

储能电站与风能发电协同优化运行策略

周宇

大唐甘肃发电有限公司河西分公司玉门运维中心, 甘肃 酒泉 735211

摘 要 : 本文对储能电站与风能发电的协同优化运行策略进行了深入探讨。首先, 介绍了储能电站的定义、分类、发展现状及趋势, 以及风能发电的原理、类型、发展现状及趋势。接着, 分析了储能电站与风能发电之间的互补特性, 并构建了一个协同优化运行的策略框架。在此基础上, 详细阐述了储能电站与风能发电的运行模型, 并提出了实施建议, 包括政策支持与激励机制、技术创新与产业协同、示范项目推广与人才培养等。通过本研究, 旨在为储能电站与风能发电的协同运行提供理论支撑和实践指导, 促进可再生能源的高效利用和电力系统的可持续发展。

关 键 词 : 储能电站; 风能发电; 协同优化运行; 互补特性; 实施建议

Energy Storage Power Station and Wind Power Generation Cooperative Optimization Operation Strategy

Zhou Yu

Yumen Operation and Maintenance Center, Hexi Branch, Datang Gansu Power Generation Co., Ltd. Jiuquan, Gansu 735211

Abstract : In this paper, the cooperative optimization operation strategy of energy storage power station and wind power generation is deeply discussed. Firstly, the definition, classification, development status and trend of energy storage power station are introduced, as well as the principle, type, development status and trend of wind power generation. Then, the complementary characteristics between energy storage power station and wind power generation are analyzed, and a strategic framework of cooperative optimization operation is constructed. On this basis, the operation model of energy storage power station and wind power generation is elaborated, and the implementation suggestions are put forward, including policy support and incentive mechanism, technological innovation and industrial collaboration, demonstration project promotion and talent training. Through this research, the purpose is to provide theoretical support and practical guidance for the cooperative operation of energy storage power station and wind power generation, and promote the efficient use of renewable energy and the sustainable development of power system.

Keywords : energy storage power station; wind power generation; cooperative optimization operation; complementary characteristics; implementation suggestion

引言

随着全球能源需求的增长和环境挑战的加剧, 可再生能源特别是储能电站和风能发电成为能源转型的关键。储能电站通过储存和释放电能, 平衡供需, 提升电网效率, 支持可再生能源的融合。风能发电虽清洁可再生, 但其波动性对电网稳定构成挑战。储能电站与之协同运行, 不仅能提高系统效率, 也促进可再生能源的利用。本章将探讨储能电站与风能发电的协同优化策略, 为电力系统可持续发展提供新思路。

一、储能电站概述

随着可再生能源的迅速发展和电力系统对灵活性的需求日益增长, 储能电站作为电力系统的重要组成部分, 正逐渐成为能源领域的焦点。而储能电站容量需要结合用电功率、使用时间决定, 如果不考虑用电功率、用电时间, 储能电站的容量可随意确定, 不过需要注意一定要匹配相应的电压^[1]。

(一) 储能电站的定义及分类

储能电站, 作为一种能够平衡电力供需、提高电网运行效率

的电站, 其主要功能是通过不同方式储存电能并在需要时释放。根据储存能量的形式, 储能电站可分为物理储能、化学储能、电磁储能和相变储能等类型; 而按照储存介质的不同, 又可分为电池储能、飞轮储能、超级电容器储能、抽水蓄能等。此外, 根据应用规模, 储能电站还可以分为大规模储能电站、分布式储能电站和用户侧储能电站, 为可再生能源的接入和消纳提供全方位的解决方案。

(二) 储能电站的发展现状及趋势

近年来, 储能技术已从实验和小规模示范阶段, 跃升至大容

量、大系统的商业应用新阶段。据中关村储能产业技术联盟统计，2018年底，全球新增电化学储能项目主要分布于39个国家，其中装机规模前十的国家占总增量的95.8%。中国国内储能项目累计装机规模达31.3 GW，同比增长8.3%，占全球市场的17.3%。电网侧储能规划超过1.4 GW，成为中国储能市场的热点领域^[2]。展望未来，随着技术成熟，储能电站将更加多样化，应用场景将更加丰富，与可再生能源的结合将更加紧密，推动能源结构转型，同时储能电站的市场化运营机制将逐步完善，促进储能产业的健康发展。

