



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

先进树脂基复合材料

黄发荣 周燕 等编著



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

先进树脂基复合材料

黄发荣 周 燕 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统阐述了先进树脂基复合材料涉及的树脂基体、增强纤维和成型工艺三大部分内容。全书共分五篇共三十七章。教材中首先概述了先进树脂基复合材料的基本原理、特性和应用；其次重点论述了先进树脂基复合材料的各种树脂基体（包括热固性和热塑性树脂），涉及树脂的发展、树脂的合成、性能及应用情况，其中还融合了先进树脂基体方面的一些科研工作，如双马来酰亚胺树脂、含硅芳炔树脂和聚三唑树脂等；第三，叙述了先进树脂基复合材料的增强纤维，涉及有机纤维、无机纤维和晶须的制备、特性及应用；第四，介绍了先进树脂基复合材料常用的成型工艺方法，涉及热压罐成型、RTM成型、GMT成型等；最后讨论了先进复合材料的展望。

本书可作为高等院校高分子材料、材料学及相近专业学生的教材，也可作为专业人员的参考用书。

树脂基复合材料

黄发荣 周燕 著

图书在版编目 (CIP) 数据

先进树脂基复合材料/黄发荣, 周燕等编著. —北京: 化学工业出版社, 2008. 1

ISBN 978-7-122-01675-1

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

I. 先… II. ①黄…②周… III. 树脂-纤维增强复合材料
IV. TB332

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 192844 号

责任编辑: 杨 菁

文字编辑: 林 丹

责任校对: 徐贞珍

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 26½ 字数 703 千字 2008 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: 45.00 元

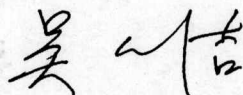
版权所有 违者必究

序

当今材料日新月异、千变万化、多姿多态，21世纪将是一个新材料时代，它的快速进展将会把人类物质文明推向更新的阶段。材料、能源、信息和生物技术是现代科技的四大支柱，现代高科技的发展与材料的发展密切相关，同时也对材料提出了更高、更苛刻的要求，传统的单一材料已无法满足这些要求，材料的复合化是解决该问题的重要途径之一。事实上复合材料已成为继金属、陶瓷、聚合物之后的第四大材料，尤其是先进复合材料已作为关键材料在国防和国民经济建设中起重要作用。

编著者在积累多年复合材料课程教学内容和教学经验的基础上，收集了国内外有关该领域最新的专著、文献技术资料，结合先进树脂基复合材料科研的最新进展，编写了《先进树脂基复合材料》教材。教材从先进复合材料的基本原理出发，在重点论述复合材料两大组成即树脂基体和增强材料之后，着重叙述了先进树脂基复合材料的成型加工，最后讨论了复合材料的展望。难能可贵的是在本教材中融合了自己在先进树脂基复合材料方面的科研工作和最新研究成果。此外，本书在侧重介绍先进复合材料基础知识的同时，力求反映先进树脂基复合材料领域的最新进展，从理论到实践，力求深入浅出，顾及全面，既适合本科生教学，又可作为研究生教材或专业人员参考用书。

《先进树脂基复合材料》作为复合材料的专业教材之一，出版后当有助于复合材料专业教学和人才培养，有助于复合材料特别是先进树脂基复合材料的研究与开发，有助于复合材料更广泛地走向应用，最终将促进或推动复合材料学科的发展和科研水平的提高。



于上海交通大学

2007年10月12日

前 言

复合材料是指两种或两种以上物理或化学性质不同的物质组合而成的一种多相固体物质。所谓先进复合材料是指具有高比强度、高比刚度、高耐热性和高抗氧化性，同时还具有高抗疲劳性、耐摩擦磨损性、耐化学腐蚀性、高尺寸稳定性等特性的复合材料。材料是人类社会进步的物质基础，是人类文明程度的象征。社会的发展始终与材料密切相关，石器时代、青铜器时代、铁器时代等就以材料名称来划分，现代高科技的发展更紧密地依赖于材料的发展。材料、能源、信息和生物技术已成为现代科技的四大支柱，同时现代高科技又对材料提出了更高、更苛刻的要求。作为单一的金属、陶瓷、聚合物等材料虽然仍在不断地快速发展，但是这些单一传统的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，材料的复合化、功能化、智能化、生态化已成为材料发展的必然趋势。复合材料特别是先进复合材料就是应现代科学技术的需求而发展起来的具有强大生命力的材料。作为材料的后起之秀，先进树脂基复合材料已成为航天航空工业等高新技术领域的关键材料。

