

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2026.08.018

顺德地区钢内衬-紫外光原位固化联合技术的应用

宁世雄¹, 李海鹏¹, 张宇超², 汪洋², 杨霄², 马勃²,
周晓², 曹美忠¹, 刘瑛¹, 张明运¹

(1. 天津市政工程设计研究总院有限公司, 天津 300392; 2. 中国电建集团西北勘测设计
研究院有限公司, 陕西 西安 710065)

摘要: 某城镇存量排水管网修复工程作为顺德水环境治理首批落地的重点项目,采用钢内衬和紫外光原位固化修复技术的联用工艺,对DN1 200污水管道的结构性缺陷进行修复。本文详细介绍了该联用工艺的技术原理、施工流程及质量控制情况,并对修复效果、过流能力、质量验收及工程造价进行了分析。结果表明,采用该联用工艺修复后的管道质量较优,修复后与修复前的过流能力比值为119%,过流能力提高,综合修复单价为16 415元/m。

关键词: 水环境治理; 排水管网; 非开挖修复; 钢内衬; 紫外光原位固化修复

中图分类号: TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2026)08-0126-05

Application of Combined Technology of Steel Lining and UV-CIPP in Shunde Area

NING Shixiong¹, LI Haipeng¹, ZHANG Yuchao², WANG Yang², YANG Xiao²,
MA Bo², ZHOU Xiao², CAO Meizhong¹, LIU Shuang¹, ZHANG Mingyun¹

(1. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300392, China;
2. PowerChina Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an 710065, China)

Abstract: The restoration project of the existing drainage network in a certain town, as one of the first key projects to be implemented in Shunde's water environment governance, a combined process of steel lining and UV-CIPP was used to repair structural defects in the local DN1 200 sewage pipe network. The technical principles, construction process, and quality control of this combined process were introduced in detail, and the repair effect, over current capacity, quality acceptance, and engineering cost were analyzed. The results showed that the quality of the repaired pipeline network using this combined process was better, with a ratio of 119% between the repaired and pre repaired flow capacity, indicating an improvement in flow capacity. The comprehensive repair unit price after repair was 16 415 CNY/m.

Keywords: water environment treatment; drainage pipe network; trenchless restoration; steel lining; UV-CIPP

顺德位于广东省中南部,地处珠江三角洲平原的水网地带,全区河网密布。随着近年来当地城市的发展建设,工业企业和城市居民用水量增大,排水负荷高^[1],地下排水管网逐渐出现不同程度的结构性缺陷,如渗漏、错口、破裂等。由于当地地

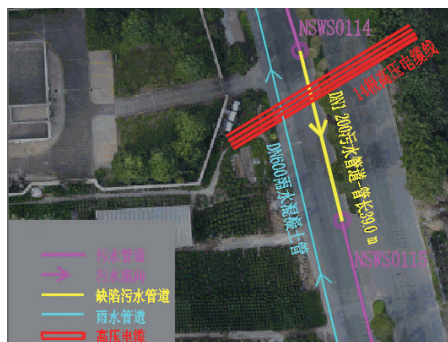
下水位平均埋深0.7~3.0 m,当管道出现渗漏时,大量地下水入渗,导致管道周围土体空洞,引起周边土体坍塌,会加剧排水管道出现变形、沉降、塌陷等问题,严重影响地下排水管网的正常运行^[2];此外,污水从管道内缺陷处外溢至周边土体后,逐渐入渗

周边地下水、河涌水,使周边水体受到污染而引发黑臭水体问题。

2022年顺德当地陆续开展了水环境综合治理工程,将全区划分为七大联围进行逐一治理,某城镇作为联围治水的首批试点之一,采用“先试点后推广、先治水后治城”的顶层技术路线,率先开展了顺德水环境综合治理。本文就试点联围项目采用“钢内衬+紫外光原位固化修复技术”的联用工艺对大口径排水管道缺陷进行非开挖修复的实践进行介绍,可为后续水环境治理项目提供借鉴。

