

建筑能源管理系统与暖通自控系统深度集成 优化策略研究

周兆文

江西鑫小船建设工程有限公司

摘要：建筑能源管理系统与暖通自控系统作为建筑智能化的重要组成部分，二者长期处于相对独立运行状态，制约了建筑整体能效水平的提升。本文从系统集成角度出发，分析两类系统在数据采集、控制策略与运行管理等方面的协同潜力，提出基于统一数据平台、协同控制策略与优化运行机制的深度集成架构。研究构建了涵盖数据层、控制层与应用层的集成框架，提出负荷预测与设备调优的协同控制方法，并探讨集成系统在能效提升与运行稳定性方面的优化路径。

关键词：建筑能源管理系统；暖通自控系统；系统集成；协同控制；能效优化

建筑能源管理系统与暖通自控系统在大型公共建筑中广泛应用，前者侧重于能耗监测与统计分析，后者聚焦于设备运行控制与环境参数调节。由于两类系统在建设阶段分属不同专业，数据格式不统一、控制策略不协同、运行信息不共享的问题普遍存在，导致能源管理难以精准指导设备运行，暖通控制也无法充分利用能耗数据进行策略优化。

1 建筑能源管理系统与暖通自控系统的现状与问题

1.1 两类系统的功能定位与技术特征

建筑能源管理系统以能耗数据采集、统计分析、报表生成及能效评估为核心功能，通过对电、水、气等各类能耗的实时监测与历史数据分析，识别能耗异常环节，为节能管理提供决策依据。其技术特征体现为数据采集覆盖面广、数据存储量大、分析功能多样，但在实时控制层面介入能力有限。暖通自控系统以设备运行控制与环境参数调节为核心功能，通过对冷水机组、空调箱、风机、水泵等设备的启停控制与调节，实现室内温湿度、新风量等参数的稳定维持。其技术特征体现为控制实时性强、响应速度快、与设备运行状态直接关联，但在全局能效优化层面存在局限。

1.2 独立运行模式下的协同障碍

在传统建设模式下，两类系统由不同专业单位设计实施，数据接口标准不统一，通信协议存在差异，导致系统之间数据交互困难。能源管理系统无法实时获取设备运行状态与设定参数，只能基于电表数据进行宏观能耗分析，难以定位具体设备的能耗异常原因。暖通自控系统缺乏能耗数据的反馈输入，控制策略仅以环境参数达标为目标，未能将能耗效率作为优化变量纳入控制逻辑。运行管理层面，能源管理人员与暖通运维人员分属不同部门，信息传递依赖人工沟通，

决策响应滞后，难以实现运行参数的动态优化调整。

1.3 深度集成的必要性与价值空间

深度集成旨在打通能源管理与设备控制之间的信息壁垒，建立从能耗监测到设备控制的数据闭环，实现能源数据对控制策略的实时反馈与优化。集成系统的价值体现在多个层面。在能效提升层面，基于能耗数据的实时分析能够指导暖通系统动态调整运行参数，避免设备低效运行状态。在运行稳定层面，能源监测数据可作为设备运行状态评估的依据，提前预警设备性能衰减，保障系统可靠性。在管理效率层面，统一平台实现了能源管理与设备运维的协同作业，减少了跨部门沟通成本。

2 深度集成的技术架构与关键支撑

2.1 统一数据平台的构建

深度集成的基础是建立统一的数据平台，实现两类系统数据的标准化采集、存储与共享。数据平台在物理层面通过物联网网关连接能源计量设备与暖通控制设备，将不同协议的数据统一转换为标准格式。在数据层面建立统一的设备模型与数据字典，对能耗监测点与控制点进行统一编码，明确数据的语义与关联关系。在存储层面采用时序数据库与关系数据库相结合的方式，满足高频采集数据与结构化业务数据的不同存储需求。

2.2 网络通信与协议融合

通信网络的融合是实现系统集成的重要支撑。暖通自控系统通常采用现场总线协议，能源管理系统多基于以太网或无线通信，两者在网络层级与传输特性上存在差异。集成方案需在控制层设置协议转换网关，实现不同协议之间的双向转换与数据映射。对于新建建筑，可统一采用支持多种协议的开放式控制器，从

源头实现通信协议的统一。对于既有建筑改造,可采用边缘计算网关,在靠近设备端完成协议转换与数据预处理,减少对原有系统的改动。通信网络应满足实时性与可靠性要求,控制指令传输延迟需控制在允许范围内,能耗数据采集频率应与控制响应需求相匹配。

