

城镇燃气工程数智化管理研究与应用

孙梅

绍兴市上虞区天然气有限公司 浙江 绍兴 312500

摘要：城镇燃气工程数智化管理融合数字化、智能化技术，通过物联网、大数据、AI算法构建全生命周期管理体系。其涵盖规划、施工、运维等阶段，实现风险智能预警、施工过程追溯、运维状态实时监测及应急快速响应。该模式提升管理效率，降低安全风险，助力燃气企业从传统能源供应商向智慧能源服务商转型，为城市能源安全提供技术保障。

关键词：城镇燃气工程；数智化管理；应用

引言：在新型城镇化与能源革命的双重驱动下，城镇燃气工程面临安全管控精细化、运营效率智能化、服务响应敏捷化的迫切需求。传统管理模式存在数据孤岛、决策滞后、风险感知能力不足等痛点，而数智化技术（如数字孪生、AI视觉检测、5G+物联网）的突破，为燃气工程全生命周期管理提供了创新路径。本研究聚焦数智化理论重构、技术融合与应用实践，助力行业向安全高效、绿色低碳的智慧能源体系转型。

1 城镇燃气工程数智化管理理论框架

1.1 核心概念界定

（1）数智化管理的定义：融合数字化、智能化与生态化三重属性，以数据为核心驱动，通过数字化技术实现燃气工程全要素信息采集与整合，依托智能化算法完成数据分析与决策优化，构建多方协同的生态化管理体系，实现管理效率提升与风险管控强化。（2）城镇燃气工程全生命周期阶段划分：涵盖规划、设计、施工、运维、退役五大核心阶段。规划阶段聚焦需求研判与布局规划；设计阶段侧重方案优化与数字化建模；施工阶段强化过程管控与质量追溯；运维阶段实现实时监测与精准运维；退役阶段注重安全处置与资源回收。

1.2 理论模型构建

（1）基于“数据-知识-决策”的闭环管理模型：以数据采集为基础，通过知识提取与模型训练形成管理知识，依托智能决策输出管控方案，同时将实施效果反馈至数据层，实现闭环迭代优化。（2）多源异构数据融合架构：整合SCADA系统实时运行数据、GIS地理空间数据、IoT设备感知数据等多类型数据，通过数据清洗、转换与融合技术，构建统一数据资源池，为管理决策提供全面数据支撑。（3）动态风险评估与预警机制设计：基于实时数据构建动态风险评估模型，实时研判各阶段风险等级，针对异常情况触发分级预警，联动相关管控模

块实现风险快速处置^[1]。

1.3 关键技术支撑体系

（1）数字孪生技术：构建燃气管道虚拟映射模型，实现物理实体与虚拟模型实时联动，支撑工程设计仿真、施工过程模拟与运维状态推演。（2）边缘计算：在工程现场部署边缘节点，实现实时数据本地化处理与快速响应，降低数据传输延迟，保障现场决策的及时性与可靠性。（3）区块链：应用于燃气工程供应链管理，实现材料采购、施工验收等环节信息上链，保障信息透明可追溯，明确各主体责任。（4）5G+AI：依托5G高速传输特性，结合AI算法实现无人机智能巡检，精准识别管道缺陷与安全隐患，提升运维巡检效率与诊断精度。

2 城镇燃气工程数智化管理技术应用

2.1 规划设计阶段

（1）基于BIM的协同设计平台：构建集多专业协同、三维建模、碰撞检测于一体的BIM协同设计平台，打破规划、设计、勘察等多方主体的信息壁垒。设计人员可依托平台完成燃气管道、调压站等设施的三维参数化建模，将地形地貌、地下管网等基础数据融入模型；通过协同模块实现多专业实时同步设计，自动识别管线交叉、空间冲突等设计隐患并预警，大幅降低设计变更率。同时，平台支持设计成果的数字化交付，为后续施工、运维阶段的信息复用奠定基础，实现规划设计与后续环节的高效衔接^[2]。（2）地质灾害风险智能预测系统：整合区域地质勘察数据、历史灾害数据、气象监测数据等多源信息，构建地质灾害风险智能预测模型。借助大数据分析机器学习算法，对滑坡、泥石流、地面沉降等潜在地质灾害进行精准预判，输出风险等级评估报告与风险影响范围图谱。在燃气工程规划阶段，系统可辅助设计人员避开高风险区域；针对无法避开的复杂地质区域，提供针对性的防护方案建议，从源头降低地

