

基于管道排水负荷的老城区雨水管网改造设计

曾祥英¹, 李尔¹, 饶世雄¹, 邹惠君¹, 何培弘¹, 石亚军¹, 罗凡²,
陶涛², 王宏峰³

(1. 武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 430015; 2. 华中科技大学 环境科学与工程学院, 湖北 武汉 430074; 3. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063)

摘要: 针对城市老城区雨水管网提标改造需求大,但实施条件受限的实际情况,为了不全面大幅改造整个区域雨水管网,提出了一种基于管道排水负荷的老城区雨水管网改造的设计方法。根据设计排水标准,以管道排水负荷为导向,通过整合区域雨水管网系统,制定不同的管道排水负荷等级,并适当增大局部位管道布置密度以降低雨水管网系统的管道排水负荷,从而提升整个区域排水能力,同时协调泵闸运行,增大管道水力坡降。以武汉市青山临江片老城区雨水管网改造为例,介绍了基于该法的具体设计方案。实际运行情况表明,该区经历了数场 $P=1\sim 5$ a的降雨,原积水点均未发生积水,达到了预期效果。

关键词: 管道排水负荷; 雨水管网; 老城区

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)08-0067-05

Reconstruction Design of Rainwater Pipe Network in Old Urban District Based on Drainage Load of Pipeline

ZENG Xiang-ying¹, LI Er¹, RAO Shi-xiong¹, ZOU Hui-jun¹, HE Pei-hong¹,
SHI Ya-jun¹, LUO Fan², TAO Tao², WANG Hong-feng³

(1. Wuhan Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Wuhan 430015, China; 2. School of Environmental Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 3. China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd., Wuhan 430063, China)

Abstract: In view of the urgent demand for upgrading the rainwater pipe network in old urban district and the limited implementation conditions, the method of the design for the reconstruction based on pipeline drainage load index was put forward in order not to completely reconstruct the rainwater pipe network in the whole area. Based on the design drainage standard, guided by the drainage load index, some methods were adopted to achieve the upgrading drainage capability of the rainwater pipe network such as integrating rainwater pipe network of the area, setting up different pipeline drainage load degrees, and reducing the drainage load of rainwater pipe network by appropriately increasing the density of rainwater pipeline layout in the area. Besides, pumps were coordinated to sluices so as to increase the pipe hydraulic gradient. Taking there construction of rainwater pipe network in the old urban district adjacent

to the Yangtze River of Qingshan District in Wuhan as an example, the specific design based on this method was introduced, the actual operation results showed that the area experienced several rainfall for 1-5 years, and no water has been accumulated at the original water accumulation point, which achieved the expected reconstruction performance.

Key words: pipeline drainage load; rainwater pipe network; old urban district

近年来城市雨水管网提标改造需求日益增多,尤以城市老城区更甚,这类区域多位于城市中心区,现状排水标准往往偏低,但排水要求较高,而建设条件受空间、交通、环境等因素所限,区域雨水管网进行全面大幅改造难度较大,如何对该类区域的雨水管网进行提标改造是设计的难点。针对该问题,笔者提出了一种基于管道排水负荷的老城区雨水管网改造的设计方法,并将其应用于武汉市青山临江片老城区雨水管网改造的设计中。

1 基于管道排水负荷的雨水管网改造思路

① 总体思路

在不全面大幅改造整个区域雨水管网的前提下,根据设计排水标准以管道排水负荷为导向,适当强化局部位置的雨水管网布置密度以降低雨水管网系统的管道排水负荷,从而提升整个区域的排水能力。

