

市政道路下埋排水管线病害成因及修复技术应用研究

王晓伟

新疆天麒工程项目管理咨询有限公司 新疆 克拉玛依 834000

摘要: 市政道路下埋排水管线是城市给排水系统的核心地下基础设施,长期服役过程中受土体形变、路面荷载、环境侵蚀及管材老化等多重因素影响,易产生开裂、渗漏、淤积、错位等各类病害,直接降低城市排水系统运行稳定性,诱发路面沉降、积水内涝等次生问题。本文系统梳理管线常见病害类型,深度剖析病害形成机理,针对性探究各类适配性修复技术的应用要点与技术优势,为市政排水管线运维提质增效提供技术参考。

关键词: 市政道路;地下排水管线;管线病害;病害成因;修复技术

引言:城市化建设进程的持续推进,使得市政地下排水管线铺设规模不断扩大、服役年限逐步增长,管线运行工况愈发复杂。道路通行荷载反复作用、地下水土环境长期侵蚀、施工埋设工艺缺陷及后期养护滞后等问题,导致大量埋地排水管线出现不同程度结构损伤与功能退化。管线病害不仅制约城市排水排污效能,还会破坏道路路基稳定性,影响城市交通通行安全。基于此,精准识别管线病害成因、优化修复技术应用,是提升地下管线长效运行能力的核心关键。

1 市政道路下埋排水管线常见病害类型

根据市政道路地下排水管线的结构特点和实际运行状态来看,城市埋地排水管线在长期服役过程中产生的各类高频病害,能够整体划分为结构性病害与功能性病害两大基础种类,两类病害并不是独立存在的,往往会互相影响、叠加恶化,会循序渐进提升管线整体失效的安全隐患。结构性病害属于管线实体结构和接口位置产生的物理性损坏,病害形式包含管体开裂、管壁表层脱落、管线轴向错位、接口分离脱落、管体变形塌陷等多种情况,外力带来的扰动作用、管材长期使用产生的性能退化、地下土体不均匀沉降等诸多因素,都会诱发这类结构性病害,管线自身的结构完整状态也会被直接破坏。功能性病害主要体现在管线输水排水性能的持续下降,管内泥沙淤积、管壁污垢附着、管道过水断面堵塞、管壁渗水、管线敷设倒坡等问题都属于功能性病害的范畴,水体长期流动冲刷、污水杂质持续堆积留存、管线施工安装精度不达标,都是这类病害的主要诱发原因。在市政管线的实际运行过程当中,复合型病害的发生概率会远远高于单一类型病害,管线结构出现破损之后,管道水体渗漏和管内泥沙淤积的问题会持续加重;长期的淤积堵塞问题会改变管线原本的受力分布状态,进一步加速结构破损的发展进程。各类病害持续累积发

展的过程中,管线有效排水通量会不断下降,道路路基原本稳定的土体结构会被打破,会陆续诱发路面下沉、路面开裂等次生道路病害,最终形成地下管线损伤与道路结构损坏互相作用、持续恶化的恶性循环状态^[1]。

2 市政道路下埋排水管线病害核心成因

2.1 外部荷载与土体形变作用

市政道路地下埋设的排水管线,会持续经受路面动态荷载的持续作用,道路交通车辆反复碾压产生的作用力,能够逐层传导至地下管线结构内部,管线本体也就不断受到周期性的挤压与弯折效果,管材内部的应力会持续堆积,当应力数值超过材料本身的疲劳耐受限度时,管线表层就会滋生细微裂缝,这类裂缝也会随着车辆荷载的反复作用,慢慢向外延伸和扩张。城市地下土层的结构状态并不是固定不变的,地下水位的升降变化、土层自然固结产生的沉降现象、周边土方开挖施工以及各类地下工程作业带来的扰动,都会造成土体出现不均匀的变形情况;这种土体形变会破坏管线埋设基础的稳定性,容易造成基础偏移、局部悬空等问题,让管线整体受力状态失去平衡,最终诱发管线错位、管壁开裂、管体塌陷等一系列典型的结构性病害。

2.2 地下水土环境侵蚀影响

地下土层与地下水的混合介质当中,会掺杂大量酸性、碱性及盐类腐蚀成分,埋地排水管线常年安置在这类复杂环境内,管壁结构也就会持续受到化学腐蚀和电化学腐蚀的双重侵蚀作用。不同材质的管道,所呈现的腐蚀损伤状态各有不同,金属管道的管壁会慢慢产生锈蚀现象,壁厚会不断缩减,严重时还会出现管壁穿孔等破损问题;混凝土管道容易发生材质碳化、水溶侵蚀等问题,管道内壁会逐渐变得疏松粗糙,内部骨料不断裸露在外,整体结构强度也会持续下降。管道内部输送的污水,会在流动过程中滋生多种微生物,微生物产生的