1 工程概况

试点联围某城镇北部片区的一条市政主干道路发生了路面塌陷,该市政道路为北部片区重要的枢纽通道,呈南北走向,红线宽35.0 m,为双向4车道。塌陷位置在道路西侧快车道,西侧快车道下方建设有NSWS0114-NSWS0115段污水管道,管径DN1 200,管长39.0 m,埋深6.7~7.1 m,管材为钢筋混凝土管;西侧慢车道下方建设有NSYS004-NSYS005雨水管道,管径DN600,管长40.9 m,埋深1.6~2.1 m,管材为钢筋混凝土管,雨水管与污水管的水平间距约3.5 m。在路面塌陷段下方还存在14根高压电缆线,高压电缆线与该市政道路呈60°夹角,其埋深约3.3 m,如图1所示。



a. 管线位置关系



b. 道路塌陷

图1 工程概况

Fig.1 Project overview diagram

现场排查人员通过闭路电视(CCTV)检测发现塌陷路面下方的污水管道出现严重塌陷情况,管段塌陷长度约20.0 m,塌陷段深度占管口断面的2/3,还存在起伏、错口、渗漏,其中四级渗漏3处、四级错口1处、四级破裂1处、四级起伏1处。雨水管道状态良好,无缺陷情况。

该污水管道位于市政主干道路下方,地处繁忙的交通要道,车流量大,来往车辆多为工业厂区的大型卡车,考虑到地下还敷设有14根高压电缆线,现场不具备开挖修复的条件。经综合考虑,确定采用钢内衬与紫外光原位固化修复技术联用的非开挖修复工艺,并对该DN1 200污水管道修复的工艺选择和施工过程进行分析。

2 技术特点、原理及适用条件

2.1 技术特点

钢内衬和紫外光原位固化修复技术是目前市场上常用的非开挖修复工艺,其中,钢内衬是指将钢内衬环下吊到检查井室,凿破现状缺陷管道,将其安装到原缺陷管道位置,具有高强度、耐防腐及抗渗漏的优点。需注意的是,本次采用的钢内衬横截宽度为0.3 m,外径为1.2 m,而现状污水检查井筒直径仅为0.7 m,不满足下吊空间要求,故施工时需将钢内衬板下吊到检查井室,利用定制螺栓进行连接,再组装为钢内衬环进行安装。紫外光原位固化修复技术指将含有玻璃纤维树脂的软管两头绑扎后,拉入待修复的旧管道中,通过持续向软管内充气,待软管完全贴合旧管道后,采用紫外光灯照射使软管硬化,形成坚硬的内衬管,使已被破坏的旧管道得到修复,修复后内衬管具有阻力系数小、耐腐蚀性强、使用寿命长的优点。

2.2 技术原理

钢内衬和紫外光原位固化修复技术联用修复工艺共分3步:首先,人工下井,凿除现状塌陷混凝土管段,对塌陷段土体进行化学浆液填充;其次,选取横截面积、厚度、强度及环刚度符合要求的钢内衬,将钢内衬板下吊到检查井室,将其组装为钢内衬环,再安装到塌陷管道位置;最后,采用玻璃纤维树脂的软管,在牵引卷扬机的拖动下进入钢内衬管内部,利用紫外光灯的照射作用,使内衬材料与钢内衬及混凝土管紧密贴合,降温冷却后,树脂软管成型。

2.3 适用条件

当市政排水管网的结构性缺陷数量较多(通常为三、四级缺陷),管网塌陷严重,过流能力不足,且不具备支护开挖修复条件时,可采用钢内衬和紫外光原位固化修复技术的联用修复工艺进行管道修复。

