

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.08.003

# 提质增效背景下排水管网分级诊断技术研究及实践

胡馨月<sup>1</sup>, 鲁梅<sup>1</sup>, 崔诺<sup>1</sup>, 赵鹏<sup>2</sup>, 刘龙志<sup>3</sup>, 刘绪为<sup>1</sup>,  
李宏博<sup>1</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074; 2. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072; 3. 长江生态环保集团有限公司, 湖北 武汉 430062)

**摘要:** 排水管网是城市重要的基础设施,直接影响城市发展和生态环境的建设。近年来,我国排水管网问题频发,随之而来的城市内涝、路面坍塌、水体黑臭以及污水厂进水浓度异常等问题屡见不鲜。因此,为诊断出管网的质量与效能问题,选择合适的检测方法并形成一套可借鉴、可复制的诊断技术流程对排水管网的健康发展至关重要。按照排水系统的级别将诊断范围划分为流域级、区域级以及排水户级,并针对不同尺度排水管网提出相应的诊断技术流程,以期实现检测技术的最优化利用,可为其他城镇的排水管网诊断工作提供参考。

**关键词:** 排水管网; 管网检测; 分级诊断技术; 提质增效

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)08-0017-06

## Hierarchical Diagnostic Technology for Quality and Efficiency Improvement of Urban Drainage Network

HU Xin-yue<sup>1</sup>, LU Mei<sup>1</sup>, CUI Nuo<sup>1</sup>, ZHAO Peng<sup>2</sup>, LIU Long-zhi<sup>3</sup>, LIU Xu-wei<sup>1</sup>,  
LI Hong-bo<sup>1</sup>

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China; 2. School of Environmental Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. Yangtze Ecology and Environment Co. Ltd., Wuhan 430062, China)

**Abstract:** As an important infrastructure of the city, drainage network directly affects the development of the city and the construction of the ecological environment. Recently, the problems of drainage network have occurred frequently in China, which caused the following problems of urban waterlogging, road collapse, black and odorous water bodies and abnormal sewage concentration. Therefore, it is of great significance for the healthy development of the drainage network by choosing the appropriate detection method and forming a set of reference and replicable diagnosis technology processes to diagnose the diseases of the drainage network. The diagnosis scope was divided into basin level, regional level and sewer source level according to the scale of drainage area. The corresponding technical processes for different scale drainage networks were put forward to realize the optimal use of detection technology and provide references for drainage network diagnosis in other cities.

**Key words:** drainage network; pipe network detection; hierarchical diagnostic technology; quality and efficiency improvement

为尽快解决我国排水管网的现状弊病<sup>[1-2]</sup>,住房和城乡建设部、生态环境部、国家发展改革委联合

印发了《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》(以下简称“提质增效三年行动方案”),明确提出地级及以上城市建成区基本消除“生活污水直排口”“生活污水收集处理设施空白区”“黑臭水体”,最终实现“生活污水集中收集效能”显著提升的工作目标。

“提质增效三年行动方案”实施以来,全国各地级及以上城镇陆续开展了管网诊断工作,然而,目前排水管网诊断工作存在流程不明确、检测方法盲目错用等现象,导致事倍功半。为此,笔者基于多个工程实践的经验总结,提出以排水系统级别分类的分级诊断技术,对不同区域开展有针对性的诊断工作,并以实际开展的管网诊断工程为案例对分级诊断技术进行应用实践,以期为其他城市排水管网诊断工作的开展提供参考与借鉴。

### 1 排水管网分级诊断技术

排水管网的诊断工作是实现管网效能提升的重要基础与关键环节。我国地下管网环境复杂,在选择检测方法时应因地制宜,制定有针对性的诊断方案,避免“一刀切”的绝对路线。因此,根据诊断范围的尺度特征,提出了基于综合检测方法的分级诊断技术,即根据排水系统级别将诊断范围划分为

流域级、区域级和排水户级,采用水质特征因子结合仪器检测的方法,针对不同级别采取相应诊断流程。该方法的核心是采用特征因子法缩小排水管网检测区域,再利用仪器检查法对问题管段开展相应检测、复核工作。

