

编者按

随着人工智能时代的加速到来,算力与电力深度协同、相互赋能成为大势所趋与现实所需。从能源角度看,在智能经济新形态爆发的背景下,如何以更高质量的电力支撑算力,助推我国进一步引领全球绿色化、智能化转型,成为行业关注的焦点。

绿色算力赋能Token出海的挑战与路径

■魏亿钢 金海涛

今年的政府工作报告明确提出“实施超大规模智算集群、算电协同等新基建工程”。这是“算电协同”首次写入政府工作报告,标志着其已成为打造智能经济新形态的重要国家战略方向。算电协同是通过技术创新与机制优化,实现算力资源与电力资源动态匹配、智能调度和高效协同,核心在于打破算力与电力的行业壁垒,推动两大关键基础设施协同优化。

DeepSeek、豆包、通义千问、ChatGPT、Gemini、Claude等大模型快速迭代,OpenClaw、WorkBuddy等智能体迅速兴起,带动全球Token(词元)消耗量指数级增长,虽然国内外模型厂商调整了Token价格,但算力的能耗与成本压力仍在持续放大。英伟达CEO黄仁勋在2026年3月英伟达GTC开发者大会上提出“每瓦词元数”这一衡量AI时代经济效率的核心指标,由此引发中国如何成为“世界Token工厂”并实现“Token出海”的讨论。中国西部低成本绿色电力,能否通过Token跨境交付转化为面向全球的数字服务收益?

中国Token出海的现实优势

东数西算打造绿色算力,算电协同形成成本优势。中国自2021年布局,2022年全面启动东数西算工程,在内蒙古、甘肃、宁夏、贵州等西部能源枢纽建设大量算力中心。这些地区拥有低成本风光绿电,截至2026年初,国家算力枢纽节点新建智算中心绿电占比已多数超过80%,相当于为中国出口Token附加了“绿色身份证”。随着算电协同深入推进,算力中心可通过“柔性负荷”技术,以虚拟电厂模式参与电网削峰填谷,进一步降低用电成本;再借助跨区域高速算力网络,将西部低成本“瓦特”高效转化为东部及海外接口所需的“比特”。在PUE(电能利用效

率)等指标持续优化的基础上,中国智算中心正在形成较低的单Token生产成本,这也是中国模型能够在OpenRouter等平台保持较高调用量的重要原因。

工业数据提升Token质量,行业积累缩短研发周期。中国拥有较完整的工业体系,“东数西算”节点中也部署了大量工业大模型。与纯算法厂商相比,这些模型在供应链管理、智能制造参数、复杂物流调度等领域的输出更贴近产业场景。过去几十年积累的工业数据可以嵌入模型底层,从而缩短客户产品开发周期,提高Token的实用价值。同时,集群效应能够在一定程度上弥补单卡算力不足。中国模型厂商通过集群架构和算法优化保持动态追赶,虽然在顶尖GPU方面仍存在差距,但在商业化落地和推理成本优化上已具备一定竞争力。

电网技术支撑价值转化,基础设施形成规模效应。中国特高压电网技术处于全球领先地位,支撑大规模电网建设。通过特高压直流输电线路,西部丰富的风光绿电可以低损耗送往“东数西算”枢纽节点。更重要的是,中国电力基建与算力基建的协同速度,是Token出海的重要支撑。依托成熟工业供应链,中国同类基建建设周期明显短于北美和欧洲,能够更好满足AI快速迭代需求。从特高压变压器、液冷散热设备到供配电系统设备,中国已形成相对完整的产业链,能够降低关键电力设备短缺对项目建设的

中国Token出海面临三大挑战

一是跨境数据流动触发安全红线,地缘政治风险外溢。海外用户调用中国大模型时,数据需先从所在国出境,模型结果再从中国出境,用户所在国和中国都会对数据跨境流动提出严格要求,合规成本较高。随着欧盟《AI法案》、美国《远程访问安全法案》的推进实施,无论是本国用户调用中国API,还是

中方实体通过云服务访问海外尖端芯片,都可能受到限制,Token出海贸易存在被纳入技术管制范围的风险。此外,跨境内容涉及不同国家的审查标准和价值判断,若模型处理不当,容易导致输出质量下降、用户体验受损,并进一步推高模型合规对齐成本。

二是物理距离带来跨境时延,风光波动造成供需矛盾。通过光纤从中国内地传输数据到欧洲或美洲,往返时延通常为150ms—300ms,对实时交互、金融交易、工业控制等场景而言难以接受。与此同时,风电、光伏发电具有随机性和波动性,而数据中心对供电可靠性要求较高,通常需要达到99.99%的水平。因此,如何通过源网荷储深度耦合,在保障供电可靠性的同时保持较高绿电占比,是绿色算力出海必须解决的问题。当前面向海外客户时,中国模型开发商仍更倾向于将算力部署在海外,这本质上是“模型出海”,而不是“Token出海”,难以充分发挥中国西部绿电的成本优势。

