

以绿电耦合为抓手 赋能美丽中国建设

■贺红生

党的二十大作出推进美丽中国建设重大部署,明确要求协同推进降碳、减污、扩绿、增长,把加快发展非化石能源、建设新型电力系统,作为经济社会发展全面绿色转型的关键举措。当前,我国风电、光伏装机规模持续快速扩张,已经成为新增电力供给的主体力量。绿电耦合推动多领域多要素联动协同,把资源禀赋优势转化为产业优势、生态优势,为美丽中国建设提供可落地的技术路径与制度安排。

我国绿电发展现状与风光电源固有其性

根据国家能源局公开统计数据,截至2025年末,全国可再生能源总装机达到23.4亿千瓦,占全国电力总装机比重约60%。其中风光合计装机18.4亿千瓦,历史性超过火电,成为我国第一大电源板块。从发电量看,2025年全国风光合计发电量突破2.19万亿千瓦时,在全社会用电量中的占比持续抬升,绿色电力供给保障能力显著增强。供给格局上,集中式风光大基地与分布式光伏同步推进,“三北”地区风电基地、中西部光伏基地,叠加厂房屋顶、工业园区等分布式光伏场景,共同构成多层次的绿色电力供给体系。

风电、光伏属于典型波动性、间歇性、随机性电源,二者虽具备一定时空互补效果,但也给电力系统运行带来现实挑战。

光伏发电依赖光照条件,仅在白天出力,夜间发电归零;云层移动会造成短时间内出力剧烈起伏,午间发电出力达到峰值,晚间用电高峰阶段出力快速回落,昼夜出力断层特征十分突出。风电出力受风速变化直接影响,往往夜间、清晨风力条件更好,白天风力偏弱,呈现明显反调峰特点,用电负荷低谷时段风电大发,用电高峰阶段出力反而不足,部分时段还会出现长时间无风工况,出力预测难度较大。

风光电源属于逆变型电源,大规模接入电网之后,电压、频率调节控制难度明显增加;遇到极端气象条件,风光出力会同步大幅下滑,容易形成供电缺口,给电力保供带来压力。同时,我国风光资源主要分布在西北、华北、东北区域,用电负荷集中在中东部地区,资源与负荷逆向分布矛盾客观存在,需要配套长距离大容量输电通道予以支撑。

实践表明,风光电源运行中的短板,不能简单依靠持续增加装机规模来化解,需要统筹用好市场机制、可调负荷、储能设施、新型电网等多类手段,对冲新能源出力不确定性。

美丽中国建设的重点任务

《中共中央 国务院关于全面推进美丽

中国建设的意见》明确美丽中国建设的总体方向与重点任务,主要包含四个维度:一是稳妥有序推进碳达峰碳中和,大力发展非化石能源,加快构建新型电力系统;二是持续深入打好污染防治攻坚战,不断改善大气、水、土壤环境质量;三是统筹“山水林田湖草沙”一体化保护和系统治理,提升生态系统多样性、稳定性、持续性;四是推动经济社会发展全面绿色转型,加快产业结构、能源结构、生产生活方式绿色变革,将绿色发展要求贯穿产业发展各环节全过程。

能源绿色转型是美丽中国建设的关键环节。绿电既是降碳减排的重要载体,也能够同步带动工业领域减污增效、产业迭代升级。但风光电源与生俱来的短板说明,仅仅依靠发电端规模扩张,很难完整实现转型目标,必须构建多层次的绿电耦合体系,打通制度、产业、电网三个关键环节,实现能源、产业、生态协同共进。

绿电耦合赋能美丽中国建设的三条路径

一是“绿电—绿证—高耗能企业绿电消费—碳市场”耦合,夯实制度市场基础。

绿电价值包含物理电量价值和环境减排价值两个部分。推动绿电、绿证、高耗能企业绿电消费约束、碳市场相互耦合,核心就是打通绿电价值实现全链条,依托市场机制倒逼高耗能产业转型升级,把生态效益转化为市场约束,落实为企业的实际行动。

绿证是绿电环境权益的凭证,1个绿证对应1兆瓦时绿电的环境权益,分为证电合一、证电分离两类交易模式;开展绿电交易,实现电量与绿证同步流转;对钢铁、电解铝、水泥、多晶硅、大型算力数据中心等高耗能高排放主体,实行绿电消费考核约束;碳市场以碳排放配额为刚性约束工具。几类工具联动运行,构建形成“生产—交易—消费—考核—减排核算”完整闭环。

