

采用HDPE内衬管特大口径排水管道低水位修复关键技术研究

任 龙, 汤倩倩

(上海城建水务工程有限公司, 上海市 200080)

摘 要: 在市政工程领域, 由于排水管道长期运行过程中容易出现管道老化以及遭受侵蚀等问题, 在综合各方面因素后往往选择管道再修复。然而, 特大口径排水干管非开挖修复技术很大程度上会受到现场环境、使用寿命、施工手段等约束。因此, 根据现有技术不能满足特大口径、带水修复的情况, 以现有工艺优化为切入点, 研究一种适用于特大口径排水干管的整体修复工艺, 提高原管道的承载能力和耐久性能, 弥补管道结构性和功能性缺陷, 为城市污水干线的维护和管理提供新的解决方案和技术支撑。

关键词: 特大口径管道修复; HDPE内衬管; 非开挖; 低水位修复

中图分类号: TU992.05

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0109-07

Research on Key Techniques of Low Water Level Restoration for Extra-Large Diameter Drainage Pipelines with HDPE Liner

REN Long, TANG Qianqian

(Shanghai Urban Construction Water Engineering Co., Ltd, Shanghai 200080, China)

Abstract: In the field of municipal engineering, due to issues such as pipeline aging and erosion that often occur during the long-term operation of drainage pipelines, the pipeline restoration is often chosen after taking into account all aspects of factors. However, the trenchless restoration technology for extra-large diameter drainage mains is largely constrained by factors such as the on-site environment, service life and construction methods. Therefore, based on the current technology that cannot meet the requirements of extra-large diameter and water-bearing restoration, starting from optimizing the existing processes, an overall restoration process suitable for extra-large diameter drainage mains is studied to improve the bearing capacity and durability of the original pipelines, make up for structural and functional defects of the pipelines, and provide the new solutions and technical support for the maintenance and management of urban sewage trunk lines.

Keywords: restoration of extra-large diameter pipeline; HDPE lined pipe; trenchless; low water level restoration

0 引 言

城市污水处理系统是保障城市安全运行和改善人居环境的重要生命线。近年来, 国家及地方政策都对排水主管修复工作十分重视, 比如《上海市水系统治理“十四五”规划》中提到: “实施存量排水设施提质增效工程。持续开展排水管道周期性检测及维修改造工作, 重点检测约1.3万km排水主管, 对其中约1500km排水主管进行修复或改造, 基本完成现状管龄超10年以上排水主管的检测、修复或改造”^[1-3]。为响应国家政策关于污水设施“补短板”的

需要, 同时落实与贯彻国家总体规划及上位雨、污水规划的要求, 实现重大城市排水“生命线”安全、稳定、精细化运行的目标, 有必要对现状特大口径排水干线进行修复改造, 增加沿线片区污水输送通道的安全保障, 消除潜在水环境污染事故^[4-8]。

目前, 特大口径排水干管的非开挖复合修复结构, 一般是由注浆填充层作为结构层、由内衬层(或注浆层)作为防腐层^[9-14]。但其带水作业难度大, 且部分非开挖修复工艺还会受到管径的限制^[15-18]。现有非开挖修复工艺对比见表1。根据现有非开挖修复技术均不能满足特大口径、带水修复的情况, 从现有工艺优化为切入点, 研究一种适用于特大口径排水干管的整体修复工艺。在结构上能够提高原管道的承载能力和耐久性能, 弥补管道结构性和功能性

收稿日期: 2025-10-11

作者简介: 任龙(1993—), 男, 本科, 工程师, 从事市政工程施工总承包管理工作。

缺陷;在施工工艺上满足在低水位工况下带水作业需求,延长城市生命线的使用寿命。

表 1 现有非开挖修复工艺对比表(整体修复)

