

国产聚丙烯腈基碳纤维 发展现状与建议

彭公秋^{1,2,3}, 李国丽^{1,2,3}, 曹正华^{1,2,3}, 谢富原⁴

(1. 中航复合材料有限责任公司, 北京 101300;

2. 航空工业复合材料技术中心, 北京 101300;

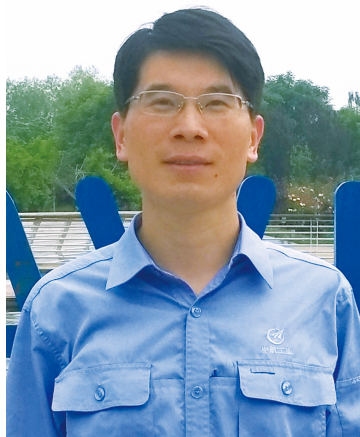
3. 先进复合材料重点实验室, 北京 101300;

4. 合肥工业大学工业与装备技术研究院, 合肥 230009)

[摘要] 聚丙烯腈基碳纤维及其复合材料是航空应用选材的理想材料, 用量和应用部位是衡量飞机结构先进性的重要标志之一。综述了国产聚丙烯腈基碳纤维发展现状, 指出了国产聚丙烯腈基碳纤维在产业布局、质量稳定性、配套装备、产业链等 8 个方面存在的主要问题; 然后, 分析与探讨了航空评价与应用的关键问题; 最后给出了国产聚丙烯腈基碳纤维的发展建议, 以期牵引和推动国产聚丙烯腈基碳纤维的健康可持续发展。

关键词: 聚丙烯腈碳纤维; 航空应用; 大丝束碳纤维; 干喷湿纺; 预浸料

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2018.14.068



彭公秋

博士、高级工程师, 主要从事碳纤维及其复合材料应用研究, 曾获德国西格里集团奖学金一等奖、“十二五”预研三等功等。

聚丙烯腈基碳纤维复合材料比强度高、比模量高、质量轻、抗疲劳性能好、可设计性好, 适用于大型航空

构件整体成形等^[1-4], 广泛应用于航空领域。复合材料在飞机上的用量和应用部位已经成为衡量飞机结构先进性的重要标志之一^[5]。复合材料比强度是钢的 7 倍左右, 应用于航空结构, 减重效益明显, 重量的减轻可有效提升飞机作战能力、增加航程或者提高运输能力。同时, 与传统的金属材料相比, 复合材料适于整体结构成形, 可以大幅度减少零件及紧固件数目, 降低连接和装配成本^[2]。为满足航空装备的高性能化、轻量化要求, 国外军机和民机均大量采用轻质、高效的聚丙烯腈基碳纤维复合材料。美国 F-22 战斗机在机翼、机身等主承力结构上大量采用高强中模 IM7 碳纤维和高韧性 5250-4 双马树脂的高性能复合材料^[6], 其结构用量达 24.2%, 获得了良好的减重效益。国外最新的民机波音 787 和空客 A350 复合材料结构用量达 50%

以上^[2], 其中广泛采用聚丙烯腈基碳纤维复合材料。

经过多年的持续研发和应用实践, 以日本 Toray 公司和美国 Hexcel 公司为代表的企业已实现聚丙烯腈基碳纤维的“标准化、系列化、通用化、实用化”^[7], 同时美国军机也重点实现碳纤维的自主保障。聚丙烯腈基碳纤维作为国家关键战略原材料, 受美国等西方国家对华政策的影响, 航空级高性能碳纤维进口受到限制, 航空武器装备的发展处于受制于人的被动局面。为了解决这一问题, 国内开展了国产碳纤维替代和纤维国产化工作, 以满足型号生产的急需和可持续发展^[8]。

针对国产聚丙烯腈基碳纤维, 本文首先介绍国产聚丙烯腈基碳纤维发展现状, 然后指出国产聚丙烯腈基碳纤维发展存在的主要问题, 最后给出国产聚丙烯腈基碳纤维发展建议,

以期推动国产聚丙烯腈基碳纤维的健康可持续发展。

国产聚丙烯腈基碳纤维发展现状

我国聚丙烯腈基碳纤维研究工作起步较早。20世纪60年代末/70年代初,中石油吉化、中科院山西煤化所、北京化工大学等单位均开展了聚丙烯腈基碳纤维国产化技术研发,建立了硝酸法、硫氰酸钠法、二甲基亚砷法等多种原丝制备工艺,但由于工艺基础薄弱、装备技术落后等原因,碳纤维质量低下、性能稳定性差,聚丙烯腈基碳纤维国产化技术长期徘徊在较低水平^[9]。2000年二甲基亚砷原丝工艺实现自主创新,2002

