

空调系统中相变储能技术的节能效率评估与优化

姜干清 易雪峰

浙江大冲能源科技股份有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 随着能源消耗持续增长和环境问题日益严峻,建筑空调系统的节能降耗引起广泛关注。相变储能技术因其储能密度高、温度波动小等优势,在空调系统节能改造中具有重要应用价值。本文系统分析了相变储能技术在空调系统中的配置方式,深入研究其对系统性能的影响机理,建立了科学的节能效率评估方法,通过材料选择优化、储能装置结构设计和系统智能控制等多维度探讨,提出了相变储能空调系统的综合优化策略。

关键词: 相变储能技术; 空调系统; 节能效率; 优化策略; 智能控制

引言

全球气候变化和能源危机的加剧使得建筑节能成为当前亟待解决的重要课题。建筑能耗中空调系统占比高达40%-50%,其运行效率直接影响建筑整体能耗水平。传统空调系统受制于电网负荷峰谷差大、系统能效比低等问题,难以满足日益增长的节能降耗需求。相变储能技术凭借其独特的储能特性和良好的温度调节功能,为空调系统节能优化提供了新的技术路径。该技术通过在系统中引入相变材料,利用其相变潜热储存和释放能量,可有效削减空调系统峰值负荷,提高能源利用效率。近年来,相变储能技术在建筑空调领域的应用研究取得显著进展,但在系统集成、性能评估和优化控制等方面仍存在诸多挑战。因此,深入研究相变储能技术在空调系统中的应用特性,建立科学的节能效率评估体系,探索系统优化策略具有重要的理论意义和实践价值。

1 相变储能系统在空调系统中的配置方式

空调系统中相变储能技术的配置方式选择直接关系到系统的整体性能和节能效果。从技术实现角度来看,相变储能系统主要采用直接式储能和间接式储能两种配置方式。直接式储能通过将相变材料直接集成到空调系统的换热部件中,实现冷热量的储存和释放。具体做法包括在蒸发器翅片间填充相变材料,或在冷凝器表面涂覆相变材料微胶囊等,这种配置方式具有结构紧凑、换热效率高的优点,可显著减小系统体积,适用于空间受限的场合。但直接式储能也面临相变材料封装难度大、维护不便等技术挑战,且一旦发生泄漏可能影响整个空调系统的正常运行。间接式储能则采用独立的储能装置与空调系统进行耦合,相变材料被封装在专门的储能模块中,通过热交换器与空调系统进行能量交换,这种配置方式虽然增加了系统复杂度,但具有更高的设计灵活

性和维护便利性,便于相变材料的更换和系统的升级改造。在实际应用中,需要综合考虑建筑物使用特点、负荷特性、安装空间等因素,选择最适合的配置方式。对于新建建筑,可优先考虑直接式储能以实现系统的一体化设计;而对于既有建筑的改造,间接式储能则具有更好的适应性和可行性。

2 相变储能技术对空调系统性能的影响

相变储能技术的引入为空调系统带来了显著的性能提升。从能量利用的时空分布来看,相变储能技术通过其独特的储能和释能特性,有效改善了空调系统的运行状态。在时间维度上,相变储能装置能够捕捉并储存夜间低谷电价时段的冷量,在白天用电高峰时段释放,实现了用能时间的错峰调节,这种“削峰填谷”效应不仅降低了电网的峰谷差,还显著减少了运行成本。从空间维度来看,相变材料的相变过程为室内环境提供了一个天然的温度调节器。当室温升高时,相变材料吸收多余热量并发生相变,起到降温作用;当室温降低时,相变材料释放潜热,有助于维持室温稳定,这种被动式的温度调节特性使得空调系统的启停频率大幅降低,显著提升了系统的能效比。此外,相变储能技术还对空调系统的制冷循环过程产生积极影响。相变材料在蒸发器和冷凝器部位的应用,能够减小制冷剂的温度波动,提高换热效率,优化制冷循环的品位。同时,相变储能装置还能作为系统的热惯性缓冲器,减轻空调机组的负荷波动,延长设备使用寿命,通过系统运行数据分析表明,配备相变储能技术的空调系统比传统空调系统具有更高的制冷系数和更稳定的运行性能。