2.3 数据融合与信息协同机制

数据融合是将两类系统的异构数据进行关联整合,形成统一的运行态势感知。融合过程包括数据对齐、特征提取与关联分析三个层面。数据对齐解决时间尺度与空间位置的匹配问题,将能耗数据与控制数据在同一时间维度与空间维度上进行关联。特征提取从原始数据中提取反映系统运行状态的关键特征参数,如设备运行效率、负荷变化趋势、能耗强度等。关联分析揭示能耗变化与设备运行参数之间的内在关系,识别影响能效的关键控制变量。信息协同机制体现在能源管理模块与分析模块与控制优化模块之间形成闭环,能耗异常分析结果自动触发控制策略评估,控制策略调整后的能效变化反馈至能源管理系统进行验证,形成持续优化的运行循环。

3 深度集成系统的协同控制策略

3.1 负荷预测与设备调优协同

负荷预测与设备调优的协同是集成系统实现能效优化的核心策略。基于历史能耗数据、气象数据与建筑使用数据,建立空调负荷预测模型,预测未来时段内的冷热负荷需求。负荷预测结果直接输入设备调度优化模块,在满足负荷需求的前提下,以系统总能耗最小为目标,优化确定冷水机组台数组合、水泵运行频率及风机转速等控制参数。协同控制突破了传统自控系统仅依据当前负荷进行设备启停的局限,通过预判负荷变化趋势提前调整设备运行状态,避免设备频繁启停与低效运行。例如在负荷爬升阶段,系统根据预测结果提前启动备用机组,使其平稳进入工作状态,避免单台机组过载运行导致的效率下降。负荷下降时段,系统提前调整运行参数,减少不必要的能耗消耗。

3.2 能效反馈与控制修正闭环

集成系统将实时能效监测数据作为控制策略评估与修正的依据,形成闭环优化机制。暖通系统运行过程中,能源管理模块持续计算各设备及系统的实时能效指标,如冷水机组能效比、冷冻水输送系数、空调系统综合能效等。当监测到能效指标偏离预期范围时,系统自动分析偏离原因,判断是否由控制策略不当、设备性能衰减或外部条件变化引起。对于控制策略相关的问题,控制优化模块自动调整控制参数,如调整冷冻水出水温度设定值、修改变风量末端压力设定点

等,并评估调整后的能效改善效果。能效反馈机制使控制系统具备自学习能力,通过持续监测与调整,逐步逼近最优控制参数组合,实现对运行工况变化的自适应。

3.3 故障诊断与预警联动

集成系统将能耗数据与设备运行数据结合,实现故障诊断与预警的协同联动。设备运行故障不仅影响环境控制效果,也往往伴随异常能耗增加。系统通过分析能耗模式与设备运行状态的关联关系,建立故障诊断规则库。当能耗监测模块检测到异常能耗波动时,自动关联同期设备运行参数,判断是否为设备故障所致。对于典型故障模式,系统能够定位可能的故障设备与故障类型,向运维人员推送预警信息与处置建议。例如冷水机组效率异常下降可能由冷凝器结垢、制冷剂泄漏或传感器漂移引起,集成系统通过对比能耗数据、运行参数与历史基线,缩小故障排查范围,缩短故障响应时间。故障预警机制在设备性能显著劣化前发出告警,实现从被动维修向预测性维护的转变。

4 深度集成系统的实施路径与保障机制

4.1 分阶段实施策略

深度集成系统的实施应根据建筑类型、系统现状与改造条件,采取分阶段推进的策略。第一阶段实现数据贯通,通过增设数据采集网关与协议转换设备,将两类系统的数据汇集至统一平台,实现能耗数据与设备运行数据的集中展示与基础关联分析,解决数据不可见问题。第二阶段实现监测联动,在数据贯通基础上,开发能耗异常预警与设备状态监测功能,实现能耗数据与设备运行状态的交叉分析,为运维人员提供决策支持。第三阶段实现控制协同,在系统充分验证后,逐步将能效优化策略接入自动控制系统,实现负荷预测与设备调优、能效反馈与控制修正等协同功能的闭环运行。分阶段实施有利于控制改造风险,保障既有系统运行稳定性,各阶段成果可及时转化为节能效益,为后续投资提供依据。

