

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20222114

城市内涝工程短板分析及措施研究

桑林浩, 杨丽萍, 郑诗豪

(中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津 300222)

摘要: 针对近年城市内涝灾害频发及损失严重的问题, 聚焦排水防涝工程现状, 以 2016、2020 年出现内涝灾害的安徽省六安市为例, 系统考虑排水管网与排涝河道的衔接关系, 通过追踪管网—内河—外河的雨水外排过程, 从积涝点位置对应排水管网达标情况、地面高程与相应受纳雨水河道设计水位关系、河道排涝能力、汇入外河排涝泵站运行条件等方面分析确定造成城市内涝的工程短板。结果表明, 六安市老城区积涝点高程具有自流汇入河道条件, 排涝河道、排涝泵站均可满足排涝要求, 发生内涝的主要工程原因是大部分排水管道标准较低, 不能及时将雨水排入河道。在此基础上, 进一步考虑老城区排水管道整改实施难度大、周期长, 为在整改前尽可能减小内涝风险, 提出降低汇入外河口排涝泵站运行水位的新的治理思路及措施, 以提高城市排涝减灾能力。

关键词: 城市内涝; 工程短板; 排水管网; 排涝河道; 排涝泵站; 措施

中图分类号: TV121⁺.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)08-0090-04

1 概况

六安市主城区位于安徽省六安市中部, 属淠河流域, 淠河与淠河总干渠穿城而过。根据城市总体规划, 预计 2030 年城市规模达 120 km², 人口规模达 120 万人, 相应确定的内涝防治标准为 30 年一遇(排水管网雨水设计重现期为 3 年)。2016、2020 年六安市境内遭遇两次强降雨, 全市普遍受灾, 受灾人口分别达 20.3 万、24.2 万人, 主城区内受灾严重。六安市老城区主要位于淠河与淠河总干渠之间, 现有均河、蒋家沟、大雁河、苏大堰等主要排涝河道, 雨水经管网进入河道最终排至淠河, 入淠河处分别设有平桥站(均河、蒋家沟汇合入淠河处)、大雁河排涝站、苏大堰排涝站、张小园排涝站(城西河入淠河处), 形成了管网—内河—一站—外河的排涝出路及布局。根据两次城区暴雨积涝情况, 统计老城区范围内现有积涝点 9 处, 见图 1。目前对城市暴雨内涝成因的关注越来越多。张建云等^[1]从全球气候变化和城市发展对应的自然和社会两个因素分析, 指出暴雨频率和强度增加是导致城市暴雨内涝的重要原因; 宋晓猛等^[2]从城市水循环及产汇流角度分析了城市内涝的原因; 王通等^[3,4]从城市规划角度探讨了城市内涝的原因; 周宏等^[5]从城市气候、城

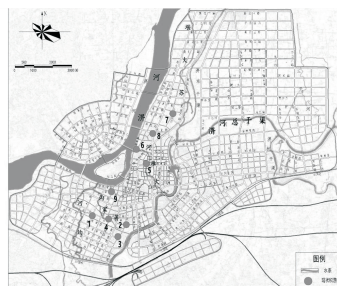


图 1 六安市主城区积涝点分布

Fig. 1 Distribution of water logging points in the main urban area of Lu'an City

市规划、城市建设及城市管理等方面, 梳理了城市内涝的成因及防治对策。已有研究大部分从气候、水循环、城市规划、管理等宏观要素出发分析城市内涝的成因。对于具体排水防涝工程的现状短板分析, 往往将排水管网与排涝河道分割^[6-8], 单独描述各自存在的问题, 由于排水管网与排涝河道一般分属于不同部门管理, 致灾的主要工程短板到底在于管网还是河道及二者排涝能力是否对等, 尚缺乏系统性研究。鉴此, 本文以 2016、2020 年两次遭遇暴雨内涝灾害的六安市主城区为例, 基于城市排水防涝工程现状, 系统考虑排水管网与排涝河道的衔接关系, 通过追踪管网—内河—外河的雨水外排过程, 研究造成城市内涝的主要工程短板, 并在此基础上进一步提出相应的

