

# 智能化控制在集中供气系统中的应用研究

杨熠

上海融擎流体科技有限公司

DOI:10.12238/acair.v3i2.13517

**[摘要]** 随着工业自动化与物联网技术的快速发展,智能化控制在集中供气系统中的应用已成为提升供气效率、安全性与节能性的核心手段。本文通过分析智能化控制在数据采集、设备调控、故障诊断及节能优化等环节的具体应用,结合实验室、医疗、工业等场景的实证案例,探讨其在集中供气系统中的技术实现与效果。研究结果表明,智能化控制系统通过实时监测与动态调节,可降低能耗15%–40%,减少人工干预80%以上,并显著提升供气稳定性。

**[关键词]** 智能化控制; 集中供气系统; 数字孪生; 节能优化; 无人化

**中图分类号:** TP212.6 **文献标识码:** A

## Research on the Application of Intelligent Control Technology in Centralized Gas Supply System

Yi Yang

Shanghai Rongqing Fluid Technology Co., Ltd.

**[Abstract]** With the rapid development of industrial automation and Internet of Things technology, the application of intelligent control technology in centralized gas supply systems has become a core means to improve gas supply efficiency, safety, and energy efficiency. This article analyzes the specific applications of intelligent control technology in data acquisition, equipment regulation, fault diagnosis, and energy-saving optimization, and combines empirical cases in laboratory, medical, industrial and other scenarios to explore its technical implementation and effects in centralized gas supply systems. The research results show that intelligent control systems can reduce energy consumption by 15% –40%, reduce manual intervention by more than 80%, and significantly improve gas supply stability through real-time monitoring and dynamic adjustment.

**[Key words]** intelligent control; Centralized gas supply system; Digital twin; Energy saving optimization; unmanned

### 引言

集中供气系统作为现代工业生产与医疗领域的重要基础设施,其安全性、稳定性与能效管理面临日益严苛的挑战。传统依赖人工操作的供气模式已难以满足复杂工况下的动态需求,而智能化控制技术的引入为解决这一问题提供了有效路径。现有研究表明,智能化控制系统通过集成传感器网络、PLC/SCADA架构与AI算法,可实现对供气全流程的精准监控与自主决策。然而,当前研究多聚焦于单一场景的局部优化,缺乏对多领域应用的系统性分析。本文结合实验室、城市燃气、医疗及工业场景的典型案例分析,系统阐述智能化控制技术的核心功能与应用价值,并通过对比现有技术水平与未来趋势,提出技术发展的关键方向。

### 1 智能化控制在集中供气系统生产与控制的应用

#### 1.1 智能化控制系统概述

智能化控制系统是集感知、平台、应用和展示为一体化的控制系统,主要应用于物联网系统,实现自动化生产、智能化匹配、信息存储与展示功能。系统基本工作原理为通过对生产系统的传感器、电磁阀、电机等设备进行感知,采集当前生产系统的状态参数,平台对采集的数据进行存储和分析,根据内置逻辑对现有的设备进行自动化操作。

#### 1.2 集中供气系统生产简介

集中供气系统基于管道输气的原理,通过将气体从气源站输送到用户用气点位,满足用户用气需求。在实际应用中,集中供气系统会对气源站设备工作状态、气源站气体输出端口流量和质量、各个用气终端实际用气流量和质量进行监测,根据实际监测情况了解终端需求,适时改变气源站内设备的工作状态,以改变产气流量、产气质量等参数,从而适应终端用气工作情况<sup>[1]</sup>。

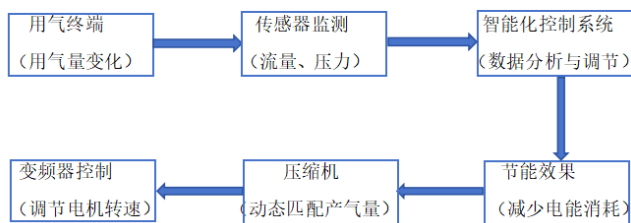


图1 智能化控制系统生产示意图

### 1.3 智能化控制系统在集中供气系统中的具体应用

智能化控制系统在集中供气系统中的具体应用实例涵盖实验室、城市燃气、医疗、储气库等多个领域，以下为不同场景下的典型案例及技术实现。

#### 1.3.1 智能化实验室供气系统

(1) 自动切换与压力调控：系统采用多储气瓶支路设计，每条支路配置减压装置、电磁阀和压力传感器。当某储气瓶压力低于阈值时，PLC控制器自动切换至备用气源，并通过气体压力传感器实时调节减压装置，确保供气压力稳定。

