

智能控制在燃气节能中的应用及其经济效益分析

雷会姣 (陕西燃气集团设计技术有限公司, 陕西 西安 710016)

摘要: 在“双碳”目标推进与能源结构优化的背景下, 燃气节能成为工业与民用领域的重要课题。本文以智能控制技术为核心, 旨在探究其在燃气节能中的应用路径与价值。文章系统梳理技术应用场景, 剖析其节能机理, 并针对其所带来的经济效益进行了阐述。研究表明, 智能控制技术可有效提升燃气利用效率, 降低能耗成本, 为燃气行业绿色转型提供技术支撑, 具备显著的经济与社会效益。

关键词: 智能控制技术; 燃气节能; 经济效益; 模糊控制; 能源优化

中图分类号: TP273; TK01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 002-0046-03

Application of Intelligent Control Technology in Gas Energy Conservation and Its Economic Benefit Analysis

Lei Huijiao (Shaanxi Gas Group Design Technology Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710016, China)

Abstract: Against the backdrop of promoting the “dual carbon” target and optimizing the energy structure, gas energy conservation has become an important issue in both industrial and civilian fields. This article focuses on intelligent control technology and aims to explore its application path and value in gas energy conservation. The article systematically sorts out the application scenarios of technology, analyzes its energy-saving mechanism, and elaborates on the economic benefits it brings. Research has shown that intelligent control technology can effectively improve gas utilization efficiency, reduce energy consumption costs, provide technical support for the green transformation of the gas industry, and have significant economic and social benefits.

Keywords: intelligent control technology; Gas energy conservation; economic performance; Fuzzy control; energy optimization

燃气作为清洁高效的能源, 在工业生产、居民生活等领域应用广泛, 但当前燃气利用过程中存在能耗过高、调控精准度不足等问题。《“十四五”现代能源体系规划》明确提出要推动能源高效利用, 加强先进节能技术研发与应用, 在此行业背景与国家战略导向下, 智能控制技术凭借其精准调控、自适应优化等优势, 成为破解燃气节能瓶颈的关键抓手。本文立足行业发展需求, 深入探讨智能控制在燃气节能中的应用及经济效益, 为相关领域的技术推广与决策制定提供参考。

1 智能控制在燃气节能中的现实意义

1.1 助力能源结构转型, 提升燃气利用清洁度

在我国能源结构向清洁低碳加速转型的关键阶段, 燃气作为优质低碳能源的战略价值持续凸显, 而提升燃气利用效率与清洁化水平始终是转型进程中的核心诉求。智能控制技术凭借其其对燃气利用全流程的精准感知与动态调控能力, 能够从源头规避传统燃气利用过程中因调控滞后、参数失衡导致的能源浪费与清洁性衰减问题。依托实时数据采集与智能算法分析, 该技术可实现燃气燃烧、输配等环节的工况优化, 让燃气在不同场景下均能维持最优燃烧效率, 最大限度降低未充分燃烧产生的污染物排放, 同时减少清洁能源的无效消耗。

1.2 缓解环境压力, 契合低碳发展战略要求

全球气候变化背景下, 降低碳排放、缓解生态环境压力已成为我国经济社会发展的重要导向, 低碳发展战略的深入实施对各行业能源利用提出了更为严苛的环保要求。燃气利用过程中产生的二氧化碳、氮氧化物等排放虽是传统能源中较低水平, 但规模化应用下的累积效应仍对环境构成潜在影响, 因此降低燃气消耗过程中的碳排放强度成为行业发展的必然选择^[1]。智能控制技术通过对燃气系统运行参数的精细化管控, 能够有效减少单位产出对应的燃气消耗量, 进而降低碳排放总量与强度, 从能源利用环节为环境压力缓解提供有力助力。

1.3 推动燃气行业数字化转型, 提升行业核心竞争力

数字化转型已成为传统行业突破发展瓶颈、重塑竞争优势的关键抓手, 燃气行业作为传统能源领域的重要组成部分, 长期受限于传统运营模式下的效率低下、管理粗放等问题, 核心竞争力提升面临较大制约。智能控制技术作为数字化技术体系的核心组成部分, 其深度融入燃气节能领域能够推动燃气行业全链条运营模式的数字化重构。从燃气生产、输配到终端利用, 智能控制技术可搭建起全流程的数据驱动体系, 实现运营状态的实时监控、风险的提前预警与资源的优化配置, 彻底改变传统燃气行业依赖经验判断、人工调

