

# 风电叶片回收再利用进程提速

■本报记者 李丽昊

近日,国内主要风电叶片生产商中材科技披露2023年ESG报告。报告显示,通过开展固体废物减量活动,去年该公司单位叶片产量固废同比降低17.26%。同期,另一风电叶片生产商时代新材也在2023年ESG报告中披露,借助制造工艺提升、清洁技术以及节能降耗举措,该公司叶片制造产生的二氧化碳排放量减少4000吨左右。

风电叶片的报废回收一直是风电设备循环利用的“老大难”问题,随着政策暖风频吹、新技术不断突破,风电叶片回收再利用前景逐渐“拨云见日”,全生命周期绿色化进程提速。

## ■叶片生产工艺不断改进

记者了解到,风电叶片主要原材料包括树脂基体材料、增强材料、夹芯材料等,从目前来看,部分金属结构以及稀土金属等高价基本可实现回收,但热固性树脂基体嵌入玻璃纤维或碳纤维的复合材料却存在回收成本较高、价值相对较低的挑战。

随着全球范围内风电装机容量不断增长,设计寿命为20—25年的风电叶片也即将迎来大规模报废潮,去年底,中英两国研究人员在《自然》子刊上发布最新研究称,目前国内外回收应用于风电叶片中玻璃纤维的技术虽种类多元,但实际上并不是都同时具备环境可持续和商业推广优势,而根据现有产能和装机趋势,到2050年我国可能会产生770万到2310万吨风电叶片废弃物,这也将对风电产业带来不小负担。另据业界估计,如果没有找到有效的解决方案,到2050年,预计全球将累积4300万吨退役叶片。

面对行业共同难题,各大风电设备以及零部件生产商已开始行动,从公布的ESG报告以及2023年度业绩报告来看,在

生产工艺、生产材料等初始环节创新成为了一大普遍选择。

中材科技披露称,该公司2023年下线了近百米级热塑性复合材料风电叶片,利用阿科玛集团的热塑性可回收树脂制作而成,是国内目前较先进成熟的热塑性可回收叶片,刷新全球热塑性复合材料风电叶片长度纪录。时代新材则披露称,该公司自主研发并下线了全球第一款可回收热固性树脂叶片,实现公司在风电叶片新材料应用方面的全新突破。此外,明阳智能也在2023年宣布下线了长度为75.7米的热固性树脂叶片,实现了95%以上的叶片材料回收比率。

## ■后处理新手段持续涌现

除了从生产环节推动回收,叶片后处理环节也创新不断。金风科技相关负责人在接受《中国能源报》记者采访时表示,目前市场上对于固废叶片处置主要采用循环制包装箱和机械研磨两种方式,金风科技采用的是退役风机叶片沿“就地回收—就地破碎—粉碎—筛分—固废3D打印—制成成品”链条,已形成完整的、规模化的配套产业链,这也为叶片回收利用开辟了新方向。

据上述负责人介绍,这项技术将风机叶片固废转化为3D打印的原材料,借助3D打印产业就可实现对叶片固废的规模化消纳。此技术还可选择与风电场周边的建筑项目合作,应用移动式3D打印机人,实现叶片固废的就地生产与消纳,减少长距离运输带来的成本。测算显示,以叶片材料作为3D打印材料原料,在设计建设880平方米的风电场园区基础设施项目中,对比传统行业材料成本可降低10%,叶片使用量则可达约103吨。

更为值得注意的是,一度成为难题的环氧树脂分解问题也在近期得到了突破。去年4月,丹麦奥胡斯大学与丹麦技



术研究所研究人员在《自然》期刊上发表最新复合材料研究成果,提出可利用钨基催化剂,在特定条件下可打断环氧树脂中碳氧化学键,能够实现玻璃纤维和环氧树脂的分离,进而实现材料级的回收和再利用。

上述研究人员表示,通过对市面上多种报废叶片材料进行实验,使用过渡金属催化这一方式能够让叶片化学回收方式成为可能。

## ■全生命周期绿色化提速

在叶片生产商LM风电可持续部门主管凯特琳·胡贝尔看来,与其他行业相比,风电行业产生的复合材料废弃物总量小很多,但行业仍应确保风电机组使用的所有材料都有可持续的回收解决方案。从目前行业实践来看,风电叶片行业仍在寻求更具成本效益的解决方案。

在我国新能源产业快速发展,风电设备大规模应用的大背景下,去年7月,国家发改委等部门发布《关于促进退役风

电、光伏设备循环利用的指导意见》(下称《指导意见》),提出将加强产业链上下游协同,促进退役风电、光伏设备循环利用,实现资源利用效率最大化。

《指导意见》明确提出鼓励再生利用企业开展退役风电、光伏设备精细化拆解和高水平再生利用,重点聚焦风电机组中的基础、塔架、叶片等部件,支持龙头企业针对复杂材料加快形成再生利用产业化能力,重点聚焦风机叶片纤维复合材料。同时还强调,将健全标准规范体系,加快研究以填埋、焚烧、回收利用等方式处理废弃风机叶片的环境影响,针对污染控制问题研究制定污染防治技术规范。在业界看来,该文件的发布正是为我国风光设备循环利用提供了“路线图”。

