

燃气场站调度优化策略与实践

张 岩（山东港华燃气集团有限公司，山东 济南 250000）

摘 要：燃气场站作为燃气供应体系的关键环节，涵盖输配、储存等重要功能。当下，城市化发展使燃气需求日趋复杂，不同区域、时段的用气差异显著，且受能源市场变化影响，气源供应稳定性存忧，输配管网运行和储存管理也面临挑战。基于此，本文将结合燃气场站供需调度前置，制定调度优化策略，进而针对智能调度技术体系构建与应用展开研究，旨在为相关人员提供参考帮助。

关键词：燃气场站；调度优化；策略实践

燃气场站作为输配核心枢纽，承担气源接收、净化、输配与储存等重任，其调度影响燃气供应的可靠性、稳定性与经济性。城市化进程中，用户增多，需求多样且多变，工业、商业与居民区用气时段和峰值各异，季节变化加剧需求不均衡，能源市场波动使气源供应不稳。燃气储存与输配管网管理是调度要点，不合理储存策略与管网问题影响供气。因此，燃气场站调度优化极为紧迫，对行业与社会发展意义重大。

1 燃气场站供需调度前置分析

从燃气需求层面剖析，不同用户类型展现出独特用气特性，居民用户方面，早晚烹饪时段会出现用气小高峰，冬季取暖季用气量急剧攀升，家庭人口数量、居住面积以及生活习惯均对用气产生影响，如大家庭烹饪与热水使用消耗燃气更多，老旧小区因房屋保暖欠佳取暖用气偏高。工业用户领域，玻璃制造等高温加工行业生产全程需持续且稳定的燃气供给，对燃气压力、流量参数要求严苛；小型机械加工厂这类间歇性投产企业，用气情况随订单承接状况与生产班次动态变化。商业用户范围涵盖餐饮、酒店、商场，餐饮营业用餐高峰时燃气用量显著增大，酒店用气与入住率、季节更迭关联紧密，商场用气多集中于餐饮区域以及冬季集中供暖时段，整体用气态势依营业时间、客流量以及季节流转而波动。多元外部因素左右燃气需求，从季节维度审视，冬季居民取暖需求高涨、夏季居民使用燃气热水器频次降低，加之不同季节对工业生产各环节施加影响，致使燃气需求呈现差异^[1]。

2 燃气场站管网调度优化策略

以某市 A 区燃气站点为例，进行管网模拟计算。

2.1 数据收集与整理

专业测绘团队对某市 A 区燃气场站管网展开精细勘察，精准明确各站点间管道连接走向，绘制出高精度管网图，清晰划分主干线与支线。以甲经营部

和乙经营部为例，二者间主干线长度约 8km，管径达 400mm。勘查过程中，同步详细记录管道材质信息，老旧城区所采用铸铁管粗糙度为 0.25mm，新建区域则多选用 PE 管，其粗糙度 0.03mm。此外，精准标注 200 余个关键阀门以及 30 座调压站所处位置，以此构建完备管网拓扑结构数据库。

联合质检部门，在气源接入点以及管网关键节点进行采样作业。经分析，A 区所输送天然气成分中，甲烷占比约 92%、乙烷约 4%、丙烷及其他成分共约 4%，由此测定其热值约 37MJ/m³，密度约 0.73kg/m³，压缩因子 0.97。同时，在各站点安装专业传感器，实现 24 小时实时监测。监测数据显示，气源端夏季平均压力 3.8MPa，冬季平均压力 4.2MPa；用户端压力于早晚高峰时段低至 1.5kPa，非高峰时段则为 2.5kPa，温度变化区间处于 10℃至 25℃，为后续管网模拟提供精准动态参数。

与多部门协同合作，借助大数据分析手段并结合燃气表读数信息，研究得出居民用户用气规律：早晚 6：00—9：00、17：00—20：00 为用气高峰时段，在此期间户均每小时用气量约 0.45m³，冬季取暖季（11 月至次年 3 月）日均用气量约 12m³。深入工业企业实地调研，某化工企业在工作日 8：00 至 17：00 用气需求较大且平稳，每小时用气量约 800m³，要求供气压力稳定维持在 0.8MPa；电子企业用气呈现间歇性特点，用气高峰集中于设备调试时段。综合各类用户信息，并充分考虑区域经济年增长 6%、人口年增长 3% 等因素，预估居民明年冬季日均用气量将增长至 13m³，从而为管网模拟精准设定边界条件^[2]。

2.2 建立数学模型

依据质量守恒、动量守恒与能量守恒定律构建燃气流动模型，以丙供应站与丁分公司间管段作示例，假定流入截面燃气流速为 12m/s，密度达 0.73kg/m³，

截面面积是 0.15m^2 ，依照连续性方程能够算出流出截面质量流量为 1.314kg/s ，依此方法逐步推导，进而确定全区管网各个节点间流量关系。同时，引入 Peng-Robinson 方程，结合所采集的压力、温度、物质的量等参数，精准计算燃气物理性质变化给流动带来的影响。当某节点燃气压力达到 2.5MPa ，温度为 18°C ，物质的量为 50mol 时，运用该方程算出体积，为管网压力降、流量分配计算给予有力依据。

