

符韵,陈翠珍,李敏,等. 武汉市汉口片区排水体系运行效能评估[J]. 净水技术, 2023, 42(5):139–150.

FU Y, CHEN C Z, LI M, et al. Evaluation of operation efficiency for drainage systems in Hankou Area of Wuhan City[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(5):139–150.

武汉市汉口片区排水体系运行效能评估

符韵^{1,*}, 陈翠珍¹, 李敏¹, 蒋佳鑫¹, 韩鹏²

(1. 武汉市水务科学研究院, 湖北武汉 430014; 2. 中国地质大学(武汉)环境学院, 湖北武汉 430014)

摘要 汉口片区多年来持续进行排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、具有针对性且较为客观的评估研究,对于排水管网系统及配套设施建设的自我完善造成了较大的影响。文中通过建立排水管网系统运行效能综合评估指标体系来衡量汉口地区排水管网系统的完备程度、服务水平及承载能力,为制定合理的设施提效工程方案、后续管控以及最终转化成为行政考核管理的办法提供依据。评估结果表明,系统连接问题多,旱季排水设施运行效能低,雨季排水设施评估中分流制、合流制溢流污染问题较为严重,混错接导致雨水混接入污水量情况较好。并结合评估结果提出了制定“一厂一策”系统化整治方案等相应的改进措施。

关键词 运行效能 评估 旱季 雨季 溢流污染

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2023)05-0139-12

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2023.05.019

Evaluation of Operation Efficiency for Drainage Systems in Hankou Area of Wuhan City

FU Yun^{1,*}, CHEN Cuizhen¹, LI Min¹, JIANG Jiaxin¹, HAN Peng²

(1. Institute of Water Science Researching in Wuhan, Wuhan 430014, China;

2. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430014, China)

Abstract The construction of drainage pipe network and drainage facilities in Hankou area has been carried out continuously for many years, but there is no systematic, targeted and objective evaluation and research on the drainage pipe network system and supporting facilities. There is a great impact on the self-improvement of the drainage pipe network system and supporting facilities. In this paper, the comprehensive evaluation indicator system of the operation efficiency of the drainage pipe network system was established to measure the completeness, service level and carrying capacity of the drainage pipe network system in Hankou area. To provide a basis for the formulation of a reasonable project plan for improving the efficiency of facilities, follow-up management and control, and finally transformed into administrative assessment and management. The evaluation results showed that there were many problems in the system connection, the operation efficiency of drainage facilities was low in dry season. In the evaluation of drainage facilities in rainy season, the overflow pollution problem of diversion system and confluence system was more serious, and the mixed misconnection leads to the mixing of sewage water quantity of rain water was better. Combined with the evaluation results, the corresponding improvement measures such as formulating a systematic rectification plan of "one system, one solution" were put forward.

Keywords operation efficiency evaluation dry season rainy season overflow pollution

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大有裨益,完善程度和运行状况是城市发展水平的标志。汉口片区多年来持续进行排水管网及排水设施建设,排水管网及排水设施已覆盖建成区,雨污水收集系统主体框

架基本建立。尽管如此,受各方面因素影响,排水管网和设施的运行效能有待提升,从而导致片区内两个重要水体黄孝河、机场河水质虽然得到一定程度改善,但形势仍然严峻。为对深圳市管网建设的数量、质量及效果进行考核,梁毅等^[1]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、污水管网建设管理水平、污水管网建设

[收稿日期] 2022-01-13

[通信作者] 符韵(1990—),女,硕士,研究方向为排水规划、设计、科研工作,E-mail:475832621@qq.com。

存在问题的整改情况和污水管网建设效果。建娜等^[2]则从环境、经济、技术性能和社会效益 4 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。为了评价城市排水系统内涝与溢流控制性能,陈丰^[3]总结了常见的排水管网评价指标,主要包括管道水深、管道坡降比、管道流速、内涝水量、内涝深度、溢流频率、溢流量等。由于研究者们所关注的问题和层面不同,现有的排水系统相关的指标体系不能直接应用于武汉市典型排水体系运行效能评估,急需建立一套排水管网系统运行效能

综合评估指标体系,用于评估汉口片区排水体系运行效能,并与实际运行效能进行对比来验证评估指标体系的合理性,最终以评估结果为依据提出合理的改造建议。

1 概述

1.1 评估范围

本次评估范围以汉西污水系统、三金潭污水系统和黄浦路污水系统为基础,重点关注汉口片区,也就是除去汉西污水系统中位于机场河西侧的东西湖区部分,确定总评估范围约为 133.8 km² (图 1)。



图 1 评估范围及排水系统分布

Fig. 1 Evaluation Area and Distribution of Drainage System

1.2 排水体制

目前黄孝河、机场河系统合流区和分流区并存,上游存在 39%的合流制排水区域。由于汉口人口密度大、管网改造难度大,且合流区中有大量的历史风貌街区,受场地条件及相关保护条例的限制,进行雨污分流改造较为困难。除古田片、常码头片、汉西片、二七滨江片等旧城改造区域,剩余 28%的老城区规划保留合流制排水体制(图 1)。

