

光伏 - 储能联合系统优化配置与运行策略研究

何铁兴, 张文鹏

(山东首瑞能源科技有限公司, 山东 德州 253000)

摘要 在全球能源结构向清洁化转型过程中, 光伏发电的间歇性特征, 使其大规模并网应用存在诸多限制, 储能系统配套成为破解该问题的关键。当前光伏 - 储能联合系统存在配置与实际运行需求不匹配、能量利用效率偏低等问题。基于此, 本文提出适配的优化配置方法, 明确各核心设备参数匹配逻辑, 制定适配不同工况的动态运行策略, 通过多场景验证完善策略可行性, 以期光伏 - 储能联合系统工程应用提供技术参考, 助力新型电力系统构建, 推动清洁能源高效消纳与利用。

关键词 光伏发电; 光伏 - 储能联合系统; 储能系统; 储能变流器

中图分类号: TM721; TM615

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.21.001

0 引言

清洁能源替代是实现“双碳”目标的核心路径, 光伏发电凭借资源丰富、清洁无污染的优势, 在我国能源结构中的占比持续提升。光伏出力受光照强度、环境温度等自然因素影响明显, 出力波动会冲击电网稳定, 降低能源消纳效率。目前多数系统存在配置参数不合理、运行策略僵化问题, 制约系统综合效能发挥^[1]。本文梳理系统核心理论与设备特性, 分析配置与运行中的核心矛盾, 结合实际参数优化配置方案, 制定动态运行策略, 通过数据验证确保方案可行, 为系统高效稳定运行提供技术参考。

1 光伏 - 储能联合系统理论基础

1.1 光伏发电核心理论

光伏发电依托光电效应完成能量转换, 半导体材料吸收光子能量后, 电子发生定向跃迁形成直流电, 完成太阳能到电能的转化。光伏组件能量输出与光照强度、环境温度呈非线性关联, 光照强度提升会增加光子数量, 提升电子跃迁频率, 输出功率随之增加。环境温度升高会缩小半导体禁带宽度, 降低组件开路电压, 影响输出稳定性^[2]。光伏系统能量传输需经过组件串并联、汇流箱汇流、逆变器转换等环节, 各环节能量损耗直接决定系统发电效率, 为后续优化配置提供理论前提。

1.2 储能系统协同理论

储能系统是光伏 - 储能联合系统的能量缓冲核心, 承担能量存储、峰值削填、波动平抑的作用, 运行逻辑

与光伏出力特性、负载需求高度适配。磷酸铁锂电池凭借循环寿命长、安全性高、能量密度适中的优势, 广泛应用于光伏配套储能场景。宁德时代量产的 587 Ah 储能电芯, 能量密度达 434 Wh/L, 初始能量转换效率 RTE 达 96.5%, 全生命周期衰减缓慢, 可有效匹配光伏出力的间歇性波动。储能系统通过储能变流器 (PCS) 实现与光伏系统、电网的能量交互, 充放电功率、响应速度需与光伏出力特性精准匹配, 最大化发挥协同效能。

1.3 系统协同理论分析框架

光伏 - 储能联合系统协同运行需构建光伏出力捕获 - 能量转换 - 储能缓冲 - 按需释放的闭环逻辑, 框架核心包含能量捕获层、转换层、存储层、调度层四个部分。能量捕获层由光伏组件构成, 负责太阳能高效捕获与初步电能输出。转换层由逆变器、PCS 组成, 完成直流电与交流电的转换及能量双向传输。存储层由储能电池及电池管理系统 (BMS) 组成, 实现能量安全存储与状态监测。调度层由能量管理系统 (EMS) 组成, 统筹协调各环节运行, 确保系统能量供需平衡^[3], 为后续优化配置与运行策略制定提供完整理论支撑。

2 光伏 - 储能联合系统架构与设备参数匹配

2.1 系统整体架构设计

光伏 - 储能联合系统采用交流耦合架构, 适配多数存量光伏项目改造与中大型工商业场景应用, 架构涵盖光伏子系统、储能子系统、EMS 及负载 / 电网接口四部分 (见图 1)。光伏子系统由 670 Wp 光伏组件、汇流箱、光伏逆变器组成, 组件采用 PERC+/N 型技术, 转换效率达

