

# CIPP 管道非开挖修复技术：水翻转法与紫外光固化法的工艺对比与应用前景分析

刘城

上海建工五建集团有限公司，上海 200333

[摘要] 伴随着城市建设全方位、多层次的快速发展，地下管网的修复需求呈井喷式增长。CIPP（原位固化法）作为一种管道非开挖修复技术，凭借其高效、环保的特点成为主流的管道修复非开挖技术。文中系统阐述了 CIPP 技术的分类及工艺原理，重点对比水翻转法与紫外光固化法的技术差异，并分析其应用前景，为工程实践提供理论支持。

[关键词] CIPP；管道修复；施工工艺；非开挖

DOI: 10.33142/ect.v3i3.15715

中图分类号: TU992.23

文献标识码: A

## CIPP Pipeline Non excavation Repair Technology: Process Comparison and Application Prospect Analysis of Water Flip Method and UV Curing Method

LIU Cheng

Shanghai Construction No. 5 Construction Group Co., Ltd., Shanghai, 200333, China

**Abstract:** With the rapid development of urban construction in all aspects and at multiple levels, the demand for repairing underground pipelines is growing rapidly. CIPP (cured in place pipe), as a non excavation pipeline repair technology, has become the mainstream non excavation pipeline repair technology due to its high efficiency and environmental friendliness. The article systematically elaborates on the classification and process principles of CIPP technology, with a focus on comparing the technical differences between water flip method and UV curing method, and analyzing their application prospects, providing theoretical support for engineering practice.

**Keywords:** CIPP; pipeline repair; construction technology; non excavation

### 1 CIPP 管道修复技术概述

CIPP (Cured In Place Pipe), 即原位固化法, 作为一项在地下管道修复领域得到广泛应用的技术, 它具有非开挖的显著特点, 主要用于修复排水管道、污水管、燃气管等老旧或损坏的管道系统。其核心思想是通过在原有管道内部形成高强度内衬, 恢复或提升管道的结构性能, 同时避免大面积地面开挖, 具备高效施工、绿色环保、经济实惠等显著特性。根据固化方式不同, CIPP 主要分为三类:

(1) 热水固化法: 利用热水加热树脂完成固化, 工艺成熟但能耗高。

(2) 蒸汽固化法: 通过蒸汽加速树脂固化, 效率略高于热水法。

(3) 紫外光固化法 (UV-CIPP): 采用紫外光引发树脂交联反应, 固化时间短且无需水源。

### 2 水翻转法 CIPP 修复工艺分析

#### 2.1 工艺原理

水翻转法属于传统 CIPP 技术, 具体流程包括:

##### 2.1.1 前期准备

管道检测: 通过 CCTV (闭路电视检测) 评估原管道的损坏程度、管径、走向等。

清洗管道: 采用高压水射流清除管内淤泥、结垢及障碍物, 确保内衬贴合。

材料准备: 选择树脂类型(如环氧树脂、聚酯树脂等)

