

风光互补储能系统的容量优化与经济性匹配研究

丁勇

贵州元龙综合能源产业服务有限公司, 贵州 贵阳 550081

DOI:10.61369/EPTSM.2025070002

摘 要： 风光互补储能系统作为可再生能源利用的重要形式，其容量配置的合理性影响着系统的稳定性和经济性。为此，本文便聚焦于风光互补储能系统的容量优化与经济性匹配，在阐述系统构成及运行特性的基础上，深入地分析了影响容量配置的关键因素。文章重点提出了基于负荷需求、资源特性、经济性约束及系统可靠性的容量优化策略，期待能够为风光互补储能系统的高效、经济运行提供理论支持和实践指导。

关 键 词： 风光互补；储能系统；容量优化；经济性匹配

Research on Capacity Optimization and Economic Matching of Wind Solar Complementary Energy Storage System

Ding Yong

Guizhou Yuanlong Integrated Energy Industry Service Co., Ltd., Guiyang, Guizhou 550081

Abstract： As an important form of renewable energy utilization, the capacity configuration of wind solar complementary energy storage system affects the stability and economy of the system. Therefore, this article focuses on the capacity optimization and economic matching of wind solar complementary energy storage systems. Based on the explanation of system composition and operating characteristics, it deeply analyzes the key factors affecting capacity configuration. The article focuses on proposing capacity optimization strategies based on load demand, resource characteristics, economic constraints, and system reliability, hoping to provide theoretical support and practical guidance for the efficient and economical operation of wind solar complementary energy storage systems.

Keywords： complementary wind and solar energy; energy storage system; capacity optimization; economic matching

引言

当前全球能源危机和环境问题的日益严峻，可再生能源的开发与利用则成为了各国能源战略的重要组成部分。虽然风能和太阳能作为清洁、可再生的能源，它们具有储量丰富、分布广泛等优势，但其固有的间歇性、波动性特点，导致单一的能源发电系统难以满足稳定的供电需求。风光互补储能系统则能将风能、太阳能与储能技术相结合，经由两者的互补特性平抑出力波动，再借助储能装置即可进一步地提高系统的供电可靠性，因此该系统成为了解决可再生能源大规模应用难题的有效途径。然而风光互补储能系统的容量配置是一个复杂的系统工程，当中涉及到了风能、太阳能资源的分布特征、负荷需求的变化规律、储能装置的性能参数以及投资成本等多个方面。若容量配置过大，便会造成设备闲置和投资浪费，进而降低了系统的经济性，可容量配置过小，则无法满足负荷的需求，影响着系统的稳定性和可靠性。因此开展风光互补储能系统的容量优化与经济性匹配研究，从中寻出最优的容量配置方案，对于提高系统的能源利用效率、降低度电成本、推动可再生能源的规模化应用等方面具有非常重要的理论意义和实际应用价值。

一、风光互补储能系统构成及运行特性

（一）系统构成

风光互补储能系统主要由风力发电装置、光伏发电装置、储能装置、能量转换装置（如逆变器、整流器）以及控制系统等部

分组成^[1]。展开来说：风力发电装置利用风力驱动风机叶片进行旋转，以此将风能转化为电能；光伏发电装置则通过光伏电池板可以将太阳能直接转化为电能；储能装置（如蓄电池、超级电容器、飞轮储能等）则被用于存储多余的电能，该装置可以在风光资源不足或负荷高峰期释放电能，进而平抑出力波动；而能量转

换装置负责将不同形式的电能进行转换，以满足负荷对于电压、频率的要求；控制系统的任务是根据风光资源状况、负荷需求和储能装置的状态，对于整个系统的运行进行协调控制，确保系统能够稳定、高效地运行。

（二）运行特性

风光互补储能系统的运行特性主要取决于风能和太阳能的资源特性以及负荷需求的变化^[9]。由于风能和太阳能均具有随机性和间歇性，因此风力发电和光伏发电的出力呈现出了强烈的波动特征。而储能装置在系统中起到了“削峰填谷”的作用，当风光发电总出力大于负荷需求时，多余的电能便会被存储到储能装置中，若风光发电总出力小于负荷需求，储能装置就会释放电能，进而弥补供电缺口。控制系统则可以实时地监测风光发电出力、负荷需求和储能装置的荷电状态（SOC），进而合理地调度能量流动，使系统的供电与负荷需求得以保持动态的平衡。

二、影响风光互补储能系统容量配置的关键因素

（一）风光资源特性

不同地区的风光资源分布存在着显著的差异，风速、风向的变化规律以及太阳辐射强度、日照时间等参数均决定着风力发电机和光伏阵列的最大出力及出力特性。即风能和太阳能的资源禀赋是影响系统容量配置的首要因素^[9]。

