

长江中下游典型污水系统提质增效案例研究

伍亮^{1,2}

[1.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092; 2.上海市市政工程设计科学研究所有限公司,上海市 200092]

摘要:以长江中下游某城市南部污水系统为例,对污水系统外水入侵、高水位运行、进厂水质浓度低等问题进行分析,针对性的提出分片、分区、分阶段提质增效的思路,并给出降水位排查污水管网、市政管网系统整治、排水单元整治、污水管网优化运行等技术措施。先期实施的1#泵站片区通过上述措施,已挤出外水量约为12 708 m³/d,污水厂进水BOD₅浓度由69.6 mg/L提升至78.3 mg/L,较整治前提升12.5%,城市污水集中收集率由61.6%提升至69.3%,基本实现了提质增效的阶段目标。

关键词:外水入侵;高水位运行;进水BOD₅浓度;污水提质增效

中图分类号: TU992.3; X7.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)04-0140-05

0 引言

近年来我国城市污水收集处理设施已基本实现全覆盖,为改善人居环境和推动该领域高质量发展做出了巨大贡献;但目前仍存在污水厂进水水质浓度偏低、收集处理设施效率较低等突出问题,严重制约了城市污水收集处理设施多重功能的正常发挥。为此,2019年4月,住房和城乡建设部、生态环境部和国家发展和改革委员会等三部委联合发布《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021)》^[1](建城[2019]52号),要求:城市污水处理厂进水生化需氧量(BOD₅)浓度低于100 mg/L的,要围绕服务片区管网制定“一厂一策”系统化整治方案,实施清污分流,全面提升现有设施效能。2021年6月,国家发展和改革委员会、住房和城乡建设部印发《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》^[2],要求:到2025年全国城市污水处理厂进水生化需氧量(BOD₅)浓度低于100 mg/L的,要围绕服务片区管网,制定并实施“一厂一策”系统化整治方案,稳步提升污水收集处理设施效能。

本文以长江中下游某城市南部污水系统为例,对污水系统外水入侵、高水位运行、进厂水质浓度低等问题进行分析,针对性的提出提质增效思路及技术措施,并为其他城市污水系统提质增效工作提供

思路和借鉴。

1 项目概况

1.1 区域概况

某城市南部污水系统位于长江中下游冲击平原地区,属于亚热带季风气候,多年平均降雨量约1 227 mm,降雨的年际变化很大,丰、枯水年相差3倍以上,服务面积约为108 km²,服务范围内水系发达,地下水位较高,一般在地面下1~1.25 m。该区域内城市路网骨架已基本形成,北片为主城区,南片为物流园区及待开发区域,该区域采用雨污分流制排水系统,区域内现状管网及开发强度差异很大。

1.2 污水处理厂概况

该城市南部污水处理厂,靠近长江二级支流河道,红线控制范围为30.58 hm²。污水处理厂总占地面积为25.50 hm²,规划总规模为30万 m³/d,一期设计规模为10万 m³/d,二期设计规模为10万 m³/d,二期已于2021年4月通水运行,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的一级A标准。目前该城南污水厂总处理规模达到20万 m³/d,污水厂处理出水自排至厂内排洪渠,最终排至长江。

1.3 污水收集系统概况

该城南污水收集系统目前已建设5座污水提升泵站(其中4座为一级泵站,1座为二级泵站)、6路污水主干管(管径 d 为800~2 000 mm),现有污水管网总长度约为202.8 km,污水管网覆盖度约为

收稿日期:2024-01-05

基金项目:上海市社会发展科技攻关项目(21DZ1202606)

作者简介:伍亮(1987—),男,工学硕士,工程师,从事水环境治理、海绵城市及污水提质增效等咨询设计工作。

1.88 km/km²。区域内污水管网差异较大,如3#、4#污水泵站收水范围大,建成区分散,污水干管埋深较深;1#、2#污水泵站收水范围建成区密集,污水干管埋深相对较浅。污水收集系统分布如图1所示。



