

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.12.018

## 排水管网排查诊断实践与思考:以北方某缺水城市为例

姚 越, 顾思文, 沈 旭, 周长青, 孙增峰  
(中国城市规划设计研究院, 北京 100044)

**摘 要:** 针对北方某缺水城市排水系统存在的污水溢流、雨天污水厂进水浓度波动等现状, 分析系统可能存在的河水入渗、雨污分流改造不彻底、市政雨污混错接等问题。结合水质水量监测与现场调查等手段、兼顾旱天和雨天开展分析, 以水质水量的异常变化为主要依据, 从下游到上游追溯、从干管到支管排查, 对问题进行定位。结果表明, 城区六大污水系统中, 污水系统 I、IV 主要受河水入渗问题影响, 污水系统 II、III 受雨污分流改造不彻底、市政雨污混错接等问题影响, 污水系统 V 和 VI 受重点排水户出水水质异常、市政雨污混错接影响, 具体问题点位已明确。排查诊断结果可为后续管网改造修复提供依据, 促进排水系统提质增效。

**关键词:** 排水管网; 排查诊断; 水质水量监测; 外水入渗; 雨污混错接

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)12-0113-06

### Practice and Thinking of Investigation and Diagnosis of Urban Sewage Network: Case Study of a Water-deficient City in North China

YAO Yue, GU Si-wen, SHEN Xu, ZHOU Chang-qing, SUN Zeng-feng  
(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100044, China)

**Abstract:** The sewage system of a water-deficient city in the north China has problems such as sewage overflow and fluctuation of the influent concentration of the sewage treatment plant in rainy days. Possible problems such as river water infiltration, incomplete transformation of rain and sewage diversion, and misconnection of municipal rain and sewage networks were analyzed. The analysis was carried out by combining water quality and quantity monitoring and on-site investigations, taking into account dry and rainy days. The defects were positioned by investigating from downstream to upstream, and from main pipes to branch pipes, and diagnosed according to abnormal changes in water quality and quantity. The results showed that: among the six urban sewage systems, sewage systems I and IV were mainly affected by river water infiltration problems, sewage systems II and III were affected by the incomplete transformation of rain and sewage diversion, and misconnection of municipal rain and sewage networks. In addition, the abnormal effluent quality of key sewage households and misconnection of municipal rain and sewage networks were the influence factors of sewage systems V and VI. The specific problem points have been clarified. The results can provide a reference for the reconstruction and repair of the sewage network, and promote the quality and efficiency of the sewage system.

**Key words:** sewage network; investigation and diagnosis; water quality and quantity monitoring; external water infiltration; misconnection of municipal rain and sewage networks

通信作者: 姚越 E-mail: yaoyue.0901@163.com

开展城市排水管网排查诊断,是污水处理提质增效的关键基础和黑臭水体治理的重要内容。目前已有学者从不同层面对城市排水管网排查诊断方法进行了探索和实践<sup>[1-8]</sup>。部分学者针对排水系统运行过程中的具体问题进行深入研究,如左帅民<sup>[1]</sup>针对城镇污水厂进水浓度过低的问题进行了原因和对策分析,周广宇等<sup>[2]</sup>针对排水管网清污混流问题进行定量解析;部分学者针对排水管网排查诊断某一环节的方法或工具进行比选和实践,如刘战广等<sup>[3]</sup>将水量平衡分析方法应用于城镇污水管网定性诊断,李萌等<sup>[4]</sup>研究了在线监测方法在排水诊断中的应用。从现有研究成果可知,不同的研究目标和研究范围对应不同的研究方法,需根据研究区域特点和问题建立适用的技术路线。

某市是黄河流域的重要节点城市,2019年入围第三批城市黑臭水体治理示范城市。目前该市已基本建成较为完善的城市排水管网,但由于系统自身的复杂性及建管水平不足等原因,管网中污水冒溢现象仍然存在,污水处理厂进水管雨天溢流问题突出,雨天进水浓度波动大。针对上述问题,以污水处理厂服务片区为单元开展排查诊断工作,对各区域管网问题进行定性与定位,可为后续有针对性地开展排水管网修复改造提供有力支撑,有效推进当地污水处理提质增效及黑臭水体治理示范城市建设工作。

