

制度创新驱动绿电深化发展 市场主导引领多元价值协同



聚焦 可再生能源法修订

■郭鸿业 姜楠 许庆宇 张宁

在全球碳中和进程加速与能源安全保障能力持续提升背景下,中国可再生能源装机规模已达18.89亿千瓦,约占总装机的56%,但其发电不确定性与传统电力市场刚性机制存在结构性矛盾。2023年,《可再生能源法》启动修订程序,核心任务之一即为推动可再生能源市场化发展。此次修法标志着我国能源法治体系发展重点从“规模扩张”转向“质量提升”,通过构建适应可再生能源特性的制度框架,重视市场对于可再生能源释放多元价值的重要作用,为可再生能源规模化、高效率融入新型电力系统提供法律保障。

可再生能源 市场化发展的战略意义

过去十年,受益于“全额保障性收购”制度,中国可再生能源装机规模跃居全球首位,风光等可再生能源发电成本持续下降,其全生命周期经济性显著超越化石能源发电。然而,出力不可控的可再生能源大规模并网,既对电力系统稳定运行构成巨大挑战,又因低成本资源同步扩张引发同质化恶性竞争,给可再生能源产业发展带来不利影响。为应对此种局面,推动市场化发展将成为巩固产业优势的关键。通

过修订《可再生能源法》及配套政策,以法律法规划定合理的收益边界,并依据市场价格信号分配经济责任,将政府角色从“补贴提供者”转为“秩序维护者”。这种转变既可通过市场价格信号分配经济责任,突破政策补贴的不可持续性,化解系统调节能力不足和财政负担过重局面;又能以市场机制推动资源配置,促使可再生能源从“被动消纳”转向“主动竞争”,在守住能源安全底线的基础上,持续激发技术创新动力。

全球能源体系正经历百年未有之大变局。国际能源署(IEA)预测,2030年全球新增清洁能源装机将达到5500GW,其中有80%来自太阳能,标志着其从“补充能源”转向“主力能源”。各国在此过程中构建了“政策托底+市场激活”制度体系:欧盟实施差价合约(CfD)稳定基础电价,依托跨国耦合的市场机制激发主动性;美国通过长期购电协议(PPA)与绿证制度锁定收益并明确绿色属性,以全电量现货释放市场价格信号。这些实践揭示,当可再生能源规模化发展成为必然趋势,制度体系建设也迎来“政策驱动”转向“市场主导”的范式革命——政策稳定收益预期,市场优化配置效果。中国作为全球最大的可再生能源市场,在制度修订的基础上,有必要通过市场化改革释放产业潜力,为全球能源转型提供“中国方案”。

可再生能源 规模化入市的核心挑战

第一个挑战是制度转型中的利益边界模糊问题有待破解。一是合理收益保障和资源配置效率之间的关系。全额保障虽能给可再生能源企业带来稳定收益,但也降低了其通过市场化优化收益的主动性,导致市场资源配置效率难以提升。二是可再

生能源远距离输送和就近消纳之间的关系。跨省区送电仍以政策性量价为主而非市场调节,无法反映真实供需,而部分受端省因负荷增速放缓且本地光伏过剩,叠加跨省区交易价格信号激励性不足,导致可再生能源大范围配置受限。三是统一电力市场体系下的全局与各地发展之间的关系。我国各地区的市场模式、交易规则各具特点,且各市场建设进展不一,显著的差异增加了跨省区市场之间的衔接难度,产生了交易壁垒,制约了可再生能源的市场化大范围配置。

第二个挑战是适应高比例可再生能源的定价机制有待完善。一方面,市场的稳定性要求与价格形成机制存在矛盾。当前中长期交易结算比例较高且要求发用双方提前锁定量价,而可再生能源出力不可控导致其实际交割难以匹配中长期交易结果,不得不在现货市场中以过高的“惩罚成本”被动调节余缺,形成保障性收购依赖、市场化风险厌恶的局面。另一方面,价格信号尚无法有效支撑可再生能源可持续发展。当前的价格发现机制主要服务于短期电力电量平衡,特别是在可再生能源高比例参与市场后,由于其出力波动性,市场出清电价必然会在极高和极低间剧烈波动,这种波动性无法为可再生能源发展提供长期稳定的价格预期。

