

# 高性能 PAN 基碳纤维及其复合材料 在航天领域的应用

郭玉明, 冯志海, 王金明

( 航天材料及工艺研究所 先进功能复合材料技术国防科技重点实验室 北京 100076 )

摘 要: 对高性能PAN基碳纤维的发展历程、现状以及以其为增强体的复合材料进行了综述, 并对高性能PAN基碳纤维增强复合材料在航天领域的主要应用情况进行了介绍, 最后对我国高性能碳纤维复合材料的现状及发展重点进行了探讨。

关键词: PAN基碳纤维; 复合材料; 航天领域; 应用

中图分类号: V258.3; V257

文献标识码: A

文章编号: 1007-9815 ( 2007 ) 05-0001-07

## Application of Pan-Based Carbon Fiber and Its Composites on Aerospace

GUO Yu-ming, FENG Zhi-hai, WANG Jin-ming

(National Key Laboratory of Advanced Functional Composite Materials, Beijing 100076 China)

Abstract: In this article, the development of PAN-based carbon fiber, its character and composites reinforced by it is overviewed. The main application of carbon fiber reinforced composites on aerospace is also introduced here. Finally, the status and future development of PAN-based carbon fiber is discussed.

Key words: PAN-based carbon fiber; composites; aerospace; application

### 前 言

碳纤维是一种以聚丙烯腈 ( PAN )、沥青、粘胶纤维等人造纤维或合成纤维为原料, 经预氧化、碳化、石墨化等过程制得含碳量达 90 % 以上的无机纤维材料, 具有高比强度、高比模量、耐高温、耐腐蚀、导电导热性好、热膨胀系数小等一系列优异性能, 是航空航天等高技术领域不可缺少的原材料。

目前, 世界碳纤维产业已形成了粘胶基、沥青基和PAN基三大原料体系, 其中粘胶基和沥青基碳纤维用途较单一, 产量也较为有限, PAN基碳纤维由于生产工艺简单, 产品力学及高温性能优异, 兼具良好的结构和功能特性, 因而发展较快, 成为高性能碳纤维发展和应用的最主要和占绝对地位的品种, 主要用于高性能结构及功能复合材料, 在航天、

航空、兵器、船舶、核等国防领域具有不可替代的作用, 是世界各国高度重视的战略基础材料。

### 1 高性能 PAN 基碳纤维的发展状况<sup>[1,7]</sup>

碳纤维起源于 19 世纪 60 年代, 而工业化则起步于 20 世纪 50 ~ 60 年代, 是应宇航工业对耐烧蚀和轻质高强材料的迫切需求而发展起来的。

1959 年美国联合碳化公司 ( VCC ) 以粘胶为原料成功开发出一种高强度、高模量碳纤维, 并以 “Thornel 25” 牌号商品化, 1961 年日本大阪工业研究所用聚丙烯腈为原料研制成功 PAN 基碳纤维, 1963 年日本群馬大学利用沥青制得沥青基碳纤维, 1964 年以后碳纤维的生产向高强度、高模量方向发展; 自 20 世纪 70 年代起日本的东邦人造丝、东丽、三菱人造丝公司利用本国的研究成果纷纷建厂, 进

收稿日期: 2007-10-06

作者简介: 郭玉明 ( 1963- ) 男, 北京人, 研究员、所长, 主要从事航天飞行器用特种环境结构和功能复合材料的研究与管理。联系人王金明, ( 电话 ) 010-68755459 ( 电子信箱 ) wangjinming@gmail.com。

行了 PAN 基碳纤维的工业化生产,其后又与美国、德国、英国合作建立了子公司,主要产品是小丝束(ST)碳纤维;20 世纪 70~80 年代,日本和美国相继突破了 PAN 原丝、预氧化碳化等关键技术,日本东丽公司相继开发了一系列高强纤维和高模纤维, PAN 基碳纤维产业步入快速发展阶段<sup>[1]</sup>(见表 1)。