质灾害对燃气工程安全运行的威胁，提升工程规划的科学性与安全性。

2.2 施工建设阶段

(1) 施工现场物联网监控系统：搭建覆盖施工全区域的物联网监控网络，集成人员定位、设备状态监测、环境监测三大核心功能。通过人员定位终端实时追踪施工人员位置信息，划定危险作业区域电子围栏，一旦人员违规进入立即触发声光报警；借助传感器实时采集施工机械的运行参数、能耗数据，精准判断设备运行状态，提前预警设备故障并推送维护提醒；同时对施工现场的扬尘、噪声、有害气体浓度等环境指标进行实时监测，数据超标时自动联动喷淋降尘等设备启动管控措施，实现施工现场的全方位、精细化管控。(2) 焊接质量AI视觉检测技术：针对燃气管道焊接这一关键工序，采用AI视觉检测技术替代传统人工检测。通过高清摄像头采集焊接过程的实时图像，借助深度学习算法对焊缝外观、焊接温度、焊接速度等关键参数进行精准识别与分析，自动检测焊缝气孔、裂纹、未焊透等缺陷。检测结果实时反馈至施工管理平台，对不合格焊缝标记位置并推送整改指令，同时自动记录检测数据形成质量追溯档案，大幅提升焊接质量检测的效率与精度，降低人为检测误差，保障燃气管道的焊接施工质量^[3]。(3) 进度-成本-质量动态优化模型：基于施工进度计划、成本预算数据、质量标准要求，构建进度-成本-质量动态优化模型。通过实时采集施工进度数据、材料消耗数据、质量检测数据，动态分析三者之间的平衡关系。当出现进度滞后、成本超支或质量隐患等问题时，模型自动输出多套优化方案，如调整施工工序、优化资源配置、强化质量管控措施等，辅助管理人员做出科学决策。同时，模型支持模拟不同施工方案的实施效果，为施工过程中的动态调整提供数据支撑，实现施工阶段进度、成本、质量的协同优化。

2.3 运维管理阶段

(1) 智能巡检机器人与无人机应用：针对城镇燃气管道复杂的敷设环境，采用智能巡检机器人与无人机协同巡检模式。在地下管廊、隧道等封闭空间，智能巡检机器人借助红外热成像、气体传感等技术，实时检测管道泄漏、腐蚀等隐患，自主规划巡检路径并完成数据采集与上传；在户外长距离管道、山区管道等区域，无人机搭载高清摄像头与气体探测器，实现大范围、高效率的空中巡检，精准识别管道周边施工破坏、管线裸露等问题。巡检数据实时同步至运维管理平台，形成隐患台账并推送处置工单，实现巡检-发现-处置-销号的闭环管

理。(2) 基于压力波分析的泄漏定位系统：依托燃气管道压力监测点采集的实时压力数据，采用压力波分析技术实现管道泄漏的精准定位。当管道发生泄漏时，泄漏点会产生压力波并向管道两端传播，系统通过分析不同监测点捕捉到压力波的时间差、压力变化幅度等数据，结合管道参数模型，快速计算出泄漏位置，定位精度可达米级。同时，系统自动触发泄漏预警，推送泄漏位置信息与处置预案至运维人员，为泄漏事故的快速处置提供精准指引，大幅缩短泄漏处置时间，降低泄漏事故造成的损失^[4]。(3) 用户用气行为分析与需求响应策略：基于用户智能燃气表采集的用气数据，结合季节变化、气象数据、用户画像等信息，构建用户用气行为分析模型。通过大数据分析挖掘用户用气规律、峰值用气时段、异常用气特征等信息，精准预测区域用气需求。针对用气高峰时段，制定差异化的需求响应策略，如向用户推送错峰用气建议、调整燃气调压站输出压力等；对异常用气行为及时预警，辅助排查用户端泄漏等安全隐患，同时为燃气供应调度提供数据支撑，实现燃气资源的高效配置。

2.4 应急管理阶段

(1) 数字预案库与智能推演系统：构建涵盖泄漏、爆炸、火灾等各类燃气突发事件的数字预案库，对预案内容进行结构化、数字化梳理，明确应急组织机构、处置流程、责任分工、资源配置等关键信息。基于数字孪生技术搭建智能推演系统，结合实时事故数据模拟突发事件的发展态势，对不同处置方案的实施效果进行仿真推演。通过推演优化应急处置流程，提前发现预案漏洞，为应急指挥人员制定科学处置方案提供决策支持，提升应急预案的实用性与可操作性。(2) AR辅助抢修指挥平台：借助AR增强现实技术搭建抢修指挥平台，将事故现场的实时图像与数字孪生模型、应急预案、设备参数等信息进行叠加显示。抢修人员通过AR眼镜可直观查看管道埋深、周边管线分布、抢修操作指引等关键信息；指挥人员通过平台远程实时查看现场情况，向抢修人员推送精准的指挥指令，实现远程可视化指挥。该平台有效解决了抢修现场信息不直观、沟通效率低等问题，提升抢修作业的规范性与效率，缩短应急处置时间。(3) 多部门协同应急指挥沙盘：整合燃气公司、应急管理、消防、医疗、交通等多部门资源，搭建多部门协同应急指挥沙盘。基于GIS地理信息系统与实时数据，直观呈现事故现场位置、周边环境、救援力量分布、资源调配情况等信息。各部门通过指挥沙盘实现信息实时共享、需求快速对接，协同制定救援方案，动态调度救

