

于夏季。负荷数据采用该风电场接入区域的电网负荷数据，同样为 1 小时分辨率，年最大负荷为 90 兆瓦，负荷高峰主要集中在上午 10-12 时与晚上 19-21 时，与风电出力高峰存在一定错位。储能系统选用锂离子电池储能，技术参数设置如下：充放电效率为 90%，循环寿命为 6000 次，最小荷电状态为 20%，最大荷电状态为 80%，单位容量投资成本为 1500 元 / 千瓦时，单位功率投资成本为 300 元 / 千瓦，年运行维护成本为投资成本的 2%。电网接入要求新能源弃电率不超过 5%，节点电压波动范围为额定电压的 $\pm 5\%$ 。算法参数设置：粒子数量为 50，最大迭代次数为 100，学习因子 c_1 与 c_2 均为 2.0，惯性权重初始值为 0.9，迭代过程中线性递减至 0.4。目标函数权重设置：经济性权重为 0.5，可靠性权重为 0.3，环保性权重为 0.2。

5.2 优化配置结果计算

基于上述数据与参数，采用粒子群算法对储能容量进行优化求解。算法迭代过程中，适应度值逐步下降并趋于稳定，在迭代至 80 次时达到收敛，此时得到最优配置方案：储能容量为 15 兆瓦时，储能功率为 7.5 兆瓦。该配置方案对应的全生命周期总成本为 2860 万元，其中投资成本 2400 万元，运行维护成本 320 万元，弃电损失成本 140 万元。系统供电缺电率为 1.2%，新能源弃电率降至 3.8%，满足电网接入要求的弃电率上限。碳排放量较无储能配置时减少 8600 吨，实现了环保目标。为验证算法有效性，对比不同迭代次数的优化结果，发现迭代次数增加至 80 次后，适应度值不再明显下降，表明算法已找到全局最优解，避免了局部最优问题。同时，对比不同粒子数量的求解结果，粒子数量为 50 时既能保证求解精度，又能控制计算时间，兼顾效率与效果。

5.3 结果分析与有效性验证

最优配置方案的有效性可从经济性、可靠性与环保性三个维度验证。经济性方面，配置 15 兆瓦时 /7.5 兆瓦的储能系统后，新能源弃电率从无储能时的 12.3% 降至 3.8%，年减少弃电量约 1020 万千瓦时，增加新能源消纳收益约 408 万元，同时储能系统通过削峰填谷获得峰谷电价差收益约 180 万元，项目投资回收期为 8.5 年，具备良好的经济效益。可靠性方面，供电缺电率从无储能时的 4.8% 降至 1.2%，显

著提升了系统供电稳定性，储能系统能够快速响应新能源出力波动与负荷变化，有效抑制电压波动，电压波动范围控制在 $\pm 3\%$ 以内，满足电网运行要求。环保性方面，年碳排放量减少 8600 吨，相当于节约标准煤 3.44 万吨，减少二氧化硫排放 258 吨，环境效益显著。为进一步验证优化方法的优越性，对比传统经验配置方法与所提优化方法的结果，传统经验方法按照新能源装机 15%、2 小时配置储能，即 30 兆瓦时 /15 兆瓦，投资成本高达 4800 万元，投资回收期长达 12.6 年，且弃电率仍达 4.2%，供电缺电率为 1.5%。对比结果表明，所提优化配置方法在降低投资成本、缩短投资回收期的同时，提升了新能源消纳率与系统可靠性，验证了方法的科学性与有效性。

6 结论

本文针对新能源电站配套储能容量优化配置问题，通过理论分析、模型构建与算例验证，形成系统研究成果。研究表明，新能源出力特性、负荷需求、电网要求及储能技术经济参数共同决定容量配置方案，构建的多目标优化模型，结合粒子群算法求解，可实现多维度需求平衡。西北风电场算例显示，最优配置使弃电率从 12.3% 降至 3.8%、供电缺电率从 4.8% 降至 1.2%，年减碳 8600 吨，较传统经验配置降低投资成本 44.6%，缩短回收期 4.1 年，验证了方法的科学性。但研究未充分考虑储能技术进步带来的参数动态变化，权重确定依赖主观赋权，存在一定局限。后续可引入动态参数预测模型，采用客观赋权法优化权重，探索多类型储能混合配置，进一步提升方案前瞻性与灵活性。

参考文献

- [1] 张郝宁.新能源接入下配电网储能容量优化配置方法[J].中国新技术新产品, 2025(2):57-59.
- [2] 王睿思.考虑新能源出力特性的综合能源系统储能容量配置优化方法[J].电气时代, 2025(2):137-139.
- [3] 罗晓乐,宋洋,徐翔,等.计及新能源消纳的储能容量优化配置研究[J].电气开关, 2022(002):060.
- [4] 王萍.基于储能技术的新能源电力优化设计研究[J].中国高新技术, 2025(9).
- [5] 电气工程.高渗透率新能源下的储能调频容量优化配置方法研究[D]. 2024.

