

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2023.07.011

## 南、北方3个城市排水管道缺陷 统计分布特征比较研究

刘艳海<sup>1</sup>, 李鸿<sup>2</sup>, 郭帅<sup>3</sup>

(1. 天津港保税区环境投资发展集团有限公司, 天津 300452; 2. 天津市市政工程设计研究总院有限公司, 天津 300051; 3. 合肥工业大学土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:**为探究城镇排水管道缺陷是否存在地区差异,文章选取南方的芜湖市、六安市及北方的天津市3个城市排水管道作为研究对象,统计分析不同地区排水管道缺陷密度和缺陷类型分布。结果表明:芜湖市、六安市、天津市的管道缺陷密度分别为74.0、55.8、6.0个/km,三级以上缺陷所占比例分别为31%、14%、12%;不同地区管道缺陷密度与严重程度分布存在一定差异,南方地区管道缺陷密度与严重缺陷占比均大于北方地区;雨水管道缺陷密度为55.9个/km,大于污水管道的44.1个/km,污水管中的变形、渗漏缺陷密度大于雨水管,而雨水管中错口、破裂、腐蚀更为严重。造成管道缺陷分布差异的原因除管道自身属性、建设年限、施工因素外,还与各地区土壤性质、地质条件及河湖水系等外部因素有关。

**关键词:**排水管道;管道闭路电视(CCTV)检测;管道缺陷;缺陷评估

**中图分类号:**TU992.033

**文献标志码:**A

**文章编号:**1003-5060(2023)07-0930-06

### Comparative study on statistical distribution characteristics of drainage pipeline defects in three southern and northern cities

LIU Yanhai<sup>1</sup>, LI Hong<sup>2</sup>, GUO Shuai<sup>3</sup>

(1. Tianjin Port Free Trade Zone Environment Investment Development Group Co., Ltd., Tianjin 300452, China; 2. Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute, Tianjin 300051, China; 3. School of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** In order to explore whether there are regional differences in urban drainage pipeline defects, this paper selected drainage pipelines in the southern cities of Wuhu and Lu'an and the northern city of Tianjin as research objects, and statistically analyzed the density and type distribution of drainage pipeline defects in different regions. The results show that the pipeline defect densities in Wuhu, Lu'an and Tianjin are 74.0, 55.8 and 6.0 per km, respectively, and the proportion of defects above grade 3 is 31%, 14% and 12%, respectively. Basically, the pipeline defect density and severity are different in three cities, and the pipeline conditions are worse in southern cities. The density of rainwater pipeline defects is 55.9 per km, which is greater than that of 44.1 per km of sewage pipeline, and the density of deformation and leakage defects in sewage pipeline is greater than that of rainwater pipeline, while the misalignment, rupture and corrosion in rainwater pipeline are more serious. In addition to the properties of pipelines, construction years and construction factors, the reasons for the differences in the distribution of pipeline defects are also related to external factors such as soil properties, geological conditions and river and lake systems in various regions.

**收稿日期:**2021-12-27; **修回日期:**2022-05-04

**基金项目:**天津市重点研发计划科技支撑重点资助项目(20YFZCSN01080);安徽省重点研究与开发计划资助项目(202104i07020012)

**作者简介:**刘艳海(1983—),男,天津市人,天津港保税区环境投资发展集团有限公司高级工程师;

郭帅(1984—),男,河南商丘人,博士,合肥工业大学副研究员,通信作者, E-mail:guoshuai@hfut.edu.cn.

**Key words:** drainage pipeline; closed circuit television (CCTV) detection; pipeline defect; defect assessment

## 0 引 言

随着我国城镇化建设快速发展,排水管道敷设长度逐年快速增长,污水处理量和收集率也随之增加,但是整体水环境并没有显著改善,如黑臭水体仍是我国目前最突出的环境问题之一<sup>[1-3]</sup>,而这与我国当前排水管网存在严重的结构性与功能性缺陷,且管道检测与修复管理水平相对滞后密切相关<sup>[4]</sup>,如我国编制的行业标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》<sup>[5]</sup>于 2012 年首次发布,而西方一些发达国家,如英国在 20 世纪 80 年代初就已发布其第 1 版排水管道状况分类手册 Sewerage Rehabilitation Manual<sup>[6]</sup>,并成为世界各国制定相关标准的重要参考。

