

# 光伏储能微电网储能控制技术探讨

樊晓莉

国科能源（滁州）有限公司合肥分公司 安徽 合肥 230000

**摘要：**在光伏储能微电网中，储能控制技术对系统稳定运行具有关键作用。本文先阐述储能控制关键技术类型，包括基于储能介质与控制策略的技术；接着分析核心控制逻辑，涉及充放电时机、储能容量分配及多储能单元协同；再探讨光伏出力特性、储能单元特性、微电网运行模式等关键影响因素；最后提出控制精度、响应速度、协同控制效率等优化方向。

**关键词：**光伏储能微电网；储能控制技术；控制逻辑；影响因素；优化方向

**引言：**随着能源结构转型，光伏储能微电网凭借清洁、灵活等优势，在能源领域应用日益广泛。储能系统作为微电网关键组成部分，其控制技术直接影响微电网运行稳定性与经济性。当前，光伏出力不确定性、多种储能单元并存以及不同运行模式，给储能控制带来诸多挑战。开展储能控制关键技术研究，对推动微电网技术发展与应用十分必要。

## 1 光伏储能微电网储能控制技术类型

### 1.1 基于储能介质的控制技术

#### 1.1.1 电化学储能控制技术

电化学储能，涵盖锂离子电池、铅酸电池及液流电池等多种类型，因具备高能量密度、快速充放电及长循环寿命等特性，在微电网中占据重要地位。电化学储能控制技术着重于电池管理系统的智能化设计，通过实时监测电池状态、精准制定充放电策略及实施均衡控制，有效延长电池使用寿命，提升储能系统整体性能<sup>[1]</sup>。同时，针对电池老化、温度变化等因素对性能的影响，研发自适应控制算法，确保储能系统在不同工况下均能保持高效稳定运行。

#### 1.1.2 机械储能控制技术

机械储能，如飞轮储能、压缩空气储能等，以适用于频繁充放电场景、长寿命及环境友好性著称，在微电网中发挥着重要的调峰填谷作用。机械储能控制技术侧重于优化储能设备的机械结构与能量转换效率，通过精确控制储能设备的启动、停止及能量释放过程，实现微电网供需平衡的动态调整。此外，结合先进的预测控制算法，提前预判微电网负荷变化，为机械储能系统的充放电决策提供科学依据。

#### 1.1.3 其他储能形式控制技术

除电化学与机械储能外，超导磁储能、超级电容器储能等其他形式也在特定场景下展现出独特价值。这些储能形式的控制技术，需针对各自物理特性进行深入研究，

开发适合的控制策略与算法，以充分发挥其快速响应、高功率密度等优势。

### 1.2 基于控制策略的控制技术

#### 1.2.1 传统控制策略相关技术

传统控制策略如PID控制、模糊控制等，在微电网储能系统中已有广泛应用。PID控制通过调整比例、积分、微分参数，实现对储能系统输出功率的精确控制，保障微电网的稳定运行。模糊控制则利用模糊逻辑处理不确定信息，根据系统状态模糊推理出控制决策，具有一定的鲁棒性。随着技术发展，传统控制策略不断融入新的理念与方法，如自适应调整参数、增强抗干扰能力等，以提升控制精度与响应速度，更好地适应微电网复杂多变的运行环境。PID控制因结构简单、可靠性高，仍是中小型微电网的主流控制方式，通过参数自适应优化，可有效适配光伏出力与负荷的动态变化。

#### 1.2.2 基于人工智能与数据驱动的控制技术

近年来，人工智能与数据驱动方法为储能控制提供了新的技术路径。深度学习技术通过构建多层神经网络模型，可从海量历史运行数据中自动提取光伏出力与负荷变化的深层特征，实现对微电网状态的高精度预测，为充放电决策提供前瞻性依据<sup>[2]</sup>。强化学习技术则通过智能体与环境的持续交互，在无需精确系统模型的条件下自主学习最优控制策略，能够自适应应对光伏出力突变、负荷骤变等复杂工况，显著提升控制系统的鲁棒性与泛化能力。此外，数字孪生技术通过构建储能系统的虚拟映射模型，可在数字空间中实时仿真系统运行状态，辅助验证控制策略的有效性，并为故障预警与预防性维护提供决策支持。但这类算法计算复杂度较高，需权衡实时性与优化效果。

## 2 储能控制技术的核心控制逻辑

### 2.1 充放电时机控制逻辑

光伏储能微电网中，充放电时机控制逻辑是储能系统高效运行的关键。这一逻辑需综合考虑光伏出力特性、负荷需求变化以及电价波动等多方面因素，不同工况下具体控制规则如表 1 所示。