(2) 安全监测与报警：集成可燃气体检测器和供气纯度传感器，当检测到泄漏或纯度异常时，控制器触发警报并关闭对应电磁阀，同时通过GSM模块发送短信通知管理人员。

(3) 远程管理：实验室管理员可通过终端实时查看气体使用状态，生成日报表和趋势分析，优化供气策略。

#### 1.3.2 医疗集中供气系统

远程智能化管理：数据采集终端通过医院内部电网传输数据至集中器，再经GPRS网络上传至云端服务器。供应商可远程访问WEB服务器，实时监控氧气压力、流量等参数，实现故障远程诊断<sup>[2]</sup>。

#### 1.3.3 储气库“智慧大脑”

全局统筹与调峰保供：中原油田储气库群集成控制系统，对储气库进行全盘数据采集和视频监控，优化采气周期<sup>[3]</sup>。例如，冬季保供期间通过数据分析动态调整供气策略，保障京津冀地区用气需求。

#### 1.3.4 城市燃气输配系统

(1) 多设备集成监控：通过Modbus协议连接PLC设备（如西门子、ABB）和现场仪表，实时采集储罐液位、调压撬压力、燃气浓度等数据，并远程控制阀门开闭，确保燃气稳定供应。

(2) 三维可视化与应急管理：结合GIS技术生成三维管网地图，实现管道故障快速定位，并规划最优应急救援路线。例如，某项目通过倾斜摄影模型与人工建模结合，精确展示地下管网分布及高危设备位置。

(3) 冗余架构与安全防护：采用双机热备、双网冗余及防火墙技术，保障系统可靠性；历史数据库支持数据回溯，便于分析故障原因<sup>[4]</sup>。

(4) 动态压力调节：通过PLC系统接收压力传感器和流量计信号，控制变频器调整压缩机转速。例如，夜间低需求时降低电机频率，减少能耗并避免超压风险，节能效果显著。

### 1.3.5 工业制造场景的智能化控制应用

工业制造领域对供气系统的稳定性、安全性和能效管理要求极高。智能化控制系统通过以下技术实现精准供气：

多级压力协同控制：在供气主路径中部署智能调压阀组，结合PID算法动态调节阀门开度。例如，某12英寸晶圆厂采用三阶段压力控制策略：气源站出口压力通过模糊PID算法维持在 $10\text{MPa} \pm 0.2\text{MPa}$ ；二级减压站通过前馈-反馈复合控制将压力稳定在 $5\text{MPa} \pm 0.1\text{MPa}$ ；终端设备处通过微流量传感器与压电陶瓷阀联动，实现 $0.5\text{MPa} \pm 0.05\text{MPa}$ 的纳米级精度调控。

气体纯度智能监控：集成激光光谱分析仪与电化学传感器，实时检测气体成分（如 $\text{O}_2$ 含量 $\leq 1\text{ppm}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 露点 $\leq -70^\circ\text{C}$ ）。当检测到纯度异常时，系统自动触发吹扫程序，切换备用气源并启动吸附塔再生流程。某案例中，该系统将气体污染事件响应时间从30分钟缩短至5秒，晶圆良品率提升2.3%。

能耗优化：基于数字孪生技术构建“供气-生产”耦合模型，通过蒙特卡洛仿真优化空压机运行组合<sup>[5]</sup>。例如，某汽车制造厂采用遗传算法动态匹配压缩机负载，使综合能效比（COP）从3.2提升至4.1，年节电量达120万kWh。

表1 智能化控制应用场景及优势

| 应用场景   | 核心技术                | 效果与优势                       |
|--------|---------------------|-----------------------------|
| 实验室供气  | PLC控制、多传感器融合、冗余气源切换 | 供气稳定性提升30%，人工巡检减少50%        |
| 医疗远程管理 | 全局数据集成、视频联动监控       | 维护成本下降35%，故障处理效率提升60%       |
| 储气库调峰  | SCADA系统、变频调速、三维GIS  | 冬季保供能力提升25%，事故率降低15%        |
| 城市燃气输配 | 电力载波传输、云端数据分析       | 能耗降低20%，应急响应时间缩短40%         |
| 工业制造   | 多级压力协同控制、能耗优化       | 晶圆良品率提升2.3%，空压机能效比3.2提升至4.1 |

## 2 智能化控制在集中供气系统生产与控制的发展趋势

### 2.1 现阶段技术水平与核心应用

#### 2.1.1 自动化与数据采集基础

当前集中供气系统已普遍采用传感器网络（如压力、流量、浓度传感器）和自动化阀门（如电磁阀、减压阀组），实现基础数据的实时采集与设备控制<sup>[6]</sup>。例如，智能调压阀组可通过预设阈值自动调节压力，气液转换阀组已实现低温储罐压力异常时的自动切换。