由于排水管道所处环境复杂,易受到多种因素的影响,经过数十年的使用,加上缺少预防性维护工作,会逐渐出现破裂、渗漏、变形等缺陷和问题<sup>[7]</sup>。为加快补齐城镇污水收集和处理设施短板,《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021 年)》提出要建立污水管网排查和周期性检测制度<sup>[8]</sup>。为此,全国各地排水管道检测与修复项目正逐步开展起来<sup>[9-11]</sup>。

2018 年,我国开始实施“长江大保护”战略举措,并开始对长江沿线一批城市的排水管道进行系统的检测与评估,积累了大量的管道检测数据,为统计分析管道缺陷分布特征提供了条件。为探究排水管道缺陷分布是否存在地区差异,本文选取实施长江大保护项目的 2 个南方城市——芜湖市与六安市的管道检测数据,同时选取 1 个北方滨海城市天津市的近期排水管道检测成果,开展对比分析研究,以 3 个城市排水管道缺陷作为研究对象,比较研究不同地区管道缺陷类型与缺陷级别的差异,并探讨造成这些差异的原因。

## 1 研究区域概况与管道检测方法

### 1.1 排水管网状况

选取芜湖市 3 个片区、六安市 2 个片区及天津市 1 个片区的分流制排水管网系统,共检测排水管道 1 420.64 km,其中芜湖市共检测污水管线 331.45 km、雨水管线 606.24 km,合计 937.69 km;六安市共检测污水管线 204.94 km、雨水管线 257.27 km,合计 462.21 km;天津市共检测污水管线 6.80 km、雨水管线 13.94 km,合

计 20.74 km。通过查阅历史卫星地图追溯 3 个城市在不同年代的路网建设状况,推测得到管道建设年限分布频率如图 1 所示。截至 2021 年底,芜湖区域管道建设年限主要集中在 5~15 a(占比 56%),六安区域管道建设年限主要集中在 0~10 a(占比 66%),而天津检测区域较小,全部为 5~10 a 内建成。3 个区域的排水管道断面形状全部为圆形,管径大于等于 DN800 的管道均为钢筋混凝土管,小于 DN800 的管道均为高密度聚乙烯(high-density polyethylene, HDPE)管材。

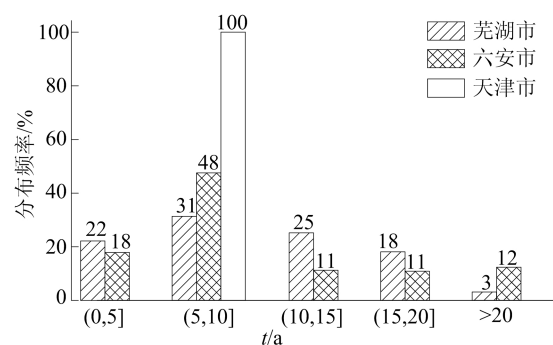


图 1 3 个城市检测区域管道建设年限分布频率

### 1.2 管道检测、评估方法

常用的排水管道检测方法有管道闭路电视(closed circuit television, CCTV)检测、QV(Quick Vision)(管道潜望镜)检测、声呐检测等。本次主要采用 CCTV 进行管道缺陷检测,由于 CCTV 检测无法带水作业检测,检测前应根据管内水位采取相应降水措施。管道检测工作流程如图 2 所示。首先梳理待检测管段资料,然后进行现场踏勘,根据管内液位判断是否需要降水,若降水后淤积厚度大于 100 mm,则需清淤,管道彻底清洗完成后,对管道进行 CCTV 检测或 QV 检测。检测由专业技术人员完成,根据管道检测视频对管道缺陷类型、位置、程度等进行记录。

