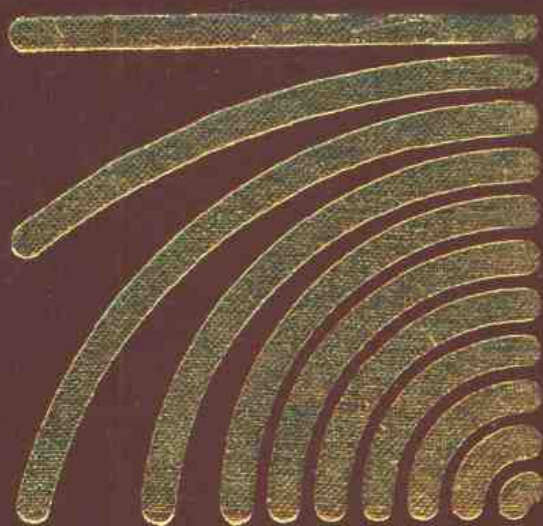

世纪之交 复合材料的现状 与发展

——全国第十届复合材料学术会议论文集

党嘉立/主编
湖南科学技术出版社

Present Situation and
Development for Composite
Materials of the Setting-in
21st Century

Edited by Dang Jia Li



世纪之交 复合材料的现状 与发展

——全国第十届复合材料学术会议论文集

Present Situation and
Development for Composite
Materials of the Setting-in
21st Century

主 编:党嘉立

副主编:肖加余 王兴业

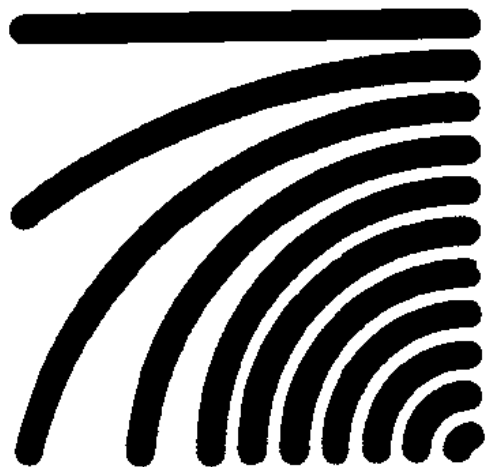
杨乃宾 陈绍杰

编 委:王殿富 宋焕成 闵 斌

陈爱雅 陈朝辉 陈万金

张志民 张志新 甄华生

湖南科学技术出版社



世纪之交复合材料的现状与发展

——全国第十届复合材料学术会议论文集

主 编：党嘉立

责任编辑：刘奇珠

出版发行：湖南科学技术出版社

社 址：长沙市展览馆路 66 号

印 刷：国防科技大学印刷厂

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址：国防科技大学内

邮 编：410073

出版日期：1998 年 9 月第 1 版第 1 次

开 本：787mm×1092mm 1/16

印 张：71.25

插 页：8

字 数：1600000

印 数：1—600

书 号：ISBN 7—5357—2485—X/TQ·50

定 价：115.00 元

(版权所有·翻印必究)

