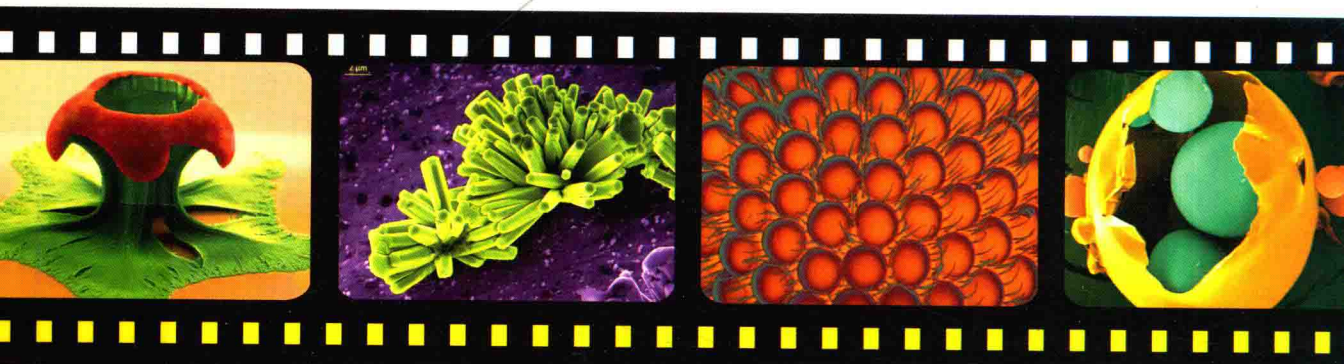




“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校材料专业“互联网+”创新规划教材

复合材料导论

王春艳 主 编



教材预览、申请样书



微信公众号: pup6book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校材料专业“互联网+”创新规划教材

复合材料导论

主 编 王春艳
副主编 齐海群 王丽雪
主 审 王振廷



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书作为材料类专业的技术基础课教材,较全面系统地介绍了复合材料基本知识、复合材料基体与增强材料和不同基体复合材料的组成、分类、性能特点、成型加工技术、应用、研究现状与发展趋势等,同时对复合材料的界面和复合材料的结构设计基础知识作了简单介绍。本书内容新颖,科学性、实用性强,语言简洁,信息量大,并设有教学要求、引例、复习思考题和扩展阅读等模块,方便读者阅读参考。

本书既可作为高等学校材料类专业本科生教材,又可作为从事复合材料研究与管理等工作的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

复合材料导论/王春艳主编. —北京:北京大学出版社, 2018. 7

(高等院校材料专业“互联网+”创新规划教材)

ISBN 978-7-301-29486-4

I. ①复… II. ①王… III. ①复合材料—高等学校—教材 IV. ①TB33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 084436 号

书 名 复合材料导论

FuHe CaiLiao DaoLun

著作责任者 王春艳 主编

策 划 编 辑 童君鑫

责 任 编 辑 李娉婷

数 字 编 辑 刘 蓉

标 准 书 号 ISBN 978-7-301-29486-4

出版发行 北京大学出版社

地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社

电 子 信 箱 pup_6@163.com

电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

印 刷 者 河北滦县鑫华书刊印刷厂

经 销 者 新华书店

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 11.25 印张 258 千字

2018 年 7 月第 1 版 2018 年 7 月第 1 次印刷

定 价 35.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题, 请与出版部联系, 电话: 010-62756370

前 言

人类发展的历史证明，材料是社会进步的物质基础和先导，是人类进步的里程碑。纵观人类利用复合材料的历史，可以清楚地看到，每一种复合材料的发现和利用，都会把人类支配和改造自然的能力提高到一个新的水平，给社会生产力和人类生活带来巨大的变化。在新型材料研究、开发和应用，在特种性能的充分发挥以及传统材料的改性等诸多方面，复合材料科学都肩负着重要的历史使命。

为满足培养适应时代发展的人才需求，材料类专业学生不仅要熟悉金属材料，还需要了解复合材料、高分子材料、陶瓷材料及功能材料。本书较全面系统地介绍了复合材料基本知识、复合材料基体与增强材料和不同基体复合材料的组成、分类、性能特点、成型加工技术、应用、研究现状与发展趋势等，同时对复合材料的界面和复合材料的结构设计基础知识作了简单介绍。

全书内容共分为7章，内容新颖，科学性、实用性强，语言简洁，信息量大，设有教学要求、引例、复习思考题和扩展阅读等模块，方便读者阅读参考。

本书由王春艳担任主编，齐海群、王丽雪担任副主编，具体编写分工如下：绪论、第3章由齐海群编写，第1章由王丽雪编写，第2、4、5、6、7章由王春艳编写。全书由黑龙江科技大学王振廷教授担任主审。

