

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2026.04.018

基于检测数据的排水管道缺陷发育统计特征分析

李伯乾¹, 郭帅¹, 成浩科²

(1. 合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 长江生态环保集团有限公司, 湖北 武汉 430014)

摘要:为探究排水管道缺陷发育特征,文章对南方某市2次管道闭路电视(closed circuit television, CCTV)检测数据进行统计对比分析。结果表明:2020年第1次检测时排水管道共存在17 714处缺陷,而2021年第2次检测时缺陷数量达到18 572处,增加了858处,缺陷密度增长了6%,且3、4级缺陷的管道缺陷数量占比从37.3%增长到38.9%,说明该地区排水管道的缺陷数量和缺陷级数均呈现上升趋势。进一步分析发现,管道材质、管道长度、建设年龄和外界环境等因素都对管道的健康状况产生一定影响。

关键词:排水管道;管道闭路电视(CCTV)检测;管道缺陷;缺陷发育;缺陷评估

中图分类号:TU992.033 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-5060(2026)04-0566-05

Statistical characterization of drainage pipe defect development based on inspection data

LI Boqian¹, GUO Shuai¹, CHENG Haoke²

(1. School of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Yangtze Ecology and Environment Co., Ltd., Wuhan 430014, China)

Abstract: In order to explore the characteristics of the development of defects in drainage pipes, two rounds of closed circuit television (CCTV) inspection data from a city in southern China were statistically compared and analyzed. The results show that 17 714 pipe defects were identified in the first inspection in 2020, while the number of defects reached 18 572 in the second inspection in 2021, indicating an increase of 858 defects and a 6% increase in the defect density. In addition, the percentage of pipes with Grade 3 and 4 defects increased from 37.3% to 38.9%, indicating that both the number of pipe defects and the defect grade in the area are on the rise. Further analyses reveal that factors such as pipe material, pipe length, age of construction and external environment have impact on the condition of the pipes.

Key words: drainage pipes; closed circuit television (CCTV) inspection; pipe defects; defect development; defect assessment

城市地下复杂的排水管网系统负责收集和运输雨水、生活污水及工业废水等,是维持城市日常生活的重要保障^[1]。然而,排水管道受管道材质、管道长度及外界环境等多种因素的影响,易出现各种结构性和功能性缺陷而导致冒溢、塌陷等管线事故频发,给社会经济造成严重损失^[2-4]。

因此,探研管道缺陷发生、发育的机理和主要影响因素对指导后续管道修复与治理、提升管网运维水平具有重要的价值和意义^[5]。

2018年,我国启动了“长江大保护”战略,对沿江多个示范城市进行了全面的排水管道检测与评估工作,积累了大量的管道检测数据,为统计分

收稿日期:2023-11-28;修回日期:2024-03-11

基金项目:安徽省重点研究与开发计划资助项目(202104i07020012);长江生态环保集团有限公司科技创新团队经费资助项目(YEEC-KCTD-202207)

作者简介:李伯乾(1999—),男,土家族,贵州铜仁人,合肥工业大学硕士生;

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

析管道缺陷的发育特征提供了数据基础^[6]。

本文基于某长江大保护首批示范城市城东片区 2 次管道闭路电视(closed circuit television,CCTV)排水管道检测成果,分别对雨、污水管道结构性缺陷和功能性缺陷数据开展了详细的统计分析,重点对比了缺陷数量和缺陷级数变化趋势,并对造成缺陷发育的可能原因与影响因素进行了分析。

1 工程概况

南方某沿江城市是长江大保护项目首批试点城市之一,该市城东片区位于主城区的东部,是该市的重点发展区域,片区排水系统采用雨污分流体制,片区建有 1 座综合性污水处理厂,服务范围为 90 km² 区域内的工业废水与生活污水。城东污水处理厂自投入运行以来,因片区地下水位高、管网错混接等问题严重,造成其进水量不足等问题一直较为突出。根据建设资料,该地区排水管道主要是采用钢筋混凝土管和硬聚氯乙烯(UPVC)管,片区管道里程数据基本情况见表 1 所列。截至 2020 年 5 月,项目公司对地区的排水管道完成了第 1 次全面排查,结果显示管网存在大量缺陷,但后期的相关施工修复工作并未及时进行。截至 2021 年 12 月,对该区排水管网完成了第 2 次缺陷排查,结果显示,管道的健康状况进一步恶化,但造成缺陷发育的原因不清,管网排查数据急需系统统计分析。

