

暖通空调与电气自动化融合的智能楼宇节能方案

孙超

承德热力集团有限责任公司，河北承德，067000；

摘要：暖通空调与电气自动化技术的深度融合，正在推动智能楼宇节能方案迈向更高水平的优化与创新。随着建筑能耗问题日益突出，传统独立运行的暖通系统与电气设备已难以满足现代建筑的能效需求。通过智能化协同控制，实现空调能耗的动态调节与电气设备的精准管理，可大幅提升楼宇能源利用效率。探索二者融合的最优方案，对降低建筑运营成本、减少碳排放具有重要的现实意义。

关键词：暖通空调；电气自动化；融合；智能楼宇；节能方案

DOI: 10.69979/3029-2727.25.10.030

引言

智能楼宇的发展趋势要求暖通空调与电气自动化系统实现数据互通与协同优化，以构建更加高效、环保的建筑能源管理体系。暖通系统的能耗占据建筑总能耗的较大比重，而电气自动化技术可为其提供精准的运行调控手段。二者的融合不仅能提升室内环境舒适度，还能在需求响应、负荷预测等方面发挥关键作用。研究其协同节能策略，将为未来绿色建筑的智能化升级提供重要依据。

1 智能楼宇节能技术基础

1.1 暖通空调系统节能原理

暖通空调系统的节能原理主要基于热力学第一定律和第二定律，通过优化系统能效比和减少能源浪费实现节能目标。在制冷循环方面，采用变频压缩机、高效换热器和电子膨胀阀等先进部件，显著提升系统COP值。在空气处理环节，应用热回收技术回收排风能量，通过全热交换器实现显热和潜热的双重回收。水力系统采用变流量调节技术，根据负荷变化动态调整水泵转速，避免过量输送造成的能源浪费。在控制系统层面，引入模糊控制和神经网络算法，实现多参数协同优化，使系统始终运行在最佳工况点。

1.2 电气自动化关键技术

电气自动化关键技术为智能楼宇节能提供了核心支撑，主要包括智能传感、网络通信和先进控制三大领域。智能传感技术通过高精度温湿度、CO₂浓度、光强度等传感器实时采集环境参数，为系统决策提供数据基础。工业以太网和BACnet等通信协议构建了设备间的信息高速公路，实现各子系统无缝集成。PLC和DCS控制系统具备强大的逻辑运算和过程控制能力，可完成复

杂的节能策略执行。能源管理系统通过数据挖掘技术分析能耗规律，识别节能潜力点。预测控制算法结合天气预报和历史数据，提前调整系统运行参数。这些技术的协同应用不仅提高了系统响应速度，还实现了能源使用的精细化管理。

2 关键技术难点分析

2.1 系统集成与兼容性问题

暖通空调系统与电气自动化设备的集成面临协议不统一、接口标准各异等技术难题。不同厂商设备的通信协议存在差异，导致数据交互受阻。系统集成过程中需要解决硬件接口匹配、软件协议转换等问题，确保各子系统无缝协同。同时，新旧设备的技术代差也给系统整合带来挑战，需要开发通用的中间件实现兼容。这些集成问题直接影响系统整体性能和节能效果实现。

2.2 智能算法优化与实时性挑战

节能控制算法的开发需要平衡优化效果与实时性要求。复杂的环境参数和动态负荷变化增加了算法设计的难度。多目标优化算法在计算效率和求解精度之间存在矛盾，难以满足实时控制需求。同时，算法的泛化能力不足，在不同建筑类型和气候条件下的适应性有待提高。这些算法层面的问题制约了系统节能潜力的充分发挥。

2.3 能效评估与验证方法不足

目前缺乏统一的能效评估标准和验证方法，难以客观评价节能效果。系统运行数据的采集和分析方法不够完善，影响节能量的准确计算。基准能耗的确定存在主观性，导致节能效果评估失真。长期性能跟踪机制的缺失，使得节能效果的持续性难以验证。这些评估方法的不足阻碍了节能技术的推广应用和优化改进。

3 暖通空调与电气自动化融合的智能楼宇节能方案

3.1 智能控制系统的协同优化

暖通空调与电气自动化的深度融合关键在于构建高度协同的智能控制系统，传统暖通系统往往独立运行，难以根据建筑实际负荷动态调整，而电气自动化技术可通过传感器网络实时采集温度、湿度、人流密度等参数，并利用人工智能算法进行预测性调控。例如，基于机器学习的历史数据分析可优化空调启停策略，减少无效能耗；同时，照明系统与新风系统的联动能确保在低人流量时段自动降低运行功率。这种跨系统的协同优化不仅提高了能源利用效率，还延长了设备使用寿命，为智能楼宇的可持续运营提供了技术支持。

