

阅读提示

在“双碳”目标引领下,风电产业已成为清洁能源转型的核心支柱,正以稳健的步伐实现规模化扩张与技术迭代。我国风电累计装机占比连续多年稳步提升,未来仍有广阔发展前景。风电机组的大型化趋势使叶片长度和轮毂直径不断增大,对众多材料提出了更高性能的要求。中国石化大力发展新质能源,不仅自主建设风电项目,而且积极服务国内外风电项目,从叶片材料到专用润滑油再到专业安装,以全产业链材料布局、核心技术攻关、优质服务保障,为我国风电产业高质量发展提供坚实支撑。未来,中国石化将持续加大风电相关材料的研发投入,深化产学研合作,完善产业协同机制,进一步提升产品性能、降低成本,推动可回收材料的规模化应用,帮助国内外竖起更多、更高效、更环保的“大风车”,助力构建清洁低碳、安全高效的能源体系,为我国乃至全球风电产业的可持续发展贡献更大力量。

本版文字除署名外由本报记者 程强 整理



2025年6月,起运公司运用4000吨级履带吊为起运港,成功完成全球最大的东方电气26兆瓦级陆上风电叶片吊装吊装作业。张煜博 摄 摄影报道

中国石化全链条发力 助力竖起更多“大风车”

环氧树脂

产业需求

据中国石化咨询数据,2024年我国环氧树脂产能345.3万吨/年,产量176万吨,消费量164万吨。风电叶片用环氧树脂是风电叶片的重要组成部分,叶片越长,使用的树脂越多,对树脂的力学性能要求也越高。随着国产树脂在拉伸、抗冲击、剪切等关键性能上与国外产品相当,能有效降低风电叶片成本,提升竞争力,促进我国风电产业发展。据统计,2024年全球风电叶片用环氧树脂销量为54.43万吨,其中,我国风电叶片用环氧树脂销量为37.58万吨;预计2030年全球风电叶片用环氧树脂销量增至78.61万吨,其中,我国风电叶片用环氧树脂销量达54.83万吨。

企业攻关

湖南石化是中国石化唯一的环氧树脂生产厂家,是国内重要的环氧树脂生产基地及工业生产技术发源地,2018年,荣获中国环氧树脂行业协会功勋单位称号,拥有环氧树脂产能15万吨/年,正在建设17万吨/年高性能环氧树脂装置。

目前已开发真空灌注环氧树脂胶、粘接树脂胶两种产品。灌注环氧树脂胶已完成第三方原料测试,目前已进入部件静态、动态性能测试阶段,后续将与叶片厂商合作开展全尺寸叶片测试及测试工作。粘接树脂胶已通过第三方认证完成部件测试。

客户评价

“湖南石化的环氧树脂灌注胶流动性佳,与碳纤维、玻纤浸润性好,固化后叶片的结构强度高,经过上万次抗疲劳测试无裂纹损伤。粘接工艺环氧树脂体系可实现40-60厘米/分钟粘接速度应用。产品工艺性能优异,固化物强度高耐蚀,制备板材光滑。”

——某风电材料科技公司相关负责人

大件吊装运输

装备能力

中石化重型起重运输工程公司(简称:起运公司)拥有25-5000吨级起重运输设备120余台,以及4000吨级履带吊、5000吨级门式液压系统等旗舰起重作业装备,总起重能力106万吨·米。拥有歌德浩夫、索埃勒、万山等品牌SPMT/SPT轴流运输机械500轴流,单运能力超1.5万吨。拥有运输车,可实现海陆一体运输。满足陆地26兆瓦风电机组吊装、漂浮式海上风电码头安装、石化重型设备吊装、核电穹顶安装等需求。起运公司可同时满足国内外超超工程吊装运输一体化建设的资源需求。同时,通过遍布全球的优秀供应商和物流合作伙伴,以及中国石化的海外机构平台,可确保装备资源全球快捷灵活调遣,是高标准履约的重要保障。目前,起运公司海外业务占比已达50%以上。

承建项目

起运公司已承建国内外多个重点风电项目,包括东营风电装备测试基地16兆瓦及26兆瓦(全球最大单机容量)海上风电吊装项目、阿联酋境内首个风电示范项目、全球最大单一场沙特NEOM风电项目、塞内比亚黑礁150兆瓦陆上风电项目等,涵盖陆上、海上、山地等多种场景,凭借专业实力稳步拓展国内外市场。