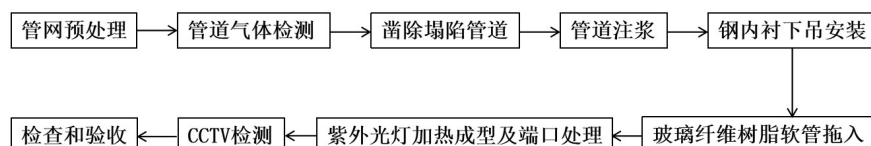


图2 施工工艺步骤

Fig.2 Steps of construction technology

3.2 管网预处理

在对NSWS0114-NSWS0115段污水管道进行修复前,开展管网封堵导排、管壁冲洗疏通、有毒气体检测等工作,对缺陷管网段进行预处理。

考虑到本次为大口径排水管道,且紫外光原位固化修复技术需无水作业条件,为保证施工过程的安全性,对修复管段两端检查井进行管堵及气囊封堵作业。管壁冲洗疏通是管网预处理工作的重要工序,用来检测管网接口处有无支管暗接、异物穿入及破裂渗漏等缺陷。管网有毒气体检测是检测井下作业环境的重要手段,对井下作业人员的安全起到重要保证作用。

3.3 钢内衬施工步骤

① 材料准备

钢内衬材料采用Q345钢板(厚度8 mm,抗拉强度490 MPa,屈服强度330 MPa,断后伸长率30%),钢板为一次碾压成型,一节钢内衬环由3块钢板通过定制螺栓进行连接。钢板下井前需进行防腐作业,内、外壁喷涂防锈底漆,外壁再采用环氧煤沥青漆进行防腐处理。

② 凿除塌陷管道及注浆

施工作业人员进入井室对塌陷管道进行人工凿除,考虑直接对整段塌陷管凿除后再注浆,管网内部可能存在塌方风险,故施工时采用每次凿除管道约0.3 m,凿除后及时将混凝土碎块运至地面,再对该底部位置进行化学注浆填充土体,当注浆填充到与未塌陷管道管内底标高齐平时停止注浆,边注浆边找平,直至化学浆液完全凝固。

③ 安装钢内衬

人工下吊钢板至检查井室,先将两块钢板通过螺栓连接,安装到塌陷位置,固定后再将第三块钢

3 施工流程

3.1 施工工艺步骤

施工工艺步骤主要包括管网预处理、钢内衬施工、软管拖入、加热成型及端口处理、检测验收等,具体如图2所示。

板与其进行连接,完成一节钢内衬环安装。沿塌陷管道方向重复上述施工操作,直至完成全部塌陷管道的钢内衬施工。

3.4 玻璃纤维树脂软管拖入

钢内衬全部安装完成后,安装卷扬机牵引设备,拉入底膜并固定,下游的卷扬机通过铁链和上游卷盘上的树脂软管连接,经牵引设备将树脂软管拉入钢内衬管内,绑扎安全扎头,进行充气加压。

3.5 紫外光灯加热成型及端口处理

将紫外光灯送入树脂软管后开启,在光固化过程中同步进行保压控制,确保树脂软管与混凝土管道和钢内衬管内壁紧密贴合。光固化完成后,对管道内部进行缓慢泄压,拆除紫外光灯,去除管端扎头,将管端处多余树脂管切割平整,安装结束。

3.6 CCTV检测

管道修复完成后,采用CCTV设备对管道内部进行内窥检测,观察管道内部的缺陷修复情况。现场观测到管道缺陷都已完成修复,管道内壁光滑平整。

3.7 质量验收

对管道修复完成后,组织质量验收^[3],本工程的玻璃纤维树脂管经专业检测后的主要性能参数如表1所示。

验收工作主要分为以下两部分:

① 对已修复完成的管道进行外观检查,管道表面应光洁、平整,无局部划伤、裂纹、磨损、孔洞、起泡、干斑、褶皱、拉伸变形和软弱缺陷,管道内应无明显湿渍、渗水,严禁滴漏、线漏等现象。若存在质量缺陷,应重新针对存在问题制定整改方案。