工艺	原位固化法	螺旋内衬法	短管内衬法	不锈钢内衬法
适用管径	紫外光化不大于1 600 热水翻法不大于2 200	不大于2 500	大于350	大于800
带水作业	否	可带水 1/3	可带水 1/3	否
施工周期	施工效率较快,周期较短	工序复杂度中等,周期较短	施工周期较短	施工效率较快,周期较短
成本	材料、设备投入高	成本适中	成本适中	成本较高
耐久性	耐腐蚀性强,适配长期稳定运行	寿命受内衬厚度影响	结构稳定性较好	耐腐蚀、抗磨损,寿命较长
工艺	折叠内衬法	喷涂法	3S 模块法	模筑法
适用管径	不大于600	不大于1 200	不大于2 000	大于2 000
带水作业	否	否	可带低水作业	否
施工周期	施工周期短	操作简单,施工周期短	工序多,施工周期长	施工周期较短
成本	成本较高	成本较低	人工、模块成本高	成本较高
耐久性	耐久性一般,用于轻度破损	适用于轻度腐蚀、渗漏,寿命较短	结构强度高,耐久性较好	稳定性强,耐久性较好

1 项目概况

排水管道不断水修复工艺集成试验基地占地300 m²,共设置3处试验区域,分别为“带水修复试验区”“水下清淤区”“不断水检测区”,见图1。本次项目是在“带水修复试验区”安装DN3500钢混凝土管,通过模拟排水干管低水位低流速的真实工况,来验证带水修复工艺的可行性。

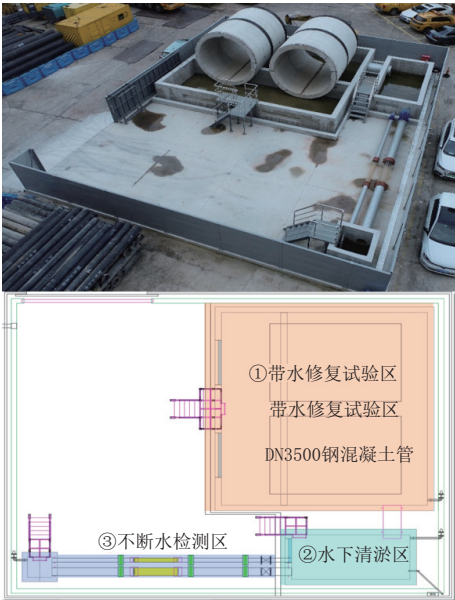


图 1 项目试验基地

根据泵站运行配合水位深度,灌水1 m深,模拟水下修复环境,水池隔墙前后,设置一台循环水泵,实现管道内水流效果。对DN3500混凝土管道进行预处理,模拟排水管道产生的结构性损坏,进行HDPE内衬管+壁后注浆带水修复试验。试验项目概况见表2。

表 2 试验项目概况表

试验研究对象	DN3500钢筋混凝土管,长度5.0 m
试验场景工况	低水位:100 cm
	低流速:0.5 m/s
试验场景工况	钢筋混凝土管顶底切断一层钢筋模拟结构受损最严重的排水主管
内衬修复结构	HDPE内衬管+壁后注浆+原管壁(见图2)
内衬修复材料	DN3000纤维增强HDPE承插式双壁缠绕管,壁厚100 mm
	(插口管节2.5 m重量为700 kg;承口管节2.8 m重量为780 kg)
	BSZJ-GD60型管涵构筑物修复注浆材料,注浆厚度135 mm

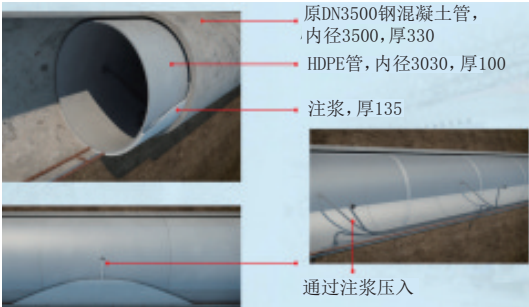


图 2 内衬修复复合结构

2 修复材料特性

2.1 HDPE内衬管材料特性

本次修复试验采用公称直径DN3000的HDPE管作为内衬管。两环方管通过焊条将方管两壁焊接在一起,形成“工”字形加强结构,见图3和图4。标准管节长度6 m每节,本次试验采用2.5 m每节,内径为DN3030,结构壁厚100 mm,环刚度为6 kN/m²。管节接口处采用单胶圈外承插口的形式,承口厚度50 mm,胶条采用双峰式(F型)遇水膨胀止水胶圈,胶条厚度20 mm,见图5。

