

市政排水管道非开挖修复技术适用性及经济性分析

陈贵文

江西典邦建筑劳务有限公司 江西抚州 344000

摘 要：本文聚焦于市政排水管道非开挖修复技术，深入探讨其适用性与经济性。在适用性方面，详细分析了不同非开挖修复技术在管道材质、管径、损坏程度、地质条件等因素下的应用情况。在经济性上，全面考量了修复成本、施工周期、对周边环境的影响等多方面因素，并通过具体案例对比非开挖修复技术与传统开挖修复技术的经济差异。旨在为市政排水管道修复方案的选择提供科学依据，促进非开挖修复技术在市政工程中的合理应用。

关键词：市政排水管道；非开挖修复技术；适用性；经济性

引言

市政排水管道是城市基础设施重要部分，承担污水、雨水收集排放任务。随城市发展和时间推移，管道会老化、损坏，影响排水系统运行，还可能引发环境问题。传统排水管道修复采用开挖修复，弊端多，在城市繁华地段难度和成本显著增加，甚至无法实施。非开挖修复技术是新兴方法，近年来在市政排水管道修复中广泛应用，它能在不破坏或少量破坏地面的情况下检测、修复和更新地下管道，与传统开挖修复相比，施工周期短、对交通和周边环境影响小、成本相对较低。不过，不同非开挖修复技术特点和适用范围不同，实际应用需根据具体情况合理选择，其经济性也受多种因素影响。因此，深入分析其适用性和经济性，对合理选择修复方案、提高效率、降低成本有重要现实意义。

一、市政排水管道非开挖修复技术分类与原理

（一）非开挖修复技术概述

市政排水管道非开挖修复技术是基于管道内窥检测（CCTV）和声呐等手段，对管道缺陷精确定量和定性分析后实施修复方案的综合性技术体系。它需准确判断管道缺陷类型，结合管道材质等多因素综合评估，以数据驱动选择最优修复方案，是一种高精度、低影响的修复范式，可实现城市基础设施精细化维护。

（二）内衬修复技术原理及分类

内衬修复技术是将新管状材料（内衬管）置入原有管道内部，形成复合管道结构，恢复或增强管道强度和密封性。其核心是通过新旧管材复合传递荷载，适用于多处结构性损伤管道。根据内衬管材料和成型工艺

不同，一是用浸渍热固性树脂的纤维增强软管作内衬材料，按加热方式分为热水/蒸汽固化法和紫外光固化法，紫外光固化法适用于快速恢复通行场景；二是用预先成型的硬质或半硬质塑料管作内衬材料，按新旧管结合方式分为紧密内衬法和结构衬管法，紧密内衬法适用于管道变形量小的情况，结构衬管法修复后管道结构可靠性更高，适用于原管道丧失大部分结构强度的情况^[1]。

（三）喷涂修复技术原理及分类

喷涂修复技术是将特制修复材料通过高压设备喷射到管道内壁，形成防渗防腐保护层。其核心是利用高压喷射使材料附着管道内壁，封堵微裂缝和孔隙，恢复闭水性能。该技术施工速度快，适用于长距离管道防腐、防渗及对管道截面尺寸影响小的场景。根据喷涂材料不同，一是以水泥为基体的喷涂材料，按施工工艺分为有气喷涂和无气喷涂，无气喷涂适用于对防腐和防渗性能要求高的混凝土管道修复；二是用100%固分的环氧树脂砂浆作喷涂材料，按固化速度分为普通固化型和快速固化型，快速固化型适用于紧急抢修工程。

（四）局部修复技术原理及分类

局部修复技术（点位修复）针对管道单个或少数缺陷点精准修复，使用专用装置和材料隔离和加固缺陷区域，针对性和经济性高。根据修复材料和工艺不同，一是用不锈钢或玻璃纤维制成的修复器，按材质分为不锈钢制筒和玻璃纤维制筒，分别适用于承压要求高和一般排水管道修复；二是用低粘度、高强度的树脂作注浆材料，按注浆位置分为内部注浆和外部注浆，外部注浆应用范围更广，处理深层渗漏能力更强^[2]。

二、市政排水管道非开挖修复技术适用性分析

（一）技术适用性的影响因素

技术适用性判定是复杂系统工程，受一系列相互关联、制约的因素影响。首要因素是管道自身状况，包括材质、管径、埋设深度、长度及缺陷类型与严重程度，如HDPE内衬法适用于大管径管道，翻转法对管道曲线段和变径段通过能力有技术限制。其次，工程地质与水文条件是施工可行性关键，地下水位、土壤渗透性、岩石层等影响辅助工艺难度与成本。此外，现场作业空间，包括周边建筑物、交通流量、地下管线密集程度等，限定施工设备大小和作业方式，决定采用整体或局部修复。

