

排水管网非开挖修复技术应用与创新

员晨东 王军 高展 张利平 张迪

中建三局基础设施建设投资有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i11.5009

[摘要] 针对重庆江津水环境项目现状管网修复工程进行系统总结及案例分析。该项目通过非开挖技术对江津中心城区滨江新城、几江街道、鼎山街道三个区域排水管道缺陷进行修复。详细分析了管道缺陷评估体系、修复原则及工法选择标准,根据项目特点,重点介绍了紫外光固化技术、拖拉钢套管结合紫外光固化修复技术这两种非开挖修复工艺的特点与应用。针对施工中碎石土地质条件下遇到的胀管头卡头、管道变形、超长管段等技术难题,结合项目实际提出了管径壁厚优化、新建检查井分段顶进等创新解决方案,为类似地质条件下的城市排水管道非开挖修复提供了技术参考。

[关键词] 排水管网; 非开挖修复; 紫外光固化; 拖拉钢套管; 管道缺陷评估

中图分类号: S276 **文献标识码:** A

Application and Innovation of Trenchless Rehabilitation Technologies for Drainage Pipe Networks

Chendong Yuan Jun Wang Zhan Gao Liping Zhang Di Zhang

China Construction Third Bureau Infrastructure Construction Investment Co., Ltd.

[Abstract] This paper systematically summarizes and conducts case studies on the existing pipe network rehabilitation works of the Jiangjin Water Environment Project in Chongqing. The project adopted trenchless technologies to repair defects in drainage pipelines across three districts in the central urban area of Jiangjin: Binjiang New Town, Jijiang Subdistrict, and Dingshan Subdistrict. The pipeline defect evaluation system, rehabilitation principles, and construction method selection criteria are analyzed in detail. Based on project characteristics, the characteristics and applications of two trenchless rehabilitation processes are highlighted: ultraviolet curing technology, and a combined technology of dragged steel casing with ultraviolet curing. In response to technical challenges encountered under gravel soil conditions during construction, such as expander head jamming, pipeline deformation, and ultra-long pipe sections, innovative solutions including optimized pipe diameter and wall thickness, and segmented jacking of new inspection wells are proposed in combination with actual project conditions. These provide technical references for the trenchless rehabilitation of urban drainage pipelines under similar geological conditions.

[Key words] drainage pipe network; trenchless rehabilitation; ultraviolet curing; dragged steel casing; pipeline defect evaluation

引言

城市排水管网是城市基础设施的重要组成部分,对保障城市运行、改善人居环境、防治水污染具有重要意义^[1]。随着城市建设的发展,许多老旧排水管网因年久失修、设计标准低、施工质量差等原因出现了渗漏、破裂、变形等结构性缺陷以及沉积、树根侵入等功能性缺陷,严重影响城市排水系统正常运行^{[2][3]}。

传统的管网修复主要通过开挖方式进行,不仅工程量大、成本高,还会对城市交通和居民生活造成严重干扰^[4]。非开挖修复技术以其施工周期短^[5]、环境影响小^[6]、不影响交通^[7]等优点,

逐渐成为城市排水管网修复的主要技术手段^[8]。

重庆江津水环境项目现状管网修复工程是非开挖技术在西南地区碎石土质条件下的典型应用案例。本文针对该项目的实施过程、技术选择、创新应用及解决方案进行系统梳理,为类似地质条件下的城市排水管网非开挖修复提供参考。

1 项目概况

江津水环境项目现状管网修复工程主要通过非开挖技术手段对江津中心城区滨江新城、几江街道、鼎山街道3个区域的排水管道缺陷进行修复。项目经历了以下两个阶段:

(1)初始设计:总投资1.59亿元,修复管道长度共计22.19km,分为开挖修复与非开挖修复两种方式。其中,非开挖修复共计18.54km;开挖修复共计3.66km。(2)方案调整:因PPP项目投资缩减,后续实施机构(区住建委)明确将重点对污水管道进行非开挖修复,取消原设计开挖修复、雨水管道修复工程量。调整后投资额为6450万元,包含非开挖修复(结构性修复)共计7.14km,检查井喷涂共计约2.46万m²。

2 管道修复评估体系与技术选择

2.1 管道缺陷评估体系

本项目根据CCTV视频、资料、图片等相关资料,提取管道结构性缺陷的类型、数量、管道长度、地区重要性、管道重要性、土质影响等参数,计算管道修复指数RI值(参考CJJ181-2012《城镇排水管道检测与评估技术规程》)^[9],用于评估管道结构性缺陷严重性。管道缺陷严重性分为四个等级,见表1。