目前,世界 PAN 基碳纤维的主要生产厂商有日本 Toray(东丽)、Toho(东邦)、Mitsubishi Rayon(三菱人造丝)、美国 Hexcel(赫克塞尔)、Amoco(阿莫科)、Zoltek(卓尔泰克)等公司,主要产品包括以美国为代表的大丝束碳纤维和以日本为代表的小丝束碳纤维两大类。其中日本不仅是碳纤维的主要生产国,而且是世界各国高质量 PAN 碳纤维的供应国,在小丝束纤维方面已经形成垄断,左右着全球碳纤维市场。东丽公司生产的小丝束碳纤维其产量和质量都居世界前列(见图 1),可代表当今世界水平。

迄今为止,世界高性能 PAN 基碳纤维已经发展了多种型号/规格的碳纤维,从性能上覆盖了从通用型、高强型(HS)、高模型(HM)到中强高模型、高强高模型(HP)、超高强型等多个性能等级,可适应于不同应用环境对性能的不同要求,如日本的

T300~T1000、M40~M70J 系列高强、高模纤维和美国的 IM 系列纤维。由于小丝束碳纤维在质量和性能的稳定性上优于大丝束纤维,因此在航空航天等国防军工行业以及事关生命安全和寿命要求的领域多以使用 1 k、3 k、6 k 及 12 k 的小丝束 PAN 碳纤维为主,以满足高性能复合材料精细化制造要求(见表 2)。

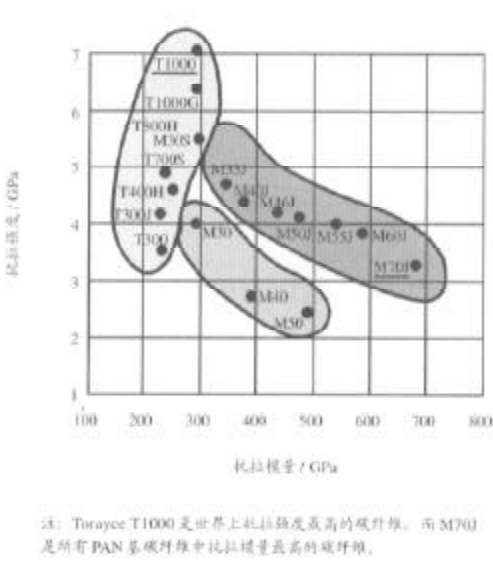


图 1 日本东丽公司不同级别 PAN 基碳纤维性能对比图

表 1 PAN 基碳纤维的主要发展历程

阶 段	时 间	主要特征
第一阶段	20 世纪 60 年代	突破 PAN 基碳纤维连续制备技术路线
第二阶段	20 世纪 70 年代	实现 T300 级、M40 级 PAN 基碳纤维的工业化规模生产
第三阶段	20 世纪 80 年代	日美不断推出高性能 PAN 基碳纤维产品,包括高强型、高强中模型、高模中强型碳纤维
第四阶段	20 世纪 90 年代至今	继续高性能产品的研发,并发展多功能、低成本化产品

表 2 美、日主要碳纤维材料性能

纤维种类	抗拉强度 /MPa	抗拉模量 /GPa	密 度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	比模量 /10 <sup>9</sup> cm	比强度 /10 <sup>7</sup> cm	产 地
IM6	5 200	276	1.70	1.62	3.06	美国
IM7	5 379	276	1.80	1.53	3.00	美国
IM8	5 447	303	1.70	1.78	3.20	美国
IM9	6 343	290	2.00	1.45	3.17	美国
P30	4 000	210	1.76	1.19	2.27	日本
T300	3 500	230	1.78			日本
T700	4 800	230	1.80	1.28	2.67	日本
T800	5 490	294	1.80	1.62	3.03	日本
T1000	7 060	294				日本

## 2 高性能PAN基碳纤维复合材料及其在航天上的应用

高性能碳纤维复合材料具有比强度、比模量高、高温性能优异、耐疲劳性能好、可设计性强等一系列独特优点,作为结构、功能或结构/功能一体化构件材料,碳纤维复合材料在导弹、运载火箭和卫星等各种航天产品的轻量化、小型化和高性能化上起到无可替代的作用,其应用水平和规模已关系到航天产品的跨越式提升和型号研制的成败。

