

中国高性能碳纤维产业的创新发展

李书乡,马全胜,张顺

威海拓展纤维有限公司,威海 264200

摘要 介绍了碳纤维产业在中国从无到有的发展历程。中国碳纤维在产业化过程中解决了装备不足、成本偏高、应用设计能力缺乏等问题。以光威集团为例,阐释了中国企业在中国碳纤维产业发展中的突出作用。中国碳纤维研制目前面临4个问题:产业化工艺与装备核心技术仍未本质突破;碳纤维研制及应用重大基础科学问题尚未探明;大部分应用领域缺乏复合材料设计—制造—评价—考核验证能力;人才规模有限、分布不均。基于此,提出了加强高端碳纤维及其复合材料系列化和自主创新等建议。

关键词 中国碳纤维企业;高性能碳纤维;碳纤维产业

碳纤维是碳含量在90%以上的无机纤维材料,被称为新材料之王,是国家安全、武器装备亟需的关键战略物资,是新兴战略产业发展亟需的重要支撑,是国外长期技术封锁和产品垄断的敏感材料。依据前驱体的不同,一般分为聚丙烯腈(PAN)基、沥青基和黏胶基碳纤维^[1-2]。

2000年以来,随着一批民营企业家和国有为主的资本进入碳纤维产业,中国的碳纤维产业进入快速发展期,实现了中国碳纤维产业的蓬勃发展。

1 PAN基碳纤维及其在中国发展现状

1.1 PAN基碳纤维

PAN基碳纤维是产量最大、应用最广泛的碳纤维品种。PAN基碳纤维的制备主要包括聚合、纺丝、预氧化、低温碳化、高温碳化、表面处理、上浆、收卷等工序(图1)。为了满足应用上对更高模量的需求,在表面处理工序之前增加石墨化处理工序,石墨化过程中纤维的结构会变得更规整,模量得以提高^[3]。

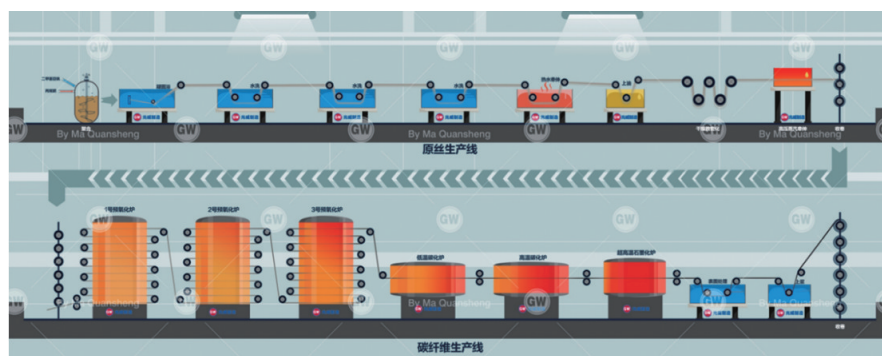


图1 碳纤维生产流程

Fig. 1 Process of carbon fiber production

收稿日期:2018-08-30;修回日期:2018-09-25

作者简介:李书乡,高级工程师,研究方向为国产高性能碳纤维的关键技术及关键设备的研制,电子信箱:lisx@gwfc.cn;马全胜(通信作者),博士,研究方向为碳纤维碳化技术,电子信箱:maqs@gwfc.cn

引用格式:李书乡,马全胜,张顺.中国高性能碳纤维产业的创新发展[J].科技导报,2018,36(19):73-80;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2018.19.010