三是软硬件仍有短板,标准缺失影响行业话语权。我国在高端芯片制造方面仍受外部限制,在配套的软件生态与算力调度能力方面也有待成熟。AIDC(人工智能数据中心)建设在散热、供电、空间利用等方面仍面临标准不足、建设周期较长等问题,亟需形成适配AI算力需求且适度超前的建设标准。若硬件、软件和数据中心标准长期处于跟随状态,我国在Token出海中的定价权和规则制定权也会受到影响,Token市场可能出现“增产不增收”的问题。

如何让全球客户为中国Token买单

其一,坚持标准与合规,构建数字贸易框架。推动Token出海,首先要坚持透明、合规的治理方向,深入研究主要国家和地区在人工智能治理、数据安全、隐私保护等方面的法律框架,为企业跨境服务提供合规指引和风险预防。其次,应探索确立AI时代智算服务

的标准化计价单位,推动Token成为类似“数字千瓦时”的基础计量方式,促进数据资源转化为驱动智能经济和科技创新的生产要素。再次,要构建可信的数字贸易框架,建立公平、透明的跨境计费与结算体系,为全球智算服务贸易提供可持续商业模式。

其二,持续推进算电协同,深化能源红利。应继续推动“东数西算”与西部绿电深度耦合,把能源领域的低成本电力优势转化为数字领域的Token成本优势。可探索推广“绿电Token认证”,基于区块链等技术建立碳溯源机制,为Token提供绿色认证,吸引对ESG有较高要求的海外政府和企业客户。同时,可以研究建设“离岸算力特区”,借鉴自贸区“境内关外”模式,建设面向海外API调用的专属智算中心,利用离岸数据中心政策提供更具竞争力的智算服务。

其三,瞄准非敏感市场,推进全场景渗透。在市场选择上,应优先布局东南亚、中东、拉美、非洲等对性价比敏感且与中国基础设施合作紧密的地区,提供从算力基建到模型接口的“交钥匙”方案,为全球南方国家提供更多选择。在出海方式上,可以利用中国手机、家电、智能汽车等硬件出海规模,将大模型应用预装在设备中,形成“硬件—软件—Token”的捆绑出海模式。在应用场景上,应继续发挥完整产业链和工业制造数据优势,拓展智能制造、供应链、物流调度、能源管理等AI应用场景,在未来智能体市场中占据有利位置。

算力的背后是电力,Token出海的本质是在发展智能经济生态的同时推动电力价值外溢。在全球进入AI时代的背景下,中国应立足电力系统和基础设施优势,正视高端芯片、软硬件生态和跨境合规方面的短板,持续深化国际数据合作,建立数据互信,构建可持续的数字经济贸易框架,推动绿色电力优势转化为面向全球的智算服务能力。

(魏亿钢系北京航空航天大学副教授;金海涛系北京鼎澳能源科技有限公司零碳能源BU一场景拓展经理)

取自然资源之能 筑算电协同之基

■于雪桐

自2024年以来,“人工智能+”被三次写入政府工作报告,2026年更是提出“打造智能经济新形态”全新概念。一系列政策部署表明,智能经济将作为继农业经济、工业经济、数字经济之后的新型经济形态,推动经济高质量发展。算力作为其中重要元素,已成为新的电力负荷中心,直接冲击新型电力系统的电网承载力、绿电供给稳定性、储能配置协同性和整体安全性。2025年全球数据中心用电量约4850亿千瓦时,同比增长17%,占全球用电量的1.5%;我国同期数据中心用电量达1960亿千瓦时,同比增长18.1%,占全社会用电量的1.9%。算力与电力已不再是简单的供需关系,而是时空深度耦合的共生关系。2026年4月,国家发展改革委等部门联合印发的《关于促进人工智能与能源双向赋能的行动方案》提出,“提高算力设施多元电力供给能力”。我国幅员辽阔,拥有差异化、高品质的自然资源禀赋,应类比践行大食物观构建多元化食物供给体系的实践,盘活海、陆、空各类优质资源,拓宽算电协同多源融合模式。

“守陆”固本 筑牢陆地绿色算力主阵地

陆地是算电协同布局的主体,广袤的荒漠、草原、森林、河谷等生态空间,以及丰富的光能、风能、冷能等气候资源,构成了算电协同最坚实的基本盘。通过推动陆地多元自然资源与算电设施深度耦合,能够最大化盘活国土空间与气候资源优势,促进算力网与电力网“双网共生”,进而稳固我国“东数西算”格局,为数字化绿色化协同转型发展提供坚实的陆地支撑。

