



《新型炭材料》丛书

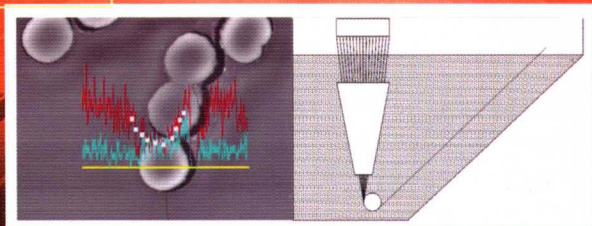
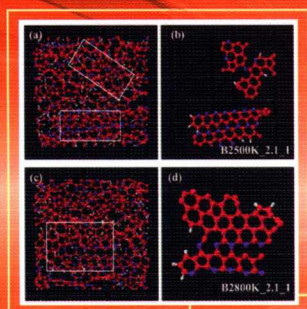
■ 宋怀河 总主编 ■

New Carbon Material Series

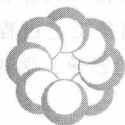
高性能碳纤维

High Performance Carbon Fibers

吕永根 编著



化学工业出版社



《新型炭材料》丛书

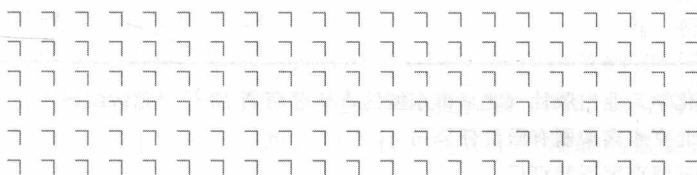
■ 宋怀河 总主编 ■

New Carbon Material Series

高性能碳纤维

High Performance Carbon Fibers

吕永根 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

碳纤维是与石墨结构类似但强度高、重量轻的纤维材料,兼具耐高温、导热、导电等优良特性,广泛应用于航空航天、汽车、体育用品等领域,受到社会广泛关注。

本书深入浅出地阐述了碳纤维的主要结构特征及其与力学性能的关系,从而明确了制备理想结构碳纤维的努力方向,即轴向高取向、断面多乱层、整体均匀少缺陷(孔隙和皮芯结构)。以此为主线,分别阐述了聚丙烯腈、中间相沥青和黏胶基碳纤维制备工艺过程中的科学问题和工程问题,本书编著目的在于能够为有志于了解和从事碳纤维的领导、学者和科研生产人员提供一个通向碳纤维自由王国的桥梁。

图书在版编目(CIP)数据

高性能碳纤维/吕永根编著. —北京:化学工业出版社, 2016.2

(《新型炭材料》丛书/宋怀河总主编)

ISBN 978-7-122-25656-0

I. ①高… II. ①吕… III. ①高性能-碳纤维
IV. ①TQ34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 265646 号

责任编辑:翁靖一 夏叶清
责任校对:陈 静

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司
装 订:三河市宇新装订厂
710mm×1000mm 1/16 印张16 字数307千字 2016年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 80.00 元

版权所有 违者必究

《新型炭材料》 丛书

编著人员

丛书高级顾问： 成会明 院士

丛书总主编： 宋怀河 教授

丛书总副主编： 邱介山 教授， 康飞宇 教授

分册编著人员：

《炭材料基础》 宋怀河 陈晓红 编著

《纳米炭材料》 邱介山 编著

《多孔炭材料》 郑经堂 黄振兴 编著

《炭基能源材料》 康飞宇 杜鸿达 黄正宏 编著

《高性能炭纤维》 吕永根 编著

《炭基复合材料》 罗瑞盈 编著

《沥青基炭材料》 王成扬 编著

《特种石墨材料》 杨俊和 等编著

《超硬炭材料》 王艳辉 臧建兵 编著

《炭材料分析与表征》 杨全红 李 峰 编著

总序

炭材料是一种既古老又新颖的材料。自 19 世纪以来,炭材料已广泛应用于钢铁、汽车、电子、化工、能源、医疗、航空航天、国防等领域,石墨电极、炭黑、焦炭、活性炭、碳纤维及其复合材料等材料早已大规模工业化生产。近 30 年来,以富勒烯、碳纳米管、石墨烯为代表的纳米炭材料在世界范围内引领着纳米材料的发展,在众多领域的应用日益受到关注,将为新技术革命奠定材料基础。炭及其复合材料将成为继金属、陶瓷、聚合物之后的人类所必需的一大类原材料。

