

基于 infoworksICM 在城市排水能力及积水风险评估

文小聪

中铁市政环境建设有限公司, 上海 200331

[摘要] 本研究运用 infoworksICM 软件对城市排水系统的效能及内涝风险进行深入探究, 考虑到城市核心区域现有排水管道由于建设时间较早, 部分管道缺乏有效的维护与管理, 研究利用 InfoWorksICM 软件对中心区域的现有排水管道系统进行了详细的现状分析, 揭示了现有管道系统中存在的问题, 从而为未来的管道改造及维护工作提供了重要的参考依据。

[关键词] infoworksICM; 城市排水能力; 积水风险评估

DOI: 10.33142/ect.v2i12.14773

中图分类号: TU992

文献标识码: A

Assessment of Urban Drainage Capacity and Waterlogging Risk Based on InfoWorksICM

WEN Xiacong

Municipal Environmental Construction Co., Ltd. of CREC, Shanghai, 200331, China

Abstract: This study conducted an in-depth exploration of the efficiency and waterlogging risk of urban drainage systems using the InfoWorksICM software. Considering that the existing drainage pipelines in the core area of the city lack effective maintenance and management due to their early construction time, the InfoWorksICM software was used to conduct a detailed analysis of the current situation of the existing drainage pipeline system in the central area, revealing the problems existing in the existing pipeline system and providing important reference for future pipeline renovation and maintenance work.

Keywords: InfoWorksICM; urban drainage capacity; water accumulation risk assessment

引言

个别地区面临着管道不易察觉、建造时间较长、部分缺乏有效维护与管理等诸多挑战, 这些状况使得现有的管道网络变得尤为错综复杂。针对这些状况, 本研究借鉴了英国的 InfoworksICM 模型, 对相关城市现有的管道网络进行详细评估, 旨在诊断现有管道网络的问题点, 以此为依据, 为后续的管道改造及管理策略制定提供参考。

1 基于 infoworksICM 的管网模型的构建

世界范围内的气候异常变化使得极端气象现象屡屡出现, 例如猛烈降雨, 这给社会管理、城市正常运转及居民的日常作业与生活造成了极大的困扰。此外, 部分地区的排水系统及防洪减灾基础设施建设并未与城市发展同步进行。城市在应对暴雨引发的积水问题与紧急管理水平上存在短板, 导致众多地区频发严重的积水灾害。为了有效提升城市排水系统的建设质量与监督效能, 增强城市抵御积水的风险防范能力, 特选定 InfoworksICM 模型作为技术支撑平台。打造了一个专门针对排水系统的水力模型。通过模拟不同典型降雨情形, 对该模型进行计算分析, 以评估排水系统的实际运作状况。

1.1 模型的建立

汇聚市区雨水排放系统、排涝沟渠、抽水泵房、调洪水库等负责雨水排导的基础设施信息, 将这些资讯转换为 ICM 系统能够辨识的数据形式, 进而输入至程序内。接着, 借助拓扑分析和对现场的验证, 确保资料的正确无误和系统的畅通无阻。由此构建的区域现有排水系统模型如图 1

展现。



图 1 城市中心城区管网模型

1.2 产汇流模型

雨水在抵达都市地面后, 经过截留作用、地面洼地填积、地表渗透以及直接形成的地表径流, 最终汇集至雨水收集口。这些径流水随后汇入雨水管道, 与基本流量汇合, 穿越地下管道网络、辅助设施以及溢流井等构造, 最终排放至接纳水体中。InfoWorksICM 程序通过采用分布式水文模型模拟降水的径流过程, 借助于对于流域的高精度空间划分以及对不同地表类型的产流特性进行详尽计算, 实现了对径流量的准确预测。

依据市区中心 1:2000 比例的地形图资料, 将研究区

域内的地表覆盖依据其透水程度划分为屋顶、街路、植被区、水域以及其他五个主要类型。对于不透水的路面，采用恒定径流系数模型来模拟径流产生；而对于透水路面，则选用了霍顿入渗模型。具体城区的地面覆盖现状及其相应类型的径流产生模型初始参数设置详见表 1。在此区域，地表径流的模拟是通过结合连续性方程与曼宁公式，使用 SWMM 非线性蓄水层模型进行计算的。

