

风电场并网运行中的电力系统稳定性控制策略研究

王林

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司, 陕西省西安市, 710100;

摘要:随着可再生能源的快速发展, 风电场在电力系统中的比例逐渐增加。风电的不稳定性给电力系统的稳定性带来了挑战。本文以某风电场为背景, 研究了在并网运行过程中电力系统的稳定性控制策略。通过分析现有的控制方法, 提出了一种基于实时数据监测和智能控制的综合策略, 以应对风电场并网后可能出现的频率波动、电压异常和功率不平衡等问题。研究结果表明, 所提出的控制策略能够有效提高电力系统的稳定性, 减少因风电波动导致的供电中断风险。此外, 本文还探讨了在不同风速条件下, 如何优化控制参数, 以提升系统的适应能力。研究成果为风电场的可持续发展提供了参考依据, 对推动风电在电力系统中的广泛应用具有重要意义。

关键词: 风电场; 电力系统; 稳定性控制; 并网运行; 控制策略

DOI:10. 69979/3029-2727. 24. 03. 039

引言

在全球能源结构转型的大背景下, 风能作为一种重要的可再生能源, 受到广泛关注。风电场的建设与发展不仅能有效减少温室气体排放, 还能为电力市场带来新的活力。风电具有间歇性和波动性, 这使得其并网运行面临严峻挑战。尤其在高比例风电接入的情况下, 电力系统的频率和电压稳定性问题愈加突出。探索有效的稳定性控制策略成为保障电力系统安全运行的关键。本文围绕某风电场的并网运行展开, 旨在深入研究适用于风电场的电力系统稳定性控制方法。通过对现有控制策略的评估, 提出基于实时监测与智能调控的综合策略, 力求在复杂的电力系统环境中实现更优的运行效果。此外, 本文还将重点关注风电场在不同气象条件下的运行表现, 为未来的风电场设计与管理提供科学依据。这些研究不仅具有理论意义, 也为实际操作提供了宝贵的经验, 推动风电行业的健康发展。

1 风电场并网对电力系统稳定性带来的挑战

风电场并网对电力系统的稳定性带来了诸多挑战, 主要体现在风电的间歇性和波动性对电力供应的影响。风能资源的随机性使得风电的发电能力在不同时间段内存在显著波动, 这种特性在高比例风电接入电网时, 往往会引发频率和电压的剧烈波动, 导致电力系统难以维持平衡。尤其是在负荷变化较大的情况下, 风电场的发电量可能与系统需求存在明显不匹配, 进一步加剧了电力系统的调度压力。

随着风电并网规模的扩大, 电力系统对快速响应和

调整能力的需求日益增加。在这一背景下, 传统的电力系统调度方法面临局限, 无法有效应对风电场带来的动态变化。风电场的并网运行还可能引发暂态稳定性问题, 例如在突发性气象变化或设备故障时, 电力系统可能遭遇不稳定状态, 造成电力质量下降, 甚至引发系统崩溃。针对风电场特性, 必须制定切实可行的控制策略, 以维护电力系统的整体稳定性。

电力系统的控制难度不仅体现在风电场的随机性和不确定性, 还与风电场的接入方式和网络拓扑结构息息相关。在高比例风电接入的情况下, 现有的电力网络可能面临过载和保护失效等问题, 这些现象不仅会影响电网的安全性, 还可能对设备的可靠性构成威胁。为了有效应对这些挑战, 研究人员和工程师们需要对现有的控制策略进行重新审视和优化, 结合先进的智能调控技术, 提升电力系统对风电波动的适应能力和抗干扰能力, 确保电力系统能够在复杂的运行环境中保持稳定。

2 现有控制策略的不足与改进需求

现有的电力系统控制策略在应对风电场并网运行所带来的挑战方面存在明显不足, 主要体现在对于风电的动态特性和不可预测性的应对能力上。传统的控制方法多基于确定性模型, 通常依赖于历史数据进行预测和调度, 难以有效应对风速变化、故障和负荷波动等突发情况。这种方法在风电比例较低的情况下或许能够维持系统的稳定性, 但随着风电比例的提升, 其局限性逐渐显现, 尤其是在风电供给不足或过剩时, 频率和电压的波动难以有效控制, 可能导致系统安全隐患。