表1 管道缺陷等级

等级	修复指数 RI	修复建议及说明
I	RI≤1	结构条件基本完好,不修复
II	1<RI≤4	结构在短期内不会发生破坏现象,但应做修复计划
III	4<RI≤7	结构在短期内可能会发生破坏,应尽快修复
IV	RI>7	结构已经发生或即将发生破坏,应立即修复

针对本项目实际情况,重点针对污水管网进行改造。本次工程将对项目范围内RI>4的污水管道进行修复。

2.2 施工工法选择

2.2.1 管道结构性缺陷工法选择

表2 管道结构性缺陷工法选择

序号	管道类型	总体修复原则	缺陷修复方案		
			缺陷范围	修复范围	修复方案
1	污水管道	①渗漏1级及以上; ②破裂、腐蚀、错口、脱节、接口材料脱落2级及以上; ③变形、起伏3级及以上; ④树根侵入、异物穿入、障碍物、废弃支管暗接等造成破裂2级及以上。	点状缺陷	一个管段内,缺陷点1-2个	局部修复 ①待修复管道管径DN300-DN1200,采用局部树脂固化; ②待修复管道管径>DN1200,采用不锈钢快速锁工艺。
一个管段内,缺陷点3个及以上				整体修复 ①待修复管道管径DN300-DN800(不含DN800)的管道结构整体变形、破裂或坍塌严重,采用拖拉钢套管结合紫外光固化方法修复。 ②其余缺陷管段,采用紫外光固化修复(局部预处理)。	
3			整体缺陷	整体修复	整体修复

如表2,根据管道缺陷分布特点和管径大小,项目采用差异化的修复工艺策略。对于点状缺陷较少(一个管段内仅有1-2个缺陷点)的情况,管径DN300-DN1200的管道采用局部树脂固化技术进行修复,而管径大于DN1200的管道则选用不锈钢快速锁工艺。当管段内存在3个及以上的点状缺陷或出现整体缺陷时,对于管径DN300至DN800(不含DN800)且结构整体变形、破裂或坍塌严重的管道,采用拖拉钢套管结合紫外光固化工艺进行全面修复;而其

余缺陷管段则主要应用紫外光固化修复技术,并辅以必要的局部预处理措施,确保修复质量和管道结构安全。

2.2.2 管道功能性缺陷修复工法选择

(1)沉积、结垢、浮渣2级及以上:采用清淤方式进行整体修复;(2)障碍物、残墙、坝根、树根侵入、弃用支管暗接、异物穿入:采用点状清障后整管清淤方式修复,见表3。

表3 管道功能性缺陷工法选择

序号	总体修复原则	管道缺陷类型	修复范围	修复方案	具体处理内容	备注
1	①沉积、结垢、浮渣2级及以上; ②障碍物、残墙、坝根3级及以上; ③树根侵入2级及以上; ④弃用支管暗接1级及以上; ⑤异物穿入2级及以上。	①沉积、结垢、浮渣2级及以上。	整体修复	清淤	清除并运出管内	管径小于800mm时采用机械施工,管径大于800mm时,可人工辅助施工。
2		①障碍物、残墙、坝根3级及以上; ②树根侵入2级及以上; ③弃用支管暗接1级及以上; ④异物穿入2级及以上。	点状清障后整管清淤	清障	清除、拆除并清理运出管内(部分管段清障后,需进行结构性修复)	

2.2.3 检查井结构性缺陷修复工法选择

(1)弃用支管暗接1级及以上:新建检查井;(2)井壁抹面脱落或渗水及计划修复管段两端检查井:检查井喷涂修复,见表4。

表4 检查井结构性缺陷修复工法选择

序号	总体修复原则	缺陷类型	修复方案
1	①弃用支管暗接1级及以上; ②井壁抹面脱落或未抹面的污水井、井壁出现裂缝或存在明显渗水的污水井。 ③本次计划修复管段两端的检查井。	①弃用支管暗接1级及以上。	新建检查井
2		①井壁抹面脱落或未抹面的污水井、井壁出现裂缝或存在明显渗水的污水井。 ②本次计划修复管段两端的检查井。	检查井喷涂修复

3 主要修复工艺

鉴于现场踏勘情况,大量开挖修复管网不具备开挖条件。经项目部与区住建委、参建各方多次开会讨论,结合现状管网缺陷情况,最终区住建委同意对本工程调整为以非开挖修复为主,并成功引入静压裂管法、拖拉钢套管结合紫外光固化技术代替开挖修复。

(1)针对埋深<1.5m,周边环境单一的管道,优先选用开挖修复;(2)针对DN300-DN600整体变形、破裂或坍塌严重的雨水管道,采用静压裂管法;DN300-DN600整体变形、破裂或坍塌严重的污水管道,采用拖拉钢套管结合紫外光固化进行修复;(3)其余缺陷管段,采用紫外光固化修复。

