

城市燃气管道工程工艺相关安全问题探讨

胡 洁 (四川华油集团有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘要: 本文突破传统管理模式的限制, 主要聚焦在城市燃气管道全生命周期内存在的工艺性隐患问题上, 对风险产生的原因进行全面分析, 并提出切实可行的管控对策, 以提高整个城市燃气系统本质的安全水平, 防止出现重大的安全事故, 加强城市的韧性与可持续发展的能力, 在理论和实践操作上都具有非常重要的意义。本文主要对管道材料的选择、焊接工艺的控制、防腐技术的实施、管网优化设计、智能运维管理等各个环节的安全保障措施进行系统的研究, 提出全流程质量控制体系和智能化监控平台的实施方案, 给提升城市燃气管网本质安全水平提供技术支持。

关键词: 城市燃气管道; 工程工艺; 安全问题

中图分类号: TU996

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 036-0133-03

Discussion on Safety Issues Related to Urban Gas Pipeline Engineering Processes

Hu Jie (Sichuan Huayou Group Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610000, China)

Abstract: This paper breaks through the limitations of traditional management models, focusing primarily on process-related hazards throughout the entire lifecycle of urban gas pipelines. It conducts a comprehensive analysis of the causes of risks and proposes practical control measures to enhance the inherent safety level of urban gas systems, prevent major safety incidents, and strengthen urban resilience and sustainable development capacity, which holds significant theoretical and practical importance. The study systematically examines safety assurance measures across various stages, including pipeline material selection, welding process control, anti-corrosion technology implementation, pipeline network optimization design, and intelligent operation and maintenance management. It proposes a full-process quality control system and an implementation plan for an intelligent monitoring platform, providing technical support to improve the inherent safety level of urban gas pipeline networks.

Keywords: urban gas pipelines; engineering processes; safety issues

生命线属性的城市燃气管道系统属于现代城市运作的重要基础设施, 它的存在肩负着保护社会公共安全、维护经济秩序稳定以及改善居民生活质量的重任。随着我国城镇化进程的不断推进, 城市燃气管网布局已呈现覆盖面扩大且结构复杂化的特点, 在清洁能源高效输送得到实现的同时, 其易燃易爆特性所带来的潜在危险性也在不断增加, 近几年来国内外频繁发生天然气泄漏及爆炸事故, 给人们造成严重的身体伤害和财产损失, 提醒我们必须高度重视相关领域的隐患问题, 仔细分析事件背后的原因就会发现, 虽然管理漏洞已成为引发此类风险的重要因素之一, 但是技术层面存在的缺陷也同样不能忽视, 从材料选择到焊接工艺控制、防腐措施的落实乃至竣工验收等各个方面都暴露出急需改进的地方。特别是随着管网规模的不断扩大和运行年限的增加, 管道老化、腐蚀、第三方破坏等工艺相关的问题越来越严重, 迫切需要从技术上建立一套系统的解决办法, 保证城市燃气的安全可靠供应。

1 工艺流程优化与安装技术强化

1.1 材料优选与管道预制工艺提升

城市燃气管道系统安全性是以材料、工艺为前提

的。伴随着新材料技术的不断发展, 聚乙烯 (PE) 管材以及高强度钢管的应用越来越普遍, 它们的耐腐蚀性、柔韧性、抗冲击性都比传统的材料更好。PE 管材耐腐蚀性能强、柔韧性好, 能较好抵抗土壤应力以及地基沉降, 非常适合城市复杂地质条件下的燃气输送。选择管材时需要考虑输送介质性质, 工作压力, 环境条件和使用寿命等, 建立起科学的选择评价体系。高压主干管用 X70 以上高强度钢管, 在满足承载要求的前提下减壁厚, 节约材料及施工工作量。在管道预制工艺中推行工厂化预制与模块化安装, 可以有效地减少现场焊接工作量, 降低由于现场施工条件的限制所造成质量波动的现象。工厂预制的稳定, 有完善的工艺控制系统和检验设备, 可以实现管道组件的标准化、高精度的制造。利用预制构件库及数字化管理平台可以快速满足现场安装需求, 提高施工速度, 使质量一致性得到保证。另外, 采用自动化切割、坡口加工、组对设备来提高管道的组对精度和一致性, 从根子上减少因为装配误差造成的应力集中、泄漏。自动化加工设备可保证坡口角度、钝边尺寸等关键参数的精确性, 给后面焊接作业提供良好的条件。建立健全的管道预制工艺标准和质量控制程序, 保证每一

