

建筑电气暖通空调节能探讨

金 山

宁夏路鑫工程试验检测有限公司 宁夏 银川 751100

摘 要：建筑领域中，电气与暖通空调系统的能耗问题备受关注。当前，建筑电气系统存在照明、电梯等用电负荷分布不均，变压器和线路损耗大等问题；暖通空调系统冷热源设备、输配与末端设备能耗占比高，且二者独立控制，协同不足。本文深入探讨了建筑电气节能关键技术、暖通空调系统节能技术，以及电气与暖通空调系统协同节能策略，旨在为建筑节能提供有效参考。

关键词：建筑电气；暖通空调；节能技术

引言：随着社会对节能减排的重视程度不断提升，建筑领域的能耗问题愈发受到关注。在建筑运行中，电气系统与暖通空调系统是两大主要耗能板块。电气系统涵盖照明、动力设备等多方面，存在负荷分配不合理、能效低等问题；暖通空调系统则因冷热源、输配及末端设备能耗大，且与电气系统缺乏协同，导致能源浪费严重。因此，深入研究建筑电气与暖通空调系统的节能技术和策略，具有重要的现实意义和迫切性。

1 建筑电气与暖通空调系统能耗现状分析

1.1 建筑电气系统能耗特点

（1）照明、电梯、动力设备等用电负荷分布不均，且存在时段性波动。照明系统能耗占建筑总电耗的15%-25%，公共区域如走廊、大厅照明常出现长明灯现象；电梯能耗随使用频次变化，早晚高峰期负荷骤增，闲置时段仍有待机能耗；动力设备中，水泵、风机等连续运行设备能耗占比超30%，而部分生产类动力设备存在间歇性高负荷运行情况。（2）电气系统能效问题突出，变压器损耗与线路损耗显著。变压器在低负载率（低于30%）运行时，损耗率可达8%-12%，多数建筑变压器未根据实际负荷动态调节；线路损耗因导线选型不当、敷设距离过长等问题，损耗率普遍在5%-8%，老旧建筑线路老化进一步加剧能耗浪费。

1.2 暖通空调系统能耗特点

（1）冷热源设备能耗占暖通系统总能耗的60%-75%，其中锅炉运行能耗受燃料类型与热效率影响，燃气锅炉热效率约85%-92%，燃煤锅炉仅70%-80%；冷水机组COP值普遍在3.0-5.0，部分老旧机组低于2.5；热泵系统受环境温度影响大，冬季制热COP值较夏季制冷下降30%-50%。（2）输配系统与末端设备能耗占比约25%-40%。水泵、风机多采用定速运行，实际负荷与额定负荷不匹配时，能耗浪费超20%；末端设备如风机盘管，因清

洁不到位、温控精度差，导致能耗增加10%-15%^[1]。

1.3 协同能耗问题与瓶颈

（1）电气与暖通系统独立控制，缺乏联动调节。电气系统根据用电负荷调节供电，暖通系统依据室温控制设备，两者未考虑相互影响，如夏季空调高负荷运行时，电气系统未针对性优化供电方案，导致额外能耗，造成整体能源浪费超15%。（2）峰谷负荷不匹配，可再生能源利用率低。建筑用电高峰集中在白天，暖通负荷高峰多在夏季午后和冬季夜间，两者峰谷时段错位，增加储能设备负担；可再生能源如太阳能发电，因与建筑负荷需求不同步，且缺乏有效的协同调度，利用率仅20%-30%，远低于设计预期。

2 建筑电气节能关键技术

2.1 供配电系统优化

（1）变压器经济运行与无功补偿技术：通过动态调整变压器运行台数与负载率，使变压器处于70%-85%的经济负载区间，降低损耗，较传统运行方式节能8%-12%；同时采用低压并联电容器组进行无功补偿，将功率因数提升至0.95以上，减少无功功率传输损耗，避免因功率因数过低产生的电费罚款，单台变压器年节电可达数千度。（2）智能配电柜与电能质量监测：智能配电柜集成电流、电压、功率等实时监测模块，可精准定位高能耗回路与异常用电情况，及时切断闲置设备电源；搭配电能质量分析系统，能有效抑制谐波（总谐波畸变率控制在5%以内）、稳定电压，避免因电能质量问题导致的设备低效运行与损坏，延长设备使用寿命3-5年。

2.2 照明系统节能

（1）LED照明与智能调光控制：替换传统荧光灯、白炽灯为LED灯，光效提升50%以上，寿命延长3-5倍，单盏灯年耗电量从数百度降至数十度；结合人体感应、光照度感应的智能调光系统，在人员离开或自然光充足