在本书的编写过程中，我们参考了国内外有关教材、科技著作、论文、相关标准、网站及百度图库等，在此特向有关作者和单位致以深切的谢意！

由于编者水平有限，恳请广大读者对本书疏漏及不妥之处批评指正。

编 者

2018年4月

目 录

绪论	1	3.2 聚合物基复合材料界面及 改性方法	68
0.1 材料发展与人类文明	1	3.3 金属基复合材料界面及 改性方法	70
0.2 材料是社会现代化的物质基础 与先导	1	3.4 复合材料界面表征	73
0.3 复合材料与工程	3	复习思考题	75
第1章 复合材料基本知识	6	拓展阅读	75
1.1 复合材料的发展概况	6	第4章 金属基复合材料及其应用	76
1.1.1 复合材料发展历史	6	4.1 金属基复合材料概述	77
1.1.2 国内复合材料的发展 概况	8	4.1.1 金属基复合材料的定义	77
1.2 复合材料的定义和特点	9	4.1.2 金属基复合材料的组成	77
1.2.1 复合材料的定义	9	4.1.3 金属基复合材料的分类	81
1.2.2 复合材料的特点	10	4.1.4 金属基复合材料的 发展历史	82
1.2.3 复合材料的应用	10	4.2 金属基复合材料的性能	83
1.3 复合材料的分类	13	4.3 金属基复合材料的制备工艺	85
1.4 复合材料的基本性能	15	4.4 金属基复合材料的应用	92
1.5 复合材料的结构设计基础	17	4.4.1 在航空航天领域中的 应用	92
复习思考题	18	4.4.2 在交通运输工具中的 应用	94
拓展阅读	19	4.4.3 在电子/热控领域的 应用	95
第2章 复合材料基体与增强材料	21	4.4.4 在其他领域中的应用	96
2.1 复合材料的基体材料	22	4.5 金属基复合材料的研究现状	97
2.1.1 金属基体	22	4.5.1 金属基复合材料研究中的 热点问题	97
2.1.2 聚合物基体	27	4.5.2 金属基复合材料的发展 趋势	98
2.1.3 陶瓷基体	40	复习思考题	102
2.1.4 无机凝胶材料基体	42	拓展阅读	102
2.2 复合材料的增强材料	44	第5章 聚合物基复合材料及其 应用	105
2.2.1 无机纤维	45	5.1 聚合物基复合材料概述	106
2.2.2 有机纤维	57		
2.2.3 晶须	62		
2.2.4 颗粒增强体	64		
复习思考题	66		
拓展阅读	66		
第3章 复合材料的界面	67		
3.1 复合材料界面的概念	67		



5.1.1 聚合物基复合材料的 定义	106	6.3.1 纤维增强陶瓷基复合材料的 加工与制备	141
5.1.2 聚合物基复合材料的 组成	106	6.3.2 晶须与颗粒增韧陶瓷基复合 材料的加工与制备	143
5.1.3 聚合物基复合材料的 分类	112	6.4 陶瓷基复合材料在工业上的 应用	145
5.1.4 聚合物基复合材料的 发展历程	113	6.5 陶瓷基复合材料的研究现状	147
5.2 聚合物基复合材料的性能 特点	114	6.5.1 高温陶瓷基复合材料	147
5.3 聚合物基复合材料的成型 加工技术	116	6.5.2 层状陶瓷基复合材料	148
5.4 聚合物基复合材料的应用	122	6.5.3 纤维增韧陶瓷基复合 材料	149
5.5 聚合物基复合材料的研究 现状	129	复习思考题	150
5.5.1 聚合物基复合材料技术的 新进展	129	拓展阅读	150
5.5.2 聚合物基复合材料的 发展趋势	130	第7章 其他复合材料简介	152
复习思考题	132	7.1 水泥基复合材料	153
拓展阅读	132	7.1.1 水泥的定义和分类	153
第6章 陶瓷基复合材料及其应用 ...	134	7.1.2 水泥的制造方法和主要 成分	153
6.1 陶瓷基复合材料概述	135	7.2 碳/碳复合材料	155
6.1.1 陶瓷基复合材料的基体 ...	135	7.2.1 碳纤维的选择	155
6.1.2 陶瓷基复合材料的 增强体	137	7.2.2 碳/碳复合材料的界面 ...	155
6.2 陶瓷基复合材料的性能	138	7.2.3 坯体的成型	156
6.2.1 单向排布长纤维复合 材料	139	7.2.4 坯体的致密化	157
6.2.2 多向排布纤维增韧复合 材料	140	7.3 混杂纤维复合材料	159
6.2.3 晶须和颗粒增强陶瓷基 复合材料	140	7.3.1 混杂纤维复合材料的含义 及种类	159
6.3 陶瓷基复合材料的成型 加工技术	141	7.3.2 混杂纤维复合材料的 基本性能	160
		7.4 纳米复合材料	161
		7.4.1 概况	161
		7.4.2 纳米粉体的制备	161
		复习思考题	166
		拓展阅读	167
		参考文献	169

