

中复神鹰 突破封锁 锻造中国碳纤维产业

在中国建材集团的大力支持下，中复神鹰逐渐从碳纤维“新秀”蜕变成了产业龙头。

■文 / 钱馨瑶

颜色漆黑、用途广泛、价格不菲，是一般公众对碳纤维这种很“新”又不太“新”的新材料的普遍印象。

说它不新，是因为最早的碳纤维可以追溯到爱迪生时期。1879年爱迪生发明了以碳纤维为发光体的白炽灯之后，注册了碳纤维灯丝制作技术专利。不过他用的原材料是棉花这种天然纤维，没有结构强力，制成灯丝容易碎裂、折断、不耐用，后来被钨丝取代。

说它很新，是由于现代意义上的碳纤维研究大发展已是20世纪70年代后的事。当时美国需要寻找到能够耐烧蚀的材料来制造超高速飞机和航天器，所以对碳纤维这种新材料进行大量的研究投资，让科学家们找到了提高其性能的办法，并开始了工业生产。碳纤维也是依靠国家力量推动研发的产物。

碳纤维通常直径在7微米左右，七八根排在一起才有头发丝那么粗，可它的拉伸强度却是钢的7-9倍。在上千度的高温下，别的纤维早就化成了灰，而它却丝毫无损。可以说碳纤维是典型的外柔内刚的“真汉子”。

美国早期的碳纤维核心纤维材料选用的是沥青这种石化产业的“边角料”，虽然便宜，可整体性能却不算高。直到日本得知美国取得了碳纤维技术突破后，受到启发，选用聚丙烯腈作为原材料，目前常见的碳纤维这种真正意义上的新材料才进入人们的生产生活中。

聚丙烯腈是毛衣都会使用到的一种腈纶材料，用来取代昂贵的天然羊毛。从聚丙烯腈到碳纤维要经过漫长复杂的工艺流程。简单来说，碳纤维生产如同拉面制作过程，拉面制作需要通过醒面团，切成条状，面表面抹油防止粘连，反复拉伸，拉面才会变得越来越细、越来越均匀、越来越有嚼劲。碳纤维的生产原理与之类似，经过比拉面制作远为复杂的加工过程，碳纤维从白色的原丝，经历氧化、碳化等连续工艺，颜色从白变黄，再从黄变黑，强度也变得越来越高。

为了争夺碳纤维产业的霸主地位，美日企业不仅相互竞争，还对中国进行了封锁，使得中国的碳纤维自主研发之路走得异常艰难。面对技术封锁，国内企业虽不断尝试摸索，但碳纤维技术的发展却一直未取得实质性的进展。

中国建材集团所属中复神鹰的出现，打破了国外封锁的被动局面。

从无到有

在西方国家对华的禁运名单上，碳纤维一直位列其中，限制等级可以与核武器芯片制导技术相提并论。日本政府在2017年修订了外汇法，明确规定在未经允许的情况下，禁止将碳纤维批量出售给外国企业，只允许中国少量购买。而且每一笔订单都需要严格核对用量和用途后才会“放行”，使得在国际市场上已经是“白菜价”的低端碳纤维产品在国内卖出了天价。

为了让装备和工艺充分结合，在研发初期，张国良团队不断进行自主工艺研发和关键配套装备研制，并于2009年至2012年逐个攻克了“干喷湿纺”碳纤维的核心技术难题，成功实现了产业化，使中国成为全球第三个掌握这项技术的国家。

中复神鹰两次参与《聚丙烯腈基碳纤维》国家标准的制定，一次参与《聚丙烯腈基碳纤维原丝》行业标准的制定。

2017年，公司“干喷湿纺千吨级高强/百吨级中模碳纤维产业化关键技术及应用”成果荣获国家科学技术进步一等奖，为国内碳纤维领域唯一获得该项殊荣的企业，进一步奠定了公司在国内碳纤维领域的技术领先地位。T700级、T800级产品主要力学性能与国际同类产品相当。

在此期间，中复神鹰发挥其产业链及资源配置优势，实现了聚合、纺丝等碳纤维关键装备设计、制造自主可控，形成了产品在航空航天、新能源等领域全覆盖。同时，在碳纤维及其复合材

从跟跑到领跑

中复神鹰一直追踪国际上最先进的碳纤维制造技术，瞄准市场最需要的T700级、T800级产品，对标国际龙头企业，从产品性能、制造成本等多个维度学习，持续不断地投入人力、财力进行技术攻关，逐渐从碳纤维“新秀”蜕变成了产业龙头。

为了让装备和工艺充分结合，在研发初期，张国良团队不断进行自主工艺研发和关键配套装备研制，并于2009年至2012年逐个攻克了“干喷湿纺”碳纤维的核心技术难题，成功实现了产业化，使中国成为全球第三个掌握这项技术的国家。

中复神鹰两次参与《聚丙烯腈基碳纤维》国家标准的制定，一次参与《聚丙烯腈基碳纤维原丝》行业标准的制定。

2017年，公司“干喷湿纺千吨级高强/百吨级中模碳纤维产业化关键技术及应用”成果荣获国家科学技术进步一等奖，为国内碳纤维领域唯一获得该项殊荣的企业，进一步奠定了公司在国内碳纤维领域的技术领先地位。T700级、T800级产品主要力学性能与国际同类产品相当。

在此期间，中复神鹰发挥其产业链及资源配置优势，实现了聚合、纺丝等碳纤维关键装备设计、制造自主可控，形成了产品在航空航天、新能源等领域全覆盖。同时，在碳纤维及其复合材

