

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.20.017

武汉大东湖核心区污水深隧传输系统运行调度

曾磊, 刘畅, 阮超, 黄凯, 郭彪, 曾利华, 廉文杰,
王小虎, 王建华

(中建三局绿色产业投资有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘要: 武汉大东湖核心区污水深隧是目前国内首条投入商业运营的长距离污水传输深隧系统,其日常运行调度在国内尚无经验可循。借鉴国外类似深隧项目运行调度经验,并结合国内排水系统管理、调度现状,该深隧系统正式投用近2年的运行调度工作平稳有序,无重大调度安全事故发生,累计输送污水量超过 $4\times 10^8\text{m}^3$ 。通过对该系统的调度内容、调度方案、调度总结、存在的问题进行梳理,可为深层排水隧道在我国的推广应用提供借鉴。

关键词: 污水传输; 深隧; 运行调度; 智慧运营

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)20-0104-06

Operation Scheduling of Deep Tunnel Sewage Transmission System in Dadong Lake Core Area of Wuhan

ZENG Lei, LIU Chang, RUAN Chao, HUANG Kai, GUO Biao, ZENG Li-hua,
LIAN Wen-jie, WANG Xiao-hu, WANG Jian-hua

(China Construction Third Bureau Green Industry Investment Co. Ltd., Wuhan 430010, China)

Abstract: The deep sewage tunnel in Dadong Lake core area of Wuhan is the first long-distance sewage transmission deep tunnel system put into commercial operation in China at present. There is no similar domestic experience to follow in the daily operation and scheduling. Referring to the similar operation experience abroad, and combing with the current situation of domestic drainage system management and scheduling, the operation and scheduling of the system has been stable and orderly for nearly two years without major dispatching safety accidents. The system has delivered over $4\times 10^8\text{m}^3$ of sewage. The scheduling content, scheduling scheme, scheduling summary, existing problems of the system are combed, which could provide reference for the promotion and application of deep drainage tunnels in China.

Key words: sewage transmission; deep tunnel; operation scheduling; smart operation

随着城市化进程的不断推进,城市人口密度及污水产量迅速增加,内涝、溢流污染问题^[1]日益突出。为此,国内外很多大型城市(东京、悉尼、芝加哥、香港、广州、武汉等)选择利用地下深层空间建设

大型排水隧道^[2-3]来提高城市排水能力,有效控制溢流污染。

目前,针对深层排水隧道项目的运行调度多集中在国外已建成投用的几个典型项目^[4],而国内由

通信作者: 刘畅 E-mail: 601996084@qq.com

于正式投入商用的深隧项目较少,对类似工程的运行调度经验总结鲜有报道。因此,本研究通过对国内首条正式投入运营的长距离污水传输深隧(大东湖深隧工程)的调度设施、调度方案、调度总结、存在的问题与思考进行梳理,以助力深层排水隧道在我国的推广应用。

1 项目背景

为响应国家、湖北省政府对武汉市污水处理和污染物总量减排的要求,武汉市政府于2014年8月正式批准启动污水深隧传输工程建设。该工程将现有的沙湖、二郎庙和落步嘴3座污水处理厂的污水通过深隧传输至拟建的北湖污水处理厂集中处

理,实现“四厂合一”^[5],旨在彻底解决现有污水厂的邻避效应、改扩建难题,改善大东湖核心区生态环境。该工程的服务范围超过200 km²,建设内容包括深隧系统(一条17.50 km主隧和一条1.70 km支隧)及配套的地表完善系统(沙湖提升泵站、二郎庙预处理站、落步嘴预处理站、武东预处理站)。