1.3 评估设施

评估范围内主要评估设施涵盖 3 个污水处理厂、11 个污水泵站、1 020 km 经检测的排水管网等(图 2)。

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,并同时为决策者提供有效依据^[3]。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、旱季设施运行效能类、雨季设施运行效能类及重要水体五大类。排水管网质量包含结构性缺陷和功能性缺陷 2 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 3 个指标,旱季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)、转输泵站进水水质偏差(COD_{Cr})、转输泵站负荷率、污水流速、污水管网充满度和外来水占比 7 个指标,

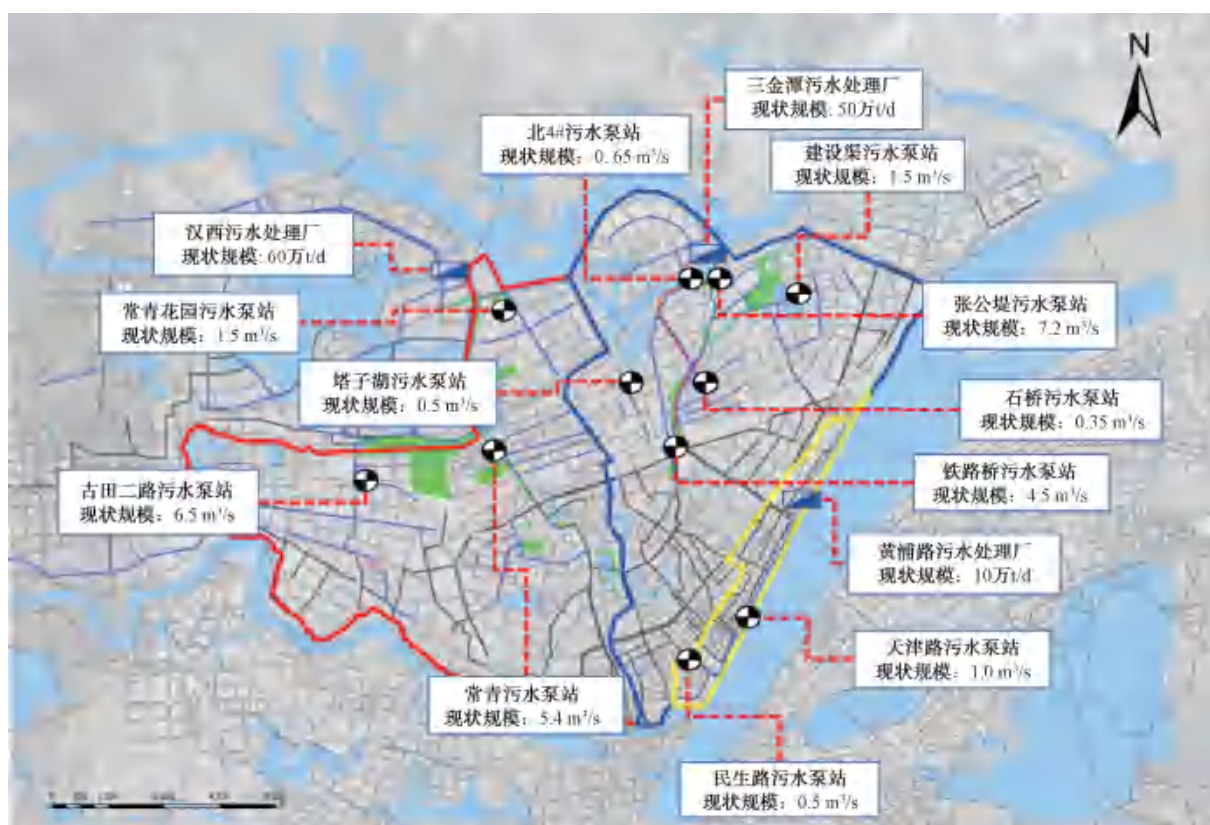


图2 主要评估设施分布

Fig. 2 Distribution of Major Evaluation Facilities

雨季设施运行效能包含合流制溢流污染(CSO)评估、分流制溢流污染(SSO)评估和混错接导致雨水混接入污水量3个指标,重要水体采用接纳水体水质达标情况评价。

要建立一个较为完善、准确的评价标准需要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^[4]。为更加直观地评价汉口片区排水体系运行的具体情况,本次将16个评价指标量化,主要根据住房和城乡建设部、生态环境部、发展改革委印发的《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》,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、模型评估分析法。勘察数据分析法采用的是2019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、规划分流区混流社区占比、接纳水体水质

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数据、外来水入渗等数据来评估相关指标,模型评估分析法采用的是Infoworks模型模拟评估相关指标^[5-6]。

各评价指标、达标值、评价方法及评分算法如表1所示。

按照表1制定的评分算法对16个评价指标逐项进行计算,若最终评估得分高于等于85分,则运行效能高;评估得分高于等于60分,低于85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60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