第十届全国复合材料学术会议

名誉主席：金壮龙 张保乾

主 席：党嘉立

副 主 席：闵 斌 宋焕成 张志民 杜善义

秘 书 长：王兴业

学术委员会

主 任：宋焕成

副主任：肖加余 张志民 王殿富 王兴业

组织委员会

主 任：闵 斌

常务副主任：甄华生

副 主 任：杨乃宾 蔡 红 张志新 陈万金

会议服务机构

秘书组：周新贵 万 红 江大志 张术华

孙 巍 徐朝辉 鲍小恒 王培云

会务组：汤国良 居建国 苑 玲 甄华生

王建华 吴文华

航天材料及工艺研究所



酚醛复合材料喷管
phenolic-based nozzle



碳聚酰亚胺锥壳
CPI conical shell



多频谱隐身涂层
Multiband stealthy coating

地址:北京丰台区南大红门路1号
邮箱:北京9200信箱73分箱
电话:(010)68383608
传真:(010)68383237
邮编:100076

航天材料及工艺研究所成立于1957年,它是中国航天工业总公司材料及工艺中心研究所和国防先进功能复合材料研究开发基地,建有航天工业总公司复合材料构件加工技术中心、无损检测技术中心、焊接技术中心和表面工程中心镀涂层研究部。本研究所主要从事航天工业所需的新材料、新工艺的科研开发,以及非金属、复合材料产品的生产。本所现有职工1000人,其中高级工程师273人,拥有科研生产面积近3.3万平方米。本所拥有国内先进水平的工艺装备,世界先进水平的各种分析检测设备及测试方法,各种设备仪器达2000多台件,固定资产原值15000多万元。

经过四十年的科研实践,本所培养造成了一批具有严谨的科研作风,较强的专业能力,善于攻关的科技人才,建立健全了一套严格的、行之有效的管理制度,取得部级、国家级科技成果近3000项,研究生产的产品和部件在我国运载火箭和卫星上得到普遍的应用,为发展我国的航天事业做出了突出的贡献。



卫星接口支架
Composite interface of satellite

Add:No.1 Nan Da Hong Men Road Beijing
P. O. Box 9211 Beijing China
Tel: (010)68383608
Fax: (010)6838237
P.C.: 100076

太阳鸟游艇有限公司

一、公司简介

太阳鸟公司自 1985 年起就在玻璃钢技术和游艇制造上在中国处于领先地位，积十多年之经验，一直致力于高标准、高质量的产品开发与生产，尤以 80 多种玻璃钢船艇而闻名于世，产品多次荣获国家金奖，并出口马来西亚等国家。

