

电力工程技术在微电网中的储能系统设计与优化

李翔宇

内蒙古电投新能源生态建设有限责任公司，内蒙古 通辽 028000

DOI:10.61369/EPTSM.2025060004

摘 要： 本文聚焦于电力工程技术在微电网储能系统的设计以及优化工作展开深入研究，全面细致地阐述了微电网储能系统的核心技术框架，对微电网的结构构成、储能技术的分类以及储能系统的关键作用进行概述，清晰地明确储能于功率调节、能源缓冲以及备用供电方面所有的核心价值。从架构搭建、设备选型以及容量配置这三个方面来解析设计要点，着重强调安全性、经济性以及技术适配性之间的平衡，重点深入探讨电力电子、智能控制以及通信技术的具体应用情况，详细分析变流器技术、能量管理算法以及数据传输网络所起到的支撑作用。最后提出多维度的优化策略，涉及目标设定、充放电策略优化以及多目标算法应用等内容，为提高微电网储能系统的稳定性、能效水平以及经济性提供技术方面的参考，帮助新能源消纳以及能源结构转型。

关 键 词： 电力工程技术；微电网；储能系统；设计优化

Energy Storage System Design and Optimization of Power Engineering Technology in Microgrid

Li Xiangyu

INNER MONGOLIA DIAN TOU NEW ENERGY ECOLOGICAL CONSTRUCTION CO, LTD.,
Tongliao, Inner Mongolia 028000

Abstract： This paper conducts an in-depth study on power engineering technology applied to the design and optimization of microgrid energy storage systems. It comprehensively elaborates on the core technical framework of microgrid energy storage systems, outlining their structural composition, classifications of energy storage technologies, and critical roles in power regulation, energy buffering, and backup power supply. The design considerations are analyzed from three aspects: architecture construction, equipment selection, and capacity configuration, with particular emphasis on balancing safety, cost-effectiveness, and technical compatibility. The paper delves into practical applications of power electronics, intelligent control, and communication technologies, while providing detailed analyses of converter technology, energy management algorithms, and data transmission networks. Finally, multi-dimensional optimization strategies are proposed, including objective setting, charge/discharge strategy optimization, and application of multi-objective algorithms. These insights offer technical references for enhancing the stability, energy efficiency, and cost-effectiveness of microgrid energy storage systems, thereby facilitating renewable energy integration and energy structure transformation.

Keywords： power engineering technology; microgrid; energy storage system; design optimization

引言

随着全球能源需求的不断增长和能源结构的转型，微电网作为现代电力系统的重要组成部分，其建设与发展受到广泛关注。电力工程技术作为智能电网建设的关键支撑，对于提升电网的智能化水平、实现能源的高效利用具有至关重要的作用。随着石油、煤、天然气等不可再生矿物燃料储量的不断减少，社会的发展和人们的生活受到了空前冲击。因此，如何高效开发和利用可再生能源及利用现有资源，已成为亟待解决的问题。智能微电网是应对能源紧张、推动可持续发展的重要途径，其应用价值与潜力正在逐步显现。

一、微电网储能系统概述

（一）微电网的定义与结构

微电网作为一种小型发电系统，主要由分布式电源、储能装置、能量转换装置、负荷以及监控和保护装置等共同构成（如图1所示）。它有两种运行模式，可与大电网联网运行，也可以在离网模式下实现独立供电。微电网的结构一般包含四个核心部分，分别是发电层、储能层、负荷层和控制层，发电层主要以光伏、风电等可再生能源作为电源，储能层承担着电能的存储以及释放工作，负荷层包含了工业、商业以及居民等各类用电设备，控制层借助智能管理系统实现功率平衡并进行优化调度，形成一个有灵活调节能力的局部能源网络^[1]。