年第一条二甲基亚砷原丝工程化线建成,国产聚丙烯腈基碳纤维技术成功实现了转型升级,国家科技部设立了“863”计划,重点支持国产聚丙烯腈基碳纤维的工程化研究,国家发改委、工信部等也加大支持工程化、产业化及其应用,国产碳纤维进入有序发展阶段^[8]。

经过近50年的发展,国产碳纤维在性能、工程化和应用研究等方面均取得了可喜成绩^[7]。

(1)攻克了国产T300级碳纤维、国产T700级碳纤维和国产M40石墨纤维的工程化和应用问题,解决了以上这3种材料的有无问题,满足了航空航天等武器装备和民用领域的应用急需;

(2)突破了国产T800级碳纤维和国产M40J石墨纤维的关键制备技术,实现了工程化生产,主体力学性能达到东丽T800碳纤维和M40J石墨纤维水平;

(3)突破了国产T1000碳纤维和M50J、M55J、M60J石墨纤维实验室制备技术,具备开展下一代纤维研发的基础;

(4)重视油剂、上浆剂等配套助剂的研发工作,初步形成了国产碳纤维和石墨纤维配套助剂体系;

(5)聚丙烯腈基碳纤维生产线运行的数字化、智能化不断提高,装备制造自主能力不断提升。

据不完全统计,截至2018年3月,全国有20余家聚丙烯腈基碳纤维

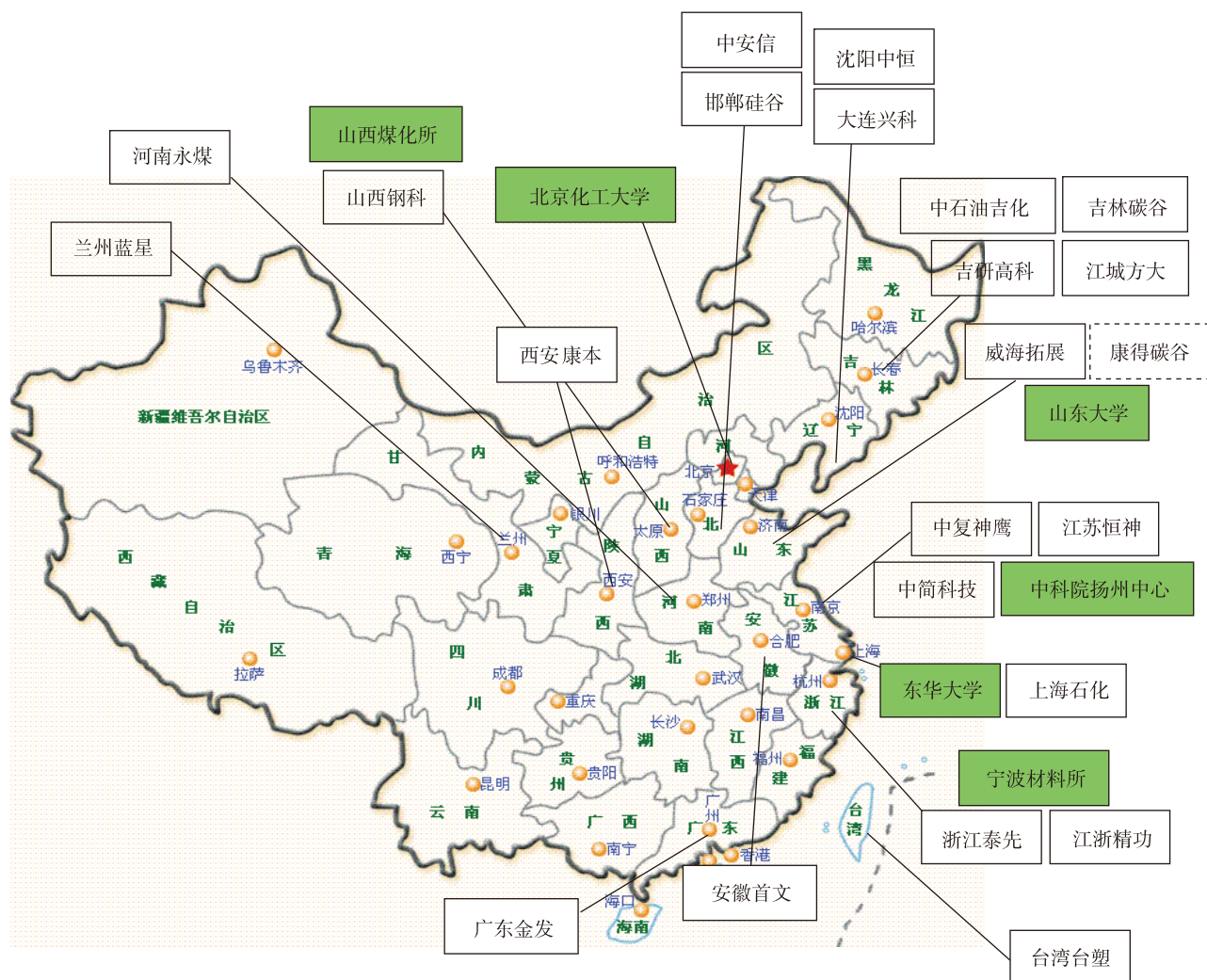


图1 国内聚丙烯腈基碳纤维生产厂家和研究单位分布图

Fig.1 Distribution diagram of domestic PAN-based carbon fiber manufacturers and research units

