

# “退役”潮即将到来 百万吨风电设备当归何处

深瞳工作室出品

采写:本报记者 都芑  
策划:陈瑜 李坤

12月初,国家能源集团龙源电力新疆公司达坂城风电二场,155台老旧风机缓缓停止转动,结束了20余年的服役生涯。

在空中转动时,硕大的风机是捕风高手,带来源源不断的财富,退役后却成了企业的“包袱”。

12月21日,国家能源局公布的最新数据显示,2023年,风光总装机量突破10亿千瓦,在电力新增装机中的主体地位更加巩固。

值得一提的是,在总装机量快速增长的同时,专业机构预计,自2025年起,我国将迎来风机退役高峰期。预计到2030年,累计将有超过3万台机组达到退役年限,退役装机容量达4473万千瓦,由此带来的固体废物规模将达94.79万吨。

退役风机何去何从,已成为我国风电产业发展必须迈过的一道槛。

## 摆在风电企业面前 的一道必答题

2006年被视为我国风电规模化发展的起点。这一年,我国新增风电装机量达133.7万千瓦,超过此前全部装机量总和。此后,我国风电发展驶入快车道。截至2022年底,风力发电累计并网规模达3.96亿千瓦,发电量占社会总发电量的8.6%。

按照陆上风机20年的使用寿命估算,预计在2025至2030年间,我国会出现一波风机退役高峰。来自中国风能协会(CWEA)的数据显示,2023年我国退役风机装机量约为10万千瓦,2025年将增至50万千瓦。到2030年,累计有4473万千瓦风机进入退役期。

由于早期风电技术发展尚不充分,单台机组装机容量较小,长时间运行后发电效率下降较快。为提升风能资源利用效率,今年6月,国家能源局印发《风电场改造升级和退役管理办法》,鼓励并网运行超过15年或单台机组容量小于1.5兆瓦的风电场开展改造升级。在业界看来,这一以大容量、高效率机组替换小容量、低效率机组的“以大代小”政策,让一批风机提前走向退役。

不只是中国,风机大规模退役也是全球主要风电市场共同面临的问题。

欧洲是全球发展最早、规模最大的风电市场之一。欧洲风电行业机构发布的最新数据显示,到2023年,欧洲约有4000台风机面临退役。到

2030年,装机容量达78吉瓦的风电机组运行年限将超过20年,进入退役期。

美国电力研究所的一项研究也显示,未来30年,美国风机叶片的报废总量将超过210万吨。

早期退役规模不大时,退役风机尤其是其叶片部分的处理方式往往是掩埋或焚烧,如英国、欧盟等国家和地区的企业常常采用此类方式。

去年3月,彭博社曾报道称,美国怀俄明州多座陆上风电场退役。风机拆解后,超过1000个报废的风机叶片堆积在空地上,叶片被切成数段后,就地堆积填埋。

显然,这种处理方法无法应对未来大规模的风机“退役”潮。

甘肃省酒泉市的一家风机制造企业负责人告诉科技日报记者,以总装机规模20万千瓦、单台风机容量5兆瓦、单个叶片重20吨的风电场为例,风机全部退役后,仅叶片总重量就达2400吨。如果将其平铺摆放,占地面积比3个足球场还大。而全国类似规模的风电场比比皆是。如果采用堆放、填埋或焚烧等处理方式,不仅占用大量土地资源、造成资源浪费,也会给环境带来一定影响。

如何用低成本将退役风机剩余价值最大化,把“包袱”转化为财富,成为摆在所有风电企业面前的一道必答题。

## 叶片回收处理技术 经济性有待提高

风机的可回收比例其实并不低。一台风机大致可拆解为几个部分,即塔筒、叶片、机舱及发电机等机电设备。

“理论上,风机可回收比例有可能达到100%。”中国物资再生协会风光设备循环利用专委会主任程刚告诉记者,风机不同部位有着不同的回收处理方式。例如,风机塔筒是金属材料,可按照废旧金属进行回收处理;发电机、轴承等设备作为成熟的机电产品,也有完善的回收处理流程。风机中处理起来最棘手的部件,当属叶片。

目前国内最大的风机叶片生产企业——中材科技风电叶片股份有限公司(以下简称中材叶片)研发总监李成良告诉记者,风机叶片是典型的热固性复合材料。目前绝大多数风机叶片由玻璃纤维、碳纤维、环氧树脂等材料,采用真空灌注加热固化工艺制成。用这一方法制成的叶片质量轻、强度高。“但它有一个显著缺点,一旦加工成型后,材料结构非常稳固,只能在高温等条件下降解,所以回收处理起来困难重重。”李成良说。