## 1 研究区域现状与问题

### 1.1 现状特征

该市为典型的北方内陆缺水城市,属温带大陆性季风气候,年降水量为350~500 mm,降雨主要集中在夏季7月—9月。城区河沟流域面积较小、河长较短,总体流向为自北向南、自东向西。由于干旱缺水的气候条件,以及早年地下水开采活动的影响,该市城区所在的平原浅层地下水位埋深达到7.09 m<sup>[9]</sup>。

该市中心城区主要为居住用地和商业用地,在城区西部、西南和东南部分布3处工业用地。城区污水管网收集的污水主要为居民生活污水,城区周边的三大工业园区排放的污水也有一部分进入市政污水处理厂。目前,建成区范围内市政排水体制为雨污分流制,存在少量区域市政排水次干管和支管尚未完成分流制改造,大部分老旧小区排水仍为雨

污合流制。

根据地形地势及排水设施布局等情况,该市城区分为六大污水排放系统(见图1),现已投入运营5座市政污水处理厂,其中系统V的污水输送至系统VI范围内的污水处理厂一并处理。各污水处理厂通过6座泵站及配套压力管实现互连互通,除污水系统V、VI相对独立外,污水系统I、II、III中超出系统内污水厂处理能力的污水输送至下游系统IV的污水厂进行处理。经深度处理改造后,该市污水厂实际处理能力为 $43\times 10^4$  m<sup>3</sup>/d左右。

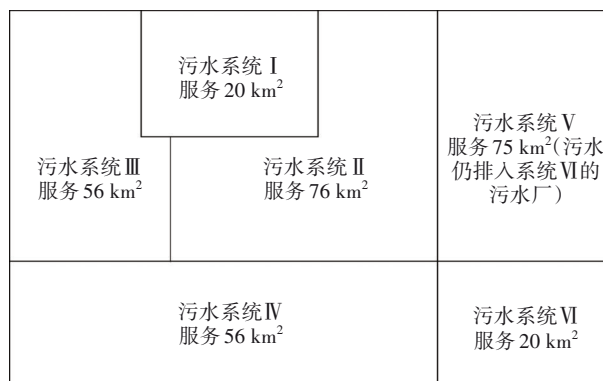


图1 某市污水系统空间结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of spatial structure of sewage systems in the city

### 1.2 存在问题与成因分析

① 下游污水系统管网末端污水溢流问题突出。根据污水系统的日常运维情况,进入下游污水系统IV的污水量超出了污水厂的处理能力,导致厂前溢流问题突出,旱天溢流量可达到 $3\times 10^4$  m<sup>3</sup>/d。分别从污水管网和污水处理厂两方面对其成因进行分析。

从污水排水管网分布情况来看,尽管地下水埋深较大,入渗至管网的可能性较小,但污水主干管沿河敷设较普遍,河水入渗风险相对较高。污水系统I北向区域来水管道敷设在河床下,长度约为2 km;污水系统III部分东侧区域管道沿河两侧敷设,单侧管长约为7 km;污水系统IV东向24 km主干管道大部分沿河敷设。以上排水管段均为河水入渗风险管段。

从污水处理能力来看,污水处理厂实际处理能力稍显不足。根据2019年《城市建设统计年鉴》,该市2019年城市用水人口为220.5万人,供水总量为 $17\,469\times 10^4$  m<sup>3</sup>,人均综合用水量为217 L/(人·d)。

根据《城市排水工程规划规范》(GB 50318—2017),城市综合生活污水量约占供水总量(含公共供水及自建供水设施供给量)的80%~90%,经折算,城区污水产生量为 $(38\sim43)\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。再加上河水入渗及雨水入流等因素影响,污水处理厂的进水量已超过处理能力。 $43\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的污水处理能力不足,是污水处理厂溢流问题突出的成因之一。

② 旱雨天污水处理厂进水浓度波动大,且呈逐年降低趋势。根据污水处理厂的运行记录,2018年—2020年该市5座污水处理厂旱季(10月—次年6月)进水 $\text{BOD}_5$ 平均为198 mg/L,雨季(7月—9月)平均为143 mg/L,雨季比旱季降低了28%。其成因主要是雨污分流改造不彻底,合流制的排水次干管和支管以及老旧小区内部管线在雨天存在雨水入流问题。

此外,2018年、2019年、2020年污水处理厂的进

水 $\text{BOD}_5$ 平均浓度分别为207、194、141 mg/L,呈现逐年降低趋势。考虑到近年来开展的地铁建造、道路扩建等工程,在主体工程结束后进行隐蔽施工时可能存在雨污水管道错接等问题,导致外水入渗入流程度加剧。

