

城市供热管道检测与非开挖修复技术

杨丛源

中冶建工集团有限公司 重庆 404611

摘要：城市供热管道是保障居民冬季供暖的核心基础设施，其运行稳定性直接关系民生安全与能源利用效率。本文系统梳理了供热管道常见病害类型，将其分为结构性病害与功能性病害两大类，分析了各类病害的形成机理与危害特征。在此基础上，重点阐述了CCTV可视化检测、超声波检测、声学及红外热成像漏点检测等主流检测技术的原理、适用场景与技术局限，同时对原位固化修复、点状修复、缩径内衬修复三种非开挖修复技术的工艺特点与适用工况进行了详细论述。最后，从检测选型适配、修复技术匹配、施工质量控制三个角度，提出了工程应用的关键要点，为供热管网的精准检测、科学修复与长效运维提供了系统性的技术参考。

关键词：城市供热管道；管道检测；非开挖修复；技术

引言：城市集中供热管网作为城镇基础设施的重要组成部分，承担着冬季供暖保障与能源输送的核心职能。随着管网运行年限增长，管道腐蚀、结垢、渗漏、变形等病害频发，传统开挖修复方式施工周期长、社会影响大，已难以满足现代城市供热管网高效运维的需求。非开挖检测与修复技术凭借施工扰动小、作业效率高、适应性强等优势，已成为供热管网运维的主流技术方向。然而，在实际工程应用中，检测技术选型不当、修复方案与工况不匹配、施工质量控制缺失等问题仍较为突出，直接影响管网修复效果与长期运行稳定性。本文围绕供热管道病害特征、主流检测技术、非开挖修复技术及工程应用要点展开系统论述，旨在为供热管网的检测修复与运维管理提供技术支撑。

1 城市供热管道常见病害及成因

城市地下供热管道病害类型具有较强的规律性，结合管网运行工况与地下环境特征，常见病害主要分为结构性病害与功能性病害两大类，不同病害的形成原因与危害程度存在明显差异，是检测与修复工作的核心针对对象。

结构性病害主要指管道本体结构受损引发的永久性损伤，包括管道管壁腐蚀、管壁变薄、管道开裂、接口错位、管道变形、局部破损塌陷等。此类病害主要成因分为内部与外部两方面，内部成因是供热介质中的酸碱杂质、溶解氧长期对管材内壁造成电化学腐蚀与化学腐蚀，高温介质持续冲刷也会加速管壁磨损；外部成因是地下土壤酸碱失衡、地下水侵蚀引发外壁腐蚀，同时地面车辆荷载、土体沉降挤压会造成管道形变、接口松动开裂。结构性病害会直接破坏管道承载能力与密闭性，是引发管道泄漏、爆管的主要原因^[1]。

功能性病害主要影响管道供热输送效率，无明显结构破损，主要包括管道内壁结垢、油污附着、杂物堵塞、管道积水等。供热管道长期输送高温水介质，水中的矿物质会持续析出并附着在管壁形成水垢，同时管网运行过程中残留的铁锈、泥沙、施工杂物会堆积在管道低洼处，造成管道通径缩小、介质流通阻力增大，最终导致供热水温、水压不足，管网供热均匀性大幅下降，严重时会造成局部片区供热失效。

2 城市供热管道主流检测技术

2.1 管道闭路电视检测技术（CCTV检测）

管道闭路电视检测是目前供热管道病害排查应用最广泛的可视化检测技术，核心设备为带高清摄像头、灯光系统、行走机构的管道机器人，可适配绝大多数市政供热管道管径。检测施工时，无需开挖地面，仅利用管道预留井口、检修口将检测设备放入管道内部，设备可自主沿管道走向匀速行走，全程实时拍摄管道内壁高清影像，同步传输至地面控制系统。

该技术可直观识别管道内壁腐蚀、开裂、结垢、堵塞、接口错位、局部破损等各类病害，能够精准记录病害具体位置、尺寸与分布范围，同时可完整留存检测影像资料，便于后期病害溯源与修复效果核验。其技术优势在于检测直观、数据完整、无损伤、作业效率高，适配DN100及以上各类材质供热管道；局限性在于对管道内部积水、淤泥堆积较严重的工况适配性较差，需提前完成管道清淤预处理，且无法精准判定管壁腐蚀厚度、内部隐性损伤^[2]。

2.2 超声波检测技术

超声波检测是针对供热管道结构性隐性病害的无损检测技术，核心原理是利用超声波在固体介质中的传播

特性,通过探头向管道管壁发射高频超声波,超声波在管壁完整界面、腐蚀破损界面会产生不同的反射波形,设备通过分析反射波的传播时间、振幅、频率等参数,精准计算管壁剩余厚度、识别管壁内部裂纹、夹层等隐性损伤。