取荒漠风光之能,建集中式算力枢纽。荒漠主要分布在我国新疆、青海、甘肃、内蒙古等西北地区,这些地区地势开阔,风光资源充裕,可作为关键能源供给地,服务超大规模算力中心“就地发电、就地计算”。例如,2026年5月,荒漠上建成我国首个大规模算电协同绿电直供项目——中国大唐中卫云基地50万千瓦光伏电站,度电成本降至0.36元/千瓦时。同时,荒漠也是亟需治理修复的生态脆弱区,可通过“板上发电、板下修复”方式,将“不毛之地”变为绿色算力新“油田”,实现生态与经济效益共赢。

取草原收光之能,探分散式零碳模式。草原主要分布在我国北方,这些地区年均气温偏低、空气相对干燥,为数据中心提供了天然散热条件。例如,为在乌兰察布布局自研AeroTurbo风机和IceCube高分子换热芯,最大化利用自然冷源以提升制冷效率,

已成功将PUE(电能利用效率)降至1.15、WUE(水资源利用率)降至0.6升/千瓦时。同时,依托“牧光互补”“草光互补”发展模式,既可保障草原植被生长、牛羊放牧等需求,又能利用牲畜粪污制取生物天然气供算力中心调峰发电。

取寒区冷源之能,提算力能效红利。我国严寒地区和寒冷地区,可作为大数据产业集聚区。比如地处发展云计算“黄金纬度”(40—41度)的张家口张北县,年平均气温仅3.2℃,可为数据中心运营节约46%以上的降温成本。再如宁夏中卫的西部云基地数据中心,可帮助入驻企业仅采用间接蒸发冷却技术,就能维持适宜温度,使PUE值低至1.1。这些“冷资源”是陆地气候资源的隐形红利,应配合“东数西算”战略,布局非实时后台算力,实现向“热经济”转化。

取河谷水力之能,拓水电算力新径。山地河谷水源充沛、气候湿润,水电在调节、发电、启动等方面表现较为稳定,是支撑我国算力中心高可靠性供电的理想电源。比如在川西高原,可利用金沙江、雅砻江、大渡河等流域现有水电站,就近配套建设零碳算力园区,实现“水丰多算、水枯少算”柔性匹配。再如贵州依托河谷地质、水源优势,以及创新建立的“算力—电力映射模型”和算力电价动态调节机制,一跃成为全国智算能力最强、智算资源最多的地区之一。

取森林湿地之智,以算护绿、破汇养算。森林、湿地环境承载力相对偏弱,不宜部署大型算力设施。一方面,可通过在林缘、林隙地部署小型边缘算力节点,利用“林光互补”自供电,实现森林防火预警、生物多样性监测、盗伐识别、破汇核算等智慧管护。湿地经验相对成熟,比如广州海珠“智慧湿地”、南沙湿地“AI生态卫士”,利用AI实时监测候鸟、水质和植被。另一方面,可通过购买经核证的森林和湿地破汇抵消部分运营碳排放,实现“破汇养算”,助力算电领域实现碳中和。

“上天”拓域 开辟天空绿色算力新空域

太空空域拥有全天候、高强度、无遮挡的优质太阳能资源,可不受地面昼夜交替、天气变化、土地资源等限制,是目前算电协同最具前瞻性、战略性的场景之一。通过同步布局大型空间太阳能电站等新型绿电设施和算力卫星星座等新型算力节点,辅以空间级高效能芯片与无线接收技术,组建全域覆盖的太空算力网,能够助力算力电力突围物理疆域的极限,促进智能经济新形态加速崛起。

取太空光伏之能,获全天候绿电。距地3.6万公里的地球同步轨道,拥有地面8—10倍的太阳能密度,除春分、秋分前后6周会有短暂进入地球阴影时段(每日不超72分钟)外,可近乎视为连续24小时不

间断接收太阳辐射。在此高度部署太阳能电站,不仅能免受云层、阴雨影响,还可以通过微波或激光将电能传输至地面接收站,为地面或天基算力设施提供稳定的基荷电力。2026年5月,我国“逐日工程”成功突破多项关键核心技术,为太空筑起“无线电站”奠定了重要基础。预计未来,伴随商业航空日渐成熟、发射成本下降,太空光伏有望成为算电协同的重要战略备份电源。

