

基于Infoworks ICM的城市排水(雨水)系统 排水能力及内涝风险评估

刘华超, 梁凤超, 徐 薇, 赵日祥, 周民华

[济南市市政工程设计研究院(集团)有限责任公司, 山东 济南 250002]

摘 要:为评估 LSH 流域排水(雨水)系统排水能力及其内涝风险, 基于 Infoworks ICM 构建 LSH 流域的排水(雨水)系统水动力学模型, 对现状排水(雨水)系统排水能力和内涝风险进行了评估, 并根据评估结果对某重要区域提出相应的改造方案, 然后通过模型对改造方案进行了模拟验证。结果表明, LSH 流域的排水(雨水)管网达标率(满足 2 a 一遇)为 68.4%, 整体管道达标率较高。管道排水能力小于 1 a 一遇、1~2 a 一遇、2~3 a 一遇、3~5 a 一遇和大于 5 a 一遇的管网占比分别为 18.5%、13.12%、42.35%、15.38%、10.65%。LSH 流域东南部区域存在较高的内涝风险。通过对沿齐州路东侧敷设 1.2 m × 1.2 m 雨水管渠的改造方案进行模拟验证, 表明该改造方案能较好的解决东广场区域的内涝积水问题。

关键词:排水能力;内涝风险;Infoworks ICM;水动力学模型;改造方案

中图分类号: TU992.03

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)12-0071-04

0 引 言

由于城市中地面硬化比例的不断增加、城市局部气候的变化、雨水管网设计标准偏低以及极端天气的频繁出现等多因素的综合作用, 导致城市局部区域暴雨内涝灾害时常发生^[1-3]。且城市暴雨内涝灾害出现的频次、强度等呈逐年增大的趋势, 给人民的生命财产安全和社会经济发展带来了严重威胁^[4]。2007 年 7 月, 由于济南市城市排水系统排水能力不足以及瞬时雨量过大等多种原因, 导致 25 人死亡、170 余人受伤, 并造成了重大财产损失;2008 年上海市出现洪涝灾害, 市区马路积水最深处达 1.5 m, 发生交通事故数千起, 车辆抛锚 700 多起;2012 年首都北京遭遇近 60 多年来的最强降雨, 导致 79 人死亡, 约 190 万人受灾, 经济损失近百亿元。

为减轻城市洪涝灾害、提前采取应对措施, 模型模拟已成为分析洪涝风险、减轻城市内涝影响的有效方法^[5]。通过模型模拟进行城市排水(雨水)系统排水能力评估与内涝风险评估可以为排水防涝风险管理提供相应的理论基础, 并基于模拟结果分析内涝积水原因, 提出防灾减灾、应急抢险措施, 为城市应急管理部门相应的提供科学依据。

收稿日期: 2021-08-02

作者简介: 刘华超(1979—), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 从事市政给水排水、海绵城市及黑臭水体综合治理工程咨询、设计工作。

当前较常用的城市雨洪模型主要有 Infoworks ICM、Mike Flood、SWMM 等, 这些模型软件有力的推动了城市排水系统的研究工作^[6]。笔者结合 GIS 系统与城市综合流域排水模型 Infoworks ICM, 通过设定不同模拟情景, 进行研究区域的排水能力及内涝风险评估。

1 研究区域概况

研究区域选择 J 市 LSH 流域, 距离 J 市市中心约 10 km, 面积约 15 km²。J 市属于暖温带半湿润季风气候区, 雨热同季, 多年平均降雨量 685 mm, 降雨分配不均, 以汛期 6~9 月份降雨量最多, 约占常年降雨量的 75%左右。研究区域位于黄河以南山区和平原相交处, 坡度平缓, 海拔高程在 23~31 m 之间, 整个地势南高北低。研究区域内采用雨污分流制, 共含 3 个雨水分区, 雨水管渠总长度约 101.5 km(D500 以上), 雨水管渠设计标准为 2 a 一遇, 个别重要地段采用 3 a 一遇, 雨水管渠除涝标准为 20 a 一遇。现状雨水系统见图 1。

2 城市综合流域排水模型的建立

选用 Infoworks ICM 与 GIS 建立研究区域的综合流域排水模型, 包含一维管网水力模型、河道模型、二维地面洪水演进模型, 以及外部降雨事件和边界条件等。



