

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.02.002

武汉市南湖流域压力式排水系统规划与建设分析

曾祥国¹, 安磊², 齐同湘¹, 高艳¹, 潘德靖³, 罗艳¹,
马剑锋¹, 赫俊国⁴, 庞鹤亮²

(1. 武汉设计咨询集团有限公司, 湖北 武汉 430014; 2. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055; 3. 武汉三镇实业控股股份有限公司, 湖北 武汉 430199;
4. 广州大学 土木工程学院, 广东 广州 510006)

摘要: 近年来,武汉市南湖流域排水系统运维状况不佳,基于城市发展需要,排水系统提质改造势在必行。对南湖流域排水系统运行情况进行全面摸排,发现污水稀释、沉积物淤积、有害气体逸散等问题。基于传统重力式和压力式排水系统特点对比,选取民族大道、南湖大道和中南财大区域作为先行示范,新建3个系统性压力式排水系统,对规划和建设方案进行了阐述,有望实现“点对点”传输污水,污水收集和传输效率得到显著提高。压力式排水系统中污水流速较高,能够有效减少有害气体生成,有助于沉积物强制冲刷,对于污水的稳定输送具有重要意义。此外,对南湖流域新建压力式排水系统的经济效益、环境效益和社会效益进行了评价,并分析了工程重难点及运行问题。

关键词: 南湖流域; 压力式排水系统; 排水系统改造

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2025)02-0008-06

Planning and Construction Analysis of Pressure Sewer System in Nanhu Lake Area, Wuhan

ZENG Xiang-guo¹, AN Lei², QI Tong-xiang¹, GAO Yan¹, PAN De-jing³,
LUO Yan¹, MA Jian-feng¹, HE Jun-guo⁴, PANG He-liang²

(1. Wuhan Planning & Design Co. Ltd., Wuhan 430014, China; 2. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;
3. Wuhan Sanzhen Industry Holding Co. Ltd., Wuhan 430199, China; 4. School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In recent years, the operation and maintenance of the sewer system in Nanhu Lake area of Wuhan were unsatisfactory. Based on the needs of urban development, it is essential to improve the quality of the sewer system. This study clarified the issues of sewage dilution, sediment deposition, and harmful gas escape while conducting a thorough investigation of the Nanhu basin's sewer system. According to the characteristic comparison between traditional gravity sewer systems and pressure sewer systems, the Minzu Avenue, Nanhu Avenue, and Central South University of Finance and Economics area

基金项目: 污染控制与资源化研究国家重点实验室开放课题(PCRRF21007); 武汉设计咨询集团有限公司内部研究课题(WPDC2022-SC-007)

通信作者: 庞鹤亮 E-mail: pangheliang00007@163.com

were selected as the first demonstration of pressure sewer construction. The planning and construction schemes of the three new pressure sewer systems were elaborated. It was expected to realize “point-to-point” sewage transmission, which might significantly improve the efficiency of sewage collection and transmission. The high flow rate of sewage in a pressure sewer system can effectively reduce the generation of harmful gases and contribute to the forced erosion of sediments, which is of great significance for the stable transport of sewage. In addition, this study also evaluated the economic, environmental, and social benefits while analyzing the key difficulties and operation problems.

Key words: Nanhu Lake area; pressure sewer system; improvement of sewer system

排水管网作为收集和输送城市污水的重要工具,能够有效收集城镇居民区、商业区和工业区排出的污废水,并将其输运到污水处理厂,对于完善城市基础设施和保障生态环境具有重要作用^[1]。随着我国城镇化水平的提高和城市人口的增长,城市地下排水系统建设进程不断加快,截至2018年我国已建成的排水管道总长度超过 6.8×10^6 km,排水管网系统建设投资超过1 500亿元^[2]。

