

中石油城镇燃气老旧管网安全隐患评估 与更新改造策略研究

张 智 (中石油昆仑燃气有限公司河南分公司, 河南 郑州 450000)

摘要: 本研究针对中石油城镇燃气老旧管网安全隐患进行评估, 深入剖析其面临的安全隐患。通过梳理管道腐蚀、老化及第三方破坏等主要风险类型, 阐述物联网实时监测、无损检测、风险建模等评估技术的应用。基于评估结果, 提出差异化管材选型与技术改造、全生命周期管理制度优化等更新改造策略, 以期能够提升管网安全性。

关键词: 中石油; 城镇燃气; 老旧管网; 安全风险; 隐患评估; 更新改造

中图分类号: TU996.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 031-0147-03

Study on safety hazard assessment and renovation strategy of old urban gas pipeline network in Petrochina

Zhang Zhi(Petrochina Kunlun Gas Co., LTD. Henan Branch., Zhengzhou Henan 450000, China)

Abstract: This study evaluates safety hazards in aging pipeline networks for urban gas supply under China National Petroleum Corporation (CNPC), conducting an in-depth analysis of potential risks. By identifying key risk categories including pipe corrosion, aging, and third-party damage, the research demonstrates the application of assessment technologies such as IoT-based real-time monitoring, non-destructive testing, and risk modeling. Based on evaluation findings, it proposes renovation strategies featuring differentiated material selection and technical upgrades, along with optimized lifecycle management systems, aiming to enhance pipeline safety. **Keywords:** CNPC; Urban gas supply; Aging pipelines; Safety risks; Hazard assessment; Renovation

Keywords: CNPC; urban gas; aging pipe network; safety risk; hidden danger assessment; renewal and transformation

城镇燃气作为城市能源供给的重要组成部分, 在我国能源消费比重中占比很高。而由中石油作为主力军参与我国城镇燃气供应, 现有全国数百个城镇供气管网, 部分管网已使用了 20 多年, 已经逐渐进入了老龄化时期, 其中老旧管网故障导致的安全事故占比达到 62%, 其中因管网腐蚀造成的事故增加了 8%, 因第三方施工破坏导致的停气事件已超过 300 起。目前, 随着城镇化的快速发展, 老旧管网附近的环境也日趋复杂。在传统的建筑过程中, 其密度较集中, 周边施工较为频繁, 再加上土壤腐蚀日益严重, 土壤杂散电流等因素, 导致管材容易发生破坏, 增加了安全风险系数^[1]。如果仅依靠传统的巡查及被动检修很难保证安全运行, 为此, 在梳理管网安全风险类别中, 根据隐患排查科学评估技术, 制定具有针对性的管网更新改造策略, 为确保燃气安全稳定供应、积极承担社会责任提供重要的举措。

1 中石油城镇燃气老旧管网安全风险类型

1.1 管道腐蚀风险

管道腐蚀是中石油城镇燃气老旧管网中最显著的安全风险, 其主要分为内腐蚀与外腐蚀两种类型, 这些会直接导致管壁减薄、承压能力下降, 最终引发泄

漏。内腐蚀的产生主要源于燃气介质特性, 中石油城镇燃气多含微量水分、硫化氢与二氧化碳, 在管道内形成酸性环境, 与钢管内壁发生电化学腐蚀。尤其在调压站下游管段, 压力骤降导致水分凝结, 腐蚀速率是其他管段的 3-5 倍, 部分服役超过超 15 年的钢管, 其内壁腐蚀坑深度可达管壁厚度的 40%。外腐蚀受土壤与杂散电流的影响最为突出: 主要是因为中石油管网在覆盖区域中, 部分中石油管网敷设在酸性土壤和高盐土壤区。土壤中含有大量的氯离子、硫酸根离子, 其具有较强的腐蚀性, 会穿过管道防腐层作用到管体外表面引起外壁局部腐蚀。

