

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.10.003

# 城市排水系统旱季阶段性冒溢成因及对策建议

李文秋<sup>1,2</sup>, 张 维<sup>1,3</sup>, 孙永利<sup>1,2,3</sup>, 刘 静<sup>1,2,3</sup>, 马换梅<sup>1,3</sup>,  
李鹏峰<sup>1,2,3</sup>, 隋克俭<sup>1,2</sup>, 李家驹<sup>1,2</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074; 2. 天津市城市排水系统重点实验室, 天津 300074; 3. 国家城市给水排水工程技术研究中心, 天津 300074)

**摘 要:** 城市排水系统旱季阶段性冒溢对生活污水污染物的收集处理和排水系统的安全稳定运行造成了不利影响。从污水收集管道长期高水位运行对管网调蓄能力的影响,城市河湖水、地下水、山泉山溪水、工业企业废水、施工降水、商业娱乐活动排水等非生活污水排入挤占管网空间和瞬时排入形成的冲击影响等方面,探讨了城市排水系统旱季阶段性冒溢的成因。在此基础上提出逐步降低污水收集管道的运行水位、将非生活污水溯源清退作为重点工作方向,以及进一步强化排水户监管和管网日常维护管理等工程和管理对策建议。

**关键词:** 旱季阶段性冒溢; 污水管网高水位运行; 非生活污水入流入渗; 溯源清退

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)10-0017-06

## Causes and Countermeasures of Periodic Overflow of Urban Drainage System in Dry Season

LI Wen-qiu<sup>1,2</sup>, ZHANG Wei<sup>1,3</sup>, SUN Yong-li<sup>1,2,3</sup>, LIU Jing<sup>1,2,3</sup>, MA Huan-mei<sup>1,3</sup>,  
LI Peng-feng<sup>1,2,3</sup>, SUI Ke-jian<sup>1,2</sup>, LI Jia-ju<sup>1,2</sup>

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China; 2. Tianjin Key Laboratory of Urban Drainage System, Tianjin 300074, China; 3. National Engineering Technology Research Center for Water & Wastewater, Tianjin 300074, China)

**Abstract:** The periodic overflow in dry season has negative impact on the centralized collection and treatment of urban domestic sewage. It is also unfavorable to the safety and operation stability of the drainage system. This paper discusses the causes of periodic overflow of urban drainage system in dry season including the following two aspects: I) reduced storage capacity of the pipe network due to the long-term operation of sewage collection pipes with high liquid level, II) non-domestic sewage discharge into the pipe network space, such as urban river and lake water, groundwater, mountain springs and streams, industrial enterprise wastewater, construction dewatering, commercial and recreational drainage, etc. On this basis, some engineering and management countermeasures and suggestions are put forward, such as gradually reducing the liquid level of sewage collection pipelines, focusing on the tracing to the source and removal of non-domestic sewage, strengthening supervision of drainage households and daily

基金项目: 企业自立课题(2023-30-HJY)

通信作者: 张维 E-mail: chinawei1983@163.com

maintenance and management of pipe network.

**Key words:** periodic overflow in dry season; operation of sewage pipe network with high liquid level; non-domestic sewage infiltration; tracing to the source and removal

近年来,我国城市排水系统得到不断建设和完善,对推动城镇高质量发展和改善人居环境起到了重要作用。但是,排水系统旱季冒溢直排问题仍普遍存在,与《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》提出的“全收集、全处理”目标,以及《“十四五”城镇污水处理及资源化利用发展规划》明确的“建设高质量城镇污水处理体系”发展方向存在较大差距,成为排水行业亟需解决的现实问题。统计结果表明,我国大部分城市污水处理能力已经接近甚至超过其供水水平<sup>[1]</sup>,设施能力不足、系统性缺乏带来的旱季长期冒溢问题已明显减少,而污水收集管网长期高水位运行、大量非生活污水流入渗、管道淤积等多因素叠加影响下的阶段性冒溢问题逐渐突显,不仅降低了城市生活污水集中收集处理水平,对排水系统的安全稳定运行也造成了不利影响。从我国城市排水系统的运行维护现状出发,探讨分析了旱季阶段性冒溢问题及成因,并提出有针对性的工程和管理对策建议,以期为各地排水系统旱季阶段性冒溢问题诊断、管网改造修复及运维管理提供思路 and 参考。

