

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.10.005

长江流域某中小城市排水管网缺陷现状分析

林沛元^{1,2}, 刘彤^{1,2}, 彭寿海³, 陈晓龙³, 米荣熙³, 李韦烨³,
马保松^{1,2}

(1. 中山大学 隧道工程灾变防控与智能建养全国重点实验室, 广东 广州 510275; 2. 中山大学 土木工程学院, 广东 广州 510275; 3. 中国长江三峡集团有限公司 长江经济带生态环境国家工程研究中心, 湖北 武汉 430014)

摘要: 为了解我国中小型城市排水管网的整体健康状态,对长江流域某城市排水管网的缺陷检测数据进行了系统分析,重点探讨了缺陷类型、数量、等级、平均等级、缺陷密度、空间分布和区域差异特征等。结果表明,结构性缺陷以错口、腐蚀和破裂为主,占比接近80%;功能性缺陷则以障碍物、沉积和树根为主,占比约94%。缺陷等级主要为1~2级,占比84%~90%;排水管网平均缺陷等级低于2级,整体处于中等健康水平。管道缺陷密度高达100~200处/km。在空间分布上,结构性缺陷多集中于管道顶部,功能性缺陷则主要位于底部。此外,缺陷类型与地面荷载、管材及流体特性等密切相关。研究成果可为排水管网的区域化高效管理、主动维护策略制定及缺陷修复技术研发等提供科学依据。

关键词: 排水管网; 结构性缺陷; 功能性缺陷; 病害评估; 管网运维

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2026)10-0031-08

Analysis of Drainage Network Defects in a Small-to-medium-sized City in the Yangtze River Basin

LIN Peiyuan^{1,2}, LIU Tong^{1,2}, PENG Shouhai³, CHEN Xiaolong³, MI Rongxi³,
LI Weiye³, MA Baosong^{1,2}

(1. State Key Laboratory for Tunnel Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. School of Civil Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 3. National Engineering Research Center of Eco-Environment in the Yangtze River Economic Belt, China Three Gorges Corporation, Wuhan 430014, China)

Abstract: To assess the overall health of drainage networks in small-to-medium-sized cities in China, defect detection data from the drainage system of a city in the Yangtze River basin were analyzed. The analysis focused on defect types, quantities, grades, average defect grade, defect density, spatial distribution, and regional differences. The results indicate that structural defects primarily consist of joint misalignments, corrosion, and fractures, accounting for nearly 80% of all defects. Functional defects are dominated by obstructions, sedimentation, and root intrusion, making up approximately 94%. The

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC3203200); 中国长江三峡集团科技项目(WWKY-2020-0593); 广东省“珠江人才计划”引进创新创业团队项目(2021ZT09G087)

通信作者: 林沛元 E-mail: linpy23@mail.sysu.edu.cn

majority of defects are classified as grade 1 or 2, representing 84% to 90% of the total, with an average defect grade below 2, indicating a moderately healthy overall condition. The defect density is exceptionally high, reaching 100 to 200 defects per kilometer. Spatially, structural defects are concentrated near the top of the pipes, whereas functional defects are mainly found at the bottom. Furthermore, defect types are closely associated with surface loads, pipe materials, and fluid characteristics. The results provide a scientific basis for the regionalized and efficient management of drainage networks, the formulation of proactive maintenance strategies, and the development of defect remediation technologies.

Keywords: drainage network; structural defects; functional defects; defect assessment; pipeline network operation and maintenance

城市排水系统不仅承担雨污水排放功能,还关乎城市内涝防治、水体污染控制与居民生活质量^[1]。地下排水管道老化导致的渗漏与破损难以察觉^[2-3],若未及时处理,易引发次生灾害链,风险巨大:①管道变形使过水断面缩小,暴雨时易引发内涝;②错口和开裂引发土体流失,形成淤积、路基空洞与地面塌陷;③地下水渗入污水管,稀释COD浓度并增加水量,造成污水处理厂超负荷运行,处理效果下降;④污水外渗引起地下水污染、水体富营养化及黑臭问题,严重影响生态与居民健康。

当前,我国大城市地下管网破损率将近30%,中小城市更加严重^[4-5]。围绕城市治理,2024年国家发展和改革委员会提出5年内改造60万km管网,投资总需求约4万亿元。提升投资效益的关键在于精准掌握现状并科学治理,而全面、系统的检测是确保修复工程对症下药的前提^[6-7]。目前常用技术包括闭路电视(CCTV)检测^[8]、潜望镜(QV)检测^[9]、声呐检测^[10]、激光扫描^[11]等,可高效识别管道破损、裂缝、沉降等病害,为后续修复提供支撑^[12]。