第三个挑战是可再生能源的环境价值兑现不足、安全责任承担错位。在环境价值方面,2024年全国绿证交易量4.46亿个,对应电量占非水可再生能源发电量的9.42%,虽然交易量比往年有所提升,但最低价已跌破至1元,绿证与消纳责任体系割裂运行,环境价值激励终端购电个体消费可再生能源的效果有限。在安全责任方面,可再生能源大规模并网将显著增加系统的爬坡、调频等辅助服务需求,但现行辅

助服务市场既未建立发电不确定性与调节成本的量化关联机制,也未形成向可再生能源主体疏导费用的制度条件,形成了可再生能源“只发电、不承担”的错配现状。

构建适应高比例 可再生能源的电力市场

一是体现“电能量+辅助服务+容量+绿证”多维协同关系,完整反映新型电力系统中各类资源的多元价值。首先,建立“电能-安全-环境”多元价值框架。电能价值通过分时价格引导系统运行经济效率提升,安全价值以经济性激励可调资源的辅助服务支撑能力、以容量机制保障系统长期可靠性,环境价值通过绿证、碳市场衔接等手段量化碳减排效益。其次,建立跨时空尺度的价值分配机制。在中长期锁定容量与环境价值,在现货市场体现能量供需价值,在辅助服务市场反映调节价值;扩大区域电网互联范围,实现源网荷储协同增效。最后,依托信息披露、标准合约等工具推动价值传导——打破“价值孤岛”,帮助市场参与者准确识别多元价值、增强各类主体互动能力。

二是完善“成本覆盖+价值驱动”的电力定价逻辑,稳定可再生能源发展预期,激活可再生能源配置动力。在成本覆盖方面,通过新能源可持续发展价格结算机制、多年期协议等方式稳定可再生能源收益预期,并以竞争性定价引导可再生能源综合考虑供求关系和长期成本全面参与市场,激励技术进步和成本下降。在价值驱动方面,进一步完善外部性价值内生化路径,将可再生能源消纳责任与用户侧责任绑定,推动绿电溢价、绿证市场和碳市场协同定价,探索分布式光伏发电全部纳入绿证体系;加速建立灵活性资源定价机制,通过爬坡辅助服务、快速频率响应等

新型产品设计,精准反映调节资源的时空稀缺性。

三是推动建立适应高比例可再生能源的标准化市场体系,降低交易壁垒,提升市场运行效率。明确市场准入、交易结算和技术标准等核心要求,形成权责清晰、规则统一、要素联动的现代电力市场体系。推动全额保障向市场化转型,存量项目实行保障性收购比例动态退坡,增量项目依托政府建立的差价合约机制全面纳入市场竞争。在跨省区层面,推动能源基地市场化外送,发挥市场价格激励作用,实现各类能源之间利益共享和风险共担,加强能源基地与受端市场的关联性与协作性。在省内协同层面,支持小型分布式项目通过虚拟电厂、负荷聚合商等主体打包为平衡交易单元,降低单一主体因发电用偏差导致的经济责任,分散电力系统运行风险。

可再生能源市场化发展是构建新型电力系统、实现“双碳”目标的重要举措,其本质在于以制度创新完善电力系统价值分配逻辑。通过全面推动可再生能源参与市场,以市场价格信号兑现可再生能源的多元价值、承担合理经济责任,实现能源资源要素的市场化优化配置。当前《可再生能源法》的修订,为市场主导的格局提供了制度保障,是国家能源治理体系现代化的重要突破。唯有构建多元价值协同体系,以多维价格信号引导市场运行,依托新型市场交易模式为载体,市场机制方能成为支撑可再生能源规模化跃升的核心引擎,为新型电力系统建设注入持久动力,最终推动可再生能源产业迈向高质量发展的新阶段。

(郭鸿业系清华大学电机系副研究员,姜楠系清华大学能源互联网创新研究院助理研究员,许庆宇系清华大学电机系博士后,张宁系清华大学电机系长聘副教授)



山东荣成:逐梦“深蓝”

图片新闻

近年来,山东省荣成市抢抓国际海运市场战略机遇,大力培育发展修造船产业,创新驱动,优化新质生产力,完善产业链合作,增强市场竞争能力,逐梦“深蓝”,在超大型船舶维修和海工装备制造领域取得明显进展。图为3月11日,山东省荣成市石岛畔的修造船产业基地船坞内,塔吊林立,一派繁忙景象。 人民图片