表 1 下垫面数据统计表

下垫面类型	面积 (km ²)	所占比例 (%)	Fixed 模型及参数	Horton 模型及参数 (初始入渗率—稳态入渗率—持续时间 h)
屋面	17.3	13.8	0.95	
道路	14.6	11.6	0.9	——
绿地	2.2	1.8	——	90—2.5—2
水面	2.2	1.8	0	
其他	88.9	71	——	76—2.5—2

1.3 设计降雨

利用《城市排水防涝系统规划设计标准》确定的短历时 (180min) 暴雨强度公式进行模型模拟计算：

$$P = 0.5 \sim 10a \quad Q = \frac{885[1+1.58lg(P+0.66)]}{(t+6.37)^{4.334}}$$

$$P = 10 \sim 50a \quad Q = \frac{577[1+0.96lgP]}{(t+2.26)^{0.432}}$$

$$P = 100a \quad Q = \frac{1057}{(t-2.26)^{4.317}}$$

式中：q—设计暴雨强度 [L/(s·hm²)]；P—重现期(a)；t—降雨历时 (min)；

在短暂时间内发生的强降雨，其雨型可通过暴雨强度公式及雨峰系数来表述。在都市地区，雨峰系数的选择标准如下：当重现期达到或超过 10 年时，系数值为 0.5；若重现期在 5 至 10 年之间，则系数值为 0.45；当重现期限在 5 年以下时，将比值设定为 0.40。遵循这些暴雨公式及降雨峰值系数的求解成果，挑选了芝加哥雨型以模拟不同重现期下三小时暴雨的分布样式。构建模型之后，通过收集区域内的历史记录和实际观测资料对模型进行检验和确认。在模型输出的计算结果与实际观测数据大致一致时，便开始用其对区域现有排水系统的性能进行评价。

1.4 参数选择

在本项研究中，借助地理信息系统软件实现了数据的整合与分析工作，通过采用 1：500 比例的地形图详细采集了关键地理信息，诸如高程线等，进而计算了不同汇水区的坡度以及管道和检查井的标高数据，具体参数的详细

数值已在表 2 中列出。

表 2 模型相关参数取值

土壤下渗参数/		注蓄/mm 透水不透水		地表糙率	
(mm·h ⁻¹) 最大最小				透水	不透水
入渗率	入渗率	地表	地表	地表	地表
76.2	10	5	1	0.3	0.015

模型其他参数的取值主要参考《infoworksICM 模型用户手册》中的推荐值及相关文献，并结合当地情况进行修改。

本项研究在搜集了 10 起具备各异降雨分布特征的暴雨案例记录基础上，对城市内涝模拟模型的精确度进行了评价，如表 3 所列，对比了模拟得出的积水范围与实际发生的积水区域数据。

表 3 实测积水面积与模拟积水面积对比表

地段	实际积水面积/hm ²	模拟积水面积/hm ²	误差/%
东兴路森宝段	0.70	0.67	4.29
社兴、东新区	61.40	61.00	0.65
中山路一期	10.82	10.61	1.94
莲东路军休所段	1.70	1.66	2.41
曹溪路段	12.80	12.78	0.16
龙腾路华鼎公馆段	6.10	6.30	-3.28

(1) 该区域布设的雨量监测站点不足，使得对降雨分布的掌握存在困难，城市遭遇暴雨时，不同区域因降雨分布不均，可能会出现不同程度的积水问题。

(2) 所构建的模型仅简化考虑了主要管道，未能涵盖次级管道及管道可能发生的临时性阻塞，导致对某些局部区域的积水点进行模拟时缺乏准确性。

(3) 地面积水数据来源于实地调查，但这些数据并不完整，部分积水深度是依靠估计得出，个别区域的数据甚至存在误差。

2 城市排水能力及积水风险成因

2.1 管理规范有待加强，管理制度落实难度大

目前，市政排水工程施工阶段普遍存在管理缺乏规范性的问题，同时因市政排水工程管理制度缺乏完善导致市政排水能力提升存在诸多问题。从管理角度来看，市政排水工程施工单位多为本地城市建设行政管理部门，部分单位责任心不强，招投标施工单位没有严格按照招投标程序开展，导致市政排水工程项目存在偷工减料的现象发生，为后续市政排水工程管理埋下较大隐患。此外，市政排水工程施工阶段，因管理制度难以有效执行，导致施工现场存在较大安全隐患，不仅会对市政排水工程建设进度造成影响，更是会引发工程建设质量及人员安全等风险。