太阳鸟——幸运之鸟

二、产品构成

·游艇系列

2-6 人娱乐小艇 8-20 人游览快艇
套房型豪华度假游艇 套房型豪华商务游艇

·高速客船系列

4-10 人水上的士 12-24 人水上中巴
26-60 人柴油机高速客船 20-40 人汽油机高速客船

·特种船艇系列

公务艇 勘测艇 救生艇 拖伞艇 潜水艇
冲锋舟 摩托艇 仿古船 电瓶船

·承接加工其它高强度，高表面精度，耐高温，防腐蚀等高要求的玻璃钢工程及产品

·代理销售进口名牌船用柴油机、舷外机、发电机、游艇、橡皮艇、水上器材及油料零

配件



u630 快艇：
主尺度(m) 定员 配(HP)机 航速(km) 适应航区
6.3x1.9x0.7 8 85-115 50-60 内河 B 级



h1388 客船：
主尺度(m) 定员 配(HP)机 航速(km) 适应航区
13.8x3.9x1.35 54 280x2 台 50 内河 A 级



e-0135 客艇：
主尺度(m) 乘员 配(HP)机 航速(km) 适应航区
13.5x2.8x1.25 27 245-280 45-50 内河 B 级



h518 高速快艇：
主尺度(m) 乘员 功率(kw) 航速(km) 适应航区
5.18x2.20x0.95 8 100-150 50-60 内河 A 级

总 部

地址：长沙市岳麓区枫林路 356 号
电话：(0731)8861008 8816828
传真：(0731)8816840 邮编：410204

基 地

地址：沅江市石矶湖宝塔公园
电话：(0737)2722012 2721015
传真：(0737)2723208 邮编：41300

湖南银河高技术产业集团新材料开发部

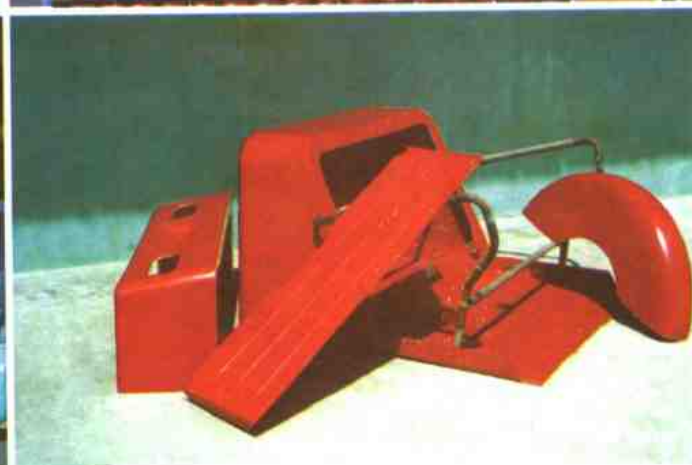
湖南银河高技术产业集团产材料开发部,是一个欣欣向荣、技术实力雄厚的新材料开发部,拥有一批懂技术、谙管理、善经营的高素质员工,且以国防科技大学新材料研究所为依托,不断将航空工业的新技术用于民品的开发与生产,研制了一系列复合材料新产品,并逐次将其投入工业生产。经营范围为:

玻璃钢制品:高档座椅、快餐桌椅、彩瓦,各种型号的果皮箱、保龄球台及配件、汽车摩托车覆盖装饰件、豪华客车空调外壳、高位水箱、活动房屋、篮球板等各种玻璃钢异型件。

化工产品:高级上/压光油,纸塑复膜胶、结构胶、耐水快干乳胶、标签胶、牙齿漂白乳胶、带锈涂料、水性多彩涂料、隔水隔热粉等。

工程服务:承接各类化工管道、反应釜、贮罐的防腐设计与施工;防腐保温工程的设计与施工;各类玻璃钢异形件及模具的结构设计;体育馆玻璃钢座椅工程。

我部坚持技术领先、质量至上、恪守信誉的宗旨,竭诚为广大用户提供高质量的产品和高层次的服务。



地址:国防科技大学五系大楼

电话:(0731)4553800 4512324 1388470646 1398459026

传真:(0731)4518859 邮编:410073

德国 KRUSS 单纤维表面张力仪 K14



全自动软件操作的单纤维表面张力仪 K14 具有超高灵敏测力系统($\pm 0.1\mu\text{g}$), 可以通过动态接触角的测量精确地表征直径为微米级的单纤维的润湿性能。测量范围: $0\sim 200\text{mN/m}$, 精度 $\pm 0.01\text{mN/m}$, 温度范围: $0\sim 50^\circ\text{C}$ 。K14 同时可以测量液体表界面张力, 固体表面自由能。粉末、纤维及多孔材料 的润湿性能。

德国 HAAKE 旋转粘度计 RT20

瑞士大昌洋行有限公司

——KRUSS, HAAKE 公司中国地区总代理

大昌洋行北京办事处

地址: 朝阳区光华路 7 号

汉威大厦西区 26 层

100004

电话: 010-65613985/678 转 120

传真: 010-65613978

大昌洋行上海办事处

地址: 浦东东方路 710 号

汤臣国际金融大厦 21 层

200122

电话: 021-58300518

传真: 021-58300519

大昌洋行(香港)有限公司

地址: 葵涌 4 号货柜码头

国际货运中心

办公大楼 6 楼

电话: 00852-29421513

传真: 00852-28948319



旋转粘度计 RT20 实际是一台控制速率和控制应力的流变仪。

它适合于高扭矩应用, 如测量聚合物熔体、低温润滑油、沥青等, 甚至可测固体样品。

可控制应力 / 速率又可震荡方式测量。

方便快速更换转子:

锥 / 板, 板 / 板, 套筒
温度范围: $-100\sim 500^\circ\text{C}$

中国人民解放军国防科学技术大学材料工程与应用化学系

中国人民解放军国防科学技术大学材料工程与应用化学系及其新材料研究所主要从事材料科学与工程、化学、化工等领域的教学和科研工作。

该系及其研究所有一支基础理论扎实、实践经验丰富、知识和年龄结构较为合理的教学与科研队伍,现有教授、副教授 50 余名。设置有两个本科专业(材料工程、应用化学);四个硕士学位授权点(材料学、材料物理与化学、应用化学、军事化学与烟火技术);拥有材料学学科博士学位授权点;“军用复合材料及其制造技术”列入国家“211 工程”重点学科建设项目。目前正在积极建设“新型陶瓷纤维及其复合材料”国防科技重点实验室。

教学与科研工作涉及的主要领域有:材料学(陶瓷纤维、聚合物基复合材料、金属基复合材料、陶瓷基复合材料)、材料物理与化学(功能材料研究与应用、纳米材料技术、材料化学)、军事化学与烟火技术(特种光电材料及技术、特种化学品、化学推进剂)、应用化学(高分子材料的合成与应用、精细化工产品的设计与研制、陶瓷先驱体化学、含能材料)。建系以来,已为军队、国防工业部门、国民经济建设部门培养了本科生 1100 多名,硕士生 240 多名。这些毕业生现在大都成为了技术骨干和领导干部。从 1996 年开始,经国家教育部和解放军总装备部批准,我系从参加全国统一高等学校入学考试的考生中,招收材料工程和应用化学(含能材料)两个专业的国民教育计划非军人本科生,为国防工业部门和地方培养人才。

科研工作形成了以下特色:连续碳化硅等陶瓷纤维研究达国际先进水平;陶瓷基复合材料研究在国内独具特色,将在几项重大武器型号上应用; SiC_f/Al 金属基复合材料的构件研究达国内先进水平;功能复合材料研究取得新的进展:聚合物基复合材料及其制品应用研究近年来取得重大突破,产生了很好的社会效益和经济效益;特种光电材料及技术、特种化学品和化学推进剂研究已为军队现代化提供了技术服务。已获得国家科技进步三等奖一项,科工委科技进步一等奖七项,二等奖近二十项,军队科技进步二等奖一项。

中国人民解放军国防科技大学材料工程与应用化学系主任陈朝辉教授代表全系教职员工:

热忱欢迎有关单位合作!

热忱欢迎有志之士报考我系深造!

热忱欢迎地方有关部门和单位选用我系国民教育计划非军人本科学生!

联系人:孙巍

邮政编码:410073

传真号:(0731)4518859

通信地址:长沙国防科技大学五系

联系电话:(0731)4505551

电子信箱:sw@nudt.edu.cn

航天总公司上海航天局新力动力设备研究所

单位简况:新力动力设备研究所隶属中国航天工业总公司上海航天局,系动力装置配套的专业研究所。本所复合材料研制力量雄厚,具备材料设计、工艺研究、性能试验、批量生产的能力,拥有配套的复合材料研制设备,如纤维缠绕机、布带缠绕机、热压罐、多种规格的塑料液压机。该所复合材料研究已有二十多年历史,承担了十几项航天型号的研制任务,开发和储备了多项民用技术。曾获国家发明奖及部级科技进步奖十多项,二次被评为航天部(航天总公司)预研先进集体。

主要研究成果(或产品介绍):本所研究、开发了二十余项复合材料及其制造技术,并已成功地应用于航天型号。主要包括:整体模压成型技术,缠绕模压技术、布带缠绕喷管、碳纤维缠绕结构、各种结构形式的粘接技术等。

典型产品有:中小型航天产品整体模压喷管,大细长比整体贴壁复合燃烧室;二端带金属法兰石墨纤维/环氧高模量绕接管;高模量石墨纤维/环氧缠绕管材等。

通讯地址:上海浦东新区东方路 3333 号

电 话: (021)58890770

传 真: (021)58890704

邮 编: 211125

法人代表: 闵斌(所长)

主要负责人: 居建国(主任)

联 系 人: 苑玲(高工)