该技术主要用于解决CCTV检测无法识别的管道隐性病害,重点应用于老旧钢制供热管道的腐蚀检测、壁厚检测与损伤评估,可精准量化管道老化损伤程度,判定管道剩余运行寿命。超声波检测设备便携、检测速度快、精度高,可实现管道外壁快速抽检,也可配合管道机器人完成内壁全域检测。其局限性在于对管道异形结构、接口复杂位置检测精度较低,且对检测人员操作专业性要求较高,需结合经验完成数据研判。

2.3 漏点检测技术

供热管道高温高压的运行特性导致管道泄漏隐患突出,漏点检测技术专门针对管道介质渗漏问题开展精准定位,主流技术包含声学漏点检测与红外热成像检测两类。声学漏点检测原理是管道介质泄漏时会产生特定频率的振动声波,通过高精度声波传感器采集地下管道振动信号,过滤环境噪音后,根据声波强度、传播范围精准锁定漏点位置,适配各类微小渗漏、隐性渗漏检测。

红外热成像检测依托高温供热管道与周边土体、地面的温差特性,通过红外热成像设备扫描地面温度分布,管道泄漏位置会出现局部高温异常区域,通过温度成像差异快速判定漏点范围。该技术无需接触管道,检测效率极高,适合大面积管网渗漏隐患普查。两类漏点检测技术可互补使用,能够有效解决传统人工排查漏点准确率低、范围模糊的问题,为管道渗漏修复提供精准定位支撑^[3]。

3 城市供热管道非开挖修复核心技术

3.1 原位固化修复技术(CIPP)

原位固化修复技术是目前应用最成熟、适配性最广的非开挖整体修复技术,核心原理是将浸渍光敏树脂、热固性树脂的柔性软管,通过翻转、牵引的方式置入待修复的供热管道内部,利用软管充气、充水膨胀使其紧密贴合管道内壁,再通过紫外线照射、热水加热等方式促使树脂快速固化,最终在原有管道内部形成一层高强度、耐腐蚀的全新内衬管,实现旧管道的整体修复与结构加固。

该技术适用于管道大范围腐蚀、内壁老化、轻微变形、多处微小渗漏等整体病害工况,可适配圆形、椭圆形等多种管道断面,适配管径范围广,修复后的内衬管密封性、耐腐蚀性、抗压性极强,能够大幅提升管道介质输送效率与运行安全性。施工过程仅利用原有检修井

口作业,无需开挖地面,单次施工可完成百米级管道整体修复,修复后管网使用寿命大幅延长。其局限性在于对管道严重塌陷、大幅变形的工况无法适配,施工前需彻底清理管道内部杂物与积水。

3.2 管道点状修复技术

管道点状修复属于局部精准修复技术,主要针对供热管道局部开裂、局部腐蚀破损、接口渗漏、局部小孔泄漏等单点、小范围病害,无需对管道整体进行翻新,仅针对病害点位开展针对性修复。施工核心工艺为局部树脂固化修复,将浸渍树脂的专用修复毡、修复软管精准贴合管道病害位置,通过充气打压固定,待树脂固化后形成局部高强度修复层,封堵破损、渗漏点位,修复管道局部结构缺陷^[4]。

点状修复技术最大优势是施工针对性强、成本低、工期极短,无需整体停运管网,可实现单点病害快速处置,最大程度减少供热管网停运时长,适配日常管网零星隐患治理。该技术灵活度高,可与CCTV检测技术精准配合,检测一处、修复一处,适合老旧管网零散病害的常态化运维。但其仅能解决局部病害,无法改善管道整体老化、整体结垢等整体性问题,不适用于大范围管道损伤修复。

3.3 缩径内衬修复技术

缩径内衬修复技术属于结构性翻新修复技术,核心原理是将高密度聚乙烯材质的全新内衬管,通过专用设备压缩、缩小管径后,牵引置入原有老旧供热管道内部,待管道就位后,通过泄压、充气使其恢复原有管径,紧密贴合旧管道内壁,形成“旧管+新内衬管”的复合管道结构。

该技术主要适用于管道严重老化、大面积壁厚减薄、结构承载力不足,且存在多处病害的老旧供热管网翻新。内衬聚乙烯材质具备极强的耐高低温、耐腐蚀、抗结垢性能,可彻底解决原有管道腐蚀、结垢、渗漏等各类问题,同时内衬管内壁光滑,能有效降低介质输送阻力,提升供热输送效率。修复后的复合管道结构稳定性强,抗外力挤压能力大幅提升,适合长期服役的主干供热管道修复翻新。其局限性在于修复后管道通径会小幅缩小,不适用于管径余量较小、输送负荷饱和的管道。

