

21 世纪复合材料应用技术丛书
丛书主编 刘雄亚

防腐蚀 复合材料 及其应用

张大厚 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

21

世纪复合材料应用技术丛书

丛书主编 刘雄亚

防腐蚀 复合材料 及其应用

张大厚 编著



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

本书是《21 世纪复合材料应用技术丛书》中的一本,介绍了防腐蚀复合材料专业领域的相关知识,是编者总结从事防腐蚀复合材料、防腐蚀工程技术多年的成果,参考大量防腐蚀同行的经验,汇集成本较为完整的参考技术资料手册。内容涉及防腐蚀复合材料制品的结构设计与制造,不饱和聚酯树脂基复合材料、环氧树脂基复合材料和其他树脂基复合材料的防腐蚀性能及应用等。

本书可供从事防腐蚀复合材料研究、开发、生产、管理的人员使用,也可供高校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

防腐蚀复合材料及其应用/张大厚编著. —北京:化学工业出版社, 2006. 6

(21 世纪复合材料应用技术丛书)

ISBN 7-5025-8969-4

I. 防… II. 张… III. 防腐-复合材料-基本知识 IV. TB33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 071083 号

21 世纪复合材料应用技术丛书

丛书主编 刘雄亚

防腐蚀复合材料及其应用

张大厚 编著

责任编辑: 张玉崑

文字编辑: 颜克俭

责任校对: 吴 静

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行

材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 20 $\frac{1}{4}$ 字数 378 千字

2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8969-4

定 价: 42.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

丛书前言

材料是人类赖以生产、生活所必需的物质基础，也是社会文明进步的标志。在人类历史发展过程中，每一种新材料的出现和制造技术的进步，都不同程度地促进了社会生产力的发展。

复合材料是指由两种以上的异质、异形、异性的材料，经过复合而形成的新材料，它除保留原组分材料的主要特点外，还能通过复合效应获得原有组分材料所不具备的新的优异性能。按其基体材料的不同，复合材料可分为聚合物（树脂）基复合材料、金属基复合材料和无机非金属材料基复合材料三大类。

在 2200 年前，我们的祖先就已开始利用复合材料。如在西安半坡村原始人遗址中发现，用草（天然纤维）拌泥作墙和地面，防止黏土干裂和剥落，提高墙体与地面的强度和耐风雨侵蚀能力，这可以看作是纤维增强无机复合材料的始祖。1972~1974 年在我国湖南马王堆古墓中出土的漆器是西汉时代的文物，它是用丝和麻作增强材料，用大漆作胶黏剂制成的鼎、酒壶、盆具、茶几等物品，在地下埋藏了两千多年，仍然熠熠生辉。湖北隋县出土的曾侯乙墓中，有许多用于战车的戈戟和殳，它们的柄是用 3~4m 长的木杆芯，外面包以纵向竹丝，再用大漆和蚕丝进行环向缠绕，然后再浸渍大漆经干燥后形成复合材料，产品坚硬光滑，耐水耐热，耐化学腐蚀。这和现今的树脂基纤维缠绕增强复合材料的成型是相似的。魏晋南北朝时期，在改革底胎和面漆的基础上，先塑造出泥胎，再在泥胎上粘贴麻布、涂漆和彩绘，当油漆干固后挖出并用水冲去泥胎，形成中空漆麻复合材料佛像。这种佛像轻巧美观、坚固耐久，几米高的佛像，一个人就可以举着行走（称为“行像”）。这种技术流传到日本后，至今还保留着当年唐代高僧鉴真和尚东渡日本，在该国圆寂时塑制的漆麻复合材料座像，作为日本的国宝文物，每年只对外开放几天，供人瞻仰。这种制造佛像技术与当今的手糊玻璃钢成型工艺几乎没有多大区别。

现代复合材料的历史只有 60 多年，它始于 20 世纪 40 年代，是由美国人发明的，用玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂复合材料，并在第二次世界大战中用于制造军用飞机雷达罩和远航副油箱。1942 年用手糊工艺制成第一艘复合材料（玻璃钢）渔船。到了 20 世纪 60~70 年代，树脂基复合材料制品已广泛应用于航空、机械、建筑、化工及体育用品等领域。现代复合材料的发展一直是围绕着解决传统材料不能适应的工程技术难题和尖端科学技术提出的新材料需求而发展的。由于复合材料的最大特点是性能的可设计性，因而使它能广泛地应用于国民经济各个领域，顺利