Research on the Structure Design and Performance Optimization of Small Mobile Air Conditioning System

Hailiu Yang Zhiyong Wang Yuan Liu Jianli Huang Yu Shu

China Academy of Space Technology, Beijing, 100094, China

Abstract

With the increasing demand for comfort and convenience, small portable air conditioning systems have gradually become important household appliances. This paper primarily explores the structural design and performance optimization of small portable air conditioning systems. First, the basic design requirements, considerations for functional module design, and energy efficiency requirements are analyzed. Next, the selection and arrangement of compressors and condensers, the design and optimization of evaporators and fans, as well as the design of system piping and control systems are discussed. Then, performance evaluation methods for portable air conditioning systems are proposed, including heat exchange efficiency, energy consumption, environmental performance, and noise and comfort evaluations. Finally, based on existing technologies, the paper explores strategies for optimizing system performance, focusing on improvements in the refrigeration cycle, energy utilization, and intelligent management. By combining theoretical analysis with practical case studies, this paper provides theoretical support and practical guidance for the design and optimization of small portable air conditioning systems.

Keywords

Small portable air conditioning; Structural design; Performance optimization; Energy efficiency; Intelligent management

小型移动空调系统结构设计与性能优化研究

杨海柳 王智永 刘媛 黄建利 舒誉

中国空间技术研究院, 中国 · 北京 100094

摘要

随着人们对舒适性与便捷性的需求不断增加,小型移动空调系统逐渐成为重要的家电设备。本文主要探讨了小型移动空调系统的结构设计与性能优化问题。首先,分析了系统设计的基本需求、功能模块的设计考虑以及能源效率要求。接着,介绍了压缩机与冷凝器的选择与布置、蒸发器与风机的设计与优化、系统管路与控制系统的工作原理等结构设计要素。然后,提出了移动空调系统性能的评估方法,包括热交换效率、能源消耗、环保性能及噪音与舒适度评估。最后,基于现有技术,探讨了系统性能的优化策略,重点在制冷循环、能源利用率和智能化管理的提升。通过理论分析与实际案例的结合,本文为小型移动空调系统的设计与优化提供了理论支持和实践指导。

关键词

小型移动空调; 结构设计; 性能优化; 能源效率; 智能化管理

1 引言

小型移动空调系统因其便捷性、灵活性和较低的初期投资,已经成为市场上广泛应用的空调设备。随着生活质量的提高,人们对空调系统的需求日益多样化,尤其是在能效、环保和舒适性方面的要求不断提升。因此,对小型移动空调系统进行有效的结构设计与性能优化,不仅能够提高其制冷效率,还能在节能降耗方面取得显著效果。本文将围绕小型移动空调系统的设计要求、结构设计与性能优化展开研究,旨在分析现有技术的优缺点,并提出可行的改进方案。通过

对系统结构、性能评估方法以及优化策略的深入探讨,本文力求为相关产品的设计与改进提供理论依据,推动其在市场中的应用和发展。

2 小型移动空调系统的设计要求

2.1 系统设计的基本需求

小型移动空调系统的设计必须满足一定的制冷效果,同时确保便捷性与移动性。设计过程中应考虑空调设备的体积、重量和便于搬运的特性。其外形尺寸应适合家庭、办公室或车内等场景使用,最大限度地减少空间占用。空调系统的设计还应保证操作的简便性,用户能够轻松进行温度调节、模式切换以及过滤器清洁等日常操作。此外,噪音控制也是设计的关键因素,系统在运行时需保持低噪音,保证使

【作者简介】杨海柳 (1986-), 男, 中国河北三河人, 本科, 工程师, 从事暖通空调研究。

用环境的舒适性。通过合理设计各项功能，确保空调在各种工作条件下都能达到良好的性能表现。

2.2 设计的能源效率要求

小型移动空调的设计必须优先考虑能源效率，以减少用户的能耗支出并推动绿色环保。系统应采用高能效比 (EER) 技术，在保证制冷效果的同时，降低功率消耗。压缩机的选择应优先考虑变频技术，这能根据负载自动调节功率输出，避免不必要的能耗浪费。制冷剂的使用也是设计中的重要因素，应选择低 GWP (全球变暖潜力) 且环保型制冷剂，以减少对环境的负面影响。此外，空调系统还应配备智能控制系统，根据环境温度和湿度自动调整工作状态，从而最大限度地提高能源使用效率。系统的设计还要保证长时间使用中的稳定性，避免因过度消耗能源而导致设备寿命降低^[1]。