4 供热管道检测与非开挖修复技术应用要点

4.1 检测技术选型适配要点

管道检测需遵循“先普查、后精准检测,先外观、后隐性”的选型原则,根据管道材质、运行年限、病害类型等条件合理匹配检测手段,确保检测结果的全面性与准确性。(1)针对管网日常巡检与病害初步排查,优先采用CCTV可视化检测技术,快速掌握管道整体运行状态,

识别变形、腐蚀、结垢等显性病害,建立管网基础病害档案。针对老旧钢制管道的壁厚减薄、内部裂纹、焊缝缺陷等隐性病害,需搭配超声波检测技术完成量化评估,获取管道壁厚分布与缺陷尺寸等关键参数。(2)针对管网渗漏隐患排查,采用声学检测与红外热成像检测相结合的方式,通过声波信号分析与温度场分布判断,实现漏点精准定位。检测前须根据管道积水、淤积、堵塞等实际情况,提前开展清淤、抽水等预处理工作,消除环境因素对检测精度的干扰。所有检测数据须同步整理归档,形成完整的检测报告,为后续修复方案的制定提供可靠依据。

4.2 修复技术选型适配要点

非开挖修复技术的选型核心依据为管道病害范围、损伤程度及管道功能需求,需根据不同工况条件合理匹配修复手段,确保修复效果与管道运行要求相适应。(1)对于单点、零散的局部渗漏与破损病害,优先选用点状修复技术,在精准定位漏点后实施局部封堵或修补,有效控制施工成本与管道停运时间,降低对供热管网运行的影响。对于管道整体老化、大范围腐蚀、轻微变形及多处微小病害并存的工况,选用原位固化整体修复技术,通过在管道内部形成整体内衬层,实现管道的整体翻新与密封,恢复管道的基本运行功能。(2)对于老旧主干管道结构承载力不足、病害严重且影响主干线安全运行的工况,选用缩径内衬修复技术,在提升管道整体结构稳定性的同时延长管道服役寿命。同时,须结合管道管径、输送压力、供热温度等运行参数,匹配对应的修复材料与施工工艺,确保修复后管道适配原有运行工况,保障供热系统的长期稳定运行^[5]。

4.3 施工质量控制要点

非开挖修复施工质量直接决定管网后续运行稳定性,核心质量控制环节包含预处理、施工过程、完工检测三个阶段,各阶段须严格执行技术规范,确保修复效果满足供热运行要求。(1)施工前须对管道内壁进行彻底清理,清除水垢、淤泥、杂物及各类附着物,对破损凸起位置进行打磨处理,保证管道内壁平整、洁净,为修复

材料的贴合与固化提供良好的基底条件,降低因内壁不洁导致的贴合缺陷风险。(2)施工过程中须严格控制树脂浸渍量、固化温度、固化时间及管道贴合压力等关键工艺参数,全程监测固化状态,避免因操作不当导致固化不充分、内衬空鼓、贴合不紧密等质量缺陷,确保内衬层与管道内壁形成紧密整体。(3)修复完工后,须再次采用CCTV可视化检测、压力试验等方式核验修复效果,重点检查病害是否彻底消除、管道密封性与通径是否满足供热运行标准,形成完整的质量验收记录,确保修复后的管道能够长期稳定运行。

结束语

城市供热管道检测与非开挖修复技术的协同应用,是保障供热管网安全稳定运行的关键技术路径。结构性病害与功能性病害的精准识别,依赖于CCTV检测、超声波检测、漏点检测等多技术手段的组合运用,实现从显性病害普查到隐性损伤量化的全覆盖检测。非开挖修复技术中,点状修复、原位固化修复与缩径内衬修复分别适配局部病害、整体老化与主干管网翻新等不同工况,构成了从局部到整体的完整修复技术体系。在工程实践中,检测选型需遵循"先普查、后精准"原则,修复选型须匹配病害范围与管道功能需求,施工过程须严格把控预处理、工艺参数与完工检测三个环节。三者有机配合,方能充分发挥非开挖技术的综合效能,延长供热管网服役寿命,保障城市供热系统的长期稳定运行。

参考文献

- [1]范文强,张翼鹏,赵锴.浅谈非开挖检测技术在供热管网上的应用[J].非开挖技术,2025(2):45-49.
- [2]刘伟.城市直埋供热管道安装工程的质量管控[J].中国建筑金属结构,2025,24(S1):33-35.
- [3]易成林.市政管网管材选择与施工技术应用探究[J].建材发展导向,2025,23(22):64-66.
- [4]赵秀阳.浅谈地下管道非开挖检测技术[J].非开挖技术,2023(6):47-52.
- [5]张福来,郭思群.城市供热管道检测与非开挖修复技术研究[J].非开挖技术,2026(2):64-71.