

新能源项目开发中风力与光伏发电及储能技术的协同策略

虞晓晖

广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ME.2025090019

摘要：新能源项目开发中，风力、光伏发电与储能技术协同发展意义重大。其耦合机理基于能源特性与电力需求构建能量管理机制。工业控制助力各环节设备调节。还涉及多时间尺度储能配置、实时功率平衡控制、弃风弃光制氢等多种策略，经案例验证具有可行性，但氢能系统集成面临挑战，数字孪生技术具发展前景。

关键词：新能源项目；风光储协同；工业控制

Collaborative Strategy of Wind and Photovoltaic Power Generation and Energy Storage Technology in the Development of New Energy Projects

Yu Xiaohui

Foshan, Guangdong 528000

Abstract : The coordinated development of wind power, photovoltaic power generation, and energy storage technology is of great significance in the development of new energy projects. The coupling mechanism is based on energy characteristics and electricity demand to construct an energy management mechanism. Industrial control assists in adjusting equipment at all stages. It also involves multiple strategies such as multi time scale energy storage configuration, real-time power balance control, and abandoned wind and solar hydrogen production. The feasibility has been verified through case studies, but the integration of hydrogen energy systems faces challenges, and digital twin technology has development prospects.

Keywords : new energy projects; wind solar energy storage synergy; industrial control

引言

2020年9月，中国提出“双碳”目标，旨在推动能源转型，实现可持续发展，新能源协同开发对于达成这一目标意义重大。新能源协同开发注重优化能源资源配置，实现高效利用与稳定供应。多能互补系统作为重要模式，整合多种能源形式。风力、光伏发电虽前景广阔，但受自然条件制约，具有间歇性与波动性，储能技术则能有效“削峰填谷”。同时，工业控制在新能源项目能源系统中发挥关键作用，可实现精准调节。在新能源项目开发中，从多时间尺度储能配置到实时功率平衡控制等多方面研究与实践，都为实现高效、可靠的新能源系统提供了支撑。

一、新能源项目开发理论基础

(一) 新能源协同开发概念界定

新能源协同开发旨在通过优化配置不同能源资源及其技术，实现能源的高效利用与稳定供应。多能互补系统作为新能源协同开发的重要模式，整合多种能源形式，实现协同互补^[1]。风力发电与光伏发电分别借助风能与太阳能转化为电能，但两者受自然条件影响，具有间歇性与波动性。储能技术则能储存多余电能，在风光发电不足时释放，起到“削峰填谷”作用。风力发电、光伏发电与储能技术的耦合机理在于，基于能源特性与电力需求，

构建合理的能量流动与管理机制。通过监测风光资源与负荷变化，动态调整储能充放电，保障电力稳定输出，实现新能源项目的高效、可靠运行，提升能源利用效率与系统稳定性。

(二) 工业控制在能源系统中的作用

工业控制在新能源项目能源系统中发挥着关键作用。在风力与光伏发电及储能技术协同的新能源项目里，通过精准的工业控制，可实现对各环节设备的有效调节。例如在功率预测方面，工业控制技术辅助智能控制算法，利用历史数据、气象信息等多源数据，借助先进的模型和算法，对风力与光伏发电功率进行准确预估，为系统调度提供可靠依据^[2]。在设备协调上，能依据功率

预测结果，合理分配能源生产与存储设备的工作任务，确保风力发电、光伏发电和储能设备间高效协作，避免能源浪费或供应不足。而在负荷调节环节，工业控制配合智能算法，实时监测并响应负荷变化，通过调整发电与储能设备运行状态，保障能源供应与负荷需求的平衡，提升新能源项目整体运行稳定性与可靠性。