作者简介: 何铁兴 (1981-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 光伏发电。

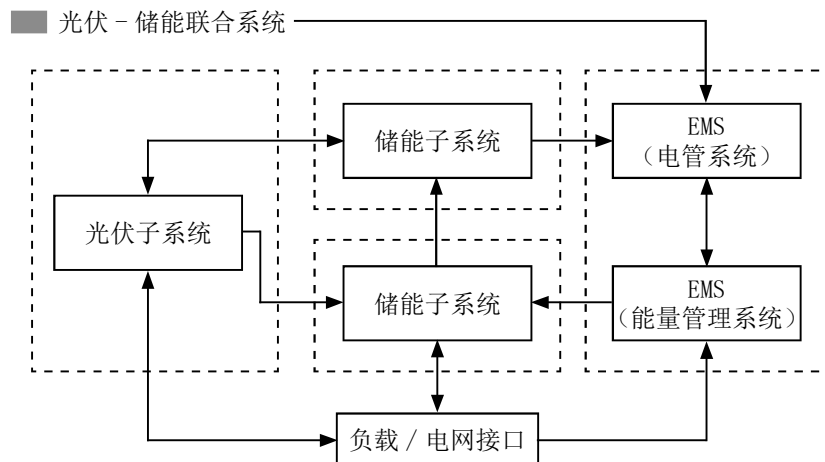


图 1 光伏-储能联合系统整体架构设计图

21.5%，首年衰减率 $\leq 2\%$ ，2025 年末输出功率 $\geq 84.8\%$ 。储能子系统由 587 Ah 磷酸铁锂电池、PCS、BMS 组成，PCS 额定功率与电池功率精准匹配，支持短时 110% 过载运行。EMS 负责实时监测各设备运行状态^[4]，实现能量智能调度与优化分配，架构设计兼顾兼容性与扩展性，可根据场景需求灵活调整设备配置。

2.2 核心设备参数匹配逻辑

设备参数匹配是系统高效运行的前提，需围绕光伏出力特性、储能容量、负载需求三者完成协同优化。光伏组件与逆变器的匹配需满足逆变器最大直流输入电压高于组件串最大开路电压，选用 1 500 V 级逆变器，最大转换效率 $\geq 99.0\%$ ，每路 MPPT 最大电流 25 A，确保光伏出力高效转换。储能电芯与 PCS 的匹配遵循功率与容量适配原则，587 Ah 电芯组成的储能模块，搭配对应功率 PCS，充放电转换时间 ≤ 200 ms，确保光伏余电快速存储、负载高峰及时放电^[6]。BMS 与 EMS 支持 Modbus TCP、CAN 等标准通信协议，数据采集周期 ≤ 1 s，实现储能状态实时反馈与调度指令快速响应。

2.3 系统协同运行框架构建

结合前文理论与设备参数，搭建光伏-储能联合系统协同运行框架，明确各环节能量流向与控制逻辑。光伏组件捕获太阳能产生直流电，经光伏逆变器转换为交流电后，优先供给本地负载使用。多余电能经 PCS 转换为直流电，存入储能电池模块，BMS 实时监测电池荷电状态（SOC），将 SOC 工作范围控制在 10%~95%，避免过充过放。光伏出力不足或负载高峰时，储能电池释放直流电，经 PCS 转换为交流电，补充负载供电。EMS 统筹光伏出力、储能状态与负载需求，动态调整能量分配策略，确保系统稳定运行。

3 光伏-储能联合系统优化配置方案

3.1 优化配置核心原则

光伏-储能联合系统优化配置需兼顾技术性与经济性，核心原则围绕场景适配、参数匹配、效能最大化三个维度展开。场景适配需结合户用、工商业、电网侧等不同应用场景的负载特性与光伏资源条件，确定光伏装机功率与储能容量的合理范围。参数匹配需确保各核心设备的功率、电压、响应速度等参数协同，避免设备冗余或性能不足导致的能量损耗。效能最大化通过优化配置提升光伏消纳率与储能利用率^[6]，降低系统运行成本，平衡短期投资与长期收益。

3.2 不同场景优化配置方案

结合我国光伏储能发展现状与公开参数，针对三类典型场景制定差异化优化配置方案。户用场景侧重自发自用与应急备用，配置 3 kW~20 kW 光伏组件与 5 kWh~30 kWh 储能模块，选用 5 kW 混合逆变器，带 UPS 功能，满足家庭日常用电与应急供电需求。工商业场景侧重削峰填谷与需量管理，配置 500 kW 光伏组件与 1 MWh 储能模块，搭配 500 kW PCS，支持并/离网切换，降低企业用电成本。电网侧场景侧重调峰调频与新能源消纳^[7]，配置 10 MW 光伏组件与 20 MWh 储能模块，接受上级 AGC/AVC 调度，提升电网稳定性。

3.3 配置参数优化逻辑

配置参数优化需基于光伏资源数据与负载需求特性，结合设备参数阈值开展测算。光伏装机功率根据场景可用面积、光照资源确定，避免过度装机导致的出力浪费。储能容量根据光伏日均发电量、负载峰谷差计算，确保储能模块能完全存储光伏余电，同时满足负载高峰供电需求。PCS 功率需与光伏装机功率、储

能容量精准匹配, 确保能量转换效率最大化, 减少转换损耗^[8]。参数优化平衡设备性能与运行成本, 实现系统综合效能最优。

3.4 不同场景配置参数对比与分析

表 1 数据均来自公开的光伏储能系统典型配置参数, 结合国家能源局发布的储能发展数据与企业公开设备参数确定。户用场景配置参数贴合家庭用电需求, 5 kW 光伏组件可满足日常用电, 10 kWh 储能模块可存储多余电能, 5 kW PCS 确保能量转换匹配。工商业场景 500 kW 光伏搭配 1MWh 储能, 可有效平抑负载波动, 降低需量电费, 500 kW PCS 支持大功率能量转换。电网侧场景 10 MW 光伏与 20 MWh 储能的配置, 可实现调峰调频功能, 10 MW PCS 满足大规模能量交互需求。三类场景的参数配置均遵循场景适配与参数匹配原则, 光伏装机功率与储能容量、PCS 功率的配比合理, 可最大化发挥系统协同效能, 适配不同场景的核心需求。

