

城镇天然气老旧管道改造技术创新与全周期管控研究

何 孜

中石油昆仑燃气有限公司湖南分公司 湖南 长沙 410000

摘要:在我国城镇化进程持续深化的背景下,湖南省城镇天然气管道服役年限逐步增长,大量管道已进入老化阶段,由此引发的安全隐患对城市基础设施运行安全构成显著威胁。本研究以湖南地区城镇天然气老旧管道为研究对象,系统梳理其服役现状与核心安全问题,围绕隐患精准识别技术、适配性改造方案、施工过程优化等关键环节开展技术创新研究,构建设计-施工-运行全生命周期一体化管控体系架构。为验证研究成果的可行性与有效性,选取常德市老旧天然气管道改造工程作为实证案例展开分析。结果显示,基于本研究的老旧管道改造技术与全生命周期管控体系,可显著降低燃气泄漏事故发生概率,有效提升管网信息化管控能力及安全运行稳定性。本研究成果不仅可为湖南省城镇天然气老旧管道改造工作提供科学的理论支撑与可行的技术实践方案,亦能为国内其他气候、地质及管网条件相似地区的同类工程提供参考,对推动城市燃气基础设施安全升级、保障城市公共安全具有重要实践意义。

关键词:湖南;城镇天然气;老旧管道改造;技术创新;全生命周期管控

1 引言

随着我国城镇化进程的不断推进,城镇天然气管网建设规模持续扩大,管网运行安全问题日益凸显。湖南地区城镇天然气管网经过数十年的发展,大量管道设施已进入老化期,安全隐患逐步显现。本研究聚焦湖南城镇天然气老旧管道改造技术创新与全周期管控体系建设,通过深入分析管网现状、识别技术难点、构建管控体系,为保障城镇燃气安全供应提供理论支撑和实践指导。

2 湖南城镇天然气老旧管道现状与突出问题

2.1 管网现状

管网地理分布呈现明显的区域差异,长株潭地区管网密度最高,湘西、湘南地区管网覆盖相对薄弱。管网运行年限差异显著,部分区域管网运行接近或超过设计使用寿命。管网信息化水平参差不齐,部分新建管网已实现智能化监控,老旧管网仍采用传统管理模式。管网维护保养状况不均衡,经济发达地区维护投入相对充足,欠发达地区维护资金缺口较大。

2.2 突出问题

管道本体安全隐患是当前最为突出的问题,老旧管道腐蚀穿孔、焊缝开裂等现象时有发生,年均事故发生率较新建管网高出2-3倍。管道材质老化导致强度下降,部分区域管道承压能力不足,存在运行风险。防腐层失效造成管道与土壤直接接触,加速腐蚀进程。管道焊接密封性能下降,泄漏风险显著增加。管网在线监测技术尚未全面铺开应用,依靠传统人工巡检方法难以实现对管网运行状态的实时监控,隐患风险点发现滞后。现有监测设备精度有限,无法准确识别微小泄漏和早期腐蚀。管

网信息化水平偏低,数据采集和处理能力不足,影响运行决策的科学性。监测点位分布不均,部分关键区域监测覆盖不足^[1]。施工环境复杂制约改造进度,老旧城区地下管线密集且情况复杂,改造施工面临空间限制。交通流量大影响施工组织,部分区域只能在夜间或节假日施工。

3 湖南城镇天然气老旧管道改造技术创新

3.1 隐患精准识别技术

基于管道周边环境信息、管道本体隐患参数融合的管道风险评价技术为隐患识别提供了科学佐证,通过采用管道内检测、管道地面检测和开挖检测等多种手段,组建多维度数据融合模型,管道内检测采用智能清管器携带多种传感器,实时采集管道壁厚、腐蚀深度、焊缝质量等关键参数。地面检测借助电磁感应、超声波等无损检测手段,对管道的外防腐层状态及结构完整性做评估,三维激光扫描技术对管网空间定位起到关键作用,利用高精度扫描得到管网空间位置信息,为改造设计提供准确的基础数据,该技术能精准测量出管道的走向、埋深和与其他管线的相对位置关系,有效杜绝施工过程中的管线交叉。扫描数据跟GIS系统实现集成,造就可视化的管网模型,方便施工组织开展和风险管控操作^[2],无人机巡检技术在管网监测中得到普遍应用,带有高清摄像头以及气体检测设备的无人机可对地面设施开展定期检查,及时找出设施损坏以及燃气泄漏状况。