第一层级为流域级。当诊断区域内有多条河流存在时,可遵从流域自然属性,根据地面主径流分水线将诊断区域分为不同的区域,每个流域分区内包含若干污水厂或泵站。

第二层级为区域级。区域级是根据污水厂、泵站或管网末端总排口服务范围的边界线进行划分,而后在该区域内按照排水管网走向和连接关系再细分为若干小区域。

第三层级为排水户级。排水户指直接或者间接向公共排水设施排放雨水、污水的单位和个人,包括住宅、办公行政、商业、医院、工业、公用建筑等类别,可根据排水户范围的边界线进行划分<sup>[3]</sup>。

#### 1.1 流域级排水管网诊断技术

流域级诊断范围内往往合流制与分流制排水系统并存,因此针对不同排水体制,诊断工作的侧重点应有所不同。流域级排水管网诊断路线如图 1 所示。

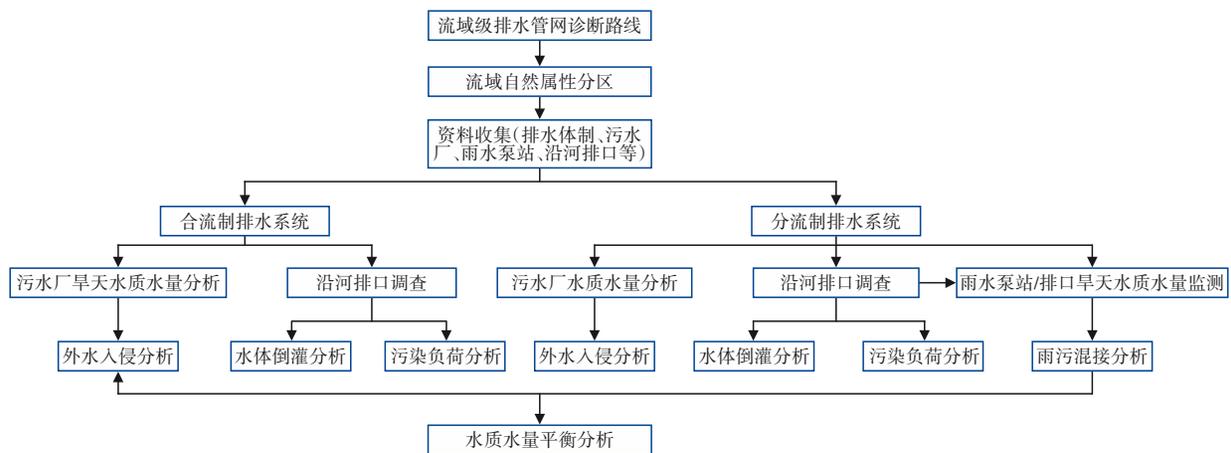


图 1 流域级排水管网诊断流程

Fig.1 Diagnostic flow of drainage network at basin level

在进行流域级排水系统诊断工作时,首先应根据流域的自然属性进行分区并收集各流域范围内的基础资料,主要包括排水体制、沿河排口分布情况、排水管网基础资料污水厂规模、服务范围、进水水质水量、进水管液位和埋深,以及雨水泵站位置及规模等。

对于合流制排水系统,通过获取区域内各污水处理厂旱天进水量和水质数据,分析排水管网地下水、河湖水(下文统称外水)入侵程度以及工业废水或其他低浓度污(废)水排入对管网水质的影响;通过调查沿河排口,对旱天有污水排出的排口进行水量水质监测并测算污染负荷,分析对接纳水体水

质的影响;对河道水位以下的排口进行倒灌风险分析。对于分流制排水管网,除进行合流制排水管网诊断内容外,还需进行雨污混接调查。通过统计整理污水厂旱天和雨天的进水水质和水量,分析区域内雨水入流情况;通过监测区域内各雨水管道末端、泵站或排口的旱天出水水质,判断可能存在污水混接进入雨水管网的区域。最后综合以上量化成果,对系统水质水量平衡进行测算分析。流域级排水系统诊断旨在发现具体问题、判断以及量化主要问题成因、明确排水系统整体运行状态,为后续区域级排水系统的诊断奠定基础。

