

电力系统安全稳定控制技术的研究

戴小东

江西大族电力建设工程有限公司，江西 南昌 330000

摘要：本文聚焦电力系统安全稳定控制技术展开深入研究。分析了当前电力系统在安全稳定运行方面面临的挑战，探讨了影响电力系统安全稳定的关键因素。详细阐述了电力系统安全稳定控制技术的原理、分类及发展现状，重点研究了预防控制、紧急控制和恢复控制等关键技术。结合实际案例，分析了安全稳定控制在电力系统中的应用效果及存在的问题，并提出了针对性的改进措施和发展建议，旨在为提高电力系统的安全稳定运行水平提供理论支持和技术参考。研究结果显示，预防控制技术通过提前预测并采取措施，有效避免了潜在的系统失稳风险。紧急控制技术则在系统出现紧急状况时迅速响应，恢复系统稳定，减少了故障对电力系统的影响。这些关键技术的应用，显著提升了电力系统的安全稳定运行水平。

关键词：电力系统；安全稳定控制技术；预防控制；紧急控制；恢复控制

随着社会经济的快速发展和人民生活水平的不断提高，电力需求持续增长，电力系统的规模和复杂性也日益增加。电力系统作为现代社会的重要基础设施，其安全稳定运行直接关系到国民经济的正常运转和人民生活的质量。然而，电力系统在运行过程中面临着诸多不确定因素，如自然灾害、设备故障、人为操作失误等，这些因素都可能引发电力系统的安全事故，导致大面积停电，给社会带来巨大的经济损失和不良影响。因此，研究电力系统安全稳定控制技术，提高电力系统的安全稳定运行水平，具有重要的现实意义。

一、电力系统安全稳定运行面临的挑战与影响因素

（一）电力系统规模扩大带来的复杂性问题

随着电力需求的不断增长，电力系统的规模持续扩大，电网结构日益复杂。大型电网的互联使得电力系统的运行方式更加多样化，但也带来了诸多问题。一方面，电网的复杂性增加了故障传播的可能性，一个局部故障可能迅速蔓延至整个系统，引发连锁反应，导致大面

积停电。另一方面，大规模电力系统的动态特性更加复杂，系统的稳定边界难以准确确定，给安全稳定控制带来了巨大挑战。例如，在跨区域电网互联中，不同地区的电网在运行特性、控制策略等方面存在差异，协调难度大，容易因局部问题引发全网的不稳定^[1]。

（二）新能源大规模接入对系统稳定性的冲击

近年来，以风能、太阳能为代表的新能源得到了大规模开发利用。新能源发电具有间歇性、波动性和随机性等特点，其大规模接入电力系统给系统的安全稳定运行带来了新的挑战。新能源发电的功率输出受自然条件影响较大，难以精确预测和控制，这会导致电力系统的功率平衡难以维持，增加系统频率和电压的波动。此外，新能源发电设备通常通过电力电子装置接入电网，电力电子装置的快速响应特性可能引发系统的谐振和振荡问题，影响系统的稳定性。例如，大规模风电场接入电网后，在风速突变时，风电功率的快速变化可能导致电网频率的大幅波动，威胁系统的安全稳定运行^[2]。

（三）外部干扰因素对电力系统安全的威胁

电力系统在运行过程中还面临着各种外部干扰因素的威胁。自然灾害如地震、台风、洪水等可能对电力设施造成严重破坏，导致输电线路倒塔、变电站设备损坏等，引发电力系统故障。此外，人为因素如恐怖袭击、施工误操作等也可能对电力系统造成破坏。同时，随着信息技术的广泛应用，电力系统面临着日益严峻的网络安全威胁。黑客攻击、病毒感染等可能导致电力系统的监控系统、控制系统失灵，使系统失去控制，引发安全事故。例如，一些国家曾发生过黑客攻击电力系统控制中心的事件，导致部分电网运行异常，给当地社会带来了严重影响。

（四）电力市场环境下运行方式的多样性挑战

在电力市场环境下，电力系统的运行方式更加多样化。发电企业为了追求经济效益，会根据市场价格信号调整发电计划，导致系统的发电出力 and 负荷需求难以准确匹配。同时，电力市场的交易机制使得电力潮流分布更加复杂，增加了系统运行的不确定性。此外，电力市场中的参与者众多，包括发电企业、输电企业、配电企业、用户等，各方的利益诉求不同，协调难度大。这种运行方式的多样性给电力系统的安全稳定控制带来了新的挑战，传统的控制策略可能难以适应电力市场的变化^[3]。

