

风光储一体化系统在智能电网中的协同优化运行策略研究

黄晓

山东国华时代投资发展有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i12.19228

[摘要] 风光储一体化系统由风光发电、储能模块及控制系统构成,智能电网具备实时数据采集等特征。本文提出协同优化运行策略框架,涵盖多时间尺度调度、多目标优化模型与智能调控技术。针对风光发电不确定性等挑战给出解决方案,阐述协同优化策略实施路径,包括系统架构、控制策略开发及仿真验证平台构建,为风光储一体化系统在智能电网中稳定高效运行提供理论与技术支持。

[关键词] 风光储一体化系统; 智能电网; 协同优化; 运行策略

中图分类号: TM61 文献标识码: A

Research on Collaborative Optimization Operation Strategy of Wind-Solar-Storage Integrated System in Smart Grid

Xiao Huang

Shandong Guohua Times Investment Development Co., Ltd.

[Abstract] The wind-solar-storage integrated system consists of wind power generation, solar power generation, energy storage modules, and control systems. The smart grid features real-time data collection and other characteristics. This paper proposes a collaborative optimization operation strategy framework, covering multi-time scale scheduling, multi-objective optimization models, and intelligent control technologies. Solutions are provided to address challenges such as the uncertainty of wind and solar power generation. The implementation path of the collaborative optimization strategy is elaborated, including system architecture, control strategy development, and simulation verification platform construction, providing theoretical and technical support for the stable and efficient operation of wind-solar-storage integrated systems in smart grids.

[Key words] wind-solar-storage integrated system; smart grid; collaborative optimization; operation strategy

引言

随着能源转型加速,风光储一体化系统成为智能电网发展关键。该系统整合风光发电与储能,可有效应对风光发电间歇性问题,提升能源利用效率与电网稳定性。然而,风光发电的不确定性、储能系统性能局限、系统稳定性保障及信息物理融合难题,给其协同优化运行带来挑战。深入研究协同优化运行策略,对提高风光储一体化系统运行效益、推动智能电网高质量发展具有重要意义。

1 风光储一体化系统技术基础

1.1 系统构成与运行原理

风光储一体化系统由风光发电模块、储能模块及控制系统三部分构成。风光发电模块涵盖风力发电与光伏发电两种形式。风力发电通过风轮捕获风能,经增速箱提升转速后驱动发电机转动,将机械能转换为电能,其能量转换效率受风速、桨距角等因素影响,在额定风速范围内可保持较高发电效率。光伏发电利用半导体材料的光生伏特效应,当太阳光照射到光伏电池表面

时,光子激发电子产生电流,其输出功率与光照强度、温度等环境因素密切相关。储能模块包含电化学储能与物理储能两类技术。电化学储能以锂离子电池、铅酸电池等为代表,具有能量密度高、响应速度快的特点,适用于短时高功率调节场景;物理储能如抽水蓄能、压缩空气储能等,依托重力势能或压缩空气势能存储能量,具备大规模储能能力,常用于电网调峰填谷^[1]。控制系统采用分层架构设计,设备层负责单体设备运行状态监测与基础控制,场站层统筹场站内风光储设备协同运行,制定功率分配策略,电网层对接上级电网调度指令,实现与大电网的能量交互,三层架构通过信息流与能量流耦合,保障系统安全稳定运行。

1.2 智能电网技术特征

智能电网以实时数据采集与双向通信能力为核心支撑,通过部署大量智能传感器与通信终端,实现电网运行状态全息感知与数据高速传输,为调度决策提供精准依据。面对风光储等分布式能源接入带来的多源异构能源格局,智能电网需具备动态

调控能力,根据不同能源特性与实时出力情况,灵活调整运行方式,确保供需平衡。需求响应机制通过价格信号或激励措施引导用户侧负荷调整,优化用电行为,提升电网灵活性与资源利用效率。同时智能电网与电力市场深度交互,支持风光储一体化系统参与市场交易,根据市场价格波动调整发电与储能策略,实现经济效益最大化。

2 协同优化运行策略框架

2.1 多时间尺度调度策略

风光储一体化系统在运行过程中需针对不同时间维度制定差异化调度策略。超短期调度聚焦15分钟级至1小时级时间尺度,依托高精度实时气象数据,采用数值天气预报模型与机器学习算法融合的方式,对风光发电功率进行滚动预测。依据预测结果,结合电网实时负荷需求,动态调整储能系统充放电功率,快速响应功率波动,平抑因风光出力不确定性引发的电网频率与电压偏差,保障系统瞬时稳定性。短期调度以1天为周期,综合分析次日负荷预测曲线与风光发电出力特性,制定日间负荷平衡方案。通过优化储能系统充放电时段与功率,在风光出力高峰时段储存多余电能,在负荷高峰或风光出力低谷时段释放电能,实现削峰填谷,降低电网运行压力^[2]。中长期调度则着眼于1个季度至1年的季节性风光资源分布规律,结合历史5-10年数据与气候趋势预测,评估不同季节风光发电潜力,合理规划储能系统容量配置。在风光资源丰富季节,适当增加储能容量以存储更多电能;在资源匮乏季节,通过优化调度策略,提升系统对外部电网的支撑能力,确保全年能源供应的可靠性与经济性。