几千年前人类就已经用稻草加黏土制作建筑复合材料，当今水泥基复合材料已广泛地应用于高楼大厦、河堤大坝、桥梁道路等建筑，发挥着极为重要的作用。20世纪40年代，美国用碎布与酚醛树脂制备枪托并代替木材，后来发展为现代广泛应用的玻璃纤维增强塑料即纤维增强复合材料，如今已进一步发展成为高性能碳纤维、陶瓷纤维、晶须增强的复合材料，并由树脂基复合材料扩展到金属基复合材料和陶瓷基复合材料。其中先进树脂基复合材料是复合材料的极为重要的组成部分。

《先进树脂基复合材料》作为复合材料的专业的教材之一，其诞生无论对复合材料专业学生的教育和人才培养，还是对复合材料的研究与开发和应用，甚至对复合材料的可持续发展都将起到一定的推动作用。

本书列入国家高等教育“十一五”国家级规划教材。编著者在积累多年《先进树脂基复合材料》课程教学内容和教学体会的基础上，收集和参阅了国内外大量有关该领域最新的专著、文献技术资料，结合先进树脂基复合材料科研的最新研究和进展，同时融合编著者自己从事先进树脂基复合材料科研的一些工作和研究成果，进行了编写。本教材在介绍先进复合材料的基本知识的基础上，力求反映先进树脂基复合材料领域的最新发展。

此书内容分为五部分：第一部分，概述了先进复合材料的发展、概念、特性、制造和应用；第二部分，详细阐述了各种先进树脂基复合材料的树脂基体，涉及树脂的发展、合成或制备、结构与性能、应用及发展；第三部分，比较详细地叙述了先进树脂基复合材料的增强材料，内容包括增强材料的制备、性能、应用与发展；第四部分，简单地介绍了先进树脂基复合材料的多种成型工艺，涉及热压罐成型、缠绕、拉挤、树脂传递模塑、模压等；第五部分，简略讨论了先进树脂基复合材料的发展和未来，其中重点介绍了树脂基纳米复合材料。

本书章节撰写情况如下：第一篇、第五篇由黄发荣、周燕同志编写；第二篇第二、十一、十二章，第三篇第十六、十七、十九、二十、二十一、二十二章，第四篇第二十六章由周燕同志编写；第二篇第三、四、十三章由邓诗峰同志编写；第二篇第五章由黄福伟同志编写；第二篇第六、八、十四、十五章由齐会民同志编写；第二篇第七章由张健同志编写；第

二篇第九章由沈学宁同志编写；第二篇第十章，第四篇第二十九、三十四章由扈艳红同志编写；第三篇第十八章，第四篇第二十七、二十八、三十、三十三章由万里强同志编写；第三篇第二十三、二十四、二十五章由李欣欣同志编写；第四篇第三十一章由周晓东同志编写；第四篇第三十二章由黄健翔同志编写；第四篇第三十五章由邓诗峰、周燕同志编写；全书由黄发荣同志负责审阅和周燕同志负责校改。

本书适合作为复合材料和高分子材料专业的本科生、研究生的教材用书，可供从事复合材料专业的工作人员参考，也可作为在相关领域从事材料生产、科研的同志的参考用书。

本书的编写和出版得到学校、教育部有关部门领导的关心和大力支持，同时承蒙化学工业出版社编辑的热心帮助和积极配合，编著者在此一并致以深深的谢意！最后编著者在此对编写过程中给予支持和帮助的老师、同事们及家人们表示衷心的感谢！

