

内涝数字模型在淄博市王舍路内涝治理方案中的应用

牛汝宝¹, 李元镇²

(1. 淄博市市政环卫服务中心, 山东 淄博 255199; 2. 淄博市规划设计研究院有限公司, 山东 淄博 255000)

摘要: 为研究应对城市内涝灾害, 解决淄博市王舍路沿线雨季积水问题, 通过建立雨水内涝动力学模型, 模拟了王舍路(北京路—世纪路)在5 a一遇降雨情况下的积水情况, 科学系统地评估道路沿线内涝问题, 分析积水原因, 并提出雨水管渠建设结合道路标高调整的内涝治理方案。根据设计方案的内涝模型分析结果, 证明内涝治理方案可以解决王舍路道路积水问题。该项目的实施, 可有效地提高区域防洪排涝能力, 改善王舍路周边人居环境质量, 减少极端天气造成的损失, 保障居民出行安全及生活品质。

关键词: 内涝数字模型; 内涝治理; 雨水改造; 汇水面积

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)09-0301-05

Application of Waterlogging Digital Model in Waterlogging Control Scheme of Wangshe Road in Zibo City

NIU Rubao¹, LI Yuanzhen²

(1. Zibo Municipal Sanitation Service Center, Zibo 255199, China; 2. Zibo Planning and Design Institute Co., Ltd., Zibo 255000, China)

Abstract: In order to study the response to urban waterlogging disasters and solve the waterlogging problem in rainy season along Wangshe Road in Zibo City, a dynamic model of rainwater waterlogging is established to simulate the waterlogging situation of Wangshe Road (Beijing Road - Shiji Road) in the event of rainfall every 5 a. The waterlogging problem along the road is scientifically and systematically evaluated, the causes of waterlogging are analyzed, and a waterlogging control scheme combining the rainwater pipe and channel construction with road elevation adjustment is proposed. According to the analysis results of the waterlogging model in the design scheme, it is proved that the waterlogging control scheme can solve the waterlogging problem of Wangshe Road. The implementation of the project can effectively improve the regional flood control and waterlogging drainage capacity, improve the living environment quality around Wangshe Road, reduce the losses caused by extreme weather, and ensure the travel safety and life quality of the residents.

Keywords: waterlogging digital model; waterlogging control; rainwater reconstruction; catchment area

0 引言

近年来, 全国各地市极端天气频发, 城市排涝问题日益突出。为解决城市排涝能力不足等问题, 淄博市根据国务院、山东省及淄博市下发的相关文件要求, 编制城市内涝治理方案, 并制定项目实施计划。

SWMM (stormwater management water quality

model)模型是一种专门用于模拟城市雨水径流和内涝现象的计算机模型。它能够通过模拟降雨过程、地表径流、地下排水系统以及地面排水设施等方式, 来预测城市在不同降雨条件下的内涝情况。SWMM模型通过其强大的功能和灵活性, 为城市排水系统的规划、设计和运营提供了强有力的支持。特别是在内涝积水分析中, SWMM模型能够提供详细的水文数据, 帮助决策者了解和预测城市内涝现象的发生概率和严重程度, 从而采取有效的预防和应对措施^[5-6]。王舍路排水管道改造工程为淄博市2024年城建重点项目, 本文通过建立王舍路内涝SWMM模型模拟, 科学系统地评估道路沿线内涝问题, 制定王舍路雨水系统改造方案, 旨在提高区域防洪排涝能

收稿日期: 2025-03-31

作者简介: 牛汝宝(1972—), 男, 本科, 高级工程师, 从事城市市政基础设施建设管理工作。

通信作者: 李元镇(1992—), 男, 硕士, 工程师, 从事市政工程设计工作。电子邮箱: 772631017@qq.com

力,保障居民出行安全。

1 区域洪涝原因分析

1.1 王舍路概况

如图1所示,王舍路位于淄博市张店区、经开区,全长8.6 km,南邻昌国路快速路、北邻胶济铁路,自西向东穿过北京路、南京路、世纪路、西五路、柳泉路等城市主干道,向东衔接淄博市火车站南广场,向西衔接孝妇河湿地公园,是快速路与胶济铁路之间唯一一条集散交通、服务周围居民的市政道路。