② 施工后,将玻璃纤维树脂管样品委托专业检测机构进行检测,以核实玻璃纤维树脂管的弯曲

强度、弯曲弹性模量、抗拉强度、管壁密实性是否符合规范设计要求。

表 1 玻璃纤维树脂管的主要性能参数

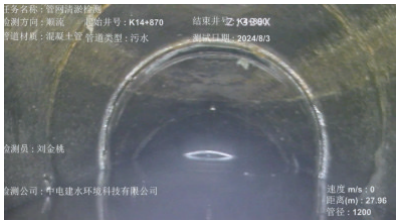
Tab.1 Main performance parameters of glass fiber resin pipes

参数	标准值	实测值	测试方法
弯曲强度/MPa	>45	323	《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》(GB/T 1449—2005)
弯曲弹性模量/MPa	>6 500	15 514	
抗拉强度/MPa	>62	138	《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)
管壁密实性	送检 3 个检测点均未渗水	送检 3 个检测点均未渗水	《给水排水管道原位固化法修复工程技术规程》(T/CECS 559—2018)

4 修复后评价

4.1 修复效果

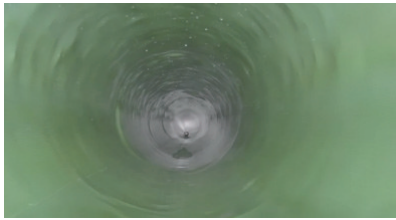
通过对修复后的污水管道进行 CCTV 内窥检测,观察到修复后的管道内壁光滑,与钢内衬及混凝土管贴合紧密,无渗漏现象。修复后的管道与修复前的对比效果如图 3 所示。



a. 管网修复前



b. 钢内衬修复后



c. 紫外光修复后

图 3 排水管道修复前后对比

Fig.3 Comparison of drainage pipeline before and after repair

4.2 钢内衬管壁厚复核计算

本工程采用钢内衬修复技术,钢内衬需承受管道外部的土压力和地面动荷载,该修复类型为结构性修复。对于本次不开槽施工的刚性管道,其管顶

竖向土压力标准值根据《给水排水工程管道结构设计规范》(GB 50332—2002)公式(B. 0. 3-1~3)进行计算。其中, $K_{\text{土}}$ 取 0. 19, φ 取 30° ,根据该区域位置的地勘资料, γ_s 取 17.8 kN/m^3 ;考虑管网的最不利埋深为 7.1 m , H_s 取 5.9 m 。根据计算求得该每延米管道上管顶的竖向土压力值 $F_{\text{sv},k}$ 为 73.85 kN/m ,换算为管顶的竖向均布土压力值,即 $F_{\text{均}}$ 为 61.54 kN/m^2 。

考虑该污水管道位于主干道路(公路 I 级),根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015),即该污水管道上方的地面动荷载值 q_k 取 10.5 kN/m^2 。

本次采用的钢内衬屈服强度达 330 MPa ,根据《水利水电工程压力钢管设计规范》(SL/T 281—2020),利用临界外压经验公式(B. 2. 1-1)可计算出该钢内衬环的临界外压值 P_{cr} ,以复核该临界外压 P_{cr} 是否满足管顶的竖向土压力值 $F_{\text{sv},k}$ 与地面动荷载值 q_k 之和。其中,钢内衬的壁厚 t 为 8 mm ,半径 r_1 为 600 mm ,计算得出该钢内衬的临界外压 P_{cr} 为 1.71 N/mm^2 ,即 $1\,710\text{ kN/m}^2$ 。由于 P_{cr} 远大于 $F_{\text{均}}$ 与 q_k 之和,即本次选取的钢内衬壁厚完全满足规范设计要求。

4.3 玻璃纤维树脂内衬管壁厚复核计算

本工程采用紫外光原位固化修复技术,树脂内衬管只需承受管网外部的静水压力,外部土压力和动荷载由钢内衬及钢筋混凝土管支撑,该修复类型为半结构性修复。根据《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 210—2014),该树脂内衬管壁厚采用公式(5. 2. 1-1~3)进行计算。其中,椭圆度 q 取 2% ,折减系数 C 取 $0.835\,7$,长期弹性模量 E_L 考虑一定的安全系数,取实验室检测值的 80% ,即 $12\,411\text{ MPa}$,管顶地下水压力 P 根据管顶距地下水的高度进行计算。NSWS0114—NSWS0115 管段管径 DN1 200,平均埋深为 6.9 m ,旱季地下水位埋深

