

被动式节能技术与电气暖通空调设计融合的工程实践研究

黎吉武

460033*****321X

摘要:在全球能源危机与“双碳”目标双重驱动下,建筑领域节能降耗成为行业转型的核心议题。被动式节能技术通过优化建筑本体设计与自然环境协同,可显著降低建筑运行能耗;电气暖通空调系统作为建筑能耗的主要组成部分,其设计合理性直接影响节能效果。本文系统探讨被动式节能技术与电气暖通空调设计的融合机理,通过建筑朝向优化、围护结构热工性能提升、自然通风与采光系统协同设计,结合暖通空调系统的高效设备选型、输配系统优化及智能调控策略,融合设计需重点关注气候适应性分析、多系统耦合效应及全生命周期成本控制,最终形成“被动优先、主动优化、智能调控”的节能技术路径,希望能够为绿色建筑高质量发展提供理论支撑与实践参考。

关键词:被动式节能技术;电气暖通空调;融合设计;节能降耗;智能控制

DOI: 10.64216/3104-9664.25.02.001

引言

建筑行业作为全球能源消费的三大领域之一,其运行能耗占社会总能耗的30%以上,其中暖通空调系统能耗占比高达40%至60%。随着我国城镇化进程加速与人民生活水平提升,建筑能耗总量持续增长,能源供需矛盾日益突出。在此背景下,被动式节能技术凭借其低能耗、低成本的显著优势,成为建筑领域实现“双碳”目标的关键路径。该技术通过建筑布局、围护结构、自然通风采光等本体设计手段,最大限度利用自然条件调节室内环境,减少对主动式机械系统的依赖。与此同时,电气暖通空调系统作为保障室内热舒适的核心设备,其设计理念正从“满足需求”向“按需供给、高效运行”转变。将被动式节能技术与暖通空调设计深度融合,不仅能够从源头降低能耗需求,还可通过系统优化进一步提升能源利用效率,对推动建筑业绿色低碳转型具有重要的现实意义。

本文以被动式节能技术与电气暖通空调设计的融合为核心,系统研究二者协同优化的理论方法与实践路径。研究内容包括:(1)解析被动式节能技术与暖通空调系统的内在关联;(2)构建融合设计的理论框架与关键技术体系;(3)提出不同气候区的差异化融合策略;(4)分析融合设计的综合效益与实施保障措施。技术路线采用理论分析、数值模拟与逻辑推演相结合的方法,通过系统梳理气候适应性设计原理、暖通空调系统节能技术及智能控制理论,提炼融合设计的关键要素

与优化路径,最终形成可推广的工程实践方案。

1 被动式节能技术与暖通空调系统的理论关联

1.1 被动式节能技术的核心内涵与分类

被动式节能技术是指在不依赖机械动力设备的前提下,通过建筑设计手段充分利用自然能源(如太阳能、风能、地热能)与气候条件,实现室内环境调控的低能耗技术体系。其核心在于“被动优先”,即通过优化建筑本体设计减少环境负荷,为主动式系统运行创造有利条件。根据作用原理可分为四类:(1)气候适应性设计:依据建筑所在地区的气候特征(如温度、湿度、太阳辐射强度)确定合理的建筑朝向、间距与体型系数,减少不利气候因素的影响;(2)围护结构优化:通过墙体、屋顶、门窗等部位的热工性能提升(如增加保温层厚度、采用Low-E玻璃),降低传热损失;(3)自然通风与采光:利用风压、热压原理组织穿堂风,结合天窗、导光管等设施引入自然光,减少人工照明与机械通风能耗;(4)遮阳与蓄热:通过设置外遮阳构件(如百叶、遮阳棚)、选用相变蓄热材料等,调节室内得热量与热稳定性^[1]。

1.2 电气暖通空调系统的能耗特征与设计挑战

电气暖通空调系统由冷热源、输配系统、末端设备及控制装置组成,其能耗特征表现为:冷热源设备(如冷水机组、锅炉)能耗占比最大,约为系统总能耗的50%至70%;输配系统(如水泵、风机)因输送能耗与管网

阻力密切相关，节能潜力显著；末端设备（如风机盘管、散热器）的运行效率直接影响室内热舒适与能耗水平。当前设计面临三大挑战：一是负荷计算精度不足，传统稳态计算方法难以反映建筑动态热过程，导致设备选型偏大；二是系统匹配性差，冷热源与末端设备、输配系统之间缺乏协同优化；三是控制策略单一，多数系统仍采用定流量、定温差控制模式，无法实现按需调节^[2]。

