

双碳目标下蓄冷技术与高效制冷机房耦合系统节能效益分析

曹有艳

广东 广州 510000

DOI:10.61369/SE.2025120008

摘 要： 双碳目标下，建筑领域需碳减排，空调系统能耗占比大，蓄冷技术与高效制冷机房耦合系统成关键突破口。文章阐述其在绿色建筑中的战略定位、相变蓄冷材料优势、控制策略等，经实证研究及成本分析，显示耦合系统节能效益显著，未来智能算法与新型材料协同创新是发展方向。

关 键 词： 双碳目标；蓄冷技术；高效制冷机房耦合系统

Energy Saving Benefit analysis of the Coupling System of Cold Storage Technology and High Efficiency Refrigeration Room under the Dual Carbon Target

Cao Youyan

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： Under the dual carbon target, the construction sector needs carbon emission reduction, and the energy consumption of air conditioning system accounts for a large proportion. The coupling system of cold storage technology and efficient refrigeration room has become a key breakthrough. This paper describes its strategic positioning in green buildings, the advantages of phase change cold storage materials, control strategies, etc. through empirical research and cost analysis, it shows that the coupling system has significant energy-saving benefits, and the collaborative innovation of intelligent algorithms and new materials is the development direction in the future.

Keywords： double carbon target; cold storage technology; coupling system of high efficiency refrigerator room

引言

在“双碳”目标的战略指引下，建筑领域肩负着碳减排的重任。2022 年 2 月，国家发展改革委等部门联合印发《关于加快推进城镇环境基础设施建设的指导意见》，强调要推进建筑领域节能降碳，这为建筑行业指明方向。建筑空调系统能耗占比大，传统模式弊端多，急需革新。蓄冷技术与高效制冷机房耦合系统应运而生，在调节电力负荷、提高能源效率等方面优势显著。从材料特性到控制策略，从指标监测到经济分析，多维度研究助力该系统发展，实证研究验证其节能效益，对推动制冷行业低碳转型、实现“双碳”目标意义非凡。

一、双碳背景下蓄冷技术应用背景

（一）双碳目标对建筑制冷系统的新要求

双碳目标下，建筑领域承担着艰巨的碳减排任务，有着刚性指标要求。建筑能耗中，空调系统能耗占比较大，传统空调系统存在诸多能耗痛点。其运行模式相对固定，在负荷低谷时段仍维持较高能耗，无法有效利用低价电价时段电力资源。且系统设备匹配度欠佳，部分设备长期处于低效运行状态，导致能源浪费严重。在双碳目标的大背景下，建筑制冷系统急需技术革新^[1]。在全国实行的峰谷电价及蓄冷电价政策下，蓄冷技术与高效制冷机房耦合系统成为关键突破口，在夜间低负荷谷电价时，主机及蓄冷

设备进行高效蓄冷，将部分制冷量存储起来，在用电高峰负荷高峰时段蓄冷设备进行冷量释放，制冷主机暂停运行，减少高峰用电量，降低对电网的压力。同时，通过 PLC 自控系统，实时监控末端负荷变化，及时优化设备运行模式及运行数量，提高整体能源利用效率，满足建筑制冷需求的同时，助力实现双碳目标。

（二）蓄冷技术在绿色建筑中的战略定位

在双碳目标引领下，绿色建筑发展成为必然趋势。蓄冷技术于绿色建筑而言，具备独特战略定位。在 LEED 认证体系中，蓄冷装置发挥着重要作用^[2]。其负荷移峰填谷特性，可有效避开用电高峰时段，降低电网高峰负荷压力，优化电力资源配置，减少因高峰用电带来的高能耗与高排放。同时，蓄冷技术与可再生能源

存在耦合潜力。可再生能源发电具有间歇性与波动性，而蓄冷技术能储存多余冷量，当可再生能源发电充足时进行蓄冷，不足时释放冷量，确保建筑供冷稳定性与持续性。这不仅契合绿色建筑对能源高效利用与可持续发展要求，更为双碳目标下建筑领域节能减排提供有力技术支撑，推动绿色建筑向更低碳、高效方向迈进。

二、耦合系统核心技术特征分析

（一）相变蓄冷材料热力学特性研究

相变蓄冷材料的热力学特性对于双碳目标下蓄冷技术与高效制冷机房耦合系统的节能效益至关重要。在对比水蓄冷、冰蓄冷及新型复合相变材料时，新型复合相变材料展现出独特优势。其储冷密度相较于水蓄冷更高，能在较小体积内储存更多冷量，减少空间占用^[9]。从释冷曲线特性来看，新型复合相变材料释冷过程更为平稳，可在较长时间内稳定提供冷量，避免了冰蓄冷释冷后期冷量不足的问题。这种稳定的释冷特性，使得制冷机房在运行过程中能更精准地匹配冷负荷需求，有效提高能源利用效率，为实现双碳目标下耦合系统的节能效益提供有力支撑。

