

太空资源赋予能源更多可能

——访中国矿业大学(北京)校长刘波

■本报记者 杨沐岩

随着“十五五”规划纲要正式发布,16个“强国”建设目标成为亮点。其中,相较“十四五”规划纲要新增的建设能源强国、航天强国都关乎高水平科技自立自强、国家安全与高质量发展。

能源与航天两个领域早有交集。光伏电池、高能燃料已是卫星、探测器和火箭重要的能量来源,航天事业的发展也有望牵引新能源、高端制造、新材料等领域突破。今年初,太空资源开发、太空光伏引发关注,一幅通向未来的蓝图正在绘就,地外资源不仅有望促进地球的绿色能源发展,同时也可以保障人类向深空探索的能源自给。

在奔向“星辰大海”的征途上,能源开发与深空探索两个领域的发展如何相互促进?我国对此有怎样的布局和优势?相关技术如何循序渐进,让太空资源开发的科幻构想一步步走进现实?带着这些问题,《中国能源报》记者近日采访了中国矿业大学(北京)校长刘波。

■ 茫茫太空,蕴藏哪些资源?

太空资源多种多样,地外天体的矿产资源尤其引人瞩目。

在离地球最近的月球,氦-3储量丰富,是地球上难以寻得的清洁核聚变原料。而在近地小行星、火星及更远的深空天体中,还蕴藏着储量丰富的稀有金属、水冰等资源。

“如果能够通过太空采矿技术获取这些资源,可以为电解水制氢、制氧、储能电池等技术提供关键材料,可降低相关产业的

材料成本。例如,在火星和木星之间的灵神星,它富含铁、镍及贵金属,价值巨大。”刘波说。

稀有金属、能源矿产与能源发展息息相关,太空中的钍、铀、硅铝钛矿物等资源丰富,在核能、光伏和储能电池等领域应用潜力大。在推动绿色能源发展的同时,太空资源也能解决人类向“深空进军”的难题。

探测研究表明,月球两极水冰资源丰富,嫦娥七号将奔赴月球南极寻找水冰。这种资源不仅能保障月球基地的用水,水制得的氧和氢,也是保障人类生存的资源和火箭推进的原料。而在火星,大气中高浓度的二氧化碳经技术转化后,可生产甲烷燃料和氧气,为载人任务提供生命保障,显著降低地球补给依赖。刘波表示:“这些资源共同支撑深空能源自给体系,是未来太空能源开发的重要方向。”

太空资源不仅限于矿产。例如,地外没有大气遮挡,光照辐射强,光伏开发潜力大。埃隆·马斯克近期提出在月球建设数据中心的构想,并为此走访多家中国光伏企业。除了光照资源,大型天体也具有引力场,用引力做“弹弓”,可在不消耗航天器自身燃料的情况下,改变航天器速度和方向,让宇宙航行更节能。另外,地外的高真空、低重力、强辐射等特殊环境也是开展科学研究重要场景。

■ 尖端技术,带动能源装备进步

太空资源不仅是拓展地球能源资源供

给的重要路径,也是能源技术装备进步的重要推动力。通过月球钍铀、碳质小行星水冰等资源开发,有望为地球能源转型提供新选项。

刘波指出:“航天领域自主导航、智能决策等技术向地球矿业领域的转化,将有助于推动矿区实现无人化与绿色低碳开发利用,实现矿区智能化升级。”

此外,从地球到地外天体的运输成本高昂,要保障用能,必须将地外天体上的物质资源就地提取、转化、存储与利用。刘波表示:“太空原位资源利用环境严苛,对无水选矿、真空冶金、生物采矿等矿冶技术及高端装备制造提出新的要求,有望带动相关技术进步。”

