

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.18.020

# 城镇污水处理提质增效中的管网普查

孙广东, 徐丽丽, 芮文武, 吴爽, 周广宇, 李宁  
(中国城市规划设计研究院, 北京 100044)

**摘要:** 为摸清城市排水管网的基本情况,发现管网现存的主要问题,有导向性地开展提质增效的方案拟定与配套工程项目建设,必须率先对城市排水管网开展详细勘察,综合采用在线流量监测、水质化验等手段获取准确数据。结合西南某城市管网普查案例,系统介绍了排水管网普查诊断的全流程,对排水系统进行整体量化分析、诊断评估,抓住污水直排河道、雨污管网混接、管网外水入侵等关键问题点位,缩小排水管网整治范围,为管网改造设计、河道治理提供重要数据支撑,逐步实现“基本消除黑臭水体、城市生活污水集中收集效能显著提高”等目标。

**关键词:** 城镇污水; 提质增效; 管网普查; 水量、水质监测; 外水入侵

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)18-0118-06

## Application and Enlightenment of General Pipe Network Survey in Improving Quality and Efficiency of Urban Sewage Treatment

SUN Guang-dong, XU Li-li, RUI Wen-wu, WU Shuang, ZHOU Guang-yu,  
LI Ning

(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100044, China)

**Abstract:** In order to find out the basic situation and the main existing problems of urban drainage pipe network, formulate the quality and efficiency improvement plans, and construct supporting projects, it is necessary to take the lead in surveying the urban drainage pipe network in detail, and then obtain accurate data comprehensively by online flow rate monitoring, water quality testing and etc.. Combined with the case of the general pipe network survey in a southwest city, the whole process from survey to diagnosis is introduced systematically, the drainage system is quantitatively analyzed, diagnosed and evaluated as a whole. The key points such as the direct sewage discharge point, the mixed junction point of stormwater and sewage pipe network, the intrusion point of external water in the pipe network are taken into account to narrow the scope of the drainage pipe network renovation, and provide important data support for the pipe network renovation design and river management. The goals of basically eliminating black and odorous water bodies, as well as significantly improving the centralized collection efficiency of domestic sewage are gradually realized, thus greatly improving the quality urban living environment.

**Key words:** urban sewage; quality and efficiency improvement; general survey of pipe network; water quantity and water quality monitoring; external water intrusion

基金项目: “十四五”国家重点研发计划“城市内涝风险防控与系统治理关键技术及示范”项目(2001YFC1405)

通信作者: 李宁 E-mail: lining@mail.bnu.edu.cn

针对当前城镇生活污水直排、收集处理设施效率普遍较低等问题,2019年4月29日国家住房和城乡建设部、生态环境部、发展和改革委员会联合印发《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》,明确提出了“三消除两提高”(消除黑臭水体、消除管网空白区、消除污水直排口,提高污水收集率、提高污水处理效能)的工作目标<sup>[1-2]</sup>。而“三消除两提高”的大多数工作任务都涉及城市排水管网梳理、改造或建设,又因建设、管理混乱等原因造成目前城市排水管网存在底数不清等问题,致使管网系统梳理、改造或建设工作无法高效开展。因此管网普查工作是提质增效工作中涉及诸多管网类工程项目必要的前提条件<sup>[3]</sup>。

对于错综复杂的城市排水管网系统来说,实施排水管网全面普查工作就如同人的健康体检一样,可以彻底摸清城市排水中的复杂问题。以全面体检、系统诊断为基本原则,通过内外结合的全方位手段,溯源多年以来城市排水系统的复杂问题,将管道、河道勘察与河道、管道、地下水、建筑小区等处水量水质监测相结合,对城市排水系统进行分析诊断和评估,并对发现的问题提出解决方案,以支撑城镇污水处理提质增效工作。

## 1 以问题为导向的管网普查

案例城市地处我国西南部,主城区南侧有LS河沿河而过,自LS河引水构建了北干渠、中干渠、南干渠等人工水系。该市年均降雨量为443 mm,夏秋雨季降雨量占全年的80%~90%,干湿季节分明。主城区的北郊、西郊、中心片区排水管网基本为雨污合流制;东郊片区支路排水管网按雨污分流建设,主路管网为合流体制,属不完整的分流制排水系统<sup>[4]</sup>。城区污水由东向西沿滨河路-金珠西路转输至污水处理厂。城区现状排水系统见图1。

