算电协同:夯实南方电网人工智能发展能源基座

■刘育权

算力网与电力网的一体化协同,已从单纯的技术命题上升为关乎国计民生的战略课题。2026年《政府工作报告》将“算电协同”纳入国家新基建工程,是对能源央企在数字经济浪潮中勇挑重担、走在前列的殷切嘱托。南方电网始终胸怀“国之大者”,坚持从党和国家事业发展全局的高度谋划推进工作,紧扣新型能源体系、新型电力系统、新型电网“三个新型”逻辑脉络,在2024年首次提出以“充裕瓦特”支撑“规模比特”、以“高效瓦特”助力“能效比特”、以“清洁瓦特”催生“绿色比特”的算电协同三大发展方向,持续推动协同规划实现“算电同频”、协同建设破解“融合瓶颈”、协同调度追求“综合最优”、协同交易探索“市场创新”。南方电网数字电网研究院股份有限公司(以下简称“南网数研院”)作为南方电网“数智赋能战略支援部队”和“战新产业主力军”,立足新型电力系统建设全局,以“电鸿+AI”充分发挥电网平台连接、整合和赋能的核心价值,为人工智能产业高质量发展筑牢坚实底座,服务“六网”协同建设,助力国家在数字经济时代赢得发展主动权。

观势谋远,深刻把握算电协同的时代大势

放眼全球,算力与能源的深度融合已从技术选项演变为战略必争之地。欧美等发达经济体凭借先发优势,构建了从政策规制到市场机制的严密体系,其经验值得我们深思与借鉴。

一是在政策规制上,数据中心纳入能源战略统筹已成为大国人工智能发展博弈关键。美国加利福尼亚州要求新建数据中心强制申报用电负荷,德克萨斯州明确其在电网调节中的法定义务;欧盟《能源效率指令》和《人工智能法》强制披露PUE(电源使用效率)与WUE(水资源使用效率),设定了针对AI算力的严苛能效门槛,倒逼行业向绿色低碳转型。

二是在技术演进上,算力基础设施的角色正在发生根本性转变。谷歌、微软、亚马逊等科技巨头正推动数据中心从单纯的“耗能单元”向电网的“柔性调节资源”进化。通过普及液冷散热、低功耗芯片及精准温控技术,深度参与虚拟电厂与需求侧响应,这些数据中心已能在电网高峰时段主动削减非核心算力功耗、主动跟随新能源发电功率调节,灵活调节潜力日益凸显。

三是在市场机制上,头部企业正通过商业模式的重构实现降本增效。Meta、亚马逊、谷歌等企业通过直接参与电力批发市场,利用价差优化用能成本;亚马逊推出的“竞价实例合约”将绿电消纳与算力调度深度绑定,让清洁能源的波动性转化为算力服务的经济性。

审视国内,我国正加速构建新型能源体系、新型电力系统、新型电网,三者环环相扣、层层递进,构成建设能源强国的实践体系。新型电网作为核心枢纽,其功能之新在于综合承载——承载算力设施、充电设施、先进制造等新质生产力优质用能、绿色用能;其形态之新在于多网融合——电网与算力网互联互通、资源共建共享。在这一宏大叙事下,算电协同不仅是技术命题,更是新型电网建设的战略性、基础性工程。南方电网深入贯彻落实党中央决策部署,以更高站位、更实举措、更大力度建设安全可靠、绿色低碳、坚强韧性、智能灵活的新型电网,全力支撑能源强国建设,为算电协同提供了坚实的物理底座和制度保障。

直面痛点,精准聚焦算电协同的现实梗阻

当前,我国算电协同推进仍处于爬坡过坎的关键阶段,面临着“算电资源错配、算力运营碎片化、价格机制传导不畅”三道必须跨越的关卡,这也是制约行业高质量发展的核心堵点。

一是资源错配之困,时空矛盾制约效能。我国算力与电力的地理分布呈现显著的逆向特征。东部数字经济高地算力需求井喷,但电力供应趋紧且成本高企;西部“风光”资源富集绿电充裕,但本地算力消纳能力有限。加之新能源出力的强随机性、间歇性与算力基建长周期、高确定性之间的错配,导致“西电东送”与“东数西算”难以无缝衔接,造成绿电浪费与算力闲置的双重损失。

二是运营模式之弊,碎片建设难成合力。国内建设长期呈现“诸侯割据”的碎片化模式,基础电信运营商、第三方IDC服务商、互联网企业各自为政,缺乏国家级的统筹调度与协同机制。在供配电架构上,绝大多数数据中心沿用传统的N+1或2N冗余配置,依赖高耗能、低利用率的自备柴发,与储能系统、电网调节资源严重割裂,导致巨额基建投资无法转化为实际的保供能力。

