

基于大数据的智慧燃气企业赋能创新发展

文 | 周彩红

城市燃气管网作为能源供应关键基础设施，其安全高效运行关系到民生福祉。国家“十四五”规划明确建设数字中国战略部署，为行业转型指明方向。随着管网规模扩大，传统人工巡检模式难以满足需求。大数据技术实现管网状态动态监测、用气规律精准预测、安全隐患智能识别，区块链技术确保数据可信流转，边缘智能赋能设备自主决策，推动行业向智能化演进。

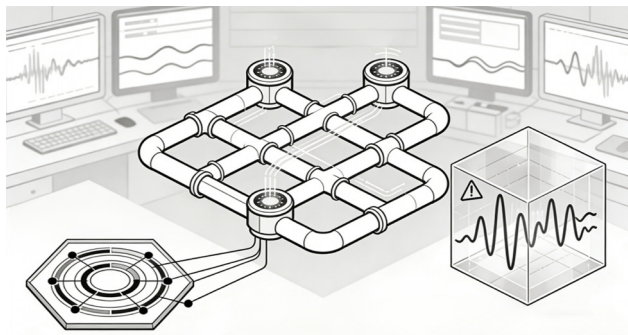
典型案例

某区域性龙头燃气企业面临管网规模扩张与运营效率提升的双重压力，传统的人工巡检模式难以满足精细化管理方面的需求，为此企业启动了智慧燃气系统建设的相关工程，通过部署物联网传感器网络、无人机巡检系统以及管道机器人等智能设备来构建“空天地”一体化的监测体系，开发管网数字孪生系统以实时接入压力、流量、温度等多维运行数据，引入元宇宙技术来构建虚拟的管网空间，运维人员借助VR设备开展应急演练与故障模拟，人工智能算法于边缘计算层实现异常工况的毫秒级识别与预警。搭建供应链管理平台打通采购、仓储、配送各环节的数据接口，建立客户数据仓库整合用气行为、缴费记录、服务评价等信息资源，该企业依托大数据分析平台开展负荷预测建模、故障智能诊断、客户画像分析等应用创新，运用机器学习算法优化气源调度方面的决策，利用区块链技术实现气源溯源管理相关工作，推动企业从传统供气商向数字化、智能化的综合能源服务商进行转型。

大数据技术在智慧燃气系统中的创新应用

管网安全监测预警体系构建

智慧燃气管网安全监测体系通过部署分布式物联网传感器网络，以100米间隔在关键管段与调压站节点布设有压力流量温度等多类型传感器，采集频率设定为每秒级别来确保管网运行状态数据的实时性与完整性，边缘智能网关搭载了深度学习芯片，能在数据采集端完成初步特征提取与异常判断，5G网络切片技术可给关键数据传输提供专用通道保障。边缘计算网关对原始数据做预处理及初步筛选后，将有效信息传输到云端大数据分析平台进行深度挖掘。泄漏检测



(配图由AI生成)

算法通过识别压力波动特征判断异常工况，当压力梯度或者流量偏差触及预设阈值时启动预警流程，系统根据压力波在管道中的传播速度，结合上下游传感器时间差计算泄漏点空间坐标，地理信息系统把计算结果映射到电子地图标注泄漏位置，应急指挥平台同步推送现场处置指令及资源调度方案。数字孪生系统将物理管网映射成虚拟模型并整合历史运行数据，如管材属性、土壤环境、气象条件等多维信息，机器学习算法通过训练大量管道检测样本识别腐蚀演化规律，建立从数据采集到风险预判闭环管理机制。

气源调度与负荷预测优化

燃气负荷预测体系依托长短期记忆神经网络构建时序预测模型，输入层负责接收过去72小时的用气量序列数据。同时会同步纳入气温、湿度、风速等气象要素以及工作日属性、节假日标识等时间特征变量，三层LSTM结构借助门控机制捕捉用气规律的长期依赖关系，记忆单元会保留历史时刻的关键信息并将其传递至后续时间步，隐藏层神经元提取不同时间尺度下的用气特征模式，注意力机制模块会动态分配各个时间步的权重系数，以此强化关键时段用气规律对预测结果的贡献度，联邦学习框架可整合多区域用气数据并在保障数据隐私的前提下提升模型泛化能力。输出层生成未来24小时的分时段负荷预测曲线，训练过程采用均方根误差作为其损失函数：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

其中， n 表示样本数量（无量纲）， y_i 代表实际用气量（单位： m^3/h ）， \hat{y}_i 为模型预测值（单位： m^3/h ）。Adam优化器借助反向传播算法来迭代更新网络权重参数，气源调度系统依据负

