

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.06.002

螺旋缠绕法用于超大口径排水管道非开挖修复

张盈秋^{1,2}, 王 丰^{1,3}, 杨万航^{1,3}

(1. 九江市三峡水环境综合治理有限责任公司, 江西 九江 332001; 2. 中国建筑第二工程局有限公司, 北京 101101; 3. 长江生态环保集团有限公司, 湖北 武汉 430062)

摘 要: 排水管道非开挖修复技术具有对环境影响小、工作效率高等优势,已被广泛应用于实际工程,但长度超过5 km、管道直径达2 000 mm的非开挖修复案例较少。九江市十里河截污管道管径为DN2 000~2 200, CCTV资料显示该管道缺陷率高,需进行修复。结合管道现状,将机械制螺旋缠绕技术用于十里河超大口径截污管道非开挖修复。修复过程中攻克了大水量超长距离导排难度大、大管径修复工艺不成熟、有限空间作业安全风险大等难题,圆满完成了工程任务, CCTV检测结果显示,修复效果良好。

关键词: 机械制螺旋缠绕法; 超大口径排水管道; 非开挖修复

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)06-0005-05

Application of Spiral Winding Method in Trenchless Repair of Super Large Diameter Drainage Pipeline

ZHANG Ying-qiu^{1,2}, WANG Feng^{1,3}, YANG Wan-hang^{1,3}

(1. Jiujiang Three Gorges Water Environment Comprehensive Treatment Co. Ltd., Jiujiang 332001, China; 2. China Construction Second Engineering Bureau Ltd., Beijing 101101, China; 3. Yangtze Ecology and Environment Co. Ltd., Wuhan 430062, China)

Abstract: Trenchless repair technology of drainage pipeline has been widely applied in practical engineering due to its advantages of low environmental impact and high work efficiency. However, there are few trenchless repair cases for pipes with length of more than 5 km and diameter of 2 000 mm. The diameter of Shilihe sewage interception pipeline in Jiujiang is between DN2 000 and DN2 200. CCTV data showed that the pipeline had a high defect rate and needed to be repaired. According to the current situation of pipeline, mechanical spiral winding technology was applied for trenchless repair of Shilihe sewage interception pipeline with a super large diameter. In the process of repair, problems such as difficult to discharge large amount of wastewater over long distance, immature repair process of large pipe diameter and high safety risk of limited space operation were overcome, and the engineering task was successfully completed. CCTV test results showed that good repair performance was obtained.

Key words: mechanical spiral winding method; large diameter drainage pipeline; trenchless repair

市政排水管网是保障城市正常运转和居民正常生活的重要基础设施,在城市防治水污染和防洪排

涝方面具有关键性的作用。随着城市不断发展,排水负荷过大,运营维护工作不到位,导致现状排水管道普遍存在结构性及功能性缺陷,如破裂、错口、脱节、变形、腐蚀、异物穿入、障碍、沉积等^[1],大量超过三级的功能性、结构性缺陷^[2]已严重影响管道使用,需尽快进行修复处理。非开挖修复技术因其对交通、环境影响小,效率高等一系列优势被广泛应用于排水管道修复工程中,但长度超过5 km、管道直径达2 000 mm的非开挖修复案例较少。机械制螺旋缠绕技术材料占地面积较小、施工机动灵活^[3]、可带水作业^[4],且管道修复后内壁光滑,强度提升,既解决了管道渗漏、破损等问题,也延长了管道的使用寿命。在九江市十里河超大口径排水管道修复工程案例中即采用了机械制螺旋缠绕修复技术。

