

智能化技术在城镇燃气管网安全管理中的应用

张先锋 (安徽省天然气开发股份有限公司, 安徽 合肥 230000)

王海民 (中国石油管道局工程有限公司, 河北 廊坊 065000)

摘要: 城镇燃气管网作为城市能源供应的生命线, 其安全稳定运行直接关乎公共安全及社会稳定。本文首先梳理了城镇燃气管网安全管理面临的现状, 进而分类探讨关键的智能化技术。并在此基础上剖析智能化技术在管网泄漏监测、预测性维护管网腐蚀以及主动防范第三方破坏等场景中的实践应用, 旨在为提升城镇燃气管网安全管理的智能化水平提供参考。

关键词: 智能化技术; 城镇燃气管网; 安全管理

中图分类号: TU996.7 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2026) 004-0145-03

Application of Intelligent Technologies in the Safety Management of Urban Gas Pipeline Networks

Zhang Xianfeng (Anhui Natural Gas Development Co., Ltd., Hefei Anhui 230000, China)

Wang Haimin (China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: As the lifeline of urban energy supply, the safe and stable operation of urban gas pipeline networks is directly related to public safety and social stability. This paper first reviews the current challenges faced in the safety management of urban gas pipeline networks, and then systematically discusses key intelligent technologies by category. On this basis, it analyzes the practical application of intelligent technologies in scenarios such as pipeline leak detection, predictive maintenance for corrosion control, and proactive prevention of third-party damage, aiming to provide references for enhancing the intelligent level of safety management of urban gas pipeline networks.

Keywords: Intelligent technologies; Urban gas pipeline networks; Safety management

随着城市规模持续扩大, 燃气管网呈现出覆盖范围广以及敷设环境复杂等特点, 传统依靠人工巡检经验判断的安全管理方式逐渐暴露出局限性。燃气泄漏、第三方破坏及设施老化等风险具有突发性, 一旦处置不及时, 极易引发安全事故, 对城市公共安全造成不利影响。而智能化技术为燃气管网安全管理提供了新的思路, 利用传感感知、信息集成及数据分析等功能持续监测管网运行状态, 推动智能化技术融合燃气管网安全管理, 已成为行业发展的必然趋势。

1 城镇燃气管网安全管理现状

1.1 管网运行环境复杂

城镇燃气管网深埋于城市地下空间, 其运行环境具有高度复杂性, 管网路经常穿越不同地质条件区域, 土壤腐蚀性、密实度及地下水位等因素差异显著, 直接影响管道的腐蚀速率。同时, 密集的城市建设活动构成主要外部威胁, 轨道交通施工、道路开挖等第三方工程极易对地下管线造成意外破坏。此外, 地下空间各类管线纵横交错, 形成复杂的地下网络, 进一步增加了精确定位以及维修的难度。这种复杂多变的外部环境, 使得管网安全风险来源多样, 对风险监测及防控的精度提出了极高要求。

1.2 燃气管网设施老化

随着燃气管网投入使用的时间越来越长, 设施老化的问题也越发突出, 已经成为引发内在安全风险的主要因素。在我国不少城市早期铺设的燃气管道, 不管是材料本身的性能、焊接时采用的工艺, 还是防腐处理遵循的技术标准都比较落后。这些管道在长期运行过程中, 会受到多种因素的共同影响, 出现管壁变薄以及焊缝缺陷的问题。而这些老化产生的缺陷, 发展速度缓慢又都深埋在地下, 靠常规的人工巡检或者定点开挖抽查, 无法在早期发现燃气泄漏风险。

1.3 安全管理信息分散

很多燃气企业的信息化系统, 都是根据不同业务部门的需求单独建设的, 没有统一的数据标准, 不同系统之间的数据信息无法顺畅互通, 形成了一个“信息孤岛”。这样一来, 在做安全管理相关的决策时, 无法得到全面的数据支持, 进而影响评估整体管网安全。

2 城镇燃气管网安全管理中智能化技术分类

2.1 物联网技术

传统管理模式, 采集数据依赖人工及固定点仪表, 存在盲区大且时效差等缺陷, 物联网技术利用低

成本、智能化的传感器及无处不在的通信网络，泛在感知管网及其环境数据。具体而言，其在燃气管网安全领域的应用核心在于部署各类专用传感器网络，采用可检测 ppb 级浓度的激光甲烷传感器构成泄漏监测网络；铺设对振动极其敏感的分布式光纤，构成抵御第三方破坏的“电子围栏”；安装智能阴保桩，持续监测管道防腐电位；以及升级传统的压力、流量仪表为具备远传功能的智能终端。这些传感器通过 NB-IoT、LoRa 等低功耗广域网技术或 4G/5G 网络，将海量状态数据实时汇聚到云端平台，为更高层次的智能分析提供数据。