## 2 研究方法

### 2.1 技术路线

基于对现状和问题的认识,该市排水系统同时面临旱天外水入渗及雨水入流问题。以污水处理厂服务片区为单元,结合水质水量监测与现场调查手段同时兼顾旱季和雨季,从下游到上游追溯、从干管到支管排查、从大到小范围收缩定位,识别重点问题区域,并对区域内的旱天外水入渗及雨水入流问题进行定位,为下一步管网改造修复等工作提供依据,促进排水系统提质增效。具体技术路线如图2所示。

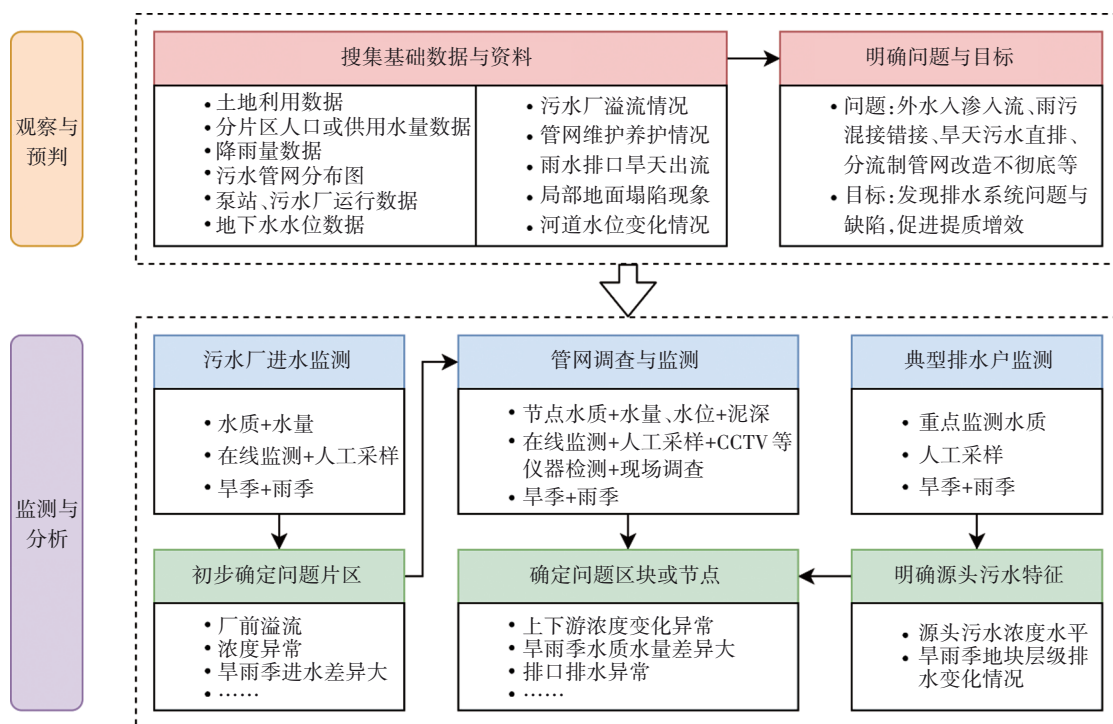


图2 技术路线

Fig.2 Schematic diagram of technical routes

### 2.2 方法比选

排水管网排查诊断的常用方法可分为定性和定量两类。各种方法的优势和劣势<sup>[6-8]</sup>如表1所示。

为高效、经济地获取准确的基础数据,研究兼顾定性定量手段,现场工作与管网普查同步开展。以人工采样和在线监测方法为主,获取准确的

水质(COD、氨氮)及水量数据;结合排水管网普查工作,同时采用目视检查方法,调查管网拓扑关系异常、淤积与水位异常等情况;基于水量水质数据分析及目视检查结果,在异常点位上下游开展CCTV、QV、声呐等检测,对问题进一步验证,并实现精准定点。

表1 排水管网排查诊断常用方法

Tab.1 Common methods for investigation and diagnosis of urban sewage network

项 目		优势	劣势
定性为主	目视检查	简单可视	获取的信息量有限,无法批量
	CCTV、QV、声呐等检测	直观可视	获取的信息量有限,成本较高
定量为主	人工采样检测	数据准确有效	连续性和及时性有限
	在线监测	连续作业	运行维护要求高,数据准确性不足