2.2 多目标优化模型

协同优化需兼顾经济性、可靠性与环保性多重目标。经济性目标聚焦于系统运行成本最小化与市场收益最大化。通过优化设备运行计划,降低风光储设备运维成本与能量损耗成本;积极参与电力市场交易,根据市场价格波动调整发电与储能策略,获取峰谷电价差收益与辅助服务补偿收益。可靠性目标致力于保障供电连续性与电压频率稳定。通过合理配置储能容量与制定应急调度策略,在风光出力骤降或电网故障时,快速提供电力支撑,避免停电事故发生;采用先进的无功补偿与电压调节技术,维持电网电压与频率在合理范围内。环保性目标旨在降低碳排放与提升可再生能源消纳率。通过最大化利用风光清洁能源,减少对传统化石能源的依赖,降低碳排放强度;优化储能系统充放电策略,减少弃风弃光现象,提升可再生能源在能源消费结构中的占比。

2.3 智能调控技术

负荷预测是智能调控的基础。运用机器学习算法对历史负荷数据进行深度挖掘,分析负荷变化规律与影响因素,结合气象、节假日等外部信息,构建高精度负荷预测模型,为调度决策提供准确依据。负荷预测的误差范围一般控制在3%-8%。需求响应通过价格信号引导用户侧用电行为调整。根据电网实时运行状态与市场价格信号,制定差异化电价政策,激励用户在风光出力高峰或电价低谷时段增加用电,在负荷高峰或电价高峰时段

减少用电,实现负荷侧资源的灵活调配。分布式能源管理依托先进的通信技术与智能控制算法,实现风光储设备的实时监测与集群控制。通过统一的信息平台,对设备运行状态、发电功率、储能容量等数据进行集中管理,根据调度指令与系统运行需求,对设备进行远程控制与优化调度,提升系统整体运行效率与协同性。目前,分布式能源管理系统的通信延迟可控制在100-500毫秒以内。

3 关键技术挑战与解决方案

3.1 风光发电不确定性应对

风光发电功率高度依赖气象条件,风速突变、云层遮挡等因素会引发电功率剧烈波动,导致功率预测误差增大,给电网调度与能源平衡带来严峻挑战。为提升预测精度,需构建多模型融合预测体系。数值天气预报模型可提供大范围、长周期的气象数据,为风光发电功率预测提供宏观依据;在此基础上,结合场站内实时监测的微气象数据与设备运行数据,采用机器学习算法对数值天气预报结果进行动态修正^[3]。通过不断学习历史数据与实时反馈信息,优化预测模型参数,降低气象条件波动对功率预测的影响,提升预测结果与实际出力的匹配度,为调度决策提供可靠支撑。

3.2 储能系统性能优化

储能系统在长期充放电循环过程中,存在充放电效率衰减与循环寿命受限的问题。随着使用次数增加,电池内部化学物质活性降低,内阻增大,导致充放电效率下降;频繁的充放电循环会加速电池老化,缩短循环寿命,增加运维成本。针对这一问题,需开发自适应充放电策略。通过实时监测电池健康状态,如电压、电流、温度等参数,评估电池剩余容量与老化程度,动态调整充放电功率与截止电压等参数。在电池健康状态良好时,适当提高充放电功率以提升系统响应速度;在电池接近老化临界点时,降低充放电强度,延长电池使用寿命,实现储能系统性能与经济性的平衡。

3.3 系统稳定性保障

高比例电力电子设备接入风光储一体化系统后,电力电子器件的快速开关动作会引发系统阻抗特性变化,增加振荡风险,威胁系统安全稳定运行。为抑制振荡,需基于阻抗分析构建稳定性判据。通过分析电力电子设备输入输出阻抗特性,建立阻抗匹配模型,判断系统在不同运行工况下的稳定性。依据稳定性判据,设计主动阻尼控制算法,在电力电子设备控制环节引入阻尼补偿环节,通过调整控制参数改变系统阻抗特性,增强系统对振荡的抑制能力,保障系统在复杂工况下的稳定运行。