批次出厂的构件都满足设计要求，为现场安装质量打下良好的基础。

1.2 焊接工艺控制与质量检测技术

焊接是燃气管道安装的关键工序，它的质量好坏决定着整个管道的安危。大力推广自动焊接技术，全机器人自动焊全部采用，禁止手工电弧焊，可以实现对焊接参数准确控制和追溯。自动焊接系统凭借预先设定好的工艺参数以及实时的监测反馈，可以维持焊接过程的稳定，很大程度上削减了人工因素对焊接品质的影响。城市燃气管道工程的焊接工艺应视管材类型、壁厚和焊接部位，编制详细的技术规程，对焊接的方法，参数，预温和后温进行规定等关键项目的要求。同时要加强焊工资质管理，实行焊接工艺评定与现场监督制度，保证每一个焊口均符合规范的要求。创建焊工技术档案，建立考级制度并且要对焊工操作技能进行定期的考核，使其达到质量标准。实行焊接作业现场监督制度，由专业监理人员对坡口清理、组对间隙、焊接参数等重要环节进行全过程监督，及时发现工艺要求之外的地方，并立即进行修正。检测时，除常规的 X 射线、超声波检测外，应该加入相控阵超声、数字射线成像等先进的无损检测技术来提高对于未熔合、气孔、裂纹等隐藏缺陷的辨识度，保证焊接接头的质量可靠。相控阵超声检测速度快、检查量大、确定缺陷位置十分精确、可用于现场对接头进行探伤。数字射线成像技术可以将检测结果数字化存储并分析，可以建立焊接质量数据库，对后面运行管理起支持作用。

2 管网布局优化与运行安全提升

2.1 管网拓扑结构与水力仿真优化

城市燃气管网在规划设计阶段就要充分运用好水力仿真软件，针对管网的拓扑结构开展多工况模拟，合理安排管径及调压站的设置，防止出现诸如流量分配不均，压力大幅波动之类的运行问题。利用管网水力模型模拟分析供气系统的流量分布，压力变化和供应可靠性等。考虑用户用气规律，季节变化，极端工况等因素的影响，并建立管网的水力模型来对这些变量进行解析。通过多方案比较，选择出最优的管网结构及管径配置，保证各种运行工况下用户用水的要求，保证系统运行的经济性、安全性。

对于老旧城区这样的复杂环境，采用分布式能源系统加上微型管网的方式来减少主干管网的负载，提高供热供气的可靠性、韧性。微型管网系统具有布局灵活、成本低、工期短等优势，较好的解决了老城区水管难以安装的问题。通过设置合理的调压装置、流量控制设备来达到微小管网和主干管网的协调工作，

提高整个供气系统适应性以及可靠性。并且合理设置分段阀门和放散装置，在局部故障或者检修时能迅速隔离，将停气范围降到最小。分段阀门布置要与管网结构、用户分布、抢修要求相结合，事故发生时能快速将故障区域隔断以减小影响。放散装置的设置要兼顾放散能力和环境保护需求，保证管网检修或者应急时能安全排放管道内的燃气，给维修工作营造出安全环境。

2.2 运行监测与智能调控技术

管道运行期间，要创建全管网的实时监测体系，把压力，流量，温度以及泄漏检测传感器融合起来，借助 SCADA 系统达成对运行状况的动态监视并实施智能预报警。布设监测点时必须科学、合理，应设置管网重要的节点、高风险区域等作为监测点来了解管道网络的运行情况。运用高精度传感器、稳固的通信网，保证监测数据精确且迅速。构建分等级的报警体系，对参数的偏移大小设定出不同的报警阈值，在安全隐患尚处于萌芽之时就能够做到及时察觉并逐层解决。

利用大数据分析技术，把历史运行数据同实时监测数据融合起来加以分析，以此来预测管网运行趋势和风险点，并给出自动调度优化建议。另外推广使用智能调压、流量控制设备，对管网压力进行精确调节，防止出现超压或者欠压运行的情况，从而提高供气的稳定性与安全性。智能调压器具有远程控制、压力检测、故障诊断等作用，根据下游用气负荷自动调节出口压力、维持管网中各支干管压力维持在设定的范围内。

3 运维技术创新与全周期安全保障

3.1 智能检测与完整性管理

城市燃气管道长期安全运行不能缺少先进的检测、完整性管理技术。应推广内检测智能机器人对管道壁厚、腐蚀情况、几何变形等开展定期检测，根据检测数据来创建管道完整性管理系统。内检测机器人装有各种传感器，可以准确发现管内腐蚀坑、裂纹、变形等缺陷，还能精确定位缺陷的位置和大小。依据检测结果来评判管道的剩余强度及剩余寿命，给维修决策给予科学的支撑。创建管道完整性管理平台，整合内检测数据、运行参数、维修记录等各类信息，达到对管道状态全面掌握和风险预判的目的。系统可以对管道的剩余强度、剩余寿命、风险等级做出综合评价，给维修更换决策提供科学的依据。按照风险评估的结果来制定不同的巡检和维护策略，对风险比较高的管段先进行处理，根据资源的分配来合理安排维修工作。