② 技术路线

a. 整合管网系统,异化负荷等级。根据区域实际情况,整合雨水管网系统,针对区域内不同雨水管道的排水重要性和特点,在设计排水标准条件下确定不同雨水管道的设计管道排水负荷等级。

b. 强化管网密度,降低排水负荷。根据现状管网系统的管道排水负荷情况,适当强化局部位置雨水管网布置密度以降低区域雨水管网系统的管道排水负荷,以达到设计管道排水负荷等级要求。

c. 协调泵闸运行,增大水力坡降。合理调度下

游泵、闸等雨水排放设施运行,降低下游受纳水体水位以增大雨水主通道水力坡降,形成较有利的排水条件。

2 管道排水负荷等级

采用管道排水负荷来表征雨水管道运行状况,该负荷综合考虑降雨全过程的管道充满度、管道过载或溢流情况及其持续时间等因素(过载是指管道水位线超过管顶,溢流是指管道水位线超过现状地面从而形成路面积水),并按管道平均及最大充满度从小到大、管道从正常运行到过载直至溢流、过载或溢流持续时间由短到长等将管道排水负荷划分为 I ~ V 级,相应的管道运行健康度等级依次为健康、较健康、亚健康、病态、重病态,具体见表 1,其中管道排水负荷等级为 I、II 级的雨水管道在降雨全过程都是非满流运行;管道排水负荷等级为 III 级的雨水管道在降雨全过程中部分时间接近满流运行,偶尔出现管道过载运行但未发生溢流情况;管道排水负荷等级为 IV 级的雨水管道在降雨全过程中大部分时间接近满流运行,部分时间过载运行,其中少部分时段发生溢流情况;管道排水负荷等级为 V 级的雨水管道在降雨全过程中少部分时间接近满流运行,大部分时间过载运行,其中有部分时段发生溢流情况。根据表 1 对各管道进行管道排水负荷等级评估时,一旦管道相关指标中的一项或几项超过该表中的某一管道排水负荷等级的相应标准时,即进入下一级管道排水负荷等级评估。

表 1 管道排水负荷等级

Tab. 1 Pipeline drainage load grade

管道排水负荷等级	管道运行健康度	管道充满度		管道最高水位线时是否过载或溢流		管道过载或溢流持续时间占整场降雨时间的比例/%	
		平均充满度	最大充满度	过载	溢流	过载	溢流
I 级	健康	<0.5	<0.7	否	否	—	—
II 级	较健康	<0.7	<1.0	否	否	—	—
III 级	亚健康	<0.9	1.0	是	否	<10	—
IV 级	病态	<1.0	1.0	是	是	<50	<30
V 级	重病态	<1.0	1.0	是	是	≥50	≥30

注: 管道过载或溢流时充满度按 1.0 计。

3 武汉青山临江片老城区雨水排放现状

3.1 区域基本情况

武汉青山临江片老城区位于长江以南且毗邻长江,隶属于青山区,由临江大道、和平大道、工业四路、友谊大道、罗家港等围成,区域总汇水面积约 8.35 km^2 (见图1),该区域以居民区为主,零星分布有商业和轻工业。整个区域地势总体呈现东西两端略高、中间略低的特点。

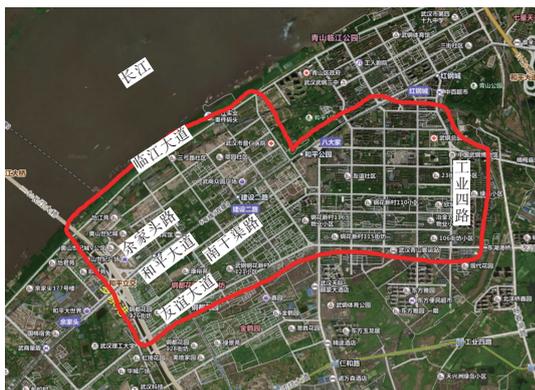


图1 武汉市青山临江片老城区位置图

Fig.1 Regional location of the old urban district adjacent to the Yangtze River of Qingshan District in Wuhan