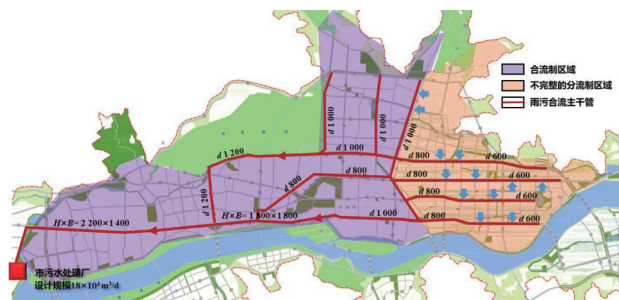


图1 城区排水系统现状

Fig.1 Current situation of urban drainage system

## 1.1 现存排水系统的关键性问题

① 污水处理厂进水浓度偏低,亟待提升城区生活污水集中收集率。结合污水处理厂进水水质可知,进水COD普遍不高于100 mg/L、氨氮普遍不高于10 mg/L,部分时段进厂COD接近50 mg/L、氨氮接近5 mg/L,已经接近出厂水一级A标准,而污水处理厂设计进水COD为240 mg/L、氨氮为18 mg/L。污水处理厂进水浓度偏低,疑似有外水进入排水管网系统。

实测进水COD、氨氮浓度变化见图2。

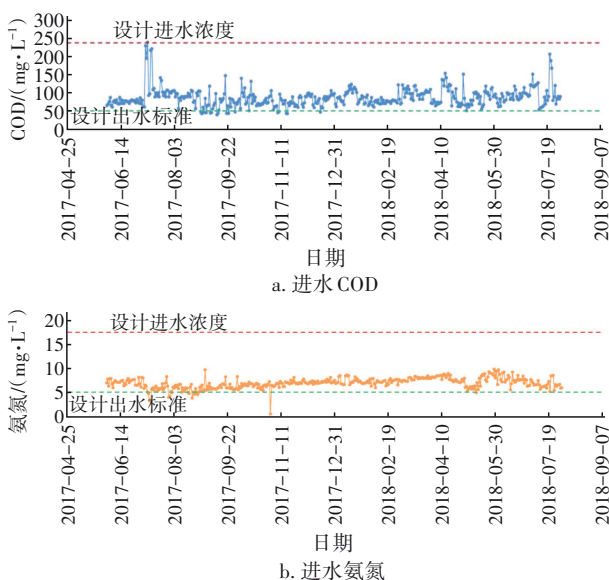


图2 污水处理厂实测进水COD、氨氮浓度

Fig.2 Measured influent concentration of COD,  $\text{NH}_3\text{-N}$  in sewage treatment plant

② 沿河排污现象突出,亟待截污整治。沿河小区的生活污水、餐饮污水、洗车废水等直接排入市政雨水管道,出现晴天污水直排现象,导致河道水质变差。以娘惹沟为例,两岸居民生活污水直排流量总和约2 100  $\text{m}^3/\text{d}$ ,相当于受纳河段流量的25%。现有排水系统混错接以及沿河的居民排污等问题亟待系统梳理解决。

## 1.2 管网普查工作的开展

准确的管网勘察是问题诊断的基础。管网的勘察范围在主城区,主要探明市政管网的管径、材质、埋深标高、走向、连接关系等基本信息以及检查井、出水口、溢流口等附属设施。采用“四检查、三比对”的工作模式对管网勘察结果进行质量控制,如图3所示。

管网属性勘察可消除较容易直观发现的外水

入侵位置,以及为后期管网混错接改造提供相关支撑数据。管网勘察应加强重点部位的监测布局。首先,分别采集河道、排水管道及市区地下水水样,其中河道主要在内河出入境、交汇、排口前后、目测水质发生变化处等断面;排水管道则主要在居住小区、企事业单位等地块管网出口以及污水主干管网等断面。排水管道和河道的水样依靠自动采样器采集,地下水水样为人工打井取样。取样周期持续一个月,取样时间为每天中午。每个取样点每次采集3组平行水样,装入聚乙烯瓶中密封运回实验室。对水样的COD、氨氮、总磷、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、阴离子表面活性剂(LAS)等指标进行测定,以便筛选出特

