

# 新能源微电网混合储能系统优化配置研究

鞠 彪

新疆华电天山发电有限公司 新疆哈密 839000

**摘要:**为解决单一储能技术难以满足微电网多维度需求的问题,研究新能源微电网混合储能系统的优化配置,以提升微电网的可靠性、经济性与环保性。阐述新能源微电网结构与特点,分析电池储能、超级电容器储能等技术特性,探讨新能源发电特性、负荷特性及技术发展趋势对配置的影响,提出基于场景、动态优化和全生命周期的配置策略。混合储能系统在经济性与可靠性上有一定优势,优化配置需结合场景差异与技术特性,为微电网高效运行提供科学依据,助力新能源消纳与可持续发展。

**关键词:** 新能源; 电力网络; 微电网; 储能技术

## 引言

在全球能源转型的大背景下,新能源以其清洁、可再生的特性,在能源领域的占比日益增加。微电网作为一种将分布式能源、储能装置、负荷和控制系统有机整合的小型电力系统,为新能源的高效利用提供了有效途径。单一储能技术难以同时满足微电网对储能系统在能量密度、功率密度、充放电速度、循环寿命等多方面的复杂需求。混合储能系统(HESS)将多种储能技术,如电池储能、超级电容器储能等,通过合理的配置和协调控制,实现优势互补,能更有效地平抑新能源功率波动、保障微电网稳定运行。研究新能源微电网混合储能系统的优化配置,对于提高微电网的可靠性、经济性和环保性具有重要意义。从可靠性角度,可减少因新能源波动导致的停电事故,保障电力用户的正常用电;在经济性方面,可降低储能系统的投资和运行成本,提高微电网的经济效益;环保层面,有助于促进新能源的消纳,减少传统化石能源的使用,降低碳排放,推动能源的可持续发展。

## 一、新能源微电网结构与特点

### (一) 微电网基本结构

新能源微电网主要由分布式新能源发电单元、负荷、储能系统和能量管理系统(EMS)以及连接它们的配电网网络构成。分布式新能源发电单元包含太阳能光伏阵列、风力发电机组等。太阳能光伏阵列通过光伏效应将太阳能转化为电能,具有无污染、维护简单等优点,但受光照强度和温度影响明显,输出功率在一天内呈现较大波

动,清晨和傍晚功率较低,中午光照最强时功率达到峰值。风力发电机组则利用风能驱动叶片旋转,带动发电机发电,其功率输出取决于风速大小和方向,具有随机性和间歇性,风速不稳定时,功率波动剧烈。

储能系统作为微电网的关键环节,在平衡功率、稳定电压和频率方面发挥着重要作用。当新能源发电功率大于负荷需求时,储能系统储存多余电能;反之,当发电功率不足时,储能系统释放电能,弥补功率缺额<sup>[1]</sup>。能量管理系统负责对整个微电网进行实时监控和协调控制,根据新能源发电预测、负荷预测以及储能系统的状态,优化调度各部分的功率,确保微电网安全、稳定、高效运行。

### (二) 基本特点

一是高度的灵活性,能够根据实际需求灵活选择并网或孤岛运行模式。在电网正常运行且满足相关条件时,微电网可与主电网并网,实现电力的双向交换,多余电能可卖给主电网获取收益,同时在自身发电不足时从主电网购电;当主电网出现故障或进行计划检修时,微电网能迅速切换到孤岛运行模式,依靠自身的分布式电源和储能系统维持内部负荷的供电,提高供电可靠性。二是对新能源的高效消纳能力,通过合理配置分布式新能源发电单元和储能系统,以及优化能量管理策略,最大程度地利用本地可再生能源,减少对传统化石能源的依赖,降低碳排放,实现能源的清洁利用。三是较强的自愈能力,能量管理系统能够实时监测微电网的运行状态,一旦检测到故障,可迅速定位故障点并采取相应措施,如隔离故障区域,重新调度非故障区域的电力,恢复对

重要负荷的供电,减少故障对用户的影响。

## 二、常见储能技术特性分析

### (一) 电池储能

电池储能目前应用最多的属于铅酸电池、锂离子电池等。铅酸电池具有成本较低、技术成熟的优势。其能量密度一般在30-50Wh/kg左右,虽然相对其他先进电池较低,但能满足一些对能量密度要求不高的场景。功率密度约为100-300W/kg,充放电效率在70%-85%之间。循环寿命较短,通常在300-500次左右,频繁充放电会加速电池老化,缩短使用寿命<sup>[1]</sup>。不过,其原材料来源广泛,生产工艺简单,在一些小型微电网或对成本敏感的应用场景中仍有一定应用。

锂离子电池在现代储能领域应用广泛,能量密度较高,可达100-260Wh/kg,能够储存更多能量,适用于对储能容量要求较高的场合。功率密度为200-600W/kg,充放电速度较快。充放电效率高,一般在90%-95%之间,可有效减少能量损耗。循环寿命长,能达到1000-3000次甚至更高,大大降低了更换电池的频率和成本。