### 1.2 区域级排水管网诊断技术

根据污水厂、泵站或管网末端总排口服务范围进行区域级排水管网的划分,对于存在问题的流域级区域,可开展区域级排水管网诊断工作。诊断流程如图2所示。

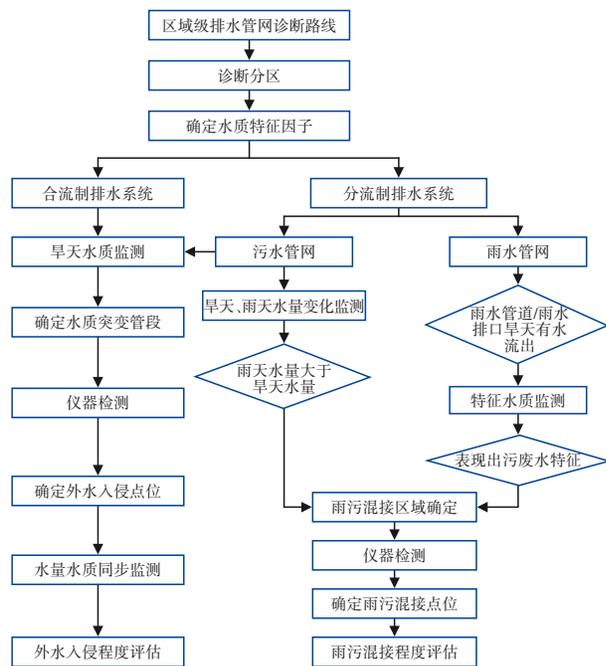


图2 区域级排水管网诊断流程

Fig.2 Diagnostic flow of drainage network at regional level

在进行区域级排水系统诊断工作时,首先应根据区域内排水管网拓扑结构划分排水分区,然后对排水管网中可能存在的水源进行分类,并对各类水源水进行水质监测进而确定水质特征因子。

在合流制排水管网区域内,对管网节点进行晴天特征因子水质监测工作。若管段上下游节点水质发生突变(表现出明显的外水特征),则该管段可能存在外水入侵问题。对该管段进行仪器检查,查

明外水入侵具体点位与原因,同时利用化学质量平衡模型(Chemical Mass Balance Model, CMBM)计算外水入侵量[见式(1)],并对该片区进行外水入侵程度评估[见式(2)]:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j = \rho_i \quad (1)$$

$$\varepsilon = Q_x/Q_{0,x} \quad (2)$$

式中: $\rho_i$ 为第*i*个特征因子的污水管道晴天出流质量浓度; $a_{ij}$ 为第*j*个水源的第*i*个特征因子质量浓度; $x_j$ 为第*j*个水源的管道入流水量比例; $n$ 为水源的数量; $\varepsilon$ 为外水入侵系数; $Q_x$ 为管道外水入侵量; $Q_{0,x}$ 为管道允许的地下水入渗量,按照区域内管段接纳污水量的10%~15%考虑。

在分流制排水管网区域内,对于分流制污水管网,除开展外水入侵诊断外,还应进行雨污混接诊断。对污水管网监测节点进行旱天、雨天水量监测,若雨水量明显大于旱天水量,说明该节点上有区域存在雨污混接问题。对于分流制雨水管网,应对旱天有水流出的雨水管道或排口进行特征水质监测,判断该水源是否为污(废)水,对于表现出污(废)水特征的水源则认为该管道节点或排口上游为雨污混接区域。对于初步判断存在雨污混接问题的区域,结合管网资料开展仪器检测进而确定具体点位,并根据水量水质监测结果进行雨污混接程度的评估。

其中外水入侵程度以及雨污混接程度可根据表1、2中的评价标准进行评估<sup>[4-5]</sup>,也可根据工程项目实际情况,并结合国家或地方标准及规范进行综合评价。

表1 外水入侵程度评估

Tab.1 Assessment of external water intrusion

外水入侵程度	外水入侵系数 $\varepsilon$
重度入侵(3级)	$>2$
中度入侵(2级)	$1 < \varepsilon \leq 2$
轻度入侵(1级)	$\leq 1$

表2 雨污混接程度评估

Tab.2 Assessment for the degree of mixing of rain and sewage

雨污混接程度	接入管管径 $D/\text{mm}$	流入水量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	流入污水 COD/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$
重度混接(3级)	$\geq 600$	$>600$	$>200$
中度混接(2级)	$300 \leq D < 600$	$200 < Q \leq 600$	$100 < \text{COD} \leq 200$
轻度混接(1级)	$< 300$	$\leq 200$	$\leq 100$

