

Stability Research on the Combined Operation System of Thermal Power and New Energy Based on Multi-energy Complementarity

Hongyu Lei

Huadian Xinzhou New Energy Co., Ltd., Xinzhou, Shanxi, 034000, China

Abstract

Driven by the energy transition and the “dual carbon” goals, the combined operation system of thermal power and new energy has become the core carrier for the implementation of multi-energy complementarity technology. Its stability is crucial for promoting energy transition, improving power supply reliability, and achieving efficient and economic operation of the system. Currently, the system faces prominent problems such as strong fluctuations in new energy output, delayed regulation response of thermal power, and insufficient system inertia. This paper focuses on three dimensions: output prediction, coordinated control, and strengthening the anti-interference ability, and proposes optimization strategies to improve the accuracy of new energy power prediction, build a fire-new coordinated dispatching system, and enhance system inertia. These provide theoretical support and practical paths for the stable operation of the multi-energy complementarity combined operation system.

Keywords

multi-energy complementarity; thermal power - new energy combined; system stability

基于多能互补的火电—新能源联合运行系统稳定性研究

雷鸿宇

华电忻州新能源有限公司, 中国·山西 忻州 034000

摘要

在能源转型与“双碳”目标驱动下,火电-新能源联合运行系统成为多能互补技术落地的核心载体,其稳定性对能源转型推进、供电可靠性提升与系统经济高效运行至关重要。当前系统面临新能源出力波动性强、火电调节响应滞后、系统惯性不足等突出问题。本文围绕出力预测、协同调控、抗扰动能力强化三个维度,提出提升新能源功率预测精度、构建火-新协同调度体系、增强系统惯性的优化策略,为多能互补联合运行系统的稳定运行提供理论支撑与实践路径。

关键词

多能互补;火电-新能源联合;运行系统稳定性

1 引言

在“双碳”目标与能源转型的双重驱动下,火电-新能源联合运行系统成为多能互补技术的核心实践载体。该系统可有效平抑新能源出力波动,但受新能源随机性、火电调节滞后性等因素影响,其运行稳定性面临严峻挑战。系统稳定与否直接关乎能源转型进程、供电可靠性与运行经济性。本文针对上述问题展开研究,为联合系统稳定运行提供理论与实践参考。

2 基于多能互补的火电—新能源联合运行系统稳定性研究的重要性

在“双碳”目标引领下,新能源(风电、光伏等)大规模并网已成能源转型核心方向,但新能源出力具有强波动性、随机性和间歇性,直接威胁电力系统安全稳定运行。火电作为传统主力电源,具备出力可调、响应迅速、稳定性强的优势,二者构建多能互补联合运行系统,成为平衡新能源消纳与系统供电可靠性的关键路径,其稳定性研究兼具重要理论价值与现实意义。从能源安全维度看,电力系统稳定性是保障社会经济正常运转的基础,联合运行系统若因新能源波动引发电压、频率失稳,可能导致大面积停电等灾难性事故,因此开展稳定性研究是防范能源供应风险、筑牢能源安全屏障的必然要求。从能源转型维度而言,只有破解联合运行的稳定性难题,才能提升新能源消纳能力,降低对传统化

作者简介:雷鸿宇(1991-),男,中国山西朔州人,本科,工程师,从事火电+光伏+储能协同发展研究。

石能源的依赖,推动能源结构向清洁低碳转型。从经济发展维度讲,稳定的联合运行系统可减少因波动导致的机组频繁调节、启停损失,降低电力生产运维成本,同时为新能源产业规模化发展提供支撑,带动相关产业链升级。此外,随着电力电子化水平提升,联合运行系统的动态特性愈发复杂,开展针对性稳定性研究,还能完善电力系统运行控制理论体系,为新型电力系统建设提供核心技术支撑。