（二）动态负荷匹配控制策略

在双碳目标下，蓄冷技术与高效制冷机房耦合系统的动态负荷匹配控制策略尤为关键。通过构建基于负荷预测的智能控制模型，能够精准捕捉负荷的动态变化。在部分负荷工况时，此模型可对机组运行参数进行智能调节，实现机组能效的优化。依据负荷预测结果，实时调整制冷机组的输出功率，使设备运行与实际负荷相匹配，避免过度制冷或制冷不足情况。这不仅能提升系统整体运行效率，减少能源浪费，还可降低机组频繁启停次数，延长设备使用寿命。该策略在保障室内环境舒适度的同时，实现耦合系统节能效益的最大化，为双碳目标的达成奠定坚实基础^[10]。

三、耦合系统节能效益建模

（一）能耗动态监测指标体系构建

在双碳目标下蓄冷技术与高效制冷机房耦合系统节能效益分析中，能耗动态监测指标体系构建至关重要。该体系应全面且精准地反映耦合系统的能耗状况。其中，EER（能效比）作为衡量制冷设备能源利用效率的重要指标，直观体现设备制冷量与输入功率的比值，反映其即时能效情况^[11]。IPLV（综合部分负荷性能系数）则从部分负荷运行角度出发，考虑了不同负荷率下设备的性能表现，更贴合实际运行工况。储冷效率用于评估蓄冷装置在储存与释放冷量过程中的能量损耗程度。通过将EER、IPLV、储冷效率纳入能耗动态监测指标体系，可从多个维度动态监测耦合系统能耗，为后续节能效益分析提供全面、可靠的数据支撑，助力实现双碳目标下耦合系统的节能优化。

（二）全生命周期经济性分析

采用LCC成本分析法，对常规系统与双碳目标下蓄冷技术与高效制冷机房耦合系统在全生命周期内的经济性展开对比。在初投资方面，需综合考虑设备采购、安装调试等费用，分析耦合

系统因蓄冷设备及高效制冷机房技术升级所带来的投资变化。运维费用上，从能源消耗、设备维修保养频次及成本等角度，探究耦合系统在运行过程中的费用差异。同时，关注碳交易收益，由于耦合系统节能效果显著，有望减少碳排放，在碳交易市场获取收益^[12]。通过全面剖析初投资、运维费用及碳交易收益这三方面的差异，清晰呈现耦合系统相较于常规系统在全生命周期经济性上的优势与不足，为该耦合系统的推广应用提供经济层面的决策依据。

四、实证研究及优化路径

（一）商业综合体应用案例分析

1. 负荷特性测试与系统配置

以某商业综合体为实证研究对象，对其进行负荷特性测试。通过全年逐时负荷监测数据，深入分析该商业综合体的负荷变化规律，如不同季节、不同时段负荷峰值与谷值情况。基于此，确定蓄冷罐容量与冷水机组的搭配方案，以实现二者的高效耦合。例如，依据夏季高负荷时段与冬季相对低负荷时段的差异，合理调整蓄冷罐与冷水机组的运行模式。为进一步优化系统，还需考虑系统运行过程中的动态变化，实时调整参数。在优化路径方面，可借鉴先进的控制策略与技术手段，不断改进耦合系统，从而提高其节能效益，助力商业综合体在双碳目标下实现可持续发展^[13]。

2. 分时电价下运行策略优化

以某商业综合体为实证研究对象，运用构建的电价敏感度模型，对其蓄冷技术与高效制冷机房耦合系统在分时电价机制下的运行情况展开分析。通过模型计算不同时段电价变动对系统能耗成本的影响程度，精准识别电价敏感时段。基于此，制定最佳充放冷时序控制方案，在电价低谷时段加大蓄冷量，在电价高峰时段优先释放冷量，减少制冷机组的高电价时段运行时长。此优化路径既充分利用蓄冷技术的削峰填谷特性，又结合高效制冷机房的节能优势，经实际应用验证，可有效降低商业综合体在分时电价下的整体能耗成本，提升系统节能效益，为同类商业建筑在双碳目标下的节能运行提供参考借鉴^[14]。

（二）工业园区分布式供冷系统研究

1. 多能互补系统集成设计

在双碳目标下，对光伏驱动蓄冷装置与余热回收系统协同运行机制的实证研究十分关键。通过对实际工业园区分布式供冷系统进行数据采集与分析，评估该耦合系统在不同工况下的节能效益，如测量不同时段光伏供电量、蓄冷装置蓄冷量及余热回收量，以及系统整体制冷能耗等^[15]。基于实证结果，优化路径可从多方面入手。一方面，依据实时气象数据与园区冷负荷需求，动态调整光伏驱动蓄冷装置的运行参数，实现精准蓄冷与供冷；另一方面，优化余热回收系统的工艺流程，提高余热回收效率，确保余热有效用于辅助制冷或其他环节，以进一步提升耦合系统在工业园区分布式供冷中的节能效益，助力双碳目标达成。