### 1 旱季阶段性冒溢问题及成因分析

对于排水系统旱季冒溢直排,尤其是阶段性冒溢直排的根本成因,目前行业内鲜有人深入研究,且尚未形成共识。张善发<sup>[2]</sup>提出,导致旱天溢流污染的直接原因有排水系统不完善,污水无正常出路;施工、沉管、设备故障、断电事故造成排水系统收集功能缺失;雨、污管道系统混接错接造成分流制雨水系统旱天污水溢流;合流制截流系统功能不完善;地下水、转输水导致下游收集系统超负荷等多方面因素。张彦晶等<sup>[3]</sup>将污水冒溢列入城市排水系统运行六大风险事件之一,明确冒溢风险的影响因子包括管网排水能力、管道淤积状况和外水入侵状况。而更多的研究人员和排水从业者将旱季冒溢原因简单归结为输水管道输送能力不足、污水处理设施能力不足等表象问题。因此,理论上具备一定调蓄空间和水量缓冲能力的城市排水系统为何仍会频发冒溢问题,是需要进一步研究和探讨的

话题。

#### 1.1 高水位运行模式降低了管网调蓄能力

按照标准规范要求设计建设的污水收集管网(包括合流制管网和分流制污水管网),旱季时均为非满流状态,其自身具备一定的空间余量和调蓄能力。《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)规定,管径200 mm以上的分流制污水管道的最大设计充满度为0.55~0.75,为了确保不因过度建设造成资源浪费,管径越大,最大设计充满度也越大;以管径1 000 mm的污水管道为例,即使按照最大设计充满度(0.75)运行,每100 m的管道约有15 m<sup>3</sup>的空间,100 km管道的调蓄空间则将近1.5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。合流制管道虽然按满流计算设计,但在旱季由于不存在雨水汇入,即使是截流倍数为1的合流制系统,管道充满度也仅0.5左右,长度100 km、管径1 000 mm管道的调蓄空间则为3.9×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,接近分流制污水管道的3倍;如果采用最新规范建议的2~5倍的截流倍数,其调蓄空间则更大。

因此,按照设计要求低水位运行的污水收集管网,其自身的调蓄空间至少是设计流量的40%,可以有效缓解居民用水高峰以及其他少量外水入侵形成的水量冲击。但由于受到城市河湖高运行水位、高地下水水位或污水处理厂集水池高水位运行模式的影响,我国大部分城市污水管道长期处于高水位甚至满管运行状态,很大程度上削减了管道应有的调蓄空间,对水量冲击的缓冲应对能力明显下降甚至完全丧失。因此,高水位运行的污水管道遇到居民用水高峰或者其他外水排入导致污水阶段性排入量大于管网调蓄空间和下游排水能力之和时,必然会在系统薄弱点位形成冒溢问题。王笏勇等<sup>[4]</sup>对某城市主城区3个分流制排水分区的污水管道进行了连续2 d的水位监测,发现其中1个污水系统主干管47%的时间处于满流状态,其他2个系统一直处于满流状态,认为冒溢风险极大。方刚等<sup>[5]</sup>在深圳茅洲河流域也发现了同样的问题,某水质净化厂进水泵房运行水位与设计水位的对比结果显示,该污水系统长期高水位运行,导致上游管道中

污水经截流井进入雨水系统,并最终通过河道旁的低高程雨水口排入自然水体。

此外,高水位运行模式下的管道污染物沉积问题更加突出,管道有效过水面积减少导致管道调蓄和输送能力进一步降低,加剧了旱季冒溢排放的风险。高水位运行的分流制污水管道,旱天基本上达到了满流状态,在水量不变的情况下,流速将比设计充满度条件下降低20%~34%,实际旱天流速降至0.4 m/s左右;而高水位运行的合流制管网和超前规划建设的分流制污水管网流速则下降更多,很多管道的旱天流速仅为0.1 m/s左右,接近于传统沉淀池的运行状态。低流速条件下污水中的颗粒污染物不断在管道底部沉积,尤其当前多数城市尚未建立完善的管网清淤运维机制,雨季来临前底泥沉积厚度超过管道直径30%的情况仍然比较常见,部分管段甚至超过了50%,该问题在合流制管网中表现得更加突出。晴天高水位、满管流运行给管道的清淤养护也带来较大难度,尤其是大管径、高埋深污水主干管通常不具备检修和清淤条件,成为很多城市难以短时间内恢复管网自身调蓄能力的重要原因。

