

# 市政排水管道非开挖修复与开挖修复的全生命周期成本对比

吴鹏博

温州市排水有限公司 浙江 温州 325000

**摘要:**以温州市鹿城区鹿城路雨水管道工程为例,探讨市政排水管道非开挖与开挖修复全生命周期成本,该工程管道建于20世纪末,有树枝侵入、支管暗接、管道渗漏还有局部塌陷等缺陷,管径涉及DN900-DN1000。非开挖修复技术包含局部、整体修补,需预处理、修复、检查井处理等环节,全生命周期成本含直接、社会、环境成本。非开挖修复开始直接成本高,但不用路面恢复等费用,社会、环境成本低,开挖修复因土方、围护、后期维护等费用,复杂环境下全周期综合成本更高。

**关键词:**市政排水管道;非开挖修复;开挖修复;全生命周期成本;CIPP技术

## 引言

排水管道是城市基础设施重要部分,承担污水输送与雨水排放功能,服役时间增长,早期建设管道渐现腐蚀、脱节、渗漏等结构性缺陷,影响系统安全运行,传统修复常用开挖方式,需拆除旧管重新铺设,易干扰地面交通、周边建筑及地下管线,产生路面恢复、交通导改等附加成本。城市建成区人口密集、地下设施复杂,开挖修复面临的环境限制渐多,非开挖修复技术以少开挖或不开挖方式修复管道,减少干扰特点显著,是管道修复领域重要发展方向。

### 1 工程概况

温州市鹿城区鹿城路(新宫前路—勤奋河)雨水管道工程,建于20世纪末,2023年CCTV检测显示,排水管道有树枝侵入、支管暗接、管道渗漏还有局部塌陷等不同程度结构性缺陷,泾阳路沿线多为居住用地和基础教育用地,人口密度高,周边环境对施工干扰敏感,工程区域地下管线分布复杂,鹿城路上有 $\phi 300$ 毫米给水管道、信息管道及 $\phi 300$ 毫米燃气管道等地下设施,对施工空间和安全防护要求严格。管道缺陷情况及周边环境条件决定,修复工程需用低干扰施工技术,避免影响地面交通、居民生活及既有地下管线,管道修复前要做封堵、清淤、冲洗和抽水等预处理,修复包含点状修复、整体修复及土体注浆等环节,还得同步修复有渗漏、腐蚀或损坏的砖砌检查井,实施CCTV检测和临时排水等配套措施,工程涉及管道管径以DN900和DN1000为主,修复技术选择要兼顾管径特点及断面损失控制要求。

## 2 修复技术分类

### 2.1 局部修补

局部修补技术针对管道局部结构性或功能性缺陷做针对性修复,属非开挖工艺,适用于单点渗漏、裂缝、接口错位等局部损坏,核心原理是用专用设备把修复材料设置在缺陷部位,形成局部密封或结构补强层,施工流程含前期检测定位、管道预处理、缺陷修复及质量检验,前期借CCTV检测确定缺陷位置、类型及尺寸,为修复方案制定提供依据,管道预处理有清淤、冲洗及干燥处理,确保修复面洁净无水<sup>[1]</sup>。不锈钢双胀环技术是常用局部修补方法,接口处装橡胶密封圈,靠金属胀环机械作用力让密封圈紧密贴合管道内壁,实现接口密封;适用于管径150-2200mm各类管道,对接口脱节、渗漏修复效果显著,局部树脂固化技术通过高压注射或人工填塞将树脂材料注入缺陷区域,用紫外光、热空气或常温固化使树脂形成高强度固化体,可修复裂缝宽度0.1mm以上管道缺陷,裂缝嵌补技术用柔性密封材料填充管道表面裂缝,借材料自身弹性适应管道微量变形,阻止渗漏扩展,局部修补施工设备轻便,作业面小,能在不停水或短时间停水时完成,单处修复工期通常不超24小时,对管道过流能力影响小,适用于交通及周边环境要求高的城市核心区域。

### 2.2 整体修补

整体修补技术对整段管道实施全断面修复,属非开挖工艺,通过在旧管内部构筑连续完整的内衬结构,恢复管道结构强度与输水功能,适用于管道存在多处分散缺陷、整体老化或结构承载力不足的场景,技术特点体现为修复后管道内壁光滑且连续,能提升过流能力,同时延长使用寿命,施工前需开展全面检测评估工作,涉及管道变形量测量、渗漏等级判定及周边土体稳定性检