PAN基碳纤维的核心技术为原丝制备技术,原丝纺丝工艺可分为湿法纺丝工艺和干湿法纺丝工艺,这两种方法都可制备出高性能碳纤维^[4-5]。

PAN基碳纤维按力学性能分为4大类:高强型、高强中模型、高模型和高强高模型,中国一般以日本东丽碳纤维型号性能作为分类依据(图2)。

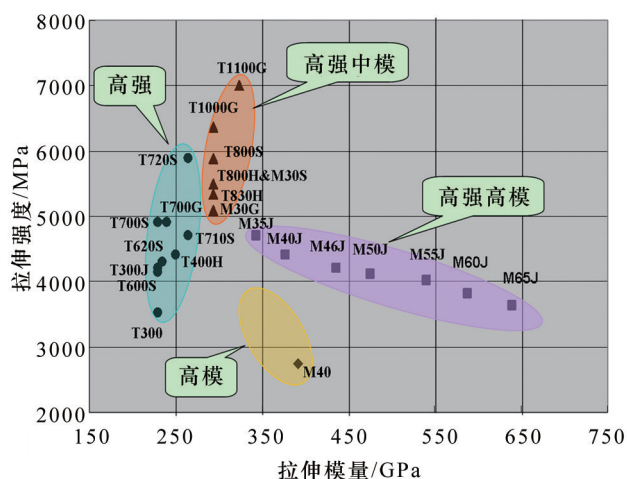


图2 日本东丽碳纤维型号及分类

Fig. 2 Type and classification of Toray carbon fiber

1.2 中国碳纤维发展情况

1.2.1 碳纤维企业发展历程

中国PAN基碳纤维从20世纪60年代开始研发,具体研发工作主要由中国科学院(简称中科院)系统的研究所负责。1962年,中科院长春应用化学研究所成立“丙烯腈基碳纤维的研制”课题组,开展大量基础研究。到1970年代中期,已经在实验室突破连续化工艺。1974年7月,中科院山西煤炭化学研究所开始设计中国第一条碳纤维生产线,于1976年建成,该线生产的碳纤维拉伸强度为2800 MPa,拉伸模量约250 GPa。

1975年11月,时任中央军委秘书长、国防科工委主任的张爱萍将军亲自主持召开了一次专题会议,即第一次全国碳纤维会议,也称为“7511会议”,部署全国碳纤维研究工作。这次会议对促进中国碳纤维研究起到了重要推动作用,调动了研究人员和企业为国防建设做贡献的热情。各单位陆续生产出不同质量的原丝和碳纤维,虽然其力学性能较差、稳定性不好,但至少解决了有无问题,并成功用于某些型号的非结构件。

鉴于碳纤维生产技术的复杂性,“7511会议”以后近10年的时间,中国各种项目课题组协作难以顺利进行。而同期则是国际碳纤维生产技术飞速进步的时

期,在市场的驱动下,东丽公司1984年开发出T800,1986年实现T1000的生产。中国由于自主研发陷入困境,吉林化学工业公司、北京化工大学和北京航空材料研究所等先后尝试购入预氧化和碳化设备,结果并不成功,引进的设备无法正常开车启动。此后的十几年内,中国碳纤维在曲折中徘徊,虽然有所进步,但是一直没能突破关键技术,也没有形成产业,成为中国新材料研发中为数不多的失败案例^[6]。

21世纪初,中国碳纤维研发事业实际上正处于前所未有的低谷期。只有中科院山西煤炭化学研究所、吉林化学纤维厂、吉林炭素有限公司和北京化工大学等几家单位仍努力维持,进行小批量生产,其他研发单位已经基本退出了这一领域。鉴于碳纤维材料对国防建设的重要作用,中国材料领域的泰斗、著名材料学家、两院院士师昌绪提出要重新从国家层面审视碳纤维的重要性,总结之前的经验教训,重新启动系统的研发工作。2001年,师昌绪院士给时任国家主席江泽民写信,要求加速高性能碳纤维的研发工作,受到了高度重视。相关批示直接转给了国家发展计划委员会和科学技术部。在师昌绪院士的大力推动下,此后连续3个五年计划中,通过各个不同的口径对碳纤维进行了大量的专项支持。加上21世纪以来中国经济开始飞跃发展,大量国有和民间资本迅速进入碳纤维领域,形成了一个碳纤维研发、生产建设前所未有的高潮。从2000年开始,中国碳纤维向技术多元化发展,放弃了原来的硝酸法原丝制造技术,采用以二甲基亚砜为溶剂的一步法湿法纺丝及干湿法纺丝技术获得成功,目前利用自主技术研制的少数国产碳纤维产品已经达到国际同类产品水平^[7]。2002年,以威海光威集团有限责任公司旗下的威海拓展纤维有限公司(以下简称威海拓展)为代表的首个民营企业进军碳纤维产业,打破了中国碳纤维产业自研发以来一直在科研院所、高校及国有企业的格局,并在中国率先实现了T300级碳纤维的工程化,2008年建成中国首条千吨级碳纤维生产线,至此,中国碳纤维已从中试生产完成了向批量化、产业化的华丽转身。到2008年,以国有企业及民营企业为主的大量工业企业涌入碳纤维行业,但大多数企业在一些关键技术上无任何突破,生产线运行及产品质量极不稳定,导致“有产能,无产量”的现象出现;2010年,中国碳纤维生产能力仅占世界高性能碳纤维总产量的0.4%左右,碳纤维需求严重依赖进口;2012年1月,中国工业

