



图为世界海拔最高风电场措美哲古风电场一角。三峡集团供图

◎本报记者 何亮

一排排深蓝色的光伏板在阳光下呈矩阵排列，一台台转动着巨大叶片的白色风机输出清洁电力……祖国大地上，能源基地纷纷竞逐“风光”能源新赛道，全面助力能源产业绿色转型。

能源产业是我国实现碳达峰碳中和目标的主战场。2023年，我国可再生能源总装机突破14亿千瓦，占全国发电总装机比重超过50%，历史性超过火电装机。2月29日，中共中央政治局就新能源技术与我国的能源安全进行第十二次集体学习。习近平总书记强调，要瞄准世界能源科技前沿，聚焦能源关键领域和重大需求，合理选择技术路线，发挥新型举国体制优势，加强关键核心技术联合攻关，强化科研成果转化运用，把能源技术及其关联产业培育成带动我国产业升级的新增长点，促进新质生产力发展。

技术突破让风电建设大幅提速

在青藏高原那曲市欧玛亭嘎风电场，25台高大的风机迎风旋转。1月1日，世界超高海拔地区最大风力发电场——那曲欧玛亭嘎100兆瓦风电项目正式投入运行。该项目一年可以向那曲市送电2亿度，节约标煤约6万吨，满足23万人一年的用电需求。

过去一年，从蔚蓝大海到雪域高原再到乡村田园，一台台大型风机拔地而起，实现一个个新突破。最新数据显示，我国风电装机容量已突破4亿千瓦，占全国发电总装机容量的14.4%，连续多年保持世界第一。风电产业体系的加快形成成为我国经济发展提供了更多绿色动能。

技术的不断突破，让中国的风电建设大幅提速。从自主研发制造的主轴承材料，到技术工艺拥有自主知识产权的超长风电叶片，我国超大型风机整机国产化率不断提升，已达到95%以上，发电机、齿轮箱等关键核心部件国产化率更是接近100%。目前我国已具备了超远距离输电、超大风机安装、智慧无人运维等一系列能力，助力风电加速向高原、荒漠、深海等更多开发难度大，但风能资源丰富的地区挺进。

2023年8月，我国最高海拔风电场——西藏措美哲古风电场首批5台单机容量3.6兆瓦的风力发电机组成功并网。措美哲古风电场位于喜马拉雅山北麓，风机建设在海拔5000米至5200米之间，总装机72.6兆瓦。它是西藏自治区首个超高海拔风电开发技术研究和科技示范项目，也是首个并入西藏主电网的风电项目，创造了世界高原风电建设奇迹。

在一期项目的成功经验基础上，项目团队加大科技创新投入。二期项目全部采用单机容量3兆瓦以上的机型，其中最大单机容量达到3.6兆瓦，可有效提高当地风资源利用效率，颠覆了以往“高原风能有气无力、不具有开发价值”的认知。这款3.6兆瓦风机叶轮直径达160米，风机轮毂中心距地面90米，具有高海拔适应性、防紫外线、防雷、耐低温、抗覆冰等技术特点，能够在严苛的自然环境下长期稳定运行。

在我国南海，三峡集团“三峡引领号”、中国海装“扶摇号”、中国海油“海油观澜号”三个漂浮式海上风电平台已实现并网发电，即便在台风、巨浪的裹挟下，仍旧“风雨不动安如山”。

“当前，无论是从构建新型电力系统，还是从资源储备量来讲，海上风电，尤其是深远海海上风电在我国有广阔的发展前景。”国家卓越工程师、三峡集团上海勘测设计研究院有限公司总工程师林毅峰说，“作为先行者，三个具有自主知识产权的漂浮式海上风电平台在为中国深远海海上风电开发探路。面向未来，更先进的海上风电平台和风电场智能化运维是科技创新攻关的方向。”

迭代创新助力光伏组件刷新纪录

2023年11月29日，“十四五”时期第一批开工建设的大型风电光伏基地项目之一——蒙西基地库布其200万千瓦光伏治沙项目成功并网。它是目前我国单体规模最大的光伏治沙项目，年均可生产约41亿度绿电。

鲜为人知的是，一个占地40亩、共安装11200块钙钛矿光伏组件的“基地”隐藏在其中。三峡集团蒙西基地库布其项目相关负责人说：“这是一块‘试验田’，一年后的运行数据将验证钙钛矿光伏组件能否刷新太阳能电池光电转化效率纪录。”

