

风光互补电站的储能容量配置与多时间尺度调度方法

贾 浩

宁夏天元热电联产有限公司 宁夏 中宁 750001

摘 要: 风光互补电站中, 储能容量配置与多时间尺度调度是提升系统稳定性与经济性的关键。本文分析风光资源与负荷需求特性, 阐述储能系统特性, 提出基于能量缺口平衡与多目标优化的容量配置方法, 构建多时间尺度调度框架, 研究容量配置与调度策略的协同优化机制, 通过双层优化框架与分解协调算法实现系统总成本最低与新能源利用率最高的目标, 为风光互补电站的高效运行提供理论支撑与实践指导。

关键词: 风光互补电站; 储能容量配置; 多时间尺度调度; 协同优化

引 言: 随着可再生能源的快速发展, 风光互补电站凭借风光资源的互补特性, 成为提升能源利用效率的重要途径。然而, 风光发电的间歇性与随机性给电网稳定运行带来挑战, 储能系统的引入为解决这一问题提供了有效手段。储能容量配置的合理性直接影响电站的经济性与可靠性, 多时间尺度调度则能充分发挥储能的调节能力, 实现风光出力与负荷需求的动态匹配。因此, 深入研究储能容量配置与多时间尺度调度方法具有重要的现实意义。

1 风光互补电站储能容量配置基础

1.1 风光资源特性分析

风力发电的间歇性与随机性建模需依托风资源时序变化规律, 结合气象因素动态特征构建适配模型, 通过对风速、风向等关键参数的长期监测与统计分析, 捕捉风力出力的波动规律与突变特征, 为储能容量配置提供基础数据支撑^[1]。光伏发电受太阳辐射强度、昼夜交替及季节更迭影响显著, 昼夜周期性体现为日间光照时段出力上升、夜间无光照时段出力中断, 季节性波动则与不同季节太阳高度角、日照时长差异相关, 需通过辐射强度时序建模精准刻画这种波动特征。风光出力的时空互补性可通过特定量化指标予以表征, 互补系数用于衡量风光出力在时间维度的互补程度, 相关系数则反映风光出力变化趋势的关联程度, 二者结合可精准评估风光资源协同出力效果, 为储能容量优化配置提供量化依据。

1.2 负荷需求特性分析

负荷的时变特性与峰谷差模型需结合用电负荷时序变化数据构建, 通过对不同时段负荷数据的统计分析, 明确负荷随时间变化的规律, 精准划分负荷高峰与低谷时段, 量化峰谷负荷差值, 为储能充放电调度提供方向指引。关键负荷的供电可靠性需求分级需结合负荷重要程度及供电中断造成的影响程度开展, 依据电力系统安

全稳定运行相关技术规范, 划分不同等级的供电可靠性要求, 明确不同等级负荷的允许中断时长与恢复时限, 确保储能容量配置能够满足关键负荷的供电保障需求, 兼顾供电安全性与经济性。

1.3 储能系统特性分析

储能技术可按能量存储与转换原理划分为电化学储能、机械储能等不同类型, 不同类型储能技术在响应速度、容量规模、使用寿命等方面存在差异, 适配不同的风光互补电站运行场景。电化学储能凭借响应迅速、容量调节灵活的优势, 适用于短期功率平衡调节; 机械储能则依托大容量、长寿命的特点, 适用于长期能量存储与跨时段调节。储能充放电效率、功率特性与能量衰减模型是储能系统特性分析的核心内容, 充放电效率反映储能系统能量转换损失程度, 功率特性决定储能系统的调节能力, 能量衰减模型则刻画储能容量随运行年限的变化规律, 三者均需通过试验测试与理论建模精准表征。储能全生命周期成本涵盖初始投资、运维成本与替换成本, 初始投资包括储能设备采购、安装调试等相关费用, 运维成本涉及设备日常巡检、维护保养等支出, 替换成本则与储能设备使用寿命相关, 需结合储能技术类型与运行工况进行系统核算。

2 风光互补电站储能容量配置方法

2.1 基于能量缺口平衡的容量配置

能量缺口需结合风光出力与负荷需求的差值进行定义, 计算过程需充分纳入风光出力预测误差, 通过历史出力数据与预测数据的对比分析, 量化预测偏差范围, 构建包含预测误差的能量缺口计算模型, 精准核算不同时段能量供需失衡程度^[2]。置信容量准则下的储能容量需求分析, 需依托电力系统可靠性理论, 通过设定合理置信水平, 明确储能系统需具备的容量规模以保障系统供电稳定, 结合能量缺口时序分布特征, 确定满足置信容

