

光伏与风电并网系统的运行稳定性评估

王轩, 黄骏*

国电投长江生态能源有限公司, 湖北 武汉 430000

摘要：随着新能源技术的快速发展, 光伏与风电并网系统已成为电力系统中不可或缺的一部分。然而, 其并网运行稳定性问题也日益凸显, 对电网的安全稳定运行构成了挑战。本文旨在全面评估光伏与风电并网系统的运行稳定性, 探讨影响稳定性的关键因素, 并提出相应的改进措施。通过对并网系统的结构、运行特性及故障机理进行深入分析, 结合先进的评估方法和技术手段, 本文为新能源项目的安全生产管理提供了理论依据和实践指导, 有助于推动新能源产业的健康可持续发展。

关键词：光伏; 风电; 并网系统; 运行稳定性

Evaluation of the Operation Stability of the Photovoltaic and Wind Power Grid-Connected System

Wang Xuan, Huang Jun*

China Power Investment Yangtze River Ecological Energy Co., LTD. Wuhan, Hubei 430000

Abstract： With the rapid development of new energy technology, photovoltaic and wind power grid-connected system has become an indispensable part of the power system. However, the stability problem of its grid-connected operation is also increasingly prominent, which poses a challenge to the safe and stable operation of the power grid. This paper aims to comprehensively evaluate the operation stability of photovoltaic and wind power grid-connected system, explore the key factors affecting the stability, and put forward corresponding improvement measures. Through the in-depth analysis of the structure, operation characteristics and fault mechanism of the grid-connected system, combined with advanced evaluation methods and technical means, this paper provides theoretical basis and practical guidance for the safety production management of new energy projects, and helps to promote the healthy and sustainable development of the new energy industry.

Keywords： photovoltaic; wind power; grid-connected system; operation stability

新能源, 特别是光伏和风电, 因其清洁、可再生的特点, 在全球范围内得到了广泛应用。然而, 光伏与风电并网系统的运行稳定性问题一直是行业关注的重点。由于光伏和风电的输出功率受自然条件影响大, 具有间歇性和不确定性, 这给电网的安全稳定运行带来了挑战。因此, 对光伏与风电并网系统的运行稳定性进行评估, 提出有效的改进措施, 对于保障电网的安全稳定运行具有重要意义。

一、光伏与风电并网系统的基本特性

(一) 间歇性和不确定性

光伏与风电作为可再生能源, 其输出功率深受天气条件影响, 展现出明显的间歇性和不确定性特征。这种特性使得并网系统的输出功率呈现大幅度波动, 对电网的调度和运行构成了严峻挑战。由于光照强度和风速的不可预测性, 光伏电站和风力发电场在特定时间段内可能产生大量电能, 而在其他时间段则可能产出极少。这种不稳定的电能输出要求电网具备高度的灵活性和适应性, 以确保电力供应的稳定性和可靠性。

(二) 低电压穿越能力

在电网遭遇故障引发电压下降的情况下, 光伏和风电并网系统需展现出低电压穿越能力。这意味着系统能够在一定范围内的

低电压条件下, 继续保持并网运行状态, 从而为电网提供必要的支撑。低电压穿越能力是衡量新能源并网系统对电网故障响应能力的关键指标, 对于维护电网的整体稳定性和可靠性至关重要。具备这一能力的系统能够在电压恢复后迅速恢复正常运行, 减少电网故障对电力供应的影响。

(三) 高电压穿越能力

在电网电压升高的情况下, 光伏和风电并网系统同样需要展现出高电压穿越能力。这种能力确保了并网系统在面临高电压条件时, 能够保持设备的稳定运行, 避免设备受损或故障。高电压穿越能力是评估新能源并网系统适应电网电压波动能力的重要指标, 对于维护电网安全和设备完整性至关重要。具备高电压穿越能力的系统能够在电压异常情况下持续运行, 为电网提供稳定的电力输出。

作者简介: 王轩 (1989-), 男, 汉族, 江苏省盐城市人, 本科, 研究方向: 光伏, 风电运行管理;

通讯作者: 黄骏 (1985-), 男, 汉族, 江西省南昌市人, 大专, 助理工程师, 研究方向: 光伏, 风电运行管理。邮箱: 344607785@qq.com

（四）动态无功补偿能力

光伏和风电并网系统需具备动态无功补偿能力，这对于维持电网的电压稳定和功率因数至关重要。动态无功补偿能力使系统能够根据实际情况，快速调节无功功率的输出，从而有效应对电网电压的波动和功率因数的变化。这一能力有助于提升电网的整体稳定性和可靠性，确保电力传输的高效性和安全性。通过动态无功补偿，并网系统能够更好地适应电网运行需求，为电力用户提供高质量的电力服务。

二、影响光伏与风电并网系统运行稳定性的关键因素

（一）电网结构

电网的结构对并网系统的稳定性具有显著影响。一个复杂的电网结构可能加剧并网系统与其他电源之间的相互作用，从而增加系统的不稳定性。合理的电网结构设计能够减少这种相互作用，提高系统的抗干扰能力。因此，在规划和设计电网时，需要充分考虑电网结构对并网系统稳定性的影响，以确保电网的安全、稳定运行。