图 1 现状雨水系统图

2.1 设计降雨

该区域的暴雨强度公式为

$$i = \frac{1\,421.481(1+0.932 \log P)}{(t+7.347)^{0.617}} \quad (1)$$

式中: i 为设计暴雨强度, $L/s \cdot \text{hm}^2$; t 为降雨历时, min ; P 为重现期, a 。

排水系统排水能力评估采用根据暴雨强度公式和芝加哥雨型生成的 1 a、2 a、3 a、5 a 一遇 2 h 降雨, 峰值系数取 0.4。现状雨水系统见图 2, 不同重新期下的降雨深度见表 1。

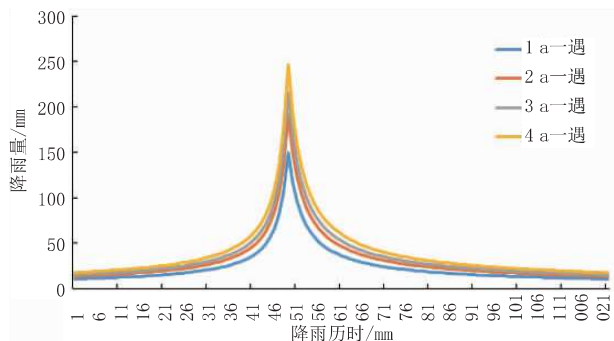


图 2 现状雨水系统图

表 1 不同重新期下的降雨深度

重现期	降雨 /mm	降雨历时 /h
1 a	51.658 7	2
2 a	66.149 6	2
3 a	74.630 3	2
4 a	85.311 4	2

内涝风险评估采用 3 h 降雨, 暴雨重现期分别选择 10 a、20 a、30 a 一遇, 同样采用芝加哥雨型和暴雨强度公式生成。

2.2 模型构建

根据收集、整理的管网、河道、地面高程等相关数据资料, 建立耦合在一起的排水管网、河道、二维地面洪水演进模型。

首先建立管网模型。将整理后的管网信息如管道、检查井、排水口等导入模型中, 进行拓扑关系检

查、子集水区划分, 然后根据研究区域下垫面实际情况, 将径流表面分为绿地、建筑屋顶与铺装 3 种类型。其中, 绿地为可渗透表面, 选用 Horton 渗透模型进行产流计算, 建筑屋顶与铺装为不透水表面, 采用固定径流系数法计算。然后以修正后的地面高程数据(地勘)为基础, 并充分考虑道路、建筑等对地面积水的阻挡与引导(将道路、建筑物信息一并导入模型中), 建立二维地面洪水演进模型, 其中道路被设置为网格化区间, 建筑物被设置为空白区。最后根据河道中心线以及横断面数据建立河道模型, 并设置河道边界。

2.3 模型参数确定

根据相关文献及模型手册, 初步确定模型初始参数, 同时结合研究区域的综合径流系数, 进行参数率定, 调整初始参数数值。最终参数取值为管道曼宁系数 0.013; 绿地汇流参数 0.05, 径流量类型选择 Horton, 初期入渗率 280 ml/hr, 极限入渗 6.3 ml/hr, 衰减因子取 4; 铺装汇流参数 0.02, 径流量类型选择 Fixed, 径流系数 0.9, 建筑物汇流参数 0.015, 径流系数 0.85。

3 结果与分析

3.1 排水能力评估

分别在 1 a、2 a、3 a、5 a 一遇 (2 h) 的降雨条件下对研究区域现状管网进行模拟。

模拟结果表明: 在短历时降雨 (2 h, 重现期 1~5 a) 条件下, 研究区域雨水系统运行状况良好。排水能力满足 2 a 一遇降雨 (66.149 6 mm) 的管道达标率约为 68.4%, 排水能力小于 1 a 一遇的管道占 18.5%, 介于 1 a 一遇到 2 a 一遇之间的占 13.1%。由图 3 可知, 排水能力不满足 2 a 一遇的管道多集中在东南部区域。主要原因是东南部区域雨水管网不完善, 雨水管道容纳雨水的面积过大, 超过了雨水主干管的排水能力所致。管道达标率统计见表 2。

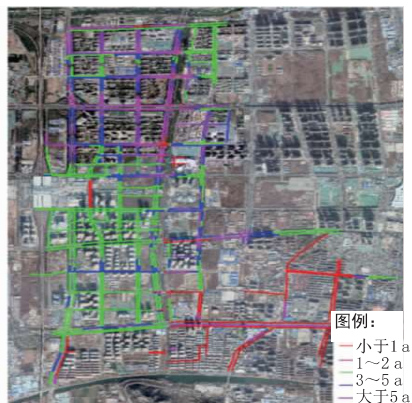


图 3 雨水管网排水能力分布图

表2 管道达标率统计

类别	长度 /m	占比 /%
小于 1 a 一遇	18 767.7	18.5
1~2 a 一遇	13 307	13.12
2~3 a 一遇	42 965.5	42.35
3~5 a 一遇	15 608.8	15.38
大于 5 a 一遇	10 806	10.65

