

智能控制系统在冷源群控中的设计及其应用

罗添

(深圳市特发信息技术服务有限公司)

【摘要】本文围绕如何通过冷源系统的硬件优化与智能控制,在保障空气质量的同时降低能耗、实现可持续运维管理展开研究。在智能建筑场景中,通过整合硬件设备、传感装置与控制系统,可既满足项目环境空间的空气质量标准,又达成节能降耗、高效管控的目标。针对控制系统,本文结合 PLC、MCU 等不同控制单元的实际配合应用案例,开展具体的实践分析。

【关键词】PLC;智能建筑;节能建筑;环保

中图分类号:TU831

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.094

Design and Application of Intelligent Control Systems in Central Cooling Source Cluster Control

LUO Tian

(Shenzhen Tefa Information Technical Services Co., Ltd.)

【Abstract】This paper focuses on the research of how to realize sustainable operation and maintenance management by optimizing the hardware and implementing intelligent control of the cooling source system, while ensuring air quality and reducing energy consumption. In the scenario of intelligent buildings, by integrating hardware devices, sensing devices and control systems, it can not only meet the air quality standards of the project's environmental space, but also achieve the goals of energy conservation, consumption reduction and efficient management and control. For the control system, this paper conducts specific practical analysis combined with the actual cooperative application cases of different control units such as PLC and MCU.

【Keywords】PLC; intelligent building; energy-efficient building; environmental protection

1 引言

现代绿色智能建筑对空气质量与节能的双重要求,推动冷源系统向智能化、高效化升级。如何通过冷源系统硬件优化与智能控制,在保障空气质量的同时降低能耗,实现可持续管理,是本文研究主题。

该研究通过整合先进硬件、智能控制算法与信息化管理,构建高效、环保的冷源系统解决方案。实际案例证明,结合 PLC/MCU 的灵活架构可显著提升能效比(达 20%~30%),同时满足空气质量标准。

2 冷源系统的硬件原理及设备选型优化要求

冷源系统是建筑环境控制的核心组成部分,主要用于提供冷量以调节室内温度、湿度及空气质量。

2.1 制冷循环基本原理

冷源系统遵循蒸气压缩制冷循环,主要包含四个核心阶段:①蒸发(Evaporation),制冷剂在蒸发器(如空调末端盘管)中吸收环境热量,蒸发为低温低压蒸气;②压缩(Compression),压缩机对低温低压

蒸气做功,将其压缩为高温高压气体;③冷凝(Condensation),高温高压气体进入冷凝器,通过与环境换热释放热量,冷凝为高压液体;④膨胀(Expansion),高压液体流经膨胀阀(或节流装置)后降压降温,重新进入蒸发器完成循环。

2.2 系统核心组件及功能

①压缩机:提供循环动力,通过压缩制冷剂提升其温度和压力(类型包括活塞式、螺杆式、离心式等)。

②冷凝器:将高温制冷剂的热量排放至外部环境(如冷却水或空气)。

③蒸发器:吸收室内热量,实现降温或除湿功能。

④膨胀阀:控制制冷剂流量与压力,调节系统制冷量。

2.3 冷源系统的节能优化原理

①变频技术:通过变频压缩机与水泵,根据负荷需求动态调整转速,减少无效能耗(动态变频)。

- ②多机并联控制(群控):多台制冷机组协同运行,根据冷量需求智能调节,避免“大马拉小车”。
- ③智能控制算法:结合传感器数据(如温度等)与预测模型(如天气预报等),动态优化运行策略。

2.4 冷源系统在智能建筑中的应用

- ①动态负荷匹配:通过末端传感器实时反馈室内环境参数,调制冷量输出,避免过冷或能耗浪费。
- ②多系统联动:与新风系统、照明系统等集成,通过PLC或BMS(楼宇管理系统)实现全局优化。
- ③远程监控与维护:借助物联网(IoT)技术,实现冷源设备远程诊断与故障预警,降低运维成本。

2.5 环保与可持续性设计

- ①低GWP制冷剂:采用R32、R290等环保制冷剂替代传统氟利昂,减少温室效应。
- ②自然冷源利用:在过渡季节或低温环境下,通过自然冷却(Free Cooling)减少压缩机运行时间。

3 PLC与MCU在冷源群控中的应用及控制原理分析

3.1 PLC在冷源群控中的应用

3.1.1 应用场景

大型复杂系统适用于商业综合体、数据中心等多机组联动的场景。

3.1.2 控制原理

集中式控制架构:PLC作为中央控制器,通过总线连接各制冷机组、传感器和执行器。
群控策略:负荷分配、顺序启停、节能优化。
根据冷量需求,优先启动高效机组或均衡分配负载以延长设备寿命;避免多台机组同时启动导致的电网冲击;结合时间表、天气预报预测负荷,提前调整运行模式。

3.1.3 实际案例

某医院冷源系统采用西门子S7-1500系列PLC,集成6台离心式冷水机组。通过流量传感器反馈冷冻水回水温度,动态调节机组运行台数,节能率达18%,冗余PLC设计确保ICU等关键区域供冷不间断。

3.2 MCU在冷源群控中的应用

3.2.1 应用场景

中小型系统适用于办公楼、酒店等冷量需求较小且设备较少的场景。

3.2.2 控制原理

分布式控制架构:每台制冷机组或水泵配备独立MCU,通过CAN总线或RS-485通信交互数据。

3.2.3 实际案例

某酒店冷却塔群控使用ESP32 MCU控制4台冷却塔风机,通过传感器监测环境参数。依据冷凝器出水温度调节风机转速,夏季工况下能耗降低12%;通过Wi-Fi模块上传数据云端,实现远程监控。