代谢物质,会进一步加快管壁的腐蚀进程,让管线自身的结构性能出现持续性损耗^[2]。

2.3 管材自身老化与性能衰减

各类市政排水管道材料,都具备对应的正常使用年限,管线在地下长期服役的过程中,自身的物理性能与力学性能,都会随着使用时间的增加出现自然衰退。不同材质管线的老化表现存在一定区别,塑料管道会慢慢出现材质脆化、柔性变差的情况,轻微的土层挤压或环境扰动,都容易引发管体开裂、形变等问题;混凝土管道会逐步产生干缩裂隙,管材整体密实度降低,结构质地会变得松散;金属管道大多会出现表层锈蚀、材质老化的现象。城市早期施工铺设的部分排水管线,所用管材的生产标准相对偏低,自身初始结构强度较为薄弱,这类管线长期处于复杂的地下运行环境中,材料性能的衰退速度会明显加快,管线出现各类结构和功能病害的整体概率,也会随之大幅提高。

2.4 施工与养护工艺缺陷

管线施工埋设阶段的不规范操作,是管线后期产生各类病害的主要诱因,管线铺设基础压实不充分、管道安装坡度存在偏差、接口密封处理不完善、沟槽回填土质压实度不达标等施工问题,都会在管线运行过程中慢慢衍生出各类安全隐患。管线投入使用之后,日常的运维巡检工作往往存在疏漏,管内堆积的泥沙杂物得不到及时清理,管壁出现的细小破损也无法及时修补,轻微的病害问题会不断累积、持续扩大,慢慢发展成影响整体结构和排水功能的严重病害,也就会大幅缩减地下排水管线的实际使用年限。

3 市政道路下埋排水管线修复技术体系及应用

3.1 传统开挖修复技术及应用要点

开挖修复是管线病害治理的传统技术方式,核心是通过土方开挖裸露病害管段,完成破损管线更换、结构修补、基础加固及回填复原等一系列工序,技术成熟度高、适用范围广,能够彻底处理重度塌陷、大面积破损、严重错位等重度管线病害。该技术的核心应用优势在于施工直观性强,可全面排查管段周边土体、接口、基础的隐蔽病害,一次性完成整体修复,修复质量稳定性高,后期运维隐患少。在施工应用过程中,需重点把控基础处理、管线安装、回填压实三大核心工序。针对病害管段开挖后,需清理松软、沉降土体,采用级配砂石、水泥稳定材料进行基础换填找平,保障管线埋设基础的密实度与平整度;新管段安装需严格把控管线坡度、轴线偏差,规范接口密封处理,杜绝接口渗漏隐患;回填施工需分层摊铺、分层压实,匹配原道路路基

压实标准,避免后期土体沉降再次诱发管线病害。同时,该技术存在明显应用局限,施工周期相对较长,需要占用道路作业空间,对城市交通通行、路面完整性存在一定扰动,因此多适用于城郊道路、车流量较小路段及管线重度破损的修复场景^[3]。

3.2 紫外光固化修复技术及应用要点

紫外光固化修复属于主流非开挖修复技术,依托紫外光固化树脂材料的固化成型特性,实现管线内壁的整体衬砌修复,无需大面积开挖土体,仅通过管线井口即可完成施工,具备施工扰动小、成型速度快、结构强度高的技术优势,广泛应用于管线开裂、渗漏、局部破损、轻度变形等常见病害修复,适配混凝土、塑料、金属等各类材质排水管线。该技术的核心应用原理是将浸渍紫外光固化树脂的柔性内衬软管,通过牵引、翻转方式置入病害管线内部,贴合管线内壁后,利用紫外光设备匀速照射,使树脂快速固化成型,形成高强度、耐腐蚀的整体管状内衬层,与原管线形成复合结构,实现管线结构补强与功能修复。在实际应用中,需提前完成管线预处理作业,通过高压清洗彻底清除管内淤积、结垢、杂物,修复管线局部塌陷、错位缺陷,保证内衬软管贴合精度;严格控制紫外光照射强度与行走速度,保障树脂固化均匀性,避免出现固化不充分、内衬起鼓、脱层等质量问题。固化成型后的内衬层具备良好的密封性、抗腐蚀性 with 结构稳定性,可有效解决管线渗漏、内壁破损问题,提升管线排水通畅性,同时大幅延长管线服役年限,是城市主城区主干道管线病害修复的优选技术。