## 1.2 非生活污水排入挤占了管网空间

为满足短期内快速消除城市水体黑臭的国家目标要求,很多城市实施了末端截流、沿河截污工程,叠加城市河湖水体高水位顶托、管道质量问题、排污/排水许可监管执行不到位等多方面因素影响,河湖水、山泉山溪水、施工降水、地下水、工业企业废水等非生活污水入流入渗和倒灌污水收集管网的问题非常普遍,部分地区还存在微污染水通过雨水管道末端截流排入污水管道的情况,由此增加的水量负荷可达20%甚至更高<sup>[6-8]</sup>。非生活污水排入污水管网,不仅会降低城镇生活污水的污染物浓度<sup>[9]</sup>,还会严重侵占管网、泵站和污水处理厂的运行空间,尤其存在管道高水位运行、管道淤积等不利情况时,更进一步降低了排水系统的调蓄能力,这是现阶段导致大部分城市发生旱季阶段性冒溢直排的主要原因。

河湖水入流污水管网是高水位河湖城市的常见问题,在水体水位与周边污水管网运行水位的“压力差”作用下,河湖水通过管网薄弱环节入渗入流污水管网,或间接通过雨水排口或溢流口倒灌进入污水管网,甚至是末端截流直接进入污水系统,是河湖沿线污水系统主要的外水来源。山泉山溪

水入流入渗在南方水系发达地区较为普遍,有的是山泉水汇流成地表坑塘或径流,由于没有其他排放通道,最终只能进入污水管网;有的则是经浅层地下通道排出过程中遇到地面建筑或其他设施阻断,只能提升排入市政排水管网。地下水入流入渗则通常发生在地下水水位线之下的污水干管,尤其是污水处理厂前或泵站前的污水管网,这也是很多污水处理厂无法降低集水井运行水位的一个重要原因。施工降水排入虽然大多是阶段性的排水行为导致,但是随着地铁等大量市政基础设施工程项目的建设实施,由此产生的深基坑排水和施工降水的管道排入量也不容小觑。实地调研发现,部分城市还存在温泉水、采暖水、公共浴室水及泳池水等污水不连续排入等问题,对排水系统也形成了显著的瞬时水量冲击。

城镇居民生活污水的产生排放具有明显的时变化特征,孙永利等<sup>[10]</sup>测得常州某楼宇居民生活污水最高瞬时排水量达到17.25 L/(人·d),最低瞬时排水量仅为1.56 L/(人·d),最大时排放量与日均时排放量、最小时排放量的比值分别为1.92、11.09。据此可以推测,无论是从居民居住区、商业区还是办公区排放的生活污水,即使经过了管道收集混合过程,仍然会表现出排放高峰和低谷的水量波动,有的节点可能表现出一定规律,更多的则可能是无规律的水量波动,这与姜尚文等<sup>[11]</sup>在重庆某污水干管监测得到的流量变化情况基本一致。当无规律的居民生活污水排放叠加持续性的大量城市河湖水、山泉山溪水、地下水和工业企业废水排入,或者阶段性和不定期的施工降水、商业娱乐活动废水排入,尤其是当居民生活污水排放的高峰与非生活污水的排入高峰时段重合时,大概率会导致上游污水排入量远高于管道的转输能力,管道水位不断升高并在高程较低的检查井或者下游污水处理厂前形成旱季冒溢直排就成为无法避免的现实问题。例如,南方某城市一处商业娱乐场所每天13:00—15:00向下水道排放3 000 m<sup>3</sup>左右的废水,导致下游1 km处的合流制溢流口每天14:00—16:00期间产生非常严重的冒溢污染问题,而其他时段几乎没有冒溢,这是临时排水导致排水系统旱季阶段性冒溢的典型案列。

## 2 旱季阶段性冒溢控制对策

优化排水系统运行模式,逐步降低污水收集管



网的日常运行水位,控制河湖水、地下水、山泉山溪水等非生活污水入流入渗,规范施工降水、工业企业废水排入管理是现阶段解决我国城市排水系统旱季阶段性冒溢问题的有效途径。排水管网旱季降水水位是一项系统性工程,不仅需要城市涉水设施的综合协调、全面的管道质量提升以及多部门间的协作配合,更需要综合考虑排水设施的竖向布局。非生活污水的入流入渗管控,需要调研评估各类外水的排入量和排入影响,按照相关政策规范要求,明确清退的可行性和具体实施路径。总之,需要从导致冒溢的根源入手,综合采取工程和管理措施,根据实际情况确定实施优先序,才能利用有限的资源和资金快速解决旱季冒溢污染问题,提升排水系统收集处理效能。