2.2 GIS 系统

现代智慧燃气 GIS 已超越传统电子地图的范畴，它是一个集成了空间数据库、属性数据库以及强大空间分析引擎的复杂系统。其核心是搭建精准的燃气管网数字孪生体，精确录入每一段管道的空间坐标 (X,Y,Z)、埋深及走向等上百种属性信息，并建立完整的管网拓扑连接关系。在此基础上，GIS 系统可以结合实时泄漏监测数据与，模拟泄漏气体的扩散范围及浓度分布；可以综合土壤腐蚀性数据、管道服役年限，利用空间插值算法绘制管网腐蚀风险热力图；可以在应急抢修时，基于实时路况为抢修车辆规划最优抵达路径，并自动分析需关闭的上游阀门，生成关阀方案图。GIS 的可视化能力，直观呈现抽象的数据及复杂的空间关系，极大地提升了管理人员对管网全局态势的掌控能力。

2.3 无人机技术

无人机技术是对传统地面巡检模式的补充，搭载多种专用任务载荷，无人机能够执行多样化的空中巡检任务。搭载高分辨率可见光相机以及热成像相机，可大范围巡航扫描地面：可见光影像用于识别管网沿线地面的异常变化；红外热成像对温差极为敏感，即便微小泄漏也能形成可见的热异常区域，尤其适用于夜间或植被覆盖区的隐蔽泄漏筛查。更为先进的是搭载激光甲烷遥测 (LMD) 设备的无人机，向地面发射激光束并分析反射光谱，能够在数十米高空非接触式地检测管线沿途上方的甲烷气体浓度，该技术响应速度快并且检测灵敏度高，适合无死角扫描穿越复杂城区、农田或河流的管线。无人机巡检适用于人工巡检困难或危险的区域进行常态化巡查，也常作为地面传感器报警后的精准定位手段，极大地扩展了安全监测的覆盖范围。

2.4 SCADA 控制系统

数据采集与监控系统 (SCADA) 负责对全网生产过程的集中监控，现代智能化 SCADA 系统已经演进

为一个集成监控、数据整合、智能分析及决策支持于一体的综合性运营平台。它通过广域网与各场站的远程终端单元 (RTU) 或可编程逻辑控制器 (PLC) 通信，实时汇聚全网的海量运行数据。在此基础上，智能 SCADA 内置了多种高级应用软件包：实时瞬态模型 (RTTM) 建立管网的流体力学数学模型，结合实时数据可在线进行泄漏检测；智能调压控制模块可根据下游用气需求预测，自动调节调压器设定值，维持管网最优压力平衡，减少压力波动风险；报警管理平台能智能过滤海量报警信息，防止信息过载。更重要的是，智能 SCADA 作为运营核心，联动物联网感知平台以及 GIS 空间平台等，共同构成了燃气企业智慧运营中心 (IOC) 的技术底座。

3 智能化技术在城镇燃气管网安全管理中的应用实践

3.1 在管网泄漏监测中的应用

管网泄漏是城镇燃气系统最直接、最具威胁性的安全风险，由于天然气具有易燃、易爆的特性，一旦发生泄漏并与空气混合达到爆炸极限，遇明火即可能引发火灾或爆炸事故，对人民生命财产安全以及社会公共秩序造成毁灭性打击。泄漏风险可能源于管道腐蚀穿孔、第三方施工破坏等多种原因，泄漏初期难以察觉，特别是地下微小泄漏，气体可能沿土壤缝隙扩散至远处并在不可预见的位置积聚，形成巨大的潜在危险。因此，建立一套能够极早期发现、快速精准定位并自动联动处置的智能监测模式，是控制泄漏风险、避免事态升级的关键。

智能化技术在监测网络层面，形成了“点、线、面”结合的立体布局：“点”上，在人口密集区、重要设施周边布设高密度智能气体传感器；“线”上，沿主干管道敷设分布式光纤传感 (DAS/DTS) 系统，将整条管道转变为连续的“听觉神经”，可监听由泄漏引发的特定声波信号并精准定位；“面”上，利用搭载 LMD 的无人机进行周期性区域普查。当感知层监测到异常情况，平台端的数据融合及 AI 分析引擎就会立刻启动，联合分析多源信号，快速分辨出是真实的燃气泄漏还是环境干扰；同时结合传感器的具体位置，以及实时采集的数据，在几分钟内就能算出最有可能的泄漏点位置，置信度能达到 90% 以上。一旦确认发生泄漏，系统会自动触发应急联动：智能 SCADA 系统会根据泄漏点的位置，自动制定并执行最优的压力调整或关阀隔离方案，防止事故进一步扩大。与此同时，应急指挥平台会在 GIS 地图上高亮标注泄漏点位置以及需要关闭的阀门，还能在移动 APP 上，把包含精确坐标及现场照片的数字化工单，一键派发给

距离最近的抢修队伍。抢修车辆借助 GIS 导航能快速抵达现场,整个过程从发现异常到启动响应,压缩到 30min 以内,把安全隐患及时消灭在萌芽阶段。

3.2 在管网腐蚀及完整性管理中的应用

在城镇燃气管网长期运行过程中,腐蚀始终是威胁管道完整性的核心隐患之一,其具有隐蔽性特征。引入智能化技术,使腐蚀管理由依赖人工经验判断的被动应对,转向以数据驱动为基础的主动管控模式,为管网完整性管理提供了更具前瞻性的技术支撑。

