

紫外光固成型内衬技术在污水管道修复中的应用

王成基¹, 宫惠雪²

(1. 嘉兴市联合污水处理有限责任公司, 浙江 嘉兴 314000; 2. 上海工程技术大学, 上海市 201620)

摘要: 结合嘉兴市一期管线及泵站大修工程大管径管道修复工程案例, 聚焦紫外光固成型内衬技术(UV-CIPP)在污水管道修复中的应用, 系统探讨其技术原理、应用价值及发展前景。通过分析城市污水管道老化现状及传统修复技术的局限性, 阐明UV-CIPP技术推广的必要性。该技术以光敏树脂玻璃纤维软管为载体, 经紫外线固化形成内衬管, 具有非开挖、施工周期短、环保性强等显著优势, 但也存在设备成本高、预处理要求严格等局限。研究表明, UV-CIPP技术在污水管道修复中应用价值显著, 其材料创新与智能化施工将是未来发展方向, 为城市地下管网可持续运维提供技术参考。

关键词: 污水管道; 排水管道; 非开挖修复; UV-CIPP技术; 市政工程

中图分类号: TU992.23

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)03-0027-04

Application of Ultraviolet Cured-In-Place Pipe Technology in Repair of Sewage Pipelines

WANG Chengji¹, GONG Huixue²

(1. Jiaxing United Sewage Treatment Co., Ltd., Jiaxing 314000, China; 2. Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 200000, China)

Abstract: Combined with the case of the large-diameter pipeline repair project in the Jiaxing Phase I Pipeline and Pumping Station Overhaul Project, the focus is on the application of ultraviolet cured-in-place pipe technology (UV-CIPP) in the repair of sewage pipelines, and its technical principle, application value and development prospect are systematically discussed. By analyzing the aging status of urban sewage pipelines and the limitations of traditional repair technologies, the necessity of promoting the UV-CIPP technology is clarified. This technology has significant advantages such as being trenchless, having a short construction period, and being highly environmentally friendly by using photosensitive resin fiberglass flexible tubes as the carrier and forming inner lining tubes through ultraviolet curing. However, it also has limitations such as high equipment costs and strict pretreatment requirements. The research shows that UV-CIPP technology has significant application value in the repair of sewage pipelines. Its material innovation and intelligent construction will be the future development direction, providing a technical reference for the sustainable operation and maintenance of urban underground pipe networks.

Keywords: sewage pipeline; drainage pipeline; trenchless repair; UV-CIPP technology; municipal engineering

0 引言

污水管道是城市“生命线”, 承担着生活污水与工业废水的收集输送任务, 对维持城市运转和居民生活质量至关重要。城市化进程中, 城市规模扩张与人口增长导致污水排放量激增, 管道系统承受巨大压力。许多早期管道因长期运行出现老化损坏, 我国部分城市超半数管道使用超30年, 易引发破裂

渗漏, 加之城市施工破坏与污水中化学物质腐蚀, 管道损坏问题加剧。传统开挖修复工程量大、成本高、干扰强, 而紫外光固成型内衬技术(UV-CIPP)作为先进非开挖技术, 具有施工快、影响小、效果好等优势, 为污水管道修复提供了理想解决方案。

以嘉兴市联合污水外排一期泵站及管线大修工程为例, 探讨UV-CIPP的优势, 并总结其操作要点。

1 工程概况

嘉兴市一期工程于2002年建成投入使用, 至今已运行20余年。一期工程设计输送、处理能力30万m³/d,

收稿日期: 2025-07-14

作者简介: 王成基(2000—), 男, 学士, 助理工程师, 从事水务工程建设管理工作。

峰值系数为1.1。主管线上建有嘉兴1#~6#共6座泵站,压力主管道口径为DN1400~DN1600,管材为预应力钢筋混凝土管、F接口钢筋混凝土顶管及球墨铸铁管,重力管道口径为DN1350~DN2000,管材为F接口钢筋混凝土顶管及丹麦管。每两座泵站之间的前半段为压力流输送,后半段为重力流输送,输送主管总长约37.2 km。本次大修工程中W1-3~W1-5管段老化破损严重,并处于交通枢纽,根据CCTV检测与评估报告,W1-3~W1-5管段主要为结构性缺陷(见图1),结构缺陷明细见表1。

2 修复方法比较

目前非开挖技术分别是局部修复和全面修复,

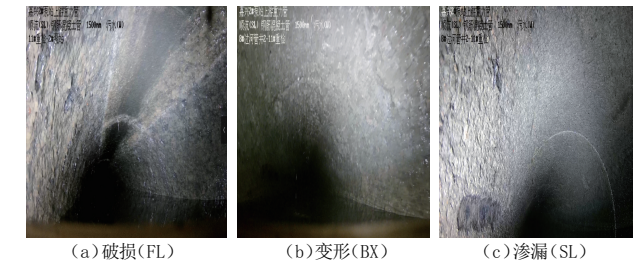


图1 管道结构性缺陷图

表1 管道结构性缺陷统计表

缺陷名称	1级 (轻微)	2级 (中等)	3级 (严重)	4级 (重大)	合计/ 处	占比/ %
破损 (FL)	0	2	1	0	3	11.11
变形 (BX)	0	0	2	0	2	7.41
渗漏 (SL)	8	8	6	0	22	81.48

