

风力发电并网接入对电力系统稳定性的影响分析

吴桂敏

江苏省如高高压电器有限公司，江苏 如皋 226572

DOI:10.61369/EPTSM.2026010026

摘 要： 风力发电并网接入给电力系统稳定性带来了深远影响，集中表现为对系统频率、功率波动以及电压稳定性构成挑战，伴随风电在电力能源中所占比例不断攀升，风力发电所具有的不确定性与间歇性特质，对系统调度和负荷平衡提出了更为严苛的要求。并网之后，风电对传统发电机组的支撑作用相对有限，极有可能致使电力系统的动态响应能力降低，为保证电力系统稳定运行，需强化风电接入的调度策略，优化功率预测与负荷管理工作，并提升调度控制技术水平，以此保障电力系统运行安全无虞。

关 键 词： 风力发电；并网接入；电力系统稳定性；功率波动；调度策略

Analysis of the Impact of Wind Power Grid Integration on Power System Stability

Wu Guimin

Jiangsu Rugao High Voltage Electric Apparatus Co., Ltd., Rugao, Jiangsu 226572

Abstract： The grid integration of wind power has had a profound impact on the stability of the power system, primarily posing challenges to system frequency, power fluctuations, and voltage stability. As the proportion of wind power in the energy mix continues to rise, the inherent uncertainty and intermittency of wind power generation impose stricter requirements on system scheduling and load balancing. After grid integration, wind power provides relatively limited support to traditional generating units, potentially reducing the dynamic response capability of the power system. To ensure stable operation of the power system, it is necessary to strengthen scheduling strategies for wind power integration, optimize power forecasting and load management, and enhance scheduling control technology, thereby safeguarding the secure operation of the power system.

Keywords： wind power generation; grid integration; power system stability; power fluctuations; scheduling strategy

引言

在可再生能源迅猛发展的大背景下，风力发电作为可再生能源里的关键一环，正逐步成为电力系统的重要能源供给，不过，风力发电因其间歇性和不确定性的固有特性，给电力系统的稳定性造成了前所未有的冲击，风电并网接入，不但影响到电力系统的频率调节与功率波动状况，还对电压稳定性以及系统调度提出了更严格的标准，怎样在保障电力稳定供应的同时，有效应对风电带来的不稳定因素，已然成为当下电力系统研究领域的热门课题，亟待深入探究与解决。

一、风力发电并网接入的基本原理与现状

风力发电并网接入指的是把风力发电机组经变流器和电网相连，让其能向电网输送电力的进程，伴随风能资源持续开发，风力发电渐成可再生能源里的关键部分，在全球倡导绿色低碳经济的大环境下，作为清洁、可持续能源形式的风力发电得以广泛应用，它既能优化能源结构，降低对传统化石能源的依赖，又为电力系统带来新的能源来源，近年来，风力发电迅猛发展且并网接入规模扩大，使得电力系统面临新挑战，像怎样应对风力发电特

有的波动性和不确定性、保障电力系统稳定运行等，都成了急需解决的重要难题^[1]。

随着风力发电技术不断进步，越来越多风力发电项目达成并网接入，当下，风电并网主要有两种形式，一是直接并网，就是借助变流器把风电发电机输出的交流电直接接入电网，二是通过风电场内部集电系统，将多个风机电力汇集后送进电网，不管哪种方式，风电并网的关键在于有效管理风电的不确定性和间歇性，因为风力发电输出功率受天气、风速等因素影响明显，发电量波动大，给电网负荷调度和电力平衡造成很大挑战，为适应这

种波动，现代电力系统常采用调节备用发电机组、运用储能技术等办法，来平衡风电发电和负荷需求间的差异。

虽说风力发电并网接入有诸多好处，但也给电力系统稳定性带来不少潜在风险，风力发电不稳定会引发系统频率波动，在风力剧烈变化时可能对电力系统频率稳定性产生较大影响，风电接入后电力系统功率输出波动大，传统调度方式或许难以及时应对，影响电网负荷平衡，风力发电接入对电压稳定性的影响也不容小觑，在风电大规模并网时，电网电压控制面临更高要求，要应对这些挑战，需优化风电接入技术与策略，提升系统调度精度和灵活性，保障风力发电安全、稳定并网，以提供可靠的能源供应^[3]。

二、风力发电对电力系统频率稳定性的影响

风力发电给电力系统频率稳定性带来的影响，关键在于风电发电机组的不确定性与间歇性给系统频率调节出了难题，电力系统频率稳定性可是保障电网正常运转的重要指标，要是系统频率大幅波动，极有可能造成设备损坏，甚至引发大规模停运事故，传统的火电、水电等发电形式能灵活调节功率输出，进而稳定控制电网频率，但风力发电和传统能源不同，它的发电功率受风速、气候等自然因素影响显著，波动大且难以预知，这就使得风电并网后给电网频率稳定性埋下一定隐患，在风力发电占比持续提升的情形下，怎样保证电力系统在风电波动时仍能维持频率稳定，成了电力系统设计与调度里的关键难题。