表1 不同工况下储能充放电控制规则

| 控制场景 | 触发条件                 | 控制策略                   | 判定依据                                      | 经济性优化要点                     |
|------|----------------------|------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|
| 充电模式 | 光伏出力高峰、负荷需求较低，电能富余   | 启动储能充电，消纳光伏多余电能，避免能源浪费 | ① 判断光伏出力与负荷需求差值；② 结合储能剩余容量、充电速率，确定充电功率与时长 | 结合电价信息，优先利用电价低谷/高峰时段进行充放电   |
| 放电模式 | 光伏出力不足、负荷用电高峰，系统功率缺额 | 储能切换放电模式，释放存储电能供给负荷    | 实时监测负荷变化趋势，预判负荷增长，合理规划放电计划                | 结合电价信息，选取电价高峰时段放电，提升系统运行经济性 |

2.2 储能容量分配控制逻辑

储能容量分配控制逻辑旨在合理分配储能系统容量，以应对不同工况下的能量管理需求。这一逻辑需根据光伏出力预测、负荷需求预测以及储能装置特性，制定科学的容量分配方案。在光伏出力波动较大或负荷需求变化频繁的场景下，储能系统需具备快速响应能力，此时应将更多容量分配给具备高功率密度的储能装置，如锂离子电池或超级电容器，以实现快速充放电。而在需要长时间储能支撑的场景下，则应将容量分配给具备高能量密度的储能装置，如液流电池，以满足长时间供电需求。此外，储能容量分配控制逻辑还需考虑储能装置的健康状态与使用寿命。通过实时监测储能装置的充放电次数、剩余容量等参数，动态调整容量分配比例，避免过度使用某一储能装置，延长系统整体使用寿命。

2.3 多储能单元协同控制逻辑

在大型光伏储能微电网中，往往配置多种类型、多个储能单元。多储能单元协同控制逻辑是实现储能系统高效协同运行的关键。这一逻辑需建立统一的控制平台，实现各储能单元间的信息交互与共享。通过实时监测各储能单元的充放电状态、剩余容量等参数，控制平台可动态调整各单元的充放电功率，实现能量在各单元间的优化分配。同时，多储能单元协同控制逻辑还需具备故障隔离与恢复能力。当某一储能单元出现故障时，控制平台应迅速切断故障单元与系统的连接，避免故障扩散，并重新分配剩余容量，确保系统整体运行不受影响。在故障排除后，控制平台还需指导故障单元恢复运行，并重新融入系统协同控制体系。

3 储能控制技术的关键影响因素

3.1 光伏出力特性对控制技术的影响

光伏出力特性是影响储能系统运行效果的核心要素之一。光伏发电功率受光照强度、温度、阴影遮挡等多种因素共同作用，呈现出显著的不确定性与波动性<sup>[3]</sup>。这种特性要求控制策略具备快速响应与灵活调节能力。在光照充足时段，光伏出力可能远超负荷需求，此时系统

需及时启动充电模式，将多余电能高效存储，避免弃光。而当光照减弱或遭遇云层遮挡时，光伏出力骤减，系统则需迅速切换至放电模式，释放存储电能以弥补功率缺口，维持微电网功率平衡。此外，光伏出力的日变化与季节变化规律也需纳入控制策略考量范围。通过精准预测光伏出力趋势，可提前调整充放电策略，优化储能单元使用效率，提升微电网整体运行稳定性。光伏出力的波动性越强，对控制策略的响应速度与调节精度要求越高，需结合高精度预测技术降低不确定性带来的影响。

3.2 储能单元特性对控制技术的影响

储能单元特性直接决定了控制策略的实施方式与效果。不同类型储能单元在能量密度、功率密度、充放电效率、循环寿命等方面存在显著差异。例如，锂离子电池能量密度可达150~250 Wh/kg，充放电效率可达90%~95%，循环寿命可达1500~3000次，但成本相对较高，且对过充过放敏感；而铅酸电池能量密度仅为50~80 Wh/kg，循环寿命仅为500~1000次，但成本较低。这些差异要求针对不同储能单元制定差异化控制策略。对于高能量密度单元，可侧重长时间储能支撑与能量优化分配；对于高功率密度单元（功率密度可达1000 W/kg以上），则更关注快速响应与瞬时功率补偿。同时，储能单元的健康状态与剩余寿命也是需重点监测的参数，当健康状态低于80%时，应通过实时评估单元性能，动态调整充放电功率与深度，延长使用寿命，降低微电网运维成本。储能单元的特性差异决定了控制策略的个性化，需结合单元性能合理设计调控方案，实现性能与成本的平衡。