太空资源开发带来的启发不仅在采矿方面,也为新能源发展创造了新场景,指明了新方向。

近年来,已有不少国内光伏企业布局太空光伏。现阶段太空光伏市场虽然有限,但光伏电池早已是卫星和空间站的重要电力来源,在短期内难以被替代。当前空间太阳能发电系统仍面临技术、工程制造挑战,太空资源开发技术的突破将显著带动光伏、储能与机械制造等配套产业发展,让能源装备在极端环境应用效果更好。

在光伏领域,深空探测任务的需求会促进高转换效率电池、抗辐射材料及基于原位资源利用太空制造技术发展。在储能领域,为应对月球等星体的极端环境,太空采矿将加速再生电池等前沿技术的可靠性与商业化进程。而在机械制造领域,微重



■ 系统布局,让科幻构想照进现实

有分析指出,商业航天、太空光伏的讨论火热,也伴随一定的商业风险。航天事业是全局性事业,太空资源开发在一些领域仍处于探索阶段,不能盲目乐观。

对此,刘波坦言:“当前,太空采矿仍处于从理论构想到技术验证的阶段,相关研究正加速推进。作为一项长期且复杂的系统工程,其实施面临多重挑战,例如特殊环境下的技术难题、通信延迟、能源供应和太空物流运输等问题。”

当前,围绕太空资源开发,我国已构建

从国家战略指引到产学研协同推进的系统化布局。刘波指出:“完备的航天产业链,新型举国体制的保障,是我国太空资源开发技术不断推进的关键优势。尤其在无人深空探测领域,嫦娥工程实现的月背软着陆、无人自主采样返回及月球轨道交会对接技术,均达到世界领先水平,成为我国建设航天强国、科技强国的标志性成果。”

同时,产学研协同推进,也让太空资源开发加速从科幻走进现实。在中国矿业大学(北京),月壤建材制备及关键元素分离富集研究不断推进,月球智能矿场的构想已经形成。中国科学院大学成立星际航行学院,涵盖航空宇航科学与技术、行星科学等方向。华中科技大学相关团队研发的烧蚀模拟月壤砖已运送至中国空间站开展太空暴露试验。

“十五五”规划纲要提出,论证实施行星探测工程二期、近地小行星防御工程、太阳系边际探测工程。研制可重复使用重型运载火箭。论证建设国际月球科研站,实施月球探测工程。

中国航天科技集团已启动“天工开物”太空资源专项,计划在“十五五”时期推进工程化应用,推动深空资源利用从科研探索向应用落地跨越。

刘波指出,“十五五”时期是我国太空资源开发进一步发展的关键时期,将集中突破地外资源勘查、智能自主开采、原位利用与智能建造等关键技术。“未来,我国将持续强化深空探测能力,逐步实现从月球及其他行星矿物采样返回向深空资源规模化利用的跨越。”

云南多措并举促绿电消纳

■本报记者 张胜杰

云南省不久前制定出台了《云南省促进绿色电力消纳的若干措施》(以下简称《措施》),聚焦拓展绿色电力消纳空间,研究提出15条政策措施,旨在推动绿色能源强省建设,完善绿色电力消纳政策措施,有力支撑新型电力系统建设,加快形成多元化消纳格局,构建源网荷储协调互动的运行新体系。

业内专家表示,这不仅是云南纵深推进绿色能源强省建设的关键举措,更通过“真金白银”的补贴和创新性的机制设计,力图将清洁能源优势深度转化为产业发展优势。云南有望通过电价激励和产业引导,吸引更多绿色载能产业向云南转移,助力全国“双碳”目标加快实现。

■ 以绿电鼓励工业产能加速释放

云南地处我国西南,“水风光”等清洁能源资源天然富集,形成了多能互补的独特优势。同时,云南绿电具备规模大、质量优、前景好的优势,为区域能源结构转型注入强劲动力。

数据显示,截至2025年底,云南全省电力总装机突破1.7亿千瓦,新能源装机占比超过40%,绿色电力装机占比超过90%,居全国前列,度电排放二氧化碳仅0.13千克,全国最低。然而,绿电快速发展的同时,也伴随着高质量消纳绿电的现实问题。