### 1.3 排水户级排水管网诊断技术

对区域内排水户开展相应的排水管网诊断,以明确排水户内部管网运行现状,排水户级管网诊断流程如图3所示。

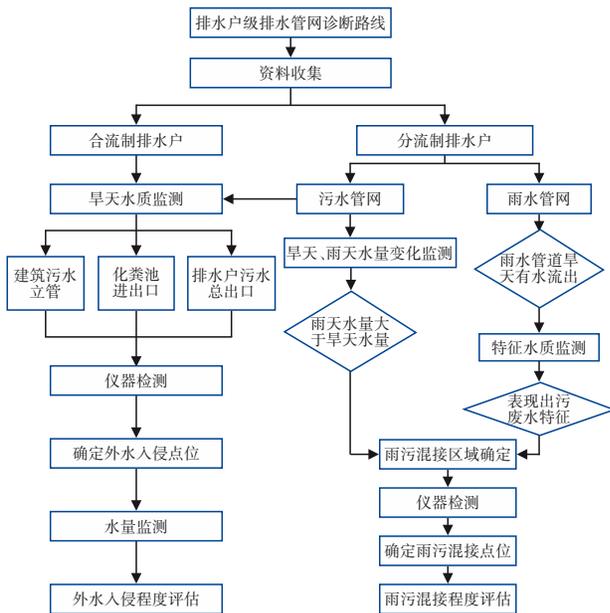


图3 排水户级排水管网诊断流程

Fig.3 Diagnostic flow of drainage pipe network at sewer source level

在进行排水户级排水系统诊断工作时,首先应对需要诊断排水户的基础资料进行收集。对于合流制排水户,需对建筑污水立管、化粪池进出口、污水总出口开展旱天水质监测工作,对比化粪池进、出口水质,分析COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TN、TP等常规指标经化粪池物理沉降与生物降解作用后的变化情况,评估化粪池对排水户出口污水水质的影响程度。对比建筑污水立管出口与化粪池进口的水质数据,若化粪池进口水质数据明显低于建筑污水立管出口,则说明排水户内部管网可能存在外水入侵问题,应进行仪器检测以确定外水入侵点位,并结合水量监测结果进行评估。

对于分流制排水户,需要开展外水入侵诊断以及雨污混接诊断。分流制排水户污水管网外水入侵诊断流程同合流制排水户,污水管网与雨水管网的雨污混接诊断流程同区域级排水管网。

## 2 分级诊断技术实践

### 2.1 流域级排水管网诊断案例

以深圳市某流域的排水系统诊断工作为案例。该区域以分流制排水体制为主,包含3座污水处理

厂与若干沿河排口、截污设施,目前该区域主要问题是污水厂进水污染物浓度低,需要通过诊断技术来分析影响污水厂进水污染物浓度的主要成因。

首先,收集该流域范围内的供水量、污水厂进水水质和水量、排水管网基础资料,通过对流域内某污水厂进水水质和水量的分析,根据常规指标判断区域范围内是否存在外水入侵问题,根据B/C比值判断是否存在工业废水排入问题;通过对供水量与污水厂进水量差值的分析,测算各污水厂服务范围内的外水入侵量。然后,对排水设施进行现场调查与资料分析,判断是否存在污水直排、雨污混接、河湖水倒灌以及清洁基流进入污水管网的问题,同时对关键节点进行水质、水量监测,对主要问题进行量化分析;通过整理、统计排水道仪器检测资料,明确管道各类缺陷问题,对主要问题进行定位分析;最后,综合上述分析结果,以污水厂进水水质和水量为导向,对诊断范围内的水质水量平衡关系进行测算,分析影响污水厂进水浓度的主要成因,明确污水厂旱天进水各部分水源组成及比例,结果表3所示。

表3 深圳某流域污水厂旱天水源组成及比例

Tab.3 Composition and proportion of water sources for the sewage treatment plant in Shenzhen during sunny days

排水单元	流量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	流量占比/%
小区地块	0.49	26
工业企业	0.58	31
清洁基流	0.42	22
地下水渗漏(管道缺陷渗漏量)	0.21	11
地下水渗漏(管道允许渗漏量)	0.16	8
污水厂旱天进水	1.90	100