和软管(通常为聚酯纤维或玻璃纤维增强材料)。

##### 2.1.2 树脂浸渍

将软管在工厂或现场浸渍热固性树脂, 控制树脂用量和均匀性。

##### 2.1.3 水翻转施工

把浸渍了树脂的软管一端进行翻转, 而后在管道入口处固定好, 利用水压将软管由内向外翻转推进至目标管段, 贴合原管道内壁。

##### 2.1.4 固化成型

通过热水循环, 让树脂在交联反应的作用下实现固化, 最终得到刚性内衬管。固化温度通常为 60~90°C, 时间依管径和环境调整(2~8 小时)。

##### 2.1.5 质量检测

待树脂固化完成后, 运用 CCTV 检测技术, 对新形成的内衬管的完整性展开全面检测, 检查是否有褶皱、空洞或未固化区域。

### 2.2 关键技术要点

#### 2.2.1 树脂选择

根据介质(污水、化学品等)选择耐腐蚀树脂; 控制树脂凝胶时间, 避免过早固化。

#### 2.2.2 翻转压力控制

水压需逐步升高, 确保软管均匀扩展, 避免局部应力集中。

### 2.2.3 固化均匀性

采用循环热水或蒸汽时需保证温度分布均匀。

## 3 紫外光固化法 CIPP 修复工艺分析

### 3.1 工艺原理

紫外光固化法采用拉入法施工，核心步骤包括：

#### 3.1.1 前期准备

管道检测与清洗：和传统 CIPP 一样，需要运用 CCTV 对管道缺陷展开检测，并使用高压水射流清除管内障碍物。

软管选择：采用浸渍光固化树脂（如 UV 敏感型环氧树脂）的玻璃纤维或聚酯纤维软管；

光源设备：配备 UV 灯链（可调节波长和强度）及牵引设备。

#### 3.1.2 软管安装

拉入或翻转：采用牵拉，或是运用水翻转法、气翻转法，将浸渍树脂的软管放置到原管道当中。

充气定型：向软管内部充气（气压约 0.1~0.3MPa），使其均匀膨胀，并保证其与管壁贴合紧密。

#### 3.1.3 紫外光固化

灯链牵引固化：将 UV 灯链置入软管内部，以恒定速度（通常 0.5~2m/min）牵引灯链移动，通过紫外线激发树脂交联反应，实现逐段固化。

温控管理：实时监测管内温度（通常控制在 40~60°C），避免过热导致材料劣化。

#### 3.1.4 质量验收

外观检测：CCTV 检查内衬管表面平整度、固化均匀性及与管壁贴合度；

性能测试：必要时进行压力试验或取样检测力学性能（如环刚度、抗拉强度）。

## 3.2 关键技术要点

### 3.2.1 树脂与波长匹配

确保 UV 灯波长（通常 365~400nm）与树脂光引发剂吸收峰匹配，提升固化效率。

### 3.2.2 固化速度优化

根据管径和树脂厚度调整灯链移动速度，例如：

小管径（DN200 以下）：1~2 米/分钟；

大管径（DN800 以上）：0.5~1 米/分钟。

### 3.2.3 温度控制

使用冷却系统（如风冷）防止局部过热导致软管变形或树脂碳化。

### 3.2.4 软管厚度设计

根据原管道承载需求计算内衬厚度，通常为 2~10mm。

## 4 水翻转法与紫外光固化法的对比分析

### 4.1 材料的存储和运输

光固化材料：（1）必须使用 UV 敏感型树脂，材料成本较高；（2）树脂储存需避光，施工窗口期短（通常<24 小时）；（3）运输时保证不被阳光照射即可，材料对运输温度并不敏感。

水翻转材料：（1）从生产完成开始，材料必须在低温环境下保存材料；（2）在运输时必须时刻保持低温环境，长途运输时需使用冷藏车厢存储，材料对温度变化非常敏感。

### 4.2 施工工艺的比较

#### 4.2.1 CIPP 水翻转施工

（1）修复前，对管道进行预处理时不能有任何渗漏和杂物；

（2）施工周期长，随着天气逐渐变冷，加热和循环保温过程时间增加，仅加热和循环保温时间一般就需要 8~10 小时；

（3）施工流程相对复杂，施工过程中容易发生施工延误情况；

（4）对水进行加热时材料整个反应过程不可视，需要足够的时间加热和保温来满足修复材料的固化，有限且较短的时间使材料完全固化受到一定的影响；

（5）固化后需等待冷却并检查内衬层密封性。

#### 4.2.2 CIPP 紫外光固化施工

（1）修复前，管内积水需彻底排空，否则影响固化效果，对管道进行预处理，待修复管道内，预处理要求相对较高；

（2）施工周期短，最快固化速度可达 2m/min；可灵活应对各种施工环境，小管径最快 3~5 小时即可完工，尤其适合紧急修复；

（3）施工便捷且安全性高，材料拉入管道，高压充气后用紫外光照射管道即可，固化速度快；

（4）固化过程，施工安全，材料的整个反应过程全程可视；

（5）固化后内壁光滑，内衬管表面摩擦系数低，减



图 1 紫外光加固控制面板



图 2 修复后 CCTV 检测

少流体阻力，流量损失小（管径损失约 5%~10%）；

（6）通过 CCTV 监控固化过程，实时调整光照参数，确保内衬层均匀性。

### 4.3 材料性能

光固化材料通常采用玻璃纤维内衬管，通常水翻转材料采用聚酯纤维无纺布内衬管。

**表 1 常用光固化内衬材料力学性能**

项目	数值	测试标准
弯曲强度 (MPa)	>45	《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》(GB/T 1449—2005)
弯曲模量 (MPa)	>6500	《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》(GB/T 1449—2005)
抗拉强度 (MPa)	>62	《塑料拉伸性能的测定第 4 部分》：各向同性和正交各向异性纤维增强复合材料的试验条件》(GB/T 1040.4—2006)