以我国首都北京为研究对象，明确了北京市的防洪排

涝标准为五十年至一百年一遇，相应的降雨量标准为 268.6~299.0mm。本研究选取 24 小时降雨量 299mm 作为主要模拟情景，并在此基础上，结合短时段内的降雨过程（包括 15 分钟 47mm、30 分钟 70mm、1 小时 97mm、3 小时 148mm、6 小时 189mm），以此作为积水内涝风险图的展示情景，具体的不同时段降雨特征值详见表 4。

2.2 资金投入和进度问题

地方政府在市政排水工程施工阶段投入大量资金，但从资金使用率上来看，没有将资金投入的优势充分发挥，导致工程市政排水能力提升存在诸多问题。市政排水工程施工阶段，为减少工程对城市交通、服务等造成的影响，市政排水工程施工工期相对较短，在此期间，资金运用的合理性决定了整体工程施工质量与效率，通过对项目投入资金合理调配，保障市政排水工程技术、设备、人员等资源得到合理优化，以此促进市政排水工程施工质量。但从调查来看，诸多管理人员缺少对资金配置的合理优化，或因其他因素影响，导致工程资源配置存在问题，没有发挥地方政府投入资金的优势，导致市政排水工程存在分配不均、投资混乱、随意浪费等现象发生。

2.3 工程管理人员专业性不强

市政排水能力提升需要专业性较强的工程管理人员进行管理，但从当前市政排水能力提升来看，因排水能力提升人员经验水平不足，对市政排水工程施工知识的各流程、各环节认知度不足，无法对工程项目中的细节问题进行分析，排水能力提升工作流于表面，导致管理者无法在第一时间应对突发情况，造成市政排水能力提升质量不高。此外，因管理人员缺乏项目管理经验，在市政排水能力提升阶段存在工作安排缺乏合理性、管理规划不健全等问题，最终导致市政排水能力提升存在诸多弊端。

3 模拟结果

3.1 模型参数

该排水系统模型的关键参数涵盖管道的粗糙度以及径流指标等要素。管道的粗糙度依据不同管材的特性而设定，具体数值详见表 5 所示。

表 4 各管道糙率取值表

管材	钢管	陶土管、铸铁管	(钢筋)混凝土管
糙率	0.012	0.013	0.013

表 5 各下垫面径流系数取值表

类型	房屋	道路	不透水地面	透水地面	裸土	草地	水体
径流系数	0.9	0.85	0.9	0.55	0.15	0.2	0.9

河流模型中的关键参数是粗糙度系数。在该研究区域中，河流的综合粗糙度系数范围设定在 0.025 至 0.033 之间。构建了一个模拟降雨过程，其降雨持续时间设定为 120 分钟，时间间隔设定为每 5 分钟一个步长，并针对不同重现期设计了相应的短期降雨模型，具体的设计降雨结果详见表 6。

表 6 各重现期短历时设计降雨成果表

重现期/a	最大降雨强度/mm·h-1	120min 累积降雨/mm
1	119	57.1
2	142	64.5
3	156	79.3
5	174	89.7

表 7 遇长历时设计降雨成果表

重现期	最大降雨强度	24h 累积降雨
/a	/mm·h-1	/mm
30	79.1	304.4

3.2 静态数据的分析

通过排水管网模型的建立实现了市政排水管网的完全数字化，为排水管网的资产管理、日常养护和水利建模项目提取了良好基础。由于连年水流的侵蚀作用、地壳构造的变动以及陈旧的施工技术等原因，排污水管往往会形成结构性的损坏，例如管道接头位置偏差、重力流管道的倒坡设置、粗管道与细管道的衔接不当、管道末端无出口以及生活污水直接排入水体的排放口等问题。这些管网系统中的弊端，不仅削弱了管网的输水效率，而且未经处理的污水直接排入自然水体，导致环境污染，成为日常管网维护和升级改造的关键环节。管网的基础数据统计及其问题分布情况见图 2