2. 碳减排量核算方法验证

为验证碳减排量核算方法在工业园区分布式供冷系统中的科

学性与准确性，采用 MRV 体系进行第三方核证^[10]。收集园区分布式供冷系统在不同工况下的运行数据，涵盖能源消耗、制冷量输出、设备运行时长等关键参数。将基于这些实际数据核算得出的碳减排量，与采用既定核算方法理论计算的结果进行对比分析。若发现两者存在偏差，深入探究原因，诸如核算参数取值不合理、系统边界界定不准确等。针对分析出的问题，对核算方法进行优化，完善参数选取规则，明确系统边界，从而提高碳减排量核算的精准度，为工业园区分布式供冷系统碳减排效益的科学评估提供可靠依据，助力实现双碳目标。

（三）技术推广障碍与政策建议

1. 经济激励机制设计研究

在实证研究方面，针对蓄冷技术与高效制冷机房耦合系统，需采集不同应用场景下的实际运行数据，涵盖系统能耗、制冷量、运行时间等关键指标，对比分析耦合系统在实施基于碳配额交易补贴政策及电价优惠方案前后的节能效益变化，以量化经济激励机制的实际效果。从技术推广障碍看，部分企业对新政策及耦合系统节能原理认知不足，资金投入有限影响技术改造。基于此，在政策建议上，除持续优化补贴政策与电价优惠方案外，应加大对企业的宣传培训力度，提升其对耦合系统节能效益与政策利好的理解。同时，设立专项扶持基金，缓解企业技术升级的资金压力，助力双碳目标下蓄冷技术与高效制冷机房耦合系统的广泛应用与节能效益提升。

2. 标准化体系构建路径

在双碳目标下，构建蓄冷技术与高效制冷机房耦合系统标准化体系，首先要制定涵盖设计、施工、验收全过程的技术规程框架。设计环节，需明确系统各组件选型标准，考量不同场景需求，确保系统设计科学合理。施工过程要规范操作流程，对施工人员进行专业培训，保障施工质量。验收阶段，设立严格且可量化的验收指标，确保系统达到节能效益预期。通过这样的标准化体系路径，可有效解决目前耦合系统在推广应用中国标准不统一而产生的诸多问题，为技术的广泛应用奠定基础，助力双碳目标实现，同时也为后续同类系统的标准化建设提供参考范例。

五、总结

在双碳目标的大背景下，蓄冷技术与高效制冷机房耦合系统展现出显著的节能效益，综合节能率可达35%–50%，这一成果对于推动制冷行业的低碳转型意义重大。该耦合系统通过优化能源利用方式，有效降低了能耗，为实现节能减排目标提供了有力支撑。展望未来，智能控制算法与新型储冷材料的协同创新是关键发展方向。智能控制算法能够更精准地调控系统运行，进一步挖掘节能潜力；新型储冷材料的研发与应用，则有望从根本上提升蓄冷性能。两者的协同发展，将为耦合系统带来更高的节能效率与更广阔的应用前景，助力双碳目标的早日达成。

参考文献

[1] 张利乐. “双碳”目标下碳减排政策工具研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2023.
[2] 康迪宇. “双碳”目标下碳源、碳汇产业制度安排分析 [D]. 上海财经大学, 2022.
[3] 牟玲. “双碳”目标下地热设施农业项目效益的 AHP 评价研究 [D]. 武汉轻工大学, 2023.
[4] 刘晓锦. 我国“双碳”目标下能源立法研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2023.
[5] 孔睿. 双碳目标下碳税立法研究 [D]. 湘潭大学, 2022.
[6] 胡钦, 李元阳, 方兴, 等. 高效制冷机房水蓄冷模式节能优化控制方法研究 [J]. 制冷技术, 2023, 43(5): 44–52.
[7] 郝军. “双碳”目标下抽水蓄能发展思考 [J]. 西北水电, 2022(6): 138–143.
[8] 郭永伟. “双碳”目标下山西节能路径选择 [J]. 生产力研究, 2022, (11): 58–63.
[9] 马建波, 王朝晖, 旷金国, 等. 蓄冷供冷系统的节能效益分析 [J]. 暖通空调, 2021, 51(12): 33–37.
[10] 傅博. 双碳目标下的钢铁节能理念创新与能源结构重塑分析 [J]. 中国设备工程, 2022.