

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.02.007

《市政排水管道紫外光原位固化修复施工技术规范》解读

曹井国^{1,2}, 赵艺², 唐彪³, 杜晓明⁴, 田琪⁵, 许英东¹

(1. 中国建设基础设施有限公司, 北京 100044; 2. 天津科技大学 海洋与环境学院, 天津 300457; 3. 中交一航局生态工程有限公司, 广东 深圳 518107; 4. 英普瑞格管道修复技术<苏州>有限公司, 江苏 苏州 215400; 5. 保定金迪地下管线探测工程有限公司, 河北 保定 071051)

摘要: 2023年6月1日,由中国市政工程协会组织编制的团标《市政排水管道紫外光原位固化修复施工技术规范》(T/CMEA 34—2023)正式实施。该规程填补了我国紫外光原位固化施工标准的空白。对该标准的编制目的、适用范围、内衬软管材料、施工设备、施工过程控制和质量验收与检验进行解读,可促进从业人员对该标准的理解。重点解析了玻璃纤维织物软管材料的性能要求,以及内衬管各项技术指标的制定依据。该规程具有科学性、可操作性和一定的前瞻性,对推动紫外光原位固化修复技术具有重要意义。

关键词: 排水管道; 紫外光原位固化; 内衬软管; 管道施工; 管道修复

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2026)02-0047-07

Interpretation of the Technical Specification for Municipal Drainage Pipeline Rehabilitation Construction Using UV Cured-in-place-pipe

CAO Jingguo^{1,2}, ZHAO Yi², TANG Biao³, DU Xiaoming⁴, TIAN Qi⁵, XU Yingdong¹

(1. China Construction Infrastructure Corp. Ltd., Beijing 100044, China; 2. College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China; 3. CCCC First Navigation Bureau Ecological Engineering Co. Ltd., Shenzhen 518107, China; 4. Impreg Pipeline Repair Technology <Suzhou> Co. Ltd., Suzhou 215400, China; 5. Baoding Jindi Underground Pipeline Detection Engineering Co. Ltd., Baoding 071051, China)

Abstract: The group standard of *Technical Specification for Municipal Drainage Pipeline Rehabilitation Construction Using UV Cured-in-place-pipe* (T/CMEA 34-2023) of the China Municipal Engineering Association was officially implemented on June 1, 2023. The implementation of this standard fills a gap in the UV-CIPP standards. In this paper, the compilation purpose, scope, lining tube materials, construction equipment, construction process control and quality acceptance and inspection of this specification are explained in detail to enhance understanding of the standard. The performance requirements for glass fibers lining tube materials, the formulation basis for various technical indicators of the liner are analyzed. The specification is scientific and operable, with a certain degree of forward-looking significance, which is important for promoting UV cured-in-place-pipe rehabilitation technology.

基金项目: 中国建设基础设施有限公司科技研发课题(CSCIC-2024-KT-03)

通信作者: 曹井国 E-mail: cjb@tust.edu.cn

Keywords: drainage pipeline; UV cured-in-place-pipe; lining tubes; pipeline construction; pipeline rehabilitation

1 编制背景

随着技术的进步,非开挖修复技术成为管道修复的重要方式。紫外光原位固化修复技术是目前管道非开挖的主流技术,市场占有率较高。但该项技术在广泛应用中暴露了许多问题,如固化不完全、固化管理表面褶皱、划伤、磨损、气泡干斑等,甚至发生坍塌事故。除材料本身质量之外,施工环节是造成上述问题的重要原因之一。由于缺乏指导施工的标准,施工队伍也缺少对施工过程关键环节控制的标准依据,因此,我国亟须制定相应的标准来指导紫外光原位固化修复施工,以减少非标准施工造成的工程事故和工程质量低劣的问题。

目前,国际上可参考的标准以国际标准化组织(ISO)和美国材料试验学会(ASTM)标准为主。例如,《地下无压排水系统改造用塑料管道系统 第四部分:原位固化修复内衬》(ISO 11296-4:2018)、《原位固化热固树脂管牵入修复管道的标准规程》(ASTM F 1743)、《基于紫外光原位固化法拉入修复管渠操作规程》(ASTM F 2019)均对原位固化法材料、施工要求及检验做出规定^[1]。