### 2.1 高性能碳纤维复合材料及发展趋势

高性能碳纤维复合材料是以高性能碳纤维为增强体,以树脂或陶瓷为基体的复合材料,是先进复合材料的代表。从功能用途角度划分,高性能碳纤维复合材料可划分为结构复合材料和功能复合材料两大类。

碳纤维结构复合材料以碳纤维增强热固性树脂基体为主,由于具有优异的力学性能(高比模量和比强度),已经逐步取代金属材料,大量用于航天器的次承力结构,并逐步转向主承力结构,如导弹弹体、火箭箭体、卫星支架、承力筒等,代表性材料为碳纤维/环氧复合材料(见图2);随着碳纤维结构复合材料应用部位的变化和范围的不断扩大,对碳纤维、树脂基体以及成型工艺提出了新的要求:

- 采用高强、高模碳纤维,如由T300级碳纤维为主向T800、T1000级碳纤维发展;
- 高强、高韧、耐高温的新型热固性树脂基体成为发展重点,如双马来酰亚胺树脂(BMI)、聚

酰亚胺(PI)树脂等,同时大力开发高损伤容限、可修复、可回收的高性能热塑性树脂,如聚醚酰亚胺(PEI)、聚醚醚酮(PEEK)、聚醚酮酮(PEKK)等;

- 重点开展低成本制造技术、构件整体成型技术等,如纤维自动铺放技术、液体成型技术(RTM、RFI、VARI等)。

碳纤维功能复合材料主要用于航天器的防热、隐身、导电导热等结构功能构件,如再入飞行器头部、火箭发动机的热防护部件等,主要包括以碳/酚醛为代表的树脂基防热复合材料和以碳/碳(C/C)、碳/碳化硅(C/SiC)为代表的碳基(陶瓷基)防热复合材料。

随着新型航天器的发展,树脂基防热材料经历了从单功能到多功能、低性能到高性能,从酚醛树脂、改性酚醛树脂到高性能树脂的发展历程,目前对聚苯并咪唑PBI、聚喹啉恶啉、聚苯并恶唑PBO、聚芳基乙炔(PAA)等高性能树脂的应用研究已成为热点;C/C材料是航天领域中极具代表性的先进防热复合材料,由于其高导热、低膨胀、高温力学性能优异的特点,是高性能飞行器热防护系统最重要、不可缺少的材料,高温长时抗氧化、耐烧蚀/侵蚀、低成本制备等,是未来碳/碳材料重点发展的关键技术(见图3)。