智能监测技术显著提升了感知腐蚀状态的精细度,在关键管段布设电化学传感器、腐蚀探头及环境参数采集装置,可长期在线监测影响腐蚀发展的关键因素。相关数据经系统汇聚后,能够动态反映管道外腐蚀风险的变化趋势,使管理人员不再局限于定期检测形成的离散认知,而是获得连续可追溯的腐蚀演化信息,为完整性评估提供可靠依据。与此同时,借助数据建模及算法分析,可关联分析历史检测结果、实时监测数据等静态信息,搭建多维度腐蚀风险评价模型。系统能够自动识别风险水平异常上升的管段,并预测潜在失效模式,为完整性管理中的优先检修以及分级维护提供科学依据。

同时,智能化手段强化了腐蚀防护措施的协同管理能力,在阴极保护系统运行管理中,实时监控保护电位及电流输出状态的,可及时发现保护不足或过保护问题,并结合腐蚀监测结果进行联动调节,使防护措施始终处于合理区间。完整性管理由此形成“监测—分析—调控—验证”的运行模式,提升了管网长期服役的安全稳定性。总体来看,智能化技术在管网腐蚀及完整性管理中的应用,既提高了风险识别的准确性,也促使管理模式从静态维护转变为动态管理,为城镇燃气管网安全运行提供技术保障。

3.3 在防范第三方破坏中的应用

第三方施工破坏是目前城镇燃气管网面临的最频繁的外部安全威胁,具体指的是在燃气管道保护范围内,非燃气企业开展工程施工活动时,因为没有查明管线位置或者保护措施不到位,而对管道造成的物理损伤。第三方破坏发生得很突然,极易导致燃气大量泄漏,进而引发严重的次生灾害,传统的防范模式主要依靠人员巡查,存在发现滞后的问题。所以,搭建一个能够提前预警且实时监控的主动智能防范框架,是防范这类事故发生的关键所在。

利用智能化技术形成“事前预警、事中干预、事后追溯”的主动防控第三方破坏全流程,在事前预防环节,通过与政府“多规合一”平台或工程审批系统进行数据接口对接,将获取的合法施工项目信息自动

导入燃气 GIS。系统在 GIS 地图上自动将施工区域叠加分析地下燃气管线,识别出存在交叉或临近的“冲突区”,并自动生成《施工现场管线保护告知书》及示意图,为施工前的安全技术交底提供精准权威的电子化依据。事中监控环节,在划定的高风险“冲突区”管线正上方,埋设高灵敏度的智能振动光纤或地磁传感器网络,24h 实时监测地面振动及磁场变化。一旦监测到未经系统报备的机械挖掘振动信号,系统立即启动三级联动响应:第一级现场声光报警器自动鸣响,警示现场施工人员立即停止作业;第二级监控中心大屏弹窗报警,GIS 地图精准定位入侵点,并自动调取附近视频监控画面进行复核;第三级,利用短信、专业 APP 推送等方式将报警信息,在 10s 内同步送达管线巡查员、片区安全负责人及监管单位相关人员手机。巡查员在破坏发生前抵达现场进行干预,从而将安全管理模式从根本上重构为“风险预警—主动干预”的新型城镇燃气管网安全管理模式。

4 结束语

城镇燃气管网安全管理的智能化转型,标志着行业从被动响应向数据驱动的主动预防模式的深刻转变。以物联网、地理信息系统及数字孪生为核心的技术集群,搭建全域感知网络及统一数据平台,完成风险识别的前瞻化以及处置流程的协同化。

未来,随着人工智能算法的持续优化以及多源数据的深度融合,智慧燃气系统将发展为具备自诊断、自决策以及自优化能力的预测性维护模式,相关企业推进技术部署的同时形成与之匹配的标准规范,筑牢城市能源生命线的数字屏障。

参考文献:

- [1] 乔晓光. 智能燃气管网监控系统在城镇安全中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(21): 72-74.
- [2] 王学丹. 浅谈城镇燃气管网安全运行存在的问题及解决措施 [J]. 低碳世界, 2025, 15(06): 118-120.
- [3] 芦亚男. 基于物联网的城镇燃气管道第三方破坏实时预警技术研究 [J]. 中国设备工程, 2025(10): 208-210.
- [4] 张刚, 钟炎鑫, 孙启超, 方超, 庄学良. 浅谈城镇燃气老旧管网智能化改造 [J]. 石化技术, 2025, 32(04): 300-301+272.
- [5] 张鹏博. 智能化、自动化技术在城镇燃气管网运行管理中的应用 [J]. 数字技术与应用, 2024, 42(08): 229-231.
- [6] 张恒, 徐乐, 熊伟, 路波, 马骏. 信息化技术在城镇燃气本质安全管理中的应用 [J]. 中国管理信息化, 2024, 27(13): 92-95.