NCCM — 10

第十届全国复合材料学术会议

中国·上海

1998年10月

中国宇航学会

中国力学学会

中国航空学会

中国复合材料学会

主办：中国宇航学会材料工艺专业委员会

承办：上海航天局 810 所

国防科技大学新材料研究所

协办：航天工业总公司 703 所

编 者 的 话

复合材料是当前迅速发展的学科之一，也是学术活动最为活跃的学科。从1980年起每两年举行一次的全国复合材料学术会议迄今已是第十届。每届会议都收到不少于300篇的征集论文，由于论文集和会议规模所限，每届编委都不得不忍痛割爱删去一些论文。本论文集是从第十届全国复合材料学术会议征文的全部论文中选编的，它反映了近两年来我国复合材料界的同行在研究、开发、应用等方面的基本情况。通过本论文集，可了解我国复合材料的原辅材料、新的成型工艺方法和设备、复合材料及其制品的质量检测和控制、复合材料力学及结构设计、复合材料性能研究、界面工程，以及聚合物基、金属基与陶瓷基复合材料等方面的最新进展，为复合材料科学研究人员和相关的工程技术人员提供信息和有益的参考资料。

自第九届全国复合材料学术会议确定由中国宇航学会委托其所属的材料工艺专业委员会主办第十届全国复合材料学术会议以来，主办单位和两家承办单位上海航天局和国防科技大学做了大量的工作。这本论文集能在会前及时付梓刊行，除了广大作者的积极支持外，负责论文集征文、编辑的具体工作人员都付出了大量的心血和劳动，在此谨向他们表示衷心的感谢。

本论文集在编审时尽量做到全书的名词、术语、书写格式以及重要文字符号的统一。湖南科学技术出版社的有关编辑同志付出了卓有成效的劳动，在此也谨向他们表示衷心的感谢。由于我们水平所限，经验不足，疏漏、错误请读者批评指正。

编 者

1998年10月

前 言

全国第十届复合材料学术会议于 1998 年 10 月在上海召开。本届学术年会由中国宇航学会、中国力学学会、中国复合材料学会、中国航空学会联合召开，由中国宇航学会材料工艺专业委员会代表中国宇航学会主办。本论文集收入论文 207 篇，反映了近两年来复合材料研制、应用的最新成果。

我国的复合材料技术是自 60 年代起随着国家航天航空工业的发展而发展起来的，从 70 年代中期开始进入了先进复合材料的发展阶段，已为航天和航空工业的发展做出了重要的贡献。特别是近十余年来，复合材料技术在其它国防工业部门和部分民用工业中也取得了相应的发展，中国科学院和重要工业部门所属的材料工艺研究单位及国内许多著名大学也都在集中力量研究各类复合材料及其应用技术，并培养了复合材料各类专门人才，这标志着中国复合材料技术及应用研究已经进入了一个新的发展阶段。

经过三十多年的努力，在我国已基本形成了一个比较完善的复合材料研究及其应用体系，拥有了一支具有较高水平的科技队伍，复合材料技术的应用领域也在不断拓展。进入第九个“五年计划”以来，我国在复合材料研究、应用和引进国外先进技术等方面取得了显著的成就，这对促进我国在新形势下发展新技术起到了支撑性的关键作用，并已成为新技术革命中一支有活力的基础力量。

全国第十届复合材料学术会议是在正逢世纪之交、人员交替、技术升级的年代召开的，因而具有非常重要的意义。本论文集所收入的会议论文不仅代表了我国先进复合材料研究与应用的最新成果，而且对下一世纪初复合材料专业技术发展中带有方向性的有关问题提出了看法并进行了一定深度的探讨。我认为，这一论文集的内容是相当丰富的，一定会对复合材料科技工作者有较大的参考价值。

