

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqfh.240138

大口径老旧混凝土排水管道紫外光固化内衬修复 质量控制要点

杨后军, 孙大为, 孙跃平

(上海管丽建设工程有限公司, 上海市 201108)

摘要: 以上海市奉贤区南排污水总管及附属设施修复工程为例, 结合相关标准与多年施工经验, 总结了紫外光固化内衬修复技术施工前、中、后的质量控制技术要点和措施, 主要包括: 在固化施工过程中, 应根据试固化工艺参数控制好巡航速度、扩展气压、管内温度等来确保固化质量; 完成全部内衬修复工作后, 还需对内衬管进行外观检查, 现场取样送检并进行功能试验。结果表明, 内衬修复质量达到了控制标准要求。

关键词: 紫外光固化; 非开挖修复; 排水管道; 内衬管; 质量控制

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)03-0316-05

Essentials of Quality Control for Repairing Ultraviolet Curing Lining of Large-diameter Old Concrete Drainage Pipe

YANG Houjun, SUN Dawei, SUN Yueping

(Shanghai Guanli Construction Engineering Co., Ltd., Shanghai 201108, China)

Abstract: Taking the repair project of the main sewage pipe and auxiliary facilities for the south of Fengxian District as an example, combined with the relevant standards and many-year construction experience, the technological essentials and measures of quality control before, during and after the repair and construction of ultraviolet curing lining are summarized. In the curing construction process, the cruise speed, expansion pressure and in-pipe temperature should be controlled according to test curing process parameters to ensure curing quality. After completing all the lining repair construction, a visual inspection should be conducted on the lined pipe, and the on-site sample should be inspected and the functional tests should be conducted. The results show that the quality of the lining repair in this project meets the control standard requirements.

Keywords: UV curing; trenchless repair; drainage pipe; lining pipe; quality control

0 引言

紫外光固化内衬修复技术在国内应用已有10多年, 但对国内多个已实施光固化修复项目的调查发现, 部分内衬管出现开裂、孔洞、局部软弱带、树脂水解, 甚至出现施工过程中内衬管燃烧等问题, 很大程度上影响了内衬管的寿命。上海市奉贤区南排污水总管及附属设施修复工程部分排水管道采用紫外光固化内衬技术修复。软管采用德国瑞莱生产的螺旋缠绕式内衬软管, 固化设备采用瑞莱为匹配内衬软管固化而开发的RE2000光固化主机与灯组。本文以该工程为例, 对紫外光固化内衬修复全工序质量

控制进行阐述和总结, 以期为同类型工程项目的质量管理提供参考。

1 原管道情况

上海市奉贤区南排污水总管建成运行近20 a, 经CCTV检测后发现, 管道内存在严重渗漏和腐蚀现象。尤其是管顶部的腐蚀处宽度约50 cm, 深度约8 cm, 钢筋完全显露, 卵石脱落, 管材厚度明显变薄, 随时可能出现管道破损和地面塌陷问题^[1], 如图1所示。参照《排水管道电视和声呐检测评估技术规程》(DB 31/T444—2009)对管道进行评估, 修复等级为严重的三级, 需要紧急修复或更新。该段管道穿越南桥城区, 交通繁忙, 交通部门批复单次占路时长不得超过12 h, 且设计要求修复后过水能力不得低于原管道设计流量。专家对CIPP翻转热水固化法、热

收稿日期: 2024-02-02

作者简介: 杨后军(1985—), 男, 本科, 高级工程师, 从事排水管道无损检测、非开挖修复技术研究及施工管理工作。

塑成型法、3S模块法、CIPP紫外光固化法等修复技术进行比较论证后,决定采用修复速度快、强度高、断面损失小、表面光滑的紫外光固化内衬技术进行修复。



图1 原管道内部情况

紫外灯功率过小或辐射通量密度衰减过多,可能造成固化不完全,强度不达标等缺陷。本项目综合管道直径、材料厚度,选择2 000 W×6灯组施工。



图2 REE2000紫外光固化设备

2 紫外光固化修复前质量控制

2.1 修复工艺参数确定

在施工作业正式开始前,先进行现场踏勘作业,收集相关数据,结合设计图纸、内衬软管使用说明、光固化设备的功率,对软管膨胀气压、加压间隔、固化膨胀压力、灯组移动速度等操作参数进行确定。所确定的主要施工工艺参数见表1。