近年来,为避免污水直排入湖,提升南湖水域水体环境,武汉市政府对南湖区域排水系统实施雨污管混错接改造、管网更新等措施,但改造工程缺乏整体性。根据后续对南湖流域管道水体水质和水量的补充检测结果,部分片区管道仍存在严重的雨污管错混接现象,南湖地区污水管道分流改造工程的效益未得到最大化。另外,南湖区域污水管道排水方式为重力式,存在沉积物淤积、臭气逸出、有机物浓度偏低、易引起内涝及水环境恶化等弊端,并对片区内污水系统的工作能力造成影响。当前,亟需升级改造污水管网系统以提升其系统工作能力。

与现行的重力式排水系统相比,压力式排水系统在管道埋深、管内水流状态等方面具有诸多优点^[3]。其设计形式与传统重力、压力混合排水系统较类似,是一种新型的市政污水管道系统^[4-5]。通过外加作用力加快污水在管道中的流速,整个管道系统处于有压状态和满流状态,污水流速较快,因此缩短了源头污水在加压泵站与污水处理厂之间的流动时间,避免污水在管道内停留时间过长而导致的碳源消耗^[6-7],还可克服南湖流域内污水管网现存弊病,如流速低、沉积物淤积、污水腐败、臭气逸出等问题。此外,压力式排水系统还能有效改善现行污水主干管道内高水位运行现状,减轻主干污水管

网压力、泵站运行压力,为未来混错接调查与污水管网改造创造有利条件。

在压力排水系统中,污水为有压流,流速较快,避免了颗粒物沉积和有机质降解转化,减弱了危害气体生成,同时实现了污水碳源物质的保留,其运行优势的关键在于污水快速输送。因此,基于压力式排水方式提出压力式排水快速通道系统,并介绍了3个系统性排水快速通道的建设。该工程方案对污水管网系统提质增效、提高片区污水收集率等具有显著创新性和重要工程意义。

1 南湖流域排水系统问题分析与解决方案

1.1 南湖流域排水问题

南湖地区的污水管网现行重力式管道混错接现象较多,低浓度污水和雨水进入污水管网系统,对生活污水造成稀释,导致污水厂进水污染物浓度偏低。同时,南湖地区污水干管淤积满水的情况较严重,南湖大道和民族大道现行重力管道问题尤为严重,需花费大量人力物力进行清淤^[8],清淤周期较频繁,费用较高。此外,在污水输送过程中,产甲烷菌与硫酸盐还原菌生化代谢过程会产生并释放硫化氢、甲烷等有害气体^[9-10],污染环境,且有安全隐患^[11]。

1.2 排水系统问题原因分析

基于南湖地区现状排水系统建设运行情况,对其存在的问题进行溯源判断。可以认为,排水管道混错接以及上述重力式排水系统固有弊端是南湖地区污水厂进水污染物浓度低、排水管道沉积淤积和有害气体逸散等问题的主要驱动因素之一。

1.2.1 排水管道混错接

排水管道混错接是当前南湖地区排水系统存在问题的另一个主要原因,目前该区域存在较明显的雨水管网监测断面混流的问题。南湖地区地块

较多,不同地块的所属权不同,相邻地块单元间的雨污管容易混接,甚至不同排水体制的管网直接相连,导致雨污分流效果较差。目前,南湖流域混流区域面积占到监测总面积的67.5%,污水存在被稀释的现象。雨水渗入污水管道导致污水稀释和有机质浓度降低,是污水处理厂进水污染物浓度偏低的主要原因之一,限制了污水处理效能^[12]。

1.2.2 重力式排水系统固有弊端

事实上,重力式排水系统的固有弊端是南湖地区当前排水系统存在问题的主要原因之一。首先,重力式排水系统受地势影响和埋深限制,普遍存在坡度较缓和流速较低的问题,导致颗粒态污染物沉降和沉积物累积;此外,排水系统过水能力降低,致使污水在重力式排水管网中停留时间较长,为管道微生态系统降解污水有机物和甲烷、硫化氢等有害气体生成和累积创造了条件。第二,重力式排水系统密封性不强,无法避免有害气体逸出和雨水渗入,这是城市排水系统腐臭味逸散和污水污染物浓度降低的根本原因。第三,重力式污水管道与雨水管道极易发生混错接且难以完全排查。