排水设施质量评估受勘察情况影响较大,根据2019年勘察资料分析,很多大管及主干管由于水位较高,未大面积覆盖检测,本次勘察检测管网长度占普查管网的59.78%,检测管网以 $d \leq 500$ mm的小管径为主,61.9%的污水管 $d \leq 500$ mm,52.06%的

表 1 评估指标
Tab. 1 Evaluation Indices

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 占比(占检测管段) ^[7]	小于 20%	勘察数据分析	$X < 20\%$; 5 分
2	功能性缺陷(5分)	MI>4 占比(占检测管段) ^[7]	小于 20%		$X \geq 20\%$; $5 - 6.25 \times (X - 0.2)$ (分)
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(6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管	0 个	勘察数据分析	$X = 0$ 个; 5 分; 每出现一类混错接扣 1 分
		规划分流区混流社区占比	小于 50%	资料收集分析	$X < 50\%$; 1 分 $X \geq 50\%$; $2 - 2X$ (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 ^[8] (5分)		80%~100%	资料收集分析	1 个污水厂达标得 2 分, 2 个达标得 4 分, 3 个达标得 5 分。
7	污水厂进水浓度偏差(BOD ₅) ^[9] (5分)		-20%~20%		
8	转输泵站进水水质偏差(COD _{Cr})(5分)		-20%~20%	监测数据分析	每个泵站达标得 0.5 分, 满分 5 分。
9	转输泵站负荷率(5分)		80%~100%	资料收集分析	每个泵站达标得 0.5 分, 满分 5 分
10	污水流速 ^[10] (5分)		流速大于 0.6 m/s 占比 80%以上	监测+模型综合分析	$X \geq 80\%$; 5 分 $X < 80\%$; $6.25X$ 分
11	污水管网充满度(5分)		满管占比小于 5%	监测+模型综合分析	$X < 5\%$; 5 分 $X \geq 5\%$; $5.26 - 5.26X$ (分)
12	外来水占比 ^[10] (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)
13	CSO 评估 ^[11] (10分)		全年溢流不高于 10 次	监测+模型综合分析	$X < 10$ 次; 10 分 $10 \leq X \leq 15$ 次; $30 - 2X$ (分) $X > 15$; 0 分
14	SSO 评估(10分)		溢流发生对应的净降雨量大于 5.28 mm	监测+模型综合分析	$X > 5.28 \text{ mm}$; 10 分 $X \leq 5.28 \text{ mm}$; $1.89X$ 分
15	混错接导致雨水混接入污水量(10分)		30 mm 以内流量增幅小于 30%	厂站数据+模型综合分析	$X < 30\%$; 10 分 $X \geq 30\%$; $14.29 - 14.29X$ (分)
16	受纳水体水质达标情况(8分)		近期 2021 年目标(V 类)	资料收集分析	X 不低于 V 类; 8 分 X 低于 V 类; 0 分

注:(1)RI 为针对结构性缺陷的修复指数,MI 为针对功能性缺陷的养护指数;(2)严重大管接小管指管径 500 mm 及以上,且上游管径比下游管径大 300 mm 及以上、严重逆坡指管径 1 000 mm 及以上,逆坡坡度 1%及以上,且上下游管底高差 0.15 m 及以上、错位指管径 500 mm 及以上,且下游管底比上游管底高出 0.3 m 及以上的错位管段。

雨水管 $d \leq 500 \text{ mm}$, 44.2% 的合流管 $d \leq 500 \text{ mm}$, 因此,对于缺陷分析有一定的影响。