收稿日期: 2022-10-12, 修回日期: 2022-11-01

作者简介: 桑林浩(1992-), 男, 硕士、工程师, 研究方向为防洪减灾, E-mail: 546284070@qq.com

内涝防治措施。

2 研究方法

为分析排涝河道水位与积涝点地面高程关系及河道过流能力,并为内涝防治措施的提出提供支撑,建立一维洪水演进数学模型,采用一维恒定非均匀流能量守恒方程推算水位等主要特性指标,并以此作为分析论证的依据。

模型应用的数值计算公式为:

$$Z_2 = Z_1 + \alpha_1 v_1^2 / (2g) - \alpha_2 v_2^2 / (2g) + h_f + h_j \quad (1)$$

其中 $h_f = Q^2 l / (A^2 C^2 R) \quad (2)$

$$h_j = \xi | \alpha_1 v_1^2 / (2g) - \alpha_2 v_2^2 / (2g) | \quad (3)$$

式中, Z_2 、 Z_1 分别为上、下游断面的水位, m; v_2 、 v_1 分别为上、下游断面流速, m/s; α_2 、 α_1 分别为上、下游断面的动能修正系数,与河道断面流速分布的不均匀性有关; h_f 为沿程水头损失, m; h_j 为局部水头损失, m; Q 为流量, m^3/s ; l 为流程长度, m; A 为过水断面面积, m^2 ; C 为谢才系数, $m^{1/2}/s$; R 为水力半径, m; ξ 为收缩或扩张系数。

3 内涝工程短板分析

为系统性分析市政排水管网与水利排涝河道的工程短板,明确致灾的主要原因,结合现状雨水分区及排水防涝工程现状,研究均河、蒋家沟、大雁河、苏大堰沿线积涝点成因。主要通过追踪管网—内河—外河的雨水外排过程,从积涝点位置对应的排水管网达标情况、地面高程与相应接纳雨水河道设计水位关系、河道排涝能力、汇入外河排涝泵站运行条件等方面进行综合分析。均河、蒋家沟、大雁河、苏大堰沿线积涝点见表 1。

表 1 均河、蒋家沟、大雁河、苏大堰沿线积涝点

Tab. 1 Water logging points along Junhe River, Jiangjiagou River, Dayan River and Sudayan River

积涝点位置	积涝点分布(图1中编号)	所属雨水分区	2020年暴雨积水深度/cm	2020年暴雨积水时间/h
嵩寮岩路、响洪甸路、横排头路位置	1	均河分区	15~50	1.5~2.0
振华路(磨子潭路—解放路段)	2	蒋家沟分区	30	2.0
龙井沟路与龙河路交叉口	4		20	2.0
泉城西路四院段	5	大雁河分区	25	1.5
光明西路老党校段	6		25	1.5
周集路、姚李路、解放路位置	7	苏大堰分区	12~18	1.5

3.1 排水管网达标情况

根据排水管网现状,均河、蒋家沟、大雁河、苏大堰对应的雨水分区内,排水管网缺乏系统性、完整性,老城区已建管道设计管径小、标准低、雨水口收水能力不足,且存在高低排区混排、雨污分流

不彻底及管道坡度不顺、互相顶托等问题,加剧了内涝风险。据统计,4个雨水分区内设计暴雨重现期不满足3年一遇规划要求的管道总长90.31 km,占比达40%,具体见表2。

表 2 各雨水分区排水管网现状排水能力统计

Tab. 2 Statistics of current drainage capacity of drainage network in each rainwater partition

雨水分区	重现期 $P < 1$ /km	重现期 $1 \leq P < 2$ /km	重现期 $2 \leq P < 3$ /km	重现期 $3 \leq P < 5$ /km	重现期 $P \geq 5$ /km	合计 /km
均河	10.53	7.44	5.23	27.90	7.63	58.73
蒋家沟	11.13	5.90	4.77	21.74	3.02	46.56
大雁河	10.93	10.61	4.68	35.46	7.42	69.10
苏大堰	8.54	5.81	4.74	19.85	7.76	46.70
合计	41.13	29.76	19.42	104.95	25.83	221.09