（三）储能电站的关键技术

储能电站的关键技术是其核心，这些技术决定了电站的性能、成本 and 安全性。在储能材料与器件方面，通过研究和开发高性能材料，提高了储能密度和循环寿命，同时优化了器件结构设计，增强了系统的稳定性和可靠性。在储能系统控制与优化方面，先进的控制策略和优化算法的应用，实现了电站的高效运行和精准调度，提升了能量管理水平和经济效益。而在安全与环保方面，研究并实施了储能电站的安全监控技术，确保了系统的长期稳定运行，并探索了环境友好型设计，以降低对环境的影响。

二、风能发电概述

随着经济的发展，环境问题引起了越来越多的关注，风能作为清洁能源之一被大量地研究和利用^[3]，其开发利用对于推动能源结构转型和实现可持续发展具有重要意义。风能发电技术经过多年的发展，已成为全球可再生能源领域的重要组成部分。

（一）风能发电原理及类型

风能发电是利用风力驱动风轮旋转，将动能转换为电能的过程，其基本原理包括风力作用在风轮叶片上产生旋转力矩，以及风轮旋转驱动发电机通过电磁感应原理实现机械能到电能的转换。风能发电的类型多样，根据风轮的布置方式，可以分为水平轴和垂直轴风力发电机；根据安装地点，可以分为陆地和海上风力发电；而按照规模大小，则可分为大型、中型和小型风力发电机组。

（二）风能发电的发展现状及趋势

风能发电在全球范围内快速发展，技术成熟度和经济性的不断提升使其成为可再生能源领域的亮点。目前，风能发电装机容量持续增长，已经成为继水电、核电之后的第三大电力来源，技术进步使得风能发电机组单机容量不断增大，效率也在提高^[4]，同时各国政府的立法和政策支持推动了市场的扩张。展望未来，海上风能开发将成为发展重点，风能发电将与储能、电网等技术深度融合，提高电力系统的灵活性和可靠性，而成本的持续降低将使风能发电在能源市场上更具竞争力。

（三）风能发电的关键技术

风能发电的可持续发展依赖于其关键技术，其中风轮叶片设计是关键之一，通过优化叶片形状和结构来提高风能捕获效率并降低噪声，同时开发新型材料以增强叶片的强度和耐久性。发电机电技术也至关重要，研究高效发电机设计以提升能量转换效率，

并探索发电机与风轮的匹配技术，确保系统稳定运行。此外，控制与并网技术同样关键，开发先进控制策略以实现风能发电机组的高效运行，以及研究并网技术，确保风能发电系统与电网的兼容性和稳定性。

三、储能电站与风能发电协同优化运行策略

在能源转型的浪潮中，储能电站与风能发电的协同优化运行，不仅能够提升电力系统的运行效率，还能有效促进可再生能源的消纳。

（一）协同优化运行的基本原理

协同优化运行是一种创新性的策略和技术手段，旨在通过整合储能电站和风能发电的优势，实现两者的高效协同工作。其核心在于利用储能系统的调节能力，有效平滑风能发电的波动性，从而确保电力供应的平稳与可靠。具体实施策略包括在风能发电的高峰期^[5]，通过储能电站储存多余的电能，而在低峰期或无风时段，则释放储存的电能，以此实现对电网负荷的调峰填谷，有效平衡电力供需。

此外，储能电站还为风能发电提供了必要的系统支撑，如频率调节和电压控制，这些功能有助于增强电网的运行稳定性和可靠性。通过这些措施，协同优化运行不仅提高了风能发电的利用率，还确保了电网的稳定运行，为可再生能源的大规模接入和消纳提供了有力保障。