(1) 结构性缺陷

检测管段总长度为 1 020.64 km, 应尽快修复的

结构性缺陷管道(RI>4)总长度为 18.97 km, 占检测管网总长的 1.86%, 满足小于 20% 的标准, 达标得 5 分。

(2) 功能性缺陷

应尽快修复的功能性缺陷管道(MI>4)总长度

为 132.1 km, 占检测管网总长的 12.94% (图 3), 满足小于 20% 的标准, 达标得 5 分。

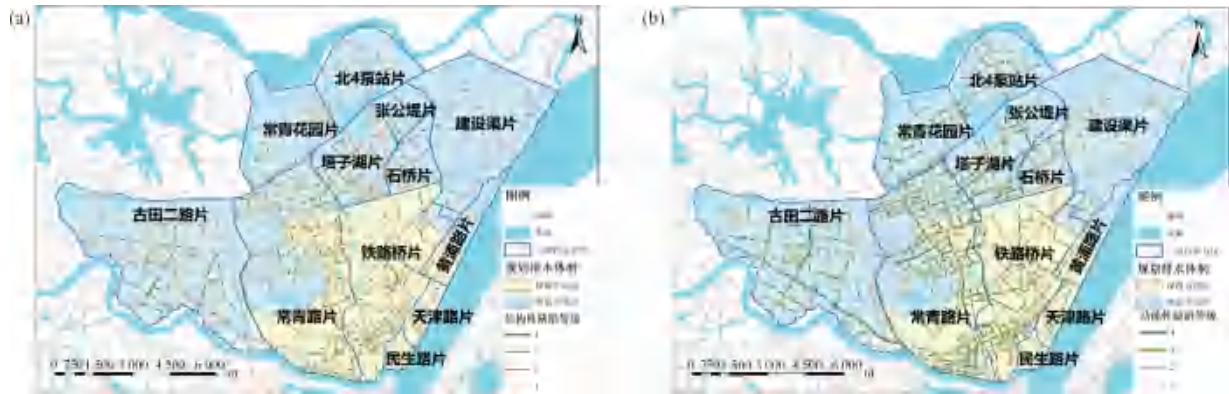


图 3 排水管网(a)结构性缺陷分布和(b)功能性缺陷分布

Fig. 3 Distribution of Drainage Network (a) Structural Defects and (b) Functional Defects

3.2 系统连接问题

(1) 污水管网覆盖度

汉口地区大部分区域均为建成区, 已配套建成较为完善的污水管网。评估范围总面积为 133.8

km², 污水管总长为 866.48 km (图 4), 片区内污水管网覆盖度为 6.47 km/km², 满足不低于 5 km/km² 的标准, 达标, 得分 5 分。



图 4 污水管网分布

Fig. 4 Distribution of Wastewater Networks

(2) 混错接问题

评估范围内的规划分流区中共有 754 处排水管网混错接问题 (图 5), 不满足混错接个数为 0 的标准, 不达标, 得分 0 分。主要是设计、施工错误、管理不到位等原因导致。

汉口片区已有部分片区实施了社区雨污分流改造, 评估范围内共有 1 542 个小区, 其中规划分流区

范围内总计 830 个小区, 涵盖面积为 66.29 km², 其中分流制小区为 301 个, 面积为 20 km², 占比 30.16%; 合流制小区为 241 个, 面积为 16.78 km², 占比 25.31%; 待查小区为 288 个, 面积为 29.52 km², 占比 44.53% (图 5)。在查清的小区中, 规划分流区混流社区占比 45.6%, 满足占比小于 50% 的标准, 达标, 得分 1 分。



图 5 排水管网混错接及规划雨污分流区社区分流情况分布

Fig. 5 Distribution of Mixed and Misconnected Drainage Networks and Community Diversion in Planned Rain and Sewage Separate Areas

(3) 市政管网连接关系问题

评估范围内错位 748 个,问题密度为 5.59 个/ km^2 ;逆坡为 429 个,问题密度为 3.21 个/ km^2 ;大管接小管 225 个,问题密度为 1.68 个/ km^2 (图 6)。错位和逆坡不满足小于 3 个/ km^2 的标准,不达标,得分各 1 分,大管接小管满足小于 3 个/ km^2 的

标准,达标,得分 2 分,总得分 4 分。错位和逆坡主要是因为地基不均匀沉降。

3.3 旱季排水设施运行效能

(1) 污水处理厂负荷率

汉西污水厂及三金潭污水厂 2019 年及 2020 年均不满足负荷率 80%~100% 的标准(表 2),不达标



图 6 市政管网连接问题分布

Fig. 6 Distribution of Connection Problems of Municipal Pipeline Networks

得分 0 分,主要原因是汉西和三金潭厂处理能力不足。黄浦路污水厂 2019 年达标,2020 年不达标,得

分 1 分。2020 年不达标主要是因为黄浦路污水厂处于堤防保护线以外的汉口江滩内,汛期停产。

表 2 汉口地区污水处理厂负荷率统计

Tab. 2 Statistics of Load Rates of WWTPs in Hankou Area

编号	污水厂名称	现状规模/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	负荷率			达标情况
			2019 年	疫情期间	2020 年(4 月—12 月)	
1	汉西污水厂	60 万	118%	87.8%	108.2%	不达标
2	三金潭污水厂	50 万	104.5%	95.5%	101.6%	不达标
3	黄浦路污水厂	10 万	85.8%	31.1%	68.4%	2019 年达标,2020 年不达标

疫情期间黄浦路污水厂水量不足的原因主要是天津路泵站设备维修,黄浦路污水系统内的污水进入三金潭厂进行处理。

(2) 污水厂进水浓度偏差(BOD_5)

2020 年 3 个污水厂均不满足污水处理厂进水

浓度偏差在 $-20\% \sim 20\%$ 的标准(表 3),不达标,得分 0 分,主要原因是污水被地下水及施工降水稀释,同时管道混流及泵站高水位运行两个因素使管网内流速显著降低,污染物大量沉积,导致污水处理厂进水浓度低。2019 年汉西污水厂达标,得分 1 分。

表 3 汉口地区污水处理厂进水 BOD_5 浓度统计

Tab. 3 Statistics of Influent BOD_5 Concentrations of WWTPs in Hankou Area

编号	污水厂名称	目标质量浓度 (BOD_5)	污水厂进水浓度偏差(BOD_5)			达标情况
			2019 年	疫情期间	2020(4 月—12 月)	
1	汉西污水厂		-18.9%	-56.0%	-41.8%	2019 年达标,2020 年不达标
2	三金潭污水厂	100 mg/L	-30.4%	-53.9%	-37.8%	不达标
3	黄浦路污水厂		-50.6%	-60.7%	-56.1%	不达标

