紫外光固化与裂管法组合非开挖修复技术在市政排水管道中的应用研究

陈江浩男

中冶建工集团有限公司　重庆　400084

摘　要：国内城市老旧排水管线中，塑料柔性管应用广泛，两类管道服役多年后病害特征存在明显差异。本文针对同一管段叠合修复模式开展研究：对待修复管道首先采用裂管法破碎原有旧管，原位敷设全新管道基体，之后在新敷设管道内部实施紫外光固化内衬，形成“外层基体管道 + 内层紫外光固化玻璃钢内衬”双层复合结构。研究表明，“先裂管置换、后紫外光固化内衬”的叠合修复模式，既解决旧管重度损毁问题，又依靠连续内衬强化管道密封防腐性能，能够显著提升管线长期运行稳定性，可为市政塑料柔性管更新改造工程提供技术参考。

关键词：排水管道；非开挖叠合修复；紫外光固化内衬；裂管法；HDPE 管；波纹管

1 引言

1.1 研究背景

2000 年之后，国内市政排水管网大规模建设，HDPE 实壁管、HDPE 波纹管得到广泛应用，二者都属于柔性管道，依靠管、土共同作用承担外部水土荷载[1]。其中 HDPE 波纹管凭借较高环刚度，多用于埋深较大排水工况，但在土体挤压、地基不均匀沉降、车辆动荷载持续作用下，容易出现管壁压溃、钢带剥离脱出、接口错位张开等严重病害；HDPE 实壁管材料韧性优异，但受树根穿刺、外部施工扰动、热熔焊接缺陷影响，易发生局部破裂、焊缝渗漏等问题。当柔性管道变形超过规范允许限值，管体丧失结构支撑能力，无法直接开展紫外光固化内衬作业[2]。

非开挖修复技术凭借微创优势，逐步成为城市管网更新的主流技术手段。紫外光固化原位固化法可在结构完好的管道内部成型连续玻璃钢内衬，提升管道防渗防腐性能，但该工艺需要原有管道提供稳定支撑，柔性管道一旦压溃、坍塌，便不满足施工前置条件。裂管法属于原位管道更新工艺，能够破碎失效旧柔性管道，将碎渣挤压进入周边土体，同步回拖新管道，可处置重度变形、坍塌类缺陷。但完成裂管置换后的全新柔性管道，依旧存在焊缝、插接接口等薄弱位置，长期接触污水与腐蚀性土壤介质，存在渗漏、老化失效的运行隐患[3]。

当前工程实践大多将裂管法、紫外光固化作为二选一备选工艺，较少在同一柔性管道管段先后叠加实施两道工序。针对城市主干道、排水主干线这类对密封性、耐久度要求较高的管段，单纯裂管置换无法彻底消除接口渗漏风险。

1.2 研究意义

理论层面，现有文献大多聚焦单一非开挖工艺研究，针对柔性管道同一管段先后开展裂管置换 + 紫外光固化叠合修复的系统性研究较少，缺少柔性管道工况下的选型准则、工序衔接流程以及完整质量控制体系。本文阐明叠合修复工作机理与适用边界，梳理柔性管道施工的特有技术难点，完善柔性排水管道非开挖修复理论体系。

工程实践层面，针对柔性管道重度破损工况，建立“先裂管、后内衬”叠合修复实施方案，明确不同管径、地质环境条件下的施工控制要点，为工程技术人员提供高耐久性修复技术路径。

1.3 国内外研究现状

目前国内工程大多将裂管、紫外光固化作为互斥工艺，依据病害等级择一选用；同一柔性管段叠合应用两项工艺的实际工程案例数量有限，对柔性管道的破碎特性、新管内壁预处理要点认识不足，现场容易出现旧管破碎不完全、新管内壁划伤、内衬空鼓脱层等质量缺陷，因此有必要开展系统性梳理研究。

2 紫外光固化与裂管法技术基础

紫外光固化原位固化法，作业原理为借助卷扬设备把浸渍光敏树脂的玻璃纤维软管牵引至待修复管道内部，依靠压缩空气充气，让软管向外膨胀紧贴原有管道内壁；随后将紫外光灯架送入软管内部，依靠紫外光照射促使光敏树脂发生交联聚合反应，软管固化成型之后，在旧管内部形成高强度连续玻璃钢内衬管，构建管

中管的结构性修复体系。

该工艺适用管径区间大致为 DN200～DN1600，要求管道整体线形平顺，原有管道本体结构稳定，适合处理管壁腐蚀、裂缝、接口渗漏、轻度错口等中等程度结构性与功能性缺陷。该工艺突出优势为现场施工节奏快，单段固化作业仅消耗数小时，成型内衬内壁光滑，通水性能良好，地面扰动程度极低；其短板在于管道严重坍塌、粉碎性破损工况下无法直接开展施工；内衬层会占用管道内部断面，修复之后管道实际内径会有所缩减。

