



徐樾华,北京化工大学材料科学与工程学院教授,中国复合材料学会常务理事,国家碳纤维工程技术研究中心主任,碳纤维及其复合材料产业技术创新战略联盟(国家试点联盟)副理事长兼秘书长

## 从跟踪发展到自主创新,走出独特的 国产碳纤维创新体系 ——访碳纤维专家徐樾华教授

碳纤维,是一种含碳量在95%以上的高强度、高模量纤维的新型纤维材料,“外柔内刚”,质量比金属铝轻,但强度却高于钢铁,并且具有耐高温、耐腐蚀、高模量的特性,在国防军工和民用方面都是重要材料。碳纤维不仅具有碳材料的固有无本征特性,又兼备纺织纤维的柔软可加工性,是新一代增强纤维,也是装备发展的战略性新材料。

然而很长一段时间以来,碳纤维技术发展都把握在日本公司手中,从20世纪60年代至今,日本无论质量还是数量上均处于世界领先地位。

20世纪90年代,徐樾华教授率领团队,从事高性能聚丙烯腈(PAN)碳纤维的科学技术研究,自主创新出二甲基亚砜体系制备具有规整表截面结构碳纤维原丝制备技术,奠定了发展中国高性能碳纤维的技术基础。提出了湿法纺丝工艺制备国产T700级高强碳纤维的技术方向,创新出了中国高强碳纤维的自主品牌,并成为中国特殊领域用该品种碳纤维的指定技术;实现国产T800级高强中模碳纤维制备技术突破,填补了中国该领域的技术与产品空

白;提出了高强高模碳纤维结构模型,探索出国产化技术路线,实现了基本型高强高模碳纤维制备技术突破。2014年获国家科技进步二等奖。

《科技导报》邀请徐樾华教授解读中国碳纤维材料的研究现状与发展趋势。

**《科技导报》:**您是如何接触到碳纤维材料行业的?在国外专利技术严密封锁的情况下,您是如何带领团队突破这一战略性材料技术瓶颈的?

**徐樾华:**1984年联合国工发组织有关碳纤维及其复合材料的援华项目落户北京化工大学,1986年我从中国科技大学毕业后,进入北京化工大学的这个团队开始碳纤维的条件建设和科学技术研究。当时国内从事碳纤维研究与生产的企业也不少,但困于技术因素,高性能化的工作进展缓慢,这一时期,代表国产碳纤维制备技术水平的是硝酸法技术。

而把握碳纤维技术发展的日本,自20世纪60年代就掌握了碳纤维的生产方法,70年代开始生产标准模量聚丙

烯腈基碳纤维,80年代便成功研制出高强中模等高性能碳纤维。直至目前,世界碳纤维技术仍然主要掌握在日本公司手中,无论质量还是数量上均处于世界领先地位。

为了突破这一战略性复合材料的技术瓶颈,北京化工大学从20世纪90年代初开始,开展多种溶剂体系的聚丙烯腈碳纤维原丝制备技术研究(图1),从1996年开始重点开展基于二甲基亚砜溶剂体系的溶液聚合、湿法纺丝工艺研究,在深入分析中国二甲基亚砜原丝工艺长期未能实质性突破的原因、缺乏国际可靠资料借鉴的情况下,经过近5年的探索与积累,2000年突破了基于二甲基亚砜溶剂路线的丙烯腈间歇聚合、一步法湿法纺丝工艺制备高强碳纤维的技术瓶颈,2002年实施工程放大,实现了国产高性能碳纤维制备技术的自主创新,从此国产碳纤维制备主体技术从硝酸法改变为二甲基亚砜法,完成了制备技术的转型升级,奠定了当今中国发展高性能碳纤维的技术基础。之后,鉴于传统的T700S碳纤维树脂基复合材料界面性能存在的问题,提出了基



图1 聚丙烯腈(PAN)原丝  
(图片来源:威海拓展纤维有限公司)



图2 碳纤维  
(图片来源:威海拓展纤维有限公司)