4.2 标准化体系建设

标准化是保障集成系统可扩展性与可复制性的关键。系统建设应遵循数据接口标准,采用开放的通信协议与数据格式,避免使用厂商私有协议导致系统锁定。数据模型标准需统一设备编码规则与数据标签体系,确保不同子系统之间的数据语义一致。控制策略标准应规范协同控制算法的设计、验证与上线流程,建立策略效果评估准则。运维管理标准明确集成系统的操作权限划分、故障响应流程及优化策略更新机制。标准化体系的建立有助于降低集成系统建设与维护的

技术门槛,促进不同厂商设备与系统的互操作,为集成方案的规模化推广创造条件。

4.3 组织管理保障机制

深度集成的实现不仅涉及技术层面的改造,还需要组织管理与运行机制的配套调整。运维管理方面,需打破能源管理与暖通运维分属不同部门的组织壁垒,建立统一的运行管理团队,负责集成系统的日常运行与优化策略的实施。岗位职责应重新划分,明确能源数据分析人员与暖通控制人员的协作界面与信息共享要求。培训机制需跟进,对运维人员进行集成系统操作与协同策略应用的专业培训,提升其跨领域知识储备与协同工作能力。绩效考核体系应调整,将系统整体能效水平纳入考核指标,引导运维人员从关注设备运行转向关注系统综合能效,形成激励协同优化的管理导向。

5 集成系统优化效益评估与深化方向

5.1 能效提升与运行优化成效

深度集成系统在能效提升与运行优化方面可产生多维度成效。能效层面,通过负荷预测与设备调优的协同,能够降低暖通系统整体能耗,主要节能来源包括减少设备低效运行时间、优化设备组合运行策略、提升部分负荷工况下的系统效率。运行层面,集成系统使设备运行状态更加平稳,避免了因控制滞后导致的温度波动与设备频繁启停,延长了设备使用寿命。管理层面,统一平台减少了人工数据采集与分析的工作量,故障预警机制缩短了异常响应时间,提升了运维管理效率。效益评估需建立科学的评价指标体系,涵盖能耗强度降低率、系统能效提升率、故障响应时间缩短率等量化指标,为集成方案的优化改进提供依据。

5.2 系统可靠性与韧性提升

深度集成在提升系统可靠性与运行韧性方面具有积极作用。数据融合使系统能够从能耗变化与运行参数两个维度综合判断设备状态,提高故障识别的准确性与及时性。当某一传感器或设备出现异常时,集成系统可利用其他关联数据推断系统状态,维持基本运行功能,避免因单点故障导致系统瘫痪。在极端天气

或外部能源供应受限情况下,集成系统可根据实时能效数据与负荷预测结果,动态调整设备运行策略,优先保障核心区域用能需求,实现有限能源条件下的优化分配。这种基于全局信息的协同响应能力,使建筑能源系统具备了应对不确定性工况的运行韧性。

5.3 技术融合深化与智能演进

深度集成系统的持续发展将推动建筑智能化向更高水平演进。随着物联网与边缘计算技术的成熟,更多的末端设备将具备数据采集与边缘计算能力,使数据采集颗粒度进一步细化,为更精细化的控制优化提供数据基础。数字孪生技术的应用可实现物理系统与虚拟模型的同步映射,支持控制策略的离线仿真与效果预评估,降低策略上线风险。机器学习算法的深化应用将使负荷预测精度与设备调优效率持续提升,系统能够从运行数据中自主学习设备特性与能耗规律,实现控制策略的自适应与自优化。技术融合的深化将推动建筑能源系统从自动化向智能化、从被动响应向主动优化方向持续演进。

6 结束语

建筑能源管理系统与暖通自控系统的深度集成,是实现建筑精细化能源管理与高效运行的重要路径。本文从技术架构、协同策略、实施路径与效益评估等方面系统分析了深度集成的关键问题与优化方向。未来随着人工智能与数字孪生技术的深度融合,集成系统将向更高层次的智能化方向发展,为建筑节能与绿色建筑目标的实现提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 魏庆芄. 建筑能源管理系统与暖通空调系统集成关键技术研究 [J]. 暖通空调, 2022,52(4):1-9.
- [2] 赵天怡. 基于物联网的建筑能源管理系统与设备控制协同优化 [J]. 建筑科学, 2023,39(2):112-119.
- [3] 李熠. 大型公共建筑能耗监测与设备控制集成技术应用研究 [J]. 建筑节能, 2021,49(8):45-52.
- [4] 吴霓. 建筑智能化系统集成架构与协同控制策略综述 [J]. 土木工程信息技术, 2023,15(3):1-10.
- [5] 王鑫. 数字孪生驱动的建筑能源系统优化控制研究进展 [J]. 建筑经济, 2024,45(1):87-93.