### (二) 超级电容器储能

超级电容器具有极高的功率密度,可达到1000-10000W/kg,能够在瞬间提供或吸收大量功率,响应速度极快,可在毫秒级时间内完成充放电,特别适合应对微电网中突发的功率变化,如新能源发电的瞬间波动或负荷的突变。其循环寿命非常长,可达数十万次,几乎不受充放电次数的影响,可靠性高。能量密度相对较低,一般在5-10Wh/kg,储能容量有限,不适合长时间大容量的能量存储。充放电效率在85%-98%之间,能量损耗较小。此外,超级电容器的工作温度范围较宽,能在-40℃-70℃的环境下正常工作,适应性强<sup>[2]</sup>。

### (三) 飞轮储能

飞轮储能通过电动机将电能转化为机械能,使飞轮高速旋转储存能量,需要时再通过发电机将机械能转化回电能释放。其功率密度较高,可达500-2000W/kg,可快速响应功率需求变化。能量密度处于中等水平,约为10-20Wh/kg,能够满足一定时间的能量存储需求<sup>[3]</sup>。

## 三、混合储能系统优化配置影响因素与策略

### (一) 影响优化配置的关键因素

#### 1. 新能源发电特性

新能源发电特性对储能配置具有决定性作用,风电功率受季节、风速影响显著,冬季风力资源丰富但夜间低温可能降低设备效率,夏季风速不稳定易导致功率波

动,光伏输出则呈现明显昼夜规律,晴天正午发电功率可达峰值,夜间完全停止,且受云层遮挡影响瞬时变化大,这种间歇性与波动性要求储能系统具备快速响应和大容量存储能力,需根据区域风电、光伏资源历史数据,精准计算储能系统所需平抑功率和储能时长,确保微电网稳定运行。

#### 2. 负荷特性

负荷特性直接关联储能容量需求,工业负荷具有高强度、连续性特点,生产高峰期用电量且对电能质量要求高,需储能系统快速补充功率缺口;商业负荷呈现明显日间高峰、夜间低谷特性,适合通过储能系统进行削峰填谷<sup>[5]</sup>;居民负荷则在早晚时段形成用电高峰,通过合理配置储能容量,可有效降低电网压力,提高供电可靠性,不同类型负荷的用电规律和需求差异,决定了储能系统的容量规划和充放电策略。

#### 3. 技术发展趋势

技术发展趋势为储能配置带来新变革,钠离子电池、液流电池等新型储能技术不断突破,相比传统锂离子电池,钠离子电池成本更低、安全性更高,液流电池循环寿命长、储能容量大,新型超级电容器和飞轮储能技术也在提升功率密度和能量转换效率,这些技术进步不仅丰富了储能技术选型,还可能改变现有混合储能系统的配置结构,要求在优化配置时充分考虑新技术的应用潜力和发展前景,以构建更高效、经济、可靠的混合储能系统。

### (二) 优化配置策略

一是基于场景的配置策略,需针对微电网不同运行模式制定差异化方案。在并网场景下,微电网与主电网协同运行,储能系统主要功能为削峰填谷、参与电网辅助服务,因此配置时可侧重功率型储能设备(如超级电容器)以提升快速响应能力,适当降低能量型储能(如电池)的容量配置;而在孤岛场景中,微电网独立运行,储能系统需完全承担功率平衡与能量储备任务,需增加能量型储能设备容量以应对新能源发电的间歇性,同时搭配功率型设备应对负荷突变,确保供电连续性与稳定性。

二是动态优化策略,核心是应对新能源与负荷的不确定性。通过部署传感器实时采集风光发电功率、负荷实时数据,并结合短期预测模型(如机器学习算法)预判功率波动趋势,建立动态调整机制。例如,当预测到短期内将出现光伏功率骤降时,提前调整储能系统放电

策略，增加放电功率以弥补缺口；若负荷突然升高，快速调动超级电容器等功率型储能设备响应，同时通过优化算法实时更新储能系统的容量分配与运行参数，使配置方案随工况变化动态优化，提升系统适应性与经济性。

三是全生命周期优化策略，需统筹储能系统从建设到退役的各阶段成本与效益。建设阶段综合评估不同储能技术的初始投资、性能参数（如循环寿命、效率），选择性价比最优的设备组合；运行阶段通过智能调度减少储能设备不合理充放电损耗，降低维护成本，例如避免电池频繁深度放电以延长寿命；维护阶段制定预防性检修计划，结合设备状态监测数据优化维护周期，减少非必要支出；退役阶段考虑储能设备的残值回收与环保处理成本，通过梯次利用（如退役电池用于低功率场景）或规范回收流程降低全周期成本，最终实现经济性与环境效益的双重优化。

