

新能源并网对电力系统稳定性的影响分析

李博宇

内蒙古电力(集团)有限责任公司鄂尔多斯市康巴什供电分公司 内蒙古自治区 鄂尔多斯 017000

摘要: 本文聚焦新能源并网对电力系统稳定性的影响。概述了新能源发电类型、特性及并网方式与关键技术,阐述电力系统稳定性理论基础。分析了新能源并网对频率、电压、暂态和动态稳定性的影响。最后提出提升策略,包括新能源发电侧改进、电网侧适应性改造以及政策与市场机制保障。旨在为新能源高效并网、保障电力系统稳定运行提供理论支持与实践参考,推动新能源与电力系统协同发展。

关键词: 新能源并网; 电力系统稳定性; 控制策略

引言: 随着能源转型加速,新能源在电力系统中的占比日益提高。新能源发电具有低惯性、低阻尼、出力不确定等特点,与传统火电差异显著,其大规模并网给电力系统稳定性带来诸多挑战。电力系统稳定性关乎能源供应安全与社会经济发展,研究新能源并网对其影响并探寻提升策略至关重要。本文将系统分析新能源并网对电力系统不同方面稳定性的影响,并提出针对性改进措施,以促进新能源与电力系统的协调稳定发展。

1 新能源并网技术概述

1.1 新能源发电类型与特性

当前主流新能源发电有光伏、风力、生物质能、水力及光热发电等。其中光伏与风电因资源丰富、成本下降,并网规模大、发展快。光伏发电靠光伏组件将太阳能转化为电能,分集中式和分布式,输出功率受光照、温度、天气等影响大,随机性强、波动大,昼夜差异明显,发电效率随季节波动。风力发电分陆上和海上,通过风力机将风能转化为电能,输出功率取决于风速、风向,间歇性强、不可控,短时间内功率可能骤升骤降。生物质能和水力发电稳定性相对好,但受资源分布和地域条件限制,并网规模有限^[1]。总体上,新能源发电低惯性、低阻尼、出力不确定,与传统火电差异大,是影响电力系统稳定性的主要原因。

1.2 新能源并网方式与关键技术

新能源并网方式有集中式和分布式两种,适配不同发电规模与场景。集中式并网用于大型光伏电站、海上风电场等规模化项目,经高压输电线路汇入主干电网,发电容量大、集中管控强,但对电网结构和调峰能力要求高。分布式并网用于小型光伏、分散式风电等,电能直接接入配电网就近消纳,投资小、损耗低、灵活性强,可缓解主干电网压力,但并网数量多、管控难。新能源并网关键技术有功率预测、并网接口、储能配套和电网

调度技术。功率预测技术降低出力不确定性,为调度提供依据;并网接口技术保障电能质量;储能配套技术水平抑制出力波动;电网调度技术实现协同调度,优化资源配置,确保电网安全稳定,各项技术共同推动新能源高效并网。

2 电力系统稳定性理论基础

2.1 电力系统稳定性的定义与分类

电力系统稳定性的核心定义是:电力系统在正常运行状态下,能够维持各节点电压、系统频率在允许范围内,各元件运行参数不超过额定值;当受到扰动(如负荷突变、设备故障、新能源出力波动等)后,能够通过自身调节或人为控制,恢复到原有稳定运行状态或过渡到新的稳定运行状态,且不发生电压崩溃、频率崩溃等恶性事故的能力。根据扰动类型、研究对象及稳定特性的不同,电力系统稳定性主要分为四大类。一是频率稳定性,指系统频率在扰动后恢复到额定频率(我国为50Hz)的能力;二是电压稳定性,指系统各节点电压在扰动后维持在允许范围内,不发生电压崩溃的能力;三是暂态稳定性,指系统受到大扰动(如短路故障)后,各发电机转子角度能够保持同步,不发生失步的能力;四是动态稳定性,指系统受到小扰动后,能够抑制振荡,恢复到稳定运行状态的能力。此外,还可根据研究范围分为全局稳定性与局部稳定性,不同类型的稳定性相互关联、相互影响,共同决定电力系统的整体运行安全。

2.2 稳定性分析方法

电力系统稳定性分析方法主要分为时域仿真法、频域分析法与模态分析法三大类,各类方法各有优势,适用于不同类型的稳定性分析场景,可单独使用或联合应用,为电力系统稳定性评估与控制提供科学依据。时域仿真法是最基础、应用最广泛的分析方法,通过建立电力系统各元件的数学模型,模拟系统在扰动后的运行过