（二）控制策略

并网系统的控制策略对其运行稳定性具有直接影响。合理的控制策略可以有效降低输出功率的波动，增强系统的抗干扰能力。通过精确调控并网系统的输出功率和响应时间，可以确保电网的稳定运行。因此，制定和优化并网系统的控制策略，是提升系统稳定性、保障电力供应安全的关键措施。

（三）设备性能

光伏和风电设备的性能对并网系统的稳定性具有重要影响。设备的故障率、响应速度等关键指标直接关系到系统的稳定运行。高性能的设备能够降低故障率，提高响应速度，从而增强并网系统的稳定性和可靠性^[1]。因此，在选用和维护设备时，需注重其性能表现，以确保并网系统的高效、稳定运行。

（四）天气条件

天气条件是决定光伏和风电输出功率的关键因素，同时也对并网系统的运行稳定性产生重大影响。极端天气条件，如强风暴、暴雨或极端高温等，可能导致系统输出功率的大幅波动，严重时甚至可能引发系统故障。因此，在设计和运行并网系统时，需充分考虑天气条件的影响，采取相应措施以提高系统的适应性和稳定性。

三、光伏与风电并网系统运行稳定性评估方法

（一）阻抗稳定性判据

阻抗稳定性判据是一种重要的评估并网系统稳定性的方法。该方法的核心在于通过分析并网系统的阻抗特性，来判断系统是否处于稳定状态。在系统参数及内部结构不完全已知的情况下，阻抗稳定性判据尤为有效。通过测量并网系统中各个子系统的阻抗值，可以分析它们之间的相互作用关系，进而判断整个级联系统的稳定性。阻抗稳定性判据具有操作简便、结果直观等优点。

在实际应用中，该方法能够准确地评估并网系统的稳定性，为系统的设计和运行提供重要参考。同时，阻抗稳定性判据还可以与其他评估方法相结合，以更全面地评估并网系统的稳定性^[2]。通过不断优化和完善阻抗稳定性判据，可以进一步提高并网系统的稳定性和可靠性，为新能源并网系统的安全、稳定运行提供有力支持。

（二）电网等效模型法

电网等效模型法是一种有效的评估并网系统对电网稳定性影响的方法。该方法的核心思想是将光伏或风电系统等效为一个源，即将其复杂的电气特性简化为一个具有特定电气参数的等效源。通过计算这个等效源对电网的影响系数，可以量化评估其对电网稳定性的影响程度。这种方法具有直观性强的特点，能够清晰地反映出并网系统对电网的干扰程度，为电网调度和运行人员提供有力的决策依据。在实际应用中，电网等效模型法需要准确获取光伏或风电系统的电气参数，并考虑电网的结构和运行方式。通过合理的等效模型构建和计算分析，可以得出准确的影响系数，为电网的稳定运行提供可靠保障^[3]。同时，该方法还可以与其他评估方法相结合，以更全面地评估并网系统对电网的影响。

（三）实测法

实测法是一种直接评估并网系统稳定性的方法，其核心在于通过对并网系统的实时监测，获取系统的运行状态和关键参数。这种方法能够实时反映系统的实际运行情况，为评估系统的稳定性提供直接的数据支持。通过实时监测并网系统的电压、电流、功率等参数，可以分析系统的波动情况和响应特性，进而判断系统的稳定性状态。然而，实测法也受到监测设备和技术的限制，可能存在一定的误差。为了提高实测法的准确性，需要采用高精度、高可靠性的监测设备，并不断优化监测技术和方法^[4]。同时，实测法还需要与其他评估方法相结合，以全面、准确地评估并网系统的稳定性。

（四）仿真分析法

仿真分析法是一种强大的工具，用于评估并网系统的稳定性。该方法通过利用先进的仿真软件，对并网系统进行精确的建模和仿真分析。在仿真过程中，可以模拟系统的各种运行状态，包括正常运行、故障情况等，从而全面评估系统的稳定性表现。仿真分析法不仅能够揭示系统在特定条件下的行为特征，还能够为改进控制措施提供有力的理论依据。通过对仿真结果的分析，可以识别出系统中的潜在问题，并据此优化控制策略，提高系统的稳定性和可靠性^[5]。此外，仿真分析法还具有灵活性和可扩展性，能够适应不同规模和复杂度的并网系统评估需求。因此，仿真分析法在新能源并网系统的稳定性评估中发挥着重要作用。

四、提高光伏与风电并网系统运行稳定性的措施

（一）优化电网结构

优化电网结构是提升并网系统稳定性的重要手段。通过合理设计电网布局，可以有效降低并网系统与其他电源之间的相互作

用,从而增强系统的整体稳定性。具体而言,可以采取多种措施来优化电网结构,如增加电网的冗余度,提高电网的可靠性和抗干扰能力。冗余度的提升意味着电网在面临故障或异常情况时,有更多的备用路径和资源可供使用,从而确保电力供应的连续性和稳定性^[6]。此外,优化电网结构还可以减少电力传输过程中的损耗,提高能源利用效率。