疫情期间污水厂的进水浓度存在一定程度的降低。造成的原因有可能是疫情期间餐饮停业、公共活动减少等多方因素。疫情结束后三金潭及黄浦路厂进水 BOD_5 浓度均恢复至去年同期水平,但汉西厂远低于 2019 年同期水平。

(3) 污水泵站负荷率

5 个泵站(铁路桥、塔子湖、石桥、建设渠和张公堤泵站)满足污水泵站负荷率在 $80\% \sim 100\%$ 的标准(表 4),达标,总得分 5 分。常青北路污水泵站超负荷运行,主要原因是该泵站与其他片区有串接点,大量外部污水进入该系统。其余泵站负荷率很低,主要原因是设计规模偏大,并且实际服务范围与设计时有差异。

疫情期间各泵站的负荷率均有所下降,主要原因是疫情期间汉口地区的污水量整体减少。疫情结束后各污水泵站的流量相比疫情期间均有所上升,但常青路泵站由于汛期机场河开闸排涝后液位降低导致流量降低,未恢复到 2019 年同期水平。

(4) 污水泵站进水浓度偏差(COD_{Cr})

基于汉口小区实测污水水质数据,得出汉口片区典型污水质量浓度约为 220 mg/L 。仅常青路泵

站、民生路泵站和天津路泵站满足污水泵站进水浓度负荷在 $-20\% \sim 20\%$ 的标准(表 5),达标,总得分 3 分。其余各污水泵站进水浓度偏差均不达标,但不同泵站进水水质有差异。主要原因是污水被地下水及施工降水稀释,污水泵站进水浓度低。

(5) 管网流速

对监测数据进行统计分析,晴天污水管与合流管的流速较缓,流速小于 0.2 m/s 的管道长度占 56.9%,流速 0.2~0.4 m/s 占比 21.6%,流速 0.4~0.6 m/s 占比 11%,大于 0.6 m/s 占比 10.6%,不满足流速大于 0.6 m/s 占比 80%以上的标准,不达标,得分 0.69 分。主要是因为汉口地区地势平坦,区内管网坡度较小、流速低。

(6) 管网充满度

汉口地区新普查管合计 1 512 km,其中满管管段约为 225 km,占全部管网的 14.86%,不满足满管占比小于 5%的标准(图 7),不达标,得分 4.48 分。主要是因为 2017 年之前汉口片区污水收集不彻底,黄孝河、机场河旱季溢流情况严重,但污水处理厂处理能力尚有富余,在黄孝河与机场河明渠起端建 3 座钢坝闸以增加污水收集率,充分利用污水处理厂

表 4 汉口地区污水泵站负荷率统计
Tab. 4 Statistics of Load Rates of Wastewater Pumping Stations in Hankou Area

编号	转输泵站名称	所属二级片区	设计流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	泵站负荷率			达标情况
				2019 年	疫情期间	2020 年(4 月—12 月)	
1	古田二路泵站	古田二路片	56.2 万	27.1%	25.2%	32.9%	不达标
2	常青路泵站	常青路片	46.7 万	74.8%	43.0%	47.9%	不达标
3	常青北路泵站	常青花园片	13.0 万	100.3%	/	/	不达标
4	铁路桥泵站	铁路桥片	36.3 万	90.9%	77.9%	83.1%	达标
5	塔子湖泵站	塔子湖片	4.3 万	92.6%	64.1%	87.1%	达标
6	石桥泵站	石桥片	3.0 万	112.4%	62.3%	87.9%	达标
7	建设渠泵站	建设渠片	13.0 万	92.6%	75.4%	91.7%	达标
8	张公堤泵站	张公堤片	62.2 万	80.4%	76.3%	81.0%	达标
9	北 4 泵站	北 4 泵站片	5.6 万	35.6%	/	/	不达标
10	民生路泵站	民生路片	4.8 万	15%	/	/	不达标
11	天津路泵站	天津路片	8.6 万	56%	/	/	不达标

表 5 汉口地区污水泵站进水 COD_{Cr} 浓度统计
Tab. 5 Statistics of Influent COD_{Cr} Concentrations of Wastewater Pumping Stations in Hankou Area

编号	转输泵站名称	所属二级片区	泵站进水 COD_{Cr} / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	目标 COD_{Cr} / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	进水浓度偏差	达标情况
1	古田二路泵站	古田二路片	140.7	220	-36.0%	不达标
2	常青路泵站	常青路片	185		-15.9%	达标
3	常青北路泵站	常青花园片	70		-68.2%	不达标
4	铁路桥泵站	铁路桥片	144		-34.5%	不达标
5	塔子湖泵站	塔子湖片	138		-37.3%	不达标
6	石桥泵站	石桥片	108		-50.9%	不达标
7	建设渠泵站	建设渠片	144		-34.5%	不达标
8	张公堤泵站	张公堤片	97		-55.9%	不达标
9	北 4 泵站	北 4 泵站片	140.3		-36.2%	不达标
10	民生路泵站	民生路片	252		14.5%	达标
11	天津路泵站	天津路片	252		14.5%	达标

