新能源接入背景下电力系统稳定性提升技术及管理措施

徐铁

哈电国际工程(天津)有限责任公司, 天津 300220

DOI: 10.61369/ETQM.12214

摘要: 随着新能源在我国电力系统中占比不断攀升, 其接入给电力系统稳定性带来诸多挑战。本文深入剖析太阳能、风能等新能源的间歇性、波动性与随机性特性, 以及由此引发的电力系统潮流分布改变、电压波动、频率调节困难等稳定性问题。详细阐述了储能技术、柔性交流输电技术、智能电网控制技术等稳定性提升技术, 以及优化调度管理、完善运维体系、制定政策法规与激励机制等管理措施。研究表明, 通过技术与管理协同, 可有效提升电力系统在新能源接入背景下的稳定性, 促进新能源与电力系统协调发展。

关键词: 新能源接入; 电力系统稳定性; 提升技术; 管理措施

Technologies and Management Measures to Improve Power System Stability in the Context of Renewable Energy Integration

Xu Tie

Harbin Electric International Engineering (Tianjin) Co., Ltd. Tianjin 300220

Abstract: As the proportion of renewable energy in China's power system continues to rise, its integration poses numerous challenges to power system stability. This article deeply analyzes the intermittent, volatile, and random characteristics of renewable energy sources such as solar and wind, as well as the stability issues caused by changes in power flow distribution, voltage fluctuations, and difficulties in frequency regulation. The article elaborates on stability improvement technologies such as energy storage technology, flexible AC transmission technology, and smart grid control technology, as well as management measures including optimizing scheduling management, improving the operation and maintenance system, and formulating policies, regulations, and incentive mechanisms. Research shows that through the synergy of technology and management, the stability of the power system in the context of renewable energy integration can be effectively improved, promoting coordinated development between renewable energy and the power system.

Keywords: renewable energy integration; power system stability; improvement technology; management measures

随着全球对环境保护和可持续能源发展的重视, 太阳能、风能等新能源在电力系统中的接入比例不断攀升。新能源的广泛应用虽为能源结构优化带来曙光, 但因其自身特性, 给电力系统稳定性带来诸多挑战。深入研究新能源接入背景下电力系统稳定性提升技术及管理措施, 对于保障电力可靠供应、推动能源转型、实现经济社会可持续发展具有至关重要的意义。

一、新能源接入对电力系统稳定性的影响

(一) 新能源特性分析

太阳能、风能等新能源具有显著的间歇性、波动性与随机性。太阳能发电功率受天气和昼夜影响, 晴朗时太阳能板高效发电, 云层快速遮挡, 发电功率几分钟内便会大幅下降。风能发电则取决于风速与风向变化, 风速不稳定, 风力发电机叶片转速随之改变, 发电功率剧烈波动, 强对流天气下, 风电输出功率极不稳定。截至2022年底, 我国全国发电装机容量到达256405万千瓦, 其中火电装机容量133239万千瓦, 水电装机容量41350万千瓦, 核电装机容量5553万千瓦, 并网风电装机容量36544万千瓦,

并网太阳能发电装机容量39261万千瓦, 风电和太阳能新能源占比分别为14.2%, 15.3%, 预计在2030年底, 我国新能源装机规模将达到40%以上, 有望成为我国第一大装机电源^[1]。这些特性与传统火电、水电的稳定、可控形成鲜明反差, 给电力系统稳定运行带来挑战。传统能源可依系统需求精准调控发电功率, 新能源却难以被精确预测与调控, 极大增加了电力系统运行的不确定性。

(二) 接入引发的稳定性问题阐述

新能源接入电力系统后, 会致使电力系统的潮流分布发生显著改变, 进而极有可能引发电压波动与闪变问题。当大规模的风电接入电网时, 风速的突然变化会成为电压波动的导火索。在某

