科技创新推动电网调控技术进步

文 / 国家电网公司国家电力调度控制中心主任 陈国平

“十三五”期间，国家电网公司特高压电网快速发展，“强直弱交”矛盾突出，风电、光伏等新能源占比持续增加，电网运行控制面临前所未有的挑战。国调中心作为世界上唯一同时运行特高压交、直流混联电网的电力调度机构，面对复杂形势，大力弘扬创新精神，全力提升驾驭复杂大电网的能力。

电网运行特性发生深刻变化

随着特高压直流工程投入运行和大规模新能源并网，电网运行特性发生了较大变化。截至 2016 年 5 月，公司跨区直流规模 6396 万千瓦，风电装机 1.2 亿千瓦，比 2010 年分别增长 188%、325%。公司系统在运特高压直流 4 条，容量合计达到 2960 万千瓦，其中宾金、锦苏、复奉三大特高压直流连接西南电网和华东电网，输送容量达到 2160 万千瓦。

未来 2 ~ 3 年，华东电网馈入直流总容量将达到 6976 万千瓦，低谷时段占负荷比例超过 40%；西北、东北电网新能源装机达到 8000 万千瓦和 3800 万千瓦，出力占区域发电的 50%、30%。伴随新能源出力和直流受电规模不断增大，送受端常规机组被大量替代，电网调节能力不断下降，系统故障后稳定形态更加复杂，影响范围大幅拓展，运行风险不断增加。

随着直流、新能源等电力电子设备在发、输、用电各环节所占比重日益提升，传统交流电网的电力电子化成为不可逆转的电力技术发展趋势。以同步发电机多质量块、惯性运动为特征的传统交流系统，附加了高速、巨幅、宽频激励为特征的大量电力电子设备，两种不同类型、不同时间尺度的动态响应，相互交织、相互影响，导致交直流混联电网稳定机理深刻变化，电力系统安全稳定运行与控制规律面临全新挑战。

弘扬创新精神，积极应对挑战

随着特高压直流、清洁能源的快速发展，基于传统交流系统形成的认识方法、防御理念和控制技术，已难以适应特高压交直流电网运行实践的要求。国调中心提前开展技术储备，积极应对电网形态变化带来的挑战。

（一）创新仿真分析工具，构建新一代仿真平台

特高压交直流大功率输送方式成为新常态后，交直流连锁反应、电网巨大暂态能量冲击将具普遍性与全局性，成为影响大电网稳定的主要因素。为提高对故障过程中特高压直流动态行为的认知水平和对系统产生的影响，近年来，国调中心率先研究应用机电 – 电磁暂态混合仿真工具，并结合实际故障录波，组织科研单位开发适用于特高压直流仿真的直流控制保护模型，形成从年度到日前，机电暂态、电磁暂态多种程序协同配合的稳定分析模式，制定符合特高压交直流系统实际响应特性的稳定控制策略，保障了复奉、锦苏、宾金、天中等特高压直流的顺利投产和安全稳定运行。2014 年和 2015 年迎峰度夏前，国调中心针对馈入华东的三大特高压直流闭锁、换相失败等故障开展详细计算分析，部

署稳定控制方案，确保三大直流在汛期满功率运行，有力保障了华东地区供电和西南水电消纳。

为提高未来大电网认知水平，进一步对交直流混联电网特性进行全面、深入、高效的分析，国调中心提出了构建包含数模混合仿真和数字混合仿真两个部分的国家电网新一代仿真平台建设方案，进一步提高特高压交直流系统仿真精度，实现交直流电磁耦合镜像仿真。其中，数模混合仿真实现对交直流之间和多直流之间的相互影响，及实际控保系统控制规律的精确仿真和研究；数字混合仿真实现电网运行方式海量机电－电磁数字混合计算和快速分析。建设方案通过了3位院士和24位国内仿真领域知名专家论证，得到公司党组的高度重视。平台建成后，可以实现对区域电网乃至整个国家电网220千伏及以上主网的电磁暂态建模与仿真，高精度再现故障过程中全系统的电磁和机电响应过程，为电网安全稳定控制提供强大的仿真能力支撑。

目前，按照公司整体工作部署，新一代仿真平台建设正全力推进。2017年，平台将完成18套直流控保设备调试，电磁暂态仿真将规模覆盖分区域电网220千伏及以上主网及所有在运直流；2018年，电磁暂态仿真规模覆盖三华电网主网架及所有在运直流，实现对公司电网发展规划、生产运行业务的全面支撑，将成为保障公司特高压交直流混联电网安全运行的重要技术手段。