2.3 数据获取

① 排查诊断的时序安排

兼顾旱天雨天,制定分阶段计划:第一阶段为基本情况调查阶段,以每座污水厂服务范围为空间划分依据,再以主干管来水方向为子片区划分依据,在每个片区进行上中下游的污水水质水量监测与现场调查,全面了解城区各排水系统存在的问题类型,其中人工采样频率为每个点位每日采样1次。第二阶段为问题区域排查阶段,在了解基本情况的基础上,在疑似问题区域加密布设调查点位,进一步确认问题类型,并缩小问题区域范围,其中人工采样频率为3~4次/d(白天每3~4 h采样一次,晚上根据流量情况合理增加时间间隔)。第三阶段为雨水入管筛查,通过在雨季开展监测与调查,对雨污混接错接、分流制改造不彻底等问题进行定位与分析,其中人工采样在降雨形成径流后开始,采样频率根据降雨强度确定,直至停止产流后4 h。

其中前两个阶段均在旱天(至少连续3个旱天后)开展,第一阶段的排查诊断结果是第二阶段的工作基础。第二阶段与第三阶段并非单纯的先后关系,根据实际降雨情况和分析结果可穿插进行。

② 排查诊断的点位布设

排查诊断的点位布设在典型排水户排口、管网节点、污水厂进水口上游等节点。其中典型排水户包括合流制老旧小区、分流制新小区、工业园区及典型工业企业等;管网节点包括主干管汇流井的上游(即主次干管连接井上游)、外水入渗高风险片区(即沿河和穿河管道)、疑似雨污混接片区上下游节点等;污水厂进水口上游指污水厂服务范围内管网末端节点。点位布设根据各阶段的排查诊断结果进行动态调整,从主干管到支管,从分散到集中,逐

渐聚焦至问题管段。

该市各阶段设置的调查点位类型及数量如表2所示。研究期间,人工采集338个样品,设置10处在线水量水质监测点位。

表2 排水管网分阶段排查诊断点位类型及数量

Tab.2 Types and quantities of diagnosis points by stages

项 目	第一阶段	第二阶段	第三阶段
典型排水户	3处小区+4处工业	3处小区+8处工业	4处小区+1处工业
管网节点	20处,分散于六大系统,其中,涉及沿河及穿河管道节点7处	22处,分散于六大系统,其中,涉及沿河及穿河管道节点15处	21处,分散于六大系统,其中,涉及沿河及穿河管道节点13处
污水厂进水口上游	5处	5处	5处

2.4 诊断分析

开展诊断分析时,按照从整体到局部的思路,先梳理出城区排水管网的主干脉络,明确各污水系统中主干管数量、上下游关系及系统之间的连通情况,再根据获取的数据资料,结合管线普查资料,深入分析每个污水系统存在的问题类别及问题点位分布情况。

3 结果与讨论

3.1 重点问题区域识别

根据水质监测结果,该市源头生活污水氨氮浓度为80~120 mg/L,COD浓度基本可达到400 mg/L以上。末端污水厂进水浓度如表3所示。

表3 污水厂进水浓度

Tab.3 Influent concentrations of wastewater treatment plants

mg·L<sup>-1</sup>

项 目	氨氮	COD
污水系统 I	旱天	66.23
	雨天(6月16日)	272
污水系统 II	旱天	43.10
	雨天(6月16日)	214
污水系统 III	旱天	78.80
	雨天(6月16日)	478
	雨天(9月15日)	37.65
污水系统 IV	旱天	407
	雨天(6月16日)	64.25
	雨天(9月15日)	446
污水系统 V 和 VI	旱天	25.00
	雨天(6月16日)	264
	旱天	48.50
	雨天(9月15日)	276
	旱天	67.12
	雨天(9月15日)	320
	旱天	65.10
	雨天(6月16日)	181
	旱天	45.54
	雨天(9月15日)	293
	旱天	17.80
	雨天(6月16日)	216
	旱天	28.60
	雨天(9月15日)	154



通过对比源头与末端污水厂进水浓度差异,初步识别问题区域。由表 3 可知,旱天时,污水系统 I、污水系统 V 和 VI 内的污水厂进水 COD 浓度偏低,其次为污水系统 IV。其中,污水系统 I 和 IV 内均有主干管沿河敷设,初步判断系统 I 为河水入渗问题区域,系统 IV 既可能存在河水入渗问题,也可能受上游超出污水系统 I 处理能力外的来水影响;污水系统 V 和 VI 相对独立,且基本不存在沿河敷设的主干管,考虑重点排水户可能存在出水水质异常等问题。雨天时,各污水处理厂进水浓度均低于旱天,且根据浓度时序变化情况,初雨污染及雨水的稀释作用对进水浓度影响均较为显著,表明各污水系统普遍存在雨水入渗入流问题。