鉴于国内外新型炭材料的发展十分迅速、学界和企业界热切期望一部能够全面反映新型炭材料发展的图书的现状,化学工业出版社特别组织国内长期从事新型炭材料教学、研究和开发的中青年专家共同编写了《新型炭材料》丛书(共十册),包括《炭材料基础》、《纳米炭材料》、《多孔炭材料》、《炭基能源材料》、《高性能碳纤维》、《炭基复合材料》、《沥青基炭材料》、《特种石墨材料》、《超硬炭材料》和《炭材料分析与表征》。该丛书的主要特点如下。

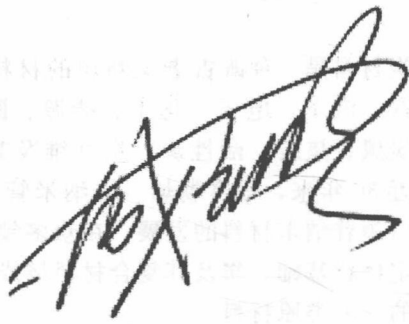
(1) 内容丰富 既包含碳科学基础理论知识、炭材料性能及表征分析方法等方面的内容,又有特种石墨材料、多孔炭材料、碳纤维及其复合材料、沥青基炭材料、纳米炭材料等按照炭材料类别的专论,同时并没有忽略碳的一个主要同素异形体—— SP^3 型金刚石材料。基于炭材料在能源存储和转化领域的优越性能和广泛应用,本丛书还特别编写了《炭基能源材料》专册,介绍新型炭材料在一次电池、二次电池、电化学电容器、燃料电池、氢气和甲烷储存、催化、核能等领域的最新应用进展。

(2) 资料齐全、新颖 本丛书各分册既有基本原理和基础知识的介绍,又反映了编著者多年来在本领域的科研成果和经验积累。同时所引用的文献包括了本领域最新发表在国内外重要期刊的资料,代表了本领域的最新进展,资料权威性高,数据可信。

(3) 适用读者群广泛 既可作为大学高年级学生和研究生的教学用书,又可作为科研人员的参考用书,并对在企业中从事炭材料工程技术和产品开发的人员具有重要的指导价值。该书还可作为高端科普读物,引导对新型炭材料科学与技术感兴趣的读者深入学习。

炭材料与资源、能源、环境、健康等人类最关心的根本问题息息相关。我们预期这套丛书的出版将对炭材料领域的原始创新、技术进步及国民经济的发展

展发挥积极的促进作用，进一步提升我国炭材料研究与开发的国际地位，推动炭材料学科的全面发展。我们相信本系列丛书的出版必将吸引更多有志之士参与到炭材料的教学、科研、开发和生产中来，共同推进这种既古老又新颖材料的更大发展，为人类的科技进步做出更大贡献。



成会明

中国科学院院士

第三世界科学院院士

中国科学院金属研究所研究员

《新型炭材料》主编

《Carbon》副主编

《Energy Storage Materials》主编

2015 年 5 月 28 日

前言

碳纤维是经 1000℃ 以上的高温烧制而成的、含碳量在 90% 以上的纤维材料，其相对密度只有钢的 1/4，拉伸强度是高性能钢的 4 倍，导电性能是铝的 1/10，热导率是银的两倍以上，在惰性气氛下可以耐受 3000℃ 以上的高温。

碳纤维是随着人类渴望光明和飞天梦想发展而来的，最早的碳纤维可追溯到 19 世纪 60 年代爱迪生用棉线制备白炽灯的灯丝开始，而后在航空航天的需求下逐渐发展成为高性能的结构材料。碳纤维根据原料可分为聚丙烯腈碳纤维、沥青基碳纤维和黏胶基碳纤维。高分子纤维经过高温烧制后，变成一种径向犬牙交错而轴向具有取向度的类石墨结构，其性能取决于原丝及热处理条件。