我国国家标准《非开挖修复用塑料管道 总则》(GB/T 37862—2019)、行业标准《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 210—2014)对非开挖修复材料、非开挖修复更新工程设计、不同非开挖修复法的施工及验收等做出规定,但用于指导紫外光原位固化管道修复施工的标准以通用标准为主,仅对原位固化修复法的施工与验收做出规定,并未给出施工过程中的详细规定,造成施工无依据,工程质量存在隐患。此外,国外标准体系虽已达到完善阶段,但国内管道与国外管道的病害状况截然不同,完全引用国外标准并不能用于指导我国管道修复。为保证紫外光原位固化修复施工质量,需要对国内的紫外光固化工艺、设备、材料、施工和验收做出系统规定,形成适合我国管道情况的施工技术规程。

中国市政工程协会于2021年6月24日印发<中国市政工程协会关于下达《2021年度中国市政工程协会团体标准制(修)订计划》的通知>(中市协

[2021]63号),批准立项《市政排水管道紫外光原位固化修复施工技术规程》。编制组通过广泛调研,借鉴国内外相关标准和工程实践经验,根据专家组及各参编单位的研讨,逐步完善各项条款,并形成标准报批稿。

2023年3月14日中国市政工程协会正式发布《市政排水管道紫外光原位固化修复施工技术规程》(T/CMEA 34—2023,简称《规程》),2023年6月1日该规程正式实施。

2 标准组成、主要技术内容和适用范围

《规程》共分为8章和1个附录,主要技术内容包括:总则、术语和符号、材料、设备、施工、管道功能性试验、质量验收、安全与环境保护等。《规程》适用于收集、调蓄、输送污水或雨水的市政排水管道,输送方式包括重力流及压力流(压力等级不超过0.1 MPa)两种。《基于紫外光原位固化法拉入修复管渠操作规程》(ASTM F 2019)规定紫外光原位固化技术适用管径为DN100~DN1 830,国内标准适用的管径为DN150~DN1 800,目前国内排水管道的紫外光原位固化修复管径范围覆盖DN150~DN2 000。随着技术和装备的进步,特别是光源和树脂系统匹配度的提升,紫外光原位固化施工管径和壁厚还可继续扩大,因此《规程》不限定管径范围。

3 材料

3.1 玻璃纤维织物软管

紫外光固化的核心材料是玻璃纤维织物软管(简称玻纤软管),从内到外为透紫外光内膜、浸润树脂的多层玻璃纤维织物、防渗外膜以及防紫外光外膜。

玻纤软管内膜通常采用聚酰胺(PA)与聚乙烯(PE)共挤的筒膜,其功能是透射紫外光。为了确保UV光线可以穿透玻纤和树脂复合层从而使材料固化,内膜须具备良好的透光率。在施工过程中应向材料内部打气加压,使材料完全舒展并贴合原管壁,且保证不被气压吹破。作为紫外光灯架的行驶通道,内膜应具备一定的力学强度,确保不会被灯架的滚轮划破,且不应阻碍灯架的正常行驶。

根据市政排水管道的腐蚀环境,玻纤软管承载

层一般由具有良好相容性的多层玻璃纤维织物或同等性能纤维材料制作而成,主要功能是浸润或承载树脂,它是内衬管力学性能的主要贡献者^[2]。原材料应选择具有优异的耐酸碱性及耐应变腐蚀性的 ECR 玻璃纤维,且无杂丝。在选择玻璃纤维织物时,应考虑材料是否能够承受施工时带来的拉力、压力及固化温度,为确保玻纤的强度,单层玻璃纤维织物的厚度不应小于 0.7 mm。

玻纤软管防渗层主要用于防止树脂渗漏,可选用 PE、热塑性聚氨酯(TPU)、聚丙烯(PP)等材料。

另外,防渗膜应具备一定的透气性能,保证固化时树脂内的热空气能够顺利排出,防止造成鼓包、隆起、褶皱等固化缺陷。

为避免产品在运输、装卸过程中因光照引发树脂固化,玻纤软管最外层包覆外膜,外膜应具有优异的防紫外光功能。在施工过程中,外膜直接接触原有管道,在拉入时可能因为摩擦和划伤造成破损而产生固化缺陷,因此,外膜应具有耐磨、抗穿刺功能,或铺设垫膜加以防护。