以往绿电消费以企业自愿认购为主,激励约束力度有限。近年来相关政策作出调整,对电解铝、钢铁、水泥等高耗能行业设置差异化强制绿电消费比例;新建国家算力枢纽节点的数据中心绿电消费占比不低于80%,存量项目设置过渡期达标目标,绿电消费正式纳入能耗双控,碳排放评价体系,倒逼高耗能企业主动采购绿电、自建风光新能源项目。

从地方实践看,内蒙古将绿电消费要求嵌入新建高耗能项目节能审查、碳排放评价环节,电解铝、煤化工等新建项目必须落实绿电消费指标,推动高耗能产业与新能源项目同步布局。江苏绿电交易活跃度持续走高,2025年全口径绿电交易规模位居全国前列,为高耗能企业采购绿电搭建通畅渠道。



绿电、绿证、高耗能企业绿电消费、碳市场协同耦合,一方面能够扩大绿电市场化需求,消纳风光发电产能,缓解弃风弃光问题;另一方面以市场化约束推动高耗能行业降碳减污协同治理,助力产业绿色转型。

二是“绿电—绿氢—合成醇—合成氨”耦合,拓展绿电就地消纳新型负荷。

针对部分风光基地外送通道资源紧张、新能源出力波动大的现实痛点,依托绿电开展电解水制绿氢,进一步加工生产合成氨、合成甲醇,把间歇性波动电能转化为可长期存储的化工产品,将不可控的电力负荷转变为可调可控的化工生产负荷,实现新能源就地就近转化,培育“风光发电—电解制氢—绿色化工”完整产业链,为大规模消纳绿电开辟工业应用场景。绿氢、绿氨、绿甲醇属于零碳化工原料,既可以直接作为化工生产原料,也能够充当储能介质、清洁燃料,对传统煤化工、化肥产业低碳改造意义重大。在风光大发时段,电解槽满负荷运行消纳富余绿电;风光出力不足时,动态调低化工装置生产负荷,依靠化工负荷跟随新能源出力变化,破解风光发电波动带来的消纳难题。

推进“绿电—绿氢—合成醇氨”耦合发展,能够培育新型工业可调负荷,化解风光大基地消纳瓶颈,同步推动传统高碳化工业产业绿色升级,服务工业领域降碳任务。三是“绿电—储能—负荷侧调节—新型电网”耦合,筑牢电力系统运行底座。

随着高比例绿电大规模接入系统,电网电压、频率稳定运行压力加大,仅依靠发

电侧调节手段已经难以满足现实需要。推动绿电与多元储能、可调负荷、新型电力系统深度耦合,搭建源网荷储协同运行体系,是保障绿电安全可靠供给的技术基础。

储能承担两大核心功能,一是平抑风光短周期出力波动,二是实现跨时段能量转移,把午间光伏富余电量转移至晚间用电高峰释放;负荷侧调节重点挖掘工业可调负荷、商业负荷、居民柔性负荷潜力,推动电力运行由“源随荷动”向“荷随源动”转变;新型电网涵盖特高压外送通道、配电网升级改造、智能调度体系、构网型新能源技术,打通新能源送出、分配、调度全链条。通过三者协同发力,补齐风光电源间歇性短板,保障高比例绿电安全稳定供给。

绿电、储能、负荷侧调节、新型电网耦合,着力解决高比例新能源下电力系统安全运行难题,让大规模风光发电安全服务经济社会发展,为美丽中国建设夯实稳定电力基础。

坚持系统思维，推动绿电耦合赋能美丽中国建设

上述三条绿电耦合路径并非彼此割裂,而是相互支撑、有机统一的整体。制度市场耦合重点解决绿电消费主体、考核约束、价值兑现问题;绿电绿氢化工耦合聚焦富余绿电消纳,培育新兴绿色产业;源网荷储与新型电网耦合守住电力系统安全稳定底线。三条路径协同发力,系统性破解风光新能源先天短板,落实美丽中国建设降碳、减污、扩绿、增长总体要求。推进绿电

耦合高质量发展,还需要抓好四方面重点工作。

第一,强化统筹规划布局。风光基地开发建设阶段,同步谋划储能、送出工程、耦合配套产业,杜绝“重发电、轻配套”的建设倾向,推动风光、储能、电网、绿氢化工项目同步规划、同步落地。

第二,持续健全市场制度规则。理顺绿电、绿证、碳市场之间核算边界,切实防范环境权益重复计算,细化完善高耗能企业绿电消费考核配套细则,降低经营主体参与门槛,稳定企业参与预期。