信息化部公布了新材料“十二五”规划,碳纤维“十二五”期间规划产能为1.2万t/a。“十三五”产能的实现和技术的突破是碳纤维行业的主要发展方向,到目前中国碳纤维的产能在2.6万t/a左右。

在航空需求牵引下,国产碳纤维产业化之路经过10余年的艰辛探索,碳纤维的高性能化技术不断研发成功,已进入有序化发展阶段,产业化初具规模,以满足工业应用、提升产业规模为核心的产业化建设正在快速推进,目前初步实现了国产T300级和T700级碳纤维产业化规模生产,T800级、M40J级碳纤维的工程化生产。中国的T300级碳纤维系列性能基本达到国际水平,航空领域应用渐趋成熟,民用市场也逐步开拓;T700级高性能碳纤维突破了干喷湿纺工艺,产业化生产及应用正在加速;此外,中国创新性开发了湿法纺丝T700级碳纤维制备工艺,产品已应用于航空领域;在实验室条件下,T1000级、T1100级、M55J级高性能碳纤维已经突破关键制备技术,但距离稳定化制备还有一段路要走。

中国现有26家碳纤维企业,主要分布在山东、江苏、河北和吉林。到2018年,以威海拓展纤维有限公司(简称威海拓展)、江苏恒神股份有限公司、中复神鹰碳纤维有限责任公司(简称中复神鹰)、中安信科技有限公司、浙江精功科技股份有限公司为代表的6家企业建设了10条单线产能达千吨级的生产能力,另有20家企业建设几十吨至几百吨产能的生产能力。同时,基于腈纶工业基础的高强型大丝束碳纤维原丝技术取得突破,吉林碳谷碳纤维股份有限公司建成了1.5万t/a的原丝生产能力,国产碳纤维产业格局基本形成。2017年中国碳纤维理论产能达到2.6万t,比2016年略有增长,产能增长主要源于精功集团在吉林新建1500t碳化线1条,中复神鹰新增产能1150t。但在26家企业中,2017年只有16家企业开工生产,有10家企业基本处于停产状态,部分企业正在进行重组,并且已有浙江泰先新材料股份有限公司、沈阳中恒新材料有限公司宣布破产。

1.2.2 平台建设

为支撑碳纤维的国产化发展,国家相关部委建设了1个国家碳纤维工程技术研究中心、2个碳纤维制备国家工程实验室、2个碳纤维复合材料国家工程实验室,多个国家重点实验室涉及碳纤维科学技术研究,若干省部级重点实验室或工程中心丰富了碳纤维国产化

的研发平台,组建起2个碳纤维及其复合材料战略联盟,国产碳纤维合作研发、集约公关的机制与平台格局已初步形成。

2 中国碳纤维在工程化、产业化过程中解决的关键技术

碳纤维制造是高科技、高投入、高风险的行业,多学科交叉、技术难点多、工艺流程长、工艺复杂,是一项集有机化学、无机化学、材料学、机械自动化等学科高度交叉的工程^[8-10]。

中国碳纤维研发自20世纪60年代开始起步,一直到2000年,二甲基亚砷法取得突破,这也成为目前中国主流原丝技术,这一突破,也是由于中国相关研究团队回归到基础的科学问题,遵循高分子材料的客观规律,将复杂的问题简单化^[11-12]。

碳纤维生产的核心问题之一是装备。中国的碳纤维产业化装备开始以引进为主,中国厂家通过消化、吸收、再创新的方式进行装备改进,这样往往导致生产中用工艺来迎合装备,由于产业化经验不多,碳纤维生产厂家不能围绕工艺来提出产业化装备的具体需求,导致很多装备生产能力达不到设计目标。特别是千吨级产业化装备主要靠经验制造,缺乏模拟仿真等技术应用,从而导致静态情况下碳纤维生产装备特有的温度场、气流场满足要求,然而在生产时的动态环境,“两场”波动较大,从而使得生产出来的碳纤维质量稳定性不高。目前中国碳纤维生产企业,一般其自身装备能力比较强的,碳纤维产业化都做得很好。提倡碳纤维企业要有自己的装备制造能力,虽然前期投入会比较高,短期内很难看到效益,然而像碳纤维这种关键战略材料的技术研发、储备和条件支撑不能完全单靠市场行为。