图3 “雷鸟”(LN60F)与地面指挥控制车  
(图片来源:沈阳航空航天大学)

于湿法纺丝工艺制备该级别碳纤维的技术路线,在“863计划”支持下,历经4年攻关终于获得成功,进而与威海拓展纤维有限公司合作实现了工程化放大,解决了国防领域用该级别碳纤维的制备技术难题(图2)。

**《科技导报》:**碳纤维材料究竟有何奇特之处?我们在哪里可以看到碳纤维材料的身影?

**徐樾华:**碳纤维是目前世界上所有高性能纤维中比强度和比模量最高的纤维。它不仅具有优异的力学性能,还拥有让其它材料望尘莫及的耐高温耐腐蚀能力,同时还具备纤维的柔软可加工性,碳纤维成为了当之无愧的新一代增强纤维之王。

在20世纪70年代,国外将碳纤维应用于飞机等军工领域,随技术的成熟,发展碳纤维的应用方向也在不断拓展。2012年7月30日,中国第一架全碳纤维复合材料结构、氢燃料电池动力无人试验机“雷鸟”(LN60F)在沈阳成功首飞(图3)。除了航空领域,在航天领域,碳纤维也产生了重要作用,从神舟一号到神舟九号,从无人到载人,飞船推进分系统均为碳纤维复合材料主承力构件。

而随着应用的拓展,目前碳纤维也逐渐融入到人们的日常生活中,在工业领域,大量应用在风力发电(图4)、建筑行业、汽车轻量化等方面;在国外的民用领域,有15%~20%的高端体育用品如滑雪用具,球类用品,钓鱼用品等都采用了碳纤维材料。

**《科技导报》:**碳纤维材料的未来发展方向剑指何方?

**徐樾华:**对于碳纤维材料来说,目前全世界的发展方向基本一致。碳纤维具有广泛的应用前景,但无法避免,它依然是一类“贵族材料”。目前对于全球市场来说,拓展其应用并不成问题,但是如何使生产成本下降,将贵族材料平民化,同时保持其材料性能,是整个工业界需要讨论的问题。

经过全球科学家多年的研究发现,通过更换原材料来降低生产成本的道路很难走通,于是大家把目光放在了如何降低生产过程成本上。目前我们主要做的工作是降低工艺过程成本,提高工艺效率。首先可以借助设备,提高工艺速度,降低运行时间,提高纤维制造

效率;随后进行大丝束化,减少后续的制造步骤,形成更便于应用的复合材料。

**《科技导报》:**目前中国碳纤维行业的发展现状如何?自主研发的碳纤维材料在中国市场上的占有率如何?

**徐樾华:**作为战略性新材料,中国目前在航空航天等军工领域,碳纤维材料基本满足的现阶段的发展需要,这是一个非常好的现象,在国家政策的推进下,民用碳纤维材料的国产化应用也在稳步推进。

目前中国拥有20多家碳纤维企业,在具备原丝生产能力的16家企业中,超过80%的企业采用二甲基砜原丝技术。技术趋同带来的问题就是产



图4 碳纤维复合材料大型风电叶片(图片来源:新华社 耿玉和 摄)

品的优点和缺点都类似,同质化竞争将非常激烈,市场内耗非常厉害。所以碳纤维产业可能面临重新整合期,随着整合的进行,行业会逐渐规范起来。碳纤维技术与产业处世界领先地位的日本,经过多年的整合,集成出3家技术与规模兼具的碳纤维企业,各自掌握了不同的技术路线,产品应用于不同的市场领域。中国的碳纤维也将通过整合并购走类似的差异化发展路线。

**《科技导报》:**中国碳纤维技术与国外的差距在哪里?这种差距对产业发展造成了什么影响?如何改进?

**徐樾华:**中国目前碳纤维制备技术研究成绩显著,高强、高强中模、高模等系列的碳纤维制备关键技术都已先后获得突破,基本型高模高强碳纤维关键技术也取得突破,更高性能的碳纤维制备技术正在探索中。但目前产业化技术和产业化装备技术,都相对比较落后。与进口产品相比,同类型的国产产品生产成本较高,应用工艺性与适应性也有待提高,不利于下游复合材料生产企业的购买和使用。