各方法的优劣势及应用条件见表2。

表2 非开挖修复工艺比选表

修复工艺	材料及力学性能	适用管径及管材	工艺优缺点
紫外光固化	浸透树脂的玻璃纤维布制成的增强软管、弯曲弹性模量:约640~1 800 MPa;壁厚:壁厚薄,断面损失小	DN200~DN2000 各种管材	固化过程可视。安装简单,施工效率高
翻转内衬	以无纺布或玻璃纤维布为材料布为载体的膨体的软管、约2 000~3 500 MPa;壁厚:壁厚较薄,断面损失较小	DN200~DN1800 各种管材	游水固化,内部不可研、施工操作技术要求高,施工人员经验比较重要
螺旋绳索	胶状型材、填充砂浆、壁厚:壁厚,断面损失较大	DN300及以上 各种管材	内衬接口密封性控制比较重要,空隙需注意填充
离心浇筑	纤维增强特种砂浆、抗压强度:约60 MPa;壁厚:壁厚较原位固化强度为高	DN500及以上 混凝土类管材	可增厚较大厚度,满足中、高径比结构性复原要求。管道渗灾、转角、弯头、错位等损伤均不影响内衬的整体性。

从表2可看出,W1-3~W1-5管段的结构损伤主要是2-3级破损、1-3级渗漏及3级变形。

结合管道修复级别、材料、性质、长度、周期等多项因素,认为紫外线固化内衬技术是能够缩短工期、节约材料、安全性高、对交通无影响、无环境污染最为合适的修复方法^[2]。因此将W1-3~W1-5的内衬修复问题,采用紫外线固化内衬进行修复。

3 UV-CIPP技术在污水管道修复中的应用

3.1 修复前的管道检测与评估

管道预处理作为非开挖修复工艺中重要环节,其工艺流程主要包括^[3]:上、下检查井封堵排除管内积水、CCTV管道检测设备对管内进行检查及杂物、阻碍物的清除;对管道破损点的先期预处理,拆除管道外部凸出、锐利物,将管内渗漏点封堵,将变形、错口进行修补;最后清理干净,并使用CCTV再次检查,确保管内壁光滑无积水现象,满足施工要求^[4]。

3.2 工作原理

紫外光固化内衬工作原理是将已经浸泡过可以受紫外光照射的热塑性树脂的软管或者涂料拖入到待修复的管道中,使之紧贴于管道的内壁,再用紫外

光对其进行照射,使其受光的表面上的高分子聚合物分子排列发生改变,并重新排列组合,在管道的内壁形成光滑稳定的一层保护高分子聚合物内衬,从而避免管道内部内衬被侵蚀、损坏^[5]。

3.3 工艺流程

管道停水、抽水→CCTV检测→管内清洗→管内缺陷预处理→拖入底膜及软管→加压充气→紫外光固化→管口处理→完工CCTV检测→闭水实验→竣工验收,见图2。

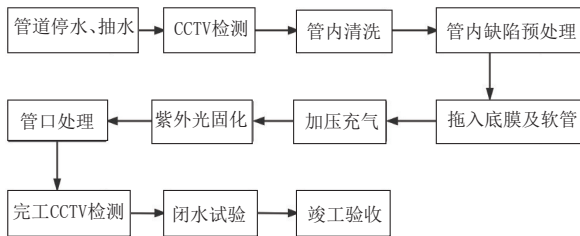


图2 施工工艺流程图

3.4 施工操作要点

3.4.1 管道预处理

在进行施工之前,需要使用CCTV内窥镜对旧管道的内部情况进行检测,对旧管道破损情况以及长度、管道内径进行测量,根据数据上报厂家进行材料

定制。随后就要对管道施工区域淤物进行处理,冲洗完毕之后,采用 CCTV 对管道作业条件进行检测,作业合格则录制视频进行保存,这些视频资料将是确定与判断管道缺陷的重要参照^[8]。

3.4.2 拖入底膜

利用车载卷扬设备,将具有保护作用的 PE 底膜牵入需修复的管道中,这层衬垫要铺在管道底部,覆盖范围需超过管道周长的 1/3,并且在原管道的两端做好固定处理(见图 3)。这样做一方面能减小内衬软管拉入时的摩擦阻力,另一方面可防止其外膜被刮伤,拖入 PE 底膜的过程中,需保持平稳缓慢的速度^[6]。



图 3 拖入底膜

3.4.3 拉入 UV 内衬软管

树脂材料内衬软管需避光保存在包装袋中,运输至施工现场方可开启包装^[7];在拉入过程中,要确保内衬管的完整性,避免出现褶皱、扭曲等情况,不能有丝毫的损坏(见图 4)。拉入速度也需要严格控制,一般不得大于 5 m/min,以保证内衬管能够平稳、缓慢地进入管道;为保证施工质量,内衬软管两端各延长待修复管道约 400 mm。