另外,目前中国制造的碳纤维成本偏高,成本问题不单纯是能源费贵、设备贵等经济方面原因,而是存在深层次的技术问题。技术问题包括装备技术不过关、产能释放率低、纤维合格率低、质量不能满足应用要求等。中国制造的碳纤维的高质量、低成本需通过合理的技术手段实现。

缺乏碳纤维应用设计能力是目前存在于碳纤维行业的瓶颈。一般所有的碳纤维都是国外先开始应用,中国也开始在某一领域应用,而未开发出新的应用领

域。这主要是由于中国无相关设计能力,主要看国外用哪个型号的碳纤维,中国也在同一领域用同一型号的碳纤维。航空航天领域因发展时间较长,具有一定设计能力,但其他工业领域几乎没有创新设计能力。中国应注重培育自己的纤维应用设计人才。

3 企业家在中国碳纤维发展过程中的作用

威海拓展的母公司光威集团成立于20世纪80年代,以生产钓鱼竿起家,初创时只是几十人的乡镇企业,在陈光威的率领下,20世纪90年代成为全国钓具行业的翘楚,工厂规模达到5000人。目前钓具部分,每年出口约1亿美元,中国销售约5亿元人民币。

20世纪90年代初开始,碳纤维钓鱼竿市场愈来愈大。生产钓竿用的碳纤维及预浸料全部依赖于进口。1997年,光威集团引进宽幅预浸料生产线,开始自行生产碳纤维预浸料,然而用于生产预浸料的碳纤维还必须进口。

在国际市场上,由于中国无法自主批量生产碳纤维,对于中国企业来说,碳纤维市场完全是一个卖方市场,也即在买卖交易过程中,完全是卖方说了算,非常被动,在价格方面卖方是“通知式涨价”;在数量方面卖方是“分配式供给”;在交货期方面卖方是“赏赐式发货”。同时,每个订单都必须办理最终用户证明、商务部保函等出口管制手续。面对西方国家长期以来对小丝束高性能碳纤维的技术封锁和设备禁运,为实现碳纤维国产化,摆脱受制于人的被动局面,光威集团高层决定组织技术团队、自主研发碳纤维,于2002年成立全资子公司——威海拓展,以坚定的信心和科学的态度,积极勇敢地投入到小丝束高性能碳纤维的研发工作中。

也正是在2000年前后,中国相关部门和众多单位面对碳纤维久攻不下的严峻局面,信心不足,避而远之,中国碳纤维研发处于最困难的低谷时期。这时,鉴于碳纤维在国防军工和国民经济可持续发展中起到十分重要的作用,中国材料界战略科学家、两院院士师昌绪牵头,先后举行了数次研讨会,发起了中国碳纤维技术攻关的新一轮战略构思。

2001年1月,师老(图3)给中共中央“关于加速开发高性能碳纤维的请示报告”的函件得到了中央主要领导的高度重视,2001年10月中国科学技术部决定设

立碳纤维关键技术专项(代号304专项),由中科院化学研究所徐坚研究员任组长。在此过程中,中国石油、中国科学院、教育部、中钢集团的工作人员给予了积极支持。



图3 师昌绪院士与本文第一作者合影

Fig. 3 Academician Shi Changxu and Li Shuxiang

在随后的战略调研、专利和技术信息共享工作中,李克健、罗益锋、赵稼祥等做出了卓越的贡献。2003年11月(专项项目立项启动10个月),由评估专家组独立取样、第三方盲测的PAN基碳纤维独立考评数据第一次出炉,令所有人大吃一惊,参与考评6家中国优势单位的碳纤维,居然没有一家能够完整达到日本东丽公司最低档T300级碳纤维强度、模量、伸长率3个指标(含离散度)。在这里不得不提到孙玉忠,作为威海科技局高新科科长,数十次不懈努力组织304专项专家组专家去一个民营企业威海光威集团现场考察和取样。在当时,这样一个高技术项目在国家数十年持续投入下高校院所、国有大型企业均尚无结果,民营企业能行?更何况涉及国防军工关键材料。在考察现场后,专家组将信将疑地将其纳入PAN基碳纤维独立考评体系。在随后第一次独立测评中,光威集团碳纤维与T300级指标最接近。

后来的事实证明,正是民营企业机制体制优势,光威集团下属威海拓展纤维有限公司率先在中国全面突破了T300级碳纤维工程规模制备,并成为航空集团的定点供货单位,为此师老多次亲临威海现场指导并主持了技术验收/鉴定。曾经有专家形象地表达为“土八路打败了国军、地方军赢了野战军”。

