

物联网技术支撑的燃气工程集输供气调度能效提升路径

于永杰 (淄博绿博燃气有限公司, 山东 淄博 255030)

摘要: 燃气集输供气调度领域, 区域供需失衡、应急响应滞后及能耗居高不下这类问题一直困扰着行业发展, 边缘计算、AI 算法这些前沿技术, 在实际应用中已经展现出与物联网技术适配燃气业务的潜力。结合工业用气市场本身的结构特点, 还有当下调度体系存在的诸多不足, 本文从感知网络优化、边缘智能调控、跨域数据协同、运维模式革新这几个方向, 梳理出具体优化路径, 为燃气行业数字化转型中的能效优化、兼顾绿色低碳与供气安全提供助力。

关键词: 物联网技术; 燃气集输; 供气调度; 能效提升; 智能感知

中图分类号: TU996.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 006-0109-03

Pathways for Enhancing Energy Efficiency in Gas Engineering Gathering, Transportation, and Supply Scheduling Supported by IoT Technology

Yu Yongjie (Zibo Lvbo Gas Co., Ltd, Zibo Shandong 255030, China)

Abstract: In the field of gas gathering, transportation, and supply scheduling, issues such as regional supply-demand imbalances, delayed emergency responses, and persistently high energy consumption have long plagued industry development. Cutting-edge technologies like edge computing and AI algorithms have already demonstrated their potential to align with IoT technologies for gas-related applications. By considering the structural characteristics of the industrial gas market and the existing shortcomings in current scheduling systems, this paper outlines specific optimization pathways from four directions: perception network optimization, edge intelligent regulation, cross-domain data collaboration, and operational model innovation, aiming to support energy efficiency optimization in the digital transformation of the gas industry while balancing green, low-carbon initiatives with gas supply safety.

Keywords: Internet of Things technology; gas gathering and transportation; gas supply scheduling; energy efficiency improvement; intelligent perception

据相关数据统计, 2023 年我国工业用气消费量达到 3860 亿 m^3 , 在总消费量中占比 41.2%, 年均复合增长率为 7.9%。按照这一增长态势, 中国城市燃气协会预测 2026 年工业用气消费量大概率会突破 4600 亿 m^3 , 2030 年有望超过 5700 亿 m^3 。供需规模的持续扩张, 对集输供气调度的效能提出更严苛的要求。目前行业面临的困境较多, “东紧西松” 的区域供需矛盾长期存在, 数字化基础设施落后导致调度延迟频发, 加之年均 3.2%–4.7% 的无效气耗, 成为阻碍行业高质量发展的关键问题。物联网技术自带实时感知、数据互联的优势, 可为破解调度难题提供支撑。

1 燃气集输供气调度能效提升的核心意义

资源配置与需求响应之间的断点, 需要依靠精准调度来打通, 这对于燃气行业规模化发展及转型的实际需求, 适配性很关键。高端制造领域的用气需求正持续迅猛增长, 对供气的稳定性、纯度标准也在不断提高, 这种需求变化, 无形中也倒逼调度体系朝着精准化、智能化的方向升级, 能效优化恰好是承接这一需求的关键环节^[1]。从安全维度看, 国家能源局 2024 年披露的数据显示, 我国燃气集输管网总里程已突破 180 万 km, 管网不仅覆盖范围广, 工况还复杂多变,

更有部分老旧管网服役时长超过 20 年, 潜藏的安全隐患实在不容小觑。传统人工巡检的效率低得明显, 日均覆盖范围仅能维持在 5 ~ 8km 左右, 对于微泄漏的漏检概率偏高, 而物联网驱动的智能调度技术——也就是借助物联网设备实现数据实时传输与智能调控的方式, 可将隐患响应时间从原先的小时级压缩至分钟级, 一定程度上能从源头减少泄漏引发的安全事故。经济层面, 2024 年《中国天然气发展报告》提到, 工业用气占比长期保持在 40% 以上, 2023 年该比例达到 41.2%, 但行业年均无效气耗率始终在 3.2%–4.7% 之间波动, 对应的经济损失粗略估算已超百亿元。物联网技术通过精准调度, 能够盘活存量管网资源, 减少无效能耗, 进而降低运营成本。环保方面, 在“双碳”目标——即碳达峰与碳中和的战略目标驱动下, 燃气调度能效的提升与碳排放强度直接挂钩, 是行业低碳转型过程中重要的抓手。

2 当前燃气集输供气调度的主要问题

现有调度体系存在的短板, 不是某一个因素单独导致的, 而是技术适配不够、管理机制滞后、架构协同不畅等多种问题交织叠加的结果, 在不同应用场景里, 这些痛点的呈现形式也有所不同, 需针对性地去

梳理解决，不能一概而论。感知层面的问题表现得最为突出，多源设备数据格式混杂的情况在行业内十分普遍，根据我国燃气行业 2024 年数字化转型相关统计，71.4% 的工业企业尚未部署智能计量系统，也就是能自动采集、传输用气相关数据的专用设备，缺乏这类系统后，压力、流量等关键参数的采集精度大多在 $\pm 2.5\%$ 以上，这和精准调度所需的 $\pm 0.5\%$ 标准相比，差距还是比较大的。