由于碳纤维具有独特的结构和性能，成为航空航天及国防领域的关键材料和民用高科技领域备受青睐的材料。从火箭、导弹的鼻锥、壳体、喉衬，卫星的支撑板，到飞机的起落架、刹车盘，再到风力发电、汽车、体育用品的结构材料，都逐渐采用了碳纤维复合材料。随着碳纤维制备技术的发展和成本的降低，碳纤维将越来越受到工业和民用产品的青睐。

近年来，东华大学先后承担了国家自然科学基金重点项目、“973”项目、“863”项目、国防科工委和重装备部等多项碳纤维研究任务。从纤维制备和结构转化的机理出发，对碳纤维原丝成形及炭化过程进行了深入研究，攻克了大量的技术瓶颈，产品和研究成果分别应用于国家战略导弹、中复神鹰及江苏恒神等大型碳纤维企业生产线，为国内碳纤维领域的发展做出了杰出贡献。这些研究、开发为本书的撰写提供了诸多原创性素材。

关于碳纤维制备的专业书籍已经有很多，包括贺福先生撰写的《碳纤维及其应用技术》、《碳纤维及石墨纤维》，王成国和朱波教授撰写的《聚丙烯腈基碳纤维》，Donnet 等撰写的《CARBON FIBERS》，Morgan 撰写的《CARBON FIBERS AND THEIR COMPOSITES》等，都是碳纤维行业的经典著作，成为碳纤维工作者重要的技术宝藏。本书作为《新型炭材料》丛书中的一册，结合作者二十年来的心得体会，力求以浅显的语言勾勒出碳纤维的结构性能特点和制备工艺，以碳纤维类石墨层片取向度、层间作用力和缺陷为主线，理解聚丙烯腈、沥青和黏胶基碳纤维的制备工艺与要求，希望在初学者和众多专著之间架设一座桥梁，尽快领会碳纤维制备过程中的要旨，为技术沟通和深入研究做准备。

在本书撰写过程中，本课题组博士生孙颖、蒋俊祺，硕士生胡蕾阳、孙视林、徐斌、王菁、李红、郭潇野对本书进行了图表的绘制与编辑和全文的校对，潘鼎、吴琪琳、曾凡龙、陈慧芳等老师对本书的部分内容提出了很好的建议，同时还得到了学校、学院领导和朋友的鼓励与帮助，在此表示衷心感谢。

由于时间和水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者和同行专家批评指正。

编著者

2015年10月

目 录

第 1 章 绪论

1

1.1 碳纤维的性质、定义及分类	1
1.2 碳纤维的应用	3
1.3 碳纤维的制备	5
参考文献	5

第 2 章 碳纤维的结构和性能

7

2.1 石墨的结构与性质	7
2.2 碳纤维的结构与力学性能模型	8
2.2.1 均匀应力模型	9
2.2.2 弹性解皱模型	12
2.2.3 均匀应变模型	13
2.3 碳纤维的结构性能表征	13
2.3.1 拉伸性能	13
2.3.2 碳纤维表面结构与性能	18
2.3.3 导热导电性能	24
2.3.4 微晶参数	26
2.3.5 缺陷	28
2.4 碳纤维复合材料力学性能	32
2.4.1 弯曲性能测试方法	32
2.4.2 压缩性能测试方法	32
参考文献	33

第 3 章 聚丙烯腈碳纤维

35

3.1 目前国内外发展水平	35
3.1.1 国外发展水平	35
3.1.2 国内发展水平	38

3.2 制备工艺及成本构成分析	40
3.2.1 制备工艺	40
3.2.2 成本构成	42
3.3 聚合	43
3.3.1 科学问题	43
3.3.2 工程问题	49
3.4 纺丝	55
3.4.1 科学问题	55
3.4.2 工程问题	71
3.5 不熔化	81
3.5.1 科学问题	81
3.5.2 工程问题	104
3.6 炭化过程	107
3.6.1 科学问题	107
3.6.2 工程问题	113
3.7 石墨化过程	116
3.7.1 纤维物理化学结构的转变	116
3.7.2 石墨化工艺条件对纤维结构性能的影响	121
3.7.3 新的石墨化工艺研究	125
3.8 碳纤维表面性质及处理方法	130
3.8.1 碳纤维表面氧化	131
3.8.2 工程问题	136
参考文献	137