客户评价

“起运公司团队专业素质过硬,技能精湛,面对恶劣天气等诸多挑战仍能高效推进项目,不仅圆满完成第100台风机吊装等关键里程碑作业,更在专业性和安全性上表现突出,是值得信赖的合作伙伴。”

——沙特NEOM风电项目甲方Envision Energy(远景能源)相关负责人

风电场设计及升压站工程施工

资质能力

石油工程建设公司目前具有电力行业乙级、海洋石油专业承包二级、电力施工总承包二级资质,可承担100兆瓦及以下风电场的设计、以及升压站工程施工。

建设项目

2016年以来,公司先后设计了江苏油田陆上风电项目,是中国石化首次自主设计的陆上大容量风电机组;设计的海洋滩涂2号风电场塔架,是中国石化第一座海上塔架;承担的渤中8海上风电项目220千伏升压站,是中国石化首次设计海上风电升压站;目前,正在开展胜利发电厂CCUS绿色捕集项目200兆瓦级发电工程的前期工作。公司还先后建设了鲁能集团江苏东台200兆瓦海上风电项目、中广核南鹏海上风电项目、三峡阳江海上风电项目、三峡新能源阳西沙扒二期400兆瓦海上风电项目、三峡新能源山东昌乐莱州湾一期(300兆瓦)海上风电项目、山东能源渤中海上风电G场址(南区)项目、三峡能源天津南港海上风电示范项目等多个风电项目,先后获得国家优质工程奖、中国安装工程质量奖、中国安装工程质量奖等多项殊荣。

中广核南鹏海上风电项目于2019年并网发电,是当时国内单体容量最大的海上风电项目,荣获2022-2023年度国家优质工程奖。董亚群 摄



“石油工程建设公司展现了卓越的组织能力、严谨的工作态度、精湛的工艺技术,承建的三峡昌乐海上风电升压站项目荣获2025年度中国电力优质工程奖,为海上风电领域树立了高质量标杆。”

——三峡新能源昌乐发电有限公司

自建风电项目

江苏油田:智慧“用风”,绿能充沛

本报讯 记者王庆辉报道:近年来,江苏油田充分利用油田井场或空地,建设分散式风电发电项目,实现了传统能源与新能源融合发展。截至目前,江苏油田已建设风电机组11台,装机容量37兆瓦,年发电量约8500万千瓦时,累计发电2.35亿千瓦时。在项目实施上,江苏油田注重多能互补与源网荷储一体化建设。在真110井场,同步建设风电与光伏设施,打造油田首个“风光互补”示范工程。在崔庄油田建设3台风电机组,并配套建设6500千瓦时储能电站,大幅提升风电调节能力,同时在崔庄联合站新建3兆瓦/16兆瓦时氧化钨储能热系统,形成“绿色+蓄热”的高效消纳模式。目前,崔庄区域绿电占比达到61.2%,成为源网荷储高比例绿电替代示范区。为提升风电运行效率,江苏油田建立了风电智能值守平台,实时监控关键参数,持续优化运行策略,保障机组安全高效运行。6兆瓦风电机组有效利用小时数较周边同功率风电机组提升125%以上,年发电量达31.3万千瓦时。今年1月,江苏油田还建成新能源电网友好型,通过“精准预测-负荷分析-电价联动-智能调控”一体化调控体系,负荷与储能调整及时率超90%,绿电消纳提升3%以上。