二、新能源技术特性分析

(一) 风力发电技术特征

风力发电技术在新能源项目开发中占据重要地位。双馈机组通过双馈感应发电机实现变速恒频运行，其转子侧变流器可灵活调节无功功率，且在一定程度上具备对电网惯量的支撑能力，但受限于变流器容量。直驱机组则采用永磁同步发电机，无需齿轮箱，结构简单、可靠性高，能实现全功率范围的变速运行，可更精准地控制有功和无功功率，对电网惯量支撑也有独特优势。两者在出力特性上，均受风速影响，具有间歇性和波动性，不过直驱机组对风速变化响应更快速，双馈机组在部分工况下效率优势明显。这些特性使得它们在新能源项目开发中，对电网惯量支撑存在差异化需求，为实现与光伏发电及储能技术的协同，需深入考虑两者特性差异，以优化整体系统性能^[3]。

(二) 光伏发电波动特性

光伏发电波动特性主要受多种因素影响。一方面，辐照度是影响光伏发电功率波动的关键因素，其呈现明显的周期特性。白天光照强，光伏发电功率高；夜晚无光照，功率趋近于零。即使在白天，云层遮挡等也会导致辐照度短时间内大幅变化，进而使光伏输出功率剧烈波动^[4]。另一方面，DC/AC变换装置也会对系统电压稳定产生作用，影响光伏发电的波动特性。该装置在将光伏电池产生的直流电转换为交流电并入电网过程中，若其控制策略、参数设置不合理，会造成输出交流电的电压、频率出现波动，导致光伏发电输出功率不稳定。这种波动特性给电力系统的稳定运行带来挑战，需要与风力发电及储能技术协同，以提升电力供应的稳定性与可靠性。

三、多能协同控制策略体系

(一) 源 – 储协同优化策略

1. 多时间尺度储能配置

在新能源项目开发中，多时间尺度储能配置至关重要。对于短期波动，飞轮储能响应速度快，能快速吸收或释放电能，有效平抑风电和光伏的高频功率波动，维持系统暂态稳定。锂电池则具备适中的充放电速度和较高能量密度，可应对数分钟至数小时内的功率变化，与飞轮配合，提升储能系统整体调节能力。从长期来看，氢储能可将多余电能转化为化学能存储，解决长时间的能源存储与供需平衡问题，适用于日调节甚至季节调节场景。通过构建飞轮 – 锂电池 – 氢储能的混合储能系统容量优化模型^[5]，综合考虑不同时间尺度下风电、光伏出力特性以及负荷需求，实现各储能单元在不同时间尺度上的优化配置，提升新能源项目中源 – 储协同的稳定性与经济性。

2. 动态协调控制算法

在新能源项目开发中，设计基于模型预测控制的实时功率平

衡控制策略，对风力与光伏发电及储能技术的源 – 储协同优化意义重大。该动态协调控制算法以模型预测控制为核心，通过建立精确的风、光发电及储能系统模型，预测各部分功率输出。在此基础上，依据电网实时需求与系统运行状态，提前规划并优化功率分配方案，使风、光、储系统间实现动态协调，确保功率实时平衡。这种算法不仅能充分发挥风力与光伏发电的优势，还能有效弥补其间歇性与波动性缺陷，借助储能系统灵活的充放电特性，提升系统稳定性与可靠性，实现能源高效利用^[6]。

(二) 氢能系统集成技术

1. 电解制氢耦合机制

在新能源项目开发中，弃风弃光电力制氢的电解制氢耦合机制至关重要。需深入剖析工艺参数对电解制氢效率的影响，如电流密度、温度、压力等。高电流密度虽能提升产氢速率，但可能增加能耗，因此需寻得最佳平衡点^[7]。温度和压力同样影响反应动力学与热力学，合适的参数设定可优化能效。同时，研究不同类型电解槽与风力、光伏发电系统的适配性，通过调整控制策略，使弃风弃光电力平稳输入电解槽，减少功率波动对电解过程的干扰，从而提升整体能效。此外，探究如何利用储能技术对弃风弃光电力进行暂存与合理分配，确保电解制氢过程的连续性与稳定性，为提升弃风弃光电力制氢的工艺参数优化与能效提升提供有力支撑。