第4章 中间相沥青基碳纤维

143

4.1 目前国内外发展水平	143
4.1.1 国外发展水平	143
4.1.2 国内发展水平	147
4.2 制备工艺概述	147
4.3 沥青原料	149
4.3.1 煤焦油与石油渣油的纯化与精制	151
4.3.2 各向同性沥青的制备	152
4.3.3 中间相沥青的制备	156
4.4 纺丝	169
4.4.1 连续牵伸法	169

4.4.2 喷吹法	183
4.5 不熔化	185
4.5.1 不熔化反应机理	186
4.5.2 不熔化反应对纤维结构性能的影响	187
4.6 炭化和石墨化	192
4.6.1 类石墨结构的形成与发展	192
4.6.2 畴结构与孔隙	195
4.7 沥青基碳纤维的结构与性能	197
4.7.1 结构与拉伸性能的关系	197
4.7.2 结构与抗氧化性能的关系	199
参考文献	200

第5章 黏胶基碳纤维

206

5.1 目前国内外发展水平	206
5.1.1 国外发展水平	206
5.1.2 国内发展水平	208
5.2 制备工艺概述	208
5.3 黏胶纤维的制备	208
5.3.1 纤维素的制备	209
5.3.2 黏胶纤维的制备	211
5.4 黏胶碳纤维的制备	222
5.4.1 酸洗、水洗及催化剂浸渍	222
5.4.2 纤维素的裂解机理	223
5.4.3 黏胶纤维的前处理	228
5.4.4 炭化	235
5.4.5 石墨化	236
5.4.6 黏胶基碳纤维的结构	237
5.5 新型纤维素纤维制备工艺及炭化研究	239
5.5.1 Lyocell 纤维	240
5.5.2 纤维素氨基甲酸酯纤维	240
参考文献	242

第 1 章

绪 论

材料是人类社会文明的载体，新材料的出现和发展已将人类文明带入到崭新的阶段。高性能碳纤维正是伴随着人类渴望光明和飞天的梦想而产生和发展的，并逐渐成为人们生产和生活不可或缺的材料。

1.1 碳纤维的性质、定义及分类

你也许没有见过碳纤维的真面目，但如果你是一位钓鱼爱好者，或者是一个体育爱好者，你一定使用或听说过碳纤维钓鱼竿和网球拍，对于它们的优点你一定亲自领教过：质量轻、弹性好。这就是碳纤维复合材料带给我们的好处。“质量轻”源自于碳纤维密度小，而“弹性好”源自于碳纤维具有的高拉伸模量和高强度。所谓模量就相当于材料单位面积上的弹性系数，而拉伸强度就是单位面积上所能承受的力。实际上目前商业化碳纤维的拉伸强度已经达到 7.0GPa，换算一下单位，就是每平方厘米上能够承受 70t 的拉力，相当于一束小拇指粗细的碳纤维可以拉起一节载满货物的火车皮。碳纤维的高模量使其在受到拉伸时只有很小的形变。如拉伸强度 3.0GPa，拉伸模量 1000GPa 的碳纤维，其断裂时的伸长率只有 0.3%。碳纤维的密度只有 $1.6 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$ ，只是钢铁的 1/4 左右。可以想象，如果将碳纤维用在火箭或飞机上，一定可以使其飞得更快并极大节约燃料。事实上碳纤维是现代导弹和火箭不可或缺的材料^[1]，受到国防部门的高度重视。在民用领域，美国的波音 787 和欧洲的空中客车 A380 都大量使用了碳纤维^[2]，从而带动了汽车、风力发电^[3]等一系列民用工业领域对碳纤维的兴趣。

说到碳纤维的起源，不能不让人联想到木炭。中国古代殷商时期青铜器冶炼的重要原料就是木炭^[4]。到了近代，大家公认的碳纤维发明人是美国发明大王 Edison，他在 1879 年就申请了一个用棉线炭化后用白炽灯灯丝的专利并成功实现了商业化^[5]。事实上英国人 Swan 研究灯丝比 Edison 更早，始于 19 世纪 50