管道评估方法参照文献<sup>[5]</sup>,将管道缺陷类型分为结构性缺陷、功能性缺陷,其中:结构性缺陷包括 10 种,分别为破裂(PL)、变形(BX)、腐蚀(FS)、错口(CK)、起伏(QF)、脱节(TJ)、接口材料脱落(TL)、支管暗接(AJ)、异物穿入(CR)和渗漏(SL);功能性缺陷包括 6 种,分别为沉积(CJ)、结垢(JG)、障碍物(ZW)、残墙或坝根(CQ)、树根(SG)和浮渣(FZ)。将管道缺陷严重程度分为一至四级,分别为轻微缺陷(一级)、中等缺陷

(二级)、严重缺陷(三级)和重大缺陷(四级)。

为比较不同排水管道、不同地区排水管道缺陷的类型,本文以每千米管道上缺陷数量即管道缺陷密度  $S$  作为评价参数,定义为:

$$S = \frac{N}{L} \quad (1)$$

其中: $N$  为管段的缺陷数量; $L$  为管段长度。

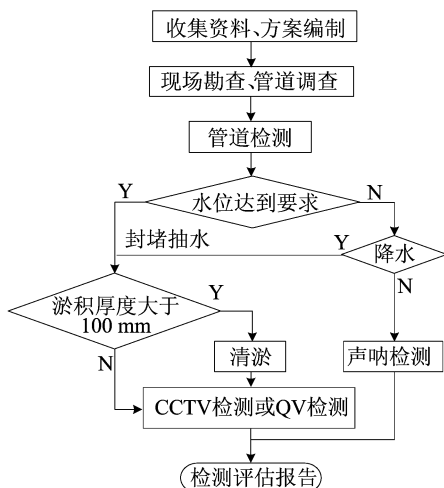


图 2 管道检测工作流程

## 2 管道检测结果与缺陷对比分析

### 2.1 3 个城市管道检测结果

3 个城市管道检测结果见表 1 所列。

1) 芜湖市 937.69 km 雨、污排水管道共检出缺陷 69 364 个,平均缺陷密度为 74.0 个/km,其中一级缺陷 24 416 个、二级缺陷 23 024 个、三级缺陷 10 680 个、四级缺陷 11 244 个。共检测出结构性缺陷 51 277 个,包括错口 14 869 个(29.0%)、破裂 13 335 个(26.0%)、变形 5 822 个(11.4%)、脱节 5 180 个(10.1%)、腐蚀 4 793 个

(9.3%)、渗漏 2 853 个(5.6%)、接口材料脱落 1 328 个(3.7%)、起伏 1 010 个(2.0%)和支管暗接 204 个(0.4%)。共检测出功能性缺陷 18 087 个,包括沉积 10 516 个(58.1%)、障碍物 4 166 个(23.0%)、树根 1 823 个(10.1%)、结垢 753 个(4.2%)、残墙或坝根 672 个(3.7%)和浮渣 157 个(0.9%)。

2) 六安市 462.21 km 排水管道共检测出缺陷 25 807 个,平均缺陷密度为 55.8 个/km,其中一级缺陷 15 387 个、二级缺陷 6 828 个、三级缺陷 2 079 个、四级缺陷 1 513 个。共检测出结构性缺陷 19 967 个,包括错口 7 524 个(37.7%)、腐蚀 5 060 个(25.3%)、破裂 3 570 个(17.9%)、变形 1 246 个(6.2%)、脱节 1 048 个(5.2%)、接口材料脱落 604 个(3.0%)、起伏 334 个(1.7%)、渗漏 286 个(1.4%)、异物穿入 212 个(1.1%)和支管暗接 83 个(0.4%)。共检测出功能性缺陷 5 840 个,包括障碍物 3 528 个(60.4%)、树根 1 252 个(21.4%)、沉积 812 个(13.9%)、结垢 142 个(2.4%)、残墙或坝根 83 个(1.4%)和浮渣 23 个(0.4%)。

3) 天津市 20.74 km 排水管道共检测出缺陷 125 个,平均缺陷密度为 6.0 个/km,其中一级缺陷 101 个、二级缺陷 8 个、三级缺陷 13 个、四级缺陷 3 个。共检测出结构性缺陷 90 个,包括破裂 47 个(52.2%)、错口 12 个(13.3%)、接口材料脱落 10 个(11.1%)、异物穿入 8 个(8.9%)、脱节 8 个(8.9%)、渗漏 5 个(5.6%),未发现支管暗接、变形、腐蚀、起伏缺陷。共检测出功能性缺陷 35 个,包括障碍物 28 个(71.4%)、沉积 8 个(22.9%)、残墙或坝根 1 个(2.9%)和结垢 1 个(2.9%),未发现浮渣、树根缺陷。