创建管道维修优先级评价体系,把安全风险,环境影响,经济效益综合起来考量,从而决定最佳的维修时序和方案。同时利用地理信息系统和北斗定位,对管道进行准确的定位,并对第三方施工进行实时监控,防止外力破坏。建立燃气管线地理信息系统,把管道的空间位置、埋深、材质等属性信息详细地记录下来。同城市规划、建设部门建立信息交流共享机制,尽早得到第三方的施工计划,提前采取保护措施。在重要的管段沿线布置视频监控、振动监测设备,对施工活动进行实时监控,出现异常及时预警处置。

3.2 防腐技术与阴极保护系统优化

腐蚀属于造成管道失效的主要原因之一。除选用耐腐蚀材料外,还要加强管道外防腐层质量,推广使用三层 PE 防腐结构,严格现场补口工艺。三层 PE 防腐层是由环氧底漆、胶粘剂和聚乙烯外层组成的,具有较好的附着力、耐冲击性、抗化学腐蚀性。工厂预制阶段要严格控制除锈等级、预热温度、涂覆工艺,保证防腐层的质量达到标准要求。现场补口须用与主管道相同或相容的材料和工艺,确保补口处的防腐性能与主体管道一致。阴极保护是控制电化学腐蚀的主要技术手段,应实现远程监控和智能调节,依靠恒电位仪和参比电极的配合,保证保护电位一直处在有效区间。

创建阴极保护远程监控体系,即时获取各个测试点的电位数据,自动调节输出电流,保障保护电位处于指定范围之内。智能恒电位仪可以存档,远程通讯,故障自诊断,提高系统的可靠性以及管理水平。定期的对阴极保护系统进行效能评价,采用电位分布测量、电流密度分析等方法,来判断保护效果的好坏,及时发现并解决问题。按时间顺序定期评定阴极保护系统的状况,发现问题后及时将故障点予以清除,保证防腐体系长期以来都能处于积极有效的运行阶段。在杂散电流干扰严重的区域采取排流保护,减轻杂散电流对管道的腐蚀。建立防腐系统定期巡检和维护制度,及时修复防腐层破损处,更换失效的阳极材料,保证防腐系统长期有效运转。健全防腐系统文件资料,把设计的各种数据,以及施工作业过程以及各种检测、维护等信息详细而系统的记录下来为长久保护提供可靠的依据。

3.3 应急抢修与快速恢复技术

健全完善应急抢修体制,保证燃气管道安全运行。具备有训练有素专业的维修工作人员与先进的抢修设备,配之完备的应急方案可在突发情况出现之时给予良好的应对手段。按照管网的规模与风险散布来安排抢修站点,准备好所需的抢修车辆,机具以及防护用

品。根据不同种类的管道故障,制订出各自的整治程序和技术方针,阐明各个人员应尽的职责及其协作方法。

定时安排应急演练,考查应急预案的可行性和抢修队伍的应急处理能力。推广使用不停输封堵技术,在保证供气连续性的基础上进行管道的维修改造工作,最大限度地降低给用户造成的损失。不停输封堵技术利用专门的封堵设备,在不切断管道气源的条件隔离作业管段,给维修作业创造一个安全的工作环境。按照管道参数以及施工要求来选择适当的封堵方式,如夹板封堵、折叠式封堵、筒式封堵等等。严格管控作业安全,做好详细技术交底及风险分析,保证作业过程安全可控。设置应急物资贮藏地,贮存常规管道建材、配件、抢修工具,以供紧急时使用。

4 小结

城市燃气管网安全运行属于一项复杂的系统性工程,它最重要的保障是各个工艺环节的质量控制和可靠性。经过研究得知,管道存在隐患主要源自设计选材、焊接施工、防腐处理以及穿越敷设等关键工序的技术瑕疵或者管理疏漏,这些因素使得整体安全性下降,进而造成泄漏甚至爆炸事故的发生情况,要想真正提升城镇燃气系统的安全保障水平,就应当把工作的重心放在全流程质量管理体系的打造上,特别是对工艺流程核心全链条质量管理机制的设计和完善上面,因此要严格依照管材及设备技术标准执行,推行标准化焊接操作规范并且规范化防腐作业程序,并且融合先进的无损检测技术和智能监控方式,从而实现隐蔽工程质量的有效把控及其服役期间的状态实时监测效果。

参考文献:

- [1] 顾佳鹏,严俊伟,魏瑾,等.城市燃气管道风险评估研究进展[J].化工机械,2025,52(05):709-713.
- [2] 陆王强.城市燃气管道泄漏检测与定位技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(18):51-54.
- [3] 江泉,刁肖伟.综合物探方法在城市燃气管道工程勘察中的应用[J].地质找矿论丛,2025,40(02):255-262.
- [4] 李孝莹.城市燃气管道地铁杂散电流干扰防护研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(09):30-37.
- [5] 王凯,巩玉峰.复杂地质环境下城市燃气输送管道的应力分布与安全防护措施研究[J].石化技术,2025,32(05):388-389.
- [6] 李秀芳.城市燃气管道老化更新改造分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(13):118-120.
- [7] 重拳整治第三方破坏燃气管道问题切实加强城市燃气管道安全管理[J].上海煤气,2025(01):38.