裂管法，依靠液压驱动裂管器在旧管腔体内部向前推进，对原有管道实施径向割裂破碎，将破碎之后的旧管碎片挤压排入周边土层，原位拓展出新的孔道；裂管器尾部同步牵引全新管道跟进就位，旧管破碎与新管铺设同步完成，不需要大面积开挖沟槽。

表 1 单一工艺的局限性对比

序号	对比项目	紫外光固化法	裂管法	叠合修复（裂管 + 紫外光固化）
1	修复定位	在完好旧柔性管内部增设内衬防护层	破碎旧管，原位更换外层柔性基体管道	先更换外层柔性基体管道，内侧增设内衬，形成双层复合结构
2	适配病害	中度缺陷，原有柔性管道结构稳定	重度压溃、变形、坍塌病害	柔性旧管重度破损，且对管道防渗耐久性能要求高的管段
3	土体扰动	几乎不产生土体扰动	破碎旧管挤压土体，存在扰动风险	裂管工序存在土体扰动，内衬工序无土体扰动
4	密封性能	内衬整体连续，密封性能优异	柔性管道焊缝、接口为薄弱点，存在渗漏隐患	内衬完整覆盖焊缝与接口，封闭渗漏通道，密封性能最优
5	管径变化	内衬占用断面，内径缩小	维持原管径或实现扩径	基体管管径由裂管确定，内衬会小幅缩减内径，前期必须水力校核
6	适用限制	不可直接修复坍塌、严重变形柔性管道	接口、焊缝防渗仅依靠管材本身	工程造价高于单一工艺，施工周期更长，新柔性管内壁预处理标准高

该工艺常规适用管径 DN200～DN600，多用于波纹管、HDPE 管、陶土管等脆性材质管道，适合处置管道坍塌、大范围破碎、严重变形等重度结构性缺陷，还可以结合排水提升需求适度扩大管道口径。裂管法优势在于能够直接更换失效管道，原位更新管线，维持原有管线走向不变；不足之处在于施工过程中会对周边土体形成挤压扰动，高地下水位、土体松散区域施工风险偏高；新管接口通常 50cm 一道，属于薄弱部位，存在渗漏风险，置换完成之后管道防腐能力完全取决于新管本身，无法对上下游原有旧管道病害进行治理。

叠合修复核心逻辑：针对同一根待修复柔性管道，分先后实施两道非开挖工序。

第一步：裂管法施工。破碎已经严重变形失效的原有柔性旧管，将破碎残渣挤压至周边土体，同步拉入全新柔性管道作为复合结构的外层基体，重建管线过水通道，解决旧柔性管道重度损毁问题。

第二步：紫外光固化内衬施工。在刚刚敷设完成的全新柔性基体管道内部，牵引玻纤树脂软管，固化成型玻璃钢内衬层。最终形成外层柔性基体管道 + 内层紫外光固化玻璃钢内衬双层复合管道。见表 1

3 紫外光固化裂管法组合修复技术体系

3.1 组合工艺基本思路

1）前期勘察与病害评估。开展 CCTV 内窥检测，判别柔性管道破损变形程度。

2）现场施工筹备与预处理。布置施工围挡、落实交通疏导；利用检查井或者新建小型工作井作为裂管始发、接收工作面。

3）裂管置换施工。安装调试裂管设备，针对柔性管道材质结构选用适配切削型裂管头；完成旧柔性管道破碎，同步回拖全新柔性基体管道；完成管道焊接或插接连接，修整焊缝、接口。

4）柔性基体管预处理。裂管置换完成后的柔性管道内壁、焊缝位置需要打磨平整，高压水反复冲洗管道，保证管内壁无尖锐凸起与污染物，为紫外光固化软管牵引提供平滑通道。该衔接工序直接决定叠合修复施工成败。

5）紫外光固化内衬施工（第二道工序）。将浸渍光敏树脂的玻纤软管牵引进入已经敷设完成的柔性基体管内部；充气使软管胀圆并紧贴柔性管壁；调试紫外光灯链，按照预设速度匀速完成树脂固化；固化结束，切割处理管端，做好支管开孔密封复原。