由于出版时间紧迫、水平有限，本届年会论文集集中的错误和不当之处，恳请读者批评指正。

在此，向全体论文作者、论文集的编辑人员和湖南科学技术出版社的同志们致以衷心的感谢！

中国宇航学会材料工艺专业委员会主任
航天材料及工艺研究所所长 研究员



1998 年 5 月

大会特邀报告

目 录

大会特邀报告

航天功能复合材料的现状与展望	(1)
复合材料细观力学与细观设计理论研究	(8)
纤维缠绕技术研究与应用发展趋势	(20)
值得重视的复合材料研究新动向	(32)
复合材料与飞机隐身	(36)
飞机复合材料结构修理	(42)
我国无机复合材料的现状的展望	(48)

聚合物基复合材料

开环聚合酚醛树脂基玻璃布层压板性能的研究	(57)
碳/酚醛预浸料质量控制研究	(62)
复合材料胶接技术研究	(68)
芳纶浆粕混杂增强摩擦复合材料的研究	(71)
界面性质对 BMI/Kevlar-49 复合材料层间剪切强度及吸湿性能的影响	(78)
热塑性 FIT 纤维缠绕成型非圆外廓工件的工艺性	(82)
几种改性酚醛树脂对沥青碳纤维摩擦复合材料性能的影响	(87)
RTM 用环氧树脂配方研究	(91)
高性能酚醛树脂基材料性能研究	(96)
热失重监控 5284/CF 复合材料成型工艺	(101)
新型改性 BMI/T800 复合材料性能	(107)
包缠结构预混料及热塑性复合材料的制备研究	(112)
预浸料挥发分含量对复合材料力学性能的影响	(117)
纤维堆积状态对悬浮法制备短玻纤增强聚丙烯复合材料性能的影响	(123)
玻纤毡增强聚丙烯研究及性能对比	(130)
运七复合材料垂尾安定面共固化整体壁板的成型工艺研究	(136)
湿热谱老化对复合材料层板强度的影响	(143)
复合材料吸湿对 J-116F 胶粘剂板—板胶接的影响	(147)
聚丙烯粉-5 短玻纤毡复合材料界面研究	(151)

固体火箭发动机壳体外绝热材料的研究·····	(156)
立体编织复合材料 RTM 成型工艺的研究·····	(161)
Dyneema UD66 防弹复合材料的实验研究	
—成型压力等相关因素对弹道性能的影响·····	(165)
带薄壁金属喷管体整体模压扩张段的研制·····	(170)
高性能碳纤维管缠绕芯模设计应用的几点体会·····	(174)
高性能绝缘复合材料的研究·····	(177)
纤维增强橡胶的电性能研究·····	(182)
短碳纤维增强丁晴橡胶 (SCF/NBR) 复合材料胶辊的电性能研究·····	(186)
固体发动机复合材料壳体的电子束固化·····	(190)
官能团化聚烯烃在聚丙烯复合材料中的应用·····	(198)
复合材料成型模具用硅橡胶改性研究·····	(202)