图1 污水收集系统分布图

2 存在问题及原因分析

2.1 外水入侵

根据供水数据,该城南污水系统服务范围内2021年日均总用水量98 500 m³/d,按照当地排水规划推荐的污水排放系数0.85计算,区域内污水产生量约为83 700 m³/d,扣除未接入南部污水厂的工业废水5 700 m³/d,南部污水厂服务范围净污水量约为78 000 m³/d。根据污水厂2021年进水水量监测数据,南部污水厂晴天日均进水总量分别为137 563 m³/d、165 579 m³/d,在污水全收集的情况下,晴天平均进厂外水总量分别为58 043 m³/d、85 243 m³/d,外水占比分别达到42.2%、51.5%。

南部片区水系发达,主要穿河管就有19处,由于管网建设时穿河管段未采用倒虹,导致污水管网埋深较深,最深处接近20 m,同时污水管道已检测出结构性缺陷9 439处、功能性缺陷1 738处,因此地下水及河水入渗是主要外水来源。由于片区内排水管道混接情况严重,部分排涝泵站前池通过截流系统接入污水管网,雨季雨水入流也是比较重要的外水来源。

2.2 高水位运行

通过对城南片区市政污水干管主要节点、污水支管接入市政干管节点的污水井水位现场调研,片区内市政污水管网普遍高水位运行。

本文按名义充满度=水深H/管径D的定义,并允许超出100%的情况,对污水管网调查点位进行梳理,污水管网充满度普遍高于1,甚至存在大量充满度超过5的污水管段,污水管网名义充满度分析如图2所示。

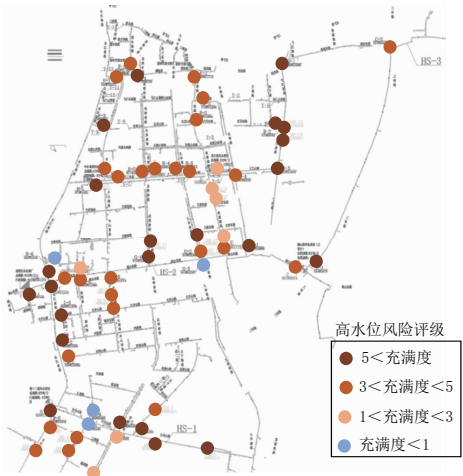


图2 南部片区市政污水管网名义充满度分析图

由于大量外水入侵,且片区内污水管网存在不同程度的堵塞、逆坡等情况,导致污水不能顺利通过污水管网排至污水处理厂,加重污水管道淤积,从而导致污水管道长期高水位运行。

2.3 污水厂进水BOD₅浓度低

南部污水厂2021年进水BOD₅平均检测值为69.6 mg/L,城市生活污水集中收集率约为61.6%,进水BOD₅浓度及生活污水集中收集率远低于提质增效要求。按照雨污分流排水体制,当低浓度的外水(河水、地下水、雨水等)进入污水管网后,将挤占污水管网空间,而部分需要纳管的污水难以接入污水系统,出现“外水汇入、污水外溢”,导致污水厂进水浓度及城市生活污水集中收集率偏低。

根据现有关于生活污水本底BOD₅浓度以及污染物在污水管网中沉降等方面的研究成果^[3-4],管网理想状况下,生活污水及工业废水全收集进厂,同时考虑不可剥离外水,根据污水水质水量监测数据计算,南部污水厂晴天理论进厂BOD₅分别为118.2 mg/L、110.3 mg/L。在实际运行情况下,由于源头排水单元及市政管网混接、缺陷严重,存在污水混接外溢、雨水混接入厂、地下水入渗以及河湖水等其他外水入流,因此污水厂晴天实际进厂浓度远低于理论进厂浓度。

3 提质增效思路及技术措施

3.1 分片分区分阶段提质思路

(1)排水分区划分

根据污水自流及一级泵站提升划分为5大片区,各片区根据污水干管分布情况,划分9个二级排水分区,各二级排水分区根据污水支管分布情况,再细分37个三级排水分区,各片区建成区及管网统计见表1,二、三级排水分区分布如图3所示。

表1 各片区统计表

片区	居民区 / hm ²	工业区 / hm ²	管网覆盖度 / (km ² ·km ⁻²)
1# 泵站片区(分区 F、H)	461.95	3.88	5.23
2# 泵站片区(分区 D、E)	377.92	49.22	3.10
3# 泵站片区(分区 A、B)	96.4	276.06	0.99
4# 泵站片区(分区 C)	43.03	11.86	0.99
自流区(分区 G、I)	565.59	360.02	2.24

