

光伏发电与储能系统联合运行的能量管理策略研究

郭威

中电投绿能科技有限公司, 上海 200000

DOI:10.61369/EPTSM.2025110001

摘 要： 随着全球能源转型与“双碳”目标推进，光伏发电作为清洁能源的核心组成部分，其规模化应用成为必然趋势。本文针对光伏发电与储能系统联合运行的能量管理展开研究。光储联合系统能量管理面临多目标优化冲突、不确定性干扰、算法性能瓶颈等核心问题。为此，提出基于改进麻雀搜索算法的策略：改进算法结构以增强寻优能力，构建分层多目标优化模型并协同求解，建立动态约束处理与实时反馈机制。该策略旨在提升光储系统运行的经济性、可靠性与环保性，为其高效管理提供有效方案。

关 键 词： 光伏发电；储能系统；联合运行；能量管理策略

Research on Energy Management Strategies for the Combined Operation of Photovoltaic Power Generation and Energy Storage Systems

Guo Wei

China Power Investment Green Energy Technology Co., LTD., Shanghai 200000

Abstract： With the global energy transition and the advancement of the "dual carbon" goals, photovoltaic power generation, as a core component of clean energy, has seen its large-scale application become an inevitable trend. This paper conducts research on energy management in the combined operation of photovoltaic power generation and energy storage systems. The energy management of the integrated photovoltaic and energy storage system is confronted with core issues such as multi-objective optimization conflicts, uncertain interference, and algorithm performance bottlenecks. To this end, a strategy based on the improved sparrow search algorithm is proposed: improving the algorithm structure to enhance the optimization ability, constructing a hierarchical multi-objective optimization model and solving it collaboratively, and establishing a dynamic constraint processing and real-time feedback mechanism. This strategy aims to enhance the economic efficiency, reliability and environmental friendliness of the photovoltaic storage system operation, providing an effective solution for its efficient management.

Keywords： photovoltaic (PV) power generation; energy storage system; combined operation; energy management strategy

在全球能源转型与“双碳”目标推动下，光伏发电与储能系统联合运行成为提升清洁能源利用率的关键。但光储系统能量管理面临多目标冲突、不确定性干扰及算法适配性不足等问题，制约其高效运行。本文聚焦这些挑战，探索基于改进麻雀搜索算法的能量管理策略，为光储系统优化运行提供新思路。

一、光储联合系统能量管理面临的核心问题

（一）多目标优化的冲突与优先级失衡

光储联合系统的能量管理过程中，需要在经济性、可靠性、环保性等多个维度上实现协同优化，而这些目标之间存在着天然的内在矛盾。从经济性角度出发，核心诉求是通过合理调度实现资源的高效配置，以降低整体运行成本并提升收益空间，但这一过程往往需要对储能资源进行高强度利用，这种利用方式可能与

旨在延长设备服役周期的可靠性目标形成直接冲突。可靠性目标强调系统运行的稳定性与持续性，要求避免可能对设备造成不可逆损伤的操作，而这种保守策略可能会限制经济性目标的实现程度。环保性目标则聚焦于提升清洁能源的消纳率、减少对传统能源的依赖，这需要通过精细化调控平抑新能源出力的波动，以满足电网接入的规范要求。然而，这种调控往往伴随着储能设备的高频次状态切换，由此产生的能量损耗与设备磨损会直接推高运维成本，使得环保性目标与经济性目标之间形成张力。在离网场

景中，可靠性目标的优先级被进一步凸显，为确保关键负荷的不间断供电，往往需要维持较高的能量储备冗余，这种冗余设计虽能提升系统的抗风险能力，却可能导致能量利用效率的下降，进而牺牲部分经济性。