3.2 地面高程与相应接纳雨水河道设计水位关系

雨水依地势汇集,经排水管网进入排涝河道,通过比较积涝点地面高程与相应接纳雨水河道设计水位,可直观判断雨水是否具有汇入河道的地势条件。均河、蒋家沟、大雁河、苏大堰沿线积涝点地面高程与河道设计水位对比见图2、表3。由图2、表3可知,除苏大堰沿线积涝点地面高程高于河道设计水位0.5 m外,其他积涝点位置与河道设计水位高差基本在1.0 m以上,且积涝点距离河道较近,如果排水管网达标,雨水可自流进入排涝河道。

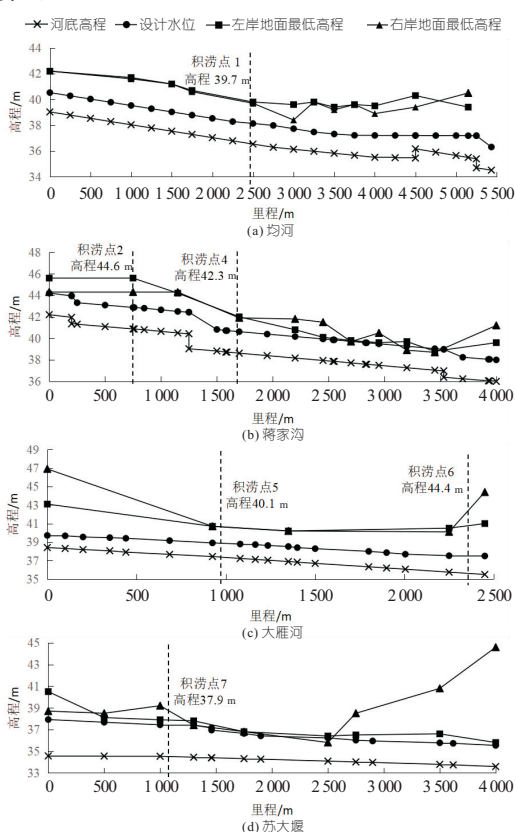


图 2 河道两岸地面高程与设计水位关系

Fig. 2 Relationship of ground elevation on both banks of river and design water level

表 3 积涝点地面高程与相应接纳雨水河道设计水位关系统计

Tab. 3 Statistical of relationship between elevation of water logging points and design water level of corresponding

logging points and design water level of corresponding rainwater receiving channel

积涝点位置	汇入河道名称	河道设计水位/m	积涝点高程/m	高程差/m	距离/m
嵩寮岩路、响洪甸路、横排头路	均河	38.1	39.7	1.6	450
振华路(磨子潭路—解放路段)	蒋家沟	43.5	44.6	1.1	500
龙井沟路与龙河路交叉口	蒋家沟	41.2	42.3	1.1	50
阜城西路四院段	大雁河	38.9	40.1	1.2	50
光明西路老党校段	大雁河	37.0	44.4	7.4	50
周集路、姚李路、解放路	苏大堰	37.4	37.9	0.5	350

3.3 河道排涝能力

为分析排涝河道能否满足承泄管网汇入雨水的要求,根据河道特征指标,采用曼宁公式分段进行排涝能力复核,复核结果见表 4。由表 4 可知,均河、蒋家沟、大雁河、苏大堰基本可满足 30 年一遇排涝标准,均河原设计水位情况下河道部分段不满足 30 年一遇过流要求,水位需抬高 0.2~0.6 m,但仍比两岸地面最低高程低约 1 m。排涝河道总体可满足城区的排涝要求。

表 4 均河、蒋家沟、大雁河、苏大堰排涝能力复核结果

Tab. 4 Review results of drainage capacity of Junhe River, Jiangjiagou River, Dayan River and Sudayan River