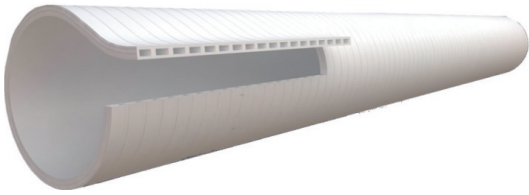


图3 HDPE 内衬管结构

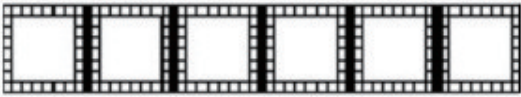


图4 工字型加强结构截面



图5 双峰式(F型)遇水膨胀止水胶圈

与普通大口径 HDPE 双壁缠绕管相比,纤维增强 HDPE 承插式双壁缠绕管的力学性能更好,环刚度高,环境适应性更强,能够更有效应对环境应力和高低温的冲击;此外,在相同环刚度等级下所耗原辅材料更少,生产成本更低,经济效益更好^[19-21]。

2.2 注浆材料特性

在修复试验管道与 HDPE 内衬管之间的空隙用聚合物改性水泥基单组分灌浆料注浆填实,等填实的注浆材料凝固后,与 HDPE 内衬管,加上原管壁一起构成新型复合内衬修复结构。此种灌浆料早期强度高、流动性和收缩补偿性能好,能有效提升原构筑物结构强度,快速填充修复模腔,有效防止材料自身收缩导致与原基面脱空,适合大体积施工^[22]。

聚合物改性水泥基单组分灌浆料技术参数指标见表 3。

3 施工工艺

3.1 总体工艺流程

本试验项目的总体施工工艺流程见图 6。

3.2 HDPE 内衬管施工

3.2.1 HDPE 内衬管施工工艺

管材出厂前加工→管材运输、进场→第一节管节吊装→第一节管材推进→第一节管节螺栓及限位块施工→管节润滑减阻→第二节管节吊装→第二节管材推进→管节承插口拼接→第二节管节螺栓及限位块施工→螺栓孔封堵。

表 3 聚合物改性水泥基单组分灌浆料技术参数指标

编号	BSZJ-GD60	
无机材料成分/%	≥97	
凝结时间	初凝/min	≤120
	终凝/h	≤6
抗压强度/MPa	1 d	≥20
	3 d	≥40
	28 d	≥60
抗折强度/MPa	1 d	≥3.5
	3 d	≥7.0
	28 d	≥9.5
黏结强度/MPa	28 d	≥1.5
抗渗压力/MPa	28 d	≥1.5
竖向膨胀率/%	24 h	≥0.02

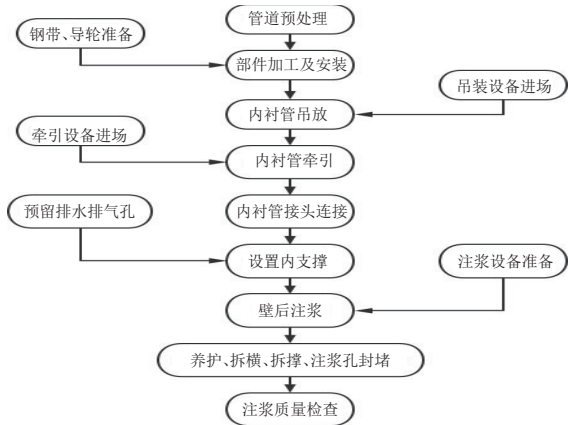


图6 HDPE 内衬修复流程示意

3.2.2 HDPE 内衬管施工流程

(1)管材出厂前加工。在每节 HDPE 管道出厂前,对 HDPE 管道进行预处理。在管道承口端和插口端各焊接一道环向加强钢带,钢带表面进行防锈处理。在钢带预设位置安装高强度尼龙导轮,导轮安装保证同轴度误差不大于 2 mm。同时在管道两端预埋专用吊装带槽位,采用环形尼龙吊带提前穿设,便于后续的吊装作业。