2020年12月31日,该工程正式投入商业运营,截至2022年11月2日,累计输送污水量超过 4×10^8 m³。

2 调度相关设施

深隧系统调度涉及上、下游相关设施的拓扑结构如图1所示。

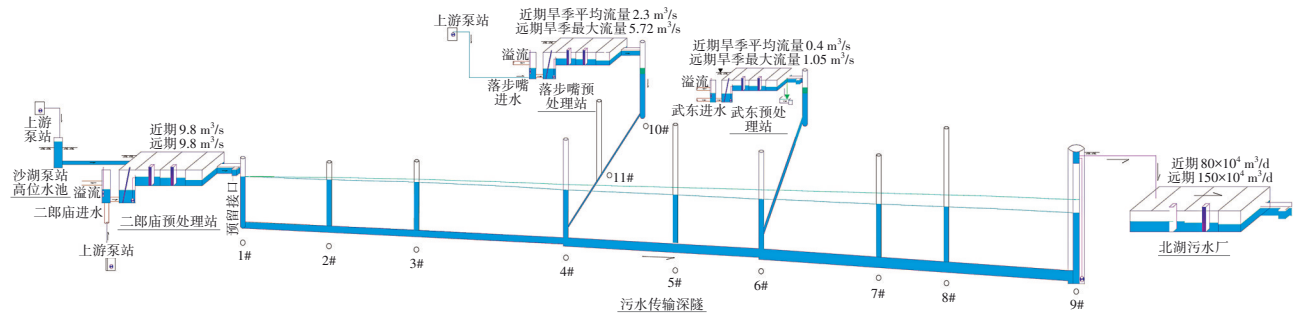


图1 深隧系统调度上、下游设施拓扑图

Fig.1 Topology diagram of upstream and downstream facilities of deep tunnel system

深隧系统中沙湖泵站进水主要来自上游5个泵站,出水通过管网输送到二郎庙预处理站。二郎庙预处理站将污水进行预处理后,通过1#竖井由主隧输送到北湖污水厂。落步嘴预处理站的进水主要来自上游7个泵站,预处理后的污水通过10#竖井由支隧连接主隧输送到北湖污水厂。武东预处理站的进水主要来自上游2个泵站及武东街区污水,预处理过后的污水通过6#竖井由主隧输送到北湖污水厂。

深隧系统的下游为已投产的北湖污水处理厂,近期设计规模 80×10^4 m³/d,远期设计规模为 150×10^4 m³/d,出水主要指标执行一级A标准(其中COD \leq 40 mg/L、NH₄⁺-N \leq 2 mg/L),污水处理达标后抽排入长江。

3 调度方案

深隧系统的上下游调度工作由武汉市水务局全面统筹、总体协调其他14家相关单位,明确分工,统一行动。湖北大东湖深隧工程建设运营有限公司(项目公司)作为深隧系统的运营管理机构,负责深隧系统内的站、隧、管网的调度管理,并按下游北

湖污水厂的生产水量需求,进行系统内水量分配。根据运行调度场景不同,调度方案分为晴天、雨天、应急调度方案。

3.1 晴天调度方案

3.1.1 沙湖提升泵站调度

沙湖提升泵站设计处理水量1.00 m³/s,设计传输水量3.60 m³/s,工艺流程如图2所示。

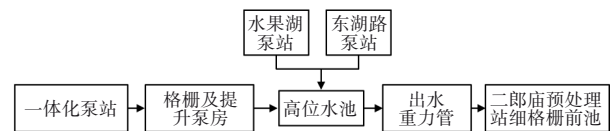


图2 沙湖提升泵站工艺流程

Fig.2 Process flow of Shahu lift pump station

晴天的泵站调度内容主要包括:根据上游沙湖大道污水管网来水量,首先开通一条进水闸门通道及开启2台提升泵,通过预先设定的提升泵池液位(1.40~7.18 m)来调整泵的频率。当上游来水量增加、提升泵池液位升高、2台泵满负荷运转时,及时开启另一条进水通道及第3、4台泵,保证提升泵池的液位处于设定范围。当上游来水量及提升泵池

