

数字化时代背景下支撑电力现货市场运营的电网调度运行业务

文/广东电网电力调度控制中心 何晓龙 高海翔 赵 越

数字化技术与新型电力系统呈现出融合发展的新态势。阐述了支撑电力现货市场运营的调度运行发展方向，构建“基础层-应用层-业务层”的数字化发展架构，最终形成数字流引领业务流与能量流的新局面，在新型电力系统构建下延续电网调度运行业务核心竞争力及枢纽作用。

当前，以数字技术为代表的第四次工业革命正加速改变世界，能源电力数字经济正形成新的发展图景。其中大数据、物联网、云计算、移动互联、区块链、人工智能和量子计算等数字化技术与新型电力系统呈现融合发展的新态势，为能源电力数字经济的发展持续赋能。同时，电力体制改革的持续深入对灵活高效的市场机制设计及其实现技术提出了更高要求，对电网调度运行的关键技术及核心竞争力提出了新挑战。

因此，南方电网以“数字南网”行动计划推动构建绿色低碳、灵活柔性和数字智能的新型电力系统，全方位、全角度和全链条利用数字技术推动业务发展，以“电力+算力”赋能电力资源优化配置，构建全面驾驭未来电网的数字管控体系。作为电网运行“指挥大脑”的电网调度机构，需思考如何适应并利用“数字化+市场化”趋势，以运营智能电网为基础，优化调整电网运行生产组织方式，为电网调度运行高质量发展提速增效。

支撑电力现货市场运营的调度运行发展方向

1. 现货市场运营与支撑面临的外部挑战

(1) 加快构建新型电力系统，为现货市场运行业务提供运营支撑基础

以新能源为主体的新型电力系统面临着电力供需变化更加迅速和难以预测的挑战，这意味着沿用传统技术来实现电力生产供需的实时平衡将变得更为困难。因此，调度运行领域需抓住自身在能源电力产业价值链的核心地位，思考如何通过自身业务数字化来高效支撑现货市场运作，服务市场运营逻辑，助力新型电力系统建设。

(2) 深化电力市场化改革，为现货市场业务及实现技术指明发展要点

电力现货市场的建设能够加强电力的商品属性，提高资源的配置效率，是电力市场化改革的重要一环。随着电力市场化改革的持续推进，市场竞争日益激烈，这要求调度运行机构应厘清自身在电力市场建设中的定位，通过电网调度运行控制协同发输变配用各环节，积极响应行业内电力发展需求，并满足行业外经济发展需求。

(3) 社会多元化用电模式给支撑现货市场的电网运行提出新业务需求

(4) 数字技术与电力技术的深度融合为现货市场业务提供畅通机制

2. 现货市场运营与支撑面临的内部挑战

(1) 电力市场交易带来的安全运行挑战

一方面，随着电力市场化改革的深入，电网企

业为追求经济效益势必不断逼近安全边界，给电网运行安全带来严峻挑战。另一方面，大规模新能源并网将导致日前计划容易出现较大偏差，客观上影响了实时电力平衡分析，部分地区由于运行方式出现较大变化而导致稳控装置等二次系统存在风险。因此，需提高电网调度运行过程中的风险辨识能力，高效处置实时运行过程中的事故和异常，确保电网安全稳定运行、电力可靠供应。

(2) 输配电价等新机制带来的经济效益挑战

按照“准许成本+合理收益”的输配电价改革模式，电网企业必须更加关注投资建设、生产等环节的成本控制，以确保电网的经济效益。例如，输配电价改革对调度运行环节的网损监视和理论网损计算提出新的要求，但当前的网损在线监测与辅助决策分析相关研究应用并不广泛，因此亟需与电力交易系统对接，研究构建考虑供需互动的大电网经济调度系统平台。