（二）不同修复技术的适用性比较

不同非开挖修复技术因工作原理、材料特性和工艺流程不同，有独特适用范围和性能优势。进行适用性比较需将管道实际情况与技术参数精确匹配。内衬修复技术，如原位固化法（CIPP）和折叠内衬法，属整体性修复，能提升管道结构强度和整体性，适用于多处结构性缺陷、整体性差或需隔绝渗漏的场景，但会牺牲过水断面，严重变形、错口时内衬管可能无法通过或贴合。喷涂修复技术用于修复非结构性缺陷，如轻微渗漏、腐蚀麻面、点状损坏等，通过形成防腐防渗涂层恢复水密性，几乎不提供结构补强。局部修复技术，如机械制筒法，针对性强，用于修复局部破裂、渗漏点，施工速度快、成本低，对过水断面影响小，适用于缺陷位置明确且数量少的情况。

（三）管道结构性缺陷与非结构性缺陷的适用性匹配

适用性分析核心是将管道缺陷属性与修复技术功能精准匹配。结构性缺陷如破裂、变形等，威胁管道承载与稳定，修复目标是恢复结构完整性，应选用结构补强技术，如CIPP，其固化后与原管壁形成复合结构分担荷载。非结构性缺陷如腐蚀、结垢等，影响输水能力与寿命，修复目标是恢复水力功能与防渗性能，喷涂与部分局部树脂修复技术是理想选择，可形成保护层解决问题。若结构性缺陷用非结构性技术修复会留隐患，非结构性缺陷用结构性技术修复会造成浪费^[3]。

（四）施工环境与社会因素的适用性考量

技术适用性实现需考虑施工环境与社会因素制约。在城市中心或主干道下方修复，施工周期和交通导改是首要考量。翻转法CIPP固化时间长，影响交通；喷涂修复技术施工快，影响小，更具优势。施工产生的噪音、废气和化学材料气味对周边影响也需评估，敏感地段应选低噪音、无挥发性有机物排放技术。地下管线复杂，

修复要确保不损害周边重要管线，所选技术施工精度和可控性需满足安全标准。成功的适用性分析需综合平衡技术、经济、环境和社会效益。

三、市政排水管道非开挖修复技术经济性分析

（一）经济性分析的基本原则与方法

市政排水管道修复技术的经济性分析，必须遵循系统性与动态性的基本原则。系统性原则要求将分析对象视为一个完整的系统，全面考察其所有相关的成本与收益要素，避免因片面追求某一环节的低成本而导致整体效益的下降。动态性原则则强调资金的时间价值，通过引入折现率将未来不同时间点发生的成本与收益折算为现值进行比较，以确保分析结果在时间维度上的公平性与准确性。在具体方法上，本文采用全生命周期成本分析法作为核心工具。该方法首先界定分析的时间边界，即从项目决策设计阶段开始，到管道达到其设计使用寿命终点为止的全部时间段。在此框架内，系统识别并量化所有直接成本与间接成本，并预测各技术方案在不同年限下的维护频率与费用，最终通过建立成本现值模型，计算出各方案在全生命周期内的总成本，为方案比选提供量化依据^[4]。

（二）不同修复技术的全生命周期成本构成

不同非开挖修复技术的全生命周期成本构成存在显著差异，这种差异是进行经济性比较的基础。以应用广泛的CIPP内衬修复技术和喷涂修复技术为例，其成本构成各有侧重。CIPP技术的初始直接成本通常较高，这包括特种玻璃纤维毡或编织管材的费用、高性能树脂的成本、以及加热固化系统（如热水或蒸汽锅炉）的租赁与能耗费用。然而，其优势在于修复后的管道结构强度高、使用寿命长（通常可达50年以上），因此在后续的运营维护阶段，其发生结构性缺陷修复或更换的概率极低，长期维护成本相对较低。相反，喷涂修复技术的初始直接成本通常低于CIPP，其材料成本主要为环氧树脂或聚氨酯涂料，且施工设备相对轻便，能耗较低。但其形成的内衬层相对较薄，结构补强能力有限，设计使用寿命通常短于CIPP（一般在20-30年），因此在管道的全生命周期内，可能需要进行二次甚至多次修复，导致其累计的后期维护成本和潜在的更换成本会显著增加。因此，仅凭初始成本判断经济性是片面的，必须深入剖析各技术方案在整个生命周期内的成本流变化规律。