金属基复合材料

XD 法 TiB ₂ 颗粒增强 ZL201 基复合材料磨损行为·····	(207)
工业应用规模的 SiC 颗粒增强铸造铝基复合材料制备·····	(212)
碳毡/铜复合材料的热膨胀特性及纤维比的影响·····	(217)
颗粒增强金属基复合材料的颗粒推移现象·····	(222)
SHS 合成 TiC-Ni 基金属陶瓷的组织与性能·····	(227)
自发浸渗 SiC _p /FeSi 复合材料的制备·····	(233)
合成金属基复合材料的新途径——原位反应喷射沉积成型·····	(239)
碳化物颗粒高温增强钨基复合材料·····	(245)
SiC _p 、Gr 混杂增强 Al 基复合材料的干摩擦磨损特性·····	(251)
切削 SiC 颗粒增强铝基复合材料的刀具磨损机理·····	(257)
SiC _p /Al 复合材料的界面状况特征研究·····	(263)
硅酸铝/ZL109 复合材料的纤维定向及其磨损特征·····	(269)
反应自生 NiAl 短纤维复合材料·····	(274)
制备 FRM 的净成型真空液相压渗法·····	(278)
Al ₂ O ₃ -SiO ₂ 系纤维增强 ZL109 合金复合材料的高温强度研究·····	(282)
连续激光照射下 NICALON SiC _f /Al 的破坏效应·····	(285)
Al ₂ O ₃ -SiO ₂ (sf)/ZL109 铝基复合材料的界面结构·····	(289)
氧化铝短纤维增强 Al-12Si 合金复合材料的界面结构·····	(293)
大气环境热处理对 B/Al 复合材料的影响·····	(296)
B/Al 复合材料无纬布及板材的研制·····	(301)
硼/铝复合板材拉伸性能测试及分析研究·····	(307)
增强相含量及分布对电封装复合材料导热性的影响·····	(313)
铁路机车内燃机活塞用 SiC _p /Al-合金复合材料的拉伸性能研究·····	(317)
金属爆炸复合材料的热处理·····	(322)

颗粒增强铝基复合材料的阻尼行为.....	(330)
普通熔铸法原位合成 TiC 和 TiB 增强钛基复合材料	(336)
金属基复合材料力学性能设计的初步探索.....	(342)
纳米 ZrO ₂ 陶瓷颗粒增强铝基复合材料的制备、组织和性能	(347)
Ni/Ni-Al 系金属间化合物层板复合材料的组织与变形行为	(352)
硼酸铝晶须增强铝基复合材料高温轧制变形行为的研究.....	(361)

陶瓷基复合材料

飞机刹车盘用新型低成本高性能碳/碳复合材料研究	(367)
压力对先驱体转化法制备 Cf/SiC 性能影响	(372)
ICVI 工艺对混合工艺制备 C/SiC 复合材料性能的影响	(376)
超高温模压碳/碳复合材料性能与结构的研究	(380)
界面层厚度对 C/SiC 材料强度的影响	(385)
多向碳/碳复合材料的微观结构与烧蚀机制研究	(390)
碳/碳复合材料用基体先驱体(沥青)的改性研究	(395)
CVI 碳/碳复合材料弯曲行为的变化特征	(398)
化学气相沉积法制备 TiC 涂层的相组成和表面形貌	(403)
具有不同界面相的碳纤维三维编织物增强碳化硅复合材料的工艺与性能研究.....	(408)
碳/碳复合材料高温抗氧化涂层研究及自愈合性质	(414)
多次沉积制备碳/碳复合材料防氧化涂层	(419)
原位反应合成 TiC(Al ₃ Ti)增强铝基复合材料的工艺及性能	(424)
烧结助剂对热压 Cf/SiC 陶瓷基复合材料的影响	(431)
磷酸铜复合碳纤维材料的研制及其性能与铝合金的比较.....	(436)
C _f /SiC 陶瓷基复合材料及防氧化涂层一体化制备工艺研究	(440)

复合材料力学及结构设计

细编穿刺碳/碳复合材料不同层次界面特性	(445)
复合材料层合结构非线性热力学分析的高阶有限元模型.....	(450)
具有任意 N 相夹杂材料的有效模量理论	(459)
垂直于双材料界面的裂纹尖端应力强度因子.....	(463)
含椭圆分层损伤层合板屈曲和后屈曲研究.....	(468)
复合材料层合板混合连接结构分析.....	(473)
复合材料力学设计的一些思想.....	(478)
有限多相单元分析三维编织复合材料的有效弹性性能.....	(482)
层间混杂叠层复合材料的最终拉伸破坏 (I) ——应力集中分析.....	(487)
层间混杂叠层复合材料的最终拉伸破坏 (II) ——强度的统计分析.....	(493)
热冲击作用下功能梯度材料圆筒的应力分析及结构优化.....	(500)
固体推进剂燃烧断裂边界流场特性.....	(506)