解决了尖端科学技术中宇航材料、隐形技术、复合装甲、信息技术材料、新能源材料、生物医用材料及智能材料等一系列高精尖技术难题。在一般民用经济建设中，复合材料又能起到改善性能、降低成本的作用。复合材料在国民经济各个领域的开发和应用，可以说是无所不能、无所不在。因此，学术界和工程界的专家都一致认为 21 世纪将是复合材料时代。

我国现代复合材料的发展始于 20 世纪 50 年代，是由当时的建材部赖际发部长首先倡导的，他根据 1956 年访问苏联时对“Стеклопластика”的认识，认为这种新材料内含有玻璃，强度又比钢高，遂起名玻璃钢，这种叫法虽然不尽科学，但国内已然约定俗成，在国际交往中也被认可。自此以后，我国复合材料得以持续不断发展、壮大，研究、生产、教育以及行业建设、媒体传播、标准化工作等相继提到日程并付诸实施。

几年前，笔者曾参与化学工业出版社出版的《复合材料大全》主编工作，该书受到各界读者的好评和鼓励，出版社和笔者都收到了大量读者来信、来电咨询，反响较为强烈。由于该书篇幅所限，很多内容不能深入阐述，为了满足广大读者的要求，化学工业出版社经过广泛调查研究并征求专家意见后，特邀请本人组织编写这套《21 世纪复合材料应用技术丛书》，本丛书共分八册：

《无机非金属复合材料及其应用》（刘雄亚 郝元恺 刘宁 编著）

《透光复合材料、碳纤维复合材料及其应用》（刘雄亚 欧阳国恩 张华新 刘宁 编著）

《夹层结构复合材料设计原理及其应用》（王兴业 杨孚标 曾竞成 肖加余 编著）

《复合材料建筑结构及其应用》（晏石林 杨学忠 刘雄亚 庄英 编著）

《热固性树脂复合材料及其应用》（黄志雄 彭永利 秦岩 梅启林 编著）

《防腐蚀复合材料及其应用》（张大厚 编著）

《功能复合材料及其应用》（曾黎明 编著）

《纤维增强热塑性复合材料及其应用》（张晓明 刘雄亚 编著）

参加编著的作者都是复合材料界的专家，具有丰富的科研、生产和教学实践经验，在编写过程中，作者们除收集最新资料外，还写入了自己多年的研究成果和实践经验，相信会对读者有所裨益。希望这套丛书能为我国复合材料工业的发展起到积极的推动作用。书中倘有不足，敬请赐教。

《21 世纪复合材料应用技术丛书》主编

刘雄亚 于武汉理工大学

2006 年 5 月

前言

腐蚀存在于我们生活的每一个方面。自从我们所依存的自然界形成以来，腐蚀现象从未停止过。与腐蚀现象作斗争——防腐蚀工作，早在我国的远古时期就开始了，例如给木器刷桐油、大漆，给住房或建筑物涂刷油漆或者粉刷石灰，在当时就是最简单的防腐蚀措施。

随着社会的不断进步，工业技术日新月异，导致自然界出现了许多新的、腐蚀性极强的腐蚀介质，原有的防腐蚀措施远远不能满足实际需要，这就应运而生了一个新的行业——防腐蚀专业。

当前，腐蚀已成为一个世界性的严重问题。据美国国家腐蚀工程师协会(NACE)在2002年进行的调查，腐蚀作用对美国基础设施或产品造成的直接经济损失相当于美国当年国内生产总值的3.1%，大约为2760亿美元。如果计算上对生产和供货活动造成的损失，其金额会翻一番，高达5520亿美元，占其国内生产总值的6.2%！

在中国，腐蚀问题也极为严重。据中国工程院化工、冶金与材料学部主持的“中国工业与自然环境腐蚀问题调查与对策”咨询项目于2002年11月公布的数据，按照国民经济投入/产出表的方法来分析腐蚀总损失额，每年可达4979亿元人民币，约占当年中国国内生产总值的5%！

