

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.18.019

基于系统理念的污水系统提质增效整治工程实践

林晓虎^{1,2}, 周文明^{1,3}, 葛卿¹, 李士义¹, 方海峰¹, 傅生杰¹,
王礼兵¹, 魏俊^{1,3}

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122; 2. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 3. 浙江省华东生态环境工程研究院, 浙江 杭州 311122)

摘要: 我国许多城市长期面临着污水厂进水浓度低、管网存在混接缺陷等复杂的水环境问题,而污水系统提质增效是解决这一挑战的重要举措。芜湖市作为长江大保护的首批试点城市,其污水提质增效工作成效显著。针对该市某片区排水系统存在的管网缺陷、混接,污水厂进水量不足、进水浓度低等问题,基于系统分析的方法对污水系统进行分析诊断,并开展了系统排查、管网评估与修复等一系列工作,取得了较明显的效果。片区污水处理厂进水量由 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 增至 $4.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,进水COD浓度由80 mg/L增至近130 mg/L。分析总结该项目的系统性理念与实践经验,有助于为后续长江大保护及其他城市的污水系统提质增效与水环境整治工作提供参考。

关键词: 长江大保护; 污水系统; 提质增效; 管网排查; 水环境整治

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)18-0113-05

Sewage System Quality and Efficiency Improving Practice Based on Systematic Concept

LIN Xiao-hu^{1,2}, ZHOU Wen-ming^{1,3}, GE Qing¹, LI Shi-yi¹, FANG Hai-feng¹,
FU Sheng-jie¹, WANG Li-bing¹, WEI Jun^{1,3}

(1. PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China;
2. College of Environment Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;
3. Huadong Eco-Environmental Engineering Research Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 311122, China)

Abstract: Many cities in China have been faced with complex water environment problems such as low influent concentration of wastewater treatment plant (WWTP) as well as mixed connection and defects of drainage pipe network. Improving the quality and efficiency of sewage systems is an important measure to solve this challenge. As the first pilot city of Yangtze River protection, Wuhu has achieved remarkable results improving the quality and efficiency of sewage system. In view of the problems in the drainage system of a certain city area, such as mixed connection and defects of the pipe network, insufficient and low-concentration of influent in the WWTP, the sewage system was analyzed and diagnosed based on system analysis method. A series of work such as system investigation, pipe network assessment and repair were carried out, and obvious results were achieved. The influent volume of WWTP increased from 10 000 m^3/d to 42 000 m^3/d , and the influent COD concentration increased from 80 mg/L to

130 mg/L. The systematic concept and practical experience of the project are analyzed and summarized, which is helpful to provide reference for the subsequent Yangtze River protection and other cities' sewage system improvement and water environment improvement work.

Key words: Yangtze River protection; sewage system; improving quality and efficiency; pipe network investigation; water environment improvement

目前,我国城镇污水系统普遍面临着效能低的问题,排水管网混接、渗漏、缺陷等导致污水收集率低,外水入侵,污水处理厂进水浓度低^[1]。为了应对这一挑战,住房和城乡建设部、生态环境部和发展改革委于2019年联合发布了《关于印发<城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)>的通知》,明确了对于进水浓度低的污水处理厂的服务片区管网的整治目标与措施。

芜湖作为长江沿线的重点城市和长江大保护的首批试点城市之一,长期面临着复杂的水环境问题。为了解决这些挑战,芜湖市政府联合多家单位在近几年开展了基于污水系统提质增效的水环境整治整治工作,取得了较为显著的治理成效。以芜湖某片区污水系统提质增效整治项目为例,对项目设计与实施全过程进行了分析和总结,以期后续污水系统整治提供思路与经验参考。

1 问题分析与解决思路

芜湖某片区面积约90 km²,人口约8.4万人,该片区采用雨污分流排水体制,已建有1座污水处理厂、5座污水泵站及151 km污水管网。污水处理厂位于片区东北角,规划总规模为35×10⁴ m³/d。该污水处理厂自2016年投入运行以来,其进水量不足、进水浓度低等问题一直较为突出。2018年工程整治前期调查显示,收水区域内管网破损渗漏严重,设计规模为6×10⁴ m³/d,而实际收水量仅为1×10⁴ m³/d,且进水COD浓度仅约80 mg/L,收水范围内有污水直排水环境。