3.2 适配性改造技术方案

开挖更换技术仍然是针对管道改造的主要手段,采取分段式开挖、分段式更换的做法,最大程度减少对交通与环境的影响,新管道采用的高密度聚乙烯管,也可

选用加强级防腐钢管,增加管道使用寿命并提升安全性能,管道采用领先的连接技术,保障连接的可靠性。改造阶段深度集成应用智能管网技术体系,系统部署智能阀门井泄漏监测终端、管网压力在线监测装置等软硬件设施^[3]。其中,智能阀门井泄漏监测终端可实时捕捉阀门启闭状态、密封性能等核心运行参数,及时预警泄漏风险;管网压力在线监测装置能够动态采集管网压力变化数据,为调度中心的运行调控决策提供精准的数据支撑。

3.3 施工优化技术

施工环境控制技术对施工安全起到保障作用,施工区域围挡的设置保障施工安全,治理扬尘的措施降低环境污染,噪声控制措施降低对周边居民的干扰程度,施工废水处理途径守护水环境,施工垃圾处置举措推动环保施工实现。

4 湖南城镇天然气老旧管道全周期管控体系的搭建

4.1 设计阶段管控

设计阶段的管控体系把风险评估作为核心,设立全面化的风险识别及评估机制,于项目启动阶段,设计单位开展精细的现场勘察,采集管道现状相关数据、环境条件相关数据、周边设施相关数据等基础信息,风险评估采用定性跟定量相结合的方式,识别设计阶段大概存在的技术、安全、环境等相关风险。设计方案优化乃是设计阶段管控的要点,设计单位依照风险评估结果优化设计方案,管道选型要顾及使用环境、输送介质、运行压力等方面的因素,挑选恰当的管道材质与规格,防腐设计采用多阶段防护体系,有外防腐层、阴极保护、防腐涂料等组成部分。设计方案实施多轮评估与优化,保障技术上可行且经济上合理,采用设计标准化管理增进设计质量,创建设计标准及设计规范,对设计流程跟设计内容作规范,设计图纸审查采用三级审核制度,设计单位内部筛查、专业视角审查、专家全面审查,保证设计质量合格^[4]。

4.2 施工阶段管控

施工阶段管控体系把质量控制当作主线,设立全过程质量管控体系,施工单位设立完备的质量管理体系,制定周全的质量管理制度以及质量控制手段,施工开始前进行细致的技术交底,让施工人员懂得施工要求及质量标准,施工时要严格按照设计要求以及施工规范施工。施工现场安全管理为施工阶段管控的关键要点,构建安全生产责任制度,明确各级人员的安全义务,安全教育培训把所有施工人员纳入,增强安全认知与安全本领,安全防护措施实施到位,含有个人防护的装备、安全警示标识、安全防护设施之类的。把安全检查制度化落实,

按周期开展安全检查,及时找出并消除安全隐患,做好施工进度管控,保障项目按期达成。

4.3 运营阶段管控

运营阶段管控体系围绕安全运行这一目标构建,组建完善的运营管理机制,运营单位制定运营管理相关制度,厘清运营管理的职责及流程,运行监控系统实时把控管网运行状态,具备压力、流量、温度等运行相关参数,若有异常情况需及时报警,启动应急响应活动。设备维护管理实现设备正常运行,制定设备维护日程表,按周期对管网附属设备做检查与维护,设备维护记录完整无漏,有利于开展设备状态跟踪及故障分析,设备更新改造根据设备的状态和已用年限,拟定设备更新改造方案,保障设备实现安全可靠运转,应急管理体系支撑应急响应能力,规划应急救援预案,厘清应急响应的程序和应急手段,应急队伍建设落实,应急物资储备齐,稳固应急响应能力水平,按照一定周期开展应急演练,拉高应急响应的效率和效益^[5]。

