

基于 CIPP 翻转内衬技术的旧管道结构性修复效果与密闭性控制分析

姜劲松

天津滨海旅游区基础设施建设有限公司 天津 300480

【摘要】：城市老旧管道结构性病害普遍，CIPP 翻转内衬技术作为非开挖修复核心技术，凭借树脂浸渍软管翻转贴合、固化成型原理，与旧管道构成复合结构体，实现荷载分担、缺陷填充及形变约束的结构性修复。技术核心原理与修复机制为切入点，分析其在管道结构强度、缺陷修复、耐久性优化上的关键效果，明确施工全流程密闭性控制要点及检测评价方法，结合多地工程实例验证技术可行性，为老旧市政、工业给排水管道原位修复提供技术参考，助力城市管网运维提质增效。

【关键词】：CIPP 翻转内衬技术；老旧管道；结构性修复；密闭性控制；非开挖施工

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.033

引言

城市管网服役年限延长，市政污水、雨水及工业给排水管道常出现管壁腐蚀、混凝土剥落、接口错位、裂缝等结构性病害，降低管道承载能力与密闭性，引发渗漏、污染等安全隐患，影响城市正常运行。传统开挖修复工期长、破坏路面，干扰交通与环境，难以适配城市精细化运维需求。CIPP 翻转内衬技术属高效环保非开挖修复技术，原位固化、贴合性好、修复效果稳定，广泛用于老旧管道改造。结合工程实例，系统分析其修复机制、修复效果及密闭性控制方法，为同类管道修复工程提供实践指导。

1 CIPP 翻转内衬技术核心原理与修复机制

1.1 CIPP 翻转内衬技术核心原理

CIPP 翻转内衬技术依托树脂浸渍软管的材料特性与流体翻转、固化成型的工艺逻辑完成非开挖修复作业，借助压缩空气或静水压力，将富含不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂等复合固化材料的无纺纤维软管反向翻转置入待修复旧管道内部，凭借软管自身贴合性紧密贴附原有管道内壁^[1]。软管就位后，紫外光、热水或蒸汽定向加热触发树脂交联固化反应，柔性浸渍材料逐步转变为高强度刚性复合内衬管，与原有管道形成紧密贴合的复合结构体。全程无需大面积开挖路面，以原位固化成型为核心，材料物理化学反应与外力辅助贴合共同作用，依托原有管道空间限制完成全新内衬结构浇筑成型，适配市政污水、雨水、工业给排水等多种老旧管道的原位改造需求。

1.2 旧管道结构性修复作用机制

旧管道长期运行普遍出现管壁腐蚀、混凝土剥落、钢筋锈蚀、接口错位、环向开裂等结构性病害，整体承载能力大幅衰减。CIPP 内衬固化成型后形成独立连续管状结构，与原管道内壁紧密嵌合，构建复合受力体系，原有老旧管道承担外部土体荷载与地层压力，固化内衬管承接内部水流压力、负压荷载

及局部集中应力，实现荷载分层分担。管道局部塌陷、变形、裂缝等缺陷处，高强度内衬材料可填充管壁破损空隙，约束裂缝扩张，限制管道径向与轴向形变位移，削弱地层不均匀沉降、车辆动荷载带来的外力冲击。常州经开区市政污水管道修复工程中，区域老旧钢筋混凝土管道多存在中度开裂与局部接口沉降，应用 CIPP 翻转内衬技术后，内衬结构弥补原有管壁截面缺损，重构管道整体受力框架，从形变约束、荷载分担、缺陷填充三个维度实现结构性补强。

2 旧管道结构性修复效果关键分析

2.1 结构强度与力学性能提升效果

CIPP 固化内衬管具备优良环向抗拉、抗弯及抗压力学指标，乙烯基酯树脂基内衬成品环向弯曲模量稳定处于合理标准区间，远超老旧破损管道残余力学性能。内衬结构成型后大幅提升管道环向刚度，抵御外部土压力与地面交通荷载产生的径向挤压，弥补原管道因腐蚀、破损导致的截面强度损耗。无锡惠山区城镇排水管道修复项目中，区域服役超二十年的 HDPE 老旧管道存在管壁变薄、环向柔度过大等问题，采用 CIPP 翻转内衬修复后，管道整体环向抗压承载力显著提升，抵抗地层挤压变形能力大幅增强，复合结构整体稳定性实现本质提升，可长期适配城市道路重载通行的复杂工况（见图 1）。