表 1 3 个城市管道检测结果统计

城市	L/km		N/个			S/(个/km)		
	污水	雨水	污水	雨水	总计	污水	雨水	平均
芜湖市	331.45	606.24	20 277	49 087	69 364	61.2	81.0	74.0
六安市	204.94	257.27	6 943	18 864	25 807	33.9	73.3	55.8
天津市	6.80	13.94	59	66	125	8.7	4.7	6.0

### 2.2 不同地区缺陷类型比较

从管道缺陷密度来看,不同地区存在较大差异,北方的天津市管道缺陷密度为 6.0 个/km,远小于南方的六安市(55.8 个/km)和芜湖市(74.0 个/km)。不同城市排水管道缺陷类型分

布也不尽相同,芜湖、六安和天津 3 个城市排水管道缺陷密度柱状图如图 3 所示。

由图 3a 可知:芜湖市主要结构性缺陷类型为错口(CK)、破裂(PL)、变形(BX)和脱节(TJ),占芜湖地区结构性缺陷的 76.5%;六安市主要结构

性缺陷为错口(CK)、腐蚀(FS)、破裂(PL)和变形(BX),占六安地区结构性缺陷的87.1%;天津市主要结构性缺陷为破裂(PL)和错口(CK),所占比例为 65.6%。由此可见,破裂(PL)和错口(CK)缺陷在南、北方城市均占较高比例,而支管暗接(AJ)、起伏(QF)、接口材料脱落(TL)缺陷密度均较小。

芜湖市渗漏(SL)缺陷密度为 3 个/km,明显高于六安市(0.6 个/km)和天津市(0.2 个/km),这可能与芜湖地区水系发达、地下水资源丰富有关。

六安市管道腐蚀(FS)最严重,高于芜湖市(5.1 个/km),天津市未检测出该类型缺陷。

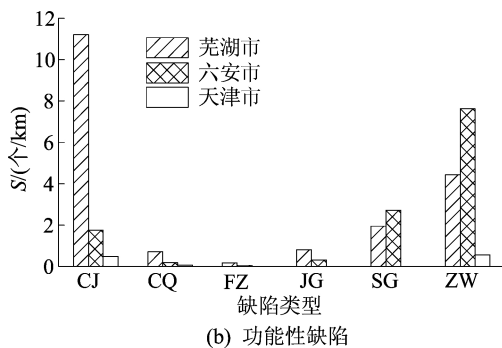
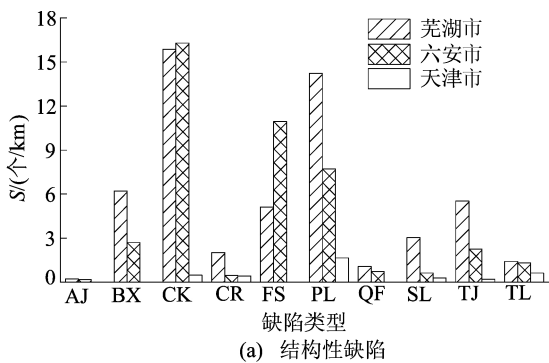


图 3 3 个城市排水管道缺陷密度柱状图

由图 3b 可知:芜湖市主要功能性缺陷为沉积(CJ)和障碍物(ZW),两者占芜湖地区功能性缺陷的 81.1%;六安市主要功能性缺陷为障碍物(ZW)和树根(SG),占六安地区功能性缺陷的 81.8%;天津市主要功能性缺陷为障碍物(ZW)和沉积(CJ),占天津地区功能性缺陷的 94.2%。

3 个城市障碍物(ZW)缺陷密度从大到小依次为六安市(7.6 个/km)、芜湖市(4.4 个/km)、天津市(1.2 个/km),在功能性缺陷中所占比例较高,而浮渣(FZ)、残墙或坝根(CQ)和结垢(JG)缺陷密度均小于 1 个/km。

