

市政给排水管道非开挖修复施工关键技术与质量控制

纪 琰

新疆生产建设兵团第七师住房和城乡建设发展服务中心 新疆 第七师 834034

【摘要】：市政给排水管道是城市地下基础设施的“生命线”，随着服役年限增长，管道结构性缺陷和功能性缺陷日益突出。传统开挖修复方式面临交通干扰大、施工周期长、社会成本高等现实困境，非开挖修复技术因其对地面交通和周边环境影响小、施工速度快等优势，已成为城市管道病害治理的主流手段。本文从管道检测评估、修复方案选择、管道预处理、材料质量控制、关键工序施工以及质量验收等环节出发，系统阐述了非开挖修复施工的关键技术与质量控制要点。

【关键词】：市政给排水管道；非开挖修复；施工技术；质量控制

DOI:10.12417/3083-5526.25.11.011

1 引言

市政给排水管道属于城市正常运转的关键性基础设施。随着服役时间的增加，由于管道材质老化、地面荷载变化、地基不均匀沉降、地下水腐蚀等各种原因，大量的管道出现破裂、渗漏、变形、错口、脱节等结构性缺陷和沉积、结垢、树根侵入等功能性缺陷^[1]。管道病害会影响正常的供水排水功能，也会引发道路塌陷、环境污染等次生灾害，属于城市安全运行的隐患^[2]。

非开挖修复技术（Trenchless Rehabilitation Technology）是在地表不开挖或者只开挖很小的工作面的情况下，利用原有管道作为通道，采用内衬、喷涂、缠绕、碎裂等方法对病害管道进行修复或者更新的技术方法^[3]。非开挖修复技术是公认的、城市可持续发展的一项关键技术。经过几十年的发展，已经形成了原位固化法（CIPP）、紫外光固化法（UV-CIPP）、喷涂法、短管内衬法、螺旋缠绕法、不锈钢内衬法等几种工法的技术体系^[4]。2024年颁布的城镇排水管道非开挖修复施工技术规范（T/CASMES 325-2024）就各种工法的施工技术要求做了全面的规定^[5]。2025年颁布的市政给排水管网非开挖修复技术规范对管径DN150~DN3000的圆形管道非开挖修复工程的技术要求做了进一步的规范。

2 管道检测评估与修复方案选择

2.1 管道检测与缺陷评估

非开挖修复施工第一步就是对待修复管道进行全方位、准确的检测和评价。检测的目的就是查明管道的材质、管径、埋深、走向、接口形式等基本参数，也查明管道内部的缺陷类型、缺陷位置、缺陷等级、缺陷分布范围，为以后修复方案的选择和施工设计提供依据。

管道检测一般用闭路电视检测系统（CCTV）。CCTV检测设备装有高清摄像头和照明装置，由操作人员在地面遥控爬行器在管道内行进，对管道内壁做全景扫描并录像。检测时要详细记载管道整体结构状况，缺陷种类及所在位置，管道实际内径和变形情况，支管接口处位置，检查井连接情况等。检测

完成后要按照有关标准，对缺陷加以分级评定，确定哪些管段须要修补，采取何种等级的修补方法。对一些复杂的工况可以配合使用声纳检测、管道潜望镜检测（QV）等来获得更加全面的管道状态信息。

2.2 修复方案的选择原则

选择修复方案是决定非开挖修复工程好坏、成本高低的重要环节。科学的方案选择要遵照以下原则。

技术适用性原则。不同的修复工法有不同的适用的管径、管道材质、缺陷类型、管道运行工况。原位固化法适用于各种管材的圆形管道，可以修复结构性缺陷；紫外光固化法适用于无压排水管网系统；喷涂法适用于检查井和管道内壁的防腐防渗处理；短管内衬法适用于小管径管道修复；不锈钢内衬法适用于压力管道的结构性修复。方案选择要符合管道实际情况。

经济合理性原则。不同工法的工程造价差别很大。在技术要求满足的基础上，选择综合经济指标最好的方案。综合经济指标要兼顾材料费、设备费、施工期、交通影响、社会成本等各方面因素。

质量控制的可行性原则。方案选择要考虑施工质量的控制性。不同的工法其质量影响因素也不相同，有些是材料质量敏感型的工法，有些是施工环境敏感型的工法，有些是操作人员技术敏感型的工法。选择方案时要考察施工单位的技术能力及现场条件是否符合要求，保证方案在实际工况下具有质量可控性。

2.3 施工前准备工作的质量控制

施工方案确定之后，必须做好充分的施工前准备工作，这是保证施工质量的前提。准备工作要包含仔细审核设计文件及施工图纸，确定修复范围和技术要求，对施工人员展开技术交底，保证所有参加人员知晓施工工艺，质量标准以及操作要点，检查施工设备的状况和性能，保证设备完好并且计量器具处在有效的期限内，落实材料进场检验和存放条件，制订施工组织设计和质量计划，明晰各个工序的质量控制点和检验办法。