1 工程概况

九江市十里河(长虹西大道—鹤问湖污水处理厂)截污管道总长约5.8 km,以钢筋混凝土管为主,管径为DN2 000~2 200,平均埋深约10 m,截污管道位置分布见图1。该管段于2011年建设完成,已运行近10年,经过清淤及管道CCTV检测,十里河大口径管道共发现缺陷563处,同时管道存在大量渗漏点,部分管道存在严重的脱节、错位缺陷,直接影响提质增效工程效果及十里河下游河道水质。为确保十里河河道水质长期稳定达标,污水厂进水浓度持续提升,决定对该管道进行修复。该管道表面为景观步道或市政道路,不具备开挖修复的条件,根据管道重要性、缺陷类别、损坏程度、影响范围以及修复目标等因素^[5],提出了原位固化法(热水翻转法)、机械制螺旋缠绕法、喷涂法三种方案^[6],并对方案进行了反复论证和比选,最终选用机械制螺旋缠绕法对该管道进行非开挖修复。



图1 十里河截污管道分布

Fig.1 Distribution of sewage interception pipeline of Shilihe

2 工艺原理

机械制螺旋缠绕法工艺是将可拆解的缠绕机在井下完成组装,将预制好的PVC-U带状型材及不锈钢带通过原有检查井不断输送到井下的缠绕机上,缠绕机将带状型材及不锈钢带同步缠绕行进,在原有管道内螺旋旋转缠绕成一条固定口径的连续无缝的结构性防水内衬管,并在原管道和内衬管之间的空隙注入水泥砂浆填充,从而形成一条水密性良好、强度高的加强型新管。

3 施工步骤

① 扩井施工

施工时选用待修复管段两端检查井进行螺旋缠绕作业,如现场检查井井口直径较小,则需对现状井筒进行扩大,根据现场调查及地质情况,本工程采取挂网喷锚的施工工艺进行扩井施工。

② 封堵导排

采用与待修复管道匹配的气囊对待修复管段上下游进行封堵,以防止上游管道来水进入管道。气囊封堵完毕后,在起始井下游管口安装加厚挡水钢板,进一步保证封堵安全。封堵完成后,采用“一体化抽水设备抽水+导流管”的导排方式,铺设防爆型导流管对待修复管段进行导排。

③ 管道疏通

根据现场管道情况,选择联合冲洗车和高压水冲洗对管道进行疏通,从下游井口开始施工,将喷嘴和软管放入管道内,打开泵之前,将喷头置于管道末端。喷头必须处于运动状态,避免损伤管道。将喷头送入待清洗管道内,然后在回拉过程中将管道内杂物冲洗到下游工作井中,并移除杂物。

管道高压清洗的同时,由于管道下游已经封堵,清洗喷头水射流冲出来的污水,无法正常排除,所以要用吸污车或泥浆泵对检查井内清洗出的污水等混合物进行抽运,以便于高压喷头清洗出来的泥沙、污水可以继续顺畅排出管道。

管道清淤后,需对管道内壁进行清洗,以去除管道内壁可能附着的树根、杂草等杂物,尽可能使管道内壁顺滑,以减小后续螺旋缠绕修复管道向前推进的阻力。

④ CCTV检测

管道疏通后,按照《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012)要求,对待修复管道进

行 CCTV 检测和评估,判断管段缺陷等级。根据 CCTV 检测结果,十里河大直径管道发现缺陷 563 处,大量结构性及功能性缺陷已影响管道排水功能,需立即进行处理。针对管道结构性缺陷,计算其结构性缺陷密度(SM), $0.1 \leq SM \leq 0.5$ 且缺陷数量 ≥ 3 或 $SM > 0.5$ 时,采用螺旋缠绕法对管道进行整体修

