

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.08.020

# 非开挖组合工艺用于小口径排水管道塌陷修复

楚鑫鹏, 刘 军, 苏进龙, 龙小晋, 万振勤, 张利娜, 张廷军,  
邹 静, 刘 雯, 张旭威, 卢德鹏, 石稳民, 王 辉, 张 岳,  
卢 渊

(中建三局绿色产业投资有限公司, 湖北 武汉 430056)

**摘 要:** 对武汉市南湖片区15条道路污水管道进行CCTV检测,共发现以三级及以上塌陷、破裂为主的严重缺陷52处,无法直接采用传统非开挖修复工艺且不具备开挖施工条件。针对该项目小口径排水管道严重变形塌陷问题,结合碎裂管短管拼接法和紫外光原位固化技术,提出了一种非开挖组合修复工艺并予以实施,修复后的污水管道外观质量和闭水试验均满足设计和规范要求。修复的管道运行1年后,其功能及结构完好,未出现破损、开裂或塌陷情况,排水顺畅。该工艺综合造价约6 941.74元/m。

**关键词:** 小口径排水管道; 非开挖修复; 管道塌陷

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)08-0120-04

## Application of Combined Trenchless Process for Repairing Small Diameter Drainage Pipe Collapse

CHU Xin-peng, LIU Jun, SU Jin-long, LONG Xiao-jin, WAN Zhen-qin,  
ZHANG Li-na, ZHANG Yan-jun, ZOU Jing, LIU Wen, ZHANG Xu-wei,  
LU De-peng, SHI Wen-min, WANG Hui, ZHANG Yue, LU Yuan  
(China Construction Third Bureau Green Industry Investment Co. Ltd., Wuhan 430056, China)

**Abstract:** The CCTV inspection of 15 road sewage pipes in the South Lake area of Wuhan found 52 serious defects mainly consisted of collapse and rupture of grade III or above, which cannot be repaired directly through traditional trenchless processes and did not have the conditions for excavation construction. To address the serious deformation and collapse of small diameter drainage pipes, a trenchless repair process combining the fractured pipe short pipe splicing method and ultraviolet in-situ curing technology was proposed and implemented. The appearance quality and water closure test of the repaired sewage pipe both meet the design and specification requirements. After one year of operation, the function and structure of the pipeline are intact, without breakage, cracking or collapse, and with smooth drainage. The comprehensive cost of the process is about 6 941.74 yuan/m.

**Key words:** small diameter drainage pipe; trenchless repair; pipeline and collapse

武汉市东湖高新区南湖片区属于长江一级阶地,地下水丰富,区域骨干排水管道服务期已超过30年,目前已接近或达到设计使用年限,因长期缺

乏维护保养,管道变形、塌陷、破裂和错口等缺陷问题频发,导致污水管网运行效率降低<sup>[1]</sup>。管道缺陷易造成外水入渗和内水入侵地下水体,继而引起污

水处理厂进水污染物浓度显著偏低和周边土体流失形成孔洞导致地面塌陷等问题,因此亟须对存在缺陷的管网进行修复。

## 1 工程概况

南湖片区水环境综合改造工程包括小区雨分流工程、污水管网完善工程、管网提质增效工程和小南湖蓝藻应急防控工程等4部分,其中管网提质增效工程拟对周店路等15条道路共16.9 km管网缺陷进行修复,该片区管网埋深1.7~6.7 m,主要为HDPE管和素混凝土管等。通过CCTV检测发现,共有三级及以上变形、塌陷等52处,致使管道内部污水无法有效通过。由于缺陷管道变形或破损严重,且待修复管道所在路段地下管线错综复杂、地上交通流量大,无法直接采用传统非开挖修复工艺且不具备开挖换管施工条件。

## 2 修复方法比选及工艺原理

该工程管道缺陷具有变形塌陷严重和现场不具备开挖施工条件等特点。目前行业内各种管道非开挖修复工艺中,裂管法适用于此类缺陷的修复,但该工艺需要破坏原有检查井并开挖工作坑,仍存在部分开挖施工要求<sup>[2]</sup>。