梯次利用被视为优先选择。经评估无结构性损伤、状态良好的退役叶片可优先作为风机备

件,或经小范围改造,如延长、增加气动附件等,重新“上岗”。此外,包括叶片在内的退役风机也可用于企业展览展示等。

然而,梯次利用能够处理的规模毕竟有限。面对庞大的退役叶片数量,实现叶片的资源化回收利用被认为是未来主要处理途径。

目前,能够实现这一途径的方法可分为两种,即物理法和化学法。

“简单来说,物理法就是只改变叶片的物理形态,例如,把叶片切割、分拆,利用叶片的材料特性,做成长椅、顶棚、物流托盘等,还可进一步把分拆的叶片粉碎成颗粒。这种颗粒可作为添加剂加入混凝土,提升混凝土的强度,也可以在水泥回转窑中烧掉。”世界风能协会副主席、中国可再生能源学会风能专业委员会秘书长秦海岩说。

虽然技术工艺不复杂,但目前物理法处理规模并不大,叶片产物应用价值也不算高。

例如,对于最前端的叶片拆解环节,多家回收企业负责人告诉记者,风电场大多地处偏远地区,受交通条件和成本等限制,拆解主要依赖工人手持电锯或者利用小型设备,处理规模短时间内难以扩大,成本下降空间有限。

通过物理法处理后的叶片产物价值几何?程刚表示,由于产物较为单一,回收处理后的附加值大小完全取决于企业“想象力”——能否最大程度挖掘叶片材料特性,找到适宜的应用场景。“这考验企业是否有足够的创意。”程刚齐说。

要直接提升叶片处理后产物的经济价值并非没有办法。李成良告诉记者,叶片的主要组成材料之一是玻璃纤维。其具有耐腐蚀、强度高、绝缘性好等优势,是可被广泛应用的重要工业原料。但叶片中的玻璃纤维通常与树脂等融为一体,要完整提取出叶片中高价值的玻璃纤维,仅靠物理方法无法实现,需要用到复杂的化学法。

“所谓化学法,就是利用高温或者化学溶剂,把玻璃纤维和树脂分开,然后再分别进行回收。”秦海岩表示,通过化学法回收处理,叶片产物附加值相对较高,后端消纳市场和应用空间也更大。他透露,目前国内部分企业的高温热解技术已具备商业化应用条件,正处于推广阶段。

“总体而言,目前叶片回收处理的技术路线众多,但旧技术的经济性不好,新技术工艺还需不断打磨。”秦海岩总结道。

## 瞄准技术突破和标准体系建设

放眼全球,退役风机回收利用市场尚处萌芽阶段。“不过,因为巨大市场前景,一批国内企业已涉足这一领域,相关技术也在快速更新迭代。”程刚齐说。

金风科技有关负责人告诉记者,通过整合公司内部资源和外部供应链体系,已逐步建成遍及全国的风机回收再利用生态圈,目前已在全国设有6个产业基地、10个区域公司、18家资源回收企业。公司通过实施区域化回收服务,建立起了“收、转、运”的回收网络。同时,公司还研发出一项创新技术,将处理后的叶片材料制成耗材添加剂,用于3D打印。实验结果显示,利用该耗材3D打印成的建筑物,性能与传统混凝土建筑相当,可进行大范围推广应用。

相比后端发力,加强叶片可回收原材料的开发与应用,则被视为从根本上破除叶片回收处理瓶颈的出路。

李成良表示,如今风电产业强调全生命周期循环利用的概念,更加注重从源头上将再回收、可循环因素纳入整体设计进行考量,目前已经取得了技术突破。

不久前,由中材叶片研制的近百兆级热塑性复合材料风电叶片成功下线。此前,欧洲只实现了60兆级的热塑性复合材料叶片生产。



起重机械将B1260A型超大型海上风电叶片从货轮运上岸。

“不同于传统叶片,回收由热塑性树脂制成的叶片,可以通过高温加热或者解聚反应将固态树脂液体化,从而轻松实现玻璃纤维与树脂的完全分离,大大降低了回收成本,实现了材料的循环利用。”但李成良坦承,由于叶片生产工艺复杂,目前相关技术、标准规范等仍需进一步探索和完善。

