

# 电气工程及其自动化领域中新能源微电网能量管理系统的优化控制策略

莫纶民

国电电力内蒙古新能源开发有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i11.17530

**[摘要]** 本文聚焦电气工程及其自动化领域中新能源微电网能量管理系统的优化控制策略,概述了新能源微电网的基本概念、组成及能量管理系统的功能架构,接着阐述能源预测、优化调度、储能系统控制、通信与网络等关键技术。分析系统面临的能源间歇性、系统复杂性与集成难度、经济成本等挑战。因此,提出能源预测、能量优化调度、储能系统、通信与网络等方面的优化控制策略,旨在提升新能源微电网能量管理系统的性能,推动能源转型与可持续发展。

**[关键词]** 电气工程; 自动化领域; 新能源微电网; 能量管理系统; 优化控制

**中图分类号:** TM73 **文献标识码:** A

## Optimal Control Strategies for Energy Management Systems in New Energy Microgrids in the Field of Electrical Engineering and Automation

Lunmin Mo

State Power Investment Group Inner Mongolia New Energy Development Co., Ltd.

**[Abstract]** This paper focuses on the optimal control strategies for energy management systems in new energy microgrids within the field of electrical engineering and automation. It outlines the basic concepts and components of new energy microgrids and the functional architecture of energy management systems. Then, it elaborates on key technologies such as energy prediction, optimal scheduling, energy storage system control, communication, and networking. The paper analyzes challenges faced by the system, including energy intermittency, system complexity and integration difficulties, and economic costs. Consequently, it proposes optimal control strategies in areas such as energy forecasting, energy optimization scheduling, energy storage systems, communication, and networking. The aim is to enhance the performance of new energy microgrid energy management systems and promote energy transition and sustainable development.

**[Key words]** Electrical engineering; Automation field; New energy microgrid; Energy management system; Optimal control

### 1 新能源微电网能量管理系统概述

#### 1.1 新能源微电网的基本概念与组成

新能源微电网是融合多种新能源发电技术、储能装置及负荷的小型发配电系统。它以分布式电源为核心,如太阳能光伏、风力发电等可再生能源,搭配柴油发电机等备用电源。储能系统涵盖电池储能、超级电容等,用于平衡能源供需波动。负荷包括工业、商业及居民用电等。微电网可独立运行,也能与大电网互联,实现双向能量流动。其独特结构使其能在局部区域自主供电,提高能源利用效率与供电可靠性,减少对传统大电网的依赖,适应不同场景的用电需求,是推动能源转型与可持续发展的关键力量。

#### 1.2 能量管理系统的功能与架构

能量管理系统在新能源微电网中扮演“大脑”角色。功能上,它实时监测各类能源的发电、储能状态及负荷需求,精准预测能源产量与消耗。依据预测结果,制定最优的能量调度策略,确保能源在不同设备间的合理分配,实现供需平衡。同时,具备故障诊断与处理能力,保障系统稳定运行。架构方面,通常采用分层分布式结构,包括数据采集层、通信层、控制层与应用层。数据采集层收集能源与负荷信息;通信层实现数据可靠传输;控制层进行数据分析与决策;应用层为用户提供操作界面与信息服务,各层协同工作,保障系统高效运行<sup>[1]</sup>。

## 2 新能源微电网能量管理系统的核心技术

### 2.1 能源预测技术

能源预测技术是新能源微电网能量管理系统的“前置核心”，目的是降低风能、太阳能等新能源出力的不确定性，为后续能量调度提供可靠依据。其核心是基于电气工程及其自动化领域的数据分析与建模技术，结合环境因素（如光照强度、风速、温度）与历史运行数据，预测未来短时间（15分钟-24小时）或中长期（1-7天）的新能源发电量与负荷需求量。

在技术实现上，短期预测多采用机器学习算法（如支持向量机、随机森林），通过训练历史出力数据与实时环境参数的映射关系，实现高精度预测，例如基于过去3个月的光伏阵列出力数据与对应的光照、温度数据，训练模型预测次日每小时的光伏发电量；中长期预测则结合数值天气预报数据，采用深度学习算法（如LSTM神经网络），捕捉气象变化的长期趋势对新能源出力的影响。同时，需引入误差修正机制，通过实时对比预测值与实际值，动态调整模型参数，将预测误差控制在10%-15%以内，为能量优化调度奠定基础。

### 2.2 优化调度算法

优化调度算法是新能源微电网能量管理系统的“决策中枢”，核心是在满足负荷需求、系统安全约束（如电压范围、电流限额）的前提下，合理分配分布式电源出力、储能充放电电量与并网功率，实现“能效最高、成本最低、污染最小”的运行目标。在电气工程及其自动化领域，常用的优化调度算法分为三类：一是传统数学规划算法，如线性规划、整数规划，适用于简单系统的调度优化，例如在已知负荷需求与新能源预测出力的情况下，通过线性规划分配光伏、风电与储能的出力比例，最小化购电成本；二是智能优化算法，如粒子群优化、遗传算法，能处理非线性、多约束的复杂调度问题，例如考虑储能充放电效率、新能源出力波动等非线性因素时，通过粒子群优化算法寻找最优调度方案；三是多目标优化算法，如非支配排序遗传算法（NSGA-II），可同时兼顾能效、成本、环保等多个目标，例如在提升能效的同时降低碳排放，为系统提供多组Pareto最优解供决策选择<sup>[2]</sup>。