控的运营模式。

2 智能控制在燃气节能中的具体应用

2.1 基于模糊控制的燃气燃烧系统节能优化

燃气燃烧系统的运行状态易受燃气组分、进气压力、环境温度等多种不确定因素影响，传统控制方式难以对这些动态变化的参数做出及时精准响应，常导致燃烧不充分或过量燃烧等能源浪费现象。模糊控制技术凭借其非线性、不确定性系统的强大适配能力，成为燃气燃烧系统节能优化的理想技术选择。该技术通过模拟人类专家的决策逻辑，将燃气流量、氧气含量、燃烧温度等关键参数的模糊关系转化为精准控制规则，无需建立复杂的数学模型即可实现对燃烧过程的动态调控^[2]。在实际应用中，传感器实时采集燃烧过程中的各类参数，模糊控制器对参数进行模糊化处理、规则推理后输出精准控制信号，调整燃气供应量与空气配比，确保燃烧过程始终处于最优状态。这种优化方式不仅能够大幅提升燃气燃烧效率，减少能源浪费，还能降低燃烧产物中的污染物排放，实现节能与环保的双重目标，在工业窑炉、民用灶具等燃气燃烧设备中具有广泛应用价值。

2.2 神经网络控制在燃气输配管网能耗调控中的应用

燃气输配管网作为连接燃气生产与终端用户的核心载体，其运行能耗受管网压力、流量、管径以及用户用气量波动等多种因素影响，具有高度的非线性与动态性，传统调控方式难以实现能耗的精准控制。神经网络控制技术依托其强大的自学习、自适应与非线性映射能力，能够精准捕捉输配管网运行过程中各参数之间的复杂关联，为能耗调控提供可靠技术支撑，该技术通过构建神经网络模型，利用历史运行数据对模型进行训练，使其能够精准预测不同运行工况下的管网能耗变化趋势，进而根据预测结果制定最优调控策略^[3]。在实际运行中，系统实时采集管网各节点的压力、流量、温度等参数，通过训练成熟的神经网络模型进行数据分析与能耗预测，动态调整加压站的运行功率、阀门开度等关键调控节点，实现管网运行能耗的最小化。同时，神经网络控制技术还能快速响应用户用气量的突发波动，在保障供气稳定性的前提下优化能耗分配，有效解决传统输配管网调控中能耗与供气稳定性难以兼顾的问题。

2.3 专家系统在燃气锅炉运行参数智能适配中的实践

燃气锅炉作为工业生产与民用供暖的核心设备，其运行参数的适配性直接决定能源利用效率与运行稳定性，不同负荷、不同环境条件下需对应不同的最优运行参数组合，传统依赖人工经验的参数调整方式易出现适配偏差，导致能源浪费与设备损耗。专家系统

通过整合燃气锅炉运行领域的专业知识、工程经验与故障处理规则，构建智能化的参数适配决策体系，实现运行参数的自动精准适配。该系统由知识库、推理机、数据库等核心模块组成，知识库存储各类工况下的最优参数区间、参数调整规则及故障处理方案，数据库实时存储锅炉运行过程中的各类参数数据，推理机根据实时运行参数与负荷需求，调用知识库中的专业规则进行推理分析，输出最优运行参数调整方案。在实际应用中，系统实时监测锅炉的蒸汽产量、出水温度、燃气消耗量、炉膛温度等参数，结合用户负荷变化需求，自动调整燃气供应压力、燃烧器火力、循环水泵转速等运行参数，确保锅炉在不同工况下均能以最优参数运行。

2.4 多智能体控制在分布式燃气能源系统协同节能中的应用

分布式燃气能源系统由燃气发电机组、余热回收设备、储能装置及终端负荷等多个单元组成，各单元之间存在复杂的能量耦合与协同关系，其节能效果取决于各单元运行状态的协同优化，传统集中式控制方式难以实现多单元的高效协同。多智能体控制技术通过将系统划分为多个具有自主决策与协同能力的智能体，每个智能体负责一个或多个单元的运行控制，通过智能体之间的信息交互与协同决策，实现整个分布式燃气能源系统的全局节能优化。各智能体具备独立的感知、决策与控制能力，能够实时监测自身负责单元的运行状态与能量需求，同时通过通信网络与其他智能体共享运行数据，基于预设的协同目标与规则进行分布式决策。

在实际运行中，燃气发电智能体根据负荷需求与储能状态调整发电功率，余热回收智能体同步匹配发电余热的回收利用效率，储能智能体动态调整充放电状态，各智能体协同配合实现能源生产、存储与消耗的精准匹配。这种协同控制方式能够最大限度提升能源综合利用效率，减少能源浪费，同时增强系统对负荷波动与设备故障的容错能力，保障系统运行的稳定性与可靠性，为分布式燃气能源系统的规模化应用提供核心技术支撑。

3 针对智能控制在燃气节能中的经济效益分析

3.1 直接经济效益：燃气消耗量降低与运营成本节约测算

在智能控制技术深度融入燃气系统运行全流程的背景下，燃气消耗量降低与运营成本节约的测算需建立在全工况数据追踪与多维度对比分析的基础上，方能精准呈现技术应用带来的直接经济价值。测算工作