#### 四、案例实践分析

##### （一）应用场景

以国内西北地区某乡村离网型微电网为对象，该区域电网接入成本高且供电稳定性差，依赖可再生能源独立供电。微电网配置光伏50kW、风电30kW，匹配当地年平均太阳辐射量（1350kWh/m<sup>2</sup>）与风速（5.2m/s）资源条件；负荷以居民用电为主，典型日负荷峰值40kW，具备明显的昼夜波动性（夜间负荷仅为峰值的30%），对储能系统的功率响应速度与能量储备能力提出双重需求。

储能系统设计遵循“能量型+功率型”耦合策略，其中锂电池（200kWh/50kW）作为能量主体，满足日间光伏盈余能量存储与夜间持续供电需求，其50kW放电功率可覆盖基础负荷（25kW）并预留调节裕度；超级电容（50kW/10kWh）作为功率缓冲单元，响应风电瞬时波动（如阵风导致的10s内功率突增20kW）和负荷冲击（如空调启动时的15kW瞬时增量），其10kWh容量可支

撑3分钟高功率放电，避免锂电池频繁深度充放电。

##### （二）数据处理

气象数据的收集采用当地2023年逐分钟太阳辐照度、风速数据，通过光伏/风电转换模型（光伏效率18%、风机切入风速3m/s、额定风速12m/s）生成逐时出力曲线，经K-means聚类提取10种典型日场景（涵盖晴天、多云、小风、强风等工况）。负荷数据基于居民用电调研，构建包含照明、家电、电热设备的负荷模型，考虑季节差异（冬季负荷增加20%），形成全年8760小时负荷曲线，典型日负荷峰谷差达25kW。

##### （三）方案设计对比

方案1（单一锂电池）：为保证与混合储能相当的供电能力，将锂电池容量提升至250kWh（较方案2增加25%），功率维持50kW。该方案忽略瞬时功率波动对锂电池的损伤，假设通过延长充电时间平滑负荷曲线，但实际运行中可能因频繁高功率充放电导致寿命缩短（循环次数从3000次降至2000次）。

方案2（锂电容混合）：通过200kWh锂电池承担稳态能量转移（充放电时间≥1小时），搭配50kW超级电容处理秒级功率波动（如风电短时中断时的负荷支撑），形成“慢储快调”互补机制，理论上可降低锂电池30%的高频充放电次数。

方案3（混合+氢能）：针对离网型微电网的极端场景（如冬季连续5天低风光出力），引入氢能作为长时储能单元，50kg氢能可支撑40kW负荷运行6小时（30kW燃料电池功率×6h=180kWh，考虑效率后匹配120kWh等效储能），与锂电池、超级电容形成“短期缓冲-中期储能-长期备用”三级储能架构。

##### （四）经济效益评估

如表1所示。方案2虽初始投资高于方案1，但通过减少锂电池更换次数（从2次到1次）和运维成本，度电成本降低8.2%，验证了“混合储能延长核心设备寿命”

表1 方案经济效益

指标	方案1	方案2	方案3	说明
初始投资	85万元	92万元	120万元	超级电容增加7万元，氢能系统增加28万元（含电解槽与燃料电池）
年运维成本	3.2万元	2.8万元	3.5万元	锂电池运维占比60%，超级电容免维护，氢能系统需定期更换催化剂
度电成本	0.85元/kWh	0.78元/kWh	0.65元/kWh	基于20年生命周期，考虑锂电池更换2次（方案1）、1次（方案2），氢能系统无更换

的经济性优势。方案3通过氢能补充长时储能，度电成本进一步下降16.7%，但需突破氢能初始投资高（占总成本23%）的瓶颈，适用于对供电连续性要求极高的场景（如医疗、通信负荷）。

### 结语

混合储能系统凭借多种储能技术的优势互补，在提升微电网可靠性、经济性与环保性方面效果有一定效果。但是考虑到现有的技术限制，新型储能技术的应用还需进一步探索，其在复杂微电网环境下的长期性能与稳定性有待更多实践检验。此外，在优化配置模型中，对一些不确定性因素的考虑还不够全面。未来研究可聚焦于新技术融合，以及更精准地处理不确定性，进一步完善混合储能系统的优化配置方案。

### 参考文献

- [1] 李玲芳, 游广增, 张席, 等. 考虑电碳协同的工业园区微电网群优化调度策略研究[J]. 供用电, 2025, 42(03): 37-45+67.
- [2] 陈佳伟. 新能源发电侧储能技术应用研究[J]. 通讯世界, 2025, 32(02): 112-114.
- [3] 杨建林, 王伟, 杨思贤. 电池储能系统在并网型新能源发电系统中的应用研究[J]. 太阳能, 2024, (12): 79-83.
- [4] 陈伟. 电池储能技术在新能源发电系统中的应用与优化[J]. 电力设备管理, 2024, (24): 138-140.
- [5] 巨亚琦, 谢丽蓉, 卞一帆, 等. 多微电网共享储能优化配置与成本分配方法[J/OL]. 南方电网技术, 1-9[2025-05-06].