近年来，我国光伏产业实现跨越式发展，实现从过去原料、设备、市场“三头在外”，到如今拥有全球近一半的光伏发电装机容量、八成以上主要制造环节产量的转变。企业在通过技术创新不断降低产品成本、扩大产业规模的同时，着眼于提升太阳能电池性能。其中，转化率是企业攻关的重要方向。

“转化率是太阳能电池的核心竞争力。目前，全球光伏产业最重要的两个方向是晶硅单结电池和晶硅—钙钛矿叠层电池。两者的转化率世界纪录均由我国企业创造。”全国人大代表、隆基绿能科技股份有限公司董事长钟宝申认为，这两项纪录为新技术、新产品的规模化应用指明了方向。

“未来5年，以复合钝化背接触电池（HPBC）技术为代表的BC类电池，将受到光伏行业越来越多的青睐，成为晶硅电池的主流。”在钟宝申看来，我国城镇、

乡村分布式光伏市场广阔，HPBC因具备较高的转化率和美观的外形，市场前景广阔。

基于HPBC技术，2022年11月推出全球首款“量身定制”的光伏组件；2023年10月发布全球首款高效防积灰光伏组件……谈及隆基绿能近年在光伏领域取得的重大突破，钟宝申说：“光伏行业的需求波动较大，迭代速度快。技术一旦落后，产能可能反而意味着负债和包袱。因此，唯有坚持创新才能保持竞争力。”

统计显示，2014年以来，我国企业刷新光电转换效率世界纪录50余次。目前，我国太阳能电池全球专利申请量为12.64万件，排名第一。我国在太阳能电池领域已具备较强的创新实力。

新储能方式把“麻烦电”变“抢手电”

在甘肃瓜州，全球首个“双塔一机”光热储能项目正在紧锣密鼓地推进中。项目利用将近3万块反射太阳光的定日镜，把太阳光的热能储存在吸热塔中的熔盐里，最终带动汽轮机发电。

风电、光伏发电具有“看天吃饭”的特性，电力供应易出现波动。因此对电网来说，风电、光电等是“麻烦电”。要解决风电、光电发电功率波动大的问题，将“麻烦电”变成“抢手电”，最简单的方法是用“充电宝”把电存起来，再稳定释放。

目前，我国已经建立了完整的储能产业链，覆盖电池、逆变器、储能系统等环节。这使我国在储能领域具有更强的竞争力。最新数据显示，截至2023年9月底，我国已建成投运新型储能项目的累计装机规模达2123万千瓦，位居全球前列。

在内蒙古乌兰察布，“源网荷储”技术研发试验基地的储能实验室里一派繁忙。“自2020年起，三峡集团联合中国科学院、清华大学等20余所国内顶尖科研机构 and 院校，在乌兰察布‘源网荷储’试验基地进行实验，为未来不同场景下储能系统的大规模应用，寻找有效的解决方案。”三峡集团科学技术研究院乌兰察布“源网荷储”项目部主任韩俊飞说。

“源网荷储”是一项安全、高效地统筹“充电宝”与电网充电的技术。“这项智慧技术利用储能系统将可再生能源与电力系统相结合，实现能源的灵活储存和供应。”韩俊飞表示，“源网荷储”是加快构建以新能源为主体的新型电力系统的重要支撑。

“基地目前有锂离子储能、钠离子储能、液流电池储能、压缩空气储能等7种新型储能方式。不同储能方式各有优缺点，可适应不同的场景。”韩俊飞认为，未来，不同储能方式与电源、负荷多能互补、协同运行的模式，将会成为储能行业的新趋势。

江毅委员：推动新能源“质”“量”双升

新期待

◎本报记者 何亮

“围绕新型电力系统，能源电力企业要构建延伸‘氢’‘储’‘碳’‘智’等新技术、新产业、新模式产业链，打造综合能源产业圈。”全国政协委员，中国华电集团有限公司党组书记、董事长江毅建议，以更大力度布局前瞻性战略性新兴产业，力争形成一批优质的战略性新兴产业集群。

2023年，中国华电聚焦能源安全保障和绿色低碳发展，新能源装机同比增长127.7%，发电总装机达到2.14亿千瓦，清洁能源装机占比达到51.4%。国家第一批、第二批410万千瓦新疆“沙戈荒”风光火储新能源基地全部并网发电，世界单体最大的天津海晶100万千瓦“盐光互补”项目全容量并网发电，世界海拔最高的西藏才朋50兆瓦光伏发电项目并网发电……中国华电全年核准、开工、投产新能源容量均创新高。

