

Research on Energy Storage Energy Management Strategy Optimization in Photovoltaic Wind-Solar Microgrid

Yifan Zhao

Henan Water Investment Resource Development and Management Group Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract

The efficient, stable, and economically viable operation of wind-solar-storage microgrids heavily relies on scientifically sound energy management strategies for energy storage systems. Conventional control methods often struggle to achieve precise power tracking and stable load supply due to the inherent intermittency, randomness, and volatility of wind and solar resources. These limitations not only lead to frequent energy storage charging/discharging cycles and accelerated lifespan degradation but also compromise system operational economics. To address these challenges, this study conducts optimization research on energy storage management strategies by integrating SOC-based zonal control concepts with multi-time-scale power allocation methods. The research refines coordinated operational logic for wind/solar fluctuation mitigation, load tracking, and peak-valley electricity price arbitrage. Through hierarchical regulation, dynamic power matching among generation, storage, and loads is achieved, effectively suppressing power fluctuations, extending energy storage lifespan, and enhancing overall energy utilization efficiency. These findings provide practical theoretical foundations and technical support for the safe, reliable, and cost-effective large-scale deployment of wind-solar-storage microgrids.

Keywords

wind-solar-storage microgrid; energy storage system; energy management strategy; strategy optimization

风光储微电网中储能能量管理策略优化研究

赵一帆

河南水投资源开发管理集团有限公司, 中国·河南 郑州 450000

摘要

风光储微电网的高效、稳定与经济运行, 高度依赖科学合理的储能能量管理策略。受风光资源天然的间歇性、随机性与波动性影响, 传统控制方法往往难以实现功率精准跟踪与负荷平稳供电, 同时易造成储能频繁充放电、寿命衰减过快, 也难以兼顾系统运行经济性。针对上述问题, 本文围绕储能能量管理策略展开优化研究, 融合SOC分区控制思想与多时间尺度功率分配方法, 细化风光波动平抑、负荷跟踪与峰谷电价套利的协调运行逻辑, 通过分层调控实现源-储-荷间功率的动态匹配, 有效抑制功率波动、延长储能使用寿命并提升整体能源利用效率, 为风光储微电网安全可靠、经济高效的规模化推广应用提供切实可行的理论依据与技术支持。

关键词

风光储微电网; 储能系统; 能量管理策略; 策略优化

1 引言

双碳目标推动下, 风光储微电网作为整合可再生能源的核心载体, 在能源结构转型中发挥着愈发重要的作用, 风光资源的随机性的特点给储能系统的能量调度带来不小挑战, 现有能量管理策略在适配性和协调性上仍有提升空间, 合理的储能能量管理策略能够有效平抑风光功率波动, 延长储能设备使用寿命, 提升微电网运行的稳定性和经济性, 开展相关优化研究具有重要的现实意义和应用价值。

【作者简介】赵一帆(1991-), 男, 中国河南郑州人, 本科, 工程师, 从事电力研究。

2 典型能量管理策略分类与特点

典型能量管理策略主要分为三类, 各类策略的分类依据的是调度逻辑与实现方式的差异, 结合实际应用场景可清晰区分其核心特点。基于规则的策略是应用最基础的一类, 核心依托预设的充放电阈值开展调度, 无需复杂计算, 操作简单且投入成本低, 适配小型风光储微电网的简易运行需求。基于优化的策略以数学建模为核心, 通过分析风光出力、负荷需求等数据确定调度方案, 能兼顾运行经济性, 但其计算过程繁琐, 响应速度较慢, 难以应对实时突发工况。混合式策略是前两类策略的融合形式, 既保留规则策略的便捷性, 又融入优化策略的合理性, 可根据实时运行数据动态调整调度逻辑, 适配更复杂的实际运行场景^[1]。

3 现有策略在风光储微电网中的局限性

现有能量管理策略在风光储微电网中的局限性可具体分为以下三点：

一是适配性不足，策略多基于理想工况设计，未充分考虑风光资源的随机性，预设充放电阈值固定，遇到光照骤降、风速突变等情况时，调度响应滞后，易出现储能充放电失衡问题。

二是未兼顾储能寿命，多数策略长期按照固定逻辑调度，未结合储能系统实际损耗情况调整，容易导致电池衰减过快，增加后期运维成本。

三是协同性欠缺，不同设备间数据割裂，策略无法实现光伏、储能与负荷的协同调度，在并网与离网模式切换时衔接不畅，易出现电压不稳等问题。

4 储能能量管理策略优化核心设计

4.1 基于 SOC 分区的自适应充放电控制

基于 SOC 分区的自适应充放电控制核心的是通过动态分区与参数校准，解决传统固定阈值控制的适配性不足问题，其设计逻辑围绕储能系统荷电状态（SOC）的实时变化展开，具体可从以下两点深入分析：