3.2 能源管理平台的数据整合

实现暖通空调与电气自动化高效融合的核心在于建立统一的能源管理平台。该平台可集成暖通系统的制冷/制热数据、电气设备的能耗信息以及环境监测数据，通过边缘计算或云计算技术进行实时分析与决策。例如，当平台检测到某区域光照充足时，可自动降低人工照明强度并同步调节空调送风量，避免能源浪费。此外，大数据分析还能识别用能高峰与低谷，帮助制定更合理的分时电价响应策略。这种数据驱动的管理方式使建筑能源流动更加透明，为精细化节能提供了可行路径。

3.3 动态负荷匹配与自适应调节

现代智能楼宇的能源需求具有显著的时空波动性，而暖通空调与电气自动化的融合能够实现动态负荷匹配。通过部署智能终端设备，系统可以实时感知不同功能区域的温湿度、CO₂浓度及人员活动情况，并自动调整冷热负荷分配。例如，会议室的集中使用时段，空调可提前预冷并增强新风换气；而在非办公时间，系统则可切换至低功耗模式。电气自动化技术进一步确保了变频压缩机、VAV变风量系统等设备的精准响应，使能源供给与实际需求高度吻合。

3.4 故障预测与健康管理

暖通空调与电气自动化的深度融合还体现在故障预测与健康管理方面。通过加装振动传感器、电流监测模块等设备，可实时采集关键部件的运行状态数据，并利用数字孪生技术建立虚拟仿真模型。算法能够根据历史性能曲线识别异常模式，例如压缩机轴承磨损或冷凝器效率下降，提前触发维护警报。同时，电气系统的绝缘监测、谐波分析等功能可预防电路老化引发的安全隐患。这种预测性维护策略不仅避免了突发停机导致的

能源浪费，还通过优化设备运行状态间接提升了整体能效。

3.5 可再生能源的协同整合

在双碳目标背景下，暖通空调与电气自动化的融合需进一步考虑可再生能源的高效利用。光伏发电、地源热泵等清洁能源系统可与传统暖通设备形成互补：当太阳能供电充足时，优先驱动热泵机组；在阴雨天气则自动切换至电网供电并启动节能模式。电气自动化系统在此过程中承担着能量调度中枢的角色，通过智能电表、储能装置和逆变器的协同控制，实现绿电的最大化消纳。此外，冰蓄冷、相变材料等技术的引入，使得空调系统能够利用谷电时段储能，进一步降低白天高峰用电压力。

3.6 跨系统标准化通信协议的应用

暖通空调系统与电气自动化设备的有效融合依赖于统一通信协议的建立。当前建筑内各类设备往往采用不同的通信标准，导致系统间存在信息孤岛现象。通过采用BACnet、Modbus等开放式协议，可以实现不同厂商设备间的无缝对接。特别是随着物联网技术的发展，OPCUA等新型通信架构为设备间的语义互操作提供了可能。这种标准化通信不仅解决了数据采集兼容性问题，更使得系统能够基于统一的数据格式进行智能决策。例如，空调主机可以直接获取配电柜的实时功率数据来调整运行策略，而无需通过复杂的协议转换。通信协议的标准化是构建真正智能化楼宇控制系统的基础条件。

3.7 人机交互界面的智能优化

现代智能楼宇管理系统正在从单纯的设备监控向人性化交互转变，通过将暖通空调控制与电气自动化系统整合到统一的人机界面中，管理人员可以直观掌握建筑整体能效状态。基于大数据分析的预测性界面能够提前显示可能出现的能源浪费情况，并提供优化建议。移动端应用的开发使得远程监控和策略调整成为可能，管理人员可以随时根据天气变化或使用需求调整运行参数。此外，增强现实技术的引入为设备维护提供了新的可能，维修人员通过AR眼镜即可获取设备实时运行数据和故障诊断信息。这种智能化的交互方式大大降低了系统管理难度，提升了运维效率。

3.8 边缘计算与云端协同的架构创新

在暖通空调与电气自动化的深度融合过程中，计算架构的创新发挥着关键作用。传统的集中式控制模式难以满足实时性要求，而完全依赖云端又存在延迟问题。边缘计算节点的引入可以在设备端就近处理传感器数据，实现毫秒级的实时响应。同时，云端平台负责长期数据的存