测, 以此确保管道具备内衬施工所需条件。CIPP翻转式原位固化法是典型的整体修补技术, 施工时将浸渍热固性树脂的软管借助翻转方式内衬于旧管内部, 利用热水、蒸汽或紫外光加热促使树脂固化, 最终形成与旧管紧密贴合的刚性内衬管; 该技术适用于管径350-2400mm的钢筋混凝土管、铸铁管等多种管材, 内衬厚度依据设计要求控制在3-15mm范围, 短管焊接内衬法通过在旧管内逐节安装预制短管, 采用热熔或机械连接方式搭建连续内衬结构, 短管材料多选用高密度聚乙烯或聚氯乙烯, 这类材料具备耐腐蚀、强度高的特性, 适用于管径不小于800mm的管道修复<sup>[2]</sup>。整体修补施工需依次完成管道预处理、内衬材料就位、固化成型及端口处理等工序, 施工周期依据管段长度及管径大小来确定, 单段修复长度可达到100米以上, 修复后的管道能够达到新管设计标准, 可有效解决管道腐蚀、破裂、渗漏等综合性问题。

### 3 全生命周期成本核心问题

#### 3.1 直接成本构成差异显著

直接成本核算范围与构成要素在两类修复技术中存在本质区别, 开挖修复直接成本涵盖土方开挖、基坑围护、管道拆除与铺设、土方回填、路面切割与恢复等工序费用, 管道埋深每增加一定幅度, 围护结构费用便呈几何级增长, 同时需单独计入周边各类管线的临时支撑与专项保护费用。非开挖修复直接成本包括管道预处理、内衬材料采购、专用设备租赁、固化过程能源消耗及检查井同步修复费用, 成本高低同管径具体规格、修复工艺实际类型直接相关, 整体修复单米成本明显高于局部修复, 但省去路面恢复与大型土方作业的各项支出, 两类技术直接成本计算基数存在差异, 开挖修复以“地面作业+地下施工”为核心环节, 非开挖修复则聚焦“地下原位修复”全过程, 这使得初期成本对比缺乏直接可比性。

#### 3.2 社会成本量化体系缺失

开挖修复产生的交通影响成本涉及车道占用导致的通行效率下降、绕行距离增加产生的额外能耗, 还有交通管理部门的临时管制费用, 这类成本多依赖经验数据估算, 始终未纳入工程常规预算体系, 非开挖修复对交通干扰较小, 施工期间临时排水措施对周边排水系统的实际影响、短时间局部围挡造成的行人通行不便等隐性成本却未被充分考量<sup>[3]</sup>。两类技术的社会成本都存在计量指标模糊、责任主体不明确的问题, 全生命周期成本分析中社会成本占比也因此被明显低估或直接忽略。

#### 3.3 环境成本核算维度不全

环境成本核算范围未覆盖完整施工周期与各类潜在

影响, 存在明显局限性, 开挖修复的环境成本计算多限于施工期扬尘治理、噪声防控设备的实际投入, 未包含土方开挖导致的土壤侵蚀、植被破坏后的生态恢复所需费用, 以及施工废弃物运输与处置全过程的环境影响成本。非开挖修复虽整体能耗较低, 但树脂材料生产过程中的碳排放、固化剂挥发物对周边空气质量的潜在影响未被纳入核算体系, 环境成本的短视性核算导致两类技术的生态影响差异无法在全生命周期成本中体现, 直接影响成本对比的全面性与客观性。

## 4 市政排水管道非开挖修复技术

### 4.1 管道预处理技术

管道预处理技术需按步骤开展管道检测、封堵、清淤及干燥作业, 采用CCTV检测设备对管道内部进行全段扫描, 记录管道内径变化、结构性缺陷位置及淤积分布情况, 根据检测结果选择匹配管径的机械封堵头, 通过检查井将封堵头送入预定位置, 充气或充水使封堵头膨胀至与管道内壁紧密贴合, 阻断上下游水流, 用高压清洗车连接高压水枪, 将水枪送入管道内, 调整水压至合适范围, 沿管道轴线往返移动冲洗内壁, 剥离附着的泥沙、油污及结垢<sup>[4-5]</sup>。冲洗后残留的块状杂物或硬质沉积物, 用专用清淤工具伸入管道内破碎和抓取, 配合吸淤车将淤泥和杂物抽排至地面运输设备, 清淤完成后再次进行CCTV检测, 对未清理干净的区域做二次处理, 通过潜水泵将管道内残留积水抽排至作业段外, 确保管道内部干燥, 为后续修复施工创造条件。

### 4.2 局部树脂固化技术

局部树脂固化技术施工需经过缺陷定位、表面处理、材料敷设及固化成型环节, 借CCTV检测精准标记管道缺陷具体位置, 明确修复范围并精确计算所需材料用量, 专用打磨工具伸入管道内, 对缺陷区域及周边50cm范围内的管道内壁进行细致打磨处理, 彻底去除表面附着物和松散层, 形成利于贴合的粗糙接触面, 将按比例配制好的树脂均匀涂刷于玻璃纤维毡体表面, 确保毡体每个部位都完全浸渍树脂。通过牵引设备将浸渍树脂的毡体平稳送入管道内, 采用适宜气压或机械方式将毡体紧密贴合于缺陷区域表面, 确保贴合过程无气泡和褶皱产生, 依树脂类型选择对应固化方式, 采用紫外光固化时, 将紫外光固化灯送入管道内准确对准修复区域, 严格控制灯体移动速度进行均匀照射; 采用热空气固化, 则通过送风机向修复区域持续输送热空气, 保持设定温度直至树脂完全固化, 固化过程中需实时监测修复区域温度变化, 确保固化反应充分且均匀。