为了解决这些问题,芜湖市政府相关部门联合多家单位对该片区污水系统进行分析诊断,系统考虑了“源、网、厂、河”四个子系统,针对污水厂进水量不足、进水浓度低、雨污管道错混接、外水入侵以及污水冒溢等问题,确定了现状问题梳理、分项目标导向、全面管道排查、全面问题整治的技术路线(见图1)。



图1 技术路线

Fig.1 Technique route

2 污水系统排查整治

2.1 源头排水户排查、整治

① 源头排水户排查

对源头排水户的排口水质进行监测,发现收水区域内居民住宅小区及工业企业污水排口COD浓度低,30%以上的居民小区排口COD<80 mg/L,居民小区COD平均值约160 mg/L,71%的企业排口COD<100 mg/L。同时,调查发现排水户内部管网存在错接混接、管道变形破裂和渗漏等情况。首先全面梳理排查,掌握排水户数量、类别、混接、缺陷等基本情况,随后开展雨污混接排查。经排查检测后,发现105家排水户存在雨污混接、管网缺陷问题。

② 源头排水户整治

根据源头排水户的排查报告,针对性地实施整治。依据排水户性质差异,对小区、公共单位、工业企业等进行针对性的整改和监管,以提高源头排水户的出水浓度。2020年—2021年基于排查情况和整治方案,对16个小区、13家公共单位和76家工业企业等共105家排水户进行了整治。

2.2 管网子系统排查整治

2.2.1 管网排查

管网系统是污水系统提质增效工程中需要重点研究与关注的子系统。对案例片区管网系统进行了全方位排查,以掌握管道及检查井的缺陷类

别、外来水种类、水量大小、评估缺陷等级和雨污混接情况,为管道及检查井缺陷修复和雨污混接治理提供重要依据。管网排查的技术路线如图2所示。

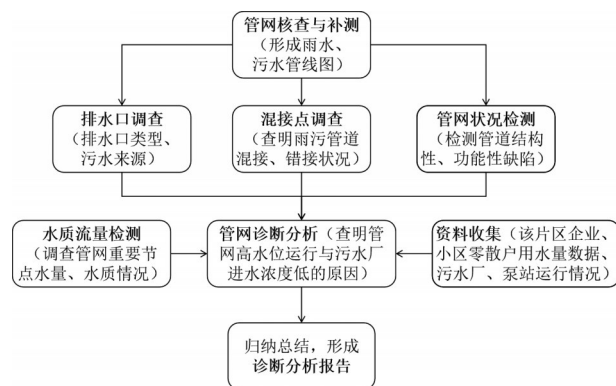


图2 管网排查诊断方案

Fig.2 Pipe network inspection and diagnosis plan

2018年12月—2021年5月,综合运用CCTV、全地形机器人、QV、声呐、雷达探测、水质分析等多种检测技术,陆续完成对案例片区现状排水管线核查与补测、排水口调查、混接点调查、排水管网检测与评估、污水管网预诊断等工作。市政雨污水管网排查总长度403.25 km,其中污水管道148.65 km、雨水管道254.60 km。

基于管网排查,发现管网主要存在缺陷、断头管、穿渠管段和混接等的主要问题。

该项目检测了61条道路下污水管道,共发现结构性缺陷6524处,以变形和错口为主,分别为1418、1205处;功能性缺陷2359处,以沉积和障碍物为主,分别为1230、662处。在管网排查诊断工作中发现了6处断头管。

河水倒灌进入管网也是片区外水的重要来源,因此也成为排查工作的重点之一。在排查工作中,梳理出穿渠点75处,其中渗漏点34处。

收水片区现状为雨污分流排水体制,但雨污混接问题依然存在。从排水用户源头到污水收集主干系统存在不同程度的混接,污水混入雨水管道后排入河水、雨水混入污水管道后进入污水厂的现象普遍存在。经过排口和混接点调查发现,该收水片区共存在雨污水混接279处。