3.2 内涝风险评估

城市中内涝风险的大小受气候、排水能力、地表高程、下垫面类型以及河道水位等多因素的影响,可以根据单一指标或多个指标(如积水时间、积水深度)叠加,综合评估内涝风险,见表3。

表3 城市内涝风险等级划分

序号	深度 /m	时间 /h	颜色
1	>0.5	>0	红色
2	0.25~0.5	>0.5	红色
3	0.25~0.5	0~0.5	黄色
4	0.15~0.25	>0.5	黄色
5	0.15~0.25	0~0.5	蓝色

分别在 10 a、20 a、30 a 一遇(3 h)的降雨条件下对研究区域现状管网进行模拟(见图4)。

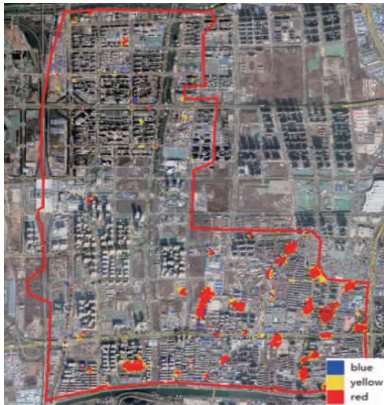


图4 20 a 一遇内涝风险区域分布图

风险等级较高的区域多集中在东南部排水管渠不完善及个别未按设计施工的区域,其他区域整体排水效果较好。因此在后期的建设中,需重点完善或改造风险等级较高区域的排水设施。积水深度统计见表4。积水情况见图5~图7。

表4 积水深度统计

积水深度 /m	积水面积 /hm ²		
	10 a 一遇	20 a 一遇	30 a 一遇
0.15~0.25	11.371	14.755	17.35
0.25~0.5	12.803	17.45	20.35
>0.5	11.968	14.43	15.888



图5 10 a 一遇部分区域积水情况



图6 20 a 一遇部分区域积水情况

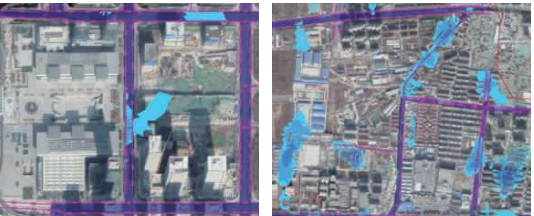


图7 30 a 一遇部分区域积水情况

3.2 改造方案效果评估

现根据排水能力评估和内涝风险评估结果,并结合区域重要程度,对东广场区域进行管网改造方案评估。

该区域积水原因:原齐州路雨水通过横支7、8号路上的规划管道接入LSH河,因其他原因横支7、8号路被废除,致使该区雨水无出路。

改造方案为沿齐州路东侧敷设 1.2 m×1.2 m 雨水管渠,坡度 1/1000,向北接入威海路,见图8。

通过模型验证该方案的合理性。在 2 a 一遇(2 h)降雨条件下,东广场区域改造前检查井溢流量为 3 956 m³;改造后,该区域不再产生积水,峰值时管道充满度为 0.9,排水效果较高,可有效解决该区域的内涝积水问题,见图9。