处理能力而导致上游管网水位高。

(7) 外来水占比

根据实测监测数据采用流量-水质物料守恒法估算基本入渗量,评估范围整体外来水入渗率约为 42.1%^[12],不满足占比小于 20%的标准,不达标,得分 3.62 分。主要原因是管道老化或状况恶化引起的入流入渗过大及施工降水的排入。

3.4 雨季排水设施运行效能

(1) CSO

汉口片区 CSO 主要发生在黄孝河、机场河起端、建设渠起端和幸福二路明渠起端 4 个位置(图

8),采用模型分别模拟代表年下的溢流次数。黄孝河机场河水环境综合治理二期 PPP 项目正在建设黄孝河 CSO、机场河 CSO、常青公园 CSO 调蓄池及黄孝河 CSO、机场河 CSO 强化处理设施。项目建成后黄孝河 CSO 在代表年 1 和代表年 2 的溢流次数分别为 7 次和 8 次,机场河东渠 CSO 在代表年 1 和代表年 2 的溢流次数分别为 8 次和 10 次,满足全年溢流次数低于 10 次的标准,达标,得分 5 分。建设渠汇水区规划为分流区,在完成雨污分流改造之前,片区内合流制溢流污染问题突出。建设渠起端在代表年下的溢流次数约为 30 次,幸福二路明渠起端在



图7 管道淤积情况分布

Fig. 7 Distribution of Pipelines Deposition

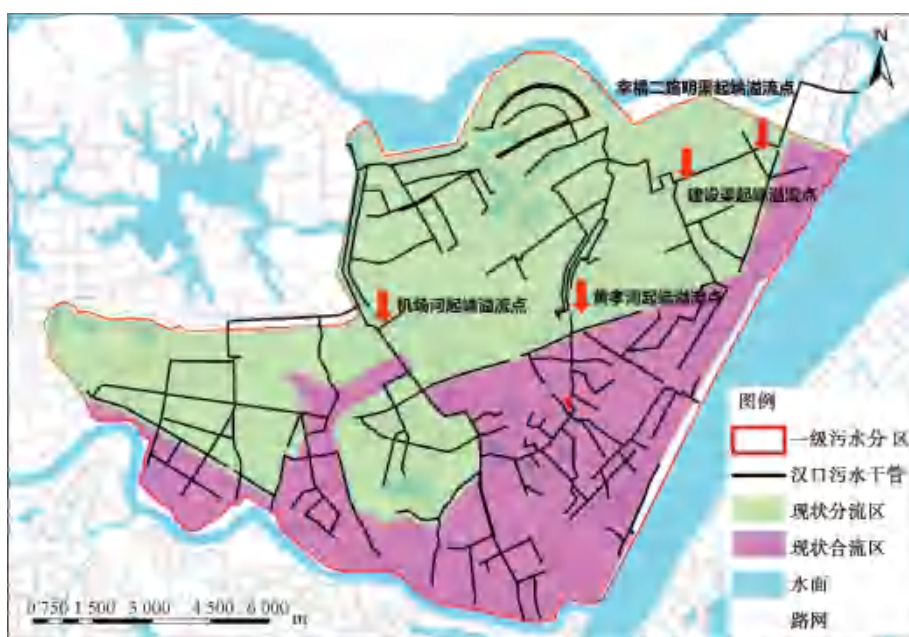


图8 溢流点位分布

Fig. 8 Distribution of Overflow Points

代表年下的溢流次数约为 35 次,不满足全年溢流次数低于 10 次的标准,不达标,总得分 0 分。

(2)SSO

汉口片区分流制溢流污染主要发生在黄孝河沿线的 11 个主要排口,其中有闸控排口 6 个,分别为排口 4、6、7、8、9 和 10(图 9)。

闸控水位下的雨水管网具有一定的调蓄容积,但低于 5.28 mm 的标准(表 6),不达标,得分 5.29 分。仅靠管网调蓄是无法解决分流制初雨溢流污染的,需新建初雨收集及处理设施。

(3)混错接导致雨水混接入污水量

三金潭、汉西及黄浦路污水系统均存在雨水混



图 9 有闸控排口分布图及对应的集水范围

Fig. 9 Distribution of Gate-Controlled Outlets and Corresponding Range of Water Collection

表 6 闸控排口现状可控制降雨量

Tab. 6 Controllable Rainfall of Gate Control Outlets

排口编号	名称	排口闸控 水位/m	闸控水位下水水管 网调蓄容积/m ³	排口上游汇 水面积/km ²	闸控水位下的雨水管网 调蓄容积相当上游汇水 面积的产流净雨量/mm
4	兴业路-金桥大道排口	17.8	6 041	1.95	3.1
6	幸福大道排口	17.1	4 867	2.07	2.4
7	后湖大道-金桥大道排口	17.9	8 869	1.27	7.0
8	井南路(和谐大道)-金桥大道排口	18.0	3 388	2.15	1.6
9	井南路(和谐大道)排口	17.8	793	0.49	1.6
10	中环南路-黄孝河排口	18.2	114	0.58	0.2
合计		-	24 072	8.51	2.8