(2)管材运输、进场。采用低平板自卸汽车运输,车厢内铺设双排方钢轨道,管道导轮精准卡入方钢轨道限位槽。并且采用激光测距仪复核管道尺寸,检查导轮的完好率,确保运输安全。

(3)第一节管节吊装。采用汽车吊对 HDPE 管进行吊装作业,吊点的间距采用对称布置的形式。第一节管节安装方向为承口朝向前进方向,插口朝向推进设备侧。该管节设计长度 2.5 m,重量 700 kg,吊装时采用双钢丝绳兜吊法,离地后悬停 3 min 进行静载测试。

(4)第一节管材推进。管节进入既有管道后,利用预先安装的导轮系统形成滚动摩擦。施工作业采

用加长撬棍分两组对称施力,每推进0.5 m检测一次轴线偏差,控制推进速度不大于0.5 m/min。

(5)第一节管节螺栓及限位块施工。第一节管节就位后实测间隙数据,上部15 cm、左右各13 cm、下部12 cm。采用定制钢制限位块进行环向间隙填充,每间隔90°设置一组高强螺栓进行径向紧固。

(6)管节润滑减阻。在遇水膨胀橡胶条表面均匀涂抹专用高分子润滑剂,涂抹量控制在200 g/m。润滑作业在承插前10 min内完成,避免润滑剂过早挥发。

(7)第二节管节吊装。承口端管节长度2.8 m,重量780 kg。吊装时采用平衡梁装置,保证管节水平倾角不大于3°。随后对第二节管节进行清理承插口密封槽,以及检查橡胶条的完整性。

(8)第二节管材推进。第二节管材推进作业与第一节管材推进操作相同,在此基础上,需要增加激光导向仪进行实时监测,确保后续管材的顺利推进。

(9)管节承插口拼接。施工现场组装反力架,同时采用手拉葫芦进行对称牵引作业。施工现场进行管节拼接时需要控制前后管节的对接速度,并且利用液压千斤顶来校正管节拼接的同轴度,确保管节承插深度能够达到设计要求。

(10)第二节管节螺栓及限位块施工。就位后检测环向间隙均匀性,采用不同厚度的不锈钢垫片组进行微调。螺栓紧固遵循“十字对称、分级加载”原则,最终扭矩偏差不大于±5%。

(11)螺栓孔封堵。采用高密度泡沫对螺栓孔进行初步的嵌缝,在其表面采用聚硫密封胶进行二次密封。管底如果存在渗水情况,利用遇水膨胀橡胶条实现自密封,注入水溶性聚氨酯止水剂进行密封。

3.3 水下封堵施工

3.3.1 水下封堵施工工艺

封堵前准备→开启水泵、水下封堵→水上封堵、预埋观察管及注浆管→预埋排气管→抹面→清水置换。

3.3.2 水下封堵施工流程

(1)封堵前准备。施工现场搭设双排钢管脚手架,对搭设的脚手架设置双向斜撑确保其结构稳定性。准备烧结普通砖及快硬硫铝酸盐水泥,砖块需要提前洒水湿润。同时,检查防水照明设备以及应急排水泵的完好性。

(2)开启水泵、水下封堵。用大功率的潜水泵来模拟待修复管道内的污水流动状态。潜水作业人员穿戴连体防水裤以及呼吸面罩,使用双快水泥进行水下封堵作业。

(3)水上封堵、预埋观察管及注浆管。水上封堵采用M10水泥砂浆,封堵过程中按照4点、8点、10点钟方向预埋DN50透明观察管,1点钟方向预埋DN75钢制注浆管。管道焊接钢筋防止产生旋转,预埋管深入50 cm放置。

(4)预埋排气管。在封堵体顶拱最高点预埋DN30透明PVC排气管,管道呈倒U型布置,顶端高出预期注浆液面20 cm,并设置防堵塞滤网。

(5)抹面。采用防水水泥砂浆进行三道抹压,初凝前完成首层粗抹,终凝前对其进行二层精抹,最后采用钢抹子进行防水水泥砂浆的压光处理。

(6)清水置换:抹面养护24 h后,采用清洁水源进行分段置换,控制进水的流量,通过观察管监测内外水位差,置换完成之后进行静置12 h,并且检查封堵体是否有渗漏的情况。