表 1 城东片区排水管道基本数据

管道总长/km	雨水管长/km	污水管长/km	管段总数/条	雨水管段数/条	污水管段数/条
258.68	166.95	91.73	15 596	12 155	3 441

2 2 次管网检测成果统计分析

2.1 2 次管网检测基础数据

城东片区 2 次检测雨污管道合计总长为 258.68 km,2020 年 5 月管网排查共检测出缺陷 17 714 处,平均缺陷密度为 68.5 处/km,其中检测出雨水管道缺陷 11 965 处,污水管道缺陷 5 749 处。2021 年 12 月共检测出缺陷 18 572 处,平均缺陷密度变为 71.8 处/km,其中检测出雨水管道缺陷 12 696 处,污水管道缺陷 5 876 处。

《城镇排水管道检测与评估技术规程》将管道缺陷类型分为结构性缺陷和功能性缺陷,其中,结构性缺陷包括破裂(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)。将管道的缺陷程度分为 4 个等级,分别为 1 级、2 级、3 级和 4 级缺陷,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^[7]。

2020 年排查检测出的雨水管道缺陷中包括结构性缺陷为 7 883 处,其中错口 2 854 处、破裂 2 201 处、变形 361 处、脱节 900 处、腐蚀 625 处、异物传入 318 处、渗漏 380 处、起伏 60 处、接口材料脱落 160 处、支管暗接 24 处,上述各种结构性缺陷数量占比依次为 36.2%、27.9%、4.6%、11.4%、7.9%、4.0%、4.8%、0.8%、2.0%、0.3%,占比结果如图 1 所示。检出雨水管道功能性缺陷为 4 082 处,其中沉积 2 641 处、障碍物 869 处、树根 381 处、残墙坝根 89 处、浮渣 35 处和结垢 67 处,6 种功能性缺陷数量占比依次为 64.7%、21.3%、9.3%、2.2%、0.9%、1.6%,占比结果如图 2 所示,其中障碍物和沉淀功能性缺陷合计高达 86%,意味着雨水系统正面临着严重的堵塞和淤积问题。