由于时间仓促和水平有限，书中肯定有许多不足之处或不妥之处，恳请读者批评并不吝指正。

编著者于上海

2007年8月

目 录

第一篇 绪 论	
第一章 先进树脂基复合材料的特性、制备与应用	2
第一节 复合材料的定义、分类.....	5
第二节 复合材料的特性、制造与应用.....	5
参考文献.....	12
习题和思考题.....	12
第二篇 高性能树脂基体	
第二章 概述	14
第一节 高性能树脂简介.....	14
第二节 高性能树脂性能的影响因素.....	16
参考文献.....	22
习题和思考题.....	23
第三章 酚醛树脂	24
第一节 酚醛树脂的合成.....	26
第二节 酚醛树脂的性能.....	32
第三节 酚醛树脂的应用.....	36
第四节 酚醛树脂的最新发展.....	38
参考文献.....	40
习题和思考题.....	40
第四章 环氧树脂	41
第一节 环氧树脂的合成.....	41
第二节 环氧树脂的固化反应.....	43
第三节 环氧树脂的性能.....	46
第四节 环氧树脂的应用.....	47
参考文献.....	48
习题和思考题.....	48
第五章 双马来酰亚胺树脂	49
第一节 双马来酰亚胺树脂的合成与改性.....	49
第二节 双马来酰亚胺树脂的性能.....	56
第三节 双马来酰亚胺树脂的应用.....	61
第四节 双马来酰亚胺树脂的发展趋势及前景.....	61
参考文献.....	63
习题和思考题.....	65

第六章 降冰片烯酸酐封端的聚酰亚胺树脂	66
第一节 PMR 聚酰亚胺树脂的合成	68
第二节 PMR 聚酰亚胺树脂的性能	69
第三节 PMR 聚酰亚胺树脂的应用	75
第四节 PMR 聚酰亚胺树脂的发展趋势与前景	76
参考文献	78
习题和思考题	79
第七章 含炔基树脂	80
第一节 聚芳基乙炔树脂	80
第二节 含硅芳炔树脂	85
第三节 炔基聚酰亚胺	90
第四节 其他炔基树脂	94
参考文献	100
习题和思考题	102
第八章 氰酸酯树脂	103
第一节 氰酸酯树脂单体的合成	105
第二节 氰酸酯树脂的性能	106
第三节 氰酸酯树脂的应用	113
第四节 氰酸酯树脂的发展趋势与前景	114
参考文献	118
习题和思考题	119
第九章 苯并环丁烯树脂	120
第一节 苯并环丁烯树脂的合成	121
第二节 苯并环丁烯树脂的性能	127
第三节 苯并环丁烯树脂的应用	131
参考文献	134
习题和思考题	136
第十章 聚三唑树脂	137
第一节 聚三唑树脂的合成原理	138
第二节 聚三唑树脂的原料及特征	138
第三节 聚三唑树脂的制备与性能	139
第四节 聚三唑树脂的应用及发展趋势	145
参考文献	146
习题和思考题	146
第十一章 聚砒树脂	147
第一节 聚砒树脂的合成	147
第二节 聚砒树脂的性能	149
第三节 聚砒树脂的应用和发展前景	153
参考文献	154
习题和思考题	154
第十二章 聚苯硫醚树脂	155
第一节 聚苯硫醚树脂的合成	156
第二节 聚苯硫醚树脂及其复合材料的性能	156

第三节	聚苯硫醚树脂的应用	161
第四节	聚苯硫醚树脂的发展前景	163
	参考文献	166
	习题和思考题	166
第十三章	聚醚醚酮树脂	167
第一节	聚醚醚酮树脂的合成	167
第二节	聚醚醚酮树脂的性能	168
第三节	聚醚醚酮树脂的成型加工	170
第四节	聚醚醚酮树脂的应用	171
	参考文献	172
	习题和思考题	173
第十四章	聚苯并咪唑树脂	174
第一节	聚苯并咪唑树脂的合成	174
第二节	聚苯并咪唑树脂的性能	176
第三节	聚苯并咪唑树脂的应用	180
	参考文献	180
	习题和思考题	181
第十五章	聚醚酰亚胺树脂	182
第一节	聚醚酰亚胺树脂的合成	183
第二节	聚醚酰亚胺树脂的性能	184
第三节	聚醚酰亚胺树脂的应用	187
第四节	聚醚酰亚胺的发展趋势与前景	187
	参考文献	188
	习题和思考题	189