绪论

0.1 材料发展与人类文明

材料是人类社会进步的物质基础和先导，是人类进步的里程碑。综观人类发展和材料发展的历史，可以清楚地看到，每一种重要材料的发现和利用都会把人类支配和改造自然的能力提高到一个新的水平，给社会生产力和人类生活带来巨大的变化。材料的发展与人类进步和发展息息相关。10000 年前，人类使用石头作为日常生活工具，标志着人类进入了旧石器时代，人类战争也进入了冷兵器时代。7000 年前，人类在烧制陶器的同时创造了炼铜技术，青铜制品得到广泛应用，标志着人类进入了青铜器时代。同时，火药的发明又使人类战争进入了杀伤力更强的热兵器时代。5000 年前，人类开始使用铁，随着炼铁技术的发展，人类又发明了炼钢技术。19 世纪中期，转炉、平炉炼钢的发展使得世界钢产量迅猛增加，大大促进了机械、铁路交通的发展。随着 20 世纪中期合金钢的大量使用，标志着人类进入了钢铁时代，钢铁在人类活动中起着举足轻重的作用。核材料的发现，将人类引入了可以毁灭自己的核军备竞赛，同时核材料的和平利用，给人类带来了光明。20 世纪中后期以来，高分子、陶瓷材料崛起以及复合材料的发展，给人类带来了新的材料和技术革命，楼房可以越盖越高，飞机可以越飞越快，同时人类进入太空的梦想变成了现实。信息、能源、材料是现代科技的三大支柱，它们会将人类物质文明推向新的阶段。

0.2 材料是社会现代化的物质基础与先导

材料是人类生存和生活必不可少的部分，是直接推动社会发展的动力。没有材料科学的发展，就不会有人类社会的进步和经济的繁荣。基于材料对社会发展的作用，人们已提出将信息、能源和材料并列为现代文明和生活的三大支柱。在三大支柱中，材料又是能源和信息的基础。

所谓材料，是指经过某种加工，具有一定结构、组分和性能，并可应用于一定用途的物质。在实践中，人们按用途把材料分成结构材料和功能材料。结构材料主要是利用其强度、韧性、力学及热力学等性质。功能材料则主要利用其声、光、电、磁、热等性能。按



化学成分分类,则可把材料分为金属材料、有机高分子材料、无机非金属材料及复合材料等。

某一种新材料的问世及其应用,往往会引起人类社会的重大变革。人们把人类历史分为石器时代、青铜器时代和铁器时代。在群居洞穴的猿人旧石器时代,通过简单加工获得石器帮助人类狩猎、护身和生存,随着对石器加工制作水平的提高,出现了原始手工业(如制陶和纺织),人们称之为新石器时代。青铜器时代源于4000~5000年前,青铜是铜、锡、铝等元素组成的合金,与纯铜相比,青铜熔点低,硬度高,比石器易制作且耐用。青铜器大大促进了农业和手工业的出现。铁器时代则被认为是始于2000多年前的春秋战国时代,由铁制作的农具、手工工具及各种兵器,得以广泛应用,大大促进了当时社会的发展。钢铁、水泥等材料的出现和广泛应用,使人类社会开始从农业和手工业社会进入工业社会。20世纪半导体硅、高集成芯片的出现和广泛应用,则把人类由工业社会推向信息和知识经济社会。

新材料既是当代高新技术的重要组成部分,又是发展高新技术的重要支柱和突破口。正是因为有了高强度的合金,新的能源材料及各种非金属材料,才会有航空和汽车工业;正是因为有了光纤,才会有今天的光纤通信;正是因为有了半导体工业化生产,才会有今天高速发展的计算机技术和信息技术。当今世界各国在高技术领域的竞争,在很大程度上是新材料水平的较量。图0-1所示为由于材料性能的改进而出现的一些造型优美的建筑结构。

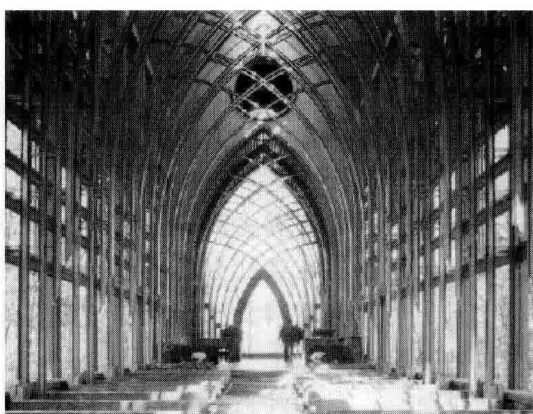
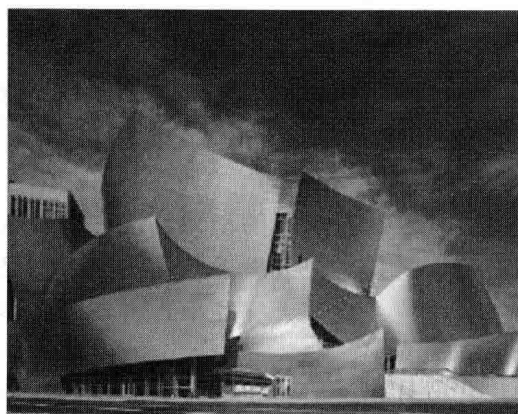


图0-1 现代建筑中的金属材料结构

新材料与现代科学技术特别是高技术是互相依存、互相促进的, 高技术的飞速发展对新材料提出了更高的要求。精密测试技术、电子显微技术、高速大容量计算技术等的发展, 为材料科学工作者提供了更有力的研究工具。