针对大口径排水管道,可通过人员进入管道变形塌陷部位进行注浆、切割、支撑和内衬加固等措施进行管道非开挖修复,但施工安全风险高、难度大,且本工程主要为小口径管道(最大管径为600 mm),不具备人员进入的条件<sup>[3]</sup>。

碎裂管短管拼接法是将整段高压聚氯乙烯管先切割形成500 mm管节,之后加工形成“子母扣”接口,从而形成短管接管单元。施工时将短管从现有检查井吊入井室,并顶入现状塌陷变形管段,管节之间采用密封胶圈承插连接<sup>[4]</sup>。此方法对管材质量要求高,管道接口多,渗漏多发,施工质量难保证<sup>[5]</sup>。

针对以上问题,结合碎裂管短管拼接法和紫外光原位固化技术,形成一种非开挖组合修复工艺,并应用于该类小口径缺陷管道修复。该组合工艺的原理是通过管道内衬钢圈打通塌陷位置,构建形成全管段支撑层,随后采用紫外光原位固化法施工内衬层,从而实现塌陷管道非开挖修复的目的(见图1)。具体施工工艺:采用前拉后顶的施工方法将内衬钢圈顶入并敷设在旧管道内,形成稳固的临时支撑,恢复原有管道形状,实现变形塌陷部位的贯

通。之后将玻璃纤维湿软管拉入管道内,采用压缩空气使软管膨胀紧贴钢圈,最后使用紫外灯链固化成型。该修复方法为整段修复,可用于HDPE管、素混凝土管、陶土管和球墨铸铁管等。

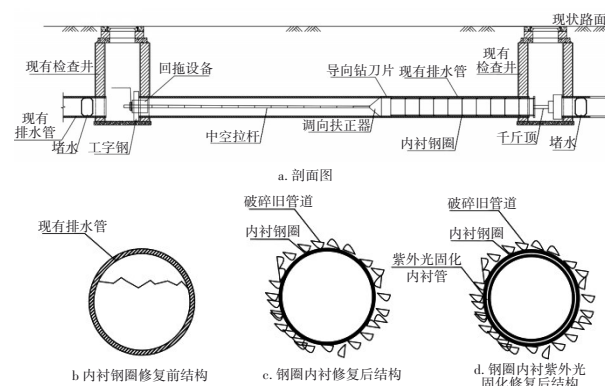


图1 施工工艺原理

Fig.1 Schematic diagram of construction process principle

## 3 修复方案设计

由于该工程中钢圈主要发挥预处理作用,因此只需保证钢圈具备一定的临时支撑能力即可。钢圈采用Q235B钢材,壁厚为5 mm,管节长500 mm,钢圈之间采用承插口连接。考虑地下环境的复杂性,尤其是污水的腐蚀等因素,内衬钢圈难以长期起到结构性支撑的作用,因此该工程按照结构性修复的标准进行紫外光原位固化修复原材料壁厚计算,管径DN300、DN400、DN500、DN600对应的最小壁厚分别为5、6、7、8 mm。

管道修复前后的过流能力比值按下式计算<sup>[5]</sup>:

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

式中: $n_e$ 、 $n_1$ 分别为修复前后管道的粗糙系数; $D_e$ 、 $D_1$ 分别为修复前后管道内径,m; $B$ 为管道修复后与修复前的过流能力比值。

其中修复前后管道的粗糙系数分别取0.013、0.010。原管径DN300、DN400、DN500和DN600,对应过流能力比值 $B$ 分别为108%、112%、114%和116%。计算结果表明,虽然原管道经过内衬钢圈和紫外光原位固化修复后,内径会减小,但是修复后管道内壁的粗糙系数显著降低,总体上过流能力比值提升,管道的排水能力并未降低,进一步验证了该组合修复工艺的适用性和有效性。