3 空调系统中相变储能技术的节能效率评估方法

3.1 能耗模型建立

针对空调系统中相变储能技术的节能效率评估,首先需要构建科学合理的能耗模型。该模型应充分考虑系

统各组成部分的能量传递过程和热力特性。在模型构建过程中,需要重点关注制冷剂循环系统、相变储能装置、末端设备等核心部件的运行参数。具体而言,制冷剂循环系统的模型应包含压缩机功耗、冷凝器散热量、蒸发器制冷量等关键参数;相变储能装置的模型则需要考虑相变材料的热物性参数、相变温度区间、储放能速率等特性;末端设备模型应反映送风温度、风量等运行参数。同时,还需要建立室内外环境条件与系统负荷之间的关系模型,包括建筑围护结构传热、室内热源、太阳辐射等影响因素,通过这些子模型的有机组合,形成完整的系统能耗模型,为后续的节能效率评估提供理论基础。

3.2 实验设计与数据采集

开展相变储能空调系统的节能效率评估实验时,需要制定严谨的实验方案并进行全面的数据采集。实验设计应充分考虑不同气候条件、负荷特性和运行工况的影响。首先,选择具有代表性的实验周期,覆盖典型工作日和休息日,以反映系统在不同使用模式下的表现^[1]。其次,设置多个测点采集系统运行数据,包括压缩机输入功率、制冷剂温度压力、相变储能装置温度场分布、送回风参数等。采用高精度传感器实时监测各项参数,确保数据的准确性和可靠性。同时,建立完善的数据采集系统,实现对测量数据的自动记录和存储。在数据处理过程中,运用统计分析方法剔除异常数据,确保评估结果的客观性。

3.3 节能效率计算方法

相变储能空调系统的节能效率评估采用科学的计算方法,通过对比分析定量评价系统的节能效果。首先,建立标准化的评价指标体系,包括能效比、储能效率、负荷转移率等核心指标。在计算过程中,需要考虑系统在不同运行阶段的能耗特性。对于制冷工况,计算公式可见式1。此外,还需计算经济性指标,如投资回收期、节能经济效益等。在评估过程中,应充分考虑电价政策、设备折旧等因素的影响,确保评估结果的实用性和可参考性,通过建立完整的计算体系,可为相变储能技术的推广应用提供科学依据。

式1: 节能率= (传统空调日耗电量-相变储能空调日耗电量) / 传统空调日耗电量 × 100%

4 相变储能技术在空调系统中的优化策略

4.1 材料选择与改进

优化相变储能技术在空调系统中应用效果的第一个重点环节是材料选择与改进。为了最大程度发挥相变材料在空调系统中的潜力,选材时需要全面考量多个关键

性能指标。对于夏季制冷工况,相变温度在16-20℃的水合盐类材料是理想选择,这一温度范围与空调送风温度相匹配,有利于充分利用相变过程吸收的潜热实现制冷功能。而对于冬季供暖需求,则应选用相变温度在35-40℃的有机相变材料,这类材料在室温附近发生相变,能够在舒适供暖的同时,提供更大的储热密度。选定基础材料后,还需采用科学的改性技术进一步优化材料性能。导热性能的提升是材料改性的重点方向之一,通过向基础相变材料中添加石墨、碳纳米管等导热填料,能够显著提高材料导热系数,加快储放能过程中的热量传递速率,这对于提升空调系统的动态响应能力具有重要意义。此外,微胶囊包覆技术的引入可有效解决相变材料泄漏问题。利用高分子材料对相变材料进行包覆,既能防止液态相变材料的泄漏,又可提高材料制品的体积稳定性,从而延长使用寿命。在材料制备过程中,还需注意工艺参数的精细控制。相变材料性能对制备条件的微小变化较为敏感。温度、压力等因素的细微波动都可能导致材料性能的显著差异。为保证材料性能的一致性和可靠性,需要建立规范的制备流程,实施严格的过程控制。同时,产品质量的抽样检测也不可或缺,通过对关键性能指标的定期检测,能够及时发现并纠正材料制备过程中的偏差,从源头上保障相变材料的应用效果。

