

老旧城区供热一次网非开挖修复技术适用性研究

周天予

包头市绿源市政公用工程有限责任公司 内蒙古 包头 014030

摘要：本文系统梳理了当前主流的非开挖修复技术（包括原位固化法、穿插法、折叠内衬法、缩径内衬法及喷涂法等）的基本原理与工艺特点，结合老旧城区供热一次网的运行工况（高温、高压、长距离、连续运行）及空间约束条件，构建了多维度适用性评价指标体系。研究表明：不同非开挖技术在适用管径、耐高温性能、结构承载能力、施工效率等方面存在显著差异；原位固化法和折叠内衬法在综合性能上更具优势，适用于大多数老旧城区供热一次网的修复场景；而穿插法和喷涂法则受限于温度适应性和结构强度，在特定条件下可作为补充方案。最后，本文提出了技术选型建议、实施策略及政策配套措施，为老旧城区供热管网安全、高效、绿色更新提供理论支撑与实践参考。

关键词：老旧城区；供热一次网；非开挖修复；适用性评价；原位固化

引言

城市集中供热系统是北方居民冬季生活的重要保障。自20世纪50年代大规模建设以来，大量一次网服役超30年，部分超40年。这些管道材质普通、防腐简陋，在高温高压及多种因素影响下，问题频发，造成能源浪费与重大安全隐患。传统明挖更换方式在新建城区或郊区可行，但在老旧城区面临诸多困境：施工空间受限，大型机械难进场；严重影响居民出行、商户经营与交通秩序；易引发“马路拉链”现象，破坏城市景观与基础设施；成本高、工期长，难满足城市发展需求。在此背景下，非开挖修复技术因“少开挖、微扰动、高效率”成为市政管网更新改造重要方向。国际上，其在供热一次网应用有限，技术标准与经验不成熟；国内虽有试点，但缺乏系统性评估与选型指南，推广受阻。故开展相关适用性研究意义重大。

1 老旧城区供热一次网现状与修复难点

1.1 管网现状特征

老旧城区供热一次网普遍呈现出明显的年代性与结构性缺陷。多数管道建于20世纪70至90年代，当时材料标准与施工规范相对滞后，普遍采用普通碳素钢制造，外防腐多依赖沥青涂层，缺乏有效的阴极保护系统。经过数十年的连续运行，这些管道在高温热水和潮湿土壤的双重作用下，腐蚀速率显著加快，局部区域甚至出现点蚀穿孔或焊缝开裂^[1]。与此同时，早期采用的岩棉或泡沫混凝土保温层因吸水老化，导热系数大幅上升，导致热能沿程损失严重，部分管段实测热损率超过设计值的两倍。此外，由于历史规划缺失，管网敷设方式混杂，直埋、管沟、架空并存，且与电力、通信、给排水等其他市政管线高度交织，空间布局极为复杂。更为关键的

是，作为承担热源输出任务的一次网，其运行参数通常维持在130/70℃或150/90℃的高温区间，工作压力亦高达1.0至1.6兆帕，这对任何修复材料的长期热稳定性与力学性能都提出了严苛要求。

1.2 非开挖修复面临的主要难点

一是高温适应性：多数非开挖内衬材料（如UPVC、HDPE、环氧树脂）的长期使用温度低于100℃，难以满足供热一次网高温工况。二是结构承载要求：一次网需承受内压、土壤荷载及可能的外部冲击，修复后结构需具备足够的环刚度与抗压强度。三是管径与曲率限制：老旧管网弯头多、变径频繁，部分管段曲率半径小，限制了刚性内衬管的穿入。四是施工窗口期短：供热系统通常仅在非采暖季（4-9月）可停运检修，施工周期紧张。五是成本效益平衡：非开挖技术初期投资较高，需综合考虑全生命周期成本（LCC）与社会效益。

2 主流非开挖修复技术及其特性分析

2.1 原位固化法

原位固化法是一种通过在旧管道内部形成连续、无缝内衬来实现整体修复的技术。其核心在于将浸渍有热固性树脂的柔性软管送入待修管道，随后通过翻转或牵引方式使其紧贴管壁，并借助热水、蒸汽或紫外线等热源激活树脂固化反应，最终形成一层与原管紧密结合的“管中管”结构。该方法的最大优势在于内衬成型后与原管壁之间几乎无间隙，不仅有效隔绝了腐蚀介质，还因内表面光滑而改善了水力条件，降低了沿程阻力。更重要的是，通过调整树脂配方，例如采用改性环氧体系，可显著提升其耐热性能，部分产品已能在130℃甚至更高温度下长期稳定运行，从而满足供热一次网的基本工况需求。然而，该工艺也存在明显局限：固化过程必

