

试析城市燃气管网运行的智能化

郝志强

杭州余杭港华燃气有限公司 浙江 杭州 311000

摘要：城市燃气管网智能化是提升城市能源安全与运营效率的关键。其以物联网、大数据、AI、数字孪生等技术为核心，构建全生命周期感知、分析、决策体系。通过智能传感器实时监测管网压力、流量、泄漏等参数，结合5G实现数据高效传输，利用AI算法预测风险、优化调度，并依托数字孪生进行仿真模拟，实现从“被动抢修”到“主动防控”的转变，显著降低事故率，保障供气安全与稳定。

关键词：城市燃气管网；运行；智能化；发展路径与对策

引言：随着城市化进程加速，城市燃气管网规模持续扩张，其安全稳定运行关乎民生与城市发展。传统管网管理模式依赖人工巡检与经验判断，存在监测滞后、风险预警不及时、运维效率低等问题，难以应对复杂多变的运行环境。在此背景下，智能化技术为燃气管网运行带来革新契机。通过融合物联网、大数据、人工智能等前沿技术，可实现管网实时感知、精准分析与智能决策，推动管网管理向高效化、安全化、智能化迈进。

1 城市燃气管网智能化技术体系

1.1 感知层技术

(1) 智能传感器：部署压力、流量、泄漏检测等多类型传感器，实现管网运行参数实时采集。压力传感器精准监测管网压力波动，及时预警超压风险；流量传感器追踪燃气输送动态，保障供需平衡；泄漏检测传感器通过气体感应技术，快速捕捉微量泄漏，筑牢安全第一道防线。(2) 物联网（IoT）与无线通信技术：采用LoRa、NB-IoT等低功耗广域网技术，构建全覆盖的感知网络。LoRa技术凭借远距离传输优势适配城郊管网，NB-IoT则依托蜂窝网络实现城市密集管网数据高效传输，确保感知数据稳定上传。

1.2 数据传输与存储技术

(1) 边缘计算与云计算协同架构：边缘节点就近处理实时数据，降低传输延迟与带宽消耗；云计算平台承担海量历史数据存储与深度分析，形成“边缘实时响应+云端全局决策”的协同模式。(2) 大数据平台构建：搭建集实时数据采集、清洗、存储与历史数据分析于一体的大数据平台，实时汇聚管网全维度数据，通过历史数据挖掘梳理运行规律，为后续分析决策提供数据支撑^[1]。

1.3 智能分析与决策技术

(1) 数字孪生技术：构建管网虚拟映射模型，实现物理管网与虚拟模型实时联动，可对管网改造、故障处

置等场景进行仿真模拟，优化方案设计。(2) 人工智能算法：应用于泄漏预测、风险评估与优化调度，通过算法模型精准预测潜在泄漏点，量化管网运行风险等级，同时根据供需数据动态优化燃气输送调度方案。

1.4 自动化控制技术

(1) SCADA系统升级：升级后的SCADA系统实现管网全流程远程监控，具备智能调控功能，可根据监测数据自动调整运行参数，提升管网运维自动化水平。(2) 智能阀门与应急切断装置：配备智能阀门与应急切断装置，可接收远程控制指令或响应本地监测预警信号，快速完成阀门启闭，在故障发生时及时切断燃气输送，降低事故损失。

2 城市燃气管网智能化应用场景

2.1 实时监测与预警系统

(1) 泄漏定位与扩散模拟：融合GIS地理信息系统与多源传感器数据，构建精准的泄漏定位体系。当传感器捕捉到泄漏信号后，系统结合管网空间坐标信息快速锁定泄漏点位，误差可控制在米级范围；同时基于流体力学模型开展扩散模拟，结合实时气象数据（风速、风向）预测燃气扩散范围与蔓延速度，为应急处置提供精准的区域预警信息，有效规避人员伤亡与次生灾害。(2) 异常工况识别：依托全管网感知网络，实时监测管网压力、流量等核心运行参数。通过设定动态阈值与AI异常识别算法，精准捕捉压力骤升骤降、流量突变等异常工况，区分设备故障、管网破损、人为操作失误等不同诱因，第一时间触发分级预警，推送至运维管理平台与相关责任人，实现异常工况“早发现、早研判、早处置”，保障管网平稳运行^[2]。