一个生产渔具的民营企业要搞世界尖端的“高科技”新材料,困难、风险之大可想而知。经费不足,节衣

缩食,贷款借钱。贷款需要抵押物,光威集团把全部家底都抵押完了,资金还是没凑够,集团创始人陈光威把自家的房产也抵押了上去!研制过程缺乏人才,不惜血本广招能人,千方百计与科研机构、高校名院合作,就靠这种蚂蚁啃骨头的精神,光威集团攻克了前进道路上一个个难关,实现了碳纤维材料的国产化。

调研阶段:从1999年到2001年3月,对碳纤维的市场需求情况、中国技术发展水平和原材料(丙烯腈和二甲基亚砷(DMSO)等)的供应情况等作了深入调研,制定出了数个供碳纤维小试研究的工艺路线。

小试研究阶段:从2001年3月到2003年2月,试验了连续聚合和间歇聚合等工艺,确定了以丙烯腈、丙烯酸甲酯、衣康酸等为共聚单体,采用二甲基亚砷为溶剂,偶氮二异丁腈为引发剂的连续聚合工艺方案,采用湿法纺丝的工艺路线;期间,承担过省市原丝和碳纤维科研课题10余项,建立了吨级原丝小试线和氧化碳化小试线,生产的碳纤维拉伸强度等指标达到3500~4500 MPa。

中试研究阶段:从2003年2月到2005年11月,以承担国家高技术研究发展计划(863计划)“CCF-1级PAN基碳纤维中试稳定化和连续化生产关键技术研究”课题为研究基础和牵引,通过创新,建立了25 t/a原丝生产线和10 t/a有表面处理的氧化碳化生产线。

碳纤维材料的核心技术掌握在日、美几家公司手里,并对中国严格封锁,对中国航空航天型号的发展极为不利。由于前期在“863计划”支持下,威海拓展的CCF300碳纤维性能基本达到国外T300碳纤维水平,具备了航空工程应用的坚实基础。因此,2005年11月,中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所、中国工业沈阳飞机有限公司、中航工业北京航空材料研究院、中航工业北京航空工艺制造所、中国科学院化学研究所、威海拓展等多家单位组成国产碳纤维工程化应用联合攻关组,在威海拓展CCF300碳纤维中试研发基础上,针对航空装备复合材料飞机结构对碳纤维的使用要求,开展了对CCF300碳纤维的航空应用验证。

航空应用验证以碳纤维满足XX飞机应用验证载体所用复合材料预浸料的制备和结构成型以及结构使用性能要求为研究重点,通过开展碳纤维缺陷消减改善预浸料制备工艺性、均匀上浆技术、碳纤维结构组织致密化和碳纤维力学性能匹配性等与预浸料制备过程中毛丝较多、改善碳纤维界面性能和复合材料耐湿热、

抗冲击性能以及碳纤维(性能)批次稳定性提高等密切相关内容研究,并结合碳纤维原丝组分材料优选/优化和工艺设备控制与运行精密化,实现CCF300碳纤维及其复合材料综合性能的批次稳定性逐步增长提高,满足飞机结构规模化应用的需求。

2005年11月至2006年12月,CCF300碳纤维用于制备预浸料工艺应用性摸底;提高生产线产能,原丝产能由25 t/a提高至130 t/a,碳纤维产能由10 t/a提高到50 t/a。2007年2月,CCF300通过了“国产碳纤维(50 t/a)生产工艺评审”。2008年3月,“国产碳纤维及其复合材料等效性评定”通过评审。2008年5月完成CCF300碳纤维试验部件的制造与装配。2008年12月,CCF300碳纤维复合材料部件通过装机评审。2011年6月,CCF300碳纤维通过了项目材料技术鉴定,开始用于XX飞机批量供货。

同期,根据本项目研究成果,直X,直XX等直升机型号已采用CCF300碳纤维及机织物;大X飞机复合材料结构也已选用CCF300碳纤维,并已批量订货。

威海拓展以产业化为目标,从小试开始,通过产学研相用相结合的方式,逐步掌握了原丝制备及氧化碳化工艺等多项关键技术。2005年底,威海拓展率先突破了GQ3522(国标代号)碳纤维百吨级工程化关键技术。进而又掌握了千吨级生产线的设计、制造、调试和稳定运行多项技术(图4)。截至目前,威海拓展共有百吨级碳纤维生产线3条,千吨级碳纤维生产线2条,碳纤维总产能达到3100 t/a。