### 2.2 碳纤维复合材料在航天产品上的应用

#### 2.2.1 运载火箭、导弹武器<sup>[2,3,5,6]</sup>

轻质、高效是航天产品追求的永恒目标。由于高性能碳纤维复合材料高比强度、高比模量、产品

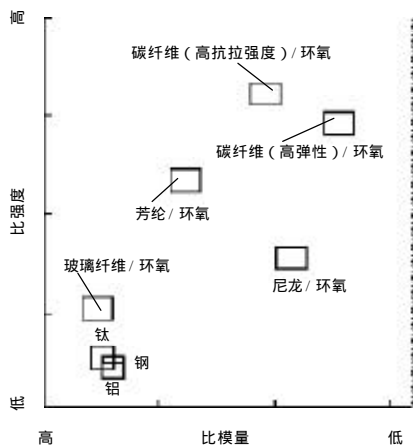


图2 碳/环氧复合材料比强度和比模量与其它类材料对比

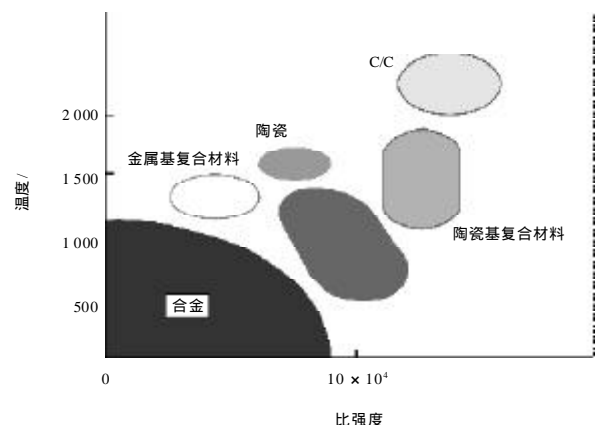


图3 碳/碳复合材料不同温度下比强度与其它类材料对比

尺寸稳定的特点,在运载火箭和导弹武器的整流罩、弹体/箭体结构、固体火箭发动机壳体等主/次承力结构部件上得到广泛应用,如美国“侏儒”小型地对地洲际弹道导弹三级发动机燃烧室壳体由 IM-7 碳纤维/HBRF-55A 环氧树脂缠绕制作,壳体容器特性系数  $PV/W$  39 km;三叉戟 II (D5) 第一、二级固体发动机壳体采用碳/环氧制作,其性能较芳纶/环氧提高 30%;“爱国者”导弹及其改进型,其发动机壳体开始采用 D6AC 钢,到“PAC-30”导弹发动机上已经采用了 T800 碳纤维/环氧复合材料;此外,由美国陆军负责开发的一种新型超高速导弹系统中的小型动能导弹 (CKEM),其壳体采用了 T1000 碳纤维/环氧复合材料,使发动机的质量比达到 0.82;其它如战斧式巡航导弹、大力神-4 火箭、法国的阿里安-2 火箭改型、日本的 M-5 火箭等发动机壳体也采用了碳纤维复合材料。通过采用复合材料,有效减轻运载火箭和导弹武器的结构质量,提高有效载荷的运载能力,具有重要的经济及军事意义,如战略导弹固体火箭发动机第三级结构质量减少 1 kg,可增加射程 16 km,弹头质量减少 1 kg,可以增程 20 km。图 4 为碳纤维复

合材料在德尔塔 III 型运载火箭中的应用情况。

导弹武器等再入飞行器在再入过程中,端头等部位将受到严酷的气动加热作用,隔热材料技术是保证正常再入的关键;火箭发动机在工作时,推进剂燃烧产生的高温高压和高能粒子通过收敛、扩散从喷管以超音速喷出,喷管承受 3 500 高温、5~15 MPa 的压力和高能粒子的冲刷,要求喷管材料需经受这一恶劣环境而不烧损并尺寸稳定。上述苛刻的热、力环境对隔热材料提出了严峻的考验。

碳纤维复合材料(碳/碳和碳/酚醛等)良好的耐烧蚀、侵蚀的性能和高温力学性能,使其成为导弹弹头端头和固体火箭发动机喷管、喉衬及耐烧蚀部件等重要隔热部位的首选材料,在热防护系统中起着无法替代的重要作用,是飞行器实现小型化、机动化、强突防的必要支撑。目前碳纤维隔热复合材料在美国侏儒、民兵、三叉戟等战略导弹上均已成熟应用,以法国阿里安 5 号为代表的固体火箭喷管大型 C/C 喉衬内径尺寸达到 900 mm,外径达 1 060 mm。

