

排水管道非开挖修复技术分析及其选择研究

文 / 娄海龙 安徽省建设工程测试研究院有限责任公司

摘要：随着城市化进程加速，早期建设的排水管道因老化、腐蚀、错位等问题频发泄漏，严重威胁城市安全与生态环境。传统开挖修复方式破坏性强、成本高、周期长，非开挖修复技术凭借其高效、环保、影响小的优势成为主流解决方案。本文系统梳理了当前主流的13种非开挖修复技术，深入分析其原理、适用范围及工程特征，并结合实际案例提出科学选型建议，为城市管网修复提供技术参考。

关键词：非开挖修复；局部修复；整体修复；紫外光原位固化；短管替代

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.18.030

引言

城市排水管道作为重要的基础设施，长期运行后普遍存在裂缝、破损、接口错位、腐蚀等问题，导致渗漏、道路塌陷甚至环境污染。传统开挖修复需大面积破路，不仅影响交通、破坏环境，且成本高昂。非开挖修复技术自20世纪70年代兴起，通过内衬、嵌补、局部加固等方式在不开挖路面的前提下完成管道修复，具有施工速度快、环境影响小、综合成本低的核心优势，已成为城市管道修复的重要技术。

一、非开挖修复技术分类及原理

管道非开挖修复技术主要包括局部非开挖修复和整体非开挖修复两大类。

(一) 局部非开挖修复技术

1. 点状原位（常温）固化法

该技术利用毡筒气囊局部成型技术，将涂灌树脂的毡筒用气囊紧贴母管，通过常温或加热使树脂固化，形成局部内衬。适用于DN200-DN1500的混凝土管、钢管等，修复时无需开挖路面，施工周期短（单处修复约4-6小时），但对管道变形量要求严格（错位≤5cm）。其工艺原理是树脂在固化后形成高强度内衬层，隔绝外部介质对管道的侵蚀，同时恢复管道的密封性。

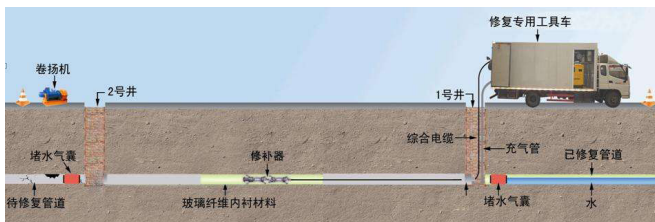


图1 点状原位固化法示意图

2. 不锈钢快速锁法

采用专用不锈钢圈扩充后挤压橡胶密封圈至管道缺陷处，形成内衬。适用于DN300-DN1800管道，安装便捷（DN600以下可用气囊安装），但不适用于变形严重的管道。该方法的关键在于不锈钢圈与橡胶密封圈的紧密配合，通过机械扩张力使密封圈与管道内壁紧密贴合，从而达到止水效果。

3. 不锈钢双胀环法

使用环状橡胶止水带与不锈钢套环，在损坏部位安装双胀环，通过不锈钢胀环固定止水。适用于管径≥800mm的管道，可承受接口错位≤3cm，常与钻孔注浆法联合使用。其优势在于施工速度快，质量稳定性高，但对水流形态有一定影响，会略微减小过水断面。

4. 不锈钢发泡筒修复法

利用遇水膨胀化学浆与带状不锈钢片，在缺陷处安装不锈钢套环，通过气囊挤压使发泡胶固化止水。适用于DN150-1350mm管道，可带水作业，止水效果好，造价低，通常与土体注浆技术结合使用。该技术的创新点在于发泡胶的使用，其固化后能形成弹性密封体，适应管道的微小变形。

5. 裂缝嵌补修复技术

对渗漏裂缝开凿后，用水泥麻丝封堵并预埋软管，注入嵌补材料（如聚氨酯）实现修复。适用于DN800以上管道及检查井，嵌补材料分为刚性（水泥砂浆）和柔性（聚氨酯），柔性材料抗变形能力更强，堵漏效果更佳。该方法的核心是通过注浆填充裂缝，形成密封层，阻止地下水渗漏。

