

市政管网非开挖修复施工技术措施研究及应用

魏倩

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

摘要：随着城市化进程的加速，市政管网作为城市基础设施的核心组成部分，其老化破损问题日益凸显。传统开挖修复技术存在交通干扰大、环境破坏严重、施工周期长等弊端，已难以满足现代城市建设的绿色低碳需求。非开挖修复技术凭借“微创手术”式的独特优势，成为市政管网更新改造的主流方向。本文系统综述了市政管网非开挖修复技术的发展现状与分类体系，深入剖析了材料革新、设备升级、工艺优化等关键技术措施，结合华南地区大口径过河管道修复典型工程案例验证技术实用性，最后展望了智能化、绿色化、一体化的未来发展趋势。研究成果可为市政工程领域技术人员提供理论参考与实践指导，推动非开挖修复技术的规范化应用与创新发展。

关键词：市政管网；非开挖修复；技术措施；工程应用；绿色施工

1 引言

市政管网是城市赖以生存和发展的“地下血脉”，承担着供水排水、燃气输送、通信传输等关键功能，其运行稳定性直接决定城市公共服务质量、生态环境安全与居民生活品质，是城市基础设施建设与运维管理的核心环节。近年来，我国城镇化建设迈入高质量发展新阶段，城市规模持续扩张，而大量早期敷设的市政管网因服役年限超限、材料性能衰减、地质条件变化及外部荷载侵蚀等因素，普遍出现管道腐蚀、渗漏、开裂、接口错位等病害，管网运行故障频发，不仅造成资源浪费、环境污染，更埋下路面塌陷、管网泄漏等安全隐患，严重制约城市可持续发展。

1.1 研究背景

市政管网涵盖供水、排水、燃气、通信等多个系统，是保障城市正常运行的“地下生命线”。据统计，我国现有市政管道中超过30%已运行20年以上，普遍存在腐蚀、渗漏、破裂、接口脱节等结构性缺陷，不仅导致水资源浪费、环境污染等问题，还可能引发路面塌陷等安全事故。传统开挖修复技术需大面积破除路面，平均每公里施工将造成周边交通拥堵时长超40小时，同时产生大量建筑垃圾，生态环境影响显著。在此背景下，非开挖修复技术因具备对环境干扰小、施工效率高、综合成本低等优势，得到国家政策的重点支持，《城市地下管线工程管理办法》明确提出鼓励采用非开挖技术进行管线建设与修复。

1.2 研究意义

理论意义：当前非开挖修复技术研究多集中于单一工艺应用，缺乏对材料、设备、工艺协同优化的系统性分析，尤其在大流量、大口径、复杂地质条件下的技术

适应性研究不足。本文通过整合最新技术成果与工程实践数据，构建完善的技术体系，填补现有研究的薄弱环节。

实践意义：近年来我国非开挖修复市场规模年复合增长率达14.5%，2024年市政管道修复中非开挖技术使用率已达65%，但实际工程中仍存在技术选型不合理、施工质量控制难度大等问题。本文提出的关键技术措施与案例经验，可直接指导工程实践，降低施工风险，提升修复质量与耐久性。

1.3 研究内容与技术路线

研究内容：包括非开挖修复技术综述、关键技术措施（材料、设备、工艺）、工程应用案例分析及未来发展展望四大模块，重点聚焦技术创新性与实践适配性。

技术路线：采用“文献调研—技术梳理—案例验证—趋势预判”的研究路径，通过分析国内外最新研究成果与典型工程数据，系统构建技术体系，结合实际工程案例验证技术有效性^[1]。

2 市政管网非开挖修复技术综述

2.1 技术定义与核心特征

非开挖修复技术（Trenchless Technology）是指在不破坏地面、路面结构的前提下，通过地下钻孔、定向钻进等方式，对破损管道进行检测、修复或更换的一系列技术总称。其核心特征表现为：最小化环境扰动，施工区域占地面积仅为传统开挖技术的10%-15%；施工周期短，平均修复效率比传统方法提升3-5倍；适用范围广，可用于不同材质（混凝土、铸铁、塑料等）、不同口径（DN50-DN2000）管道的修复；综合成本低，对于繁华城区、过河管道等特殊场景，成本较开挖修复降低20%-40%^[2]。

2.2 技术分类体系

根据修复目的与工艺原理，非开挖修复技术可分为

三大类：

2.2.1 内衬修复技术

以原位固化法（CIPP）为代表，包括翻转式和拉入式两种工艺，通过将浸渍树脂的软管置入原管道，经热水、蒸汽或紫外光固化形成内衬管，适用于结构性和半结构性修复。该技术市场占比达45%，是目前应用最广泛的非开挖修复技术^[3]。