3.2 区域主要问题定位

对于存在河水入渗问题的污水系统 I,根据已梳理好的主干管拓扑关系,进厂污水主要来自北侧和东侧两个方向。根据两个方向主干管末端以及汇流后的污水节点水质监测结果[见图 3(a)],发现北侧来水浓度偏低(该方向主干管沿河敷设),沿该节点向上游进一步进行水质水量监测,发现浓度突变的点位为 21#[见图 3(b)]。进一步的分析表明,11#~21#管段中,入渗的外水量达到 $(1.5\sim1.8)\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,约占 21#节点流量的 70%。

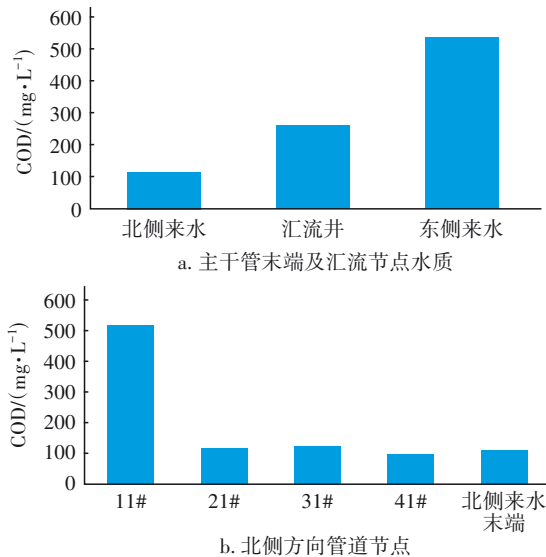


图 3 污水系统 I 点位水质监测结果

Fig.3 Water quality monitoring results of system I

同理,对污水系统 IV 各方向主干管节点水质进行监测,结果表明,上游系统 I 方向的节点 COD 为 220~300 mg/L,其余方向的来水 COD 在 400 mg/L 以

上,且系统内部沿河管段中污水浓度无明显波动。因此,系统 IV 旱天进水浓度偏低主要受上游污水系统 I 的影响。

对于重点排水户可能存在出水水质异常等问题的污水系统 V 和 VI,考虑区域内存在大型热电厂等工业企业,且所在工业园区的污(废)水经处理后排入市政管网,对工业园区出口及另一方向的污水来水分别进行排查,同时对工业园区内大型企业出口的污水浓度进行监测。结果表明,另一方向的市政污水 COD 在 400 mg/L 以上,热电厂排入市政管网的污水 COD 浓度仅有 20~30 mg/L,区域内污水厂进水水质主要受到工业园区废水稀释影响。

对于各片区普遍存在的雨水入流入渗问题,根据现场调查确定雨污混错接点位,并结合水质检测进行验证。结果表明,城区排水管网雨污混错接点共计 84 处,其中污水接入雨水管道 34 处,雨水接入污水管道 39 处,雨污水管道混接 11 处,主要分布于污水系统 II 和 V。此外,根据现场调查,污水系统 II、III 中存在较为集中的合流制老旧小区,结合水质监测结果,发现分流制地块出口污水浓度在旱、雨天基本无变化,合流制地块出口污水在旱雨天、降雨特征不同的雨天,其氨氮和 COD 浓度均差距较大,雨量较为集中时,雨水稀释作用在降雨结束后可持续 3 h 以上,雨量相对均匀时,地块出口污水浓度受雨水径流冲刷效应显著。雨污混错接点位及合流制地块的存在均对下游污水厂的雨天运行造成一定冲击。

综上所述,各污水系统的主要问题及对应位置如表 4 所示。

表 4 各污水系统主要问题及位置

Tab.4 Main problems and locations of each sewage system in the city

项 目	主要问题类型	对应问题点位
污水系统 I	外水入渗	集中于北侧来水 11#~21#管段
污水系统 II	雨污分流改造不彻底、市政雨污混错接	对应位置见现场调查结果,其中混错接点 59 处
污水系统 III	雨污分流改造不彻底	对应位置见现场调查结果
污水系统 IV	外水入渗	受上游污水系统 I 处理能力外的来水影响
污水系统 V 和 VI	重点排水户出水水质异常、市政雨污混错接	工业园废水稀释污水厂进水,雨污混错接点 13 处,对应位置见现场调查结果