风电和光伏具有天然的间歇性和波动性,且随着装机规模指数级攀升,电网消纳压力呈几何级数增长。如果不拓宽就地消纳的空间,就会面临“弃风弃光弃水”问题。云南省发展改革委副主任、新闻发言人郭金华近期也公开表示,当前云南省新能源装机规模持续增长,电力消纳方式亟需多元化,绿色价值有待综合提升。

如何破题?在推动增量产业产能落地方面,《措施》明确,通过推动重点项目及早开工投产,做强做优做大铝、硅、磷及有色金属等资源型产业。为促进工业用电量稳定增长,政策设计了明确的激励机制:对2026年一季度工业用电量同比增长6%以上的工业企业,按同比增量给予每千瓦时0.05元奖励,单家企业最高奖励40万元;对全年用电量达到

50亿千瓦时且同比增长6%以上部分,给予每千瓦时0.02元奖励。

业内人士表示,云南出台电费奖励政策,本质上是一种精准的宏观调控,给企业带来实实在在的政策红利。比如,对于用电大户(如绿色铝、绿色硅等先进制造业)而言,是一笔极其可观的成本削减。“这说明,云南用低成本的绿色能源吸引并鼓励优质的工业产能加速释放,彻底将‘绿色能源资源优势’转化为‘产业优势和发展优势’,与其让绿电在电网里闲置浪费,不如转化为具有全球竞争力的绿色工业制成品。”

■ 加速布局“绿电+”新赛道

在众多措施中,云南对绿电产业的扶持政策引发市场关注。

例如,在培育绿色电力消纳新空间方面,《措施》以培育新型用能场景为突破,统筹布局智慧产业,支持“绿电+智慧”融合发展,强化电网保障和供电可靠性;支持新能源和制氢(氨醇)融合发展,科学布局应用示范项目,对年产绿氢100吨以上的一体化项目,连续三年给予每公斤最高13元奖励;探索风电、余热制氢新模式,拓展氢能交通、工业等领域的应用场景。同时,在关键节点和新能源富集地区布局新型储能,推进虚拟电厂和负荷聚合商建设,进一步提升电力系统调节能力和运行韧性。

“云南这次的补贴力度是空前的。”向上氢能联合创始人兼研究总监韩文峰告诉《中国能源报》记者,云南依托水电和风光互补再叠加补贴,能够把绿电成本做到很低。如果配套水电平衡电解槽运行时间的话,叠加补贴后,氢气价格有望达到10元/公斤。

“目前,绿氢相较于化石燃料制备的灰氢成本仍然高出不少,而云南在《措施》中提出的每公斤13元补贴,有望使绿氢成本得以下降,直接解决工业企业使用绿氢进行原料替代的经济性问题。”高工氢能有关分析人士称,在这一政策的引导下,云南绿氢氨醇项目显然有望快速增长。

中信证券研报认为,云南的举措将显著改善当

地绿氢及绿色燃料项目的盈利能力,甚至可能提升市场对全国性氢能支持政策的预期。

与此同时,云南还抢抓“东数西算”机遇,将目光投向算力产业。《措施》提出统筹布局智慧产业,支持“绿电+算力”融合发展,强化电网保障和供电可靠性。利用清洁能源为算力中心供电,不仅能有效消纳绿电,还能打造绿色、低碳的算力品牌,实现“绿电”与“数网”的双向奔赴。

■ 确保各项措施落地见效

政策的生命力在于落实。郭金华介绍,为保障各项措施落地见效,将由云南省工信、能源部门牵头建立促进电力消纳工作协调机制,依托省级能源大数据平台开展用电需求监测预警,提升运行调度和负荷管理精细化水平。

楚雄州有关负责人表示,下一步楚雄州将吃透政策、用好政策,结合能源和产业发展实际,推动绿电优势转化为产业发展优势,着力打造“绿电+先进制造业”融合发展示范,强化调节能力建设保障新能源消纳。