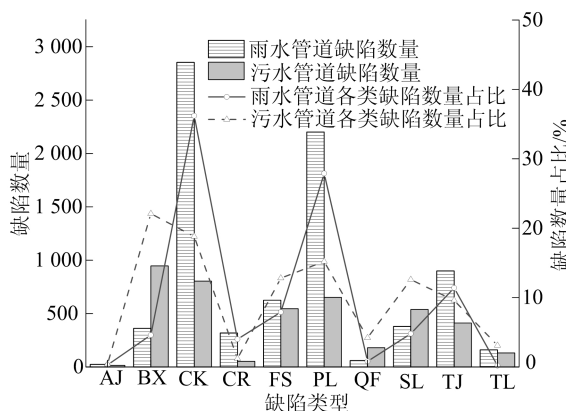


图 1 2020 年排水管道结构性缺陷总数统计

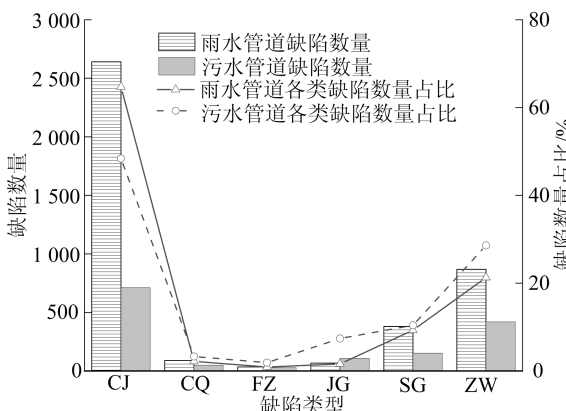


图 2 2020 年排水管道功能性缺陷总数统计

2020 年检测出污水管道结构性缺陷和功能
性缺陷分别有 4 278 处和 1 471 处,其中结构性缺
陷包括错口 804 处、破裂 652 处、变形 947 处、脱节
412 处、腐蚀 546 处、异物传入 52 处、渗漏 539 处、
接口材料脱落 131 处、起伏 180 处和支管暗接
15 处,上述各类结构性缺陷数量所占比例如图 1
所示。与雨水管道相比,污水管道结构性缺陷分
布较为均衡且数量较小;检出的污水管道功能
性缺陷中包含沉积 712 处、障碍物 420 处、树根
153 处、残墙坝根 49 处、浮渣 28 处和结垢 109 处,
各类缺陷数量所占比例如图 2 所示。

对 2021 年该地区排水管道检测数据统计分
析可知:雨水管道的结构性缺陷 7 942 处,其中错
口 2 864 处、破裂 2 216 处、变形 370 处、脱节
900 处、腐蚀 633 处、异物传入 327 处、渗漏
380 处、接口材料脱落 169 处、起伏 59 处和支管
暗接 24 处,各类缺陷所占比例如图 3 所示;功
能性缺陷 4 754 处,其中包括沉积 3 302 处、障碍物
869 处、树根 380 处、残墙坝根 97 处、浮渣 39 处和
结垢 67 处,各类缺陷数量所占结果如图 4 所示。

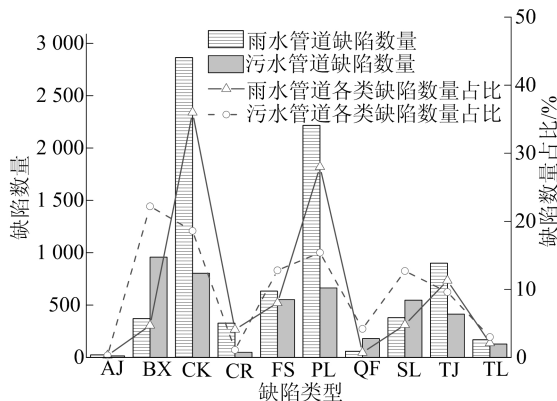


图 3 2021 年排水管道结构性缺陷总数统计

2021 年检测出污水管道结构性缺陷 4 311 处,
包括错口 804 处、破裂 664 处、变形 958 处、脱节
414 处、腐蚀 552 处、异物传入 49 处、渗漏 547 处、
接口材料脱落 128 处、起伏 180 处和支管暗接

15 处,所占比例如图 3 所示,占比依次为 18.6%、
15.5%、22.2%、9.6%、12.8%、1.1%、12.7%、
3.0%、4.2%、0.3%;功能性缺陷 1 565 处,包含
沉积 791 处、障碍物 431 处、树根 154 处、残墙坝
根 51 处、浮渣 27 处和结垢 111 处,各类缺陷所占
比例如图 4 所示,占比分别为 50.5%、27.5%、
9.8%、3.3%、1.7%、7.1%。