接入污水系统。在降雨情形下,混入的雨水以及潜存的地下水会增加污水系统的负荷。研究范围内市政雨水接入市政污水[C(雨接污)]123处、小区雨水接入市政污水[N(雨接污)]2处。

各污水厂及泵站该指标评估结果如表7所示,均满足30 mm以内流量增幅小于30%的标准,达标,得分10分。说明片区混错接导致雨水混接入污水的情况并不严重。

3.5 重要水体

区域重要水体为黄孝河、机场河,黄孝河、机场河近期2021年的目标为V类,根据2020年7月数据监测,目前仍为劣V类,受纳水体水质未达标,得

表 7 各污水厂及泵站混错接导致雨水混接入污水量汇总 (30 mm 以内降雨)

Tab. 7 Summary of Rain Water Mixed into Wastewater Systems Caused by Mixed Misconnection (Rainfall within 30 mm)

名称	30 mm 以内流量增幅	达标情况
汉西厂	6.5%~11.3%	达标
黄浦路厂	6.1%~17.3%	达标
三金潭厂	0.2%~4.9%	达标
建设渠泵站	2.9%~6.5%	达标
常青路泵站	6.9%~39.8%	基本达标
古田二路泵站	4.0%~27.4%	达标
铁路桥泵站	7.1%~8.2%	达标

分 0 分。

4 改进措施

结构性缺陷与功能性缺陷评估结果达标,主要原因是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本次未检测的管网进行补测,并根据补测结果更新排水设施质量评估结果。

市政管网混错接指标不达标,需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,后续应继续排查 44.53%待查小区的混流占比,如超标,则需对小区进行分流改造。市政管网连接关系问题中错位和逆坡指标不达标,可结合缺陷修复对错位和逆坡管道进行改造。

汉西污水厂和三金潭污水厂负荷率高,需进行扩容来减轻两座污水厂的处理压力。黄浦路污水处理厂处于堤防保护线以外的汉口江滩内,汛期运行安全难以保证,三金潭污水处理厂扩建时需预留黄浦路污水处理厂连通规模。3 座污水处理厂及泵站进水浓度偏差指标不达标,需围绕服务片区管网制定“一厂一策”系统化整治方案,提升污水厂和泵站进水浓度。

管网运行存在较大的问题,污水流速、污水管网充满度和外来水占比指标均不达标。大部分的污水管网运行流速较低,存在较大的淤积风险,建议优化黄孝河、机场河流域合流区截流方式,新建扩建污水收集主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。

建设渠片区规划为分流区,但在完成雨污分流改造之前,片区内合流制溢流污染问题突出,建议采用低位箱涵截留合流制溢流污水,调蓄后就地处理的措施进行控制。黄孝河片区分流制初雨污染溢流发生对应的净降雨量指标不达标,建议采用源头进行海绵设施建设+中途径流削减+末端截污、调蓄、处理的措施进行控制。

5 结论

本次构建了汉口片区运行效能综合评估指标体系,从排水设施质量类、系统连接问题类、旱季设施运行效能类、雨季设施运行效能类及重要水体五方面选取了汉口片区 16 个量化评价指标,并根据资料收集、专家工程经验及设施运行经验制定了评估

算法,直观地评价汉口片区排水体系运行的具体情况,以期为武汉市其他片区甚至国内其他城市同类项目提供参考。按照制定的评分算法对 16 个评价指标逐项进行计算,最终汉口片区排水体系运行效能评估总得分 59.08 分,运行效能低。评估结论与汉口片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污水处理厂污水收集量远高于污水产生量、管网长期高水位运行、河道水质难以稳定、污水处理厂水量大、浓度低的实际运行情况相符,需尽快结合上述改进措施对排水系统进行效能提升。后续将持续优化评价标准、指标权重,动态更新汉口片区排水体系运行效能的评价结果。

参考文献

- [1] 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建设[J]. 中国给水排水, 2017, 33(12): 36-39.
LIANG Y, YUAN Y B, LI W, et al. Establishment of wastewater network construction performance evaluation system in Shenzhen City[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(12): 36-39.
- [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.
JIAN N, HU Y T, XIAO X Y. Research on urban drainage quantization index system[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2015, 32(10): 22-27.
- [3] 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.
CHEN F. Research on evaluation and optimisation of flood and overflow control capacity of urban drainage system[D]. Beijing: Tsinghua University, 2016.
- [4] 冷雪. 城镇排水管网系统运行效能评价体系建设[D]. 长沙:湖南大学, 2016.
LENG X. Study on the evaluation system of urban drainage pipe network system operation efficiency [D]. Changsha: Hunan University, 2016.
- [5] 汤钟,张亮,俞露,等. 深圳福田区水环境综合治理方案探索与实践[J]. 中国给水排水, 2020, 36(18): 7-12.
TANG Z, ZHANG L, YU L, et al. Exploration and practice of comprehensive treatment scheme of water environment in Futian District, Shenzhen[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(18): 7-12.
- [6] 赵也,汤钟,曾胜. 基于模型评估的黑臭水体综合治理方案目标可达性分析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(13): 73-82.
ZHAO Y, TANG Z, ZENG S. Objective accessibility analysis of comprehensive treatment scheme for black and smelly water based on model evaluation[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36

