

城市老旧燃气管道隐患排查及改造施工技术研究

顾显锋¹ 姜 喆² 曹 焱¹ 张添翼¹

1. 重庆永川燃气有限责任公司 重庆 402160

2. 重庆燃气集团股份有限公司沙坪坝分公司 重庆 401121

摘要: 城市老旧燃气管道隐患排查及改造施工技术的系统性推进,已成为保障城市公共安全的迫切需求。本文围绕管道本体材料劣化、外部环境侵蚀及附属设施失效三大隐患成因展开机理分析,梳理了内检测与外检测相结合的排查技术体系及多源数据融合分级方法,重点探讨了非开挖更换、开挖更换与管道修复防腐增强等改造施工工艺,并从施工前期勘查、过程质量安全控制到改造后长效运行监测提出了全流程管控策略,为老旧燃气管道隐患治理与安全运维提供技术支撑。

关键词: 老旧燃气管道;隐患排查;非开挖改造;施工技术;长效管控

引言:城市燃气管网运行年限增长后,管道材质劣化、接口失效与外部环境侵蚀等问题叠加涌现,安全隐患排查与改造施工成为市政管网管理中的紧迫课题。管道隐患具有隐蔽性强、类型多样、分布广泛等特征,传统排查手段难以全面覆盖,改造施工则受制于地下管线密集、交通压力大等现实条件。围绕隐患形成机理、检测技术选型、施工工艺适配与质量管控等环节展开系统分析,对提升老旧燃气管网的安全运行水平具有现实意义。

1 老旧燃气管道隐患的形成机理与特征分析

1.1 管道本体材料劣化的多因素叠加

钢质管道内壁长期接触含硫化氢与水分的燃气介质,金属表面发生电化学溶解反应,管壁从内向外逐步减薄。外壁则埋于土壤中承受电化学腐蚀与杂散电流的双重侵蚀,内外两侧腐蚀路径在管壁中段形成贯通截面,使管道剩余壁厚急剧下降^[1]。焊缝作为管道结构中几何突变区域,在压力交变荷载反复作用下极易产生应力集中,微裂纹从热影响区萌生并沿晶间扩展,最终导致焊缝开裂。铸铁管接口处的橡胶密封圈在服役多年后出现硫化硬化与弹性丧失,密封性能呈渐进式衰退,接口部位开始出现微量渗气。当管道实际服役年限超出原设计寿命,管材屈服强度与抗拉强度均出现不同程度衰减,承压能力沿时间轴呈非线性下降趋势。

1.2 外部环境变化对管道结构的持续侵蚀

地下水位的季节性升降改变了管道周围土体的含氧量分布,高水位期土壤缺氧环境抑制了阴极反应,低水位期含氧量回升则加速阳极溶解,这种干湿交替过程使电化学腐蚀速率显著提升。周边建筑基坑开挖与桩基施工产生的附加荷载通过土体传递至管道外壁,管道在非设计荷载作用下产生弯曲变形,附加应力在管壁内累积

并引发塑性应变。城市道路在车辆反复碾压下产生振动荷载,管道基础土体在长期动载作用下发生固结沉降,管道随之产生不均匀位移与接口脱开。土壤酸碱度因工业排放与生活污水渗透而发生改变,酸性环境对钢质管道的溶解速率远高于中性土壤,而碱性土壤则对PE管材的应力开裂敏感性产生促进作用。

1.3 附属设施与接口部位的隐患集中表现

阀门井长期处于地下潮湿环境,井室砌体在冻融循环与地基不均匀沉降作用下出现结构性开裂,井盖因周边回填土松散而发生沉降下沉。调压箱内部的橡胶膜片在温度与压力的反复交变下出现疲劳龟裂,调压弹簧的弹力因金属疲劳而持续衰减,出口压力出现漂移。法兰连接部位的螺栓在振动与热胀冷缩的联合作用下逐渐松动,垫片在长期压缩状态下发生蠕变与永久变形,密封面之间出现微量泄漏通道。管道穿越建筑物墙体与楼板处的钢制套管与管道外壁之间的密封填料在温差作用下收缩开裂,燃气沿套管与管道之间的环形间隙向建筑内部渗透。

2 隐患排查检测技术体系与分级方法

2.1 管道内部检测技术

智能清管器在管道内借气流驱动完成管段巡游,搭载的漏磁传感器能够捕捉管壁金属损耗所引发的磁场畸变,将壁厚减薄缺陷定位至管道轴向的精确坐标^[2]。该定位精度受传感器灵敏度与管壁磁导率变化的共同影响,在腐蚀坑点集中区域可达到厘米级分辨能力。超声波测厚技术利用脉冲在管壁中的传播时差计算剩余壁厚,所获取的数据为毫米级量化结果,为承压能力判定提供了直接依据。几何变形检测模块通过多点截面扫描重建管道内轮廓曲线,能够准确识别出椭圆度超标与局部凹陷

