

# 推动光伏产业高质量发展

加快发展光伏发电等可再生能源是我国构建清洁低碳、安全高效能源体系的重要举措。近年来,我国不断推进落实“双碳”目标,光伏发电等可再生能源处于大有可为的战略机遇期。“十四五”规划和2035年远景目标纲要提出,大力提升光伏发电规模。本期特邀专家围绕相关问题进行研讨。

## 光伏装机连续8年世界第一

近年来,我国太阳能开发利用进展如何?光伏产业快速发展得益于哪些因素?

**赵勇强(中国宏观经济研究院能源研究所可再生能源中心主任):**太阳能光伏发电成本低、资源分布广泛、应用场景丰富,国际可再生能源署预测,在全球2050年实现净零碳排放的情景下,全球光伏装机需达182亿千瓦。

我国未来能源发展情景的初步研究显示,为实现2030年前碳达峰和2060年前碳中和,光伏装机届时需分别达约10亿千瓦以上和40亿千瓦左右。加快发展光伏产业将成为我国建设清洁低碳、安全高效能源体系,参与全球能源产业和绿色经济竞争合作的重要方向和长期任务。

“十四五”以来,在我国碳达峰碳中和目标和全球光伏市场爆发式增长的驱动下,以光伏发电为代表的新能源已进入大规模、市场化、高质量发展阶段。

一是装机规模持续快速增长。今年上半年,我国光伏新增并网7842万千瓦,截至6月底光伏累计装机4.7亿千瓦,成为装机规模第二大电源,仅次于煤电,光伏发电装机连续8年居世界第一。二是发电量不断增加,消纳利用总体保持较高水平。今年上半年全国光伏

发电量2663亿千瓦时,同比增长30%。全国光伏发电利用率98.2%。三是分布式光伏加速发展。2022年分布式光伏新增装机同比增长75%,今年上半年新增分布式光伏装机4096万千瓦,同比增长108%,截至6月底累计装机1.98亿千瓦。四是技术水平不断进步。企业成为光伏行业技术创新的重要主体,我国光伏企业在全球率先推动金刚线、异质结电池等先进技术的规模化应用,超前布局产业化颗粒硅材料、钙钛矿电池等前沿技术,不断巩固全球领先地位。其中,硅异质结电池转换效率刷新世界纪录,钙钛矿等新型光伏电池加速商业化进程。五是光伏产业各环节快速扩产升级,光伏组件价格下探历史新低,产业链供应链保障能力和全球竞争力显著增强。六是光伏产品出口增长明显。2022年我国光伏产品出口总额超512亿美元,同比增长超80%。

光伏产业的发展壮大得益于有力的政策扶持、全面的市场竞争和全链条的技术创新。早在本世纪初,我国启动实施送电到乡项目,大力支持光伏电站和户用光伏系统,解决偏远地区无电人口用电问题,并培育了首批国内光伏设备制造和工程企业。2005年通过可再生能源法,在总量目标、分类电价、费用分摊等方面提供了有力的政策扶持。此外,通过推行大型光伏电站特许权招标、实施光伏发电“领跑者”计划等,以市场竞争的方式推动光伏产业全

链条技术创新和成本快速下降,助力光伏电站在“十三五”末实现平价上网,摆脱补贴依赖。近年来,我国还加快发展城乡屋顶光伏和各类“光伏+”模式,推进建设沙漠戈壁荒漠风光大基地、主要流域水风光一体化基地,创新各类光伏利用场景,推动光伏走向全面普及发展的阶段。

光伏产业快速发展也离不开全球市场和资源,获益于广泛深入的国际合作。近20年来,我国坚持市场化、国际化方向,充分发挥新能源产业链全、市场规模大、技术转化快等优势,通过市场化机制不断吸引人才、技术和创新要素聚集,利用全球人才、市场资源打造光伏产业链。目前,我国光伏产业已迈入创新驱动的高质量发展阶段,创新成为发展第一动力,产业竞争力不断增强。