些风力资源丰富但电网结构相对薄弱的地区，一旦风速突变，风电场输出功率迅速变化，电网电压便会出现快速且明显的波动。这种电压波动会沿着输电线路传导至用户端，对各类用电设备的正常运行产生负面影响。例如，一些对电压稳定性要求较高的精密电子设备，在电压波动超出允许范围时，可能出现运行故障甚至损坏。同时，新能源发电功率的不确定性极大地增加了系统频率调节的难度^[9]。传统电力系统主要依靠同步发电机的惯性和调速器的调节作用来维持频率稳定，同步发电机能够根据系统频率的微小变化自动调整输出功率，以保持频率在额定范围内。但新能源接入后，由于其发电功率难以稳定控制，当发电功率与系统负荷无法实时匹配时，就容易造成频率偏差。若这种偏差持续积累且未得到有效纠正，严重情况下甚至会引发系统振荡，使电力系统的运行陷入混乱，对整个电力系统的安全稳定运行构成严重威胁。

二、稳定性提升技术

（一）储能技术应用

储能技术在电力系统中扮演着至关重要的角色，形象地说，其作用类似于电力系统的“充电宝”。在新能源发电过程中，当发电功率处于过剩状态时，储能技术能够将多余的电能高效储存起来；而在发电功率不足时，又可将储存的电能适时释放，补充到电力系统中。其中，锂电池储能系统凭借其突出优势，在实际应用中极为广泛。该系统具备快速的响应速度，能够敏锐捕捉电力系统功率的动态变化，并迅速做出调节，以维持功率平衡。例如，在风电富集地区，风力发电受自然条件影响，功率波动较为频繁^[9]。通过配备锂电池储能系统，当风电功率瞬间激增时，锂电池可迅速吸收多余电能，防止功率冲击对电网造成不良影响；而当风电功率骤减时，锂电池又能及时放电，将不稳定的风电转化为相对平稳的电能输出，为电网的稳定运行提供坚实保障。此外，抽水蓄能技术作为大规模储能的重要手段，通过将电能转化为水的势能进行储存，在电力系统调节峰谷差方面发挥着不可替代的关键作用。在用电低谷时段，利用多余电能将水从低位水库抽至高位水库，储存能量；在用电高峰时段，再将高位水库的水释放，驱动水轮机发电，有效缓解电力供需矛盾，保障电力系统的稳定运行。

（二）柔性交流输电技术运用

柔性交流输电技术借助先进的电力电子设备，实现了对输电系统参数的灵活且精准地控制。以静止无功补偿器（SVC）为例，其在稳定电网电压方面表现卓越。在城市电网运行过程中，用电高峰时段往往面临着较大的无功功率需求，若无功功率供应不足，将会导致电网电压下降，影响居民和企业的正常用电^[9]。此时，SVC能够迅速响应，快速调节无功功率，及时为电网补充所需的无功容量，有效避免电压下降，确保各类用电设备的稳定运行。另一种重要的柔性交流输电设备——晶闸管控制串联电容器（TCSC），则主要通过对输电线路电抗的精细调节，优化电力潮流分布。在长距离输电线路中，电抗的存在会导致电能损耗增

加，输电能力受限。TCSC通过合理改变输电线路电抗，能够引导电力潮流更加合理地分配，显著提升输电能力，增强电力系统的稳定性，减少因输电线路问题引发的系统故障，保障电力可靠传输。