1.3 排水系统升级改造方案与目标

针对南湖地区污水管道运行的困境,需对排水系统进行提质改造,拟采用压力排水快速通道代替重力流管道,两种排水系统特点对比如表1所示。

表1 传统重力式与压力式排水系统特点对比

Tab.1 Comparison of characteristics between traditional gravity sewer system and pressure sewer system

影响因素	压力式排水系统	传统重力式排水系统
埋深	1~2 m	最小0.7 m,最大7~10 m
材料	PVC、PE或球墨铸铁管	PVC或钢筋混凝土管
水流状态	流速大、沉积少	流速小、污泥沉淀严重
系统密闭性能	密闭、无污水渗漏、无气味逸出	与大气连通,可能有污水渗漏或气味逸出
障碍物	敷设灵活,不受地形限制	受地形制约较大
施工周期	短	长
辅助设施	阀门井、压力检查井、排水阀门井、排泥阀井、污水压力泵站	跌水井、检查井、污水提升泵站
运行费用	排污泵、监测设备的运行费用高	管道以自流运行为主,局部提升,运行成本低
管理维护	整个系统采用实时监控,可及时发现問題,系统管理水平要求高	出现问题不易发现,维修麻烦,系统管理水平要求不高

2 压力式排水系统

在南湖地区内选取4个区域作为先行示范,新建3条系统性压力式管道,预计将实现以下目标:①排水系统密封性和完整性较好,有效减少管道混错接现象,提升污水污染物浓度;②排水系统中的污水处于满流状态运行,避免气相空间产生,根除了硫化氢、甲烷等有害气体的逸出;③减轻污水流动过程的碳沉积,减少沉积物淤积现象。

2.1 压力式排水快速通道系统形式

常见的压力式排水系统形态主要分为蒲公英型和鱼骨型两种^[3],具体如图1所示。

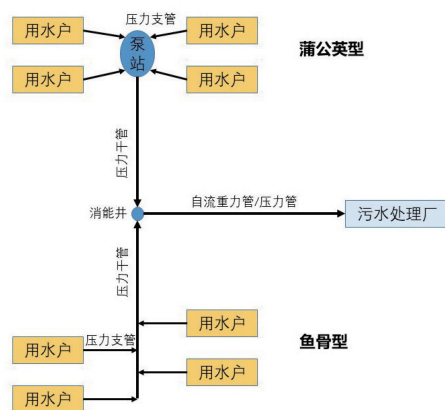


图1 压力式排水系统形态

Fig.1 Form of pressure sewer system

① 蒲公英型:每个排水户均需要一根专用压力支管进泵站,排水户过多的情况下管位紧张,压力支管的管位难以安排。

② 鱼骨型:多个排水户共用一根压力干管,各排水户的排水规模、扬程都不尽相同,需要对整个系统进行平衡控制,一根压力干管上的用水户一般不超过10个。

由于茶山刘片区相邻地块单元排水管网交织在一起,甚至不同排水体制的管网直接相连,地块排放通道错综复杂,因此决定采用蒲公英型的管网布置方式。

2.2 压力式排水系统方案设计

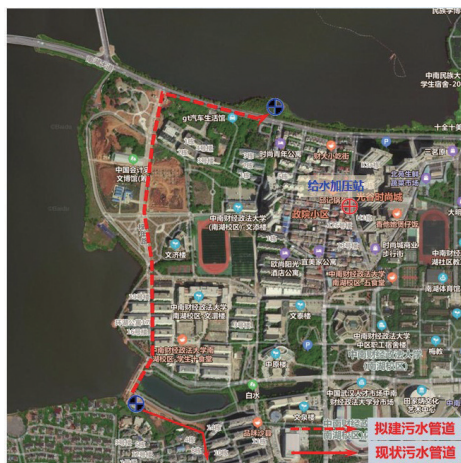
南湖地区茶山刘片区的沉积物淤积、臭气逸散、混流状况等问题最为严重,且汇流片区面积适中,因此将茶山刘片区确定为南湖流域排水快速通道试点范围。项目新建3处排水系统,分别位于民族大道、南湖大道和中南财大附近,以此来快速转输服务区域内的污水。排水快速通道示意图2。