3.3 碎管法更换修复技术及应用要点

碎管法更换修复属于应用范围较广的非开挖更新技术,主要用来处理老旧破损管线的整体改造问题,该技术比较适配管材整体老化、大范围管壁开裂、原有管径规格偏小、排水输水能力不足的老旧排水管线,能够在不破除原有路面的前提下,同步完成旧管线的破碎清理与新管线的铺设安装工作。该技术的施工原理,是从地面井口位置送入专用碎管设备,设备可以通过挤压、劈裂的机械作用破碎原有破损管线,破碎产生的管材残渣,会被均匀挤压进周边土体的缝隙内部,全新管线也会在旧管破碎的同时被牵引就位,整套施工流程可以一次性完成旧管拆除与新管布设,能够有效精简施工步骤,缩短整体施工时长。该技术的实际应用过程中,施工参数需要结合现场条件合理调整,设备型号需要和原有管线管径相互匹配,土体密实度、管线埋设深度,都是参数调整的重要参考依据,可以有效规避施工操作对

周边完好管线、道路路基土体造成的扰动；新更换的管线需要选用强度高、耐腐蚀性良好的管材，施工过程中还要严格把控管线接口密封质量与敷设坡度精度，减少后期管线渗漏、管道倒坡等隐患问题。对比传统开挖换管工艺，碎管法不会破坏路面结构，也不需要大面积开挖土方，对城市交通通行、城区市容环境以及周边构筑物的干扰都较小，施工效率相对更高，十分适合城市核心区老旧排水管线的整体更新改造，能够从根源上解决老旧管线性能衰退引发的各类运行问题^[4]。

3.4 局部点状修复技术及应用要点

局部点状修复属于精准化非开挖修复技术，主要针对管线局部位置的开裂、孔洞、接口渗漏、局部破损等点状病害，无需对整段管线进行衬砌或更换，仅针对病害点位进行针对性修补，施工成本更低、针对性更强，适配局部、分散性管线病害治理。现阶段常用的点状修复技术主要包含树脂补丁修复、局部固化修复等类型，核心原理是通过专用作业设备将树脂修复材料精准贴合管线病害破损点位，通过常温固化或紫外光固化方式，使修复材料成型固结，封堵破损缝隙、补强局部结构，快速恢复管线密封性与结构完整性。该技术的核心应用要点在于病害精准定位，需通过管道内窥检测设备精准锁定破损点位、明确病害尺寸与破损程度，制定精准的修补方案；修复前需对病害点位及周边管壁进行清洗、打磨处理，清除污垢、松散材质，保障修复材料与原管壁的粘结强度；固化过程中严格控制环境温度与固化时间，确保修复层密实、贴合紧密，无空鼓、脱落隐患。点状修复技术施工灵活、作业范围小，可精准治理局部病害，避免过度施工造成的资源浪费，常与整体修复技术配合使用，实现管线病害的全方位综合治理。

3.5 各类修复技术适配性对比与优化选用

不同修复技术的技术特性、施工条件、修复效果存在明显差异，实际工程应用中需遵循“病害适配、环境适配、效益适配”的原则，完成修复技术的优化选用。

传统开挖修复技术修复彻底、可靠性高，但施工扰动大、周期长，仅适配小范围、重度破损管线及城郊低车流路段；紫外光固化修复技术适配性广、扰动小，适合主城区各类中度、整体性管线病害修复，可实现管线整体补强防渗；碎管法修复技术专注老旧管线整体更新，适配管材整体老化、排水能力不足的管线改造；局部点状修复技术精准高效、成本可控，适用于局部点状病害的精准治理。在实际应用中，需结合管线病害等级、埋设环境、道路通行条件、运维需求进行组合适配，针对整段管线整体性病害搭配局部点状修补，形成系统化修复方案，在保障修复质量、恢复管线排水功能与结构稳定性的同时，最大限度降低施工成本与环境扰动，实现管线修复的经济性与实用性统一^[5]。

结束语：市政道路下埋排水管线病害是多重因素耦合作用的结果，荷载扰动、水土侵蚀、管材老化及施工养护缺陷，共同推动管线结构损伤与功能退化。本文系统厘清管线病害类型与形成机理，分类探究不同修复技术的应用特性与适配场景，明确各类技术的施工核心要点。精准甄别病害成因、科学选用修复技术，能够有效解决管线运行隐患，提升城市地下排水系统稳定性，为市政管线长效运维、城市水环境及道路安全保障提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1]熊文.市政工程道路排水管道施工技术要点分析[J].散装水泥,2024,(06):53-55.
- [2]张春媛.市政道路现状排水管道清淤修复技术分析[J].工程技术研究,2024,9(11):69-71.
- [3]罗根太.市政工程道路排水管道施工技术的应用探析[J].居业,2024,(05):65-67.
- [4]林光洪.市政道路排水管道施工技术难题及发展方向[J].工程机械与维修,2023,(04):90-92.
- [5]秦敢,杨帆,姚华彦,等.市政管网渗漏引起的地面塌陷过程调查与机理分析[J].工业建筑,2025,55(12):167-172.