3.4 注浆施工流程

(1)修复管道表面清理。对待修复管道内壁进行修复前清洗,清除待修复管道内壁的附着物、腐蚀层和其他疏松物质。使用机械刮刀对管道内壁的顽固污渍进行人工铲除,并且用压缩空气吹扫干净,确保管道内壁表面没有淤泥和其他杂质。

(2)涂抹防腐涂料。将环氧树脂基防腐涂料均匀地涂在待修复管道内壁表面。涂抹防腐涂料作业需进行两道涂刷,以此增强防腐涂料的附着力和耐腐蚀性。

(3)牵拉并定位。使用液压牵引机以及导向滑轮组进行牵拉施工作业,同时通过内置定位传感器进行实时监测装置的位置。

(4)气囊柱充气。在气囊柱里面注入压缩空气,施工时需注意气囊柱的两端要紧密封合在待修复管道的内壁^[22]。

(5)气囊柱支撑。气囊柱支撑作业使用液压支撑系统,支撑组件采用铰接的形式,确保压力能够均匀分布,形成稳定的环形支撑体系。

(6)气囊柱锁定。利用机械的自锁装置将支撑组件锁定在施工作业的位置,锁止部采用液压锁和机械锁双重保险锁定的形式,确保其在管道修复过程中不发生位移的情况。

(7)压力泵待带修复材料通过进料部输入到修复装置的修复工位,当修复材料从出料部排出后,停止压力泵^[22]。

(8)修复材料在固化过程中与预先涂覆的防腐涂料发生分子级结合,形成互穿网络结构。

(9)养护24 h后,待修复材料达到设计强度,依次解除锁止装置、收缩支撑组件、缓慢释放气囊压力,最后采用牵引设备将修复装置平稳取出。

4 效果检查

本试验项目共有4个工况,见图7。

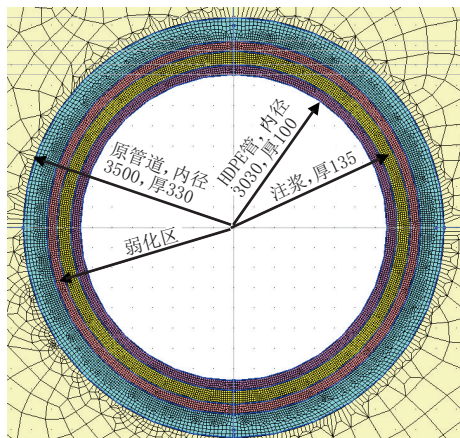
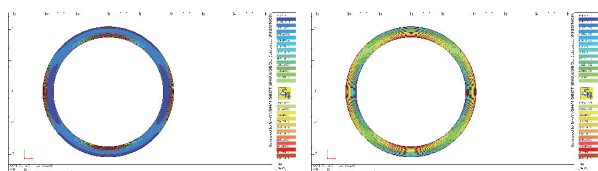


图7 工况模型示意

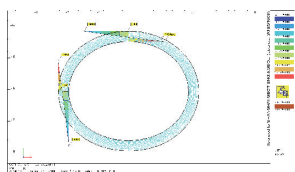
(1)工况一:初始状态,原有结构未腐蚀前

初始状态下,最大应力区出现在顶底左右两侧的中部,顶底内侧受拉(最大3072 kPa),外侧受压(最大1016 kPa);左右两侧外侧受拉(最大3246 kPa),内侧受压(最大933 kPa)。初始状态应力分布见图8。



(a)初始,拉应力区,红色

(b)初始,压应力区,蓝色



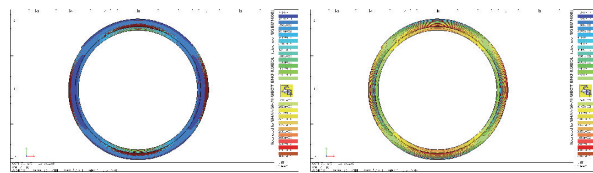
(c)初始-两个典型剖面处的正应力

图8 初始状态应力分布

(2)工况二:腐蚀弱化后的应力重分布,弱化厚度10 cm

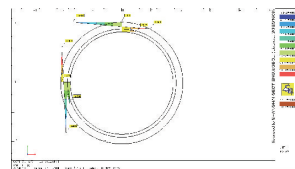
腐蚀弱化后,最大应力区出现在顶底左右两侧的中部,外侧最大应力区不变,内侧最大应力内移至未腐蚀部分的最内侧,顶底内侧受拉(最大3499 kPa),外侧受压(最大1289 kPa);左右两侧外侧受拉(最大3696 kPa),内侧受压(最大1188 kPa),比较初始状态,有着14%~27%的增幅。腐蚀弱化后应力分布见图9。