三是市场机制之障,价格信号传导失灵。电力市场与算力市场的割裂使算力用户难以获得有效的市场机制驱动,成为当前深度融合的最大阻碍。在现行输配电价机制下,电价信号难以穿透传导至终端算力主体,无法通过价格杠杆引导算力负荷错峰调节、绿电优先消纳。从价值转化来看,电力、算力、碳市场三者尚未建立互联互通的交易通道和价值核算体系,绿电、碳减排、算力调度的协同增值效益无法量化和流转,万亿级电碳算一体化协同的产业潜力难以充分释放。

实干笃行,全面推进算电协同的南网实践

针对上述行业痛点,南方电网以顶层设计优化资源错配困局、以创新平台打造协同运营生态、以核心技术夯实绿色转型能力、以数字底座筑牢自主技术根基,系统推进算电协同未来产业发展。

一是强化顶层设计,以“一盘棋”思维破解资源错配。坚持布局之新在于全域统筹、结构之新在于多级协同,布局贵安等三大核心网级节点,在南方五省区灵活部署近200个边缘节点,构建跨区域、多层次、低时延的算力高速直连网络,实现算力资源与能源禀赋的精准匹配。同时,因地制宜探索“多站合一”新型电网数字基础设施综合体等创新模式,将变电站空间资源与数据中心、分布式新能源、储能设施、充电设施融合建设,释放存量电网资产价值,有效解决了“东数西算”过程中的供需错位与网络时延问题,真正做到了“让数据多跑路,让绿电少损耗”。

二是深耕平台创新,以“一张网”理念补齐运营短板。南方电网自主研发国内首个电碳算协同运营平台,实现电、碳、算多维数据贯通与业务协同。该平台构建了类似“算力淘宝”的智能优化匹配机制,基于电价信号、绿电比例、算力性能自动为算力用户匹配最优节点,绿电消纳响应速度达到分钟级。例如,2025年7月,苏州某用户启动YOLOv5目标检测模型训练任务,平台实时比对东部与西部节点电价、绿电占比及网络时延后,智能推荐将任务迁移至贵安南方能源大数据中心。该任务连续运行108小时,整体算力成本降低10%,同时消纳贵州本地绿电113.4千瓦时,实现“降成本”与“消绿电”双赢。这一案例验证了“以电贯通算”的可行性——算力负荷成为电网灵活调节资源,电力信号真正进入了算力调度的决策函数。平台不仅打通了电力市场与算力市场的信息壁垒,更探索了绿电消纳与算力调度深度绑定的市场创新模式,让清洁能源的波动性转化为算力服务的经济性,全面释放算网—电网融合价值。

三是聚焦核心技术,以“一股劲”定力推动绿色转型。技术是算电协同的底层支撑。针对高能耗、高散热的痛点,集中攻关高压直流供电(HVDC)等新型供配电架构,打破传统供电模式的瓶颈,显著提升供电效率与可靠性。在制冷方面,规模化推广浸没式液冷等成熟节能技术,部分数据中心PUE值已逼近1.1的行业极限。在前沿布局上,聚焦低功耗算力芯片、存算一体、光计算等前沿技术研发,从源头压降算力能耗,培育绿色算力产业;同时,推动人工智能在电网新能源功率预测、电碳算映射模型、电算协同交易决策等核心场景深度应用,驱动人工智能与能源电力产业双向赋能,以数智化融合激发智能灵活效能。

四是夯实数字底座,以“电鸿+AI”体系筑牢自主根基。破解算电协同现实梗阻,既要有顶层布局与业务平台,更离不开自主可控的底层数字技术作为支撑。南网数研院打造国内首个电力统一物联操作系统“电鸿”、国内首个自主可控电力大模型“大瓦特”,以“电鸿+AI”搭建开放包容的电力数字生态。“电鸿”夯实感知底座,开放原子电力行业开源社区作为首个基于开源操作系统的电力行业全产业链开源应用社区,已适配600余家伙伴、2500余款终端,完成电力全要素标准化接入与全域互联,为算力—电力负荷可观可测、参与需求响应提供感知能力。“大瓦特”锻造决策大脑,深度耦合电力物理机理与AI算法,可在新能源功率预测、电碳算映射等关键场景开展智能决策,超200亿次调用量充分验证行业大模型工程化落地能力,为跨区域算力调度、电碳算价值流转提供智能算法支撑,夯实算电协同落地实践的自主可控技术根基。

