

新能源基地多能互补协调控制关键技术探讨

文/李江林 许继电气股份有限公司



李江林

许继电气股份有限公司一级技术专家

技术发展背景

1. 国家政策

2021年，国家发改委、能源局发布了《关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见》，提出多能互补发展是构建新型电力系统的内在要求、客观需要和必然选择，对于促进我国能源转型和经济社会发展具有重要意义。其中，重点提出了开展“风光水火储一体化”提升与探索，强化电源侧灵活调节能力，优化各类电源规模配比，最大化利用清洁能源，并统筹确保电源基地外送可持续性。

2022年，国家发改委、能源局

发布《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》，提到要加快推进以沙戈荒地区为重点的大型风光基地建设；2024年7月，发改委、能源局、数据局联合发布了《加快构建新型电力系统三年行动方案》，提出大规模高比例新能源外送攻坚行动、电力系统调节能力优化行动。

随着以大规模沙戈荒漠地区新能源接入电网为重点的大型风光储新能源基地建设的快速推进，如何优化不同能源之间的配比和调度，提高新能源基地送出的稳定性，实现多能互补、协同运行，最大限度

地提升能源利用效率，成为当前新能源领域亟待解决的关键问题。多能互补协调控制关键技术，旨在使各种能源在时间和空间上得到最优配置，进一步提升新能源利用效率，促进可再生能源消纳，保障能源系统安全稳定。对于推动新能源产业的健康发展、构建安全高效清洁的现代能源体系具有深远的意义。

2. 现状问题

目前大规模新能源发电典型现状问题有：一是送端风光等主体电源的出力不稳定，给高比例新能源外送通道的电力安全供应带来隐患；二是目前单一维度的电站功率预测和单目标的系统稳控控制不足以支撑新能源大基地调度的灵活性和高效性；三是新能源配置储能、分布式调相机和光热发电等设备成本较高，传统运维手段不能够有效提升集中运维作业效率。

3. 面临的挑战与需求

面临的挑战（新型电力系统的三类典型特征）：一是从大惯量同步发电机到高比例电力电子的电源特性变化；二是多类型新能源占比逐步增大的电源结构变化；三是不同容量各电压等级并网及有源配电网的网架结构变化。

主要需求包括三个方面：一是

稳定性，大基地主体电源出力稳定性差，需配套调节性电源实现相对可控的外送，迫切需要探索多能互补的协同优化配置、多时间尺度多层次的预测及稳定控制，解决大型新能源基地电力汇集送出与稳定运行问题；二是灵活性，新能源大基地电站控制模式可能从“单目标控制方式”逐步向“以系统安全稳定、新能源最大消纳、安全经济生产等多维度、阶梯式的多目标灵活控制”优化；三是经济性，新能源大基地项目投资大，迫切需要通过高效协调的控制技术提升新能源外送占比，探索新型储能、发挥储能最大化调节能力，应用数智能化技术手段等，提高电站经济效益。

整体系统架构

1.总体思路

新能源基地协调控制系统设计的总体思路是，以设备为中心，新能源基地实现从区域级、厂站级到设备级的信息集中监控全景化，状态预测预判精准化、协同控制敏捷化、运维管理轻量化和投资效益的最大化。如图1所示。

2.功能架构

系统的功能架构贯穿全景监视、协调控制和电站运维，包括监控、预测、优化控制和运维等功能及相关技术，主要聚焦协调控制方面。

3.控制架构

针对大规模新能源出力间歇性/波动性、电网支撑能力不足、次/超同步振荡以及送出电网的电压、频率和功角稳定性等问题，整体采用单元级（设备级）、站域级（厂站级）、广域（区域）级的三层架构，构建新能源基地主动参与电网

频率电压调节、稳定控制和以生产经济最优且最大新能源消纳的综合协调控制体系，实现区域多场站间的快速优化协调控制。其中，单元级控制完成单个新能源发电单元（如风力发电机组、光伏发电机组等）的发电控制和状态监测；站域级控制完成新能源发电站内多个发电单元的协调控制和优化运行，包括：各发电单元的功率分配、电压/频率控制、能源管理、故障隔离与恢复；广域级控制主要完成多个新能源发电站之间的协调控制和优化运行，包括：区域调控、安全稳定控制、跨站协调、数据分析与决策支持等功能。

协调控制技术

1.基于多元可控资源的源网储分层协同调控体系

面向源、网、储多元控制对象，基于分层分区协同控制的思路，设计协同控制层、稳定控制层和就地控制层的三层控制体系，分别从时间尺度和控制颗粒度上提升对“源-网-储”多要素的快速灵活控制能力，通过一次调节、二次调整和三次优化，满足实时平衡的快

