

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.04.032

城市污水系统运行效能评估

——以上海市某区为例

周妍¹, 东阳¹, 孙听雪²

[1.上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092; 2.青浦区排水管理所,上海市 201799]

摘要:上海市某区城区多年来持续进行污水管网及排水设施建设,但尚未对排水管网系统及配套设施进行过系统性、针对性且较为客观的评估研究。通过建立污水管网系统运行效能综合评估指标体系,开展污水系统问题分析,其中包括雨污混接、外水入侵等,为制定合理的设施提效工程方案、后续管控提供依据。评估结果表明:上海市某区城区污水系统连接问题多,排水设施运行效能低,管网持续处于高水位运行状态,外来水入侵较严重。结合评估结果提出了管网补测、缺陷修复等相应的改进措施。

关键词: 污水系统;评估指标;运行效能

中图分类号: TU992.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)04-0136-04

0 引言

城镇排水管网系统对社会稳定发展、生态健康循环和生活环境保障至关重要,完善程度和运行状况是城市发展水平的标志^[1]。上海市某区污水设施的布局基本平衡,污水处理率达到既定目标,污水处理初见成效,但相对于初雨治理和高峰水量达标处理,污水处理设施能力仍然不足,各镇污水系统普遍存在外水入渗^[2]的问题,受雨水、河水入侵的影响,水质偏低。目前大多地区未能有效利用已有监测系统实现对排水系统现状的评估和发挥决策支撑功能,这给城市排水及配套设施建设的自我完善造成了极大的影响。因此,基于现有监测系统的数据挖掘开展排水系统运行效能评估等应用工作,具有重要的现实意义以及必要性。建娜等^[3]从四个方面建立城镇排水系统量化指标体系,为城镇排水系统的设计、管理以及政策决策提供数据支持;梁毅等^[4]构建了深圳市污水管网建设绩效考核评价体系,考核指标包括污水管网建设任务完成情况、污水管网建设

质量、污水管网建设存在问题的整改情况和污水管网建设效果等;陈丰等^[5]总结了常见的排水管网评价指标,主要包括管道情况、内涝水量、溢流水量等,用于评价城市排水系统内涝与溢流控制性能。由于研究者们所关注的对象和问题层面不同,现有的排水系统相关的指标体系不能直接应用于其他区域的污水系统运行效能评估,因此需要建立一套针对性的污水管网系统运行效能综合评估指标体系,而后开展效能评估,最终基于评估结果提出合理的改造建议,对现有污水系统运行控制管理措施进行优化,使其更好地服务于排水系统运行管理工作。

1 研究区域概况

本次评估范围为上海市某区城区区域,总评估范围约为 17.65 km²。该区排水体制为雨污分流制,新建地区严格执行分流制,已建地区根据实际情况开展雨污混接改造等完善排水系统的措施。

评估范围内主要评估设施涵盖 1 个污水处理厂、10 个污水泵站、77 521.35 m 的污水管网等,具体见图 1。

通过计算主城区的污水处理厂的运行负荷率得到,2021 年该污水处理厂运行负荷率达到全区最高为 98.3%,接近满负荷运行状态;2022 年运行负荷率接近 97%。因此近两年该污水处理厂均处于高负荷运行状态,污水厂运行压力很大。

根据污水处理厂的运行数据,统计污水处理厂的

收稿日期: 2023-08-28

科研项目: 上海市青年科技启明星计划课题(21QB1404600);

上海城投科技创新计划项目(CTKY-ZDZX-2022-008)

