

电气自动化在智慧供热中的应用

杨毅

(山东省东营市鲁源热力有限公司, 山东 东营 257091)

摘要 为了提升供热系统的运行效率和服务质量, 推进供热行业的智慧化转型升级, 本文深入分析了电气自动化技术在智慧供热领域的创新应用, 探讨了从智能化基础设施建设到自动控制技术的具体实施以及智能管理系统的深度应用等关键环节。研究表明, 电气自动化技术的合理运用不仅显著提高了供热系统的运行效率和可靠性, 还实现了供热过程的精准调控和智能化管理, 旨在为建设节能环保、智慧高效的现代化供热体系提供有效的技术支持。

关键词 电气自动化; 智慧供热; 变频调速技术; PLC; 分布式控制系统

中图分类号: TU995

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.08.006

0 引言

智慧供热是以物联网、大数据、云计算等新一代信息技术为支撑, 通过对供热系统全过程的智能监测和数据分析, 实现供热过程的精准控制和优化管理。目前, 我国城镇供热面积已达到 293 亿 m^2 , 年供热能耗超过 1.8 亿吨标准煤。智慧供热系统可将供热能耗降低 15% ~ 20%, 室温合格率提升至 95% 以上, 运行成本降低 25% ~ 30%。随着技术进步, 电气自动化控制已成为实现供热系统智能化转型的核心技术支持, 为构建高效、节能、环保的现代化供热体系提供了强有力的技术保障。

1 智慧供热系统的电气自动化基础设施

1.1 供热管网自动监测与控制系统

通过对管网运行状态的实时监测和智能调控, 可以实现供热系统的安全、稳定、高效运行^[1]。在管网监测方面, 需要布设压力、流量、温度等多参数在线监测设备, 压力传感器的安装间距通常为 400 ~ 600 m, 精度要求达到 $\pm 0.1\%FS$, 流量计则选用电磁流量计或超声波流量计, 其精度应达到 $\pm 0.5\%$ 。管网控制系统采用分层分区的控制架构, 在关键管段设置电动调节阀和变频水泵, 通过实时调节供回水压差和流量, 使管网压力始终维持在 85 ~ 392 KPa 的合理范围内。供热管网的自动控制策略采用模糊 PID 控制算法, 根据室外温度变化, 自动调节供水温度, 当室外温度在 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内变化时, 供水温度相应调整在 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。系统还配备水力平衡自动调节功能, 通过动态平衡阀和比例积分调节器, 使管网各环路压差

保持在 20 ~ 30 KPa 的均衡状态。在管网安全防护方面, 设置泄漏检测系统, 采用超声波检测技术, 当管网压力突变超过设定值的 $\pm 5\%$ 时, 系统自动报警并启动应急处置程序。通过管网自动监测与控制系统的运用, 可使供热系统的热效率提升 15% 以上, 能耗降低 20% 左右, 为供热系统的安全稳定运行提供了有力保障。

1.2 智能热力站群控制平台构建

智能热力站群控制平台采用三层架构设计, 包括现场控制层、通信网络层和管理决策层。在现场控制层, 每座热力站配备 PLC 控制器和数据采集模块, 实时采集换热器进出口温度、压力、流量等运行参数, 采样周期为 30 s, 数据精度达到 $\pm 0.2\%$ 。通信网络层采用工业以太网和 4G 无线通信相结合的双重通道, 确保数据传输的实时性和可靠性, 网络延时控制在 100 ms 以内。管理决策层基于云计算技术, 建立热力站群的数学模型, 实现负荷预测和运行优化。系统根据气象预报和历史运行数据, 提前 4 ~ 6 小时预测用热负荷, 预测准确率可达 90% 以上。在供热调控方面, 平台采用分时分区的控制策略, 根据不同区域的用热特性, 自动调节换热站的运行参数。例如, 在供热高峰期, 系统自动将一次网供水温度提高 2 ~ 3 $^{\circ}\text{C}$, 二次网循环泵频率提升 5 ~ 8 Hz, 确保供热效果。平台还具备智能化节能优化功能, 通过热力站群的协同调节, 实现热源、管网、用户端的最优匹配, 可使系统综合能耗降低 25%, 供热质量合格率提升至 98%。在运维管理方面, 平台配备设备健康诊断模块, 对关键设备的运行状态进行实时监测和评估, 当设备出现异常时, 系统自动生成维护指令, 确保热力站的安全稳定运行^[2]。