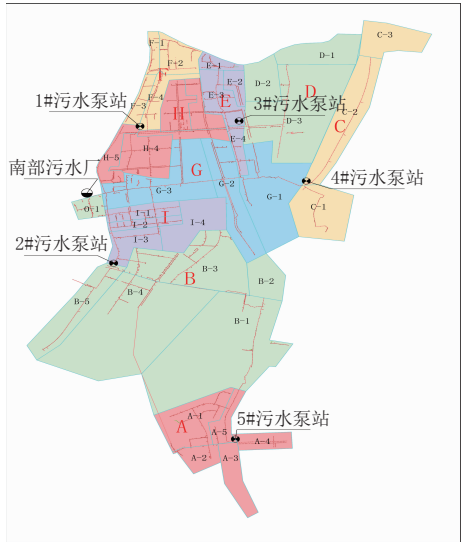


图3 二、三级排水分区图

(2)分片分区分阶段提质思路

以1# 污水泵站汇水片区中的二级排水分区F区为例,分别对F1、F2、F3、F4等4个三级排水分区的市政管网及源头排水单元进行排查,根据排查出的混接点及污水管网缺陷渗漏点进行整治,并检测接入污水干管处污水水质,若水质未得到有效提升,再排查再整治,直至污水水质提升,从而实现二级排水分区F区水质提升。

南部污水系统服务范围内主要用水为居民生活用水,约占85%以上,根据现状居民区分布情况、片区用水量以及污水干管主要节点水质及外水汇入情况,分阶段实施提质增效工作,一期实施1# 泵站片区的F、H分区及2# 泵站片区的D、E分区;二期实施自流区范围的G、I区,3# 泵站片区的A、B分区以及4# 泵站片区的C分区,按照三级污水分区→二级污水分区→片区逐级提升的思路进行系统治理。

3.2 降水位排查污水管网

根据南部污水系统内污水管网底数、建设年代、已排查检测情况,按照二级排水分区分别梳理排水管网未排查检测路段,依据二级排水分区的优先级别,结合管网物探、主要节点水质检测、管道疏通,优先采用CCTV检测的方式,依次对尚未排查检测的排水管网、检查井、排水口的结构性、功能性缺陷、错接混接及用户接入情况进行排查检测,形成相应的排查检测报告^[5]。

高水位状态对管网排查和管网检测评估均影响较大,由于无法真实全面观察管网破损情况,因此对管网的评估可能会有偏差,无法评估究竟是何位置的外水入侵导致管网高水位。本方案在枯水期按照三级排水分区→二级排水分区→片区逐级对各级分区服务范围内河道水系进行降水位,露出水系及暗涵雨污排口,进行溯源排查雨污混接点;同时结合片区污水泵站抽排,降低污水管网运行水位,并通过CCTV检测管网内部结构性和功能性缺陷。针对1# 污水泵站片区降水位排查,再排查出市政雨污混接点26处、污水管网与暗涵连通点6处、结构性缺陷1489处及功能性缺陷387处。

3.3 市政管网系统整治

根据管网排查结果,对市政雨污混接点、污水管网与暗涵连通点以及结构性缺陷和功能性缺陷进行整治。以1# 污水泵站片区为例。

(1)市政雨污混接点整治

针对排查出的雨污混接点,采用封堵、敷设新管等方式,改变原有管道的非法连接方式,恢复雨污分流。对于市政污水管道接入市政雨水管道,封堵所接入的污水管道,将污水管就近改接入污水排水系统,并将所封堵的污水管道填实处理。对于市政雨水管道接入市政污水管道,封堵所接入的雨水管道,将雨水管就近改接入雨水排水系统,并将所封堵的雨水管道填实处理。

(2)污水管网与暗涵连通点整治

针对排查出的污水管网与暗涵连通点,封堵其连通点,并在污水管网接入点前新增污水井,同时通过新建污水管道就近接入周边市政污水干管。

(3)市政污水管网缺陷修复

管道功能性缺陷主要为管道内沉积、树根及障碍物,通过水力疏通及人工疏通清除管道内淤堵物质,确保管道排水畅通。

针对排查出的结构性缺陷,首先确定翻排(开挖

修复)或非开挖修复,出现必须翻排特点的采用翻排。非开挖修复通过确定管径—修复指数 RI—修复部位数量—适应损坏类型,选择不锈钢双胀环、局部现场固化、CIPP 及裂缝嵌补修复等技术手段,管道修复方式选择流程如图 4 所示。