（二）储能电站与风能发电的互补特性分析

储能电站与风能发电之间的互补特性构成了协同优化运行策略的基础。风能发电的季节性和日周期性特征与储能电站跨越时间限制的能力相结合，实现了能量的长期储存和利用，从而在时间上形成互补。在风能发电的高峰期，储能电站可以储存多余的电能，而在低峰期或无风时段，则释放储存的电能，以此实现对电网负荷的调峰填谷，有效平衡电力供需。

同时，风能发电的输出波动性较大，而储能电站能够提供稳定的能量输出，两者的结合显著提高了电力系统的能量利用率，展现了能量上的互补。储能电站不仅储存能量^[6]，还能提供调频、备用电源等多种电网服务，与风能发电在功能上形成互补，共同提升了电力系统的稳定性和可靠性。通过这些措施，协同优化运行不仅提高了风能发电的利用率，还确保了电网的稳定运行，为可再生能源的大规模接入和消纳提供了有力保障。

（三）协同优化运行策略框架

为确保储能电站与风能发电的高效协同，构建一个实用的协同优化运行策略框架至关重要。该框架需确立优化目标，建立数学模型，制定综合策略，实施与监控，并评估与优化。具体而言，目标应包括提升可再生能源利用率、降低运行成本、增强系统稳定性。数学模型需基于实际运行情况，涵盖能量流动、设备特性和电网需求。综合策略应包括能量管理、调度优化和市场参与，以协调能量流动并确保系统稳定运行和高效利用。实施与监控过程中，通过实时监控和调整，确保策略有效执行^[7]。最终，定期评估运行效果，根据反馈对策略进行优化和调整，以持续改

进策略，推动能源转型和可持续发展。

四、储能电站与风能发电协同优化运行模型

在能源互联网的宏伟蓝图中，储能电站与风能发电的协同优化运行模型，犹如交响乐的总谱，精准地指挥着各个乐器的和谐共鸣。这一模型不仅展现了技术创新的深度，也彰显了产业协同的广度，为可再生能源的充分利用和能源结构的转型提供了强有力的支撑。

（一）储能电站运行模型

储能电站的运行模型是实现协同优化策略的基础，它涵盖了储能单元的数学描述，包括电池组、飞轮、超级电容器等，这些描述详细展示了能量存储与释放的动态过程。此外，模型还包括模拟控制系统，涉及充电/放电策略、状态监测和故障诊断等关键环节。同时，经济性分析模型对运行成本、收益和投资回报率进行评估，为经济决策提供有力支持。

（二）风能发电运行模型

风能发电的运行模型是对风力发电特性的数学抽象，它在协同优化运行策略中扮演着关键角色。该模型包括风速预测模型，利用历史数据和气象信息来估算风能资源的可用性；风力发电机组模型，详细描述了机组的工作原理和输出特性，如功率曲线和效率曲线；以及电网接口模型，它模拟了风能发电系统与电网的连接，涵盖了并网控制和电能质量分析等方面^[8]。

（三）协同优化运行模型构建

构建协同优化运行模型是将储能电站与风能发电的运行模型有效融合，实现两者优势互补的核心环节。这一过程涉及定义目标函数，明确最小化总成本、最大化系统效益、提升供电可靠性等关键目标；设定约束条件，涵盖储能电站和风能发电的技术限制、电网运行规则、市场机制等；选取适当的优化算法，如线性规划、整数规划、遗传算法等，以解决协同优化问题；并通过实际运行数据对模型进行验证和调整，确保其精确度和实用性。