风力发电机组频率调节能力欠佳，风电机组的变流器控制系统主要是把风力发电产生的直流电转化为交流电输送到电网，但其对频率调节的响应能力远不及传统同步发电机，同步发电机组运行时，因其转子和电网频率同步，具备较强的频率调节能力，电网频率偏离正常值时，传统发电机能通过改变输出功率自动调节频率，保证系统稳定，而风力发电因其发电特性，很难直接参与这种频率调节过程，风速改变或发电功率突然波动时，电网频率会受较大影响，尤其在风电比例高的地区，频率波动可能让电网频率无法维持在标准范围，进而影响电力系统安全运行。

要降低风力发电对电力系统频率稳定性的影响，电力系统可采用多种技术与调度策略，风电并网时引入储能系统，平滑风电波动以减少频率波动，储能系统能在风力大时储存电能、风力弱时释放，保障电力稳定，风电机组配备先进变流器控制系统，增强对频率变化的响应能力，像虚拟同步发电机（VSG）技术能让风电机组模拟同步发电机行为，电网频率波动时自动调节，提升频率稳定性^[3]，另外，强化风电发电量预测，及时调度备用电源，可有效平衡风电波动，让电网频率平稳运行。

三、风力发电对电力系统功率波动的挑战

风力发电给电力系统功率波动带来挑战，根源在于其发电功率存在间歇性和不确定性，风电发电机输出功率和风速紧密相连，风速一变，发电功率就会波动，有时风力发电输出还会大幅下降或者突然上升，这种波动性是风电并网接入时最突出的问题，也

严重挑战着电力系统的稳定运行，传统的燃煤、燃气等火力发电机组能调节燃料供应，快速响应电网负荷变化以平稳调节功率，可风力发电机组调节能力弱，难以即时响应电网负荷需求变化。

风力发电的功率波动让电力系统调度困难重重，电力系统调度要平衡负荷需求和发电能力，而风电波动特性使风电预测变得复杂，风速变化剧烈时，风电发电量可能大幅偏离预测值，直接影响电网负荷平衡和电力供应稳定性。系统运营商常需依靠其他可灵活调节的电源补偿风电波动造成的功率缺口，像启用调峰电厂或依赖调度备用电源，这一过程需精准的负荷预测和快速响应能力，才能保证电网在风电波动期间维持稳定的电力供应，毕竟电力系统的稳定运行关乎着众多领域的正常运转，不容有失^[4]。

应对风力发电功率波动挑战，电力系统运用多种技术手段平衡电力供需，储能技术成为应对风电波动的关键一招，储能系统可在风电发电过剩时把电能储存起来，风电不足时再释放出去，以此平滑功率波动。先进风电机组控制技术能增强风电机组对电网波动的响应能力，像虚拟同步发电机（VSG）技术，能让风电机组一定程度上模拟传统发电机功率调节行为，电力系统还需提升风电预测精度，借助大数据与人工智能技术实时预测风电发电变化趋势，利于开展负荷调度与电网运行管理，这些技术手段可减轻风电给电力系统功率波动造成的挑战，提升电力系统调度能力和稳定性，让电力供应更平稳可靠，为电力系统安全高效运行提供有力支撑，还能更好适应风电大规模接入带来的新变化，推动电力行业可持续发展^[5]。

四、风电接入对电压稳定性的潜在风险

风力发电并入电力系统后，除影响频率稳定性、造成功率波动外，还会给电力系统电压稳定性带来潜在风险，电力系统电压稳定是保障电力正常供应、确保设备安全运行的关键，若电压偏离正常范围，极可能致使设备损坏、停运，甚至引发大规模停电事故。风电接入，尤其是大规模风电并网时，因风电机组电压控制能力较弱，易引发电压波动或电压幅度不稳状况，进而对系统电压稳定性产生影响，风力发电机组一般借助变流器与电网相连，该变流器虽能把风电发出的电能转化为电网所需交流电，但其对电压波动的补偿能力欠佳，在风速大幅变化时，风电机组电压输出往往难以迅速稳定电网电压，使得系统电压稳定性面临挑战，大规模风电接入后，电力系统在应对复杂的风速变化和机组运行情况时，维持电压稳定的难度显著增加，需要更有效的措施来保障系统的安全可靠运行。

风电接入电网后，电压稳定性面临的风险，很大程度上源于风电场电压支撑能力不足。风电机组的变流器承担着风电输出电能转换的任务，却不像传统发电机那样具备电压调节能力，而传统同步发电机拥有强大的电压调节功能，能够依据电网电压的改变，自行调整发电机的无功功率输出，以此维持电网电压稳定，与之不同，风电机组并网后，尤其是在风电占比较大的区域，缺少这种直接的电压支撑能力，一旦风速剧烈变动或者风电输出出现波动，风电机组无法及时补充无功功率供应，这可能会让电网