5 结 语

(1)J 市 LSH 流域的排水管网(雨水)达标率(满足 2 a 一遇)为 68.4%,整体管道达标率较高。

(2)在 4 种降雨条件下,管道排水能力多集中在 2~3 a 一遇;排水能力不达标的管道多集中在东南部区域。

(3)LSH 流域东南部由于排水管渠不完善、个别管道未按设计施工等原因导致该区域内涝风险等级较高。后期需重点完善或改造风险等级较高区域的排水设施。

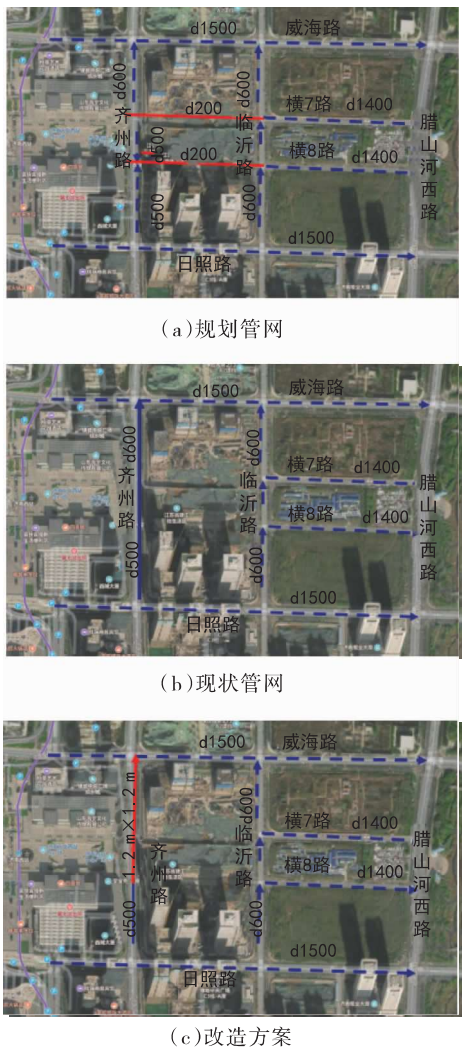


图 8 东广场区域规划、现状、改造管网示意图

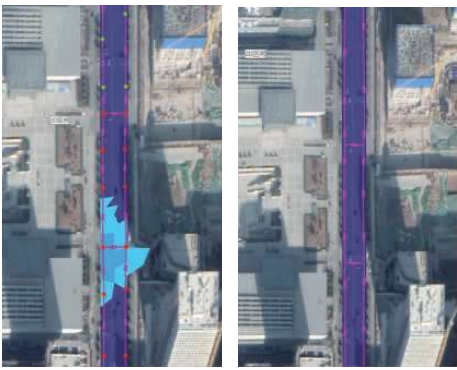


图 9 东广场区域改造前、改造后积水情况对比

(4)通过对沿齐州路东侧敷设 $1.2\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ 雨水管渠的改造方案进行模拟验证,结果表明该方案能较好的解决东广场区域的内涝积水问题。

参考文献:

[1] 王诗婧.全过程内涝防治体系对缓解城市内涝的效果分析[J].环境工程,2020,38(4):108-113.

[2] 王滢,周小伟.Info Works ICM 在山地丘陵城市内涝治理中的应用[J].中国给水排水,2018,34(19):118-123.

[3] 肖友淦.基于 SWMM 的年径流总量控制率计算探讨[J].给水排水,2019,55(7):64-69.

[4] 李碧琦.不同空间尺度下深圳市城市暴雨内涝灾害风险评估[D].广东广州:华南理工大学,2020.

[5] 田鹏飞.基于情景的上海城区暴雨内涝模拟及对道路和地铁的影响分析[D].上海:上海师范大学,2018.

[6] Qianqian Zhou.A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts[J].Water, 2014,6(4).

(上接第 44 页)

参考文献:

[1] 史娣.武汉二环线上跨铁路立交桥总体设计[J].世界桥梁,2015,43(1):7-10,47.

[2] 刘润舟.(70+125+70)m 跨铁路转体连续梁桥设计[J].铁道标准设计,2013(12):67-70.

[3] 井江永.(50+85+50)m 跨铁路连续梁不对称转体设计研究[J].铁道标准设计,2018,62(9):67-71.

[4] 董琴亮.跨既有铁路线大跨连续梁桥转体施工与控制技术[J].中外公路,2014,34(4):143-147.

[5] 高庚元.武汉市姑嫂树路跨铁路立交桥高位转体施工技术[J].铁道建筑,2017(6):44-48.

[6] 董国亮.京石客运专线滹沱河特大桥跨京广铁路连续梁桥转体施工技术[J].铁道标准设计,2011(7):69-73,77.

[7] 何义斌.大跨度无砟轨道连续梁桥后期徐变变形研究[J].铁道学报,2008(4):120-124.

[8] 周东卫.高速铁路混凝土桥梁徐变变形计算分析及控制措施研究[J].铁道标准设计,2013,57(6):65-67,72.

[9] 涂杨志.跨武广特大桥转体连续梁设计[J].铁道工程学报,2012,29(11):43-48.

[10] 尚海涛.平转法转体在铁路桥梁施工中的应用研究[J].铁道工程学报,2013,30(1):29-34,84.

[11] 翟杰群,贾坚,谢小林.隔离桩在深基坑开挖保护相邻建筑中的应用[J].地下空间与工程学报,2010,6(1):162-166.