

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.10.020

# 钢套筒和热塑成型工艺联用于排水管道非开挖修复

江旺<sup>1</sup>, 时洪涛<sup>1</sup>, 肖子豪<sup>1</sup>, 李先华<sup>2</sup>, 余屿锋<sup>2</sup>

(1. 中国三峡建工<集团>有限公司, 四川 成都 610095; 2. 长江生态环保集团有限公司, 湖北 武汉 430062)

**摘要:** 非开挖修复技术因其环境影响小、施工工期短、成本低等优点而受到广泛关注。实际施工过程中,往往采用单一非开挖修复技术对缺陷管道进行修复,采用组合式非开挖修复技术的案例较少。重庆市某区县城排水管道修复工程采用钢套筒和热塑成型联合工艺对三、四级结构性缺陷进行非开挖修复,介绍了该工艺的技术原理、施工步骤、质量控制及验收情况,并对修复效果、过流能力、造价等进行了分析。结果表明,采用钢套筒和热塑成型工艺修复后管道内壁光滑,无渗漏点,管道修复后与修复前的过流能力比值为103%,过流能力略有提高。以DN600的管道为例,综合修复单价为6 096元/m。

**关键词:** 排水管道; 非开挖修复; 钢套筒; 热塑成型工艺; 功能性缺陷; 结构性缺陷; 过流能力

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)10-0121-05

## Application of Steel Sleeve and Thermoplastic Molding Combined Process in Trenchless Repair of Drainage Pipes

JIANG Wang<sup>1</sup>, SHI Hong-tao<sup>1</sup>, XIAO Zi-hao<sup>1</sup>, LI Xian-hua<sup>2</sup>, YU Yu-feng<sup>2</sup>

(1. China Three Gorges Construction <Group> Co. Ltd., Chengdu 610095, China; 2. Yangtze Ecology and Environment Co. Ltd., Wuhan 430062, China)

**Abstract:** Trenchless restoration technology has been widely concerned because of its advantages such as low environmental impact, short construction period and low cost. In the actual construction process, the single trenchless repair technology is often used to repair the defective pipeline, while the combined technology is rarely used. The combined process of steel sleeve and thermoplastic molding is adopted to repair the third and fourth grade structural defects of drainage pipes in a district of Chongqing. The technical principle, construction steps, quality control and acceptance of this process are elaborated, and the repair effect, flow capacity and cost are analyzed. The results show that the inner wall of the pipeline is smooth and there is no leakage point after the repair by the steel sleeve and thermoplastic molding process. The ratio of the flow capacity of the pipeline after and before repair is 103%, and the flow capacity is slightly improved. Taking the DN600 pipeline as an example, the comprehensive repair price is 6 096 yuan/m.

**Key words:** drainage pipe; trenchless restoration; steel sleeve; thermoplastic molding process; functional defect; structural defect; flow capacity

城市排水管道不仅在城市发展中具有不可或缺的作用,在水污染防治和防洪排涝方面同样有着突

出的贡献。但随着城市的不断建设,地下排水管道过流能力不足、腐蚀破损、渗漏、变形、沉降等问题层出不穷,严重影响了城市排水体系的安全运行,因此,对地下管网进行修复迫在眉睫。由于地下排水管网大多处于城市主干道,开挖修复势必会对城市运行和形象造成一定影响,因此更加友好的非开挖修复技术<sup>[1]</sup>越来越受到相关部门的关注。常用的非开挖修复工艺包括:热塑成型法、原位固化法(CIPP)、钢套筒法、碎(裂)管法、螺旋缠绕法<sup>[2]</sup>等,非开挖修复技术亦因其对周围的影响小、工期短、社会成本低等优点<sup>[3]</sup>而成为城市管道修复的最佳选择。但是当排水管道特别是三、四级结构性缺陷较多时,采用组合式非开挖修复工艺的实际应用较少。重庆市某区雨污管网综合整治工程由于排水管网缺陷较严重,采用“钢套筒+热塑成型”联合工艺对排水管道进行修复,可为类似工程提供参考。

### 1 工程概况

该工程针对现状管网,主要解决城市排水管网破损、渗漏及堵塞严重等问题。该工程涉及排水管网约5.6 km,均为波纹管 and 钢筋混凝土管,管径为DN600,平均埋深约4.5 m。经CCTV检测,排水管网缺陷统计见表1。

表1 地下排水管网缺陷统计

Tab.1 Statistics on defects of underground drainage pipe

缺陷类型	结构性缺陷				功能性缺陷			
	一级	二级	三级	四级	一级	二级	三级	四级
缺陷数/个	97	108	56	35	76	23	9	7
合计/个	296				115			
占比/%	69		31		86		14	