维生产企业和 6 家碳纤维研究单位,其分布见图 1,已建成的碳纤维产能达 3 万吨/年,在建生产线建成后将达到 10 万吨/年以上。威海拓展、中复神鹰、中安信、江苏恒神、山西钢科、浙江精功等企业已建成单线千吨级的生产线;中简科技也正在进行千吨级生产线的建设;康得碳谷计划投资 500 亿元,重点发展小丝束高强高模聚丙烯腈基碳纤维系列化研发和 T700-50K 大丝束碳纤维的研制,建设 6.6 万吨碳纤维生产线,规模化能力建设初见成效。但与此同时,一些碳纤维企业受技术基础薄弱、产品长期未实现批量应用、投入资金链断裂等因素影响,已经处于停产状态甚至申请破产,2017 年浙江泰先成为“碳纤维生产企业破产第一案”。聚丙烯腈基碳纤维行业的分级分化已经开始显现,国产碳纤维由建设狂热期开始向发展成长期和兼并整合期过渡。

国产聚丙烯腈基碳纤维发展存在的主要问题

近几年,国产聚丙烯腈基碳纤维从无到有,取得了较大进展,但不可否认,与日本东丽公司和美国赫氏公司等先进碳纤维企业相比,国产聚丙烯腈基碳纤维在技术、装备、性能、配套材料和产业链等方面还处于起步阶段,无论产量、质量均有待进一步提高,仍存在诸多问题。

(1) 碳纤维产业发展缺乏总体规划,低水平重复建设严重。

我国碳纤维行业发展存在一定的盲目性,国内很多碳纤维企业仍然停留在 T300 或者 T700 级碳纤维水平,且单线产能与国际标准产能(1800t/年)有一定差距^[8],形成了低水平重复建设的局面。同时由于碳纤维企业自主创新能力不足,导致利用率低、竞争力弱、产能规模小,形成了“有产能、无产量,有产量、无质量”畸形的国产碳纤维发展状态,严重制

约了碳纤维行业的可持续发展。

(2) 产品质量较差,稳定性有待提高。

国内高性能碳纤维产业还没有形成系列化发展,技术储备不足,普遍存在单线产能小、效率低、稳定性差、数字化自动化程度不高等问题,国产碳纤维力学性能离散大、线密度波动高、产品质量稳定性较差,而且产业能力弱、能耗大、生产成本低,没有形成核心竞争力,产业化水平仅相当于日本东丽 20 世纪 80 年代的水平。