### 2.1 逐步降低污水收集管道运行水位

污水收集管网旱季冒溢控制,不仅要考虑冒溢点上游污水总量,还要兼顾污水量的变化特征,尤其是瞬时大流量的排水情况,当水量增长时间段内管道调蓄空间大于水量持续增长期间来水量和下游排水量的差值时,虽然管网运行水位会有升高,但一般不会发生冒溢问题;但是当管道运行水位达到冒溢点高度,且上游来水量仍大于下游排水量时,污水管网的冒溢风险就会增加。通过加高溢流点位堰高也可以增大管网调蓄空间,临时解决冒溢问题,但同时也意味着整个管道水位的提升,可能会引起上下游其他点位的冒溢问题。因此,不断优化污水收集管网运行模式,逐步降低管道运行水位,恢复管道应有调蓄空间和运行韧性,是现阶段应对排入水量波动所引发的阶段性冒溢、构建健康可持续排水系统的重要举措。

通过对污水处理厂前或提升泵站前的大埋深污水管道周边河湖水、地下水水位与污水管道中心线标高的对比分析,研究制定通过降低集水井或提升泵站运行水位实现管道水位降低的实施方案。实施管道降水位的难点在于,我国很多城市的污水收集主干管动辄十几米至几十米的埋深,且大部分位于城市地下水位线之下,可能与城市河湖或地下水之间形成连通通道,部分通道还涉及城市排水安全等问题,这种情况下贸然降低管道运行水位必将导致更多的河湖水或地下水入流入渗污水管网。因此,实施管道降水位需要提前研判城市河湖水的倒灌风险,同时做好管道薄弱点位的改造修复和整

体质量提升。广州西朗污水处理系统提质增效实践经验很好验证了管网水位与河道水位协同降低的工作成效,毛艳荣等<sup>[12]</sup>指出,通过逐步恢复河涌水位,管网水位大幅下降,腾出了排水空间,为应对污水溢流问题而建的 $2.2\times 10^4\text{ m}^3$ 临时处理设施也全面停止运行。

### 2.2 将非生活污水溯源清退作为重点方向

当旱季污水管道入流总量超过服务范围内居民生产生活用水量的1.5倍时,应将非生活污水的溯源清退作为重点工作方向。从源头排查各类非生活污水的排入点位、排入水量和排放时间,尤其关注城市水体沿线水体倒灌和大埋深污水管道的入流入渗问题,分析瞬时排入量与管道输水能力、调蓄空间的关联关系,统筹协调城市各类涉水设施,科学开展城市河湖水、施工降水、山泉山溪水、工业废水等非生活污水溯源整治,逐步恢复管网设计运行条件和调蓄空间,是现阶段缓解大部分城市,尤其是南方水系发达地区旱季阶段性冒溢污染,提升污水收集处理系统运行效能的有效途径。

建议综合评估各类非生活污水的排入影响以及清退可能性,结合城市管网建设和修复改造计划,分类制定各类外水的清退和治理方案。对于非生活污水中大部分为河湖排口倒灌水的,可将管网沿线河湖水水位高于冒溢点位标高的区段作为倒灌的最大风险区段,结合河湖水水位和管道运行水位的比对结果,进行渗漏/倒灌点位的排查识别和整治,并优先通过降低河湖运行水位的方式解决;南方某规模为 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 且长期厂前冒溢的污水处理厂在上游河道降水位清淤治理期间,日处理水量锐减至不足 $6\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,充分说明了降低城市水体运行水位对减少河湖水倒灌的积极贡献。排水中包含施工降水的,应按照最新修订的《城镇污水排入排水管网许可管理办法》要求,优先利用和补给水体;因施工作业需要向城镇排水设施排入污水的,由建设单位申请领取排水许可证,但此时要考虑施工污水排入量和对水质的影响。对于不符合最新纳管要求,尤其是可能对城市污水收集处理系统产生不利影响的工业企业废水,应按照《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》的有关要求进行评估和清退,符合清退条件的工业废水可通过自建施处理达标后排放。广州针对猎德污水系统旱季溢流和处理效能低的问题,通过采取清污分