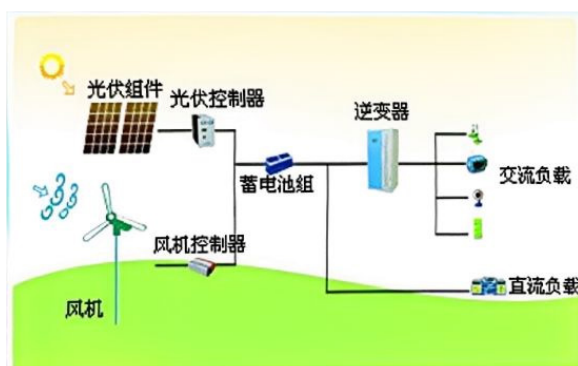


图1 微电网

（二）储能技术的分类与特点

智能微电网的出现，旨在缓解高渗透电力系统对传统电力系统的影响，提高电力系统的能效。它储能技术依据能量存储形式可被划分成电化学储能、机械储能、电磁储能以及热储能等多种类型。电化学储能以锂电池、铅酸电池作为代表，具有响应速度较快、能量密度较高的特性，不过存在寿命周期方面的限制；机械储能覆盖抽水蓄能、飞轮储能等，其中抽水蓄能技术成熟并且容量较大，然而受到地理条件的约束，电磁储能像超级电容器，功率密度较高而且充放电速度较快，适宜进行短时高频调节；热储能借助储热材料实现能量保存，在区域供暖领域有着广泛应用，各类技术都有各自的优势以及适用场景。

（三）储能微电网中的作用与优势

储能微电网之中肩负着功率调节、能量缓冲以及备用电源等多重职责。就功率调节而言，它可对光伏、风电这类可再生能源的出力波动给予平抑，维持电网频率以及电压的稳定状态，能量缓冲功能可实现峰谷电价套利的目的，以此降低用电成本。作为备用电源，在大电网出现故障之际可保障关键负荷持续供电^[2]。其核心优势在于提高能源利用率、提高微电网运行稳定性、推动可再生能源消纳，减少对传统电网的依赖，为能源转型提供灵活且可靠的技术支持。

二、微电网储能系统设计要点

（一）储能系统架构搭建

微电网储能系统架构搭建要遵循安全性、灵活性以及经济性这三大核心原则，首先需要明确系统的拓扑结构，依据微电网与

大电网是否互联可分为并网型和离网型架构，并网型架构要设计双向变流器来实现与主网的功率交互，还要配置能量管理系统也就是EMS来协调分布式电源、负荷以及储能设备的运行，离网型架构则要强化储能系统的孤网支撑能力，增设黑启动装置以及冗余供电模块。架构设计时要重点考虑能量流路径优化，借助分层控制结构实现底层设备响应、中层协调控制以及上层调度决策的高效衔接，另外还得预留扩展接口，以契合后期储能容量增加或者新型设备接入的需求，保证架构有长期技术适应性。

（二）储能设备选型依据

储能设备选型要全面综合评估技术特性、应用场景以及全生命周期成本。在技术层面，要着重考察能量密度、功率密度、充放电效率以及循环寿命等核心参数，像锂电池虽然能量密度比较高，但需要温控措施，而铅酸电池成本相对较低，但其循环寿命较短，应用场景对设备类型起着决定作用，在调频辅助服务方面，优先选择超级电容器等功率型设备，削峰填谷则更侧重于锂电池等能量型设备^[3]。环境适应性也是非常关键的，在高温地区需要选择宽温域电池，在高湿度环境下则要强化设备密封性，经济性分析要考虑购置成本、运维费用以及残值回收，借助全生命周期成本也就是LCC计算来筛选出最优方案，同时还需要验证设备的安全性认证，比如过充保护、短路防护等性能，保证符合微电网运行规范。