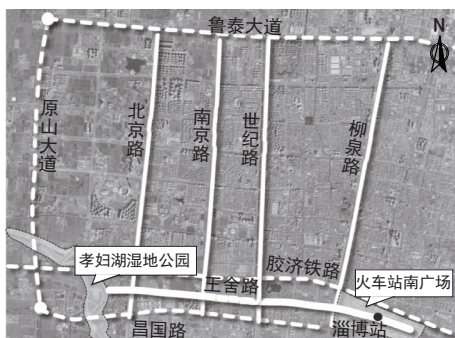


图1 王舍路区位图

1.2 现状内涝情况

王舍路沿线存在严重的内涝问题,以北京路—世纪路段水情况尤为严重。根据2021—2024年现场调研,每年雨季强降雨过后,王舍路(北京路—世纪路)最大积水长度达到1 km,其中重庆路路口东侧220 m处最大积水深度超过1 m(见图2)。



(a)王舍路-重庆路路口 (b)王舍路-重庆路路口东侧220 m

图2 王舍路-重庆路路口积水照片

1.3 内涝原因分析

根据现场调研情况,结合王舍路周围地块性质分析,王舍路(北京路—世纪路)雨季严重积水主要有以下3点原因。

1.3.1 汇水面积大

王舍路沿线整体地势南高北低,根据地势分析,道路向北侧排水条件良好。但由于北侧胶济铁路拦截,王舍路南北侧雨水同时汇入王舍路雨水管道排放,北京路至世纪路段汇水范围内雨水最终由西向东排入世纪路西侧玉龙河,雨水排放路径总长度

3.0 km,最大汇水面积2.45 km²。作为对比,胶济铁路北侧的和平路(北京路—世纪路)和新村路(北京路—世纪路)最大汇水面积均为1.50 km²左右,因此王舍路(北京路—世纪路)雨水排放量和雨水管网排水压力比周边东西向市政道路更大。

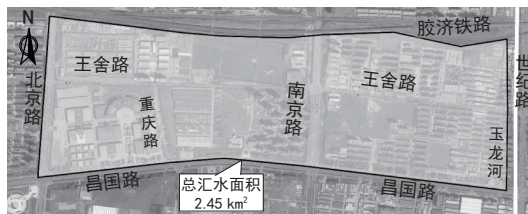


图3 王舍路(北京路—世纪路)汇水面积

1.3.2 雨水管道管径小

如图4所示,王舍路(北京路—世纪路)现状雨水管道管径为d400~d1500,其中北京路至南京路段为双侧布置,南京路—世纪路段为单侧布置,现状雨水管道最大排水能力为2.2 m³/s。根据淄博市暴雨强度公式计算,王舍路(北京路—世纪路)5 a一遇最大雨水流量为16.9 m³/s,现状雨水管道排水能力严重不足。



图4 王舍路(北京路—世纪路)现状雨水管道

1.3.3 道路低点深

王舍路(北京路—世纪路)沿线道路最低点位于重庆路东侧大约220 m处,比北京路—王舍路路口地面标高低2.8 m(见图5),比南京路—王舍路路口地面标高低1.2 m。道路低点与周边道路高差大,造成低点处积水更深,积水范围更广,积水时间更长。



图5 王舍路(北京路—世纪路)现状道路低点位置(单位:m)

2 内涝数字模型

2.1 研究方法

根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)中4.1.7条规定,当汇水面积大于2 km²时,应采用数学模型法确定雨水设计流量。王舍路(北京路—世纪

路)最大汇水面积 2.45 km²,大于 2 km²,该项目采用城市排涝系统模型技术确定雨水设计流量。

目前,城市排涝系统模型技术主要用于城市排水系统评估,内涝风险区域和程度预测,传输预警信息,以及排水防涝、海绵城市设计等工程实践领域。对于城市内涝分析的研究,王林森、熊小兰等^[1-2]学者将内涝建模技术应用于工程实践中,得到了风险评估分级与区划成果,可为城市内涝这种突发性自然灾害的救灾、减灾等提供信息保障和决策支持。