在光伏发电等可再生能源领域,未来应继续发挥好新能源产业链全、超大规模等优势,推进电力系统新能源占比不断增加,构建以绿色低碳可再生能源为主的新型能源体系。

“光伏+储能”“光伏+新能源汽车”等模式也不断得到应用。光储一体化通过储存光伏发电后的清洁电能,能减少弃光比例,达到“1+1>2”的效果。《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》提出,构建清洁化、低碳化、低成本的多元制氢体系,重点发展可再生能源制氢,严格控制化石能源制氢。可再生能源制氢前景广阔,光伏头部企业纷纷布局发展光伏制氢。2023年6月新疆库车绿氢示范项目顺利产氢,项目贯穿光伏发电、绿电制氢等流程,制氢规模每年约2万吨。

“双碳”目标的提出促使我国能源结构加速向清洁低碳化转型,推动我国光伏产业迈入新起点、新阶段。当前已形成的多种“光伏+”模式,有效助力我国实现“双碳”目标和光伏产业高质量发展。

2021年

全国光伏新增装机

5488万千瓦

截至2021年底

累计装机

3.06亿千瓦

截至2022年底

可再生能源装机

达12.13亿千瓦

其中

太阳能发电

3.93亿千瓦

## 智能光伏示范效应显现

在智能化发展方面,光伏产业取得怎样的进展?

**赵卫东(工信部赛迪研究院节能环保研究所所长):**光伏产业是基于新能源需求而兴起的朝阳产业,是实现碳达峰碳中和目标的重要领域。为全面提升发展质量和效率,我国不断推动光伏产业智能化、绿色化发展。2018年以来,工信部等部门先后发布了《智能光伏产业发展行动计划(2018—2020年)》《智能光伏产业创新发展行动计划(2021—2025年)》等政策文件并组织开展智能光伏试点示范工作。

在政策的指引下,光伏产业加快提升高端制造、智能制造、绿色制造水平,积极运用5G通信、人工智能、工业互联网等新一代信息技术,探索智能制造、智能应用、智能运维、智能调度等新模式,降低能源资源消耗与碳排放,推动我国光伏产业迈向全球价值链中高端。通过系统设计、科学布局、试点先行、量质并举,我国光伏产业智能化、绿色化发展水平显著提升。

目前,智能光伏示范引领成效显著。新一代信息技术与光伏产业加快融合创新,三批智能光伏试点示范企业总数达80家,涵盖光伏产业链的各主要环节;试点示范项目93个,涉及光伏发电、光储融合、光伏建筑、光伏农业、光伏交通等应用领域。光伏产业智能制造、智能运维、智能调度、光储融合等水平有效提升。

智能化生产装备、信息化管理系统和数字化辅助工具等信息技术已在光伏龙头企业中得到普及,通过动态调配资源、精准控制工艺过程、智能加工与装配、人机协同作业与精益生产管理,企业实现了生产设计数字化、生产管控透明精细化、生产预警自动智能化。同时,光伏企业积极应用5G通信、工业互联网、智能算法等信息技术,进行产品设计、工艺研发等,优化资源使用,推动全产业链绿色低碳发展。

与新一代信息技术融合发展,光伏产业着力提质增效,产业规模保持快速增长。2023年上半年,根据光伏行业规范公告企业信息和行业协会测算,全国多晶硅、硅片、电池、组件产量再创新高,同比增长均超65%。技术创新水平加快提升。高效晶硅电池、钙钛矿电池、异质结技术不断创新,转换效率多次刷新世界纪录。钙钛矿及叠层电池等新技术新产品不断推进商业化进程。

我国光伏产业智能化、绿色化发展形势向好,但也面临挑战。技术端仍存在“卡脖子”问题。光伏发电的间歇性、不稳定性与电网的匹配度有待提高,大规模光伏电站的检测维修也对运营成本带来挑战,亟需技术突破。部分生产环节或部分企业组织架构尚无法适应数字化运行方式。光伏产业的智能化,不仅是对工艺工序生产环节进行智能化数字化转型,更是对企业组织架构的重新定义。目前,光伏产业链各环节自动化、智能化水平不一;部分光伏企业的数字化管理与应用能力较弱,无法调动全流程智能化协同发展,导致数据价值难以实现最大化。国际绿色贸易壁垒的增加,也进一步提高了我国光伏企业绿色化发展门槛,对我国光伏产业绿色化发展提出了更高要求。

面对挑战,光伏产业需从以下方面着力提升。一是加快产业技术创新。推动智能光伏关键原料、设备、零部件等技术升级,开展智能光伏与建筑节能、交通运输、绿色农业等领域相结合的交叉技术研究。二是提升智能制造水平,加强应用端智能化水平,推动光伏企业实现全流程智能化运营管理。强化光伏电站的智能运维与并网消纳能力,推动光伏电站实现全链条可视、可管、可控。三是深化全链条绿色发展。开发低碳材料、工艺、装备,积极利用可再生能源生产,促进进行行业低碳转型。研究开发退役光伏组件资源化利用的技术,建设智能光伏组件回收相关平台,推动废旧光伏组件回收利用技术研发及产业化应用。

## “光伏+”模式助力碳达峰碳中和

目前,我国光伏产业已形成哪些发展模式?