3 基于多能互补的火电-新能源联合运行系统稳定性优化策略

3.1 提升新能源出力预测精度,优化功率平衡调度

精准的新能源出力预测是保障火电-新能源联合运行系统功率动态平衡的核心前提,也是降低系统调节压力、提升新能源消纳效率的关键抓手。首先,应构建多源异构数据深度融合的高精度预测模型,打破数据壁垒,全面整合多维度核心数据资源:不仅要纳入基础气象数据(如实时风速、光照强度、环境温度、云层覆盖率及移动速度等),还需融合新能源电站的历史发电数据(含不同气象条件下的出力曲线、设备运行状态参数)、电网实时运行数据(如节点电压、线路潮流、负荷分布)以及区域经济活动数据(如工业生产负荷规律、居民用电峰谷特征)。在此基础上,采用机器学习与深度学习融合的先进算法框架,通过 LSTM(长短期记忆神经网络)处理时序相关性强的发电数据,利用 GRU(门控循环单元)优化模型训练效率,结合注意力机制强化关键气象因子的权重分配,同时引入迁移学习技术提升极端天气下的预测适应性,全面提升短期(0-24小时)和超短期(0-4小时)出力预测精度,将预测误差控制在更低范围,为后续调度决策提供可靠数据支撑。针对极端天气(如强台风、暴雨、强沙尘、连续阴雨等)引发的新能源出力骤升骤降问题,需建立多等级极端天气预警机制,加强与气象部门的协同联动,利用卫星遥感、雷达监测等先进技术获取精细化气象预报数据,划分轻度、中度、重度三个预警等级,明确不同等级下的出力波动预判流程和响应时限,提前 4-6 小时预判出力骤变趋势及幅度,为火电调节和储能调度预留充足准备时间。其次,优化功率平衡调度策略,构建“预测-调度-反馈-优化”的全流程闭环调度机制。调度中心以新能源出力预测结果为核心,结合区域负荷预测数据(含工业、商业、居民负荷的时序变化规律),采用线性规划与鲁棒优化相结合的方法,制定火电机组的启停计划、负荷调节曲线及备用容量配置方案,其中备用容量需根据新能源出力预测误差动态调整,确保既能应对出力波动又避免资源浪费;同时,依托智能电网调度技术支持系统,实时监测新能源出力、火电运行状态及电网潮流变化,当新能源出力出现超出预测范围的波动时,立即启动动态调节响应:出力骤增时,优先指令火电机组平稳降负荷,同步协调储能系统启动充电模式吸收过剩出力;出力骤降时,快速调用火电备用容量提升负荷,

配合储能系统放电补充功率缺额,形成多源协同的功率平衡调节体系,保障系统频率、电压稳定在安全阈值内。

3.2 构建协同调控体系,提升火电调节性能

构建统一高效的协同调控体系、同步提升火电调节性能,是破解火电-新能源联合运行“调控碎片化”难题、强化系统稳定性的核心举措。一方面,需搭建全域协同的集中式调度协调平台,以“数据互通、资源整合、精准调控”为核心目标,打破新能源企业、火电企业、储能运营商及电网公司之间的信息壁垒,全面整合多主体运行数据资源,涵盖新能源电站的实时出力、设备健康状态、出力预测曲线,火电机组的启停状态、负荷调节能力、煤耗与排放参数,储能系统的充放电状态、剩余容量、响应速度,以及电网的节点电压、线路潮流、负荷分布等全维度数据。依托大数据、云计算及边缘计算技术,对整合的数据进行实时清洗、分析与建模,为调度决策提供精准的数据支撑。在此基础上,采用模型预测控制(MPC)与分布式协同优化算法,制定全局最优的调度策略,动态协调火电与新能源的运行节奏:当新能源出力稳步增加时,平台通过阶梯式指令引导火电机组平稳降负荷,避免负荷骤降引发的机组振动、效率下降等问题,同时同步调度储能系统启动充电模式,精准吸收新能源过剩出力;当新能源出力出现骤降或负荷突增时,平台优先调用火电备用容量快速提升负荷,搭配储能系统即时放电补充功率缺额,形成“火电+储能”的双重响应机制,彻底扭转传统调控“碎片化”导致的运行衔接不畅问题。另一方面,需全面推进火电机组灵活性改造,精准提升其适配新能源波动的调节性能。针对传统火电机组低负荷运行稳定性差、调节范围窄的痛点,实施针对性的技术改造:在核心设备层面,对汽轮机进行通流改造,优化叶片型线与级间间隙,提升低负荷工况下的通流效率;对锅炉进行燃烧系统改造,采用低氮燃烧器、优化配风方式,增强低负荷时的燃烧稳定性,避免熄火风险;在控制系统层面,引入先进的协调控制系统(CCS)与快速负荷跟踪技术,优化 PID 参数,将火电机组的负荷调节速率提升至 3%Pe/min 以上,最小稳定负荷率从 40% 降低至 30% 以下,部分机组通过深度改造可降至 25% 以下。同时,优化火电机组的运行管理模式,推行“深度调峰+灵活启停”协同运行策略,根据新能源出力预测结果提前制定机组启停与负荷调节计划,在新能源出力高峰时段安排部分火电机组进入深度调峰状态或短时停机备用,在新能源出力低谷时段快速启动机组补充供电,最大限度提升火电对新能源波动的适配能力。此外,需同步提升新能源发电设备的可控性,突破其“被动并网、难以参与调节”的局限。通过改进新能源逆变器的控制策略,引入虚拟同步发电机(VSG)控制、下垂控制等技术,使新能源发电设备具备主动调频、调压及惯性支撑能力,可根据调度指令动态调整出力,与火电系统形成协同调节效应。