(3) 未真正突破产业化配套装备自主设计制造技术。

碳纤维生产专用装备材料技术、设计技术和制造水平相对较低,专用装备自主研发能力弱,设备与生产工艺适应性差,高精密喷丝板、高效蒸汽牵伸机、大口径均匀分布高温碳化炉/石墨化炉、精密收丝机等关键的碳纤维生产设备基本依赖进口,尽管一些企业着手碳纤维装备国产化,但可靠性与稳定性与进口设备仍有一定差距,未全面突破专用装备自主设计制造技术是阻碍国产碳纤维产业化的障碍之一。

(4) 尚未完全突破大丝束低成本纺丝等关键技术。

大丝束碳纤维主要应用在汽车、风电叶片、能源建筑和体育用品上,是降低碳纤维成本、拓展碳纤维复合材料应用的途径之一^[10-11],国内上海石化、康得碳谷、吉林化纤已计划研发大丝束碳纤维,但刚刚起步,还未完全突破大丝束碳纤维制备技术,同时在大丝束碳纤维展纤技术及与树脂浸润等还需系统研究。

(5) 未全面重视干喷湿纺碳纤维的优势。

干喷湿纺是实现高速纺丝、消除皮芯结构、获取低成本高性能碳纤维的有效途径^[12]。波音 787 广泛采用东丽公司的干喷湿纺的 T800S 碳纤维^[13],美国军机 F-22 和 F-35 采用赫

氏公司的 IM7 碳纤维,根据碳纤维表面形貌分析判定 IM7 碳纤维采用干喷湿纺工艺生产^[7,14-16]。但国内普遍认为干喷湿纺工艺碳纤维表面光滑,碳纤维/上浆剂/树脂界面结合较弱,一定程度上影响了干喷湿纺碳纤维在国防装备上的应用。

(6) 碳纤维专用上浆剂等配套材料系列化有待进一步加强。

国外碳纤维专用上浆剂较为成熟,比如日本东丽公司根据不同树脂基体要求,形成了与之配套的系列上浆剂,以满足不同的成型工艺和应用要求。国内上浆剂品种较少,不能兼顾碳纤维工艺性、复合材料耐高温和耐湿热老化要求。

(7) 跟踪仿制严重,自主创新能力差。

国内碳纤维研制大部分是对标东丽公司碳纤维性能,过分追求碳纤维指标的一致性,未根据实际需求或国产碳纤维产业化特点自主设计、自主研发高性能碳纤维,限制了国产碳纤维的自主创新能力。

(8) 碳纤维上下游脱节,产业链未全面形成。

我国碳纤维应用是独立于碳纤维应用技术发展起来的,碳纤维上下游产业发展严重脱节,碳纤维生产线的建设盲目性很大,碳纤维生产企业未与预浸料和复合材料制造商建立广泛的合作开发和稳定的供求关系,未构建可靠地碳纤维-预浸料-复合材料全产业链,应用领域设计规范需进一步完善,下游市场亟须培育和开拓。

国产聚丙烯腈基碳纤维航空评价与应用探讨

2005 年以来,航空工业开展了国产聚丙烯腈基碳纤维在航空复合材料应用研制和工程化验证工作,涵盖国产 T300 级碳纤维、国产 T700 级碳纤维、国产 T800 级碳纤维以及石墨纤维等,针对国产碳纤维在航空应用中的 3 个关键问题进行探讨,以

期为国产碳纤维的研制和应用提供指导。

1 高性能碳纤维力学性能测试

碳纤维力学性能的正确表征是对其质量评价的一个重要内容,它涉及碳纤维复合材料的设计与使用,同时也是指导碳纤维优化改进的重要依据。评价碳纤维力学性能最普遍的方法是束丝法^[17],相关的测试标准主要有 ASTM D 4018、ISO 10618 (与日本标准 JIS R7608 等同)、TORAYCA® TY-030B-01、GB/T 3362—2005,但其测试结果与选用的树脂体系、测试环境、仪器设备、制样水平和操作人员的熟练程度等密切相关。针对碳纤维复丝拉伸性