据该负责人透露,楚雄州将利用政策的上网电量机制和奖励机制,加快楚雄州高新区风光一体化绿色氢氨项目前期工作,力争于今年内开工建设,与天然气发电项目同步建成投运,预计建成后可实现绿氢年产能9000吨,绿色合成氨年产能5万吨。通过政策引导,切实提高企业投资积极性,推动“绿电+算力”“绿电+氢氨醇”项目加快实现突破,打造全省示范。

另外,文山州则将紧扣政策措施要求,精准落实工业用电奖励政策,积极引导符合条件的企业申报争取用电奖励,鼓励企业提升产能,把云南省出台的政策用好用足,积极争取山东魏桥剩余23万吨电解铝产能转移落地,加快推进云南文都炭素项目剩余20万吨产能生产线建设和22个下游项目产能释放,并围绕绿电消纳开展精准招商,吸引更多高附加值、高用电负荷的绿色产业项目落地,实现用电量增长与产业发展同频共振,将文山州的绿电资源优势转化为产业发展优势。

近年来,风电光伏带动广西用能持续向绿。截至2025年底,广西新能源累计装机容量达6000万千瓦,占总装机比例近50%,成为全区第一大电源。同时,广西也是“有色金属之乡”,铝、铜、锂等新能源产业发展的关键资源齐全,新能源装备制造企业正不断发展。

“十五五”时期,广西如何加速新型电力系统构建?绿电消费和低碳生产水平如何进一步提升?带着这些问题,《中国能源报》记者近日专访了南方电网广西钦州供电局计量中心党支部书记、经理苏圆圆。

“今年的政府工作报告提出,加快推进全面绿色低碳转型,这为电力行业高质量发展、可持续发展指明方向、提供遵循。”苏圆圆表示,电力行业要着力构建新型电力系统,加快智能电网建设,发展新形态储能,扩大绿电应用。

苏圆圆进一步表示,落实全面绿色低碳转型的要求,南方电网广西电网公司将进一步完善“十五五”电网发展规划,持续打造坚强可靠、安全充裕主网架,提高电网资源优化配置能力,提升高品质供电服务水平,以绿色化牵引数字化、数字化赋能绿色化的“两化协同”促进新型电力系统和新型能源体系“两型”建设,加快构建安全可靠、柔性可控、灵活高效、智慧融合的新型电网平台,为推进中国式现代化提供坚强电力支撑。

苏圆圆提到,她在调研中发现,全国的能源消费端绿色转型正从政策驱动逐步转向市场驱动,一批企业正加快绿色转型,积极推进绿电消费和低碳生产。

“而当前,我国普遍采用年度、区域平均的方式开展电力碳排放因子核算,绿电环境价值存在明显‘时间均质化、空间均质化’问题,难以真实反映绿电在不同时段、不同区域的减排效益,一定程度弱化了绿电应用优势,影响企业扩大绿电消费的积极性。”苏圆圆说,“同时,我国电力碳排放溯源体系建设仍处于起步阶段,关键技术、基础设施、核算标准等仍需完善。因此,在电力碳排放溯源体系建设方面,应加大推动力度,进一步拓宽绿电应用空间,加快推动全面绿色转型。”