截至目前,新垦公司已建成3个风电项目,装机规模182兆瓦。图为2024年建成中国石化首个百兆瓦级风电项目——新垦风电中原田112兆瓦风电项目。曹海峰 摄

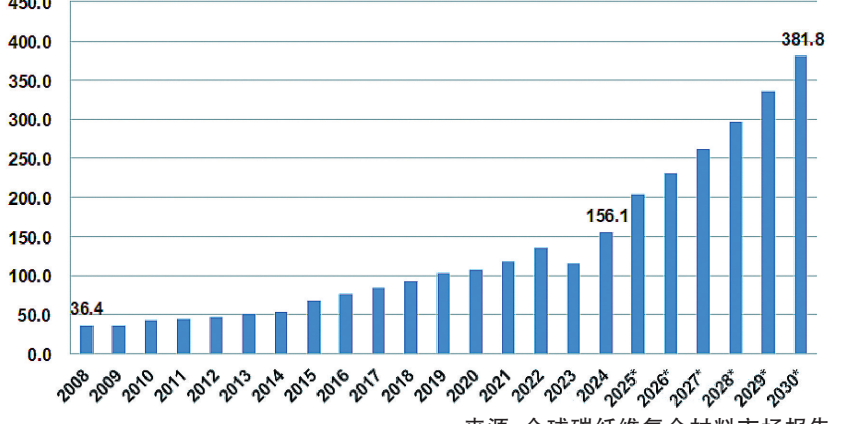
风电机组中的“中国石化元素”

碳纤维

产业需求

2024年,国内碳纤维产能达13.55万吨/年,年需求量9.86万吨。上海石化、吉林化纤、中复神鹰等行业龙头企业产能利用率均超过90%,部分规格产品甚至出现供不应求的情况。随着风电叶片长度突破100米,对碳纤维需求日益迫切,大丝束碳纤维价格企稳回升,行业整体景气度持续向上。从2024年碳纤维消费结构来看,风电叶片需求最庞大。

全球碳纤维需求量(千吨)



来源:全球碳纤维复合材料市场报告

企业攻关

上海石化作为中国石化碳纤维产业的核心载体,多年来深耕高性能碳纤维研发与产业化。针对风电领域的特殊需求,突破了原丝制备、碳化工艺、表面处理等关键技术瓶颈,通过优化聚合配方、改进纺丝工艺,解决了原丝均匀性差、碳化过程中强度损失等行业难题。2018年突破48K大丝束技术,2025年推出60K碳纤维产品。

“三一重能使用上海石化碳纤维制成的风电叶片。”

张仰凯 摄

客户评价

“上海石化的碳纤维产品稳定性强,叶片成型工艺兼容性强,产品通过了拉力、抗疲劳测试,完全满足海陆风电项目的严苛要求。使用后,叶片自重降低,抗疲劳性能提升,风机运维周期有效延长。”

——三一重能叶片事业部负责人

风电机组迭代趋势变化

(一)机组大型化迭代持续

我国风电行业发展至今,对降本增效的探索从未止步。通过机组大型化进一步降低度电成本,在行业内已经达成共识。风电机组已实现了大型化、平台化、智能化和模块化发展,陆上机组10+兆瓦以上、海上机组16兆瓦已批量投运,18-20兆瓦样机已安装,自主研发的大型风电机组引领全球。2024年,我国风电新增装机平均单机功率为6052千瓦,与2023年的5595千瓦相比,增长8.2%,其中,5-7兆瓦机组占比超过72.3%,是当前新增主流机型。

(二)风电叶片尺寸越来越大

2024年10月,三一重能陆上16兆瓦风电机组成功吊装。机组使用上海石化48K碳纤维制成叶片长131米,轮毂直径270米,刷新当时已吊装陆上机组最大单机容量和最大叶轮直径两项全球纪录。截至2025年底,我国已吊装机组中,海上风电机组轮毂直径最大为300米,陆上风电机组轮毂直径最大为270米。

(三)叶片材料创新及多样化发展

风电叶片常用材料包括玻璃纤维、碳纤维、树脂、结构胶、芯材等。随着叶片长度增加,对材料的拉伸强度、弹性模量等提出了更高要求,为进一步提升叶片刚度,降低叶片重量,碳纤维在大型风电叶片制造过程中得到广泛应用。

(四)可回收叶片是未来发展方向

风电机组设计使用寿命一般为陆上20年、海上25年。2030年后,全球将面临大量机组退役,风电叶片无害化高效回收成为未来行业新兴热点技术之一。2025年7月,由上纬新材、金风科技、中材叶片联合开发的国内首套直径超220米可回收叶片完成吊装,标志着我国风电行业在叶片全生命周期绿色管理领域取得重大技术突破。