6 ）竣工验收。全线 CCTV 内窥检测。

3.2 组合工艺修复关键质量控制要点

1）裂管施工沉降管控。柔性管道塑性大，破碎过程土体挤压效应明显。高地下水位、松散回填土地层，严格控制扩孔尺寸，布设地表沉降监测点，将沉降控制在

规范限值以内，保护周边道路、管线与建构筑物安全。

2）两道工序之间基体管预处理。裂管完成后的柔性管道焊缝焊瘤、接口毛刺必须打磨平整；管内塑料碎屑、泥沙要冲洗干净，尖锐凸起会直接划破玻纤软管，引发固化缺陷。

3）软管与柔性管壁贴合控制。柔性管材内壁较为光滑，充气固化阶段合理控制充气压力，保障软管充分贴合管壁，规避内衬层空鼓、脱层质量问题。

4 组合工艺适用性影响因素分析

本文研究对象 HDPE 管、波纹管均属于柔性管道，但二者结构不同，叠合修复施工难点存在差异。

裂管法常规适用管径 DN200-DN800；紫外光固化工艺适用 DN200-DN1600。叠合修复工艺适配管径区间为 DN200-DN800 柔性排水管道。

地质层面，黏性土、粉质黏土地层更适合叠合修复；高地下水位、流砂、松散回填土区域，裂管挤压土体易造成孔壁失稳，需要开展专项降水设计，加密沉降监测点位；临近建筑物、管线密集区域，应当开展专项风险评估，谨慎选用裂管工序。

5 工程案例分析

某城市建成区老旧排水管网改造项目，管道铺设于 2008 年，管材为 HDPE 管（柔性管道），管径 DN400。经过多方案技术经济对比，确定采用同一管段先裂管置换，后紫外光固化内衬的叠合非开挖修复方案。

本项目采用叠合修复方案，仅设置小型工作井，无需大面积路面开挖，显著降低对道路交通的干扰。对比全线开挖更换管道，项目总工期缩短 37%，大幅减少路面破除与恢复工程量；对比单纯裂管置换方案，叠合修复依靠内衬层封闭柔性管道热熔焊缝渗漏通道，提升管道内壁抗污水腐蚀能力，管道长期服役可靠性得到明显提升。

6 结论与建议

6.1 结论

1）当柔性管道发生重度变形压溃，无法直接实施紫外光固化内衬；单纯裂管置换仅完成柔性基体管更换，焊缝、接口依旧存在渗漏隐患。同一管段先裂管置换、后紫外光固化内衬的叠合修复工艺，可以先重建稳定的柔性基体管道，再通过内衬形成双层复合结构，同步解决旧柔性管重度破损问题，强化管道防渗防腐能力，两项工艺在同一管段先后叠加，实现技术协同增效。

2）该叠合修复工艺主要适用 DN200-DN800 的柔性排水管道，适用于柔性管道重度破损，且对耐久性、密封性要求较高的市政排水管线。整套工艺划分为裂管置换、柔性基体管打磨冲洗预处理、紫外光固化内衬三大核心阶段，两道非开挖工序之间的预处理质量直接决定工程成败。

3）叠合工艺质量管控重点：裂管阶段做好土体扰动与地表沉降监测；裂管完成后打磨清除柔性管道焊瘤、毛刺，彻底冲洗管内碎屑；内衬施工完成后核查内衬层对全部焊缝、接口的全覆盖。工程案例证明，叠合修复能够在微创施工条件下构建高可靠双层管道，在城市建成区老旧柔性管网改造项目具备工程应用价值。

6.2 工程建议

1）设计阶段优先开展 CCTV 内窥检测与地质勘察，精准评估旧柔性管道破损程度，论证裂管施工可行性；高地下水位、流砂地层以及紧邻重要建构筑物区域，开展专项风险评估，谨慎选用裂管工序。

2）严格把控两道工序之间柔性基体管预处理环节，焊缝焊瘤、接口凸起必须打磨平滑，管内杂物冲洗干净，避免划伤玻纤软管；内衬施工前再次开展 CCTV 复检，确认管内条件满足内衬施工要求。

3）落实全过程质量检测，裂管置换完成后先开展 CCTV 初检，预处理验收合格后方可开展紫外光固化作业；固化完成后重点检查内衬层与柔性基体管贴合状态，核查焊缝、接口位置内衬完整性，做好工程资料归档，支撑后期管网运维管理。

参考文献

[1] 刘瀚. 柔性埋地管道-CIPP 修复内衬复合结构受力特性研究 [D]. 中国地质大学,2022.DOI:10.27492/d.cnki.gzdzu.2022.000275.

[2] 徐亮. 市政排水管道非开挖修复施工技术研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版),2026,(19):202-204.DOI:10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202619068.

[3] 李宗领. 市政工程施工管道排水系统与非开挖修复技术的结合应用 [J]. 散装水泥,2026,(7):118-120.