通过对该流域级排水系统的诊断分析发现,导致该流域内污水厂进水污染物浓度偏低的原因因为地下水入渗、清洁基流截流、低浓度工业废水排入,其中清洁基流截流与低浓度工业废水排入是主要成因,建议通过管网修复以及工业企业排水整治工程来提升污水厂进水污染物浓度。

### 2.2 区域级排水管网诊断实际案例

以岳阳市某区域的排水系统诊断工作为案例。该诊断区域面积为9.6 km<sup>2</sup>,区域内为分流制排水体制,主要存在污水管网外水入侵以及雨污混接问题。

对于污水管网外水入侵问题,首先根据水质特征因子的确定原则,将 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与 $\text{Mn}^{2+}$ 分别作为表征生活污水与地下水的特征因子;然后对污水管网关键节点进行水质水量监测,若管段上下游节点 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度突然降低、 $\text{Mn}^{2+}$ 浓度突然升高,且流量激增,则说明该管段存在地下水入渗问题;若管段上下游节点 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度突然降低、 $\text{Mn}^{2+}$ 浓度稳定,且流量激增,则说明该管段存在其他外水(除地下水)入侵问题。选择 $\text{NH}_3\text{-N}$ 作为生活污水的特征因子,应用化学质量平衡模型法对研究区域管道中除生活污水以外的其他外水量进行测算,管道中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的质量平衡关系为:

$$Q_P \times C_P = Q_W \times C_W + Q_X \times C_X \quad (3)$$

$$Q_X + Q_W = Q_P \quad (4)$$

则管道中外水入侵量为:

$$Q_X = \frac{Q_P(C_W - C_P)}{C_W - C_X} \quad (5)$$

由于其他类别外水中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度远小于生活污水,因此式(5)可简化为:

$$Q_X = \frac{Q_P(C_W - C_P)}{C_W} \quad (6)$$

式中: $Q_P$ 、 $Q_W$ 、 $Q_X$ 分别为管道取样点处的实际流量、管道中生活污水量以及管道中外水入侵量; $C_P$ 、 $C_W$ 、 $C_X$ 分别为管道取样点处的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均浓度、管道中生活污水以及管道中外水的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均浓度。

水质监测表明,研究区域内生活污水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 为47 mg/L,根据管道各关键节点处的水量水质监测结果,计算得出该区域的外水入侵总量为 $2.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。最后对问题管段开展CCTV检测工作,确定市政管网外水入侵点位43处。

对于雨水管网混接问题,首先对旱天流水的雨水管道或排口进行 $\text{NH}_3\text{-N}$ 检测,若检测结果大于10 mg/L,则对该雨水管道或排口上游区域开展雨污混接诊断工作,同时参考管网测绘资料,应用人工目视法结合潜望镜检查法确定雨污混接点位,并采取雨污分流改造或封堵措施。本案例共发现33处雨污混接点,采取措施后污水直排量可减少 $1\,473 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

### 2.3 排水户级排水管网诊断实际案例

以岳阳市某区域内排水户的排水系统诊断工作为案例。通过对该区域的排水户调查发现,部分排水户存在污水总出口水质指标值较低(如 $\text{BOD}_5 <$

100 mg/L)以及雨污混接问题。

对于污水总出口水质指标值较低的问题诊断,首先对排水户建筑污水立管、化粪池进出口、排水户污水总出口开展旱天水质水量监测工作;然后对比建筑污水立管出口、化粪池进出口与污水总出口的水质数据,若建筑污水立管水质浓度与化粪池进口差异不大,而化粪池出口水质浓度比进口低,则说明化粪池是影响污水总出口水质浓度的因素之一;若污水总出口且化粪池进口水质浓度低于建筑污水立管,则说明该排水户内管网存在外水入侵问题,由此可针对问题管段开展CCTV或QV检测,精确定位外水入侵点位。

排水户级雨污混接问题的诊断流程与区域级雨污混接诊断流程相似,若雨水总出口表现出生活污水特征,说明排水户内部雨水管网可能有污水流入,需对问题管段开展QV检测,确定雨污混接具体点位。

排水管网诊断结果表明,该区域排水户内部外水入侵总量为 $1\,064 \text{ m}^3/\text{d}$ ;有26个排水户存在雨污混接问题,污水混接量为 $665 \text{ m}^3/\text{d}$ ;5个排水户化粪池出口水质明显高于进口,需对化粪池开展清掏、养护工作,以维持其正常使用功能。上述结果可为后续排水户内的排水管网改造提供数据基础与设计方向,从源头上解决问题。