算电协同是数字经济与绿色能源深度融合的必然选择,从海外先行经验到国内发展实际,算电协同的推进之路仍需多方聚力、协同破局。南网数研院将始终牢记“人民电业为人民”的企业宗旨,持续联动产业链上下游、各经营主体携手攻坚,破解资源、机制、协同等现实难题,聚焦多网特性、对接融合需求,深入挖掘“六网”交叉领域场景,拓展培育电碳算协同、车网互动等新业态新场景新服务,构建多层次、立体化的“能源+基础设施”生态体系,全面打造AI驱动、云边端贯通、软硬服协同的世界一流专业领军企业,把电力保障优势转化为算力产业竞争优势,推动算力绿色高效发展、电力系统平稳运行,以“电鸿+AI”为底座,推动“六网”协同发展取得新成效,为数字中国建设和新型能源体系构建注入源源不断的坚实动能。

(作者系南方电网数字电网研究院股份有限公司董事长、党委书记)

“十五五”时期电网侧战略性新兴业务发展重点探析

■苗中泉

随着我国电力体制机制改革的不断深入,围绕电网运行、稳定、交易等场景,正快速发展出一批不同于传统输变电业务的电网侧战略性新兴业务。其中既有基于新兴技术而发展起来的全新业务,也有基于新的制度设计、交易机制衍生出来的新业态、新模式。“十五五”时期,电网侧维持安全稳定运行的若干内部工具,有望逐渐发展演变为各类经营主体可以依法依规独立投资、市场计价、充分参与的高技术服务业务,拉动我国电网侧市场从传统的以装备制造、工程建设为主,向更具创新活跃度和产业附加值的电力技术服务业拓展升级。



嵌入行业大模型的电力工业智能软件研发及服务

“AI+能源”正加速催生一个具有相当规模的智能电力技术市场。行业内已出现千亿级参数规模的多模态电力大模型,应用场景覆盖电网规划、运维、调度、客户服务等多个环节。就电网而言,AI深度融入,就是要将电力专业知识、运行机理和调度逻辑与大模型能力深度耦合,重构电网规划、运行、检修、交易等全环节工具体系。嵌入AI的新一代电网工业软件,能够通过持续学习海量历史运行数据和实时工况信息,动态优化决策逻辑,充分满足融合图像、时序、结构化数据的复杂场景分析和快速决策支撑需要,推动长久以来的智能电网建设从单点堆叠信息化、数字化工具,升级为全系统、全链条的智能化重构。

“十五五”时期,这一业务的发展重点将集中在两大方面。一是针对更多应用场景而创新研发的智能化设备。包括设备缺陷识别、负荷预测、故障诊断、检修计划优化、客服方言识别等。二是电力调度、电网仿真、电力芯片等核心领域的工业软件系统的国产化替代,这关乎电网关键基础设施安全可控的大局。

尽管发展前景广阔,但总的来看也会受到三个方面因素的制约。一是数据质量问题。电力电网行业专业数据质量参差不齐、跨系统数据壁垒尚未完全打通,直接影响模型训练效果。二是复杂场景下的相关技术成熟度问题。多模态融合分析、大小模型协同决策等更贴近电网核心运行需求的技术路径,仍需通过更大规模、更长周期的工程和运行实践充分验证其可靠性。三是高安全场景中的责任边界模糊问题。电网调度、故障处置等核心决策环节直接关系到电力系统安全,稍有不慎就会触发大面积停电风险。如何在安全、智能、效率等方面找到平衡点,决定着AI在电网系统中的应用上限。

关键器件、装备的创新突破与规模化制造

一是电网系统的核心电力电子元器件国产化。我国高压IGBT/IGCT、特高压换流变有载调压开关、直流穿墙套管、继电保护高端控制芯片等核心器件正在加速推进国产替代,并实现规模化挂网应用。面向新能源发电和直流电网应用需求研发的新一代大功率半导体器件,已实现多型号产品覆盖,具备黑启动功能及本征安全的抗爆和失效短路特性。

但核心电力电子元器件的国产替代短期内恐难实现全面性突破。其一,工程验证周期极长,往往要通过多个项目、历经数年甚至数十年海量工程运行数据的持续验证,才有望开始首次批量列装。行业标准化测试认证体系和多场景示范应用机制仍在持续完善之中。其二,器件功能专用性强,受下游构网型装备等设备的市场化需求影响明显。其三,制造关键元器件的基础材料,如高纯度硅基材料、宽禁带半导体材料等,存在较为明显的对外依赖。国内供应数量和质量较难满足需求。

二是构网型高端装备制造与规模化应用。随着新能源大幅接入,电网的系统强度趋于下降,受到短路故障、负荷突变等扰动时维持电压和频率稳定的能力持续萎缩。传统跟网型设备通过锁相环等技术锁定电网运行基准,然后被动跟随这一基准输出电流。随着电网波动增大,跟网型设备难以维持预期运行状态,反而加剧电网的“脆弱”程度。而构网型设备则能够主动建立并输出稳定的电压和频率信号,实现自同步运行和孤立组网运行。目前,我国正在加快攻坚构网型核心控制技术,逐步实现构网型储能、有源滤波器、风电光伏变流器等创新突破,部分设备已在西藏、成都电网系统中得到规模化应用。面向“十五五”,构网型装备将加速向兼具惯量支撑、谐波治理、黑启动等能力的综合智慧型装备发展,为构建新型电力系统和新型电网奠定坚实基础。