液位逐渐下降时,通过逐渐调低泵频率到40%时再关停泵的方式,调降输水量以保证提升泵房液位处于设定范围;当上游来水量稳定且采用单一通道进水时,每隔一周进行一次通道及泵的切换,避免提升泵长期停用而出现故障。根据高位水池的液位变化(1.20~7.27 m),首先保证上游来水量应收尽收。当高位水池液位逼近设定上限(7.27 m)时,协调上游水果湖泵站、东湖路泵站的运营管理机构调度、控制来水量。

3.1.2 二郎庙预处理站调度

二郎庙预处理站设计接收上游泵站来水总量不超过9.80 m³/s,工艺流程如图3所示。

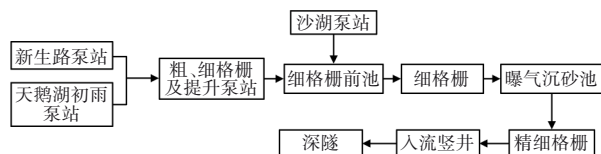


图3 二郎庙预处理站工艺流程

Fig.3 Process flow diagram of Erlangmiao pretreatment station

晴天预处理站调度内容主要包括:根据上游新生路泵站及二郎庙片区污水管网来水量,首先开通一条进水闸门通道及开启3台提升泵,通过预先设定的提升泵池液位(2.20~7.52 m)控制泵的频率。当上游来水量增加、提升泵池液位升高、3台泵满负荷运转时,及时开启另一条进水通道及第4、5台泵,保证提升泵池的液位处于设定范围。当上游来水量减少及稳定时,泵站运行方式同上。沙湖泵站来水汇入预处理站的细格栅前池,不作调度,应收尽收。通过1#入流竖井液位变化(10.82~23.67 m)控制处理后的污水入隧流量。

3.1.3 落步嘴预处理站调度

落步嘴预处理站设计接收上游泵站来水总量不超过5.70 m³/s,工艺流程如图4所示。

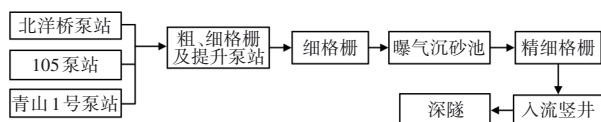


图4 落步嘴预处理站工艺流程

Fig.4 Process flow diagram of Luobuzui pretreatment station

晴天预处理站调度内容主要包括:根据上游片区污水管网来水量,首先开通一条进水闸门通道及开启3台提升泵,通过预先设定的提升泵池液位

(2.50~7.25 m)控制泵的频率。当上游来水量增加、提升泵池液位升高、3台泵满负荷运转时,及时开启另一条进水通道及第4、5台泵,保证提升泵池的液位处于设定范围。泵站运行方式同上。通过10#入流竖井液位变化(2.00~7.63 m)控制处理后的污水入隧流量。

3.1.4 武东预处理站调度

武东预处理站设计接收上游泵站来水总量不超过2.40 m³/s,工艺流程如图5所示。

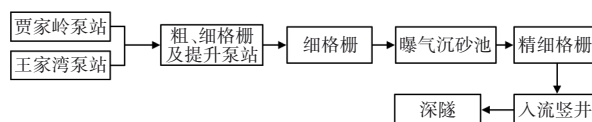


图5 武东预处理站工艺流程

Fig.5 Process flow of Wudong pretreatment station

晴天预处理站调度内容主要包括:根据上游片区污水管网来水量,首先开通一条进水闸门通道及开启3台提升泵,通过预先设定的提升泵池液位(2.50~8.55 m)控制6台泵的频率。当上游来水量增加、3台泵满负荷运转时,及时开启另一条进水通道及第4、5台泵,保证提升泵池的液位处于设定范围。当上游来水量减少及稳定时,泵站运行方式同上。通过6#入流竖井液位变化(2.50~6.35 m)控制处理后的污水入隧流量。