2 次管道检测结果表明,该片区雨污水管道
缺陷在不到两年的时间内已发生较为显著变化,
尤其是管道的功能性缺陷数量增加了 1 442 处。

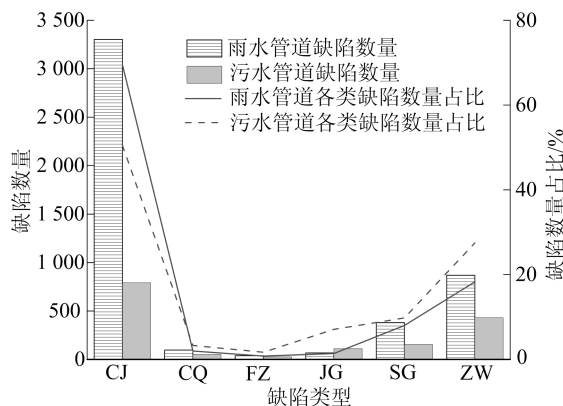


图 4 2021 年排水管道功能性缺陷总数统计

2.2 管道结构性缺陷对比分析

片区雨水管道长度为 166.95 km,雨水管道结
构性缺陷检测结果见表 2 所列。从表 2 可以看出:
2020 年管网检测共发现 7 883 处缺陷,缺陷密度为
47.22 处/km,其中错口和破裂占比较大,分别为
36.2%和 27.9%;而 2021 年检测雨水管道结构
性缺陷数为 7 942 处,相较 2020 年检测时增加 59 处,
缺陷密度变为 47.57 处/km,增长 0.35%。综合考
虑,2 次检测雨水管道结构性缺陷数量和密度并没
有发生太大变化,表明该地区目前的雨水管道结
构性缺陷较为稳定。

片区污水管道总长 91.73 km,污水管道结
构性缺陷结果见表 3 所列。

表 2 雨水管道结构性缺陷数量

单位:处

年份	支管暗接	变形	错口	异物传入	腐蚀	破裂	起伏	渗漏	接口材料脱节	脱落
2020	24	361	2 854	318	625	2 201	60	380	900	160
2021	24	370	2 864	327	633	2 216	59	380	900	169

表 3 污水管道结构性缺陷数量

单位:处

年份	支管暗接	变形	错口	异物传入	腐蚀	破裂	起伏	渗漏	接口材料脱节	脱落
2020	15	947	804	52	546	652	180	539	412	131
2021	15	958	804	49	552	664	180	547	414	128

从表 3 可以看出:2020 年检测出结构性缺陷 4 278 处,意味着每千米的污水管道中平均有 46.64 处缺陷;2021 年检测出污水管道结构性缺陷 4 311 处,相较 2020 年检测时增加 33 处,缺陷密度达到了 47.00 处/km,增长 0.36%。说明在本段时间内虽未采取任何管道修复措施,但是与 2020 年相比,污水管道的结构性缺陷数量仅表现出略微的增加。结果表明该管道在该时段仍处于相对较稳定的状态,其结构性缺陷并未表现出明显的扩张趋势。根据检测结果,片区雨污管道的结构性缺陷数仅有轻微增加,该段时间内雨水污水管道结构性表现较稳定,但总体结构性缺陷密度较高,需及时开展修复与管养。

2.3 管道功能性缺陷对比分析

雨水管道功能性缺陷数量统计结果见表 4 所列。由表 4 可知:2020 年检测出雨水管道存在功能性缺陷 4 082 处,缺陷密度为 24.45 处/km;与结构性缺陷相比,功能性缺陷数量明显较多,其中沉积和障碍物的比例较高,分别为 64.7% 和 21.3%。2021 年检测发现雨水管道的功能性缺陷增加到 4 754 处,较 2020 年检测增加了 672 处;此时,缺陷密度已达到 28.48 处/km,增长 4.03%。与结构性缺陷相比,雨水管道功能性缺陷的数量增长最为显著且速度最快。表明这段时间内,雨水管道的功能性缺陷有明显的发展趋势,需采取相应的管道修复措施进行修复,以免雨水管道功能性缺陷进一步恶化,造成不必要的经济损失。

污水管道功能性缺陷统计结果见表 5 所列。

表 4 雨水管道功能性缺陷数量 单位:处

年份	沉积	残墙、坝根	浮渣	结垢	树根	障碍物
2020	2 641	89	35	67	381	869
2021	3 302	97	39	67	380	869

表 5 污水管道功能性缺陷数量 单位:处

年份	沉积	残墙、坝根	浮渣	结垢	树根	障碍物
2020	712	49	28	109	153	420
2021	791	51	27	111	154	431

从表 5 可以看出:2020 年检测发现污水管道功能性缺陷 1 471 处,缺陷密度为 16.04 处/km,2021 年检测发现功能性缺陷为 1 565 处,增加 94 处;缺陷的密度也随之变为 17.06 处/km,增长 1.02%。表明污水管道的功能性缺陷在数量上变化较小,管道的健康状况处于较为稳定的状