需先搭建涵盖燃气供应、输配、终端利用的全链条数据采集体系,依托智能传感器实时捕获不同时段、不同负荷工况下的燃气流量、压力、温度及能耗数据,同时调取技术应用前同期、同工况的历史数据形成对照样本库^[4]。测算模型构建需聚焦单位产出燃气消耗强度这一核心指标,结合行业生产标准或民用使用规范,划分工业生产、商业运营、居民生活等不同应用场景的测算维度,通过智能算法剥离原料特性、使用频次等非技术因素对能耗的影响。

3.2 间接经济效益:设备寿命延长与维护成本缩减分析

智能控制技术通过优化设备运行工况、规避异常损耗实现的设备寿命延长与维护成本缩减,其经济效益分析需依托设备全生命周期管理数据与故障溯源体系展开,核心在于厘清技术应用与设备损耗、维护频次之间的量化关联。分析工作需先建立设备运行状态档案,实时记录智能控制技术调控下的设备核心运行参数波动范围,对比传统控制模式下参数波动对设备关键部件的损耗阈值,通过疲劳强度计算模型评估设备寿命延长年限。针对维护成本缩减,需构建维护数据分类统计体系,细化日常巡检、故障维修、部件更换等不同维护类型的成本构成,通过调取技术应用前后的维护记录,量化故障发生频次降幅、应急维修次数减少量及部件更换周期延长时长。

3.3 长期经济效益:能源价格波动应对与碳交易收益评估

立足能源市场价格周期性波动与碳交易市场常态化运行的长期视角,智能控制技术应用带来的长期经济效益评估需兼顾风险对冲价值与政策红利捕获能力,构建动态化、前瞻性的评估体系。能源价格波动应对效益评估需先依托大数据分析梳理近五年燃气、电力等能源价格波动规律,结合宏观经济走势、能源政策调整等因素构建价格预测模型,量化智能控制技术通过能耗优化实现的能源消耗弹性调节空间^[5]。具体评估过程中,重点测算技术应用后企业在能源价格峰值时段的能耗缩减比例,核算由此规避的高价能源采购成本;同时评估技术带来的能源消耗结构优化能力,比如通过余热回收替代部分电力消耗,降低对单一能源的依赖度,进一步提升应对能源价格波动的抗风险能力。碳交易收益评估则需对接全国碳市场交易规则,先依据国家统一的碳排放量核算标准,结合智能控制技术应用后的能耗降幅,精准核算二氧化碳减排量;再结合碳交易市场历史成交价格与未来价格预测趋势,构建碳资产收益测算模型,量化不同碳价区间下的碳交易潜在收益。

3.4 投资回报周期与风险收益比的相关分析

智能控制技术应用的投资回报周期与风险收益比量化分析需建立在全流程投资核算与动态风险评估的基础上,为投资者决策提供全面的经济可行性参考。投资回报周期测算需先厘清技术应用的全链条投资构成,细化智能设备采购、系统集成调试、人员技术培训、后期系统升级等各项资本性支出与运营性支出,形成初始投资总额。后续需结合前文测算的直接与间接经济效益年度总和,构建差异化回报周期测算模型,区分工业、商业、民用等不同应用场景的投资回收速度,同时考量税收优惠、补贴政策等外部利好因素对回报周期的缩短作用。风险收益比分析则需先识别技术应用过程中的核心风险,包括技术迭代风险、系统兼容性风险、市场能源价格暴跌风险等,通过风险概率-影响矩阵量化各类风险的潜在损失额度。在此基础上,构建风险调整后收益模型,用预期年度总收益扣除风险损失预期值,再与初始投资总额相比得到风险收益比,同时结合行业基准风险收益水平,评估技术应用的经济可行性与风险可控性,形成兼具精准性与前瞻性的量化分析结果。

4 结束语

智能控制在燃气节能领域的应用,既是响应国家能源战略的必然选择,也是行业实现提质增效的重要路径。其不仅能够通过精准调控降低燃气能耗,更能通过多元经济效益的叠加,为行业发展注入持续动力。随着智能控制技术的不断迭代升级,其与燃气系统的融合将更加深入,未来在推动能源高效利用、助力“双碳”目标实现等方面的作用将愈发凸显,为构建绿色低碳的能源体系提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 回春雪,李虎,罗磊,等.转底炉处置含铁含锌尘泥烟气节能降碳利用方法探究[J].工业加热,2025,54(08):61-65.
- [2] 左国辉,赵玉会,付建国.转炉煤气显热深度利用和节能降碳改造[J].煤化工,2025,53(04):28-30.
- [3] 裴俊华,吕岩岩,王杨,等.燃气冷凝锅炉高效节能特性分析研究[J].工业锅炉,2025,(04):14-19.
- [4] 张晓华,刘志强,王磊.基于物联网的燃气锅炉智能控制系统设计与节能分析[J].热能动力工程,2023,38(09):45-51.
- [5] 赵雅芸.基于智能化控制的高校能源系统的设计与改造[J].数字技术与应用,2022,40(06):213-215.

作者简介:

雷会姣(1990-),女,汉族,湖北襄阳人,硕士研究生,工程师,研究方向:燃气工程技术。