

光伏储能系统的优化配置与经济效益分析

● 沈瑞鹏



[摘要] 随着全球范围内能源需求的持续攀升,以及大众环境保护意识的显著增强,可再生能源的开发与运用,已成为全球各国瞩目的焦点议题。在众多可再生能源中,太阳能以其清洁、无污染、可再生的特点而备受瞩目。光伏发电作为太阳能利用的主要方式之一,近年来在全球范围内得到了迅速发展。基于此,文章首先介绍了光伏储能系统。其次,详细阐述了光伏储能系统的优化配置模型。再次,探讨了光伏储能系统的运行优化策略。最后,从成本构成分析、收益来源分析,以及经济效益评估模型构建三个方面,进行了光伏储能系统的经济效益分析。文章旨在为光伏储能系统的优化配置和推广应用提供科学依据,推动可再生能源的高效利用和能源结构的优化升级。

[关键词] 光伏储能系统;优化配置;经济效益;运行策略;可持续发展

众所周知,光伏发电受天气、时间等自然条件的限制,其输出功率具有间歇性和不稳定性,这对电力系统的稳定运行和供电可靠性带来了挑战。为了克服光伏发电的这些局限性,储能技术被广泛应用于光伏系统中,以平滑光伏发电的输出功率,提高供电的可靠性和稳定性。光伏储能系统通过将光伏发电产生的多余电能储存起来,在光照不足或电力需求高峰时释放,从而实现了电能的时空转移和优化配置。这不仅提高了光伏发电的利用率,还增强了电力系统的灵活性和可调节性。

1 光伏储能系统概述

(一) 光伏发电技术简介

光伏发电技术是一种直接将太阳能转换为电能的技术,其核心部件是光伏电池。光伏电池利用光电效应原理,当太阳光照射到电池表面时,光子激发电池内部的电子产生跃迁,从而形成电流。随着技术的不断进步,光伏电池的转换效率逐渐提高,成本也在不断降低,使得光伏发电成为可再生能源领域中最具竞争力的技术之一。目前,光伏发电技术已广泛应用于居民屋顶、商业建筑、工业厂房,以及大型地面电站等多个领域。

(二) 储能技术分类及特点

储能技术是光伏储能系统的关键组成部分,主要用于在光伏发电充足时储存电能,在光照不足或电力需求高峰时释放电能。依据储能机制的不同,储能技术可以划分为若干种类,如机械储能、电磁储能、化学储能及热储能等。在

机械储能领域,主要技术涵盖抽水蓄能和压缩空气储能等方式;电磁储能则主要涉及超导储能和飞轮储能等技术;而化学储能方面,则广泛采用锂离子电池、铅酸电池以及液流电池等作为储能手段;热储能则主要包括熔盐储能、相变材料储能等。各种储能技术各有优缺点,如锂离子电池具有能量密度高、循环寿命长等特点,但成本相对较高;而抽水蓄能则具有技术成熟、规模大等特点,但受地理位置限制。如表1所示。

表1 储能技术分类及特点对比表

储能技术	优点	缺点	
机械储能(抽水蓄能)	技术成熟、规模大	受地理位置限制	
电磁储能(超导储能)	响应速度快、能量密度高	技术复杂、成本高	
化学储能	锂离子 电池	能量密度高、 循环寿命长	成本相对较高
	铅酸电池	技术成熟、成本低	循环寿命短、 能量密度低
热储能(熔盐储能)	储能时间长、规模大	技术复杂、效率低	

(三) 光伏储能系统的工作原理与构成

光伏储能系统主要由光伏电池阵列、储能装置、控制器和逆变器等部分组成。光伏电池阵列负责将太阳能转换为直流电能;储能装置则用于储存多余的电能;控制器负责监控系统的运行状态,并根据需要控制储能装置的充放电;逆变器则将直流电能转换为交流电能,以供用户或电网使用。在工作原理上,光伏储能系统通过光伏电池阵列将太阳能转

换为电能，当光照充足且电力需求较低时，多余的电能被储存在储能装置中。在光照条件不佳或遭遇电力需求高峰时，储能系统会释放储存的电能，以弥补光伏发电的不足，进而保障电力系统的平稳运行。

（四）光伏储能系统的应用领域与发展现状

光伏储能系统已广泛应用于多个领域，如居民屋顶光伏储能系统、商业建筑光伏储能系统、工业厂房光伏储能系统，以及大型地面光伏电站储能系统等。随着技术的不断进步和成本的降低，光伏储能系统的应用范围还在不断扩大。目前，各国纷纷出台政策支持光伏储能技术的发展，如提供补贴、税收优惠等，以推动其商业化进程。同时，随着电动汽车、智能电网等新兴领域的快速发展，光伏储能系统也将迎来更广阔的市场空间和发展机遇。