时自动降低亮度或关闭灯具,公共区域照明能耗可再降低30%-40%。(2)自然采光与人工照明联动设计:通过优化建筑开窗面积、采用导光管、反光板等装置,将自然光引入室内深处,扩大自然采光覆盖范围;同时利用光照传感器联动人工照明,当自然光照度低于设定值(如300lux)时,自动开启对应区域照明,实现“按需照明”,办公区域可减少人工照明使用时间40%-60%^[2]。

2.3 动力设备节能

(1)电梯群控与能量回馈技术:电梯群控系统根据乘客流量动态分配电梯运行楼层与停靠顺序,减少电梯空驶与候梯时间,降低无效能耗;能量回馈装置可将电梯制动过程中产生的电能(占电梯总能耗的15%-25%)转化为交流电回馈至电网,单部电梯年节电可达1万-2万度,高层住宅电梯群年节能效果更显著。(2)变频调速技术在水泵、风机中的应用:将传统定速水泵、风机改造为变频控制,根据实际负荷(如空调冷冻水需求、新风量需求)调节转速,当负荷降至50%时,设备能耗仅为定速运行的25%(遵循“平方律”能耗特性),较定速运行节能20%-35%,且能减少设备启停冲击,降低机械磨损。

2.4 可再生能源集成应用

(1)光伏发电与建筑一体化(BIPV):将光伏组件替代建筑屋顶、幕墙等建材,实现“发电与建筑功能一体化”,避免单独占用土地;结合并网逆变器与储能设备,优先使用光伏自发电力,余电上网或储存,商业建筑BIPV系统年发电量可达建筑总用电量的10%-20%,降低对市政电网依赖。(2)风力发电与储能系统协同设计:在建筑周边或屋顶安装小型风力发电机(适配3-5m/s的低风速环境),利用风能发电;搭配锂电池储能系统,存储风电盈余电能,在用电高峰或无风时段释放,解决风电间歇性问题,实现“风电+储能”协同供电,偏远地区建筑可再生能源供电占比可提升至30%以上^[3]。

3 暖通空调系统节能技术

3.1 冷热源设备能效提升

(1)高效冷水机组、地源热泵与空气源热泵技术:选用COP值4.5以上的磁悬浮离心式冷水机组,较传统螺杆机组节能20%-30%;地源热泵利用地下恒温特性,冬季制热COP达3.5-4.5,夏季制冷COP达4.0-5.0,较空气源热泵节能15%-25%;低温空气源热泵通过喷气增焐技术,-25℃环境下仍能稳定运行,能效比提升10%-15%。

(2)冷热电三联供(CCHP)系统优化:以天然气为能源,同时产出电、冷、热,能源综合利用率达80%以上,较传统分供系统节能30%-40%;通过负荷预测模型动态

调整机组运行工况,匹配建筑冷、热、电需求变化,减少能源浪费,商业建筑应用中年均节能费用可达数十万元。

3.2 输配系统节能

(1)水泵/风机变频调速与水力平衡调节:采用变频技术控制水泵、风机转速,根据冷热水流量、风量需求实时调节,负荷降至60%时,能耗仅为定速运行的36%(遵循“立方律”特性),较定速系统节能30%-45%;通过静态平衡阀与动态平衡阀组合调节,使各支路流量偏差控制在5%以内,避免水力失调导致的能耗浪费。(2)低阻力管网设计与保温优化:选用光滑内壁的PPR、PE管替代传统钢管,管网沿程阻力降低15%-20%;采用高密度聚氨酯保温材料(导热系数 $\leq 0.024\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$),外包铝箔保护层,减少冷热量损失,冷水管网冷损失率控制在5%以内,热水管网热损失率控制在8%以内^[4]。

3.3 末端设备节能

(1)智能温控与变风量(VAV)系统:房间温控器精度达 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,可根据人员presence自动调节温度,避免过度供冷供热;VAV系统通过风阀调节各区域风量,按需分配冷量,较定风量系统节能25%-35%,办公区域应用可减少风机能耗约40%。(2)辐射供暖/供冷与相变材料应用:辐射板通过水媒低温辐射供暖($40\text{-}50^\circ\text{C}$)、高温辐射供冷($16\text{-}18^\circ\text{C}$),较对流式空调节能15%-20%,且室内温度分布更均匀;将相变材料(如石蜡类)融入建筑围护结构,利用其相变潜热吸收或释放热量,平抑室内温度波动,减少空调启停次数,节能8%-12%。