(3)工况三:HDPE内衬管+注浆修复后



(a)腐蚀,拉应力区,红色;
弱化腐蚀,拉应力区,红色

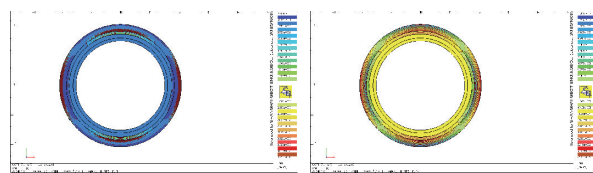
(b)弱化腐蚀,压应力区,蓝色



(c)弱化-两个典型剖面处的正应力

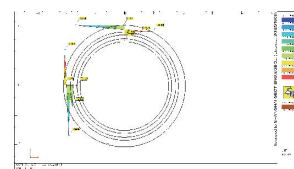
图9 腐蚀弱化后应力分布

HDPE内衬管+注浆修复后,相对弱化腐蚀工况,最大应力区无变化,顶底内侧受拉(最大3518 kPa),外侧受压(最大1295 kPa);左右两侧外侧受拉(最大3715 kPa),内侧受压(最大1194 kPa),注浆加固区应力为1~8 kPa,不会分担原结构应力,其自身重力会影响应力分布。HDPE内衬管+注浆修复后应力分布见图10。



(a)拉应力区

(b)施加荷载前,压应力区



(c)加固后-两个典型剖面处的正应力

图10 HDPE内衬管+注浆修复后应力分布

(4)工况四:地表施加荷载20 kPa后造成的附加应力

地表施加荷载20 kPa后,最大应力区无变化,顶底内侧受拉(最大3625 kPa),外侧受压(最大1360 kPa);左右两侧外侧受拉(最大3830 kPa),内侧受压(最大1255 kPa),注浆加固区应力为15~90 kPa,会分担部分附加应力。施加荷载后应力分布见图11。

有限元分析结果显示,初始状态顶底内侧拉应力3072 kPa、左右外侧拉应力3246 kPa;10 cm腐蚀层导致结构应力增加14%~27%,极大地降低了安全系数。修复后原结构应力基本不变,注浆区的应力为1~8 kPa,保障原结构稳定性;地表施加20 kPa荷载后,修复结构能有效分担外部的荷载,注浆区应力升至15~90 kPa,注浆层发挥协同受力的作用,分担部分附加的应力。

注浆层的核心作用体现在填充了原管道与

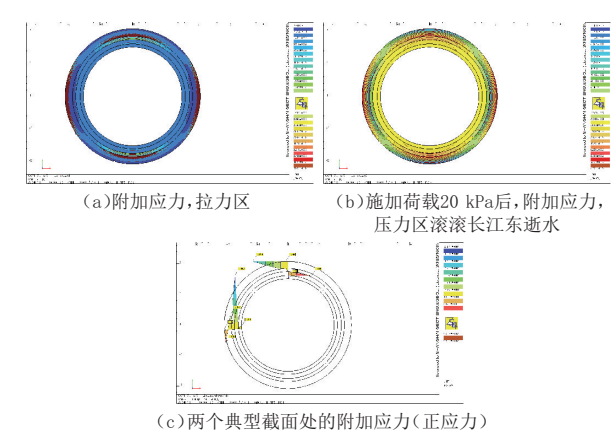


图 11 施加荷载后应力分布

HDPE 内衬管之间的间隙,防止内衬管脱空,是修复结构协同的关键纽带。注浆层在常态下不承担主体应力,在荷载的作用下协同受力,同时形成防腐隔离的屏障,加强了复合结构整体的稳定性和抗荷载能力。