0.3 复合材料与工程



【复合材料与工程】

1. 复合材料与工程的由来

现代高科技的发展更紧密地依赖于新材料的发展, 同时也对材料提出了更高、更苛刻的要求。在现代高技术迅猛发展的今天, 特别是航空航天和海洋开发领域的发展, 使材料的使用环境更加恶劣, 因而对材料提出了越来越苛刻的要求。例如, 航天飞机等空间飞行器在飞行过程中要受到大气阻力、地球引力、太阳辐射力、空间热环境、太阳风、宇宙射线、宇宙尘埃、流星、磁矩等的作用。飞行器发动机还要受到其热环境、内流形成的气动力、结构振动、机件高速转动、液体晃动、振荡燃烧和纵向耦合振动等非正常破坏力的作用。同时由于飞行范围(M数、飞行高度)的扩大、发动机的推力、比推力及推重比大大提高, 导致了发动机压力比、涵道比、进口温度、燃烧室温度、转子转速等也日益提高。由此构成的力、热、化学和物理等效应的作用, 最终都要集中到构成飞行器和发动机结构的材料上, 因此对材料的质轻、高强、高韧、耐热、抗疲劳、抗氧化及抗腐蚀等特性也日益提出了更加苛刻的要求。又如, 现代武器系统的发展对新材料提出了如下要求: ①高比强度、高比模量; ②耐高温、抗氧化; ③防热、隔热; ④吸波、隐身; ⑤全天候; ⑥高抗破甲、抗穿甲性; ⑦减振、降噪, 稳定、隐蔽、高精度和命中率; ⑧抗激光、抗定向武器; ⑨多功能; ⑩高可靠性和低成本。

很明显, 传统的单一材料无法满足以上综合要求, 当前作为单一的金属、陶瓷、聚合物等材料虽然仍在日新异月地不断发展, 但是以上这些材料由于其各自固有的局限性而不能满足现代科学技术发展的需要。例如, 金属材料的强度、模量和高温性能等已几乎开发到了极限; 陶瓷的脆性、有机高分子材料的低模量、低熔点等固有的缺点极大地限制了其应用, 这些都促使人们研究开发并按预定性能设计新型材料。

复合材料, 特别是先进复合材料就是为了满足以上高技术发展的需求而开发的高性能的先进材料。它由两种或两种以上性质不同的材料组合而成, 各组分之间性能“取长补短”, 起到“协同作用”, 可以得到单一材料无法比拟的优秀的综合性能, 极大地满足了人类发展对新材料的需求。因此, 复合材料是应现代科学技术而发展出来的具有极强生命力的材料, 是现代科学技术不断进步的结果, 是材料设计的一个突破。图0-2所示为用3D打印技术制作的纤维增强复合材料。图0-3所示为用先进复合材料制成的各种体育用品。

2. 复合材料的发展过程

当前以信息、生命和材料三大学科为基础的新技术革命风涌兴起, 它将人类的物质文明推向一个新阶段。在新型材料研究、开发和应用, 在特种性能的充分发挥以



及传统材料的改性等诸多方面,材料科学都肩负着重要的历史使命。近 30 年来,科学技术迅速发展,特别是尖端科学技术的突飞猛进,对材料性能提出越来越高、越来越严和越来越多的要求。在许多方面,传统的单一材料已不能满足实际需要,这些都促进了人们对材料的研究逐步摆脱过去单纯靠经验的摸索方法,而向着按预定性能设计新材料的研究方向发展。