玻纤软管内膜与外膜的性能参数见表 1。

表 1 玻纤软管内膜和外膜的主要技术参数

Tab.1 Main technical specifications of inner and outer membranes of glass fibers lining tube

膜类型	材料	主要功能	控制性指标	数值	测试方法
内膜	PE 和 PA 共挤	透光、耐热、防渗、耐苯乙烯	紫外光透光率/%	≥50	《塑料 实验室光源暴露试验方法 第3部分:荧光紫外灯》(GB/T 16422.3—2022)
			耐热/℃	≥140	《环境试验 第2部分:试验方法 试验 N:温度变化》(GB/T 2423.22—2012)
			厚度/mm	≥0.1	《塑料薄膜和薄片厚度测定 机械测量法》(GB/T 6672—2001)
			抗拉强度/MPa	≥20	《塑料 拉伸性能的测定 第2部分:模塑和挤塑塑料的试验条件》(GB/T 1040.2—2022)
外膜	PE、PP、PA 及其复合物	不透紫外光、耐热、耐穿刺	紫外光透光率/%	≤0.5	《塑料 实验室光源暴露试验方法 第3部分:荧光紫外灯》(GB/T 16422.3—2022)
			耐热/℃	≥120	《环境试验 第2部分:试验方法 试验 N:温度变化》(GB/T 2423.22—2012)
			厚度/mm	≥0.1	《塑料薄膜和薄片厚度测定 机械测量法》(GB/T 6672—2001)
			抗拉强度/MPa	≥20	《塑料 拉伸性能的测定 第2部分:模塑和挤塑塑料的试验条件》(GB/T 1040.2—2022)

辅助材料包括替换绳、垫膜、筒膜以及扎头布。其中,替换绳宜采用芳纶材料,用于施工过程中替换紫外光灯架牵引绳,需要预埋在软管内。垫膜宜采用高密度聚乙烯材料,施工前放入原有管道底部,防止玻纤软管在拉入过程中受到损伤。筒膜与软管一端连接,在灯架送入时,用于保护灯架,宜采用与玻纤软管内膜相同材质的筒膜。扎头布宜采用聚乙烯复合材料,并应符合现行国家标准《土工合成材料 聚乙烯土工膜》(GB/T 17643—2025)的规定。

树脂是决定内衬软管固化质量的关键组成,紫外光原位固化树脂系统包含树脂、增稠剂、固化剂和光引发剂,树脂的用量应根据软管规格以及所用材料的质量综合计算。市政排水管道紫外光原位固化修复中树脂用量较大,故要求树脂技术成熟、材料容易获得、成本低。从技术和经济两方面比较,不饱和和低聚物原料来源广泛且价格较低,合成工艺简单,是目前大量使用的树脂类型。根据使用环境腐蚀介质不同,《规程》规定了树脂类型(见表 2)、

树脂浇铸体性能(见表 3)和树脂耐化学腐蚀性能(见表 4),与现行行业标准《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 210—2014)保持一致。

表 2 树脂类型选用依据

Tab.2 Selection guideline of resin type

排水种类	适用树脂类型
城市生活污水、雨水	不饱和聚酯、环氧树脂
工业废水,或者含有特殊成分的化工废水	乙烯基酯、环氧树脂

表 3 树脂浇铸体性能

Tab.3 Properties of the resin system

纯树脂性能指标	不饱和聚酯	乙烯基酯	环氧树脂
弯曲模量/MPa	≥3 000	≥3 000	≥3 000
弯曲强度/MPa	≥90	≥100	≥100
拉伸模量/MPa	≥3 000	≥3 000	≥3 000
拉伸强度/MPa	≥60	≥80	≥80
断裂伸长率/%	≥2	≥4	≥4
热变形温度/℃	≥88	≥93	≥85

注: 弯曲模量、弯曲强度、拉伸模量、拉伸强度、断裂伸长率根据《树脂浇铸体性能试验方法》(GB/T 2567—2021)测定;热变形温度依据《塑料 负荷变形温度的测定 第1部分:通用试验方法》(GB/T 1634.1—2025)测定。