## 4 施工工艺流程及运行效果

施工工艺流程见图2。



图2 施工工艺流程

Fig.2 Flow chart of construction process

#### 4.1 施工准备

##### ① 技术准备

熟悉施工图纸和施工方案,办理相关施工手续,做好交通导行,提前勘察地下管线、周边建筑物和地质情况。

##### ② 封堵导流

采用气囊对拟修复管道上、下游进行封堵,使用水泵将施工段上游封堵污水从检查井导排至下游检查井。

##### ③ 固结物清除

采用管道多功能机器人破除管内固结物,通过高压水枪清洗,人工检查清理井内杂物并运送至指定地点堆放。

##### ④ 注浆加固

对于地下水位较高、渗漏严重的管段,通过地面注浆进行注浆堵水加固。

##### ⑤ 检查井加固

在井壁安装1 m×1 m、50 mm厚的钢板以及2根20#工字钢支撑平衡反力,工字钢单根长1.5 m,入井底0.5 m,外露1 m。施工安装钢制靠背墙时应保证与管道轴线垂直,误差不超过 $\pm 2^\circ$ ,采用高强度水泥砂浆将钢制靠背与检查井的间隙填充密实。检查井加固示意图3。

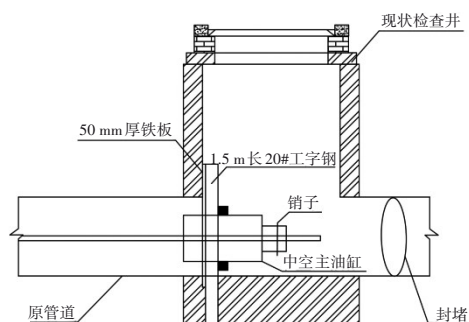


图3 检查井加固示意

Fig.3 Schematic diagram of inspection well reinforcement

#### 4.2 顶进设备安装

顶进设备主要包括油顶及管路系统,液压油缸最大顶力约490 kN(50 t),油芯上钻设直径25 mm插销孔和厚5 cm的法兰盘以便与顶杆连接。油顶从检查井吊入并固定在管口处,之后将其与井上的

油压泵连接。顶进设备安装完成后进行试顶并检查顶进系统工作是否正常,顶拉力是否满足要求。

#### 4.3 顶杆顶进

顶进设备安装完成后,将顶杆与油顶通过插销孔进行连接,顶杆每段长500 mm,通过丝扣连接。第一节顶杆前端设置锥形头,用于降低穿越坍塌管段时的阻力,确保顶进过程中顶杆沿原有管道轴线前进。顶杆每顶进一节,在检查井内装一节,传力杆中心与原管道轴线始终保持一致,偏差不超过管径的 $\pm 2.5\%$ ,直至顶杆贯通至下游检查井。

#### 4.4 胀管器安装及钢圈顶进

根据待修复管道外径选择胀管器,其尺寸应略大于原管道内径。当顶杆贯通至下游检查井后,将胀管器固定于顶杆上,完成胀管器安装。启动油顶,施加拉力带动胀管器进入待修复管道,由于胀管器尺寸略大,在裂开既有管道的同时,会形成直径略大于原管径的空腔。在将胀管器拉入待修复管道的同时,将钢圈逐节吊入检查井内并安装到胀管器尾部,钢圈之间通过承插口连接。上游检查井内的油顶持续施加拉力,下游检查井内的油缸向前施加顶力,顶杆从上游检查井内随顶进逐节取出,同时在下检查井内逐节安装钢圈,尾端的顶进油顶推动前进,不断置换待修复管道,直至胀管器到达上游检查井,形成全管段支撑结构。管道贯通后,拆除胀管器及顶进设备并吊出。

#### 4.5 紫外光原位固化修复

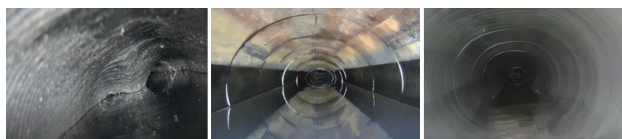
待钢圈置换施工完成并验收合格后,采用拉入法将玻璃纤维内衬软管置入贯通的管道内并安装扎头,扎头与护套、湿软管应绑扎牢固。检查湿软管各处的密封性并安装调压阀,利用高压风机缓慢充气,以使湿软管完全扩展,紧贴钢圈。安装紫外光灯链并调试,放入内衬软管并牵拉至管道另一端,开灯回拉灯链,使玻璃纤维软管硬化成型,形成一层高强度的内衬新管。之后逐步降低管道内压力,并按要求对端头进行密封和切割。