须在停热状态下进行,单段施工周期通常需3至7天,对供热调度构成压力;同时,内衬成型后会不可避免地缩减原管内径3至8毫米,虽对大管径影响有限,但在小口径或高流量管段可能削弱输热能力。此外,施工前需对原管进行彻底清洗以确保树脂附着质量,对管道清洁度要求较高,且整体造价相对昂贵。

2.2 穿插法

穿插法是最为传统的非开挖修复技术之一,其原理是将一根外径略小于旧管内径的新管(通常为PE管、钢管或复合管)从检查井或工作坑中推入或拉入原有管道内部,两端密封后形成独立承压的新通道。该方法技术成熟、操作简便,尤其适用于长距离直管段的修复。聚乙烯(PE)管因其优异的耐腐蚀性和柔韧性被广泛采用,且可实现千米级连续穿插,大幅减少接口数量。然而,穿插法在供热一次网应用中面临根本性障碍:标准PE材料的长期使用温度上限仅为60至80℃,远不能满足130℃以上的运行要求^[2]。虽有尝试采用钢制内衬管以解决耐温问题,但其重量大、刚性强,穿插难度高,且仍需额外防腐处理,经济性与施工便利性大打折扣。此外,由于新管外径必须小于旧管内径,通常导致流通截面积缩减10%至20%,显著降低管网输送能力。在遇到弯头或变径处时,往往仍需局部开挖处理,削弱了非开挖的整体优势。

2.3 折叠内衬法

折叠内衬法巧妙利用高密度聚乙烯(HDPE)管的形状记忆特性,通过专用设备将其临时压制成“U”形或“C”形以减小外径,从而顺利穿入旧管,随后通入热水或加压空气使其恢复原始圆形并紧密贴合管壁。该技术特别适合穿越含多个弯头的复杂管段,因其柔韧性好,可适应曲率半径不小于1.5倍管径的转弯。施工效率高,日均推进可达300至500米,显著缩短工期。若采用交联聚乙烯(PEX)或第二代耐热聚乙烯(PE-RT II型),其长期使用温度可提升至95℃,在配合系统调控手段(如降低局部回水温度)的情况下,可在部分中温供热场景中应用。然而,对于标准130℃以上的一次网主干线,即便使用PE-RT II型材料,其长期热稳定性仍存疑虑。此外,内衬管在恢复圆形后与原管壁之间可能存在微小间隙,若未进行注浆填充,将形成空气隔热层,不利于热量传导,反而可能加剧局部热损。

2.4 缩径内衬法

缩径内衬法代表了金属内衬技术的高端应用,其核心是将不锈钢管通过机械或液压方式暂时缩径,穿入旧管后再利用内部高压使其膨胀复原,紧密贴合原管内壁。不锈钢材质赋予该技术卓越的耐高温(> 300℃)、

耐腐蚀和高强度特性,完全满足供热一次网的严苛工况。同时,由于膨胀后与原管形成过盈配合,内径损失极小(通常小于5%),对输热能力影响微乎其微。然而,该技术对施工设备和操作精度要求极高,仅适用于直线段或大曲率弯头,难以应对老旧城区常见的复杂管形^[3]。加之不锈钢材料成本高昂,整套工艺设备投入大,导致单位造价远超其他非开挖方法,目前多用于关键节点或高风险管段的局部修复,尚难大规模推广。

2.5 喷涂法

喷涂法通过高速旋转喷头将液态聚合物(如环氧树脂或聚氨酯)均匀喷涂于管道内壁,经固化后形成一层连续的防腐保护膜。该方法最大优点在于几乎不改变原管内径,特别适用于对流通能力敏感的小口径管道或仅需防腐处理的轻度损伤管段。施工灵活,可针对局部缺陷进行精准修复。然而,喷涂形成的涂层厚度通常仅为1至3毫米,不具备独立承压能力,仅能作为辅助防腐层,无法替代结构性修复。其耐温性能高度依赖所用涂料类型,虽有高性能环氧体系宣称可耐120℃,但在长期热循环和湿热耦合作用下的附着力与耐久性仍缺乏充分工程验证。此外,喷涂质量对基面处理要求极为严格,若原管内壁存在锈蚀、油污或潮湿,将严重影响涂层附着,导致早期剥落失效。

3 非开挖修复技术适用性评价体系构建

为科学评估各技术在老旧城区供热一次网中的适用性,本文构建包含5个一级指标、12个二级指标的评价体系:

表1 评价体系

一级指标	二级指标	说明
技术性能	耐温性能	能否长期承受130℃以上高温
	耐压能力	能否满足1.6 MPa工作压力
	结构强度	修复后是否具备独立承压或协同承压能力
	内径损失率	对输热能力的影响程度
施工适用性	管径适用范围	最小/最大适用管径(DN100-DN800)
	弯头通过能力	最小曲率半径(如1.5D、2D)
	施工周期	单段(100m)平均工期(天)
经济性	单位造价	元/米(含材料、施工、停热补偿)
	全生命周期成本	包含维护、能耗、寿命(30年)
环境与社会影响	地面扰动	是否需开挖工作井、占道面积
	噪声与粉尘	施工对周边居民影响
可靠性与成熟度	工程案例数量	国内供热领域应用实例
	标准规范支持	是否有行业/地方标准

可以采用专家打分法(1-5分制)对五种技术进行评

分,并赋予权重(技术性能40%、施工适应性25%、经济性15%、环境影响10%、可靠性10%),计算综合得分。

4 技术选型建议与实施策略

4.1 分场景技术选型指南

针对老城区供热一次网的不同应用场景,应采取差异化的技术选型策略。对于承担核心输热任务、运行温度超过120℃、管径在DN300以上的大口径主干线,应优先考虑采用耐高温改性环氧树脂的原位固化法或不锈钢缩径内衬法,以确保长期运行的安全性与可靠性。对于运行温度介于90至120℃之间、管径在DN150至DN300之间、且沿线弯头较多的中小管径支干线,推荐使用PE-RT II型管的折叠内衬法,其良好的柔韧性和较快的施工速度能有效应对复杂路由。对于仅存在局部点蚀或轻微渗漏的管段,高性能环氧喷涂法可作为一种经济高效的补充手段。而在那些对内径缩减极度敏感、且预算充足的特殊节点,则可探索新兴的不锈钢螺旋缠绕内衬等技术。

4.2 实施策略

成功的非开挖修复工程始于精准的前期诊断。必须综合利用闭路电视(CCTV)、电磁涡流检测、超声波测厚等多种无损检测手段,全面掌握管道的腐蚀分布、结构完整性及内部清洁状况,为技术选型提供数据支撑。其次,应打破“就管论管”的思维定式,将管网修复纳入整个供热系统的优化框架中,通过热力站调控、混水技术等手段,适度调整局部管段的运行参数,以更好地匹配修复材料的性能边界^[4]。同时,亟需制定专门针对供热管道的非开挖修复技术规程,对材料性能、施工工艺、质量验收等环节作出明确规定,推动行业标准化。此外,应鼓励建立一批高质量的示范工程,系统收集运行数据,不断积累本土化经验,加速技术迭代与成本下降。

4.3 政策与机制建议

为促进非开挖修复技术在供热领域的规模化应用,政策层面应给予有力支持。建议将此类绿色更新技术纳入城市更新、老旧小区改造等专项资金的支持范畴,通过财政补贴或税收优惠降低初期投资门槛。行业主管部

门应加快编制并发布《城镇供热管道非开挖修复技术导则》,填补标准空白。在项目组织模式上,可推广“设计-采购-施工-运维”(EPC+O)一体化模式,由具备全链条服务能力的专业公司负责,确保工程质量与长期性能。长远来看,还应推动建立修复后管网的性能在线监测平台,利用物联网与大数据技术,实现从“被动抢修”向“主动预防”的智慧运维转型。

5 结语

本文研究表明,并非所有非开挖技术均适用于高温高压供热一次网,耐高温性与结构强度是核心制约因素。原位固化法(采用耐高温树脂)与折叠内衬法(采用PE-RT II型管)在综合适用性上表现最佳,可覆盖大多数老城区场景。技术的成功应用需“材料-工艺-系统-管理”多维协同,单一技术无法解决所有问题。构建科学的适用性评价体系,有助于避免盲目选型,提升投资效益。未来,随着耐高温复合材料、智能内衬、机器人施工等技术的发展,非开挖修复在供热领域的应用边界将进一步拓展。建议加强产学研合作,加快标准体系建设,推动非开挖技术从“可用”向“好用”“经济用”转变,为城市供热系统绿色低碳转型提供坚实支撑。

参考文献

- [1]赵新城,朱林,严庆.IH非开挖修复技术在供热主线修复的应用[C]//中国市政工程华北设计研究总院有限公司,《煤气与热力》杂志社有限公司,中国建设科技集团股份有限公司.2022供热工程建设与高效运行研讨会论文集.济南和安热力有限公司;五行科技股份有限公司,;2022:601-604.
- [2]刘玉朝,赵德春,陈涛,等.供热管道穿插不锈钢管非开挖修复技术[J].煤气与热力,2023,43(07):22-24+31.
- [3]尹谊文.非开挖修复技术关键影响因素剖析及造价控制策略研究[J].福建建筑,2025,(02):141-145.
- [4]杨寅昌,黄志伟,全学友,等.地下管线非开挖修复技术国内外应用现状[J].地下空间与工程学报,2024,20(S2):1021-1027.