

新能源接入下电气工程智能电网稳定性优化策略

董立波

克什克腾旗国赫新能源有限公司 内蒙古赤峰 025350

摘要:随着全球对清洁能源需求的不断增长,新能源在电气工程智能电网中的接入规模日益扩大。然而,新能源的间歇性、波动性等特性给智能电网的稳定性带来了诸多挑战。本文深入分析了新能源接入对智能电网稳定性产生的影响,从技术、管理和运行等多个层面探讨了相应的稳定性优化策略,旨在提升智能电网在新能源大规模接入背景下的稳定性与可靠性,促进新能源与传统电网的协调发展,为构建可持续的能源供应体系提供理论支持。

关键词:新能源接入;智能电网;稳定性;优化策略

引言

在应对气候变化和能源转型的大背景下,太阳能、风能、水能等新能源凭借其清洁、可再生的优势,在电力领域得到了广泛应用。智能电网作为现代电力系统的发展方向,具备高度信息化、自动化和互动化的特点,为新能源的高效接入和消纳提供了可能。但新能源发电功率的随机波动,如风力发电受风速变化影响、光伏发电受光照强度和时间影响等,会对智能电网的电压稳定性、频率稳定性以及功角稳定性产生显著影响,威胁电网的安全可靠运行。因此,研究新能源接入下电气工程智能电网稳定性优化策略具有重要的现实意义。

1 新能源接入对智能电网稳定性的影响

1.1 电压稳定性影响

1.1.1 无功功率不平衡

新能源发电设备输出功率与无功功率间存在复杂耦合。新能源发电波动导致系统无功需求变化。大规模新能源接入可能引起局部电网无功过剩或缺额,影响电压稳定。例如,风电场风速增大时,若无功补偿设备未及时调整,可能导致母线电压异常。

1.1.2 配电网电压分布改变

新能源接入改变了传统配电网的潮流方向,形成多电源供电模式。分布式新能源如光伏发电接入后,可能出现功率倒送,导致电压分布不均,影响电压稳定性。

1.2 频率稳定性影响

1.2.1 发电与负荷平衡破坏

新能源发电的不稳定性导致难以预测和控制发电功率。

新能源发电功率下降或负荷需求增加时,发电与负荷平衡被破坏,系统频率降低。反之,新能源发电功率意外增加且超出负荷需求时,系统频率上升。例如,阵风可导致风机输出功率大幅波动,给电网频率调节带来压力。

1.2.2 传统调频手段受限

在智能电网中,传统同步发电机主要负责频率调节,通过调节原动机出力维持频率稳定。但新能源接入比例提高,传统同步发电机装机占比下降,其惯量和调频能力减弱。新能源发电设备如风力发电机和光伏逆变器,通常不具备传统同步发电机的惯性响应特性,不能自动快速调整发电功率,进一步削弱电网频率调节能力。

1.3 功角稳定性影响

1.3.1 系统阻尼特性改变

新能源接入改变了电力系统的网络结构和运行特性,影响系统阻尼特性。例如,大量风电通过柔性直流输电技术接入电网,可能增加系统负阻尼,引发低频振荡,影响功角稳定性。低频振荡可能导致发电机相对功角增大,最终导致系统失步。

1.3.2 潮流分布变化

新能源接入改变了电网潮流分布,增加输电线路传输功率。当传输功率接近或超过稳定极限时,功角稳定性受威胁。特别是在新能源集中接入地区,电网结构薄弱,潮流分布不合理,更容易出现功角失稳。例如,新能源富集的偏远地区电网建设滞后,输电线路容量有限,大规模新能源发电送出导致线路重载,增加功角失稳风险。

2 新能源接入下智能电网稳定性优化策略

2.1 技术层面优化策略

2.1.1 储能技术应用

电池储能系统：在智能电网中配置电池储能系统，如锂离子电池、铅酸电池等，可以有效平抑新能源发电的功率波动。当新能源发电功率过剩时，储能系统储存电能；当新能源发电功率不足或负荷需求增加时，储能系统释放电能，起到“削峰填谷”的作用，维持系统功率平衡，提高电压和频率稳定性。例如，在风电场附近安装大规模锂离子电池储能系统，可在风速突变导致风电功率大幅波动时，及时调节功率输出，稳定电网频率和电压。

超级电容器储能：超级电容器具有功率密度高、充放电速度快的特点，适用于对快速功率调节需求较高的场景。在智能电网中，超级电容器储能可用于补偿新能源发电的短时功率波动，提高系统的暂态稳定性。例如，在光伏发电系统中接入超级电容器储能，可在云层快速遮挡太阳导致光伏功率骤变时，迅速提供或吸收功率，维持系统稳定运行。

2.1.2 柔性输电技术应用

静止无功补偿器(SVC)和静止同步补偿器(STATCOM)：SVC 和 STATCOM 能够快速调节无功功率，改善电网的电压稳定性。在新能源接入点安装 SVC 或 STATCOM，可根据系统电压变化动态调整无功输出，维持接入点电压稳定。例如，在分布式光伏发电接入的低压配电网中，通过安装 STATCOM，可有效补偿光伏出力波动引起的无功变化，稳定配电网电压。

柔性直流输电(VSC-HVDC)技术：VSC-HVDC 技术具有独立控制有功功率和无功功率的能力，且能够实现快速的功率调节。在新能源远距离大容量送出场景中，采用 VSC-HVDC 技术可减少新能源发电对交流系统的影响，提高系统的稳定性。例如，海上风电场通过 VSC-HVDC 技术将电能输送到陆地电网，可有效避免风电接入对陆地交流系统的电压和频率冲击，增强系统的稳定性。