金风科技相关负责人告诉记者,目前在行业内风电机组资源再生还处在摸索阶段,以简单分解报废回收为主,面向未来,可参考汽车行业的成熟处置体系,进行多场景应用,跨界融合将部件“升级使用”和“降级使用”并联,实现绿色回收的同时,增加残值最大化收益。

## 政策链接

1月,《中共中央 国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》发布,明确提出加快发展方式绿色转型,推动各类资源节约集约利用,加快构建废弃物循环利用体系,促进废旧风机叶片、光伏组件、动力电池、快递包装等废弃物循环利用。推进原材料节约和资源循环利用,大力发展再制造产业。

2月,国务院办公厅印发《关于加快构建废弃物循环利用体系的意见》,强调加快构建废弃物循环利用体系,明确5方面政策举措,包括推进废弃物精细化管理和有效回收、提高废弃物资源化和再利用水平、加强重点废弃物循环利用、培育壮大资源循环利用产业、完善政策机制。

3月,工信部等七部门发布《关于加快推动制造业绿色化发展的指导意见》,其中强调,将推动新兴产业绿色低碳高起点发展,在新能源领域,加快废旧光伏组件、风力发电机组叶片等新型固废综合利用技术研发及产业化应用。

3月,国务院印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》的通知,提出实施回收循环利用行动,有序推进再制造和梯次利用。加快风电光伏、动力电池等产品设备残存寿命评估技术研发,有序推进产品及关键部件梯次利用。

4月,国家发改委发布行政规范性文件《节能降碳中央预算内投资专项管理办法》,其中明确提到将重点支持“循环经济助力降碳项目”,包括退役风电光伏设备等废弃物循环利用,支持退役设备再制造。

(李丽昊/整理)

# 世界首台(套)300MW级压气储能电站成功并网

■卢奇秀 赵雪明

4月9日,由中国能建数科集团(以下简称“数科集团”)和国网湖北综能共同投资的世界首台(套)300MW级压气储能电站——湖北应城300MW/1500MWh压气储能电站示范工程(以下简称“应城项目”)首次并网一次成功,标志着全球压气储能电站由此迈入“300MW级”单机商业化新时代。

“应城项目在压气储能领域创造了单机功率、储能规模、转换效率3项世界领先;打造了压气储能系统示范、核心装备自主化示范、绿色低碳先进技术示范、精品工程示范、全产业链全过程数字化示范、盐穴综合利用成套技术示范6个行业示范,以及数十项国际首创、首次突破,核心技术装备实现100%国产化。”数科集团党委书记、董事长万明忠表示,应城项目成功并网发电,实现了行业从“0到1”的重大突破,验证了大容量、高效率、超长时《中国能建压气储能系统解决方案》的可靠性、创新性和领先性,彰显全球领跑地位。数科集团统筹推进“科技创新+工程化实践”双向发力,以培育和打造新质生产力为战略着力点,持续引领我国新型长时压气储能工程化水平再攀新高。

## 走在世界前列, 打造压气储能电站标杆

应城项目位于湖北省应城市,利用云应地区废弃盐矿洞穴为储气库,打造一个超级“充电宝”——单机功率达300MW级,储能容量达1500MWh,系统转换效率约70%,每天蓄能8小时,释能5小时,年均发电约5亿千瓦时,相当于以空气为介质,转化的电量可以满足75万居民一年的用



电需求,可有效应对新能源发电的波动性、间歇性和随机性,为湖北省电网安全稳定运行和省内新能源消纳发挥重要作用。

压气储能的原理是利用电网负荷低谷时的剩余电力压缩空气,将其储藏在高压密封设施内,在用电高峰释放出来驱动膨胀机带动发电机发电。近年来,我国压气储能产业化进程明显加速,相关技术经历了从无到有,从弱到强,从跟跑到领跑的发展转变,国内1.5MW、10MW、100MW级压气储能项目陆续投运且规模持续“升级”,研发及产业化进程已处于国际领先地位。

中国能建率先开展规模为300MW级压气储能,是基于怎样的考虑?“该规模与目前我国电源主力装机结构的火电机组容量相近,在逐步实现对现有燃煤机组替代中,发电机、厂房、外送等资源可继续利用。”万明忠表示,按照既往经验,推进300MW、600MW、1000MW各级机组稳步发展,符合电力技术的升级规律,将是我国