2.2 内涝模型构建

根据项目内涝风险评估所要解决的实际问题,模型必须能够模拟产汇流水文过程、能够模拟管道内非恒定非均匀流的水力学过程和模拟地面积水构成^[3]。该项目模型选择基于美国 EPA 的 SWMM 软件的鸿业暴雨模型软件作为项目内涝模型构建的模型软件^[4]。

2.2.1 雨水设计流量计算公式

$$Q = q \times \Psi \times F$$

式中: Q 为雨水设计流量, L/s; q 为设计暴雨强度, L/(s·hm²); Ψ 为综合径流系数,根据地面种类加权平均,取 0.4~0.6; F 为汇水面积, hm²。

2.2.2 淄博市暴雨强度公式

$$q=2\ 186.085\times(1+0.997\lg P)/(t+10.328)^{0.791}$$

式中: q 为设计暴雨强度, L/(s·hm²); P 为设计重现期, a; t 为降雨历时, min, $t=t_1+t_2$; t_1 为地面集水时间, min; t_2 为管渠内雨水流行时间, min。

2.2.3 雨水管渠的流量计算公式

$$Q = A \times v$$

式中: Q 为设计流量, m³/s; A 为水流有效断面面积, m²; v 为流速, m/s, $v=1/n\times R^{2/3}\times I^{1/2}$; R 为水力半径, m; I 为水力坡降; n 为粗糙系数。

水文雨型多被用于模拟河流等流域范围较大的排水系统,市政雨型多被用于模拟城市内的雨水管道系统。根据该项目内涝风险评估的区域和研究对象,通过两类雨型的分析对比,该项目选取更能代表局地短历时暴雨的市政雨型^[4]。

2.3 内涝模型模拟

该项目内涝风险评估主要针对极端暴雨所产生的内涝灾害,通过雨水内涝模型模拟极端暴雨,得到具体积水点位置、积水时间和积水深度,如图 6 所示。

根据模拟结果可知,王舍路(北京路—世纪路)主要积水范围为重庆路两侧,该模拟结果与现场调研结果一致。

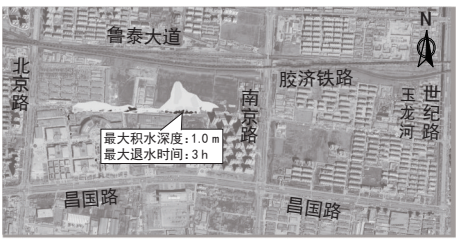


图 6 王舍路(北京路—世纪路)现状内涝模型模拟结果

3 内涝治理方案

根据以上分析,针对王舍路(北京路—世纪路)汇水面积大、现状管道标准低、局部低点积水深等问题,确定该项目内涝治理的任务为提高管网标准、加强低点收水、抬升低点标高,通过雨水管道改造与道路标高调整结合的方式进行内涝治理。

3.1 雨水流量计算

淄博市属于大城市,王舍路位于淄博市中心城区,根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)、淄博市国土空间总体规划、防洪排涝专项规划等要求,确定该项目王舍路(北京路—世纪路)雨水系统改造管渠设计重现期采用 5 a 一遇。

雨水设计流量采用流量叠加法计算。其中,设计暴雨强度采用淄博市暴雨强度公式计算,综合径流系数根据王舍路(北京路—世纪路)沿线地块地面种类加权平均计算,设计流量计算结果见表 1。

表 1 王舍路(北京路—世纪路)雨水量计算表

范围	汇水面积 F/hm^2	单位面积径流量 $q/[(\text{L}\cdot(\text{s}\cdot\text{hm}^2)^{-1})]$	径流系数 Ψ	5 a 一遇雨水 流量/($\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$)
北京路— 重庆路	7.00	287.77	0.55	1 108
	10.00	269.36	0.50	2 455
	15.00	249.52	0.50	4 326
重庆路— 南京路	40.00	222.11	0.40	6 103
	32.00	209.94	0.40	7 447
	29.58	199.19	0.50	9 214
南京路— 世纪路	27.20	187.97	0.60	10 646
	27.20	178.08	0.60	12 099
	27.20	170.57	0.60	14 419
	29.82	163.73	0.60	16 860