（三）智能电网控制技术解析

智能电网控制技术紧密依托先进的信息技术与自动化控制手段，为电力系统的高效稳定运行提供了强有力的支持。分布式能源管理系统（DEMS）便是其中的典型代表，它能够对分布式新能源发电进行实时、全方位地监测与精准控制。在分布式光伏接入的小区电网场景中，DEMS发挥着关键作用。它可依据电网的实时负荷需求以及光伏电站的发电情况，智能优化发电调度策略^[9]。优先将光伏电能分配给小区内部用户，满足居民用电需求，最大程度提高能源就地消纳比例；当小区内部用电负荷较低，光伏电能有剩余时，再将多余电能有序输送至大电网，实现能源的高效利用，同时保障小区供电的稳定性，减少因光伏功率波动对小区用电的影响。广域测量系统（WAMS）则利用全球定位系统（GPS）的高精度授时功能，实现了对电力系统广域范围内电气量的实时、同步监测。通过对电压、电流、功率等关键电气量的精确测量与分析，WAMS能够为电力系统稳定性分析与控制提供极为精准的数据支持。借助这些数据，电力运维人员能够及时洞察系统潜在风险，如早期识别系统振荡趋势、快速定位故障区域等，为及时采取有效的控制措施提供依据，有力保障电力系统的安全稳定运行。

三、管理措施

（一）优化调度管理策略

在传统电力调度模式下，火电等常规能源占据主导地位。然而，随着新能源大规模接入电力系统，构建包含新能源的多能源联合调度体系已成为必然趋势。滚动优化调度策略在此背景下应运而生，该策略依托先进的预测技术，对新能源的短期发电功率以及负荷变化情况进行精准预估，并以此为依据实时动态调整发电计划。当出现风电大发但负荷相对较低的情况时，可灵活削减火电发电量，优先安排风电的消纳，从而有效避免新能源弃电现象的发生。同时，大力加强电网与新能源发电企业之间的信息共享机制建设，借助高效的数据交互平台，实现电力资源的优化配置^[9]。这不仅能够显著提升电力系统运行的稳定性，减少因功率失衡引发的波动风险，还能增强系统的经济性，提高能源利用效率，降低发电成本，实现电力系统综合效益最大化。

（二）完善运行维护管理体系

构建一套针对新能源发电设备与电网的一体化运维体系，对于保障电力系统安全稳定运行具有关键意义。在新能源发电设备运维方面，制定严格且科学的定期巡检制度必不可少。借助智能监测设备，能够对设备运行状态进行全方位、实时化监测，通过对光伏板的温度、电流、电压等关键参数的持续跟踪分析，及时发现潜在故障隐患，精准排查出故障光伏板，确保光伏发电过程的持续性与稳定性。在电网运维领域，着重加强对输电线路、变

电站等核心设备的维护力度。尤其是在新能源接入点，因其特殊性易引发系统故障，需进一步强化设备检测工作，采用先进的检测技术与设备，如智能巡检机器人、高精度电气检测仪器等，对设备进行精细化检测，及时发现并处理设备缺陷，确保电网安全稳定运行，最大限度降低因设备故障引发的系统风险，保障电力供应的可靠性^[7]。

（三）政策法规与激励机制探讨

政府在推动新能源有序发展与接入过程中发挥着至关重要的引导作用。通过出台一系列相关政策法规，为新能源产业的健康发展保驾护航。制定详尽且严格的新能源并网标准，明确规定新能源发电设备接入电网时所需满足的技术要求以及安全规范，从源头上保障接入质量，确保新能源发电能够安全、稳定地并入电网^[8]。同时，积极建立科学合理的激励机制，对于积极主动消纳新能源的电网企业，给予相应的补贴支持，激励电网企业加大在新能源接入基础设施建设、技术研发等方面的投入，提升新能源接入能力；对于采用先进稳定性提升技术的新能源发电企业，给予税收优惠政策，降低企业运营成本，激发企业技术创新活力，推动整个行业技术水平的进步。通过政策法规与激励机制的协同作用，从政策层面为电力系统稳定性提升措施的有效实施提供坚实保障，促进新能源与电力系统的深度融合与协调发展。