发达国家排水管网治理起步较早,但管网服役年限较长。加拿大将管道状况评级分为1~5级,《2016年加拿大基础设施状况报告》显示,排水管道总长度的75%处于1~3级(极好~一般)。截至2019年,日本污水管道总长约48万km,其中超过50年标准使用寿命的约2.2万km,缺陷密度平均45处/km。欧洲管道协会检测1800km排水管发现,刚性管道缺陷密度平均50处/km,柔性管平均8处/km^[13]。Tizmaghz^[14]收集了2780条排水管道缺陷数据,统计得到新西兰缺陷密度平均20处/km。总体来看,发达国家排水管网体系相对完善。近年来,我国部分

超大和特大城市在排水管网治理上成效显著。丁昌龙^[15]结合上海市某排水管道修复工程,得出缺陷密度约为19处/km;宣鑫鹏等^[16]对广州某片区管道进行检测,得到缺陷密度约为53处/km;刘艳海等^[3]统计了天津市的管道缺陷,得到缺陷密度约为6处/km。然而,中小城市在排水管网建设与维护方面仍存在明显短板,管网治理长期被忽视。王海英等^[17]以南宁市城区某排水管道为研究对象,检测结果显示缺陷密度高达220处/km。事实上,中小型城市的排水管网老化问题尤为突出,排水能力不足、隐患频发,不仅直接威胁城市运行安全,还严重影响居民生活质量,加强对这些城市的关注和研究已成为当务之急。

长江经济带是“长江大保护”战略重点区域,沿江分布着特大、大型、中小型多类城市,是我国生态治理与基础设施提质增效的示范区。该区域中小城市兼具我国南北地域特点,排水系统建设早、更新滞后,具有基础设施老化的普遍性与缺陷评估的代表性。因此,聚焦该区域典型片区排水管道的实际情况,开展缺陷识别与等级分析,可基本反映我国中小型城市管网病害类型及发展特征现状,有利于后续针对性开展运维工作。

1 数据来源

本研究使用的管网数据来自长江流域某市中心城区排水管网的全面排查与检测项目,覆盖排水管道总长439.14km,其中,雨水管道241.14km(占比约55%),污水管道198.00km(占比约45%)。排水管道病害主要包括结构性缺陷和功能性缺陷两类,如错口、变形、腐蚀、沉积物积累等。通过对管道缺陷进行统计分析 with 定量评估,可为管网后续的

更新改造、设计修复、运维模型构建及模型率定工作提供数据支持,助力排查潜在安全隐患,为提高城市排水系统的稳定性与运行效率奠定基础。

2 管道缺陷分析

2.1 管道缺陷总览

累计查明该片区雨水管道缺陷46 304处,其中结构性缺陷33 379处(约72%),功能性缺陷12 925处(约28%);总缺陷密度平均为192.1处/km,其中结构性缺陷密度平均为138.6处/km,功能性缺陷密度平均为53.5处/km。累计查明污水管道缺陷15 908处,其中结构性缺陷12 796处(约80%),功能性缺陷3 112处(约20%);总缺陷密度平均为97.3处/km,其中结构性缺陷密度约为78.3处/km,功能性缺陷密度约为19.0处/km。由此可见,该片区排水管道的缺陷类型以结构性缺陷为主。

图1为排水管道缺陷等级的密度分布。可知,无论是雨水管道还是污水管道,1级缺陷的密度均最大。其中,雨水管道的1级结构性缺陷密度最为突出,且雨水管道的缺陷密度总体上高于污水管道。

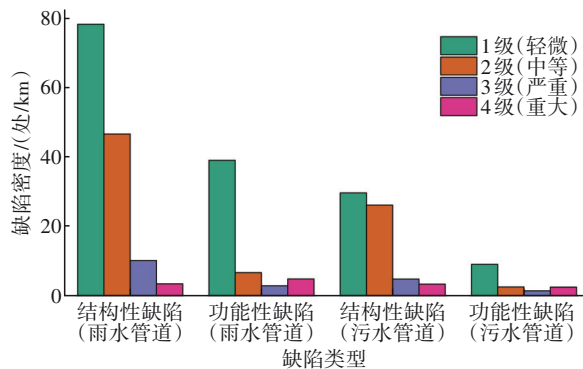


图1 排水管道缺陷等级的密度分布

Fig.1 Density distribution of defect levels in drainage pipelines

结构性缺陷的类型分布如图2(a)所示。可知,结构性缺陷以错口、腐蚀和破裂为主,共36 064处,占比78.01%。其中,错口数量最多,达17 630处。肖倩等^[18]和宣鑫鹏等^[16]认为,管道基础处理不当、施工质量差及地面荷载变化会引发不均匀沉降,进而导致错口、脱节、变形和破裂等结构性缺陷的产生。污水管道的腐蚀主要源于污水中硫酸盐还原菌代谢产生的硫酸,而雨水管道的腐蚀则主要由酸雨中的酸性物质引起。从缺陷等级分布来看,多数缺陷类型以1级为主,仅破裂缺陷的2级占比最高。