2.1.3 智能电网控制技术优化

先进的电力系统稳定器(PSS)：传统 PSS 在抑制电力系统低频振荡方面存在一定局限性。采用基于人工智能算法（如神经网络、模糊控制等）的先进 PSS，能够根据系统运行状态实时调整控制参数，提高系统的阻尼特性，增强功角稳定性。例如，基于神经网络的 PSS 可通过学习系统的历

史运行数据，自适应地调整控制策略，有效抑制低频振荡。

广域测量系统(WAMS)与协调控制：WAMS 利用全球定位系统(GPS)等技术实现对电力系统各节点电气量的同步测量，能够实时获取系统的全局信息。基于 WAMS 构建的协调控制系统，可实现对电网中各类控制装置（如发电机励磁控制、调速器控制、柔性输电装置控制等）的协调优化，提高系统的整体稳定性。例如，通过 WAMS 监测系统的功角、频率等参数，协调各发电机的励磁和调速器动作，可有效提升系统的功角和频率稳定性。

2.2 管理层面优化策略

2.2.1 新能源发电预测与调度管理

精准的新能源发电预测：利用数值天气预报、卫星云图、历史数据统计分析等技术，建立高精度的新能源发电预测模型，对新能源发电功率进行提前预测。准确的发电预测可为电网调度提供重要依据，使调度人员能够提前安排发电计划，合理调整电网运行方式，减少新能源发电波动对电网稳定性的影响。例如，通过结合数值天气预报和机器学习算法，可提高风电功率预测的准确率，为电网调度提供更可靠的参考。

优化的调度策略：在新能源发电预测的基础上，采用优化的调度策略，如多目标优化调度、滚动优化调度等。多目标优化调度综合考虑电网的经济性、可靠性和稳定性等目标，合理安排新能源发电和传统发电的出力；滚动优化调度根据实时更新的新能源发电预测和电网运行状态，不断调整调度计划，实现动态优化。例如，通过多目标优化调度，在保障电网稳定运行的前提下，最大限度地消纳新能源发电，降低发电成本。

2.2.2 电网规划与建设管理

加强电网基础设施建设：针对新能源接入带来的电网结构薄弱问题，加大电网基础设施建设投入，优化电网布局，提高电网的输电能力和供电可靠性。例如，在新能源富集地区，加强变电站、输电线路等设施的建设，增加电网的输电容量，改善潮流分布，提高电网对新能源的承载能力。

开展电网适应性评估：在新能源接入前，对电网进行全面的适应性评估，分析新能源接入对电网稳定性、电能质量等方面的影响。根据评估结果，制定针对性的电网改造和升级方案，确保电网能够安全稳定地接纳新能源发电。例如，通过对某地区电网进行新能源接入适应性评估，发现部分输

电线路过载风险高，据此对这些线路进行扩容改造，提高了电网的稳定性。

2.3 运行层面优化策略

2.3.1 建立健全的电网运行监测与预警机制

实时监测系统运行状态：利用智能电表、传感器等设备，构建全面的电网运行监测系统，实时监测电网的电压、频率、功率等参数。通过数据分析和处理，及时发现电网运行中的异常情况，如电压越限、频率波动、功率突变等。例如，通过智能电表实时采集用户侧的电压和功率数据，上传至电网监控中心，实现对低压配电网运行状态的实时监测。

预警与快速响应：基于监测数据，建立预警模型，当系统运行参数接近或超出安全阈值时，及时发出预警信号。同时，制定应急预案，一旦发生异常情况，能够迅速采取措施进行处理，保障电网的稳定运行。例如，当监测到系统频率下降过快时，预警系统发出警报，电网调度部门立即启动应急预案，通过切负荷、调整发电出力等措施恢复频率稳定。

2.3.2 加强新能源发电企业与电网企业的协同运行管理

信息共享与沟通：新能源发电企业与电网企业建立信息共享平台，实时共享新能源发电功率预测、设备运行状态、电网负荷需求等信息。通过加强沟通与协调，双方能够更好地理解彼此的需求和运行情况，共同应对新能源接入带来的挑战。例如，新能源发电企业将实时发电功率和设备故障信息及时告知电网企业，电网企业根据这些信息合理安排调度计划，保障电网安全稳定运行。

联合优化运行：双方开展联合优化运行研究，共同制定新能源发电与电网运行的协同优化策略。例如，通过协调

新能源发电企业的发电计划和电网的调度计划，实现新能源发电的最大化消纳和电网运行的最优控制，提高系统的整体稳定性和经济性。

3 结论

新能源接入为电气工程智能电网的发展带来了机遇，同时也对其稳定性提出了严峻挑战。通过从技术层面应用储能技术、柔性输电技术和优化智能电网控制技术，管理层面加强新能源发电预测与调度管理、电网规划与建设管理，运行层面建立健全电网运行监测与预警机制以及加强新能源发电企业与电网企业的协同运行管理等多维度的稳定性优化策略，可以有效提升智能电网在新能源大规模接入背景下的稳定性与可靠性。未来，随着新能源技术和智能电网技术的不断发展，还需持续深入研究和探索，进一步完善优化策略，以实现新能源与智能电网的深度融合和可持续发展，为全球能源转型和可持续发展目标的实现提供坚实支撑。

参考文献：

- [1] 潘素文,徐司聪.智能电网:让电力更智慧、更稳定[J].科学之友,2024,(12):150-151.
- [2] 牛义波,崔海强.智能电网环境下的微电网能源管理策略研究 [J].电子元器件与信息技术,2024,8(11):115-117+121.
- [3] 王子璇,吕娜,王瀚璇,等.面向电力系统暂态稳定性的联邦学习拜占庭节点检测 [J].计算机系统应用,2024,33(09):235-244.
- [4] 余翔.智能电网暂态稳定分布式固定时间控制策略研究 [D].华东交通大学,2023.