

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.20.009

非开挖修复技术在城市排水管道维护中的应用

周杨军¹, 蒋仕兰², 解 铭¹, 赵 祥¹, 孙子为¹

(1. 中国城市规划设计研究院, 北京 100037; 2. 临沂市财政局, 山东 临沂 276000)

摘 要: 对排水管道修复过程中常用的整体修复及局部修复等9种类型的工艺进行了综述, 分析了各类工艺的适用条件, 并对非开挖修复过程中的临时排水及注浆等辅助措施进行了介绍。总结了非开挖修复过程中遇到的管道弯曲、变径及暗井等特殊情况, 并给出了解决方法及建议。最后结合南方某排水管道非开挖修复实际工程案例, 介绍了非开挖修复工艺在城市排水管道中的具体应用情况。

关键词: 非开挖修复; 排水管道; 临时排水; 注浆

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)20-0058-05

Application of Trenchless Repair Technology in Urban Drainage Pipeline Maintenance

ZHOU Yang-jun¹, JIANG Shi-lan², XIE Ming¹, ZHAO Xiang¹, SUN Zi-wei¹

(1. China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100037, China; 2. Linyi Finance Bureau, Linyi 276000, China)

Abstract: Nine types of technologies commonly used in the repair of drainage pipeline, such as integral repair and localized repair, are summarized. The applicable conditions of various technologies are analyzed, and the auxiliary measures such as temporary drainage and grouting in the process of trenchless repair are introduced. The special cases of pipe bending, diameter changing and underground well encountered in the process of trenchless repair are summarized, also solutions and suggestion are given. Finally, based on a practical case of trenchless repair of a drainage pipeline in South China, the application of trenchless repair technology in urban drainage pipeline is introduced.

Key words: trenchless repair; urban drainage pipeline; temporary drainage; grouting

截至2018年,根据《中国城市建设统计年鉴》的数据,大部分城市排水管网建设覆盖率达到80%以上,部分城市达到95%。城市排水管道投入使用年限越久,出现的破损问题也越多。排水管道破损会造成外水渗入管道或排水管道中的水外渗,导致污水管道长期处于高水位运行、污水厂进水浓度偏低、雨水管道有污水进入、地下水污染及道路塌陷等一系列问题^[1-2]。

排水管道破损修复是城镇污水提质增效、黑臭水体治理的重要内容。管道开挖修复工艺对城市交通、环境及经济等方面产生不利影响,具有较高的社

会成本及环境成本,非开挖修复则具有较低的社会成本及环境成本,通过综合成本比较,非开挖修复较开挖法具有明显的成本优势^[3]。目前常用非开挖修复技术可分为整体修复及局部修复工艺。整体修复工艺包括原位固化法、裂管法、折叠内衬法、喷涂内衬法、螺旋内衬法、短管及管片内衬法,局部修复工艺包括套环法、点状原位固化法及嵌补法等^[4]。

1 主要非开挖修复工艺

1.1 工艺适用情况

当前非开挖修复工艺按照施工方式可分为嵌补、内衬及裂管3种形式。嵌补类包括嵌补法及喷

涂法,内衬类包括套环法、点状原位固化法、原位固化法,螺旋内衬法、折叠内衬法、短管及管片内衬法,裂管类为裂管法。各非开挖修复方法的特点及适用条件见表 1。

表 1 不同类型非开挖修复工艺适用情况

Tab. 1 Applicability of different types of trenchless repair technology

项目	局部修复			整体修复					
	嵌补法	套环法	点状原位固化法	原位固化法	螺旋内衬法	短管及管片内衬法	折叠内衬法	喷涂法	裂管法
适用管径	≥DN800	≤DN1 500	≤DN1 500	紫外光固化: ≤DN1 600 热水翻转法: ≤DN2 000	≤DN3 000	≤DN2 400	≤DN600	≥DN800	≤DN1 200
适用管材	钢筋混 凝土管	不适用 塑料管	所有管材	所有管材	所有管材	钢筋混 凝土管	所有管材	钢筋混 凝土管	脆性管道
注浆	土体	土体	土体	土体	新旧管 道之间	新旧管 道之间	土体	土体	不注浆
作业 方式	人工作业	设备作业	设备作业	设备作业	设备作业	人工作业	设备作业	设备作业 + 人工作业	设备作业
过流能力	无影响	局部受影响	无影响	无影响	整体受影响	整体受影响	整体受影响	无影响	增大
结构强度	不变	不变	不变	不变	增强	增强	不变	不变	破碎原管
带水作业	否	否	否	否	可带水 1/3 作业	否	否	否	可带水 1/3 作业
主要设备	无	液压千斤顶	固化设备、 气囊	翻转用机械、 固化设备	缠绕机械	焊接设备	拖管设备、 压力冷却设备	喷涂设备	扩孔器, 回拖设备, 导向钻刀
材料	聚氨酯、 双 A 水泥	不锈钢环、 环状橡胶止 水密封带	树脂、 玻璃纤维、 固化剂	内衬软管	带状型材、 密封黏结剂、 注浆材料	塑料短管	PE100	喷涂材料	PE100