在污水管道中,变形、破裂和错口数量最多,占比达64.67%。此外,变形缺陷在雨水管道中发生较少(仅1.16处/km),而在污水管道中则较为显著(11.60处/km),表明变形缺陷更易发生在污水管道。腐蚀缺陷方面,污水管道缺陷密度为5.38处/km,雨水管道则高达42.87处/km。主要原因是该城市雨水管道以混凝土管为主,而污水管道则为混凝土管和高密度聚乙烯(HDPE)管混合分布,说明HDPE管道可有效预防腐蚀缺陷的发生。

功能性缺陷的类型分布如图2(b)所示。

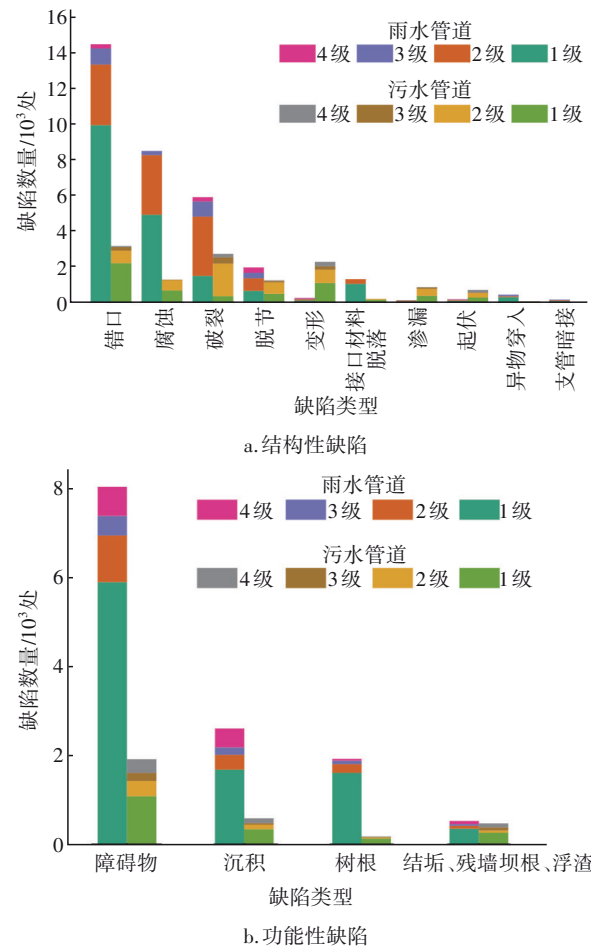


图2 不同类型缺陷的数量分布

Fig.2 Distribution of different types of defects

由图2(b)可知,功能性缺陷以障碍物、沉积、树根为主,共15 050处,占比93.85%。其中,障碍物缺陷最多,达9 823处。与结构性缺陷类似,1级缺陷在各类功能性缺陷中占比最高。值得关注的是,雨水管道中树根缺陷密度约为污水管道的9倍。原因在于树根具有趋水趋氧的生长特性,雨水管道因降雨或渗漏提供了适宜的湿度和氧气环境;而污水

管道因污水中含污染物且处于低氧条件,对树根生长具有抑制作用,从而减少了其侵入的可能性。

2.2 管道缺陷等级分析

由不同类型管道缺陷的等级分布可知,缺陷等级主要为1~2级,占比84%~90%。其中,污水管道的功能性重大缺陷占7.4%,表明其排水能力可能存在较大问题。污水管道在长期使用过程中易发生沉积和堵塞,尤其在排水高峰或暴雨前,应加强检查。污水管的功能性缺陷与周围环境有关^[19],如植被区易发生树根侵入,施工区则可能存在异物进入风险。因此,维护计划应重点关注此类高风险区域,并采取相应的预防措施。

雨水管道的结构性和功能性缺陷中,1、2级缺陷占比分别为88.7%和90.2%。相较于污水管道,雨水管道的缺陷更集中于轻微或中等程度,尚未对管道的结构或功能造成严重影响。3~4级缺陷占比约10%,应通过高频率检查和局部修复防止恶化。相比之下,污水管道的3~4级缺陷占比较高(约15%),建议实施主动运维策略,提前识别并解决潜在问题,减少突发性故障的发生,保障污水管道的安全与正常运行。