2.2 风险评估与动态管理

(1) 管网健康度评价模型：整合管网腐蚀监测数据、建设年限与运行维护记录、第三方施工扰动信息等多维

度数据，构建量化的管网健康度评价模型。模型重点评估腐蚀程度、管道老化速率、第三方破坏风险等核心指标，生成管网健康等级分布图，明确高风险管段的位置与风险成因，为管网更新改造提供科学依据。(2) 风险分级管控与应急预案优化：基于健康度评价结果实施风险分级管控，对高、中、低风险管段制定差异化的巡检频次与防护措施。同时结合历史故障案例与模拟仿真结果，优化应急预案的处置流程、资源调配方案，明确不同风险场景下的响应等级与责任分工，提升应急处置的针对性与高效性。

2.3 运维优化与智能调度

(1) 基于AI的供气平衡调度：利用AI算法对历史用气数据、气象数据、节假日客流变化等影响因素进行深度分析，精准预测不同区域、不同时间段的燃气需求。结合预测结果与管网运行状态，动态优化气源分配与压力调节方案，实现供气与需求的精准匹配，既保障居民与工业用户的稳定用气，又降低燃气输送能耗。(2) 巡检机器人与无人机应用：在城市主干道、高架管段、城郊偏远管段等复杂场景部署巡检机器人与无人机，替代传统人工巡检。设备搭载高清摄像头、气体传感器等装置，可实现24小时不间断巡检，自动识别管道破损、附件松动、违规施工等问题并实时回传，大幅提升巡检效率，降低人工巡检的安全风险与人力成本。

2.4 用户服务智能化

(1) 智能燃气表与用户端监测：为用户配备智能燃气表，实现用气数据自动采集、远程抄表与异常用气监测。当出现超量用气、燃气泄漏等异常情况时，系统及时发出预警并推送至用户终端，同时联动管网侧应急装置，保障用户用气安全；此外，通过用气数据统计分析为用户提供能效管理建议，助力节能降耗^[3]。(2) 用户需求响应与个性化服务：搭建智能化用户服务平台，用户可通过APP、小程序等渠道实现缴费、报修、咨询等业务的线上办理。平台基于用户用气习惯与需求数据，提供个性化的用气建议、增值服务推荐，同时建立快速响应机制，及时处理用户诉求，提升用户服务体验。

3 城市燃气管网智能化面临的挑战

3.1 技术瓶颈

(1) 传感器精度与寿命限制：管网复杂工况（高温、高湿、腐蚀环境）对传感器性能提出严苛要求，当前部分传感器存在精度不足问题，难以精准捕捉微小泄漏、细微压力波动等关键信号；同时，恶劣环境易导致传感器寿命缩短，频繁更换增加运维成本，且影响数据采集的连续性。(2) 数据安全与隐私保护：智能化系统依赖海量数

据传输与存储，存在网络攻击风险。黑客可能入侵系统篡改运行数据、窃取用户用气隐私，甚至操控控制装置引发安全事故，而当前数据加密、防火墙等防护技术仍需完善，数据安全保障体系有待强化。

3.2 管理障碍

(1) 跨部门数据共享机制缺失：燃气管网智能化需融合住建、应急、气象、交通等多部门数据，但各部门数据标准不统一、共享意愿不足，缺乏常态化共享机制，导致数据碎片化，无法充分发挥数据价值，制约智能化分析决策的准确性。(2) 传统运维人员技能转型压力：传统运维人员擅长手工巡检、机械维修等技能，而智能化系统需要掌握传感器技术、数据分析、智能设备操作等专业能力，现有人员技能储备不足，技能培训周期长、难度大，面临严重的转型压力。

3.3 政策与标准滞后

(1) 智能设备认证体系不完善：目前针对燃气管网智能传感器、监控终端等设备的认证标准不健全，缺乏统一的性能评估指标与检测规范，导致市场设备质量参差不齐，影响智能化系统的稳定性与兼容性。(2) 责任划分与监管框架模糊：智能化场景下，设备故障、数据错误、自动控制失误等引发的安全事故责任划分不明确；同时，针对智能化系统运行、数据管理的监管框架尚未完善，监管职责边界不清，增加了项目推进风险。

3.4 经济性约束

(1) 初期投资成本高：智能化改造需大规模部署传感器、通信设备、智能控制装置，同时搭建大数据平台、升级管理系统，前期设备采购、工程施工、系统研发等投入巨大，对燃气企业资金压力显著。(2) 长期运维成本与效益平衡：智能化系统运行需持续投入设备维护、数据存储、人员培训等费用，而智能化带来的安全效益、节能效益难以短期量化显现，部分企业面临长期运维成本与效益失衡的困境，影响智能化推进积极性。