图4 师昌绪院士视察威海拓展千吨级碳化生产线
(右为师昌绪,左为陈光威)

Fig. 4 Academician Shi Changxu inspecte kiloton scale carbon fiber production line

4 中国碳纤维研制目前面临的问题

中国碳纤维及其复合材料的研制与国外基本同步开始,但是由于复杂的原因进展一直较缓慢,近10年来虽取得了很大的进步,但产品在性能稳定性、成本、规模及应用方面未达到日、美等发达国家的水平^[13-17]。

1) 产业化工艺与装备核心技术仍未本质突破,在市场竞争中处于不利地位。

2017年中国碳纤维市场规模约2.3万t,其中国产碳纤维约7000t,占实际消费量30%。国产碳纤维有产能无产量,主要因素是产业化技术成熟度不高,产品的性价比低、产品的应用服务能力缺失。现阶段国产碳纤维仍以生产12K及以下小丝束产品为主,高质量、大丝束、低成本、大规模碳纤维工业化生产技术尚未突破,而国外已经开始将大丝束低成本与小丝束高质量碳纤维工业化生产技术融合,持续提升产品质量和降低成本。

导致中国碳纤维产业技术成熟度不高的主要原因在于,碳纤维的产业化建设不是靠企业自主的技术,更多靠借鉴与仿制,企业缺乏技术底蕴和核心技术的“关键先生”。由于尊重知识产权的氛围有待建立,企业与科研院所的有效合作难以建立,产业化技术提升受制。装备国产化能力不足、对引进装备的二次改造能力弱,导致产业化工艺去迎合装备条件,失去了以工艺为核心的产业化准则,产品质量稳定性不高、产能释放率低等问题突出。

此外,复合材料成型工艺占据产品成本的较大比例,工业生产技术落后,制造装备跟不上,生产规模化程度低,导致市场对生产周期与价格的接受度较低,限制了产业规模的发展壮大^[18]。

2) 碳纤维研制及应用重大基础科学问题尚未探明,高端碳纤维及其复合材料与国外仍存在代差。

碳纤维制备科学技术基础仍需不断夯实,国产碳纤维普遍存在性能调控能力弱,反映出工艺—成分—结构—性能之间深层次的关联关系没有研究透,必要的科学机理没有揭示清楚。近几年,随着企业的产业化水平提高,对基础研究的支持力度不均衡,且受人才、专业基础以及生产任务的限制,无法真正展开基础研究;而高校与研究机构的研发,往往以型号产品为依托,以跟踪仿制国外指标为目标,基础研究投入不足。

国外航空航天等领域已经大规模应用以T800级碳纤维为主要增强体的第2代先进复合材料,而中国总体

上仍处在第1代先进复合材料扩大应用阶段,T800级碳纤维的工程化应用尚处研制阶段。中国军用高性能纤维及其复合材料与国外先进水平存在代差。同时,国产纤维系列化发展以跟踪仿制模式为主,自主创新能力不足,不适应高端装备比肩和引领发展的需求。

3) 大部分应用领域缺乏复合材料设计—制造—评价—考核验证能力,“不会用、用不好”问题突出,碳纤维产业发展缺乏大规模应用出口。

一方面碳纤维生产企业基于技术积累现状和传统的习惯思维,对碳纤维应用服务能力的培养不重视,只注重产品的推销,而忽视了应用服务,导致中国制造的碳纤维市场受欢迎程度低;另一方面中国的碳纤维应用企业、复合材料企业,更多习惯于跟踪国外的应用技术与应用领域,以“成型加工”方式开展碳纤维复合材料的制备,工业领域缺乏对碳纤维复合材料设计—制造—应用的集成能力,缺乏持续应用的能力,导致工业需求未能形成对碳纤维复合材料产业的持续拉动作用。例如,大量碳纤维企业涌向国防军用领域,不仅对有限规模的军用市场造成严重冲击,而且装备与产品技术水平参差不齐,检测与标准体系难以统一,企业生存面临严重困难,严重影响国产碳纤维技术水平提升,对军用碳纤维复合材料创新发展产生了拖后腿效应。