为表征管网整体健康状况,表1列出了不同管道的平均缺陷等级。该指标通过将全部缺陷等级值求和后除以缺陷总数计算得出,可反映管网缺陷的严重程度。

表1 平均缺陷等级

Tab.1 Average defect grade

缺陷类型	雨水管道功能性缺陷	雨水管道结构性缺陷	污水管道功能性缺陷	污水管道结构性缺陷
平均缺陷等级	1.56	1.59	1.87	1.73

计算结果显示,各类管道的平均缺陷等级为1.56~1.87,均低于2,表明管网整体状况接近中等水平,当前的管网管理与维护措施在一定程度上有效控制了缺陷发展。然而,这并不意味着可以忽略潜在的灾变风险,尤其是局部缺陷密集的管段。需要警惕的是,大量1~2级缺陷广泛存在,即使其短期内对结构安全或功能影响有限,但随着管龄增长及内外部环境变化(如持续腐蚀、地基沉降、外部荷载增加等),这些缺陷可能迅速演化为3~4级,管道失效风险将急剧增大。因此,如何科学评估与预测此类缺陷对管道整体服役性能的影响,已成为排水管

网高效运维面临的一大挑战。

从表1还可以看出,污水管网的平均缺陷等级略高于雨水管网,说明其病害问题更为严重。因此,修复资源应优先向污水管道倾斜,同时对雨水管道保持常规监测与适度修复,防止病害加重。

2.3 典型主干道缺陷类型及等级分布

检测片区面积329.33 hm²,居民区分布较为分散,排水管道的运行状况受区位、地质、基础设施与地面荷载等多重因素影响。为分析不同条件下的缺陷特征,选取片区内东西向和南北向的两条排水主干道作为典型分析对象。这两条主干道与各区域和设施连接紧密,具有代表性,其缺陷分析可为片区整体维护提供依据。

由主干道A、B的结构性缺陷类型及等级分布可知,主干道A(东西向)和主干道B(南北向)雨水管道的主要缺陷类型均为错口,占比分别为66%和62%。主干道A错口缺陷以1级为主,而主干道B则以2级为主。这一差异可能源于其道路功能不同:主干道A贯穿居民和商业区,通行车辆多为小型车,地面荷载相对较小;而主干道B连接工业区与开发区,重型车辆通行频繁,易导致管道接缝处错位更为严重。

主干道A污水管道最主要的缺陷类型为腐蚀,占结构性缺陷的32%;主干道B则以破裂为主,占比高达50%。为探究这两条主干道缺陷类型分布差异的成因,统计了其管材构成情况,具体见图3。

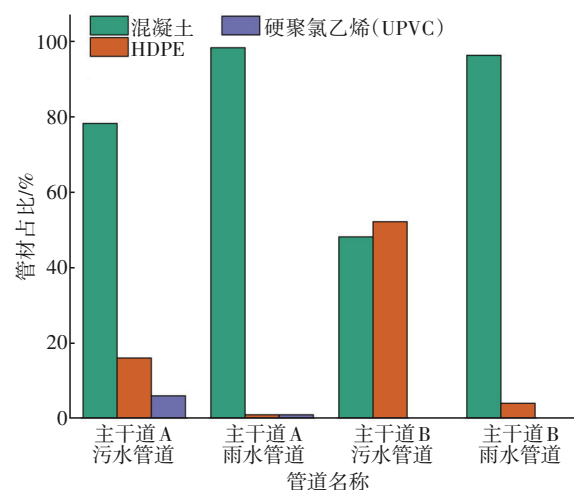


图3 主干道A、B排水管道管材占比

Fig.3 Material proportion of drainage pipelines on main roads A and B

由图3可知,主干道A污水管道中混凝土管占

78%,这类管材易受污水中生化腐蚀作用影响,因此腐蚀成为其主要缺陷类型。此外,错口缺陷占28%,腐蚀与错口之间相互影响:腐蚀作用削弱管道接缝处的结构强度,增加错口发生概率;而错口又为腐蚀性介质的渗透提供通道,进一步加剧腐蚀发展。相比之下,主干道B污水管道中混凝土管占48%,而HDPE管占比高达52%。HDPE管可有效降低腐蚀风险,然而,其连接通常采用热熔焊接,若工艺不当,焊接点易成为结构薄弱环节,从而引发破裂隐患。