表1 主要施工工艺参数

项目	理论实施数值	数据来源	修复实施数值
原管径/mm	1 350	设计图纸及测量	1 350
单段内衬管设计修复长度/m	40.0	设计图纸	40.0
内衬管设计厚度/mm	12.8	设计图纸	12.8
软管拉入速度/(m·min ⁻¹)	6~8	材料商提供	6
内衬软管承受最大牵引力/kN	500	材料商提供	250
内衬软管伸出原管道长度/mm	500~1 000	标准要求	800
施工期间气温/°C	25~33	天气预报	25~33
膨胀加压间隔/min	5或10	根据气温选择	5
固化时膨胀压力/MPa	0.025~0.030	材料商提供	0.028
金属卤化物灯组功率/W	2 000×6 1 000×6	根据管径、内衬厚度选用	2 000×6
点灯间隔/s	120	设备商提供	120
灯组移动速度/(m·s ⁻¹)	0.32	材料商提供	0.32
固化后内衬管减压/(MPa·min ⁻¹)	<0.01	标准要求	0.008

2.2 光固化修复施工设备

在内衬软管固化施工前,应确认修复设备能满足施工要求且状态良好,并按要求对配套的压力表、温度传感器、速度显示器等进行标定,查看设备的使用记录和检测记录。若紫外光灯管辐射通量密度衰减超过30%,应及时更换。紫外光固化设备见图2。

2.3 内衬软管质量控制

内衬软管应外表平整、浸润充分、无气泡、切口不流挂。所用树脂与玻纤应满足排水管道使用要求,固化光源与树脂光引发体系匹配。内、外膜耐高温、耐撕裂、抗拉伸,内膜应具有一定的透光性,外膜能隔离紫外线且有一定的延展性。订制内衬软管前应去现场踏勘,对原管道进行电视检测,对施工井和接收井进行目视检查,原管道的直径和长度则需根据图纸数据进行校核,若存在差异应立即通知建设方。订制软管时以现场确认的参数为准,保证内衬软管规格与原管道尺寸匹配,长度满足施工要求。内衬软管进场前应查验产品合格证、使用说明书、检验报告,无三证产品禁止入场。内衬软管进场后应检查产品外观、尺寸,外膜破裂时严禁使用,尺寸不符应及时换货。内衬软管不能及时使用时,现场存放应注意当前存储条件。本项目选用软管采用德国瑞莱生产的螺旋缠绕式内衬软管,设计固化厚度为12.8 mm。

3 紫外光固化修复过程质量控制

3.1 紫外光固化修复工艺流程控制

在紫外光固化内衬施工作业前,现场应做好准备工作。紫外光固化内衬修复步骤应严格按照施工工艺标准流程进行,如图3所示。

3.2 修复前准备

为确认原管道内部状况并保证顺利安装内衬软管,必须从下游井把污水抽出。若对于临排设施、封堵作业等控制不到位,会影响修复进度和施工质量。施工前应对原管道进行CCTV检测,对施工井和接收井进行目视检查、管径尺寸再确认,对管道内影响施工的缺陷进行记录和评估。