二、整体非开挖修复技术

(一) 翻转式原位固化法

将浸渍热固性树脂的软管翻转置入待修复管道，通过热水或蒸汽固化形成内衬。适用于DN150-2700mm管道，分“水翻”和“气翻”两种方式，不适用于基础断裂或严重变形的管道。其工艺特点是内衬与原管道贴合紧密，形成“管中管”结构，显著提升管道强度和密封性。

(二) 紫外光原位固化法（UV-CIPP）

将浸有树脂的软管拉入管道，充气后通过紫外光固化形成内衬。适用于DN150-1600mm管道，固化时间短（4-6小时），内衬结构分为内膜、耐磨层、结构层等多层复合体系，具有高强度、耐腐蚀性。该技术是目前整体修复中应用最广泛的工艺之一，其优势在于施工效率高，对交通影响小。

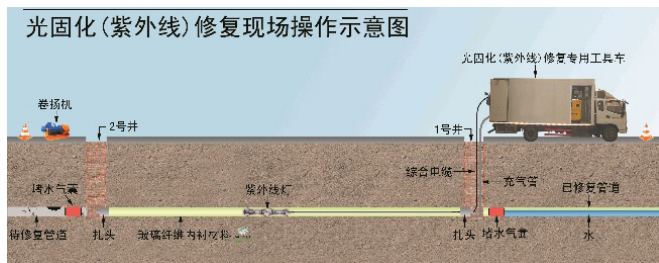


图2 紫外原位固化法示意图

(三) 机械制螺旋缠绕内衬法

通过螺旋缠绕带状型材在旧管内形成新管，分独立结构管和复合管两种，按工艺分为扩张法(DN200-800mm)和固定口径法(DN450-3000mm)。适用于多种管材和不规则断面(如矩形箱涵)，可修复破裂、变形等多种缺陷。该技术的关键在于型材的公母锁扣咬合，形成连续的新管结构，同时可通过注浆增强新旧管协同受力。

(四) 水泥基聚合物涂层修复技术

采用高分子聚合物乳液与无机粉料混合形成防水膜，对管道进行防腐防渗处理。适用于DN ≥ 800mm管道，可局部或整体修复，对结构强度无增强作用，但施工便捷，固化速度快。其优势在于涂层与水泥基材粘结力强，兼具有机材料的弹性和无机材料的耐久性。

(五) 短管替代法

通过碎(裂)管设备破碎原管道，同步拉入新管道，分缩径法、胀管法、等径吃管法等。适用于DN300-1400mm管道，需设置工作坑，可实现管道扩容。其中胀管法适用于刚性管道，通过液压胀管器破碎原管并拉入新管，施工效率高，但对土层稳定性要求较高。

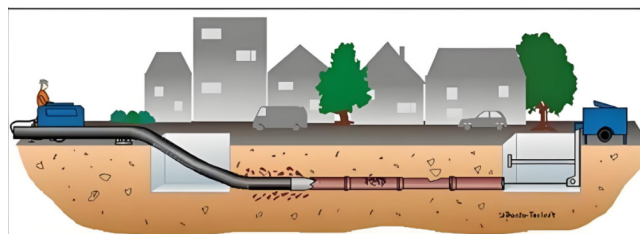


图3 短管替代法示意图

(六) 管道垫衬法

利用速格垫(HDPE等材料)作为内衬，通过注水撑起后用SG100高微浆填充空隙，形成内衬结构。适用于DN300-2000mm各种形状管道，延伸率达300%，适应管道二次变形，防腐蚀性强，寿命可达50年以上。该技术的创新点在于软衬材料与注浆填充的结合，能有效应对复杂管道形态。

