

Stable Operation Control Strategy for New Energy Power System under Photovoltaic and Storage Synergy Mode

Jin Ma Qida Shen Hualei Wang*

China National Machinery Group Zhejiang Engineering Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310051, China

Abstract

With the rapid expansion of renewable energy installations, particularly the increasing proportion of intermittent power sources like photovoltaics in power systems, operational challenges such as heightened volatility, reduced inertia, and insufficient regulation capacity have emerged. The integration of energy storage technologies has become crucial for renewable energy integration and system stability, with the photovoltaic-storage synergy model gradually evolving into a key operational paradigm for next-generation power systems. This study examines the fundamental mechanisms of photovoltaic-storage coordination, analyzes major stability challenges in renewable energy systems, and focuses on active power regulation, voltage support, frequency control, and multi-time-scale coordinated control strategies. Practical optimization pathways are proposed based on real-world engineering requirements. Research findings demonstrate that refining control strategy frameworks and adopting intelligent dispatching methods can significantly enhance system stability and flexibility, providing technical foundations for developing high-renewable-energy power systems.

Keywords

Light-storage synergy; New energy power system; Stability control; Energy storage regulation; Intelligent dispatching

光储协同模式下新能源电力系统的稳定运行控制策略

马近 沈祺达 王华磊*

中机国能浙江工程有限公司, 中国·浙江 杭州 310051

摘要

随着新能源装机规模的快速增长,尤其是光伏等间歇性电源在电力系统中的占比不断提升,系统运行面临波动性增强、惯量下降和调节能力不足等问题。储能技术的引入为新能源消纳与系统稳定提供了重要支撑,光储协同模式逐渐成为新型电力系统的重要运行方式。本文从光储协同运行机理出发,分析新能源电力系统稳定性面临的主要问题,重点探讨有功功率调节、电压支撑、频率控制及多时间尺度协调控制策略,并结合实际工程需求提出优化路径。研究表明,完善控制策略体系并引入智能化调度方法,可以显著提升新能源电力系统的稳定性与灵活性,为构建高比例新能源电力系统提供技术支持。

关键词

光储协同; 新能源电力系统; 稳定控制; 储能调节; 智能调度

1 引言

随着能源结构转型不断推进,光伏发电在电力系统中的占比持续提升,传统依赖火电机组提供调节与惯量支撑的运行模式逐渐发生变化。新能源电源具有出力随机性与不确定性,给电网稳定运行带来新的挑战。储能系统具备快速响应与灵活调节能力,能够在一定程度上弥补新能源波动带来的不利影响。在此背景下,光储协同模式逐渐成为实现新能源高比例接入的重要路径。围绕该模式开展稳定运行控制策

略研究,有助于提升系统运行品质与安全水平,对于新型电力系统建设具有重要理论与实践价值。

2 光储协同模式及其运行特性分析

2.1 光储协同系统结构与运行机理

光储协同系统由光伏发电单元、储能系统及控制与调度平台构成,其运行核心在于实现发电与储能的协同调节。光伏发电单元将太阳能转换为电能,通过逆变器接入电网;储能系统则通过充放电过程实现能量的时移与调节。在系统运行过程中,控制系统根据负荷变化与发电情况,对储能系统进行动态调度,使光伏出力更加平滑。该模式通过耦合发电与储能资源,使系统具备一定的调峰与调频能力,从而提升整体运行稳定性。

2.2 新能源高渗透率下的系统运行特征

随着新能源,特别是光伏和风电的渗透率不断提高,

【作者简介】马近(1994-),男,中国安徽淮北人,本科,工程师,从事电气工程及其自动化研究。

【通讯作者】王华磊(1990-),男,中国河南漯河人,本科,中级,从事光伏/电气施工研究。

电力系统的运行特征发生了显著变化。传统电力系统依赖于常规发电机组提供的惯量以维持频率稳定，但随着新能源比例的增加，系统惯量逐步下降，频率的稳定性受到挑战。在光伏发电中，由于其受气象条件的影响较大，发电具有明显的间歇性和随机性，导致电网的电压与频率波动加剧。此外，新能源的接入使得电力潮流分布变得更加复杂，部分地区可能出现电压过高或线路过载等问题，进一步加大了电网调度与控制的难度。因此，如何应对新能源高渗透率带来的运行挑战，成为现代电力系统调度与控制中的关键问题。

2.3 光储协同模式对系统稳定性的影响

光储协同模式通过储能系统的参与，显著改善了新能源波动对系统稳定性的影响。储能系统能够平衡光伏发电的波动，通过在光伏发电过剩时储能，在出力不足时释放能量，平滑电力输出，减少频繁的功率波动。此外，储能系统具有快速响应能力，可以快速参与频率调节和电压支撑，有效提升系统的动态稳定性。随着储能容量的合理配置，光储协同系统能够更好地适应电网的负荷波动和新能源发电的不确定性，增强电网的抗扰动能力。通过优化储能系统的调度策略和容量配置，能够提高系统的调节能力和鲁棒性，使电网在面对复杂的负荷和发电波动时，依然能够维持稳定运行，为高比例新能源电力系统的构建提供坚实的技术支持。