征离子,判定外水入侵来源类型。

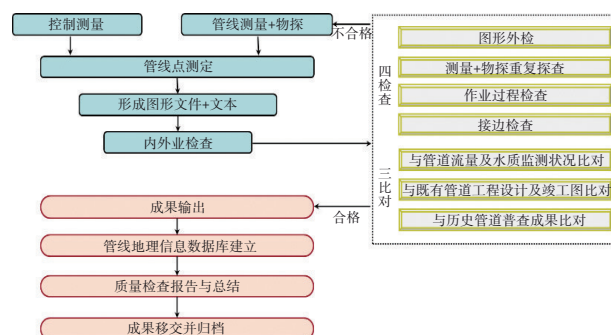


图3 管网勘察的质量控制

Fig.3 Quality control of pipe network survey

不同水样的水质检测结果见表1。

表1 不同水样的水质检测结果

Tab.1 Water quality monitoring results for different water samples

项目	COD	$\text{NH}_3\text{-N}$	TP	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Mn}^{2+}$	LAS
河道清水	6~19	0.14~1.40	0.01~0.85	16.95~33.62	2.13~6.87	0.001 9~0.128 2	未检出
建筑与小区生活污水	124~449	5.44~25.33	0.63~6.42	20.65~30.70	3.57~7.80	0.022 7~0.081 3	1.60~2.54
地下水	5.1~14.3	0.07~1.86	0.01~0.07	35.01~269	6.23~23.61	8.69~47.91	未检出

为了进一步缩小外水入侵点位的排查范围以及评估外水入侵量,在污水主干管道路交叉口、道路跨河处、污水处理厂前总进水口等管道断面设置监测点,布置流量、水质监测设备,对COD、氨氮、总磷等指标进行监测。

建筑与小区出口COD和氨氮浓度变化见图4。

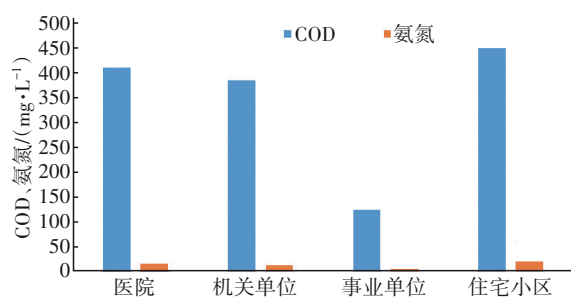


图4 建筑与小区出口COD和氨氮浓度

Fig.4 Concentration of COD and  $\text{NH}_3\text{-N}$  of building and community outlet

## 2 管网普查的分析诊断与应用

为更好地服务于城镇污水处理提质增效工作,应坚持问题导向、目标导向,综合使用多种技术、多种手段来开展管网普查工作,为城镇污水收集和处理设施补短板摸清本底<sup>[5]</sup>。通过水量水质监测发现外水入侵严重,进而解决污水处理厂旱天能力不足问题。外水入侵管网诊断技术路线见图5。通过管网勘察可发现沿河排污口众多,进而解决污水直排

入河问题。

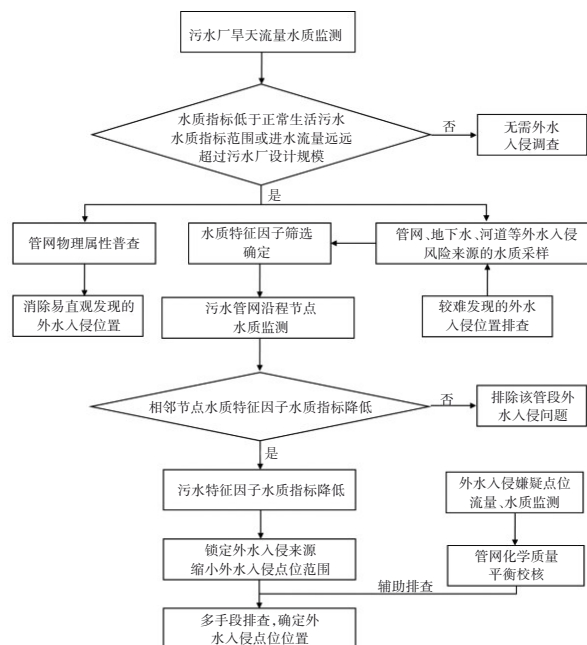


图5 外水入侵管网诊断技术路线

Fig.5 Diagnosis technology route of external water intrusion pipe network

### 2.1 消除外水入侵问题

#### ① 外水来源类型的诊断

为更精准地判断外水来源,选择特征离子法来分析查找进入污水管道的外水源头<sup>[6]</sup>。在建筑与小



区生活污水与河水中检测的  $Mn^{2+}$  浓度均小于 0.15 mg/L,而地下水  $Mn^{2+}$  浓度为 8.69~47.91 mg/L;在生活污水原水中检测的 LAS 浓度为 1.6~2.54 mg/L,而在入境断面河水、地下水中均未检出 LAS。故采用 LAS、 $Mn^{2+}$  为特征离子来追踪外水来源,浓度检测结果如表 2 所示。