**吕小军(华北电力大学新能源学院教授):**光伏发电等可再生能源快速发展为“双碳”目标的实现作出积极贡献。目前,我国光伏电站主要分为分布式光伏电站和集中式光伏电站。数据显示,截至2023年6月底,全国光伏发电装机容量达4.7亿千瓦,其中集中式光伏2.72亿千瓦,分布式光伏1.98亿千瓦。

分布式光伏电站通常安装在屋顶或墙面,可给附近用户供电,能降低输电损耗、提高能源利用效率,一般采用自发自用、余电上网的配电方式,投资相对较少、建设周期也较短。2021年全国分布式光伏电站新增装机2928万千瓦,占全部新增光伏装机的比重首次突破50%,集中式与分布式并举的发展格局基本形成。2022年分布式光伏新增装机5111万千瓦,占当年光伏新增装机的58%以上。

集中式光伏电站规模较大,主要应用于荒漠、山区等空旷地带,可实现远距离供电,其优势在于规模效益,方便集中管理,容易实现扩容。数据显示,2023年上半年,集中式光伏新增装机3746万千瓦,同比增长234%。

无论是分布式光伏电站还是集中式光伏电站,发展势头都十分迅猛,已形成“光伏+建筑”“光伏+制氢”“光伏+储能”“光伏+新能源汽车”等应用模式。

“光伏+建筑”是实现建筑绿色发展的有效途径,相较于直接把光伏发电系统安装在现有建筑上,光伏建筑一体化注重光伏发电组件与建筑的统一和融合,发电组件既具有发电功能,也是建筑材料的一部分。《2030年前碳达峰行动方案》提出,推广光伏发电与建筑一体化应用。建设集光伏发电、储能、直直流配电、柔性用电于一体的“光储直柔”建筑。到2025年,城镇建筑可再生能源替代率达到8%,新建公共机构建筑、新建厂房屋顶光伏覆盖率力争达到50%。2023年4月,青海省首例多功能光伏建筑一体化项目成功并网发电,包含100千瓦多功能光伏幕墙、157.76千瓦常规组件光伏幕

墙等,总计可年发电540万千瓦时,减少二氧化碳排放5388吨。

氢能是绿色低碳、应用广泛的二次能源,光伏制氢是先利用光伏发电将光能转化为电能,然后利用电能将水电解得到氢气和氧气,制造过程整体对环境友好,还可平抑光伏发电的不稳定性。《氢能产业发展中长期规划(2021—2035年)》中提出,构建清洁化、低碳化、低成本的多元制氢体系,重点发展可再生能源制氢,严格控制化石能源制氢。可再生能源制氢前景广阔,光伏头部企业纷纷布局发展光伏制氢。2023年6月新疆库车绿氢示范项目顺利产氢,项目贯穿光伏发电、绿电制氢等流程,制氢规模每年约2万吨。

“光伏+储能”“光伏+新能源汽车”等模式也不断得到应用。光储一体化通过储存光伏发电后的清洁电能,能减少弃光比例,达到“1+1>2”的效果。《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》提出,促进新能源汽车与可再生能源高效协同。鼓励“光储充放”(分布式光伏发电—储能系统—充放电)多功能综合一体站建设。海南省琼海市博鳌镇建设光储充电汽车智能充电站,设置8个充电车位,采用“数字化+智能化”方式运营,整合棚顶光伏发电、储能系统储能、充电桩用电多项技术。江西省九江市柴桑区首个“零碳社区”在沙河街道公园社区建成,该项目包括光伏长廊、光伏椅、“光储充”一体化停车场等。

“双碳”目标的提出促使我国能源结构加速向清洁低碳化转型,推动我国光伏产业迈入新起点、新阶段。当前已形成的多种“光伏+”模式,有效助力我国实现“双碳”目标和光伏产业高质量发展。

2023年前7个月

太阳能发电新增装机

9716万千瓦

比上年同期多投产

5943万千瓦

数据来源:国家能源局

在农村农村领域,光伏发展现状如何?