### 4.3 CIPP翻转式原位固化技术

CIPP翻转式原位固化技术施工包括软管准备、翻转就位、固化处理及端口修整工序,按管道直径和长度裁剪聚酯纤维软管,将软管浸泡在热固性树脂中,让树脂充分渗透软管纤维结构,检查井处搭建翻转平台,把浸渍树脂的软管一端固定在翻转头上,另一端用牵引绳连至管道另一端的检查井,启动翻转设备,借水压或气压推动软管沿管道轴线向另一端翻转,使软管外表面逐步与管道内壁接触并贴合,直到软管完全展开覆盖修复段管道内壁。软管就位后接热水循环系统,热水通过软管内部循环输送,控制水温在设计范围,保持恒定温度让树脂发生固化反应,依软管厚度和树脂固化特性确定固化时间,固化完成后停止热水循环,等软管冷却到常温,用专用切割工具伸入管道内,把两端多余的软管切割平整,使修复段与原管道内壁平顺衔接。

#### 4.4 检查井防腐修复技术

检查井防腐修复技术需实施缺陷清理、基层处理、防腐层施工及注浆加固作业,人工清理检查井内壁,清除表面松动砂浆、青苔及积水,借CCTV检测井体结构缺陷,标记裂缝、渗漏点位置,角磨机对井壁表面打磨处理,去除锈迹、油污及不平整部位,形成毛糙表面,再用高压气枪吹除表面灰尘,按比例调制铝酸盐防腐砂浆,通过高压喷涂设备将砂浆均匀喷涂于井壁表面,喷涂时保持喷枪与井壁垂直,距离控制在30-50cm,分多次喷涂至设计厚度。井壁裂缝沿走向开凿V型沟槽,清理沟槽内杂物后,注浆泵将聚氨酯密封材料注入,直至材料从裂缝另一端溢出,检查井周边地面按梅花形布置注浆孔,钻孔深度至井基础以下50cm,注浆管插入孔内,注浆泵将水泥浆液按设计压力缓慢注入,过程中监测井体位移,控制注浆量和压力,防止井体变形。

### 5 全生命周期成本构成分析

#### 5.1 直接成本构成

直接成本包含施工各环节的物料消耗与作业费用,非开挖修复直接成本涵盖管道预处理的封堵头子购置、清淤清洗作业具体支出,修复阶段的内衬材料采购、专用设备租赁及人工操作费用,还有检查井防腐喷涂材料、注浆耗材的实际耗费,按管径规格差异精确计算单位成本,整体修复计入树脂软管及固化能源消耗的各项费用,局

部修复则核算单点材料及施工的具体支出。开挖修复直接成本涉及土方开挖、基坑围护结构材料及施工费用,管道拆除与新管铺设的材料采购费,路面切割、回填及恢复工程的物料与人工费用,埋深增加时要叠加围护加固及管线保护的额外支出。

#### 5.2 社会成本构成

社会成本源于施工对公共系统的干扰性支出,开挖修复社会成本包括车道占用产生的交通导改设施购置费用、临时标志标线设置费用及交通管理人工成本,施工周期内的公交绕道协调费用,因占道范围大、工期长,对周边居住及教育区域产生的生活干扰协调费用,包含噪声影响的临时沟通具体支出<sup>[6]</sup>。非开挖修复社会成本主要为施工期临时排水设施的购置与布设费用,因作业面小无需大规模占道,交通维持及居民生活干扰相关协调成本显著降低。

#### 结语

排水管道修复需综合考量技术适用性与成本构成,非开挖修复技术通过局部与整体修补方式,在复杂环境中能够有效减少对交通及周边设施的干扰,其直接成本虽初期投入较高,但省去了路面恢复等一系列费用,社会成本与环境成本显著低于开挖修复。开挖修复因涉及土方作业、围护结构及后期维护等多项支出,在人口密集、管线复杂的区域,全周期综合成本相对更高,非开挖技术因此具备实际应用优势。

#### 参考文献:

- [1]杜宪.非开挖技术与开挖技术结合修复市政排水管道工程实例[J].中国资源综合利用,2018,36(06):171-173+176.
- [2]肖虔.市政排水管道非开挖修复设计研究[J].中国住宅设施,2025,(06):28-30.
- [3]姚磊,陶康.基于非开挖的市政排水管道修复方案与应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(15):199-201.
- [4]李俊奇.管道非开挖修复技术在市政排水管道改造中的应用[J].智能城市,2020,6(22):87-88.
- [5]吴迪.市政工程排水管道非开挖修复技术研究[J].中华建设,2025,(02):166-168.
- [6]建娜.城镇排水系统的生命周期环境影响评价研究[D].重庆大学,2015.