第三,加大关键技术创新攻关。推动电解槽、长时储能装备制造价下降,加快构网型逆变器、虚拟电厂等技术迭代升级,系统性提升耦合系统整体经济竞争力。

第四,坚持因地制宜分类施策。风光资源富集地区,优先发展“绿电+绿氢绿氨”就地转化模式;负荷集中的中东部地区,重点布局分布式光伏、储能,挖掘柔性负荷调节潜力;高耗能产业集聚区域,严格落实绿电消费约束政策,形成差异化、各具特色的发展格局。

美丽中国建设离不开能源体系绿色转型,风电光伏绿色电力是转型进程中的核心力量。推进绿电耦合发展,就是从制度市场、绿色化工产业、新型电网三个维度发力,推动多要素深度协同,多路径同向发力,真正把我国得天独厚的风光资源优势转化为生态优势、产业竞争优势,以能源绿色转型赋能美丽中国建设。

(作者系山西省运城市能源局一级调研员、高级工程师)

也谈大型活动碳中和路径

■臧元琨

我国大型论坛、产业峰会、会展等大型活动是公共领域温室气体重要排放来源。《2025年度中国展览数据统计报告》显示,全国境内展览每年逾万场,展览面积逾亿平方米。依照《大型活动碳中和实施指南(试行)》要求,大型活动需构建“源头减排、排放核算、碳抵消、第三方认证、信息披露”全流程闭环体系。然而,重末端抵消、轻源头减量、核算标准不统一、跨部门数据割裂、成本机制缺失、示范模式难以复制等问题仍然存在。论坛活动碳中和需以国家核算标准为基础,全面借鉴试点省市开展示范案例论坛活动的成熟实践,建立分阶段、分规模、分区域标准化实施路径,同步完善统一标准、数字化平台、第三方核算、财政绿色金融扶持、区域服务配套、考核约束五大支撑体系,推动全国大型活动实现碳中和常态化、规范化、低成本落地,以公共领域绿色转型助力“双碳”目标稳步实现。

从“点状示范”迈向“系统推进”

当前国内大型活动碳中和已形成顶层政策框架。生态环境部2019年发布《大型活动碳中和实施指南(试行)》,明确“以制定计划为核心,对碳减排进行核算,抵消碳中和和采购和注销,并建立评价声明体系”的全流程规范。北京、浙江、广东等省市率先开展峰会、展会碳中和试点。2023年,中国发展高层论坛年会通过核销来自企业捐赠的中国核证自愿减排量(CCER),在国

内大型会议中首次实现碳中和;金融街论坛作为国家级金融论坛标杆,2024年完成全国首个金融会议碳中和认证,为国家级论坛绿色办会提供示范引领作用。2026年,北京绿色交易所、国家气候战略中心等单位在鸟巢开展大型活动碳中和启动仪式,发布《大型活动碳中和实施倡议》,将大型活动的减碳议题再次推至聚光灯下。地方层面,各地陆续出台地方实施标准,上海出台《大型活动碳中和工作指引》,银川提出大型活动碳中和工作实施方案。从单场活动认证到全行业倡议发布,大型活动碳中和正从“点状示范”迈向“系统推进”,整体呈现试点先行、标志性活动示范引领特点,但仍普及不足,配套标准与平台仍需进一步完善。

当前大型活动碳中和存在四重短板

一是对碳中和认知存在偏差。部分地方政务会议、行业研讨会仅简单采购碳汇完成抵消,将碳中和等同于“购买碳汇抵消排放”,前端减排措施流于形式。仅靠少量碳汇完成形式化碳中和,未落实“减排优先、抵消兜底”的要求,仍有部分会议大量使用一次性耗材、远距异地搭建、燃油专车接待、过量纸质会务材料,对会议全生命周期减排缺少管控。大型会议碳中和与绿色金融、碳市场、本地碳汇资源割裂,缺乏长效降本机制,对铺张高碳办会行为缺少约束。

二是配套标准亟待完善。环境和气候变化类行业标准缺失,核算边界不统一,部分活动仅统计会场用电,忽视差旅、搭建等

高排放“第一范畴”环节,核算结果缺乏横向对比性,对间接排放和上下游排放考虑有限;部分活动仅统计举办期能耗排放,未覆盖筹备搭建、嘉宾差旅、会后物料处置全周期,碳排放量测算失真。