图 2 管网基础数据统计问题分布图

在整体市政排水工程建设中，市政排水工程建设质量控制占据重要地位，因此需要做好质量监管工作，相关管理人员需要收集和保管施工材料和相关文书，结合规范制度，进行把控和严格管理，对于日后验证有一定优势。在施工过程中，如果出现技术问题，需要做好分析了解，包含材料、设备的使用情况，以及材料设备消耗状况。做好检测维修工作，一旦发现设备故障需要及时处理。施工过程中，每个工作人员都要做好测量记录，保障设备质量与施工需求保持一致，在需要对市政排水管道进行清洁，此项工作属于施工前期的准备工作，严格按照规定进行清洁，促使市政排水工作开展质量得到保证。工件表面在清洁完成后工作人员需要严格审查建筑材料，使其符合标准要求，施工人员在施工期间，操作要符合规范，促使市政排水工程进度得到保证。

采用五年、十年、二十年、三十年不遇的 24 小时极端降水量作为模型输入变量,由此得出的设计洪水过程线被设定为模型的入口边界条件。至于下游排放口的设计洪水位,则是通过拓展流域范围的水文评估来确认,作为模型出口的边界条件,以此来模拟 L 市中心城区可能出现的内涝状况。不同重现期下的积水区域模拟结果详见表 89。

表 8 不同暴雨重现期积水面积统计表

积水深度/cm	积水面积/hm ²			
	5 年一遇	10 年一遇	20 年一遇	30 年一遇
>50	7.43	14.85	44.55	63.11
40~50	7.43	25.99	11.14	0
30~40	7.43	14.85	22.38	53.12
20~30	3.71	45.81	109.26	89.71
10~20	50.42	179.31	239.71	295.01

由观察数据表明,当暴雨的发生频率提升,城市发生内涝的受影响区域面积逐渐拓宽,积水的深度也随之上升。在五年一遇的暴雨情况下,积水普遍深度为 8.7mm,最深积水可达 60cm;而十年一遇的暴雨,积水深度平均为 26.6mm,最深积水达到 70cm;面对二十年一遇的暴雨,积水深度平均值为 37.6mm,最深积水记录为 100cm;至于三十年一遇的暴雨,积水深度平均值升至 44.0mm,最深积水则达到 115cm。

3.3 管网排水能力的评估

依据我国《室外排水设计规范(2014 版)》(GB 50014—2006)的相关要求,在进行雨水和合流制管道设计过程中,必须依照满管流的基本原则,对一年一遇、三年一遇以及五年一遇的设计暴雨条件下管道的水力特性进行了

详尽的仿真分析。在此基础上,进一步对汉口中心区的排水管道在排涝方面的效率进行了细致评价,相关数据详见表 9。

表 9 设计降雨条件下管涵达标统计表

设计降雨 P	重现期 P=1	重现期 P=3	重现期 P=5
管渠达标长度 (km)	900.3	391.7	189.3
达标率 (%)	70.2	30.5	14.8

4 结束语

综上所述,我国市政排水能力提升的研究起步较晚,目前诸多市政排水能力提升存在一定问题亟待解决,较为常见的现象为管理模式陈旧、人员能力不足等,对市政排水工程项目质量管理造成巨大影响。为促进市政排水能力提升质量提升,文章以市政排水能力提升实践与创新进行梳理与分析,旨在为广大学者市政排水能力提升提供参考帮助。

[参考文献]

- [1]成嘉玮.论市政排水基础设施的雨污分流改造重点及方案[J].居业,2024(8):55-57.
- [2]白莲霞.加强市政排水设施维修养护中的安全防护工作探究[J].产品可靠性报告,2024(5):144-146.
- [3]游畅.InfoWorksICM 在城市排水系统雨水管网改造中的应用[J].黑龙江水利科技,2020,48(3):139-142.
- [4]高原.基于自主开发的的城市排水防涝规划设计与模拟软件应用研究[J].中国市政工程,2019(1):46-48.
- [5]陈翠珍,蒋佳鑫,李敏.基于 InfoWorksICM 的武汉市汉口主城区排水能力评估[J].河南科技,2019(21):124-125.

作者简介:文小聪(1988.7—),男,汉族,毕业学校:合肥工业大学,现工作单位:中铁市政环境建设有限公司。