态。但与雨水管道相同的是,污水管道中沉积和障碍物缺陷占比也较高,严重影响管道的运输功能,需尽快对其进行清理和修复。

3 管道缺陷发育特征分析

3.1 管道缺陷级数对比分析

通过对排水管道缺陷级数的对比分析,能够全面了解不同级别缺陷的变化情况和直观反映出缺陷的发育特征。雨水管道方面,2020 年 5 月排查成果显示 1 级、2 级、3 级、4 级缺陷数量分别为 3 790 处(31.7%)、3 705 处(31.0%)、2 252 处(18.8%)、2 218 处(18.5%)。2021 年 12 月检测雨水管道 1 级到 4 级的缺陷数量分别为 3 825 处(30.1%)、3 932 处(31.0%)、2 383 处(18.8%)、2 556 处(20.1%)。对比 2 次检测结果,发现雨水管道 4 级缺陷比例增加了 1.6%,而 1 级缺陷比例降低了 1.6%,2 级和 3 级缺陷比例保持不变,表明雨水管道缺陷已经逐渐恶化,进而演变为高级别的缺陷。缺陷发育示例如图 5 所示。

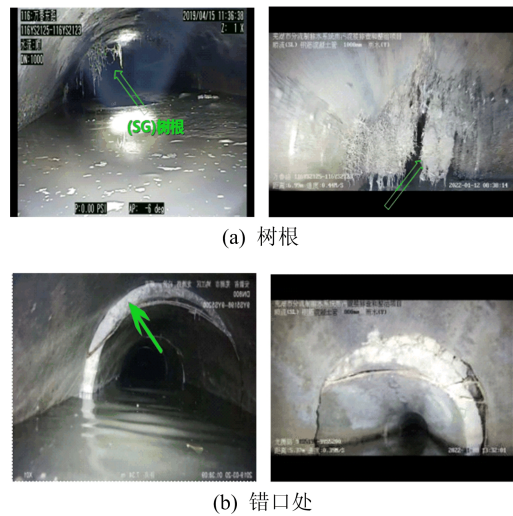


图 5 雨水管道缺陷发育示例图

图 5a 中:左侧为树根 2020 年 1 级缺陷,右侧为树根 2021 年 4 级缺陷。图 5b 中:左侧为错口处 2020 年 2 级缺陷,右侧为错口处 2021 年 4 级缺陷。该片区雨水管道的 3 级、4 级缺陷占比相对较高,且恶化速度较快,需要尽快进行管道修复工作。

污水管道中,2020 年检测的 1 级、2 级、3 级、4 级缺陷数量分别为 1 713 处(29.8%)、2 063 处(35.9%)、774 处(13.5%)、1 199 处(20.8%);而 2021 年检测的这些缺陷数量分别为 1 729 处(29.4%)、2 091 处(35.6%)、803 处(13.7%)、1 253 处(21.3%)。其中,1 级和 2 级缺陷数量分

别下降0.4%和0.3%,而3级和4级缺陷则分别上升0.2%和0.5%。缺陷发育示例如图6所示。图6a中:左侧为破裂处2020年2级缺陷,右侧为破裂处2021年3级缺陷。图6b中:左侧为树根2020年2级缺陷,右侧为树根2021年3级缺陷。部分1级和2级缺陷已经逐渐演变成3级和4级缺陷,污水管道系统的稳定性和持久性受到影响。