第三篇 高性能增强材料

第十六章	概述	192
第一节	增强材料的分类与性能	192
第二节	增强材料的形式	195
	参考文献	197
	习题和思考题	198
第十七章	玻璃纤维	199
第一节	玻璃纤维的分类	199
第二节	玻璃纤维的结构和化学组成	200
第三节	玻璃纤维的生产工艺	201
第四节	玻璃纤维的性能	202
第五节	玻璃纤维的应用与发展	203
	参考文献	206
	习题和思考题	206
第十八章	碳纤维	207
第一节	碳纤维的制备与性能	208
第二节	碳纤维的表面结构与性能	225
第三节	碳纤维的生产、应用及发展	232

参考文献	236
习题和思考题	236
第十九章 硅系纤维	237
第一节 碳化硅纤维	237
第二节 碳化硅晶须	241
第三节 Si-M-C-O 系列纤维	242
参考文献	244
习题和思考题	244
第二十章 氧化铝纤维	245
第一节 氧化铝纤维的制备	245
第二节 氧化铝纤维的性能	247
第三节 氧化铝纤维的应用与发展	248
参考文献	249
习题和思考题	249
第二十一章 含硼纤维	250
第一节 硼纤维	250
第二节 氮化硼纤维	253
参考文献	253
习题和思考题	254
第二十二章 晶须	255
第一节 硼酸铝晶须	255
第二节 钛酸钾晶须	256
第三节 氧化锌晶须	257
第四节 碳晶须	257
第五节 磷酸钙晶须	258
参考文献	258
习题和思考题	259
第二十三章 芳香族聚酰胺纤维	260
第一节 对苯二甲酰对苯二胺纤维(对位芳纶)的制备	261
第二节 对位芳纶纤维的结构与性能	266
第三节 对位芳纶纤维的应用	268
第四节 芳纶纤维的发展	269
参考文献	271
习题和思考题	271
第二十四章 聚亚苯基苯并二噁唑(PBO)纤维	272
第一节 PBO 纤维的单体合成、聚合和纺丝制备	273
第二节 PBO 的结构与性能	276
第三节 PBO 纤维的应用和发展	280
参考文献	282
习题和思考题	282
第二十五章 超高分子量聚乙烯纤维	283
第一节 UHMW-PE 纤维的制备	283
第二节 UHMW-PE 纤维的性能	287

第三节 UHMW-PE 纤维的应用与发展	289
参考文献	291
习题和思考题	291
第四篇 先进树脂基复合材料的成型工艺	
第二十六章 概述	294
第一节 树脂基复合材料的成型工艺流程	294
第二节 树脂基复合材料的成型工艺特点	294
第三节 复合材料成型工艺的分类	296
第四节 复合材料成型工艺的选择	297
参考文献	299
习题和思考题	299
第二十七章 热压罐成型	300
第一节 热压罐成型的原理	300
第二节 热压罐成型的原材料	300
第三节 热压罐成型工艺与设备	301
第四节 热压罐成型的主要优缺点	309
第五节 热压罐成型的应用	309
参考文献	310
习题和思考题	310
第二十八章 缠绕成型	311
第一节 缠绕成型工艺原理	311
第二节 缠绕工艺原材料与设备	312
第三节 缠绕成型工艺	317
第四节 缠绕成型的优缺点	318
第五节 缠绕成型的应用	319
参考文献	319
习题和思考题	320
第二十九章 树脂传递模塑 (RTM) 成型	321
第一节 RTM 的成型原理	321
第二节 原料与设备	322
第三节 RTM 的操作步骤	328
第四节 RTM 成型的优缺点	332
第五节 RTM 成型的应用和发展	333
参考文献	337
习题和思考题	338
第三十章 拉挤成型	339
第一节 拉挤工艺原理	339
第二节 拉挤成型原材料	339
第三节 拉挤设备与工艺	342
第四节 拉挤成型工艺的优缺点	347
第五节 拉挤复合材料的应用	347
参考文献	348