Q 光伏储能系统的优化配置模型

（一）优化配置的目标与原则

光伏储能系统的优化配置，旨在实现系统性能与经济性的最佳平衡。其目标包括提高光伏发电的利用率，减少弃光现象；加大平滑光伏发电的输出功率，增强电力系统的稳定性和可靠性；以及降低系统成本，提高经济效益。在优化配置过程中，应遵循科学性、经济性、实用性和可持续性等原则，确保系统既满足当前需求，又具备未来扩展的潜力。

（二）系统建模方法与技术路线

光伏储能系统的优化配置需要建立精确的数学模型，以描述系统的运行特性和约束条件。建模方法通常采用仿真软件或编程语言，如 MATLAB/Simulink、Python 等，结合光伏电池、储能电池、控制器和逆变器等组件的特性和参数，构建系统的动态模型。技术路线则包括数据收集与预处理、模型构建与验证、算法设计与优化、结果分析与评估等步骤，以确保优化配置方案的可行性和有效性。

（三）光伏储能系统的容量与功率匹配设计

光伏储能系统的容量与功率匹配设计，是优化配置的关键环节。容量设计需考虑光伏发电的日照时数、辐照强度，以及负荷需求的变化情况，以确保储能装置能够在光照不足时提供足够的电能。功率设计则需根据光伏发电的最大输出功率和负荷需求的峰值来确定，以确保系统能够满足最大负荷需求，同时，避免过剩容量造成的浪费。

（四）考虑多种因素的优化模型构建

在构建光伏储能系统的优化模型时，需要综合考虑多种因素，如负荷需求、电价政策、储能电池特性等。负荷需求是影响系统配置的重要因素，需根据历史数据和未来预测来确定。电价政策则直接影响系统的经济效益，需考虑峰谷电价、补贴政策等因素。储能电池特性包括电池容量、充放电效率、循环寿命等，对系统的性能和成本都有重要影

响。因此，在优化模型中需充分考虑这些因素，采用合适的算法进行求解，以得出最佳的配置方案。通过综合考虑多种因素，可以确保光伏储能系统的优化配置既满足实际需求，又具备经济性和可持续性。

Q 光伏储能系统的运行策略优化

光伏储能系统的运行策略优化，对于提升其经济性、延长储能设备寿命，以及提高系统整体运行效率具有重要意义。本节将从系统经济性影响分析、充电与放电策略的优化设计、储能电池荷电状态(SOC)的维持策略，以及考虑电网需求响应的运行策略调整四个方面进行探讨。

（一）运行策略对系统经济性的影响分析

储能系统的运行策略直接决定了其经济性能。通过精细的运行策略设计，可以在保障系统稳定运行的前提下，最大化经济效益。例如，在电价较低的谷期利用储能系统存储电能，在电价较高的峰期释放电能，实现峰谷电价套利，从而降低运营成本。

此外，储能系统的容量与功率之间的匹配设计，同样对其经济效益会产生重要影响。这一设计需依据发电侧的配置情况、用户侧的负荷变化曲线，以及电网的调峰需求来综合考量，合理设置储能系统的容量和功率。可以在保障系统稳定运行的前提下，降低初始投资成本。同时，通过优化储能系统的充放电策略，减少电池的过充过放现象，可以延长电池的使用寿命，进一步降低维护成本。

（二）充电与放电策略的优化设计

优化充电与放电策略，对于提高储能系统的运作效率和经济效益至关重要。首要步骤是依据光伏发电的预期产量、电网的负荷需求情况，以及电价波动信号等要素，科学规划储能系统的充电时间段与充电功率水平。特别是在光伏发电充沛且电价处于低谷的时段，应优先考虑利用光伏能源为储能系统充电，以此减少充电成本。

在放电策略方面，需要根据负荷需求曲线、电价差异等条件，优先利用储能电量提供功率支持。在电网负荷高峰且电价较高的时段，优先释放储能系统的电能，实现峰谷调节和电费套利。同时，通过精细的放电功率控制，确保储能系统能够满足负荷需求。

（三）储能电池荷电状态(SOC)的维持策略

储能电池的荷电状态(SOC)，是影响系统运行稳定性和经济性的重要因素。通过制定合理的SOC维持策略，可以确保电池在最佳状态下运行，延长电池寿命，提高系统的整体经济性。一种常见的SOC维持策略，是基于变滤波时间常数的低通滤波方法。该方法通过实时监测电池的SOC值，并根据电池的工作状态和电网需求动态调整滤波时间常数，从而实现了对电池充放电功率的精细控制。在电池SOC

