

典型非开挖式市政管道修复施工技术研究

刘宝明 高鑫

青岛冠中生态股份有限公司

DOI：10.32629/jpm.v7i5.8896

[摘要] 随着我国城镇化建设水平的提高，人民生活水平也不断提高。因此，国家对于城乡基础设施建设的重视程度越来越高，要求也越来越高。城市建设过程中，非开挖管道工程技术是不可缺少的。非开挖修复技术具有不破坏路面、施工速度快、环境友好等特点，是市政管道更新改造的主要技术。本文主要阐述非开挖修复和带水内衬修复的技术原理，介绍水平导向钻进、顶管、盾构、原位固化等典型技术，对非开挖管道修复施工过程及质量控制要点进行系统的梳理，为市政管道非开挖修复工程提供技术上的参考和实践上的依据。

[关键词] 非开挖技术；市政管道；管道修复

Research on Typical Non-Earthmoving Municipal Pipeline Restoration Construction Technologies

Liu Baoming Gao Xin

Qingdao Guanzhong Ecology Co., Ltd.

[Abstract] With the advancement of urbanization in China, living standards have continuously improved. Consequently, the government has placed increasing emphasis on urban and rural infrastructure development, with progressively higher requirements. During urban construction, non-earthmoving pipeline engineering technology is indispensable. Non-earthmoving restoration techniques, characterized by their ability to preserve road surfaces, rapid construction speed, and environmental friendliness, represent the primary approach for municipal pipeline renewal and renovation. This paper elaborates on the technical principles of non-earthmoving restoration and water-coated lining restoration, introduces typical methods such as horizontal directional drilling, pipe jacking, shield tunneling, and in-situ solidification, and provides a systematic overview of the construction process and key quality control aspects for non-earthmoving pipeline restoration, offering both technical references and practical guidance for related projects.

[Key words] trenchless technology; municipal pipelines; pipeline repair

引言

排水管道属于城市重要的“生命线”基础设施，是市政工程的重要组成部分，主要承担城市排污、排水的功能^[1]。城市排水水体主要是生活污水、大气降水和工业污水三类。目前我国排水体制主要有两种，即合流制和分流制。其中，合流制排水体制用一条管道将生活污水、大气降水、工业污水统一输送出去；分流制排水体制设置两条及以上互相独立的管道，分别输送各类污水、雨水。目前我国城市排水系统存在的问题比较严重，排水管网老化破损问题尤为突出。传统的开挖式维修施工周期长、成本高，还会对城市交通、居民生活和生态环境造成影响，不能满足现代城市精细化建设和安全运行的要求。在此背景下，非开挖式管道修复技术由于施工扰动小、工期短、剪安全性高、综合效益好等特点，在市政管网维修中得到了广泛应用。

1 技术原理

1.1 非开挖修复技术

非开挖修复是不需要开挖地表，只对埋地管线进行修复的方法，主要有内衬修复、局部修复、整体修复等。内衬修复是将一根新的管道内衬材料安放在原管内，使原管道成为新的管道内壁，从而达到修复的目的；局部修复是对管线的局部破损进行修补；对整个管道采用全断面管材进行更换。带水内衬修复技术可以在不停止管道工作的情况下采用内衬材料对管道进行修复，可以节省大量的人力物力，具有剪剪速度快、费用低、对环境影响小等特点，正在被广泛应用于城市市政管道修复。

1.2 带水内衬修复技术

带水内衬修复技术是将内衬材料拖入或翻转到管道内，使

内衬材料牢固地贴合在管道内壁上，内衬材料主要由玻璃纤维及玻璃纤维增强的耐腐蚀复合材料、聚酯树脂、耐腐蚀复合材料制成，在加入固化剂后通过固化剂或热固化技术使内衬材料固化，形成新的管道内壁。首先对目标管道进行彻底清理，去除沉积物与污染物，确保内外表面清洁无瑕，为后续紧密结合奠定良好基础；其次借助牵引或翻转方式精确部署内衬材料，并保证其在整个截面上均匀分布；最后采用化学交联或加热保温等方式推进固化工序，生成高强度且稳定的新型管道内壁。完成上述步骤后还需通过专业的检测装置全面评估修复成果，验证各项性能指标是否达到预期要求及相关规范的安全标准。该技术因具备施工便捷性高、效率显著以及无需中断正常供水服务等特点而备受青睐。

2 非开挖施工技术在市政管道施工中的应用

2.1 水平导向钻进法

水平导向钻进法是目前非开挖技术中应用最广泛的，采用导向钻机、随钻测量仪、特殊钻具沿设计轨迹钻进导向孔，扩孔后回拉管道^[2]。该方法的核心就是精确控制钻头轨迹，适合于软到中等硬度的土层，多用于穿越道路、河流、建筑物，铺设给排水、燃气、电缆管道。施工过程分为导向孔钻进、分级扩孔、管道回拉三个步骤，具有施工速度快、占地少、对地表破坏小等特点。但是该方法对地层适应性有一定的限制，在硬岩或者大漂石地层中施工难度较大，且需要注意泥浆处理防止污染环境。