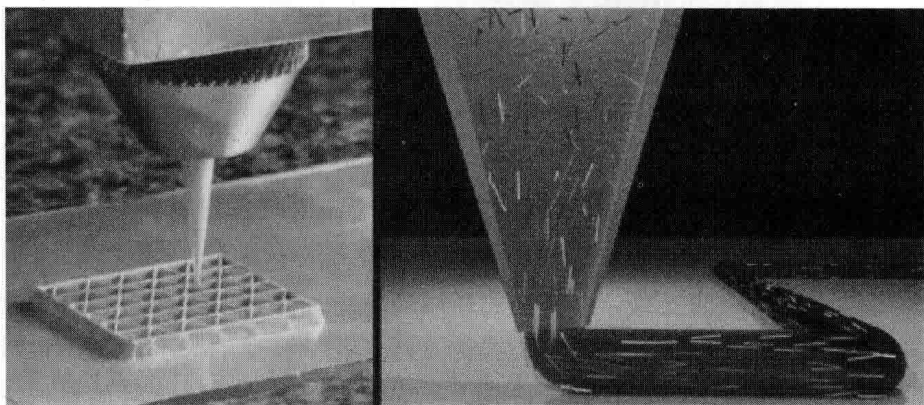


图 0-2 3D 打印技术制作的纤维增强复合材料

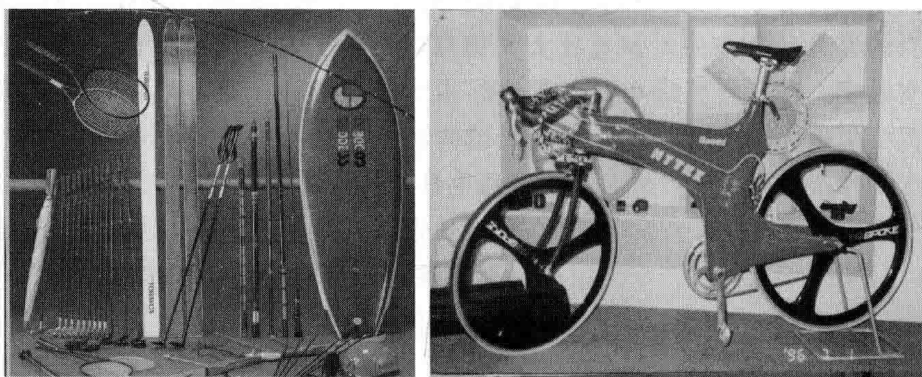


图 0-3 先进复合材料制成的各种体育用品

复合材料是一种多相材料,可由金属材料、无机非金属材料和高分子材料复合而成。这种材料既可以保持原组分材料的某些特征,又能通过复合效应而产生某些组分材料不具备的优良特性;它可以根据需要进行设计,从而更能合理地达到使用要求。

自然界中,许多天然材料都可以看作复合材料。例如,树木、竹子是由纤维素和木质素复合而成的,其中纤维素抗拉强度大,但刚性小,比较柔软,而木质素则把众多的纤维素黏结成刚性体;动物的骨骼是由硬而脆的磷酸盐和软而韧的蛋白质骨胶组成的复合材料。人类很早就效仿天然复合材料,在生活和生产中制成了初期的复合材料。早在公元前 2000 多年,中国的祖先曾采用黏性泥浆中加入稻草做成土坯来建造房子,这便是早期复合材料的应用实例之一。之后,伴随着人们对材料研究的不断深入和对材料性能要求的不断提高,近代复合材料应运而生。



【复合材料发展过程】

20 世纪 40 年代,玻璃纤维和合成树脂大量商品化生产以后,纤维复合材料发展成为具有工程意义的材料,同时相应地展开了与之有关的科研工作。至 20 世纪 60 年代,纤维复合材料在技术上臻

于成熟，在许多领域开始取代金属材料。

进入 20 世纪 60 年代末期，树脂基高性能复合材料已用于制造军用飞机的承力结构，近年来又进入其他工业领域。

20 世纪 70 年代末期发展的金属基复合材料由于具有优良导电性和导热性，高的强度和模量，低的密度、耐疲劳、耐磨损、高阻尼、不吸潮和膨胀系数低等特点，已经广泛用于航空航天等尖端技术领域。

20 世纪 80 年代开始逐渐发展陶瓷基复合材料，采用纤维补强陶瓷基体以提高韧性。

纵观复合材料发展过程，可以看出，早期发展出现的复合材料，由于性能相对较低，生产量大，使用面广，被称为常用复合材料。后来随着高技术发展的需要，在此基础上又发展出高性能的先进复合材料。

第 1 章

复合材料基本知识



教学要求

教 学 目 标	知 识 要 点
了解复合材料发展历史及国内发展概况	古代复合材料、现代复合材料
掌握复合材料的定义、特点	复合材料定义、特点
掌握复合材料的分类	增强材料形态、增强纤维类型、基体材料、材料作用
掌握不同基体复合材料的性能特点	金属基、聚合物基及陶瓷基复合材料的性能特点异同
了解复合材料设计基础	复合材料设计基础



引例

从 1996 年 11 月 20 日的“神舟一号”升空开始到 2008 年 9 月 25 日“神舟七号”上天，中国在十多年的时间里七次飞天，在飞船中运用了大量的复合材料，复合材料的采用为神舟号飞船减重 30%，不仅增加了有效载荷，并使飞船在空中承受激烈交变温度时保持了结构的稳定性，提高了推进系统的精度。

资料来源：<http://www.docin.com>

1.1 复合材料的发展概况

1.1.1

复合材料发展历史

人类在远古时代就从实践中认识到，可以根据用途需要，组合两种或多种材料，利用性能优势互补，制成原始的复合材料。所以复合材料既是一种新型材料，也是一种古老的

材料。复合材料的发展历史,从用途、构成、功能以及设计思想和发展研究等方面,大体上可分为古代复合材料和现代复合材料两个阶段。

1. 古代复合材料

在中国西安东郊半坡村仰韶文化遗址发现,早在公元前 2000 年以前,古代人已经用草茎增强土坯作住房墙体材料。中国沿用至今的漆器是用漆作基体,用麻绒或丝绢织物作增强体的复合材料,这种漆器早在 7000 年前的新石器时代即有萌芽。1957 年江苏吴江梅堰遗址出土的油漆彩绘陶器,1978 年浙江余姚河姆渡遗址出土的朱漆木碗,就是两件最早的漆器实物。史料记载,距今 4000 多年的尧舜夏禹时期已发明漆器,用作食品容器和祭品。湖南长沙马王堆汉墓出土的漆器鼎壶、盆具和茶几等,用漆作胶黏剂,丝麻作增强体。在湖北随县出土的 2000 多年前曾侯乙墓葬中,发现用于车战的长达 3m 多的戈戟和殳,用木芯外包纵向竹丝,以漆作胶黏剂,丝线环向缠绕,其设计思想与近代复合材料相仿。1000 多年以前,中国已用木料和牛角制弓,可在战车上发射。至元代,蒙古弓用木材作芯子、受拉面粘单向纤维,受压面粘牛角片,丝线缠绕,漆作黏合剂,弓轻巧有力,是古代复合材料制造水平高超的夹层结构。在金属基复合材料方面,中国也有高超的技艺。如越王剑,是金属包层复合材料制品,不仅光亮锋利,而且韧性和耐腐蚀性优异,埋藏在潮湿环境中几千年,出土后依然寒光夺目,锋利无比。5000 年以前,中东地区用芦苇增强沥青造船。在古埃及墓葬出土时,发现用名贵紫檀木在普通木材上装饰贴面的棺撑、家具。古埃及修建的金字塔,用石灰、火山灰等作黏合剂,混合砂石等作砌料,这是最早、最原始的颗粒增强复合材料。但是,上述辉煌的历史遗产,只是人类与自然界的斗争实践中不断改进而取得的,同时都是取材于天然材料,对复合材料还是处于不自觉的感性认识阶段。