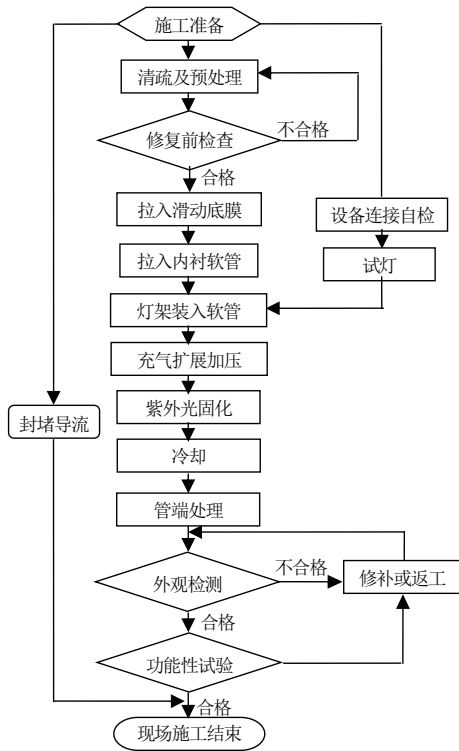


图3 紫外光固化内衬修复工艺标准流程

3.3 预处理措施

3.3.1 预处理要求

修复前应对管道内部进行预处理,预处理后原管道内不应有沉积物、垃圾、障碍物、积水;管道内无渗漏点,不应有大于6 mm的尖锐凸起物。原管道因基础原因导致的错位等缺陷,应处理基础,错位处须采用水泥砂浆等做平滑过渡。预处理应根据具体的病害、条件选择合适的处理方法,常用预处理措施有疏通清捞、高压水射流清洗、止水或隔水处理,局部严重损坏之处应进行注浆、切割、点状修复、开挖置换或处理等。

3.3.2 管道尺寸变化

当CCTV检测确认原管径尺寸有改变时,可在检查井的管口向内不小于300 mm处人工测量原管径,也可采用带激光检测的CCTV设备进行精确测量,还可使用传感测量系统测量,亦可使用以上方法组合进行测量。若原管径变小,会导致内衬软管纵向褶皱。固化过程中,因纵向褶皱会造成直径变小,灯组有可能无法通过,后续灯组也可能会损坏内膜。若原管径变大,会导致内衬软管过度膨胀而拉伸,如果内衬软管被拉伸超过指定的软管外膜直径,将造成壁厚低于规定值,固化后对内衬管的结构支撑特性起负面效果。此外,如果没有外部支撑,内衬软管过度膨胀会出现爆裂情况。本项目对待修管道腐蚀严重、管径增大的部位,尤其是顶部,采用高强度水泥

砂浆进行找平处理,处理后的效果见图4。通过上述预处理方法,可增加钢筋保护层,提高原混凝土管道的强度,并使得接口处平滑流畅,原管道恢复至圆形状态,保证CIPP紫外光固化内衬修复达到预期效果。

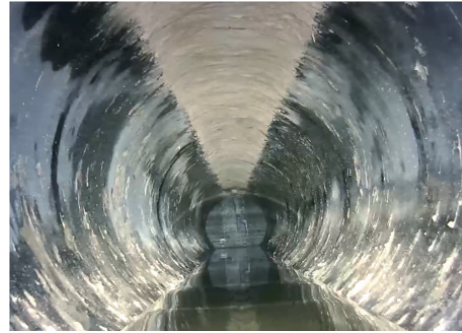


图4 顶部腐蚀找平后效果

3.3.3 横截面收缩和管壁缺失

突起的管口、碎片、树根、封口、支管突出和管底沉积物等造成横截面收缩的,必须清除或整平,防止软管拉入或者充气过程中损坏软管。对于管壁存在部分缺失的情况,缺失处可用混凝土填补,缺失面积较大时应补筋,以确保合理的形状和结构性能。

3.3.4 地下水渗漏

在地下水丰沛的区域施工时,内衬软管安装之前必须实施管道内渗漏水的封堵。为防止地下水渗漏影响光固化效果,对无法实现渗漏水完全封堵的管道,必须使用预衬管(即加强膜管),以防止外膜渗漏后树脂遇水乳化水解而影响固化质量。本项目管道多处渗漏(见图5),施工过程中对渗漏处采取嵌缝后注聚氨酯止漏的技术措施,取得了较好的止漏效果。



图5 管道接口渗漏

3.3.5 原管道中间有暗井

若原管道中间有暗井存在,需优先考虑打开暗井,便于安装内衬材的护套,以保护内衬软管,防止其在暗井内过度膨胀拉伸。如无法打开暗井,可采用在内衬软管外侧设置预衬管进行保护。预衬管可替代护套在中间暗井内防止内衬软管过度膨胀拉伸,扎头区域也可用预衬管来防止软管过度拉伸而

造成破裂。

3.4 软管安装固化过程质量控制

3.4.1 安装滑动底膜

对原管道因损坏而导致的管壁粗糙、有碎片等情况,为防止内衬软管在管道内受到损坏并减少软管牵引的摩擦力,必须在原管的底部安装防护滑动底膜,其宽度宜大于原管道周长的1/3。如需要安装预衬管的情况,应将防护滑动底膜插入预衬管内,扎头区域的预衬管应进行固定。