2.2.2 喷涂修复技术

通过高压喷涂设备将聚合物材料均匀涂覆于管道内壁，形成致密防腐或结构修复层，包括水泥砂浆喷涂、聚氨酯喷涂等，适用于管道腐蚀、轻微渗漏等非结构性缺陷修复，具有施工速度快、成本低等优势。

2.2.3 管道更换技术

包括水平定向钻进（HDD）、顶管法、HDPE管道拉管法等，适用于管道严重破损无法修复的场景，可实现旧管更换与新管铺设一体化施工，其中HDD技术在能源管道与通信管道领域市场占比达58%。

2.3 国内外发展现状

2.3.1 国外发展现状

欧美发达国家非开挖技术起步早，技术成熟度高。美国在定向钻进、水平定向钻（HDD）等核心技术领域处于领先地位，拥有维特根、贝克玛等知名设备制造商；欧洲在管道修复材料与工艺方面优势显著，德国卡瓦格、法国苏威等企业在化学管道修复领域技术领先，德国已成功研发生物树脂替代传统石油基树脂，实现绿色修复^[4]。

2.3.2 国内发展现状

我国非开挖技术起步较晚但发展迅速，市场规模从2018年的50亿美元增长至2023年的120亿美元，年复合增长率达14.5%。在市政管道修复领域，CIPP、HDPE管道拉管等技术已广泛应用，广州、上海、北京等城市相继完成多项大口径、复杂工况下的修复工程，部分技术已达到国际先进水平，但在高端设备制造、核心材料研发等方面仍与发达国家存在差距^[5]。

3 市政管网非开挖修复关键技术措施

3.1 材料革新技术

材料是决定非开挖修复质量与耐久性的核心要素，近年来呈现出高性能、绿色化、专用化的发展趋势^[6]。

3.1.1 树脂材料

传统不饱和聚酯树脂逐渐被环氧树脂、乙烯基树脂替代，这类材料具有强度高、固化收缩率低、耐腐蚀性强等优点。最新研发的生物基树脂以可再生资源为原料，不仅环保性能优异，且固化速度提升30%，已在德国部分工程中试点应用。针对不同修复需求，树脂材料已实现

功能细分：结构性修复采用高模量环氧树脂，断裂伸长率达5%-8%；防腐修复采用柔性聚氨酯树脂，粘结强度 $\geq 2.5\text{MPa}$ 。

3.1.2 增强材料

软管增强材料从玻璃纤维向碳纤维、玄武岩纤维发展，碳纤维增强材料强度可达玻璃纤维的3倍，且重量更轻，便于施工操作。新型复合增强材料通过“纤维+无纺布”复合结构设计，显著提升内衬管的抗冲击性能与耐磨性，使用寿命延长至50年以上。

3.1.3 密封与堵漏材料

针对管道渗漏问题，研发出遇水膨胀型密封胶、高分子注浆材料等专用产品。遇水膨胀型密封胶膨胀率可达300%-500%，能快速封堵微小裂缝；高分子注浆材料固化时间可调节（3-30分钟），适用于不同流量管道的堵漏处理，在大流量污水管道修复中表现突出。

3.2 设备升级技术

设备智能化、自动化水平的提升是推动非开挖修复技术发展的重要动力，主要体现在检测设备、施工设备与监测设备三大类。

3.2.1 检测设备

管道检测从传统CCTV检测向AI智能检测升级，新型检测机器人搭载高清摄像头、超声波传感器与AI分析系统，可自动识别管道腐蚀、裂缝、变形等缺陷，检测精度达0.1mm，缺陷识别准确率超过95%。部分高端设备还具备管道三维建模功能，为修复方案制定提供精准数据支撑。

3.2.2 施工设备

CIPP修复设备实现了小型化、集成化发展，紫外光固化设备功率提升至30-50kW，固化速度达1-2m/min，较传统热水固化效率提升2倍。大流量导排设备针对日均7万立方米以上的污水管道修复需求，优化了泵体结构与管路设计，结合现状排涝泵站实现高效导排，保障施工期间污水零外溢。水平定向钻进设备最大施工长度达1500m，导向精度控制在 $\pm 5\text{cm}$ 以内，满足长距离管道修复需求。

3.2.3 监测设备

施工过程监测设备实现了实时化、数字化，通过在管道内布置温度、压力传感器，实时监测固化过程中的参数变化，数据传输延迟 $\leq 1\text{s}$ ，可及时调整施工参数，确保修复质量。修复后质量检测设备采用超声波探伤、雷达探测等技术，可非破坏性检测内衬管厚度、粘结强度等关键指标。