2.4 缺陷空间分布

主干道B排水管道的缺陷检测时钟位置见图4。可知,缺陷分布呈左右对称的特点,表明管道在埋设时地基和荷载较为均匀,管道两侧受力基本一致。然而,在上下方向则表现出显著差异性。结构性缺陷方面,污水管道在12点钟方向缺陷数量达121处,而在6点钟方向为63处,差距较大。污水管道结构性缺陷主要集中在管道顶部,可能的原因包括:①管道顶部更易受地面荷载和沉降影响,导致裂缝和错位;②污水中产生的硫化氢气体易聚集于顶部,生成硫酸根离子,加剧腐蚀。相比之下,雨水管道的结构性缺陷分布较均匀,因其腐蚀性低、水流冲刷力强,荷载与腐蚀作用不明显。

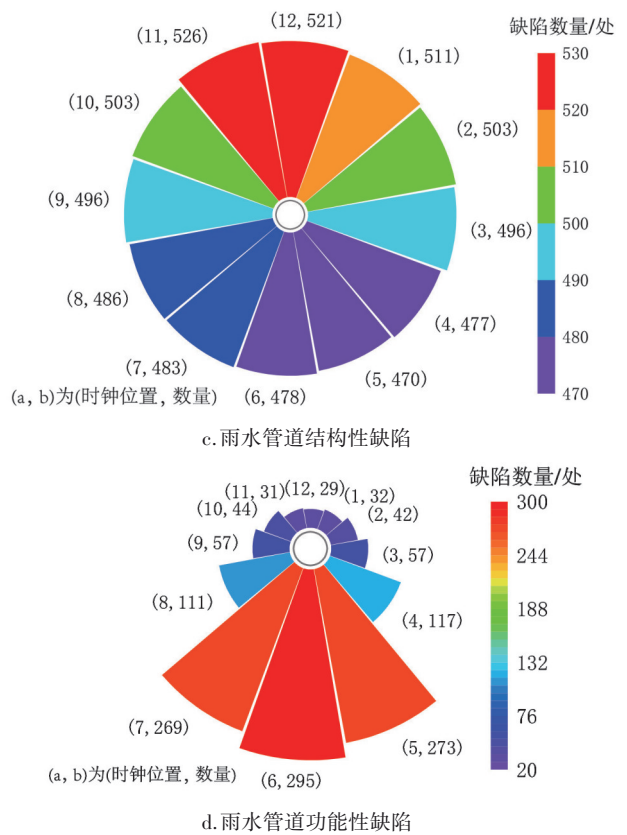
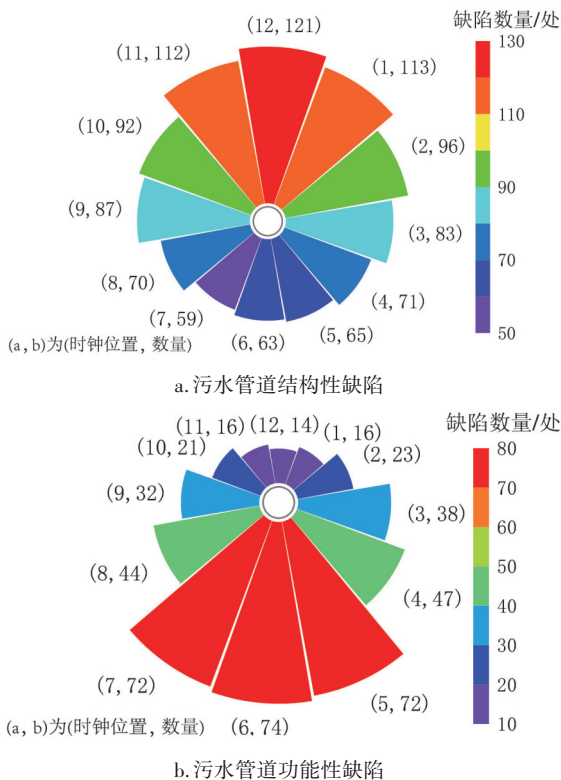


图4 主干道B排水管道缺陷位置统计

Fig.4 Defect location statistics of drainage pipelines on main road B

功能性缺陷主要集中在管道底部(5~7点钟方向)。这是由于沉积物和障碍物更容易在底部积累,尤其污水中含有大量悬浮颗粒和废弃物,在流速较低的情况下沉积更明显。雨水管道在5~7点钟方向以外,功能性缺陷数量骤降约60%,呈“断崖式”减少,表明其水流冲刷力能有效清除非底部的杂物;而底部因摩擦力增大、流速降低及边界层效应显著,沉积仍易发生。污水管道的功能性缺陷则呈现由下至上逐渐减少的趋势,其流速较小,底部沉积更稳定、不易被冲走,从而导致缺陷集中于底部。