表 4 树脂耐化学腐蚀性能要求
Tab.4 Requirements for chemical corrosion resistance
of resins

化合物溶液	等级 1	等级 2	等级 3	测试方法
硝酸(浓度 1.0%)	√	√	√	《玻璃纤维增强热固性塑料耐化学介质性能试验方法》(GB/T 3857—2017)
硫酸(浓度 5.0%)	√	√	√	
燃料油(浓度 100%)	√	√	√	
氢氧化钠(浓度 0.5%)		√	√	
蔬菜油(棉籽油、谷物油)或矿物油(浓度 100%)	√	√	√	
洗涤剂(浓度 0.1%)	√	√	√	
肥皂水(浓度 0.1%)	√	√	√	

注: 等级 1 为热固性不饱和聚酯树脂;等级 2 为热固性不饱和聚酯树脂以及乙烯基酯树脂;等级 3 为热固性环氧树脂。

3.2 内衬管

内衬管的力学性能关系到排水管道的修复效果和使用寿命。对 2017 年—2019 年国内 57 家施工企业送检的紫外光原位固化修复材料(施工验收样品)的力学性能检测结果进行了统计分析^[3],其中 98.38% 的样品(848 组)弯曲强度 ≥ 125 MPa, 99.42% 的样品(857 组)弯曲模量 $\geq 8\ 000$ MPa, 99.50% 的样品(790 组)拉伸强度 ≥ 80 MPa。由此可见,随着技术的进步和发展,修复材料的性能已有明显提升,因此《规程》中第 3.3.1 条对内衬管的弯曲强度、弯曲模量和拉伸强度 3 项技术指标进行了调整(见表 5),较《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 210—2014)有大幅提高。

表 5 内衬管短期力学性能指标
Tab.5 Short-term mechanical properties of liner
MPa

力学性能指标	控制值	测试方法
弯曲强度	≥ 125	《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》(GB/T 1449—2005)
弯曲模量	$\geq 8\ 000$	《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》(GB/T 1449—2005)
拉伸强度	≥ 80	《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)

不饱和聚酯树脂固化的活性单体主要是苯乙烯,它能够参与固化阶段的聚合过程,降低树脂的黏度,起到稀释和交联的双重作用^[4]。由于苯乙烯在固化过程中会发生均聚反应,因此通过测量固化

后复合材料中游离苯乙烯的含量,可评估内衬管的固化程度。实践表明,苯乙烯含量越高,固化度越低,当内衬管苯乙烯含量 $<4\%$ 时,内衬管的固化度和力学性能可满足《规程》要求。因此,《规程》提出内衬管苯乙烯含量不高于 4% 的要求。

随着紫外光原位固化技术的普及,因软管壁厚较大,辐照剂量不足以及光照不均和不透都会导致内衬管固化不完全、内外硬度不均的问题。通过巴氏硬度计测量固化后材料的硬度,当巴氏硬度 ≥ 45 HBa 且内外侧硬度偏差 $<10\%$ 时,材料固化完全。因此,《规程》也增加了内衬管内外层硬度的指标。

4 施工设备

紫外光原位固化修复施工过程涉及多种施工设备,按照功能性可划分为管道检测设备、玻纤软管拉入设备、紫外光固化设备。现有市场中的紫外光固化设备主要包括紫外光灯、紫外光灯架、电缆线盘、主控系统、扎头、风机、发电设备等,通常集成于紫外光原位固化车内。

常见的紫外光灯有金卤灯、镓灯、LED 灯、汞灯,光源一般选用高压汞灯,更符合光固化材料引发剂的吸收波段范围,由于其波峰丰富,与引发剂吸收范围易匹配,符合内衬软管复合材料的固化要求。在首次运行时间达到 400 h 后,应对紫外光灯功率进行检测,并测量紫外光灯的辐射通量密度,同时与标准紫外光灯进行比较。在相同测试条件下,紫外光灯辐照强度不应低于玻纤软管有效固化的辐照强度,且不应低于出厂值的 70%。应注意的是,红外线衰减可能比紫外线程度低,反映在固化期间的温度可能存在一定的偏差,完全依靠温度判断固化效果存在一定的风险。