芜湖市沉积(CJ)缺陷密度约为 11.2 个/km,

远大于六安市(1.8 个/km)和天津市(0.4 个/km),一般地,管道 CCTV 检测之前,需对管内淤积进行冲洗,出现沉积缺陷可能与该地区管道检测流程不规范有关。

芜湖市与六安市树根(SG)缺陷密度相当,分别为 1.9、2.7 个/km,天津市未检测出该缺陷。

### 2.3 不同地区缺陷级别比较

管道缺陷级别反映管道缺陷的严重程度,缺陷级别数字越大表示缺陷越严重。南、北方 3 个城市管道各级缺陷占比如图 4 所示。由图 4 可知,3 个城市各级缺陷占比基本符合管道缺陷级别越高,其所占比例越低的规律。其中天津市一级缺陷数量占天津地区所有缺陷总数的 69%,此比例在 3 个地区中最大,表明天津地区管道缺陷主要为轻微缺陷,同时由表 1 可知,天津市排水管道缺陷密度也最低,反映出天津地区管道状况较好,由此可见北方地区排水管道健康程度优于南方地区。芜湖市三、四级缺陷占比为 31%,所占比例远高于六安市(14%)和天津市(13%),意味着芜湖地区接近 1/3 的管道缺陷中为严重缺陷,同时由表 1 可知,芜湖市管道缺陷密度也最高,由此可见芜湖地区排水管道状况较差。

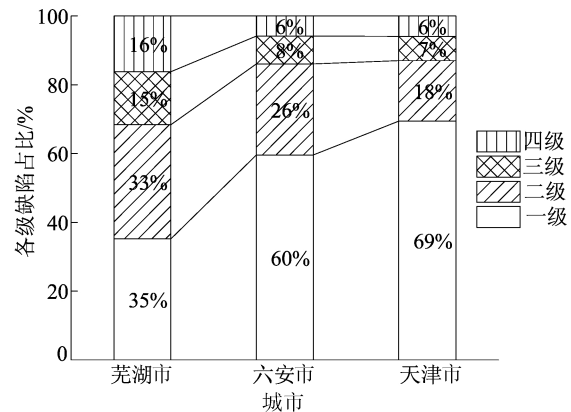


图 4 3 个城市排水管道各级缺陷占比分析结果

### 2.4 雨、污水管道缺陷比较

为对比分析不同管道类型(即雨水管与污水管)在缺陷分布上的不同特征,将 3 个城市数据做综合统计分析。3 个城市雨、污水管缺陷密度柱状图如图 5 所示。

由图 5a 可知:雨水管结构性缺陷密度为 55.9 个/km,大于污水管的 44.1 个/km;雨、污水管道结构性缺陷分布存在差异,污水管中主要结构性缺陷密度由大到小依次是变形(BX)、错口(CK)、破裂(PL)、腐蚀(FS)、渗漏(SL),这 5 种缺

陷占污水管道结构性缺陷总数的 84.3%;而雨水管中主要结构性缺陷类型为错口(CK)、破裂(PL)、腐蚀(FS)及脱节(TJ),这 4 种缺陷占雨水管道缺陷总数的 86.3%;污水管中的变形(BX)、渗漏(SL)缺陷密度分别为 9.6、3.7 个/km,明显大于雨水管中的 2.1、1.3 个/km;雨水管中的错口(CK)、破裂(PL)和腐蚀(FS)缺陷分别为 20.0、14.3、8.6 个/km,大于污水管中的 9.0、8.0、4.3 个/km。

由图 5b 可知:雨水管中功能性缺陷密度为 21.7 个/km,远大于污水管中的 9.1 个/km;不论雨水管还是污水管,功能性缺陷中最严重的 2 种类型均为沉积(CJ)和障碍物(ZW),雨水管中这 2 种缺陷占功能性缺陷总数的 80.2%,污水管中此比例为 76.9%,表明排水管道普遍存在缺乏维护的问题。雨水管中沉积(CJ)和障碍物(ZW)缺陷密度分别为 10.5、6.9 个/km,明显大于污水管中的 4.0、3.1 个/km;雨水管中的沉积、障碍物主要为修建道路废弃的沥青块、混凝土块。此外,雨水管中,由于树根生长进入管道造成过水断面损失的缺陷较污水管也更为严重。