2.5 片区主干道缺陷检测结果

为揭示片区内主干道排水管道的缺陷类型,图5展示了5条主干道(A~E)与不同缺陷类型的关联。其中,外环长度表示各类缺陷的数量比例,线条粗细则反映主干道与缺陷类型的关联强度。可知,错口是最主要的结构性缺陷类型,共计1912处,集中于主干道A、B和D的雨水管。障碍物则是首要的功能性缺陷类型,共计1486处,集中于主干道B、D的雨水管。此外,腐蚀缺陷(878处)主要分布于主干

道 C、D 的雨水管和主干道 A 的污水管。分析认为,这与混凝土管材易受腐蚀、接缝柔性较差密切相关。各主干道缺陷类型分布差异明显,需分类施策:重点维护主干道 A、B、D 整体管网;关注主干道 C、E 污水管道的渗漏、异物、起伏问题,以及主干道 D 污水管道的变形风险,提升管网运维的针对性与效率。

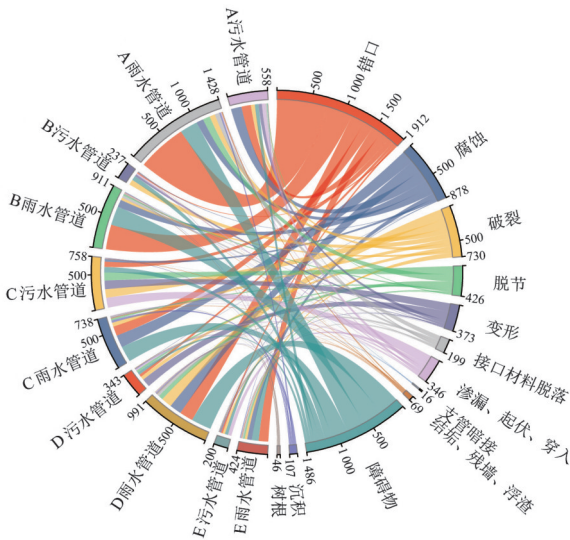


图 5 5 条主干道排水管道缺陷统计

Fig.5 Defect statistics of drainage pipelines on five main roads

3 排水管网现状对比分析

我国地域辽阔,受经济发展、地质地理、气候特征与管理能力等多重因素影响,不同城市在排水系统建设和维护上存在显著的区域差异。基于文献^[2-4,13-24]的统计资料,图 6 对比了英国、日本、新西兰及我国部分城市或地区的排水管道缺陷密度。

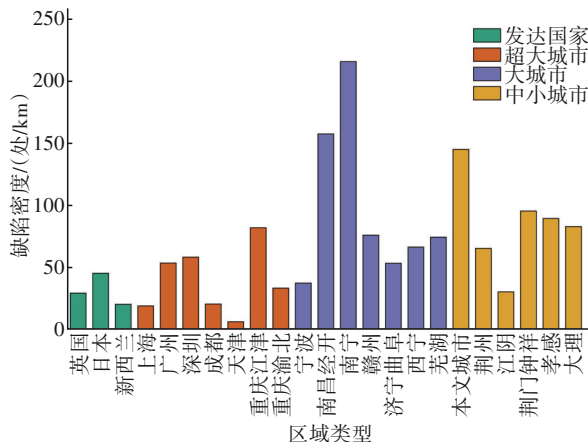


图 6 国内外部分城市和地区的排水管网缺陷统计

Fig.6 Statistics of drainage network defects in selected cities and regions worldwide

根据《城市规模划分标准》,将城市划分为超大城市、特大城市、大城市、中等城市和小城市 5 类。总体而言,我国超大和特大城市普遍具备较为完善的排水系统管理体系,缺陷密度相对较低。然而,中小城市的排水系统由于设计不尽合理、管道老化严重、维护滞后等问题,缺陷密度整体较高。

从区域差异分析,超大城市得益于相对充足的财政投入、海绵城市理念的推进落实以及地下综合管廊的建设,排水管网缺陷密度整体不高,如上海某区为 19 处/km、广州某区为 53 处/km、深圳某区为 58 处/km。相比之下,中小城市和县城由于资金不足、缺乏长远规划、基础设施建设滞后等原因,排水管道系统普遍老化严重,缺陷密度高达每公里上百处。管道腐蚀、错口、障碍物等病害频发,严重影响排水系统的运行效率,增大城市内涝风险,并对基础设施安全构成威胁。长江经济带虽仅占全国面积的 21%,但其污(废)水排放总量占全国的 40% 以上。自 2018 年“长江大保护”战略实施以来,试点城市如芜湖加大了管网修复力度,缺陷密度呈下降趋势(74 处/km)。