2. 现代复合材料

20 世纪 40 年代,纤维复合材料成为早期发展出的现代复合材料,由于性能相对较低,生产量大,使用面广,被称为常用复合材料。后来随着高技术发展的需要,在此基础上又发展出性能高的先进复合材料。第一次世界大战前,用胶黏剂将云母片热压制成人造云母板。20 世纪初市场上有虫胶漆与纸复合制成的层压板出售。但真正的纤维增强复合塑料工业,是在用合成树脂替代天然树脂、用人造纤维替代天然纤维后才发展起来的。公元前,腓尼基人在火山口附近发现了纤维。1841 年,英国人制成了玻璃纤维拉丝机。第一次世界大战期间,德国以拖动脚踏车轮拉拔玻璃纤维丝。20 世纪 30 年代,美国发明了用铂坩埚生产连续玻璃纤维技术,从此在世界范围内开始大规模生产玻璃纤维,以其增强塑料制成复合材料。至 20 世纪 60 年代,在技术上趋于成熟,在许多领域开始取代金属材料。

(1) 常用树脂基复合材料的发展历史

1910 年制成酚醛树脂复合材料;1928 年制成脲醛树脂复合材料;1938 年制成三聚氰胺-甲醛树脂复合材料;1942 年制成聚酯树脂复合材料;1946 年制成环氧树脂复合材料、玻璃纤维增强尼龙;1951 年制成玻璃纤维增强聚苯乙烯;1956 年制成酚醛石棉耐磨复合材料。先进复合材料随着航空航天技术的发展,对结构材料要求比强度、比模量、韧性、耐热性、抗环境能力和加工性能都要好。



(2) 先进复合材料的发展历史

针对各种不同需求,出现了高性能树脂基先进复合材料,在性能上区别于一般低性能常用树脂基复合材料,之后又陆续出现金属基和陶瓷基先进复合材料。

① 树脂基先进复合材料。几种树脂基先进复合材料的制成年份依次排列如下:1964年制成碳纤维增强树脂基复合材料;1965年制成硼纤维增强树脂基复合材料;1969年制成碳/玻璃混杂纤维增强树脂基复合材料;1970年制成碳/芳纶混杂纤维增强树脂基复合材料。

② 金属基先进复合材料。20世纪70年代末期发展出来用高强度、高模量的耐热纤维与金属复合,特别是与轻金属复合而成金属基复合材料,克服了树脂基复合材料耐热性差和不导电、导热性低等不足。金属基复合材料由于金属基体的优良导电性和导热性,加上纤维增强体,不仅提高了材料的强度和模量,而且降低了密度。此外,这种材料还具有耐疲劳、耐磨耗、高阻尼、不吸潮、不放气和低膨胀系数等特点,已经广泛应用于航空航天等尖端技术领域作为理想的结构材料。金属基复合材料有纤维增强和颗粒增强两大类。纤维(包括连续、短纤维和晶须)增强金属基复合材料的综合性能较好,但工艺复杂、成本高。颗粒增强金属基复合材料可以用于一般的金属加工工艺和设备生产各种型材,已经规模化生产。

③ 碳/碳复合材料。20世纪60年代用碳纤维或石墨纤维作为增强体,用碳化或石墨化的树脂浸渍,或用化学气相沉积碳作为基体,制成碳/碳复合材料。20世纪70年代初,主要用于制造导弹尖锥、发动机喷管以及航天飞机机翼的前缘部件等。这种材料能在高温(可达 2700°C)下仍保持其强度、模量、耐烧蚀性,而且现在正在设法拓宽民用领域。

④ 陶瓷基先进复合材料。20世纪80年代开始逐渐发展陶瓷基复合材料,采用纤维补强陶瓷基体以提高韧性。主要目标是希望用以制造燃气涡轮叶片和其他耐热部件,但仍在发展中。

1.1.2

国内复合材料的发展概况

复合材料发展至今,在航空航天、军事、汽车、船舶和建筑等领域所占的比重越来越大。我国复合材料发展潜力很大,但需处理好以下热点问题。

1. 复合材料创新

复合材料创新包括复合材料的技术发展、复合材料的工艺发展、复合材料的产品发展和复合材料的应用,具体要抓住树脂基体发展创新、增强体发展创新、生产工艺发展创新和产品应用创新。到2007年,亚洲占世界复合材料总销售量比例从18%增加到25%,目前亚洲人均消费量仅 0.29kg ,而美国为 6.8kg ,亚洲地区具有极大的增长潜力。