年代,但由于当初的真空设备还不过关,灯丝寿命很短,不得不停止他的实验,直到19世纪70年代,真空技术取得了突破,Swan又开始了他的研究,并于1879年2月公开演示了他的实验。由于采用的炭棒较粗,需要的电流很大,导致发光时间短,限制了其商业化开发^[6],而爱迪生发明的灯丝使用寿命更长。这便是最早的碳纤维制备记录,然而自碳纤维被钨丝取代后,此方面的研究停滞了60多年。直到20世纪50年代,在美国政府的主导下,转向制备高力学性能的碳纤维,1959年实现商业化,所制备的黏胶碳纤维主要用于高温隔热,拉伸强度仅为30~60MPa^[7]。尽管这个强度值在今天看来非常低,但却打开了人们对碳纤维力学性能追求的无限遐想,从而为高性能碳纤维的研究打下基础。1964年真正意义上的高模量黏胶碳纤维在美国联邦炭化物公司问世,主要方法是高温热牵伸^[8],直到1978年,由于成本原因和聚丙烯腈碳纤维的发展而停产。

聚丙烯腈碳纤维的研制也始于20世纪50年代。20世纪50年代,Houtz用杜邦公司生产的聚丙烯腈纤维在200℃下加热16~20h,发现纤维经历了从白色向黄色、褐色到黑色的转变,用煤气喷灯加热时尽管有大约30%的失重,但不燃烧^[9]。当时并未意识到已经形成了碳纤维。直到1959年,日本大阪煤气公司进藤昭男发表了将丙烯腈含量在90%以上的共聚物先在空气里170~200℃下加热(后称预氧化),然后炭化,可获得拉伸强度为0.1GPa的碳纤维^[10]。这篇专利没有涉及在预氧化过程中施加张力,但明确提到缓慢加热可以提高碳含量及收率。之后进藤昭男和他的团队相继进行了一些细致的工作,将碳纤维的力学性能提高到0.98GPa^[11]。与此同时,英国皇家空军实验室的Watt和Johnson在1963年独立开展了聚丙烯腈碳纤维的研制,1964年发表专利,申请了一项在预氧化过程中限制收缩甚至用牵伸的办法提高纤维中类石墨层片取向度的专利,加之所用Courtaulds公司专用聚丙烯腈纤维比杜邦公司的民用腈纶有很大改进,大幅度提高了碳纤维的力学性能^[12,13]。此后经过多家公司的努力,聚丙烯腈碳纤维的性能不断攀升,拉伸强度在20世纪70年代初达到2.4GPa,至80年代初达到4.0GPa,20世纪90年代初已达到7.0GPa。

沥青基碳纤维是在1963年由日本群馬大学的大谷杉朗发明的^[14],沥青就是石油裂解后的残留物,具有稠环芳烃结构。1970年美国联邦炭化物公司受Taylor和Brooks发现的煤质中间相启发^[15],发明了中间相沥青的制备方法。所谓中间相就是层片更大、平面结构更规整的稠环芳烃有序排列形成的液晶。由此纺制的沥青碳纤维强度和模量有了大幅度提高,其模量几乎可以达到石墨烯的理论模量。

黏胶基碳纤维、聚丙烯腈碳纤维和沥青基碳纤维成为目前为止开发最成功的三种商业化碳纤维。

除了以上用有机纤维经高温炭化制备的碳纤维,又发明了用石墨电弧和有机气体高温裂解的方法制备碳纤维,分别叫做石墨晶须和气相生长碳纤维。石墨电

弧法就是将石墨块作为直流电的阴阳两极,当电压足够高、石墨之间距离足够近的时候发生电弧,跟氩弧焊的工作原理很相似。在电弧的作用下,石墨被瞬间气化并重新组装成晶须^[16],通常具有非常规整的单晶结构,拉伸强度为10~20GPa。由于制备环境苛刻,很难大规模生产。气相生长碳纤维是在催化剂的作用下,由含碳气体如甲烷、苯等在1000℃左右的高温下裂解得到的纤维状炭^[17],这只是在碳纳米管产生之前的叫法,现在人们用这种方法来制备碳纳米管^[18]。这两种方法制备的碳纤维强度高但直径细且非连续,目前人们正在探索其用途,本书不做重点介绍。