表 2 检查井中部分点位的特征离子检测浓度  
Tab.2 Detection concentration of characteristic ions at some points in inspection well

点位	$Mn^{2+}$ / ( $mg \cdot L^{-1}$ )	地下水中 $Mn^{2+}$ 占比/%	LAS/ ( $mg \cdot L^{-1}$ )	河水中 LAS 占比/%
JCJ1	0.031 7	0.02	0.49	49
JCJ2	0.016 7		0.72	26
JCJ13	0.014 4		0.72	26
JCJ14	0.424 1	4.60	0.26	73
JCJ15	0.009 8		0.81	16
JCJ21	0.136 6	1.24	0.21	78
JCJ22	0.125 9	1.12	0.13	87

根据检查井中的  $Mn^{2+}$  及 LAS 的浓度、占比可知,在各管道监测点中  $Mn^{2+}$  浓度与地下水中  $Mn^{2+}$  浓度的占比不足 5%;在下游管网监测点中 LAS 浓度严重下降,在河水中占比接近 90% 以上。由此可判断地下水的掺混比例极低,下游管道中地表水与污水互相掺混,地表水是入侵外水的重要来源,同时地表水也受到严重的污染。

② 外水来源点位的诊断

在管网水量、水质监测中发现,城市中心至西郊管道中的污水浓度降低明显,氨氮浓度由 17.53 mg/L 逐渐降至 11.03 mg/L,后末端降至 3.02 mg/L;污水主干管网承接的排水总量为  $13.9 \times 10^4 m^3/d$ ,远远超出相对应区域  $3.5 \times 10^4 m^3/d$  的自来水供水总量,具体见图 6、7。由此可以判断出外水入侵的点位、管段主要位于城西区域,进而缩小了排查区域。



图 6 城区管网沿程水量、水质变化情况  
Fig.6 Changes of water volume and water quality along the urban network

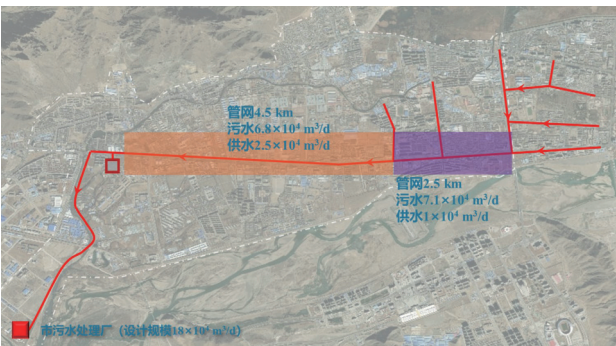


图 7 城西区域供排水的水量关系  
Fig.7 Water quantity relationship between water supply and drainage in the west of the city

通过对重点管段、点位进行实地查找判别,除下游管段渗漏严重的原因外,城区河水倒灌、公园池塘换水排水、日常随机的工地降水等都是导致外水入侵的因素。通过采取破损管段更换、河水倒灌封堵、公园池塘换水排水疏导、工地降水的管理等多种手段,消除污水管网入侵的外水量约  $8 \times 10^4 m^3/d$ 。

2.2 沿河截污整治

通过勘查发现,入城河渠上游段水质普遍为地表水 II~III 类,流经北郊、东郊、部分中心片区域后,内河水质迅速降至地表水 V~劣 V 类,需对水质变差区域进行详细摸排。

根据所接管网类型对 78 处市政管道类型的入河排口进行分类,并持续观测,共发现雨水排口 75 处,其中 40 处旱天有污水流出;污水排口 1 处;合流制溢流口 2 处,旱天有大量污水排放。沿河的建筑、小区、院落的污水直排口也较多,主要分布于中干渠、夺底沟,共计超过 90 处。

对不同规模的排污口进行分类治理,结合管网“挤外水”、河道水系治理等其他项目推进。针对溢流口旱天溢流情况,经管道截流后直接送到污水处理厂;在合流制区域的市政排污口,需要新建不同规格的管道截流合流水并送至下游主管;在分流制区域的市政旱天排污口,需对混错接点进行改造、梳理。根据旱天污水直排的情况,按照轻重缓急及财力,优先治理重度混接、中度混接的市政旱天排污口<sup>[7]</sup>。按照排水管道的排口管径、混接水量、混接水质中的任一指标高值来选取确定(若排口管径  $d400 mm$ 、进水量  $150 m^3/d$ 、进水 COD 浓度为 300 mg/L,则立即改造),以便实施工程短期见效(见表 3)。