### 2.3 储能系统控制技术

储能系统控制技术是平衡新能源微电网出力波动、保障系统稳定运行的关键，通过精准控制储能系统的充放电状态，实现“削峰填谷”“应急供电”的功能。其技术核心是基于电气工程自动化控制理论，设计适配不同储能类型（如锂电池、飞轮）的控制策略，确保储能系统在满足系统需求的同时，延长使用寿命、提升运行效率。具体实现包括三个层面：一是充放电控制，通过PID控制器或模型预测控制器，根据系统实时功率差额（新能源出力-负荷需求）调整储能充放电功率，例如当光伏出力大于负荷需求时，控制储能系统充电储存盈余电能；当风电出力不足时，控制储能放电补充功率缺口；二是状态管理，实时监测储能系统的荷电状态（SOC）、温度、电压等参数，避免过充过放（如锂电池SOC控制在20%-80%），防止储能设备损坏；三是协同控制，实现储能系统与分布式电源、大电网的协同运行，例如在并网模式下，储

能与大电网配合平抑新能源出力波动；在离网模式下，储能作为主电源维持系统电压与频率稳定。

### 2.4 通信与网络技术

通信与网络技术是新能源微电网能量管理系统实现“信息交互、协同控制”的基础，负责将感知层的采集数据传输至控制层与决策层，同时将调度指令下发至执行设备，确保系统各环节信息畅通。在电气工程及其自动化领域，其技术核心是构建“可靠、实时、安全”的通信网络架构。从技术选型来看，常用的通信技术包括：一是工业以太网（如EtherNet/IP、Profinet），适用于控制层与决策层之间的高速数据传输，支持大量数据（如历史运行数据、预测模型参数）的交互；二是无线通信技术（如4G/5G、LoRa、ZigBee），适用于分布式电源、储能设备等户外分散节点的数据传输，无需布线，灵活性高，例如光伏阵列的运行数据通过LoRa技术传输至控制中心；三是电力线载波通信（PLC），利用电力线路实现数据传输，无需额外铺设通信线路，降低成本，适用于负荷节点与控制中心的短距离通信。同时，需引入网络安全技术（如数据加密、访问控制、入侵检测），防止数据泄露或恶意攻击导致系统失控，保障通信网络稳定运行。

## 3 电气工程及其自动化领域中新能源微电网能量管理系统面临的挑战

### 3.1 能源的间歇性和不确定性

新能源微电网依赖的太阳能、风能等能源具有明显的间歇性和不确定性。太阳能受昼夜、天气影响，风能受风速、风向制约，导致发电功率波动大。这种不稳定性给能量管理带来巨大挑战。能量管理系统需实时调整调度策略，以应对能源产量的突然变化。然而，预测技术难以做到完全精准，可能导致能源供需失衡。例如，在光照不足或风速过低时，新能源发电量锐减，若储能系统储备不足，可能无法满足负荷需求，影响微电网的稳定运行<sup>[3]</sup>。因此，如何有效应对能源的间歇性和不确定性，是新能源微电网能量管理系统亟待解决的关键问题。

### 3.2 系统的复杂性与集成难度

新能源微电网由多种能源发电设备、储能装置、负荷及控制设备组成，系统结构复杂。不同设备具有不同的特性与运行要求，实现它们之间的有效集成与协同控制难度较大。例如，各类能源发电设备的输出特性差异明显，需通过复杂的转换与控制装置实现与电网的匹配；储能系统的充放电控制需与发电、负荷调度紧密配合。随着微电网规模的扩大，设备数量增多，通信与数据处理的复杂性也显著增加。如何设计高效、可靠的集成方案，实现各设备之间的无缝对接与协同工作，是提升新能源微电网能量管理系统性能的重要挑战。

### 3.3 经济成本与投资回报

建设新能源微电网能量管理系统需要投入大量资金，包括设备采购、安装调试、系统维护等方面。新能源发电设备（如太阳能光伏板、风力发电机）成本较高，储能系统价格也不菲。同时，系统的运行维护需要专业技术人员，增加了人力成本。从投资回报角度看，新能源微电网的经济效益受多种因素影响，如能

源价格波动、政策补贴变化等。若投资成本过高,而能源收益不稳定,可能导致投资回报周期过长,影响投资者的积极性。因此,如何在保证系统性能的前提下,降低经济成本,提高投资回报率,是新能源微电网能量管理系统推广应用面临的重要问题。