通过项目试验,我们发现本次技术研究中 HDPE 内衬管+壁后注浆+原管壁的修复工艺在几乎不改变原结构受力状态的情况下,大幅提升了管道的承载能力和耐久性能,弥补了管道结构性和功能性的缺陷,在施工工艺上满足低水位工况下带水作业需求,延长特大口径排水干管的使用寿命。

5 耐久性与安全分析

5.1 HDPE 内衬管性能稳定性分析

本项目研究中使用的纤维增强 HDPE 承插式双壁缠绕管具有“工”字型加强结构,并且在管道承口端和插口端各焊接一道环向加强钢带,这种结构可以显著提升修复后管道的抗老化能力。

模拟管道在自然条件下长期服役的环境,包括高低温循环以及化学腐蚀等情况,进行加速老化试验。我们发现,纤维增强 HDPE 管 6 kN/m² 的初始环刚度在中性土壤环境中长期服役的衰减率仅为 5.2%,并且在 pH 为 3~4 的酸性地下水环境中衰减率也可以控制在 8% 以内,这表明了纤维增强层对化学侵蚀等恶劣环境有较好的阻隔作用。

此外,纤维增强 HDPE 管管节接口处采用的是 20 mm 厚双峰式(F 型)遇水膨胀止水胶圈,并且以“高密度泡沫嵌缝+聚硫密封胶二次密封”的形式对螺栓孔进行封堵。浸水老化试验之后我们发现,当管底渗水时,遇水膨胀止水胶圈自密封与水溶性聚氨酯止水剂共同作用,有效阻断了地下水的渗入,试验条件下管道的密封性能保持率大于 90%,进一步提高了管道的耐久性。

5.2 注浆层与复合结构黏结稳定性分析

聚合物改性水泥基单组分灌浆料与在原管壁内壁两道涂刷的环氧树脂基防腐涂料形成分子级互穿网络结构,大幅提升了界面的黏结稳定性。加速老化试验显示,长期服役环境下注浆层与原管壁的黏结强度保持率仍可以达到 65% 以上,并且黏结强度远高于防止界面脱空所需的临界值。

同时,注浆施工过程中的“气囊柱支撑+压力注浆”工艺可使复合结构有效避免因材料收缩而导致的脱空风险,增强了注浆层与复合结构黏结的稳定性。

5.3 施工安全控制措施

关键工序施工安全控制措施见表 4。

表 4 关键工序施工安全控制措施

关键 工序	主要 风险	施工安全控制措施
管材运 输与吊 装	物体 打击	1. 调运过程中安排信号指挥操作; 2. 调运路线下严禁站人或垂直交叉作业; 3. 检查调运钢丝绳是否有脱扣、起毛、断裂等安全隐患; 4. 要做到“十不吊”; 5. 正式吊装前要进行 700 kg 管节试吊
	起重 伤害	1. 确保特种设备年度检验,做好日常保养维护工作; 2. 起重机驾驶员、指挥及司索工必须经过专业培训,取得特种工种操作证; 3. 起吊前,必须检查吊车及挂钩、吊绳安全状况、措施落实及物品绑扎情况;吊装中,安排专人进行指挥和安全监护;吊装区域设置护栏与外界隔离
HDPE 管推进	机械 伤害	1. 专项机械操作人员应经过专业培训,取得操作证、上岗证后持证上岗; 2. 必须穿戴劳动保护品; 3. 机械必须按照出厂使用说明书规定的技术性能、承载能力和使用条件、正确安装与操作、合理使用,严禁超载作业或任意加大使用范围; 4. 机械使用过程中加强巡视检查,发现问题,及时妥善处置; 5. 工作区域应设置警戒区,无关人员不得在此停留
	触电	1. 安排专业电工定期进行隐患排查; 2. 顶管加节电源由专人负责切断; 3. 非专业电工不得进行接电
水下封 堵作业	中毒、 窒息	1. 对送风设备进行定期维保,确保正常使用; 2. 作业前查看通风设备是否运行良好; 3. 管道内部作业发现通风设备故障时,要立即撤离出洞
	坍塌	1. 实时监测封堵体稳定性; 2. 设置可靠的防倾覆措施
注浆 施工	压力设 备爆裂	1. 注浆压力泵使用前进行耐压试验,压力表定期校验; 2. 注浆时严禁正对注浆孔,防止浆液喷溅;
	化学品 伤害	3. 防腐涂料等化学品单独存放,使用时佩戴防毒面具和手套