流、管网修复、疏堵政策性外水等一系列工程和管理措施,清除山水、江河水、地下水等外水约  $29 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,不仅腾出了管容,污水处理厂进水污染物浓度也得到显著提升<sup>[13]</sup>。

但是,很多非生活污水在短时间内完成清退的难度非常大,尤其是达到相对较高排放标准的工业废水、水源热泵排水、山泉山溪水等,且部分城市排入城市下水道的“清水”量非常可观,而这些水现阶段通过工程措施或技术手段又难以从城市污水系统中清退,成为设施空间挤占、城镇污水处理厂进水污染物浓度较低的重要原因。可考虑将长期无法从污水收集系统清退的各种“清水”纳入收集和处理范围,并按照掺混后可能形成的水量、浓度、污染负荷进行污水收集和处理工程设计。此外,在永久性设施规划建设期间,建议通过设置临时处理设施等措施解决溢流污染问题。

### 2.3 强化排水户监管和管网维护管理

强化对工业企业废水尤其是各类商业娱乐类排水户的排水监管,加强污水收集管网日常清通维护,为控制旱季阶段性冒溢、保障排水系统安全稳定运行提供重要基础。通过延长温泉水、公共浴室水及泳池水等排水户的排水时间,减小瞬时入管排水量,或对多个排水户的排水时间进行协调管理,避免出现排入时间或排入量过度集中的情况,也可有效降低由于瞬时排放量增加而形成的冒溢问题。同时,加强市政管网私搭乱接的溯源执法力度,科学规范各类排水户的排水行为,尤其要避免可利用的施工降水、应清退的工业企业废水再次进入污水收集系统。按照《城镇排水管道与泵站运行、维护及安全技术规程》(CJJ 68—2016)等标准规范进行污水收集管网的清淤和日常维护,也将对控制管网沉积、保持管网调蓄能力发挥重要作用,但是,需要注意高水位运行模式下清淤后再次快速沉积的问题,因此建议污水管网清淤应与降水位工作同步实施。

### 3 总结与建议

① 污水收集管道长期高水位运行导致的管网调蓄空间不足,大量城市河湖水、地下水、山泉山溪水、工业企业废水长期排入导致的排水系统超负荷,以及施工降水、商业娱乐活动排水的瞬时排入冲击是导致我国城市排水系统旱季阶段性冒溢的

根本原因。

② 优化污水收集管网运行模式,逐步降低管道日常运行水位,恢复管网应有调蓄空间和调蓄能力,是现阶段有效解决旱季阶段性冒溢直排问题的重要举措;建议污水管网降水位与城市河湖降水位协同实施。

③ 系统调研非生活污水的来源、排入量及排入特征,综合评估排入影响及清退的可行性,科学分类实施清退治理工作,逐步恢复管网设计运行条件,可有效缓解大部分城市尤其是南方水系发达地区旱季阶段性冒溢污染,提升污水收集处理系统运行效能。

④ 建议强化对各类商业娱乐类排水户的排水监管,加强污水收集管网日常清通维护,为旱季冒溢控制和排水系统安全稳定运行提供基础保障。

### 参考文献:

- [1] 中国城镇供水排水协会. 中国城镇水务行业年度发展报告(2021)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2022.  
China Urban Water Association. Annual Development Report of China's Urban Water Industry (2021) [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2022 (in Chinese).
- [2] 张善发. 城镇排水系统溢流与排放污染控制策略与技术导则[J]. 中国给水排水, 2010, 26(18): 31-35.  
ZHANG Shanfa. Strategy and technical guidelines for urban sewer overflow and discharge pollution control [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(18): 31-35 (in Chinese).
- [3] 张彦晶,彭海琴,东阳,等. 城市排水系统运行综合风险评估指标体系构建与应用[J]. 中国市政工程, 2021(6): 88-92, 131.  
ZHANG Yanjing, PENG Haiqin, DONG Yang, et al. Construction and application of comprehensive risk assessment index system for urban drainage system operation [J]. China Municipal Engineering, 2021(6): 88-92, 131 (in Chinese).
- [4] 王笏勇,黄荣敏,骆旭佳,等. 排污管网高水位运行与污水厂进水水质问题研究[C]// 中国环境科学学会. 中国环境科学学会2021年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分会场论文集(一). 北京:中国环境科学学会, 2021: 193-197.  
WANG Huyong, HUANG Rongmin, LUO Xujia, et al. Study on high water level operation of sewage pipe