习题和思考题	348
第三十一章 玻璃纤维毡增强热塑性树脂复合材料 (GMT) 的成型	349
第一节 GMT 材料的性能特点	349
第二节 制备 GMT 材料的主要原料	350
第三节 GMT 片状模塑料的制备	353
第四节 GMT 材料制品的制造	355
第五节 GMT 材料的回收利用	361
第六节 GMT 材料的应用及发展	361
参考文献	363
习题和思考题	364
第三十二章 模压成型	365
第一节 模压用原材料、设备和模压料的制备	365
第二节 模压成型的特点	366
第三节 模压工艺	366
参考文献	369
习题和思考题	369
第三十三章 手糊成型	370
第一节 手糊成型原理	370
第二节 手糊成型工艺原材料	370
第三节 手糊成型的工艺	371
第四节 手糊成型工艺的优缺点	373
第五节 手糊成型的应用	374
参考文献	374
习题和思考题	375
第三十四章 喷射成型	376
第一节 喷射成型原理	376
第二节 原料与设备	376
第三节 喷射成型工艺	378
第四节 喷射成型的优缺点	380
第五节 喷射成型的应用和发展	380
参考文献	381
习题和思考题	382
第三十五章 其他成型工艺	383
第一节 注射模压成型	383
第二节 结构反应注射成型	384
第三节 隔膜成型	386
第四节 其他成型工艺	387
参考文献	387
习题和思考题	387
第五篇 先进树脂基复合材料的展望	
第三十六章 先进树脂基复合材料的发展与未来	390
第一节 对先进树脂基复合材料的期望	390

第二节 先进树脂基复合材料的发展与未来·····	390
参考文献·····	397
习题和思考题·····	398
第三十七章 树脂基纳米复合材料·····	399
第一节 树脂基纳米复合材料定义及特点·····	399
第二节 树脂基纳米复合材料的制备方法·····	399
第三节 树脂基纳米复合材料的制备·····	401
参考文献·····	408
习题和思考题·····	409

第一章 关于合金材料的应用

目前，我国合金材料的生产量已占金属材料总产量的百分之二十左右。合金材料的应用，不仅提高了机械零件的使用寿命，而且减轻了重量，节省了材料。合金材料的应用，是材料科学的一项重要成就。合金材料的应用，是材料科学的一项重要成就。合金材料的应用，是材料科学的一项重要成就。

绪论

材料名称	化学成分	力学性能	物理性能	化学性能	应用范围
合金钢	Fe-C	强度高	韧性好	耐腐蚀	机械零件
铝合金	Al-Cu	重量轻	强度高	耐腐蚀	航空材料
钛合金	Ti-Al	强度高	耐腐蚀	耐高温	航空航天
铜合金	Cu-Zn	导电好	导热好	耐腐蚀	电气材料
镍合金	Ni-Cr	耐高温	耐腐蚀	强度高	核反应堆
不锈钢	Fe-Cr-Ni	耐腐蚀	强度高	耐高温	化工设备
耐热钢	Fe-Cr	耐高温	强度高	耐腐蚀	发动机零件
耐磨钢	Fe-Mn	耐磨性好	强度高	耐腐蚀	矿山机械
低温钢	Fe-Ni	低温韧性好	强度高	耐腐蚀	液化天然气
超导合金	Fe-Bi	超导性好	强度高	耐腐蚀	超导磁体
形状记忆合金	Ni-Ti	形状记忆	强度高	耐腐蚀	医疗器械
非晶合金	Fe-B	强度高	耐腐蚀	耐高温	变压器铁芯
金属陶瓷	AlN	硬度高	耐腐蚀	耐高温	切削刀具
陶瓷	Al ₂ O ₃	硬度高	耐腐蚀	耐高温	绝缘材料
塑料	PE	重量轻	强度高	耐腐蚀	包装材料
橡胶	NR	弹性好	强度高	耐腐蚀	密封材料
纤维	CFRP	强度高	重量轻	耐腐蚀	航空航天
复合材料	Kevlar	强度高	重量轻	耐腐蚀	航空航天

合金材料

合金材料的应用，是材料科学的一项重要成就。合金材料的应用，是材料科学的一项重要成就。合金材料的应用，是材料科学的一项重要成就。合金材料的应用，是材料科学的一项重要成就。合金材料的应用，是材料科学的一项重要成就。

第一章 先进树脂基复合材料的特性、制备与应用

目前,有 50000 多种材料可供工程选择并使用,这些材料涉及从几百年前就可获得的材料如铜、铁、青铜等,到最新发展起来的先进材料如复合材料、陶瓷材料和高性能钢。因此对材料工程师来说面临着巨大的挑战:①如何正确选择材料和制造过程?②如何实现材料的有效使用?为了应对挑战,科学工作者首先要了解材料的特征。