到此为止,碳纤维是什么我们已经大概了解了。那么,如何为碳纤维下一个确切的定义?简单说碳纤维就是碳含量在90%以上的纤维材料,但这一定义没有把碳含量很高的有机纤维如沥青纤维排除在外。从以上介绍我们知道无论是由有机前驱体结构转化来的碳纤维还是由石墨电弧和气相裂解转化而来的碳纤维,都离不开高温条件。因此我们可以将碳纤维的定义补充为:碳纤维是在高温下制备的碳含量为90%以上的纤维材料。

本书重点介绍由有机前驱体纤维经结构转化制备的碳纤维。

1.2 碳纤维的应用

碳纤维由于轻质高强、耐高温、抗腐蚀、导电导热等一系列优点,成为航空航天、国防以及工业、民用领域的重要原材料。

首先来看航空航天领域。早在1967年,英国劳斯莱斯公司就将黏胶碳纤维用于喷气式发动机。1976年由于原油价格上涨,美国就将刚问世不久的日本东丽T300用于B727、B737、L1011、DC9和DC10等飞机型号^[19]。此后航空航天成为碳纤维发展的重要推手。

在航空航天领域,飞行器进入大气层时,由于空气摩擦、气动加热,鼻锥部分温度会达到1650℃以上,翼缘、尾部下面的温度也在上千度,其92%表面温度也在近千度。因此,在航天飞机上大量使用轻质的碳/碳复合材料作为耐烧蚀材料,碳树脂复合材料作为耐热结构材料。另外,航天飞行器的质量每减少1.0kg,就可使运载火箭减轻500kg^[20]。2007年面世的超大型飞机A380,如图1.1所示,其复合材料的用量已达23%,首架飞机每位乘客的百公里油耗不到3L/座,而A350的百公里油耗预计只有2.5L/座,几乎可以跟小汽车媲美。

美国波音飞机公司研制的B787飞机已于2007年成功下线,整机主要结构均采用碳纤维复合材料制成,从外表看,除机翼、尾翼前缘、发动机挂架外,几乎看不到金属。这是世界上第一个采用复合材料机翼和机身的大型客机,被公认为复合材料发展史上的一个重要的里程碑。复合材料的大量应用大幅减轻了飞机的结构重量,并使飞机的燃油效率提高20%。