3.1.5 深隧调度

深隧设计正常运行流速为0.65~2.50 m/s,压力流运行。深隧不同管段设计运行流量如表1所示。

表1 深隧系统不同竖井段设计流量

Tab.1 Design discharge of different shaft sections of deep tunnel system

		m ³ ·s ⁻¹			
设计工况		1#~4#	10#~4#	4#~6#	6#~9#
近期	旱季平均流量	5.67	2.30	7.97	8.37
	旱季最大流量	7.37	3.00	10.37	10.89
	雨季流量	7.37	3.00	10.37	10.89
远期	旱季平均流量	6.37	4.40	10.77	11.60
	旱季最大流量	8.28	5.72	14.00	15.00

晴天深隧调度内容主要包括:调配3个预处理站入隧流量,控制深隧的流量及流速;当深隧流速低于设计最低值(0.65 m/s)时,通过调度沙湖港、二郎庙片区、落步嘴片区污水,提高深隧流量及流速,预防淤积;当深隧淤积报警时,通过调度沙湖泵站与3个预处理站的入隧流量,短时间内大幅提高深隧流速进行淤积物冲刷。

3.2 雨天调度方案

雨天及汛期深隧系统服务区域汇水量增加,系统调度控制逻辑如图6所示。

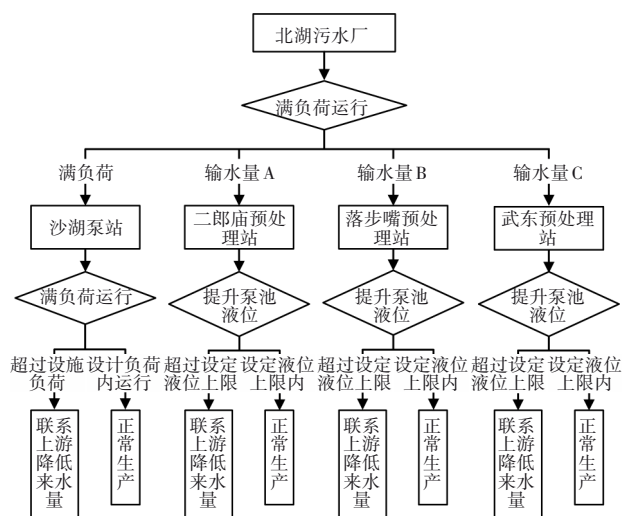


图6 深隧系统调度控制逻辑

Fig.6 Scheduling control logic of deep tunnel system

① 北湖污水厂满负荷运行时,根据3个预处理站的设计能力及现状水量,统一分配调度各站点入隧流量,原则为优先保障二郎庙预处理站(服务主城区)的入隧量,其次为落步嘴预处理站,最后为武东预处理站。

② 沙湖泵站满负荷运行时,需保障污水快速输送至二郎庙预处理站后入隧。当上游来水量超过沙湖泵站抽排能力时,及时通报调度指挥部,协调上游泵站减少来水量,并做好溢流、排涝准备。

③ 二郎庙预处理站上游来水量陡增、超过设计处理流量时,按旱季最大流量入流深隧,多余污水溢流。为确保厂区安全,及时通报调度指挥部,协调上游泵站减少来水量。

④ 落步嘴、武东预处理站根据北湖污水厂调度分配水量运行。当上游来水量超过设计处理量时,调度操作同二郎庙预处理站。

3.3 应急调度预案

基于项目运营阶段可能发生的重大生产事件,项目公司主要拟定了两类突发事件的应急调度预案:项目层面紧急停产(供电问题导致)的应急调度和下游污水厂紧急减(停)产(供电问题或其他生产事故导致)的应急调度。

3.3.1 项目层面紧急停产的应急调度

提升泵站及预处理站均采用双回路供电,当一

条线路停电,则倒闸至另一路电源,并尽快恢复站点正常生产运行。同时做好倒闸情况记录,上报总调度室,并通知相关单位及时维修。当某站点双回路均停电时,应立即向下游北湖污水厂及上游泵站通报停产情况,并通知相关单位及时维修。下游北湖污水厂根据污水厂提升泵房的液位情况,机动调整提升泵工作频率及开启台数,保持深隧系统的满流运行。上游相关泵站则根据来水情况,及时通报上级主管部门,根据指令开启闸口排水。