电压急剧变化，甚至出现电压跌落情况，对电力系统的正常运行产生不利影响，比如导致部分设备运行异常，影响电力供应的可靠性和稳定性。

面对风电接入或许引发的电压稳定性风险，电力系统可采用多种办法开展补偿与调节，加强风电机组无功功率控制以提升其电压调节能力，像运用虚拟同步发电机（VSG）技术，在风电机组里引入变流器控制，让其能在电网电压波动时调整无功功率输出，进而缓解电压波动。在风电并网区域，电力系统可增添无功补偿装置，如静止无功补偿器（SVC）或静止同步补偿器（STATCOM），提供额外无功功率来维持电压稳定。实时电网监控与电压预测技术的运用，利于提前识别电压波动并调度，确保电压稳定^[6]，通过这些综合举措，能有效降低风电接入给电网电压稳定性造成的风险，保障电力系统稳定运行。

五、提升电力系统稳定性的风电调度与控制策略

随着风力发电占比持续增多，提升电力系统稳定性成为电力行业面临的关键任务，风电的间歇性与不确定性给电力系统的频率、功率波动以及电压稳定性带来诸多难题，所以，实施科学有效的风电调度与控制策略对保障电力系统平稳运行意义重大。要提高电力系统稳定性需先优化风电调度过程，传统电力系统调度主要依靠调节传统发电源，然而风电发电的波动性和不可预测性要求调度员依据风电实际发电状况实时调整，准确的风电预测与动态调度十分关键。借助大数据、人工智能和机器学习技术，可对风电发电量进行更精确预测，从而在调度时提前做好准备，确保负荷与发电平衡，降低系统频率波动风险，同时还能更好地应对风电接入带来的复杂情况，保障整个电力系统的稳定与高效运行^[7]。

优化调度之外，提升风电调度和控制策略需依靠先进技术手

段强化风电机组响应能力。风电机组变流器技术是风电和电网连接关键，然而它对频率和电压变化调节能力欠佳，针对此问题，虚拟同步发电机（VSG）技术开始应用于风电机组，该技术可模仿传统同步发电机行为，在电网频率变动时自动调整风电机组输出功率，增强风电对电网稳定性的支撑，风电机组无功功率调节能力同样需要增强，引入灵活无功功率控制技术后，风电机组可在电网电压波动时快速响应并调节无功功率输出，稳定电网电压，降低电压波动对系统稳定性的干扰。

为更进一步提升电力系统稳定性，储能系统和需求响应技术结合十分关键，储能系统可在风电发电过量时存储电能，发电不足时释放，平衡功率波动，保障电力供应稳定，需求响应技术能依据电网负荷状况动态调整用户端电力需求，实现削峰填谷，减小电网负荷波动幅度，采用这些综合性调度和控制策略，可有效提升风电并网后系统稳定性，减轻风电波动不利影响，保证电力系统在风电大规模接入情形下保持稳定运行，为能源可持续发展和可靠供应奠定坚实基础^[8]。

六、结语

风力发电并网接入给电力系统稳定性带来了严峻挑战，特别是在频率稳定、功率波动和电压控制等问题上。不过精准的风电预测、先进风电机组控制技术、储能系统的运用以及优化的电力调度策略，能有效缓解这些难题，增强电力系统稳定性，伴随技术持续进步与调度策略不断改善，风电可更好地融入电力系统，为清洁能源推广和能源转型提供重要支撑，有效的风电调度与控制策略对达成系统稳定和可持续发展至关重要，它能让风电在整个电力体系中发挥更积极作用推动能源结构的良性变革。

参考文献

[1] 陈佳伟. 风力发电并网技术及其对电力系统稳定性的影响 [J]. 大众标准化, 2024, (19): 49–51.
[2] 郑先锐. 风力和光伏发电并网电压控制方案分析 [J]. 通讯世界, 2025, 32(12): 139–141.
[3] 刘荷涛. 风力发电并网技术及其对电网稳定性的影响 [C]// 中国企业文化促进会职业教育专业委员会. 教育驱动建筑工程企业文化创新可持续发展研讨会论文集. 新疆建设职业技术学院; , 2025: 203–204. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2025.045300.
[4] 郭守义. 风力发电并网技术及其稳定性研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (17): 64–66. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202517022.
[5] 李焱. 新时期光伏发电与风力发电的并网技术研究 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (18): 70–72.
[6] 袁雅琳. 分布式风力发电并网对电力系统的影响和应对策略 [J]. 光源与照明, 2023, (04): 201–203.
[7] 周亮. 风力发电并电网电能质量影响因素与控制策略 [J]. 光源与照明, 2025, (10): 118–121.
[8] 张宁. 光伏发电与风力发电的并网技术分析研究 [C]// 中华环保联合会. 2025新型储能技术创新交流会论文集. 国家能源集团国华投资山东国华昆城齐源新能源有限公司; , 2025: 2–5. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2025.060108.