**表 2 常用水翻转内衬材料力学性能**

项目	数值	测试标准
弯曲强度 (MPa)	>31	GB/T 3923.1—2013《纺织品 织物拉伸性能 第 1 部分》
弯曲模量 (MPa)	>1724	GB/T 3923.1—2013《纺织品 织物拉伸性能 第 1 部分》
抗拉强度 (MPa)	>21	GB/T 3923.1—2013《纺织品 织物拉伸性能 第 1 部分》

由于光固化材料玻璃纤维内衬管的力学性能参数比水翻转材料的更高，所以采用光固化修复技术的管道在性能表现上更具优势。

### 4.4 经济性对比

**初期成本：**紫外光固化设备初期投资较高，需专用 UV 灯链和控制系统，但其施工周期短，综合成本可降低 20%~30%。

**维护成本：**紫外光固化修复玻璃纤维内衬抗腐蚀性强，寿命周期内维护费用更低。

### 4.5 环境与社会效益

紫外光固化法无化学污染，且施工噪音低于 55 分贝，尤其适合城市中心区作业。而水翻转法因需大量热水，存在能源浪费与热污染风险。

## 5 应用前景分析

### 5.1 城市排水管道修复

无论是水翻转法还是紫外光固化法，都能有效修复排水管道的各种结构性缺陷，改善排水管道的运行状况，确保城市排水系统始终处于良好运行状态。

### 5.2 供水管道修复

在确保城市供水不受干扰的情况下，水翻转法和紫外光固化法均可用于供水管道的修复作业，以此降低因管道修复给居民日常生活带来的不便。

### 5.3 工业管道修复

在化工、电力等行业，对于一些不能停产进行管道修

复的情况，CIPP 技术的非开挖特点具有很大优势，根据管道的实际条件，有针对性地选择合适的修复工艺。

## 6 CIPP 技术的发展趋势与挑战

### 6.1 技术创新方向

**材料研发：**开发高性能树脂与纤维复合材料，进一步提升抗裂性与耐腐蚀性。

**智能化施工：**集成 AI 与物联网技术，实现修复过程全自动化监控。

### 6.2 国内应用瓶颈

**设备依赖进口：**核心紫外光设备仍依赖进口，国产化率不足 30%。

**标准体系待完善：**需加快制定本土化技术规范，如壁厚设计、验收标准等。

### 6.3 市场前景

据预测，2025 年我国非开挖修复市场预计规模达到 50~70 亿元，占整体地下管网修复市场的比例可能升至 10%以上，紫外光固化法占比有望从目前的 35%提升至 60%。

## 7 结论

随着技术的不断创新和迭代，水翻转法和紫外光固化法在材料性能、施工工艺等方面有望进一步优化，成本也可能逐渐降低，进而在各类管道修复领域中得到更为广泛的应用。同时，与其他非开挖修复技术的结合应用也将成为研究和发展的方向，以满足不同作业条件下对管道修复提出的多样化需求。

紫外光固化法 (UV-CIPP) 技术凭借快速固化、节能环保的优势，逐步成为非开挖修复领域的主流技术之一，尤其适合城市核心区、环保敏感区域的管道修复。其核心在于精准控制 UV 光源参数与树脂性能的匹配，同时需克服设备投入高、电力依赖性强等挑战。在项目应用中，需综合评估工期、成本、管况及环境要求，选择最优修复方案。

### 【参考文献】

- [1] 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(2): 166-168.
  - [2] 唐伟超. CIPP 非开挖地下管道原位加固施工技术研究[J]. 建筑科技, 2023(1): 28-29.
  - [3] 李明. 排水管道 CIPP 法修复内衬结构稳定性分析[J]. 铁道建筑技术, 2022(10): 138-143.
  - [4] 张彦彦, 吴欢, 何田. CIPP 水翻转法在污水管道非开挖修复中的应用[J]. 工程技术研究, 2021(22): 113-114.
  - [5] 赵雅宏, 曾正, 马保松. 《给排水管道原位固化法修复工程技术规程》关键技术[J]. 特种结构, 2019, 36(1): 108-112.
  - [6] 李焕圣, 党彦锋, 武彦杰, 等. 原位固化法修复排水管网质量评估方法[J]. 广东建材, 2024(10): 58-61.
- 作者简介：刘城（1994—），男，工程师，从事市政公用工程施工和管理工作。