能测试,各测试标准对浸胶树脂均提出了明确的规定^[18]:(1)浸胶树脂与碳纤维及表面上浆剂具有良好的相容性;(2)浸胶树脂黏度可满足均匀浸渍碳纤维;(3)固化后的浸胶树脂失效应变至少应为碳纤维失效应变的2倍,同时 ISO 10618 指出固化后的浸胶树脂失效应变最好为碳纤维失效应变的3倍。随着国产碳纤维的生产和应用技术的迅速发展,航空用碳纤维从 T300 级(典型断裂伸长率 1.5%)发展到 T800 级(典型断裂伸长率 1.9%),丝束规格从 3K 增加到 6K、12K 和 24K,准确表征碳纤维的力学性能越来越困难。例如,采用 E44+三乙烯四

胺(GB/T 3362—2005 推荐的树脂体系,即 E44+TETA,典型断裂伸长率 2.3%)和 LY-1 (典型断裂伸长率 $6\% \pm 0.5\%$)两种不同韧性的树脂体系进行某国产 T800 级碳纤维力学性能测试,测试结果见图 2,采用 LY-1 韧性树脂体系比 E44+三乙烯四胺树脂体系测试强度批次平均值高 150MPa。因此,对于高性能聚丙烯腈基碳纤维,力学性能测试需要选择韧性相匹配的浸胶树脂。

2 碳纤维/上浆剂/树脂界面与韧性匹配

碳纤维/上浆剂/树脂的界面结构非常复杂,三者的匹配性是复合材料界面性能的决定性因素。碳纤维表面特性直接影响复合材料的界面性质,进而影响到复合材料的宏观性能,纤维/上浆剂/树脂的韧性匹配合理才能充分发挥复合材料的综合力学性能优势(图 3)^[19]。对于已在波音 787 大量应用的东丽 T800S 碳纤维,采用干喷湿纺工艺,表面光滑(图 3(b)),与树脂的机械啮合作用较低,为了达到改善界面性能,需要通过优化阳极氧化处理等方式调控碳纤维表面结构,在碳纤维表面刻蚀的同时增加表面活性,以利于复合材料界面粘结性能^[20]。与此同时,需同时关注碳纤维与树脂基体的韧性匹配,应用于航空结构的碳纤维不宜具有较高的断裂伸长率,从而满足复

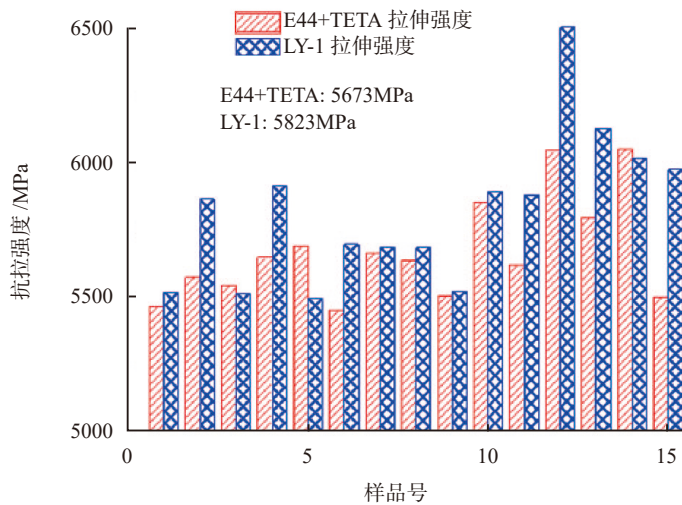
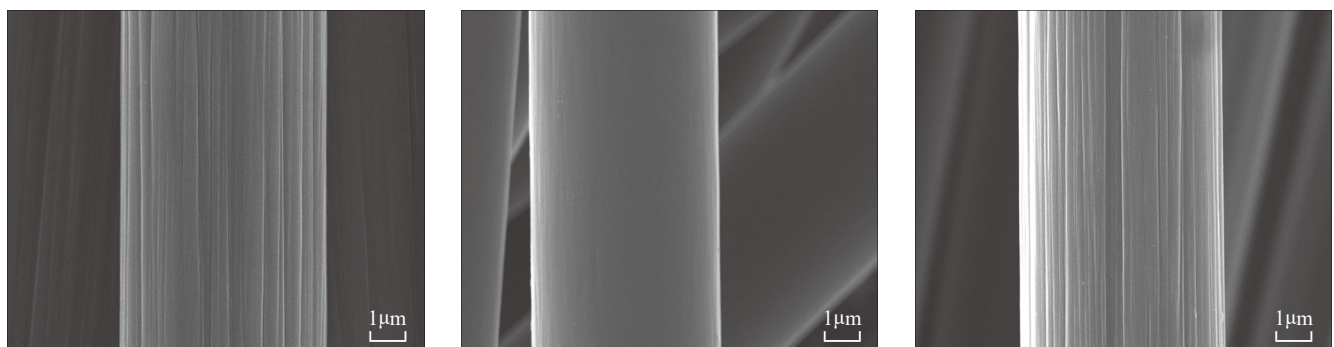