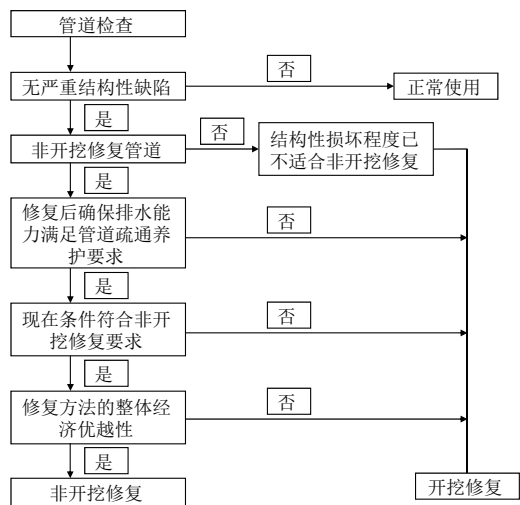


图 4 管道修复方式选择流程图

针对 4 级缺陷的混凝土管通过局部加井的方式实施修复,4 级缺陷的塑料管通过整体翻排的方式实施修复。针对不需局部加井和翻排的管段,修复缺陷数量若小于等于 2 处的管段采用局部修复,并选择局部现场固化、不锈钢双胀环的技术措施;修复缺陷数量若大于等于 3 处的采用 CIPP 整体修复。

3.4 排水单元整治

南部污水系统区域内排水单元现状排水体制为分流制,排水单元内部主要问题包括排水立管混接、室外管网错混接以及管道缺陷病害等。

对于近 3 a 有拆迁计划的排水单元,采用混接改造及末端截污的改造方案;对于没有拆迁规划的排水单元,进行管网排查检测,并开展混错接改造、管道缺陷病害修复^[6]。其中错混接改造主要包括建筑立管和室外排水管网改造。立管改造时,对于较难实施改造的高层建筑,对立管进行截流改造;对于具备改造条件的低层建筑,现有的混接立管改造成污水管,并新建雨水立管。室外排水管网改造时,结合管网排查结果,确定翻建或混错接改造方案。

3.5 污水管网优化运行

根据建成区开发强度及管网埋深情况,3# 泵站片区及 4# 泵站片区建成区较少,污水产生量少,且上述区域范围内的污水干管埋深较深,不可剥离地下水量大,因此结合污水干管管径,通过将 3# 泵站及 4# 泵站设计运行水位提升 0.5~1 m,实现上述区

域污水管网高水位运行,减少地下水入渗。其他区域通过污水厂及污水泵站运行调度,污水管道水位尽量恢复到设计水位,使管道内污水流速达到设计流速要求,减少管道内悬浮污染物的沉降,污水管网水位运行优化如图 5 所示。