4) 人才规模与分布问题没有得到明显改观。

经过几十年艰苦努力,中国制造碳纤维及复合材料研制取得长足进步,培养了一批专业技术人才。但由于中国制造碳纤维及其复合材料行业整体规模和技术水平均大大落后于世界先进国家,碳纤维及其复合材料领域人才队伍规模有限,且掌握关键技术的人才严重匮乏。同时人才分布不均,大量复合材料设计和工艺技术人才主要集中在国防领域,而方兴未艾的工业应用领域设计和工艺技术人员严重匮乏,直接影响了碳纤维复合材料在工业领域的推广应用,难以支撑中国碳纤维及其复合材料行业的整体发展。

5 中国碳纤维发展建议

为实现“材料强国”的目标,培育壮大完整产业链,需重点加强高效低成本碳纤维研发,在应用领域建立具有碳纤维及复合材料设计应用的技术平台与能力体系,培育具有竞争力、先进完整的产业体系,以人才为依托,支撑中国碳纤维及其复合材料技术产业持续健康发展。

1) 加强高端碳纤维及其复合材料系列化和自主创新。

军用碳纤维发展立足于满足国家重大安全需求,重点发展高性能低成本纤维系列化技术及其复合材料应用技术,实现国防装备完全自主保障;与此同时还应以复合材料使用性能和装备应用为牵引,下决心自主研发,发展大直径、拉压性能平衡的自主牌号碳纤维,并以此为基础研制和发展高强、高模、高韧和拉压平衡的第3代先进复合材料。民用碳纤维发展则应抓住国际汽车和风电用工业级碳纤维仍处于爆发初期的有利时机,重点发展大丝束、高质量和低成本工业级碳纤维,加快推进碳纤维复合材料在风电和汽车领域的应用,解决碳纤维应用出口问题。

2) 重点培育技术与装备硬实力,建立先进完整、具有国际竞争力的高性能纤维及其复材产业体系。

在国家重大工程和“十三五”相关计划的支持下,重点突破碳纤维大规模工业化生产成套工艺与装备技术、军用高性能低成本碳纤维成套技术、工业及装备复合材料应用成套技术,着力提升中国碳纤维及复合材料领域硬实力。在国防领域之外,尤其汽车、风电、压力容器等颇具潜力的工业领域,建立先进完整的集碳纤维复合材料设计—制造—应用于一体的产业技术体系,加强能源、交通运输、建筑工程等重点民用产业发展,形成碳纤维研发、生产和应用的完备产业链,提升工业领域应用复合材料的技术水平,“会用、用好”碳纤维复合材料,逐步推动中国碳纤维及其复合材料硬实力大幅提升。

3) 加强人才培养,尊重知识产权及标准建设,支撑中国碳纤维及其复合材料技术产业持续健康发展。

加强碳纤维及其复合材料学科建设与人才培养,依托相关高校完善学科设置,加强机械、纺织、高分子、材料和工业与装备设计等专业融合,扩大人才培养规模并加强跨专业复合型人才培养;在重点企业建立企业技术中心和重点企业重点实验室等高水平开放研究平台,并依托研究中心和平台建立碳纤维试验线,切实加强和提升碳纤维生产企业的工艺技术水平;对于尚处规模化产业初期的行业,要重视检测标准、工艺标准及产品质量标准规范的建立;尊重知识产权,建立合理有序的人才流动机制,为中国碳纤维及其复合材料技术产业持续健康发展提供自主创新源动力。

6 结论

以碳纤维为代表的高性能纤维作为先进复合材料的重要组成部分,具有很大的发展潜力,将在今后很长时期内保持相当的活力。下一步,中国碳纤维技术产业应着力于碳纤维的高性能化和市场需要的新品种研发及生产,为中国复合材料行业的发展、为碳纤维企业的技术升级发挥积极的作用。

参考文献(References)