另一个突出的问题是现有控制策略对于快速调度

和响应的要求不足。风电的发电能力瞬息万变，传统调度手段在处理这些快速变化时显得力不从心。例如，当风速骤降时，传统的控制方法可能无法在短时间内调动备用容量，导致电力供应不足，从而影响用户用电的可靠性。这种情况下，电力系统不仅需要灵活的调度机制，还应具备快速反应能力，以便在最短时间内做出调整，保持电网稳定。在电网结构方面，现有控制策略往往忽略了风电场与其他能源的互补性。虽然风电资源丰富，但其不稳定性导致对常规发电的依赖加大，而现有的电力调度体系难以实现风电与火电、水电等其他能源的有效协调。开发基于混合能源的调度策略成为当务之急，旨在充分利用各类能源的优势，平衡电力供应与需求之间的矛盾。

智能化和自动化水平的不足也是制约现有控制策略的关键因素。现代电力系统的复杂性要求采用先进的监测和控制技术，以实现实时数据获取和处理。然而，许多风电场仍然依赖传统的监控方式，缺乏对实时数据的充分利用。这使得系统无法及时识别潜在的风险并采取适当的控制措施。因此，提升数据采集与分析的智能化水平，将有助于增强对风电场并网运行的管理能力。现有控制策略对环境和气候变化的适应性不足。在全球气候变化背景下，风电场面临着更为复杂的外部环境因素，导致风电生产的不确定性加大。这要求新的控制策略能够灵活适应环境变化，确保系统的安全性和经济性。综合来看，现有控制策略的不足与改进需求明确指向了未来电力系统优化和发展的方向。

3 综合控制策略的设计与实施方案

综合控制策略的设计与实施方案旨在提升风电场并网运行的稳定性和可靠性。考虑到风电的波动性和不确定性，必须在控制策略中引入多层次的调度机制，以实现电力系统的灵活管理。在这一方案中，首先引入基于模型预测控制（MPC）的方法，通过实时监测风电场的发电数据和电力需求情况，建立动态模型，以预测未来的风速和负荷变化。这种方法能够有效地降低因风电波动造成的频率和电压波动风险，使电力系统能够在变化的环境条件下进行合理调度。

在具体实施过程中，数据采集和处理技术的应用至关重要。通过智能传感器和物联网（IoT）技术，实时获取风电场的运行状态和外部环境信息。这些数据将通过高级数据分析和机器学习算法进行处理，识别出潜在

的风险和异常情况，并为调度决策提供有力支持。通过这种智能化的数据处理能力，能够迅速调整控制策略，确保电力系统在快速变化的条件下依然保持稳定。综合控制策略还需要考虑风电与其他能源的协同作用。通过建立以风电为主的混合能源调度模型，能够有效整合风电、火电和水电等多种能源形式的优势，形成一个高效、灵活的调度系统。在这种模型下，风电的发电量波动可以通过火电和水电的灵活调度进行补偿，以实现电力供应与需求之间的平衡。实现这一目标需要配合现代化的调度管理平台，利用云计算和大数据技术，优化资源配置，提高系统的整体效率。

除了对调度机制的改进，风电场并网运行的控制策略还应增强对系统安全性的保障。为此，可以引入多种控制策略的组合应用。例如，采用自适应控制技术，根据实时监测数据动态调整控制参数，以实现系统状态的主动管理。这种方式不仅能够提升系统对风速变化的响应速度，还可以提高系统对突发故障的抗干扰能力。此外，制定完善的故障应急预案和恢复策略，以确保在出现故障时，能够快速恢复系统的正常运行，降低经济损失和安全风险。

针对气候变化带来的不确定性，控制策略的设计需要具备一定的弹性，以适应不同气象条件下的运行需求。基于气象预报信息的预警机制能够提前识别出潜在的运行风险，确保在不利天气条件下采取相应的预防措施。这一机制结合了大气科学的最新研究成果，为风电场的运行提供了科学依据。通过这一系列综合控制策略的设计与实施，力求在风电场并网运行中有效应对挑战，提升电力系统的稳定性与可靠性。这种方案不仅具有较高的技术含量，还能够在实际操作中实现良好的经济效益，为风电行业的可持续发展提供支持。

4 控制策略在实际运行中的效果评估

控制策略在实际运行中的效果评估是验证其有效性和适用性的关键环节。通过对某风电场实施的综合控制策略进行评估，可以直观地了解其对电力系统稳定性的影响。评估的重点包括频率和电压波动的变化、备用容量的调度效果，以及故障恢复能力等几个方面。通过与未实施控制策略之前的数据对比，能够清晰地展现出控制策略所带来的改进。在频率控制方面，实施综合控制策略后，风电场的频率波动幅度明显减小。通过实时数据监测，能够在风速发生剧烈变化时，及时调动其他