2 电气自动化控制技术在供热调节中的应用

2.1 变频调速技术在循环泵系统中的应用

通过调节水泵的转速，变频器能够使循环泵的运行状态与实际供热需求相匹配，从而优化能耗和提高供热效率。在具体实施中，变频器的选型应根据水泵的功率和流量需求进行合理配置，通常选择矢量控制型变频器，其调速范围可达到1:50，能够精确控制泵的转速。在实际应用中，变频器通过实时监测供回水的压力和流量，自动调整水泵的转速^[3]。例如，当供热负荷降低时，变频器可以将水泵的转速降低至额定转速的70%，此时水泵的能耗可减少约30%。这种动态调节不仅提高了系统的能效，还减少了不必要的能量浪费。在供热系统中，变频调速技术还可以与智能控制系统相结合，形成闭环控制。例如，系统可以根据室外温度变化和用户需求，自动调整供水温度和流量。当室外温度下降时，系统会自动提高供水温度，同时通过变频器调节水泵转速，以确保用户室内温度的稳定。变频调速技术还具备多泵轮换运行的功能。在一个供热系统中，通常会配置多台循环泵以应对不同的负荷需求。通过变频器的控制，可以实现泵的轮换使用，避免单台泵长时间运行而导致的过早磨损。例如，系统可以设定每168小时自动切换主用泵和备用泵，确保设备的均衡使用和维护。通过变频调速技术的应用，供热循环泵系统的综合能耗可降低30%至40%，同时供热质量和系统的稳定性显著提升^[4]。

2.2 PLC在热力站自动控制中的实现

在热力站控制系统中，PLC主要负责数据采集、逻辑控制和调节执行三大功能。以西门子S7-300系列PLC为例，采用CPU315-2DP处理器，配备16路模拟量输入模块和8路模拟量输出模块，构建完整的控制系统。在具体应用中，PLC通过采集供回水温度、压力、流量等参数，结合PID控制算法实现系统的闭环控制^[5]。以二次网供水温度控制为例，当检测到供水温度与设定值产生偏差时，PLC控制器根据预设的比例系数 $K_p=0.8$ 、积分时间 $T_i=120\text{ s}$ 、微分时间 $T_d=30\text{ s}$ 等参数，自动调节调节阀开度，使供水温度维持在理想区间。在实际运行中，当室外温度为 $-12\text{ }^\circ\text{C}$ 时，通过PID控制可将供水温度稳定在 $55\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内。针对系统的安全监控，PLC设置多重保护机制。通过编程实现供水温度上限报警值 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 、压力上限报警值 0.6 MPa 等多个监控点位的实时监测。当系统参数超出设定范围时，PLC自动执行相应的保护措施。在循环泵控制方面，采用变频调速方式，PLC根据管网压力变化，实时调整水泵转速，当管网压差降至 0.2 MPa 以下时，自动将

泵机转速提升至 45 Hz ，确保供热系统稳定运行。在数据通信方面，PLC通过Profibus-DP现场总线与上位机进行数据交互，采用256个字节的数据帧格式，实现控制参数的实时上传和远程调节。此外，PLC系统还集成了故障诊断和预测性维护功能。通过建立设备运行数据库，记录关键设备的运行时间、启停次数、能耗等信息，系统能够预判设备可能出现的故障。当设备运行参数出现异常趋势时，自动生成维护提醒。在极端天气条件下，系统还可自动切换至应急运行模式，通过预设的应急控制策略，保障供热系统的基本运行需求。

2.3 分布式控制系统(DCS)在供热调度中的运用

分布式控制系统(DCS)在供热调度中实现了多层次、网络化的智能控制，通过分散控制、集中管理的方式，提升供热系统的运行效率和可靠性。在系统架构上，采用三层分布式结构，包括现场控制层、过程控制层和管理控制层，实现供热系统的全方位监控和调度优化。在具体应用中，以浩亚DCS系统为基础平台，部署多个现场控制站，每个控制站配备双冗余处理器和通信模块，采用光纤环网实现数据传输，通信速率达到 100 Mbps 。在数据采集方面，通过分布式I/O模块采集供热系统的温度、压力、流量等参数，采样周期为 100 ms ，采集精度达到 0.1% ，确保数据的实时性和准确性。在供热调度控制中，DCS系统通过智能调度算法实现热负荷的优化分配。以热源调度为例，系统根据室外温度变化和用户需求，自动计算各热源的最佳负荷分配比例。当室外温度为 $-15\text{ }^\circ\text{C}$ 时，通过负荷优化算法可将一号热源负荷控制在 65% ，二号热源负荷维持在 55% ，实现能耗最小化目标。在管网调控方面，DCS系统采用分区域协调控制策略。通过建立热力网络的数学模型，实时计算各区域的供热参数。当检测到某区域供回水温差低于设定值时，系统自动调整该区域的供水温度和流量。例如，在供水温度 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下，通过调节循环泵频率在 $35\sim 50\text{ Hz}$ 范围内变化，使回水温度维持在 $45\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ ，确保系统的经济性和稳定性。在运行管理层面，DCS系统通过历史数据库记录系统运行参数，存储周期为1分钟，保存时间可达1年；结合数据挖掘技术，系统能够分析供热系统的运行特性，预测热负荷变化趋势，为调度决策提供数据支持。