取宇宙冷源之能,组太空算力网。与地面传统高性能芯片(CPU/GPU)散热温度跨度不同,太空可提供稳定的冷源和广阔的散热面积,帮助超导量子计算或高性能超导逻辑芯片从工作温度冷却到毫开尔文级别。因此,从理论看,若仅考虑计算负载的散热需求,通过利用大型辐射器将热量以红外形式辐射至深空,太空数据中心可实现趋近于1的PUE值。而在太空构建全球泛在的算力网络,不仅可以打破传统“卫星采集数据—地面处理分析”的模式局限,实现“天数天算”,还能进一步延伸至地面算力任务上星执行的“地数天算”模式,以及将太空作为大规模主算力载体的“天基主算”模式。目前全球正经历从概念验证走向工程组网的过渡期,正迈向规模化部署与商业化运营的关键跨越阶段,已初步形成中美领跑、欧洲紧跟、日本印度探索的竞争格局,呈现出技术快速迭代、布局加速推进、竞争日趋激烈等特征。我国应抢抓机遇,加快突破运力成本瓶颈,构建天地一体算力网,推动星载智能计算攻关。

“下海”深耕 挖掘海洋气候资源新势能

海洋覆盖地球表面71%,蕴藏着风能、潮汐能(含潮差能和潮流能)、波浪能、温差能、盐差能等多重自然资源。东部沿海地区多为数据产出和算力需求大户,但土地资源紧张、能耗指标受限、绿电资源匮乏等因素影响了当地智能经济高质量发展的步伐。需以科技创新为引领,多源多途径利用海洋自然资源开发绿电,将算力设施向海延伸,进而实现数据传输速度与计算效率“双提升”。

取上海海底之能,打通“算电一体”绿色实践。陆地风易受到地形、建筑物、树木等阻挡和摩擦,而海上风稳定性较好,湍流强度低,对风机的疲劳载荷更小。目前我国近海海域的海上风电,年利用小时数能轻松达到3000—4000小时,部分优质海域可超4500小时,是陆上风电的1.5—2倍,同样装机容量的海上风电机组,发电量可较陆上风机超出50%以上,效率远超陆上风电。将算力中心布局于沿海滩涂,并通过光电复合电缆实现“零距离”接入,可大幅降低远距离输电损耗,例如,上海临港全球首个“海风

直连”海底数据中心已实现投运。同时,海洋是自然冷源,属于“无动力”被动散热,将服务器密封于充有惰性气体的压力容器,沉放于近海水下,即可利用海水自然对流散热,使PUE值降至1.08。未来,可在长三角、粤港澳、环渤海等算力需求双高的区域,建设“海上能源岛+海底算力舱”融合项目,打造出一条蓝色算力走廊。

以海水为主燃料,建成可控核聚变“人造太阳”。海水可提供氘作为可控核聚变燃料。全球海洋氘储量丰富,提取技术相对成熟,使得获取原料成本较低,同时,相比传统化石能源,氘的能量密度极高。目前,由中国科学院合肥物质科学研究院完成的全超导托卡马克核聚变实验装置(EAST),已成功实现1亿摄氏度等离子体稳态长脉冲约束运行1066秒,成都新一代人造太阳“中国环流三号”则成功实现原子核温度1.17亿度、电子温度1.6亿度的“双亿度”运行。面向海洋场景,“海水取氘+海上聚变堆+深海算力网”的融合路径逐步清晰:通过海上平台或浮动式聚变装置直接从海水中提取氘,依托磁约束托卡马克装置实现稳态聚变发电,为深海数据中心、海洋油气开发、深海探测设备等提供高能量密度、全天候、零碳排放的基荷电力。

“多源”并进 算电协同赋能智能经济新形态

算力与电力是维系智能经济运转的两大关键基础设施,不仅要维系其系统安全性,还要依靠科技创新,不断拓展其物理边界,实现供给的可持续性。面向未来,须以系统思维统筹谋划,以制度创新畅通协同堵点,形成“依托自然、电力充裕、算力自给、适度出海、科技支撑”的算电协同新准则,让每一寸生态空间、每一度陆上冷源、每一方河谷水能、每一束天基阳光、每一缕海上清风,都可转化为推动算力高质量发展的不竭动力。

一是规划协同。将太空轨道资源、海洋资源、陆上气候与生态资源纳入全国算电协同新型基础设施统一布局选址图谱,结合智能经济内涵要求,形成“空地地海”一体化适宜性评估体系。

二是市场协同。完善绿电直供、隔墙售电、分布式交易等机制,允许太空光伏、海上风电等绿电权益在算力消费端灵活交易;建立跨区域破汇抵扣机制,使草原、森林、湿地破汇直接服务于算力中心。

三是标准协同。统筹制定荒漠、草原、河谷、森林、太空、海洋等多维场景下绿电开发、电力并网、算力建设、能耗核算、安全运维、生态保护的通用基础标准与细分专项标准,以标准化引领多源算电协同规范化、规模化、高质量发展。

(作者供职于山东省宏观经济研究院)