在广西,能源种类齐全、新能源占比高。对此,苏圆圆表示,依托“西电东送”枢纽和面向东盟的区位优势,广西具备构建高代表性碳排放溯源体系的基础和条件。

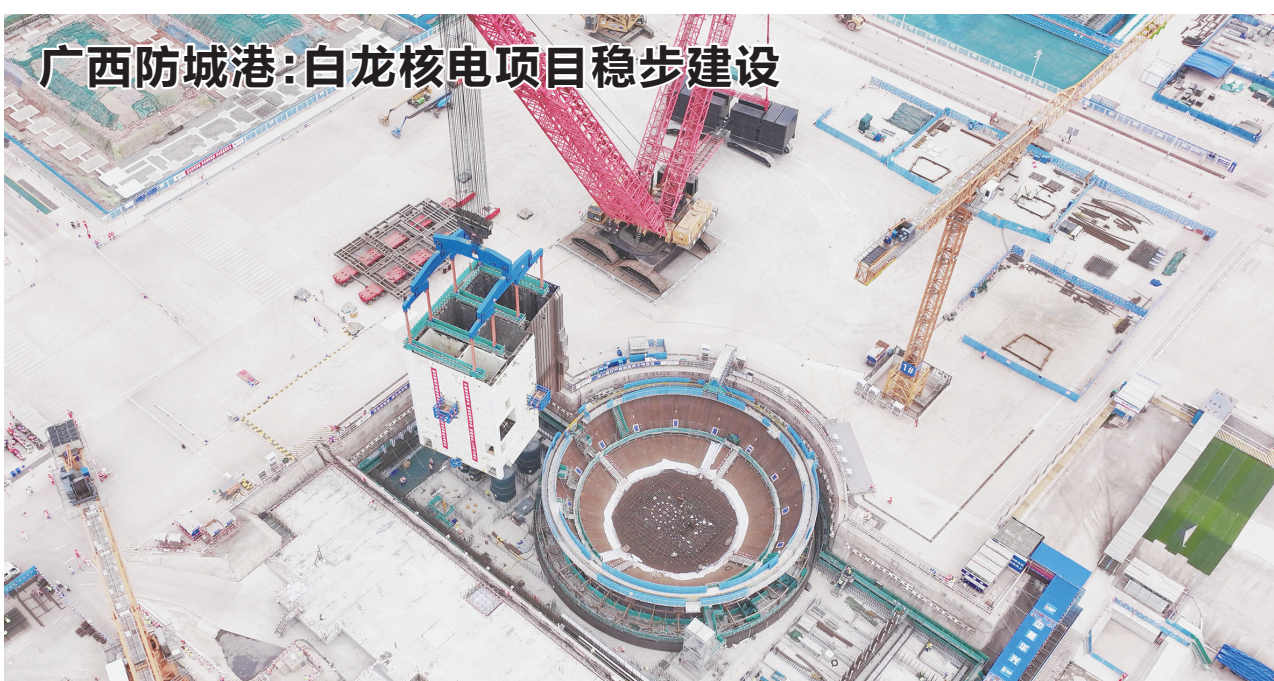
“目前,我们正在开展相关领域研究,助力广西率先开展省域电力系统分时分区碳排放溯源综合试点工作,加快构建省域分时分区电力碳排放因子库和统一核算口径,将分时分区电力碳排放因子核算结果纳入政府绿色低碳发展评价、零碳园区认定及区域碳排放绩效考核体系,推动绿色发展评价由传统年度平均指标向高频化、精细化指标升级,形成可复制、可推广的制度性成果。”苏圆圆说。

据了解,未来,这些成果有望支撑园区、企业开展精细化碳足迹核算、碳流路径溯源与排放责任界定,形成可审计、可追溯的碳足迹证据链,助力面向东盟的绿色贸易互认,全力打造面向东盟的零碳示范窗口。

电力碳排放溯源体系建设要提速

——访南方电网广西钦州供电局计量中心党支部书记、经理苏圆圆

■本报记者 杨沐岩



广西防城港:白龙核电项目稳步建设

图片新闻

3月18日,位于广西防城港的广西白龙核电项目1号机组CA20结构模块顺利吊装就位。这是该机组核岛首个大型结构模块的就位,为核岛辅助厂房及屏蔽厂房施工奠定坚实基础。白龙核电项目位于防城港市江山半岛最南端,规划建设6台百万千瓦级核电机组,总装机862万千瓦。 单社宇/文 韦程彬/图