3.2 现状雨水排放情况

① 雨水排放现状

该区域为雨污分流排水体制,区域内现状四条雨水排放主通道分别为余家头路雨水主通道($B \times H = 2\,000 \times 1\,800 \text{ mm} \sim B \times H = 3\,500 \times 2\,000 \text{ mm}$ 雨水箱涵)、和平大道雨水主通道(双排 $d1\,200 \sim d1\,500 \text{ mm}$ 雨水管道)、南干渠路雨水主通道($d1\,800 \text{ mm} \sim B \times H = 4\,500 \text{ mm} \times 2\,500 \text{ mm}$ 雨水箱涵)及友谊大道雨水主通道($d1\,200 \text{ mm} \sim B \times H = 2\,200 \text{ mm} \times 1\,500 \text{ mm}$ 雨水管涵),这四条雨水主通道收集沿线雨水干、支管来水后由东向西排放最终都汇入位于区域西侧的现状罗家港明渠(渠底宽 $B = 41 \text{ m}$,设计水深 $h = 2.5 \text{ m}$),该明渠作为区域主要排涝渠道在长江非汛期和汛期时分别经渠道末端的罗家港闸(现状规模为 $21.7 \text{ m}^3/\text{s}$)和罗家路泵站(现状规模为 $85 \text{ m}^3/\text{s}$)自排和抽排入长江。根据这四条雨水主通道的服务范围及配套的雨水干、支管布置情况,整个区域雨水管网系统分为四个相互独立的雨水管网子系统:余家头路子系统、和平大道子系统、南干渠路子系统及友谊大道子系统,上述子系统汇水面积分别约为 2.82 、 0.55 、 4.35 及 0.63 km^2 ,具体如图

2所示。



图2 区域现状排水管网及汇水范围

Fig.2 Layout of current rainwater pipe network and its catchment area

② 现状雨水排放存在的问题

整个区域雨水排放标准偏低,中、大型降雨时,余家头路、南干渠路等雨水主通道及建一路、建三路、工业大道、工业二路等局部位雨水干、支管负荷较重,暴雨时,上述雨水主通道和管道经常出现排水不畅情况,部分相关路段甚至发生路面积水现象。

4 武汉青山临江片老城区雨水管网改造

4.1 整合管网系统,异化负荷等级

① 整合雨水管网系统

综合考虑现状地形地势、管道高程、可实施条件等,将各雨水管网系统中的部分管道进行局部连通使之融合形成一个整体雨水管网系统,可在不全面大幅改造整个区域雨水管网的前提下,充分利用区域内现状及新建雨水管道的排水能力^[1]。

② 设计管道排水负荷等级标准

经前期核算,整个区域现状雨水管网系统的暴雨重现期标准为 $P = 1 \text{ a}$,现状下游接纳水体(罗家港)及排水设施(罗家港闸及罗家路泵站)具有 $P = 5 \text{ a}$ 的排水能力,根据《室外排水设计规范》对超大城市中心城区雨水管渠设计重现期的要求^[2],结合本项目的特点,确定区域雨水管网的设计暴雨重现期标准为 $P = 5 \text{ a}$ 。根据各雨水管道排水重要性和特点,确定以下设计管道排水负荷等级标准:雨水主通道降雨全过程不满流,即其管道排水负荷等级不超过Ⅱ级;雨水干、支管降雨全过程不溢流,即其管道排水负荷等级不超过Ⅲ级。因此,雨水主通道应保证完全不过载,雨水干、支管为充分利用其排水能力允许适当过载运行但不出现溢流。

4.2 强化管网密度,降低排水负荷

① 现状雨水管网系统的管道排水负荷评估

根据武汉市暴雨强度公式和设计降雨雨型($P=5\text{ a}$),采用 SWMM(Storm Water Management Model,暴雨径流管理模型)对区域现状雨水管网系统的排水情况进行模拟分析,并根据模拟分析结果对各雨水管道的排水负荷等级进行评估,结果见图3。



图3 $P=5\text{ a}$ 时现状雨水管网系统的管道排水负荷
Fig.3 Drainage load of current rainwater pipe network when $P=5\text{ a}$

由图3可知,设计暴雨重现期 $P=5\text{ a}$ 时,现状雨水管网系统中各管道的排水负荷普遍较高,尤其是南干渠路、余家头路等雨水主通道的部分管段的管道排水负荷已达到V级,即出现过载运行甚至发生溢流情况,另外建一路、建三路、工业大道、工业二路等部分雨水干、支管的管道排水负荷达到IV~V级,故从总体上看,在设计暴雨重现期条件下区域雨水管网系统整体运行健康度不高。