2.2.2 管网缺陷成因分析

① 前期建设过程欠规范

根据管网排查结果,发现部分管道存在建设过程不规范、检查验收不严格等情况,导致管道在敷

设完成之际即存在安全隐患,从而导致建成投用后逐渐产生大量缺陷。如某路段的污水管道管径为DN400~DN1000,管材为钢筋混凝土管和塑料管,存在封堵墙未拆除、管道错口、脱节严重和增加井室等情况。在排查出的雨污混接点中,小区外接至市政道路导致的混接占比较大,同时存在大量雨水算子接入污水井情况,这主要是管理验收不够严格所致,建设中为施工便利,就近接入现状检查井,但未区分雨污水井。

② 管材质量不佳

由于部分已建管道的管材质量不佳,管道大面积变形破裂,尤其是部分道路下污水管道,建成投用年限较短就已出现较多变形破裂。排查中发现某段污水管道位于道路北侧非机动车道下,大部分采用HDPE双壁波纹管(DN400),该路段周边已建成污水收集区域较少,道路车流量较小,但经CCTV检测,管道已大面积变形破裂。

③ 路面车辆过载

根据排查检测资料发现部分过路管道损坏严重,尤其是工业区范围,一方面是由于管材质量和施工不规范导致的破裂,另一方面是由于过路车辆荷载过大导致的管道破裂。

④ 不良地质情况

该片区污水管道主要分布在杂填土、淤泥质粉质黏土、粉质黏土和粉砂夹粉土中,其地质情况较差,尤其粉砂夹粉土层俗称“流砂地质”,该地质下污水管道渗漏极易导致周围土壤流砂,造成地面塌陷。同时由于该片区水网密布,靠近扁担河和青山河,导致地下水位较高,污水管道存在不同程度的渗漏,砖砌检查井也存在不同程度的渗漏。

⑤ 地下水位高

经勘察,该片区范围内地下水混合静止水位为地面以下1.00~2.20 m,历史上最高地下水位接近自然地面。而片区内管道平均埋深为4 m左右,最深可至10 m,管道基本位于砂质粉土夹淤泥质粉质黏土及淤泥质粉质黏土夹粉土土层。高地下水位也是造成管道外水入渗的原因之一,建成管段易受地下水入渗影响,对污水管网收水水质造成冲击,甚至引发管周土体侵蚀流失及地面塌陷现象。

2.2.3 管网整治

① 雨污混接整治。对于管道混接点,采用封堵、敷设新管等方式,改变原有管道的连接方式,恢

复雨污分流。管网排查发现的279处雨污混接点均已完成整治。

② 管网缺陷整治。由于该片区污水系统已发现较多缺陷点,且缺陷严重程度不同,可按不同缺陷问题的轻重缓急进行分类修复。收水片区地质情况较差,地下水位较高,市政污水管网基本处于地下水位以下。管道缺陷将加重外水入渗、水土流失的情况,需通过管网缺陷整治,减少管网与地下水的连通,恢复管网正常排水结构与功能。考虑到该收水片区的特殊地质情况,该项目经过多次专家评审,特别是对渗漏、破裂、变形、错口、脱节、腐蚀等缺陷修复方案进行论证,最终确定需修复且实际已实施的缺陷数量为4 292处。

2.3 污水处理厂

该片区污水处理厂已于2016年投入运行,为实施污水系统提质增效项目,2019年移交项目相关单位运营,2020年4月正式开始PPP项目运维。根据收水片区污水系统运维管理经验,总结适合该片区的“厂站网一体化”联合调度方案,控制管网液位,监测各关键点水质、水量,合理安排管网污水进入污水处理厂,保证污水厂进水水质、水量稳定,减少进厂污水对污水处理工艺的冲击。同时,为实现长效稳定运营,建立了智慧排水平台,结合污水厂收水区域现有排查、检测数据,实现预判、预警、预报,做到预判分析、快速响应、高效处理。