图 5 是碳纤维复合材料在美国 MX 弹道导弹第三级发动机喷管上的应用情况<sup>[5]</sup>。

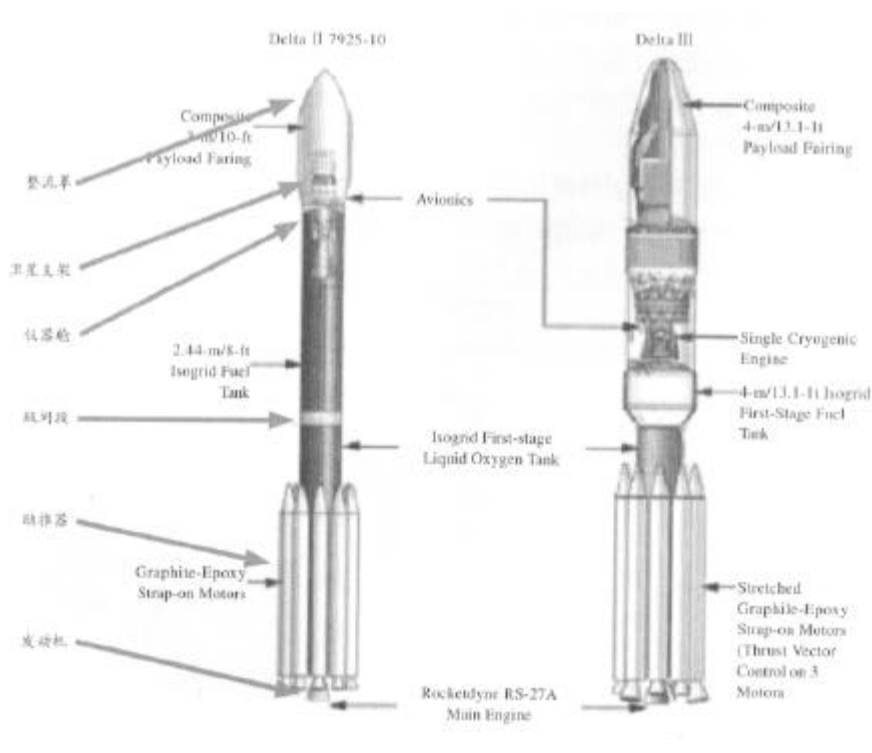


图 4 碳纤维复合材料在德尔塔 III 型运载火箭部件上的应用

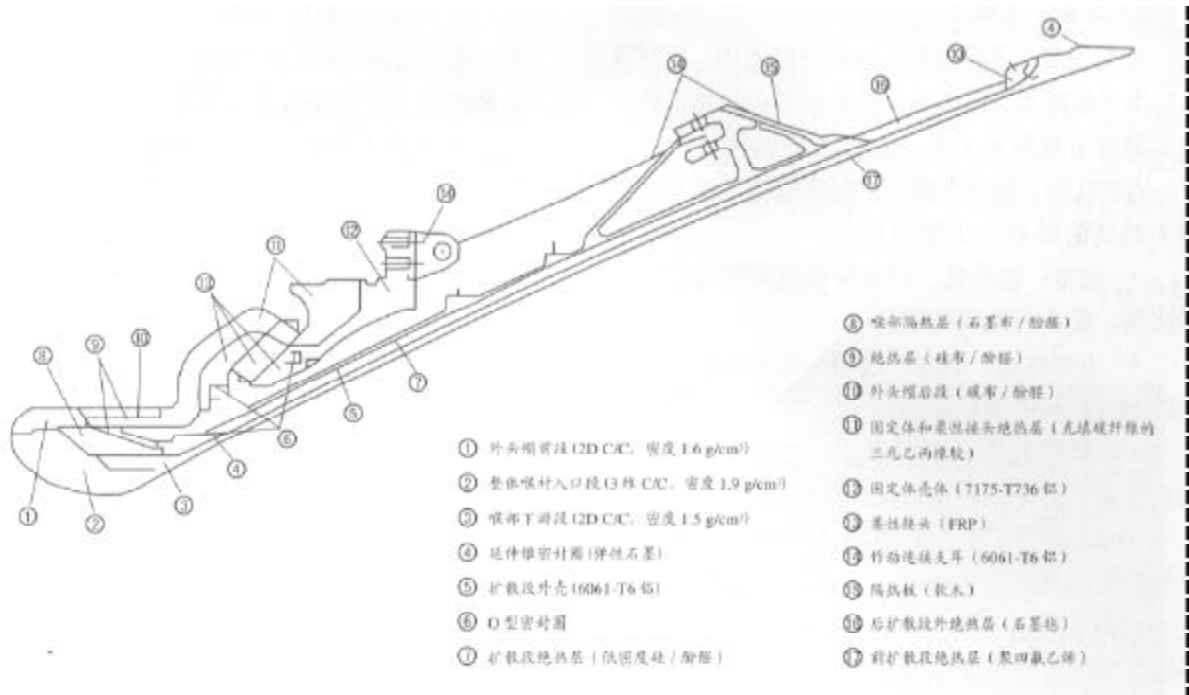


图 5 碳纤维复合材料在美国MX弹道导弹第三级发动机喷管上的应用

PAN 基碳纤维增强复合材料在航天型号上的  
典型应用见表 3。

PAN 基碳纤维防热复合材料在战略导弹上的  
应用见表 4。

表 3 PAN基碳纤维增强复合材料在航天型号上的典型应用

应用部位	应用部件	材料种类
再入飞行器	储运发射箱、燃气舵组件等	碳 / 酚醛防热复合材料
火箭发动机	燃烧室绝热套、喷管座部件、扩散段等	碳 / 酚醛防热复合材料
固体火箭发动机	喉衬等防热部件	碳 / 碳防热复合材料
轨控发动机	推力室身部	碳 / 碳防热复合材料
飞行器	头部、翼前缘	碳 / 碳防热复合材料
弹体 / 箭体结构	整流罩、复合基座、惯组基座、卫星支架、 级间段、发射筒、仪器舱、诱饵舱等	碳纤维环氧树脂结构复合材料 碳纤维双马树脂结构复合材料
火箭发动机、助推器	壳体	碳纤维结构复合材料

表 4 PAN基碳纤维防热复合材料在战略导弹上的应用

导弹型号	使用部位	防热材料
民兵 III	MK-12A 鼻锥、喷管	细编穿刺碳 / 碳、碳 / 酚醛
三叉戟 II	MK-5 鼻锥、发动机喷管喉衬、扩散段、防热环	3D 或 4D 碳 / 碳、碳 / 酚醛
MX 系列	MK-12A 鼻锥、发动机喷管喉衬、扩散段、防热环	3D 或细编穿刺碳 / 碳、碳 / 酚醛
侏儒	MK-21A 头锥	细编穿刺碳 / 碳
Peacekeeper	发动机喷管喉衬	3D 碳 / 碳
白杨 -M	发动机扩散段	碳 / 酚醛

2.2.2 卫星、飞船

随着卫星、飞船等航天器的快速发展,大型卫星公用平台技术、微小型卫星公用平台技术、新型航天器有效载荷技术等,对航天器结构材料在质量、力学性能、物理性能、空间环境等方面提出了越来越高的要求,主要包括:

- 质量:轻质化,尽量降低航天器的结构质量比例,提高有效载荷质量。
