

# 电力市场模式下光伏发电储能系统容量配置优化研究

周长群 李俊霖 唐兴增

国华（哈密）新能源有限公司

**摘要：**随着全球能源结构的转型和电力市场的深化改革，光伏发电作为一种清洁、可再生的能源形式，正逐渐在电力市场中占据重要地位，然而，光伏发电的波动性和不稳定性给电力系统的稳定运行带来了挑战。因此，如何在电力市场模式下优化光伏发电储能系统的容量配置，成了当前研究的热点。本文将从光伏发电储能系统的原理、特点出发，探讨光伏发电储能系统容量配置的优化策略，以期为相关研究和应用提供参考。

**关键词：**电力市场模式；光伏发电储能系统；容量配置优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.23.072

## 引言

由于天气、光照等多种因素影响，光伏发电的输出功率具有较大的波动性和不稳定性。这种波动性和不稳定性不仅影响了光伏发电系统的效率，更为电力市场的稳定运行带来了挑战。为了应对这一挑战，引入储能系统成了必要的解决方案。储能系统可以在光伏发电输出功率高时储存多余的电能，在输出功率低时释放电能，从而平抑光伏发电的波动性和不稳定性。这种调节功能不仅提高了电力系统的稳定性和可靠性，还有助于电力市场的平稳运行。此外，储能系统还能为电力市场提供更多的灵活性。在电力市场中，电力价格随着供需关系的变化而波动。储能系统可以在电力价格低时储存电能，在电力价格高时释放电能，从而为电力市场提供价格上的稳定性。同时，储能系统还能为电力市场提供更多的备用容量，确保在紧急情况下电力系统的稳定运行。

## 一、我国新一轮电力体制改革内容

新一轮电力体制改革旨在深化电力行业市场化改革，构建更加成熟、开放、高效的电力市场体系。改革内容涵盖多个方面，其中重点是推动电力市场竞争机制的完善，通过放开发用电计划、扩大市场参与主体、引入更多社会资本，形成多元化、多层次的电力市场结构。同时，强化电力交易平台的独立性和规范运作，确保电力交易的公平、公正和透明。此外，新一轮电力体

制改革还注重优化电价形成机制，建立更加科学合理的电价体系，以反映电力市场的供求关系和成本变化。通过这些改革举措，旨在推动电力行业实现更高质量的发展，提升电力供应效率和服务水平，满足经济社会发展的用电需求，并促进能源结构的优化和绿色低碳发展。

## 二、光伏发电储能系统的原理

在光伏发电部分，其工作原理基于光电效应。当太阳光照射到太阳能电池板上时，光子与太阳能电池板上的半导体材料（通常是硅基材料）相互作用，这些光子携带着能量，当它们撞击半导体材料时，能量被吸收并激发半导体中的电子。这些被激发的电子从价带跃迁到导带，形成自由电子，同时在价带中留下空穴，形成电子-空穴对，由于半导体材料中存在P型和N型区域，在PN结处会形成一个内部电场，这个电场将电子和空穴分离，使得电子向N区移动，空穴向P区移动，从而在PN结两侧产生电势差，即电压。当连接外部电路时，这一电压就会驱动电子流动，形成电流，实现光能向电能的转换。接下来是储能部分，光伏发电系统产生的电能并非一直稳定，它会受到天气、季节、时间等多种因素的影响。因此，为了平衡电力供需，提高能源利用效率，就需要储能系统来储存多余的电能，并在需要时释放，储能系统通常由电池组成，如锂离子电池、铅酸电池等，当光伏发电系统产生的电能超过电网需求时，多余的电能就会通过充电控制器进入电池进行储存，而当电网需求大于光伏发电系统输出时，储能系统中的电池就会放电，补充电网的电力供应。此外，光伏储能系统还包含能量管理系统（EMS），这个系统负责监控电网状态、电池状态和负载需求，智能调度电能的存储与释放，通过实时数据分析，EMS能够预测电力需求，优化储能系统的充放电策略，确保电力系统的稳定运行<sup>[1]</sup>。

## 三、光伏发电储能系统的特点

### （一）波动性与不稳定性

光伏发电储能系统的首要特点就是其波动性与不稳定性，这种特点主要源于光伏发电的核心技术——太阳能电池板的工作原理，太阳能电池板依赖太阳光进行光电转换，但太阳光本身是一种间歇性的能源，其照射