a. 民族大道片区



b. 南湖大道片区



c. 中南财大片区

图2 排水快速通道示意

Fig.2 Schematic diagram of sewage fast passages

2.2.1 民族大道排水系统

在民族大道两湖泵站处新建一座全地下式污水提升泵站[见图2(a)],设计流量为 $0.15\text{ m}^3/\text{s}$,占地面积约 50 m^2 。同时,配套实施一根DN400出站污水压力管道,沿民族大道西侧车行道布置。新建污水提升泵站对民族大道下的现状污水管道污水进行改造截流,将收集的污水排往下游南湖大道与民

族大道路口的绣球山泵站预留进站主管,最终排至龙王嘴污水厂进行处理。民族大道排水管道能够克服污水难以重力排入下游管道问题,使污水快速、畅通进入污水厂。同时,增加一条压力通道,提高上游污水流速,增强了系统污水收集能力。

2.2.2 南湖大道排水系统

在南湖大道与软件园中路道口现状给水加压站空地内新建一座一体化全地下式污水提升泵站[见图2(b)],设计流量为 $0.2\text{ m}^3/\text{s}$,占地面积约 60 m^2 ,配套实施一条DN400出站污水压力管道。新建南湖大道—绣球山污水泵站段快速主干通道,沿南湖大道南侧人行道布置,将南湖大道和雄庄路路口上游的污水全部接入污水泵站,经提升后由压力污水管输送至绣球山污水泵站,最终经绣球山污水泵站排至龙王嘴污水厂进行处理。南湖大道排水系统的建设可缓解民院泵站超负荷运行现状,解决南湖大道污水管道规模不足问题,降低管道运行水位,增强系统污水收集能力。同时,提高南湖大道污水流速、缓解上游污水管道淤积,使污水排放通畅。

2.2.3 中南财大排水系统

中南财大内部泵站运行能力尚可,故仅新建配套出站压力管道[见图2(c)]。新建财大污水泵站—绣球山污水泵站段快速主干通道,将原向南排往天际路泵站路由调整为向北排往绣球山泵站路由,将原先由于民院泵站运行能力不足而无法正常输送的财大内部污水,通过新建的快速通道输送至龙王嘴污水厂,减轻附近天际路泵站和汤逊路污水系统的运行压力。

3 工程评价分析

3.1 工程重难点分析

当前,国内排水管网大多采用传统重力式排水管道系统,压力式排水系统在设计和施工方面与其存在较大差异,其重难点总结分析如下:

① 很多城市老城区的重力式排水管网并未严格按照雨污水管道分流排放,且存在大量的混错接。因此,压力式排水系统改造过程需解决“历史欠账”,厘清原有排水管道混错接等建设问题。

② 重力式排水管道以“排水”为基本要求,而压力式排水系统要求“快速排水”,解决沉积物淤积和有害气体逸散等问题,因此压力式排水系统改造

需要转变观念。

③ 相较于传统重力式排水系统,压力式排水系统内污水为“压力流”,更容易发生污水外渗和污水渗入,因此管道系统的密封性和受压强度要求较高,部分环节应参考给水管道设计和施工要求。

④ 压力式排水系统污废水流速高,易发生水锤现象,需研发和安装针对污水水质的水锤消除装置。

⑤ 污废水流量变化较大,因此在水泵选型时需考虑变速运行,或者压力式排水系统中设置水量调节装置,确保管道系统处于压力满流状态,维持运行稳定。

3.2 工程效益评价

3.2.1 经济效益

① 采用压力管道浅埋+拖拉管等优化后的组合工艺,对比重力式污水排水系统,新建压力式排水系统降低了管道埋深,土建、支护等工程费用减少逾2 000万元。现状道路下方敷设的管线超过12根,压力式排水管道因其更灵活的避让敷设形式,减少了对市政公用管道的迁改,使迁改费用降低逾6 000万元。经工程经济计算可知,对于南湖茶山刘片区排水系统改造区域,采用重力式排水系统的工程造价约为9 333.64万元,而采用压力式排水系统的工程造价仅为707.50万元。