(七) 管片内衬法

在原管道内拼接片状型材(如不锈钢/PVC片)形成新管，注浆填充间隙。适用于DN800-3000mm的混凝土管、检查井等，可修复圆形、方形等多种断面。施工时需控制管内水位 ≤ 30%，并进行有毒气体检测，确保作业安全。其优势在于可根据管道形状定制管片，适应性强^[1]。

(八) 热塑成型原位固化法

将内衬管加热软化后拉入原管，通过加热加压贴合，冷却后形成内衬。适用于DN200-2400mm管道，能同时满足结构更新和扩容需求，施工速度快，噪声低，符合环保要求。该技术的核心是热塑性材料的形变特性，通过温度控制实现内衬与原管的紧密结合。

三、非开挖修复工法特征对比与技术评价

(一) 非开挖工法特征对比分析

工法特征对比分析表

方法名称	适用范围和使用条件						
	适用管径(mm)	内衬管材料	是否需要工作坑	是否需要注浆	最大允许转角	可修复原管道截面形状	局部或整体修复
点状原位固化	200-1500	热固性树脂	不需要	不需要	-	圆形、矩形、蛋形等	局部
不锈钢快速锁法	300-1800	-	不需要	不需要	-	圆形	局部
不锈钢双胀环	≥ 800	-	不需要	不需要	-	圆形	局部
不锈钢发泡筒	150-1350	-	不需要	不需要	-	圆形	局部
裂缝嵌补修复法	≥ 800	TZS 水溶性聚氨酯	不需要	不需要	-	圆形、矩形、蛋形等	局部
翻转式原位固化	150-2700	聚脂纤维毡和热固性树脂	不需要	不需要	45°	圆形	整体
紫外光原位固化	150-1600	光引发剂、低聚物、玻璃纤维、树脂等	不需要	不需要	45°	圆形	整体
机械制螺旋缠绕	200-3000	PVC-U	不需要	根据情况	15°	圆形、矩形、蛋形等	整体
水泥基聚合物涂层修复技术	≥ 800	水泥基聚合物涂层防水膜	不需要	不需要	-	圆形、矩形、蛋形等	整体 / 局部
短管替代法	300-1400	-	需要	不需要	7°	圆形	整体
管道垫衬法	300-2000	HDPE、PP、PVDE、ECTFE	不需要	需要	15°	圆形、矩形、蛋形等	整体 / 局部
管片内衬法	800-3000	不锈钢/PVC片	不需要	需要	15°	圆形、矩形、蛋形等	整体
热塑成型原位固化法	200-2400	新型热塑性高分子材料	不需要	不需要	-	圆形、矩形等	整体

（二）技术评价比选分析

1. 适用性方面比选

管径适应性：机械制螺旋缠绕法（DN200-3000mm）和管片内衬法（DN800-3000mm）适用于大口径管道；点状原位固化法（DN200-1500mm）和不锈钢发泡筒（DN150-1350mm）对中小管径适应性更好。

