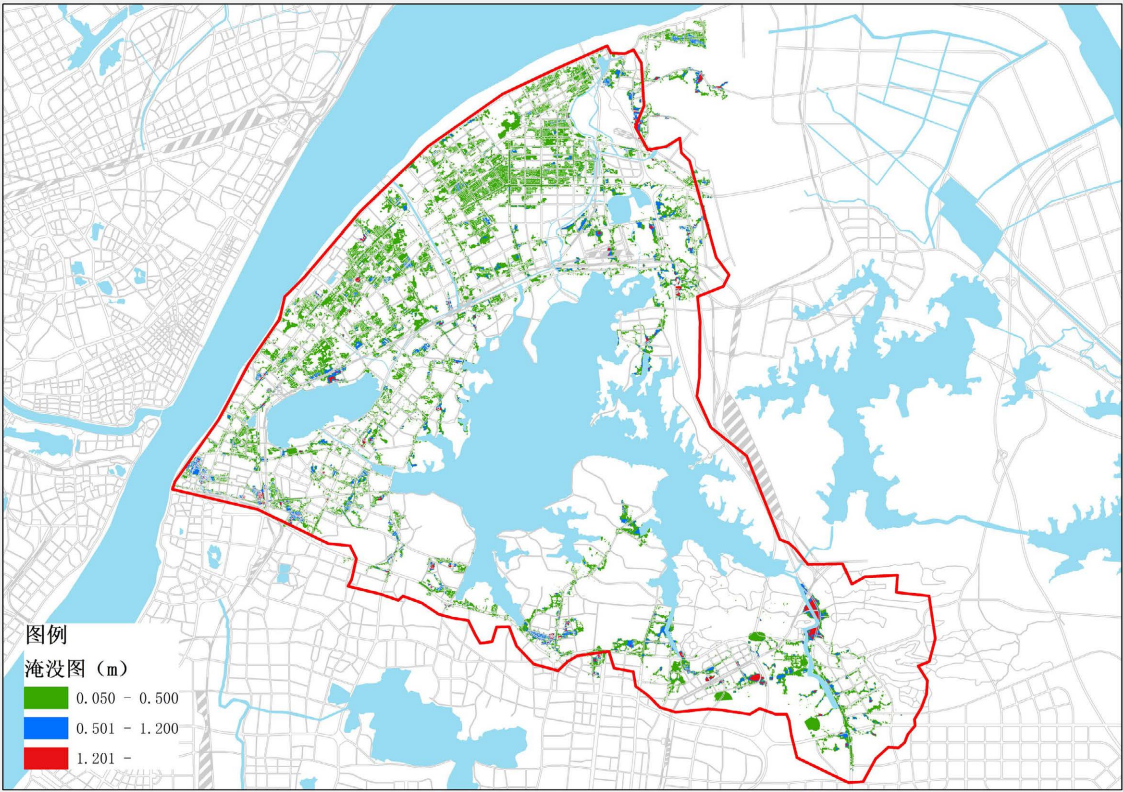


图 8. 20 年一遇一日最不利淹没图

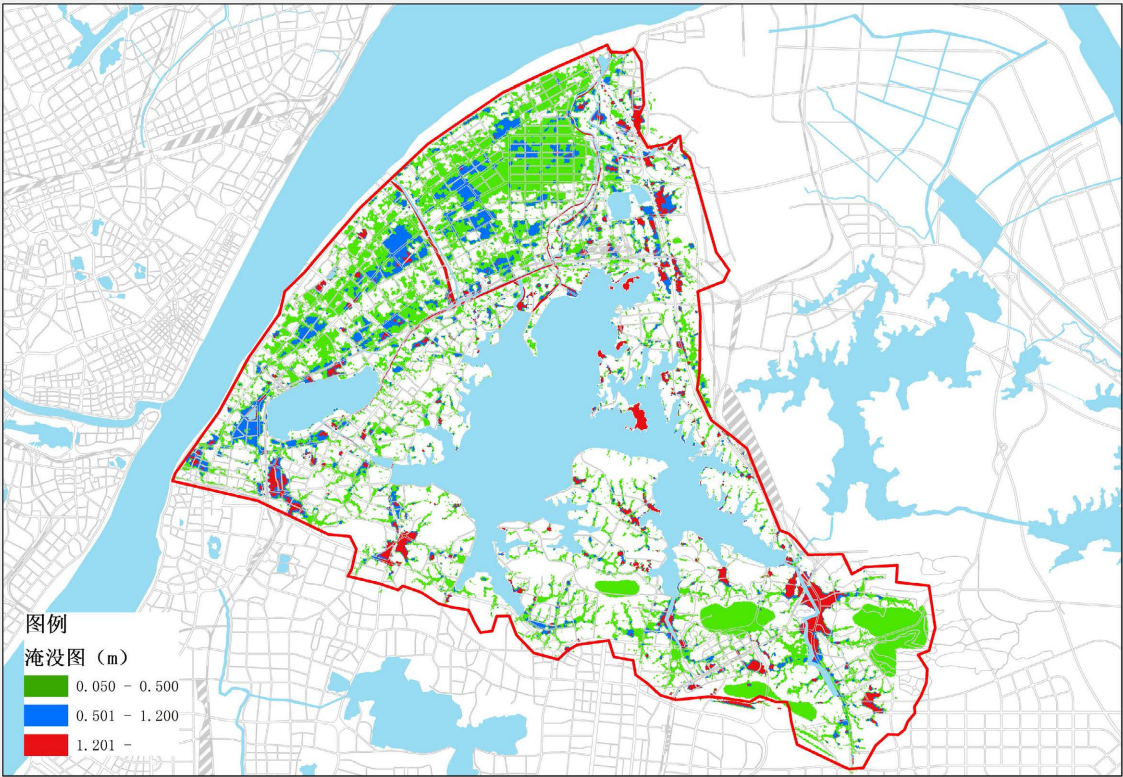


图 9. 100 年一遇一日最不利淹没图



图 10. 道路流速分布图

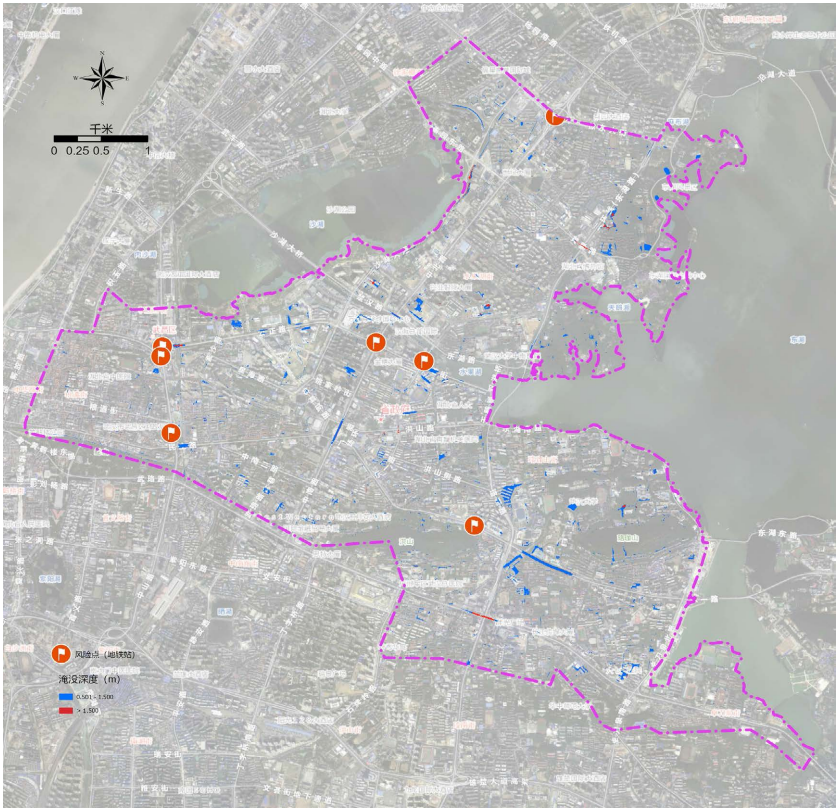


图 11. 轨道交通站点风险点分布图



图 12. 学校风险点分布图



图 13. 医院风险点分布图

参考地铁相关构筑物标高,按照车站入口和通风口的挡水高度考虑进行风险划分,车站入口地面积水深度高于 0.5 m 时有风险,通风口挡水处地面积水深度超过 1.5 m 有风险。据此,轨道交通积水深度按 0.5~1.5 m、大于 1.5 m 划分为 2 个等级。结果表明(见图 11),水果湖片位于风险区的地铁站点有 6 处,分别位于 4 号线的楚河汉街、岳家嘴站;8 号线水果湖、小洪山、岳家嘴站;7 号线小东门、螃蟹岬站以及 2 号线螃蟹岬站。

在发生渍涝情况下,影响儿童、成人安全的主要因素有积水深度、水流速度[22]。《城市防洪应急预案编制导则》(SL 754-2017)中,根据水深、流速划分了洪水、内涝积水风险等级,考虑在地面坡度较大地方内涝积水流速较大,影响人安全通过,本研究参考该规范洪水风险等级来划分学校、医院风险等级。结果表明(见图 12,图 13),有 40 所学校、7 座医院位于风险区内。