仅从上述两组数据就可以看出腐蚀问题是多么的严重！

实际上，1984年12月3日在印度博帕尔市造成3000多人死亡、18万人严重受伤的特大化学毒气泄漏事故，其罪魁祸首就是腐蚀所致——在化学气体管道上腐蚀出了一条裂缝。1992年墨西哥的瓜达拉哈拉市，由于一家工厂的汽油管道被腐蚀泄漏，随后的爆炸使得该市的一个路段被炸飞，当场造成300人死亡。

在中国，虽然没有这方面的具体统计数据，但是，我们经常可以在报纸上看到某某项目投产没有几年就被迫进行大修，某某公共工程使用没几年就得推倒重建，很大程度上就是在设计和建造过程中未充分考虑腐蚀问题所造成的。

经过建国以来50多年的发展，防腐蚀领域取得了众多的产品和施工技术成果，国内出版防腐蚀方面的书籍也很多。但是，这些书往往仅仅针对某一防腐蚀产品或者某类防腐蚀产品、某类腐蚀介质，缺乏对防腐蚀材料方面的整体介绍。在复合材料领域，更是没有设计、选材、技术指标、应用效果等方面的技术参考书。编著本书的目的，就在于利用本人从事防腐蚀材料、防腐蚀工程技术多年来的成果及经验，并参考大量防腐蚀同行的成果和经验，汇集成册，给防腐蚀同行提供一个较为

完整的参考技术资料手册，给防腐蚀领域的后来者提供一个较完整地了解防腐蚀材料、防腐蚀技术的参考资料。

由于本书涉及的内容广泛，部分内容不是编著者的主攻方向，在资料收集、编写过程中，难免会存在一些缺点或错误，敬请各界读者批评指正。

编著者
2006 年 6 月

欢迎加入化学工业出版社读者俱乐部

您可以在我们的网站 (www.cip.com.cn) 查询、购买到数千种化学、化工、机械、电气、材料、环境、生物、医药、安全、轻工等专业图书以及各类专业教材, 并可参与专业论坛讨论, 享受专业资讯服务, 享受购书优惠。欢迎您加入我们的读者俱乐部。

两种入会途径 (免费)

- ◇ 登录化学工业出版社网上书店 (www.cip.com.cn) 注册
- ◇ 填写以下会员申请表寄回 (或传真回) 化学工业出版社

四种会员级别

- ◇ 普通会员 ◇ 银卡会员 ◇ 金卡会员 ◇ VIP 会员

化学工业出版社读者俱乐部会员申请表

姓名:	性别:	学历:
邮编:	通讯地址:	
单位名称:	部门:	
您从事的专业领域:		职务:
电话:	E-mail:	

◆ 您希望出版社给您寄送哪些专业图书信息? (可多选)

☐ 化学 ☐ 化工 ☐ 生物 ☐ 医药 ☐ 环境 ☐ 材料 ☐ 机械 ☐ 电气 ☐ 安全 ☐ 能源 ☐ 农业 ☐ 轻工 (食品/印刷/纺织/造纸) ☐ 建筑 ☐ 培训 ☐ 教材 ☐ 科普 ☐ 其他 ()

◆ 您希望多长时间给您寄一次书目信息?

☐ 每月1次 ☐ 每季度1次 ☐ 半年1次 ☐ 一年1次 ☐ 不用寄

◆ 您希望我们以哪种方式给您寄送书目? ☐ 邮寄纸介质书目 ☐ E-mail 电子书目

此表可复印, 请认真填好后发传真至 **010-64982630**, 或者寄信至: 北京市朝阳区惠新里3号化学工业出版社发行部 读者俱乐部收 (邮编 100029)

联系方式:

网上书店 电话: 010-64982511

E-mail: cip64982511@126.com

读者俱乐部及邮购 电话: 010-64982530

E-mail: goushu999@126.com

目 录

第 1 章 防腐蚀复合材料概述	1
1.1 简介	1
1.1.1 防腐蚀复合材料的定义	1
1.1.2 防腐蚀复合材料的特点	1
1.1.3 防腐蚀复合材料的命名和分类	8
1.2 防腐蚀复合材料的发展趋势	12
1.2.1 防腐蚀复合材料在中国的发展简史	12
1.2.2 世界范围内防腐蚀复合材料的发展简况	12
1.2.3 防腐蚀复合材料的发展趋势	13
1.3 防腐蚀复合材料在社会及经济发展中的地位	14
1.3.1 防腐蚀复合材料在国民经济建设中的地位	14
1.3.2 防腐蚀复合材料在国防建设中的地位	15
1.3.3 防腐蚀复合材料在复合材料行业中的地位	16
1.4 防腐蚀复合材料的基本性能	18
第 2 章 防腐蚀复合材料制品的结构设计与制造	22
2.1 防腐蚀复合材料制品的结构设计	22
2.1.1 拉伸特性	22
2.1.2 抗渗特性 (防腐蚀面层)	24
2.1.3 铺层设计	25
2.1.4 储罐的结构细节处理	25
2.2 防腐蚀复合材料制品的施工和制造	30
2.2.1 防腐蚀复合材料制品的制作	30
2.2.2 防腐蚀复合材料制品的质量控制和检验	31
第 3 章 不饱和聚酯树脂的结构与耐腐蚀性能	34
3.1 概述	34
3.1.1 简介	34
3.1.2 不饱和聚酯树脂的基本性质	36
3.1.3 不饱和树脂基复合材料的基本耐腐蚀性能	44
3.2 不饱和聚酯树脂基复合材料的基本性能	44
3.2.1 邻苯型不饱和聚酯树脂基防腐蚀复合材料	44
3.2.2 间苯二甲酸型 (IPA) 不饱和聚酯树脂基防腐蚀复合材料	48
3.2.3 对苯型不饱和聚酯树脂基防腐蚀复合材料	50
3.2.4 二甲苯型不饱和聚酯树脂基防腐蚀复合材料	51

3.2.5 双酚 A 型不饱和聚酯树脂基耐腐蚀复合材料	53
3.2.6 特种不饱和聚酯树脂基耐腐蚀复合材料	57
3.2.7 乙烯基酯基树脂防腐蚀复合材料	65
第 4 章 不饱和聚酯树脂基防腐蚀复合材料容器	82
4.1 不饱和聚酯树脂基防腐蚀复合材料立式储罐	87
4.2 不饱和聚酯树脂基防腐蚀复合材料卧式储罐	91
4.3 现场缠绕大型复合材料（玻璃钢）储罐	94
4.4 运输储罐	100
第 5 章 不饱和聚酯树脂基防腐蚀复合材料管道	105
5.1 不饱和聚酯树脂基防腐蚀复合材料管道概述	105
5.1.1 不饱和聚酯树脂基防腐蚀复合材料管道与传统材质管道性能的比较	105
5.1.2 复合材料管道的分类	109
5.2 复合材料（玻璃钢）管道的基本力学性能	109
5.3 复合材料（玻璃钢）管道的连接形式及配件	112
5.3.1 复合材料（玻璃钢）的连接形式	112
5.3.2 复合材料（玻璃钢）管材的变径、弯头、法兰接头与三通	119
5.4 复合材料管道的运输及安装	126
5.4.1 复合材料管道的储存	126
5.4.2 复合材料管道的运输	126
5.4.3 复合材料管道安装的总体要求	127
5.5 复合材料（玻璃钢）管道的设计	129
5.5.1 复合材料（玻璃钢）管道的材料	129
5.5.2 结构形式设计	132
5.5.3 工艺设计	132
5.5.4 复合材料（玻璃钢）管道的结构设计	134
5.6 纤维缠绕复合材料管道	134
5.6.1 纤维缠绕复合材料管道的特点	135
5.6.2 纤维缠绕复合材料管道的主要成型工艺及原材料	136
5.6.3 纤维缠绕复合材料管道的执行标准及检验	137
5.6.4 纤维缠绕复合材料管道的产品规格	137
5.6.5 纤维缠绕复合材料的应用领域	138
5.7 复合结构的复合材料管道	138
5.7.1 PP/FRP 复合管	138
5.7.2 PVC/FRP 复合管道	141
5.7.3 超高分子量聚乙烯/复合材料复合管道	142
5.8 复合材料（玻璃钢）夹砂管道	146
5.8.1 复合材料（玻璃钢）夹砂管道的生产工艺简述	147