速灵活控制需求，保证电网安全运行及新能源最大化消纳，实现系统稳定运行的综合最优目标。主站决策层提出负荷需求、辅助服务和电网检修等需求指令。协同控制层实现长时间尺度（秒级、分钟级至小时级）的协同优化控制；开展跨时空耦合的源-网-储多要素间协同互济控制、优化运行等。稳定控制层：实现短时间尺度（毫秒级）的频率稳定控制，电网运行方式自主识别与切换、辅助能量路由器运行方式切换等。就地控制层：数据采集、控制命令执行和紧急态自主决策。

2.基于多源数据融合的一体化设计

更优的协调控制技术离不开全量监视数据、全面预测预判技术的支撑。数据监视方面，开展基于多源数据融合的一体化设计。新能源设备种类繁多，利用设备的全量信息模型，开展多源多维数据融合和系统界面一体化设计，全方位监视各类型发电设备、变电设备、储能设备、分布式调相机及其他辅助设备，实现电站从区域、场站、设备的多层次、精细化展示，也为新



图1 总体思路

能源多能互补协调控制提供坚实的基础数据支撑。

3. 基于时空数据融合的新能源功率感知预测

主要包括发电功率预测、系统备用预估和电网态势预判。功率预测方面提出的关键技术是基于时空数据融合的新能源功率感知预测。根据各场站天气预报、短期/超短期功率预测数据,同时结合大量发电历史数据样本训练,基于集成学习的预测算法动态择优赋权,通过基于人工智能算法模型库的组合评价预测,提供新能源基地多时间尺度的功率预测服务,解决单场站预报分辨率粗糙引起的预测误差问题,为多能互补时序能量匹配提供精准数据。

4. 源/储/调相机可调备用精准量化

针对新能源基地多资源能量互补利用与精细化调控需求,考虑常规电源最小发电量约定、新能源消纳率、储能SOC限制和调相机工况等约束,构建源/储/调相机正负双向可调备用量化模型,实现新能源基地多类型不确定性资源调控能力科学量化与深度挖掘,为新能源基地多能协调控制提供备用容量数据,支撑建立多目标驱动下的灵活资源动态互动趋优控制策略。

5. 基于融合预测与运行态势自辨识的多时序滚动推演调度方法

电网态势预判提出的关键技术是基于融合预测与运行态势自辨识的多时序滚动推演调度方法。根据新能源发电预测数据,以电网设备安全限制为约束,制定新能源日前、日内调度计划和储能充放电计划。在稳定前提下以新能源消纳率、经济运行行为优化目标,滚动更

新电网运行风险信息,通过时序递进、滚动优化和逐次修正的“日前-日内-实时”动态预案推演策略,提升新能源基地的电网风险主动防御能力。

6. 源网储协同频率电压稳定控制

控制区内的电力电子设备运行模式划分为电压源、电流源,按照扰动程度和波动范围划分运行工况,不同工况下不同类型发电单元执行相应的稳定控制任务;利用就地设备控制、稳定控制系统、AGC/AVC和多能一体化协调控制系统相互协调配合,实现毫秒级-秒级-分钟级的多时间尺度控制体系,为电网的频率、电压稳定提供有利支撑。

下面围绕三层控制体系开展关键技术介绍。

(1) 协同控制层

1) 多目标协同驱动的灵活资源联合趋优控制技术。开展多时间尺度、多目标和多元素耦合的风光储协同控制。充分利用源网储各资源调节能力,建立新能源最大消纳、能量平衡和安全经济生产等目标驱动下的灵活资源动态互动策略,通过多目标多约束(受控对象工况、能力和检修等)优化算法求解各典型供给场景下的实时最优控制分配值,维持区域电网稳定同时实现新能源本地最大化消纳。

2) 发电及能效综合分析技术。多能互补一体化系统开展新能源发电分析、储能效能分析、经济效益分析和风光资源分析的策略。

协同控制层的核心设备:多能互补一体化协调控制系统。基于新一代开放式、高性能的系统软件平台,开发包括全景监控、综合预测、控制决策、协同控制和运行分

析等高级应用功能,提升电力电量平衡、新能源消纳水平与电网主动防御能力,实现新能源多能互补安全、稳定、经济和高效运行。

(2) 稳定控制层

1) 稳定控制系统可靠性设计。为保障安全稳定控制系统的可靠性,采用装置双套冗余、通信方式双通道、三路由,提高设备可靠性;采用双套实时数据互校、命令数据独立,保证系统策略可靠性;采用运行信息实时交互、命令链路周期自检,保证运行可靠性;采用通信报文多重校验、控制命令三帧确认,保证动作可靠性。

2) 基于控制策略的“定值+策略表”智能构建技术。将标准化组件、控制策略、站间通信以及工程应用信息等元素组成结构化的控制策略模型,生成嵌入式装置能够识别的数据文件,程序预设通信、策略表检索、措施解析及出口等模块,通过读取通信、策略表配置文件,自动切换运行方式、检索控制策略,实现了控制策略的智能构建。