3.2 雨水管道布置方案

为提高方案经济性,雨水改造方案中尽量保留利用现状雨水管道,新建管渠设计排水能力为对应节点设计流量扣除保留的现状管道排水能力,可减小新建雨水管渠设计断面,降低工程造价。设计雨水管渠水力计算数据如表 2 所示。

根据以上设计原则,该项目雨水改造方案中北京路—房家小区段,道路南侧现状 d600~d1500 雨

水管道保留利用,在道路北侧新建雨水方沟,断面为d1500雨水管道($W\times H=1\,600\text{ mm}\times1\,200\text{ mm}\sim W\times H=3\,400\text{ mm}\times2\,000\text{ mm}$ 雨水方沟),同时在重庆路、南京路路口位置建设d500~d1350联通管连接新建雨水管渠与现状雨水管道;房家小区一世纪路段,道路北侧现状d1500雨水管道继续保留,在道路南

侧新建雨水方沟,断面为 $W\times H=3\,400\text{ mm}\times2\,000\text{ mm}$ 。王舍路(北京路—世纪路)全线共新建雨水管渠总长度3.66 km,自西向东最终排入玉龙河。考虑到王舍路两侧人行道及绿化带内现状管线较多,已无施工线位,该项目新建雨水管渠全部位于车行道下。

表2 设计雨水管渠水力计算表

范围	汇水面积 F/hm^2	t/min	单位面积径流量 $q/[\text{L}\cdot(\text{s}\cdot\text{hm}^2)^{-1}]$	径流 系数 Ψ	管长 L/m	坡度 I	5 a一遇 流量/ $(\text{L}\cdot\text{s}^{-1})$	设计管渠断面		管道输水能 力 $Q'/(\text{L}\cdot\text{s}^{-1})$	现状管道输水 能力/ $(\text{L}\cdot\text{s}^{-1})$
								宽度/mm	高度/mm		
北京路— 重庆路	7.00	15.00	287.77	0.55	250	0.002 0	1 108	d1200			
	10.00	17.21	269.36	0.50	247	0.002 5	2 455	d1350			1 744
	15.00	20.01	249.52	0.50	322	0.002 3	4 326	2 000	1 200	2 669	194
重庆路— 南京路	40.00	24.81	222.11	0.40	408	0.001 0	6 103	3 400	1 200	4 604	759
	32.00	27.41	209.94	0.40	235	0.000 9	7 447	3 600	1 500	5 772	1 100
	29.58	30.00	199.19	0.50	235	0.000 9	9 214	3 600	1 500	8 155	1 100
南京路— 世纪路	27.20	33.07	187.97	0.60	312	0.000 9	10 646	3 400	2 000	8 155	1 100
	27.20	36.13	178.08	0.60	312	0.000 9	12 099	3 400	2 000	11 528	2 000
	27.20	38.74	170.57	0.60	314	0.001 2	14 419	3 800	2 000	11 528	2 000
	29.82	41.34	163.73	0.60	314	0.001 2	16 860	3 800	2 000	15 277	2 200

由表2可知,北京路—重庆路段最大设计排水量为 $4.33\text{ m}^3/\text{s}$;北侧现状d1000雨水管道流量 $0.76\text{ m}^3/\text{s}$,南侧设计雨水方沟 $W\times H=2\,000\text{ mm}\times1\,200\text{ mm}$,最大设计排水量为 $4.61\text{ m}^3/\text{s}$, $4.61+0.76=5.37\text{ m}^3/\text{s}>4.33\text{ m}^3/\text{s}$;重庆路—南京路段最大设计排水量为 $9.21\text{ m}^3/\text{s}$;北侧现状d1200雨水管道流量 $1.1\text{ m}^3/\text{s}$,南侧设计雨水方沟 $W\times H=3\,600\text{ mm}\times1\,500\text{ mm}$,最大设计排水量为 $8.16\text{ m}^3/\text{s}$, $8.16+1.1=9.26\text{ m}^3/\text{s}>9.21\text{ m}^3/\text{s}$;南京路—世纪路段最大设计排水量为 $16.9\text{ m}^3/\text{s}$;北侧现状d1500雨水管道流量 $2.2\text{ m}^3/\text{s}$,南侧设计雨水方沟 $W\times H=3\,800\text{ mm}\times2\,000\text{ mm}$ 最大设计排水量为 $15.28\text{ m}^3/\text{s}$, $15.28+2.2=17.48>16.9\text{ m}^3/\text{s}$,所有路段均满足雨水5 a一遇排放要求。