- (13): 73-82.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇排水管道检测与评估技术规程: CJJ 181—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical specification for inspection and evaluation of urban sewer: CJJ 181—2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [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]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgknr/tzgg/200712/20071211_157302.html.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Information reporting, verification and evaluation methods for the national urban sewage treatment [EB/OL]. (2007-12-11)[2022-01-01]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgknr/tzgg/200712/20071211_157302.html.
- [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)[EB/OL]. (2019-05-10)[2022-01-01]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgknr/tzgg/201905/20190510_240490.html.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, National Development and Reform Commission. Three year action plan for improving quality and efficiency of urban sewage treatment (2019-2021) [EB/OL]. (2019-05-10)[2022-01-01]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgknr/tzgg/201905/20190510_240490.html.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 室外排水设计规范: GB 50014—2006(2016年版)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of outdoor wastewater engineering: GB 50014—2006 [S]. Beijing: China Planning Press, 2016.
- [11] 孙巍, 张文胜. 武汉市黄孝河合流制溢流污染控制系统设计[J]. 给水排水, 2019, 55(12): 9-12.
- SUN W, ZHANG W S. Design of pollution control system for CSOs of Huangxiao River in Wuhan City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 55(12): 9-12.
- [12] 符韵, 李敏, 钟兴. 基于监测评估的汉口片区排水系统入渗分析方法与实践[J]. 净水技术, 2021, 40(7): 92-99.
- FU Y, LI M, ZHONG X. Analysis and practice on infiltration rate of external water in drainage system of Hankou Area based on monitoring and evaluation [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(7): 92-99.
-
- (上接第 76 页)
- [31] MU H, CHEN Y G. Long-term effect of ZnO nanoparticles on waste activated sludge anaerobic digestion[J]. Water Research, 2011, 45(17): 5612-5620. DOI: 10.1016/j.watres.2011.08.022.
- [32] YU P, LIU Z Q, WU D L, et al. Accumulation of polystyrene microplastics in juvenile *Eriocheir sinensis* and oxidative stress effects in the liver[J]. Aquatic Toxicology, 2018, 200: 28-36. DOI: 10.1016/j.aquatox.2018.04.015.
- [33] LIU L, XU K, ZHANG B W, et al. Cellular internalization and release of polystyrene microplastics and nanoplastics[J]. Science of the Total Environment, 2021, 779: 146523. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146523.
- [34] WAGNER S, KLÖCKNER P, REEMTSMA T. Aging of tire and road wear particles in terrestrial and freshwater environments-A review on processes, testing, analysis and impact [J]. Chemosphere, 2022, 288: 132467. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.132467.
- [35] LI X W, MEI Q Q, CHEN L B, et al. Enhancement in adsorption potential of microplastics in sewage sludge for metal pollutants after the wastewater treatment process [J]. Water Research, 2019, 157: 228-237. DOI: 10.1016/j.watres.2019.03.069.
- [36] WANG L X, WANG Y X, XU M, et al. Enhanced hepatic cytotoxicity of chemically transformed polystyrene microplastics by simulated gastric fluid [J]. Journal of Hazardous Materials, 2020, 410: 124536. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.124536.
- [37] CHOI O, DENG K K, KIM N J, et al. The inhibitory effects of silver nanoparticles, silver ions, and silver chloride colloids on microbial growth[J]. Water Research, 2008, 42(12): 3066-3074. DOI: 10.1016/j.watres.2008.02.021.
- [38] WIK A. Toxic components leaching from tire rubber [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2007, 79(1): 114-119.
- [39] CAPOLUPO M, SØRENSEN L, JAYASENA K D R, et al. Chemical composition and ecotoxicity of plastic and car tire rubber leachates to aquatic organisms [J]. Water Research, 2020, 169: 115270. DOI: 10.1016/j.watres.2019.115270.
- [40] 王鑫瑞. 200 种中药的三维荧光光谱鉴别及连翘荧光定量分析[D]. 济南: 山东中医药大学, 2021.
- WANG X R. Identification of 200 kinds of traditional chinese medicine by three dimensional fluorescence spectroscopy and fluorescence quantitative analysis of forsythia suspensa [D]. Jinan: Shandong University of Traditional Chinese Medicine, 2021.
- [41] KANEMATSU M, HAYASHI A, DENISON M S, et al. Characterization and potential environmental risks of leachate from shredded rubber mulches [J]. Chemosphere, 2009, 76(7): 952-958.