图2 不同韧性的树脂测试某国产T800级碳纤维性能对比

Fig.2 Effect of resin toughness on property of domestic T800 grade carbon fiber



(a)某国产 T800 级碳纤维

(b)东丽 T800S 碳纤维

(c)东丽 T800H 碳纤维

图3 T800级碳纤维表面形貌

Fig.3 Surface morphology of T800 grade carbon fiber

合材料的结构损伤容限要求^[18]。此外,碳纤维专用上浆剂满足与树脂基体相容性与匹配性的同时,需要考虑碳纤维后续应用的工艺性和复合材料的耐湿热性能等。

3 大丝束碳纤维研发与展纤技术

随着聚丙烯腈基碳纤维产业化发展的趋势,48K以上大丝束碳纤维是其发展趋势之一。碳纤维丝束增大,碳纤维在织物编织和预浸料制备过程中工艺性变差,展纤技术成为一大难题。展纤后碳纤维变宽变薄,内部空间减少,纤维-树脂分布均匀性提高,单层厚度降低可以在很大程度上增加复合材料铺层方向的可设计性,有效提高复合材料性能和界面结合强度^[21]。同时,展纤后的碳纤维预浸料制造的层合板,具有更强的抗裂纹萌发和扩展的能力^[11]。因此,研发大丝束碳纤维的同时,需要解决碳纤维应用相关的工艺性和展纤技术等难题。

国产碳纤维发展建议

通过剖析国产聚丙烯腈基碳纤维发展现状和主要问题,给出国产碳纤维发展建议。

(1) 培育优势碳纤维企业。

引导供给侧结构性调整,政府引导投资,积极发挥其各自的专业特长和技术优势,整合行业科技资源,逐步将碳纤维研制生产收缩至优势单位,培育龙头企业,通过市场竞争和价值导向,充分发挥优势企业的技术研发能力。

(2) 重视产业化配套装备和辅助材料研制。

加大支持产业化规模碳纤维装备设计和制造技术研究,鼓励碳纤维企业与制造企业共同提升设计和制造水平,重点提高精度喷丝板、大口径碳化炉等碳纤维关键设备的制备技术。同时,重视高性能碳纤维原丝油剂、碳纤维上浆剂等辅助材料的配套研究,满足航空航天等高端用户和民用领域的不同需求。

(3) 发展干喷湿纺和大丝束低成本制备技术。

针对汽车领域和民用飞机等对碳纤维低成本的需求,构建以碳纤维企业为主体,产学研用和引进技术消化吸收相结合的技术创新体系,依托科研院所、企业技术中心及行业组织等机构,开展大丝束碳纤维成型技术和制备技术研发,大力开发干喷湿纺高速纺丝技术,降低碳纤维生产成本。进一步完善碳纤维-预浸料-复合材料产业链的生产工艺,提高自动化控制水平,降低“三废”排放,提高资源和能源综合利用水平。

(4) 立足自主保障,坚持国产化道路。

经过近50年的发展,国产碳纤维关键技术、装备、产业化生产等方面取得了较大突破,同时碳纤维是先进复合材料结构的关键原材料,属国家一级战略物资,在发展碳纤维系列化的同时,应借鉴美国军用碳纤维研制思路,根据实际需求,结合国产碳纤维实际研发水平和在足够试验验证基础上,坚持走碳纤维国产化道路,确保关键战略材料的自主保障。