3 新能源电力系统稳定运行面临的关键问题

3.1 功率波动与调节能力不足问题

光伏发电由于受到天气和光照条件的影响，出力变化频繁，进而引起电力系统功率波动。这种波动在传统电力系统中主要依赖常规机组进行调节，但随着新能源在电力系统中的比例逐步提升，传统调节资源逐渐不足，导致系统的调峰和调频能力下降。在传统系统中，常规机组通过增加或减少发电量来平衡系统负荷，但在新能源占比大幅增加后，这些机组的调节作用相对减弱，系统的灵活性和稳定性面临挑战。如果功率波动未能得到有效控制，将可能影响电网的运行安全，尤其是在新能源发电占比较高的时段，功率波动较大可能导致电网过载或频繁跳闸。因此，解决光伏发电引起的功率波动问题，必须采用更加灵活和精准的调节手段，以确保电网在大规模新能源接入后依然能够稳定运行。

3.2 电压稳定与无功调节问题

新能源接入电网后，局部电网的电压稳定性面临严峻挑战。尤其是光伏发电系统，虽然光伏逆变器具备一定的无功功率调节能力，但在高比例新能源接入的情况下，其调节能力仍然存在局限。当光伏发电系统的功率输出快速变化时，逆变器无法迅速补充所需的无功功率，导致局部电网电压波动。这不仅会影响电力设备的正常运行，还可能引发更严重的电网安全问题，如电压崩溃、设备损坏等。因此，提升电压控制能力是解决新能源接入后电力系统稳定性问题的关键。为此，除了依赖逆变器的无功功率调节外，还

要引入其他手段，如储能设备的无功补偿、高效电力电子装置和分布式电压调节技术等，以增强电网的电压调节能力，确保电压波动处于安全范围内，从而保障电力系统的稳定运行。

3.3 频率稳定与系统惯量下降问题

随着传统同步发电机的比例下降，电力系统的惯量显著减少，这导致了系统频率响应能力的减弱。在电力系统中，惯量是用来抵抗频率变化的关键因素，当系统受到扰动时，惯量较大的系统能够较为平缓地响应频率变化，而惯量较小的系统则会导致频率变化加速，从而增加频率调节的难度。新能源发电（如光伏和风电）通常是通过逆变器连接到电网的，而逆变器不具备传统同步发电机的惯性作用，这使得在新能源比例较高的系统中，频率波动更加剧烈。虽然储能系统可以参与频率调节，并在一定程度上缓解惯量下降带来的问题，但其控制策略与容量配置仍需进一步优化，以确保能够满足系统运行的频率稳定性需求。因此，必须完善储能系统的频率调节能力，提升储能容量和调度灵活性，使其能够在大规模新能源接入的情况下，提供有效的频率调节支持，保证系统的频率稳定性。

4 光储协同稳定运行控制关键技术

4.1 基于储能的有功功率调节策略

储能系统在光储协同运行中发挥着至关重要的作用，尤其是在有功功率调节方面。通过储能设备的充放电操作，光伏电站可以实现对出力波动的平滑处理，降低系统的功率波动性。在实际运行中，储能调度策略应根据电网负荷的变化和光伏发电的预测结果进行调整。根据实际负荷需求，储能系统可以在负荷低谷期间储存多余的电力，在负荷高峰时释放电力，从而平衡光伏发电的波动性和电力需求的变化。通过这种方法，储能系统不仅有助于减少新能源波动对电网的冲击，还能提高电力系统的稳定性和可靠性。合理分配储能功率，可以有效提升电力系统的调节能力，使系统功率保持相对稳定，增强电网应对突发事件的能力，并有效提升新能源的消纳水平^[1]。因此，基于储能的有功功率调节策略是提升电力系统稳定性和提高新能源利用效率的重要手段。

4.2 电压支撑与无功功率控制技术

电压控制是光储协同系统中的关键技术之一。为了维持电网的电压稳定，储能系统与光伏逆变器可协同工作，调节无功功率。无功功率调节能够帮助电网维持合适的电压水平，防止电压波动过大或过小，确保电力系统的安全运行。在实际应用中，储能系统可通过优化控制算法来提供适当的无功功率支持，具体方式包括通过调节储能设备的充放电状态，精确控制电力系统的无功功率供应。这一过程有助于稳定电网的电压，并提高系统的动态响应能力。同时，结合分布式控制技术，可以有效提升局部电网的电压调节能力。在一些电压波动较大的区域，分布式储能系统通过局部控制策