3 智慧供热电气自动化的智能管理技术

3.1 供热系统数据采集与远程监控技术

在数据采集层面，系统采用分层分布式架构，部署各类智能传感器和数据采集终端，构建覆盖热源、管网

和用户的采集体系。数据采集设备选用西门子 SITRANS 系列智能变送器,在关键监测点安装温度、压力、流量等传感装置。以供热管网为例,每隔 500 m 设置一个数据采集点,采用 PT100 温度传感器测量供回水温度,精度达到 ± 0.1 °C;使用智能压力变送器监测管网压力,量程 0 ~ 1.6 MPa,精度为 0.075%。采集数据通过 RS485 总线传输至就近的 RTU 设备,采样周期为 30 秒。在通信网络方面,采用 4G 无线通信为主,光纤通信为辅的混合组网方式。RTU 设备通过 4GDTU 将采集数据实时上传至监控中心,通信延时小于 2 s,数据传输成功率达到 99.9%。监控中心部署双机热备服务器,采用实时数据库存储系统运行数据,数据存储容量达到 10TB,可保存 3 年的历史数据。远程监控平台基于 B/S 架构开发,实现多终端访问功能。系统具备实时监控、历史查询、报表统计、报警管理等功能模块。通过监控界面可直观显示供热系统运行状态,当系统参数超出设定范围时,自动发出声光报警并推送信息至相关管理人员手机。例如,当某区域供水温度低于 50 °C 或高于 65 °C 时,系统自动报警并记录异常数据,便于及时处理和分析。

3.2 智能化能耗分析与优化调控技术

在能耗监测方面,建立覆盖热源、管网和用户的多层次能耗计量体系,采用智能热量表和电能表实时采集系统运行数据,为能耗分析提供数据基础。能耗分析系统采用多维度评估方法,建立包含单位面积热耗、供热效率、输送能耗等指标的评价体系。通过数据挖掘算法分析系统运行特性,建立热负荷预测模型。以某供热区域为例,系统根据历史运行数据和气象预报信息,采用 BP 神经网络算法预测未来 24 小时的热负荷变化,预测精度达到 92%,预测结果作为优化调控的重要依据。在优化调控方面,采用基于模型预测的分层递进控制策略。通过建立供热系统的数学模型,实时计算最优运行参数。当室外温度为 -10 °C 时,系统自动将供水温度设定为 58 °C,循环泵频率调整为 42 Hz,实现能耗最小化目标。同时,根据管网特性,将供回水温差控制在 12 ~ 15 °C 范围内,供热效率提升约 12%。针对水力失调问题,系统通过智能平衡算法实现管网的动态调节。通过分析各管路的压力和流量数据,自动调整电动调节阀开度,使系统压差维持在 0.2 ~ 0.3 MPa 范围内。在实际应用中,通过该技术可降低管网输送能耗 15% 以上,减少热量损失约 8%。系统还具备负荷分配优化功能,根据各热源的效率特性,自动计算最佳的负荷分配方案,综合节能效果达到 20%。

3.3 供热系统故障诊断与预警技术

供热系统故障诊断与预警技术通过智能算法和专家系统,实现设备运行状态的实时监测和故障的早期预警。在故障诊断方面,系统采用基于深度学习的故障模式识别算法。通过对设备运行数据进行特征提取和分析,建立故障诊断模型。以循环泵故障诊断为例,系统通过采集电机电流、轴承振动、泵体温度等参数,采样频率为 1 kHz,当轴承振动值超过 4.5 mm/s 或温度超过 85 °C 时,系统自动进行故障模式识别,诊断准确率达到 95%。预警系统采用三级预警机制,根据设备运行参数的偏离程度,划分为注意、警告和危险三个等级。在管网漏水预警中,系统通过分析供回水压力差、流量变化等数据,设定预警阈值。当某区段压力突降超过 0.15 MPa 且持续时间超过 10 分钟,系统自动发出二级预警信号,并定位可能的泄漏位置,预警提前时间可达 30 分钟。针对频发性故障,系统建设设备健康管理体系统。通过收集和分析历史故障数据,预测设备可能发生的故障。

4 结束语

随着人工智能、物联网等新一代信息技术的持续发展,供热自动化技术将向着更加智能化、精细化的方向迈进。通过深度学习、大数据分析等先进技术的应用,供热系统的运行效率和服务质量将得到全面提升。智能传感器网络的广泛部署实现了供热系统全过程的实时监测,大数据分析技术可精准预测用户需求,动态调节供热参数。这些技术创新不仅降低了供热能耗,提高了用户舒适度,还实现了供热系统的智能化运维,为构建节能环保、智慧高效的现代化供热体系奠定了坚实的基础。

参考文献:

- [1] 李懋乐. 关于智慧供热技术在大型供热管网中的应用探讨 [J]. 中国战略新兴产业, 2025(02):50-52.
- [2] 范立杰, 尹彦禄. 智慧供热的理念、技术与价值 [J]. 智慧中国, 2024(10):64-66.
- [3] 贾蓉婷. 自动化控制技术在智慧供热中的应用研究 [J]. 科学技术创新, 2023(21):56-59.
- [4] 孙振巍. 我国供热行业智慧供热现状及发展趋势 [J]. 冶金管理, 2023(09):31-33.
- [5] 袁丁. 智慧供热信息化的研究 [D]. 唐山: 华北理工大学, 2022.