

新能源领域风电光伏储能一体化技术探析

丁青春

华润新能源投资有限公司新疆分公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 风电光伏储能一体化是整合风光发电与储能系统,通过协同控制实现能量高效转换、存储与调度的综合技术体系,具有多能互补、协同可控等特征。本文探析其系统构成与关键技术,分析国内外应用现状及技术、经济、政策层面的现存问题,剖析问题根源,提出技术、商业模式及政策层面的优化策略,展望未来发展趋势,为该技术规范应用、助力能源转型及“双碳”目标实现提供理论与实践参考。

关键词: 新能源领域;风电光伏储能;一体化技术

引言: 全球能源转型加速推进,风电、光伏发电因清洁无污染成为新能源发展核心,但风光出力的间歇性、波动性制约其规模化消纳与供电稳定性。风电光伏储能一体化技术可有效平抑出力波动、提升消纳能力,是破解这一难题的关键路径。基于此,本文围绕该技术的核心内涵、关键技术、应用现状及优化策略展开探析,助力推动技术迭代升级与产业高质量发展,为新型电力系统构建提供支撑。

1 风电光伏储能一体化技术核心内涵与系统构成

1.1 核心内涵与技术特征

(1) 核心内涵: 风电光伏储能一体化是将风力发电、光伏发电与储能系统有机整合,通过协同控制技术实现能量高效转换、存储与调度,平抑风光出力波动,提升新能源消纳能力与供电可靠性的综合能源技术体系。(2) 技术特征: 多能互补性,风能与太阳能时空分布差异形成天然互补,储能实现能量时空转移;协同可控性,通过统一控制策略实现风光储设备联动运行;高效经济性,优化资源配置,降低弃风弃光率,提升项目整体收益。

1.2 系统整体构成

(1) 风电发电单元: 含风力发电机组、变流器等核心设备,负责将风能转为电能,出力受风速影响,夜间占比相对较高。(2) 光伏发电单元: 由光伏组件、逆变器组成,将太阳能转为电能,出力与日照强度正相关,峰值出现在白天。(3) 储能单元: 涵盖储能介质、储能变流器等,承担能量存储与释放功能,可根据电网需求和风光出力灵活充放电,是平抑波动的核心。(4) 控制与调度单元: 作为系统“神经中枢”,含能量管理系统(EMS)、协同控制装置等,实现数据采集、状态监测与能量优化调度^[1]。

1.3 系统运行原理

(1) 能量转换过程: 风电单元通过变流器将机械能

转电能,光伏单元通过逆变器实现交直流转换,储能单元通过双向变流器完成能量双向流动,适配电网接入。(2) 协同运行机制: 风光大发时,储能充电存储多余电能;风光出力低谷或电网高峰时,储能放电补缺口,通过协同控制动态调整参数,保障系统稳定输出。

1.4 系统主要类型与适用场景

(1) 集中式一体化系统: 风光储集中建设于同一场站,通过统一升压站接入电网,适用于大规模新能源基地,调度灵活、管理便捷。(2) 分布式一体化系统: 储能配置于风光单元附近,形成“即插即用”分布式电源,适用于工业园区、乡村等,可降低输电损耗,提升配电网接纳能力。

2 新能源领域风电光伏储能一体化关键技术探析

2.1 风光发电核心技术

(1) 风电发电技术: 核心聚焦大型风力发电机组技术升级,重点推进直驱式、双馈式机组的结构优化与效率提升,通过改进机舱设计、优化叶片空气动力学性能,降低机组运行损耗,提升低风速区域的发电效率。同时,风资源预测技术不断完善,依托海量气象数据、地形地貌信息,结合机器学习算法构建精准预测模型,有效提高风速、风功率的预测精度,为系统协同调度、出力计划制定提供可靠数据支撑,减少风光出力波动带来的调度压力^[2]。(2) 光伏发电技术: 以高效光伏组件技术为核心,持续推进单晶硅、多晶硅组件的性能优化,通过改良材料工艺、提升光电转换效率,同时推动组件生产成本稳步下降,增强光伏发电的经济性。此外,光伏跟踪技术广泛应用,通过方位角、倾角的自适应调节,使光伏组件始终保持与太阳光线垂直,最大限度捕捉太阳能,相比固定支架可显著提升太阳能利用率,进一步提升光伏单元的发电效益。