（二）负荷需求特征

实际上，负荷需求的大小、变化规律及可靠性要求对于系统容量的配置具有非常重要的影响。其中负荷需求可分为确定性负荷和随机性负荷，确定性负荷（如居民日常生活用电、工业生产用电等）一般具有相对稳定的变化规律，随机性负荷（如临时用电设备）则难以提前进行预测。而系统容量的配置需满足不同类型负荷的供电需求，通常对于可靠性要求较高的负荷（如医疗设备、重要通信设施），需要配置更大容量的储能装置和备用电源，以降低供电中断的风险。

（三）储能装置性能

储能装置的容量、充放电效率、循环寿命、自放电率等性能参数均影响着系统的容量配置和经济性。一般情况下，储能容量越大，系统应对风光出力波动和负荷变化的能力就越强，但同时也会增加系统的投资成本。

（四）经济性因素

经济性因素为衡量系统容量配置合理性的重要指标，它主要包括了初始投资成本、运行维护成本、燃料成本（若系统包含备用燃油发电机）以及电能销售收入（对于并网系统）等等^[4]。

三、风光互补储能系统容量优化策略

（一）基于负荷需求的容量优化策略

基于负荷需求的容量优化策略以满足负荷供电需求作为核心目标，即分析负荷的历史数据和变化趋势，确定出系统所需的最小供电容量。首先要对负荷进行分类和统计，进而明确不同时间

段的负荷大小和持续时间，且绘制出负荷曲线。然后结合风光资源的预测数据，计算出在不同风光出力情况下系统需要的储能容量和风光发电容量，以确保在任何时刻都能够满足负荷的需求^[5]。同时为了提高优化的精度，还可以采用负荷预测算法（如时间序列分析、神经网络预测等）对未来的负荷需求进行预测，再结合风光资源预测的结果，动态地调整系统的容量配置方案。

（二）基于风光资源特性的容量优化策略

基于风光资源特性的容量优化策略要充分地利用风能和太阳能的互补性，经由合理地配置风力发电机和光伏阵列的容量，来减少系统对于储能装置的依赖，进而降低系统的成本。第一步要对当地的风光资源进行详细地评估，着重分析风速和太阳辐射强度的时间分布特性，确定出风光资源的互补性强弱^[6]。若风能和太阳能在时间上呈现出较好的互补性（如白天光照强时风力较小，夜间风力较大时光照弱），便可适当地减小储能容量，反之则需要增加储能的容量。第二步是在具体优化的过程中，可以建立风光发电联合出力模型，用于模拟不同风光容量配比下的系统出力特性，使其尽可能与负荷需求曲线相匹配。第三步要根据风光资源的季节变化和日内变化规律，去动态地调整风光发电设备的运行策略。

（三）基于经济性约束的容量优化策略

基于经济性约束的容量优化策略的目标是使系统的全生命周期成本最小化，重点是综合地考虑初始投资、运行维护、储能装置更换等成本，随后优化风光发电容量和储能容量^[7]。其核心为建立系统的经济性评估模型，以此明确各项成本的计算方法。通常初始投资成本与设备容量为直接相关，根据设备的单位容量价格仅需计算即可；而运行维护成本与设备的运行时间、维护频率等有关；储能装置的更换成本则取决于其循环寿命和使用年限。实际优化的过程中，建议采用经济性分析方法（如净现值法、内部收益率法、度电成本法等）对不同容量的配置方案进行评估。

（四）基于系统可靠性的容量优化策略

基于系统可靠性的容量优化策略重点在于提高系统的供电可靠性，为此要通过合理地配置储能容量和备用电源，来降低供电中断的概率^[8]。实践当中，系统的可靠性指标主要包括了供电不足概率（LPSP）、缺电损失（EENS）等等。其中供电不足概率是指系统无法满足负荷需求的时间占总时间的比例，缺电损失是指系统未能供应的电能总量。对上述部分进行优化时，应当通过建立系统的可靠性评估模型，计算出不同容量配置方案下的可靠性指标，以确保其满足预设的可靠性要求。一旦系统的可靠性指标不达标，便可通过增加储能容量或配置备用电源（如燃油发电机）来提高系统的可靠性。与此同时，还需要考虑到储能装置的可靠性，如储能电池的充放电深度、SOC管理等等。即合理地控制储能装置的充放电深度，避免过度充放电的情况，进而提高其可靠性和使用寿命，最终保证系统的长期稳定运行。

四、风光互补储能系统经济性匹配分析

（一）设备选型与成本匹配

在设备选型的过程中，应该综合地考虑设备的性能和成本，随后选择性价比高的设备^[9]。例如风力发电机的选型应根据当地的风速特征，尽量选择适合的功率等级和型号，以避免“大马拉