4. 研究结论

本文运用 InfoWorks ICM 模型模拟了东沙湖流域在标准内 20 年一遇和超标准 100 年一遇降雨情景下内涝风险,并依据不同水深对淹没区进行了科学合理的风险等级划分。通过对水果湖片成果的细化研究,梳理重点防护对象并制作主题风险图,有效提高了防灾的精准度,为城市内涝治理提供了有价值的参考。然而,为从根本上提升城市内涝风险防御能力,未来还需进一步优化城市竖向设计,推进区域海绵化改造,加强水务工程建设,因地制宜地布设源头径流控制措施和道路行泄通道措施等综合措施,全面提高区域内涝整体防治能力,最大程度减轻内涝灾害造成的损失,保障城市的安全与可持续发展。

基金项目

湖北省水利重点科研项目(HBSLKY202330)。

参考文献

- [1] 周伟奇, 朱家骥. 城市内涝与基于自然的解决方案研究综述[J]. 生态学报, 2022, 42(13): 5137-5151.
- [2] XU, D., OUYANG, Z., WU, T., et al. Dynamic trends of urban flooding mitigation services in Shenzhen, China. Sustainability, 2020, 12(11): 4799. <https://doi.org/10.3390/su12114799>
- [3] QI, W., MA, C., XU, H., et al. Urban flood response analysis for designed rainstorms with different characteristics based on a tracer-aided modeling simulation. Journal of Cleaner Production, 2022, 355: 131797. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131797>
- [4] 刘俊, 鞠永茂, 杨弘. 气候变化背景下的城市暴雨内涝问题探析[J]. 气象科技进展, 2015, 5(2): 63-65.
- [5] 张建云, 王银堂, 贺瑞敏, 等. 中国城市洪涝问题及成因分析[J]. 水科学进展, 2016, 27(4): 485-491.
- [6] 周延, 余敦先, 夏军, 等. 基于水文水动力模型的 LID 措施对城市内涝风险的影响研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2022, 55(11): 1090-1101.
- [7] 周洪建, 王丹丹, 袁艺, 等. 中国特别重大自然灾害损失统计的最新进展——《特别重大自然灾害损失统计制度》解析[J]. 地球科学进展, 2015, 30(5): 530-538.
- [8] 李敏, 谢珊, 蒋佳鑫, 等. 武汉市极端暴雨城市内涝风险分析及应对[J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(9): 46-50.
- [9] 项久华, 王亮. 湖北武汉市应对城市内涝灾害探讨[J]. 中国防汛抗旱, 2013, 23(1): 24-27+34.
- [10] LIU, J., SHI, Z. W. Quantifying land-use change impacts on the dynamic evolution of flood vulnerability. Land Use Policy, 2017, 65(6): 198-210. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.04.012>
- [11] JIANG, Y., ZEVENBERGEN, C. and MA, Y. C. Urban pluvial flooding and stormwater management: A contemporary review of China's challenges and "sponge cities" strategy. Environmental Science & Policy, 2018, 80(2): 132-143. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.016>
- [12] 赵超辉, 万金红, 张云霞, 等. 城市内涝特征、成因及应对研究综述[J]. 灾害学, 2023, 38(1): 220-228.
- [13] WU, J., LIU, Z., LIU, T., et al. Assessing urban pluvial waterlogging resilience based on sewer congestion risk and climate change impacts. Journal of Hydrology, 2023, 626: 130230. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130230>
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部办公厅 应急管理部办公厅. 住房和城乡建设部办公厅 应急管理部办公厅关于加强

城市排水防涝应急管理工作的通知[EB/OL]. 2023-06-16.

https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202307/content_6889990.htm, 2024-11-25.

- [15] PENG, Z., LIN, X., SIMON, M., et al. Unit and regression tests of scientific software: A study on SWMM. Journal of Computational Science, 2021, 53: 101347. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2021.101347>
- [16] 孙晓晨, 熊立华, 周密, 等. 基于 MIKE URBAN 模型的武汉市典型城区内涝研究——I: 模型构建与模拟验证[J]. 水资源研究, 2021, 10(5): 459-469.
- [17] 杨博, 陈莹, 陈兴伟, 等. 基于 PEST 的 HSPF 模型径流模拟优化[J]. 中国水土保持科学, 2018, 16(2): 9-16.
- [18] 周天泽, 梁骞, 王艺颖. 基于 InfoWorks ICM 模型的内涝风险评估及综合整治方案构建[J]. 中国防汛抗旱, 2021, 31(5): 12-19.
- [19] 叶陈雷, 徐宗学, 雷晓辉, 等. 基于 InfoWorks ICM 的城市洪涝模拟及其风险分析——以福州市白马河片区为例[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2021, 57(6): 784-793.
- [20] 王富帅, 安航永, 秦玉盼. InfoWorks ICM 管网模型在洪涝淹没分析中的应用[J]. 陕西水利, 2023(8): 28-32.
- [21] 何黎. 基于 InfoWorks ICM-2D 耦合模型的上海某片区排水系统排水能力分析[J]. 中国市政工程, 2021(4): 36-40.
- [22] 王静, 李娜, 王杉. 洪水危险性评价指标与等级划分研究综述[J]. 中国防汛抗旱, 2019, 29(12): 21-26.