#### 2.1.2 初步智能化应用

部分企业（如中国燃气）通过AI算法分析设备运行数据，实现故障预测准确率达88%，年预防性维护减少停机时间1.5万小时。

基于LSTM等时间序列模型预测用气负荷，结合随机森林模型分析多因素（如天气、节假日）对需求的影响，但预测精度受限于数据量与模型复杂度<sup>[7]</sup>。

### 2.2 当前技术瓶颈与挑战

#### 2.2.1 数据孤岛与系统割裂

多数系统仍存在信息孤岛，如厂站管理、客户服务、管网运营等子系统未完全打通，导致协同效率低。

### 2.2.2 AI应用深度不足

现有AI多用于辅助决策(如合同审查、故障预警),缺乏全流程自主优化能力。例如,动态调控仍依赖人工经验调整阈值,而非实时自适应策略。

### 2.2.3模型泛化能力有限

负荷预测模型在极端场景(如突发天气变化、大规模用气波动)下表现不稳定,且缺乏多区域联动优化能力。

### 2.3未来发展趋势与技术创新

#### 2.3.1深度AI集成与自适应控制

大模型驱动决策:结合类似DeepSeek的AI大模型,实现供气需求预测、资源调度与管网调控的全链条优化。

数字孪生中台建设:构建覆盖80%以上管网的数字孪生系统,实时仿真管网状态并预测泄漏风险,推动运营成本再降20%。

#### 2.3.2多系统融合与全域协同

跨平台数据整合:将SCADA、GIS、客户管理系统深度融合,支持从气源到终端用户的全程可视化管控。例如,通过三维地图展示管网分布,辅助应急抢修路径规划。

边缘计算与实时响应:在终端设备部署边缘计算节点,实现毫秒级异常响应(如泄漏自动关阀),降低人工干预依赖。

#### 2.3.3绿色节能与“双碳”目标适配

智能调峰与能源优化:利用AI优化压缩机变频调速策略供气,减少碳排放。

低碳运营体系:通过AI动态分析能源损耗节点,优化管网压力与流量分配,助力“双碳”目标达成<sup>[8]</sup>。

表2 智能化控制现状与趋势对比表

| 维度   | 现阶段技术水平      | 未来发展趋势           |
|------|--------------|------------------|
| 数据应用 | 局部数据采集与基础分析  | 全域数据融合与AI大模型驱动决策 |
| 调控能力 | 基于规则与阈值调控    | 自适应动态优化与实时闭环控制   |
| 系统架构 | 模块化独立系统      | 数字孪生中台与多平台深度集成   |
| 能效管理 | 局部节能改造(如变频器) | 全链路绿色优化与碳足迹追踪    |
| 安全管控 | 事后报警与人工处置    | 事前风险预测与自主应急响应    |

## 3 总结与展望

本文通过多场景实证分析,验证了智能化控制系统在集中供气领域的显著效益。未来研究方向包括:

(1) 开发跨平台数据融合框架,解决信息孤岛问题。

(2) 探索联邦学习技术提升模型泛化能力。

(3) 强化物联网安全防护机制。随着AI与物联网技术的深度融合,智能化控制系统将推动集中供气系统向“零人工干预”与“碳中和”目标迈进,为工业4.0背景下的能源管理提供新范式。

### 【参考文献】

[1]李林森.集中供气系统采用DCS远程控制的重要性[J].设备管理与维修,2022,10(53):118-119.

[2]贾斌斌,康瑞,袁冬,等.医用气体系统常见问题及应对措施[J].中国医学装备,2020,17(11):175-178.

[3]常海滨,多堂坤,赵昕铭,等.地下储气库数字孪生框架设计[J].钻采工艺,2025,48(01):173-179.

[4]穆沛.机电一体化在智能化燃气输配系统中的应用展望[J].化工设计通讯,2025,51(01):34-36.

[5]李达,吴玉成,何中炜,等.工业压缩空气系统优化调度方法[J].仪器仪表标准化与计量,2023,(05):14-17.

[6]朱倩,底国彬,林俊岭.石油化工实验室集中供气系统标准化设计[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(13):16-18+20.

[7]陈建章.人工智能在工业电气自动化PLC技术中的应用[J].电气技术与经济,2024,(11):87-89.

[8]崔晚晴,贺继锋,瞿子涵,等.AI算法在企业碳排放管理中的应用与展望[J].信息与电脑,2024,36(24):160-162.

### 作者简介:

杨熠(1996--),男,汉族,浙江杭州人,本科,研究方向:机电一体化中流体控制系统的智能化与自适应控制。