(3) 新能源大规模接入带来的节能优质挑战

新能源大规模接入给调度运行带来了诸多挑战：新能源预测准确度较低，大规模新能源接入条件下调度运行过程中电力平衡分析更加困难；新能源出力可控性较差，对于清洁能源富集送出区域，调度运行过程中为了保证断面可控，往往被迫预留更大的安全裕度，客观上不利于清洁能源的消纳等。

以上的挑战可通过电力系统数字化转型进行克服，随着南方电网推进数字电网建设，以大数据、云计算、物联网和人工智能等为代表的数字技术越来越多地应用到电力系统中，都将使能源供应格局、电力交易模式等发生重大变革。

3. 现货市场运营与支撑业务的发展方向

电网调度数字化建设充分借助数字化与市场业务深度融合的优势，构建“基础层-应用层-业务层”数字化发展架构，即基础层实现数字化技术在电网生产场景的深度融合，应用层推进智慧调度建设的落地实践，业务层构建业务核心竞争力的价值内核，全面提升资源全局调配能力、数据共享汇聚能力和市场运行服务支撑能力，形成以数字流引领业务流与能量流的新局面，在新型电力系统构建下延续电网调度运行业务核心竞争力及枢纽作用。

构建适应电力现货市场的调度运行业务发展路径

1. 基础层：数字化技术的深度应用

根据传感（测量）、通信、感知分析、控制（保护）和智能控制技术等六类电网生产应用场景需求，云计算、物联网、大数据、人工智能、移动通信、区块链及量子计算等数字化技术将向高性能规模化、低成本集成化、短时延高效化、快决策可控化和抗干扰内置化等方向发展，与系统运行业务进行深度融合，在系统运行领域达到高度发达的数字智能化水平。

(1) 传感技术是海量终端的感知基础

传感器技术能够实现对电流、电压等传统电气量的精确测量，并能够实现对其他电气量、状态量以及环境量等被测对象的广泛感知。其中新型电力系统需解决高比例新能源接入下系统不确定性与脆弱性问题，意味着系统运行终端装置的传感技术需向低成本集成化、抗干扰内置化、多节点自组网和低功耗等方向发展。

(2) 通信技术是云管边端的接入渠道

电力通信技术是电网调度自动化、网络运营市场化的基础，其应用贯穿电力系统各个环节，重点包括发电厂内通信、电力通信网络和用户侧通信三部分。随着通信技术的持续发展，电力通信的关键技术从单一电缆、电力线载波向微波、卫星通信、光纤和5G移动通信等领域转变。

(3) 物联网技术是云管边端的协同方式

依托传感技术及通信技术，物联网让电网设备、企业和用户连接成一张网，按照“云-管-端”三个层次布局，强化通道能力和规范终端接入，实现电网基础设施、人员及所在环境的识别、感知、互联与控制，最终建立起发输变配用全业务环节的终端感知能力、网络连接能力、平台管控能力和数据交互能力。

(4) 云计算是感知分析的技术要领

一方面，基于云计算的调度系统的感知分析能力更强，可以对常见问题和能够产生重大影响的状态进行快速分析求解，缩短系统处理时间；另一方面，基于云计算的信息安全平台的安全防控能力更强，能够对安全威胁区域和位置进行准确定位，对可疑终端进行及时隔离，有效确保电网公司大数据

灾备中心的安全性。

(5) 大数据是感知分析的执行手段

对于电网调度来说，在未来要依托现有大数据平台，开展核心业务场景的应用开发，融合物联网设备感知技术、云计算资源和大数据分析处理技术，实现发输变配用全链条业务数据的统一汇聚、清洗整合和挖掘分析，逐步推动应用系统功能由以流程为中心向以数据为中心的生态模式转变。

(6) 区块链技术是控制保护的关键举措

未来新型电力系统上下游终端增多，交互更加频繁，信息量大幅增长，对信息准确搜集、数据实时处理和系统快速决策提出更高要求，而区块链在共识机制、安全算法、隐私保护和系统优化等方面具有核心竞争优势，有望成为控制保护的关键举措。结合电力市场建设的趋势，区块链可应用于构建新型的能源交易模式，推动能源生产从集中到分散，优化电力调度运行，从而有效推进电力市场交易、碳市场交易的达成，目前在电力行业已有个别试点开展探索性实践。