图 4 拉入 UV 内衬软管

3.4.4 内衬软管扎头捆绑

使用不锈钢扎头时,不锈钢扎头在使用前要做好保鲜膜缠裹工作,软管内衬两端用不锈钢的捆扎带封口,过软管长度的要以扎头布包裹,避免软管在充气时因充气量过多而出现膨胀现象。另在扎头中间处留有 1 根横向预设绳索用于连接 UV 灯链牵引绳^[9]。

3.4.5 充气加压

在软管充气前,先检查扎头与绑带连接处是否密封不漏,再进行连接充气管,在第一次充气加压的过程中确保内衬软管充分拉伸伸长,并和待修管道内壁紧贴。充气时应匀速缓慢升压,且升压速度控制在 1 kPa/min,待软管内压力充至 10 kPa 时稳压 30 min 左右,以免软管有皱褶等。

3.4.6 拉入 UV 灯链固化

展开灯链见图 5,在固化过程中,要严格控制紫外光的照射时间、强度和温度,以确保树脂能够充分固化,形成均匀、致密的内衬层。不同的树脂对紫外光的波长、强度和照射时间有不同的要求,需要根据树脂的特性进行精确控制,固化过程中根据待修复管内径、壁厚、功率等综合考虑,灯链在开始固化和结束固化各 1 m 的范围内应保持预设速率的一半运行,保证均匀运动,在整个固化过程里持续不断充气保证管内压力稳定。

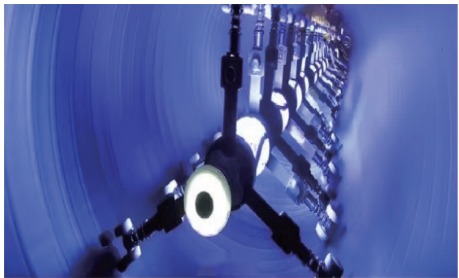


图 5 UV 灯链固化

3.4.7 管端口处理及修复后 CCTV 检测

软管固化后进行冷却,将灯链取出即可,抽出两端扎头,对内衬管管口的末端加以打磨和取样检验。在接头端内衬管 and 老管道连接部位的裂缝上必须填以防水砂浆,用砂轮打磨老管道的接口基层,打磨完后,等待干燥在接头端内衬管的一端粘上保护膜,在老管道与新管道连接处的缝隙里涂上封口剂,打上封口胶,抹一层植物油,最后撕下保护膜。

需对修复完成的管道进行清理与检查,以保证管内没有杂质及工具等杂物存在^[10]。

4 应用效益分析

UV-CIPP 非开挖修复技术相对开挖换管至少可节约 30% 成本、平均管段少耗一周的施工周期;不需要大量人力与机械、操作简单,能适应各类断面、各类管道。还能够减少交通管制、移位、占据道路开挖施工等给多个部门带来的协调工作。同时还可以减少开挖引起的尘土飞扬、噪音污染及水土流失等环

境污染问题,对周边管线几乎无影响,社会、经济效益显著^[11]。

5 结 语

通过本项工程实践,再次确定了UV-CIPP管修复技术在管网修复中的实用性和可实施性,具有防腐、抗拉性能强、隔热性能优越,可降低管道损失,提高其耐久性等优点。在本工程应用此项施工技术,在保证施工安全的前提下,同时缩短了工期、节约了费用,取得很好的社会效益和经济效益,为同类管道修复工程提供了切实可行的参考范例。随着技术的不断创新,紫外光源、光敏树脂和施工设备将不断优化,无损检测技术与UV-CIPP技术的结合将进一步确保修复效果的稳定性与长期可靠性。UV-CIPP技术在市政管道、工业管道以及海洋与地下管道等领域的应用潜力巨大,将为城市基础设施的维护和工业生产的稳定运行提供有力支持。

参考文献:

- [1] 杨磊.非开挖紫外光固化修复在市政管道工程中的应用研究[J].价值工程,2025,44(19):120-122.
- [2] 郑力菲.市政给排水施工中的非开挖修复施工技术研究[J].散装水泥,2025(3):46-48.
- [3] 王荣斗,孔得宽,蒋露.病害管道修复技术在市政工程中的应用[J].云南水力发电,2025,41(6):126-129.
- [4] 陈波.紫外光固成型内衬技术(UV-CIPP)在市政管道修复中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2023(14):149-151.
- [5] 刘鸣明,李雷.紫外光固成型内衬技术在排水管道修复中的应用[J].人民黄河,2022,44(增刊2):184-186.
- [6] 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(6):28-30.
- [7] 郑力菲.市政给排水施工中的非开挖修复施工技术研究[J].散装水泥,2025(3):46-48.
- [8] 王晓冬.紫外光固化在排水管道修复中的实际应用研究[J].价值工程,2025,44(8):44-47.
- [9] 陆建辰.紫外光固化修复技术在排水管网修复中的应用分析[J].江西建材,2024(10):367-369.
- [10] 石正鹏,蓝文涛.CIPP紫外光固化修复技术研究[J].云南水力发电,2024,40(10):13-16.
- [11] 张非,王海,郑云德.城市排水管道非开挖紫外光原位固化法施工技术[J].建筑安全,2024,39(10):41-44.