固化光源、引发剂、固化时间是保证固化度的必要条件,固化光源的辐照强度和辐射峰、引发剂吸收峰、材料厚度、辐照距离和固化速度均会直接影响固化程度。根据 Beer-Lambert 定律,紫外光灯的透射辐照强度随着被照射物厚度的增加呈指数下降。因此,紫外光在物质中的透射深度有限,超过该光强所能达到的深度则不能接收辐射光,从而影响材料的深层固化,导致力学性能下降,内外层硬度不同。

内衬材料需吸收足够的辐照剂量才能保证完全固化,但长时间的辐照一方面会造成软管内温度

过高,导致内膜热熔;另一方面,随着辐照剂量的增加,复合材料上层与下层的固化度差异变大,上层开始固化时,固化程度较高的下层会限制固化层的固化收缩,从而产生残余应变,导致材料层间剪切强度的降低。因此在紫外光原位固化阶段,应控制紫外光灯开关以及时间间隔,动态调整紫外光灯架的固化移动速度。为避免紫外光灯腿、脚轮粘连树脂等异物和硬物,划伤或破坏玻纤软管内膜,导致固化管缺陷,造成施工事故,《规程》要求紫外光灯架及脚轮应无异物或树脂残留。

供电设备在运转前应保证支垫平稳,运转过程中严禁移动。当雨季、台风季节使用供电设备时,应有防雨防风设施;操作人员应定期检查仪表,供电设备在固化过程中应能持续稳定供电。

5 施工关键环节质量控制

紫外光原位固化修复施工流程宜按预处理、闭路电视(CCTV)检测、玻纤软管拉入、扎头绑扎、第一次充气、送入紫外光灯架、第二次充气、紫外光原位固化和端头处理的步骤进行(见图1)。

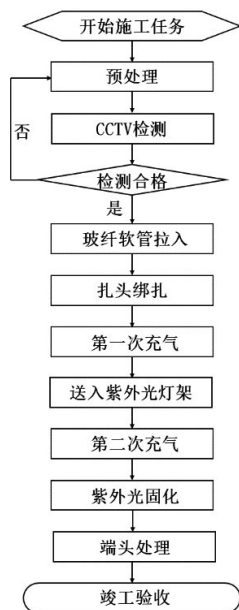


图1 紫外光原位固化修复施工流程

Fig.1 Flow chart of rehabilitation construction using UV cured-in-place-pipe

5.1 管道预处理

在施工过程中,要求排空原管道中的污水,清除原有管道内壁的尖锐物体,复原错口部位。树脂中进水会使增稠剂析出导致材料发白固化不完全,水遇热产生水蒸气会遮蔽紫外光从而影响固化,最

终影响管道的力学性能。因此,安装材料和放入灯架时须防止内外膜损伤,及时排出检查井内污水,不得带水作业。

5.2 扎头绑扎

捆绑扎头布是为了保证玻纤软管外露部分在充气时不致过度膨胀和爆裂,扎头绑扎过程中不得破坏玻纤软管内膜。绑扎应紧实且牢固,避免在充气过程中发生崩脱现象,可通过设置在扎头上的压力传感器检查密封性。玻纤软管两端裸露部位应安装匹配的扎头布。跨井段施工时,中间检查井裸露的玻纤软管应安装拉链扎头布,扎头布伸入原有管道长度应大于250 mm。

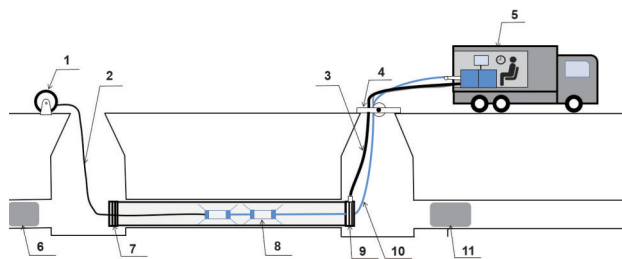
5.3 送入紫外光灯架

送入紫外光灯架前,应按固化需求组装和测试光源;组装和测试完成后,将灯膜罩在紫外光灯架外,在充气状态下将灯架缓慢送入,检查井内的操作人员需紧密配合,避免灯架将内膜划破,或绳索缠绕灯腿。