（二）不确定性因素的动态干扰与预测偏差

系统运行过程中，诸多关键参数始终处于动态变化之中，其不确定性构成了能量管理的主要干扰源，这些不确定性主要体现在三个维度。首先是光伏发电的固有随机性，其出力大小直接受制于自然环境的瞬时变化，比如云层的随机漂移会导致光照强度急剧波动，大气中颗粒物的分布变化会影响光的传播效率，而突发的气象事件则可能在短时间内彻底改变光照条件，这些因素共同导致光伏发电的实际出力与预测结果之间始终存在难以消除的偏差，且时间跨度越大，这种偏差的累积效应越明显。其次是用户负荷的动态波动性，不同类型的负荷有着截然不同的变化规律。居民用电行为与日常生活节奏紧密相关，会随作息习惯的调整、季节更替带来的需求变化而呈现出 irregular 波动；商业用电则受经营策略、市场活动等因素影响，用电模式常处于动态调整之中，使得负荷曲线在不同时段呈现出显著差异。这种波动性使得负荷需求的预测始终存在一定的不确定性，难以精确把握其变化趋势。

（三）优化算法的性能瓶颈与场景适应性不足

能量管理问题的本质，是一个包含高维度变量、非线性关系与多重约束条件的复杂优化命题，这使得现有算法在追求求解精度与运行效率的平衡上始终面临挑战。传统数学优化方法在应对这类问题时，往往因模型的复杂性而难以直接适用。例如，线性规划、动态规划等方法在处理非线性约束时，不得不进行一定程度的简化与近似，这种处理方式虽能降低计算难度，却可能使优化结果偏离实际场景中的最优解，导致策略的实际效果打折扣^[1]。动态规划虽在理论上能够求得全局最优解，但随着时间尺度的拉长和变量维度的增加，其计算量会呈现爆发式增长，难以满足实时调度对响应速度的要求，在需要快速调整策略的场景中显得力不从心。

二、基于改进麻雀搜索算法的能量管理策略

（一）算法结构改进与寻优能力增强

原始麻雀搜索算法在处理光储联合系统这类复杂能量管理问题时，常因探索与开发能力的失衡导致优化效果受限——要么因过度探索而收敛缓慢，要么因过早陷入局部开发而错失全局最优解。为此，从种群初始化与搜索机制两个关键环节进行针对性改进，以提升算法对高维度、多约束场景的适配性^[2]。

在种群初始化阶段，突破传统随机生成初始解的模式，引入混沌映射机制。混沌系统所具有的遍历性与伪随机性，能够通过非线性映射生成覆盖整个解空间的初始解群，且解的分布更为均匀，有效避免了随机初始化可能导致的解群聚集现象。这种改进使得算法在优化初期就能接触到更多潜在的优质解区域，为后续的全局寻优奠定了更坚实的基础，尤其在处理包含储能充放电功率、电网交互功率等多变量的能量管理问题时，能显著提升解的

多样性。在搜索机制层面，设计动态自适应的权重调整策略。算法将种群划分为负责全局探索的“发现者”与专注局部开发的“加入者”，并根据迭代进程实时调整两者的权重占比：在迭代初期，提高发现者的权重分配，使其在更大范围内进行随机搜索，充分挖掘解空间中的未知区域，避免因搜索范围过窄而遗漏全局最优解；随着迭代推进，逐步增加加入者的权重占比，引导算法聚焦于优质解周边的局部区域进行精细搜索，通过对解的微调与优化提升解的精度。

（二）多目标优化模型的分层构建与协同求解

光储联合系统的能量管理涉及经济性、可靠性、环保性等多重目标，这些目标在本质上存在相互制约的特性，若简单叠加处理易导致优化方向模糊。为此，构建分层递进的多目标优化模型，通过层级化设计明确各目标的核心诉求与关联关系，为协同优化奠定逻辑基础^[3]。