3 管道预处理施工技术与质量控制

3.1 管道预处理的必要性

管道预处理是非开挖修复施工中容易被忽略但是又极为重要的一个环节。未做充分预处理的管道内壁上附着有沉积物、结垢、油脂、树根等杂物，这些杂质会影响内衬材料和原管壁之间的粘结效果，造成内衬层剥离、脱落或者产生空隙。预处理不彻底是造成非开挖修复工程早期失效的主要原因。

3.2 管道清洗技术

管道清洗属于预处理的第一道工序，其主要作用就是清除管道内壁的附着物和沉积物。常用的清洗方法有高压水射流清洗、机械清洗、化学清洗等。高压水射流清洗就是用高压水泵产生的高速水射流冲洗管道内壁，适用于清除一般的泥沙、油脂、结垢。顽固的树根、硬质结垢可以用铣刀机器人进行清除。化学清洗适合于油脂类污染严重的管道，用化学药剂溶解、乳化油脂。

清洗质量控制的重点是清洗后管道内壁的洁净程度。清洗完毕后用 CCTV 检测来检验管壁有无明显附着物、内表面是否干净。对清洗不合格的管段要进行二次清洗，直到达到内衬施工要求为止。管道清洗过程中产生的废水、废渣要妥善收集并加以处理，防止造成二次污染。

3.3 缺陷预处理与临时封堵

对管道内壁有局部缺陷的地方（尖锐凸起、松散剥落、严重错口等）在整体内衬施工前要进行专项预处理。尖锐凸起可能会刺破内衬材料，在清洗过程中或者清洗之后应该清除或者打磨平整。严重错口、脱节处会影响内衬材料顺利进入，应先做局部修补或者安装引导装置。

临时封堵属于管道预处理的环节之一。修复施工期间要对施工管段的上游、下游实施临时封堵，防止水流进入作业区。封堵方式有气囊封堵、机械封堵、砌筑封堵等，应根据管道直径、水压、封堵时间选择合适的封堵方式。封堵完毕后要检查封堵效果，无渗漏时再进行后续施工。封堵期间要有人进行封堵状态的监测，保证施工安全。

3.4 土体注浆加固

对于管道周围有空洞、土体松散或者渗漏严重的管段，在修复之前要先做土体注浆加固。注浆是为了填充管道周围空洞、裂隙，改善地基承载条件，防止修复后管道因地基问题再次损坏而设。注浆材料应具有良好的流动性、渗透性、固化强度，注浆压力、注浆量要根据地质条件、管道情况准确控制。注浆完成后应进行效果检查，以保证土体得到加固。

4 主要非开挖修复工法的关键技术与质量控制

4.1 原位固化法（CIPP）的施工关键技术

原位固化法（Cured-in-Place Pipe, CIPP）是目前应用最广

泛的非开挖管道修复技术。其基本原理就是用浸渍树脂的纤维软管通过水压或者气压翻转或者拉入待修复管道内，然后用水热、蒸汽或者紫外线使树脂固化，在管道内部形成一层连续、致密的内衬管。

施工前要根据管道直径、修复长度、原管道情况来确定内衬管层数、厚度和树脂系统。软管材料一般是由聚酯毡或者玻璃纤维织物和热固性树脂（聚酯、乙烯基酯或者环氧树脂）复合而成的。软管在工厂预制时，树脂含量、纤维分布、软管尺寸精度均要严格控制。软管到场后要进场检验，保证材料型号、规格、数量与设计相符，包装完好、材料保质期符合要求。

软管置入时，将浸渍树脂的软管从检查井送入待修复管道。置入方式可以是翻转法（用水压或者气压将软管翻转进去），也可以是牵引法（用绞车将软管拉进）。置入时推进速度、压力要控制好，防止软管变形、折断。置入后要检查软管在管道内位置是否正确，两端伸出长度是否符合设计要求。

固化阶段为质量控制的中心。热固化法是用循环热水或者蒸汽加热使树脂固化，要严格控制加热温度、升温速率和保压时间。固化温度低或者固化时间短会造成树脂固化不完全，影响内衬管的强度和耐久性。紫外光固化法利用紫外线灯照射光敏树脂来固化。紫外光固化具有固化速度快（一般3~4小时）、能耗低、无废水排放等特点。固化期间要连续检测温度、压力及固化情况，保证固化质量。

4.2 紫外光固化法（UV-CIPP）的施工质量控制

紫外光固化法（UV-CIPP）属于原位固化法的一个重要分支，近些年来发展迅速。与传统的热热水或者蒸汽固化相比，紫外光固化具有固化速度快、施工效率高、环境影响小等明显的优势。