荷预测结果建立多目标规划模型，该模型设定采购成本、管网压力平衡、储气库调峰能力等多重约束条件，遗传算法通过种群迭代及适应度筛选来搜索调度策略空间，染色体编码用于表征气源采购量、输配路径选择、储气调用时序等决策变量，交叉变异操作会生成新一代候选方案，适应度函数综合评估经济性与安全性相关指标。

用户服务与业务拓展创新

客户数据仓库采用星形模型架构整合用户身份信息、用气行为轨迹、缴费历史记录、工单服务评价等，建立多维用户画像标签体系，涵盖人口统计维度、消费行为维度、服务偏好维度。K - means 聚类算法依据用气量级、消费频次、缴费周期等特征向量计算用户相似度，迭代过程通过调整聚类中心位置来最小化簇内距离平方和，把海量客户划分成高耗能工业群体、商业综合体群体、普通居民群体等细分类别。针对高耗能工业用户，燃气企业开发碳资产管理服务模块，将企业实时用气数据接入碳排放核算模型，系统根据燃烧工况参数与排放因子自动生成碳足迹分析报表，能效诊断模块通过对比行业基准值识别高耗能环节，知识库检索匹配设备改造方案与工艺优化路径。区块链技术用来构建碳足迹溯源平台，以此确保排放数据具备不可篡改与可追溯性，智能合约能够自动执行碳减排激励机制。智能客服系统运用自然语言处理技术解析用户咨询文本，分词模块把句子切分为词语序列，词向量嵌入层将离散词汇映射到连续语义空间，双向长短期记忆网络提取上下文语义特征，意图分类器判断问题归属类别，实体识别模块抽取关键信息要素，知识图谱检索引擎匹配标准答案模板并生成回复文本。

智慧燃气系统赋能企业创新发展的效果评估

（一）基于多维指标体系的量化评估

某区域性龙头燃气企业自 2022 年启动智慧燃气系统建设以来，经过两年时间的运营实践构建起了系统化的评估机制，企业建立起涵盖安全保障、运营效率、服务质量这三个核心维度的综合评价指标体系，安全保障维度选取管网漏损率、故障响应时间等关键参数，运营效率维度聚焦负荷预测准确率、气源采购成本指数等量化指标，服务质量维度关注客户满意度、问题响应时效等用户感知指标，评估体系引入层次分析法来确定各指标的权重系数，运用模糊综合评价法处理定性指标的量化转换工作，企业按月度采集系统实施前后同等周期的运营数据，通过对比分析法识别数字化转型带来的增量价值，运用敏感性分析验证关键技术模块对整体绩效的贡献度，以此为后续系统优化提供决策依据。

（二）数字化转型驱动的核心指标提升分析

智慧燃气系统运行两年来，大数据技术在各业务场景

的深度应用产生了显著的赋能效应。企业从安全保障、运营效率、服务质量三个维度提取核心运营指标，对比系统实施前后的数据变化，如表 2 所示。数据显示，安全保障层面管网漏损率从 2.8% 下降到 2.3%，物联网传感器网络实现参数秒级采集，数字孪生系统支撑故障精准定位，故障响应时间从 240 分钟压缩到 90 分钟，运营效率方面神经网络捕捉用气规律时序特征，预测准确率从 78% 提升到 92%，优化模型让采购成本指数下降 12 个百分点，服务质量维度聚类算法实现客户差异化分群，智能客服系统完成客户意图识别，问题响应时效从 20 分钟缩短到 3 分钟，客户满意度从 76 分跃升至 92 分，企业向综合能源服务商转型能力持续增强。

表 1 智慧燃气系统实施前后核心运营指标对比

评价维度	核心指标	实施前	实施后
安全保障	管网漏损率 (%)	2.8	2.3
	故障响应率 (min)	240	90
运营效率	负荷预测准确率 (%)	78	92
	采购成本指数	100	88
服务质量	客户满意度 (分)	76	92
	问题响应时效 (min)	20	3
50.1	243	1.5	47

来源：嘉兴市燃气集团股份有限公司

结束语

智慧燃气系统综合运用物联网传感技术、大数据分析平台、机器学习算法，系统性破解了管网安全监测滞后、气源调度效率低下、用户服务粗放等传统难题。元宇宙技术所赋能的虚拟仿真环境能为应急演练提供零风险实训场景，边缘智能及云端协同计算架构可构建起“端 - 边 - 云”三层智能体系，区块链技术可确保数据流转具备可信性与安全性。实验验证表明，数据驱动的管理模式使企业在安全保障、成本控制、服务质量等维度实现显著提升。在“双碳”目标与能源结构转型背景下，大数据技术不仅优化了燃气企业运营效能，更为综合能源服务、碳资产管理等新业态发展奠定了数据基础。

作者简介：周彩红 嘉兴市燃气集团股份有限公司

责任编辑：杨佳宇 投稿邮箱：zhouhl@staff.ccidnet.com