值较低时,适当提高充电功率,快速补充电量;在电池 SOC 值较高时,适当降低充电功率或增加放电功率,避免电池过充现象。

(四)考虑电网需求响应的运行策略调整

随着智能电网的发展,电网需求响应成为提升系统运行灵活性和经济性的重要手段。光伏储能系统可以通过参与电网需求响应,根据电网的负荷需求实时调整充放电策略,实现与电网的互动。例如,在电网负荷高峰时段,光伏储能系统可以通过放电为电网提供功率支持,缓解电网压力。在电网负荷低谷时段,则可以通过充电储存电能,为电网提供调峰服务。同时,通过与电网的实时通信和数据交换,光伏储能系统还可以根据电网的需求预测提前调整充放电策略,实现与电网的协同优化运行。

Q 光伏储能系统的经济效益分析

光伏储能系统的经济效益分析,是评估其投资可行性和市场潜力的关键步骤。本节将从成本构成分析和收益来源分析两个方面进行详细探讨。

(一)成本构成分析

光伏储能系统的成本构成,主要包括初始投资成本、运营维护成本、储能电池更换成本以及电网接入成本等。

初始投资成本是光伏储能系统成本的主要组成部分,包括太阳能电池板、逆变器、储能电池、控制系统、支架与安装配件等设备的购置和安装费用。其中,储能电池的成本占据了相当大的比重,不同类型的电池具有不同的价格,如铅酸电池和锂电池在价格和寿命上存在显著差异。运营维护成本则包括设备的日常维护、系统实时监控与管理、必要的保险费用等。这部分成本通常较低,因为光伏储能系统不需要燃料,也没有移动部件,减少了能源的浪费和设备的损耗。储能电池更换成本是光伏储能系统长期运营中不可忽视的一部分。随着电池使用寿命的耗尽,需要定期更换电池,以保持系统的正常运行。这部分成本取决于电池的类型、寿命及使用频率。电网接入成本涉及将光伏储能系统接入现有电网所需的改造或升级费用。在一些地区,电网系统可能不适应太阳能光伏发电系统的接入。因此,需要进行相应的改造或升级。如表 2 所示。

表 2 光伏储能系统成本构成表

成本项目	说明	占比
初始投资成本	太阳能电池板、逆变器、储能电池等设备购置和安装费用	60%
运营维护成本	设备日常维护、系统实时监控与管理、保险费用等	10%
储能电池更换成本	电池使用寿命耗尽后的更换费用	20%
电网接入成本	电网系统改造或升级费用	10%

(二)收益来源分析

光伏储能系统的收益来源多样,主要包括售电收入、自用电量节省、政策补贴、碳排放交易收益,以及参与电力市场交易等。售电收入是指将多余的光伏发电,通过电网卖给其他用户所获得的收入。在电价较高的时段释放储能系统的电能,可以实现峰谷电价套利,增加售电收入。自用电量节省是指光伏储能系统满足自身用电需求后,减少了对电网的依赖,从而节省了电费支出。政策补贴是许多国家和地区为鼓励可再生能源发展而提供的经济激励措施。碳排放交易收益是指光伏发电作为一种清洁能源,不会产生二氧化碳等温室气体。因此,可以获得碳排放交易收益。参与电力市场交易则是指光伏储能系统可以根据电力市场的需求与价格走势,合理安排储能设备的充放电计划,参与电力市场的买卖交易,获取额外的收益。

Q 结束语

光伏储能系统作为可再生能源领域的重要组成部分,其优化配置与经济效益分析,对于推动能源转型和可持续发展具有重要意义。本文通过对光伏储能系统的深入研究,探讨了其优化配置策略,包括系统建模、容量与功率匹配设计,以及多因素优化模型构建等关键环节。同时,本文还从成本构成、收益来源,以及经济效益评估模型等方面,对光伏储能系统的经济效益进行了全面分析。研究结果表明,通过科学合理的优化配置和运行策略设计,光伏储能系统不仅可以有效提高光伏发电的利用率和电力系统的稳定性,还可以获得显著的经济效益,降低运营成本,提高能源利用效率。因此,光伏储能系统具有广阔的发展前景和市场潜力,未来将成为推动能源转型和可持续发展的重要力量。

Q 参考文献

- [1]张宇翔,何海艳,黄骏飞,等.基于平准化度电净现值模型的轨道交通光伏发电储能一体化项目的经济效益分析[J].城市轨道交通研究,2023,26(10):103-108,115.
- [2]游广增,陈宇,陈孝元,等.考虑短时负荷调峰-长时光伏消纳的液化空气储能系统建模及经济性评估[J].南方电网技术,2023,17(12):90-100,118.
- [3]朱啸宇,刘学智.光伏储能系统中的电池损耗模型及经济效益分析[J].供用电,2022,39(12):98-102.
- [4]赵星星.电化学储能系统对光伏发电成本效益的影响研究[D].北京:华北电力大学(北京),2021.

作者简介:

沈瑞鹏(1989—),男,汉族,江苏连云港人,本科,工程师,江苏方洋能源科技有限公司,研究方向:电缆线路施工、新能源施工。