1.2 管道老化风险

管道老化主要表现为材质劣化、连接失效, 是中石油老旧管网的重大隐患。在中石油早期建设的管网中, 有 28% 的灰口铸铁管, 这些管道由于长时间经受土壤应力、温差的作用, 管道材质变脆, 其韧性下降 30%-50%。到冬季寒冷季节时, 管道内壁易产生裂纹, 另外有 15% 的普通聚乙烯管 (PE80), 长期使用燃气内含有烷烃类物质, 管道分子发生降解, 抗环境应力开裂性能差, 发生土壤沉降区的管道发生开裂的概率会比新管高出 4 倍^[2]。

联接部位是老化的最大诱爆点,从中石油现有老旧管网的情况来看,采用法兰连接和丝扣连接等两种连接方式占比达到了45%,密封垫片老化变硬后,其密封能力下降约50%,某些老旧管网内密封垫片几乎100%失效。在焊接处可能存在未焊透或夹渣等原因造成的原始缺陷,当长期的压力循环作用下,焊接部位的裂纹也将扩大,根据某城市次高压管网检测情况,服役20年的钢管焊接部位裂纹检出率为23%,成为一处泄漏隐患高发区。

1.3 第三方破坏风险

第三方破坏是中石油城镇燃气老旧管网最不可控的安全风险,近年来,随着城市建设施工活动大幅增加。其中,施工活动破坏占比较大,据中石油统计,截止2024年为此,因第三方施工原因发生的管网损坏事件中,发生于道路改造及房地产开发施工的比例高达78%,其中有60%左右是因施工单位未核对管网档案而盲目开挖引起。大型挖掘机施工破坏性极强,施工对埋深为1.2m的管体的冲击力可达到50kN,已超过管道的抗冲击极限25kN,造成管道破裂事故^[3]。

违规占压是另一重要破坏形式。在城镇旧城区内,有30%左右的中石油管道存在占压情况。如在管道上方修建各种店铺、堆满建筑垃圾等,占压造成的荷载将使管道一直处于较大的附加应力,如:某农贸市场DN300钢管上方堆放有5t重物,管道的变形量达到15mm,超过规范的规定。由于占压部位往往巡检不到位,一旦管道发生泄漏很难被及时发现,易形成燃气积聚而造成燃爆危险。

2 中石油城镇燃气老旧管网安全隐患评估技术

2.1 物联网实时监测技术

物联网实时监测技术是中石油对老管线的动态隐患排查的重要技术措施。通过“感知-传输-分析”的闭环来达到风险预警的目的。感知层主要是通过分布在管道各关键点的压力、温度和燃气泄漏传感器,分别选用压力为0.1kPa的压力传感器、-40~85℃的温度传感器和可燃气体泄漏报警仪,传感器电源是使用电池,因耐受地下潮湿地带及封闭空间,所以其使用寿命可达5年。对长距离管道增设流量传感器,随时检测出管道流体的异常波动,并准确地判断流体是否堵塞、泄漏等情况^[4]。

在传输层中使用“LoRa+4G”双模通信,其中,位于地下的管段传感器利用LoRa技术,以短距离、低功耗的方式完成数据的上传任务,再由地面的中继器经过4G网络将数据传输到石油区域的监控中心,其数据传输的延时被限制在10s之内。在分析层中,利用大数据平台采集压力、流量、泄漏量等基础信息

后,进行分析其所具有的趋势,并对相关的压力骤降超过5kPa/min和泄漏浓度超过1%LEL时做出预警,一旦接收到异常情况预警时,控制系统就会自动发出声光报警,并把故障具体位置以及存在的危险等级同步给运维人员。