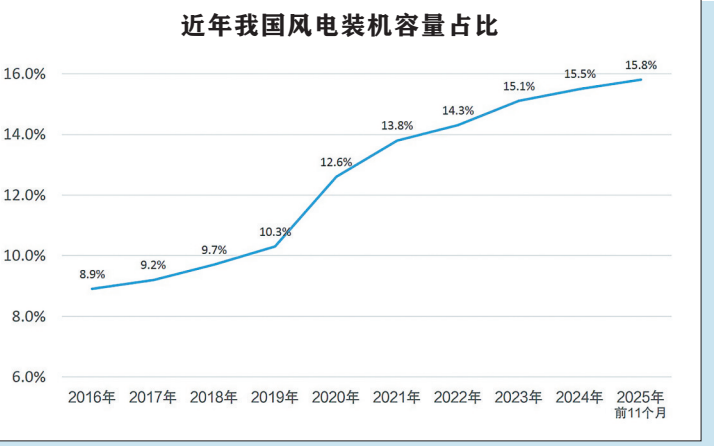


全球首个可回收直径超220米风电叶片项目。曹海峰 摄

风电:当前最具竞争力的新能源之一

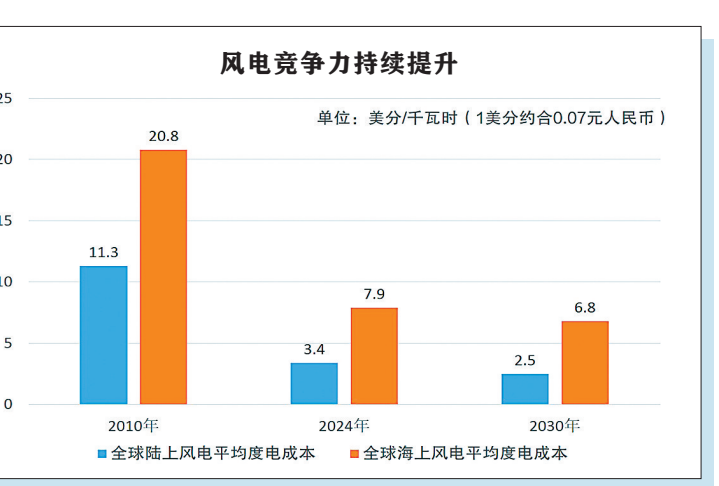
我国风电装机完成情况

2024年7月,我国风电、太阳能发电累计装机容量达到12.1亿千瓦,提前6年实现了我国2030年12亿千瓦在气候雄心峰会承诺的“到2030年,中国风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿千瓦以上”目标。风电累计装机容量已连续多年稳步提升,2024年底,我国全口径发电装机容量33.5亿千瓦,风电装机容量5.21亿千瓦,占比达15.5%。据国家能源局统计,2025年前11个月,全国累计发电装机容量37.9亿千瓦,其中风电装机容量6亿千瓦。

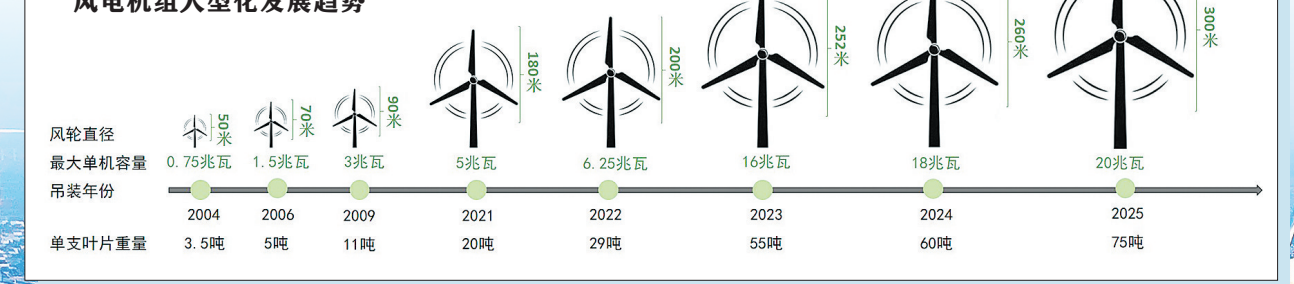


中远期风电装机规模预测

据国际能源署(IEA)、全球风能理事会(CWEC)预测:到2030年,全球风电累计装机容量有望超过32亿千瓦(陆上27亿千瓦,海上5亿千瓦);到2050年,全球风电累计装机容量有望突破200亿千瓦(陆上175亿千瓦,海上超过25亿千瓦)。



风电机组大型化发展趋势



风电机组大型化发展趋势