6 结 语

本项目研究从修复结构、施工工艺、材料选择等多角度研究HDPE内衬管排水管道低水位修复技术,提出了针对特殊施工工况下无法实施临排的有效解决方案,填补了当前技术领域的空白,具有重要的技术创新价值,为城市污水干线的维护和管理提供了新的解决方案和技术支撑。

参考文献:

- [1] 上海市人民政府办公厅.上海市人民政府办公厅关于印发《上海市水系统治理“十四五”规划》的通知.沪府办发〔2021〕9号[Z].上海:上海市人民政府办公厅,2021.
- [2] 上海市人民政府办公厅.上海市人民政府办公厅关于印发《本市系统化全域推进海绵城市建设的实施意见》的通知.沪府办发〔2024〕第3号[Z].上海:上海市人民政府办公厅,2024.
- [3] 上海市人民政府办公厅.上海市人民政府办公厅关于印发《上海市城市管理精细化“十四五”规划》的通知.沪府办发〔2021〕20号[Z].上海:上海市人民政府办公厅,2021.
- [4] DG/TJ08-2354—2021 城镇排水管道非开挖修复技术标准[S].
- [5] 周翔.浅谈城市管道非开挖内衬修复技术的运用[J].建筑与预算,2021(10):107-109.
- [6] 岑彪,岑明.非开挖技术在城市排水管道修复工程中的实践[J].中国建筑金属结构,2024,23(12):73-75.
- [7] 李涛.排水管道非开挖修复技术在城市地下工程中的应用[J].科学技术创新,2024(23):155-158.
- [8] 张大华.城市超大直径污水管道非开挖修复施工技术的应用[J].建筑施工,2022,44(10):2420-2424.
- [9] 刘慧.混凝土管内衬HDPE管修复施工工艺[J].河北水利,2020(8):47-48.
- [10] 郑华.HDPE双壁波纹管-CIPP内衬复合结构受力特性研究[J].人民长江,2024,55(5):196-205.
- [11] 朱其凯,方华.污水管道HDPE内衬短管关键施工技术研究[J].建筑施工,2024,46(12):2051-2053;2058.
- [12] 薛舒心,郭跃华,袁堂龙,等.城市排水管道管片内衬修复技术国内外标准对比[J].中国给水排水,2025,41(4):27-33.
- [13] 麻翔.管片拼装内衬法在长距离排水管道修复中的应用[J].建筑施工,2024,46(9):1456-1459.
- [14] 李祖靖.关于市政给排水施工中的非开挖修复施工技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024(27):190-192.
- [15] 李前进.雨、污水管道非开挖修复施工之中的施工难点及应对措施[J].城市建设理论研究(电子版),2024(23):208-210.
- [16] 谢敬永.多种修复工艺结合在长距离排水管道非开挖修复中的应用[J].工程建设与设计,2025(5):209-211.
- [17] 刘自君,段建义.城镇排水管道紫外光内衬固化修复施工难点及对策分析[J].工程技术研究,2024,9(2):220-222.
- [18] 李果.城市排水管道缺陷统计分析及修复[J].特种结构,2024,41(5):66-70.
- [19] 苏长裕,郑敏,王鹏,等.玻纤增强HDPE双壁缠绕管.中国,CN201220276542.8[P].2013-02-13.
- [20] 张达石,柳献,张晨光,等.HDPE管内衬盾构隧道复合式衬砌结构极限承载力试验研究[J].特种结构,2024,41(1):41-48.
- [21] 黄金明,周质炎,李修富,等.内衬高密度聚乙烯钢筋混凝土管的应用研究[J].城市道桥与防洪,2022(4):195-197;203.
- [22] 董家晏,王艾凯,季敏捷,等.一种用于在役管道带水结构修复的装置及方法.中国,CN202210102109.0[P].2022-01-27.