紫外光原位固化工艺采用光固化树脂体系,其中紫外光的吸收率决定树脂固化效果,内衬管的管径越大、管壁越厚越不利于树脂的固化,因此应严格根据玻纤软管制造商给出的管径和壁厚选择合适的紫外光灯及灯架,以满足辐照强度和辐照剂量要求,按照操作系统手册控制紫外光灯,通过合理控制紫外光灯移动速度使树脂充分固化^[5]。

5.4 紫外光固化

紫外光的辐照强度会随着辐照距离改变,在相同辐照时间内,若紫外光灯未处在管道的中心位置,内衬管内壁接收的辐照剂量就会有所差异,导致内衬管不能完整固化。因此,紫外光原位固化时,紫外光灯在管道径向的辐照应均匀(见图2)。



1.卷盘2.牵引绳3.充气管4.滑轮5.紫外光原位固化车6.充气管塞7.金属扎头8.紫外光灯架9.金属扎头10.电缆线11.充气管塞

图2 紫外光原位固化施工示意

Fig.2 Schematic diagram of construction using UV cured-in-place-pipe

在固化过程中,应实时监控内衬管壁的温度。若固化温度过高,则会导致内衬管中存在泡状凸起,使其易被磨损,严重缩短使用寿命。通过观察反应温度,可以直观判断紫外光原位固化程度,通常温度应保持在80~120℃,若超出该范围,应及时调整固化移动速度和充气量。该方法虽然简单,但不够准确,应进一步研究软管内外壁辐照剂量变化规律,以及有效固化的剂量参数。

在紫外光原位固化修复过程中,通过灯架从近端到远端的过程视频,可以观察整个材料长度方向的内部情况,如是否有进水、进气、褶皱、鼓包等异常情况;固化过程中,应随时关注材料内部的固化情况,重点关注材料内表面的颜色是否发生变化,正常情况下,光固化材料的表面从浅黄绿色变成浅白色,可作为判断表面固化的依据。

固化完成后,应及时关闭电缆卷盘开关,按照启动顺序依次关闭各盏紫外光灯,相邻两灯的关闭间隔应与开启间隔相同,降压时间不得低于15 min。

5.5 端头处理

管道固化施工完成后,应对内衬管起点和终点端部进行切割,切割处应整齐,并宜露出检查井壁20~50 mm。

内衬管与管井端口是运维潜在隐患点,处理不当会造成渗漏及侵蚀,可采用树脂混合物对端口进行密封处理,并进行有效固化。

6 管道缺陷与质量验收

光固化树脂的光引发和增稠工艺是实验和实践稳定的过程,不能随意改变。改变树脂后,配方设计、增稠工艺也须做出相应的改变,待实验成熟后才可应用在产品上,否则在施工中易发生树脂流挂或过硬现象。

玻纤软管在尖角处的树脂含量很低,在预处理阶段一定要去除尖锐物,错口处做平滑过渡,否则水与玻纤接触后会沿玻纤方向渗入软管,发生腐蚀失效。因此,《规程》要求管道内壁应光洁、平整、无明显突起;接口、接缝应平顺,新旧管道过渡应平缓。因施工产生的局部划伤、磨损、气泡或干斑的出现频次不应大于1处/10 m。

施工压力不足会造成玻纤软管不能完全胀开,内衬管与原有管道贴合不紧密,从而形成夹层,而且原有管道的剩余强度也未得到充分利用。因此,

《规程》提出修复后的内衬管应与原有管道贴附紧密,保证无缝隙,可通过现场切割取样、观察,同一生产厂家、同一加工批次、同一管径的产品,现场取样不少于1组。

褶皱是紫外光原位固化施工中常出现的情况,铺层复合材料中的褶皱缺陷对力学性能具有较大的影响,褶皱角越大,铺层的拉伸和压缩强度越低。因此在紫外光原位固化施工中,应控制褶皱的产生,固化前可将内衬软管反复充放气,使内衬软管充分膨胀、玻纤舒展,以消除内衬软管中环状褶皱。为了保证紫外光原位固化修复的质量,内衬管褶皱应满足设计要求;当设计无要求时,管道直线段最大褶皱的高度不应大于管径的2%或6 mm中的较小值。