- network and water quality of sewage treatment plant [C]// Chinese Society for Environmental Sciences. Proceedings of Environmental Engineering Technology Innovation and Application Branch (1) of 2021 Annual Conference of Science and Technology of Chinese Society for Environmental Sciences. Beijing: Chinese Society for Environmental Sciences, 2021: 193-197 (in Chinese).
- [5] 方刚,唐颖栋,楼少华,等. 茅洲河流域水质净化厂污水系统提质增效实践[J]. 中国给水排水, 2022, 38(20): 96-101.
- FANG Gang, TANG Yingdong, LOU Shaohua, *et al.* Practice of improving quality and efficiency of the sewage system of a WWTP in Maozhou River basin [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(20): 96-101 (in Chinese).
- [6] 董进波,汤燕,马顺博,等. 镇江市某城镇污水处理系统外水分析[J]. 中国给水排水, 2022, 38(8): 92-98.
- DONG Jinbo, TANG Yan, MA Shunbo, *et al.* Analysis of extraneous water in an urban sewage treatment system in Zhenjiang [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(8): 92-98 (in Chinese).
- [7] 韩建,李明,马龙,等. 南方某水质净化厂污水系统旱天外水入流调查[J]. 城市勘测, 2022(5): 173-176.
- HAN Jian, LI Ming, MA Long, *et al.* Investigation of the influent extraneous water in the sewer network of a south China sewage treatment plant on dry days [J]. Urban Survey, 2022(5): 173-176 (in Chinese).
- [8] 施翔. 排污管网外来水量评估新策略及工程应用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2021.
- SHI Xiang. Study on New Strategy for Extraneous Water Assessment and Engineering Application in Sewer System [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2021 (in Chinese).
- [9] 孙永利, 吴凡松, 李文秋, 等. 城市生活污水集中收集率和污水处理厂进水浓度问题的思考[J]. 给水排水, 2023, 49(1): 40-45.
- SUN Yongli, WU Fansong, LI Wenqiu, *et al.* Reflections on the centralized collection rate of municipal sewage pollutants and the influent concentration of wastewater treatment plants [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(1): 40-45 (in Chinese).
- [10] 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污规律[J]. 中国给水排水, 2020, 36(6): 1-6.
- SUN Yongli, ZHANG Wei, ZHENG Xingcan, *et al.* Emission regularity of daily domestic sewage pollutant production of urban residents per capita [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(6): 1-6 (in Chinese).
- [11] 姜尚文,陈英健,洪甘林,等. 基于水量水质监测的城市污水干管干预诊断技术研究[J]. 市政技术, 2021, 39(11): 107-111, 133.
- JIANG Shangwen, CHEN Yingjian, HONG Ganlin, *et al.* Research on prognostics technology of urban main sewer based on water quantity and quality monitoring [J]. Municipal Engineering Technology, 2021, 39(11): 107-111, 133 (in Chinese).
- [12] 毛艳荣,卜俊玲,卢宝光,等. 广州市西朗污水处理系统提质增效案例分析[J]. 给水排水, 2020, 46(10): 45-51.
- MAO Yanrong, BU Junling, LU Baoguang, *et al.* Research on quality improvement and efficiency improvement of Xilang sewage treatment system in Guangzhou City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(10): 45-51 (in Chinese).
- [13] 陈君翰,苏健成,张君贤,等. 广州市猎德污水处理系统“一厂一策”系统化整治[J]. 中国给水排水, 2020, 36(22): 7-12.
- CHEN Junhan, SU Jiancheng, ZHANG Junxian, *et al.* “One plant, one policy” for systematic management of Guangzhou Liede sewage treatment system [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(22): 7-12 (in Chinese).

**作者简介:**李文秋(1969—),男,河北南宫人,学士,高级工程师,研究方向为城市水环境治理与数字化管理。

**E-mail:** necw@vip.sina.com

**收稿日期:** 2023-01-10

**修回日期:** 2023-02-19

(编辑: 丁彩娟)