材料按其特性可分为四大类,即金属材料、聚合物材料、无机非金属材料 and 复合材料,每一类材料均含有许多种材料,且性能范围广,表 1-1 列出了一些材料的性能。

表 1-1 一些典型工程材料的性能

材 料	密度 ρ /(g/cm ³)	拉伸强度 σ /GPa	拉伸模量 E/GPa	比强度 σ/ρ /(MJ/kg)	比模量 E/ ρ /(MJ/kg)	最高使用 温度/°C
金属						
铁(20号)	7.0	0.14	100	0.02	14.3	230~300
钢(AISI 1045)	7.8	0.57	205	0.073	26.3	500~650
铝(2024-T4)	2.7	0.45	73	0.17	27.0	150~250
铝(6061-T6)	2.7	0.27	69	0.10	25.5	150~250
聚合物						
尼龙 66	1.15	0.082	2.9	0.071	2.52	75~100
聚丙烯	0.90	0.033	1.4	0.037	1.55	50~80
环氧树脂	1.25	0.069	3.5	0.055	2.80	80~215
酚醛树脂	1.35	0.006	3.0	0.004	2.22	70~120
陶瓷及玻璃						
氧化铝	3.8	0.17	350	0.045	92.1	1425~1540
氧化镁	3.6	0.06	205	0.017	56.9	900~1000
石英玻璃	2.2	1.5	73	0.682	33.2	1100~1200
短纤维复合材料						
玻璃纤维填充环氧(35%)	1.90	0.30	25	0.16	8.26	80~200
玻璃纤维填充聚酯(35%)	2.00	0.13	15.7	0.065	7.25	80~125
玻璃纤维填充尼龙(35%)	1.62	0.20	14.5	0.12	8.95	75~110
玻璃纤维填充尼龙(60%)	1.95	0.29	21.8	0.149	11.18	75~110
单向纤维复合材料						
S-玻璃纤维/环氧(45%)	1.81	0.87	39.5	0.48	21.8	80~215
碳纤维/环氧(61%)	1.59	1.73	142	1.08	89.3	80~215
Kevlar/环氧(53%)	1.35	1.10	63.6	0.81	47.1	80~215

一、金属材料

金属材料具有悠久的历史,其制造已有成熟的工艺技术,产品设计和加工均有完整的数据可参考,从而在结构应用上占有绝对的优势,是应用最广、应用量最大的材料。主要的金属材料有铁、铝、铜、镁、锌、铅、镍和钛。随着合金的出现,合金材料成为结构应用主体。合金常通过混合不同物质或金属或非金属元素来获得,合金通常比纯金属具有更好的性能,如铸铁容易生锈被腐蚀、性脆,但通过加入小于 1% 碳,韧性大大提高;通过加入铬,其耐腐蚀性大大改善。有了合金这一重要概念,成千上万种合金就产生了。除铝、镁和钛的

密度与塑料接近外,绝大多数金属的密度比塑料和复合材料大得多,如钢的密度是塑料的4~7倍。金属具有高的坚硬性、强度、热稳定性、导热和导电性。相比之下,塑料的耐热性不及金属,因此金属可在较高温度的场合使用。

二、聚合物材料

聚合物材料主要分为塑料、树脂、橡胶、纤维等。塑料是20世纪50年代迅速发展起来的材料,在过去几十年中已成为普遍使用的工程材料,在过去5年中,塑料的产量已超过钢产量(体积),广泛用作航空航天部件、汽车部件、化工部件和日用品等。塑料可分为通用塑料如聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(PS)、聚氯乙烯(PVC)等,工程塑料如聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、聚碳酸酯(PC)、聚苯醚(PPO)、聚苯硫醚(PPS)、聚甲醛(POM)、聚砜(PS)、聚酰亚胺(PI)等。塑料的优点是轻质、易加工、耐腐蚀、绝缘等,可以做成片材、棒材、粒状、粉末,也可以加工成定型部件,部件的光洁度高,不需机加工,成本低。通用塑料的使用温度常低于100℃,而特种工程塑料的使用温度可高于100℃,高者达200℃,但耐热远不及金属材料。