序号	河道名称	河段	底宽/m	水深/m	过流能力	30 年一遇设计流量
1	均河 (5.44 km)	0+000~1+400	12.0	1.5	28.0	24.5
		1+400~2+480	12.0	1.5	28.0	32.9
		2+480~2+730	10.0	1.7	27.4	32.9
		2+730~3+930	12.0	1.5	22.8	33.8
		3+930~4+480	20.0	1.0	25.8	35.5
		4+480~5+440	16.0	1.8	49.9	42.9
2	蒋家沟 (2.29 km)	0+000~0+660	12.0	2.0	45.6	45.0
		0+660~1+130	12.0	2.0	48.6	47.6
		1+130~1+410	12.0	2.0	48.6	47.6
		1+410~2+290	14.0	2.0	64.2	49.2
		2+290~3+900	15.0	1.8	39.8	28.7
3	大雁河 (3.90 km)	0+000~0+340	6.0	1.5	10.4	5.2
		0+340~0+810	6.0	1.5	10.4	9.1
		0+810~1+400	6.0	1.5	10.4	9.1
		1+400~2+375	8.0	1.5	18.6	18.3
		2+375~3+250	15.0	1.6	33.2	23.5
		3+250~4+200	10.0	2.1	29.3	21.0
4	苏大堰 (10.10 km)	0+000~1+570	5.0	1.5	4.5	4.0
		1+570~2+160	6.0	2.9	26.5	7.6
		2+160~2+430	6.0	2.8	13.5	7.6
		2+430~3+200	6.0	2.3	15.9	10.4
		3+200~4+200	10.0	2.1	29.3	21.0
		4+200~8+500	15.0	2.4	58.8	36.3
		8+500~10+100	15.0	3.2	114.9	47.3

注:过流能力、30 年一遇设计流量单位为 m^3/s 。

3.4 排涝泵站运行条件

排涝河道中,均河、蒋家沟汇合后入淠河设有平桥排涝站,大雁河、苏大堰入淠河分别设有大雁河排涝站、苏大堰排涝站,3 座排涝站目前均能正常运行。且淠河受之前河道采砂及洪水冲刷的影响,城区段河床普遍下切,现状 50 年一遇标准洪

水推算水位比原设计水位低 2~3 m,进一步改善了排涝站的外排条件。

3.5 综合分析

综合分析六安市主城区内涝主要原因是大部分排水管道标准较低,不能满足规划要求 3 年一遇设计暴雨重现期,并存在管道淤塞、高低排区混排、雨污分流不彻底等问题。2020 年“7.18”暴雨达 100 年一遇标准,根据实际情况,积涝点位置积水持续时间较长,不能及时排入河道,河口位置水位很难达到泵站的运行水位,平桥排涝站、大雁河站甚至未开泵运行,泵站无法按设计规模发挥作用。本文内涝成因综合分析结果与实际受灾情况相符。

4 基于工程短板的内涝防治措施

考虑老城区对标准不足的排水管道进行达标整治的实施难度大、周期长,为在管网全面达标前尽可能减小内涝风险及淹没损失,除积涝点增设泵站、配备移动泵车等传统措施,结合管网与河道衔接关系,提出新的内涝防治思路及措施。

考虑降低汇入外河位置排涝泵站设计运行水位,可整体降低排涝河道水位,从而改善沿线管网雨水汇入条件;此外,外河水位因河床下切而降低,也为降低排涝泵站运行水位提供了可行性。以均河、蒋家沟汇合后下游平桥排涝站为例进行论证。平桥排涝站现状进水池设计运行水位为 38.0 m,站前河道设计水位为 36.3 m,考虑与河道水位衔接,将进水池设计运行水位 38.0 m 降至 36.3 m,并按现状泵站设计标准 $30 m^3/s$ 分析其效果,结果见图 3。由图 3 可知,降低泵站运行水位后,均河水位整体降低,最多降低 1.4 m,沿线积涝点位置河道水位降低 0.65 m,佛子岭路、

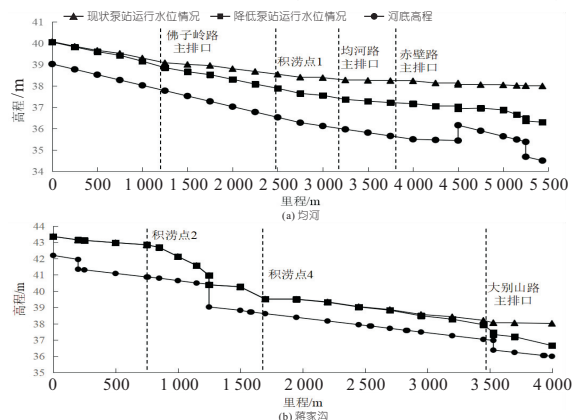


图 3 泵站运行水位降低前后排涝河道水面线对比

Fig. 3 Comparison of water surface profile of drainage channel before and after reduction of operation water level of drainage pumping station