复。对管道内的沉积、障碍物、浮渣等功能性缺陷采用管道疏通的方式予以修复。

⑤ 管道预处理

管道螺旋缠绕修复前,需对管道进行预处理并达到缠绕要求。

具体预处理方法见表 1。

表 1 管道缺陷预处理方法

Tab.1 Pretreatment methods for pipeline defects

缺陷类型	缺陷情况	预处理方法
脱节	宽度<5 cm	清除脱节处的杂物,深度为管壁厚度的 50%。清除后用快干水泥或高强度砂浆抹平
	5 cm≤宽度≤15 cm	先对管外土质注浆加固,土体稳定后,采用高强度砂浆或快干水泥抹平
	宽度>15 cm	先对管外土质注浆加固,土体稳定后,在脱节处增加钢筋网片,采用高强度砂浆或快干水泥抹平
错口	高度≤3 cm	在接缝处注化学浆液,并用快干水泥进行抹平处理
	高度>3 cm	先对错口处进行剔凿,使其基本平顺,再进行化学注浆和快干水泥抹平
渗水	管壁渗水	先开泄压孔将水压泄掉,对周边区域采用快干水泥进行封堵,辅助化学注浆,向渗水区域注浆全面封堵,稳定固化漏水区域土质后,再将泄压孔堵死
	管接缝渗水	采用化学注浆法进行处理,水量太大时,使用不锈钢双胀圈进行处理
腐蚀	腐蚀未超过混凝土保护层	将腐蚀混凝土表面松动混凝土凿除后,采用钢丝毛刷清理干净。混凝土表面涂刷界面剂,然后采用高强度砂浆抹面,砂浆抹面高度不超过原管壁
	腐蚀超过混凝土保护层	先将裸露处腐蚀的钢筋表面清理干净,将表面松动混凝土凿除、清理干净,钢筋表面涂刷钢筋除锈剂,混凝土表面涂刷界面剂后,采用高强度砂浆抹面

⑥ 缠绕制管

将由液压驱动头和缠绕模具组成的缠绕设备拆解后放入检查井内,设备再进行组装,设备轴线与管道轴线保持一致,型材和钢带通过检查井由地面送入井内进行缠绕施工,型材缠绕速度控制在 15~18 m/min。当管道长度太长或有其他影响缠绕作业的特殊情况时,可由另一侧检查井进行反向缠绕,在中间位置进行对接。根据现场实际情况及相关缠绕经验,施工时保证管道内储存 30~40 cm 的水量(且保证存水流动),存在浮力作用,防止缠绕材料与管道相碰撞,发生卡管现象。

⑦ 管道注浆

将新缠绕好的管道与原有管道交口处进行封堵,并用水泥浆注入新管道与原管道的缝隙处。当内衬管道完全安装好后,对新旧管道的缝隙进行封堵,封堵的厚度不小于 200 mm。在进行封堵砌筑时,在管道两侧环形间隙 2 点、10 点、12 点的位置分别埋设注浆管,一侧用于注浆,另一侧用于放气和观察,注浆管直径 40 mm,外部留出 100~200 mm,待封堵材料固化 12 h 后即可进行注浆,由注浆管进行注浆,以填补新旧管道之间的间隙,注浆完成后密

封注浆孔,并对管道端头进行平整处理。

⑧ 管道检测

施工完成后,通过 CCTV 检测对已修复管道进行全数检查,修复后内衬更新的管道应无褶皱、滴漏、渗水等现象;内衬表面应光洁、平整,无局部划伤、气泡、褶皱、裂纹等影响管道结构和功能的损伤和缺陷。

4 工程难点

① 大水量超长距离导排

十里河截污管污水收集范围包括两河片区、八里湖新区及经开区部分区域,收水面积较大,污水量较多,且存在破损点位与河水贯通的现象,致使管内流量长期保持 $(16\sim17)\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$,常年处于满流状态且流速在 0.8~1 m/s 之间。由于原管道水量大、流速高,同时近 6 km 导排超越难度全国罕见,经过多次技术方案研讨,确定采取“一体化抽水设备抽水+导流管”的临时排水措施进行导排,以解决污水临时排水问题,一体化抽水设备及导流管导排方案见图 2。