2.2 储能核心技术

(1) 储能介质技术: 目前以电化学储能为主流, 重点开展锂离子电池、钠电池等储能介质的性能优化, 聚焦能量密度、循环寿命与安全性三大核心指标, 通过材料创新、电池结构改进, 解决储能介质在长期充放电过程中的衰减、发热等问题。同时, 新型储能技术研发与应用加速推进, 压缩空气储能、氢储能等技术逐步突破关键瓶颈, 凭借大容量、长周期储能优势, 弥补电化学储能的短板, 为大规模风光储一体化项目提供多元化储能解决方案。(2) 储能系统集成技术: 重点发展储能单元模块化设计, 实现储能设备的标准化、规模化生产与快速部署, 降低系统集成成本。同时, 优化储能充放电控制技术, 实现充放电速度、功率的精准调控, 适配风光出力波动特性。此外, 积极探索不同类型储能介质的混合配置技术, 如超级电容与蓄电池的混合储能模式, 利用超级电容响应速度快的优势平抑高频波动, 借助蓄电池储能容量大的特点应对低频波动, 实现不同波动类型的协同平抑, 提升储能系统的运行稳定性^[3]。

2.3 协同控制与调度技术

(1) 协同控制策略: 核心是基于风光出力预测的功率平滑控制, 通过精准预判出力变化趋势, 提前制定储能充放电计划, 实现风光出力与储能充放电精准匹配, 平抑波动、保障系统输出稳定。同时研发多目标优化控制算法, 综合平衡新能源消纳率、储能系统寿命、电网冲击等目标, 在提升消纳能力的同时, 降低储能损耗, 减少对电网的不利影响。(2) 能量管理系统(EMS): 作为系统协同运行核心, 包含两大模块。一是数据采集与状态监测模块, 实时采集风光出力、储能荷电状态(SOC)、电网运行参数等, 实现全系统实时监控与异常预警; 二是能量调度与优化控制模块, 通过滚动优化算法, 动态调整风光出力、储能充放电功率等参数, 实现能量最优分配, 保障系统高效稳定运行^[4]。(3) 电网互动技术: 重点推广虚拟同步机(VSG)技术, 通过控制储能变流器模拟同步发电机特性, 提升系统频率稳定性与电压支撑能力, 解决新能源大规模接入的电网稳定性问题。同时发展虚拟电厂技术, 整合分散的储能与风光发电单元形成聚合体, 参与电网辅助服务, 增强系统与电网的互动能力, 提升电网对新能源的接纳水平。

2.4 容量配比优化技术

(1) 配比优化方法: 主要分为两类, 一是基于场景分析的确定性方法, 通过筛选典型运行场景, 结合风光资源特性、负荷需求, 计算不同场景下的储能需求, 确定初步配比方案; 二是基于概率统计的随机性方法, 利用蒙特卡洛模拟技术, 模拟风光出力的随机波动特性,

评估不同风光储容量配比方案的供电可靠性、弃电率等指标, 为配比优化提供科学依据。(2) 影响因素与优化目标: 容量配比优化需综合考虑多方面因素, 包括区域风资源、光资源的分布特征、负荷需求的时空变化、项目经济性等, 避免单一因素导致配比不合理。优化目标以“三最低一最高”为核心, 即最大限度降低弃电率、降低系统全生命周期成本, 同时提升供电可靠性, 最终确定兼顾经济性与稳定性的合理风光储容量配比, 保障项目长期高效运行。

3 风光光伏储能一体化技术应用现状与存在问题

3.1 国内外应用现状

(1) 国外应用现状: 欧美、澳大利亚等地区率先布局, 建成多个大型示范项目, 核心聚焦电网协同与商业模式创新。美国加州达登风电厂、德国普芬茨塔尔混合能源项目等, 在风光储技术集成、市场化运营模式探索方面积累了丰富的经验, 为全球一体化技术应用提供了参考。(2) 国内应用现状: 我国西北、华北等新能源基地大规模推进集中式一体化项目建设, 分布式系统逐步在工业园区、乡村振兴场景落地推广。2025年全产业链市场规模突破千亿元, 但发展存在短板, 已批复的150余个项目中, 实际并网仅27个, 项目落地率偏低。

3.2 技术应用存在的主要问题

(1) 技术层面: 储能技术成本偏高, 新型储能技术尚未实现规模化应用; 协同控制精度不足, 不同设备间通信协议不统一, 增加系统集成难度; 风光出力预测精度有限, 直接影响调度优化效果。(2) 经济层面: 项目初始投资高昂, 投资回报周期长; 商业模式不成熟, 峰谷价差不足、绿电溢价偏低, 导致储能环节盈利困难; 成本分摊机制不明确, 极大影响市场主体投资积极性。(3) 政策与标准层面: 相关技术标准缺失, 安全规范滞后于产业发展; “隔墙售电”等关键政策落地困难, 过网费核算标准不统一; 政策支持力度与精准度不足, 难以适配不同场景项目的差异化需求。

3.3 问题产生的根源分析

(1) 技术研发层面: 核心技术与关键零部件国产化率有待提升, 新型储能技术研发投入不足, 技术迭代速度跟不上规模化应用的需求。(2) 市场机制层面: 电力市场体系不完善, 储能调峰、调频等辅助服务收益机制不健全, 其价值未得到充分体现; 产业链各环节协同不足, 设备制造、系统集成、运营服务衔接不畅。(3) 政策引导层面: 顶层设计与地方实施细则衔接不够紧密, 政策执行存在偏差; 对分布式一体化项目的扶持力度不足, 审批流程繁琐, 制约项目落地效率。