树脂通常是指未添加填充组分的聚合物。塑料的主要原料常称为树脂。树脂分为热固性树脂和热塑性树脂,在复合材料中常用树脂作为复合材料的基体。热固性树脂有不饱和聚酯树脂、酚醛树脂、环氧树脂及多种高性能树脂。热塑性树脂包括所有可热塑性加工的树脂,如PE、PP、PVC、POM、PC等。可作为先进复合材料的树脂基体材料将在有关的章节中加以详细叙述。

橡胶广泛用于制造轮胎、胶管、胶带、电缆及其他各种橡胶制品,橡胶材料和橡胶制品多达数万种。橡胶可分为通用型橡胶如天然橡胶、异戊橡胶、丁苯橡胶(SBR)、顺丁橡胶(BR)和特种型橡胶如氯丁橡胶(CR)、丁腈橡胶(NBR)、硅橡胶、氟橡胶、聚硫橡胶等。橡胶具有高弹性、黏弹性、电绝缘、不透气等特点,广泛用作减震阻尼材料、气密性材料、防水性材料等。橡胶加工基本过程包括塑炼、混炼、压延或挤出、成型和硫化等基本工序,每个工序针对制品有不同的要求,分别配合以若干辅助操作。

纤维是聚合物材料的另一大类,有天然纤维和合成纤维之分。纤维主要用作纺织、增强材料。目前合成纤维世界年产量已超过2000万吨,我国总产量占世界第二,达300多万吨。合成纤维主要有聚酰胺66(Nylon 66, 1935年W. H. Carothers合成)、聚己内酰胺(Nylon 6, 1941年Schlack发明)、聚酯纤维(PET, 涤纶, 1940年温费尔德合成)、聚氯乙烯纤维(氯纶)、聚乙烯醇缩甲醛纤维、聚丙烯腈纤维(腈纶)、聚丙烯纤维(丙纶)、聚氨基甲酸酯纤维(氨纶)、聚乙烯纤维、芳香族聚酰胺纤维(Kevlar)、芳香族聚酯纤维(Vectra)、聚苯并噁唑纤维(PBO)等。它们在纺织、医药、化工、建筑、军工等领域有广阔的应用。尤其高性能纤维(后几种)作为复合材料的增强材料,在航空航天等高科技领域获得重要应用。

三、无机非金属材料

无机非金属材料主要可分为玻璃和陶瓷材料。陶瓷材料早在古时代就开始使用,但随技术发展,一些新的陶瓷材料不断出现,作为耐高温、耐磨和耐腐蚀材料,广泛应用于建筑、化工、轻工等领域,用作瓷砖、化工设备、日用品等。陶瓷结构由强的共价键连接,具有高的热稳定性和高的硬度,是所有材料中最刚性的材料,熔化温度最高,但性脆。与金属相比,无机非金属材料延展性小、烧结温度高、成型难度高、机加工需昂贵的切割工具(如碳化物和金刚石)等。

四、复合材料

纤维复合材料大规模商业化应用始于第二次世界大战(1940年后期和20世纪50年代早期),主要应用于海军,现在各种行业获得应用,包括航空航天、汽车、海洋船舰、运动

器件、日用品等，新的复合材料及制造工艺过程的发展又给复合材料带来了新的发展机会，目前大规模生产复合材料技术如 SMC 等均达到成熟的程度，使复合材料的应用更加广泛，不仅仅限于军事和空间应用，而几乎在每个工业部门均获得应用。纤维增强复合材料的主要特点是轻质高强，可以代替金属钢和铝，性能比金属材料好得多，例如用复合材料替代钢制造结构件可减轻 20%~50% 重量。纤维复合材料性能如图 1-1 所示。目前纤维复合材料已扩展到金属基复合材料、陶瓷基复合材料。图 1-2 给出复合材料的发展过程。