项目采用一体化抽水泵进行抽水,施工现场共配备 3 500 m³/h 排水量抽水泵 3 台,3 000 m³/h 抽水

泵4台,2 300 m³/h 抽水泵2台,1 300 m³/h 抽水泵4台;为了确保排水安全性,采用“一用一备”的导排方式进行施工。导排采用防爆型导流管,铺设导排管道共计10.116 9 km,其中DN1 000导排钢管1 608 m,DN800钢管6 066.6 m,占比75.8%,每日抽水量为(12~16)×10⁴ m³,满足现场正常导排工作需求。

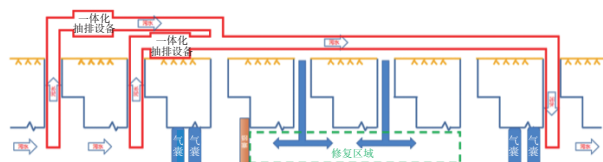


图2 一体化抽水设备及导流管导排示意

Fig.2 Schematic diagram of integrated pumping equipment and guide pipe

本工程导排水流量较大,导排管道内部水流为满管状态,由于虹吸效应,导致管道需要承受一定程度外压,为了解决外部气压对导排管道挤压的问题,在导排管道上设置排气阀。由于导排距离过长,为了克服沿程水头损失,在沿程设置增压水箱以保障导水顺利运行。

② 超大管径修复材料参数确定

机械制螺旋缠绕修复技术可用于DN600~3 000排水管道修复,且修复过程占地较小、施工机动灵活、可带水作业、无需破坏井室,适用于本工程超大口径排水管道非开挖修复。

直径≥2 m的大口径污水管道修复成功案例在国内极为罕见,为保证修复质量及修复效果,施工前对修复材料、注浆方案进行了反复论证及试验,决定采用钢塑加强型机械螺旋缠绕修复技术,且经受力计算,加厚了卷材厚度。修复材料选用91-25型聚氯乙烯(PVC-U)带状型材,1.2 mm厚度奥氏体不锈钢带,具体参数见表2。

螺旋缠绕完成后,在新缠绕好的管道与原有管道交口处将水泥浆注入新管道与原管道的缝隙,用以填充新旧管道之间的间隙。注浆采用水灰比为1:1的浆液,压力控制在0.1~0.15 MPa,注浆需分三次进行,第一次注浆量控制在浆液高度达管道直径30%处即止,待浆液初凝后进行第二次注浆,注浆60%,浆液初凝后,进行第三次注浆。在规定压力下,灌浆孔停止吸浆,延续灌注5 min即可封闭注浆口。

表2 修复材料及参数

Tab.2 Repair materials and parameters

材料	项目	性能参数	测试方法
PVC-U 型材	拉伸弹性模量/ MPa	2.78×10 ³	GB/T 1040.2—2006
	拉伸断裂应力/ MPa	46.4	
	断裂标称应变/%	154	GB/T 1040.2—2006
	弯曲强度/MPa	68.2	GB/T 9341—2008
	刚度系数/(MPa· mm ³)	8.72×10 ⁶	CJJ/T 210—2014
钢带	弹性模量/GPa	194	GB/T 22315—2008
	材质	不锈钢,Ni 含量1.1%	YB/T 4396—2014

③ 有限空间作业安全风险把控

大水量长距离导排过程中如果存在封堵不到位、抽排能力不足的问题,则井下作业存在极大的安全风险。同时管道施工涉及有限空间作业,污水管道中存在硫化氢、甲烷等多种有毒气体,存在中毒、缺氧及爆炸等危险。

为了保证施工安全,在导排施工段前后采用“双气囊+钢板封堵”的作业方式彻底隔绝修复段上下游来水。封堵遵循先上游后下游的封堵方式,上游井位封堵2个气囊,下游封堵2个气囊。高压气囊直径2 000 mm,质量约330 kg,可承受极限压力0.6 MPa。气囊封堵完毕后,在起始井下游管口安装加厚挡水钢板,钢板封堵采用安全防水冲钢塞,进一步保证封堵安全。封堵完成后,建立专人巡查机制,对每个井位水位上升及溢流情况进行巡视,并建立应急预案,确保井下施工人员安全。