(7) 量子计算是先进算力的重要依托

随着电力系统中各类应用、终端设备接入网，网络信息安全日益重要，以至于当前的计算技术可能不足以满足未来数字电网的需求。而量子计算可以轻松淘汰传统的密码学方法，通过量子算法库中的机器学习算法来分析威胁信息、判断安全态势，提升安全监测态势感知的效率，在未来有望支撑构建起更安全、更可靠和更具弹性的数字电网。

2. 应用层：数字化调度的落地实践

从宏观发展看，未来系统运行将利用自身独特的业务属性，通过数字流打通源网荷储各环节，推动“并网联动-智能分析-互动运营-虚拟模拟-调度控制-安全管控”等业务场景进行智慧升级。从微观现象看，随着系统运行智能化发展水平的提升，电源侧将向人机数控、云边协同的智能电厂转变，电网侧将向全景看、全息判和全局控的智慧电网转变，用户侧将由单向用电负荷向多能互补、源荷互动的虚拟电厂等市场主体转变。

(1) 柔性开放功能

柔性开放指通过柔性技术构建软隔离屏障，允许爆发式增长的新型负荷和电源友好并网，这将促使电网作为新能源优化配置平台的作用更加显著。

其中，“柔性”明确了配电网电力电子化、潮流控制灵活化的趋势。通过构造低压柔性互联配电网，着力实现多台区的柔性互联，提升分布式能源接纳能力、电压支撑能力和连续供电能力。“开放”诠释了电力网络需形成物理开放的格局，即电力电子变压器、智能软开关和能源路由器等关键性能节点需更多地接入到网络中来，为多元化用电需求打通接口。

(2) 感知分析功能

感知分析是指通过聚焦电网数据感知质量，打造多元化的数据分析维度，面向省市电网需求提供全面的统计分析数据支撑。未来，海量数据和广泛连接将使数字电网获取的数据资源大幅提升，从而在数据层面打破传统技术的界限，实现多源数据的融合、提炼和分析，更加准确完善地刻画电网状态。如通过建设基于数字电网架构的碳排放监测平台，开展碳排放监测及核算、碳达峰碳中和态势感知和碳减排潜力分析等高级应用。

(3) 双向互动功能

双向互动指通过构建基于云大脑和边缘节点两级融合的新型电力系统云边融合调控体系，支持千万台级新能源发电设备作为主力电源参与新型电力系统调控过程，支持海量用户侧可调节资源作为虚拟电厂参与新型电力系统调控过程，支撑特性各异的多类型能源分层级互联互通和分区分类协同优化，实现源网荷储各链条环节的互通。

(4) 数字孪生功能

数字孪生指采用先进的人机交互手段和可视化技术，利用小微传感、芯片化智能终端等提供灵活、便捷、准确和高效的边缘感知能力，形成覆盖新型电力系统的神经末梢网络，快速准确掌握电力系统的物理结构、各组成单元及整体的物理性能、运行方式、实时状态、运行效率、健康状态和环保水平，同时掌握各类控制装置的动态行为、市场环境信息和企业运行信息，将新型电力系统全面动态可视化。

(5) 全景驾驶功能

全景驾驶指集成先进的全息状态感知、量化态势评估、精准协同控制和智能人机交互等技术，实现互联大电网的系统自治、模拟推演、智能进化和高效服务等功能。具体而言，通过构建支撑数字电

网灵活运行的云大脑，增强数字电网的智能分析与决策水平，实现智能安全防误、智能操作代理、智能人机交互，提升智能化运行水平；通过构建调度业务知识图谱模型，实现新型电力调度领域综合知识问答和调度业务决策支持的智能辅助决策，实现数据信息的智能搜索与智能推送、调度任务的智能提醒、调度操作任务的自动打包分拣等智能交互功能，实现数字电网调度操作全过程自动代理。