全国首例跨经营区绿电交易达成——南网绿电到货，上海企业『签收』超五千万度

本报讯 全国首例跨经营区绿电交易近日落地。3月7日,广州电力交易中心与北京电力交易中心成功开展广西、云南送上海的3月内绿色电力交易,实现了跨经营区绿电交易机制里程碑式突破,标志着全国统一电力市场建设迈上新台阶。

本次交易成交电量5270万千瓦时,其中风电占比78%,太阳能发电占比22%,上海石化、巴斯夫、科思创、腾讯、特来电等30家企业,以及华能集团、国家能源、国家电投、中广核等发电集团下属29个新能源项目参与了本次交易。自3月10日起,连续22天通过闽粤联网工程及相关联络通道将绿电输送至上海,以满足当地绿电需求。

上海外向型企业众多,对绿电绿证需求旺盛,绿电来源主要依靠市外采购。“十四五”以来,广西、云南新能源发展迅猛,广西新能源占比接近50%,云南新能源装机年均增速达47%,有一定外送能力和意愿。

为推动实现供需精准匹配,充分利用跨经营区的“地域差、季节差、负荷差”,广州电力交易中心、北京电力交易中心协商南方电网广西、云南电网公司和国网上海电力公司等相关方,克服规则衔接、平台对接、数据交互等多方面困难,联合制定了《2025年跨经营区绿色电力交易方案》。该方案明确了参与主体范围、交易周期、方式、出清、结算、绿电溯源、绿证核发与划转等关键内容,全链路贯通了跨经营区电力交易机构间的“交易业务流、信息数据流、结算资金流”。同时,为保障首例跨经营区绿电交易试点有序推进,广州电力交易中心、北京电力交易中心会同广西、昆明、上海电力交易中心组织数百家经营主体开展了广泛的宣贯培训,有效激发了市场主体活力和主体参与积极性,多措并举为交易顺利开展提供了坚实保障。

《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》指出,“深化能源管理体制变革,建设全国统一电力市场”。本次跨经营区绿电交易的机制探索和先行先试,既开拓了上海市外人沪绿电来源,又拓宽了广西、云南新能源外送范围,也为后续全国范围跨经营区交易组织积累重要经验。

下一步,广州电力交易中心、北京电力交易中心将结合试点开展情况,充分发挥平台作用,持续研究完善跨经营区联合机制,探索开展全国范围跨经营区多省份互送的绿电交易,为加快建设全国统一电力市场贡献更大力量。

(黄雅熙 廖一键 严旭 郑智峰)

西部能源“奔涌”背后,清洁能源基地如何“火力全开”?

■薛晨 王铭禹 施钱贵

从四川“千河之省”的水电动脉叠浪成电,到甘肃“陆上三峡”的风电集群驭风为能、再到贵州“山地光伏”的集约开发聚光生金……我国西部地区依托天然禀赋加快建设新型能源体系,通过流域基地化开发、多能互补、科学规划,为推动能源绿色低碳转型注入澎湃动能。

青年工程师们扎根在深山峡谷、风沙戈壁之中,将“无人区”变成“绿电仓”,在寂寥山河间书写着西部能源“奔涌”的答卷。

“水风光储”合奏交响曲

四川水能资源丰富,金沙江、雅砻江、大渡河……奔涌的河流上,一座座水电站次第排布宛如一串“绿能琴键”,借落差之势,正在奔腾的韵律中奏响“水风光储”交响曲。

深嵌在川西高原深处的两河口水电站是我国海拔最高的百万千瓦级水电站,四川省库容最大的水库电站。作为该电站的“首席安全官”,国投集团雅砻江公司两河口水力发电厂常务副厂长王文松每天都会登上库区大坝、钻进地下厂房,对影响电站安全生产的风险点进行细致排查。

“超大的库容可以将富余的水能‘储存’起来,留到枯水期向下游‘释放’,如同一块巨型‘蓄电池’。”王文松说,两河口总库容达到108亿立方米,相当于770个西湖的水量,可为下游增加平枯期年