日美碳纤维企业,非常重视碳纤维制备与应用技术链的协同发展,纤维生产和使用结合的非常好,做纤维的企业有很强的应用研发能力,会向客户和市场提供很好的应用服务,碳纤维材料可以得到充分的利用。同时针对市场需要及时研发所需的产品,表现出极强的市场敏感度和碳纤维技术的持续研发能力。相对来说,中国的碳纤维企业,基础研发力量较弱,许多企业基本没有纤维材料应用的研究能力,不开展应用研究,不提供应用服务。这种在国内材料领域较为常见的生产习惯,在一般材料领域表现的不太明显,但是对于碳纤维材料来说则成为制约产业发展的一个很好瓶颈。

因此对国内企业来说,应该注重降低生产成本同时提高产品稳定性,注重开发原材料的应用技术,为下游企业生产相关复合材料或零件提供服务。

**《科技导报》:**您是碳纤维及其复合材料产业技术创新战略联盟的副理事长兼秘书长,联盟对于碳纤维行业的发展能起到什么样的推动作用?联盟的发展状况如何?如何推动碳纤维技术在中国的发展?

**徐樾华:**2013年10月,碳纤维及其复合材料产业技术创新战略联盟正式成立,联盟的宗旨就是为进一步发挥中国碳纤维及其复合材料产业的科技资源,提高行业自主创新能力和产业竞争力,构建高水平的行业合作、交流、协商平台,形成新的合作创新机制和科研成果转化机制(图5)。通过碳纤维及其复合材料的技术研究、产品开发、成果孵化和技术服务,促进国产高性能碳纤维及其复合材料的健康发展。在“十二五”期间,联盟也一直致力于创造良好的学术 research 条件,培育相关能力,加强产学研的结合,为行业发展服务。这是一个漫长的过程,在联盟成立的这几年来内大家也逐渐都意识到产业化应用发展的重要性,联盟每年1~2次的会议也是集中探讨相关的问题,将技术从实验室走出来,落实到企业中,增强科研院所与企业的合作,而这种合作在不断磨合中也在稳步向前。

**《科技导报》:**在“十二五”期间,碳纤维复合材料取得了哪些重要成果?在“十三五”技术预测——高性能纤维及复合材料、《中国制造2025》都提到了复合材料的发展,对此碳纤维产业领域的发展策略是什么?

**徐樾华:**目前中国已拥有相对完整的高强碳纤维生产能力,碳纤维核心技



图5 碳纤维及其复合材料产业技术创新战略联盟(国家试点联盟)2015年工作会议  
(图片来源:碳纤维及其复合材料产业技术创新战略联盟)

术国产化特点明显,技术多元化也正在受重视。21世纪是复合材料的世纪,碳纤维作为复合材料的首选增强材料,大力发展的时机已然来临。国产碳纤维“十二五”的主攻方向已逐渐从“产品研发与产能建设”逐渐向“产业技术提升与促进应用需求”的方向发展。

“十三五”将是实现国产碳纤维制备与应用快速发展的关键期,新材料领域的发展规划都将碳纤维及其复合材料作为重点内容,《中国制造2025》中10大领域有8个领域为碳纤维复合材料提供了应用平台,国产碳纤维及其复合材料的技术与产业发展迎来难得的发展良机。然后需要清醒认识到的是碳纤维产业化制备技术体系的不完善、碳纤维应用设计与应用服务能力的欠缺将是未来制约国产碳纤维及其复合材料产业发展的关键要素。我们以跟踪国际技术趋势为主建立起了国产碳纤维及其复合材料的技术与产业格局,根据中国的技术基础与国家发展要求,从跟踪发展到跟踪与创新并举,最后形成具有我国特色的创新体系,将是中国碳纤维及其复合材料技术与产业“十三五”发展的方向。

文/田恬(《科技导报》编辑部)  
责任编辑 陈广仁