国防力量已成为衡量各个国家科技发展水平的综合指标,碳纤维在航空航天

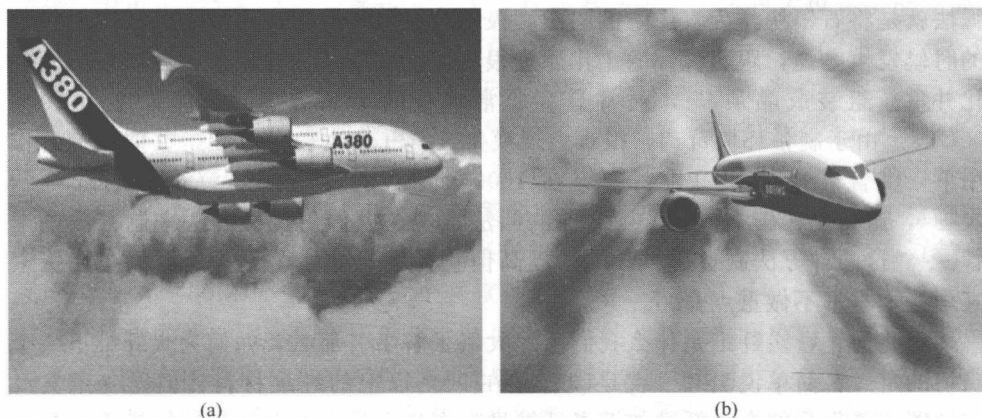


图 1.1 空中客车 A380 和波音 787 飞机

业的独特优势自然引起了各国国防领域的重视。从洲际导弹到空天飞行器，从隐形飞机到宇宙空间站，从巡洋舰到航空母舰，无不显示出碳纤维的独特优势。

碳纤维复合材料主要应用于导弹弹头、弹体、箭体和发动机壳体的结构部件以及卫星主体结构承力件上，炭/炭和炭/酚醛是弹头端头和发动机喷管喉衬及耐烧蚀部件等重要耐热材料，在美国休儒、民兵、三叉戟等战略导弹上均已成熟应用。我国各类战略和战术导弹上也大量采用碳纤维复合材料作为发动机喷管、整流罩耐热材料。我国 20 世纪 90 年代后期开展了纤维增强复合材料壳体的研究，进行了 T300 CFRP 固体火箭发动机壳体的基础试验、壳体结构强度试验、点火试车等全程考核；完成了 12K T700 CFRP 壳体结构强度试验，开展了 T800 碳纤维 CFRP 多种壳体的预研实验^[2]。

如果说航空航天及国防看重的是碳纤维强度高、重量轻所带来的高速优势，那么工业与民用领域更看重的是碳纤维所带来的节能和舒适性。近年来碳纤维在风力发电、电缆、采油平台、汽车、体育休闲用品等方面发展非常迅速。

风力发电是可再生的能源技术，在发电过程中无污染，对环境没有破坏。利用风力发电的尝试，早在 20 世纪初就已经开始了。作为可再生的清洁能源之一，我国已经开始注重风能的开发和利用。在国家科技攻关项目和“863”项目的共同支持下，我国已基本掌握了风力发电机组及复合材料叶片的设计和制造技术，到 2020 年，我国将投资 2000 亿人民币用于风力发电建设，新增风力发电能力将达到 3000MW，并要求风力发电装备本土化^[21, 22]。风机叶片是风力发电系统的关键部位，随着风电机组单机容量的增大，叶片的外形尺寸趋于大型化，对其强度和刚度的性能提出了更高的要求。与传统材料相比，碳纤维复合材料在提高叶片刚度、减轻叶片质量等方面都具有明显的优势。

碳纤维复合芯铝绞电缆是一种容量大、损耗低、节能环保的新型复合芯导线。与传统导线相比具有重量轻、强度大、耐高温、耐腐蚀、抗蠕变、线损小、

弛度低、热膨胀系数小、与环境亲和等一系列优异性能,从而实现电力传输的节能、环保与安全^[23]。

石油的钻探与开采逐步由陆地向海洋延伸,并由浅海向深海延伸以满足市场的需求。陆地与海洋的环境迥异,尤其是海水对开采设施的腐蚀相当严重,使其使用寿命大大缩短,加大了开采成本。碳纤维复合材料耐酸耐碱性强,耐腐蚀不生锈,在海水中使用寿命比钢长得多^[24]。另外,钢材的密度大,在海水中使用需要大量的浮力支撑,必然会增加投资成本。

传统的体育用品大多采用木材及其复合材料制品,由于碳纤维重量轻,刚性大,碳纤维及其增强的复合材料的力学性能比木材高得多。因此,它在体育休闲用品方面也得到了广泛的应用,如自行车、赛车、赛艇、船桨、钓鱼竿、网球拍、羽毛球拍、球鞋等。目前,其用量几乎占全世界碳纤维总消耗量的40%左右。

综上所述,随着碳纤维性能的不断提升及价格的降低,其应用领域日益广泛。不但在航空航天等军事方面有着广泛的应用,在民用方面,也越来越多地走进了普通民众的日常生活。

1.3 碳纤维的制备

高性能碳纤维是在有机纤维的基础上发展起来的,就是将连续的有机纤维经过高温处理排除非碳元素,最终成为具有类石墨结构的纤维材料,因此主要涉及前驱体纤维(即原丝)的制备和炭化过程。炭化之前需要将有机纤维转变成不熔不溶的结构,就是不熔化。有机纤维因原料的不同则分为熔融纺丝和溶液纺丝。熔融纺丝针对的是热塑性的有机原料,如沥青、热塑性树脂等,通过加热的方式将有机物熔融,从喷丝孔中挤出,经冷却后变成纤维。针对一些不能熔融的有机物,如纤维素、聚丙烯腈等,需要将有机物溶解于溶剂中,形成黏稠的纺丝液,纺丝液从喷丝孔中挤出后,采用将溶剂挥发或用非溶剂萃取的方式使丝条凝固,分别叫做干法纺丝和湿法纺丝。

在对碳纤维结构性能的关系和转化过程有了深入的了解后,研究者和生产厂家不断改进原料结构、纺丝方法和后续不熔化、炭化的方法和设备,形成了大量的专利技术,从而使碳纤维的性能不断提升,成本逐渐下降,这就是本书要重点介绍的内容。

参考文献

- [1] Parmee A C. The properties of carbon fiber/carbon composites with particular reference to their application in rocket nozzles [J]. Carbon, 1972, 10 (3): 333.