嵌补法施工流程相对简单,通过施工人员进入具备施工条件的管道内,找到破损处,使用嵌补材料进行修复,适用于修复管道非结构性破损修复。

套环法分为不锈钢双胀环法和不锈钢发泡筒法,不锈钢双胀环法可用于管道破损及错节处修复。采用套环法修复后会造成管道局部缩径,缩径为 10 ~ 30 mm。

点状原位固化法适用于管道非结构性破损修复,采用玻璃纤维及树脂对破损处进行固化修复,内衬管道壁厚应根据计算得到,一般不应超过 15 mm。

原位固化法目前常用方法分为紫外光固化法及热水翻转法,紫外光固化法适用于管径 ≤ DN1 600 的管道,热水翻转法国内成功施工的最大管径案例为重庆市 DN1 800 排水管道非开挖修复工程。内衬管道厚度应根据管径、地下水位及内衬管道材料进行计算^[5]。在合理壁厚范围内,修复后管道过流能力不受影响。

螺旋内衬法可带水作业,可随时中断,内衬管材缠绕后进入管道,在内衬管与原管之间注浆进行结

构加固。内衬管道相对于原管缩径约 50 mm,修复后管道过流能力将受到影响。

短管及管片内衬法为在管道内分段置入短管或管片,通过人工进入将短管或管片焊接成为整体,内衬管相对于原管缩径约 30 mm,修复后管道过流能力会受影响。焊接完成后,需在内衬管道与原管之间注浆进行结构加固。

折叠内衬法将折叠成 U 型管的内衬管牵引入原管中,通过加热加压进行复原胀圆,内衬管材多采用 PE100 管材。折叠管复原需要加热加压,一般 24 h 后可完成管道复原。

喷涂法使用高分子聚合物与无机粉料对管道破损处进行喷涂修复,适用于管道腐蚀修复及防水,可整体修复或局部修复。

裂管法主要用于修复后管道管径大于原管管径的情况,在修复过程中需要对原管进行破除,因此原管应为脆性材料。修复后管道材料多为 PE100,受材料及施工条件限制,目前裂管法适用于管径 ≤ DN1 200 的管道。

1.2 工艺选择影响因素

对排水管道进行非开挖修复时,应首先对修复段管道进行竣工资料收集及 CCTV 检测,获得清晰的管道资料,以对管径、管材、埋深、管内水深、管道淤积、破损程度、管道暗接及管道转折等情况进行分析。确定管道非开挖修复工艺时,应综合考虑上述影响因素。排水管道管径、管材对非开挖修复工艺的影响见表 1,其他因素对修复工艺选择的影响见表 2。

表 2 其他因素对修复工艺选择的影响

Tab. 2 Influence of other factors on the selection of repair process

因素	适用工艺
埋深	对于埋深 > 5 m 的管道,不适宜人工管道作业方式,应采用机械作业的修复工艺
管内水深	管内长时间保持高水位运行,且完全降水难度大,可降水至 1/3,采用螺旋缠绕工艺
管道淤积	对于管道淤积严重且无法进行清淤时,应从系统上考虑其他方案,如开挖施工、管道新建
破损程度	原管结构性破损时,可采用短管内衬或螺旋缠绕工艺进行修复
管道暗接	管道存在暗接情况时,该管段宜采用局部修复工艺;采用整体修复时,应探明暗接位置,修复后进行人工开孔
管道转折	管道存在明显转折情况且无检查井时,该管段可采用不锈钢管片内衬或喷涂法进行修复
变径	管道发生变径且无检查井时,应复核该段管道过水能力,过水能力满足要求时,可采用原位固化法进行修复