2.4 河道整治

片区水系外环境主要由30条河沟组成,其中12条河道在工程实施前存在黑臭现象。2018年—2019年陆续完成对12条黑臭河道的整治与竣工验收,并长期开展水体水质监测,建立了水体长效管控机制,实行河长责任制与考核机制。

3 整治效果评估

在整治工程实施后,分别对“源、网、厂、河”四个子系统的水质水量进行分析评估。水量水质监测与检测采用线上、线下相结合的技术手段。该片区已布置了多台在线液位仪、多普勒流量计、在线水质仪,构筑了排水系统水污染实时溯源系统及智慧运行管理平台,可实时掌握片区关键节点与管段的流量、水质变化情况,及时溯源跟踪水质水量异常点,有效指导日常维护与排查工作。对未安装在线仪器的关键点位和管段,通过人工取样和临时监

测,掌握其水量水质的数据信息,对污水系统进行诊断分析。

3.1 源头排口水质分析

项目实施后,对片区源头排口进行水质监测分析,与项目实施前的排口水质进行对比分析。结果表明,片区源头混接点整治工程取得明显成效,源头排口水质显著改善,至2021年11月,片区晴天排口理论原生污水COD加权平均浓度为158.1 mg/L。

3.2 管网水位分析

对管网运行水位、污水主干管重要节点(包括泵站节点、支管与干管交汇处等)的水质和流量进行监测,分析各子收水区域的水量水质变化情况。通过对项目实施前后水量水质参数的变化评估是否存在大量外来水接入点。修复工程实施后,长期困扰该片区管网的满水位运行问题得到显著改善,管网实现了从高水位到低水位常态化运行,管内水流水力状态实现了从排水不畅到排水通畅的转变,因污水管网渗漏导致的地面塌陷也得到了控制。污水厂与片区各泵站可实现常态化低水位运行。监测结果显示,进厂平均液位从2021年2月—7月的7.30~8.17 m降至2022年1月的4.59 m。

3.3 污水处理厂水量、水质分析

收集该片区污水处理厂2018年11月以来的运行数据,将项目实施前后的月均进水量和水质情况进行比对分析,考察污水厂的水量水质变化情况。通过对污水厂与片区泵站水位的监测分析,可评估污水管网高水位运行问题的改善情况。

长序列历史实际进水量数据如图3所示。

随着该片区污水管网的完善,污水收集率不断提高,同时片区内经济的发展导致用水需求上升,污水处理厂进水量也随之上升。污水处理厂实际进水量从2018年11月约 1×10^4 m³/d逐步增加到2021年上半年的 5×10^4 m³/d左右,随后逐渐下降并趋向于稳定在 4.2×10^4 m³/d。2021年上半年,该片区管网开展了集中性的大力整治,管网不断被接通,导致水量增大,同时外水通过管网缺陷入侵到污水系统的量也随之增加。尤其是3月—8月,受施工倒排水及梅雨季节多降雨的影响,厂区进水量处于 5.2×10^4 m³/d左右的较高值。2021年下半年,随着管网缺陷整治的逐渐完成,管网外水入侵量不断减小,至稳定运维时约为 4.2×10^4 m³/d。污水处理厂的进水量与通过外水入侵的三种分析方法