3.3.2 下游污水厂紧急停产的应急调度

当下游北湖污水厂由于停电或生产事故导致大幅减产或停产时,提升泵站及预处理站则依据水量调度指令,减频运行或停产,并及时通报上游泵站调降或停止来水。当上游来水量过多时,及时通报上级主管部门,适时启动站点溢流操作。

4 调度总结

4.1 深隧调度总结

深隧系统配套建设的智慧运营平台于2021年7月正式投入使用,截至2022年10月,深隧系统调度的流速控制情况见图7。深隧流速月平均最大值为0.91 m/s,最小值为0.66 m/s,平均值为0.76 m/s,均高于设计最低流速(0.65 m/s),未启动应急补水措施。依托智慧运营平台构建的深隧淤积模型^[6],未识别到深隧存在中、高风险的淤积。

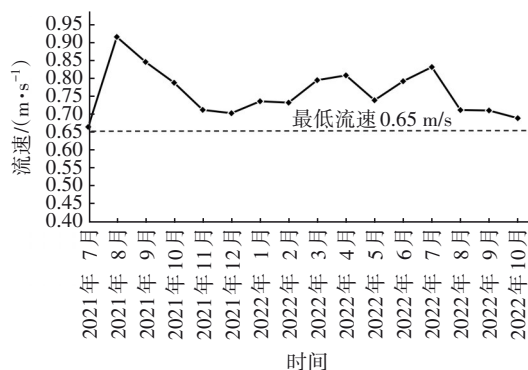


图7 深隧系统流速控制情况

Fig.7 Velocity control of deep tunnel system

截至2022年10月,深隧系统调度的流量控制情况见图8。深隧月平均输送水量均低于下游北湖污水处理厂近期设计处理水量(80.00×10⁴ m³/d),最大值为67.75×10⁴ m³/d,最小值为52.22×10⁴ m³/d,平均值为59.09×10⁴ m³/d。其中,二郎庙预处理站月平均值为47.34×10⁴ m³/d,落步嘴预处理站月平均

值为 $9.18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 武东预处理站月平均值为 $2.57 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

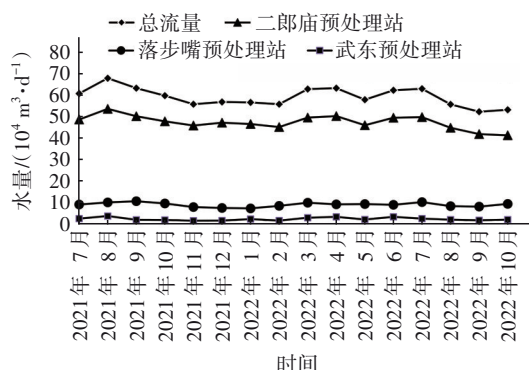


图8 深隧系统月输送水量情况

Fig.8 Monthly wastewater transmission of deep tunnel system

4.2 泵站、预处理站调度总结

2021年7月—2022年10月,沙湖提升泵站及二郎庙、落步嘴、武东预处理站调度中主要参数(提升泵房液位、入流竖井液位)均位于设定的正常工作范围(见表2),无重大调度安全事件发生。

表2 泵站、预处理站主要参数控制情况

Tab.2 Control of main parameters of pump station and pretreatment station

站点	指标	设定范围	平均值	最大值	最小值
沙湖提升泵站	提升泵房液位	1.40~7.18	4.21	4.83	3.73
	高位水池液位	1.20~7.27	4.06	4.43	3.54
二郎庙预处理站	提升泵房液位	2.20~7.52	5.16	5.93	4.61
	竖井液位	10.82~23.67	16.99	18.04	15.84
落步嘴预处理站	提升泵房液位	2.50~7.25	6.39	6.69	5.78
	竖井液位	2.00~7.63	6.19	7.05	5.28
武东预处理站	提升泵房液位	2.50~8.55	4.44	5.31	3.58
	竖井液位	2.00~6.35	2.64	3.77	2.24