3.4.2 拉入内衬软管

拉入内衬软管时应选择具有合适牵引力的卷扬机,其牵引力不能超过内衬软管可承受的最大拉力。若超过供应商推荐拉力,可能造成软管伸长、拉伤。拉入内衬软管时应匀速,速度控制在6~8 m/min,速度过快会造成材料拉伤。DN800以上软管拉入时宜在检查井边使用传送带辅助进行,拉入时应使用润滑剂来减少拉力摩擦。若内衬软管宽度大于检查井口直径,拉入前应折叠,防止损坏外膜。应避免停顿或者中断,在中断的情况下,要低速重新启动卷扬机。DN800及以上内衬软管拉入后,应保持拉力静置大约15 min,防止因内衬软管弹性滑回所致的修复后径向褶皱。本项目采用250 kN卷扬机,拉入速度选择6 m/min,软管伸出管口80 cm,便于绑扎扎头和切取样片。

3.4.3 充气扩展

将内衬软管的一侧端部闭合后充气加压,并将灯组与拉灯绳连接,直到内衬软管膨胀成圆形;快速打开施工井内另一侧的软管端部,将灯组拉入内衬软管后,安装扎头。关闭扎头后,再次充入压缩空气,每次增加0.005 MPa气压,使内衬软管继续膨胀并逐步贴合原管道内壁。内衬软管温度低于10℃时,每次加压后应等待10 min,反之等待5 min。当内部压力达到0.01 MPa时,将扎头用钢管架固定于井壁,防止内衬软管在检查井区域纵向拉伸或者扭曲。固化时压力根据内衬软管直径确定,若固化时压力不足,固化后内衬管易出现分层现象。本项目材料供应商提供的DN1350内衬软管固化时膨胀压力为0.025~0.030 MPa,压力过大会造成软管破裂,过小则会造成内衬管壁分层和不密实。施工时结合以往经验选取了0.028 MPa进行加压操作;施工期间气温为25~33℃,每次按0.005 MPa增加,直至达到内衬软管固化压力范围。

3.4.4 内衬软管的固化

将内衬软管内的紫外光灯组由施工井缓慢、匀速拉到接收井,拉入过程中通过摄像头查看内衬软管是否完全膨胀,是否有褶皱、鼓包等。如有,应及时采取有效举措快速解决问题,在确认材料内膜内有破损、树脂泄漏、树脂层有空气或水混入等的异常情况下,应立即停止作业,收回材料。灯组到达接收井的扎头位置时,依次打开紫外光灯开始固化,固化时灯组移动速度应严格按照材料供应商给出数据进行,灯组移动过快会导致固化不完全,强度达不到要求;过度照射又会导致材料老化而出现开裂、孔洞等。按规定时长固化后,目视确认接收井附近区域的内衬管固化过程完成后,按材料供应商制定的运行速度开始拉动灯组。紫外灯照射过程中应随时关注材料的固化情况,重点关注材料固化前后颜色变化,标准材料的表面颜色应该从浅黄绿色变成浅白色。同时观察紫外灯的运行状态和温度传感器的温度显示,有任何异常应及时采取有效举措快速解决问题。即将到达施工井一侧时,根据固化速度手动拉动灯组直至到达扎头位置,在等待一段时间后,目视确认施工井附近区域的软管固化完成后,依次逆序关闭紫外光灯。

3.4.5 端部处理并与检查井连接

关灯后,风机应持续运行使内衬管冷却,然后进行泄压,泄压速度不应高于0.01 MPa/min,泄压过快可能导致材料收缩、分层。完全泄压后切除端部多余材料,并对端部进行密封处理。内衬管末端外侧用合适的材料与检查井壁贴合,并根据地下水状况对检查井和排水管道之间做防渗漏连接,见表2。如果内衬管下半圈横穿检查井,则需要对开口边缘进行相同处理。