同时，行业内至今没有形成统一的数据标准化处理规范，不同品牌设备的数据接口互不兼容，这就导致 AI 模型——人工智能模型训练所用的数据质量偏低，数据有效利用率也上不去，很难为高精度调度决策提供支撑。响应层面的滞后性也带来不小影响，供需错配的问题表现得极为明显^[2]。技术应用上还存在“重部署、轻融合”的通病，不少企业部署的物联网设备，大多只停留在基础的数据采集阶段，没有和调度算法进行深度融合，无法形成“感知-分析-调控”的完整闭环，物联网技术的优势自然难以转化为能效提升的实际效果，相当于前期的设备投入没能发挥出应有的最大价值。

3 物联网技术支撑下的能效提升策略

3.1 优化感知网络布局，夯实数据采集基础

感知网络就是能实时捕捉管网运行状态的“神经末梢”，重点要放在关键节点和那些薄弱环节上精准布局，要考虑到隐患防控、成本控制，两者兼顾。老旧管网本身就是隐患高发区域，阀井、调压站、穿越段这些核心风险点，要优先按“每 2 公里 1 台终端”的密度，装 PPB 级激光泄漏巡检设备，这种设备能精准捕捉微量燃气泄漏，还有压力波动监测终端，再搭配上地面移动巡检单元，可形成立体的监测网络。居民和商用户，根据实际情况选择性加装智能自闭阀与波纹管，把全链条的感知体系补全^[3]。

布局的时候，管网服役年限、周边环境敏感度、用气负荷密度这些因素都要考虑进去，划分出不同优先级，老旧管网、人员密集的区域要先落地实施，新建管网要同步规划感知设备的预埋工作，避免后期再改造带来额外的成本增加。并要重视设备兼容、数据治理、直接决定感知网络能否真正落地生效。

设备兼容方面，统一用支持 Modbus RTU/TCP、IEC104 等 80 多种工业协议的通用采集模块，这样可以解决不同品牌 PLC、传感器之间数据不通的难题；遇到老旧设备要衔接新系统的情况，就搭配协议转换网关实现平滑过渡，不用把设备全部换掉，能节省不少成本。

数据治理环节，建立“边缘预处理+云端复核”

的二级机制，边缘端嵌入时间戳同步、单位标准化处理模块，靠物理规律校验和 3σ 准则等异常值剔除算法清洗数据，确保接入调度系统的数据准确率能达到 99% 以上，减轻云端传输和处理的压力。还要建立数据质量考核机制，把数据准确率、完整性、实时性都纳入场站运维的考核指标里，明确好奖惩标准，逼着数据管理走向规范化，为后面的智能调度提供高质量的数据支撑。

3.2 部署边缘智能调控，提升实时响应能力

云端调度延迟、跨区域协同滞后，一直是调度效率提升的拦路虎，核心解决思路就是把 AI 优化算法下沉到边缘端，构建边缘计算结合本地调控的即时响应体系，实现毫秒级的工况调整。边缘计算，就是在靠近设备终端的地方搭建小型计算节点，不用依赖远端云端就能快速处理数据、下发指令。燃气门站、换热站、分输站这些关键场站，都要部署轻量化边缘计算节点，集成数据采集、算法运算、本地调控这些功能，实时采集设备运行数据，还有气温、气压、风速这些环境参数，通过本地化的 AI 模型动态调整供热负荷和供气压力，不用等云端指令下达^[4]。

边缘节点要预留 30% 以上的冗余算力，方便后续算法迭代升级和功能扩展，城市管网、长输管道、园区管网的工况差异很大，要针对不同场景定制差异化的算法模型，才能适配各自调控需求。节点部署位置要结合场站空间条件、算力需求、供电稳定性来规划，优先选供电可靠、通风散热良好的区域，还要配套搭建备用电源，防止断电导致调控中断，影响范围太广。算法优化要紧紧围绕工况痛点，兼顾负荷预测和应急调控方面的需求。

负荷预测上，基于历史用气量、气温、产业开工率、节假日等多维度数据，用 LSTM 神经网络算法训练预测模型这种适合处理时序数据的人工智能算法，提前 24h 预判负荷变化，把预测准确率控制在 95% 以上，给热源设备负荷分配、储气设施调度提供科学依据；还要定期结合实际用气数据修正模型参数，提升模型的适配性。

应急调控方面，在边缘端搭建异常响应机制，预设压力骤降、泄漏、设备故障等场景的处置预案，明确不同异常等级的触发条件和调控流程，比如发生泄漏时，3s 内就要完成近端阀门关闭指令下发，尽可能降低无效气耗和安全风险。边缘节点与云端的协同采用 TLS 双向加密传输，只上传核心调控数据和异常事件，保证数据安全，减少网络带宽占用；同时建立边缘与云端的指令互验机制，避免单一节点故障导致调控失误。