2024年是实施“十四五”规划的关键一年，如何进一步推动绿色发展？江毅表示，中国华电将深入贯彻落实习近平总书记在中共中央政治局第十二次集体学习时的重要讲话精神，以可再生能源发展为主，认真落实国家优化重大生产力布局和新电力体系布局规划，打好结构调整攻坚战，大力推动我国新能源产业高质量发展。

发展新质生产力是推动高质量发



展的内在要求和重要着力点。在江毅看来，能源电力企业必须抓住高水平科技自立自强这个关键，以绿色低碳科技创新推动能源产业创新、塑造发展新优势。例如在2023年，中国华电牵头承担国家重大攻关任务，国内首台全国产化F级50兆瓦重型燃机在广东清远投入运行，建设“水圈科学与水利工程”全国重点实验室华电分室，牵头申报多项国家重点研发计划，使企业的活力不断增强。

江毅表示，2024年，中国华电将加快推动形成新质生产力。进一步开展新一轮国企改革深化提升行动，健全与绿色低碳发展相适应的科技体制机制，以科技创新为动力增强企业活力；加快推动电力工控、燃气轮机、氢能等领域的关键核心技术攻关，推动创新链产业链资金链人才链进一步融合；以更大力度布局前瞻性战略性新兴产业，力争形成一批优质的战略性新兴产业集群，抢占发展制高点、打造新的增长极。

高温气冷堆开启核电发展新空间

新亮点

◎本报记者 何亮

日前，全球首座第四代核电站——山东荣成石岛湾高温气冷堆核电站通过168小时连续运行考验，正式投入商业运行。这标志着我国在第四代核电技术研发和应用领域达到世界领先水平。

石岛湾高温气冷堆核电站示范工程于2012年12月正式开工，由中国华能集团有限公司、清华大学、中国核工业集团有限公司共同建设。三方集聚产业链上下游500余家单位，先后攻克了多项世界级关键技术，设备国产化率达到93.4%，研制创新型设备600多套（套），主氨风机就是其中的典型代表。

主氨风机是高温气冷堆的关键设备，其作用相当于传统压水堆机组主泵，是高温气冷堆的“心脏”。“整个制造过程中最关键，也最棘手的难题就是将电磁轴承技术用于主氨风机。”清华大学核研院主氨风机项目负责人王宏介绍，电磁轴承优势多，但将其应用于一回路的主氨风机，在世界上没有先例，应用风险高，研发难度大。

清华大学在电磁轴承设计、控制及传感器研制等方面具有国际领先的技术水平。“这也是主氨风机采用电磁轴承技术路线的底气。”王宏说。他同时表示，技术先进并不代表能直接落地应用。在主氨风机工程样机研制初期，国产电磁轴承的产品在成熟度及制造工艺等方面都存在不足。“比如电磁轴承定、转子各部件的间隙控制。这涉及多个垫片的现场试装与垫片厚度匹配。”

为了不影响整体工程进度，研发团队采用“国内技术+国外产品互相迭代”的研发思路。团队首先以自主研发的国产电磁轴承为基础，研制主

氨风机工程样机，验证其设计可靠性。随后，利用国外成熟电磁轴承产品，生产用于示范工程的主氨风机产品。研发团队根据示范工程的技术反馈，不断优化国产电磁轴承产品的成熟度。这种研发思路使国产电磁轴承产品达到了工程技术要求，成功从实验室走向应用一线。

“依托该示范工程，我国系统掌握了高温气冷堆设计、制造、建设、调试、运维技术，培养了一批具备高温气冷堆建设和运维管理经验的高素质专业人才，形成了一套可复制、可推广的标准化管理体系，并建立起以专利、技术标准、软件著作权为核心的自主知识产权体系。”华能山东石岛湾核电站有限公司总经理张延旭表示，示范工程投产对促进我国核电安全发展、提升我国核电科技创新水平具有重要意义和积极影响。

目前，通过集中产业链上下游优势资源联合开展技术攻关，示范工程成功研制出2200多套世界首台（套）设备，研发了高温气冷堆特有的调试运行六大关键核心技术。我国在高温气冷堆先进核电技术领域的全球领先地位得以巩固。

为充分发挥核电减排的作用和能力，助力实现“双碳”目标，保障电力系统安全稳定，核电的装机比重需要进一步提高。《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》明确指出，积极安全有序发展核电。

专家表示，安全如期达成“双碳”目标，核电“蓄能”势在必行。“十四五”规划和2035年远景目标纲要提出，开展山东海阳等核能综合利用示范。这为我国核能产业发展开辟了新赛道。下一步，核能还需要在电力调峰、核能制氢、核能供热、核能供暖、海水淡化等方面发挥更大作用。