储和分析,为系统优化提供决策支持。这种边云协同的架构既确保了关键控制指令的即时执行,又能利用云端的强大算力进行深度学习模型的训练。例如,空调末端的边缘计算单元可以实时调节风阀开度,而云端则持续优化整个系统的能效模型。这种分层计算模式为大型建筑的智能化管理提供了可靠的技术支撑。

4 发展趋势与展望

4.1 智能化与自主决策能力提升

未来智能楼宇节能系统将向更高水平的智能化方向发展,系统自主决策能力将显著增强。通过深度学习算法的持续优化,系统将具备更强的环境感知和预测能力,能够自主识别建筑使用模式和环境变化趋势。强化学习技术的应用将使系统具备自我学习和优化能力,在不断运行中持续改进控制策略。数字孪生技术的深度融合,将实现对楼宇能源系统的全生命周期仿真和优化。这些技术进步将推动系统从当前的自动化控制向真正的智能化管理转变,大幅提升节能效果和运行可靠性。

4.2 多能源系统协同优化

随着可再生能源在建筑中的广泛应用,多能源协同优化将成为重要发展方向。系统将实现传统能源与光伏、地源热泵等可再生能源的智能调配,根据能源价格、天气条件等因素动态优化用能策略。储能技术的进步将促进能源时空调配能力的提升,实现削峰填谷和需求响应。氢能等新型能源形式的引入,将进一步丰富能源协同优化的可能性。这种多能互补的系统架构将显著提高能源利用效率,推动建筑向近零能耗目标迈进。

4.3 数字孪生技术深度应用

数字孪生技术在智能楼宇节能领域的应用将不断深化,形成虚实结合的新型管理模式。通过建立高精度的三维虚拟模型,实现对物理系统的实时映射和预测性维护。基于数字孪生的仿真优化将支持系统参数的在线调整和策略预演,大幅降低试错成本。数字孪生平台还将整合建筑全生命周期的数据流,为能效管理提供决策支持。这种技术路径将改变传统的经验型管理模式,实现更加科学精准的能源管理。

4.4 边缘计算与分布式架构演进

智能楼宇节能系统的计算架构将向边缘计算和分布式处理方向发展。通过在设备端部署边缘计算节点,实现数据的本地化处理和实时响应,降低系统延迟。分布式智能终端的广泛应用将增强系统的可靠性和灵活

性,避免集中式架构的单点故障风险。5G 等新一代通信技术的支撑,将确保分布式节点间的高效协同。这种架构演进既能满足实时性要求,又能适应大规模系统的扩展需求,为智能楼宇节能提供更强大的技术支撑。

4.5 标准化与生态系统构建

行业将加快建立统一的技术标准和开放接口,促进智能楼宇节能生态系统的形成。通过制定设备互联互通标准,打破厂商间的技术壁垒,实现不同系统间的无缝集成。开放平台的建设将吸引更多开发者参与应用创新,丰富节能解决方案。安全标准的完善将保障系统运行的可靠性,防范网络安全风险。这种标准化和生态化发展模式将降低技术应用门槛,加速智能节能技术的普及推广,推动行业整体水平提升。

5 结束语

暖通空调与电气自动化融合的智能楼宇节能方案,代表了建筑节能领域的关键发展方向。通过智能化控制与系统协同,能够显著降低楼宇能耗,提升整体运行效率。未来仍需进一步优化算法、强化数据驱动决策,并探索更广泛的跨系统联动模式,以适应不同场景需求。这一领域的持续突破,将为全球低碳建筑发展贡献重要的技术与实践参考。

参考文献

- [1] 房娟. 节能减排理念下绿色建筑暖通空调节能优化探讨[J]. 中国战略新兴产业, 2024, (18): 111-113.
- [2] 李硕, 王玮. 超高层建筑暖通空调系统设计分析[J]. 住宅与房地产, 2024, (17): 123-125.
- [3] 陈璐. 暖通空调的节能设计及设备降噪分析[J]. 四川建材, 2024, 50(05): 227-229.
- [4] 刘旭峰, 陈力, 蒙飞, 陈勇. 智慧城市中绿色建筑及暖通空调设计研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (03): 126-128.
- [5] 江亮根. 暖通空调系统的自动化控制技术研究[J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(03): 9-11.
- [6] 徐广源, 李岩, 田善鹏. 试析暖通空调中的节能技术以及自动化系统优化设计[J]. 房地产世界, 2024, (02): 131-133.
- [7] 刘毅, 彭冬, 覃国辉. 节能减排理念下绿色建筑暖通空调节能优化[J]. 陶瓷, 2024, (01): 206-208.
- [8] 包自洁. 机电安装工程暖通空调新技术及发展趋势研究[J]. 中国住宅设施, 2023, (11): 169-171.