（二）创新综合防御理念，构建大电网系统保护

随着电网运行特性的深刻变化，按照传统交流电网构建的三道防线安全防御体系，已难以满足多直流相互影响、交直流连锁反应、高低频交替冲击等新的稳定问题和电网运行控制的新要求。

面对新领域、新课题，国调中心组织科研力量深入研究电力系统运行控制理念，提出了以有效控制大电网安全运行风险为目标，构建多目标控制、多资源统筹和多时间尺度协调的高可靠性、高安全性的大电网安全综合防御体系——即系统保护的建设方案。系统保护依托先进的信息通讯技术，实现对电网的多频段、高精度全景状态感知；基于故障诊断和系统实时响应特征，实现多场景、全过程的实时智能决策；整合广泛分布于全网的发电机、抽蓄、调相机、交流线路、直流系统、静态无功补偿、可中断负荷、新型储能设备等多种控制资源，实现有序、分层的一体化协同控制，涵盖系统分析、智能控制、计算机及通信等多个专业领域，实现了电网防控技术的历史性突破。建设方案通过了公司内外6位院士和13位专家论证，得到公司党组的充分肯定。

目前，大电网系统保护建设顺利推进。2016年5月，国调中心已组织完成系统保护顶层设计方案的编制评审；2016年年底，各分区电网计划完成分区系统保护方案的编制评审，并全面启动相关建设工作，为“十三五”

国调中心组织科研力量深入研究电力系统运行控制理念，提出了以有效控制大电网安全运行风险为目标，构建多目标控制、多资源统筹和多时间尺度协调的高可靠性、高安全性的大电网安全综合防御体系——即系统保护的建设方案。

期间公司特高压电网安全稳定运行保驾护航。

与此同时，为解决今年迎峰度夏期间华东电网的频率稳定和西南水电大规模外送问题，国调中心组织华东分部率先研究实施了华东系统保护功能试点——频率紧急协调控制系统。该系统创新实施了多直流紧急功率提升、安控主动切泵、可中断负荷快速精准控制等多种先进技术，构建了多资源协同、多功能配合的控制系统新体系，实现了对直流大受端电网频率的综合防御。同时，在西南送端，国调中心根据电网实际需求，创新实施了世界上首套直流大送端换相失败协控系统，对同送端、同受端的三大特高压直流同时换相失败、连续换相失败等故障进行综合布防，有效提升了送端交流电网对特高压直流巨大暂态能量冲击的承载能力。

今年4月，公司完成三大特高压直流换相失败协控系统建设；6月底，完成华东频率紧急协调控制系统建设。这两套系统已成为保障今年迎峰度夏期间三大特高压直流满功率送电的关键技术手段。

（三）创新协同作业模式，构建一体化故障处置系统

随着特高压交直流混联电网一体化特征不断加强，国调中心创新发展国分省三级调度实时运行协同作业能力，构建了三级调度特高压直流故障一体化协同处置系统，实现了关键信息在线监视、预想故障滚动分析、运行风险实时评估、严重故障协同处置等关键功能，大幅提升了国分省三级调度应对跨区特高压直流故障的协同处置能力。

一体化故障处置系统建成以来，国分调整合特高压直流送受端电网开机方式、重要断面、可调旋备、切机、切负荷、设备停运、缺陷等运行信息，以及直流输电线路的气象、山火、覆冰等环境信息，当值调度员通过预想事故滚动扫描，可事先掌握直流故障对断面及频率的影响，综合智能告警同步推送至国分省调，各级调度通过一体化协同监视图，统一监视故障后送受端电网运行情况，实现第一时间安控动作结果、断面潮流变化、频率跌落、电压波动等故障关键信息全方位展示，为电网实时安全运行提供了有力技术保障。

未来，国调中心将紧密围绕公司战略目标，主动适应特高压大电网快速发展的新形势，以保障坚强智能电网安全稳定运行为目标，以市场化改革为方向，深入分析大电网、新能源、市场化、新技术给电网运行及管理带来的机遇和挑战，突出精准把握电网运行机理、持续推进电网协同控制、大力强化技术装备建设、全面提升调控管理水平四个重点，通过推动新一代智能电网调度控制系统建设、深化电网运行趋势和风险同步感知与辅助决策技术、强化继电保护及安控装备支撑、应用基于大数据技术的基础信息管理等技术创新，不断提升大电网运行水平和调控能力，实现调控技术和管理的新跨越。

频率紧急协调控制系统创新实施了多直流紧急功率提升、安控主动切泵、可中断负荷快速精准控制等多种先进技术，构建了多资源协同、多功能配合的控制系统新体系，实现了对直流大受端电网频率的综合防御。