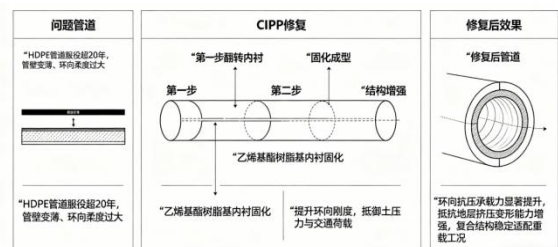


图1 结构强度与力学性能提升效果

2.2 管道缺陷与变形修复达标情况

城市老旧管道常见椭圆化变形、局部塌陷、纵向裂缝、接

口错台等结构性缺陷，CIPP内衬贴合固化可实现修复。柔性软管能自适应管道轻微形变与不规则断面，固化后刚性结构强制矫正管道非正常形变，将椭圆度偏差控制在规范允许范围。宽度不等的结构性裂缝处，液态树脂在翻转贴合时渗入裂缝内部，固化后形成固结填充体，阻断裂缝延展。接口错位、管段沉降引发的断面偏移，连续内衬结构可平衡局部应力集中，弥补缺陷部位受力短板^[2]。南京江北新区污水管网改造工程中，多段混凝土管道存在错台、轻度塌陷等重度缺陷，经CIPP技术修复后，管道形变参数、裂缝闭合程度均符合城镇排水管道非开挖修复施工验收规范，各类结构性缺陷得到全面整治。

2.3 修复后管道耐久性优化效果

市政管道长期接触污水酸碱腐蚀、微生物侵蚀、地下水化学离子侵蚀等复杂介质，易加速管壁材料老化破损。CIPP翻转贴合内衬所用树脂固化材料耐腐蚀性、抗微生物降解及抗老化性能优异，可隔绝污水、土壤腐蚀性介质与原管道管壁的直接接触，从源头减缓钢筋锈蚀、混凝土腐蚀、管材老化等病害进展。内衬材料耐酸碱腐蚀，适配工业废水、生活污水等多元输送介质，固化结构抗冲刷、抗磨损，可抵御长期水流泥沙冲刷磨损。杭州萧山区农村给排水管道修复工程长期监测数据表明，CIPP内衬修复后的管段，五年运行周期内未出现二次腐蚀、开裂、脱落等问题，相较于传统开挖换管，结构使用寿命大幅延长，长期运行稳定性明显提升。

3 管道密闭性控制技术与检测评价

3.1 施工全流程密闭性控制要点

CIPP翻转贴合内衬施工各环节精细化管控是保障管道密闭性的核心。施工前期借助CCTV内窥检测排查管道裂缝、接口、破损等渗漏点位，高压水射流彻底清除管壁淤积、污垢、腐蚀残渣，避免杂质残留导致内衬贴合不密实。软管浸渍时严控树脂

脂配比、浸渍时间与浸润均匀度，防止树脂分布不均出现局部薄区、固化不彻底等问题^[3]。翻转植入时把控气压与水压参数，确保软管匀速贴合管壁，避免褶皱、空鼓、偏移等施工缺陷。固化阶段把控升温速率、恒温时长与冷却节奏，保障树脂完全交联固化，杜绝欠固化、局部固化不良引发的渗漏隐患。管道检查井、支管接口等特殊部位，采用专用密封辅料加强处理，封堵边角缝隙，消除密闭性薄弱点位。

3.2 密闭性检测方法与评定标准

修复完成后需通过标准化检测检验管道密闭性，闭水试验与气压试验为核心检测方式。短距离管段采用气压密封性试验，封闭管段两端预留气压观测口，稳压规定时长，监测气压衰减数值判定密闭性能；长距离主干管段采用闭水试验，按设计水位持续蓄水，观测管段外壁、接口、缺陷修复位置有无渗水、滴水、渗漏现象。结合CCTV内窥复检，排查内衬内壁开裂、鼓包、接缝渗漏、局部破损等外观缺陷，对照《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》评定密闭性等级，明确渗流量、压力衰减等关键指标合格阈值，不合格管段定位渗漏点位并及时补强，确保修复后管道防渗性能达标。

4 结语

CIPP翻转贴合内衬技术通过科学的材料配比与工艺管控，实现老旧管道原位结构性修复，解决传统开挖修复的诸多痛点，在提升管道结构强度、整治管道缺陷、优化耐久性与密闭性上效果突出，适配多种工况下的管道改造需求。多地工程实例显示，该技术可大幅延长管道使用寿命，降低运维成本，兼顾环保性与经济性。未来需优化施工工艺，细化密闭性检测标准，提升技术适配性与施工精细化水平，为城市管网更新改造提供更高效、可靠的非开挖修复解决方案，助力城市基础设施高质量发展。

参考文献:

- [1] 林智益. 翻转贴合内衬技术在市政污水管道修复中的应用[J]. 四川水泥, 2024, (12): 113-115.
- [2] 曾翔, 涂浪, 刘晓晖, 等. CIPP翻转贴合内衬修复城镇燃气管道施工技术应用[J]. 科技风, 2024, (22): 71-73+162.
- [3] 谢晓巧, 徐震. 城镇排水灌渠翻转贴合(CIPP)非开挖修复技术工程应用[J]. 工程技术研究, 2023, 8(10): 75-77.