三是实施主体能力差距较大。国内大型论坛和商业活动以省级单位及机构为主体,活动规模、场地及资源相对充足,部分金融论坛以金融机构托底,可聘请专业碳服务机构进行核算,购买CCER等进行核销实现碳中和;但区县级小型会议规模小、体量小,缺乏碳核算、CCER采购专业支撑,并且采购碳资产单价高,财政办会成本压力大。大型会议碳中和涉及发改、生态环境、文旅、机关事务、场馆运营、碳交易所多主体,但各单位信息系统相互割裂,场馆能耗、碳资产交易、活动备案等数据无法互通。

四是产业协同不足。无统一线上监管平台,无法实现活动筹备、减排落地、核算抵消全流程线上闭环,事后核查、监管督办效率低下。

构建大型活动碳中和标准化实施路径

在筹备阶段,划定核算边界、编制活动控碳方案、采用线上碳足迹填报。

一是划定标准化全周期核算边界。建议国家级论坛强制覆盖筹备、举办、收尾全周期,中小型活动至少覆盖举办和差旅核心环节,杜绝随意缩小核算范围。二是编制可量化碳中和实施计划,活动筹备初期出台专项方案。明确预估总排放量、硬性减排比例目标、绿色场地选型、无纸化、绿

色交通等具体措施、碳抵消合规渠道。三是低碳硬件与服务商前置筛选,优先选用绿色建筑、直购绿电场馆。

在举办阶段,严格落实会场控碳标准,探索场内外绿色模式,进行数字化实时监管。

一是落实会场能源低碳管控落实标准。如空调温度管控标准区分不同季节,安装智能分区分时控系统。会务全流程无纸化转型,刚需文件使用再生纸,大幅削减印刷耗材碳排放。二是对会场外各环节进行绿色探索。发布差旅低碳指引,以绿色交通闭环引导配套;设立碳普惠登记通道,自驾嘉宾拼车减排纳入记录;全面停用燃油接待专车。餐饮后勤低碳管控推行按需配餐;食材本地采购缩短冷链运输;场内垃圾分类全覆盖,厨余垃圾资源化处置。三是数字化实时监管。接入视频AI、能耗监测、车辆定位一体化智慧监管平台,实时采集场馆能耗、接驳车辆轨迹、场内物料消耗数据,异常高碳行为自动预警,实现“线上监测、线下整改”同步推进。

在核算过程阶段,引入第三方机构对碳排放精准核查,做好全面碳排放信息披露。

一是委托第三方机构按相关标准核算筹备、举办、收尾全链条排放,做到核算数据科学性、精准性和可靠性三重认证。二是做好碳排放信息披露,做到数据可查、可溯源。

在末端抵消认证阶段,合规抵消、权威认证,实现抵消认证全过程追溯。

一是分级选用合规碳抵消资源。遵循推荐顺序选取抵消资产,以全国统一CCER为主,适当拓展本地国有林场林业碳汇、湿地蓝碳、区域官方碳普惠减排量,

完成购买后全额注销减排量,留存注销凭证永久存档。二是申领官方碳中和证书。公开专项报告由碳交易所或第三方机构颁发标准化碳中和证书,并委托智库等机构编制《大型活动碳中和专项报告》,完整公示总排放量、减排措施、碳抵消凭证、全周期减碳成效,通过政府官网、媒体对外披露,接受社会监督。

在长效固化阶段,引入第三方评估核查,研究出台地方支持政策与信用考评机制,实现向长效机制转变。

一是构建“政府统筹、专业机构支撑”协同机制。参照“政府统筹低碳管控、碳交易所提供碳资产服务、第三方机构负责核查”三方分工模式,建立发改、生态环境、文旅等联动工作专班,打通跨部门数据接口,破除数据孤岛。二是完善成本管控长效机制,降低低碳办会投入。出台地方财政支持政策,对绿色场馆改造、无纸化数字化系统、CCER批量采购给予专项财政支持;建立本地碳汇长期合作框架,锁定低价抵消资源,控制综合成本。三是建立信用评价与联合约束机制。构建办会主体低碳信用分级评价体系,对高碳铺张办会、虚假碳中和、数据造假单位纳入失信名单,限制后续活动审批;将大型活动碳中和落实情况纳入地方“双碳”年度考核。四是分层培育服务配套资源。推动第三方核查机构下沉服务,针对乡镇县域开展碳核算、碳中和实操培训;建立市级绿色低碳办会供应商资源库,线上共享循环搭建、新能源交通、无纸化会务服务商资源,缩小区域实施能力差距。

(作者系北京民生智库科技信息咨询有限公司高级研究经理)