3.3 工艺优化技术

3.3.1 预处理工艺

针对管道内沉积物、树根侵入等问题,优化了高压水冲洗+机械切削联合预处理工艺,高压水压力达15-20MPa,可有效清除管道内壁附着物,机械切削设备能精准切除树根、水泥瘤等障碍物,为后续修复创造良好条件。对于破裂管道,采用“搭设围堰+外部注浆+内部修复”三重堵漏工艺,先通过围堰围堵污水,再进行外部注浆加固土体,最后内部修复破裂点,实现渗漏点位精准治理。

3.3.2 核心修复工艺

CIPP翻转内衬工艺优化了翻转速度与压力控制参数,针对DN1200大口径管道,实现194米一次性修复,创华南地区同类工程纪录。工艺改进重点包括:采用分段加压技术,避免内衬管褶皱;优化固化温度曲线,控制升温速率为5-8°C/h,确保树脂充分固化;开发异形管道适配工艺,解决矩形、椭圆形管道修复难题。

3.3.3 后处理工艺

修复后的管道采用水压试验+渗漏检测联合验收工艺,水压试验压力为工作压力的1.5倍,保压时间 ≥ 30 分钟,渗漏量控制在0.2L/(min·km)以内。对于排水管道,采用闭水试验与CCTV复检相结合的方式,确保修复后管道满足使用要求。

4 工程应用案例分析

4.1 工程概况

项目名称:广州市新雅片区过新街河污水主管抢修工程;建设单位:广州水投花都排水公司;项目荣获广东省非开挖技术协会优秀工程奖三等奖。

该工程修复管道为DN1200污水主管,全长194米,为过河管道,肩负区域日均7万立方米污水收集运输重任。管道因长期高负荷运行出现突发结构性缺陷,存在破裂渗漏问题,若采用传统开挖修复,需破除河道堤岸与周边道路,不仅施工周期长达3个月,还可能造成河道污染与交通拥堵^[7]。

4.2 技术难点分析

大流量导排难题:日均7万立方米污水需临时导排,若导排不当将导致污水外溢,污染河道生态环境。

过河管修复挑战:管道位于河道下方,地质条件复杂,存在流沙层,管道基础稳定性差,修复过程中易发生坍塌。

大口径长距离修复:DN1200大口径管道一次性修复

长度达194米,对施工技术与设备要求极高,需避免内衬管出现褶皱、固化不充分等问题。

4.3 施工过程控制

导排阶段:实时监测导排流量与压力,根据污水量变化调整泵组运行数量,确保导排系统稳定运行,施工期间未发生污水外溢。

预处理阶段:分段进行管道清洗,每段清洗长度控制在20米以内,清洗后采用CCTV检测,确保管道内壁清洁度 $\geq 90\%$ 。

内衬修复阶段:控制翻转速度为0.5m/min,固化温度控制在80-85°C,压力维持在0.3-0.5MPa,通过传感器实时监测参数变化,及时调整设备运行状态。

验收阶段:CCTV检测显示内衬管表面光滑,无褶皱、破损,厚度均匀(设计厚度12mm,实际偏差 ± 0.5 mm);闭水试验保压30分钟,渗漏量为0.15L/(min·km),满足规范要求。

结论

市政管网非开挖修复技术作为一种绿色、高效、环保的管道修复方式,已成为解决城市管网老化问题的关键技术手段。当前非开挖修复技术在高端材料研发、核心设备制造等方面仍存在不足,未来需加强产学研合作,加大研发投入,突破技术瓶颈,推动非开挖修复技术向更高质量、更高效益、更环保的方向发展,为城市基础设施可持续发展提供有力支撑。

参考文献:

- [1]中国城镇供水排水协会.排水管道非开挖CIPP修复技术研究综述[J].城镇供水排水,2025,41(6):1-8.
- [2]豆丁网.2025-2030非开挖施工技术发展与应用现状研究[R].2025-12-30.
- [3]李建军,王建华.市政管道非开挖修复技术手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2024.
- [4]张明亮,刘志强.CIPP原位固化法在大口径污水管道修复中的应用[J].施工技术,2025,54(3):68-72.
- [5]非开挖技术协会.中国非开挖技术发展报告(2024)[R].北京:中国建筑工业出版社,2025.
- [6]王鹏,赵丽娜.非开挖修复技术在过河管道工程中的应用研究[J].市政技术,2025,43(2):95-99.
- [7]陈志强,李明.智能化技术在非开挖修复施工中的应用[J].工程建设,2025,57(4):102-106.