作者简介: 周妍(1997—),女,硕士,助理工程师,从事排水运行分析、智慧排水等研究工作。

通信作者: 东阳(1986—),女,博士,高级工程师,从事排水运行分析、智慧排水、排水模型等研究工作。电子信箱: dongyang@smedi.com

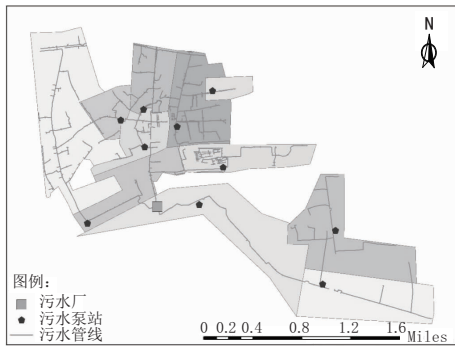
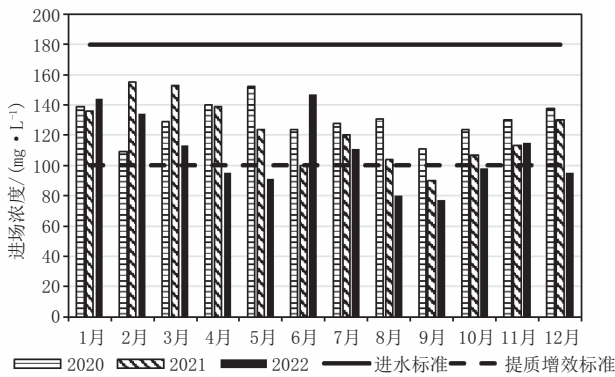


图1 评估范围及评估设施

进厂浓度情况,发现2020—2022年 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TP 、 TN 浓度均小于该污水厂进厂浓度设计值,具体见图2。在负荷率基本达标的情况下,出现进厂浓度大幅度小于设计工况,意味着污水厂实际处理的污水非常少。地下水渗入、雨水入侵等情况均会稀释污水管道中污水水质,同时还增加了污水处理设施负荷,降低了污水处理厂的处理效率。

图2 2020—2022年 BOD_5 进厂浓度各月变化(单位:mg/L)

根据该区域内液位点统计分析,研究范围内已安装液位点处的管网全年大多数时间里均处于满管状态。根据《室外排水设计规范》(GB 50014—2016),重力流污水管道最大充满度0.55~0.75,由此可见,区域内污水管网持续处于高水位运行,污水管网系统压力较大。某液位点2022—2023年的运行水位变化过程见图3。

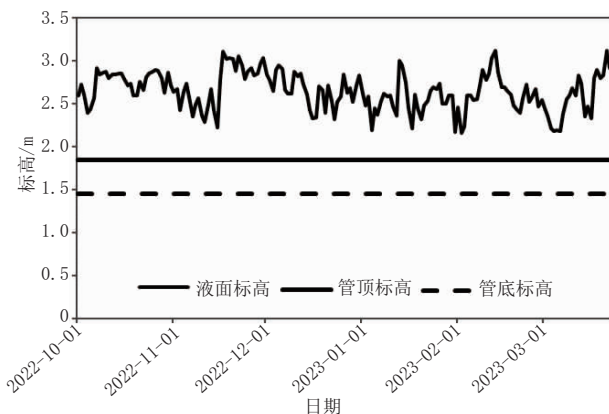


图3 2022—2023年某液位点处污水管道运行水位与管顶(底)标高对比(单位:m)

2 评估指标、标准及方法

评估指标的选取需反映出排水体系运行情况的现状及问题,并为决策者提供有效依据^[4]。基于该选取原则,本次评估的指标主要包含排水设施质量类、系统连接问题类、设施运行效能类三大类。排水管网质量包含结构性缺陷和功能性缺陷这两个指标,系统连接问题包含污水管网覆盖度、混错接问题和市政管网连接关系问题这三个指标,设施运行效能包含污水处理厂负荷率、污水厂进水浓度偏差(BOD_5/COD)、污水泵站负荷率、污水管网充满度和外来水占比这5个指标。

建立一个较为完善、准确的评价标准,需在长期的研究与实践过程中,将理论研究与工程实践相结合,逐步制定出科学、合理的评价标准^[5]。为更加直观地评价该片区排水体系运行的具体情况,本次将10个评价指标量化,结合资料收集、专家工程经验及设施运行经验制定各项指标的分值、权重、达标值及评分算法。

采用的评价方法主要有勘察数据分析法、资料收集分析法、监测数据分析法。勘察数据分析法采用的是2020年—2022年管网普查及检测数据来评估相关指标,资料收集分析法采用的是收集到的污水厂水质水量日运行数据、污水泵站水量日运行数据、管网充满度等数据来评估相关指标,监测数据分析法采用的是监测的污水泵站进水水质、污水管网水质、外来水入渗^[6]等数据来评估相关指标。

各评价指标、达标值、评价方法及评分算法见表1。

按照上表制定的评分算法对10个评价指标逐项进行计算,总分61分。若最终评估得分高于等于50分,则运行效能高;评估得分高于等于35分,低于50分,则运行效能达标,可采取相应措施进一步提升运行效能;评估得分低于35分,则运行效能不达标,需尽快采取相应措施提升运行效能。