从表1可知,该区域管网中结构性缺陷占比72%,功能性缺陷占比28%。在结构性缺陷中,一、二级缺陷占比69%,三、四级缺陷占比31%。结构性缺陷主要包括破裂、腐蚀、渗漏、脱节、错口等,具体如图1所示。

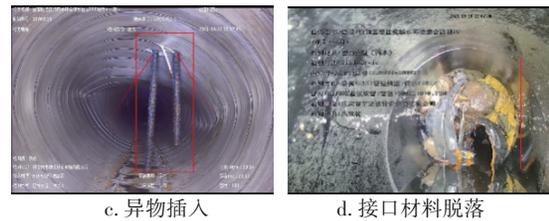
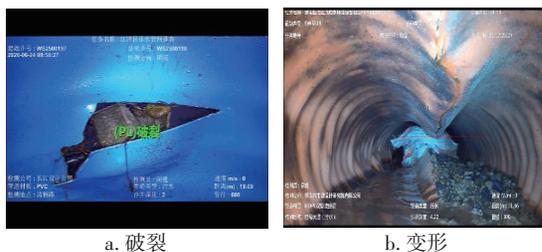


图1 典型结构性缺陷

Fig.1 Typical structural defects

因该区域排水管网位于主干道下,处于较为繁华的地段,车流量大,不具备明开挖修复条件。以下结合非开挖修复技术的特点和工程实际情况,对该工程排水管网修复的工艺选取与施工过程进行分析。

### 2 技术特点及原理

#### 2.1 技术特点

钢套筒与热塑成型修复工艺都是常见的非开挖修复技术,钢套筒工艺是指通过顶进方式将不锈钢管道顶进原有管道,具备高强度、抗渗漏、防腐蚀的特点<sup>[4]</sup>。热塑成型工艺通过将热塑高分子衬管拖入原管道,使内衬管与原管道紧密贴合,修复后具有使用寿命长、抗腐蚀性强、阻力系数小等优点<sup>[5]</sup>。考虑到本工程管网以结构性缺陷为主,且三、四级结构性缺陷管道往往过流能力不足,采用原位固化法、内衬法、紫外光固化法等单一工艺修复后达不到设计效果。因此最终选取钢套筒与热塑成型联用技术,即钢套筒可以维持原有管道的过流能力并具备一定的力学性能,加之经过工厂预制生产的内衬管具备韧性好、贴合紧密、抗腐蚀能力强等优点<sup>[6]</sup>,可使修复后的管道质量稳定性更好,使用寿命更长。

#### 2.2 技术原理

钢套筒与热塑成型联用工艺材料与设备见图2。



图2 工艺材料与设备

Fig.2 Materials and equipment

钢套筒与热塑成型联合修复工艺共分为两步:第一步是选取截面积、厚度、强度以及环刚度符合

要求的钢套筒,在液压牵引机头的作用下,扩孔顶进,将原有管道破嵌入土中,由新顶进的钢管承受土压并形成新的过流通道。第二步是采用预加热后的PVC-U材料,在牵引卷扬机的拖动下进入钢套筒内部,在加压加热的作用下,使内衬材料与钢套筒紧密贴合,最后冷却降温,使得内衬管成型。

### 2.3 适用条件

当排水管道结构性缺陷较多,变形较严重(通常为三、四级缺陷),过流能力不足,且不具备明开挖修复条件时,可采取钢套筒与热塑成型联合工艺进行修复。

## 3 施工流程

### 3.1 施工工艺步骤

施工工艺步骤如图3所示。



图3 施工工艺步骤

Fig.3 Steps of construction technology

### 3.2 管道预处理

拟修复管段位于主干道上,波纹管,长30 m,管径DN600,埋深4.5 m。在进行管道修复前,提前开展管道堵水、导排水、清洗疏通、管道检测等前期工作,对原有缺陷管道进行预处理(见图4)。



图4 管道预处理过程

Fig.4 Pipeline pretreatment process

导流堵水是为了保证施工过程的安全性<sup>[7]</sup>,一般采用气囊进行封堵。清洗疏通是检测观察管道接口处有无破损渗漏和异物侵入,是修复前处理工作的关键工序<sup>[8]</sup>。管道检测包括有毒有害气体检测和内窥检测。

### 3.3 钢套筒顶进

钢套筒管道顶进及安装步骤如下:

#### ① 材料准备

钢套筒材料采用Q235B钢板(厚度6 mm,抗拉强度478~496 MPa,屈服强度327~338 MPa,断后伸

长率30%~32%),制作采用满焊,钢板内、外壁喷涂防锈底漆,外壁做环氧煤沥青防腐涂料防腐。

#### ② 导向对中及安装

先按照两井位中心线将导向杆顶进接收井中,卸下导向箭头,同时与扩孔管进行连接,然后进行扩孔管的顶进,当导向扩孔管顶进接收井后,同步安装钢套筒管节。

#### ③ 顶进

对于管道有瑕疵的地方进行打磨,马上进行对接,对接完成后顶进,在工作井采用液压顶进钢管,工作井方向采用液压牵引机头,机头刀具将原有管道切或胀破,原有管道破嵌入土,由新顶进的钢管承受土压支撑,重复直至此段顶管完成,如图5所示。



a. 导向扩孔管顶进

b. 钢套筒顶进

图5 钢套筒顶进过程

Fig.5 Jacking process of steel sleeve

### 3.4 内衬管预加热及拖入

钢套筒安装完成后、内衬管施工前,首先应符合设计要求的内衬管进行预加热,通常可将衬管放入预制的蒸箱进行软化<sup>[9]</sup>(加热温度及时间根据厂家提供的参数和现场实际情况确定,加热温度约100℃,加热时间3~5 h)。当衬管的预加热结束后,开始向已形成的钢套筒管道内拖入衬管,在拖入过程中下游的卷扬机通过铁链和上游卷盘上的衬管连接,确保顺利地将衬管拖入钢套筒。

### 3.5 加热加压及成型

当内衬管完全拖入后,在上游用水蒸气继续对内衬管加热(衬管在拖入过程中会冷却硬化),对内衬管再次加热并软化后,用专用塞堵分别将衬管的两头塞住。管塞的中部留有可通过气体的通道,在管道的上游通过管塞中间的通道向管道内吹水蒸气,管道下游的管塞中安装阀门、温度计和压力表。下游的阀门根据温度和压力的情况逐渐关小,衬管内部的水蒸气压力将衬管吹起,衬管成型过程

中温度不宜超过95℃,压力不宜超过0.1MPa。先使衬管恢复到生产时变形前的圆形,然后在水蒸气的压力下继续膨胀,直至紧贴待修管道的内壁。

### 3.6 冷却降温及端口处理

衬管被吹起紧贴于管道内壁之后,在保持压力的情况下,通过塞堵的气体通道向衬管内部输入冷空气冷却衬管。当下游的温度表显示流通气体温度降到30℃以下时可以释放压力,将两端多余的衬管切掉,安装结束。

### 3.7 CCTV检测

修复完成后,通过CCTV检测设备进行内窥检测,对发现的缺陷及时进行处理。

### 3.8 质量验收

修复完成后的管道应及时组织质量验收,验收工作主要分以下几方面:

① 对已修复管道进行外观检查,检查管道有无缝隙、孔洞、干斑、脱落、灼伤点、软弱带和可见的渗漏现象,同时观察管道内壁是否顺滑,有无明显的环形皱纹、隆起。

② 检查施工后内衬管的厚度、弯曲模量、弯曲强度、抗拉强度、断裂伸长率是否符合设计要求。本工程热塑内衬管主要性能参数见表2。

表2 PVC-U热塑成型衬管主要性能参数

Tab.2 Main performance parameters of PVC-U thermoplastic forming liner

参数	标准值	实测值	测试方法
厚度/mm	8(DN600)	8	《塑料管道系统 塑料部件尺寸的测定》(GB/T 8806—2008)
抗拉强度/MPa	≥30	42	《热塑性塑料管材 拉伸性能测定 第1部分:试验方法总则》(GB/T 8804.1—2003)
弯曲强度/MPa	≥40	45	
弯曲模量/MPa	≥1 600	1 800	
断裂伸长率/%	≥25	70	

③ 通过严密性试验检测管道有无微小渗漏点,若存在质量缺陷应重新针对存在的问题制定整改方案。

## 4 修复后评价

### 4.1 修复效果

通过CCTV对已修复管道进行内窥检测,可见管道内壁光滑,与原管道贴合紧密,无渗漏点。管道修复前后对比如图6所示。



a. 修复前 b. 钢套筒成型 c. 修复后

图6 排水管道修复前后对比

Fig.6 Comparison of drainage pipeline before and after repair

### 4.2 过流能力

修复后管道的过流能力与修复前的比值按下式计算:

$$B = \frac{n_e}{n_1} \times \left(\frac{D_1}{D_e}\right)^{\frac{8}{3}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $B$ 为管道修复前后的过流比;  $n_e$ 为原有管道的粗糙系数,取0.01;  $n_1$ 为内衬管道的粗糙系数,取0.009;  $D_1$ 为内衬管道内径;  $D_e$ 为原有管道内径。