1.3 被动式技术与暖通空调系统的协同机理

被动式节能技术与暖通空调系统并非孤立存在，二者在能耗控制、环境调节、系统运行等方面具有显著的协同效应。能耗控制协同体现在被动式技术通过降低建筑负荷减少暖通空调系统的装机容量与运行能耗，而高效暖通空调系统则可进一步挖掘被动式设计的节能潜力；环境调节协同表现为自然通风与机械通风的互补、自然采光与人工照明的配合，通过多系统联动维持室内热舒适；系统运行协同则是通过智能控制平台整合被动式设施（如可开启外窗、遮阳装置）与暖通空调设备，实现“被动优先、主动补充”的运行策略。

2 融合设计的理论框架与关键技术体系

2.1 融合设计的指导性原则

融合设计需遵循四项基本原则：（1）气候适应性原则，根据不同地区的气候特征选择适宜的被动式技术与暖通空调系统组合；（2）系统集成原则，将被动式设施纳入暖通空调系统整体设计，避免功能冲突；（3）全生命周期原则，综合考虑设计、施工、运行、拆除各阶段的成本与效益；（4）动态优化原则，通过智能控制实现被动式设施与主动系统的实时协同。

2.2 融合设计的关键技术体系

构建包含四大模块的协同技术体系：（1）规划设计协同技术：基于气候分析软件（如 Ecotect、DesignBuilder）模拟建筑全年能耗，优化朝向、体型与窗墙比，确定被动式设施（如遮阳、自然通风口）的最佳布局；（2）围护结构与设备选型协同技术：根据建筑负荷特性选择高效保温材料、Low-E 玻璃及暖通空调设备（如磁悬浮冷水机组、空气源热泵），确保围护结构热阻与设备能效匹配；（3）自然与机械系统协同技术：设计自然通风与机械通风的切换逻辑，利用热压通风减少空调开启时间；通过导光管、反光板等设施提升自然采光系数，降低照明能耗；（4）智能控制协同技

术：建立基于物联网的集成控制平台，实时监测室内外环境参数（如温度、湿度、CO₂ 浓度），自动调节被动式设施（如遮阳百叶角度、外窗开度）与暖通空调设备运行状态^[3]。

2.3 不同气候区的差异化融合策略

我国地域辽阔，气候差异显著，需制定差异化融合策略：（1）严寒地区：以保温隔热为核心，采用厚保温层墙体、双层 Low-E 玻璃，结合地源热泵与热回收新风系统，利用被动式太阳能采暖减少供暖能耗；（2）寒冷地区：注重冬季保温与夏季隔热平衡，通过外遮阳与夜间通风降低空调负荷，选用空气源热泵与变风量系统；（3）夏热冬冷地区：强调自然通风与遮阳，采用可调外遮阳、通风屋面，结合辐射吊顶与置换通风系统；（4）夏热冬暖地区：以遮阳和自然通风为主，利用蒸发冷却、太阳能空调等技术，减少机械制冷依赖；（5）温和地区：充分利用自然通风与被动式太阳能，简化暖通空调系统配置，以局部调节为主。

3 融合设计的工程实践路径

3.1 规划设计阶段的协同优化

规划设计是融合设计的基础，需通过以下步骤实现协同：（1）气候数据收集与分析：收集项目所在地的逐时气象数据（如温度、湿度、风速、太阳辐射），分析主导风向、太阳高度角等参数；（2）建筑布局优化：采用行列式或自由式布局，增大迎风面面积，利用建筑群体效应引导自然通风；控制建筑间距以满足日照标准要求；（3）被动式设施布局：在外墙设置可调节外遮阳，屋顶布置通风间层与太阳能集热器，底层架空引入自然风，楼梯间、中庭作为拔风井增强热压通风。

3.2 围护结构与暖通空调设备的协同选型

围护结构热工性能直接影响建筑负荷，需与设备选型协同：（1）墙体与屋顶：严寒地区墙体传热系数应 $\leq 0.3\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，采用石墨聚苯板等高效保温材料；夏热冬暖地区屋顶设置反射隔热涂料，降低太阳辐射吸收；（2）门窗系统：选用断桥铝合金窗框与三玻两腔 Low-E 玻璃，气密性等级不低于六级，外窗可开启面积不小于窗面积的 30%；（3）暖通空调设备：根据建筑负荷计算结果选择高能效设备，如冷水机组 COP ≥ 5.0 ，锅炉热效率 $\geq 95\%$ ，风机水泵采用变频控制，效率不低于国家节能标准^[4]。