5.8.2	复合材料(玻璃钢)夹砂管道的设计	148
5.8.3	复合材料(玻璃钢)夹砂管道的常用规格	148
5.8.4	复合材料(玻璃钢)夹砂管道的连接	149
5.8.5	复合材料(玻璃钢)夹砂管道的储运及安装	151
5.8.6	复合材料(玻璃钢)夹砂管道的几种常见质量缺陷	154
5.9	复合材料(玻璃钢)离心浇注管道	154
5.10	复合材料(玻璃钢)高压管道	173
5.10.1	概述	173
5.10.2	斯达系列复合材料(玻璃钢)高压管道简介	177
5.10.3	斯达系列复合材料(玻璃钢)井下油管系统简介	183
5.10.4	斯达系列复合材料(玻璃钢)高压管道的耐腐蚀性能	183
第6章	不饱和聚酯树脂基防腐胶泥、砂浆、混凝土	185
6.1	不饱和聚酯树脂基防腐胶泥、砂浆	185
6.2	不饱和聚酯树脂基防腐鳞片胶泥	187
6.2.1	概述	187
6.2.2	鳞片类材料简介	189
6.2.3	鳞片类原材料的基本性能	191
6.2.4	玻璃鳞片原材料对涂膜性能的影响	193
6.2.5	玻璃鳞片类材料的性能简介	194
6.3	不饱和聚酯树脂基防腐混凝土	195
6.3.1	概述	195
6.3.2	配方设计技术及影响因素	199
6.3.3	树脂混凝土制成品的性能简介	200
6.3.4	不饱和聚酯树脂混凝土的应用	202
第7章	环氧树脂基复合材料的性能及其在防腐领域的应用	204
7.1	环氧树脂基复合材料的命名及分类	204
7.1.1	环氧树脂概述	204
7.1.2	环氧树脂的类型	204
7.1.3	环氧树脂的命名及分类	205
7.2	环氧树脂制备方法简介	207
7.2.1	环氧氯丙烷-双酚A型树脂的制备	208
7.2.2	环氧氯丙烷-醇类环氧树脂	208
7.2.3	双键液相氧化制环氧树脂	208
7.2.4	酚醛环氧树脂(644等)	208
7.2.5	聚酯环氧树脂	209
7.3	环氧树脂的性能及用途简介	209
7.3.1	缩水甘油基型环氧树脂	209

7.3.2 环氧烯炔类环氧树脂	214
7.3.3 特种环氧树脂	216
7.4 环氧树脂的改性	218
7.4.1 概述	218
7.4.2 稀释剂	219
7.4.3 溶剂、增稠剂	221
7.4.4 流变及流变剂	222
7.4.5 纳米材料对环氧树脂的改性作用	223
7.5 环氧树脂的固化剂及其固化	224
7.5.1 概述	224
7.5.2 固化剂的分类与结构特性	225
7.5.3 环氧树脂的固化成型	227
7.5.4 环氧树脂常用固化剂的品种介绍	229
7.6 环氧树脂基复合材料的设计技术	235
7.6.1 环氧树脂基复合材料概述	235
7.6.2 环氧树脂基复合材料的设计技术	237
7.6.3 环氧树脂基复合材料的应用	244
第8章 其他树脂基复合材料的性能及其在防腐蚀领域的应用	255
8.1 呋喃树脂基防腐蚀复合材料	255
8.1.1 概述	255
8.1.2 YJ呋喃树脂纤维增强防腐蚀复合材料	259
8.1.3 YJ呋喃树脂胶泥、砂浆、混凝土防腐蚀复合材料	262
8.1.4 YJ呋喃树脂防腐蚀复合材料的设计与施工技术	269
8.1.5 YJ呋喃树脂防腐蚀复合材料质量检验	272
8.2 酚醛树脂基防腐蚀复合材料	272
8.2.1 国内酚醛树脂的发展及应用	272
8.2.2 国外酚醛树脂的发展及应用	277
8.2.3 防腐蚀酚醛树脂复合材料的施工技术简介	281
第9章 防腐蚀复合材料的设计	283
9.1 国家规范对防腐蚀复合材料的防腐蚀性能要求	283
9.1.1 各类环境的腐蚀性能举例	283
9.1.2 各类腐蚀性环境条件对于建(构)筑物的腐蚀程度	286
9.2 防腐蚀设计与选材	290
9.2.1 地面的防腐蚀设计要求	290
9.2.2 储槽、污水处理池	292
9.2.3 树脂类材料的耐腐蚀性能	294
9.2.4 树脂类材料的物理力学性能	295