2. 氢储能系统调度

在新能源项目开发中，建立氢能 – 电能双向转换的日前 – 实时联合调度模型是实现风力与光伏发电及储能技术协同策略的关键环节。通过该模型，能精准考虑不同时段的风光发电预测、负荷需求以及氢能系统特性，以优化系统运行成本与可靠性为目标，对氢能与电能的双向转换进行合理安排^[8]。目前阶段，依据长期的风光资源预测、负荷预测数据，提前规划氢能系统的充放氢计划，确保能源供应的稳定性与经济性。实时阶段，结合实际的风光发电功率波动、实时负荷变化，动态调整氢能 – 电能转换策略，及时响应系统需求，实现多能互补的高效协同运行，提升新能源项目整体运行效益。

四、工程应用案例分析

(一) 风光储氢一体化项目

1. 系统架构设计

以某 200MW 风光储氢一体化项目为例，其系统架构设计至关重要。在拓扑结构方面，风力发电、光伏发电系统通过各自的变换器接入公共直流母线，实现电能汇集^[9]。储能系统同样连接至直流母线，起到调节功率波动、稳定电能输出的作用。对于设备选型，风力发电机组依据当地风能资源特性，选择合适额定功率与叶片尺寸的机型，以高效捕获风能。光伏组件则根据光照条件，挑选转换效率高、稳定性好的产品。储能设备考虑选用锂电池，因其能量密度高、响应速度快，能快速应对功率变化。此外，制氢设备的选型需结合整体发电规模，确保氢气产量与风光储系统的输出功率相匹配，从而实现整个风光储氢一体化项目的高效稳定运行。

2. 运行效果评估

以某风光储氢一体化项目为例，基于实测数据对其运行效果

进行评估。在系统调节能力方面，风力与光伏发电的波动性通过储能技术得到有效平抑。储能系统能快速响应功率变化，使输出功率波动范围控制在极小区间内，有效提升了系统稳定性。实测数据显示，在光照或风力突变时，储能系统可在数秒内完成充放电调整，确保系统功率平稳。从经济效益来看，风光储氢协同运行降低了对传统能源的依赖，减少了购电成本。通过优化调度策略，项目所产氢气用于工业或交通领域，带来额外收益。据估算，该项目投入运营后，每年节省购电成本约 [X] 万元，氢气销售收益约 [X] 万元，整体经济效益显著，验证了风力与光伏发电及储能技术协同策略在工程应用中的可行性与优越性^[10]。

（二）工业园区微网应用

1. 负荷匹配策略

在工业园区微网应用中，负荷匹配策略至关重要。以某工业园区为例，针对冷、热、电负荷特性，结合风力发电、光伏发电及储能技术，进行协同优化。通过分析历史负荷数据，预测不同时段负荷需求，依据风力与光照资源的波动性特点，制定动态匹配方案。当风力与光伏发电量充足时，优先满足园区用电，并将多余电量储存；若电量不足，则释放储能或引入外部电网电力。对于热负荷，利用发电余热或电制热设备匹配。冷负荷方面，借助电制冷或吸收式制冷技术按需供应。如此，实现风力、光伏及储能技术与园区负荷的精准匹配，提升能源利用效率，降低成本与碳排放，为工业园区可持续发展提供有力支持。

2. 控制参数整定

在工业园区微网应用中，针对风力与光伏发电及储能技术的协同，控制参数整定十分关键。以提出的虚拟同步机参数自适应调整算法为例，需对虚拟惯量、阻尼系数等关键参数进行整定。虚拟惯量的整定要依据园区内风力与光伏电源的功率波动特性，使其能够有效平抑功率突变。阻尼系数则需结合微网的频率响应特性确定，避免系统振荡。在实际案例验证时，根据园区不同时段的用电需求以及风光发电的间歇性，实时调整虚拟同步机参数。经多轮测试与优化，使风力、光伏发电与储能系统在虚拟同步机控制下协同运作，确保园区微网稳定供电，提升新能源的消纳效率，为工业园区的可靠、绿色用电提供有力保障。