经计算得出,管道修复后与修复前的过流能力比值为103%,过流能力略有提高。

### 4.3 造价分析

以DN600的管道为例,修复综合单价为6 096元/m,如表3所示。

表3 DN600钢套筒加热塑修复造价

Tab.3 Cost of steel sleeve and thermoplastic repair of DN600 元·m<sup>-1</sup>

项目	综合单价	备注
管道预处理(管道堵水、导排水、清洗疏通等)	375	综合单价指全口径单价,包括但不限于人工费、材料费、机械费、管理费、利润及一般风险费等
CCTV检测	18	
钢套筒扩孔及顶进(材料、顶进及连接)	2 167	
热塑(材料、预加热、拖入、冷却及端口处理)	3 536	

## 5 结论

采用钢套筒与热塑成型联合工艺对城市排水管网进行非开挖修复,该工艺同时结合钢套筒和热塑成型技术的优点,使该排水管道修复后的力学性能和过流能力满足设计要求,且具备韧性佳、气密性好、强度高、施工周期短以及对周围环境影响小等优点。经检测,修复后管道内壁光滑,内衬管贴合紧密,修复后与修复前的过流能力比值为103%,修复效果较好,综合单价为6 096元/m。该非开挖

联合修复工艺在城市主干道下埋深较深,且三、四级结构性缺陷较多的排水管网修复中具有独特优势,有较好的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 雷庭. 排水管道非开挖修复技术研究及工程应用[D]. 北京:北京工业大学,2015.  
LEI Ting. Research and Engineering Application of Trenchless Repair Technology for Drainage Pipeline [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2015 (in Chinese).
- [2] 向维刚,马保松,赵雅宏. 给排水管道非开挖 CIPP 修复技术研究综述[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20): 1-9.  
XIANG Weigang, MA Baosong, ZHAO Yahong. Research review on trenchless CIPP repair technology in water supply and drainage pipes [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20): 1-9 (in Chinese).
- [3] 马保松. 非开挖工程学[M]. 北京:人民交通出版社, 2008.  
MA Baosong. The Science of Trenchless Engineering [M]. Beijing: China Communications Press, 2008 (in Chinese).
- [4] 徐驰,乔稳超,杨广,等. 长江大保护建设中管网非开挖修复综合技术[J]. 施工技术, 2020, 49(18): 76-79.  
XU Chi, QIAO Wenchao, YANG Guang, et al. Comprehensive technologies for pipeline non-excavation repair in Yangtze River protection [J]. Construction Technology, 2020, 49(18): 76-79 (in Chinese).
- [5] 刘琳,刘勇,黄宁君. 新型原位热塑成型管道非开挖修复技术应用案例[J]. 中国给水排水, 2021, 37(6): 134-137, 142.  
LIU Lin, LIU Yong, HUANG Ningjun. Application case of new trenchless pipe rehabilitation technology for formed-in-place pipe (FIPP) [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(6): 134-137, 142 (in Chinese).
- [6] 廖宝勇. 原位热塑成型修复技术在给排水管道非开挖修复中的应用[J]. 建设科技, 2019(23): 60-63.  
LIAO Baoyong. Application of in-situ thermoplastic molding repair technology in trenchless of water supply and drainage pipeline [J]. Construction Science and Technology, 2019(23): 60-63 (in Chinese).
- [7] 住房和城乡建设部. 城镇排水管渠与泵站运行、维护及安全技术规程:CJJ 68—2016[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2016.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Technical specification for Operation, Maintenance and Security of Sewers & Channels and Pumping Stations in City and Town: CJJ 68-2016 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016 (in Chinese).
- [8] 吴凡,李张卿,韩卫强,等. 城市水环境治理中管道修复技术应用研究[J]. 给水排水, 2022, 48(S1): 471-475.  
WU Fan, LI Zhangqing, HAN Weiqiang, et al. Research on application of pipeline repair technology in urban water environment management [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(S1): 471-475 (in Chinese).
- [9] 石东优,叶建州,李静,等. 城镇排水管道原位热塑成型修复技术的工程应用[J]. 中国给水排水, 2022, 38(10): 153-159.  
SHI Dongyou, YE Jianzhou, LI Jing, et al. Engineering application of formed-in-place pipe rehabilitation technology for urban drainage pipeline [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(10): 153-159 (in Chinese).

作者简介:江旺(1996- ),男,重庆人,硕士,工程师,主要研究方向为城市排水管道非开挖修复。

E-mail: 1339779917@qq.com

收稿日期:2023-02-28

修回日期:2023-03-29

(编辑:衣春敏)