为1.3 m,地下水位距管顶的高度为4.4 m。考虑到雨季地下水位的波动性,该区域雨季地下水位埋深取最不利情况下0.9 m,地下水位距管顶的高度为4.8 m。经计算,采用紫外光原位固化修复技术,旱季树脂内衬管壁厚理论值为9.6 mm,雨季树脂内衬管壁厚理论值为10.4 mm,本工程采用树脂内衬管的管壁厚为10 mm,基本满足规范设计要求。

4.4 过流能力复核计算

对该段管道修复后的过流能力与修复前的过流能力比值进行计算,具体参照《城镇排水管道非

开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 210—2014)中公式(5.3.2)。其中,修复前的混凝土管粗糙系数 n_c 取0.013,玻璃纤维树脂内衬管的粗糙系数 n_1 取0.010, D_1 为1 164 mm, D_E 为1 200 mm。通过计算得出,管道修复后与修复前的过流能力比值为119%,过流能力得到部分提升,满足规范设计要求。

4.5 造价分析

钢内衬和紫外光原位固化管道修复完成后的总造价为640 265.83元,综合单价为16 415.00元/m,具体见表2。

表2 钢内衬和紫外光原位固化修复技术联用的工程造价

Tab.2 Engineering cost of combined steel lining and UV-CIPP

项目	工程量	综合单价/元	合计造价/元
管道拆除及固结物清理	10 m ³	7 257.14	72 571.40
气囊管堵安装拆除	2处	3 503.18	7 006.36
管堵砌筑及拆除	2处	6 479.40	12 958.80
清淤车倒排水	60台·班	1 516.80	91 008.00
人工注浆	11 m ³	1 353.20	14 885.20
钢内衬(厚度8 mm)	20 m	8 291.79	165 835.80
紫外光原位固化整体修复(管径DN1 200)	39 m	7 076.93	276 000.27

5 结论

采用钢内衬和紫外光原位固化修复技术的联用工艺对DN1 200污水主干管道进行非开挖修复,该联用工艺同时结合了两种技术的优点,相较于开挖修复,非开挖修复具有施工周期短、对交通环境影响小的优点,还可规避现场无法开挖施工的难题。经CCTV检测,修复后的管道内壁光滑平整,内衬管贴附紧密,修复后与修复前的过流能力比值为119%,管道的结构性、功能性及过流能力均满足规范设计要求,综合单价为16 415.00元/m。该管道修复效果较好,修复质量得到业主单位的认可,在当地同类型存量排水管道修复中得到应用推广,可为后续水环境治理项目提供借鉴。

参考文献:

- [1] 江旺,时洪涛,肖子豪,等.钢套筒和热塑成型工艺联用于排水管道非开挖修复[J].中国给水排水,2024,40(10):121-125.
- JIANG W, SHI H T, XIAO Z H, et al. Application of steel sleeve and thermoplastic molding combined process in trenchless repair of drainage pipes [J]. China Water

& Wastewater, 2024,40(10):121-125 (in Chinese).

- [2] 卫佳,许怀奥,方帅,等.非开挖修复技术用于大口径截污管道改造工程[J].中国给水排水,2023,39(10):126-132.

WEI J, XU H A, FANG S, et al. Application of trenchless rehabilitation technology in reconstruction of large diameter intercepting sewage pipeline [J]. China Water & Wastewater, 2023,39(10):126-132(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).

作者简介:宁世雄(1993—),男,陕西汉中,硕士,工程师,研究方向为市政给排水和水环境治理。

E-mail:522594563@qq.com

收稿日期:2024-12-02

修回日期:2025-01-05

(编辑:衣春敏)