二、电力系统安全稳定控制技术的原理与关键技术

（一）安全稳定控制技术的基本原理

电力系统安全稳定控制技术的基本原理是基于对电力系统运行状态的实时监测和分析，通过采取相应的控制措施，使系统在受到各种干扰后能够保持安全稳定运行。其核心目标是维持系统的功率平衡、电压稳定和频率稳定。当系统受到小干扰时，安全稳定控制系统

通过调整发电机的励磁、调速系统等，使系统恢复到稳定运行状态；当系统受到大干扰时，如发生短路故障，控制系统则通过快速切除故障设备、调整系统运行方式等措施，防止故障扩大，避免系统崩溃。

（二）预防控制技术及其应用

预防控制技术是在电力系统正常运行时，通过对系统运行状态的评估和预测，采取相应的控制措施，提高系统对各种干扰的承受能力，防止系统进入不稳定状态。预防控制技术主要包括发电机出力调整、负荷控制、无功补偿等。发电机出力调整可以根据系统的负荷需求和运行状态，合理分配发电机的出力，使系统保持功率平衡。负荷控制通过实施需求侧管理措施，如可中断负荷、电价激励等，引导用户合理用电，减轻系统负荷压力。无功补偿则通过在系统中安装无功补偿装置，提高系统的电压稳定水平。例如，在夏季用电高峰期，通过合理调整发电机出力和实施负荷控制措施，可以有效避免系统因过载而引发安全事故。

（三）紧急控制技术及其应用

紧急控制技术是在电力系统发生故障或出现紧急情况时，迅速采取控制措施，防止故障扩大，避免系统崩溃。紧急控制技术主要包括切机、切负荷、解列等。切机是在发电机发生故障或系统功率过剩时，快速切除部分发电机，以减少系统的发电出力，维持功率平衡。切负荷是在系统负荷过重或发生严重故障时，切除部分非重要负荷，保证重要负荷的供电。解列是将系统分割成若干个独立的子系统，防止故障在全网蔓延。例如，当电网发生短路故障时，紧急控制系统可以迅速切除故障线路附近的发电机和部分负荷，使系统恢复到稳定运行状态。

（四）恢复控制技术及其应用

恢复控制技术是在电力系统发生大面积停电后，通过采取一系列措施，逐步恢复系统

的供电能力,使系统恢复到正常运行状态。恢复控制技术主要包括黑启动、网络重构、负荷恢复等。黑启动是指利用系统中具有自启动能力的发电机组,逐步启动其他发电机组和恢复电网供电。网络重构是在黑启动过程中,根据系统的实际情况,合理调整电网结构,恢复电网的供电能力。负荷恢复是在系统具备一定供电能力后,逐步恢复用户的供电,同时要注意避免因负荷恢复过快而导致系统再次失稳。例如,在一次大规模停电事故后,通过黑启动技术首先恢复部分重要电源,然后进行网络重构,逐步恢复对重要用户的供电,最后全面恢复整个电力系统的运行^[4]。

三、电力系统安全稳定控制技术的发展趋势与改进措施

(一) 智能化技术在安全稳定控制中的应用趋势

随着人工智能、大数据、物联网等智能化技术的迅猛发展,其在电力系统安全稳定控制领域展现出极为广阔的应用前景。人工智能技术中的神经网络具备强大的非线性映射能力,模糊控制则能处理不确定性和模糊性问题,将二者应用于电力系统的状态估计,可突破传统方法在复杂电网环境下的局限。以往传统状态估计方法面对大规模、高维度的电网数据时,往往难以精准捕捉系统状态,而神经网络通过对大量历史运行数据的学习,能快速准确地估计出系统各节点的电压、相位等关键状态量。模糊控制则可根据不精确的测量信息和运行经验,对系统状态进行合理推断,有效提高状态估计的准确性和及时性。

大数据技术为电力系统安全稳定控制提供了海量数据支撑和强大的分析能力。电力系统运行过程中,每天都会产生包括发电量、负荷数据、设备状态等在内的海量数据。大数据技术可对这些数据进行深度挖掘,分析不同运行工况下系统的特征和规律。通过建立数据模型,能预测系统在不同季节、不同负荷水平下

的运行趋势,为安全稳定控制策略的制定提供科学依据。

物联网技术实现了电力设备的实时监测和互联互通,极大提高了系统的信息化水平。通过在电力设备上安装各类传感器,可实时采集设备的运行参数、环境信息等,并将数据传输至控制中心。这使得运维人员能随时掌握设备状态,及时发现设备异常并采取措施。