② 区域管网改造方案

本项目具体改造设计方案见图4。



图4 新增雨水管道布置

Fig.4 Layout of constructed rainwater pipe network

由图2、3并结合现状实施条件可知,现状南干渠路、余家头路等雨水主通道的管道排水负荷较高,沿线雨水干、支管汇入点较多,而现状雨水主通道旁都具备新建管道的实施条件,在这两条雨水主通道旁可新建一排雨水主通道以缓解现状主通道排水压力,现状友谊大道雨水主通道的管道排水负荷略高而现状和平大道雨水主通道的管道排水负荷相对较

低,这两条主通道旁不再新建雨水主通道,同时根据管道高程情况和可实施条件,将上述四条雨水主通道上游的部分雨水干、支管进行局部连通使相应的各雨水管网子系统融合形成一个整体雨水管网系统;针对工业大道、建一路、建三路、工业二路等局部雨水干、支管的管道排水负荷较高的管段,新建雨水管道以降低其管道排水负荷。

a. 雨水主通道。余家头路雨水主通道,平行于现状 $B\times H=2\,000\text{ mm}\times 1\,800\text{ mm}\sim B\times H=3\,500\text{ mm}\times 2\,000\text{ mm}$ 雨水箱涵旁新建一排 $B\times H=3\,000\text{ mm}\times 2\,000\text{ mm}$ 雨水箱涵,形成双排主通道;南干渠路雨水主通道:平行于现状雨水箱涵 $d1\,800\text{ mm}\sim B\times H=4\,500\text{ mm}\times 2\,500\text{ mm}$ 新建一排 $d1\,800\text{ mm}\sim B\times H=3\,500\text{ mm}\times 2\,500\text{ mm}$ 雨水箱涵,形成双排主通道;友谊大道及和平大道雨水主通道基本维持现状不变。

b. 雨水干、支管。在建一路、建三路、工业大道、工业二路等路段局部位置分别增加 $d1\,200\sim d1\,800\text{ mm}$ 雨水管道,并在其他路段相应位置增设 $d1\,000\sim d1\,200\text{ mm}$ 的雨水连通管,将相互独立的四个雨水管网子系统内部连通形成一个整体雨水管网系统。

4.3 协调泵闸运行,增大水力坡降

受实施条件及地面高程所限,上述现状及新建的雨水主通道排入罗家港处的各排口的底部高程均位于该港设计最高水位和最低水位之间,雨季为减少罗家港对上述雨水主通道的顶托作用,建立罗家港闸和罗家路泵站运行调度机制,即根据预报降雨情况和长江水位特点,制定不同降雨预警级别下的泵、闸运行方案,重点强化泵闸汛前预排以降低罗家港水位从而增大雨水主通道水力坡降,形成较为有利的排涝条件。

5 改造效果

5.1 模型评估与分析

为验证设计的合理性,根据武汉市暴雨强度公式和设计降雨雨型($P=5\text{ a}$),采用 SWMM 对改造后的区域雨水管网系统的排水情况进行模拟分析,并根据模拟分析结果对各雨水管道的管道排水负荷等级进行评估。