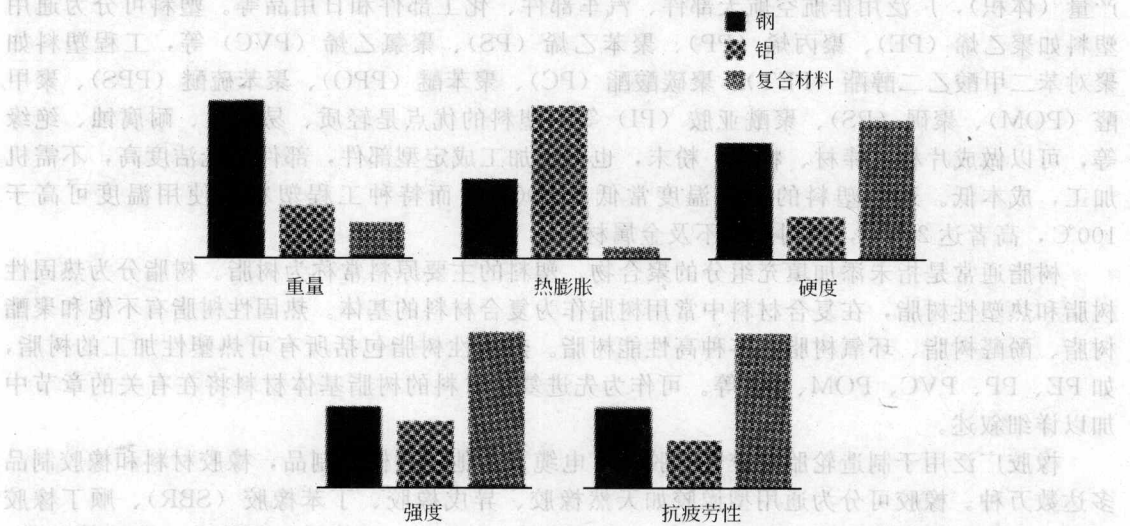


图 1-1 碳纤维复合材料与钢、铝材料性能比较

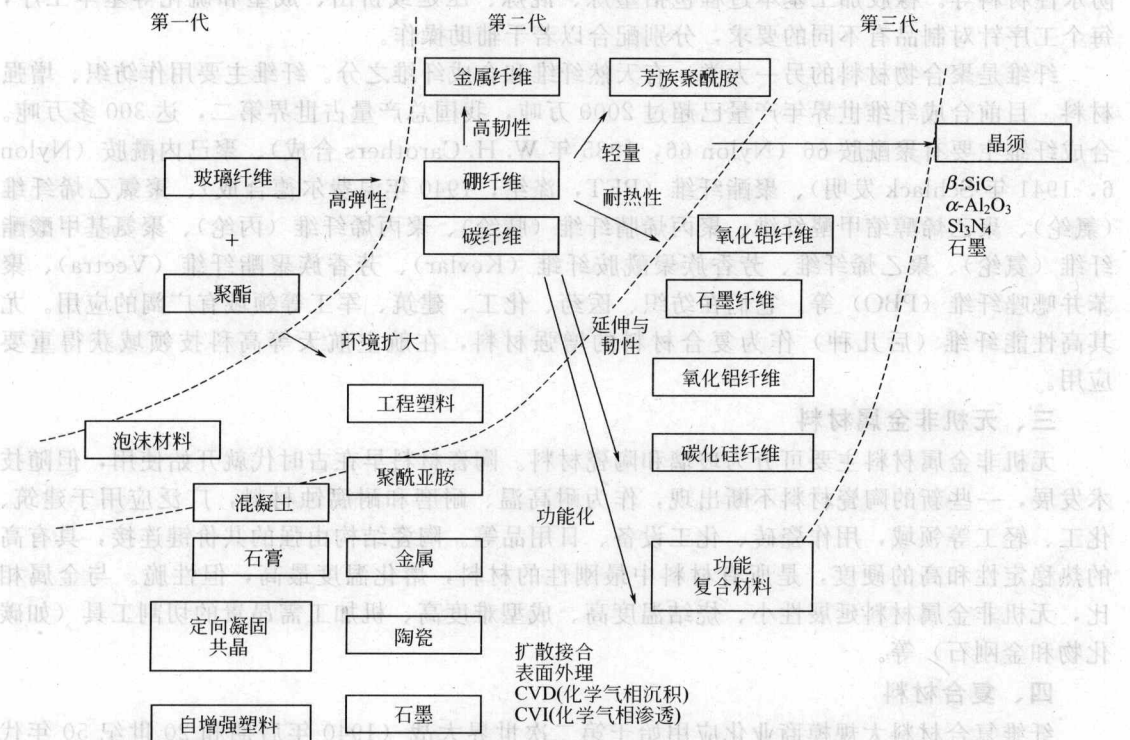


图 1-2 复合材料发展简图