（三）系统容量配置方法

系统容量配置要依据负荷特性以及电源波动性来展开科学计算，借助历史数据采集去分析微电网的负荷曲线，确定峰谷差、最大负荷持续时间等关键参数，将这些参数当作储能功率以及能量容量的基础依据，对于包含新能源的微电网而言，要结合光伏或者风电的出力预测数据，计算出平抑功率波动所需要的储能容量，一般运用均方根误差法或者滑动平均法来确定调节需求。容量配置还得考虑冗余设计，一般会预留10%至20%的容量来应对突发负荷或者设备衰减。最后凭借仿真验证不同工况下的容量匹配度，保证系统在极端天气、负荷突变等场景中依然可稳定运行。

三、电力工程技术在微电网储能系统中的应用

（一）电力电子技术的应用

电力电子技术在微电网储能系统里，是能量转换以及传输的关键支撑要素，它的核心应用主要体现在变流器技术的创新方面，借助双向DC/DC变换器实现储能电池与直流母线之间功率的双向流动，精确控制充放电电流和电压，以此保证电池可处于最佳效率区间进行工作。在并网型系统当中，并网逆变器运用PWM技术实现交流侧与电网的同步运行，拥有快速无功调节以及低电压穿越的能力，保障在电网出现扰动的时候可实现稳定过渡。电力电子器件的选型对系统性能有着直接的影响，比如选用SiC器件可降低开关损耗，把变流器效率提升到96%以上，电力电子技术还实现了储能系统的模块化设计，依靠多模块并联运行来提高系统冗余度，方便进行容量扩展以及故障隔离，为微电网的灵活运行奠定硬件基础。

（二）智能控制技术的应用

智能控制技术借助数字化方式实现储能系统的精确调度以及

优化运行，其关键之处在于能量管理系统中智能算法的运用，依据模型预测控制算法针对负荷需求和新能源出力展开短期预测，动态地制定储能充放电策略，实现平抑波动、削峰填谷等多个目标，分布式控制技术保障多储能单元可协同运行，借助对等通信实现功率的自主分配，防止单点故障对整体系统造成影响^[4]。智能控制在状态监测与健康管理方面也有所体现，结合机器学习算法对电池内阻、容量衰减等参数加以分析，提前对故障风险发出预警，优化充放电策略以此延长设备使用寿命，提高系统运行的经济性与可靠性。

（三）通信技术的应用

通信技术给微电网储能系统打造了高效的数据传输以及信息交互网络，借助工业以太网的有线通信方案，实现能量管理系统跟储能变流器、监控设备之间的实时数据交互，保证控制指令能精准下达，运行状态也能实时反馈，传输时延可控制在毫秒级。在分布式储能场景里，无线通信技术解决了设备分散部署时的通信难题，支持海量终端接入，并且能低功耗运行。通信技术还对微电网与上级调度系统的信息交互起到支撑作用，实现并网调度、需求响应等功能，凭借构建冗余通信网络以及数据加密传输机制，保证通信链路可靠，数据安全，为储能系统的稳定运行给予保障。^[5]

四、电力工程技术在微电网中的储能系统优化策略

（一）优化目标设定

微电网储能系统优化目标要构建多维度指标体系，以此实现技术性能和经济性的共同提升，其核心目标有运行稳定性、能效水平以及成本控制这三大维度。在运行稳定性方面，要保证储能系统在新能源出力出现波动、负荷发生突变等工况时，电压与频率可保持稳定，把电压偏差控制在正负 5% 以内，将频率波动限制在正负 0.2Hz 的范围。能效优化目标着重于提升能量转换效率，借助减少充放电循环损耗，让系统综合能效达到 85% 以上，同时降低储能设备的闲置率，经济性目标要包含全生命周期成本，有初始投资回收周期、运维费用控制以及峰谷套利收益最大化，一般要求投资回收期不超过 8 年。^[6]此外，要兼顾环境效益目标，依靠优化调度减少弃风弃光现象，把清洁能源消纳率提升至 95% 以上。目标设定需要依据微电网类型进行动态调整，离网型系统注重供电可靠性，并网型系统则要强化与主网的协同经济性。^[7]