程, 获取频率、电压、转子角度等运行参数随时间的变化曲线, 进而判断系统的稳定性。该方法直观、准确, 能够模拟复杂扰动下的系统动态响应, 适用于暂态稳定性、动态稳定性等各类稳定性分析, 但计算量大、耗时较长。频域分析法基于线性化理论, 将系统的动态特性转化为频域特性, 通过分析系统的频率响应、阻尼特性等参数, 判断系统的稳定性, 适用于小扰动下的动态稳定性分析, 计算效率较高^[2]。模态分析法通过对系统线性化模型进行特征值分解, 得到系统的模态参数, 分析各模态的振荡特性与稳定性, 可精准识别系统的不稳定因素, 为稳定性控制提供针对性思路, 广泛应用于新能源并网后的稳定性分析中。

2.3 传统电力系统的稳定性保障机制

传统电力系统以火电、水电等可控电源为主, 具有惯性大、阻尼强、出力稳定的特点, 其稳定性保障机制主要围绕电源侧、电网侧与调度侧协同发力, 形成了完善的保障体系。电源侧主要通过火电机组的调节能力保障稳定性, 火电机组具有较强的有功功率与无功功率调节能力, 可通过调速器、励磁调节器实时调整机组出力, 平抑负荷波动, 维持系统频率与电压稳定; 水电机组则可快速响应调度指令, 提供紧急调峰调频支持, 提升系统的抗扰动能力。电网侧通过优化电网结构、配置无功补偿设备保障稳定性, 合理规划输电线路布局, 提升电网的传输容量与冗余度, 减少故障扰动的影响; 配置电容器、电抗器等无功补偿设备, 实时调节系统无功功率平衡, 维持节点电压稳定, 避免电压崩溃。调度侧通过建立科学的调度机制, 实现电源与负荷的协同匹配, 制定完善的故障应急处理预案, 实时监控系统运行状态, 及时发现并处理不稳定隐患, 通过机组组合优化、负荷控制等方式, 确保电力系统在正常工况与扰动工况下均能稳定运行, 为传统电力系统的安全可靠供电提供了坚实保障。

3 新能源并网对电力系统稳定性的影响分析

3.1 对频率稳定性的影响

频率稳定性是电力系统运行核心指标。新能源并网影响频率稳定性, 主要因系统惯性降低、调峰调频能力不足与出力波动。传统火电、水电机组转动惯量大, 负荷或出力扰动时, 能释放或吸收动能抑制频率变化。但新能源(如光伏、风电)经变流器并网, 无转动惯量, 大幅降低系统总惯性, 使频率对扰动更敏感, 出力骤降或负荷突变时, 频率易快速偏离额定值甚至崩溃。且新能源出力随机波动, 自身调峰调频能力弱, 难快速响应频率调节需求。同时, 大规模新能源并网使传统火电机

组开机容量减少, 调峰调频备用不足, 无法平抑新能源出力波动带来的频率冲击, 导致系统频率稳定性下降, 频率控制难度增加。

3.2 对电压稳定性的影响

新能源并网主要影响并网节点及周边区域电压稳定性, 源于无功功率平衡破坏、潮流分布改变与并网接口特性。新能源(尤其是光伏、风电)出力波动影响并网节点有功功率注入, 导致电压波动, 出力骤变时电压可能超范围。新能源机组经变流器并网, 无功调节能力受限, 多数分布式机组采用恒功率因数控制, 难参与无功平衡, 系统无功异常易引发电压问题。大规模集中式新能源电站多在偏远地区, 输电线路长、损耗大, 改变潮流分布, 增大线路电压降, 降低周边电压稳定性。分布式新能源无序接入会加剧配电网电压波动, 增加电压管控难度。

3.3 对暂态稳定性的影响

暂态稳定性关注系统受大扰动后的恢复能力, 新能源并网影响主要源于系统惯性降低、发电机同步性变差与故障电流特性改变。传统火电、水电机组惯性与阻尼大, 短路故障等大扰动时, 转子角度变化平缓, 可维持同步运行保障暂态稳定。新能源机组经变流器并网, 惯性极低, 故障时无法释放动能支撑系统, 暂态功角稳定性下降, 易发电机失步。新能源机组故障电流特性与传统机组不同, 多数变流器故障时限制电流输出, 故障清除后有功恢复慢, 加剧暂态振荡。另外, 大规模新能源并网使系统结构复杂, 故障传播快, 某一电站故障易引发连锁反应, 扩大影响范围, 降低系统暂态稳定性^[3]。

3.4 对动态稳定性的影响

动态稳定性针对系统受小扰动后的振荡抑制能力, 新能源并网影响源于系统阻尼降低、振荡模式改变与控制策略相互干扰。传统火电机组调速、励磁系统提供强阻尼, 可抑制小扰动后的低频振荡。新能源机组经变流器并网, 阻尼弱, 降低系统总阻尼, 小扰动时易出现低频、次同步振荡, 振荡衰减慢, 影响运行。新能源机组控制策略与传统机组不同, 大规模并网后相互干扰, 引发振荡模式变化, 出现新不稳定模式。此外, 分布式新能源大规模接入使配电网动态特性复杂, 小扰动下电压、功率振荡问题突出, 振荡范围易扩散, 加剧系统动态稳定风险。