料领域，坚持以市场需求开发新产品、完善产品结构，与中国建材集团内部以及其他央企的众多复合材料企业开展广泛深入的合作，进行创新链和产业链相互协同。

做量大、面广、价优的碳纤维，“新材料并不一定要贵，要面向大众，面向国民经济主战场，而不只是面向国家重点工程。”

做好碳纤维产业

2022年4月6日，中复神鹰登陆科创板，发行1亿股股票，募集资金29.33亿元，用于筹建“西宁年产万吨高性能碳纤维及配套原丝项目”“航空航天高性能碳纤维及原丝试验线项目”和“碳纤维航空应用研发及制造项目”。

面对新的机遇期，中复神鹰董事长张国良说：“我国碳纤维的产量远远不够，亟待继续规模化扩产。我们做了16年的技术攻关，接下来要做产业了。”

未来，在资本市场助力下，中复神鹰将继续把握住国产碳纤维及其复合材料产业快速发展的新机遇，把“高端化、规模化、绿色化”作为战略定位，集中技术力量研发和突破新一代高强、高模、高性能碳纤维，在生产装备的先进性、自动化、智能化等方面继续加大投入；把握好“低成本、更大规模化、更高稳定性”几大核心要素，进一步提高生产效率，提升规模优势，增强核心竞争力。

公司将重点围绕高性能碳纤维及碳纤维的应用等方面开展研究。在碳纤维产品的研发方面，面向性能提升、应用领域拓展以及生产智能化和低成本化，进而提升碳纤维性能，拓展下游应用市场。在复合材料研发方面，开发深度表面处理技术，提高复合材料界面性能。通过上述研发课题将大幅提升公司生产过程的智能化程度，加快改善纤维及复合材料性能、多角度扩展下游的应用领域，全面推进碳纤维的生产过程、产品性能和质量在行业内始终保持领先地位。

“我们的目标是，打造具有全球竞争力的世界一流碳纤维企业。”张国良表示，中复神鹰将以更高的标准要求自己，强化科技研发、提升企业经营效率，实现可持续发展，向着国产碳纤维产业化征程的“光辉顶点”继续攀登。E



中复神鹰西宁万吨碳纤维基地碳化车间

上接》12版

中国建材：为中国风电插上翅膀

碳玻混拉挤叶片相比玻璃纤维叶片要求更精细的生产管控水平，包括针对结构强度和防雷系统的生产工艺流程。同时，也需要更高的打磨精度和防雷系统接口的工艺控制。与相同规格传统工艺的玻璃纤维叶片相比，碳玻混主梁叶片可减重20%，但由于使用了一部分碳纤维材料，目前相比玻璃纤维主梁叶片无法实现降本。

整装升级

YD110叶片的探索远不止此。

中复连众在材料体系筛选、片材设计、细节结构设计上进行优化创新，使它既拥有高Cp（风能利用系数）、抗失速等优良的气动性能，又具有高可制

造性、可靠性和性价比。

在材料方面，与玻璃纤维相比，采用碳纤维可以大大降低叶片重量，但成本较高。中复连众创造性地根据叶片受力特点，在PS面（迎风面）和SS面（背风面）分别采用碳纤维与玻璃纤维增强材料的结构设计，充分发挥两种材料的性能优势，兼顾减重和成本控制，达到材料的最佳性价比。

在工艺创新上，2019年，中复连众在国内率先将玻璃纤维拉挤板成功批量应用于40米叶片上，110米叶片则沿用了中复连众在这一技术上积累的经验。

此次YD110采用的拉挤工艺也是目前复合材料工艺中纤维性能转化效率最高、低成本、高质量稳定的制造工艺，

连续成型易于自动化，适用于大批量生产。

叶片大梁由碳纤维拉挤片材组装而成，铺层工艺简单，能够有效解决真空灌注工艺材料性能偏低、易出现褶皱和灌注不良等缺陷问题，且制作时间只有灌注工艺的一半。组装后的叶片大梁可以与叶片壳体一体灌注，对提高风电叶片质量、减重降载发挥了关键作用。

另外，考虑到叶片的长度和重量，不同于以往的“主梁+后缘辅梁”结构，YD110叶片采用了创新的结构及同步预压制技术，减少了大面积多种类纤维布铺放对主模具的占用，同时提升了现场铺层质量的稳定性。

海上风电叶片大型化导致叶片重量的增加，叶根需要承受越来越大的载荷，提高叶根连接强度可以减少螺栓数量、缩小根部直径，实现叶片的减重和降本，并具有高可靠性。

通过与国外机构合作，对多项制造工艺及影响因素进行研究，中复连众在全球首次完成生产安全因子 $\gamma_m=1.0$ 的风电叶片根部连接设计、测试评价方法研究以及部件认证，采用根部预埋螺栓套自动缠纱技术，有效控制了缠纱张力和外形尺寸，大幅提升叶根质量和预埋螺栓套的承载力，为未来更大的海上风电叶片开发奠定了基础。

此外，在模具设计制造技术创新方

面，YD110叶片所用到的水加热模具也创造了最长纪录，在确保可靠性高、温差小的同时，实现了分区、分段控温和自动控制。

近年来，中复连众持续完善科技创新体制机制，不断提升科技创新能力。2022年1-7月，研发经费投入占比46%。2022年4月20日，中复连众南京研发中心正式启用，标志着中复连众在已有的5个国家级、省级技术创新平台的基础上，又增加1个创新平台。

目前，中复连众已经建成江苏省海上风电叶片设计与制造技术重点实验室，形成设计、制造、检测、运维等全产业链的解决方案，努力助力行业发展。E