3.1 紫外光固化修复技术

紫外光固化是利用紫外光作为固化媒介,树脂中含有光引发剂,经过特定波长的紫外光照射时,树脂产生固化反应,形成高强度内衬新管。该技术具有以下优势:

(1)内衬管光滑、连续,内衬层在3-15mm,降低了管道表面粗糙度,提高管道输送能力;(2)内衬管基材韧性好、强度高,固化后内衬层弯曲模量可达8800MPa以上;(3)内衬层与原管道紧密贴合,隔绝腐蚀环境,起到堵漏效果;(4)适用于管径为300~1500mm的各类管线的半结构性和结构性非开挖修复;(5)施工周期短(小口径管道单段修复8-10h)、环境影响小、不影响交通、施工安全性好。

3.2 拖拉钢套管结合紫外光固化修复方法

该技术首先采用拖拉钢套管预处理来恢复旧管道的圆形过水断面,再采用紫外光固化内衬修复技术进行全结构性修复。主要优点:

(1)钢管能够有效增强管道的强度和刚度,为管段提供一个强度高,刚度大的管道骨架;(2)保证了修复后管道具有足够的强度与刚度,配合紫外光固化修复能有效防止管道渗漏,增加过流能力。

3.3 静压裂管法

通过裂管设备中的胀管头将原有旧管道切割,挤压到周围土体中,同步顶入新管道。工艺流程:

检查井打围→检查井内通风→气体检测→污水导流→管道清洗→拆除流水槽→安装裂管设备→钻杆穿入→胀管头、新管段安装→裂管(接管)→拆除设备及井室修复→CCTV检测。

4 施工难点及创新解决方案

4.1 管径与壁厚优化

问题:江津区域土层为碎石土为主,粒径不均匀,大石块较多,同径修复经常出现顶不动的情况,胀管头卡头频率高。

解决方案:采用缩径修复方式,各管径缩径范围控制在10%以内(表5)。但是由于地层颗粒的不均匀性,套管局部出现应力集中,导致局部的弯曲应力超过钢套管的材料弯曲强度,套管发生破坏,见图1。针对此问题,将原设计4mm壁厚钢管增加至5-6mm,提高了钢套管的环刚度及弯曲刚度。后续施工正常进行。

表5 拖拉钢套管及紫外光固化规格

壁厚管径	拖拉钢套管壁厚	紫外光固化壁厚	最大缩径范围	修复后管道内径
DN300	4mm(管径290mm,实际壁厚4mm)	3mm	272mm	276mm
DN400	4mm(管径385mm,实际壁厚5mm)	3mm	363mm	369mm
DN500	4mm(管径480mm,实际壁厚6mm)	4mm	454mm	460mm
DN600	5、6mm(管径570mm,实际壁厚6mm)	5mm	544mm	548mm



图1 钢套管破坏

4.2 胀管头卡头处理

问题:因前期市政道路施工期间路基回填料控制不严,常会遇到大块石等障碍物侵入原有管道或管道严重塌陷,造成胀管头卡头。

解决方案:通过CCTV定位卡头位置,采取定点开挖方式清除障碍物,见图2。3m以内沟槽采用横列板支护开挖,3m以上沟槽通过施工护壁井(倒挂井壁法)取出障碍物。



图2 开挖方式清除障碍物

4.3 塌陷严重管段钢套管工艺优化

问题:针对塌陷严重或局部完全塌死的管段,仅一个同径胀管头难以顶进。

解决方案:采用同管径胀管头前端再接入小两个规格的胀管头,先由小胀管头钻进形成小钻孔后,再由同径胀管头扩孔钻进(见图3),确保钢套管顺利顶进。

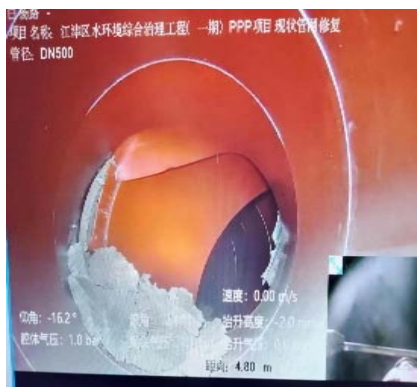


图3 连续胀管头

4.4 超长或局部弯曲管段钢管顶进

问题：常规市政排水管道一个井段长度一般为30~40m，但在江津城区实施管网修复期间发现：现场存在少量超长管段，井段长度75~80m，钢套管无法一次顶进。另外，江津城区部分管道存在局部弯折或拐弯严重情况，顶进过程中受力不均，短管容易出现顶裂及丢管见图4(a)。