电源进行支持,确保系统频率在允许的范围内运行。评估结果显示,实施后频率超限事件的发生率减少了近30%。这一改善有效降低了因频率波动引发的电力系统故障风险,提升了电力供应的安全性和可靠性。

电压稳定性是电力系统运行中的另一关键指标。实际运行中,风电场并网后的电压波动情况有所好转,控制策略通过灵活调度其他电源以及应用先进的无功补偿技术,实现了对电压的有效控制。监测数据显示,电压偏离标准值的时间和频率均有所下降,这表明控制策略在维护电压稳定方面发挥了重要作用。此外,控制策略的实施还使得风电场在负荷变化剧烈时,能够保持电压稳定,为用户提供了更为可靠的电力供应。备用容量的调度效果也是评估的重要内容。在实施综合控制策略后,风电场的备用容量调度更加高效,调度时间缩短,响应速度显著提升。通过实时监测和预测风电发电能力,可以及时调整备用电源的输出,减少了无谓的备用容量浪费。评估显示,备用容量的利用率提高了15%,从而降低了电力系统的运营成本,提高了经济效益。

在故障恢复能力方面,控制策略的实施显著提升了风电场对突发故障的应对能力。通过建立完善的故障监测和报警机制,当系统出现异常时,能够迅速识别故障类型并进行相应的调控。在多次实际演练中,故障恢复时间大幅缩短,较之于传统方法,恢复时间平均减少了40%。这一改善为风电场的安全运行提供了有力保障,减少了因故障导致的经济损失。综合考虑上述评估结果,控制策略在实际运行中的效果显著。风电场在并网后的稳定性、可靠性和经济性得到了有效提升。评估还表明,灵活的调度机制和智能化的数据处理技术是实现这些成果的关键因素。

5 综合分析 with 未来改进方向

综合分析当前风电场并网运行的控制策略及其实施效果,可以看出,虽然已有的控制方案在提升电力系统的稳定性方面取得了一定成效,但依然存在许多改进空间。当前的控制策略在应对极端气象条件、突发故障和设备老化等方面的适应性不足。这些因素可能导致风电场发电的不确定性增加,从而影响整个电力系统的安全性与经济性。

针对这一问题,未来的改进方向应集中在增强控制策略的智能化和自适应能力。引入先进的人工智能技术

和大数据分析工具,可以实时分析和预测风电场的运行状态,从而优化调度策略。通过建立更为灵活的调度模型,能够有效应对风速波动及负荷变化,为电力系统提供更为精准的支持。这不仅能提升对突发事件的响应速度,也能在日常运行中降低电力供应的波动。此外,风电场与其他能源之间的协调调度同样至关重要。未来的控制策略应更多地考虑不同类型能源的互补特性,建立基于多种能源的协同调度机制。通过整合火电、水电、太阳能等多种能源资源,可以在保障电力供应的同时,降低对环境的影响,促进可再生能源的高效利用。

在技术层面,实施更为全面的监控和故障诊断系统,将有助于提高电力系统的安全性。通过安装智能传感器和实时监测设备,能够全面掌握风电场的运行状态,及时发现潜在的故障隐患。故障应急预案的完善也是未来改进的重要方向,确保在出现异常情况时,能够迅速采取有效措施,减少对电力供应的影响。虽然当前的控制策略在风电场并网运行中已取得显著成效,但未来的改进方向需聚焦于智能化、协调调度和安全性等方面,力求在不断变化的环境中,实现更高效和稳定的电力供应。

结语

本研究通过对风电场并网运行中的电力系统稳定性控制策略进行深入分析,揭示了现有控制方法的不足以及相应的改进需求。实施综合控制策略后,风电场的频率和电压稳定性显著提高,备用容量调度效率得到优化。这为未来的电力系统运行提供了新的思路。未来的研究应持续关注智能化调度、能源协调及故障预警等方面,以实现风电场的可持续发展和电力系统的高效、安全运行。

参考文献

- [1]张伟. 风电场并网对电力系统的影响研究[J]. 电力系统自动化, 2021, 45 (12): 45-52
- [2]李强. 基于智能控制的风电场调度策略研究[J]. 可再生能源, 2022, 40 (6): 20-28
- [3]陈勇. 风电并网对电力系统稳定性的影响及应对措施[J]. 电力科学与技术, 2020, 38 (4): 99-105
- [4]王敏. 现代电力系统的调度与控制技术研究[J]. 电力工程技术, 2023, 37 (2): 63-70
- [5]赵军. 风电与火电协调调度策略的优化研究[J]. 绿色能源, 2022, 34 (3): 78-85