管道形状适应性：机械制螺旋缠绕、管道垫衬法等可修复圆形、矩形等多种断面，而不锈钢快速锁法等仅适用于圆形管道。

缺陷类型适应性：局部修复技术（如双胀环法）适用于接口错位、渗漏等局部缺陷；整体修复技术（如UV-CIPP）更适合大面积腐蚀、破裂等整体缺陷。

2. 经济性比选

直接成本：短管替代法因需工作坑和碎管设备，成本较高；水泥基聚合物涂层修复技术材料成本低，适合防腐需求为主的工程。

周期成本：热塑成型原位固化法施工速度快（工期缩短50%以上），可减少间接成本；管道垫衬法寿命长达50年，长期经济性显著。

3. 环境友好性比选

施工干扰：非开挖技术普遍减少掘路量，其中紫外光固化法无需大型设备，对交通影响最小；短管替代法需设置工作坑，对周边环境影响较大。

污染排放：热塑成型法采用液压设备，噪声≤65dB，符合环保要求；传统开挖修复的扬尘、噪声污染较严重。

4. 技术可靠性比选

结构强度：翻转式原位固化法形成的内衬抗压强度≥30MPa，可承担主要荷载；水泥基聚合物涂层主要起防渗作用，强度提升有限。

密封性能：点状原位固化法的树脂内衬渗漏率≤0.5%，止水效果优异；不锈钢双胀环法在抗内压时密封性能更佳^[2]。

四、排水管道非开挖修复技术选择策略

（一）技术选择流程框架

构建“缺陷评估-条件匹配-方案比选-决策优化”的四阶段选择流程：

缺陷评估：通过CCTV检测确定管道缺陷类型（如破裂、错位、渗漏等）、严重程度及分布范围。

条件匹配：根据管径、管材、环境要求等初步筛选适用技术。

方案比选：从技术可行性、经济性、工期等维度进行多方案对比。

决策优化：结合专家经验和工程案例，确定最优修复方案。

（二）典型工程场景技术推荐

1. 城市主干道排水管道修复

场景特征：交通流量大，施工时间受限，周边管线

密集。推荐技术：紫外光原位固化法（UV-CIPP）。技术优势：无需开挖路面，施工周期短（单段修复1-2天），内衬强度高，修复后管道糙率降低30%，提升排水能力。案例参考：亳州市花戏楼路DN800mm钢筋混凝土管道修复，采用UV-CIPP技术，全程未中断交通，修复后CCTV检测显示内衬贴合紧密，无渗漏。

2. 老旧小区雨污管道修复

场景特征：管径小（DN200-600mm），管道布置复杂，周边居民密集。推荐技术：点状原位固化法+不锈钢双胀环法。技术优势：局部修复针对性强，对周边环境影响小，成本较低。应用策略：对接口渗漏采用双胀环法快速止水；对管身裂缝采用点状固化法修复，单处施工不超过4小时，减少扰民^[3]。

3. 大型箱涵结构性修复

场景特征：断面尺寸大（如3m×4m矩形箱涵），承受荷载高，修复后需恢复结构强度。推荐技术：机械制螺旋缠绕法（固定口径法）+管片内衬法。技术优势：螺旋缠绕法可适应大口径不规则断面，形成独立结构新管；管片内衬法通过注浆增强整体刚度，满足承载力要求。施工要点：先采用螺旋缠绕法形成内衬骨架，再对关键节点处采用管片内衬加强，注浆压力控制在0.02MPa以内，确保结构安全。

4. 工业废水管道防腐修复

场景特征：介质腐蚀性强（如含酸碱、硫化氢），对管道耐腐蚀性要求高。推荐技术：管道垫衬法+水泥基聚合物涂层修复技术。技术优势：速格垫（HDPE材质）耐化学腐蚀性能优异，涂层进一步增强防渗性，两者结合可延长管道寿命50年以上。工艺组合：先采用垫衬法形成物理屏障，再在衬垫表面涂刷水泥基聚合物涂层，形成“双保险”防腐体系。

结语

1. 排水管道非开挖修复技术已形成局部与整体修复两大体系，13种典型工艺各有适用边界，需根据管道条件、环境要求等多因素综合选择。

2. 紫外光原位固化法、机械制螺旋缠绕法等技术在选择性、可靠性方面表现突出，成为当前工程主流选择；管道垫衬法等新兴技术在复杂工况下展现独特优势。

3. 技术选择应遵循“缺陷精准评估-多维度比选-全生命周期优化”的原则，构建科学决策流程，避免盲目选型导致的工程风险。

参考文献

[1] 陈雪华. 排水管道非开挖修复技术的造价研究[J]. 江西建材, 2024, (11): 389-391.

[2] 李涛. 排水管道非开挖修复技术在城市地下工程中的应用[J]. 科学技术创新, 2024, (23): 155-158.

[3] 刘静, 薛腾飞. 城镇排水管道非开挖修复技术研究[J]. 建材发展导向, 2024, 22(10): 107-110.