5 案例分析

5.1 案例概况

常德市城区老旧燃气钢质管网改造项目具有典型代表性。本次改造范围为常德市武陵区武陵大道、洞庭大道、朗州路等16条道路的市政中压燃气管网,改造总长度达33公里。上述16条道路的钢制燃气管道均建设于2007年,运行年限已超过18年。管道材质为普通碳钢,管径涵盖DN100、DN150、DN200、DN300等规格。受常德市地质环境、长期运行及外部施工等因素影响,该批管网存在多重安全隐患:一是管道防腐涂层普遍出现不同程度老化、破损,部分阀门、管件等附属设施锈蚀严重;二是因道路多次翻修、周边第三方施工扰动,部分管段发生变形、位移,且第三方施工存在未充分排查地下管线、法兰直埋操作不规范等问题,导致管道多次发生泄漏事件;三是管网信息化水平较低,故障发现滞后,应急处置能力不足。四是管道敷设与连接存在风险隐患,改造涉及钢质中压燃气管道敷设位置以人行道为主,受常德市总体规划及燃气发展初期管理水平的影响,涉及路段的钢质中压燃气管道存在与街树、强弱电管线、污水管道等设施安全间距不足的现象;且原钢质中压燃气管道连接方式为焊接,用于截断及放散的阀门设置于专用阀门井内,受建设初期施工工艺影响,阀门内常年积水。此外,该管网改造区域地处老旧城区,存在建筑物密集、施工空间狭窄、地下管线复杂交叉、交通流量大等特点,施工不仅对区域交通影响显著,且周边居民对施工噪声、粉尘等环境影响较为敏感。

5.2 改造实施过程

通过前期调研开展详细现场勘察,改造以“精准施策、安全高效、最小扰动”为原则,系统推进,首先开展现场详细勘察,精准判定管道腐蚀破损、变形位移程度及阀门管件锈蚀状况,结合排查结果实施分类施策,对腐蚀严重、存在泄漏风险的管段采用“整体更换”方案,对局部完好管段制定“防腐修复”方案,施工方式则差异化选择,交通核心路段采用非开挖定向钻技术以减少对交通和周边管线的扰动,开阔路段采用明挖法提升施工效率,同时配套制定交通疏导、噪声粉尘控制等保障措施;随后进入核心管网改造阶段,非开挖定向钻施工通过精准导向钻孔、分级扩孔后拖入PE管,明挖法施工严格按规范开挖沟槽、设置支撑防护,拆除老旧管道后敷设新管,同步在管顶0.5米处敷设警示带并分层回填夯实,PE管连接采用电熔连接工艺,规范完成管端清理、刮削等操作并配备专人监督,所有连接部位经100%超声波探伤无损检测,发现缺陷及时返工,保留管段则采用“表面预处理+3PE外防腐涂层”工艺,彻底去除腐蚀层与杂质以提升抗腐蚀能力、延长使用寿命;最后同步推进阀门、阀井及标识系统升级,全面修缮阀井并采用良质沙土填埋周边解决积水问题,按规范设置标志桩、穿越桩及警示牌,全线敷设黄色警示带标注燃气信息以提升管网辨识度与防护水平,施工全程实施驻场监督,重点核查管沟尺寸、管道埋深、防腐层质量等关键指标,确保符合《聚乙烯燃气管道工程技术标准》要求。

5.3 改造效果

改造后成效显著,安全性能得到显著提升,通过更换管道、配套更新附属设施及完善防腐防护,彻底解决了原有管道腐蚀破损、泄漏风险高、阀件锈蚀失灵等核心安全隐患,管网运行压力稳定,为周边居民及商户筑

牢了用气安全防线;运维管理实现精准高效,建立了完整的管网坐标信息台账,精准录入管道走向、埋深、附属设施位置等关键信息,大幅提升了调度效率与应急处置能力;社会效益突出,改造后供气质量明显提升,保障了居民正常生活用气需求并提升了居民生活品质,项目实施过程中有效控制了施工对交通及环境的影响,获得良好社会反响,改造经验也为国内其他地区老旧燃气管网改造提供了有益借鉴。

6 结论与展望

湖南城镇天然气老旧管道改造技术创新与全周期管控体系的构建为保障城镇燃气安全运行提供了重要支撑。通过隐患精准识别技术、适配性改造技术方案、施工优化技术等创新手段,结合设计、施工、运营全周期管控体系,有效提升了老旧管道改造的技术水平和管控能力。研究成果在实际应用中取得良好效果,为类似项目提供了有益借鉴。未来应进一步完善技术创新体系,强化全周期管控机制,推动城镇天然气管网安全运行水平持续提升,为城市可持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]党磊,唐玉凯.城镇燃气管道天然气安全运维管理[J].城市管理与科技,2025,26(3):45-47.
- [2]赵云松.沉管技术在天然气管道改造工作中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(7):244-245.
- [3]谭臣.关于城市燃气管道老化更新改造的思考与建议[J].城市燃气,2023,580(6):41-44.
- [4]林峰,王健,徐虹,等.天然气普及背景下的城镇液化石油气需求预测研究——以深圳市为例[J].城市燃气,2020(2):35-42.
- [5]吴文林.城镇燃气次高压调压站偏流技术改造应用实践[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(9):172-174.