人员下井作业前现场进行强制通风,以有效降低作业井内有毒气体浓度和提高氧气含量,同时严格进行气体检测,随时了解和掌握井内气体情况,及时采取有效防护措施,以达到井下作业气体安全规定的标准,为作业人员创造一个安全、良好的作业环境。

5 修复效果

该工程完工后,CCTV检测结果显示,清淤、修复后,管道内无影响管道结构和功能的损伤和缺陷,管道内壁光滑,强度显著提升。本工程的实施减少了外水入渗及污水渗漏现象,为十里河河道水质达标及鹤问湖污水处理厂进水浓度提升提供了有力的保障。

修复前、后管道对比情况见图3。



a. 修复前

b. 修复后

图3 管道修复前、后对比

Fig.3 Comparison of pipeline before and after repair

6 结语

采用非开挖修复技术进行排水管道修复可以避免开挖路面,缓解交通压力,降低不良社会影响,节约资源、时间投入,是现阶段非常有效的技术手段。机械制螺旋缠绕法因其超高强度、可带水作业、进退自由、施工简便等优势,已被行业内广泛使用,修复效果良好。

本工程采用机械制螺旋缠绕技术成功修复直径达2 m的排水管道,创造了国内外超大口径排水管道非开挖修复的先例。未来随着技术的不断改进与创新,机械制螺旋缠绕法在超大口径排水管道修复工程中将会有更为广阔的前景。

参考文献:

- [1] 李琰,陈雨喆,杨紫维. 城市排水管道非开挖修复工艺优选与实践[J]. 工业技术创新, 2018, 5(2): 65-69.
LI Yan, CHEN Yuzhe, YANG Ziwei. Optimization and practice on non-excavation rehabilitation process for urban drainage pipelines [J]. Industrial Technology Innovation, 2018, 5(2): 65-69 (in Chinese).
- [2] 安关峰,梁豪,刘添俊. 大口径排水干管非开挖修复成套技术应用探讨[J]. 给水排水, 2017, 43(9): 93-96.

AN Guanfeng, LIANG Hao, LIU Tianjun. Discussion on application of trenchless repairing technology for large diameter drainage [J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(9): 93-96 (in Chinese).

- [3] 王刚,王卓. 机械式螺旋缠绕管道非开挖带水修复技术应用案例[J]. 中国给水排水, 2018, 34(6): 120-122.
WANG Gang, WANG Zhuo. Trenchless pipe rehabilitation using machine wound spiral lining technology with water flow [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(6): 120-122 (in Chinese).
- [4] 孙跃平. 管道非开挖修复技术的分类和设计[J]. 中国给水排水, 2005, 21(9): 37-39.
SUN Yueping. Classification and design of trenchless technology for pipe rehabilitation [J]. China Water & Wastewater, 2005, 21(9): 37-39 (in Chinese).
- [5] 范秀清,欧芳,王长青. 城市排水管道非开挖修复技术探讨[J]. 市政技术, 2012, 30(1): 67-70, 74.
FAN Xiuqing, OU Fang, WANG Changqing. Study on trenchless repair technology of urban sewer [J]. Municipal Engineering Technology, 2012, 30(1): 67-70, 74 (in Chinese).
- [6] 周杨军,蒋仕兰,解铭,等. 非开挖修复技术在城市排水管道维护中的应用[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20): 58-62.
ZHOU Yangjun, JIANG Shilan, XIE Ming, et al. Application of trenchless repair technology in urban drainage pipeline maintenance [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20): 58-62 (in Chinese).

作者简介:张盈秋(1997-),女,黑龙江黑河人,大学本科,助理工程师,主要从事水环境治理建设管理工作。

E-mail:zhangyingqiu20@163.com

收稿日期:2021-11-19

修回日期:2021-11-29

(编辑:孔红春)