### 3 结语

“提质增效三年行动方案”提出到2021年要实现污水不进河、清水不进管、溢流少污染,因此排水管网的检测与诊断是实现提质增效的关键所在。然而管网诊断方法没有“万能模板”,应根据项目实施区域具体情况,采用合适的诊断方法,避免“一刀切”的绝对路线。

① 首次提出按照排水系统级别来开展诊断工作的方法,将诊断范围分为流域级、区域级和排水户级三个层级,不同层级采取相应的诊断方法。将诊断方法与排水系统级别进行精确匹配,有的放矢,避免按照绝对路线盲目开展工作,才能提高工作效率,发现排水管网存在的真正问题,提升污水输送与处理效能,实现提质增效目标。

② 分级诊断技术的核心是应用综合检测分析方法来解决实际问题。通过分析流域级诊断范围内的污水厂、排水口、雨水泵站等排水设施水质

水量数据,明确区域内外水入侵、雨污混接等问题;在流域内的区域范围中,首先通过特征因子法缩小检测范围,再利用仪器检查法对问题管段进行复核与确认;对区域内的排水户,通过对建筑立管出口、化粪池进出口、污水总出口与雨水总出口开展水质水量监测工作,明确化粪池运行状态与排水户内部存在雨污混接、外水入侵问题的管段,最后对问题区域进行仪器检测工作,精确定位问题点位。

③ 基于综合检测方法的分级诊断技术应用于实际工程,可以高效准确地对不同级别的排水系统进行全面诊断,各级别排水系统的诊断侧重点有所不同。流域级排水系统诊断旨在以较少的检测成本、较多的数据分析手段,定性定量评估流域级排水系统的主要问题,引导下一步进行区域级排水系统诊断工作;区域级排水系统诊断旨在通过综合且全面的检测手段,确定排水系统的问题根源,为工程措施制定提供依据;排水户级管网诊断工作侧重于对排水户内部各类排水设施前后进行检测,进而从源头上确定影响污水厂进水污染物浓度、造成黑臭水体等问题的本质原因。

#### 参考文献:

- [1] 谷慧宇. 深圳市龙华区管网雨污分流改造研究——以君子布河流域为例[D]. 深圳:深圳大学, 2018.  
GU Huiyu. Study on the Transformation of Rain Pollution Diversion of Pipe Network in Longhua District of Shenzhen City—Take the Junzibu River Basin as an Example [D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2018 (in Chinese).
- [2] 唐建国, 张悦, 梅晓洁. 城镇排水系统提质增效的方法与措施[J]. 给水排水, 2019, 45 (4): 30-38.

TANG Jianguo, ZHANG Yue, MEI Xiaojie. Strategies and methods for improving the quality and efficiency of the urban drainage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45 (4): 30-38 (in Chinese).

- [3] 住房和城乡建设部. 给水排水工程基本术语标准: GB/T 50125-2010[S]. 北京:中国计划出版社, 2010.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Standard for Basic Terms of Water and Wastewater Engineering: GB/T 50125-2010 [S]. Beijing: China Planning Press, 2010 (in Chinese).
- [4] 徐祖信, 王思玉, 刘淑雅, 等. 基于地下水入渗反演解析的污水管网破损数值化定位[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2022, 50(9): 1331-1338.  
XU Zuxin, WANG Siyu, LIU Shuya, et al. Numerical analysis and location of sewer network damage based on groundwater infiltration inversion [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2022, 50 (9): 1331-1338 (in Chinese).
- [5] 中国工程建设标准化协会. 城镇排水管道混接调查及治理技术规程: T/CECS 758-2020[S]. 北京:中国计划出版社, 2021.  
China Association for Engineering Construction Standardization. Technical Specification for Investigation and Elimination of Illicit Discharges of Municipal Drainage Pipes: T/CECS 758-2020 [S]. Beijing: China Planning Press, 2021 (in Chinese).

作者简介:胡馨月(1994-),女,黑龙江佳木斯人,硕士,工程师,主要从事排水管网检测、诊断研究工作。

E-mail: 349526444@qq.com

收稿日期:2021-05-31

修回日期:2021-06-28

(编辑:丁彩娟)

**贯彻执行《中华人民共和国水污染防治法》**