3 评估结果

3.1 排水设施质量

污水设施质量评估受勘察情况影响较大,根据勘察资料分析,目前该污水处理厂服务范围内已有污水管网以 $d \leq 500$ mm的小管径为主,89.7%的污水管 $d \leq 500$ mm。

上海市某区城区附近目前已开展CCTV检测的

表1 评估指标

序号	指标	评价对象	达标值	评价方法	评分算法
1	结构性缺陷(5分)	RI>4(占检测管段) ^[7]	小于20%	勘察数据分析	$X < 20\%: 5分$ $X \geq 20\%: 5-6.25 \times (X-0.2)$
2	功能性缺陷(5分)	MI>4(占检测管段) ^[7]	小于20%	勘察数据分析	$X < 20\%: 5分$ $X \geq 20\%: 5-6.25 \times (X-0.2)$
3	污水管网覆盖度(5分)	污水管网密度(污水管网长度/区域面积)	不低于5 km/km ²	勘察数据分析	$X > 5 \text{ km/km}^2: 5分$ $X \leq 5 \text{ km/km}^2: X分$
4	混错接问题(5分)	社区污水接入市政雨水管、雨水接入市政污水管;市政污水接入市政雨水管、雨水接入市政污水管;街边商户接入市政雨水	0个	勘察数据分析	$X=0$ 个:5分;每出现一类混错接扣1分
5	市政管网连接关系问题(6分)	严重大管接小管(2分)严重逆坡(2分)错位(2分)	小于3个/km ² 小于3个/km ² 小于3个/km ²	勘察数据分析	$X < 3$ 个/km ² :2分 $3 \leq X < 6$ 个/km ² :1分 $X \geq 6$ 个/km ² :0分
6	污水处理厂负荷率(5分) ^[8]		80%~100%		
7	污水厂进水浓度偏差(BOD ₅)(5分) ^[9] 污水厂进水浓度偏差(COD)(5分) ^[9]		-20%~20%	勘察数据分析	达标得5分
8	污水泵站负荷率(5分) ^[10]		80%~100%	资料收集分析	每个泵站达标得0.5分,满分5分
9	污水管网充满度(5分)		满管占比小于5%		$X < 5\%: 5分$ $X \geq 5\%: 5.26-5.26X分$
10	外来水占比 ^[11] (10分)	地下水入渗(5分) ^[6] 雨水入侵(5分)	低于20%	监测数据分析	$X < 20\%: 5分$ $X \geq 20\%: 5-6.25 \times (X-0.2)分$

污水管网长度为45 km左右,共涉及70条道路或区域,其中有59处检测的污水管道分布在该污水处理厂服务范围区域内。

(1)结构性缺陷

上海市某区城区所检测区域内污水管道发现存在结构性缺陷管段的管道共有19处,约占总检测管道数量的32.2%。检测管段总长度为44 929.1 m,应尽快修复的结构性缺陷管道(RI>4)总长度为1 012.6 km,占检测管网总长的2.25%,满足小于20%的标准,达标得5分。

(2)功能性缺陷

上海市某区城区所检测区域内污水管道发现功能性缺陷共有22处,约占总检测管道数量的37.3%。应尽快修复的功能性缺陷管道(MI>4)总长度为942.2 m,占检测管网总长的2.1%,满足小于20%的标准,达标得5分。

结构性缺陷与功能性缺陷评估结果虽达标,但管道缺陷检测数据不全面,由于很多老旧大管及主干管水位较高,未大面积覆盖检测,对于隐患分析有一定的影响。后续管网水位降低后建议对重点区域内未检测的管网进行管道缺陷CCTV补测,并根据补测结果更新排水设施质量评估结果。

3.2 系统连接问题

(1)污水管网覆盖度

评估范围总面积为17.65 km²,利用ArcGIS计算该污水处理厂服务范围内的污水管,总长为77.52 km,片区内污水管网覆盖度为4.39 km/km²,不满足5 km/km²标准,不达标,得4.39分。

(2)混错接问题

评估范围内共有106处排水管网混错接问题,均属于社区污水接入市政雨水管,不满足混错接个数为0的标准,不达标,得分0分。

市政管网混错接指标不达标,需全面开展雨污混接深入调查,对混错接问题及时整改。在查清的小区中,规划分流区混流社区占比指标达标,同时开展待查小区的混流占比排查,如超标,则需对小区进行分流改造。