略,能够独立调节电压,减少大范围系统对电压波动的影响,从而实现更精细的电压管理。

4.3 多时间尺度协调控制方法

光储协同控制系统的多时间尺度协调是确保系统稳定与高效运行的关键。系统需要在短期、中期和长期三个时间尺度上进行灵活的控制与调度。在短时间尺度内,储能系统通过快速响应功率波动,进行瞬时调节。例如,储能设备可以在几秒钟内调整输出功率,及时应对电网中出现的突发波动,确保电网功率的稳定性。在中期和长期尺度上,系统通过优化调度与预测分析对电力供应和需求进行精细调控。例如,通过对负荷变化趋势和光伏发电量的预测,系统可以提前调度储能设备,以应对负荷变化和发电波动。多时间尺度协调控制能够在保证系统稳定性的同时,兼顾经济性,使得系统能够在高效运行的同时减少能量浪费。通过在不同时间尺度上进行协调调度,不仅提高了系统的运行效率,也增强了电力系统对突发事件的应急能力,进一步提升了光储协同模式的整体稳定性和经济性。

5 光储协同控制策略优化与应用路径

5.1 智能化调度与预测技术应用

随着大数据技术的快速发展,基于预测的调度方法在光储系统中的应用日益广泛。光伏出力波动性大,因此,提高光伏发电的出力预测精度是确保系统高效运行的关键。通过对气象数据、负荷变化、历史发电数据等多种因素的综合分析,智能化调度能够实时预测光伏发电的变化趋势,并据此优化储能系统的调度策略。智能化调度不仅提升了储能系统的经济性,还显著增强了电力系统的稳定性,确保新能源在电网中的顺利消纳。

5.2 储能容量配置与系统优化设计

储能系统容量配置对光储协同效果至关重要。如果储能容量过小,无法满足频繁的调节需求,导致新能源消纳不足,甚至可能出现电力波动或停电问题。反之,储能容量过大则会增加系统投资成本,降低经济效益。因此,合理配置储能容量是系统设计中的一项关键任务。通过结合负荷特性和新能源出力情况,进行精确的储能容量设计,可以实现技术与经济的平衡。例如,在负荷高峰期或新能源出力较低时,储能系统可以提供电力支持;而在新能源出力高峰期,储能系统可以通过充电将多余的电力储存起来,以备后续使用^[2]。通过这种合理的容量配置,光储系统能够有效提升电力系统的灵活性和稳定性,为电力调度提供保障。优化储能容量配

置不仅能满足系统调节需求,还能降低过剩投资,实现资源的高效利用。

5.3 多能协同与综合能源系统发展

光储协同模式的优势不仅体现在单一能源形式的优化,还可以与其他能源形式相结合,形成多能互补的综合能源系统。通过将光伏、风电、储能以及需求侧管理等多种能源形式进行有机结合,能够进一步提升能源系统的灵活性、稳定性和可持续性。多能协同有助于平衡各类能源的供需差异,充分发挥各类能源的优势。例如,在风能丰富但日照不足的区域,风电可以弥补光伏的不足;在负荷高峰期间,储能系统可以调节电力供给,确保系统的稳定运行。通过综合能源系统,可以实现能源的高效利用和协同优化,推动能源系统向多元化方向发展,从而提高整个能源系统的运行效率和应急响应能力^{[3][4][5]}。这种多能互补模式,不仅有助于提升光储协同系统的性能,还为推动清洁能源的广泛应用和未来能源转型提供了重要支持。

6 结语

光储协同模式为新能源电力系统稳定运行提供了重要技术路径,在高比例新能源接入背景下具有广阔应用前景。通过对系统运行特性与关键问题的分析,可以看出,储能系统在功率调节、电压控制与频率支撑方面发挥着关键作用。围绕控制策略开展深入研究,有助于提升系统运行稳定性与调节能力。未来,应进一步加强智能化技术应用与多能协同发展,推动光储协同模式不断完善,为新型电力系统建设提供持续动力。

参考文献

- [1] 董辉圆.高比例新能源并网背景下电力系统稳定控制对策分析[C]//广西大学广西县域经济发展研究院.2025年第一届数字技术赋能工程建设领域数字化转型学术交流论文集.国网吉林省电力有限公司四平供电公司,2025:15-17.
- [2] 尤欣,孙海洋.新能源并网运行期间电力系统频率稳定控制策略研究[J].华东科技,2025,(11):76-79.
- [3] 闫军.支撑新能源电力系统安全稳定运行的构网型关键技术、核心装备及应用.内蒙古自治区,内蒙古(电力)集团有限责任公司,2023-11-01.
- [4] 谢小荣.支撑新型电力系统稳定运行的新能源机组并网控制关键技术及应用.北京市,华北电力科学研究院有限责任公司,2022-12-17.
- [5] 杨金海.基于动态安全域的多能源电力系统稳定性分析与控制[D].新疆大学,2022.