紫外光固化施工关键质量控制有如下几个方面。光源控制即紫外光灯链的功率、波长、分布等都会影响到树脂的固化效果。施工前应检查灯链工作状态，保证各个灯管的功率一致、照射均匀。固化时要依靠监控系统对光强、温度分布进行实时监测。巡航速度控制就是灯链在管道内运行的速度决定树脂接受紫外线照射的时间。速度过快会造成固化不够充分，速度过慢会造成树脂过热老化。行进速度要按照树脂体系的固化特性、管径以及灯链功率来执行试固化试验，从而得出。管内温度控制，紫外光固化时树脂放热反应会产热，管内温度过高会造成树脂烧焦或者内衬变形。应采用温度传感器实时检测管内温度，温度超过限定值时及时改变灯链运行速度或者停止固化。固化时内衬管内需要保持一定气压，保证软管与原管壁紧密接触。气压不足会造成内衬管褶皱或者与原管壁之间留有空隙，气压过高会造成内衬管过度扩张、壁厚减薄。

固化后应做 CCTV 对内衬管进行外观检查，检查内表面是

否光滑、有无气泡、褶皱、分层等缺陷。同时还要按照规范要求对现场取样送检,检测内衬管的厚度、硬度、固化度及力学性能。

4.3 喷涂修复法的施工质量控制

喷涂修复法就是用高分子材料(改性环氧树脂、聚合物水泥砂浆等)通过专用喷涂设备均匀地涂覆在管道内壁上,形成连续防护层的修复方法。该方法适合于管道内壁防腐、防渗,也可以用来局部缺陷修复。

喷涂材料属于影响喷涂修复质量的第一要素。应选用符合设计要求的喷涂材料,材料进场时应核对产品质量证明文件及型式检验报告。喷涂材料要有较好的附着力、耐腐蚀性以及抗渗性。喷涂设备要进行校准,保证喷涂压力、流量稳定。喷涂前要进行试喷,确定最佳的喷涂参数。喷涂施工应分层进行,每层厚度一致。层间间隔时间要符合材料的固化要求,保证层间结合牢固。喷涂完成后要检查涂层厚度和外观质量,厚度不够处要进行补喷。

4.4 短管内衬法与螺旋缠绕法的施工质量控制

短管内衬法就是将工厂预制或者现场制作好的短节管道逐节推入待修复管道内,再用注浆填充新旧管道之间的空隙。该方法适合于小管径管道的修复。短管内衬质量控制的关键是管节加工精度和接口密封质量。管节尺寸应与原管道内径相适

应,管节之间接口处应有可靠的密封结构,防止地下水渗入。管节推入后,新旧管道之间环空用水泥浆或者化学浆液注浆填充,注浆应饱满密实。

螺旋缠绕法是利用专用缠绕机把带状型材在管道内部螺旋缠绕成新的管道内衬。此法适合大管径管道的结构修理。缠绕质量控制的重点是型材的锁扣连接牢固度以及缠绕张力控制,使形成出来的螺旋内衬管具有足够的结构强度。

5 结语

市政给排水管道非开挖修复施工属于城市基础设施维护更新的重要技术手段。本文从管道检测评价、修复方案选取、管道预处理、主要工法施工控制和质量验收等几个方面对非开挖修复施工关键技术及质量控制要点进行了详细的论述。非开挖修复施工质量控制要贯穿材料、工艺、验收全过程,管道预处理是质量的基础,清洗不净、缺陷未除,再好的材料和工艺也无法保证修复效果,材料性能是质量的保证,进场检验、存储管理、使用控制,任何一个环节都不能放松,过程监控是质量的手段,关键参数实时监测、异常情况及时调整,检测验收是质量的验证,外观检查、厚度测量、固化度检测、功能性试验,缺一不可。非开挖修复施工由“技术可行”转向“质量可靠”,要从标准规范、材料研发、设备更新、人员培训、质量把控等各方面共同发力,用精细化施工和全过程质量控制来保证修复后的管道可以经得起时间的考验和使用。

参考文献:

- [1] 王跃.非开挖修复技术在市政给排水管网修复施工中的应用[J].城市周刊, 2025(40).
- [2] 任君彪.非开挖修复技术在城市给排水管道中的应用[J].工程技术研究, 2024, 9(21):88-90.
- [3] 吴羨宽.市政给排水管道非开挖带水内衬修复施工技术分析[J].中国厨卫, 2025, 24(10):237-239.
- [4] 李亮亮.市政给排水管道非开挖带水内衬修复施工技术研究[J].中国建筑金属结构, 2025, 24(10):73-75.
- [5] 张英.浅谈市政排水管道的检测与修复技术[J].城市建设理论研究(电子版), 2025(23):197-199.