- 力学性能:高强、高模、延展性好,提高结构的自然频率和稳定性。
- 物理性能:在空间温度变化条件下要保持尺寸稳定,具有较小的线膨胀系数。
- 耐空间环境:材料具有抗辐照、抗老化等良好的空间环境稳定性。

PAN 基碳纤维复合材料的比强度、比模量高,热膨胀率低,尺寸稳定性好,导热性好,因此很早就应用于人造卫星上的承力结构、太阳能电池板、天线等部位,而太空站和天地往返运输系统上的一些关键部件也往往采用碳纤维复合材料作为主要材料(见表 5)。由于复合材料的使用,使得卫星结构质量仅占总质量的 5%~6%。

2.2.3 新型航天飞行器<sup>[4,8]</sup>

高速、高超声速飞行器及可重复使用运载器(RLV)是当前世界各军事大国的研究热点,从一次性运载火箭到部分重复使用的航天飞机,再到完全重复使用的航天运载器是未来发展的必由之路,军事和商业用途前景显著。美国、日本、欧空局都制订和陆续实施了各自的发展计划,如美国从 20 世纪 60 年代开始了 X 系列先进飞行器的验证试验;欧空局 1994 年开始相继启动了未来欧洲航天运输研究计划(FESTIP)和未来运载技术计划(FLTP),

发展和验证研制新一代欧洲运载器所需的技术;俄罗斯和印度也在积极进行研究和试验来确定未来高超声速飞行器和可重复使用运载器的发展方向。

新型航天器要实现高超声速飞行及可重复使用,结构轻质化及有效的热防护系统(TPS)是必须解决的关键性问题,这些关键技术的突破都与复合材料技术密切相关。高性能 PAN 基碳纤维复合材料优异的热、力性能,使其成为新型航天器的首选复合材料,并且已经在新型飞行器上得到应用并进行了飞行实验,如美国航天飞机有效载荷舱门采用高强碳纤维/环氧蜂窝夹层结构制成,长 18.29 m,宽 4.57 m;后机身襟翼采用高强碳纤维/聚酰亚胺复合材料制成,替代原来的铝合金结构,有效提高了结构的使用温度,降低了结构质量;X-33 飞行器的机身箱间段、机翼段和推力机构段等主结构也采用了碳纤维复合材料(IM7/BMI);抗氧化 C/C 材料在美国航天飞机及 X-33 飞行器的 TPS 中得到成功应用(见图 6)。碳纤维复合材料在新型航天器中的应用及潜在应用情况见表 6 所示。