表2 内衬管端部与检查井连接处密封方法

原管道所处位置	处理方法	材料
一直处于地下水位之上	用2或3密封环形间隙做防渗漏处理	1. 膨胀密封带;
处于地下水交汇区域,修复期间无地下水通过环形间隙渗漏	安装1密封环形间隙,用②或③填充;	2. 防腐蚀聚合物改性水泥砂浆;
	安装1密封环形间隙,用4封住环形空隙	3. 环氧树脂砂浆;
修复期间或任何时候都低于地下水位	安装1密封环形间隙,用2或3填充;	4. 含环氧树脂浆的防渗材料;
	注入5密封环形间隙,用2或3填充	5. 快速反应多组分聚氨酯树脂

4 数值模拟反演预测计算与实际对比

4.1 外观质量检查

内衬施工完成后,根据《城镇排水管道非开挖修复工程施工及验收规程》(T/CECS 717—2020)进行检查验收,检查项目、检查结果和判定见表3。

表3 内衬管质量检查和判定

检验项目	检测结果	判定
渗漏情况	修复后的管道内无湿渍,无滴漏、线漏等渗水现象	合格
外观质量	内衬管表面光洁,无局部孔洞、裂纹和软弱带	合格
	磨损、气泡或干斑的出现频次满足每隔10 m不大于1处	
	褶皱满足设计要求,最大不应超过6 mm	
	内衬管应与原管道贴附紧密	合格
端头切割	内衬管起点和终末端头切割整齐	合格
端部密封	端部密封良好、饱满密实	合格

修复后管道内情况如图6所示。



图6 修复后管道内情况

4.2 内衬管取样检测

内衬管固化修复完成后,应按每个施工段不少于1组的规定,在内衬管端部现场取样送检,进行强度性能测试。内衬管短期力学性能要求和测试结果见表4。

表4 内衬管短期力学性能要求和测试结果

测试标准	检测项目	技术指标	检验结果	判定
《城镇排水管道非开挖修复工程施工及验收规程》(T/CECS 717—2020)附录F	弯曲强度/MPa	>125	135	合格
	弯曲模量/MPa	>8 000	10 345	合格
《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)	弯拉强度/MPa	>80	112	合格

4.3 功能性试验

修复后按《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268—2008)进行闭水试验,实测渗水量应小于或等于允许渗水量,允许渗水量按 $Q_e=0.004 6D_i(D_i$

为管道内径)计算。经试验确认,本项目修复后的管道密闭性符合设计要求。

5 结 语

(1)预处理要有详细方案,实施过程中要注意不得损坏原管道及附属设施。

(2)固化过程要严格按照方案确定的工艺参数进行施工,施工人员要有丰富的施工经验,以确保修复质量和及时处理遇到的施工问题。

(3)内衬软管在温度低于10℃的条件下,膨胀时每加压0.005 MPa,需要等待10 min,反之等待5 min。这有利于材料膨胀扩展、挤压密实,以及内部气体排除,可有效避免因升压过快和气体排除不通畅所致的内衬管不密实、内衬管强度降低、表面出现气泡的现象。

(4)加压和保压全过程应严格按照工艺参数中规定的压力执行,保证分梯度加压、保压时间足够、达到目标压力。固化结束后按要求缓慢降压降温,相关数据应记录存储,后期可查。

(5)固化全过程应关注温度传感器的温度显示。监控温度要求在规定的100~140℃之间,不允许存在温度超过140℃或低于100℃的异常情况。全程录像检测及事后查看内膜,未发现内膜被高温融化的情况。

(6)根据光固化施工质量检查结果得到,内衬管无裂缝、无渗漏,外观质量、端部处理均符合质量验收规范要求;另根据现场取样试块检测结果得到,试块检测质量、厚度、密实性均符合设计要求。闭水试验结果确认修复后的管道密闭性符合设计要求。根据质量检查和检测结果可知,光固化施工质量控制措施是有效的。

(7)内衬软管紫外光固化修复完成以后,一般需要收集该段管道两端固化后的样品及CCTV检测视频,作为工程质量的验收依据。但仅通过样品和视频来进行工程验收是不够的,因为样品和检测视频都只是施工结果。为了达到理想的修复效果,必须重视施工过程中的质量管理。

参考文献:

- [1] 凌卫卫,杨后军. CIPP翻转法在穿越浦东运河污水倒虹总管修复中的应用[J]. 非开挖技术, 2020(4): 42-46.
- [2] 刘海鹏. 市政污水工程砼承插管道施工技术要点[J]. 价值工程, 2014(20): 115-116.