5 问题与思考

5.1 深隧系统调度的上下游组织与分工

为实现深隧系统调度的上下游实时同步联动,项目公司多次联动市水务局,协同深隧系统上下游的相关管理单位,在项目投产前经过各方多轮沟通协商、专家论证,最终形成了由多达14家单位组成的联合调度柔性工作组,并明确了不同单位的职能分工及整体调度方案。

截至目前,深隧系统上下游的水量调度整体平稳,未出现由于上游来水量激增产生的应急调度事

件。一方面可能是因为近两年深隧服务区域内未出现极端降雨天气导致上游来水量激增,另一方面可能是因为计划逐步拆除的3座现状污水处理厂仍处于正常使用状态,末端北湖污水处理厂的投用增加了深隧系统下游污水处理能力。

5.2 上中下游调度形式及智慧运营平台

本项目配套建设了深隧智慧运营系统,通过实现项目日常生产、设备管养、深隧调控等功能全在线^[7],提升深隧系统的运营管理效率。目前深隧上中下游调度是以线上工作群组的形式开展,遇突发应急情况则由应急调度指挥部(设在排水公司调度室)进行实时沟通、协调、调度。

苏州、上海在整个城市范围内探索性地建立了排水管网智慧运行管控系统^[8-9],但整体实施效果、投入产出比等仍有待验证。目前通过建立智慧运营平台对深隧上中下游进行统一调度,限制因素较多:一是深隧上游泵站及下游北湖污水厂系不同单位运管,将其纳入一个智慧系统进行统一运管,实施难度较大;二是仅有少数设施或项目建立了智慧运营系统,还需建设大量数据采集、传输、存储、分析、应用等软硬件,投资较大;三是已建立的相关设施智慧系统系不同服务商承建,所采用的软硬件数据接口、网络协议标准、底层架构等存在较大差异,实现不同系统间的有效兼容存在一定困难。

5.3 防淤积调度设计及现状

深隧系统在设计阶段出于后期免维护或少维护的考虑,针对性地进行了多种防淤积设计,如设置最低流速、搭建淤积模型、淤积后冲刷等。项目经过近两年的商业运行后,通过设置在深隧管道(3#竖井、4#竖井、6#竖井、7#竖井)中的监测设备,未发现管道中存在中、高淤积风险(>10 cm),均为低淤积风险。3#、4#竖井处监测设备监测到存在淤积天数均为70 d,平均淤积厚度为1.63 cm,最大淤积厚度为4 cm。6#竖井处监测设备监测到存在淤积天数为208 d,平均淤积厚度为2.72 cm,最大淤积厚度为7 cm。7#竖井处监测设备监测到存在淤积天数为294 d,平均淤积厚度为1.29 cm,最大淤积厚度为3 cm。深隧系统防淤积设计在项目运营期应用状况良好,可供后续类似工程项目参考。

6 结论

① 组建了包括武汉市、区水务局,市水务集

团、排水公司、项目公司等单位的联合调度柔性工作组,明确职能分工,制定联合调度方案,依托线上方式实现了深隧系统上下游的高效联合调度。目前,该项工作开展顺利,无重大应急事件发生。

② 配套建设了深隧智慧运营系统,通过实现项目日常生产、设备管养、深隧调控等功能全在线,显著提升了项目运营管理效率。受限于上下游调度设施及运管单位多,需投资大量资金购置软硬件,已建不同智慧运营平台系统兼容性问题,现阶段大东湖深隧系统上下游运行调度采用“线上+线下”相结合的运行模式,未来深隧系统上下游的整体运行调度在高效、智慧方面仍有较大提升空间。