小车”或“小马拉大车”的情况；光伏电池板的选型则应考虑到转换效率、寿命和价格等因素，如此才能在保证发电效率的前提下，降低单位功率的投资成本；而储能装置的选型需要根据系统的运行要求，在铅酸电池、锂电池、超级电容器等多种类型中进行选择，核心在于权衡其容量、充放电效率、循环寿命和成本等参数。经由设备选型与成本的匹配，便能在满足系统性能要求的基础上，降低初始投资的成本，进而为系统的经济性奠定基础^[10]。

（二）运行策略与经济性匹配

通过合理地调度风光发电和储能装置的运行，得以提高能源利用的效率，如此便能降低运行的成本。比如电价较高的时段，可以优先利用储能装置进行放电，以减少外购电（对于并网系统）；在电价较低的时段，则可以经由电网充电（若允许）来降低储能的成本。面对独立的系统，仅需合理地控制储能装置的SOC，便能避免深度放电，达到延长其使用寿命与减少更换成本的效果。

（三）全生命周期经济性匹配

全生命周期经济性匹配考虑系统从规划、建设、运行到报废的整个过程的成本和收益，如此才能确保系统在整个生命周期内的经济效益最佳。具体来说，在容量优化和设备选型时，应该考

虑到设备的使用寿命，进而避免因设备提前报废而增加更换成本的情况。而通过全生命周期成本分析，即比较不同容量配置方案和运行策略的经济性，从中选择出在整个生命周期内净收益最大的方案。

五、结语

风光互补储能系统的容量优化与经济性匹配是提高系统性能 and 经济效益的关键点。本文通过分析影响系统容量配置的关键因素，已然提出了基于负荷需求、风光资源特性、经济性约束和系统可靠性的容量优化策略，并且探讨了系统的经济性匹配方法。在实际应用当中，应该根据具体的风光资源条件、负荷需求和经济性目标，综合地运用多种优化策略，从中选择最优的容量配置方案。同时随着储能技术的不断发展和成本的降低，以及风光资源预测精度的提高，相信风光互补储能系统的容量优化与经济性匹配将迎来新的发展机遇。为此未来的研究可进一步地结合智能算法（如遗传算法、粒子群优化算法等）来提高优化精度和效率，持续地探索多能互补系统（如风光储氢系统）的容量优化与经济性匹配。

参考文献

[1] 虞启辉, 高胜昱, 孙国鑫, 等. 基于风光互补发电系统的压缩空气混合储能系统容量优化 [J]. 新能源进展, 2024, 12(01): 74–81. DOI: 10.3969/j.issn.2095-560X.2024.01.009.

[2] 孙永凯, 何飞跃, 何婷. 风光互补发电系统混合储能系统容量优化方法研究 [J]. 水电能源科学, 2024, 42(01): 216–220+39. DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2024.01.1182.

[3] 王筱, 李高青, 姬生才, 等. 计及风光不确定性的互补发电系统容量优化配置研究 [J]. 动力工程学报, 2024, 44(11): 1750–1759. DOI: 10.19805/j.cnki.jcspe.2024.230578.

[4] 王学申, 孙然, 许军, 等. 基于飞轮储能的离网型风光储微电网系统容量优化配置研究 [J]. 热力发电, 2025, 54(03): 43–50. DOI: 10.19666/j.rlfd.202407160.

[5] 姜杰, 付申杰, 漆晓凤, 等. 园区风光储系统的储能容量优化及运行调控策略研究 [J]. 电气技术与经济, 2023, (10): 110–112.

[6] 刘敏. 基于改进算法的新型电力系统风光火容量与调度优化研究 [J]. 电力设备管理, 2025, (05): 254–256.

[7] 李瑞民, 张新敬, 徐玉杰, 等. 风光互补系统中混合储能容量优化配置研究 [J]. 储能科学与技术, 2019, 8(03): 512–522. DOI: 10.12028/j.issn.2095-4239.2019.0014.

[8] 田蓓, 王朝晖, 张爽, 等. 面向风光综合消纳的电力系统广域储能容量优化配置研究 [J]. 智慧电力, 2020, 48(06): 67–72.

[9] 郑博, 白章, 袁宇, 等. 多类型电解协同的风光互补制氢系统与容量优化 [J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(23): 8486–8495. DOI: 10.13334/j.0258-8013.pcsee.220655.

[10] 栗占伟, 樊东方, 曾超, 等. 考虑风光消纳的储能系统容量优化配置及运行策略研究 [J]. 储能科学与技术, 2024, 13(08): 2713–2725. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2024.0165.