1.3 其他辅助措施

① 管道临时排水

管道临时排水是保障施工期间片区排水安全的重要措施,是进行管道 CCTV 检测及非开挖修复的基础工序。管道临时排水主要有管道调配、临时管排及临时泵排等 3 种措施^[6]。临时排水设计流量应以“雨水汛期排水能力不降低、污水不冒溢”为原则,但同时也需要兼顾工程投资^[7]。在不利情况时,临时排水费用甚至可占工程费用的 50%。

② 注浆

根据用途,注浆可分为填充注浆及土体注浆。填充注浆是在原管及新管之间的环形间隙注浆,增加管道结构强度。填充注浆材料可为混凝土及高分子材料。

使用非开挖修复时,根据管道周围土体承载力及地下水情况,为提高管道周围土体承载力,形成管

道四周防水帷幕,可对管道周边土体进行注浆加固^[8]。管径 > DN800 时,采用管内向外钻孔注浆法;管径 ≤ DN800 时,采用地面向下钻孔注浆法。管外土体注浆范围:管顶上方 1.0 m,管壁两侧 1.5 m,管底 2.0 m。

③ 特殊情况处理

a. 管道弯曲

原管道建设时,若管道存在弯曲情况,管道弯曲程度会影响修复工艺选择及效果。在管道自弯 ≤ 11° 时,大部分修复效果不受影响;当管道自弯 > 11° 时,整体修复时会造成修复后内壁褶皱,引起管道水头损失,应优先选择局部修复工艺。

b. 管道变径

原管道建设时存在不合理的变径情况,针对不合理变径情况,应对不同管径管道过水能力进行复核。当小管径满足过水能力要求时,可采用小管径进行整体修复,并进行注浆;当小管径不能满足过水能力要求时,应根据设计流量采用碎管法进行扩管,以达到设计流量要求。

c. 存在暗井

原管道建设时存在不合理的暗井建设情况,导致修复时整体修复距离过长,修复难度大。此种情况可在原管道增设检查井或于暗井位置新建检查井,检查井间距应满足修复距离要求。

1.4 修复效果评估

非开挖修复后的管道应从闭水、过水能力、CCTV 检测及结构强度等 4 个方面进行评估,以保证管道能够正常运行。

① 管道修复后,需对管道进行闭水试验,闭水时间应不少于 24 h^[9]。

② 管道过水能力根据修复前后管道过水能力进行评估^[10-11],管道过水能力应不低于服务区域内的排水要求。修复后管道的过流能力与修复前管道的设计过流能力比值计算:

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

式中 B ——管道修复前后过流能力比

n_e ——原有管道的粗糙系数

D_1 ——内衬管道内径, m

D_E ——原有管道平均内径, m

n_1 ——内衬管的粗糙系数

当 $B \geq 100\%$ 时,新管设计过流能力不低于原管

道设计过流能力。

③ 通过管道 CCTV 检测后,管道修复前破损处应全部修复,管道内壁光滑,不存在褶皱及变径等情况。

2 案例分析

2.1 工程概况

南方某市十里河沿河截污管是中心城区污水的主要出路,中心城区污水经十里河截污管收集后转输至鹤问湖污水处理厂进行处理(见图1)。由于十里河沿河截污管修建时间已有10年,管道存在不同程度的破损。截污管现状管径为 DN800 ~ DN2 200,全长约 12.3 km,因地下水及河水等外水入渗,管道常年保持高水位运行。



图1 排水管道非开挖修复案例

Fig.1 Schematic diagram of trenchless repair of drainage pipeline

为解决上述问题,使截污管提质增效,需要对十里河沿河截污管进行修复。

2.2 适用性分析

根据 CCTV 检测结果,十里河沿河截污管存在严重的渗漏问题,无结构性破坏。前期对管道破损处进行了局部修复,效果不佳,因破损处较多,因此本次修复采用整体修复工艺。

紫外光固化法适用于管径 \leq DN1 600的管道修复,管径 $>$ DN1 600时,内衬管固化效果不佳。热水翻转法施工操作相对时间长,管径 \leq DN1 600时,优先选择紫外光固化法。国内目前进行热水翻转法成功的案例最大管径为 DN1 800。

机械制螺旋缠绕法在管径 $<$ DN2 000时,经济成本高于原位固化法,因此机械制螺旋缠绕法用于管径 $>$ DN2 000的管道修复。

经核算,十里河现状截污主管满足排水需求,不需扩径。因十里河截污管为污水主管,管径较大,埋深 >6 m,且井口狭窄,不宜人工下井操作,短管内衬或喷涂法操作较为困难。