3) 执行优先级在线博弈和自动转接的一次调频功率分配方法。针对风光储一体电站,计及风光储等受控对象的运行状态、可调能力、响应速率和爬坡速率等约束条件,提出一种执行优先级在线博弈和自动转接的一次调频功率分配方法,根据多源约束条件的权重形成功率分配的优先级和控制量值,实现有功功率调节值在多源异构受控资源间的最优分配,结合频率偏移最远点辨识,整体策略生成时间不超过50 ms。

稳定控制层核心设备:动态稳定控制装置。具备有功功率快速调

节、一次调频和辅助调压等电网安稳支撑功能。根据可控资源特性预设优先级次序，将控制量值进行合理分配，实现系统级的一次调频控制；在通信中断情况下，开放场站就地端的一次调频功能。整体控制策略以调为主，以调代切，在辅助系统电压源实施毫秒级频率稳定控制的同时，最大限度保证新能源发电。

(3) 就地控制层

1) 新能源场站调频性能在线监测技术。设备接收调度远方遥控指令和配置文件，根据指令信息数据，通过配置文件、增/减负荷和模拟频率等功能，主动向新能源场站施加频率扰动激励（阶跃扰动和实际扰动），验证新能源场站的调频性能是否满足电网要求。在实际运行中，实时上送修正前负荷指令、修正后负荷指令、系统频率和实时功率等调频性能数据，电网侧主站在线监测新能源场站调频功能运行情况。

2) 适应新能源场站的高准确度测频算法。新能源场站存在大量电力电子设备，容易造成电网谐波污染，提出一种基于抛物线插值的相量测频算法。基于抛物线插值改善滤波数据，采用正弦傅氏相量测频算法计算频率，迭代优化测频结果，得到高准确度的实时频率，测试表明测频准确度达到0.001 Hz，优于指标要求的0.003 Hz，提高了抗谐波性能和测频准确度。

3) 适应频率偏移的模拟量算法。频率偏移造成的非同步采样，严重影响模拟量的计算，现有的适应频率偏移的模拟量算法多采用插值算法，计算量较大，影响调频的实时性。提出一种梯形积分补偿模

拟量算法，在计算量变化不大的情况下，提高了模拟量测量准确度，测试表明误差小于0.1%。

4) 基于PCS状态精准感知和判别的功率分配策略。针对储能电站PCS规格与结构型式各异、实际运行状态各不相同和调节能力存在差异性等复杂情形，提出一种基于电池堆SOC、储能变流器最大可充/可放功率和储能变流器运行状态的功率分配方法，实现了功率调节量的合理分配，同时保障储能电站电池堆SOC的一致性。

5) 新能源场站一次调频与惯量支撑优化控制方法。储能惯量支撑的传统算法是将一次调频和惯量支撑的目标值进行代数叠加。在频率发生较大波动时，因频率变化率算法的差异性导致惯量控制有功功率波动性也较大。提出一种新能源场站一次调频与惯量支撑优化控制方法，根据检测的频率变化率所在区间，对一次调频有功功率进行动态增益调整，解决了频率变化率检测不准确导致的功率控制不稳定的问题。

核心设备1：快速功率控制装置。主要功能包括一次调频、有功备用、AGC（自动发电控制）和在线监测等功能，实时监测新能源场站运行信息，感知系统频率扰动和接收调度指令，通过一次调频、有功备用、AGC、新能源发电单元（数据集中器或能管平台）和PMU的协调配合，采用IEC 61850、IEC104、GBT26865.2和模拟小信号等多种数据传输方式，实现新能源场站快速功率控制和在线监测功能。

核心设备2：储能协调控制装置。数量众多的储能变流器一次调

频和无功调压缺乏统一管理和协调配合，容易出现过调或调节混乱的现象，严重情况下会造成功率或电压振荡。储能协调控制装置可实现整站储能PCS毫秒级的功率“群调群控”，主动支撑电网的频率、电压稳定，实现快速功率调节的合理分配，在兼顾储能系统的运行效率和使用寿命的同时，显著提升储能电站的调节能力和安全运行能力。

总结与展望

通过研究新能源基地多能互补协调控制关键技术并进行实验验证，使得各种能源在时间和空间上得到最优配置，形成新能源多能互补协调控制解决方案，保障能源系统安全稳定多目标的能源协调互济，可以有效满足沙戈荒新能源基地、风光水火储能一体化和绿电氢能等多场景应用需求。

1) 随着大规模高比例新能源的调度方式进一步优化、新型储能技术探索和特高压送出技术创新，不同类型能源之间的转换和储存将更加高效和可靠，送出系统的稳定性和经济性将进一步提升。

2) 随着人工智能、大数据分析等技术深入融合应用，多能互补协调控制系统的智能化水平将不断提升，实现更加便捷、高效的能源运维服务。EA



扫描二维码了解更多