3.3 构建跨域数据协同，破解区域供需失衡

区域供需失衡的破解，关键在于打破不同企业、部门的数据源相互隔离，无法互通共用的情况，搭建跨主体的数据协同体系。要围绕统一调度平台来推进，把管网运行、用户用能、资源储备等分散在不同环节的多维度数据整合到一起，形成完整的数据链条。区域内供气企业要牵头搭建协同调度机制和信息共享平台，专门设个联合调度台，让生产数据、订单信息和气流数据能实时共享、闭环管理，避免信息脱节导致的调度偏差。

平台要具备动态管容气量计算功能，实时更新各路段输送能力、储气设施库存信息，自动优化跨区域供气路径，缓解“东紧西松”的供需矛盾。另外要建立数据共享权限分级机制，按部门、岗位划分访问权限，核心商业数据得加密存储，把数据共享的边界和责任划分清楚，规避泄露风险。

平台建设应先把核心业务的数据接口打通，再逐步拓展增值服务功能，避免盲目建设造成功能闲置。用户端要注意数据融合与可视化应用，真正把数据协同落到实处。要根据用户用气特征的差异，建立分层用能画像，把用户分成工业稳定型、工业波动型、居民生活型、商业高峰型四类，用气波动大的工业企业，可通过价格杠杆和供需协调引导错峰用气，平衡峰谷负荷。

数据应用上，开发可视化调度界面很有必要，整合压力、流量、能耗、设备状态等关键指标，用图表、仪表盘动态展示全域运行状态，方便调度人员直观掌握情况并快速决策。平台要带异常预警功能，管网压力异常、气量突增突减这些情况要能自动弹窗告警，同步推送到相关负责人移动端，明确预警等级和处置责任人，确保问题能快速响应。可视化界面要兼顾专业性和易用性，适配不同岗位操作需求，把冗余功能简化掉，提升调度效率。

3.4 革新运维管理模式，保障技术落地实效

技术再好也离不开落地支撑，核心是搭建适配智能调度的运维管理体系，摆脱对传统人工的过度依赖，推行“智能巡检与自主运维”并行的新模式。人才方面是绕不开的短板，行业队伍老龄化、技术人才缺口大的问题突出，要建立理论、实践、创新三位一体的培训体系，覆盖 Python、PLC 编程、ASPEN 建模、数据分析这些核心技能，靠自主学习、外派培训、专家授课、高校合作等多种方式提升员工能力。配套建立数智化转型绩效考核机制和创新激励体系，把技术应用成效、故障处置效率和薪酬挂钩，才能调动员工积极性。优先选拔年轻创新人才充实技术团队，形成老

中青结合的梯队结构，通过师徒结对传承实操经验，保障运维可持续性。

同时要把运维岗位职责划分清楚，细化设备巡检、数据维护、算法优化等工作流程，避免出现责任推诿的情况。巡检和设备运维这两个环节，要做到全流程智能化的闭环管理，巡检采用物联网设备、智能派单与全程追溯相结合的模式，平台会依据设备风险等级、既定巡检周期自动分配任务，并把巡检内容、要遵循的标准与完成时限都明确下来。巡检人员到现场后，靠移动端上传隐患照片、整改进度这些信息，实现隐患从发现、上报、整改再到销号的全流程追溯。设备运维方面，基于物联网采集的数据搭建设备健康度评估模型，融合振动、温度、声纹等多维度运行数据，对压缩机、锅炉、阀门这些关键设备进行实时监控和故障预警，提前开展预防性维护，以此降低设备故障率和停机造成的损失。相关人员要建立跨部门协同机制，把调度、运维、抢修之间的信息壁垒打通，让调度指令能快速落地执行。通过标准化程序开发和模块化设计，统一各系统编程标准与命名规则，降低运维难度和成本；定期组织运维复盘，梳理遇到的问题、总结可行经验，持续优化运维流程和模型参数^[5]。

4 总结

燃气集输供气调度的转型工作必须立足行业实际效用，通过感知优化、边缘调控、数据协同、运维革新等策略，逐步实现技术与业务的深度融合。数字孪生、绿氢协同这些新兴技术，后续会不断发展成熟，燃气调度大概率会朝着更精准、更低碳的方向升级，不过具体升级速度还受政策导向、成本投入等因素制约。整体来看，这些策略能为燃气行业保障能源安全、实现绿色高质量发展提供助力。

参考文献：

- [1] 付林. 智能物联网在城市燃气安全管理中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(23): 67-69.
- [2] 渠沛然. 智慧燃气织就城市安全防护网 [N]. 中国能源报, 2025-12-01.
- [3] 徐伟. 物联网技术在燃气输配系统中的应用研究 [J]. 中国宽带, 2024, 20(04): 139-141.
- [4] 宋亚龙. 基于物联网的城市燃气事故应急供气系统设计 [J]. 网络安全和信息化, 2023(09): 97-100.
- [5] 赵希盼. 物联网技术在热力管道运行调整中的数据采集与动态调度实践 [J]. 科学与信息化, 2025(20): 49-51.

作者简介：

于永杰（1999.08—），男，汉族，山东桓台人，本科，助理工程师，研究方向：燃气工程供气调度。