瞄准技术突破和标准体系建设,相关政策也在逐步出台。

今年8月,国家发展改革委等多部门联合发布《关于促进退役风电、光伏设备循环利用的指导意见》(以下简称《指导意见》),提出到2025年,集中式风电场、光伏电站退役设备处理责任机制基本建立,退役风电、光伏设备循环利用相关标准规范进一步完善,资源循环利用关键技术取得突破。

程刚齐告诉记者,目前相关团体、协会正在加快推进标准规范体系建设。“比如,什么样的叶片可以继续使用,什么样的必须回收,回收过程应该遵循怎样的标准流程。”他认为,标准规范体系的逐步完善将为企业开展业务提供便利,使其加快技术研发,进而壮大产业规模。

## 建立退役设备回收 利用体系是关键

在李成良看来,无论是物理法、化学法,还是可循环设计,从技术路线上看都有很强的关联性,只是在经济性、规模化等方面还有很大提升空间。他认为,当务之急是摸索建立产业可持续发展的、完整的产业链条和能够大规模推广应用的产业生态。

“不管是谁处理,都要算经济账。在没有强制处理的情况下,只要不划算,企业的积极性就会大大降低。”中国能源研究会能源与环境专委会秘书长王卫权说。

西部一家退役风机回收处理企业负责人告诉记者算了一笔账:根据风电场的不同地理位置和基础设施条件,拆除、运输一台风机的费用,最低为30万元左右,最高可能达百万元。

退役风机的金属塔筒、机电设备等可以竞价回收,抵消部分拆除成本,但较难处置的叶片则成为“烫手山芋”。“目前叶片处置费的业内行情在800—2000元/吨之间,具体多少还要看叶片的数量、状况等。”程刚齐说。

王卫权坦言,大多数业主在10多年前开发陆上风电时,基本没有考虑过废旧风机回收处理的成本。

根据《指导意见》,集中式风电和光伏发电企

业依法承担退役新能源设备处理责任。但在某叶片回收企业负责人看来,企业不仅要花钱买叶片,退役后还要额外花一笔钱来处置叶片,相当于两头付费,处置积极性不高。

由于退役风机回收处理问题目前刚刚显现,拆解一台或者报废一台机组究竟要多少钱,如今行业尚无定论。

金风科技有关负责人提到,对退役机组的回收价值缺乏行之有效的评估办法。如果以废旧金属的市场回收价格来看,目前退役机型评估残值高于市场需求价值,这影响了回收企业参与其中的积极性。

此外,发电企业多为国有企业,退役风机回收处置涉及国有资产交易流转,既要高效流畅,又要规范合理,还需要摸索出更加行之有效的产业运行模式。

记者在采访中了解到,目前不少企业对退役后的风机主要采取在合适地点暂时存放的方式,这一方面在短期内避免了切割分解、长距离运输等问题,另一方面也期待在相关产业进一步成熟后能够降低处理成本,甚至带来一定收益。

如何进一步降低退役风机回收利用成本,提升企业的积极性?秦海岩建议,首先要明确责任主体,并尽快完善落实行业标准、技术规范、认证体系等,建立起合理的商业模式。例如,国家对规模化生产线建设进行预算内资金支持,逐步建立综合利用产品绿色认证体系,并给予税收政策优惠。

金风科技有关负责人也建议,可将优惠的绿色金融服务引入风电机组资源化处置产业链条当中,提供资金便利,提升企业积极性。有条件的地方可制定退役风电机组循环利用产业专项支持政策。

12月19日,国家发展改革委政策研究室副主任、新闻发言人李超在解读《指导意见》时表示,国家发展改革委将会同有关部门持续落实《指导意见》明确的各项任务,统筹推进资金渠道,加大对相关重点项目建设的支持力度,引导金融机构为符合条件的相关项目提供融资便利,支持重点地区建设风电光伏设备循环利用产业集聚区,探索区域协同回收模式,培育风电光伏设备循环利用央企“领跑者”。

值得一提的是,今年4月至10月,全国政协人口资源环境委员会围绕“加快建立新能源产业再生资源回收利用体系”开展了一系列调查研究。近日,全国政协召开双周协商座谈会,围绕“加快建立新能源产业再生资源回收利用体系”协商议政。参加全国政协双周协商座谈会的多位委员提到,在新能源产业加速发展的现状和设备即将面临大规模退役的形势下,加快建设退役设备回收利用体系至关重要。

“双碳”目标下,如何实现新能源产业链绿色闭环发展,仍需科技界、产业界等共同探索,交出一份绿色低碳发展的高质量答卷。



工程技术人员正在对即将安装的风力发电机叶片进行检测。