表3 排水管道混接程度分级标准  
Tab.3 Grading standard of mixed connection degree of drainage pipelines

混接程度	接入管管径/mm	流入水量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	流入COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	治理建议
重度	600	>600	>200	立即改造
中度	300≤管径<600	200<水量≤600	100<COD≤200	分期改造
轻度	<300	<200	≤100	列入改造计划
基本无混错接			≤100	无需改造

### 3 管网普查的思考与启示

#### 3.1 管网普查与分析诊断并重

排水管网普查是指对管线的性质(雨水管、污水管、合流管)、空间信息(位置、埋深)、形态尺寸、材质、拓扑关系、附属设施、入河排污口和雨水口等物理信息以及管网中水量、水质等运行状况进行勘察与监测,而分析诊断是指根据管网普查情况,结合水量、水质的监测,对排水管网中暴露的外水混入、雨污管网混错接、管网内涝、管道功能性及结构性缺陷等问题进行原因查找,并提出整治建议。管网普查与分析诊断应同步并重,缺少了管网勘察的分析诊断是盲目、不科学的,缺少了分析诊断的管网普查是低效、无用的。对普查中发现的问题突出区域,积极分析诊断并采取一定的工程措施,以验证普查的事实准确性与分析诊断的方向正确性。

#### 3.2 水量与水质相互印证

通过管道中的流量监测能测算出两个监测点之间的水量变化,与所对应服务区域的供水水量换算比较,能粗略判断出外水混入明显的管段。以建筑小区的出水水质为基础,以污水处理厂的进水水质为参考,观察管道沿程的水质浓度变化,以印证查找的外水混入的问题管段。除此以外,还可通过QV内窥、特征离子法追踪等来综合判断,从而做到管道的精准整改。

随着近几年的城镇污水处理提质增效、城市黑臭水体治理等工作的开展,一向未受重视的地下管网普查成了新兴的热门方向。由于缺少一定的行业积淀,参与管网普查的单位与从业人员水平参差不齐,一些专业的仪器与手段也较为缺乏。对于系统庞杂的排水管网,大部分勘察单位仅能做到单一

的管网勘察,缺少水质、水量的监测专业队伍与设备。对于上述问题,勘察单位可与高校、水质检测公司等专业团队合作,从而为管网普查的分析诊断提供详实、可靠的信息。

#### 3.3 短期见效与久久为功相权衡

排水管网系统的控源截污不彻底,会导致城市水体环境出现黑臭等问题。面对几十平方公里,甚至几百平方公里的城市建成区中污水直排、外水混入、管网混错接等管网问题,大多数城市选择沿河大截排应急式管网铺设或者全城铺开精细的管网建设,成为应对提质增效、黑臭水体治理等目标考核的两个极端路径。前者更多是一种应急措施,不能为长远的城市水环境治理奠定基础,也不能从根本上实现污水系统提质增效,并会带来排涝不畅等衍生问题;后者需要短期内投入大量的人力、物力、财力,并不适合大多数财政资金有限的城市。

根据管网普查的结果,按照先易后难的原则安排项目时序,对污水直排、外水混入、管网混错接等突出问题,采取污水排口封堵、管网修复“挤外水”、管网改造等措施重点突破,以达到消除黑臭水体、消除污水直排、提高收集率的多重目标短期见效的目标。同时,按照当地实际情况,结合老旧小区改造、棚改等项目,分片逐年推进雨污分流改造,逐步对城区排水管网系统进行完善,使城镇污水处理提质增效工作久久为功。

#### 3.4 城市管理与工程整治齐发力

针对管网外水入侵问题,在管网勘察过程中应加强管道高渗漏风险区段的问题排查,按照“边查边改、即知即改、应改尽改”的原则,能简单修复治理的应立即进行修复;需要混错接改造的应按照排水分区制定系统方案进行综合治理,形成分类的排查-整治联动机制。