① 雨水主通道排水情况

以南干渠路现状雨水主通道为例,改造前后其最高水位线时情况见图5,可见,改造后最高水位线时南干渠路现状雨水主通道未出现过载或溢流情

况,其他几条现状及新建雨水主通道情况与之类似。

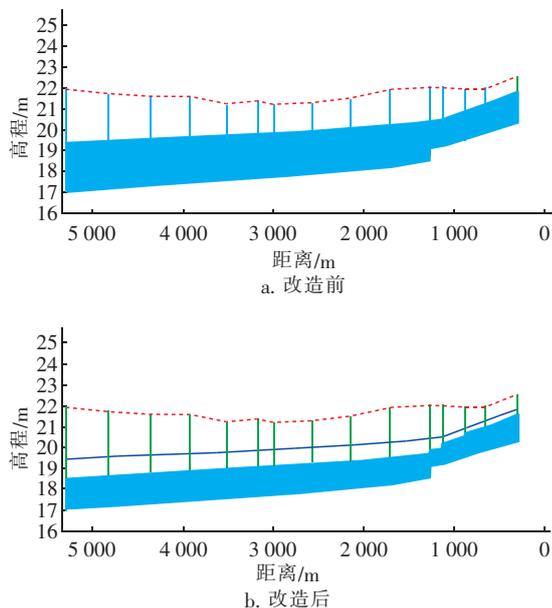


图5 现状南干渠路雨水主通道沿程最高水位线情况
Fig.5 Situation of maximum water level of the current Nanganqu Road rainwater channel

② 雨水管网系统管道排水负荷情况
改造后区域雨水管网系统管道排水负荷见图6。

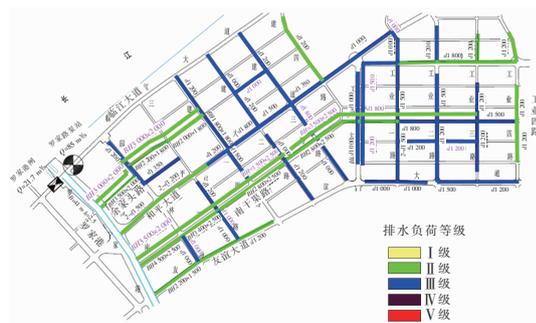


图6 $P=5$ a时改造后的雨水管网系统的管道排水负荷
Fig.6 Drainage load of reconstructed rainwater pipe network when $P=5$ a

对比图6与图2及其相关模拟结果可知,改造前后,区域雨水管网系统管道平均充满度的加权平均值由88%降低为66%,管道排水负荷等级加权平均值由接近IV级降低为略高于II级,其中雨水主通道的管道排水负荷都为II级,其他雨水干、支管的管道排水负荷都不超过III级,实现了雨水主通道降雨全过程不满流,雨水干、支管降雨全过程不溢流。因此,区域雨水管网系统改造后整体的管道排水负荷明显降低,管道过载情况大为好转,溢流情况不再发生,管道运行健康度大为提高。

5.2 实际运行效果

自项目建成后,该区域先后经历了数场 $P=1\sim 5$ a的降雨,根据降雨期间的实时监测结果,各雨水主通道的管道水位较之以往类似规模降雨普遍明显下降,建一路、建三路、工业大道、工业二路等路段原积水点均未发生积水事件,其他路段也未出现积水点,整体达到预期的改造效果。

6 结论

针对城市老城区的雨水管网系统特点及改造条件,根据设计排水标准以区域雨水管网系统的管道排水负荷为导向,在不全面大幅调整区域现状雨水管网系统的前提下,通过有针对性地对局部位置强化管网布置密度以降低雨水管网系统的管道排水负荷,实现了提升老城区雨水管网排水能力的目标。

参考文献:

- [1] 孙慧修,郝以琼,龙腾锐. 排水工程(上册,第4版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
Sun Huixiu, Hao Yiqiong, Long Tengrui. Drainage Engineering (Vol 1, 4th ed) [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1999 (in Chinese).
- [2] GB 50014—2006, 室外排水设计规范(2016年版)[S]. 北京:中国计划出版社,2016.
GB 50014—2006, Code for Design of Outdoor Wastewater Engineering (2016 ed) [S]. Beijing: China Planning Press, 2016 (in Chinese).



作者简介:曾祥英(1982—),女,湖北仙桃人,硕士,高级工程师,研究方向为雨水管网系统设计与规划、水污染控制技术与工艺,曾获湖北省和武汉市优秀工程勘察设计一、三等奖,湖北省和武汉市自然科学优秀学术论文二、三等奖等。

E-mail: whwater2008@163.com

收稿日期:2017-12-13