强度、时间和方向都受到多种因素的影响，如天气、季节、地理位置等。因此，光伏发电系统的输出功率具有明显的波动性和不稳定性。这种波动性和不稳定性给电力系统的稳定运行带来了挑战，在传统的电力系统中，电力供应和需求需要保持动态平衡，以确保电力系统的稳定运行，然而，光伏发电系统的波动性和不稳定性使得其电力输出难以预测和控制，给电力系统的供需平衡带来了很大的不确定性，为了应对这种挑战，光伏发电储能系统应运而生，通过引入储能系统，可以将光伏发电系统产生的多余电能储存起来，并在需要时释放，以平衡电力系统的供需关系。这种平衡机制使得光伏发电储能系统能够在一定程度上克服其波动性和不稳定性缺点，提高电力系统的稳定性和可靠性<sup>[2]</sup>。

### （二）储能系统的调节作用

光伏发电储能系统的另一个重要特点是储能系统的调节作用，如前所述，光伏发电系统的电力输出具有波动性和不稳定性，而储能系统则能够通过电能的储存和释放来平抑这种波动性和不稳定性。具体而言，当光伏发电系统产生的电能超过电力系统的需求时，储能系统可以将多余的电能储存起来；而当电力系统的需求大于光伏发电系统的输出时，储能系统则可以将储存的电能释放出来，以满足电力系统的需求。这种调节机制使得光伏发电储能系统能够实现对电力系统的有效支撑，提高电力系统的稳定性和可靠性。此外，储能系统还具有多种其他调节作用，例如，储能系统可以通过快速响应电力系统中的功率波动和电压波动，提供无功补偿和电压支撑，进一步提高电力系统的稳定性和可靠性。同时，储能系统还可以通过对电能的储存和释放进行灵活调度，实现对电力负荷的削峰填谷，降低电力系统的峰谷差，提高电力系统的运行效率。

### （三）灵活性

光伏发电储能系统的灵活性是其另一个显著特点，这种灵活性主要体现在以下几个方面：首先，光伏发电储能系统可以灵活部署在电力系统的各个环节中，包括发电侧、输电侧和配电侧等。通过在不同环节部署储能系统，可以实现对电力系统的全面支撑和优化。例如，在发电侧部署储能系统可以平衡光伏发电系统的波动性和不稳定性；在输电侧部署储能系统可以提高电力系统的传输效率和稳定性；在配电侧部署储能系统则可以实现对电力负荷的灵活调度和管理。其次，光伏发电储能

系统可以根据电力系统的实际需求进行灵活调度，由于储能系统具有快速响应和灵活调节的能力，因此可以根据电力系统的实时状态进行快速调整，以满足电力系统的各种需求。例如，在电力系统出现故障或突发事件时，储能系统可以迅速响应并提供必要的电力支持；在电力系统负荷高峰时段，储能系统可以释放储存的电能以缓解电力紧张局面。最后，光伏发电储能系统的灵活性还体现在其可扩展性和可替换性上，随着光伏发电技术的不断发展和储能技术的不断进步，光伏发电储能系统的性能和效率也在不断提高。因此，可以根据实际需要扩展或替换储能系统的容量和类型，以适应电力系统的发展需求。这种可扩展性和可替换性使得光伏发电储能系统具有更广泛的应用前景和更高的实用价值<sup>[3]</sup>。

## 四、电力市场模式下光伏发电储能系统容量配置优化策略

### （一）基于需求预测的优化配置

在电力市场模式下，电力供需关系日益受到市场动态的影响，市场竞争和波动性日益增强。当前电力市场模式的特点包括高度的市场化、价格发现和供求响应机制的快速调整。在这样的背景下，光伏发电储能系统需要灵活应对市场变化，确保电力供应的稳定性和经济性。

在电力市场模式下，进行需求预测时，首先需要历史电力市场需求数据进行深入分析，了解市场需求的变化趋势和周期性规律。随后，结合外部因素如气候条件、经济活动、能源政策等，利用统计模型、回归分析、机器学习等技术和方法，构建出能够准确反映市场需求与这些因素之间关系的预测模型。通过不断的数据收集、模型更新和优化，确保预测结果的准确性和实时性。同时，还需关注市场动态和潜在风险，结合专家意见和市场趋势，对预测结果进行综合评估和调整。接下来，基于这些预测结果，我们可以对光伏发电储能系统的容量进行优化配置。一方面，要确保储能系统能够在电力需求高峰时段提供足够的电力支持，避免电力短缺和价格飙升；另一方面，也要考虑在电力需求低谷时段储存过剩的电能，以供后续使用，降低储能成本并提高系统的经济效益。