- [1] 益小苏. 先进复合材料技术研究与发展[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
Yi Xiaosu. Research and development of advanced composite technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006.
- [2] 陈祥宝. 先进树脂基复合材料的发展[J]. 航空材料学报, 2000, 20(1): 46-54.
Chen Xiangbao. Development of advanced resin matrix composites[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2000, 20(1): 46-54.
- [3] 张跃, 陈英斌. 聚丙烯腈基碳纤维的研究进展[J]. 纤维复合材料, 2009, 26(1): 7-10.
Chen Yue, Chen Yingbin. Research progress of polyacrylonitrile based carbon fibers[J]. Fiber Composites, 2009, 26(1): 7-10.
- [4] Ghafoori E, Motavalli M. Normal high and ultra high modulus carbon fiber-reinforced polymer laminates for bonded and unbonded strengthening of steelbeams[J]. Materials & Design, 2015, 67: 232-243.
- [5] Schnerch D, Stanford K, Sumner E, et al. Strengthening steel structures and bridges with high-modulus carbon fiber-reinforced polymers resin selection and scaled monopole behavior [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2004, 1892: 237-245.
- [6] 赵稼祥. 民用航空和先进复合材料[J]. 高科技纤维与应用, 2007, 32(2): 6-10.
Zhao Jiaxiang. Civil aviation and advanced composite materials [J]. Hi-tech Fiber & Application, 2007, 32(2): 6-10.
- [7] 陈绍杰. 碳纤维再聚焦[J]. 高科技纤维与应用, 2009, 34(1): 1-8.
Chen Shaojie. Carbon fiber re-focusing[J]. Hi-tech Fiber & Application, 2009, 34(1): 1-8.
- [8] 李克健. 中国碳纤维研究的过去与现在[J]. 新材料产业, 2009(10): 101-105.
Li Kejian. Past and present of carbon fiber research in China [J]. Advanced Materials Industry, 2009(10): 101-105.

- [9] 徐樾华. 国产碳纤维质量状况及对策建议[J]. 新材料产业, 2010(9): 5-8.
Xu Lianghua. Quality status of domestic carbon fiber and countermeasures[J]. Advanced Materials Industry, 2010(9): 5-8.
- [10] 朱波. PAN 基碳纤维制备成本构成分析及控制探讨[J]. 新材料产业, 2010(9): 36-38.
Zhu Bo. Cost analysis and control of PAN based carbon fiber [J]. Advanced Materials Industry, 2010(9): 36-38.
- [11] 杨彦春. 三大机构经济展望报告认为: 2011 年世界经济缓慢而稳定增长[N]. 经济日报, 2011-01-22(5).
Yang Yanchun. Three major institutions' economic outlook report says: In 2011, the world economy was growing slowly and steadily[N]. Economic Daily, 2011-01-22(5).
- [12] 李舜. 碳纤维: 热潮之下冷思考[N]. 中国石化报, 2010-06-22(1).
Li Shun. Carbon fiber: Cool thinking under the craze[N]. China Petrochemical News, 2010-06-22(1).
- [13] Gupta A, Harrison I R. New aspects in the oxidative stabilization of PAN-base carbon fibers[J]. Carbon, 1996, 34: 1427-1445.
- [14] Ko T, Day T, Perng J. The characterization of PAN-based carbon fibers developed by two stage continuous carbonization [J]. Carbon, 1993, 31(5): 765-771.
- [15] Gao A J, Su C J, Luo S, et al. Densification mechanism of polyacrylonitrile-based carbon fiber during heat treatment[J]. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 2011, 72(10): 1159-1164.
- [16] Liu J, Wang P H, Li R Y. Continuous carbonization of polyacrylonitrile based oxidized fibers: Aspects on mechanical properties and morphological structure[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1994, 52(7): 945-950.
- [17] Li L Y, Huang Q Z, Zhang H B. Study on the carbonization of polyacrylonitrile-based preoxidized fibres[J]. Materials Science and Engineering or Powder Metallurgy, 2000, 5(1): 69-74.
- [18] 姜茂川, 范雨娇. 国内碳纤维产业发展浅析及展望[J]. 新材料产业, 2017(8): 38-43.
Jiang Maochuan, Fan Yujiao. Development and prospect of domestic carbon fiber industry[J]. Advanced Materials Industry, 2017(8): 38-43.

Development of high performance carbon fiber industry in China

LI Shuxiang, MA Quansheng, ZHANG Shun

Weihai Tuozhan Fiber Co., Ltd., Weihai 264200, China

Abstract The development process of carbon fiber industry in China is introduced. In the process of industrialization, China's carbon fiber has solved the problems of insufficient equipment, high cost and lack of application and design ability. Taking Guangwei Group as an example, the prominent role of Chinese enterprises in the development of China's carbon fiber industry is illustrated. China's carbon fiber development currently faces 4 problems: (1) Industrialization technology and equipment core technology has not yet made a breakthrough. (2) Major basic scientific issues in the development and application of carbon fibers have not yet been identified. (3) Most applications lack composite design, manufacturing, evaluation and qualification. (4) The scale of talents is limited and the distribution is uneven. Based on this, suggestions for strengthening the high-end carbon fiber and its composite materials serialization and independent innovation are put forward.

Keywords carbon fiber enterprise in China; high performance carbon fiber; carbon fiber industry ●



(责任编辑 王志敏)