#### 4 电气工程及其自动化领域中新能源微电网能量管理系统优化控制策略

##### 4.1 能源预测优化策略

针对能源间歇性致预测精度低的问题,电气工程及其自动化领域采用“多模型融合+实时修正”策略。其一,多模型融合预测,结合机器学习与物理模型优势构建组合模型。以光伏出力预测为例,物理模型算出基础值,LSTM神经网络模型修正误差,使短期预测误差降至10%以内。其二,实时数据驱动修正,依托物联网实时采集新能源设备与环境数据,每5-10分钟更新一次预测模型参数,动态调整结果。如光照强度低于预测值,实时下调未来1小时光伏发电预测值。其三,多源信息融合,整合气象与电网负荷数据,提升预测全面性。如结合次日工业负荷检修计划,调整新能源出力预测匹配策略,让结果更贴合实际。

##### 4.2 能量优化调度策略

为应对系统复杂性与多目标冲突,需构建“分层优化+多目标协同”的能量优化调度策略。在电气工程及其自动化实践中,具体分为两层:一是上层全局优化,基于日内(24小时)新能源预测与负荷需求数据,以“总成本最低”为目标(涵盖购电成本、储能损耗成本),采用多目标优化算法(如NSGA-II)制定分布式电源出力计划与储能充放电曲线,例如在电价低谷时段(如夜间)增加储能充电量,电价高峰时段(如白天)减少购电量,通过峰谷套利降低成本;二是下层实时优化,基于分钟级(5-15分钟)的实时数据,采用模型预测控制算法,动态调整调度计划,应对新能源出力波动,例如当光伏出力突然下降10kW时,实时增加储能放电功率5kW,同时向大电网申请补充5kW功率,确保系统功率平衡;三是多目标协同协调,通过权重分配平衡不同目标,如在用电高峰期优先保证“运行稳定”(提高储能放电优先级),在用电低谷期优先追求“成本最低”(减少储能不必要充放电),并建立目标动态调整机制,根据系统运行状态(如储能SOC过低时)自动提升“运行稳定”目标权重<sup>[4]</sup>。

##### 4.3 储能系统优化控制策略

针对储能系统运行效率低、寿命短的问题,电气工程及其自动化领域可采用“状态感知+自适应控制”的储能系统优化控制策略。一是基于SOC的自适应充放电控制,根据储能系统的荷电状态(SOC)动态调整充放电功率,例如当SOC>80%时降低充电功

率至额定功率的50%,避免过充;当SOC<20%时降低放电功率至额定功率的30%,避免过放,同时结合新能源出力波动幅度调整充放电响应速度,如波动剧烈时提高响应速度,减少系统电压波动;二是多储能协同控制,若系统接入多种类型储能设备(如锂电池+飞轮),利用不同储能的特性分工协作,锂电池储能负责平抑中长期波动(如1小时以上的功率缺口),飞轮储能负责平抑短期高频波动(如1分钟内的功率骤变),通过互补提升储能系统整体效率,降低单一储能的损耗;三是寿命优先的控制策略,通过建立储能电池的寿命衰减模型(如基于充放电次数、深度的衰减曲线),在控制算法中加入寿命约束,例如避免储能系统每天充放电次数超过2次,单次充放电深度不超过60%,在满足系统运行需求的前提下,最大限度延长储能寿命,降低更换成本。

##### 4.4 通信与网络优化策略

为提升通信网络可靠性与实时性,采用“多网络冗余+智能调度”策略。一是多通信技术冗余备份,构建“工业以太网+无线通信+电力线载波”多链路网络,如控制层与决策层间以太网为主链路,LoRa无线通信为备用,主链路故障时备用链路1秒内自动切换。二是数据优先级调度,按重要性对通信数据分级,用QoS技术确保高优先级数据优先传输,如网络拥堵时优先传输储能充放电指令,延迟传输历史报表。三是边缘计算下沉,在边缘节点部署模块,实现部分数据本地处理,减少上传数据量,降低网络负载,缩短控制指令传输延迟,提升系统响应速度。

#### 5 结束语

新能源微电网能量管理系统在能源转型中意义重大,但面临能源间歇性、系统复杂等诸多挑战。本文提出的优化控制策略,涵盖能源预测、能量调度、储能控制及通信网络等方面,为应对挑战提供了有效途径。未来,随着技术不断进步,需持续优化这些策略,进一步提升系统性能。同时,加强多领域协同创新,降低成本,提高投资回报率,推动新能源微电网能量管理系统广泛应用,助力实现绿色、可持续的能源发展目标。

#### [参考文献]

- [1]雷基林,余林兴,别玉,等.孤岛微电网能量管理系统研究综述[J].发电技术,2025,46(02):370-385.
- [2]徐国华.基于分层控制的光伏与储能联合智能微电网协调优化策略研究[J].太阳能学报,2024,45(07):111-120.
- [3]武新伟.电气工程自动化技术与新能源开发的融合探索[J].仪器仪表用户,2025,32(07):141-142+145.
- [4]赵进.电力系统中电气工程及其自动化技术的应用研究[J].仪器仪表用户,2025,32(07):41-43.