4 风电光伏储能一体化技术优化策略与发展展望

4.1 技术优化策略

(1) 储能技术优化: 加大新型储能技术研发投入, 重点突破钠电池、氢储能等技术核心瓶颈, 推动其从实验室走向规模化应用, 持续降低储能设备与运营成本; 优化储能系统集成技术, 完善模块化设计与充放电精准控制, 提升系统运行可靠性、充放电效率, 更好适配风光出力波动的随机性。(2) 协同控制技术优化: 引入AI智能调度算法, 结合海量运行数据提升风光出力预测精度与协同控制精细化水平; 统一各类设备通信协议, 打破不同厂家设备的兼容壁垒, 降低系统集成难度与成本; 大力推广虚拟同步机、虚拟电厂技术, 增强一体化系统与电网的互动适配能力, 提升电网运行稳定性^[5]。(3) 容量配比优化: 结合集中式、分布式等多场景规划需求, 采用Copula理论、快速傅里叶变换等先进数学方法, 科学测算风光出力与储能需求的匹配关系, 优化风光储容量配比方案, 实现技术可行性与项目经济性的双向平衡, 提升整体运行效益。

4.2 经济与商业模式优化

(1) 成本控制优化: 全力推动核心设备国产化替代, 通过规模化生产、技术迭代降低设备采购成本; 优化项目设计与运营管理流程, 精简冗余环节、减少运维损耗, 降低全生命周期运维成本; 充分利用绿色金融政策红利, 拓宽融资渠道、优化融资结构, 有效降低项目融资成本。(2) 商业模式创新: 推广“容量补偿+辅助服务”双轨制收益模式, 保障项目基本收益底线; 积极探索绿电交易、虚拟电厂运营、储能租赁等多元化盈利路径, 挖掘储能附加价值; 建立合理的成本分摊机制, 明确发电、储能、电网等各方收益分配比例, 激发市场主体投资积极性。

4.3 政策与标准完善建议

(1) 完善政策支持体系: 细化风电光伏储能一体化项目扶持政策, 优化审批流程、简化审批环节, 加快“隔墙售电”等关键政策落地实施; 加大对新型储能技术研发、分布式一体化项目的精准扶持力度, 适配不同场景项目的差异化发展需求。(2) 健全技术标准与安全规范: 制定统一的系统集成、设备接口、安全运行等技术标准, 规

范行业发展秩序; 建立一体化系统全生命周期安全监测与预警机制, 强化运行过程安全管控, 提升系统运行安全性与可靠性。

4.4 未来发展展望

(1) 技术发展趋势: 储能技术持续向低成本、长寿命、高安全方向迭代升级; 协同控制技术向智能化、精细化、自主化发展, 提升系统调度效率; “光储充氢”多能互补系统逐步规模化应用, 进一步拓展一体化技术的应用场景与边界。(2) 产业发展趋势: 产业格局逐步演进, 从当前“设备制造商主导”向“系统集成商主导”过渡, 最终走向“能源服务商主导”; 产业链上下游深度融合, 形成设备制造、系统集成、运营服务协同发展的产业生态; 市场化机制不断完善, 项目落地率将大幅提升。(3) 应用场景拓展: 一体化技术将逐步向数据中心、新能源充电站、乡村振兴、工业园区等多元化场景渗透, 满足不同领域清洁用能需求; 同时在全球范围内推广应用, 助力全球能源转型, 为“双碳”目标实现提供重要支撑。

结束语

风电光伏储能一体化技术是新能源高质量发展的重要支撑, 兼具技术可行性与产业发展潜力, 在全球能源转型中发挥着不可替代的作用。尽管目前该技术在应用中面临成本偏高、标准缺失等问题, 但通过技术优化、商业模式创新及政策完善, 可逐步破解发展瓶颈。未来, 随着技术迭代与产业协同, 该技术将拓展更多应用场景, 为实现“双碳”目标、推动能源结构升级注入持久动力。

参考文献

- [1]张永明.风电光伏并网储能容量优化配置方法[J].自动化应用,2023,64(21):72-74.
- [2]罗梅健.大型风电光伏基地开发政策形势分析及有关建议[J].水力发电,2023,49(5):91-95.
- [3]迟强.解析新能源领域风电光伏储能一体化[J].文化科学,2026,19(2):65-69.
- [4]覃新宇.风电光伏新能源系统的储能技术选择与优化研究[J].建筑技术科学,2024,22(4):73-75.
- [5]戴森.光伏发电储能充电一体化技术的应用分析[J].光源与照明,2024,15(7):117-119.