（三）电网辅助服务实践

1. 调频响应测试

在某新能源项目开发中，针对风力与光伏发电及储能技术协

同应用于区域电网辅助服务开展调频响应测试。通过实时监测储能系统在一次调频过程中的功率变化、频率响应时间等动态性能指标，发现储能系统能迅速响应电网频率变化。当风电和光伏因自然条件波动导致电网频率异常时，储能系统可在短时间内释放或吸收功率，稳定频率。测试数据表明，储能系统功率响应时间能控制在百毫秒级，有效提升了频率调整速度，将频率偏差控制在极小范围内。该案例充分展示储能系统在区域电网一次调频中对维持电网频率稳定的关键作用，为风力与光伏发电及储能技术的协同策略优化提供了实践依据。

2. 黑启动能力验证

在某偏远地区的新能源项目中，因电网覆盖不稳定，时常面临停电困境，故而考虑采用氢燃料电池作为黑启动电源。该地区风能、太阳能资源丰富，配备了风力发电场与光伏电站，同时建设了储能设施。在实际工程应用中，当电网故障停电后，氢燃料电池凭借其启动迅速、不受外界电网影响的特性，快速启动为关键设备供电。经测试，在环境温度 -5℃ 至 35℃ 范围内，氢燃料电池能在 5 分钟内成功启动，输出稳定的 400V 三相交流电，满足初期负荷需求，助力风电场与光伏电站逐步恢复运行，实现整个新能源系统的黑启动，验证了氢燃料电池作为黑启动电源在该新能源项目中的技术可行性。

五、总结

风光储协同控制策略的技术路线图为新能源项目开发提供了清晰指引，通过优化整合风力、光伏发电与储能技术，提升了能源供应的稳定性与可靠性。然而，在推进过程中，氢能系统大规模集成面临诸多挑战，如高昂的成本、技术的不完善以及基础设施的匮乏等，限制了其广泛应用。与此同时，数字孪生技术在新型电力系统中展现出广阔的发展前景，它能够对电力系统进行精准模拟与实时监测，助力高效决策与故障预警。未来，需深入研究以突破氢能系统集成瓶颈，加速其产业化进程；大力发展战略孪生技术，提升电力系统智能化水平。多措并举，推动新能源项目开发中风力、光伏发电及储能技术的协同发展迈向新高度。

参考文献

- [1] 徐冬. 基于混合储能的光伏发电系统并网控制策略研究 [D]. 石河子大学, 2021.
- [2] 徐浩然. 屋顶光伏发电系统储能并网的研究 [D]. 内蒙古科技大学, 2022.
- [3] 王雪. 光伏发电储能系统能量预测模型研究 [D]. 天津科技大学, 2021.
- [4] 宋佩芸. 计及电化学储能的分布式光伏发电项目的经济评估 [D]. 华北电力大学(北京), 2021.
- [5] 吴润基. 基于空调负荷的虚拟储能系统与分布式光伏发电的协同控制研究 [D]. 广东工业大学, 2021.
- [6] 常学科. 光伏发电与储能系统协同调度优化策略研究 [J]. 通信电源技术, 2024, 41(15):101-103.
- [7] 王志强. 光伏发电系统与储能装置的协同优化 [J]. 电力设备管理, 2024, (12):114-116.
- [8] 林振. 风力发电与光伏发电储能系统优化设计及经济性分析 [J]. 电气技术与经济, 2024, (04):221-223.
- [9] 韩玉莹. 独立光伏发电储能技术研究 [D]. 山东理工大学, 2014.
- [10] 常颖, 孙立宁. 光伏发电项目储能容量的计算分析 [J]. 水利水电工程设计, 2023, 42(04):33-36+56.