(3)市政管网连接关系问题

将研究区域的污水管网导入Infoworks ICM软件并进行处理,通过筛选分析得出,评估范围内发现4处大管接小管,4处错位问题,未发现严重逆坡,均满足小于3个/km²的标准,达标,各得2分,总计6分。

市政管网连接关系问题指标虽达标,但研究区域内管网仍存在错位和大管接小管问题,建议结合缺陷修复对错位和大管接小管及时进行改造。

3.3 排水设施运行效能

(1)污水处理厂负荷率

该区域内污水处理厂2020—2022年均满足负荷率80%~100%的标准,具体见表2,达标得分5分。

表2 2020年—2022年污水厂处理水量统计表单位:万m³/d

指标	2020年	2021年	2022年
设计规模		3.5	
年平均日进厂量	3.39	3.44	3.38
年平均日处理量负荷率	96.9%	98.3%	96.6%

(2) 污水厂进水浓度偏差(BOD₅/COD)

2020—2022年该污水处理厂均不满足污水处理厂进水浓度偏差在-20%~20%的标准,具体见表3和表4,不达标,得分0分。

表3 研究区域内污水处理厂进水BOD₅浓度统计

指标	数值	
目标浓度	180 mg/L	
污水厂进水浓度偏差(BOD ₅)	2020年	-28%
	2021年	-31.9%
	2022年	-39.8%
达标情况	不达标	

表4 研究区域内污水处理厂进水COD浓度统计

指标	数值	
目标浓度	400 mg/L	
污水厂进水浓度偏差(COD _{Cr})	2020年	-31.2%
	2021年	-35.1%
	2022年	-42.6%
达标情况	不达标	

(3) 污水泵站负荷率

2021年10个污水泵站均不满足污水泵站负荷率在80%~100%的标准,2022年有2个污水泵站满足80%~100%的标准,各得0.5分,总得分1分。

该污水处理厂进水浓度偏差指标以及泵站运行负荷率不达标,需围绕服务片区管网制定“一厂一策”系统化整治方案,提升污水厂进水浓度以及提高泵站运行效率。

(4) 管网充满度

根据上海市某区液位点统计分析,城区共有30处液位点,其中该污水处理厂服务范围内有20个液位点,其中显示污水管道处于满管状态的液位点占90%,显然不满足满管占比小于5%的标准,不达标,得分0.53分。

(5) 外来水占比

根据研究区域内已有的水量平衡分析计算结

果,得到该污水处理厂区域2020—2022年地下水渗入率为35.31%、35.68%、33.96%。2022年地下水渗入率不满足占比小于20%的标准,不达标,得分4.13分。

基于以上分析可知,研究区域内管网运行存在较大的问题,污水管网充满度和外来水占比指标均不达标。后续建议将污水管网流速也纳入考虑,若污水管网运行流速较低,存在较大的淤积风险,建议新建扩建污水收集干管来提高管网流速。管网充满度高、入渗率高的问题,建议采取缺陷修复、施工降水管控等方式来缓解。

3.4 污水系统运行效能评估结果

按照以上制定的评分算法对10个评价指标逐项进行计算,最终该区域污水系统运行效能评估总得分31.05分,运行效能偏低,具体得分情况见表5。

表5 上海市某区城区污水系统运行效能评估结果

序号	指标	得分	
1	排水设施质量	结构性缺陷(5分)	5分
		功能性缺陷(5分)	5分
2	小计	10分	
3	污水管网覆盖度(5分)	4.39分	
4	系统连接问题	混错接问题(5分)	0分
		市政管网连接关系问题(6分)	6分
5	小计	10.39分	
6	污水处理厂负荷率(5分)	5分	
7	排水设施运行效能	污水厂进水浓度偏差(BOD ₅)(5分)	0分
		污水厂进水浓度偏差(COD)(5分)	0分
8	污水泵站负荷率(5分)	1分	
9	污水管网充满度(5分)	0.53分	
10	小计	地下水入渗(5分)	4.13分
		小计	10.66分
	总计	31.05分	

4 结论与建议

本文建立了污水系统运行效能综合评估指标体系,以上海市某区城区作为示范开展评估,评估结论与该城区多年来持续进行排水管网及排水设施建设,但运行效能低而导致管网长期高水位运行、污水处理厂水量大、浓度低的实际运行情况相符,需尽快结合管道缺陷CCTV补测、雨污混接深入调查与改造、缺陷修复、“一厂一策”系统化整治方案等相应改进措施对排水系统进行效能提升。同时,随着数据不

(下转第144页)

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] 石炬.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].