4 城市燃气管网智能化发展路径与对策

4.1 技术创新路径

(1) 关键技术攻关：聚焦传感器精度不足、寿命较短及核心组件依赖进口等问题，加大研发投入，重点突破低成本高可靠传感器技术，提升设备在高温、腐蚀等复杂工况下的稳定性与精准度；大力推进国产化AI芯片研发与应用，降低对国外芯片的依赖，同时优化芯片算力与能耗，适配燃气管网智能化数据分析需求。通过技术攻关打破核心技术瓶颈，为智能化发展筑牢技术根基。(2) 5G+工业互联网融合应用：依托5G低延迟、高带宽、广连接的技术优势，构建燃气管网专属工业互联网平台。

实现5G与管网感知层、传输层、应用层的深度融合,提升传感器数据、视频监控等海量数据的传输效率,保障远程控制指令的实时响应,支撑巡检机器人、无人机远程操控、数字孪生实时仿真等高级智能化应用落地^[4]。

4.2 管理模式升级

(1) 构建“云-管-端”一体化管理平台:整合现有分散的监控系统、数据平台,搭建集感知终端数据采集、云端数据存储分析、终端设备控制于一体的“云-管-端”协同管理平台。实现管网运行数据的集中管控、全流程可视化监管,提升管理决策的效率与精准度,打破管理数据碎片化壁垒^[5]。(2) 推动运维服务外包与第三方监管:针对传统运维人员技能转型压力,引入专业运维服务机构,将设备维护、数据运维等非核心业务外包,降低企业运营成本;同时建立第三方监管机制,由专业机构对运维服务质量、智能化系统运行效果进行监督评估,保障运维服务规范有序,提升管理专业化水平。

4.3 政策与标准完善

(1) 制定智能管网建设规范与安全标准:由政府主管部门牵头,联合行业协会、企业制定统一的智能燃气管网建设技术规范,明确传感器、智能控制设备等硬件的性能指标、安装要求;同步完善安全标准,规范数据传输、系统运维、应急处置等流程,为智能化建设提供统一的遵循依据,保障项目建设质量与运行安全。(2) 建立数据共享激励机制与责任追溯制度:出台数据共享相关政策,建立跨部门数据共享激励机制,鼓励住建、应急、气象等部门开放相关数据,同时明确数据共享的范围、权限与安全要求;构建全流程责任追溯制度,清晰界定智能化系统建设、运维、使用各环节的责任主体,对设备故障、数据泄露、安全事故等问题实现精准追溯,降低项目推进风险。

4.4 产业协同发展

(1) 燃气企业与科技公司合作:推动燃气企业与华为、阿里云等科技企业建立战略合作伙伴关系,依托科技企业在大数据、人工智能、云计算等领域的技术优势,联合开展燃气管网智能化解决方案研发、系统搭建与升级迭代;同时借助燃气企业的行业经验与管网资源,实现技术与应用场景的精准匹配,加速智能化技术落地转化。(2) 产学研用联合创新:构建高校、科研院所、企业协同创新体系,发挥高校与科研机构在基础研究、核心技术研发方面的优势,结合企业的实际应用需求,开展关键技术联合攻关;建立人才培养合作机制,定向培养兼具燃气行业知识与智能化技术能力的复合型人才,为智能化发展提供技术与人才双重支撑。

结束语

城市燃气管网运行智能化是时代发展的必然趋势,它借助先进技术实现了对管网的全方位、实时、精准管理,极大提升了运行的安全性与效率,降低了事故风险与运维成本。然而,其发展仍面临技术、管理、政策等多方面挑战。未来,需持续技术创新、完善管理模式、强化政策支持,各方协同发力,推动城市燃气管网智能化迈向更高水平,为城市安全稳定供气提供坚实保障。

参考文献

- [1] 阎峰.试析城市燃气管网运行的智能化[J].装备维修技术,2020,(3):21-23.
- [2] 张修男.城市燃气智慧管网技术的探究[J].智能建筑与智慧城市,2022,(05):166-168.
- [3] 刘芳,刘栋国.城市燃气管网的老化评估与更新改造技术[J].石化技术,2025,32(03):445-446.
- [4] 赵越超,李春德.城市燃气管道更新改造工程常见问题及措施[J].煤气与热力,2023,43(06):38-42.
- [5] 黄佳丽.城市燃气管网运行安全现状分析与措施建议[J].上海煤气,2024,(02):29-31.