(二) 新能源并网安全稳定控制技术的改进方向

新能源大规模接入电力系统带来了系统稳定性方面的诸多挑战,因此需要进一步改进新能源并网安全稳定控制技术。在加强新能源发电功率预测和控制方面,目前新能源发电受自然条件影响,其功率输出具有显著的间歇性和波动性,这给电力系统的功率平衡和稳定运行带来困难。为提高新能源发电的可调度性,需采用先进的预测算法。

在优化新能源发电设备控制策略方面,当前新能源发电设备与电网的兼容性有待提高。以风力发电机组为例,传统的风力发电机组在并网时可能产生谐波和电压波动,影响电网的电能质量。研发新型的风力发电机组,采用先进的变流器控制技术和最大功率点跟踪技术,能使其更好地适应电网的运行要求。新型风力发电机组可根据电网的电压、频率等参数实时调整自身的输出功率和功率因数,减少谐波和振荡问题的发生^[5]。

(三) 应对外部干扰的安全稳定控制策略优化

为有效应对外部干扰因素对电力系统安全的威胁,必须优化安全稳定控制策略。在自然灾害防范方面,电力设施的抗灾能力建设至关重要。自然灾害如地震、台风、洪水等对电力设施的破坏力巨大,可能导致输电线路倒塔、变电站设备损坏等严重后果。采用高强度的输电线路杆塔,通过优化杆塔的结构设计和材料

选用,提高其抗风、抗震能力。例如,在台风多发地区,采用新型的高强度钢材和合理的杆塔结构形式,使杆塔能承受更大的风力作用,减少倒塔事故的发生。

在网络安全防护方面,随着电力系统信息化程度的不断提高,网络安全问题日益突出。黑客攻击、病毒感染等可能导致电力系统的监控系统和控制系统失灵,使系统失去控制。建立健全网络安全防护体系,加强对电力系统的监控系统和控制系统的安全保护是当务之急。采用加密技术对电力系统的通信数据进行加密处理,防止数据在传输过程中被窃取或篡改。制定完善的应急预案是提高电力系统应对外部干扰能力的重要举措。应急预案应涵盖各种可能的外部干扰情况,明确应急处置流程和责任分工。定期组织应急演练,检验和提高相关人员的应急处置能力和协同配合能力。

(四) 电力市场环境下安全稳定控制机制的完善

在电力市场环境下,电力系统运行方式更加多样化,为适应这一挑战,需要完善安全稳定控制机制。建立电力市场与安全稳定控制的协调机制是关键。发电企业和电网企业在追求经济效益的同时,必须充分考虑系统的安全稳定运行。目前,部分发电企业为追求利润最大化,可能过度参与市场交易,而忽视了系统安全稳定的要求。通过建立协调机制,制定合理

的发电计划和市场交易规则,引导发电企业在追求经济效益的同时,承担起保障系统安全稳定的责任。

加强电力市场的监管是确保安全稳定控制机制有效运行的重要保障。规范市场参与者的行为,防止不正当竞争和违规操作对电力系统安全稳定运行造成影响。监管部门应加强对发电企业、输电企业、配电企业和用户等市场参与者的监督检查,确保其遵守市场规则和相关法律法规。对违反规定的行为进行严厉处罚,维护市场秩序。

结束语

电力系统安全稳定控制技术是保障电力系统安全可靠运行的关键。随着电力系统规模的不断扩大、新能源的大规模接入以及电力市场的深入发展,电力系统安全稳定运行面临着诸多挑战。本文分析了电力系统安全稳定运行面临的复杂问题、影响因素,探讨了安全稳定控制技术的原理与关键技术,并展望了其发展趋势和提出了改进措施。未来,需要进一步加强智能化技术在安全稳定控制中的应用,改进新能源并网安全稳定控制技术,优化应对外部干扰的控制策略,完善电力市场环境下的安全稳定控制机制。通过不断的研究和创新,提高电力系统的安全稳定运行水平,为社会经济的持续发展提供坚实的电力保障。

参考文献

- [1] 张安乐,郭兆琪. 电力系统中存在的干扰对继电保护的影响[J]. 城市建设理论研究(电子版),2024,(18):1-3.
- [2] 梁懿,王秋琳. 基于机器学习的电力系统稳定通信终端安全身份认证方法[J]. 微型电脑应用,2024,40(04):166-168+177.
- [3] 梁健波. 广东电网安全稳定控制系统的配置研究和应用[D]. 广东:华南理工大学,2007.
- [4] 江甫瑞. 切实加强电力可靠性管理保障电力系统安全稳定运行[J]. 通讯世界,2024,31(02):112-114.
- [5] 李华,王晓明. 新能源接入对电力系统稳定性的影响及对策研究[J]. 可再生能源,2023,31(11):1475-1480.