2. 聚丙烯腈基纤维发展

我国碳纤维工业发展缓慢,从碳纤维发展回顾和特点、国内碳纤维发展过程、中国聚丙烯腈碳纤维市场概况和特点、“十五”“十一五”科技攻关情况看,发展聚丙烯腈碳纤维既有需要也有可能。

3. 玻璃纤维结构调整

我国玻璃纤维 70% 以上用于增强基材, 在国际市场上具有成本优势, 但在品种规模和质量上与先进国家尚有差距, 必须改进和发展纱类、机织物、无纺毡、编织物、缝编织物、复合毡, 推进玻璃纤维和玻璃钢两行业密切合作, 促进玻璃纤维增强材料的新发展。

4. 开发能源、交通用复合材料

一是清洁、可再生能源用复合材料, 包括风力发电用复合材料, 烟气脱硫装置用复合材料, 输变电设备用复合材料和天然气、氢气高压容器; 二是汽车、城市轨道交通用复合材料, 包括汽车车身、构架和车外覆盖物, 轨道交通车体、车门、座椅、电缆槽、电缆架、格栅、电器箱等; 三是民航客机用复合材料, 主要为碳纤维复合材料。热塑性复合材料约占 10%, 主要产品为机翼部件、垂直尾翼、机头罩等。我国在 2010—2030 年间需要新增支线飞机 600 余架, 将形成民航客机的大产业, 复合材料可建成新产业与之相配套; 四是船艇用复合材料, 主要为游艇和渔船, 游艇作为高级娱乐耐用消费品在欧美有很大市场, 由于我国鱼类资源的减少, 渔船虽发展缓慢, 但复合材料特有的优点仍有发展的空间。

5. 纤维复合材料基础设施应用

国内外复合材料在桥梁、房屋、道路中的基础应用广泛, 与传统材料相比有很多优点, 特别是在桥梁上和在房屋补强、隧道工程以及大型储仓修补和加固中市场广阔。

6. 复合材料综合处理与再生

重点发展物理回收(粉碎回收)、化学回收(热裂解)和能量回收, 加强技术路线、综合处理技术研究, 示范生产线建设, 再生利用研究, 大力拓展再生利用材料在工业中的应用、在拉挤制品中的应用以及在 SMC/BMC(片状模压材料/团状模压材料)制品中的应用和典型产品中的应用。

21 世纪的高性能树脂基复合材料技术是赋予复合材料自修复性、自分解性、自诊断性、自制功能等为一体的智能化材料。以开发高刚度、高强度、高湿热环境下使用的复合材料为基本目的, 构筑材料、成型加工、设计、检查一体化的材料系统。组织系统上将是联盟和集团化, 这将更充分地利用各方面的资源(技术资源、物质资源), 紧密联系各方面的优势, 以推动复合材料工业的进一步发展。

1.2 复合材料的定义和特点

1.2.1

复合材料的定义

根据国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)为复合材料所下的定义, 复合材料是由两种或两种以上物理、化学性质不同的物质组合而成的一种多相固体的材料。复合材料的组分虽然保持其相对独立的性能, 却不是其组分材料性能



的简单加和,而是有着重要的改进。在复合材料中,通常有一相为连续相,称为基体;另一相为分散相,称为增强材料。分散相是以独立的形态分布在连续相中的,两相之间存在相界面。分散相可以是增强纤维,也可以是颗粒状或弥散的填料。

F. L. Matthews 和 R. D. Rawlings 认为复合材料是两个或两个以上组元或相组成的混合物,并应满足下面三个条件:①组元含量大于 5%;②复合材料的性能显著不同于各组元的性能;③通过各种方法混合而成。

《材料科学技术百科全书》中将复合材料定义如下。

复合材料是由有机高分子、无机非金属或金属等几类不同材料通过复合工艺组合而成的新型材料。它与一般材料的简单混合有本质区别,既保留原组成材料的重要特色,又通过复合效应获得原组分所不具备的性能,可以通过材料设计使原组分的性能相互补充并彼此关联,从而获得更优越的性能。复合材料将由宏观复合形式向微观(细观)复合形式发展,包括原位生长复合材料、纳米复合材料和分子复合材料等。

从上述的定义中可以得出,复合材料可以是一个连续的基体相与一个连续分散相的复合,也可以是两个或者多个的连续相与一个或多个分散相在连续相中的复合,复合后的产物为固体时才称为复合材料,若复合产物为液体或气体时就不能称为复合材料。复合材料既可以保持原材料的某些特点,又能发挥组合后的新特性,它可以根据需要进行设计,从而最合理地达到使用时所要求的性能。

由于复合材料各组分之间“取长补短”“协同作用”,极大地弥补了单一材料的缺点,能产生单一材料所不具备的新性能,复合材料的出现和发展,是现代科学技术不断进步的结果,也是材料设计方面的一个突破。复合材料综合了各种材料如纤维、树脂、橡胶、金属、陶瓷等的优点,按需要设计、复合成为综合性能优异的新型材料。