3.3 自然与机械系统的协同运行策略

制定分时分区协同运行策略：（1）过渡季节：优先开启自然通风与外窗，利用室外低温空气降温；当室外焓值高于室内时，切换至机械通风并启动热回收装置；（2）夏季：白天关闭外窗启用遮阳，利用夜间通风预冷围护结构；空调系统采用变流量控制，结合辐射吊顶与置换通风提升舒适度；（3）冬季：利用被动式太阳能采暖，南向窗户白天开启；空调系统采用地板辐射供暖，结合热回收新风系统预热新风。

3.4 智能控制平台的集成应用

构建基于物联网的集成控制平台，实现多系统协同：（1）数据采集层：部署温湿度、CO₂浓度、光照强度传感器，实时监测室内外环境参数；（2）数据处理层：通过边缘计算节点对数据进行预处理，结合建筑能耗模型预测负荷变化；（3）控制决策层：采用模型预测控制（MPC）算法，根据实时负荷与预设目标（如能耗限额、热舒适指标）优化被动式设施与暖通空调设备运行参数；（4）执行层：通过BACnet、Modbus等协议控制外窗、遮阳、空调机组、风机水泵等设备，实现闭环调节。

4 融合设计的综合效益与实施保障

4.1 综合效益分析

融合设计可带来显著的经济、环境与社会效益：（1）经济效益：降低建筑运行能耗30%至50%，减少暖通空调设备初投资20%至30%，通过智能控制进一步优化运行费用；（2）环境效益：减少二氧化碳排放40%至60%，降低氮氧化物、硫氧化物等污染物排放，缓解城市热岛效应；（3）社会效益：提升室内热舒适与空气质量，改善人居环境；推动建筑节能技术进步，促进绿色产业发展。

4.2 实施保障措施

为确保融合设计落地，需采取以下保障措施：（1）政策标准完善：制定融合设计专项技术规程，明确被动式技术与暖通空调系统的协同设计要求；将融合设计效果纳入绿色建筑评价标准；（2）技术创新支持：加大对高效保温材料、智能遮阳、低品位热能利用等技术的研发投入；建立产学研用协同创新平台；（3）人才培养强化：高校开设建筑节能与暖通空调融合设计相关课

程；企业加强技术人员培训，提升协同设计能力；（4）场机制激励：推行合同能源管理模式，鼓励业主采用融合设计方案；对达到超低能耗标准的建筑给予财政补贴或税收优惠。

5 结论与展望

5.1 研究结论

本文系统研究了被动式节能技术与电气暖通空调设计的融合机理与实践路径，得出以下结论：（1）被动式技术与暖通空调系统在能耗控制、环境调节、系统运行方面具有显著协同效应，融合设计可实现建筑节能率提升30%至50%；（2）构建的“规划设计-设备选型-协同运行-智能控制”技术体系，为不同气候区提供了差异化融合策略；（3）智能控制平台是实现多系统协同的核心，通过实时监测与优化调节可进一步提升节能效果；（4）融合设计需政策、技术、人才、市场多方协同保障，才能推动规模化应用。

5.2 研究展望

未来研究可从以下方向深化：（1）开发更精准的建筑动态负荷预测模型，提升被动式设施与暖通空调系统的匹配精度；（2）探索新型被动式技术（如相变蓄热墙体、光伏一体化遮阳）与暖通空调系统的融合应用；（3）研究极端气候条件下融合设计的韧性提升策略；（4）开展融合设计的全生命周期成本效益分析，为投资决策提供更全面依据。随着技术进步与政策支持，被动式节能技术与暖通空调设计的融合将成为建筑领域实现“双碳”目标的主流路径，推动行业向绿色、低碳、可持续方向转型。

参考文献

- [1] 王昭俊,王译笛.严寒和寒冷地区被动房负荷特性及空调系统优化[J].建筑节能,2024(4):121-127.
- [2] 刘刚,薛一冰,房涛.被动式低能耗建筑供暖通风节能设计分析与探讨——以山东建筑大学教学实验综合楼为例[J].墙材革新与建筑节能,2018(1):57-59.
- [3] 李成磊,刘蔓靓,赵斌.高层办公建筑被动式绿色化设计探索[J].建筑技术,2023(12):1456-1460.
- [4] 周明磊.被动式超低能耗建筑暖通设计要点论述[J].住宅与房地产,2025(15):124-126.