(5) 推动技术资源共享,建立碳纤维全产业链协同发展。

国家制定政策措施,积极鼓励碳纤维生产企业、高校、科研机构与应用单位联合开发、生产碳纤维制品,加快培育和扩大应用市场;重点围绕航空、航天、汽车、建筑工程、海洋工程、电力输送、油气开采和机械设备等领域需求,以应用需求为牵引,从国家层面在碳纤维技术领域制定战略性、前瞻性的总体规划,开发各种形态碳纤维增强复合材料、中间材料和零部件制品,形成规模化应用,以促进碳纤维行业可持续发展。

(6) 按照军民融合的发展思路,统筹好军民两个市场。

“一代材料、一代装备”,我国高性能碳纤维的发展必须超前发展,以国家航空航天领域重大需求以及高

端武器装备需求为牵引,带动碳纤维的技术发展,但一般军用需求有限,难以满足产业发展所需要的产品用量,只有依靠民用市场,扩大碳纤维应用范围,才能形成良性循环,以满足后续军民领域的需求。

参考文献

- [1] 贺福. 碳纤维及其应用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
HE Fu. Carbon fiber and its application technology[J]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [2] 杜善义, 关志东. 我国大型客机先进复合材料技术应对策略思考[J]. 复合材料学报, 2008, 25(1): 1-10.
DU Shanyi, GUAN Zhidong. Strategic considerations for development of advanced composite technology for large commercial aircraft in China[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2008, 25(1): 1-10.
- [3] CHEN J C, HARRISON I R. Modification of polyacrylonitrile (PAN) carbon fiber precursor via post-spinning plasticization and stretching in dimethyl formamide (DMF)[J]. Carbon, 2002, 40(1): 25-45.
- [4] 彭公秋, 石峰晖, 王迎芬, 等. T700级碳纤维复合材料性能对比[J]. 新型炭材料, 2016, 31(2): 176-181.
PENG Gongqiu, SHI Fenghui, WANG Yingfen, et al. Comparative study on properties of T700 grade carbon fiber composites[J]. New Carbon Materials, 2016, 31(2): 176-181.
- [5] 杜善义. 先进复合材料与航空航天[J]. 复合材料学报, 2007, 24(1): 1-12.
DU Shanyi. Advanced composite materials and aerospace engineering[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2007, 24(1): 1-12.
- [6] LUO H Y, ROY S, LU H B. Dynamic compressive behavior of unidirectional IM7/5250-4 laminate after thermal oxidation[J]. Composites Science and Technology, 2012, 72(2): 159-166.
- [7] 彭公秋, 李国丽, 曹正华, 等. 高性能聚丙烯腈基碳纤维发展现状与分析[J]. 材料导报, 2017, 31(30): 398-402.
PENG Gongqiu, LI Guoli, CAO Zhenghua, et al. Development situation and analysis of advanced PAN-based carbon fiber[J]. Materials Review, 2017, 31(30): 398-402.
- [8] 徐樛华. 高性能 PAN 基碳纤维国产化进展及发展趋势[J]. 中国材料进展, 2012,

31(10): 7-14.

XU Lianghua. Development and trends of PAN-based high performance carbon fiber in China[J]. Materials China, 2012, 31(10): 7-14.

[9] 姜立军, 朱伟平, 孙金峰, 等. 聚丙烯基碳纤维的研制[J]. 化工新型材料, 2006, 34(6): 75-77.

JIANG Lijun, ZHU Weiping, SUN Jinfeng, et al. Preparation of PAN-based carbon fiber[J]. New Chemical Materials, 2006, 34(6): 75-77.

[10] 邢丽英, 包建文, 礼嵩明, 等. 先进树脂基复合材料发展现状和面临的挑战[J]. 复合材料学报, 2016, 33(7): 1327-1338.

XING Liying, BAO Jianwen, LI Songming, et al. Development status and facing challenge of advanced polymer matrix composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2016, 33(7): 1327-1338.

[11] 康欣然, 朱书华, 何梦临, 等. 超薄碳纤维预浸料复合材料国内外发展现状和趋势[J]. 航空工程进展, 2016, 7(1): 7-16.

KANG Xinran, ZHU Shuhua, HE Menglin, et al. Current situation and development tendency of thin-ply laminated composites[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2016, 7(1): 7-16.

[12] 贺福. 高性能碳纤维原丝与干喷湿纺[J]. 高科技纤维与应用, 2004, 29(4): 6-8.