1.2.2

复合材料的特点

根据复合材料的定义,复合材料由多相材料复合而成,其特点如下。

(1) 可综合发挥各组成材料的优点,使复合后的材料具有多种性能,具有天然材料所没有的性能。例如,玻璃纤维增强环氧树脂基复合材料,既具有类似钢材的强度,又具有塑料的介电性能和耐腐蚀性能。

(2) 可按对材料性能的需要进行材料的设计和制造。例如,针对方向性材料的强度的设计,针对某种介质耐腐蚀性能的设计等。性能的可设计性是复合材料的最大特点。影响复合材料性能的因素很多,主要取决于增强材料的性能、含量及分布状况,基体材料的性能、含量以及它们之间的界面结合情况,作为产品还与成型工艺和结构设计有关。因此,不论哪一类复合材料,就是同一类复合材料性能也不是一个定值。

(3) 可制成所需的任意形状的产品,可避免多次加工工序。例如,可避免金属产品的铸模、切削、磨光等工序。



【复合材料的应用】

1.2.3

复合材料的应用

由于复合材料具有质量轻、强度高、加工成型方便、弹性优良、耐化学腐蚀性和耐候性好等特点,已逐步取代木材、纯金属及合金,广泛地应用于航空航天、汽车、电子电气、建筑、健身器材等领域,

在近几年更是得到了飞速发展。

随着科技的发展，树脂与玻璃纤维技术不断进步，生产厂家的制造能力普遍提高，使得玻璃纤维增强复合材料的价格成本已被许多行业接受，但玻璃纤维增强复合材料的强度尚不足以与金属匹敌。因此，碳纤维、硼纤维等增强复合材料相继问世，使高分子复合材料家族更加完备，已经成为众多产业的必备材料。目前全世界复合材料的年产量已达 550 多万吨，年产值达 1300 亿美元以上，若将欧美的军事、航空航天的高价值产品计入，其产值将更为惊人。从全球范围看，世界复合材料的生产主要集中在欧美和东亚地区。近几年欧美复合材料产需均持续增长，而亚洲的日本则因经济不景气，发展较为缓慢，但中国尤其是中国内地市场占有率约为 32%，年产量约 $200 \times 10^4 \text{t}$ (万吨)。与此同时，美国复合材料在 20 世纪 90 年代年均增长率约为美国 GDP 增长率的两倍，达到 4%~6%。2000 年，美国复合材料的年产量达 $170 \times 10^4 \text{t}$ 左右。特别是汽车用复合材料的迅速增加使得美国汽车在全球市场上重新崛起。亚洲近几年复合材料的发展情况与政治经济的整体变化密切相关，各国的占有率变化很大。总体而言，亚洲的复合材料仍将增长，2000 年的总产量约为 $145 \times 10^4 \text{t}$ ，2005 年总产量达 $180 \times 10^4 \text{t}$ 。

从应用上看，复合材料在美国和欧洲主要用于航空航天、汽车等行业。2000 年美国汽车零件的复合材料用量达 $14.8 \times 10^4 \text{t}$ ，欧洲汽车复合材料的用量到 2003 年达到 $10.5 \times 10^4 \text{t}$ 。而在日本，复合材料主要用于住宅建设，如卫浴设备等，此类产品在 2000 年达 $7.5 \times 10^4 \text{t}$ ，汽车等领域的用量仅为 $2.4 \times 10^4 \text{t}$ 。不过从全球范围看，汽车工业是复合材料最大的用户，今后发展潜力仍十分巨大，目前还有许多新技术正在开发中。例如，为降低发动机噪声，增加乘用车的舒适性，正着力开发两层冷轧板间黏附热塑性树脂的减振钢板；为满足发动机向高速、高压、高负荷方向的发展要求，发动机活塞、连杆、轴瓦已开始应用金属基复合材料。为满足汽车轻量化要求，必将会有越来越多的新型复合材料被应用到汽车制造业中。图 1-1 为汽车用复合材料零部件用量的变化情况，图 1-2 为 2012 年汽车制造过程中各种材料的使用情况。

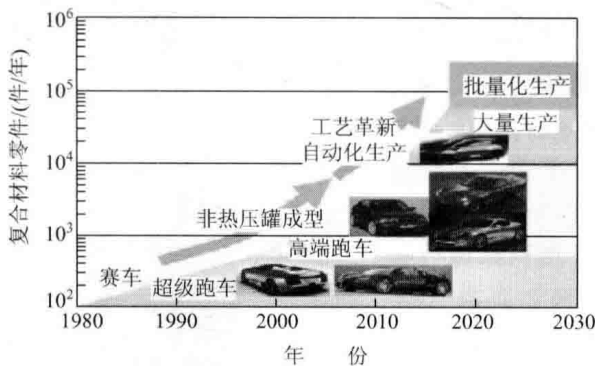


图 1-1 汽车用复合材料零部件用量的变化

与此同时，随着近年来人们对环保问题的日益重视，高分子复合材料取代木材方面的应用也得到了进一步的推广。例如，用植物纤维与废塑料加工而成的复合材料，在北美已被大量用作托盘和包装箱，用以替代木制产品；而可降解复合材料也成为国内外开发研究的重点。