雨水管道布置方案见图7。

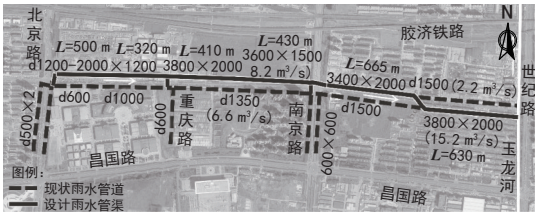


图7 王舍路(北京路—世纪路)设计雨水管道布置方案

3.3 局部低点加强雨水收集

根据计算,本次设计雨水口布置为:正常路段每25 m在道路两侧各设置一座四算雨水口,在道路低点即重庆路两侧共400 m范围内加密雨水口,每25 m在道路两侧各设置一座八算雨水口,王舍路(北

京路—世纪路)设计共新建235座雨水口,收水能力为 $14.5\text{ m}^3/\text{s}$,两侧地块内现状雨水口收水能力为 $3\text{ m}^3/\text{s}$,总收水能力为 $17.5\text{ m}^3/\text{s}$,满足雨水收集要求。

3.4 局部低点道路标高调整

该项目设计雨水管渠敷设完成后恢复车行道路面,根据计算,在不影响周围地块、商铺等地面雨水径流的前提下,重庆路两侧车行道路面标高最大可提高30 cm,地面标高调整后可有效减小地面积水深度、积水范围和积水时间。

3.5 改造效果模拟

根据本项目设计方案再次进行内涝模型模拟,路面积水模拟情况及雨水管渠水位模拟情况见图8至图10。



图8 王舍路(北京路—世纪路)设计方案内涝模型模拟结果

模拟结果显示:在降雨最强时段,王舍路(北京路—世纪路)沿线最大积水深度6 cm;降雨峰值后约20 min,积水消失。根据地面积水设计标准(积水深度不超过15 cm)、最大允许退水时间(中心城区1.0~3.0 h)及模拟结果,可以证明根据本设计方案实施后,

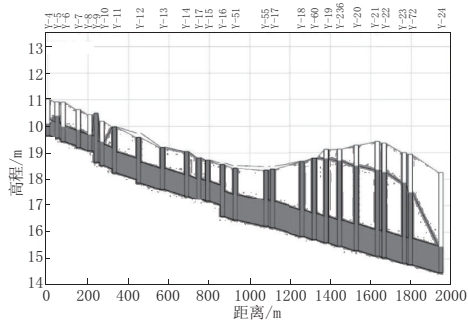


图 9 现状雨水管道降雨最强时段雨水管道水位模拟

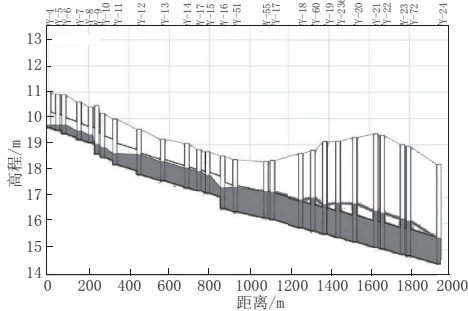


图 10 设计方案降雨最强时段雨水管道水位模拟

积水范围、积水深度、积水时间都会显著降低或减少。

4 结 语

为科学分析王舍路沿线雨季积水原因并提出内涝治理方案,本文通过构建雨水内涝模型,模拟了王舍路(北京路—世纪路)在 5 a 一遇降雨情况下的积

水情况,分析了道路积水原因,最终提出了雨水管渠建设结合道路标高调整的设计方案。设计方案经内涝模型模拟后,证明可极大改善道路积水情况,能够达到改造目标。项目的实施,可以解决王舍路(北京路—世纪路)沿线积水问题,改善周围人居环境质量,保障周围居民出行安全及生活品质。