3 我国高性能碳纤维复合材料及发展

我国的碳纤维复合材料研究是从 20 世纪 70 年代中期起在航天航空的材料工艺研究单位开始的,经过 40 余年的发展,碳纤维复合材料取得了长足的进展,在航天主导产品(弹、箭、星、船)上得到了广泛的应用,基本实现了航天产品关键材料的系统配套和自主保障。

结构复合材料方面,我国目前发展较为成熟的是碳/环氧复合材料。1980 年代初期我国就在东方红一号卫星上使用了 C/E 喇叭天线、C/E 遥测发

表 5 碳纤维复合材料在国外空间飞行器上的应用

应用部位	材 料	典型型号
卫星的太阳电池阵结构	碳纤维 / 环氧复合材料蜂窝结构面板	国际通信卫星号 III 号、IV 号、V 号和 VI 号
	碳纤维 / 环氧复合材料网格板	法国的电信 1 号和直播卫星、德国直播卫星、瑞典通信卫星
飞行器的天线结构	碳纤维 / 环氧复合材料为面板的铝蜂窝夹层结构	美国的海盗号飞行器
	碳纤维 / 环氧复合材料	Anik-blntelsat-V、ERS-1 等卫星上的导波和滤波器件
卫星本体结构	碳纤维复合材料	日本 ETS-1 卫星的壳体
国际空间站的桁架结构	碳纤维 / 环氧复合材料管	美国为国际空间站

射天线支承筒和发动机支架；目前，C/E已经广泛应用于运载火箭有效载荷支架、再入飞行器仪器舱、卫星主承力筒、发射筒等航天器的主要承力部件，碳纤维/双马树脂复合材料等其它结构复合材料也取得了一定的进展，缠绕、模压等传统复合方式已经基本成熟，RTM等新型成型方式也在产品当中得到了一定的应用。

功能复合材料方面，我国在耐短时烧蚀防热碳纤维复合材料的制备、成型工艺技术方面发展较为成熟，部分材料的性能达到国际先进水平，碳/酚醛复合材料和碳/碳复合材料大量用于再入飞行器和火箭发动机的热防护系统，为航天型号的成功研制发挥了关键性作用，具有防热/抗核/承载、防热/隐身/承载等多功能一体化的碳纤维复合材料也逐渐应用于航天产品当中。同时，由于碳纤维具有高热导率的特性，因此定向高热导碳-碳复合材料在卫星热辐射器、平台结构、太阳翼板、导热部件等方面具有良好的应用前景，正在研究过程中。表7是碳纤维复合材料在我国卫星和飞船上的应用情况。

我国新一代航天型号的快速发展 对高性能碳纤维复合材料提出了更新、更高的需求，今后碳纤维复合材料需要在以下方面重点开展研究工作：

高强、高模型碳纤维复合材料以及与之相适应的高性能（高模、高韧、高耐温等级）树脂基体体系。

（下转17页）



图 6 美国X-33飞行器

表 6 PAN基碳纤维复合材料在新型航天器上的应用

应用部位	主要应用部位 / 部件	材料种类
承力结构	有效载荷舱门	碳 / 环氧、碳 / 聚酰亚胺等碳纤维增强树脂基复合材料
	机身襟翼	
	机身箱间段	
	机翼段	
	推力机构段	
热防护系统	鼻锥帽、控制面前缘、机身大面积防热等	抗氧化 C/C、C/SiC、碳纤维增强超高温陶瓷基复合材料

表 7 高性能碳纤维复合材料在我国卫星、飞船上的典型应用

	应用部位 / 部件	材料种类
卫星	太阳电池基板	C/E 网格面板、边框 + 铝蜂窝
	复杂曲面天线反射面	C/E 面板 + 铝蜂窝
	承力筒	C/E 加筋筒体
	太阳电池支撑体	C/E 加筋结构
	连接架	C/E 面板 + 铝蜂窝
	照相机镜筒	C/E 复合材料
神舟飞船	太阳电池基板、连接架	C/E 复合材料

## 参考文献:

- [1] 陈祥宝. 高性能树脂基体[M]. 北京:化学工业出版社, 1999.
- [2] 辜信实. 印制电路用覆铜箔层压板[M]. 北京:化学工

业出版社, 2002.