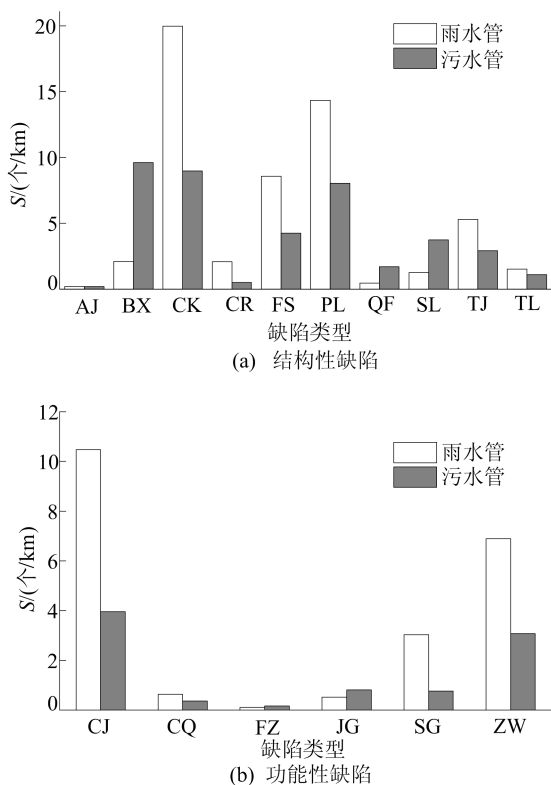


图 5 雨、污水管道缺陷密度柱状图

### 3 排水管道缺陷的影响因素分析

文献[12]归纳了影响刚性排水管道结构性缺

陷的因素,将影响因素分为以下 3 个大类:

1) 施工因素,包括安装方法、施工工艺标准、管道尺寸、管道埋深、垫层材料和类型、管材、接头类型和材料、管段长度及管道连接方式。

2) 局部、外部因素,包括地面使用、地面荷载、地表类型、路面交通特征、给水管泄露、附近开挖扰动、地下水位、回填土类型及树根。

3) 其他因素,包括污水性质、维护方法及管龄等。

造成不同地区排水管道缺陷类型和缺陷级别差异的原因可能有垫层材料、管道覆土和地下水位,这与各地区的管道建设年限、管材类型和断面形式有关,也与土壤特性、地质条件及河湖水系有关。如芜湖市渗漏缺陷数目明显高于其他 2 个城市,这与芜湖地区地表水和地下水资源丰富有关。芜湖地区位于长江中下游水网地区,广泛分布河漫滩和阶地,浅部主要发育淤泥质粉质黏土、粉质黏土、粉土和粉砂等,均为河湖沉积的饱和软土,属于典型的软土地层,力学性质较差,另外芜湖市管网建设年限也比六安市、天津市要长,导致芜湖地区排水管道缺陷密度和严重缺陷数量都高于六安、天津地区。

雨、污水管功能不同,所传输水的性质不同,这可能是造成两者缺陷类型分布差异的原因之一。雨水管一般多数设于非机动车道之下,而污水管多数设于人行道和绿化带之下,两者地表类型不同,所承受的荷载类型不同,且污水管埋深一般大于雨水管,这也是造成雨、污水管道缺陷存在差异的重要原因。

## 4 结 论

本文选取芜湖、六安、天津 3 个城市的雨、污水管道检测缺陷成果,比较研究南、北方不同地区城市排水管道缺陷分布及缺陷级别的异同,主要结论如下:

1) 不同地区排水管道缺陷类型和级别分布都存在一定差异,北方地区排水管道缺陷密度和三级以上缺陷占比均小于南方地区。

2) 雨水管缺陷密度大于污水管道,雨、污排水管道主要结构性缺陷有所不同,但主要功能性缺陷均为沉积和障碍物。

3) 造成不同地区、不同类型排水管道缺陷差异的原因十分复杂,不仅与管道自身属性、施工因素有关,还与各地区土壤特性、地质条件、河湖水系等外部因素有关。

## [参 考 文 献]

- [1] 王玉琼. 基于排水管网模型的抗生素排放风险特征分析[D]. 西安:长安大学, 2019.
- [2] 徐祖信, 徐晋, 金伟, 等. 我国城市黑臭水体治理面临的挑战与机遇[J]. 给水排水, 2019, 55(3): 1-5, 77.
- [3] 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, 55(4): 30-38.
- [4] 李晓峰. 城镇污水管网健康状况评价与修复技术优选研究[D]. 苏州:苏州科技大学, 2019.
- [5] 广州市市政集团有限公司. 城镇排水管道检测与评估技术规范: CJJ 181—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012: 21-30.
- [6] Water Research Centre. Sewerage rehabilitation manual[M]. Marlow: Water Research Centre(Great Britain), 1983.
- [7] 李若晗. 城市污水管道检测、评价与影响因素研究[D]. 北京:清华大学, 2016.
- [8] 城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)[J]. 城市道桥与防洪, 2019(6): 337-339.
- [9] 肖倩, 王俊然, 陈辉, 等. 深圳市某片区排水管道 CCTV 检测评估与修复方案[J]. 给水排水, 2019, 55(9): 109-114.
- [10] 谢昌仁. 泰州市排水管道 CCTV 检测与评价技术研究[D]. 扬州:扬州大学, 2019.
- [11] 沈小华, 齐国辅, 严小明, 等. 南京市某排水管网检测工程实例分析[J]. 给水排水, 2020, 56(4): 134-138.
- [12] DAVIES J P, CLARKE B A, WHITER J T, et al. Factors influencing the structural deterioration and collapse of rigid sewer pipes [J]. Urban Water, 2001, 3: 73-89.
- (责任编辑 张淑艳)
- 
- (上接第 929 页)
- [4] 黄一杰, 肖建庄. 钢管再生混凝土柱抗震性能与损伤评价[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2013, 41(3): 330-335, 354.
- [5] 张向冈, 陈宗平, 薛建阳. 钢管再生混凝土柱的抗震破坏机理与损伤分析[J]. 世界地震工程, 2017, 33(3): 174-182.
- [6] 王成刚. 方钢管再生混凝土柱偏心受压及抗震性能试验与理论研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2018.
- [7] 中国建筑科学研究院. 建筑抗震试验规程: JGJ/T 101—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2015: 17-18.
- [8] ROUFAICL M, MEYER C. Analytical modeling of hysteretic behavior of R/C frames[J]. Journal of Structural Engineering, 1987, 113(3): 429-443.
- [9] FAJFAR P. Equivalent ductility factors, taking into account low-cycle fatigue[J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 1992, 21(10): 837-848.
- [10] MINER M A. Cumulative damage in fatigue[J]. Journal of Applied Mechanics, 1945, 12(3): 159-164.
- [11] 张国伟. 钢管混凝土柱在地震作用下的累积损伤性能研究[D]. 长沙:湖南大学, 2009.
- [12] PARK Y J, ANG A S. Seismic damage analysis of reinforced concrete buildings[J]. Journal of Structure Engineering, 1985, 111(4): 740-757.
- [13] 何利, 叶献国. Kratzig 及 Park-Ang 损伤指数模型比较研究[J]. 土木工程学报, 2010, 43(12): 1-6.
- [14] 中国地震局工程力学研究所. 建(构)筑物地震破坏等级划分: GB/T 24335—2009[S]. 北京:地震出版社, 2009: 1-5.
- (责任编辑 张 镛)

## · 信息与动态 ·

## 《合肥工业大学学报(自然科学版)》专栏征稿启事

为了贯彻落实党的二十大精神,紧密围绕科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略,《合肥工业大学学报(自然科学版)》设置“机器人与人工智能”“环境污染与防治”两个专栏,即日起面向国内外专家学者征集“机器人与人工智能”“环境污染与防治”领域的原创性学术论文、专题综述;稿件一经录用将优先刊发。

来稿要求政治导向正确、论证充分、具有较强的引领性和创新性。格式要求参见《合肥工业大学学报(自然科学版)》网页投稿指南的征稿简则和投稿模板。

在线投稿网址: <http://xbzss.hfut.edu.cn/xbzk.html>。