2.2 顶管法

顶管法是利用顶进设备将管道从工作井顶入土层的施工方法，不需要开挖路面，适合大口径、长距离地下管道的铺设，如污水、雨水、输水管道等。其基本原理是在工作坑内安装液压千斤顶，使管节逐个顶入土层，在工作面上进行挖土作业，利用泥水平衡或者土压平衡技术控制地层变形^[3]。顶管法分为手掘式、机械式、气压平衡式等，泥水平衡式顶管法适合于高水位、流沙等复杂的地质条件，可以有效地控制地面沉降。该技术对周边建筑物的干扰小，施工安全，管道接头质量好，但是设备投资大，施工前期准备复杂，必须严格控制顶力和轴线偏差。

2.3 盾构法

盾构法属于大型非开挖施工技术，依靠盾构机在地下掘进的时候安装管片，从而形成完整的隧道衬砌，适合于大直径、长距离的地铁隧道以及大型市政管线工程。盾构机集切割、挖掘、出渣、管片拼装于一体，根据地质情况选择土压平衡式、泥水平衡式或者硬岩盾构机^[4]。优点是掘进速度快、能严格控制地面沉降，在城市中心区、密集的建筑群和水域中使用效果最好。盾构法施工风险小，但是设备昂贵、技术复杂，对前期勘察和方案设计要求高。城市地下综合管廊建设中盾构法是主要的施工方法，可以有效地解决传统明挖法对交通、

环境的影响。

2.4 牵引法

牵引法就是预先制作好管道和扩孔器，用导向钻进的方式形成导向孔，在回拉过程中把管道直接拉入地下。该方法适合于中小口径管道的铺设，即通信、电力和小口径给排水管道。施工流程包括导向孔钻进、扩孔、管道回拉，设备轻便，施工灵活，适应性强。牵引法对地表破坏小，在狭窄的空间内可以进行作业，特别适合于城市老旧管网的改造以及临时管线的铺设。但是该方法对管道材质有要求，一般采用PE等柔性管材，在硬岩或者含有大量卵石的土层中施工比较困难，要注意回拉过程中扭矩的控制以及防止管道变形。

2.5 夯管法

夯管法是利用夯锤产生的巨大冲击力将钢管直接夯入土层的施工方法，适合于短距离、小口径管道的铺设，如电力、通信和短距离给排水管道。此法不需要导向孔，施工速度快，设备简单，成本低^[5]。夯管法对地层适应性好，能穿过含砾石、黏土等各种复杂的地层，在穿越道路、铁路下短距离的管道铺设方面尤其适用。但是该方法对管道的强度要求较高，一般采用钢管，施工距离较近，一般不超过100米。夯管时要控制管道的直线度及地面隆起，防止对周围设施造成破坏。

2.6 原位固化法

原位固化法是应用最广的非开挖修复技术之一，用浸渍树脂的柔性软管翻转或者拉入旧管道，利用热水、蒸汽或者紫外线加热使其固化，形成紧贴旧管壁的新内衬管。该技术主要用来修复破损、渗漏或者结构劣化的排水、供水管道，具有施工周期短、对交通影响小、修复后管道强度高优点。原位固化法分为水翻转法、拉入法、旋转成型法，水翻转法适合长距离管道，紫外光固化法适合短距离、高要求的工程。

3 典型非开挖式市政管道修复施工流程

3.1 前期准备

3.1.1 现场勘察

现场勘察是开展非开挖带水内衬修复的第一步，也是保证整个修复质量的重要环节。施工前使用CCTV管道检测机器人对管道内部情况进行全面检测，准确找到管道破损处、破损程度、渗漏和变形情况，从而选择合适的修复工艺并制定专项施工方案。检测时对管内裂缝、腐蚀、变形、堵塞等病害要作详细的记载和影像保存，给材料选型、方案设计提供依据。施工现场周边的交通组织、地下管线分布、地面构筑物等也要做综合调查和风险评价，保证施工全过程的安全可控。

3.1.2 材料准备

内衬材料是决定管道修复效果和使用寿命的主要因素，在工程中一般使用玻璃钢、玻璃纤维复合材料、聚酯树脂等高强度、耐腐蚀、高柔性的材料。选材时要结合原管道材质、管径、运行工况、水质、使用环境等因素来决定内衬材料的力学性能、

耐腐蚀性能、粘结性能是否符合设计和规范的要求。另外还要准备固化剂、密封胶、粘结剂等辅助材料来保证内衬材料可以牢固、紧密地贴合在管道内壁上,提高整个结构的强度和密封性。

3.1.3 设备调试

施工前要对各种专用设备进行全方位的检查和调试,高压清洗设备、牵引设备、翻转设备、固化设备等都要检查其运行情况是否正常,性能是否良好,动作是否灵活可靠。对设备的电源、液压系统、控制系统、安全保护装置逐一进行检测和试运行,消除机械故障及安全隐患。通过空载试运行来检验设备的匹配性以及施工方案的可行性,保证各项参数符合施工要求之后再正式施工,给连续、安全、高效施工提供装备保障。