**韩雪(国务院发展研究中心资源与环境政策研究所副研究员):**分布式光伏应用是推动我国农村地区提高能源可及性、丰富发展农村经济、实现能源清洁利用的一项重要举措。在光伏产业发展初期,国家就通过送电到乡、金太阳示范工程为农牧民提供电力,大幅提高了边远地区的电力可及性。“十三五”时期,光伏扶贫电站累计装机2636万千瓦,惠及415万贫困户,每年可产生发电收益约180亿元。

分布式光伏应用成为巩固拓展脱贫攻坚成果、促进乡村振兴的重要内容。《“十四五”可再生能源发展规划》提出,实施“千家万户沐光行动”,规范有序推进整县(区)屋顶分布式光伏开发,建设光伏新村。《农村能源革命试点县建设方案》提出,在保护生态的基础上,结合屋顶分布式光伏开发试点工作推进光伏发电建设。2021年至2022年,在“整县推进”模式的带动下,农村地区屋顶分布式光伏应用快速推开,连续两年户用光伏新增装机达2000万千瓦以上,发展规模超过了工商业分布式光伏。

与其他能源形式相比,光伏发电对项目业主的门槛要求低,加之单位面积可生产的能量密度较低,更适宜在土地资源相对充裕或综合利用的场景开发。村集体或农户个人都可利用建筑屋顶、院落空地、田间地头、设施农业、集体闲置土地开发光伏发电项目,并获

得相对长期稳定的收入。

尽管农村地区屋顶资源丰富,但较为零散,难以实现规模化开发,建设、运维和消纳等环节也缺乏统筹。对此,一些地区结合技术手段创新思路取得了较好效果。浙江省宁波市李岙村等地在推进整村拆改建时统一规划建设了带有高标准屋顶光伏的建筑,并通过免费电量、收入分红等方式调动了村民参与积极性。

此外,各地结合实际,开创了光伏综合利用的新业态。“光伏+特色种植”通过将农作物的光照和温度需求融入光伏板架设计,按照“板上发电、板下种植、农光互补”的理念,贵州的“光伏板蓝根”、福建的“光伏菇”、江苏的“光伏牡丹”等各种绿色经济新模式不断涌现。光伏牛棚、光伏小龙虾等光伏与牧渔业结合的业态也很普遍。光伏发电项目不仅增加了当地农民就业和收入,更通过对农业设施的智能化提升将降温、喷淋、避光、排涝等功能结合在一起,促进了农作物的增产,实现了集约用地、绿色低碳发展和乡村振兴效果的最大化。

为破解农户参与光伏项目的资金难题,许多商业开发模式应运而生,由专业化的光伏发电项目业主开展项目投资和运营,农户则通过提供屋顶资源以及设备日常维护获得收益,最常见的方式为“屋顶租赁模式”。河南省提出“1+

1+X”模式来推进农村地区屋顶分布式光伏建设,通过一家大型能源企业牵头、一家金融机构统筹提供绿色信贷支持、多家属地企业参与的方式进行合作。专业性的技术服务和金融服务可以有效激发农户参与积极性,属地企业也可帮助大型能源企业更高效地对接本地土地和屋顶资源。

推动分布式光伏在农业农村领域的应用,还需进一步创新发展模式,提高土地资源、资金和能源的利用效率,为实现“双碳”目标和乡村振兴提供更有利支撑。

一是强化顶层设计,梳理总结已有经验,提出适应农村各类业态的更精细化的开发和技术指引,引导光伏开发因地制宜、因业制宜,充分利用资源。二是充分发挥基层政府的作用,通过入股分红、提供工作岗位等方式调动农民参与积极性。三是提高农村地区分布式光伏的电网消纳能力,把握发展节奏,实现分布式光伏开发计划与电网建设规划的滚动优化,通过推广发用电净计量法,用光伏发电量直接抵扣农户家庭的用电量,鼓励发电量的实时匹配,提高本地对光伏波动性的消纳能力。四是进一步规范市场运行,加强对设备质量、运维市场、金融服务等环节的监管,提升农民对光伏的使用体验,创新融资模式、引入保险服务,提高项目开发运营中的风险管控能力。