等结构异常,弯曲变形与塌陷区域在轮廓图上呈现出显著的几何偏离。内检测所采集的大量数据经专用算法完成缺陷自动识别与等级分类,将缺陷的位置、尺寸与类型映射为管道健康状态评分,实现从原始信号到工程判断的完整转化。

2.2 管道外部与地面检测技术

直流电位梯度法沿地面布设电位测点,通过读取保护电位的空间梯度变化判断管道走向并精确定位防腐层破损点位,电位异常区域往往对应防腐层剥离或阴极保护失效的管段。地质雷达向地下发射高频脉冲并分析回波信号,能够探测管道周边土体中的空洞与积水分布,电磁波在不同介质界面的反射特征为管道基础稳定性判断提供了直观依据。激光甲烷遥测仪利用甲烷分子对特定波长激光的强吸收特征,在车辆行进过程中对地面燃气浓度进行快速筛查,数秒内即可锁定异常泄漏区域。红外热成像设备捕捉地下管道泄漏点上方地表的温度异常分布,泄漏燃气在土壤中扩散所引起的热效应在热像图上呈现为明显的温度梯度差异,该技术在夜间或低风速条件下的捕捉能力尤为突出。

2.3 多源数据融合与隐患分级策略

内检测获得的管道本体缺陷数据与外检测获取的环境异常信息进行交叉比对,两类数据相互印证后可有效排除单一检测手段产生的误报与漏报,综合判读结果更接近管道的真实状态。管道风险矩阵以缺陷发生概率与失效后果严重程度为两个维度进行加权计算,概率维度综合考虑管材老化程度与环境侵蚀速率,后果维度则涵盖泄漏影响范围与周边建筑物密集程度,两个维度的加权结果形成量化的风险等级划分逻辑。依据风险矩阵输出结果,将高风险管段与重点隐患排入优先排查序列,检测资源向风险权重最高的区域倾斜。全部排查数据动态录入管网信息管理平台,风险图谱随新数据持续更新,管网隐患分布态势始终处于可追踪状态,为后续改造施工方案的制定提供了数据基础。

3 改造施工关键技术与工艺方法

3.1 非开挖管道更换技术

裂管法依靠锥形扩头在旧管道内部行进,将原有管壁均匀胀裂为碎片并紧贴周围土体,新管道在扩头牵引下拖入碎裂后的空腔完成就位,管径增大幅度受限于旧管破碎后的空腔尺寸,超出容许范围则需考虑多级破碎或其他替换方案^[1]。穿管法借助导向钻机在地下钻出一条弧形轨迹孔,新管道沿孔道牵引就位,轨迹控制精度直接决定管道坡度与埋深能否满足设计要求,施工中需借助陀螺仪与导向系统实时校正钻进角度。折叠内衬法将浸渍树脂的软

管折叠后送入旧管内,经充气展开后紧贴旧管内壁,加热或紫外固化后形成新的承压管道,结构强度恢复程度取决于内衬壁厚与固化工艺质量,可恢复原管道大部分承压能力。非开挖施工避免了大面积路面开挖,对路面结构的扰动降至最低,但钻进过程中仍需严格控制出土量与注浆压力,防止邻近地下管线发生位移。

3.2 开挖更换施工技术

沟槽支护方案的选型需综合考虑土质条件、开挖深度与周边荷载,浅槽段可采用放坡开挖,深槽段则需布设钢板桩或横列板支撑,地下水控制通过井点降水或管井抽排实现,将水位降至槽底以下方可进入管道安装工序。新旧钢管焊接采用氩弧打底加手工电弧填充的组合工艺,焊接电流与层间温度需严格控制在工艺参数范围内,电熔连接则通过预埋电阻丝加热熔化管件内壁与管材外壁,冷却后形成一体化接头,电压与时间参数的偏差会直接影响接头强度。管道回填采用分层压实工艺,每层虚铺厚度控制在适当范围内,压实度逐层检测直至达到设计标准,路面结构层按照原结构逐层恢复。施工期间需编制交通疏导方案并设置围挡与警示标志,周边建筑物的沉降与倾斜通过水准仪与全站仪定期监测,数据超出预警值时立即调整施工参数。

3.3 管道修复与防腐增强技术

外防腐层铲除采用机械打磨与高压水射流联合作业,将旧涂层彻底清除至金属基体,表面处理达到规定的清洁度与粗糙度后,再包覆新的防腐层,包覆工艺包括缠绕胶带与喷涂聚氨酯两种主流方式,涂层厚度一般控制在1.5~3.0mm之间。内涂层修复通过专用设备将环氧树脂或聚乙烯涂料均匀涂覆于管道内壁,阴极保护系统在涂层修复后重建,通过牺牲阳极或外加电流方式为管道提供持续的电化学保护,保护电位一般需维持在-0.85V至-1.20V之间。管道接口密封材料的更换需将旧密封圈完全取出,新橡胶圈安装前涂抹润滑剂以降低穿入阻力,连接工艺优化重点在于控制接口间隙与螺栓拧紧力矩。修复完成后进行气密性试验,试验压力达到工作压力的1.5倍,稳压时间满足要求后判定合格,承压能力复核则通过水压试验验证管道在设计压力下的变形与渗漏情况,水压试验持续时间通常不少于30分钟。