- [3] 李文峰, 辛文利, 梁国正. 氰酸酯树脂的固化反应及其催化剂[J]. 航空材料学报, 2003, 23(2): 56 - 62.
- [4] 钟翔屿. 5528氰酸酯树脂体系及其复合材料研究报告[R]. 北京航空材料研究报告, 2007, 1.

(上接7页)

碳-碳复合材料定向高热导技术、抗氧化、耐烧蚀技术。

碳纤维增强金属基复合材料及其应用技术。

新型、低成本制造装装备及相关技术。

多功能一体化技术, 等。

## 4 结束语

碳纤维复合材料是先进复合材料的代表, 其发展及应用程度体现了国家先进材料技术的发展水平, 而高性能碳纤维是先进复合材料发展与应用的前提和基础。我国碳纤维复合材料技术在向着高性能化、多功能化、低成本化等方向发展的同时, 要坚持独立自主与技术创新, 以实现我国先进复合材料技术的可持续发展。

## 参考文献:

- [1] 聚丙烯腈(PAN)基碳纤维的发展和应[用][Z]. 全国合成纤维科技信息中心, 2004, 5.
- [2] 霍肖旭, 刘红林. 碳纤维复合材料在固体火箭上的应用[J]. 高科技纤维与应用, 2000, 25(3): 1 - 7.
- [3] 葛明龙, 田昌义, 孙纪国. 碳纤维增强复合材料在国外液体火箭发动机上的应用[J]. 导弹与航天运载技术, 2003, 4: 22 - 26.
- [4] 林德春, 潘鼎, 等. 碳纤维复合材料在航空航天领域的应用[J]. 玻璃钢, 2007, (1): 18 - 28.
- [5] 贺福. 碳纤维在国防军工领域的应用[J]. 高科技纤维与应用, 2006, 31(6): 5 - 10.
- [6] 张晓虎, 孟宇, 张伟. 碳纤维增强复合材料技术发展现状及趋势[J]. 纤维复合材料, 2004, 1: 50 - 53.
- [7] 赵稼祥. 世界碳纤维现状与进展[J]. 玻璃钢复合材料, 2003, 2: 40 - 43.
- [8] 才满瑞. 可重复使用空间往返运输系统的最新发展[Z]. 重复使用运载器专题资料, 2004.

## 敬请重视和写好论文的中英文摘要

## 1 写好中英文摘要的重要性

- (1) 中文文摘是沟通国内读者和作者之间的桥梁。在知识爆炸的今天, 读者不可能通过直接浏览刊物的方式去获取全面的信息, 只能通过专业的二次文献数据库, 检索到相应文章的文摘, 再提取原文。
- (2) 英文文摘是作者和国际同行进行交流的必经之路。在当今的科技领域, 英语已经成为事实上的国际交流语言。世界各国学者想追踪了解某一学科的发展情况, 都会用英文工具书和数据库进行检索。

## 2 如何写好中英文摘要

- (1) 摘要应概括正文的要点。一般来说, 应包含研究对象(目的)、研究方法(所用的设备、材料)、结果和结论。写英文摘要时, 不能因为某些内容不好翻译就弃掉要点。
- (2) 摘要要尽量简短, 尽可能删掉课题研究的背景信息。
- (3) 摘要中出现的数字应该是最重要和最关键的数据。
- (4) 不需要自己标榜自己的研究成果。
- (5) 二次文献信息将脱离原文而独立存在, 因此摘要中不能出现图表参数据。
- (6) 摘要中的内容应在正文中出现, 不能对原文进行补充和修改。
- (7) 摘要中的缩写名称在第一次出现时要有全称(众所周知的缩写词除外)。
- (8) 摘要的句子应尽量简短, 主谓语要搭配。