推动构网型设备的发展,还需做好三个方面的探索。一是健全相关技术标准体系。特别是稳定性评估方法、并网测试规范、多装备协同控制准则等关键标准,需政府、电网企业和设备制造商多方合力、协同建设。二是优化装备的经济性。目前建设和运维成本普遍偏高,有赖持续的技术迭代和产业发展以更快接近经济性拐点。三是加快突破相关技术机理研究。特别是多台构网型装备之间、构网型装备与既有跟网型装备之间相互作用引发的宽频振荡等风险机理,以及有效的防控技术,仍有待深入研究。

以虚拟电厂为主的新型电力交易服务

虚拟电厂是一种具有新质生产力属性、主要以轻资产运营的电力组织和商业模式,其运用现代信息通信、系统集成控制等技术,将分散在不同地理位置、不同产权主体之下的存量需求侧资源,整合为可参与系统平衡、削峰填谷和市场交易的独立主体,实现对分布式电源、可调节负荷、储能等分散资源的实时聚合、动态调度和精准出清。

在新型电力系统中,虚拟电厂将有助于缓解高比例新能源接入后电力系统灵活性调节能力持续吃紧的问题,也将有效推动电力系统从需求侧单方面被动接受供能的体系,转变为供需充分协同、更加灵活智能的新型体系。发展虚拟电厂并不新增物理电网资产,有助于克服清洁能源转型进程中业已在其他国家和地区出现的“电网陷阱”问题。

当前,我国虚拟电厂业务已经从政策试点阶段,进入规模化推进阶段,相关部门已经明确提出到2030年虚拟电厂的系统调节能力达到5000万千瓦以上。深圳等地的前期试点实践也提供了非常有益的发展样本。“十五五”时期,虚拟电厂有望成为深度嵌入电力现货市场和辅助服务市场的常态化交易主体,市场业务规模有望达到千亿元级。

但这一新兴业务仍存在一些不确定性因素。其一,行业标准体系尚不健全。尤其在建设管理、并网调控和交易管理等环节,尚未形成完整统一的国家标准,不利于相关项目的跨区互认和标准化推广。其二,相关市场机制仍待完善。虚拟电厂参与电力现货市场、辅助服务市场的准入规则、结算方式和风险分担机制尚不明确,需要与全国统一电力市场体系建设同步推进和细化。其三,关键聚合技术的可靠性仍有待提升。如何确保聚合资源在参与电网调度指令时具备足够的响应精度和执行力,避免因个别资源节点响应失效而影响整体调节效果,甚至危及电网安全,是影响其大规模发展的一大技术难题。

以零碳园区建设运维为重点的综合能源服务

零碳园区是通过规划设计、技术创新、管理优化等综合手段,实现园区内生产生活二氧化碳排放趋近于零,且具备净零碳排放支撑能力的特定区域。与虚拟电厂单纯聚焦电力系统内部的调节交易不同,零碳园区综合能源服务着眼于电力、热力、燃气等多种能源品类,基于各能源的比较优势,以降低碳排放为目标,重新规划设计、建设运维园区级能源系统,并将其与碳排放核算、绿证、碳交易等新兴能源市场机制充分融合,形成跨越能源和产业双重边界的综合性服务业态,助力提升园区和产业的绿色竞争力。对园区内的企业,特别是出口导向型企业而言,零碳园区有助于其应对欧盟碳边境调节机制等国际绿色贸易规则,大幅降低产品碳足迹、增强市场竞争力。

“十五五”时期,零碳园区建设将从局部试点进一步扩展为规模化建设。国家已经明确将高标准建设100个左右的国家级零碳园区和500个左右的零碳工厂。零碳园区的发展,将刺激碳计量、碳资产管理、绿证交易等市场化业务的发展,并带动和吸引一批多元化经营主体加速进入综合能源服务市场。

目前制约这一业务大规模发展的因素主要有三点。一是跨部门协同机制和责任分工需进一步理顺。特别是要理顺工信部门和能源部门两条主线的各自角色作用,避免出现职责交叉或政策空白。二是零碳园区碳足迹管理体系与产品碳足迹核算认证制度存在紧密关联,如何确保二者标准口径统一、避免企业重复认证推高成本,还需不断探索。三是商业模式仍待市场检验。尚未找到一条不依赖前期大规模基础设施建设和高额政策性补贴的市场化可持续运营之路。

(作者系山东大学国际问题研究院副教授)