第 10 章 防腐蚀复合材料实际应用中的常见问题及解决方法	296
10.1 防腐蚀复合材料的质量指标	296
10.1.1 纤维增强类防腐蚀复合材料的质量指标	296
10.1.2 树脂胶泥、砂浆及混凝土的质量标准及检验方法	296
10.2 防腐蚀施工中基层应该怎样检查和处理	298
10.2.1 对水泥砂浆或混凝土基层	298
10.2.2 对钢结构基层	299
10.3 纤维增强类防腐蚀复合材料实际应用中常见的问题及解决方法	299
10.3.1 (复合材料) 玻璃钢胶料硬化慢、不硬化或硬化过快	299
10.3.2 (复合材料) 玻璃钢脱层、皱褶、起壳, 层间有气泡, 厚度不够	301
10.3.3 (复合材料) 玻璃钢胶料浸透不良, 层间发白, 黏结不牢或分层、表面发黏	302
10.4 防腐蚀胶泥、砂浆、混凝土类复合材料实际应用中常见的问题及解决方法	303
10.4.1 树脂胶泥铺砌的块材脱层, 胶泥硬化不完全, 砌体变形	303
10.4.2 树脂胶泥铺砌块材的灰缝起鼓、开裂, 灌灰缝或勾缝不密实	305
10.4.3 树脂稀胶泥、砂浆整体面层色泽不匀, 脱层、裂缝, 表面粗糙, 发黏	306
10.4.4 呋喃树脂混凝土整体面层脱层、槽罐质量差	307
参考文献	309

第 1 章 防腐蚀复合材料概述

1.1 简介

1.1.1 防腐蚀复合材料的定义

用两种或两种以上不同性能、不同形态的组分材料，通过复合手段组合而成的一种多相材料，称为复合材料。

本书所指的复合材料是指由热固性树脂与各类增强材料进行复合加工而制得的一类复合材料，包括纤维增强塑料（英文名称 FRP，即 fiber reinforced plastics 的缩写）、粉状材料增强树脂复合材料（俗称树脂胶泥）、片状材料增强树脂复合材料（俗称鳞片胶泥）、细颗粒材料增强树脂复合材料（俗称聚合物砂浆）以及粗骨料增强树脂复合材料（俗称聚合物混凝土）等。它仅代表了复合材料大家族的一部分材料品种。

复合材料是人们日常生活中应用分布最广的材料形态，诸如各类塑料制品、玻璃钢制品、钢筋混凝土制品等是人们接触最多的复合材料制品。

防腐蚀复合材料，则是指为了满足防腐蚀目的而开发出来的一种复合材料，其特点在于，可根据用途的不同，将复合材料设计成为具有较好的耐腐蚀性能，例如具有较好的耐酸性、耐碱性、耐盐水性、耐油性，或者是兼具前述两类或两类以上的防腐蚀性能，在一定的温度及环境条件下，能够在一定的期限内保护建筑物或设备不被腐蚀破坏的一类新型复合材料，是复合材料大家族的一个分支。

人们常见的玻璃钢酸碱储槽、电解槽就是防腐蚀复合材料的应用实例之一。

1.1.2 防腐蚀复合材料的特点

（1）概述 材料、能源、信息是当代科学技术的三大支柱。材料科学是当今世界的带头学科之一。复合材料是材料领域之中的后起之秀，它的出现带来了材料领域的重大变革，从而形成了金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料共存的格局。

对复合材料给出的比较全面完整的定义如下：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，它既能保留原组

分材料的主要特点，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各组分的性能互相补充并彼此关联，从而获得新的优越性能。