3.4 信息物理系统融合

风光储一体化系统涉及大量多源异构数据,包括气象数据、设备状态数据、电网运行数据等,数据规模庞大、类型多样,对数据处理与实时交互能力提出极高要求。采用边缘计算与云计算协同架构可有效解决这一问题。边缘计算节点部署在数据产生源头附近,可对本地数据进行实时采集与初步处理,降低数据传输延迟,提升系统响应速度;云计算平台具备强大的计算与存

储能力,可对边缘节点上传的数据进行深度融合与分析,挖掘数据价值,为调度决策提供全局优化方案。通过边缘计算与云计算的协同配合,实现数据的高效处理与实时交互,提升信息物理系统融合水平。边缘计算节点的数据处理延迟可控制在10-50毫秒,云计算平台的数据处理能力可达到每秒100万-1000万条数据。

4 协同优化策略实施路径

4.1 系统架构设计

为保障风光储一体化系统协同优化策略的有效实施,需构建科学合理的系统架构。采用模块化设计理念,将系统划分为数据采集、处理、决策、执行四个层级。数据采集层负责全面收集风光发电设备、储能装置、电网运行状态以及气象环境等多维度数据,确保数据来源的广泛性与准确性,为后续环节提供坚实基础。一般数据采集层的传感器数量可达100-1000个。数据处理层运用先进的数据清洗、分析与挖掘技术,对采集到的海量数据进行预处理,提取关键信息,消除数据噪声,提升数据质量^[4]。数据处理层的计算能力需达到每秒10万-100万条数据的处理速度。决策层基于数据处理结果,结合协同优化目标与约束条件,制定科学合理的调度与控制策略,为系统运行提供决策支持。决策层的决策时间需控制在1-10秒内。执行层则将决策指令精准传达至各设备终端,驱动设备按照预定策略运行,实现系统整体优化。系统架构需具备良好可扩展性,预留标准化接口,以便后续兼容新型储能技术与人工智能算法,为系统功能升级与性能提升预留空间,适应未来能源系统发展需求。

4.2 控制策略开发

控制策略开发需根据系统规模与拓扑结构特点进行差异化设计。集中式控制策略适用于规模较小、拓扑结构简单的光储一体化系统。该策略通过中央控制器对系统内所有设备进行统一管理,实现全局优化控制。其优势在于控制逻辑清晰、协调性强,能够快速响应系统状态变化。然而,随着系统规模扩大,集中式控制面临计算压力大、通信负担重等问题。一般集中式控制系统的设备数量不超过50个。分布式控制策略则更适用于大规模、地理分散的系统。通过引入多智能体技术,将系统划分为多个智能体单元,每个单元具备独立决策与执行能力,

通过信息交互与协同合作实现全局优化目标。分布式控制策略能够有效降低中央控制器计算压力,提升系统响应速度与鲁棒性,增强系统对复杂环境的适应能力,为大规模风光储一体化系统协同优化提供有效解决方案。分布式控制系统的智能体单元数量可达100-1000个。

4.3 仿真验证平台

为验证协同优化策略的有效性与可行性,需构建包含风光储设备、电网拓扑与负荷模型的数字孪生系统。该系统能够高度还原实际系统的运行特性与动态过程,为策略验证提供逼真模拟环境。借助MATLAB/Simulink等专业工具,对调度策略进行全面仿真测试,分析策略在不同工况下的实时性与鲁棒性。通过模拟极端天气、设备故障等突发情况,检验策略的应急响应能力与系统稳定性,为策略优化与改进提供有力依据,确保协同优化策略在实际应用中能够可靠运行。仿真验证平台的模拟时间步长可设置为0.01-0.1秒,模拟时长可达24-72小时。

5 结束语

风光储一体化系统协同优化运行策略研究,通过构建多时间尺度调度、多目标优化模型及智能调控技术等策略框架,有效应对了风光发电不确定性等关键技术挑战。通过科学合理的系统架构设计、针对性的控制策略开发以及逼真的仿真验证平台构建,保障了协同优化策略的有效实施。这一系列成果为风光储一体化系统在智能电网中的稳定、高效运行提供了坚实保障,有力推动了清洁能源的广泛应用。

[参考文献]

- [1]雷雨,车权,万江,等.基于机器学习的虚拟电厂风光储协同运行策略优化[J].中国能源,2023,45(11):18-26.
- [2]李俊香.风光储联合发电系统模式分析及配比计算[J].电力设备管理,2024(18):134-136.
- [3]易文鑫.风光储一体化系统容量优化配置研究[J].电力建设,2024,45(2):87-92.
- [4]郭景蝶,魏怡,杨延举.风光储一体化零碳园区自律协调优化配置技术分析[J].大众用电,2025,40(06):61-63.