4 施工组织管控与长效运行保障

4.1 施工前期的现场勘查与方案制定

既有地下管线的精确探测需综合运用地质雷达、电磁感应与人工探坑等多种手段进行交叉复核,单一物探方式在复杂地层中易产生误判,多源数据比对方能绘制出完整的地下管线分布图^[4]。作业区域燃气浓度须部署

便携式检测仪进行不间断监测,检测点位沿管道轴线与扩散方向布设,当浓度接近爆炸下限阈值时立即启动防爆措施,非防爆电气设备切断供电、现场增配强制通风装置、明火作业全面叫停。施工方案的制定围绕开挖更换与非开挖修复两类工艺展开多维度比选,从工期可控性、造价经济性、对周边环境的扰动程度以及既有管道的适配性等角度进行技术论证,关键工序的工艺参数在方案阶段即完成预评估与风险研判。应急处置预案针对管道破损泄漏、地下管涌与路面坍塌等突发场景分别编制响应流程,现场预置抢修管件、快速堵漏器材与应急供电设备,物资存放位置与调用路径在预案中明确标注,确保突发状况下处置力量能够快速到位。

4.2 施工过程的质量与安全控制

管道焊接工艺在正式施工前须完成评定试验,焊工资质实行动态核查机制,超出有效期限或焊接位置发生变更后需重新考核合格方可上岗作业,焊工资质复核周期一般为6个月。非开挖施工中导向钻头的实际轨迹与设计路线之间的偏差通过地面定位系统实时计算,偏差超出容许范围时立即调整钻进参数进行纠偏,地面沉降监控点沿管道轴线均匀布设,监控点间距一般为10~20m,监测数据出现异常趋势时暂停钻进作业并实施注浆加固。防腐层施工对环境温湿度有严格要求,露天作业需搭设防护棚以控制基体表面温度,涂层厚度采用电火花检漏仪逐点检测,发现漏点部位即刻返工处理直至复检合格,漏点检出电压一般设定在3000~5000V之间。有限空间作业前须完成气体浓度检测与强制通风,作业全程安排监护人员在入口处值守,检测仪器与通信设备保持持续运行状态,人员进出严格执行登记制度,任一环节出现异常即刻撤离。

4.3 改造完成后的运行监测与长效管理

改造管段投入运行后,管网监测系统对运行压力与流量进行持续跟踪,压力波动偏离正常区间时自动触发报警信号并推送至运维人员终端,运维人员依据报警等级启动相应处置程序,压力报警阈值一般设定为工作压力的 $\pm 10\%$ 。定期复检周期根据管段所处地质环境与管材类型差异化设定,检测项目随管段服役年限增长而动态

调整,处于高风险区域的管段缩短复检间隔并增加检测频次,复检周期通常为6~12个月,低风险管段则适当延长复检周期以优化资源配置。改造施工全过程档案包括竣工图纸、检测报告、焊接记录与验收文件统一归档,管网信息系统在档案入库后完成数据更新,管网台账与现场实际状况保持一致,为后续运维决策提供可靠数据支撑^[5]。隐患复发预警指标综合考虑管道材质衰减速率与周边环境变化趋势进行设定,巡检响应流程针对不同等级预警配置差异化处置时限,低等级预警纳入常规巡检计划跟踪观察,高等级预警立即启动专项排查并调配专业力量介入处置,高等级预警的响应时限一般不超过24小时。

结束语

老旧燃气管道的隐患治理与改造施工是一项贯穿排查、设计、施工与运维全链条的系统工程。管道本体劣化与外部环境侵蚀构成隐患生成的双重驱动,内检测与地面探测的融合应用为隐患分级提供了可靠依据,非开挖与开挖改造工艺的合理选择则决定了施工质量与环境扰动程度。施工全过程的质量安全管控与改造后的长效运行监测相互衔接,共同保障管网系统的持续稳定运行。各环节技术手段的协同配合,能够有效化解老旧管网面临的三重安全风险。

参考文献

- [1]仲文旭,薛庆.新形势下的城镇燃气风险隐患排查治理[J].城市燃气,2023,575(1):19-26.
- [2]苏琦,姚天熠,吕小菊,等.户内燃气老旧管线改造在实施过程中的难点与解决方案[J].大众标准化,2026(6):116-118.
- [3]黎亚伟,谢高新,汪俊豪,等.深圳市燃气工作开展及老旧燃气管道更新改造的经验做法[J].城乡建设,2023(17):68-73.
- [4]曾丹,刘丽,邓均.面向居民用户的老旧小区燃气管道安全升级改造工作[J].中国公共安全,2025(12):131-133.
- [5]吴纲,欧阳中华,陈强.老旧小区燃气管道老化评估及安全改造策略探究[J].中国公共安全,2025(2):10-12.