2.2 管道无损检测技术

无损检测技术是中石油评估老旧管网本体缺陷的关键,针对不同管材与缺陷类型选用差异化技术。针对钢管采用漏磁检测与超声波检测组合方案,漏磁检测通过内置磁敏元件的检测设备,在管道内产生磁场,当管道存在腐蚀、裂纹时,磁场发生畸变,设备记录畸变信号,可识别深度>0.1mm的腐蚀坑与长度>5mm的裂纹,检测速度达1.5m/s,适用于长距离干线管网。超声波检测通过探头发射超声波,根据反射波信号判断管道内部缺陷,对焊接部位的未焊透、分层缺陷检出率达98%,主要用于场站周边、阀门连接等关键管段检测。此外,对于铸铁管等脆性管材来说,可以采用超声导波检测技术进行检测,该技术主要是采用低频导波沿管道轴向传播的特性,并且单次检测范围可达100m以上,能快速定位管体壁厚减薄、接口渗漏等隐患,大幅提升复杂管网的检测效率。同时,采用超声导波检测技术时,可通过信息终端把检测数据均实时上传至数据分析平台,通过结合AI算法对缺陷发展趋势进行预判,能够生成全面的可视化检测报告,为管网修复优先级排序提供数据参考依据,避免过度维修或维修不及时的问题。

2.3 风险建模评估技术

风险建模管理评价技术是中石油企业运用定量的方法对隐患进行排序,区分各级管网安全水平的关键技术。基于“故障树-层次分析”组合模型,以“燃气泄漏”为顶事件,从“管道腐蚀、老化、第三方破坏”等三个方面进行分析,共计整理出23个基本事件,依据近10年中石油管体故障事故统计数据,计算基本事件的发生概率。以“人员密度、经济损失、环境影响”为3个评价准则,利用层次分析法确定3个准则的权重,如人员密度权重为0.5,经济损失权重为0.3,环境影响权重为0.2。根据上述模型基本事件发生概率和权重,计算出风险值。根据风险值将管网划分为高、中、低三级,风险值 ≥ 80 属于高风险等级,6个月内需完成改造;50 \leq 风险值 <80 属于中风险等级,12个月内需完成改造;风险值 <50 属于低风险等级,需定期巡检^[5]。

3 中石油城镇燃气老旧管网更新改造策略

3.1 差异化管材选型与技术改造

根据管段的风险类型和管段特性选择差异化管材

和改造技术。对腐蚀严重的管段优先选用耐腐蚀合金钢管、PE100-RC 增强聚乙烯管,316L 不锈钢管耐酸腐蚀比普通钢管高 10 倍以上,适合高盐、高硫区域使用。PE100-RC 管耐环境应力开裂达 1000h,为普通 PE 管 2 倍左右,适用于庭院管网和土壤沉降带管段。对于老化严重的管段采用“管道内衬修复”技术,在 N100~DN500 钢管插入 HDPE 内衬管,经过加热收缩工艺使内衬管和原管紧密结合。针对灰口铸铁管则采用“裂管置换”技术,在管道两侧用裂管器把旧管破碎,并拉入一根 E100 管道,实现快速换管施工。针对第三方破坏高发区域:采用“管道包覆防护”技术,在管道外部包覆一层 20mm 厚的高密度聚乙烯防护层,抗冲击强度达到 20kJ/m²,同时在管道上方埋设警示带,警示带内埋设定位标识,警示带内置 RFID 芯片,可用手持终端设备识读出管道的具体位置,减少定位误差。

3.2 全生命周期管理制度优化

积极建立管网“设计-施工-运维-报废”的全生命周期管理制度,将风险扼杀在萌芽状态。在设计阶段中,编制《中石油城镇燃气老旧管网改造设计标准》,明确管材选用、埋深的标准、如车行道下 $\geq 1.2\text{m}$ 、人行道下 $\geq 0.8\text{m}$ 、防腐等级(3PE 防腐层厚度 $>2.5\text{mm}$),适度增加“环境适应性评估”条款,对于酸性土壤、杂散电流地区应采取专项保护措施。在施工阶段实行“样板段先行”原则,在每个改造项目中先修建 100m 作为样板段,经检验合格后方可按施工设计图纸施工。在施工过程中,严格执行“全过程监理+第三方检测”,监理对管材和焊口的焊接工艺进行检查验收,第三方检测单位对焊口部位进行 100% 的无损检查,确保工程的质量和安