气候和地质环境同样影响缺陷密度。南方湿润多雨地区管网负荷大,缺陷密度普遍较高,如南宁达 215 处/km;而北方地区因降水较少,管网负荷相对不高,如天津的缺陷密度仅 6 处/km。此外,即便在经济较发达城市,部分区县仍存在资源分配不均的问题,如南昌经开区管道缺陷密度达 157 处/km。

综上所述,我国排水系统健康状况整体较差,受区域经济、环境条件及政策支持等多重因素制约,各城市或地区情况差异显著。在评估管网现状与制定修复策略时,应统筹考虑城市特征、财政投入和地理条件,开展系统化、差异化的治理工作。

4 结论

① 排水管道结构性缺陷类型以错口、腐蚀和破裂为主,占结构性缺陷总数接近 80%;功能性缺陷类型则以障碍物、沉积和树根为主,约占功能性缺陷总数的 94%。

② 无论是结构性缺陷还是功能性缺陷,均以 1~2 级(轻微~中等)为主,占比 84%~90%;超过 10% 的缺陷处于 3~4 级(严重~重大)。排水管网平均缺陷等级低于 2 级,表明排水管网整体处于中等健康状态。

③ 调研片区内,雨水管道缺陷密度接近 200

处/km,其中结构性缺陷约占70%,功能性缺陷约占30%;污水管道缺陷密度接近100处/km,结构性缺陷约占80%,功能性缺陷约占20%。平均每公里雨水管道的缺陷数量约为污水管道的两倍。尽管平均缺陷等级低于2级,但缺陷密度极大,表明应加强预防性运维,防止排水管网服役性能加速劣化。

④ 缺陷在管道内部分布呈明显的空间差异:污水管道的结构性缺陷多集中在管道11~1点钟方向,功能性缺陷则集中在5~7点钟方向;雨水管道的结构性缺陷沿环向分布相对均匀,功能性缺陷同样集中在5~7点钟方向。这一分布特征与管道埋设方式、地面荷载分布、流体特性及管材性质密切相关。建议管道运维工作应结合缺陷的空间分布特征,开展针对性的管理和修复。

参考文献:

- [1] ZHOU Q, LENG G, SU J, et al. Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: importance of urban planning and drainage adaptation[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 658: 24-33.
- [2] 王健, 黄东明, 范智文, 等. 南方某城市排水管道缺陷分析及管道修复技术[J]. *给水排水*, 2023, 49(增刊2): 775-782, 788.
WANG J, HUANG D M, FAN Z W, et al. Defect analysis and remediation technology of drainage pipeline in a city in the south [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2023, 49(S2): 775-782, 788(in Chinese).
- [3] 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.
LIU Y H, LI H, GUO S. Comparative study on statistical distribution characteristics of drainage pipeline defects in three southern and northern cities [J]. *Journal of Hefei University of Technology (Natural Science)*, 2023, 46(7): 930-935(in Chinese).
- [4] 罗坤, 吴从林. 长江大保护背景下中小城市污水处理提质增效的思考[J]. *中国给水排水*, 2025, 41(18): 8-13.
LUO K, WU C L. Reflections on the quality and efficiency improvement of municipal wastewater treatment in small and medium sized cities under the background of Yangtze River protection [J]. *China Water & Wastewater*, 2025, 41(18): 8-13 (in Chinese).
- [5] 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, 45(3): 1-5, 77.
XU Z X, XU J, JIN W, et al. Challenges and opportunities of black and odorous water body in the cities of China [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2019, 45(3): 1-5, 77(in Chinese).
- [6] TAN Y, CAI R, LI J, et al. Automatic detection of sewer defects based on improved you only look once algorithm[J]. *Automation in Construction*, 2021, 131: 103912.
- [7] NG C T, YEUNG C, YIN T, et al. Investigation of nonlinear torsional guided wave mixing in pipes buried in soil [J]. *Engineering Structures*, 2022, 273: 115089.
- [8] 杨睿, 李晓帆. CCTV检测技术在雨污分流工程中的应用[J]. *给水排水*, 2022, 48(增刊2): 431-435.
YANG R, LI X F. Application of CCTV detection technology in rain and sewage diversion engineering [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2022, 48(S2): 431-435(in Chinese).
- [9] LI D, XIE Q, YU Z, et al. Sewer pipe defect detection via deep learning with local and global feature fusion [J]. *Automation in Construction*, 2021, 129: 103823.
- [10] HUANG R, TAO Z, LIN Y, et al. Current situation of drainage pipe network in China and its detection technology: a brief review [J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2023, 33(1): 19-29.
- [11] 李屹, 蔡意, 董思奇, 等. 基于激光点云数据的管道破损定量检测技术[J]. *测绘通报*, 2024(1): 120-125.
LI Y, CAI Y, DONG S Q, et al. Quantitative detection technology of pipe damage based on laser point cloud data [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2024(1): 120-125(in Chinese).
- [12] 王俊岭, 邓玉莲, 李英, 等. 排水管道检测与缺陷识别技术综述[J]. *科学技术与工程*, 2020, 20(33): 13520-13528.
WANG J L, DENG Y L, LI Y, et al. A review on detection and defect identification of drainage pipeline [J]. *Science Technology and Engineering*, 2020, 20(33): 13520-13528(in Chinese).
- [13] The European Plastic Pipes and Fittings Association. Good practice prevents defects [EB/OL]. (2017-07-18) [2024-11-21]. <https://www.teppfa.eu/latest->