3.3 微电网运行模式对控制技术的影响

微电网运行模式分为并网、离网及混合模式，各模式下储能系统的功能定位与技术要求存在本质差异。并网模式下，储能装置主要承担功率调节任务，通过吸收光伏过剩功率或补充功率缺额，维持微电网与主电网的功率平衡。此时控制策略需优先满足电网调度指令，兼顾经济性优化，例如在电价低谷期充电、高峰期放电以实现套利，提升微电网运营收益。离网模式下，储能装

置成为微电网的唯一能量支撑,需同时实现电压/频率稳定控制、黑启动能力保障及关键负载优先供电,这对控制策略的鲁棒性与自治能力提出更高要求,需通过分层控制架构实现设备层与协调层的协同,例如采用下垂控制模拟同步发电机特性,实现分布式电源的自主功率分配。混合模式则需解决并网/离网无缝切换问题,通过模式识别算法提前预判切换时机,调整控制参数以避免切换过程中的功率冲击与电压暂降,确保系统连续稳定运行。

#### 4 储能控制技术的优化方向

##### 4.1 控制精度优化

储能控制精度是评判微电网系统运行性能的核心指标,直接影响能量管理精细化程度与能源利用效率<sup>[4]</sup>。随着光伏出力预测、负荷需求分析体系不断完善,提升储能系统控制精度具备现实基础与应用必要性。控制精度优化可从三个层面推进完善。数据感知层面,适配高精度传感设备并结合多模态数据融合手段,精准捕捉光伏出力波动规律与储能单元运行状态,为精细化调控提供可靠数据支撑。算法设计层面,引入改进型模型预测控制算法,依托历史运行数据动态整定参数,有效缩减充放电功率调控偏差。执行反馈层面,搭建闭环反馈控制架构,持续采集运行工况数据并实时修正调控偏差,保障储能系统运行状态贴合预设调控曲线。在此基础上,结合机器学习算法挖掘系统运行内在规律,能够进一步适配复杂工况变化,持续提升整体控制精度。

##### 4.2 响应速度优化

在光伏出力快速变化或负荷突增的场景下,储能控制技术的响应速度成为保障微电网稳定运行的重要屏障。响应速度优化需聚焦于硬件性能提升与软件算法优化。硬件层面,选用高速处理器与低延迟通信模块,能够缩短数据处理与指令传输时间,提升整体响应能力。软件算法方面,采用预测控制与快速决策机制,提前预判光伏出力与负荷变化趋势,制定最优控制策略,减少决策延迟。同时,优化控制流程,简化中间环节,降低系统复杂度,有助于加快响应速度。此外,建立分级响应机制,针对不同严重程度的工况设置差异化响应策略,确保关键指令优先执行,进一步提升系统应对突发情况的能力。通过软硬件协同优化,实现快速响应,为微电网

稳定运行提供有力保障。

##### 4.3 协同控制效率优化

在大型微电网中,多种类型储能单元并存,协同控制效率直接影响系统整体性能与经济效益。协同控制效率优化需构建统一控制架构,实现各储能单元间信息共享与协同决策。通过制定标准化通信协议与数据接口,消除信息壁垒,促进数据流通与交互,为协同控制奠定基础<sup>[5]</sup>。在此基础上,开发协同控制算法,根据各储能单元特性与运行状态,动态分配充放电任务,实现能量在储能单元间优化配置。同时,引入分布式控制思想,将控制权限下放至各储能单元,减少中央控制器负担,提升系统扩展性与灵活性。此外,建立协同控制效果评估体系,定期评估协同控制效果,针对存在问题及时调整控制策略与参数,形成闭环优化机制。通过持续优化协同控制效率,实现多种储能单元的优势互补,提升微电网整体运行性能与经济效益。

#### 结束语

光伏储能微电网中的储能控制是一项复杂且关键的技术体系。通过对关键技术类型、核心控制逻辑、关键影响因素及优化方向的全面探讨,可清晰认识到各环节对系统运行的重要作用。控制精度、响应速度与协同效率的优化,是提升系统整体性能的关键。在实际应用中,需综合考虑多种因素,不断改进与完善相关策略,以更好地适应光伏储能微电网的发展需求,保障系统稳定、高效运行,推动能源领域的可持续发展。

#### 参考文献

- [1]关磊.基于5G的光伏微电网储能系统控制策略研究[J].通信电源技术,2025,42(19):198-200.
- [2]孙谦.光伏储能系统在微电网中的应用研究[J].光源与照明,2025(6):131-133.
- [3]叶秋红,武万才,张克甲,等.含光伏电源的微电网储能控制技术研究[J].电力设备管理,2025(16):154-156.
- [4]杨少波,胡雪凯,周文,等.考虑多元混合储能的微电网功率平滑控制技术[J].河北电力技术,2023,42(3):38-44.
- [5]辛建英.光伏储能微源虚拟同步发电控制技术及微电网系统仿真[J].科技创新与应用,2022,12(17):68-71.