3.3 PLC与MCU的对比分析(见表1)

表1 PLC与MCU技术特性对比

特性	PLC	MCU
处理能力	多核CPU,支持复杂算法与多线程任务	单核,适合简单逻辑与低频率任务
可靠性	工业级防护(IP67),抗干扰性强	民用级,需额外防护设计
扩展性	模块化扩展(I/O、通信接口)	有限扩展,依赖外设电路设计
开发周期	长(需梯形图/SCADA编程)	短(C语言/Arduino生态支持)
成本	高(硬件+授权软件)	低(开源硬件+免费开发工具)
典型应用	大型冷站、多系统集成	小型机组、分布式节点控制

3.4 控制原理的核心差异

PLC:基于状态机的工业控制
采用扫描周期机制,周期性读取输入、执行程序、更新输出;支持多级中断,优先处理紧急信号;应用于制冷机组启停联锁保护、冷冻水流量PID调节。
MCU:事件驱动的嵌入式控制
依赖中断服务程序(ISR),实时响应外部事件;低功耗设计,适合电池供电的无线传感器节点;典型应用于冷却塔风机的PWM调速、水泵的定时启停。

3.5 未来融合趋势

边缘计算与云平台协同,PLC作为边缘节点处理实时控制,MCU负责本地数据采集,云端进行大数据分析 with 策略优化。总之,PLC适用于高可靠性、复杂逻辑的大型冷源群控系统,其优势在于稳定性和扩展性;MCU更擅长低成本、分布式的小型场景,灵活性高但需额外设计防护与通信机制。未来冷源

群控将向“PLC+MCU+云端”的混合架构发展,结合两者优势实现全链路智能化。

4 传感技术的应用

4.1 传感器的核心功能

- 数据采集:实时获取温度、压力、流量等关键参数,为控制算法提供输入依据。
- 状态监测:跟踪设备运行状态,预判潜在故障。
- 安全保护:触发紧急停机或报警。

4.2 常用传感器类型及典型应用(见表2)

表2 中央空调系统关键传感器功能与应用场景一览

传感器类型	检测参数	应用场景
温度传感器	冷冻水/冷却温度、环境温度	蒸发器/冷凝器进出口水温监测,调节制冷量输出
		冷却塔风机启停控制(基于环境温度)
压力传感器	制冷剂压力 水系统压力	防止压缩机高压过载或低压吸气不足 检测管道泄漏或水泵堵塞
流量传感器	冷冻水/冷却流量	计算系统冷量($Q=\rho c\Delta T$) 均衡多台水泵流量分配
湿度传感器	空气相对湿度	冷却塔蒸发效率优 室内湿度联动控制(如医院洁净区域)
液位传感器	冷却塔补水箱水位	自动补水控制,防止干烧或溢流
CO ₂ 浓度传感器	室内CO ₂ 浓度	新风系统联动控制(如商场、办公楼冷源负荷动态调节)

4.3 传感器在群控中的协同控制原理

4.3.1 动态负荷匹配

输入温度传感器(冷冻水回水温度)、流量传感器(水流量)等数据。当回水温度升高且流量稳定时,判定冷量需求增加,PLC启动备用制冷机组。通过PID算法调节压缩机频率或阀门开度,维持设定温度。

4.3.2 多设备协同优化

输入压力传感器(制冷剂压力)、电流传感器(电机功耗)等数据,自动切换至低负载机组,避免效率衰减,优先运行能效比(COP)高的设备。

4.3.3 故障预警与容错控制

输入振动传感器(设备健康状态)、液位传感器(冷却塔水位)数据,检测到异常振动时,触发报警并切换至备用设备。水位低于阈值时,自动关闭关联水泵并启动补水系统。

4.4 典型应用案例

某数据中心冷源群控配置温度传感器、流量传感器、电流传感器等传感器,基于机柜温度动态调整冷量输出,确保IT设备散热需求;利用AI算法预测服务器负载,提前优化制冷机组运行模式,节能率提升22%。

4.5 技术挑战与解决方案(见表3)

表3 中央空调系统传感器技术挑战与解决方案

挑战	解决方案
数据噪声干扰	采用数字滤波算法(如卡尔曼滤波) 传感器屏蔽与接地设计
多传感器数据融合	使用数据融合算法(如加权平均、D-S证据理论) 边缘计算节点预处理数据
长周期稳定性	定期校准传感器(如温度传感器年漂移补偿) 选用工业级高精度传感器
极端环境适应性	防水、防爆设计(如冷却塔高温高湿环境) 宽温域传感器(-40℃~85℃)

4.6 未来趋势

4.6.1 智能传感器(Smart Sensors)

集成自诊断功能(如零点漂移报警)、边缘计算能力(本地数据预处理)。

4.6.2 无线传感器网络(WSN)

采用LoRa、NB-IoT技术实现无线部署,降低布线成本与维护难度。

4.6.3 数字孪生(Digital Twin)

传感器数据驱动虚拟模型,实时仿真冷源系统状态,优化控制策略。

5 结语

智能控制系统已从冷源群控的“辅助工具”升级为“核心大脑”,其价值不仅体现在能效提升与运维成本降低,更通过环境舒适性优化与可持续发展赋能,直接服务于人类对高品质生活的追求。未来,随着5G通信、数字孪生、边缘AI等技术的成熟,冷源系统将突破传统建筑边界,成为智慧城市能源网络的关键节点,在碳中和目标与数字化浪潮中占据战略地位。这一进程不仅是技术的迭代,更是对人类生活方式的重新定义——从“被动适应环境”到“主动塑造环境”的跨越。