- [2] 林德春, 潘鼎, 高健等. 碳纤维复合材料在航空航天领域的应用 [J]. 玻璃钢, 2007 (01): 18-28.
- [3] 俞爱权, 卢朕. 碳纤维复合材料在汽车行业的应用 [J]. 上海汽车, 2013, 7: 48-52.
- [4] 高林生. 殷商最大的青铜器“司母戊鼎”——古代青铜铸造 [J]. 知识就是力量, 2005 (6): 46-47.
- [5] Edison T A. Electric Lamp; US223898. 1879-04-11.
- [6] Wikipedia. Joseph Swan, http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Swan, [EB/OL]. http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Swan.
- [7] 高波, 徐自立. 碳纤维及其复合材料的发展和应用 [J]. 机电产品开发与创新, 2010, 23 (4): 37-39.
- [8] 贺福, 杨永岗. 超级导热型沥青基碳纤维 [J]. 高科技纤维与应用, 2003, 5: 27-31.
- [9] 王茂章. 聚丙烯腈基碳纤维 [J]. 新型炭材料, 1998, 13 (4): 80.
- [10] 钱伯章. 国内外碳纤维市场分析与研发进展 [J]. 新材料产业, 2007, 2: 58-62.
- [11] 進藤昭男. 炭素纖維の研究 II 熱処理に伴う引張り強度変化 [J]. 大阪工業技術試験所季報, 1961, 317: 119-122.
- [12] Johnson W, Phillips N L, Watt W. The production of carbon fibres; GB 1110791. 1964-04-24.
- [13] Johnson W, Phillips N L, Watt W, et al. Improvements in or relating to carbonisable fibre and carbon fibre and their production; GB 1166251. 1965-07-02.
- [14] 宋育贤, 张立平. 国外碳纤维的生产与需求 [J]. 国外油田工程, 1989, 5 (2): 53-62.
- [15] Brooks J D, Taylor G H. The formation of graphitizing carbons from the liquid phase [J]. Carbon, 1965, 3 (2): 185-193.
- [16] Ando Y, Zhao X. Production of petal-like graphite sheets by hydrogen arc discharge [J]. Carbon, 1996, No. 1 (Vol. 35): 153-158.
- [17] Bacon R. Growth, Structure, and Properties of Graphite Whiskers [J]. Journal of Applied Physics, 1960, 31 (2): 283-290.
- [18] Hashishin T, Iwanaga H, Ichihara M, et al. Core structure of vapor grown carbon fibers and morphology dependence of tensile strength [J]. Carbon, 2003, 41 (2): 343-349.
- [19] Liu B C, Lee T J, Lee S H, et al. Large-scale synthesis of high-purity well-aligned carbon nanotubes using pyrolysis of iron (II) phthalocyanine and acetylene [J]. Chemical Physics Letters, 2003, 377 (1-2): 55-59.
- [20] 钱伯章. 碳纤维应用的最新进展 [J]. 国外塑料, 2009, 27 (10): 58-62.
- [21] 张晓明. 风力发电复合材料叶片的现状与未来 [J]. 纤维复合材料, 2006, 2: 60-63.
- [22] 周红丽, 王红, 罗振等. 风力发电复合材料叶片的研究进展 [J]. 材料导报, 2012, 3: 65-68.
- [23] 梁栋, 邓蜀平, 蒋云峰等. 碳纤维复合芯电缆国内外技术研发现状及工程应用进展 [J]. 化工新型材料, 2011 (S1): 13-17.
- [24] 孙微, 贺福. 碳纤维复合材料在海底油田领域中的应用 [J]. 高科技纤维与应用, 2009, 2: 35-37.