4 新能源并网稳定性提升策略

4.1 新能源发电侧的改进措施

新能源发电侧的改进是提升并网稳定性的基础, 核心在于增强机组的调节能力、降低出力不确定性, 主要

通过技术改造、控制优化与储能配套三大措施实现。一是优化新能源机组控制策略,对光伏、风电等机组的变流器进行升级改造,引入虚拟惯性控制、阻尼控制技术,模拟传统机组的惯性与阻尼特性,提升机组对系统频率、电压波动的响应能力,实现无功功率与有功功率的灵活调节,增强机组的抗扰动能力。二是提升功率预测精度,结合大数据、人工智能等技术,优化新能源出力预测模型,综合考虑光照、风速、天气等多种因素,提高短期与超短期功率预测精度,降低出力随机性带来的稳定性影响,为电网调度提供精准依据。三是配套建设储能系统,在新能源电站就近配置锂电池、抽水蓄能等储能设备,利用储能系统的充放电特性,平抑新能源出力波动,储存多余电能,在系统需要时释放电能,提升新能源并网的灵活性与稳定性,同时为系统提供调峰调频支持,缓解新能源出力波动对系统的冲击,实现新能源发电的平稳接入。

4.2 电网侧的适应性改造

电网侧的适应性改造是提升新能源并网稳定性的关键,核心在于优化电网结构、提升电网调节能力与接纳能力,适配新能源大规模、高比例并网的需求,主要包括电网结构优化、无功补偿升级与智能调度建设三大方面。优化电网结构,加快特高压输电线路建设,完善新能源富集区域的电网布局,提升电网的传输容量与冗余度,实现新能源电力的远距离、大容量输送,缓解局部电网的压力;同时,加强配电网升级改造,优化分布式新能源接入点,规范接入标准,减少分布式新能源无序接入对配电网的影响。升级无功补偿系统,在新能源并网节点、输电线路关键节点配置柔性交流输电设备、静止无功发生器等先进无功补偿设备,提升系统无功功率调节的灵活性与快速性,实时维持系统无功功率平衡,抑制电压波动与振荡,保障电压稳定性。建设智能调度系统,结合大数据、物联网、人工智能等技术,构建智能化、精细化的电网调度体系,实现新能源出力、负荷需求的实时监控与精准预测,优化新能源与传统电源的协同调度,提升电网对新能源出力波动的适应能力,确保系统稳定运行。

4.3 政策与市场机制的保障

政策与市场机制的保障是提升新能源并网稳定性的重要支撑,核心在于通过政策引导、激励约束与机制创新,推动发电侧、电网侧积极落实稳定性提升措施,形成协同推进的良好格局。一是完善相关政策体系,出台新能源并网稳定性提升的专项政策,明确新能源机组的调节能力标准、并网技术要求,强制要求大规模新能源电站配套储能设备、提升功率预测精度;同时,加大对电网适应性改造、新能源调节技术研发的政策支持与资金投入,引导企业加大技术创新力度^[4]。二是健全市场激励机制,建立新能源调峰调频辅助服务市场,将新能源机组的调峰调频服务纳入市场交易体系,给予相应的经济补偿,激励新能源企业主动提升机组调节能力;同时完善新能源消纳保障机制,明确各地区新能源消纳目标,倒逼电网企业提升接纳能力,推动新能源高效消纳。三是加强监管与标准建设,建立新能源并网稳定性的监管体系,定期对新能源电站、电网企业的稳定性提升措施落实情况进行监督检查;完善并网技术标准与稳定性评估标准,规范新能源并网全流程管理,确保各项稳定性提升措施落地见效,为新能源并网稳定性提供坚实的制度保障。

结束语

新能源并网是能源发展的必然趋势,虽给电力系统稳定性带来挑战,但通过新能源发电侧改进、电网侧适应性改造以及政策与市场机制保障等多方面举措,可有效提升新能源并网稳定性。未来,随着技术不断进步与政策持续完善,新能源将更安全、高效地融入电力系统,为实现能源可持续发展、构建清洁低碳能源体系发挥关键作用,助力全球应对气候变化与能源转型目标达成。

参考文献

- [1]杨洋,李灵菊.新能源并网对电力系统稳定性的综合影响及优化应对策略[J].电气技术与经济,2025,(04):139-142.
- [2]许颖.新能源并网对电力系统稳定性的综合影响及优化策略[J].光源与照明,2024,(11):237-239.
- [3]陈远志.新能源并网对电力系统动态响应特性的影响研究[J].电力设备管理,2024(15):128-130.
- [4]韩佳琦,朱文静.新能源并网系统的稳定性分析与控制策略[J].中国高新科技,2024,(06):75-77.