五、储能电站与风能发电协同优化运行策略实施建议

在深入探讨储能电站与风能发电协同优化运行的理论基础和数学模型之后，如何将这些抽象概念转化为实际操作，实现理论与实践的有效对接，成了一个迫切需要解决的问题。

参考文献

- [1] 郑阳光. 探讨风电与光伏的储能电站运维管理 [J]. 冶金管理, 2022, (07): 109-111.
- [2] 卢成志, 高林涛, 李忆. 规模化储能能在风、光伏发电项目中的应用探索 [J]. 黑龙江电力, 2020, 42(03): 229-235.DOI: 10.13625/j.cnki.hljep.2020.03.009.
- [3] 马建华, 韩献科, 钱康, 等. 风力发电机组电站系统仿真软件开发与应用 [J]. 上海电力大学学报, 2022, 38(03): 287-293+302.
- [4] 吴敏, 陈永清, 杨家国, 等. 特殊环境下风光油储应急电源系统技术研究 [J]. 移动电源与车辆, 2023, 54(01): 22-26+30.
- [5] 张磊, 郭语, 石嘉豪, 等. 风火储一体化电站功率特性研究 [J]. 动力工程学报, 2022, 42(06): 568-574+581.DOI: 10.19805/j.cnki.jcspe.2022.06.011.
- [6] 许潇. 计及储能的混合可再生能源系统规划与运行研究 [D]. 电子科技大学, 2021.DOI: 10.27005/d.cnki.gdzku.2021.005072.
- [7] 唐芳纯. 储能在新能源中的应用分析 [J]. 电子世界, 2021, (10): 25-26.DOI: 10.19353/j.cnki.dzsj.2021.10.012.
- [8] 陈德秋, 刘凯. 光热电站热能储存最优分配研究 [J]. 电子世界, 2020, (19): 70-71.DOI: 10.19353/j.cnki.dzsj.2020.19.031.
- [9] 樊增瑞. 城市风光储能系统的构建及运营策略研究 [D]. 重庆大学, 2020.DOI: 10.27670/d.cnki.gcqdu.2020.004249.
- [10] 罗宇强, 谢锡锋. 一种含风光储能协调运行控制装置设计 [J]. 装备制造技术, 2020, (02): 28-32.

（一）政策支持与激励机制

政策的力量犹如春日的暖风，为新兴技术的成长提供了不可或缺的培养环境。为了促进储能电站和风能发电项目的蓬勃发展，建议实施一系列优惠政策，包括税收减免和电价补贴，以减轻企业的运营负担。此外，应当建立有效的市场化激励机制，激励储能电站积极参与调峰调频等辅助服务，增强其市场竞争力。同时，完善相关法律法规体系，为储能电站和风能发电确立明确的市场地位和运营准则，保障整个行业的持续健康发展^[9]。

（二）技术创新与产业协同

技术创新是驱动行业发展的永恒动力，而产业协同则助力实现资源的最优配置。为此，建议积极推动技术研发的深化，激励企业、高等教育机构和科研院所联手进行储能材料与器件、控制策略等关键技术的创新研究；促进产业链上下游企业之间的协同合作，特别是在储能电站与风能发电领域，以实现资源的共享与优势的互补；同时，主动引进并消化国际尖端技术，从而提升我国在储能电站与风能发电领域的技术实力。

（三）示范项目推广与人才培养

推动示范项目的广泛传播和培育专业人才，对于行业的持续发展具有至关重要的意义。建议在关键区域和领域实施储能电站与风能发电协同优化运行的示范项目，通过实际运行成果来彰显其潜在优势，为行业发展树立典范。同时，强化高校及职业培训机构在储能技术和风能发电领域的专业教育，培养出既精通技术又具备管理能力的复合型专业人才，为行业注入新的活力^[10]。此外，定期举办国内外技术研讨会，促进技术知识的交流与合作，从而全面提升行业的技术能力。

六、结束语

在能源转型的澎湃浪潮中，储能电站与风能发电的协同优化运行，不仅是技术革新的成果，更是推动可持续发展的核心动力。深入探讨这两者的结合，我们不仅目睹了它们协同运行的巨大潜力，也深刻理解了实现这一目标所面临的诸多挑战。展望未来，储能电站与风能发电的协同优化运行必将成为能源领域的显著发展趋势。为了实现这一宏伟愿景，我们依赖政策制定者的智慧与远见，技术创新者的勇气与坚韧，以及每一位从业者的辛勤付出与不懈努力。众志成城，我们将共同推动这一能源转型的新时代。