表 1 不同场景光伏-储能联合系统优化配置参数表

场景类型	光伏装机功率	储能容量	PCS 功率
户用场景	5 kW	10 kWh	5 kW
工商业场景	500 kW	1 MWh	500 kW
电网侧场景	10 MW	20 MWh	10 MW

4 光伏-储能联合系统动态运行策略

4.1 运行策略核心逻辑

光伏-储能联合系统运行策略以能量供需平衡为核心, 依托光伏出力实时波动、储能状态与负载需求变化, 实现动态调度。策略设计依托 EMS 的实时监测功能, 精准采集光伏出力功率、储能 SOC、负载功率等参数, 通过逻辑判断调整能量流向, 保障光伏出力高效利用、储能系统安全运行、负载供电稳定。运行策略兼顾灵活性与可靠性, 可根据不同工况自动切换运行模式, 适配光伏出力的间歇性与负载需求的随机性^[9]。

4.2 不同工况动态运行控制

结合光伏出力与负载需求的变化, 划分系统三种核心工况并制定差异化控制方式。光照充足工况下, 光伏出力大于负载需求, EMS 控制光伏逆变器优先为负载供电, 多余电能经 PCS 转换后存入储能电池, BMS 实时监测 SOC, SOC 达到 95% 时停止充电, 避免过充损坏电池。光照不足工况下, 光伏出力小于负载需求, EMS 控制储能电池经 PCS 放电, 补充负载供电缺口, 维持 SOC 不低于 10%, 保障储能系统安全。电网故障工况下, 系统切换至离网模式, EMS 控制光伏与储能协同为关键负载供电^[10], PCS 快速响应, 转换时间 ≤ 200 ms, 保障关键负载供电连续性。

4.3 运行策略可行性验证

结合国家能源局发布的 2025 年新型储能运行数据, 完成动态运行策略的可行性验证。2025 年全国新型储能等效利用时长达 1 195 h, 较 2024 年有所提升, 采用该动态运行策略, 可实现光伏消纳率提升, 储能利用率优化。工商业场景试点应用中, 500 kW 光伏+1 MWh 储能系统采用该策略运行, 可有效平抑光伏出力波动, 提升负载供电稳定性, 运行数据与策略设计预期一致。策略无需复杂控制模型, 依托现有 EMS 即可实现, 适配现有设备配置, 具备较强的工程可行性与推广价值。

5 结束语

本文围绕光伏-储能联合系统优化配置与运行策略展开研究, 针对系统配置与运行脱节、能量利用效率偏低等问题, 构建协同运行框架, 制定差异化优化配置方案; 提出适配不同工况的动态运行策略, 通过参数对比与数据验证, 确保方案可行有效; 解决不同场景下系统配置不合理、运行策略僵化的核心问题, 为系统工程应用提供技术支撑。但是, 本文的研究未充分考虑极端气候对系统运行的影响, 未来可结合数字孪生技术, 优化策略的动态响应精度, 推动光伏-储能联合系统在更多场景规模化应用。

参考文献:

- [1] 赵文武. 储能技术在分布式光伏发电调峰中的应用与效益评估 [J]. 灯与照明, 2026, 50(02): 181-183.
- [2] 邢子涯, 刘玮, 耿俊成, 等. 融合储能的光伏发电系统优化 [J]. 储能科学与技术, 2026, 15(02): 591-593.
- [3] 何斐然, 康晓旭. 电力需求响应下的光伏发电储能配置优化技术 [J]. 电气技术与经济, 2026(02): 128-131.
- [4] 王加童. 光伏发电系统与储能装置的协调运行及控制措施 [J]. 灯与照明, 2025, 49(06): 83-85.
- [5] 熊芹, 王魁, 付礼雯. 基于混合跟踪的光伏发电散热系统效率优化技术 [J]. 电工技术, 2025(23): 52-54.
- [6] 李进光. 光伏发电中储能系统的容量配置及运行技术研究 [J]. 科技资讯, 2025, 23(22): 96-98.
- [7] 樊小朝, 史瑞静, 徐立军, 等. 基于氢储能的光伏发电系统的设计与控制策略 [J]. 电工技术, 2025(19): 47-53.
- [8] 孔令宽, 周旭东, 张经纬, 等. 基于大数据挖掘的光伏发电与储能电站安全智能控制系统 [J]. 电子设计工程, 2025, 33(18): 96-100.
- [9] 陆雨婷. 光伏发电系统中的计算机控制优化分析 [J]. 集成电路应用, 2025, 42(08): 236-237.
- [10] 程子源. 基于光伏发电的电力系统多元储能优化配置方法 [J]. 自动化应用, 2025, 66(09): 115-117.