③ 在设计阶段通过设置最低流速、搭建淤积模型、淤积后冲刷等措施,以实现深隧管道免维护或少维护的目标。项目近两年的运行实践证明,应用效果良好,可供后续类似工程项目参考。

参考文献:

- [1] 李昂臻,沈旭,王勇,等. 陕西省省级城市内涝治理实施方案编制的探索与思考[J]. 中国给水排水, 2022, 38(12):125-131.
LI Angzhen, SHEN Xu, WANG Yong, *et al.* Exploration and reflection on the compilation of the provincial implementation plan of urban waterlogging control in Shaanxi Province[J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(12):125-131(in Chinese).
- [2] 汤舒,吴学伟,孙志民,等. 国外深隧排水系统调度运行方案的启示[J]. 隧道建设, 2017, 37(4):449-454.
TANG Shu, WU Xuewei, SUN Zhimin, *et al.* Inspirations from management and operation of deep tunnel drainage systems abroad [J]. Tunnel Construction, 2017, 37(4): 449-454(in Chinese).
- [3] 周午阳,王广华,张文,等. 深层隧道与浅层管渠排水系统调度策略研究[J]. 中国给水排水, 2020, 36(22): 1-6.
ZHOU Wuyang, WANG Guanghua, ZHANG Wen, *et al.* Research on scheduling strategy of deep tunnel and shallow drainage system[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(22):1-6(in Chinese).
- [4] 王广华,周建华,李文涛,等. 典型深隧排水系统运行与维护研究[J]. 给水排水, 2021, 47(5):128-134.
WANG Guanghua, ZHOU Jianhua, LI Wentao, *et al.* Operation and maintenance of typical deep tunnel drainage system[J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(5): 128-134(in Chinese).
- [5] 杜立刚,邹惠君,饶世雄,等. 武汉市大东湖核心区污水深隧传输系统工程设计[J]. 中国给水排水, 2020, 36(2):74-78.
DU Ligang, ZOU Huijun, RAO Shixiong, *et al.* Design of Dadonghu core area wastewater deep tunnel transmission system project in Wuhan [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(2): 74-78(in Chinese).
- [6] 杨杏勃,李胡爽,江涛,等. 大东湖核心区污水深隧智慧调度与管理系统设计[J]. 中国给水排水, 2021, 37(14):151-156.
YANG Xingbo, LI Hushuang, JIANG Tao, *et al.* Design of smart dispatch and management system for sewage deep tunnel in core district of Great East Lake[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(14): 151-156 (in Chinese).
- [7] 曾磊,周毅,王小虎,等. 大东湖核心区污水深隧智慧管控平台的设计与应用[J]. 给水排水, 2022, 48(6): 151-156.
ZENG Lei, ZHOU Yi, WANG Xiaohu, *et al.* Design and application of intelligent management and control platform for sewage deep tunnel in the core area of Dadong Lake [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(6): 151-156(in Chinese).
- [8] 吴志钢,范子武,洪磊,等. 苏州城区活水联控联调系统架构设计[J]. 水利信息化, 2022(5):69-73.
WU Zhigang, FAN Ziwu, HONG Lei, *et al.* Framework design of joint control and regulation system for water circulation in Suzhou urban area [J]. Water Resources Informatization, 2022(5): 69-73(in Chinese).
- [9] 时珍宝,庄敏捷,严寒. 智慧化趋势下的上海排水行业信息化建设[J]. 净水技术, 2020, 39(8): 143-146, 173.
SHI Zhenbao, ZHUANG Minjie, YAN Han. Informatization construction of Shanghai drainage industry under the trend of intelligentization [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(8): 143-146, 173 (in Chinese).

作者简介:曾磊(1988-),男,湖北襄阳人,博士,工程师,主要研究方向为污水处理技术及运营管理。

E-mail:547143076@qq.com

收稿日期:2022-11-18

修回日期:2023-01-12

(编辑:衣春敏)