（二）充放电策略优化

优化充放电策略是提高储能系统运行效益的关键举措，需要

依据负荷特性以及能源供给的情况进行动态调整，基础策略运用预测—反馈闭环控制模式，依据短期负荷预测数据以及新能源出力预测数据来制定日前充放电计划，明确各个时段的充放电功率阈值，日内实时优化借助滚动修正机制，每隔 15 至 30 分钟更新一次策略，以此应对预测偏差所带来的波动^[8]。针对不同的场景要设计差异化策略：在平抑新能源波动时运用滤波算法，可快速响应功率偏差，在削峰填谷时遵循“低谷充电、高峰放电”的原则，可精准捕捉电价峰谷差窗口，电池健康保护策略要限制充放电深度，一般保持在 20% – 80% SOC 区间，并且控制充放电倍率在 0.5C – 1C 范围内，防止过充过放造成的寿命衰减。借助自适应学习算法，策略可随着电池老化程度进行动态调整，实现效能与寿命的平衡。^[9]

（三）多目标优化算法应用

多目标优化算法能为储能系统复杂决策给出量化解决办法，借由数学建模来平衡存在冲突的目标，常见算法有改进遗传算法、粒子群优化算法以及多目标灰狼优化算法等，算法应用的时候要构建含有目标函数、约束条件以及决策变量的数学模型，目标函数包含经济性指标、技术指标以及可靠性指标，约束条件有储能容量限制、功率输出约束以及充放电效率约束。^[10]在分布式储能场景里，多目标算法可实现各储能单元的功率最优分配，借助协同控制降低系统网损，算法运行运用分层优化架构，上层开展全局优化决策，下层执行设备级控制指令，实际应用中要凭借仿真平台验证算法有效性，保证在极端工况下依旧可输出最优解，提高储能系统的综合运行效益。^[10]

五、结语

微电网储能系统的科学设计以及优化是推动能源转型的关键支撑，其重点在于借助多技术融合达成效能的最大化。本文梳理架构设计要点，明确了安全性、灵活性以及经济性之间的平衡原则，剖析电力电子、智能控制和通信技术的应用途径，指出技术协同对系统性能的提升功效，提出的多维度优化策略，为解决新能源波动、成本控制等问题给出了可行办法。未来，技术的迭代，需要强化多目标优化算法的工程适配性，探索新型储能技术与微电网的融合方式，借助持续的技术创新以及实践优化，微电网储能系统将在提升能源利用率、保障供电安全、推动碳中和进程方面发挥更为关键的作用。

参考文献

[1]王永亮,高延庆,苗效瑞.智能微电网在建筑电气工程中的应用[J].光源与照明,2024,(12):228-230.
[2]何启成.新形势下电力工程设计中的电力系统规划设计研究[J].光源与照明,2024,(12):207-209.
[3]伍捷怡.智能电网建设中电力工程技术的应用分析[J].电工技术,2024,(S2):406-408+411.
[4]李泽.农村电网电气工程的技术问题与改善分析[J].电力设备管理,2024,(16):241-243.
[5]王红敏.电力工程技术在智能电网建设中的有效应用[C]//中国电力设备管理协会.全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(三).国网河北省电力有限公司唐山供电分公司,2024:145-147.
[6]李刚.电力工程技术在智能电网中的运用分析[J].中国新技术新产品,2020,(18):64-65.
[7]李祯,翁旭初.多目标优化在电网工程中的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(28):72-74.
[8]姚梦.新型电力系统下考虑储能调节策略与能量功率比的可靠性评估[D].华南理工大学,2024.
[9]吕勤,杨靖萍,李峰.基于分解集成策略和多目标优化算法的混合预测模型在电力负荷预测中的应用[J].河北电力技术,2020,39(06):24-27+39.
[10]李利明.基于多目标优化的微电网能量管理研究[D].东华大学,2018.