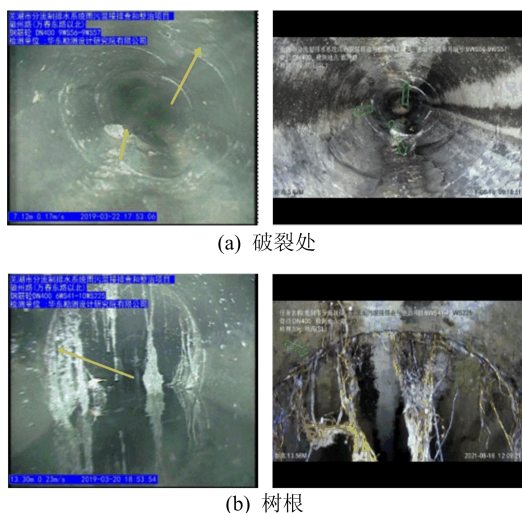


图6 污水管道缺陷发育示例图

3.2 影响排水管道缺陷发育的因素分析

2次检测结果显示:雨水管道的功能性缺陷密度增长了4.03%,而结构性缺陷密度仅增长了0.35%;污水管道方面,功能性缺陷密度增长了1.02%,而结构性缺陷仅增长0.36%。总体而言,雨污水管道的功能性缺陷发育发展速度比结构性缺陷较快,可能是由于破裂、渗漏等结构性缺陷急剧恶化,导致管道受损,外界物质进入管道内部,形成沉淀和障碍物,造成功能性缺陷的恶化。

排水管道缺陷的发育机理较为复杂,通常受到多种因素的影响,但主要是由管道自身结构和外部环境因素导致的,管道结构因素主要包括管材、管径、管龄、管长等,外环境因素主要有地下水位、土壤类型,地面荷载等^[8-9]。

由2.1节可知,2次管道缺陷排查中错口、沉积占比较高。2020年管网排查共检测出缺陷17714处,其中错口、沉积分别有3658处(20.7%)和3353处(18.9%);2021年共检测出缺陷18572处,以上2种缺陷分别有3668处(19.8%)、4093处(22.0%)。错口是由于管道接口受到不同的外力作用产生横向和竖向的错位或破坏,导致落水或缩小过水断面^[10]。而该片区排水管道主要是钢筋混凝土管,少量使用UPVC管,钢筋

混凝土管虽有不受温度影响、刚度较大不易受腐蚀的优点,但整体性较差、管道较短、接口多、接口处的严密效果差,易导致管道发生错位^[11]产生错口和外界物质进入管道内部形成沉积。

4 结 论

1) 2次检测结果显示该片区的排水管道缺陷数量多,缺陷密度高,且管道的3级、4级缺陷占比较高,管道的健康状况较为严重。

2) 2021年检测结果显示,管道缺陷数量和缺陷等级均已发展,尤其雨水管道的功能性缺陷发育发展情况最为严重。

3) 影响排水管道缺陷发育的因素与管道自身属性以及外部环境密切相关,包括管道材质、管道直径等管道自身特性,土壤压力、地下水位、地震荷载、车辆负荷等外界因素,以及施工技术、维护管理水平、地质等其他因素。因此,需要不断加强对管道的日常修复和养护,以防治片区管道缺陷的进一步发育发展。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 王大成,陈国强,秦军,等. 排水管道闭路电视视频智能检测技术的现状与挑战[J]. 工程勘察,2022,50(3):52-56.
- [3] DAHER S. Defect-based condition assessment model and protocol of sewer pipelines[D]. Montreal: Concordia University,2015.
- [4] 袁辉洲,汪小雄,袁佳佳. 南方某城市市政排水管道事故分析及预防措施研究[J]. 给水排水,2021,57(7):112-116.
- [5] 王海英,李顺安,韩乐,等. 南宁市排水管道健康状况评估分析[J]. 给水排水,2020,56(5):132-137.
- [6] 刘艳海,李鸿,郭帅. 南、北方3个城市排水管道缺陷统计分布特征比较研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2023,46(7):930-935.
- [7] 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,2012:21-26.
- [8] 赵立洁. 排水管网缺陷因素分析及预测模型研[D]. 西安: 西安理工大学,2022.
- [9] 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.
- [10] 林明波. 福州市某片区污水管道健康状况检测与分析[J]. 中国给水排水,2014,30(9):96-98.
- [11] 王燕,黎朝裁. 浅析钢筋混凝土管和UPVC管的施工及优缺点[J]. 中国科技信息,2010,22(2):57-58.

(责任编辑 吴 亮)