3.3 增强系统惯性与抗扰动能力

系统惯性是维持电力系统频率稳定的核心支撑，而抗扰动能力则决定了系统应对各类突发工况的生存能力。在火电-新能源联合运行系统中，新能源大规模并网引发的系统惯性弱化问题，已成为制约系统稳定运行的关键瓶颈，必须通过多维度技术手段协同发力，全面增强系统惯性与抗扰动能力。首先，大力推广虚拟同步发电机（VSG）技术改造新能源逆变器，破解新能源发电设备“无惯性”并网的痛点。VSG技术的核心逻辑是通过软件算法模拟传统同步发电机的转子运动方程、励磁调节特性及阻尼特性，在新能源逆变器中植入虚拟惯性环节与阻尼环节，使原本无惯性的电力电子设备具备类同步发电机的运行特性。具体而言，通过引入虚拟惯量控制策略，当系统出现功率扰动导致频率变化时，VSG可通过释放或吸收虚拟动能快速响应，减缓频率变化率；借助虚拟阻尼控制，可有效抑制频率振荡，加速系统频率恢复至额定值。同时，VSG技术还能赋予新能源逆变器独立的调频调压能力，通过下垂控制策略实现出力的动态调节，当系统电压出现波动时，可通过调节无功输出维持电压稳定，彻底改变传统新能源设备“被动跟随”的运行模式，使新能源发电单元成为系统惯性支撑的重要补充。其次，科学配置火电备用容量，筑牢系统惯性的核心保障防线。考虑到新能源装机规模不断扩大的趋势，需摒弃“一刀切”的备用容量配置模式，结合区域新能源出力特性、负荷波动规律及电网结构，建立动态备用容量优化模型。一方面，保留一定规模的火电同步发电机作为系统惯性的核心支撑电源，避免新能源装机过度集中导致系统总惯性急剧下降，确保系统具备基础的抗扰动能力；另一方面，优化火电机组的运行状态管控，推行“旋转备用+冷备用”协同配置模式，根据新能源出力预测结果动态调整旋转备用机组数量，确保部分火电机组处于低负荷旋转备用状态。这类机组无需重新启动即可快速响应负荷变化，当遭遇新能源出力骤降、负荷突增等突发扰动时，能在数秒内提升出力补充功率缺额，大幅缩短响应时间，提升系统对突发工况的应对能力。此外，强化系统振荡抑制技术研发与应用，破解新能源并网引发的新型稳定性难题。大规模新能源通过电力电子逆变器并网，易因

控制策略不兼容、参数匹配不当等问题，引发次同步振荡、谐波放大等新型振荡问题，严重时会导致设备损坏、系统解列。针对这一问题，需构建“预防+治理”双重防控体系：在预防层面，加强新能源逆变器控制参数的标准化管理，建立跨厂家设备参数兼容性校验机制，从源头降低振荡发生风险；在治理层面，针对性采用多种技术手段协同抑制，对于次同步振荡，可在机组或线路上加装次同步振荡阻尼器（SSD）、灵活交流输电系统（FACTS）设备，通过主动阻尼控制抵消振荡能量；对于谐波放大问题，合理配置无源滤波器或有源电力滤波器（APF），精准滤除电网中的谐波分量；同时，利用大数据分析技术建立振荡状态监测与预警平台，实时捕捉系统振荡特征信号，提前触发抑制措施，形成全流程振荡防控机制，全面提升系统的抗扰动能力。

4 结语

火电-新能源联合运行系统是实现多能互补、推进能源转型的核心架构，其稳定性研究对保障能源转型进程、提升供电可靠性、推动系统经济高效运行意义重大。围绕新能源出力预测、协同调控体系构建、系统抗扰动能力增强三大优化策略，可有效破解新能源随机性与火电调节滞后性的矛盾。未来需进一步深化技术融合与机制创新，持续完善联合运行系统的稳定调控体系，为能源电力行业高质量发展筑牢坚实基础。

参考文献

- [1] 丁建博,周广利,刘志宝,沙少飞,程政,白力,刘华明,程龙.新能源与火电联合技术研究[J].能源与环保,2024,46(02):184-190+197.
- [2] 李雄威,顾佳伟,王昕,徐家豪,李庚达,王文彬.风光火蓄联合发电系统日前优化调度研究[J].水电与抽水蓄能,2022,8(03):23-28.
- [3] 韩自奋,张柏林,崔凯华,张彦凯,张大兴.考虑新能源消纳能力及发电成本的风光火储联合调度策略研究[J].电工技术,2020,(08):21-25.
- [4] 黄冬生,吴引航,吕翔,姜楠.多能源参与的电力主辅市场联合优化模型[J].电力需求侧管理,2019,21(06):30-34+43.
- [5] 廖超豪,李根.基于现有火电容量的多能互补能源基地风光储容量优化配置研究[J].水力发电,2024,50(09):74-81.