此外，电力市场模式下，电力市场的开放性和竞争性要求光伏发电储能系统具备更高的灵活性和适应性。因此，在优化储能系统容量的过程中，我们还需要考虑

电力市场的价格波动和供需变化，灵活调整储能系统的充放电策略，以最大化系统的经济收益。

### （二）基于经济性的优化配置

在电力市场模式下，光伏发电储能系统的容量配置必须考虑到经济性，以确保投资回报率的最大化，基于经济性的优化配置策略，旨在通过深入分析成本、收益以及市场动态，为储能系统容量的选择提供决策支持。

在电力市场模式下，优化光伏发电储能系统的容量配置时，引入市场机制对于提高系统的经济性和运行效率至关重要。市场机制允许储能系统根据电力市场的价格波动灵活调整其充放电行为，从而实现经济收益的最大化。

引入市场机制到储能系统的充放电策略中，意味着储能系统将成为电力市场中的一个活跃参与者。它可以根据电力市场的实时价格信号，智能地决定何时充电、何时放电以及充放电的电量。当电力市场价格较低时，储能系统可以选择充电，将过剩的电力储存起来，以备在电力需求高峰或电价较高时使用。这样做可以降低储能系统的运行成本，同时减少电力市场的过剩电量，稳定市场价格。相反，在电力需求高峰或电价较高时，储能系统可以选择放电，将储存的电力注入到电网中，以满足电力需求。通过这种方式，储能系统不仅能够提供稳定的电力支持，避免电力短缺和价格飙升，还能够通过销售电力获得经济收益。为了实现这种基于市场机制的充放电策略，储能系统需要配备先进的控制和监测技术。这些技术可以实时监测电力市场的价格动态，并基于预设的算法和策略，自动调整储能系统的充放电行为。此外，储能系统的运营商还需要与电力市场运营商和其他市场参与者建立紧密的合作关系。通过共享信息、协调行动，可以确保储能系统能够更好地融入电力市场，实现与市场的无缝对接<sup>[4]</sup>。

### （三）基于多目标优化的配置方法

在电力市场模式下，光伏发电储能系统容量配置的优化涉及多个相互关联且需平衡的目标。为了在这些目标之间找到最佳的平衡点，我们采用多目标优化配置方法。这种方法首先明确经济性、系统稳定性与可靠性、电力市场价格机制以及环境效益等关键目标，并构建相应的数学模型。通过集成先进的优化算法，如遗传算法、粒子群优化算法等，该方法能够搜索出满足所有目标的最优解集。

在求解过程中，根据电力市场的实时数据和预测信息，不断调整优化模型的参数和约束条件，以确保优化结果的准确性和实时性。同时，我们还考虑到了电力市场的波动性和不确定性，通过设置弹性系数和风险因子等参数，来应对市场变化带来的风险。

通过多目标优化配置方法，得到Pareto最优解集，这些解集在多个目标之间提供了权衡。决策者可以根据实际情况和需求，选择最合适的配置方案。例如，在电力市场需求高峰期，可以选择具有更高储能容量的方案，以满足电力需求并降低电力市场价格；而在电力市场需求低谷期，可以选择具有更低储能容量的方案，以降低投资成本和维护成本。这些解集在多个目标之间提供了权衡，使得决策者可以根据实际情况和需求，选择最合适的配置方案。

### 结语

光伏发电储能系统作为一种重要的能源解决方案，在电力市场模式下具有重要的应用价值，本文从光伏发电储能系统的原理、特点出发，结合电力市场的实际情况，探讨了光伏发电储能系统容量配置的优化策略，并通过案例分析验证了策略的有效性。未来，随着电力市场的进一步深化改革和储能技术的不断发展，光伏发电储能系统的容量配置优化研究将具有更加广阔的前景。

### 参考文献

- [1] 李育波. 储能技术在光伏发电系统中的应用研究[J]. 光源与照明, 2024, (02): 121-123.
- [2] 沈继宝. 光伏发电系统与储能装置的协调运行以及控制研究[J]. 中国设备工程, 2024, (04): 99-101.
- [3] 陈楷文. 储能技术在光伏发电系统中的应用[J]. 光源与照明, 2023, (12): 105-107.
- [4] 林丽蓉. 储能技术在光伏电站并网发电系统中的应用[J]. 光源与照明, 2023, (09): 138-140.
- [5] 龚开, 王旭, 邓晖, 等. 现货市场环境下基于深度强化学习的光储联合电站储能系统最优运行方法[J]. 电网技术, 2022, 46(09): 3365-3377.
- [6] 格日勒图, 张立辉, 柴剑雪. 电力市场环境下储能电站和光伏电站合作博弈模型[J]. 可再生能源, 2020, 38(04): 545-553.

作者简介: 周长群, 男, 1990年10月, 汉, 山东枣庄, 本科, 工程师, 研究方向, 电力市场。