针对钢管，依据 Colebrook-White 公式，结合管径、流速、雷诺数等要素来计算沿程阻力系数，如管径 300mm 的钢管，流速若为 10m/s ，雷诺数达到时，经严谨计算，沿程阻力系数约为 0.018 。考虑阀门、弯头、三通等管件部位产生的局部阻力，通过查阅专业工程手册获取局部阻力系数，如普通 90° 弯头局部阻力系数约 0.9 ，结合流速水头精准算出局部阻力损失。全面统计全区管网内各类管件数量与分布状况，将局部阻力因素纳入整体阻力模型之中，以此提升模拟精准度。

2.3 选择模拟软件与算法

选用 PIPELINE STUDIO 软件，此软件管网建模与模拟功能强劲，可以便捷地将 A 区管网拓扑结构、管道参数、燃气特性以及边界条件等数据导入其中。借助该软件，可开展稳态模拟，进行瞬态模拟，进而直观展现管网压力分布状况、流量分配情况以及燃气质量跟踪结果等，针对不同调度策略展开评估与优化。同时，利用软件与地理信息系统（GIS）集成特性，将管网模拟成果同 A 区地理地图相融合，精准锁定压力异常区域以及流量瓶颈区域，助力运维人员快速做出响应。将管网划分成众多离散节点与管段，针对流体力学方程，在空间与时间维度上进行离散化处理，进而构建差分方程求解，该方法计算效率颇高，对于涵盖数百条管道、上千个节点的 A 区管网而言，开展一次稳态模拟耗费时间约 25 分钟，快速获取管网基本运行状态。瞬态模拟则采用特征线法，以此应对气源出现波动、用户突发用气变化等状况，运用特征线，可将偏微分方程转化为常微分方程，沿着特征线方向求解，精准捕捉压力、流量瞬间产生的变化^[3]。

2.4 模拟与分析

模拟发现，部分支线管道由于居民用气高峰时段流量供应不足，以某连接居民小区支线为例，其设计流量为 $50\text{m}^3/\text{h}$ ，然而在高峰时段，实际流量仅能达到 $40\text{m}^3/\text{h}$ ，致使末端用户压力降至低至 1.8kPa 。鉴于此

情形，需斟酌优化管径方案，或者对附近调压站设置予以调整，以保障供气稳定。对管网运行效率加以分析，着重计算管道利用率，根据统计数据显示，部分主干线在工作日白天工业用气高峰时期，利用率可高达 90% ，而到夜间低谷时段，利用率却不足 25% ，此数据差异提示，可充分利用夜间低谷时段储气，或者调整工业用气时段安排，进而实现资源合理配置，提升管网运行效能。进行瞬态模拟，重点考量气源供气压力瞬间降低 20% 、工业用户紧急增容等突发状况。模拟结果清晰表明，当气源压力出现波动，在 5 分钟内，距离气源较近区域压力将会下降约 0.4MPa ，并且波及周边 8 个小区与 4 家工业用户。面对此种突发情况，需迅速启动备用气源，同时关闭相关阀门，以遏制不利影响扩大。依据瞬态模拟所获结果，精心制定应急预案，明确不同紧急情况下操作步骤以及时间节点，若发现气源故障，调度人员需在 3 分钟内下达备用气源启动指令，并在 6 分钟内关闭受影响区域边界阀门，以此确保管网具备强劲应急响应能力，切实保障燃气供应稳定与安全。

3 智能调度技术体系构建与应用

3.1 实时数据采集与传输网络

3.1.1 数据采集终端布局

在 A 区燃气站点关键位置部署传感器，进气口安装压力、温度、流量三合一传感器；调压站配备智能压力调节阀与压力传感器；储气罐设液位、压力双传感器；管网分支管线起始处安流量监测传感器，便于发现流量异常。居民小区选取楼栋单元，在燃气表具附近加微型压力传感器结合智能表读数，辅助判断供气问题，工业用户厂区按生产工艺关键环节定制安装多参数传感器，如化工企业反应炉进气管道设流量、成分分析传感器，电子制造企业监测用气点压力稳定性^[4]。

3.1.2 传输网络选型与架构搭建

有线传输骨干网采用光纤，以调度中心为核心沿主干道铺设光缆，构建环形拓扑连接主要站点，传输速率达千兆级别。站点内用工业以太网交换机汇聚数据，其涵盖冗余电源、端口防雷功能；无线传输作补充，用于难布线区域，借助 4G/5G 网络及带无线通信功能的数据采集终端传数据至云端再到调度中心，信号弱区设增强器，运用 VPN 加密保障安全。

3.1.3 数据融合与预处理平台

调度中心搭建平台汇聚有线、无线传输的多源燃

气数据，用 ETL 工具抽取相关数据整合，对实时数据清洗去除异常值，设阈值结合趋势判断修正错误数据，用插值法填补少量缺失数据，小波变换平滑处理，提取特征信息助力智能分析。