压气储能产业快速发展的有效路径。

“作为国家能源电力和基础设施建设的‘排头兵’,中国能建聚力研发推广压气储能系统解决方案是为构建新型电力系统而进行的一项重大工程化实践。”万明忠指出,中国能建承担了我国90%以上的电力勘测、设计、科研和行业标准制定任务,全环节具备“硬核”专业能力。而压气储能的发电原理和各分系统与火电相似,只是将燃料从“燃煤”变成“高压空气”,技术资源可快速切换到压气储能领域。

“目前世界上大部分已投运的盐穴型压气储能电站都需要烧煤或天然气来加热空气,这个过程叫做‘补燃’,不可避免会产生污染排放以及造成压缩热的损失。该项目利用‘非补燃’技术,将空气压缩过程中产生的热量进行回收再利用,没有任何燃烧、排放,集全绿色、非补燃、高效率、低成本于一体,将成为世界压气储能电站的标杆。”万明忠说。

## 聚合尖端力量, 勇当产业链“链长”

成功网并的背后是数科集团在自主创新方面的不懈探索。

地上工程决定好坏,地下工程决定成败,深地储气库是压气储能工程的决定性因素。据悉,应城项目盐穴储气库地质条件复杂,大口径注采井钻完井难度大。数科集团深地技术科研团队与中科院武汉岩土所杨春和院士团队、中石油系统内多个单位深度协同,经过联合技术攻关与实验论证,不断优化盐穴利用方案,钻井工程系统方案,成功攻克复杂盐穴空间高效利用成套技术、数智化选址技术,掌握国际首创

技术,制定行业标准20余项,打造了一系列国际尖端技术和配套产品包。尤其是,在世界范围内首次成功应用盐穴沉渣空间储气,首创国内最大口径注采井方案,大幅提高了盐穴空腔利用率和注采井的注采气量,也降低了工程造价和缩短了建设工期。

压气储能是一项多学科交叉、多过程耦合的系统工程,在压缩膨胀设备、储热及发电机等核心装备上存在较高技术壁垒。“我们围绕大功率、大容量、长时储能空气压缩/膨胀机工艺设计、材料研发、快速加载控制策略等‘卡脖子’问题,攻克了大型轴向进气、下排气、宽负荷工况频繁启停的轴流压缩机关键技术,提出了压缩机轴流+离心的配置方案。研制了世界首台容量最大、性能最优的非补燃式压缩空气膨胀机设备,填补了国内空白。”万明忠表示,中国能建始终坚持“战略是引擎、科研是先导、设计是龙头、设备是关键、建设是基础、数智是底座”的工作方针,以系统观念、工程化思维谋篇布局,勇当产业链链长,联合行业领军企业、装备龙头企业,以及高校、科研院所紧密合作,打造产业创新生态,发挥“研投建管数”一体化优势,矢志锻造全世界最好的压气储能系统,带动全球压气储能产业蓬勃发展。

科技创新能力有目共睹。应城项目入选国家第三批能源领域首台(套)重大技术装备、新型储能试点示范项目、绿色低碳先进技术示范项目、储能系统膨胀机、压缩机被评为2023年能源行业十大科技创新成果。万明忠指出,中国能建秉持“全自主化、全产业链、全国产化、全开放式”合作理念,形成了一套技术自主可控、全产业链高效协同、兼顾效率和投资的大规模压气储能的“能建方案”。

## 规模化进程提速, 分享长时储能发展机遇

随着可再生能源渗透率逐步提升,光伏和风电等可再生能源发电“时间+空间”错配问题愈发凸显,进一步催生电力系统的长时储能调峰需求。

在碳达峰碳中和背景下,新能源装机及发电量占比将大幅提升。长时储能作为支撑新型电力系统构建、实现“双碳”目标的“压舱石”“稳定器”,是碳中和时代的必然选择。压气储能是一项能够对抽储水蓄能的长时物理储能技术。相对于后者,压气储能具有环境友好、建设周期短、选址灵活等特点。其建设周期为2年左右,远低于抽水蓄能6—8年,可利用自然盐穴、人工洞室、废弃洞穴进行选址储气,便于在负荷中心、风光大基地附近布局,可与分布式新能源紧密结合,尤其是在沙漠戈壁地区可形成对抽水蓄能的有益补充或部分替代。

万明忠指出,中国能建率先开展300MW级压气储能技术攻关和工程化布局,实现了行业从“0到1”的工程化突破,正加速迈向“1到100”产业化跃升。

“我们围绕沙漠戈壁、海上风电、风光储等大规模新能源基地,广泛布局了一大批压气储能项目,正在开发和建设的项目有50余个。”万明忠介绍,下一步,数科集团将在示范工程带动下,着眼电网侧储能、负荷侧储能、新能源基地绿电外送、火电低碳改造、深地空间综合利用等应用场景,持续推动压气储能向更大容量、更高效率、更长时间方向进行技术革新和工程化落地,进一步促进“科创+产业”加速融合,带动万亿级规模增量市场。