底层以经济性为根基，系统梳理影响运行成本的各项要素，将购电成本、售电收益、储能设备的运维损耗、电池循环寿命衰减带来的隐性成本等进行量化整合，形成可精确计算的经济成本函数。这一层面的优化旨在通过合理调度能量流，实现系统运行的成本最小化与收益最大化，为整个优化模型提供基础经济约束。中层聚焦可靠性目标，将保障系统稳定运行的关键指标转化为可量化的函数表达。其中包括对储能状态的动态维持（如避免过度充放电导致的性能损耗）、对光伏功率波动的有效平抑（如控制联络线功率的波动幅度）、对负荷供电连续性的保障（如确保关键负荷的电力供应不中断）等。这一层面的优化是系统安全运行的核心支撑，与底层经济性目标形成相互约束又相互促进的关系。顶层以环保性为导向，通过提升光伏发电的本地消纳率、减少对传统火电等化石能源的依赖、降低系统运行过程中的碳排放等指标构建绿色目标函数。这一层面的优化响应了能源转型的大趋势，将光储联合系统的社会效益纳入优化框架，与底层经济性、中层可靠性共同构成多维度的目标体系。

表1 多目标优化模型各层级的相关数据

目标层级	核心指标	具体数据
底层（经济性）	峰谷电价差	工商业用户可达0.8–1.2元 / 千瓦时
	购电成本降低幅度	单日可降低15%–25%
	储能年均运维成本占比	约为初始投资的3%–5%
	深度充放电导致的隐性成本增加	约40%（电池循环寿命从1500次缩短至800次以下）
中层（可靠性）	储能SOC安全区间	20%–80%（可使电池故障概率降低至0.5%以下）
	15分钟内光伏功率波动幅度控制	10%以内（满足电网接入标准）
	医疗负荷供电中断时间上限	0.5秒
	工业负荷供电中断时间上限	2秒
顶层（环保性）	光伏本地消纳率提升带来的电网购电量减少	每提升10%，减少约8%–12%
	光伏本地消纳率提升对应的年碳排放量降低	每提升10%，降低5–8吨 / 兆瓦
	光储系统替代燃煤机组供电的单位碳排放减少量	每千瓦时约0.78千克

（三）动态约束处理与实时反馈机制

光储联合系统的能量管理需严格遵守各类硬约束条件，如储能状态的上下限、与电网的功率交互限制、设备充放电速率阈值等，这些约束直接关系到系统的安全运行与设备寿命。为此，设计融合惩罚函数与可行性修复的双重约束处理机制，以确保算法求解结果的可行性与实用性。

在算法迭代过程中，动态惩罚机制针对违反约束的解进行分级处理：对于轻微越界的解，施加基础惩罚以降低其适应度值，引导种群向可行域方向搜索；对于严重违反约束的解（如储能状态超出安全范围），则施加随迭代次数递增的强化惩罚，通过放大其目标函数值，迫使算法在后续迭代中主动规避此类解。这种动态调整的惩罚策略，既能避免因过度惩罚导致的种群多样性丧

失，又能确保约束条件的刚性执行。为应对光伏发电、用户负荷等不确定性因素带来的预测偏差，建立全流程的实时反馈闭环。

三、结语

文章针对光储联合系统能量管理的多目标冲突、不确定性干扰及算法适配性不足等问题，提出基于改进麻雀搜索算法的策略，通过算法改进、分层建模及动态反馈机制提升系统效能。该策略为解决光储协同难题提供了有效路径，未来可结合更精准的预测技术与多能互补场景深化研究，进一步推动光储系统在新型电力系统中的规模化应用与优化升级。

参考文献

- [1] 陈邦进. 风光储联合发电系统主动配电网多时段动态无功优化研究 [J]. 信息系统工程, 2024, (12): 134-137.
- [2] 陈子航, 朱彦卿, 宋宁峰. 风光水储联合发电系统优化调度方法研究 [J]. 武汉大学学报 (工学版), 2024, 57(12): 1775-1784.
- [3] 苗田银, 于露. 风光储发电系统多级无功补偿协调控制策略研究 [J]. 机电信息, 2024, (23): 55-59.
- [4] 潘婷, 王俐英, 丁红坚, 曾鸣, 张晓春, 苏一博, 周旭艳. 区域电力系统复合储能发电系统容量优化 [J]. 太阳能学报, 2024, 45(10): 752-763.