3.2 施工步骤

3.2.1 管道清洗

管道清洗属于非开挖修复的第一步,它的主要目的就是要把管道内部的淤泥、油脂、树根、结垢等障碍物全部清除掉,保证内衬材料可以和旧管壁紧密结合。一般用高压水射流清洗技术,用专用清洗车产生的50~80MPa高压水流,对管壁进行全方位冲刷。对于严重堵塞的管道,要先用CCTV检测机器人查明堵塞点,再对堵塞部位采取疏通、清洗等措施。清洗时还要配合机械刮削设备,将管壁上厚度大于20mm的硬质沉积物用砂轮打磨掉,使管壁粗糙度达到Ra12.5以上,提高黏结强度。清洗完毕后需要做CCTV检测,保证管壁干净无杂物,为内衬材料的安装创造良好的条件。

3.2.2 内衬材料安装

内衬材料安装属于关键工序,主要是将预浸树脂的纤维软管放入旧管道中。常用的有翻转法、拉入法。翻转法用水压或者气压把浸渍树脂的软管从工作井口翻转过来,使它慢慢倒转并贴合到旧管内壁上;拉入法则用卷扬机拉动软管慢慢拉入管道中。安装时要控制好软管进入速度,实时观察管内压力,防止软管扭曲、折叠、卡阻。对紫外光固化内衬要将内衬管预置于管道中,保证软管和管壁之间无气泡、无褶皱。安装前还要对树脂软管做真空抽吸处理,保证树脂充分浸渍、分布均匀。安装完毕后要进行初步的定位检查,保证软管覆盖整个管段并且没有偏移。

3.2.3 固化处理

固化处理是内衬材料形成强度和功能的重要步骤,常用的有热水循环固化、蒸汽固化和紫外线(UV)固化。热水固化用锅炉加热水流,循环注入软管内部,使树脂在40℃~60℃环境下完成交联反应,固化时间一般为1~2小时/米;蒸汽固化用高温蒸汽加速反应,适合于大口径管道;紫外光固化是牵引紫外灯组沿管内移动,利用特定波长紫外线引发树脂快速固化,效率高,固化时间一般为2小时/管段。固化时要随时监测管

内的温度、压力和光照强度,保证树脂均匀固化,防止局部过热或者欠固化。固化后要进行冷却定型,防止内衬管因温度变化而产生变形。对于紫外线固化还要检查固化度是否符合要求,保证内衬管有足够的强度和耐久性。

3.2.4 质量检测

质量检测属于保证修复效果、保证工程安全的最后一步,一般包含外观检查、CCTV检测、压力试验和闭水试验等。外观检查用CCTV机器人对修复后的管道做360度无死角的拍摄,主要看内衬表面是否光滑、有无气泡、褶皱、脱层等缺陷。CCTV检测要留有修复前后对比的影像,评判内衬管同原管壁的贴合情况和整体结构是否完整。压力试验模拟管道运行压力,检测内衬管密封性,要求无渗漏;闭水试验用充水法进行,保证管道在30分钟内渗水量不大于1.2L/(m·h)。对关键节点还要做超声波探伤或者厚度检测,保证内衬管厚度满足设计要求。发现缺陷时,应立即用注浆法或者局部修补工艺对缺陷进行修补,直到各项指标达到标准为止。最终得到一份完整的质量检测报告,用作工程验收的依据。

4 结束语

综上所述,非开挖施工技术已经成为现代市政管道建设与修复的主要技术,可以很好地解决传统开挖施工所造成的交通干扰、环境破坏、工期长等问题,在排水、供水、燃气等管网改造工程中具有明显的优势。本文对非开挖修复技术原理、常用施工方法和完整的施工流程进行了系统的分析,确定了前期勘察、管道清洗、内衬安装、固化处理、质量检测等主要环节的控制要点。在城市高质量发展的大背景之下,应该继续推广非开挖技术,加强材料、装备和工艺的创新,加强施工全过程的控制,提高市政管道修复的安全性、耐久性和经济性,为城市基础设施的可持续发展提供有力的保障。

【参考文献】

- [1]王永锋,张景辉,杨晶,等.非开挖修复技术在市政管道修复中的应用综述[J].2026(4).
 - [2]雷刚.市政给水管道非开挖修复技术(CIPP)施工工艺研究[C]//智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(二).2025.
 - [3]吴迪.市政工程排水管道非开挖修复技术研究[J].中华建设,2025(2).
 - [4]郑显波.非开挖施工技术在市政管道施工中的应用分析[J].中国科技期刊数据库 工业A,2023.
 - [5]熊旭腾.用于大管径市政管道的非开挖式修复装置:CN202222353843.2[P].CN218094911U[2026-05-09].
- 第一作者:刘宝明,1984年11月05日,男,山东省济南市莱芜区,汉族,本科,中级工程师,研究方向:市政;
第二作者:高鑫,1988年12月01日,男,河北省深州市,汉族,本科,工程师,研究方向:市政。