#### 4.6 检查验收

施工完成后采用CCTV检查管道内有无湿渍、滴漏、线漏等渗水现象。内衬管表面应光洁,无孔



洞、裂纹和软弱带,磨损、气泡或干斑每10 m不超过1处;最大褶皱不超过6 mm;修复管道端头切割整齐,密封良好、饱满密实。非开挖组合工艺修复效果见图4,外观质量满足要求。按照《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268—2008)对修复管段进行功能性试验,试验结果均满足规范要求。



a. 施工前 b. 内衬钢圈后 c. 紫外光固化修复后

图4 非开挖组合工艺修复效果

Fig.4 Repair effect of combined trenchless process

#### 4.7 运行效果

目前采用该工艺修复的管道已运行接近1年,对修复后的管段进行CCTV检测,管道功能及结构完好,未出现破损、开裂或塌陷的情况,排水顺畅。修复前,片区污水处理厂进水COD平均浓度为125 mg/L,南湖水质为地表水劣V类。在管网修复及片区雨污分流改造工程实施后,污水处理厂进水COD平均浓度显著提高(达到156 mg/L),南湖水质稳定达到地表水IV类标准。

#### 5 工程造价

以《湖北省市政公用设施维修养护工程消耗量定额及全费用基价表》《广东省排水管道非开挖修复更新工程预算定额》为参考标准,计算该组合工艺管道修复费用,工程造价约6 941.74元/m。

#### 6 结论

① 针对南湖片区小口径排水管道严重变形塌陷修复的施工难点,结合碎裂管短管拼接法和紫外光原位固化技术,提出一种非开挖组合修复工艺并成功应用。修复后的管道原有过流能力不受影响,已通过CCTV检测和功能性试验。

② 该组合施工工艺利用现有井室,采用不开挖方式进行,对交通影响小,工期短,质量有保证,长期运行效果可靠,工程造价约6 941.74元/m。

③ 施工前应查明原有管材特性、工程地质和水文地质条件以及周边地下管线、建(构)筑物的类型及状态,必须按照要求对检查井进行加固。对完全塌陷管道可先采用钻杆顶进打通塌陷段,若无法打通,则不具备导向顶进施工条件,该方法不适用。

#### 参考文献:

- [1] 唐建国,张悦,梅晓洁. 城镇排水系统提质增效的方法与措施[J]. 给水排水, 2019, 45(4): 30-38.  
TANG Jianguo, ZHANG Yue, MEI Xiaojie. Strategies and methods for improving the quality and efficiency of the urban drainage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(4): 30-38 (in Chinese).
- [2] 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).
- [3] 廖宝勇,适仲森,马保松,等. 大口径埋地HDPE排水管道坍塌原因分析及非开挖修复措施介绍[J]. 给水排水, 2015, 41(9): 75-77.  
LIAO Baoyong, TI Zhongsen, MA Baosong, et al. Analysis on the reasons for the collapsing of underground large diameter HDPE drainage pipe and introduction of corresponding trenchless rehabilitation measures [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(9): 75-77 (in Chinese).
- [4] 寇奇伟. 非开挖修复静拉碎裂管法短管拼接施工质量控制研究[J]. 工程技术研究, 2020, 5(16): 99-100.  
KOU Qiwei. Research on quality control of short pipe splicing construction by non excavation repair static tension broken pipe method [J]. Engineering and Technological Research, 2020, 5(16): 99-100 (in Chinese).
- [5] 巨拓,李森. 西安市某路段污水管道非开挖修复技术应用[J]. 工程建设与设计, 2022(11): 123-126.  
JU Tuo, LI Sen. Application of trenchless rehabilitation technology of sewage pipeline in a certain road section in Xi'an city [J]. Construction & Design for Engineering, 2022(11): 123-126 (in Chinese).

作者简介:楚鑫鹏(1992—),男,湖北武汉人,硕士,工程师,注册给排水工程师,注册环保工程师,主要从事管网非开挖修复和水环境综合治理工作。

E-mail:872014869@qq.com

收稿日期:2024-01-13

修回日期:2024-05-12

(编辑:衣春敏)