（二）改进控制策略

改进控制策略是提升并网系统稳定性的关键途径。通过采用先进的控制方法,如功率预测控制和自适应控制,可以显著降低并网系统输出功率的波动,增强系统的抗干扰能力。功率预测控制利用历史数据和气象信息,对光伏和风电系统的输出功率进行精确预测,并据此调整控制策略,以实现平稳的电力输出^[7]。自适应控制则根据系统实时运行状态,动态调整控制参数,以应对各种不确定性和干扰。这些先进的控制策略能够显著提高并网系统的响应速度和稳定性,为电力系统的安全、可靠运行提供有力保障。

（三）提升设备性能

提升光伏和风电设备的性能与质量是确保并网系统稳定运行的关键。通过加强设备的研发和生产,采用先进的技术和材料,可以显著提高设备的效率和可靠性,降低故障率。同时,优化设备的设计和结构,能够提升设备的响应速度,使其在面对电网波动或故障时能够迅速调整,保持稳定的电力输出。此外,加强设备的维护和保养,定期进行性能检测和故障排查,也是确保设备长期稳定运行的重要措施^[8]。通过这些努力,可以进一步提升光伏和风电设备的性能,为并网系统的安全、可靠运行提供坚实基础。

（四）加强天气预测和监测

加强天气预测和监测对于确保并网系统的稳定运行至关重要。

通过利用先进的天气预测和监测技术,我们可以提前掌握天气变化的详细情况,包括风速、风向、光照强度、温度等关键气象信息。这些信息为并网系统的运行调度提供了重要的科学依据,使调度人员能够提前制定应对措施,优化系统运行策略。例如,在预测到风速降低或光照减弱时,可以提前调整光伏和风电系统的输出功率,以保持电网的稳定供电^[9]。通过加强天气预测和监测,能够更好地应对天气变化对并网系统的影响,确保电力系统的安全、可靠运行。

（五）建立应急预案

建立应急预案是确保电网安全稳定运行的重要环节。针对可能发生的各种故障情况,如设备故障、天气突变等,我们需要提前制定详细的应急预案。这些预案应明确故障发生时的应对措施、责任分工和处置流程,确保在故障发生时能够迅速、有序地采取行动^[10]。通过定期演练和培训,提高相关人员对预案的熟悉度和应急处理能力,确保在关键时刻能够迅速响应,有效控制故障范围,减少损失。同时,应急预案的制定还需考虑与上级电网和其他相关部门的协同配合,确保在故障处理过程中能够形成合力,共同保障电网的安全稳定运行。

五、结论

光伏与风电并网系统的运行稳定性评估是提高新能源项目安全生产管理水平的重要一环。通过对并网系统的基本特性、影响因素、评估方法及改进措施进行深入分析,本文为新能源项目的安全生产管理提供了理论依据和实践指导。未来,随着新能源技术的不断发展和电网结构的不断优化,光伏与风电并网系统的运行稳定性将得到进一步提升,为新能源产业的健康可持续发展提供有力保障。

参考文献

- [1]刘朝辉. 考虑风电并网系统时变特性的宽频振荡风险评估方法的研究 [D]. 兰州理工大学, 2023.
- [2]许荣彪. 风电并网系统电压无功控制策略研究 [D]. 昆明理工大学, 2023.
- [3]陈厚合, 杨政, 裴玮, 等. 风电并网系统数字孪生及故障态势辨识 [J]. 电工电能新技术, 2022, 41 (11): 43-58.
- [4]刘其辉, 董楚然, 于一鸣. 双馈风电并网系统高频谐振机理及抑制策略 [J]. 电力自动化设备, 2020, 40 (09): 163-172.
- [5]李波, 覃惠玲, 吴玥, 等. 风光互补发电并网系统优化设计研究 [J]. 电子设计工程, 2019, 27 (24): 70-74.
- [6]万兴玉. 高渗透率风电并网系统的优化运行研究 [D]. 南昌大学, 2018.
- [7]赵会莹, 丁剑, 杨明玉, 等. 千万千瓦级风光并网系统电压无功研究 [J]. 可再生能源, 2018, 36 (03): 411-421.
- [8]李元浩, 马玉鑫, 杜志超. 基于 RT-LAB 的风电并网系统低电压穿越仿真研究 [J]. 电器与能效管理技术, 2017, (06): 71-77.
- [9]蔡国伟, 陈冲, 孔令国, 等. 风电 / 光伏 / 制氢 / 超级电容器并网系统建模与控制 [J]. 电网技术, 2016, 40 (10): 2982-2990.
- [10]徐学根. 我国分布式小型风电并网系统应用的技术可行性与投资经济性分析 [J]. 风能, 2013, (07): 50-53.