一是 SOC 分区的科学划分逻辑，不同于传统均分区间的粗放模式，该设计结合储能电池实际损耗特性与风光储微电网运行需求，将 SOC 划分为低、中、高三个功能明确的区间。低区间对应储能电量不足状态，核心控制逻辑为优先利用风光出力充电，同时限制充电速率，避免快充对电池造成不可逆衰减；中间区间为灵活调控区间，核心是根据负荷实时需求与风光出力情况，动态切换充放电模式，保障微电网供电稳定性；高区间对应储能电量饱和状态，控制重点为降低充电功率，杜绝过度充电引发的安全隐患与能源浪费，各区间的控制逻辑均贴合实际运维场景，无需复杂计算即可落地。

二是自适应校准机制的创新设计，这也是区别于传统分区控制的核心亮点。该机制实时采集储能电池的充放电损耗数据、SOC 估算偏差数据，定期微调各区间的阈值参数，避免因电池老化、环境温度变化导致的 SOC 估算偏差，进而解决传统控制中调度滞后、充放电失衡的问题。这种动态校准无需额外增加复杂设备，仅通过现有监测数据即可实现，适配小型风光储微电网的实际运维条件，提升控制精度的同时降低运维成本^[2]。

5.2 风光波动平抑与峰谷套利的协调规则

风光波动平抑与峰谷套利的协调规则，核心是破解两者间的调度冲突，实现微电网运行的合理性与经济性平衡，摒弃传统单目标调度的局限，从冲突根源与动态调控两方面深入设计，具体分析如下：

从调度冲突根源来看，风光波动平抑要求储能系统快速响应，及时补偿风光出力骤升骤降带来的功率缺口，保障

微电网电压稳定；峰谷套利则要求储能系统在负荷低谷时段充电、高峰时段放电，最大化利用峰谷电价差异。两者的调度需求存在天然矛盾，传统规则采用固定优先级模式，易出现顾此失彼的问题，要么过度侧重平抑波动导致储能电量不足，无法实现套利；要么侧重套利导致波动无法及时平抑，影响供电稳定。

从动态调控逻辑来看，该协调规则引入风光波动预判与优先级自适应切换机制，以风光出力实时监测数据与负荷时段数据为基础，自动判断两者的叠加情况。当风光出力波动较小时，优先执行峰谷套利逻辑，贴合实际用电负荷的峰谷变化；当风光出力出现骤升或骤降时，自动切换至波动平抑优先级，调动储能快速补能或卸能，待波动趋于平缓后，再逐步回归峰谷套利调度。这种设计无需复杂建模，仅通过简单的逻辑判断即可实现两者协同，既贴合普罗大众的运维能力，又能有效解决传统规则的核心弊端。

4.3 多时间尺度功率分配与滚动优化方法

多时间尺度功率分配与滚动优化方法以风光储微电网实时运行工况为核心，打破传统单一时间尺度调度局限，结合不同时间尺度风光出力与负荷需求差异，实现储能功率精准分配与动态优化。该方法划分三个贴合实际的时间尺度，明确各尺度功率分配重点与优化逻辑，具体分工可参考表 1：短时间尺度聚焦秒级风光波动应对，依托储能快速响应能力补偿功率缺口；中时间尺度聚焦小时级负荷调整，动态分配充放电功率保障供电稳定；长时间尺度聚焦日级调度，结合风光预测数据规划充放电计划。滚动优化采用分段更新模式，间隔固定时长结合最新监测数据修正调度方案，解决风光预测偏差导致的调度失衡，无需复杂建模，适配小型微电网实际运维，提升功率分配精度^[3]。

表 1 不同时间尺度下功率分配重点与储能调度要求

时间尺度	功率分配重点	储能调度要求
短时间尺度（秒级）	平抑风光出力骤变	快速响应，及时补能
中时间尺度（小时级）	适配负荷动态变化	灵活调整充放电功率
长时间尺度（日级）	规划充放电整体计划	结合预测数据合理调度

4.4 融合智能优化算法的在线决策机制

融合智能优化算法的在线决策机制以粒子群优化算法为核心，摒弃传统在线决策依赖固定逻辑的局限，结合风光储微电网实时运行数据实现动态决策，其核心逻辑可通过图 1 清晰呈现。该机制无需复杂建模，先实时采集风光出力、储能 SOC 及负荷需求三类核心数据，经过简单数据校准后输入粒子群优化算法，算法结合预设的基础约束条件，快速计算出最优储能调度方案。区别于传统算法的复杂迭代流程，该机制简化算法运算步骤，适配小型微电网的实际运维条件，可实时响应数据变化，当风光出力或负荷出现波动时，算法能快速调整决策结果，避免决策滞后导致的调度失衡，同时无需额外增加运维成本，贴合普罗大众的操作能力，解