3.1.4 网络安全保障

边界部署防火墙，设严格访问规则防外部非法访问，安装 IDS/IPS 实时监测网络流量，根据特征库和行为分析识别攻击行为并阻断，定期更新特征库；存储采用 AES 等算法加密，传输中无线 VPN、有线 SSL/TLS 协议加密，保障数据安全。

3.2 智能决策支持系统（IDSS）

汇总 A 区燃气站点，如甲、乙经营部，进气口、调压站、储气罐、管网节点及用户端实时数据，参数精度各异，同时接入多年历史用气、气源供应计划、设备维护、地理信息等数据，构建燃气数据库。依据专业知识结合管网特性打造模型，燃气流动模型依据守恒定律模拟传输，精度达一定标准；负荷预测模型用 LSTM 等算法综合多因素，提前预估用气；故障诊断模型靠推理、神经网络技术定位异常，响应迅速。面向调度人员的可视化界面含多模块，实时监控模块用地图图表呈现系统实时状态，30 秒刷新；智能调度模块依预测与现状，2 分钟内生成策略优化气源调配等；应急响应模块遇警报 1 分钟内弹出预案，含故障定位、操作步骤。借助 Hadoop、Spark 存储海量数据，超 100TB，查询 3 秒内响应，聚类挖掘规律，发现区域峰谷用气重叠致压力波动；负荷、故障诊断算法具备准确率保障，强化学习模拟千次找最优决策，提升供气可靠性；系统上云，弹性拓展资源、99.9% 可用性，

降低运维成本，远程访问低延迟，方便管理决策^[5]。具体设计要求如表 1 所示。

4 结束语

总而言之，在燃气场站调度优化的征程中，深入剖析某市 A 区燃气系统各环节，从数据收集整理，到模型构建、软件算法运用及智能决策系统打造，奠定坚实基础。实践见证稳态模拟的问题发现，瞬态模拟的应急响应，智能调度借助前沿技术实现气源调配与压力调控。成效显著，提升供气稳定性，满足用户需求，降成本且强应急。

参考文献：

[1] 郭旭升, 姜素华, 张金平, 李湃. 电力市场环境下降生物质气化耦合燃煤机组与风电场联合自调度优化策略 [J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(16): 6334-6346.
[2] 贺庆, 常大伟, 张俊礼, 郑文广, 陈琪, 王仕彬, 雷志恒, 农居贵. 天然气冷热电联产系统区间负荷调度策略优化 [J]. 动力工程学报, 2022, 42(4): 365-371.
[3] 马佰涛, 程泽文. 城镇燃气输配网络规划与优化策略研究 [J]. 石油石化物资采购, 2024, (9): 34-36.
[4] 赵艳艳. 输配管网中燃气调度与安全运行的协调与控制研究 [J]. 中国化工贸易, 2023, 15(26): 76-78.
[5] 彭乐瑶, 马刚, 陈永华, 等. 考虑碳交易体系的微电网多阶段鲁棒优化运行 [J]. 综合智慧能源, 2024, 46(9): 9-19.

作者简介：

张岩（1979-），女，汉族，山东济南人，本科，助理工程师，研究方向：燃气场站运行。

表 1 智能决策支持系统各模块设计要求

模块	分类	设计详情
系统架构设计	数据层	1. 实时数据：站点进气口压力 $\pm 0.01\text{MPa}$ 、温度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 、流量 $\pm 2\%$ ；调压站压力 $\pm 0.005\text{MPa}$ ；储气罐液位 $\pm 1\%$ 、压力 $\pm 0.01\text{MPa}$ ；管网节点流量 $\pm 3\%$ 。 2. 历史数据：5 年历史用气数据；季更气源供应计划；月更设备维护记录；地理信息 $\pm 5\text{m}$ ，建库。
	模型层	1. 燃气流动模型：三守恒，模拟 $\pm 5\%$ 2. 负荷预测模型：LSTM，结合 4 因素，时段 1h，准确率 85% 3. 故障诊断模型：轨推 + 神经，定位 $\pm 10\text{m}$ ，响应 $\leq 5\text{min}$
	应用层	1. 实时监控模块：地图图表，30s 刷新 2. 智能调度模块：依预测 + 现状，2min 生成策略，气源成本优化 10% 3. 应急响应模块：警报 1min 出预案，步骤反馈效率 90%
关键技术应用	大数据分析技术	Hadoop、Spark，存储 $\geq 100\text{TB}$ ，检查 $\leq 3\text{s}$ ，聚类析，某区峰谷重叠致压波 $\geq 0.2\text{MPa}$
	人工智能算法	1. 预测、诊断：准确率 85%、90% 2. 强化学习：千次模拟，依据奖函数，可靠升 15%
	云计算技术	云端部署，弹性拓展，可用 99.9%，运维降 20%，远程 $\leq 100\text{ms}$