得到的理论日均污水量基本一致,这也表明理论分析方法较可靠,通过长序列的用水量数据和多种分析方法可以综合评估得到污水厂进水量。

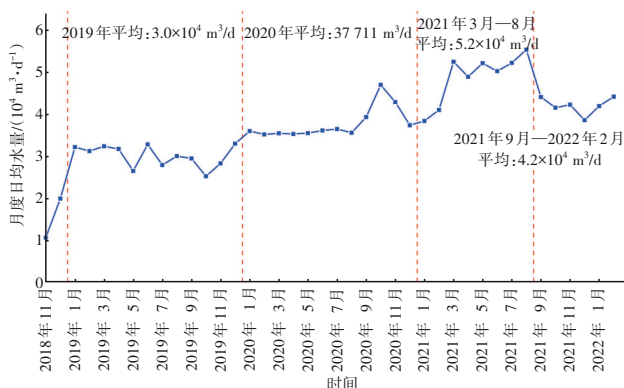


图3 片区污水处理厂进水量情况

Fig.3 Influent quantity of the WWTP

长序列的实际进水COD浓度数据如图4所示。

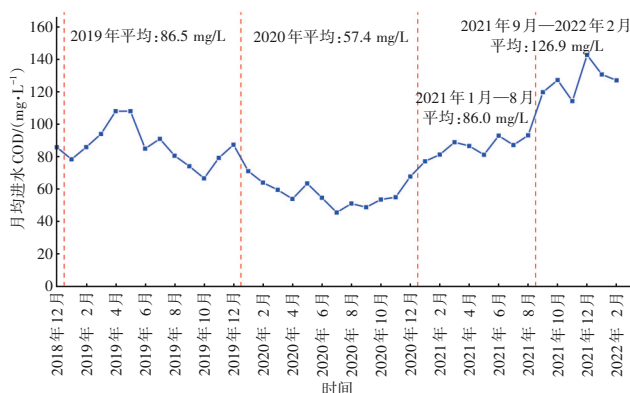


图4 片区污水处理厂进水COD浓度情况

Fig.4 Influent COD concentration of the WWTP

2022年初,随着“提质增效”多个管网修复工程的持续推进与竣工,污水厂日均进水COD浓度也逐步上升,月平均浓度最高达到140 mg/L。2019年—2020年,由于该片区的部分管网被连通,污水收集量增大,但与此同时,因管道破损渗漏带来的外水入侵量也随之增大,污水厂进水COD浓度呈下降趋势。2021年对该片区的管网开展了集中性的大力度排查与整治,随着排查整治的不断推进,片区管网性能明显改善,污水收集效率随之提高,外水入侵量降低,污水厂进水COD浓度升至近130 mg/L。

3.4 河网水质分析

2021年案例片区12条黑臭水体全部消除,水质

持续稳定,周边水生态环境持续改善,片区30条水系的氧化还原电位、溶解氧、氨氮和透明度4项水质指标均满足消除黑臭水体的考核要求。

4 结论与建议

① 污水系统的提质增效整治工作应采用系统化的思路,对“源-网-厂-河”各子系统进行排查诊断,综合分析主要问题,再逐步细化局部排查工作,以提高效率,降低成本。

② 针对地域特性包括地质条件特殊、地下水位高等情况,积累总结相应新工艺与材料的研究应用经验,编制针对特殊地域特征和实际情况的污水系统提质增效的指南,为后续工程提供指导。

③ 选用质量可靠、适用于当地管网和地质情况的管材。

④ 建议加强资料收集和排查工作,完善对污水系统基础信息的收集,构建污水系统基本信息库和数据库,为后续日常的运维管理、数据分析、设计提升、模型搭建、工程智慧化等提供基础。

⑤ 应建立“厂站网一体化”联合调度制度,通过建设智慧排水平台,实现对“源-网-厂-河”四个子系统的实时监测,对管网设施损坏、污染物外溢和外水入渗做到及时反馈。同时运维单位还应制定合理的巡检、养护、维修计划,避免缺陷恶化,确保污水厂、泵站、污水管网安全、可靠、达标运行。

参考文献:

- [1] 吕永鹏. 城镇污水处理提质增效“十步法”研究与应用[J]. 中国给水排水, 2020, 36(10): 82-88.
LÜ Yongpeng. Research and application of ten-step framework for improving municipal wastewater treatment quality and efficiency [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(10): 82-88 (in Chinese).

作者简介:林晓虎(1994—),男,湖北黄冈人,博士,工程师,主要研究方向为水环境治理、新污染物、“双碳”。

E-mail: tjhxlhlin@163.com

收稿日期: 2022-04-29

修回日期: 2022-05-31

(编辑:衣春敏)