援人员、设备、物资等资源。同时,沙盘支持应急处置过程的全程记录与复盘分析,为后续应急管理工作的优化提升提供数据支撑,提升多部门协同应急处置的效率与协同能力。

3 城镇燃气工程数智化管理实施路径与保障机制

3.1 分阶段推进策略

(1) 短期:聚焦基础设施数字化改造。全面推进燃气工程全生命周期关键节点传感器部署,实现对管道运行、施工环境、设备状态等核心数据的全面采集;开展现有SCADA、GIS、BIM等系统的集成改造,打破信息孤岛,构建统一的数据采集与传输体系,为后续数智化升级奠定硬件与数据基础。(2) 中期:推进核心业务智能化升级。基于短期积累的海量数据,开展针对性的AI算法训练,重点优化风险评估、质量检测、泄漏定位等核心模型;推动规划设计、施工管控、运维巡检等核心业务流程与智能算法深度融合,实现业务决策的自动化、精准化,大幅提升管理效率与管控精度。(3) 长期:打造生态化平台建设。构建涵盖燃气企业、设计单位、施工方、运维团队、监管部门等多方主体的数智化协同平台,推动产业链各环节数据共享与业务协同;建立数据要素流通机制,挖掘数据价值,拓展增值服务场景,形成“数据驱动、多方协同、共生共荣”的数智化生态体系。

3.2 关键挑战与对策

(1) 数据安全挑战:核心对策为应用国产加密算法与零信任架构。采用国密算法对采集、传输、存储全流程数据进行加密处理,保障数据隐私与安全;构建零信任安全体系,实行“最小权限访问”控制,通过持续身份验证、终端安全检测等手段,防范数据泄露、篡改等安全风险。(2) 标准缺失挑战:核心对策为主动参与制定行业数智化标准规范。联合行业协会、科研机构等主体,围绕数据采集格式、模型接口规范、数字孪生技术应用、安全管理要求等关键领域,推动制定统一的行业标准;牵头构建企业级标准体系,实现标准与实际业务深度适配,引领行业数智化规范发展。(3) 人才缺口挑战:核心对策为设计复合型人才培养体系。建立“高校定向培养+企业内部培训+行业交流合作”三位一体培养模式,高校增设燃气工程与数智化技术交叉专业,企业

开展针对性技能培训,搭建行业人才交流平台;同时完善人才引进机制,吸引大数据、AI、物联网等领域专业人才,组建复合型数智化管理团队。

3.3 政策建议

(1) 推动燃气工程数据开放共享立法。建议相关部门加快出台燃气行业数据开放共享管理条例,明确数据开放范围、共享规则、安全责任等核心内容,规范数据流通秩序,破除数据共享壁垒,为跨部门、跨主体协同管理提供法律保障。(2) 建立数智化改造专项补贴机制。建议政府设立燃气工程数智化改造专项基金,对开展传感器部署、系统集成、智能设备更新等数智化改造的企业给予资金补贴或税收减免;鼓励金融机构推出专项信贷产品,降低企业数智化改造融资成本,激发企业改造积极性。(3) 构建产学研用创新联合体。建议政府牵头推动燃气企业、高校、科研院所、科技企业组建产学研用创新联合体,聚焦数智化关键技术攻关、成果转化、人才培养等核心任务;建立创新激励机制,支持联合体开展共性技术研究,加速技术成果落地应用,提升行业数智化创新能力。

结束语

城镇燃气工程数智化管理是推动行业高质量发展的必由之路。通过全生命周期数据贯通、智能算法深度嵌入与多主体协同生态构建,实现了从被动响应到主动预警、从经验决策到数据驱动的跨越式升级。未来需持续突破技术融合瓶颈、完善标准规范体系、培育复合型人才梯队,以数智化之力筑牢城市能源安全防线,为“双碳”目标下的智慧能源系统建设提供可复制的实践范式。

参考文献

- [1] 栗瑞昌.探析城镇燃气工程施工质量的管理[J].现代物业,2020,(03):88-89.
- [2] 张文强.城镇燃气工程施工质量控制与安全管理[J].工程建设与设计,2022,(07):218-220.
- [3] 王文彬.城镇燃气管道工程影响因素与安全管理研究[J].居业,2022,(01):198-200.
- [4] 夏照亮.城镇燃气管道的工程建设及其安全管理对策研究[J].建材与装饰,2020,(17):122-124.