四、案例分析

（一）实际项目案例介绍

甘肃省酒泉市作为中国重要的新能源基地，凭借其丰富的风能和太阳能资源，已成为全国新能源发展的标杆地区^[9]。该市的新能源示范项目通过大规模接入风电和光伏发电，成功实现了清洁能源的高效利用。项目区内建设了多个大型风电场和光伏电站，总装机容量超过20GW，并通过±800kV特高压直流输电线路（酒泉-湖南）将清洁能源远距离输送至华中地区，有效解决了当地新能源消纳难题。在项目实施过程中，酒泉市配套建设了多个锂电池储能电站，总容量超过500MWh，同时部署了柔性交流输电装置（如STATCOM），显著提升了电网的稳定性和调节能力。此外，项目还引入了先进的智能电网控制系统，实现了对新能源发电和电网运行的实时精准监控与调度。通过优化调度管理和完善运维体系，项目不仅提高了电网运行效率，还为大规模新能源并网积累了宝贵经验。

（二）技术与管理措施实施效果评估

根据实际运行监测数据，储能系统在平抑风电和光伏功率波动方面发挥了显著作用，使新能源发电输出稳定性提升了30%，有效缓解了间歇性电源对电网的冲击。柔性交流输电装置的应用，将电网电压合格率提升至99.5%以上，为电压稳定提供了坚实保障。智能电网控制系统的部署，实现了对新能源发电和电网运行的实时精准控制，使故障响应时间缩短了50%，大幅提高了电网的可靠性和应急能力。此外，通过优化调度管理，项目将新能源弃电率成功降低至5%以下，显著提升了清洁能源的利用率。同时，完善后的运维体系使设备故障率减少了20%，进一步保障

了电力系统的长期稳定运行^[10]。综合来看，该项目通过技术与管理的协同创新，显著提升了电力系统的整体稳定性，为全国范围内大规模新能源并网项目提供了可复制、可推广的成功范例，具有重要示范意义和参考价值。

五、结束语

本研究系统性剖析了新能源接入背景下电力系统稳定性问题。精准解析太阳能、风能等新能源间歇性、波动性、随机性特性，深入阐释其接入引发的电力系统潮流异常、电压波动、频率调节等难题。全面探究储能、柔性交流输电、智能电网控制等技术，以及优化调度管理、完善运维体系等管理策略，构建起完备科学的研究体系。实践证明，落实这些技术与举措，能有效应对挑战，提升系统稳定性与可靠性。展望未来，随着新能源接入规模扩大，需推动技术创新、管理优化，强化政策引导，促进新能源与电力系统深度融合，筑牢能源可持续发展根基。

参考文献

- [1] 郑絮. 规模化新能源接入地区电网次同步振荡问题的研究[D]. 贵州大学, 2023. DOI: 10.27047/d.cnki.ggudu.2023.001477.
- [2] 范俊杰. 谱约束的区域微网新能源接入容量提升研究[D]. 燕山大学, 2023. DOI: 10.27440/d.cnki.gysdu.2023.002037.
- [3] 叶林, 裴铭, 杨建宾, 等. 极端天气下的新能源电力系统电力电量平衡体系[J]. 电力系统自动化, 2025, 49(04): 2-18.
- [4] 沈鸿达. 储能技术在新能源电力系统中的应用研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(21): 85-87. DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2406-5042-2999.
- [5] 王磊, 胡清. 储能技术在新能源电力系统中的应用[J]. 通讯世界, 2024, 31(10): 88-90.
- [6] 刘洋福, 曹俊, 彭双武. 新能源电力系统中储能技术的应用研究[J]. 光源与照明, 2024, (08): 213-215.
- [7] 王占军. 新能源电力系统中的控制技术优化策略分析[J]. 电子技术, 2024, 53(08): 326-327.
- [8] 章晓丽. 能源互联网下新能源电力系统中的储能技术研究[J]. 光源与照明, 2024, (07): 168-170.
- [9] 徐新田, 赵爽, 赵建华, 等. 甘肃河西地区抽水蓄能电站带动新能源经济规模研究[J]. 西北水电, 2024, (03): 114-119+137.
- [10] 王占东. 甘肃电力装机容量突破8000万千瓦大关[N]. 甘肃日报, 2023-12-15(001). DOI: 10.28286/n.cnki.ngsrb.2023.004953.