量要求的最小储能容量阈值。储能容量与新能源弃电率的约束关系建模,需结合风光出力波动特性与储能调节能力,通过理论推导建立二者之间的定量关联,明确储能容量变化对新能源弃电率的影响规律,确保配置的储能容量能够有效降低弃电现象,提升能源利用效率。

2.2 多目标优化配置方法

优化目标函数构建需围绕新能源消纳率、度电成本、供电可靠性三大核心维度展开,结合风光互补电站运行需求,通过权重分配实现多目标协同优化,既提升新能源消纳水平,又控制发电成本,同时保障供电稳定性。约束条件设计需全面覆盖系统运行各类限制,储能充放电功率限制需结合储能设备自身性能参数设定,SOC范围需依据储能技术特性划定合理区间,风光出力约束则需贴合风光资源波动规律与电站出力极限,确保优化模型的合理性与可行性。改进智能优化算法可选用多目标粒子群算法、非支配排序遗传算法等,通过对算法参数的优化调整,提升优化计算效率与解的精度,实现储能容量的最优配置,适配多目标、多约束的复杂配置需求。

2.3 考虑风光互补特性的动态配置

季节互补指数与日内互补度的量化方法,需结合风光资源时序变化数据,通过统计分析与数学建模,构建能够精准反映不同季节、不同时段风光互补效果的量化指标,清晰呈现风光出力在时间维度的协同特性。风光储能容量动态配比优化模型可采用基于协方差矩阵的配置策略,通过分析风光出力协方差特征,捕捉二者波动关联规律,动态调整风光三者容量配比,实现资源利用效率最大化。储能容量对风光出力平滑效果的敏感性分析,需通过控制变量法,固定其他影响因素,仅改变储能容量规模,量化分析储能容量变化对风光出力波动平滑效果的影响程度,为储能容量动态调整提供量化依据,确保配置方案能够适配风光出力的动态变化。

3 风光互补电站多时间尺度调度框架

3.1 多时间尺度调度需求分析

长期调度聚焦日级与周级时间维度,核心围绕资源规划与设备检修计划展开。资源规划需结合风光资源中长期变化规律,整合历史气象数据与能源市场趋势,合理规划风光出力分配方案,为电站长期稳定运行奠定基础^[3]。设备检修计划需结合储能系统与风光发电设备运行特性,根据设备运行时长与损耗状态,制定科学合理的检修周期与流程,避免设备故障导致调度中断,保障系统运行连续性。短期调度以小时级为时间单位,核心任务集中在风光出力预测与经济调度。风光出力预测需

依托气象预报数据与历史出力规律,通过精准建模提升预测精度,为调度决策提供可靠依据。经济调度需结合电力市场价格波动与电站运行成本,优化风光出力与储能充放电调度策略,在保障供电稳定的前提下降低运行成本。实时调度以分钟级为时间维度,重点解决功率平衡与二次调频问题。功率平衡需实时监测风光实际出力与负荷需求变化,快速调整储能充放电状态,弥补出力与负荷之间的差值。二次调频则需响应电网频率调节需求,通过储能系统快速响应能力,精准调节出力,维持电网频率稳定。

3.2 调度模型构建与信息交互

调度模型采用长期-短期-实时调度的嵌套式架构,各级调度模型相互关联、层层递进,形成完整的调度体系。长期调度模型为短期调度提供基础边界条件,短期调度模型在长期调度框架内优化细化,实时调度模型则基于短期调度结果进行动态调整,确保调度方案的科学性与可行性。各时间尺度间建立完善的边界条件传递机制,短期调度结果作为实时调度的初始输入参数,明确实时调度的调整范围与目标,实现各级调度的无缝衔接。调度信息反馈修正策略贯穿整个调度过程,实时调度中产生的误差的会及时反馈至短期调度环节,对短期风光出力预测结果进行修正,优化短期调度方案。同时,短期调度的优化结果也会反向反馈至长期调度,为长期资源规划与设备检修计划的调整提供依据,形成闭环调度机制。

3.3 调度约束条件设计

风光出力约束需合理划定预测值与实际值的偏差范围,结合风光资源波动特性与预测技术水平,通过历史数据统计分析确定合理偏差阈值,既避免因偏差过大导致调度方案失效,也为调度调整预留合理空间。储能系统约束涵盖充放电功率、SOC上下限与循环寿命三个核心方面。充放电功率约束需结合储能设备性能参数设定,避免超出设备额定功率导致设备损坏;SOC上下限需依据储能技术类型与运行工况划定,防止过度充放电影响储能系统使用寿命;循环寿命约束需结合储能设备老化规律,控制充放电循环次数,延长设备运行周期。电网交互约束主要包括并网功率限制与辅助服务需求,并网功率限制需遵循电网安全运行标准,控制电站并网功率在合理范围,避免对电网稳定造成冲击;辅助服务需求需响应电网调频、调峰等辅助服务要求,确保电站调度与电网运行协同适配。