4.2 储能装置结构设计优化

4.2.1 增大相变材料与传热介质的接触面积

在相变储能装置的结构设计中,增大传热面积是提升换热效率的重要途径。片管式结构通过在换热管外表面设置矩形或螺旋形翅片,能够显著扩大与相变材料的接触面积,提高单位体积的传热效率。多孔泡沫金属基体的应用则利用其独特的网状结构,形成三维互联的传热通道,不仅增加了接触面积,还能通过金属骨架的高导热性促进热量在相变材料中的快速扩散。微通道换热器采用密集排布的细小流道设计,既能保证较大的比表面积,又可减小传热热阻,是一种高效的结构形式。在结构设计时,需重点关注流道的布置方式,避免出现传热死区,确保传热介质能够均匀分布在整個换热区域^[2]。同时,应当优化流道的横截面形状和排布方式,在保证充分换热的同时降低流动阻力,减少系统的泵功耗,这些结构优化措施能够有效提升储能装置的传热性能,实现快速、高效的储放能过程。

4.2.2 储能装置的保温性能提升

储能装置的保温性能直接影响系统的能量保持效果。多层复合保温结构的设计能够有效降低热损失,其中气凝胶材料作为内层保温层,利用其纳米级多孔结构

提供优异的隔热性能。真空绝热板作为中层保温材料,通过真空层的低导热特性进一步减少热量传递。外层选用的橡塑保温材料则具有良好的防潮性能,可以保护内部保温层免受环境湿度的影响。在各保温层之间设置的反射箔能够利用其低辐射率特性,有效减少辐射换热损失。保温层的连接设计需采用合理的搭接方式,避免形成热桥,并确保接缝处的密封性能,各层保温材料之间应紧密贴合,消除可能存在的空气间隙^[3]。此外,还需建立定期检查和维修机制,及时发现和修复保温层的破损,确保保温效果的持久性,这种多层复合保温结构的应用能够显著提高储能装置的保温效果,减少能量损失。

4.2.3 新型储能装置结构的探索

相变储能技术的不断发展推动了新型储能装置结构的创新。相变微胶囊复合板通过高分子材料包覆相变材料,形成稳定的核壳结构,不仅提高了相变材料的封装性能,还简化了安装维护流程。石墨烯气凝胶储能体利用其独特的三维网络结构,在提供高效传热通道的同时,具备轻质、高强的优势。相变材料-金属有机骨架复合储能装置借助多孔配位化合物的大比表面积特性,实现快速的热量传递。3D打印定制化储能模块则通过先进制造技术,实现复杂内部结构的精确构建,为传热路径的优化提供了新思路,这些新型结构虽然展现出良好的应用前景,但在实际推广应用前,需要通过严格的性能测试和长期运行验证,确保其可靠性和稳定性,同时还要考虑成本因素,评估其经济可行性。

4.3 系统集成与优化控制

系统集成与优化控制是提高相变储能技术在空调系统中应用效果的重要手段。首先,需要将储能系统与空调系统进行优化整合,实现能量的高效利用。例如,可

以在空调系统的冷凝器或蒸发器处设置相变储能装置,利用空调系统在运行过程中产生的余热或冷量进行储能。其次,应采用智能控制系统对空调系统和储能系统进行优化控制,通过实时监测室内温度、空调系统的运行状态和储能装置的储能情况等信息,自动调节空调系统的运行模式和储能系统的充放电策略^[4]。此外,还可以根据空调系统的使用规律和电力供应情况合理安排相变储能装置的充放电时间。例如,在夜间低谷电价时段进行储能操作,在白天高峰电价时段释放冷量进行供冷等操作,通过系统集成与优化控制策略的制定与实施,可以进一步提高相变储能技术在空调系统中的应用效果,降低能耗,实现节能减排目标。

结束语

通过深入研究相变储能技术在空调系统中的应用,建立了科学的节能效率评估方法,提出了系统性的优化策略。研究表明,相变储能技术能够有效提升空调系统的运行效率,实现显著的节能效果。未来还需要进一步探索新型相变材料,开发高效储能装置,完善智能控制策略,推动该技术的工程化应用。相变储能技术的发展将为建筑节能领域提供重要的技术支撑,对实现建筑能耗降低和环境保护具有积极意义。

参考文献

- [1]张宁.新能源背景下储能空调系统建设策略研究[J].储能科学与技术,2023,12(05):1747-1748.
- [2]裴彦蕾.空调冷凝热回收用纳米复合水凝胶相变材料研究[D].南昌大学,2023.
- [3]冯家贝.相变储能墙体传热特性研究[D].石家庄铁道大学,2022.
- [4]林权达.基于相变储能水箱浴池余热回收利用系统优化研究[D].沈阳建筑大学,2022.