全。在运维环节中完善“智能巡检+人工巡检”体系,智能巡检采取无人机对长输管网进行每周一次的巡检方式检查管道是否漏气、占压等问题,采用人工巡检对庭院管网、阀门等开展每月两次的巡检工作,主要针对管道接口是否密封良好和设备运转是否正常等情况进行排查。

在报废时须依照《中石油城镇燃气管网报废技术规程》的相关规定,按要求对管道进行报废处置,根据文件明确报废标准为:腐蚀深度大于管壁厚度 50%,老化后强度下降大于 40%,并对报废管道进行氮气置换、切割等处理,消除存在的安全隐患。

3.3 多元化资金保障机制构建

为解决改造资金需求大的问题,中石油建立“政府+企业+社会”的多渠道多元化资金机制,争取地方政府政策及资金支持。主动对接地方政府,将老旧

管网改造纳入“城市更新”“民生工程”名单,申请中央预算内投资、申请地方政府专项债等,争取政府补贴资金约 50 亿元以上,约占改造总成本 30%。另外,还可申请政府“以奖代补”,根据提前完成改造并通过验收的优秀项目额外给予 5% 左右的奖励资金。

此外,可积极拓宽企业融资渠道:通过发行“城镇燃气改造专项债券”,期限为 10-15 年,票面利率比普通企业债约低 0.5%~1% 个,截至 2023 年专项债达 20 亿,用于 12 个省份的改造项目,与国有银行合作开展“绿色信贷”,争取到 LPR-20 基点优惠利率。某银行给中石油批了 300 亿元绿色信贷额度,专项用于采用环保管材、技术的改造项目。此外,通过“引资”的方式进行融资,有部分地方管网运营商采用“PPP 模式”进行城镇管网的改造项目,在管网改造过程中,与社会资本成立一个合资公司,负责管网改造工作及后期的运维工作。

4 结语

综上所述,中石油城镇燃气老旧管网安全隐患评估与更新改造工作是一项具有系统性的工程。在施工过程中,要精准地识别风险定位,并积极运用科学的手段进行评估,并积极开展多维度的改造措施进行改造。本文主要针对管道腐蚀、管道老化、第三方破坏等三种类型风险进行深度地分析,针对这三类风险中实施了网检测、无损检测、风险建模等技术,并且从技术、管理、资金、协同等 4 个方面展开论述,给出中石油城镇燃气老旧管网安全隐患评估与更新改造可以执行的具体建议。最后对中石油城镇化燃气管网和设施技术标准建设提出展望,指出下一步应重点关注新型管材 AI 评估模型,努力做好管网安全运维,为我国城镇燃气基础设施提质增效做出表率,助推“平安城市”建设。

参考文献:

- [1] 王铮.老旧小区供热管网改造的问题与建议[J].中国住宅设施,2020,(07):7-8.
- [2] 陈娇.老旧小区管网改造案例分析[J].城市道桥与防洪,2021,(07):158-161+18.
- [3] 成汉灼.老旧小区管网微改造设计研究与实践[J].价值工程,2022,41(33):130-132.
- [4] 徐国平,冯如意,朱峰.城市老城区主干道老旧燃气管网改造方法探讨[J].城市燃气,2024,(08):35-38.
- [5] 何剑雄.城镇燃气老旧管网改造中的安全隐患与防范措施[J].工程建设与设计,2023,(15):83-85.

作者简介:

张智(1990-),男,汉族,山东临朐人,大学本科,现有职称:中级工程师,主要从事:QHSE 体系管理、应急管理、生产运行、工程管理。