2.3 方案选取

通过技术分析,比较整体修复工艺的适用性,从保证施工进度及安全性的角度,管径 \leq DN1 600时采用紫外光固化法进行修复,管径 $>$ DN1 600时采用机械制螺旋缠绕法进行修复。

3 结语

① 利用非开挖工艺修复技术对排水管道进行修复时,应首先清晰掌握管道情况,给出符合实际的修复方案,否则易造成修复效果不佳、工程量浪费等后果。

② 进行排水管道非开挖修复时,需设计临时排水措施,保持排水通畅,但也需经济合理,避免超量设计。

③ 进行排水管道非开挖修复时,应对管道周围土体稳定性进行评估,根据需要进行土体注浆。

④ 由于非开挖修复施工效果管控难度大,若修复效果不佳,进行二次修复代价巨大,因此应建立完善的排水管道非开挖修复管控及验收体系。

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] 杨彩侠. 城市道路路面塌陷成因初探[J]. 山西建筑,2013,39(15):113-114.
Yang Caixia. Discussion on the causes of city road section collapses [J]. Shanxi Architecture, 2013, 39(15): 113-114 (in Chinese).
- [3] 王中柱,李田. 城市排水管道开挖与非开挖修复的综合成本分析[J]. 给水排水,2008,34(6):95-99.
Wang Zhongzhu, Li Tian. Comprehensive costs analysis of conventional and trenchless technology for the rehabilitation of urban sewer systems [J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34(6): 95-99 (in Chinese).
- [4] 宋连仲,张伟林,陈昭. 国内外管道修复技术现状及发展趋势[J]. 中国给水排水,2005,21(3):35-37.

- Song Lianzhong, Zhang Weilin, Chen Zhao. Current status and development trends of pipe rehabilitation technology at home and abroad [J]. China Water & Wastewater, 2005, 21(3): 35 - 37 (in Chinese).
- [5] 张洪彬, 安关峰, 刘添俊, 等. 紫外线光固化 CIPP 技术在排水管道修复中的应用[J]. 给水排水, 2015, 41(2): 103 - 106.
- Zhang Hongbin, An Guanfeng, Liu Tianjun, et al. Application of the CIPP solidified by ultraviolet light in the drainage pipe rehabilitation [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41(2): 103 - 106 (in Chinese).
- [6] 谢胜. 排水管道封堵工程临时排水措施的选取研究[J]. 中国给水排水, 2017, 33(14): 18 - 21.
- Xie Sheng. Study on temporary drainage measure choosing for drainage pipe sealing [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(14): 18 - 21 (in Chinese).
- [7] 陈嫣. 上海市排水管道封堵临时排水措施设计流量探讨[J]. 给水排水, 2016, 42(7): 56 - 59.
- Chen Yan. Probe into design flow of temporary drainage pipe plugging measures in Shanghai City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(7): 56 - 59 (in Chinese).
- [8] 宫俊哲. 土体注浆与原位固化修复技术的结合运用方法探讨[J]. 中国市政工程, 2017(4): 34 - 36, 39.
- Gong Junzhe. Discussion on the combined application of soil grouting and in-situ curing technology [J]. China Municipal Engineering, 2017(4): 34 - 36, 39 (in Chinese).
- [9] GB 50268—2008, 给水排水管道工程施工及验收规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- GB 50268 - 2008, Code for Construction and Acceptance of Water and Sewerage Pipeline Works [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008 (in Chinese).
- [10] CJJ/T 210—2014, 城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- CJJ/T 210 - 2014, Technical Specification for Trenchless Rehabilitation and Renewal of Urban Sewer Pipeline [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014 (in Chinese).
- [11] 解铭. 非开挖修复技术在上海市四平路排水管道修复中的应用[J/OL]. 环境工程. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2097.x.20200518.1342.004.html>, 2020 - 05 - 18.
- Xie Ming. Application of trenchless repair technology in Shanghai drainage pipeline repair [J/OL]. Environmental Engineering. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2097.x.20200518.1342.004.html>, 2020 - 05 - 18.



作者简介: 周杨军(1982 -), 男, 安徽滁州人, 硕士, 高级工程师, 注册公用设备工程师(给水排水), 所长, 主要从事城市生态基础设施的设计与规划咨询工作。

E-mail: 21949607@qq.com

收稿日期: 2020 - 06 - 08

贯彻执行《中华人民共和国水污染防治法》