## 4 思考与建议

### ① 结合相关工作,发挥各类方法的协同作用

排查诊断工作是黑臭水体治理及污水处理提质增效等工作的重要内容,应在既有工作平台的基础上,将排查诊断与管网普查和管网改造工作相结合,协调各方技术力量。进行诊断分析时,以水质水量监测为主要方法,可以获取准确、有效的基础数据,但同时也需要认识到监测方法存在的局限,如及时性不足、无法在大范围内同步开展等。应协同各类定性、定量方法,取长补短,相互配合,提高工作效率。

### ② 立足地方实际,解决突出问题

由于城市排水管网的系统性和复杂性特点,短期内明确和解决所有问题存在较大难度。应充分了解城市建设特点和管网运行工况,识别问题的轻重缓急,优先针对系统运行存在较大影响的问题和隐患,开展相关的排查诊断和改造修复工作,并将其作为常态化工作,逐渐优化管网系统运行状态,实现提质增效的综合目标。

## 参考文献:

- [1] 左帅民. 城镇污水处理厂进水浓度偏低原因分析及对策[J]. 产业科技创新, 2020(26):54-55.  
ZUO Shuaimin. Analysis and countermeasures for the low concentration of influent in urban sewage treatment plants [J]. Industrial Technology Innovation, 2020 (26):54-55 (in Chinese).
- [2] 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).
- [3] 刘战广,谭学军,陈嫣. 基于水量平衡分析的城镇污水管网定性诊断研究[J]. 给水排水, 2020,46(9):113-118.  
LIU Zhanguang, TAN Xuejun, CHEN Yan. Qualitative diagnosis of urban sewage network based on water balance analysis[J]. Water & Wastewater Engineering, 2020,46(9):113-118 (in Chinese).
- [4] 李萌,郭效琛,赵冬泉,等. 在线监测技术在排水诊断中的应用[J]. 给水排水, 2021,47(10):124-129.  
LI Meng, GUO Xiaochen, ZHAO Dongquan, *et al.* Application of on-line monitoring technology in water drainage diagnose [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021,47(10):124-129 (in Chinese).
- [5] 魏忠庆,黄永捷,林兰娜,等. InfoWorks ICM在排水管网问题诊断及改造中的应用[J]. 中国给水排水, 2017,33(23):115-119.  
WEI Zhongqing, HUANG Yongjie, LIN Lanna, *et al.* Application of InfoWorks ICM in problem diagnosis and reconstruction of drainage pipe network for urban build-up area[J]. China Water & Wastewater, 2017,33 (23):115-119 (in Chinese).
- [6] 赵冬泉,王浩正,陈吉宁,等. 监测技术在排水管网运行管理中的应用及分析[J]. 中国给水排水, 2012,28(8):11-14.  
ZHAO Dongquan, WANG Haozheng, CHEN Jining, *et al.* Application and analysis of monitoring technology in operation and management of urban drainage network [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(8):11-14 (in Chinese).
- [7] 孟莹莹,李田,王溯. 上海市分流制小区雨水管道混接污染源分析[J]. 中国给水排水, 2011,27(6):12-15.  
MENG Yingying, LI Tian, WANG Su. Study on sources of illicit discharge to separate stormwater systems in residential districts in Shanghai [J]. China Water & Wastewater, 2011,27(6):12-15 (in Chinese).
- [8] 吴文俊. 老城区排水管网收集效能诊断技术研究[D]. 北京:清华大学,2010.  
WU Wenjun. A Preliminary Study on Diagnostic Techniques for Old Town Drainage System Performance [D]. Beijing:Tsinghua University, 2010 (in Chinese).
- [9] 赵瑞科,曹文庚,杨会峰,等. 呼和浩特盆地地下水演化特征研究[J]. 人民黄河, 2018,40(5):78-82,88.  
ZHAO Ruike, CAO Wengeng, YANG Huifeng, *et al.* Study on evolution characteristics of groundwater in Hohhot basin [J]. Yellow River, 2018, 40(5):78-82, 88 (in Chinese).

作者简介:姚越(1994-),女,陕西宝鸡人,硕士,工程师,从事城市给排水规划、城市水环境治理等相关研究工作。

E-mail:yaoyue.0901@163.com

收稿日期:2022-04-29

修回日期:2022-05-06

(编辑:丁彩娟)