4 储能容量配置与多时间尺度调度的协同优化

4.1 容量配置对调度策略的影响机制

储能容量大小直接关联调度灵活性提升效果,削峰填谷能力是其中最直观的体现。容量规模的合理提升能够显著拓宽调度调整空间,负荷高峰时段可释放前期存储的多余风光能量,有效弥补风光出力缺口,缓解供电压力;负荷低谷时段则可高效吸收无法并网的多余风光出力,减少能源浪费,进而优化整个系统的运行状态。储能充放电速率直接决定实时调度的响应速度,充放电速率的提升能够加快储能系统的状态切换,更好适配实时调度中功率平衡与二次调频的瞬时需求,缩短响应延迟,提升调度精度^[4]。通过合理匹配充放电速率与实时调度需求,可确保系统快速应对风光出力突变与负荷波动,避免调度滞后引发的运行不稳定问题,保障调度策略高效落地,提升整个电站运行的可靠性。

4.2 调度策略对容量配置的反作用优化

调度需求能够有效驱动储能容量实现动态调整,基于滚动优化的配置更新方法依托实时调度数据与短期风光出力预测结果,按固定周期更新储能容量配置方案,使容量规模始终适配调度需求的动态变化,避免固定容量配置导致的资源浪费或调度能力不足问题。考虑调度经济性的储能容量冗余设计,需结合调度过程中的负荷波动规律与风光出力不确定性,合理预留冗余容量。冗余容量的设定需兼顾调度可靠性与经济性,既能够满足极端工况下的调度需求,应对风光出力大幅波动或负荷突增等突发情况,又能严格控制冗余容量带来的投资与运维成本增加,实现调度可靠性与经济性的协同适配,提升容量配置的合理性与经济性。

4.3 协同优化模型与求解方法

协同优化采用双层优化框架设计,上层重点聚焦储能容量配置,结合风光资源特性、负荷需求规律与调度运行要求,通过精准建模确定最优储能容量规模,为下层调度优化提供合理边界约束;下层侧重多时间尺度调度优化,在既定储能容量约束下,结合不同时间尺度的调度目标,优化调度策略,实现上下层模型的协同联动与深度适配。协同优化目标函数围绕系统总成本最低与新能源利用率最高两大核心展开,全面整合储能初始投资、日常运维成本与风光弃电损失,兼顾系统运行经济性与能源利用效率。求解过程可采用成熟的分解协调算

法,拉格朗日松弛法可将复杂的协同优化问题分解为多个独立子问题,有效降低求解难度,提升求解效率;交替方向乘子法则通过迭代优化实现各子问题间的协调,进一步提升求解精度与稳定性,确保协同优化目标高效达成。

4.4 协同优化策略的实施路径

协同优化策略采用分阶段实施流程,初始阶段先完成储能容量的初步配置,结合风光资源评估与负荷需求分析确定初始容量规模,再基于该初始容量制定多时间尺度调度策略,逐步积累系统运行数据与调度经验,优化调度细节。后续进入联合优化阶段,结合前期调度运行反馈的各类数据,同步优化储能容量配置与多时间尺度调度策略,实现二者的深度协同与动态适配。关键参数敏感性分析需聚焦储能成本、电价波动等核心影响因素,通过控制变量法固定其他参数,仅改变单一影响因素,量化分析各参数变化对协同优化效果的影响程度,明确各参数的合理取值范围,为协同优化策略的调整与优化提供精准量化依据,确保策略能够适配不同运行工况,持续提升系统运行的稳定性与经济性。

结束语

风光互补电站的储能容量配置与多时间尺度调度协同优化,通过精准分析风光资源与负荷需求特性,合理配置储能容量,构建多时间尺度调度框架,实现了系统运行经济性与可靠性的双提升。分阶段实施的协同优化策略与关键参数敏感性分析,确保了优化方案能够适配不同运行工况,为风光互补电站的高效运行提供了有力保障,推动了可再生能源的大规模消纳与利用。

参考文献

- [1]李铭琬.风光互补电站的储能容量配置与多时间尺度调度方法[J].电力设备管理,2025(14):125-127.
- [2]路小娟,白建聪,范多进,等.风光热储互补发电系统容量配置技术研究[J].热力发电,2024,53(3):51-58.
- [3]王筱,李高青,姬生才,等.计及风光不确定性的互补发电系统容量优化配置研究[J].动力工程学报,2024,44(11):1750-1759.
- [4]安源,郑申印,苏瑞,等.风光水储多能互补发电系统双层优化研究[J].太阳能学报,2023,44(12):510-517.