均河路、赤壁路雨水主排口处水位降低 0.4~1.0 m。蒋家沟下游 1.5 km 水位有所降低,最多降低 1.4 m,沿线积涝点位置河道水位降低 0.8 m,大别山路雨水主排口处水位降低 0.4 m。河道水位降低较多,可改善雨水经管网进入河道的条件,一定程度缓解城市积涝问题。

平桥排涝站有其特定的内河、外河水位条件,通过降低设计运行水位减小内涝风险主要是调整其调度运行方式,不涉及排涝站改建,投资较低。在应用于其他城市时,需进一步研究水位特征、泵站进出水口淹没水深等可行性条件。

5 结论

a. 本文以安徽省六安市为例,通过追踪管网—内河—外河的雨水外排过程,综合分析了老城区内涝的主要工程短板。发现六安市老城区大部分排水管网标准偏低;积涝点位置高程均高于相应接纳雨水河道设计水位 0.5 m 以上,具有自流条件;排涝河道基本满足 30 年一遇排涝要求,且河口排涝泵站能正常抽排。故老城区内涝的主要工程原因在于排水管网不满足设计标准,不能

及时将雨水排入河道。

b. 考虑老城区排水管道整改实施难度大、周期长,提出在有条件的情况下降低汇入外河处排涝泵站运行水位的工程措施,为城市内涝防治提供了新思路。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 宋晓猛,张建云,贺瑞敏,等. 北京城市洪涝问题与成因分析[J]. 水科学进展,2019,30(2):153-165.
- [3] 王通. 城市规划视角下的中国城市雨水内涝问题研究[D]. 武汉:华中科技大学,2013.
- [4] 耿莎莎. 基于城市规划视角下的城市内涝防治研究[D]. 兰州:兰州大学,2013.
- [5] 周宏,刘俊,高成,等. 我国城市内涝防治现状及问题分析[J]. 灾害学,2018,33(3):147-151.
- [6] 王震. 城市内涝成因与雨水管渠规划设计[J]. 市政技术,2021,39(12):105-108.
- [7] 陆敏博,王欢,魏清福,等. 平原河网城市雨水系统排水能力及内涝风险评估浅析[J]. 水电能源科学,2020,38(8):66-68,73.
- [8] 张万辉,安关峰,李波. 广州市移民新村内涝控制方案研究[J]. 中国农村水利水电,2016(4):89-95.

Study on Engineering Weakness and Corresponding Measure of Urban Waterlogging

SANG Lin-hao, YANG Li-ping, ZHENG Shi-hao

(China Water Resources Beifang Investigation, Design and Research Co. Ltd., Tianjin 300222, China)

Abstract: In view of the frequent occurrence and serious loss of urban waterlogging disasters in recent years, this paper focuses on the current situation of engineering of waterlogging drainage, and takes Lu'an City, Anhui Province, which experienced waterlogging disasters in 2016 and 2020 as the research object. Considering the connection relationship between drainage network and drainage channel systematically, the study analyzes and determines the engineering weakness that cause urban waterlogging from the aspects of the standard of drainage network corresponding to the location of water logging points, the relationship between ground elevation and the design water level of the corresponding receiving rainwater river, the drainage capacity of the river, and the operation conditions of the drainage pumping station, based on the tracking of rainwater discharge process of pipe network— inland river— outland river. The results show that the elevation of water logging point in the old urban area of Lu'an City has the condition of flowing into the river by gravity, and the drainage channel and drainage pumping station can meet the drainage requirements. The main engineering reason for the occurrence of waterlogging is that most drainage network have low standards and can not drain rainwater into the river in time. On this basis, it is further considered that the implementation of the drainage network rectification in the old urban area is difficult and long cycle. In order to minimize the risk of waterlogging before rectification, it is proposed to reduce the operation water level of the drainage pumping station at the estuary of the outland river, so as to improve the ability of urban drainage and disaster reduction.

Key words: urban waterlogging; engineering weakness; drainage network; drainage channel; drainage pumping station; measure