发电量约342亿千瓦时,是其自身发电量的3倍。雅砻江的江水惠及流域及下游18座大型水电站,每一滴水经过18次冲击水轮机,最大限度释放它的势能。

“我刚工作时,雅砻江上只有一座电站投产,经过十几年建设,流域水电站梯级相连。”王文松感叹道。

50公里外,海拔4600米的扎拉托桑山上,全球最大、海拔最高的水光互补电站——柯拉光伏电站将源源不断的电能送入电网。雅砻江下游,凉山州德昌县,腊巴山风电场发出的“绿电”每年可满足约31万户家庭用电量。

在川藏交界的金沙江上,海拔3000米的华电金沙江上游叶巴滩水电站施工现场,工程管理部主任杜光远克服低温、缺氧的恶劣环境,奋战在建设一线。“我们首次实现了高海拔地区大坝混凝土全年不间断施工。”杜光远说,这里冬季施工期长达4个月,昼夜温差可达37摄氏度。这位已有13年工程经验的“水电老兵”正与同事联手攻克“高寒高海拔地区无缝拱坝”的世界难题。

如今,随着更多重大能源项目落地,越来越多的青年水电人才投身西部能源沃土,向下扎根,追逐梦想。

戈壁风电场重构“数智化”驭风术

沿甘肃河西走廊一路向西,行至玉门市地界,便能见到密密麻麻的风力发电机组成白色的“风机森林”,沿着公路两旁的戈壁滩向远方蔓延,这里便是风光资源富集的甘肃洁源风电有限责任公司

玉门风电场。

1997年,该公司从丹麦引进了4台单机功率为300千瓦的风机,揭开了“风光大省”甘肃新能源的发展序幕。

走进生产数字化平台大厅,屏幕上显示着每台风机的发电量、关键零部件温度等数据,以及实时的风速、气压等天气情况。今年38岁的设备维保中心技术专责公金兴紧盯大屏幕上跳动的数字,密切监测、分析平台上的各项数据,对有故障的风机进行“会诊”。

“过去只能靠人力徒手爬塔检修风机,任务繁重、效率低。”公金兴回忆,2012年他刚到风场时,风机大多数还以进口为主,平均每人每天只能检修4座风机。一线运维人员常常要面对戈壁滩上风沙走石和酷暑严寒的考验。

近年来,风场大力开展数字化、智能化改造,每台风机的传感器可以实时回传发电情况和运行参数,自动生成“体检报告”,极大地降低了生产与运维成本,提高人员劳动效率和安全性。

十多年来,包括公金兴在内的风场一线运维人员见证着西北地区风力发电产业的巨大变迁:风机由国外引进到逐步实现国产化,风机功率由几百千瓦增长到数千千瓦,风机巡检由人力“事中检修”到数智化的“事前研判”……每一步转化都为国内风力发电产业的蝶变积累了坚实的基础。

如今,甘肃已建成酒泉千万千瓦级风电基地,并配套建设有我国最大的陆上风电装备制造基地。“十四五”以来,累计新能源装机新增4067万千瓦,相当于

新建了1.8个三峡水电站。

喀斯特山丘打响光伏突围战

从贵州省关岭布依族苗族自治县新铺镇的一处高地上望去,只见密密麻麻的光伏板顺着山势延伸向远方,一眼看不到头。作为贵州省首个百万千瓦级光伏项目,盘江百万千瓦级光伏基地建设正酣。

今年元宵节刚过,该光伏项目副总经理任志鹏就和同事来到项目部投入建设中。“目前,三期项目共有约450人在施工。”他说。

光伏项目所在地属喀斯特地貌,山坡上植被较少。“为了减少对生态的破坏,安装光伏支架的孔洞采用人工打桩,大部分光伏组件采用无人机吊运。”任志鹏说,这些石漠化山区生态脆弱,土地无法产生收益。自从发展光伏后,当地村民不但有了土地的租金收入,还能就近务工。

这是贵州克服不利因素、积极布局光伏发电的一个缩影。在贵州一些光照条件相对较好的山区,一座座光伏电站陆续建成投运,并取得了良好的经济社会效益。

“新能源已成为贵州的第二大电源,初步实现从‘煤海’到‘绿海’的能源转型。”贵州省能源局相关负责人表示。近年来,贵州抢抓新能源发展机遇,以光伏、风电为代表的新能源发展迅速。截至2024年底,新能源装机规模达2800万千瓦,预计2025年底将达到4200万千瓦。