(6) 高精防控功能

高精防控指依托电网运行云大脑的强大算力，支撑海量终端设备参与电力系统感知与调控过程，实现新型电力系统高度可控。通过事前预防、事中报警和事后反馈的操作闭环模式实现从整体到局部对电网运行风险的全面掌控：基于可视化智能系统和预警机制，结合风险经验故障集学习、电网运行趋势分析，预判安全隐患；通过异常监测模型和根因推理机制对线路重载、过载等异常情况进行实时告警，分析异常情况出现的原因，定位故障的具体位置；通过异常分析和反馈形成操作闭环，并结合系统可持续学习提高对根因分析判断的准确性。

3. 业务层：核心竞争力的价值构建

电力市场环境下系统运行业务定位及核心竞争力应随着业务数字化转型发生变化，强调以用户为导向，以市场为导向，以赋能为导向。

(1) 以用户为导向

未来的电网运营需借助中台管理战略，利用数据治理的特性支持各参与主体的市场业务创新和迭代建设，快速响应客户需求，让客户从传统的用电服务体验升级为智能化个性化的服务体验。因此，用户导向思想必然要求调度运行专业增强自身的资源全局调配能力。

(2) 以市场为导向

为响应国家能源安全战略及电力市场化改革要求，电网运行需着力提高电力系统的调节能力及运行效率，从负荷侧、电源侧和电网侧多措并举，重点增强系统灵活性、适应性，保障电力安全供应和民生用电需求，推进能源电力向绿色转型发展。

(3) 以赋能为导向

高效的电力市场运营需要绿色高效的调度控制支撑，电网系统运行业务迫切需要提升数据的支撑能力，以实现纵向电网运行协同处置、横向部

门业务协作互通、对外服务能力有效提升。为实现省地赋能，广东中调提出建设调度中台，将调度运行中负责的各项业务以及各个环节通过业务能力复用的逻辑全部进行智能化、敏捷化升级，实现量测采集、数据挖掘、建模、系统分析、潮流计算和计划制订等各个环节的智能化分析、辅助决策和自动控制。

以数字化管理为核心的调度运行业务发展建议

1. 从“管理”转向“服务”的业务管理逻辑

调度运行业务对发输变配用全链条业务运作的定位是“管理”，调度运行各专业各司其职，与业务主体或客体的互动方式是单一的、点对点的。但在现货市场环境，“放开两头、抓住中间”的“电改”趋势要求调度运行业务运作更为一体化，直接服务于市场主体的交互过程，因此，要求系统运行内部的运营机制要有所突破，从管理理念转向服务理念，按照“权力下沉、重心下移、权责一致、放管结合”原则，横向上构建业务能力复用的业务中台，纵向上充分赋能地调业务开展基层业务实践。

2. 从“结果”转向“过程”的业务管理重点

系统运行业务管控要以“目标为导向”，通过建立业务过程反馈控制系统，使每个业务过程的运行状况处于实时控制状态，从而能及时发现问题并解决业务过程运行中出现的问题，并对各业务过程的运行进行整体协调。此外，系统运行业务管控还要追求“过程精细”，即通过数字化管控确保流程顺畅和实现降本增效。

3. 从“单向”转向“整合”的生产组织模式

省地业务队伍应具有“业务转型升级”的变革意识，破除各专业各管一段的工作模式。由省地业务牵头做总体业务规划，地调业务明确责任分工并落地实施，在具体的业务工作中找准切入点，解决具体业务问题。管理方式上采用“试点推广”，通过分析调研，明确中台应用范围及适配的业务目标，完成技术平台引入、中台建设方法论宣导，进行试点，梳理标杆，积累经验。业务流程方面持续融合数字化技术，总结出适合业务自身的技术规范，优化组织、提升中台效率。EA

(收稿日期：2021-11-4)