HE Fu. Preparation for high performance carbon fibers and dry-jet spinning[J]. Hi-Tech Fiber & Application, 2004, 29(4): 6-8.

[13] 陈绍杰. 复合材料技术与大型飞

机[J]. 航空学报, 2008, 29(3): 605-610.

CHEN Shaojie. Composite technology and large aircraft[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2008, 29(3): 605-610.

[14] THATIANE B, MARIA O, HERMAN J. Effect of fiber surface on flexural strength in carbon fabric reinforced epoxy composites[J]. Applied Surface Science, 2013, 274: 210-216.

[15] GREGORY J E. Development of a zinc oxide nanowire interphase for enhanced structural composites[D]. Florida: University of Florida, 2012.

[16] 郑广强, 吴文贵. 自动铺带技术在航空复合材料制造领域的应用[J]. 航空制造技术, 2013, 56(15): 40-42.

ZHENG Guangqiang, WU Wengui. Application of ATL in aircraft composites structure manufacturing[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013, 56(15): 40-42.

[17] 张为芹, 田艳红. 高强碳纤维束丝拉伸性能测试影响因素的研究[J]. 理化检验-物理分册, 2006, 42(11): 541-543, 553.

ZHANG Weiqin, TIAN Yanhong. Study on influence factors in tensile property test of HTCF yarn[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part A: Physical Testing, 2006, 42(11): 541-543, 553.

[18] 谢富原, 罗云烽, 彭公秋. 国产碳纤维在航空应用中的关键问题[C]//第17届全国复合材料学术会议论文集. 北京: 航空制造技术杂志社, 2012.

XIE Fuyuan, LUO Yunfeng, PENG Gongqiu. Key problem of domestic carbon fiber applied in aviation[C]//Proceedings of 17th National Conference on Composite Materials. Beijing: Aeronautical Manufacturing Technology Magazine, 2012.

[19] 彭公秋, 杨进军, 曹正华, 等. 碳纤维增强树脂基复合材料的界面[J]. 材料导报, 2011, 25(4): 1-4.

PENG Gongqiu, YANG Jinjun, CAO Zhenghua, et al. The interface of carbon fiber reinforced resin matrix composite[J]. Materials Review, 2011, 25(4): 1-4.

[20] 王迎芬, 彭公秋, 李国丽, 等. T800H 碳纤维表面特性及 T800H/BA9918 复合材料湿热性能研究[J]. 材料科学与工艺, 2015, 23(4): 115-120.

WANG Yingfen, PENG Gongqiu, LI Guoli, et al. Study on surface characteristic of T800H carbon fiber and hygrothermal performance of T800H/9918 composite[J]. Materials Science & Technology, 2015, 23(4): 115-120.

[21] 刘大伟, 李波, 李刚, 等. 高柔性低面密度预浸料的制备与性能研究[J]. 宇航材料工艺, 2016(4): 40-42.

LIU Dawei, LI Bo, LI Gang, et al. Preparation and performance of highly-flexible prepreg with low surface density[J]. Aerospace Materials & Technology, 2016(4): 40-42.

通讯作者: 彭公秋, E-mail: penggongqiu625@163.com.

Development Status and Suggestion of Domestic PAN-Based Carbon Fiber

PENG Gongqiu^{1,2,3}, LI Guoli^{1,2,3}, CAO Zhenghua^{1,2,3}, XIE Fuyuan⁴

(1. AVIC Composite Corporation Ltd., Beijing 101300, China;

2. AVIC Composite Technology Center, Beijing 101300, China;

3. National Key Laboratory of Advanced Composites, Beijing 101300, China;

4. Institute of Industry & Equipment Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

[ABSTRACT] PAN-based carbon fibers and composites have become the ideal materials for aviation application, and structure dosage and application locations are the important symbols of aircraft. Development status of domestic PAN-based carbon fiber was summarized. Main problems of domestic PAN-based carbon fiber were pointed out from eight aspects, including industry distribution, product quality, supporting equipment, industry chain, etc. Then, the key problems during aviation evaluation and application were discussed. At last, development suggestion was presented in order to promote sustainable development of domestic PAN-based carbon fiber.

Keywords: PAN-based carbon fiber; Aviation application; Large-tow carbon fiber; Dry-jet wet spinning; Prepreg

(责编 逸飞)