参考文献:

[1] 王林森,熊小兰,柯庆,等.基于 GIS 空间分析建模技术的内涝风险评估[J].中国给水排水,2017,33(3):115-118.
[2] 熊小兰,吕永鹏,莫祖澜,等.降雨资料不足地区暴雨强度公式评估方法研究[J].中国给水排水,2015,31(3):131-134.
[3] 陈鑫,喻良,郑飞飞.海绵城市设计中容积法与模型模拟差异化分析[J].河南科技,2018,28(6):94-99
[4] 周超,王寅,李元镇.基于排涝数字模型的城市防汛物资配备及应急预案研究[J].中国防汛抗旱,2023,33(7):39-44.
[5] 张磊磊,刘艳丽,鲁芳,等.基于 MIKE FLOOD 模型的杭州典型城区城市洪涝模拟及风险分析[J].中国农村水利水电,2025:1-17 (2025-07-15) [2025-07-18]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=QUtgg5W7F191OfkDooxxf-UHLCLC6uoJbWwmz16gi9zuTey9jYUBodNqZQ4at5mRwycFF-iPHdVUjmKwgpcfpntT6tO6xvVK_i6GpWOlqZ7V1PH13-t6dMJhzKoAulx-wWnmUhfvb1KCmEYXl3tZnVaAcpIVlitWh6zZ9pC6JZ30Qsx5_oWoKA&uniplatform=NZKPT&language=CHS&captchaId=7dd1c070-2013-43f9-b940-ba6438f6c6c5.
[6] 方定懿,廖子元,艾静,等.雨水管网设计中推理公式法的适应性研究[J].给水排水,2018,54(5):104-108.

(上接第 289 页)

[25] 李亚峰,张文静.物化+生化+活性炭吸附组合工艺处理造纸废水[J].工业水处理,2013,33(12):83-85.
[26] 江凯,于水利,周奉林,等.物化—生化组合工艺处理大型综合印染废水中试研究[J].给水排水,2012,48(3):67-70.
[27] 赵伟荣,周威明,刘万生,等.臭氧与生化组合处理印染废水研究[J].工业水处理,2006,26(5):75-78.
[28] 王璐.均相催化臭氧氧化处理分散染料废水的研究[J].上海:东华大学,2012.
[29] 贾中原.生化+芬顿氧化+臭氧催化氧化+生物活性炭组合工艺在医化废水处理中的应用研究[J].浙江化工,2024,55(5):41-45.
[30] 王磊.反硝化滤池+臭氧活性炭在高标准城镇污水处理厂原位提标改造中的应用[J].净水技术,2023,42(7):160-167.
[31] 于金旗,张鹤清,孙磊,等.典型非均相臭氧催化剂特性研究及催化氧化效能评估[J].给水排水,2022(增刊1):718-724.
[32] 尚会建,周艳丽,赵彦,等.活性炭催化臭氧氧化处理低浓度氨氮废水[J].化工环保,2012,32(5):405-408.
[33] 程聪.高级氧化法处理难降解有机废水的研究[D].武汉:武汉纺织大学,2013.
[34] 韩帮军.臭氧催化氧化除污染特性及其生产应用研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.
[35] ANDERSSON K I, ERIKSSON M, NORGRÉN M. Removal of lignin from wastewater generated by mechanical pulping using activated charcoal and fly ash: Adsorption kinetics[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2011, 50(13): 7733-7739
[36] MUNIR H M S, FEROZE N, IKHLAQ A, et al. Removal of colour and COD from paper and pulp industry wastewater by ozone and combined ozone/UV process[J]. Desalination and Water Treatment, 2019 (137): 154-161.