同时,住建等部门应联合对有些工地施工降水与基坑排水、景观水体排水等“有主之水”开展管理“挤外水”工作,避免应处理达标后排入水体的上述外水混入污水管道,以提升污水收集处理效能。针对城市排水管网的私搭乱接、污水直排问题,仅凭普查后有限的管网混错接改造与管网截流、排口封堵等工程,无法做到排水管网长治久安。住建部门应加强对城市污水管网的建设质量与运维监管,通过排水许可证的颁发与后期管理,规范小、散、乱排污户及沿街经营性单位和个体工商户污水排放;加

强市政管网私搭乱接溯源执法,协调有关部门对未经批准擅自纳管、偷排等各类违法行为依法进行查处。生态环境部门应严格排污许可、入河排污口设置审批,加强排污许可证颁发后的管理与督查;协调有关部门对污水直排、工业企业偷排等各类违法行为依法进行查处,杜绝工业企业通过雨水管网偷排工业废水等问题的发生。

#### 4 结语

① 注重加强排水管网普查成果的分析应用。当前管网普查诊断工作是城镇污水处理提质增效的首要性、基础性工作,但普查不是目的,重要的是根据普查结果,进一步开出管网整治的“药方”,协助涉及的污水提质增效相关排水管网工程项目做到“精准决策、精准投资、精准治理”。

② 快速缩小问题管段范围,制定方案,重点突破。在开展管网普查工作的同时,应以问题及目标为导向,通过水量、水质的定量化平衡,找到管网整治的突破口和关键排水管段,优先解决排水管网制约性的关键问题。

③ 分区分类分重点开展混错接排水管网整治。排水管网建设和维护欠账较多、混错接严重,若全面开挖整治,对多数财政收入有限的中小城市并不现实,需遵循“排放口分类-排水分区-判断管网混错接类型-确定改造方案”的技术路线,优先解决因管网混错接造成入河污染严重的排口。

#### 参考文献:

- [1] 孙永利. 城镇污水处理提质增效的内涵与思路[J]. 中国给水排水, 2020, 36(2): 1-6.  
SUN Yongli. Connotation and way of quality and efficiency improvement of municipal wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(2): 1-6 (in Chinese).
- [2] 胡洪营, 孙迎雪, 陈卓, 等. 城市水环境治理面临的课题与长效治理模式[J]. 环境工程, 2019, 37(10): 6-15.  
HU Hongying, SUN Yingxue, CHEN Zhuo, et al. Topics and long-term governance model of urban water environment governance [J]. Environmental Engineering, 2019, 37(10): 6-15 (in Chinese).

- [3] 唐建国. 工欲解黑臭 必先治管道——《城市黑臭水体整治——排水口、管道及检查井治理技术指南》解读[J]. 给水排水, 2016, 42(12): 1-3, 137.  
TANG Jianguo. The interpretation of “Urban Black and Odorous Water Treatment—Technical Guide for the Management of Drainage Outlet, Pipelines and Inspection Wells” [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(12): 1-3, 137 (in Chinese).
- [4] 黄帅. 城市排水管网排查综述[J]. 山西建筑, 2020, 46(4): 95-97.  
HUANG Shuai. Survey of urban drainage water pipe network [J]. Shanxi Architecture, 2020, 46(4): 95-97 (in Chinese).
- [5] 赵杨, 车伍, 杨正. 中国城市合流制及相关排水系统的主要特征分析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(14): 18-28.  
ZHAO Yang, CHE Wu, YANG Zheng. Analysis of characteristics of China urban combined sewer system and related other sewer systems [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(14): 18-28 (in Chinese).
- [6] 周广宇, 刘广奇, 程小文, 等. 基于特征离子法的排水管网清污混合解析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(13): 130-133, 138.  
ZHOU Guangyu, LIU Guangqi, CHENG Xiaowen, et al. Analysis of clean water and sewage mixing in urban drainage network based on characteristic ion method [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(13): 130-133, 138 (in Chinese).
- [7] 王召森, 莫罹, 徐丽丽, 等. 标本兼治、重点突破——中小城市污水处理提质增效的建设实践[J]. 给水排水, 2021, 47(S1): 99-103, 109.  
WANG Zhaosen, MO Li, XU Lili, et al. Address both symptom and root causes, and make breakthroughs in key areas: urban sewage treatment improvement practice of medium and small cities [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(S1): 99-103, 109 (in Chinese).

作者简介: 孙广东(1993—), 男, 山东滕州人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为水环境治理、防洪排涝、海绵城市、污水提质增效等。

E-mail: 1228433155@qq.com

收稿日期: 2022-06-30

修回日期: 2022-09-14

(编辑: 衣春敏)