3 小型移动空调系统的结构设计

3.1 压缩机与冷凝器的选择与布置

小型移动空调的压缩机和冷凝器是系统制冷效果的关键部件。压缩机通常采用直流变频压缩机，以提高系统的能效比 (EER) 和调节精度。直流变频压缩机根据负荷变化自动调整转速，避免了传统定频压缩机的高能耗和噪音问题。冷凝器的选择一般以翅片式为主，翅片设计可以增加热交换的表面积，从而提高热交换效率。为了确保高效散热，冷凝器需采用良好的散热材料，如铝合金或铜材，并且表面经防腐处理以增强耐久性。布置方面，压缩机和冷凝器应合理分布在空调外部或底部，避免过度紧凑的布局影响散热性能。压缩机与冷凝器之间的管道连接应尽量简短，减少热交换过程中的热损失。

3.2 蒸发器与风机的设计与优化

蒸发器与风机的设计对小型移动空调的制冷性能与空气流动效果起着至关重要的作用。蒸发器通常采用铝翅片管式结构，以确保较大的热交换面积，从而提高热交换效率。翅片的设计要合理，过于密集的翅片可能增加空气流动的阻力，影响空气的流通速度。蒸发器的管道系统采用耐腐蚀材料，如铜或不锈钢，并采取抗氧化表面处理技术，延长使用寿命并确保长期高效运行。风机设计则需要考虑噪音、风量和空气分布的平衡。常见的风机类型为离心风机或轴流风机，其中离心风机具有较高的风量输出能力，能够提供稳定的空气循环。风机叶片的设计应减少空气流动的阻力，优化空气流速，确保空气能够均匀地流过蒸发器表面，提高热交换效率。此外，风机应具备多档风速调节功能，用户可以根据实际需求选择合适的风速，提升空调的适用性和舒适性。

3.3 系统管路与控制系统的

小型移动空调的管路系统和控制系统的

管道一般采用铜管或铝管，因其优良的导热性和抗腐蚀性，能够有效保证系统的长期运行稳定性。管道布局应尽量减少弯曲和长度，减少制冷剂流动中的阻力，避免热损失。在管道连接处，应选择密封性能良好的接头，防止制冷剂泄漏，确保系统的高效运行。控制系统是小型移动空调智能化的核心，通常采用微处理器控制技术，通过传感器实时监测室内温度、湿度等环境参数，并调节空调运行模式。控制系统不仅需要能够实现温度设定和自动调节风速等基本功能，还应具备故障自诊断功能，能够在发生故障时及时通知用户，并通过控制系统进行保护，避免系统损坏。

4 移动空调系统的性能评估方法

4.1 热交换效率与制冷能力

热交换效率和制冷能力是评估移动空调性能的核心指标。热交换效率直接影响到空调的制冷效果，其主要由蒸发器和冷凝器的设计决定。对于典型的家用小型空调，制冷量通常为 3000-5000W。热交换效率较高的系统通常能够在短时间内达到较低的室内温度，提升舒适度。现代空调系统采用了高效的铝翅片设计和优质热交换材料，这些优化能够有效提高热交换效率。比如，某型号小型空调的蒸发器和冷凝器设计能使热交换效率达到 85% 以上，从而有效提升制冷能力。制冷能力也受到环境温度、湿度和制冷剂种类的影响。常见的制冷剂如 R32 和 R410A 具有较高的热交换能力，能在较低的能耗下实现较强的制冷效果。实验数据表明，使用 R32 制冷剂的空调系统在相同条件下较 R410A 系统的制冷能力提高了 10%。因此，优化热交换过程和选择合适的制冷剂是提升制冷能力的关键因素^[2]。

4.2 能源消耗与环保性能

小型移动空调的能源消耗直接决定了其使用成本和环境影响。为了评估能源消耗，首先需要查看空调的能效比 (EER) 和制冷量。典型的小型空调设备的 EER 值一般在 3.0-4.0 之间。根据不同制冷剂和压缩机技术，EER 的值会有所不同。比如，使用直流变频压缩机的小型空调在低负荷情况下能有效调节功率，能效比能达到 4.2 以上，相较于传统定频压缩机空调，其能源消耗减少约 25%。此外，环保性能也尤为重要。制冷剂的选择对空调的环保性能有显著影响。R32 作为一种新型环保制冷剂，其全球变暖潜力 (GWP) 为 675，明显低于传统的 R410A (GWP 为 2088)。因此，使用 R32 制冷剂的小型空调不仅能减少能源消耗，同时也降低对环境的负面影响。在能效优化方面，进一步提升系统的热交换效率、压缩机的能效和系统控制的精细化调节可以大幅度减少能源的浪费。通过优化这些技术，系统的能源消耗降低了约 20%-30%。

4.3 噪音与舒适度评估

噪音和舒适度是影响用户体验的关键因素。移动空调的噪音主要来自于压缩机、风机和气流的扰动。根据测试