② 压力式排水系统避免了污水颗粒沉降和沉积物淤积,降低了排水管道清淤工作量和运行成本。据报道,采用高压水冲洗和穿孔管冲洗重力式排水管网沉积物的费用分别约为66.21和123.46元/m,而新建排水快速通道可节省相应沉积物清淤费用。

3.2.2 环境效益

① 提升南湖大道、民族大道及财大内部排水系统的污水运输能力,缓解现状管道淤积、污水停滞不前的状态,提高了对暴雨天气带来的污水管流量突增的抵抗能力,降低了城市内涝的风险。

② 污水运输能力提升,防止污水由于混错接进入雨水管后直排水体,避免大量氮、磷等营养物质进入南湖^[13]。

③ 污水停留时间短,避免南湖大道管段污水发生腐败而导致的大量甲烷、硫化氢臭气生成,间接改善了片区排水管网周边居民生活环境。

3.2.3 社会效益

① 降低南湖大道、民族大道、财大内部污水主干管的水位,减轻了主干污水管网、片区泵站的工作压力。

② 降低茶山刘片区内污水主干管网的水位,为后续雨污管混错接的调查、分流改造提供有利条件,间接避免雨季污水管流量突增导致的污水厂处理负荷过大问题^[14]。

③ 因对现状管线迁改的最大化减少,节约工期约9个月,同时采用拖拉管等适合压力管道的非开挖施工工艺或浅埋快挖的方式,降低了施工对周边居民生活的影响。

3.3 工程建设和运行问题分析

尽管压力式排水系统能够解决传统重力式污水管道中沉积物淤积、管道混错接、有害气体逸散等问题,但其工程建设和运行也面临一些特有的问题。

① 需增设水泵等设备,定期维护管理要求高,设备多且分散,检修工作量大。

② 需增设蓄水池等构筑物,易导致生物膜附着或局部沉积物淤积等问题,需定期清理维护。

③ 压力式污水输送能耗大,运行费用高,以满足末端污水厂可利用水头为控制点,污水提升所需运行费用高于重力式污水管道系统。

④ 压力式排水系统对管材要求高,需承受一定压力,选择余地小,且更易破损。

⑤ 污水中颗粒污染物较多,压力流输送过程中固液气相水力条件复杂,管道振动问题更为突出,同时水中气体极易析出,在设计和施工建设过程中需考虑安装排气阀。

⑥ 污水瞬时排放量波动较大,导致压力式排水系统调度难度大幅度提高。

4 结论

通过对武汉市南湖流域排水系统的全面摸查,发现目前管道沉积物淤积、管道混错接和有害气体无序逸散等问题严重。针对上述问题,新建南湖大道排水管道、民族大道排水管道、中南财大排水管道3个压力式排水系统,避免污水错排入湖及雨水混入污水,显著提升了片区内排水系统的工作能力,有效遏制沉积物淤积及臭气产生现象,经济、环境和社会效益显著。

参考文献:

- [1] 严煦世,刘遂庆. 给水排水管网系统[M]. 3版. 北京:中国建筑工业出版社,2014.
YAN Xushi, LIU Suiqing. Water Supply and Drainage Pipe Network System [M]. 3rd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014 (in Chinese).
- [2] 邓玉莲. 城市排水管网状态和运行效能评估方法的研究与应用[D]. 北京:北京建筑大学, 2021.
DENG Yulian. Research and Application of Evaluation Method of Urban Drainage Network Status and Operation Efficiency [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2021 (in Chinese).
- [3] 陆国锋,顾洁,王树东,等. 工业园区压力式污水收集系统设计[J]. 城市道桥与防洪, 2012(12): 100-103.
LU Guofeng, GU Jie, WANG Shudong, *et al.* Design of pressure sewage collection system in industrial park [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2012 (12): 100-103 (in Chinese).
- [4] 钱进,宋乐平,张大鹏,等. 污水管网压力流设计探讨[J]. 中国给水排水, 2005, 21(7): 68-70.
QIAN Jin, SONG Leping, ZHANG Dapeng, *et al.* Discussion on the design for pressure sewer net [J]. China Water & Wastewater, 2005, 21 (7): 68-70 (in Chinese).
- [5] HVITVED-JACOBSEN T, VOLLERTSENJ, TANAKA N. Wastewater quality changes during transport in sewers - an integrated aerobic and anaerobic model concept for carbon and sulfur microbial transformations [J]. Water Science and Technology, 1999, 39 (2): 242-249.
- [6] 方甫兵,张胜雷,徐永宁,等. 生活小区“污水零直排”建设实践研究[J]. 中国给水排水, 2021, 37(16): 8-12.
FANG Fubing, ZHANG Shenglei, XU Yongning, *et al.* Practical research on the construction of “zero direct discharge of sewage” in residential zones [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(16): 8-12 (in Chinese).
- [7] FRISON N, FABIO S D, CAVINATO C, *et al.* Best available carbon sources to enhance the via-nitrite biological nutrients removal from supernatants of anaerobic co-digestion [J]. Chemical Engineering Journal, 2013, 215: 15-22.
- [8] 黄超,揭敏,席鹏,等. 管道淤堵的清淤技术应用[J]. 施工技术, 2019, 48(24): 85-88.
HUANG Chao, JIE Min, XI Peng, *et al.* Application of dredging technology for pipe blockage [J]. Construction Technology, 2019, 48 (24): 85-88 (in Chinese).
- [9] LIU Y, TUGTAS A E, SHARMA K R, *et al.* Sulfide and methane production in sewer sediments: field survey and model evaluation [J]. Water Research, 2016, 89: 142-150.
- [10] 周学章,宋佩娣,倪桂华. 硫化氢导致的混凝土污水管腐蚀机理及预防措施[J]. 混凝土, 2008 (4): 100-101, 107.
ZHOU Xuezhong, SONG Peidi, NI Guihua. Review of concrete sewer erode issue induced by hydrogen sulphide in wastewater systems in China [J]. Concrete, 2008 (4): 100-101, 107 (in Chinese).
- [11] 彭述娟. 山地城市污水管道气体爆炸风险评估及预警研究[D]. 重庆:重庆大学, 2012.
PENG Shujuan. Study on Risk Assessment and Early Warning of Gas Explosion of Sewage Pipeline in Mountain Cities [D]. Chongqing: Chongqing University, 2012 (in Chinese).
- [12] 周乙新,李激,王燕,等. 城镇污水处理厂低浓度进水原因分析及提升措施[J]. 环境工程, 2021, 39(12): 25-30.
ZHOU Yixin, LI Ji, WANG Yan, *et al.* Reason analysis and improvement measures for low pollutants concentration of influent water of urban sewage treatment plants [J]. Environmental Engineering, 2021, 39 (12): 25-30 (in Chinese).
- [13] BROOKS B W, LAZORCHAK J M, HOWARD M D A, *et al.* Are harmful algal blooms becoming the greatest inland water quality threat to public health and aquatic ecosystems? [J]. Environmental Toxicology Chemistry, 2016, 35(1): 6-13.
- [14] 李东洋. 城市污水收集及处理系统水质水量分布规律及数值模拟[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2019.
LI Dongyang. Distribution Law and Numerical Simulation of Water Quality and Quantity in Urban Sewage Collection and Treatment System [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2019 (in Chinese).

作者简介:曾祥国(1991-),男,湖北仙桃人,硕士,高级工程师,主要研究方向为城镇排水管网设计与运行。

E-mail:382630539@qq.com

收稿日期:2022-08-17

修回日期:2023-06-30

(编辑:丁彩娟)