决了传统在线决策灵活性不足的问题。

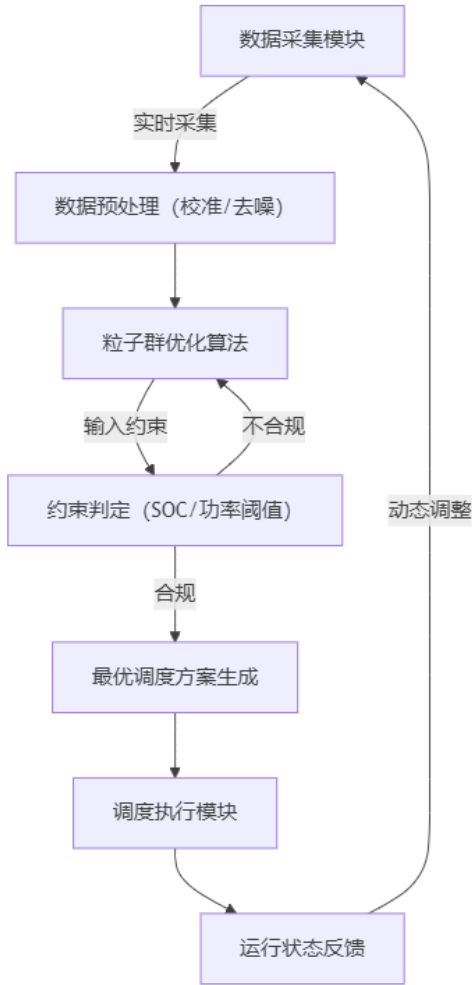


图1 融合智能优化算法的在线决策机制流程图

5 优化策略实施的支撑条件

5.1 储能状态高精度监测与数据校准

储能状态高精度监测与数据校准采用多维度采集与短时校准结合的优化策略，核心是解决传统监测偏差大、校准效率低的问题。该策略整合 SOC、电压、电流及环境温度等多类监测指标，同时采用每 10 分钟 1 次的分段采集模式，既能避免数据冗余，又能及时捕捉储能状态变化，采集后还会剔除线路干扰带来的异常数据，保障数据真实性。此外，该策略摒弃传统 OCV 法需长时间静置的弊端，采用 3-5 分钟短时恒流校准方式，同时结合电池老化程度微调校准参数，无需额外添加设备，仅通过现有监测数据建立简易反馈机制，将校准后的数据实时同步至能量管理系统，确保监测与校准的精准性和实用性^[4]。

5.2 风光功率预测不确定性的鲁棒应对

风光功率预测不确定性的鲁棒应对采用“实测对比 + 分段修正”的优化策略，贴合小型微电网实操需求，有效规避预测偏差传导至调度环节的问题。该策略每日采集数值天气预报(NWP)预测数据与风光实测数据，通过对比分析筛选出风向、局地环境等影响预测精度的关键因素，为误差修正提供依据。在此基础上，采用按时段划分的误差修正逻辑，根据不同时段的预测偏差规律动态调整修正参数，无需复杂算法迭代，操作简便易懂。同时，同步建立简易预判机制，当 NWP 数据偏差超出预设范围时，自动调用历史同类工况数据进行辅助修正，进一步提升预测精度。

5.3 运行模式平滑切换与安全保护逻辑

运行模式平滑切换与安全保护逻辑采用“渐进过渡 + 双重保护”的优化策略，重点解决传统切换冲击大、保护方式单一的问题。在模式切换环节，采用渐进式功率过渡方式，切换前先通过监测模块采集电压、电流及 SOC 数据，判断当前运行状态是否满足切换条件，避免盲目切换引发设备故障，同时同步调整储能充放电功率，维持电压稳定。在安全保护方面，采用硬件防逆流速断与软件柔性调节双重设计，当检测到逆流、过载等异常时，先触发柔性调节而非直接断电，减少发电量损失，同时根据异常类型动态调整保护阈值，适配不同运行工况，无需复杂操作^[5]。

6 结语

风光储微电网中储能能量管理策略的优化是提升其运行效能的关键，基于 SOC 分区自适应控制与多时间尺度优化的设计思路，能够有效适配风光资源的波动特性，协调好储能寿命损耗与经济性之间的关系，配套的监测、预测与保护措施为策略落地提供了有力支撑，该优化思路贴合实际运行需求，能够为风光储微电网的高效、稳定、经济运行提供可靠保障，也为后续相关研究提供了务实的参考方向。

参考文献

- [1] 张海燕,秦亚斌,肖春,等.独立风光储微电网中混合储能的管理控制策略[J].电气应用, 2017, 36(1):8.
- [2] 蔡吉人,朱明杰,朱肖晶.面向需求侧管理的风光储微电网及其控制策略研究[J].电力需求侧管理, 2017(S1):66-67.
- [3] 田德,陈忠雷.风光储微电网系统复合储能的网格式优化[J].农业工程学报, 2019, 35(21):196-201.
- [4] 汪宇航,李琰,应飞祥,等.计及可靠性成本的风光储微电网储能容量协同优化[J].电测与仪表, 2023,60(5):59-65.
- [5] 麦卡,殷亮亮,李征.基于虚拟储能的风光储家庭微电网的并网运行能量优化管理[J].供用电, 2017,34(4):7.