- news/good-practice-prevents-defects/.
- [14] TIZMAGHZ Z. Defect-level Condition Assessment of Sewer Pipelines in Auckland[D]. Auckland: University of Auckland, 2023: 15-22.
- [15] 丁昌龙. 基于CCTV检测技术排水管道修复工程案例分析[J]. 给水排水, 2022, 48(增刊2): 489-492.
DING C L. Case analysis of drainage pipeline restoration project based on CCTV detection technology [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(S2): 489-492 (in Chinese).
- [16] 宣鑫鹏, 周栋林, 向黎明, 等. 广州市某片区排水管道检测评估与修复[J]. 给水排水, 2022, 48(增刊1): 418-424.
XUAN X P, ZHOU D L, XIANG L M, et al. Inspection, evaluation and repair of drainage pipeline in a district of Guangzhou [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(S1): 418-424(in Chinese).
- [17] 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, 46(5): 132-137.
WANG H Y, LI S A, HAN L, et al. Evaluation and analysis of health status of drainage pipelines in Nanning [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(5): 132-137(in Chinese).
- [18] 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, 45(9): 109-114.
XIAO Q, WANG J R, CHEN H, et al. The detection and evaluation by CCTV and rehabilitation analysis of sewer pipeline in an area of Shenzhen City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(9): 109-114 (in Chinese).
- [19] 黄荣敏, 张焯, 刘卡, 等. W市管网排查中市政雨水管道缺陷的分布特征[J]. 中国给水排水, 2023, 39(2): 87-93.
HUANG R M, ZHANG Y, LIU K, et al. Distribution characteristics of defects in municipal stormwater and sewage pipes during the inspection of W city's pipeline network[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(2): 87-93(in Chinese).
- [20] 杨雪梅, 唐心红. 宁波地区城市排水管道现有缺陷评估及防治对策研究[J]. 给水排水, 2021, 47(7): 102-107.
YANG X M, TANG X H. Study on the evaluation and prevention of the existing defects of urban drainage network in Ningbo [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(7): 102-107(in Chinese).
- [21] 税广通, 祁作栋, 张伟, 等. 西宁市某排水管道CCTV检测与评估分析[J]. 给水排水, 2020, 46(增刊1): 915-918.
SHUI G T, QI Z D, ZHANG W, et al. CCTV detection and evaluation analysis of sewer in Xining City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(S1): 915-918(in Chinese).
- [22] 熊匡, 杨长河, 胡骏, 等. 赣州市某区排水管道的检测与评估[J]. 给水排水, 2018, 44(10): 126-130.
XIONG K, YANG C H, HU J, et al. Inspection and evaluation of drainage pipelines in a district of Ganzhou City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(10): 126-130(in Chinese).
- [23] 许州, 王天宇, 杨善, 等. CCTV用于成都市锦兴路排水管道检测与评估[J]. 中国给水排水, 2016, 32(14): 114-118.
XU Z, WANG T Y, YANG S, et al. Application of CCTV to detection and evaluation of sewer at Jinxing road in Chengdu [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(14): 114-118(in Chinese).
- [24] 伍亮, 周敏, 张议荣. 江津全区排水管网排查总结分析及应用研究[J]. 给水排水, 2023, 49(增刊2): 792-797.
WU L, ZHOU M, ZHANG Y R. Summary analysis and application research on drainage network inspection in Jiangjin district [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(S2): 792-797(in Chinese).

作者简介:林沛元(1986—),男,广东汕头人,博士,教授,中山大学土木工程学院院长助理,国家级高层次青年人才,获2020年度加拿大岩土工程学会RM Quigley提名奖,2021年度美国土木工程师学会TA Middlebrooks奖,主要从事管道工程等重大基础设施风险管控研究工作。

E-mail:linpy23@mail.sysu.edu.cn

收稿日期:2025-07-30

修回日期:2025-10-27

(编辑:沈靖怡)