（三）直接成本与间接成本的对比分析

全面的经济性分析必须对直接成本与间接成本进行

明确的界定与量化,并揭示其在不同技术方案中的对比关系。直接成本是指为完成修复工程本身所必须发生的、可直接计入工程项目的费用,主要包括材料费、设备费、人工费、以及必要的路面开挖与恢复费用。非开挖技术的优势之一便是显著降低了直接成本中的路面开挖与恢复费用。间接成本则更为复杂,它是指与修复工程相关但不直接计入工程项目的费用,主要包括社会环境成本和管理成本。社会环境成本涵盖因施工造成的交通拥堵、商业活动损失、以及对周边居民生活的干扰而产生的经济损失。管理成本则包括项目管理人员的薪酬、工程监理费用、以及为协调多方关系(如交管、市政、社区等)所耗费的人力与时间成本。在对比分析中可以发现,虽然某些非开挖修复技术的直接成本略高于传统开挖法,但其间接成本,特别是社会环境成本,却远低于后者。例如,CIPP或喷涂修复技术可以在夜间或交通低谷期快速施工,对白天的交通影响微乎其微,其间接成本中的社会环境成本项显著降低。因此,一个科学的决策必须将直接成本与间接成本进行综合加总,才能得出真实、完整的成本结论^[5]。

(四) 不同修复技术的综合效益评价

综合效益评价是对经济性分析的升华,它将经济成本与工程效益、社会效益和环境效益置于同一评价框架内进行系统考量。其价值在于克服了单纯经济分析的局限性,实现了决策目标从“成本最低”向“价值最高”的转变。在工程效益方面,评价内容包括修复后的管道水力条件改善程度、结构强度提升效果、以及预期使用寿命的延长。这些指标直接关系到管道的运行效率和长期可靠性,是避免未来重大工程事故、保障城市排水系统安全运行的基础。在社会效益方面,评价重点在于施工期间对城市正常秩序的扰动程度,包括交通影响范围、噪音控制水平、以及对市民出行便利性的保障。非开挖技术在这方面具有天然优势,其综合效益评价得分通常更高。环境效益则体现在施工过程中产生的建筑垃圾数量、能源消耗水平以及对周边生态环境的破坏程度。非开挖修复技术由于无需大规模开挖,产生的土方垃圾极少,且施工能耗相对较低,其环境友好性特征在综合效益评价中得到了充分体现。通过构建包含经济、工程、社会、环境等多维度的综合效益评价指标体系,并采用层次分析法等量化方法进行权重赋值与计算,最终能够

得出各技术方案的综合效益评价值。这一评价值为管理者提供了一个科学的决策基准,确保所选方案不仅是经济上可行的,更是在整体上最优的,从而推动市政排水管道修复工程向更高质量、更可持续发展的方向。

结语

市政排水管道非开挖修复技术在当今城市基础设施建设与维护中具有不可替代的重要地位。通过对各类非开挖修复技术原理、分类的详细阐述,以及对其适用性和经济性的深入分析,能够更科学、合理地针对不同状况的排水管道选择最优修复方案。在实际工程应用中,应充分考虑管道自身状况、工程地质与水文条件、现场作业空间等技术适用性的影响因素,精准匹配不同修复技术与管道结构性缺陷和非结构性缺陷。同时,也要综合考量施工环境与社会因素,实现技术、经济、环境和社会效益的统一。此外,从经济性角度出发,对不同修复技术的全生命周期成本构成、直接成本与间接成本进行对比分析,并开展综合效益评价,有助于在满足修复需求的前提下,最大程度地降低成本,提高资源利用效率。未来,随着科技的不断进步和城市发展的持续推进,市政排水管道非开挖修复技术有望得到进一步的创新与完善。应持续关注行业动态,积极引入新技术、新材料、新工艺,不断提升市政排水管道修复的质量和水平,为城市的可持续发展提供坚实的保障。

参考文献

- [1]金惠玲,孙振平,杨海静,等.排水管道非开挖修复技术的应用现状及展望[J].混凝土世界,2022(9):82-85.DOI: 10.3969/j.issn.1674-7011.2022.09.019.
- [2]郑满水.市政给排水管道非开挖修补技术研究[J].科学技术创新,2022(026):000.
- [3]王复明,方宏远,赵鹏,等.用于大管径混凝土排水管道脱节的非开挖修复装置及方法:CN201910911303.1[P].CN110645440A[2025-07-30].
- [4]黄灿鑫.市政管道修复中应用非开挖技术的分析[J].信息周刊,2019(8):1.
- [5]李正杰,吴俊,王逸超.温州市排水管道非开挖修复技术适用性分析与应用实践[J].非开挖技术,2021(1):6.