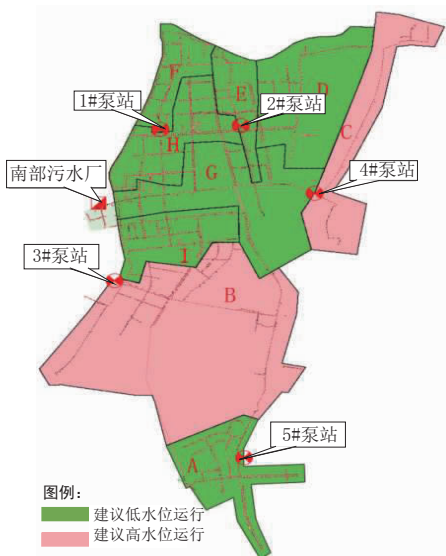


图 5 污水管网水位运行优化图

4 实施效果分析

该项目自 2022 年 3 月开始整治以来,针对 1# 泵站片区,已完成市政雨污混接点、污水管网与暗涵连通点、管网缺陷病害整治,同时完成 70%的排水单元整治。1# 泵站抽排水量由原来的日均 90 774 m³/d 降为 78 065 m³/d,挤出外水量约为 12 708 m³/d。结合污水管网优化运行方案,污水厂进水 BOD₅ 浓度自 2023 年 1 月之后,总体呈上升趋势,2023 年 1 月—11 月平均进水 BOD₅ 浓度达 78.3 mg/L 污水厂进水 BOD₅ 浓度较整治前提升 12.5%,城市污水集中收集率由原来的 61.6%提升至 69.3%。本研究基本实现了提质增效的阶段目标,随着各片区的项目逐步实施,进水 BOD₅ 浓度及城市生活污水集中收集率将进一步提高。

5 结 语

污水处理厂进水浓度低的原因具有普遍性及特殊性等特点^[7],因此污水系统提质增效是一项系统性、复杂性及长期性的工作,需因地制宜,对症施策。

(1)提质增效是项系统性工作,需从单纯的污水处理厂拓展到“厂、站、网、河、源”一体化全盘系统性考虑,需从源头—过程—末端提出污水入厂、雨水入河的技术措施。

(2)提质增效是项复杂性工作,主要涉及现有地

下管线,需通过溯源排查(尤其是管网高水位的降水水位排查),摸清雨污混接、污水管网病害等本底条件,对症下药,挤出污水管网内入侵外水。

(3)提质增效是项长期性工作,不宜急功近利,盲目展开,需结合污水系统现状,分片分区分阶段实施提质增效,优先实施问题突出的片区及排区,在分片分区分阶段推进中逐步总结经验,凝练更为经济、科学的技术方案。

参考文献:

- [1] 国家发展和改革委员会,生态环境部,住房和城乡建设部.住房和城乡建设部、生态环境部、发展改革委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.[EB/OL](2019-04-29)[2024-03-07].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-09/29/content_5434669.htm.

- [2] 国家发展改革委,住房和城乡建设部.国家发展改革委、住房和城乡建设部印发《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》[EB/OL].(2021-06-10)[2024-03-07].https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/hzs/sjdt/202106/t20210610_1283060_ext.html.
- [3] 孙永利,张维,郑兴灿,等.城镇居民人均日生活污水污染物产生量测算之产生规律[J].中国给水排水,2020,36(6):1-6.
- [4] 石烜.城市污水管网污染物转化与生物代谢机制研究[D].西安:西安建筑科技大学,2018.
- [5] 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.
- [6] 吕永鹏,王金兵,杨思明,等.城市更新场景下老旧小区污水系统提质增效研究[J].城市道桥与防洪,2023(2):91-95.
- [7] 马兰,林林,段军波.广州市增城区石滩污水处理系统提质增效案例分析[J].给水排水,2021,47(6):37-43.

(上接第139页)

断更新完善,后续建议持续优化评价标准、指标权重,动态更新该城区排水体系运行效能的评价结果。

参考文献:

- [1] 曹业始, Abegglen Christian, 刘智晓, 等.改造当前国内污水管网需要综合考虑的四个因素[J].给水排水,2021,47(8):125-137.
- [2] 建娜,胡玉婷,肖雪莹.城镇排水系统量化指标体系研究[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2015,32(10):22-27.
- [3] 梁毅,袁忆博,李威,等.深圳市污水管网建设绩效考核评价体系构建[J].中国给水排水,2017,33(12):36-39.
- [4] 陈丰.城市排水系统内涝与溢流控制性能评价与优化研究[D].北京:清华大学,2016.

- [5] 冷雪.城镇排水管网系统运行效能评价体系研究[D].长沙:湖南大学,2016.
- [6] 杨浩铭,唐颖栋,魏俊,等.基于长历时监测的外水入侵诊断分析研究[J].给水排水,2021,57(S1):218-221.
- [7] CJJ 181—2012,城镇排水管道检测与评估技术规程[S].
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部.全国城镇污水处理信息报告、核查和评估办法[EB/OL].(2007-12-11)[2022-01-01].
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国生态环境部,中华人民共和国国家发展和改革委员会.城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)[R].北京:中华人民共和国住房和城乡建设部.
- [10] GB/T 50265—2010,泵站设计规范[S].
- [11] GB 50014—2006,室外排水设计规范[S].