3.4 自然能源利用技术

(1)蒸发冷却与间接蒸发冷却技术:在干燥地区(室外湿球温度 $\leq 25^\circ\text{C}$),蒸发冷却机组可直接制备 $7\text{-}12^\circ\text{C}$ 的冷风,较机械制冷节能60%-70%;间接蒸发冷却通过空气-空气换热器实现新风降温,避免新风与回风混合污染,较直接蒸发冷却节能10%-15%,适用于数据中心、商场等大新风需求场景。(2)太阳能空调与热回收通风系统:太阳能吸收式空调利用太阳能集热器提供 $100\text{-}120^\circ\text{C}$ 热水驱动制冷机组,制冷COP达0.7-1.2,可满足建筑30%-50%的冷负荷需求;热回收通风系统通过全热换热器回收排风中的冷量(夏季)或热量(冬季),热回收效率达70%-80%,减少新风处理能耗,年节能率约15%-20%。

4 电气与暖通空调系统协同节能策略

4.1 智能控制系统集成

(1)建筑能源管理系统(BEMS)架构设计:构建“中央监控层-区域控制层-设备执行层”三级架构,中央层整合电气电表、暖通温控器等数据,实现全局能耗

可视化；区域层按功能分区（如办公区、机房）建立子系统，动态调配能源；设备执行层通过通讯协议（如Modbus、BACnet）连接电气开关、空调机组，形成“数据采集-分析-控制”闭环，系统响应延迟控制在10秒以内，整体能耗管理效率提升30%。（2）电气与暖通设备联动控制逻辑：遵循“按需供能”原则，当暖通系统检测到空调负荷升高时，自动向电气系统发送功率需求信号，电气系统优先调度光伏自发电力或降低非关键设备（如备用照明）功率，保障空调供电；反之，电气系统监测到电网低谷时，联动暖通系统提前储存冷量/热量（如冰蓄冷、水蓄热），减少高峰时段能耗，联动控制可降低系统整体能耗15%-20%。

4.2 需求响应与负荷管理

（1）峰谷电价机制下的设备启停优化：依据峰（1.2元/度）、平（0.7元/度）、谷（0.3元/度）电价时段，制定设备运行计划：高峰时段（10:00-14:00、18:00-22:00）减少电梯使用频次、降低空调制冷量（温度设定上调1-2℃）；低谷时段（23:00-7:00）启动储能充电、运行热泵制热，单栋商业建筑月均电费可降低25%-35%。（2）储能系统与可再生能源的调度策略：采用“光伏+锂电池储能”模式，白天光伏发电优先供给暖通设备，盈余电能存入储能（SOC控制在20%-80%）；夜间储能释电能驱动水泵、风机，不足部分由电网补充；当风力发电波动时，通过储能快速平抑输出，保障暖通系统稳定运行，可再生能源消纳率提升至60%以上^[5]。

4.3 数字化与物联网技术应用

（1）传感器网络与大数据分析在能耗监测中的作用：部署温度、电流、功率等传感器（每50m²至少1个），实时采集电气与暖通数据，通过大数据分析识别能耗异

常（如线路损耗突增、空调COP下降），定位故障点精度达90%；同时建立能耗预测模型，提前3天预判负荷变化，为协同控制提供依据，异常能耗浪费减少40%。

（2）人工智能算法在设备运行优化中的应用：采用强化学习算法优化设备运行参数，如根据室外温湿度自动调节空调风机转速、变压器负载率；通过神经网络算法协调电气与暖通设备启停顺序，避免负荷叠加导致的电网冲击，设备运行效率提升25%，故障停机率降低18%。

结束语

综上所述，对建筑电气与暖通空调系统进行节能探讨意义重大。通过本文对两者能耗现状的分析，以及在电气节能关键技术、暖通空调系统节能技术，还有二者协同节能策略等方面的研究可知，合理运用这些技术和策略能够有效降低建筑能耗。未来，随着科技不断发展，还应持续探索创新节能方式，进一步提升建筑能源利用效率，推动建筑行业朝着绿色、低碳、可持续方向稳步迈进。

参考文献

- [1]常天宏.建筑暖通空调标准化节能技术相关探讨[J].大众标准化,2023,(08):74-76.
- [2]李欣军.建筑暖通空调节能技术的相关探讨[J].中国住宅设施,2022,(01):100-102.
- [3]宋丹辉.暖通空调节能技术在绿色建筑中的应用探究[J].智能建筑与智慧城市,2021,(04):122-123.
- [4]逢振.暖通空调系统在绿色建筑中的节能措施论述[J].房地产世界,2021,(06):93-95.
- [5]贺青龙.基于某商业综合体的暖通空调机电工程节能减排设计研究[J].房地产世界,2021,(05):125-127.