解决方案：针对长距离管段，一般钢套管顶进前，需在管段中间增设一座检查井，采用分段顶进方式，以降低所需顶力，确保钢套管顺利顶进。针对局部弯曲管段，在拐弯最大处通过新建检查井(见图4(b))，采用分段顶进方式解决。



(a) 局部弯曲段



(b) 检查井设立

图4 长距离弯曲管段处理

4.5 其他技术难点

(1) 管道起伏问题：如图5，拖拉钢套管和紫外光固化修复均无法彻底消除原管道起伏问题。(2) 紫外光固化难以处理管道变形：单纯紫外光固化技术无法解决原管道变形问题(见图6)，修复后的管道变形缺陷仍然存在。(3) 小管径管道预处理：如图7，DN800以内小管径管道内障碍物难以通过铣刀有效处理，工人也无法进入管道，导致工艺适配性差。(4) 静压裂管法问题：因PE短管接口多、严密性差，在碎石土条件下顶进过程中顶力较大，接口和橡胶圈易损坏，施工效果不理想。



图5 管道起伏



图6 管道变形



(a)



(b)



(c)

图7 管道内障碍物

5 结论及施工建议

本研究通过系统分析排水管道结构性缺陷、功能性缺陷以及检查井结构性缺陷的特性,深入探讨了各类非开挖修复技术的适用条件与工程应用效果。以重庆江津水环境项目为实证案例,重点考察了紫外光固化修复技术、拖拉钢套管结合紫外光固化修复技术以及静压裂管法在实际施工过程中的技术难点与解决方案。

研究表明,在江津区域特有的碎石土地质条件下,拖拉钢套管结合紫外光固化的复合修复技术展现出显著优势,较传统单一紫外光固化技术和常规开挖修复方式更具适用性,能有效解决管道变形、坍塌等严重结构性缺陷,同时最大限度地降低对城市交通与居民生活的干扰。

针对类似碎石土地质条件下的非开挖修复工程实施,本研究提出以下优化建议:

(1) 工程设计阶段应根据管道缺陷程度和土质特点,合理提升钢套管壁厚规格,提高其抗变形能力和施工安全性;(2) 类似情况采用缩径修复策略时,缩径范围控制在10%以内较为合理,

有效降低胀管头卡头风险,同时确保修复后管道的输水能力;(3) 对于超长管段或存在局部弯折的特殊工况,宜通过新建检查井实施分段顶进施工,从而降低所需顶力,保障钢管套顺利通过;(4) 修复方案制定应基于管道结构性缺陷与功能性缺陷的综合评估,灵活选择适宜的修复工艺组合,实现技术与工程需求的最佳匹配。

通过技术对比分析发现,紫外光固化技术虽在处理管道渗漏、破裂等缺陷方面表现优异,但其对原管道变形问题的修复能力有限;而拖拉钢套管预处理工艺能够有效解决管道变形问题,但在碎石土地质条件下施工难度较大。

本研究建议进一步完善排水管道非开挖修复技术标准体系,深化不同地质条件、多样化管道缺陷类型下的修复技术研发与创新应用,特别是针对复合性缺陷的综合修复技术体系,以提高修复质量、延长修复使用寿命并提升工程实施效率,为我国城市排水管网的可持续更新与运维提供有力技术支撑。

[参考文献]

[1] 邓承喆.排水系统雨污分流改造技术与实施效果分析[J].工程施工新技术,2004(10):124-126

[2] 张广春.广州市排水管道非开挖修复技术应用研究[J].市政技术,2014(002):032

[3] 陈枫明,范炳礼,管裕丰,等.关于旧城区排水单元达标改造的设计分析[J].Guangdong Architecture Civil Engineering, 2025,32(3).

[4] 林龙慧.非开挖修复技术在市政排水管网修复中的应用[J].工程管理与技术探讨,5(3):40-42

[5] 城刘.CIPP管道非开挖修复技术:水翻转法与紫外光固化法的工艺对比与应用前景分析[J].工程施工技术,2025,3(3):16-18.

[6] 颜纯文.我国非开挖行业现状与展望[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2010,10:56-60.

[7] 马军.城市给排水管网改造工程的施工技术探讨[J].环球科学与工程,2025:81-85.

[8] 李蕊.管道内衬修复技术在沈阳市给水扩建中的应用研究[D].哈尔滨工业大学,2018.

[9] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城镇排水管道检测与评估技术规程(CJJ181-2012)建筑规范[M].中国建筑工业出版社,2012.

作者简介:

员晨东(1995--),男,汉族,陕西延安人,工学学士,中级工程师,长期从事基础设施建设,涉及市政、水务环保等板块,对市政道路路面沉降相关内容有所研究。