内衬软管固化不足是管道腐蚀、塌陷的根源。为保证内衬软管充分固化,应选择合适的紫外光灯架和光源。固化前应检查固化光源,按照材料厂家推荐的参数明确施工过程或测定固化时间,以此来确定固化速度,且速度不可随意改变;当固化时间不足时,可通过降低灯架移动速度来增加固化时间。固化完成后,应对修复管道进行CCTV检测,修复工程的质量验收不合格时,应进行返修或加固处理。

待内衬管冷却到周围土体温度,通过闭水或闭气试验检验内衬管的气密性。管道固化阶段需要对管道进行充气保压,对于内径<1 000 mm的整体修复内衬管,优先采用闭气试验^[6]。管道功能性试验涉及水压、气压作业时,应有安全防护措施,作业人员应按相关安全作业规程进行操作。

固化后应在管口或中间检查井处按设计要求进行切割取样,样品取出后,应严格密封避光保存,并在监理或业主监督下送检,以确保内衬管力学性能的真实性。

7 结论

紫外光原位固化修复质量是固化材料、固化光源、固化度和施工工艺的综合反映。紫外光在复合材料中的透射深度有限,超过光强所能达到的深度后试样将不会接收辐照,从而影响材料的深层固化,导致力学性能下降。为保证内衬软管材料完全固化,紫外光灯应具备提供内衬管有效固化的光源、辐照强度和辐照剂量。《规程》中除了对树脂浇

铸体和内衬管短期力学性能做出规定,还提出将内衬管苯乙烯含量和巴氏硬度作为固化质量指标。《规程》的实施有助于指导施工人员进行工程操作,并提高从业人员对行业的规范性认知,做好过程质量控制,有利于稳定紫外光固化修复工程质量。

参考文献:

- [1] 张欣. 排水管非开挖原位固化法管道修复系统材料质量控制[J]. 净水技术, 2020, 39(增刊1): 246-251.
- ZHANG X. Material quality control of CIPP system used in trenchless pipe rehabilitation project [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(S1): 246-251 (in Chinese).
- [2] 田琪,叶建州,闻雪,等.《城镇排水管道原位固化修复用内衬软管》团标解读[J]. 中国给水排水, 2022, 38(8): 108-113.
- TIAN Q, YE J Z, WEN X, et al. Interpretation of China Urban Water Association Group Standard Municipal Sewer Pipelines Rehabilitation Using Cured-in-place Pipe—Lining Tubes (T/CUWA 60052-2021) [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(8): 108-113 (in Chinese).
- [3] 安关峰,张蓉,张欣,等.《城镇排水管道非开挖修复工程施工及验收规程》解析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20): 71-76.
- AN G F, ZHANG R, ZHANG X, et al. Analysis on the Specification for Construction and Acceptance of Trenchless Rehabilitation Engineering of Urban Drainage Pipeline [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20): 71-76 (in Chinese).
- [4] 刘擎国. 环境友好的不饱和聚酯树脂的组成、固化工艺与性能研究[D]. 广州:华南理工大学, 2018.
- LIU Q G. Study on the Composition, Curing Process and Properties of Environment-friendly Unsaturated Polyester Resin [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018 (in Chinese).
- [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.
- ZHAO Y H, ZENG Z, MA B S. Key issues of Water and Drainage Pipeline Rehabilitation Using Cured-in-place Pipe Method Specification [J]. Special Structures, 2019, 36(1): 108-112 (in Chinese).
- [6] 汪路,张鹏,姚志华,等. UV-CIPP技术在城市排水管网修复中的应用[J]. 给水排水, 2022, 48(增刊2): 447-453.
- WANG L, ZHANG P, YAO Z H, et al. Application of UV-CIPP in the repairing of urban drainage pipe network [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(S2): 447-453 (in Chinese).

作者简介:曹井国(1980—),男,山东济南人,博士,教授,主要研究方向为水污染防治技术、管道非开挖修复技术及材料。

E-mail: cjpg@tust.edu.cn

收稿日期:2023-07-26

修回日期:2025-11-25

(编辑:丁彩娟)

珍惜地下水,珍视隐藏的资源