博采众长的复合材料代表了材料的发展方向。不少专家认为，当前人类已从合成材料时代进入复合材料时代，这种提法是有一定的科学依据的。因为想要合成一种新材料使之满足各种高要求的综合指标是非常困难的。同时若想及时研制出来某一种满意的材料，则从实验室到生产的周期也是非常长。但是如果把现有的材料复合起来则有可能较容易达到要求。另外，复合材料是各向异性材料，对于材料使用而言，完全可按实际受力的情况来设计增强纤维的排布方式，从而节约了材料，这是一般各向同性材料所不能达到的。由于复合材料的性能非常优越，因而得到世界发达国家的重视，都把复合材料选定为优先发展的新材料领域之一，足以说明复合材料的重要性。

大多数的树脂基复合材料处在大气环境中、浸在水或海水中或埋在地下使用，有的作为各种溶剂的储槽，在空气、水及化学介质、光线、射线及微生物的作用下，其化学组成和结构及各种性能会发生各种变化。在许多情况下，温度、应力状态对这些化学反应有着重要的影响。特别是航空航天飞行器及其发动机构件在恶劣的环境下工作，要经受高温的作用和高热气流的冲刷，其化学稳定性是至关重要的。

作为树脂基复合材料的基体的聚合物，其化学分解可以按不同的方式进行，它既可通过与腐蚀性化学物质的作用而发生，又可间接通过产生应力作用而进行，这包括热降解、辐射降解、力学降解和生物降解。聚合物基体本身是有机物质，可能被有机溶剂侵蚀、溶胀、溶解或者引起体系的应力腐蚀。所谓的应力腐蚀是指材料与某些有机溶剂作用在承受应力时产生过早的破坏，这样的应力可能是在使用过程中施加上去的，也可能是由于制造技术的某些局限性带来的。

根据基体种类的不同，材料对各种化学物质的敏感程度不同，常见的玻璃纤维增强塑料耐强酸、盐、酯，但不耐碱。一般情况下，人们更注重的是水对材料性能的影响。水一般可导致树脂基复合材料的介电强度下降，水的作用使得材料的化学键断裂时产生光散射和不透明性，对力学性能也有重要影响。不上胶的或仅热处理过的玻璃纤维与环氧树脂或聚酯树脂组成的复合材料的拉伸强度、剪切强度和弯曲强度都很明显地受沸水影响，使用偶联剂可明显地降低这种损失。水及各种化学物质的影响与温度、接触时间有关，也与应力的大小、基体的性质及增强材料的几何组织、性质和预处理有关。此外，还与复合材料的表面状态有关，纤维末端暴露的材料更易受到损害。

聚合物的热降解有多种模式和途径，其中可能几种模式同时进行。如可通过“拉链”式的解聚机理导致完全的聚合物链的断裂，同时产生挥发性的低分子物质。其他方式包括聚合物链的不规则断裂产生较高分子量的产物或支链脱落，还有可

能形成环状的分子链结构。填料的存在对聚合物的降解有影响,某些金属填料可通过催化作用加速降解,特别是在有氧存在的地方。树脂基复合材料的着火与降解产生的挥发性物质有关,通常加入阻燃剂减少着火的危险。某些聚合物在高温条件下可产生一层耐热焦炭,这些聚合物与尼龙、聚酯纤维等复合后,因这些增强物本身的分解导致挥发性物质产生可带走热量而冷却烧焦的聚合物,进一步提高耐热性,同时赋予复合材料以优良的力学性能,如良好的抗震性。

许多聚合物因受紫外线辐射或其他高能辐射的作用而受到破坏,其机理是当光和射线的能量大于原子间的共价键能时,分子链发生断裂。铅填充的聚合物可用来防止高能辐射。紫外线辐射则一般受到更多的关注,经常使用的添加剂包括炭黑、氧化锌和二氧化钛,它们的作用是吸收或者反射紫外线辐射。

力学降解是另一种降解机理,当应力的增加频率超过一个键通过平移所产生的响应能力时,就发生键的断裂,由此形成的自由基还可能对下一阶段的降解模式产生影响。硬质和脆性聚合物基体应变变小,可进行有或者没有链断裂的脆性断裂,而较软但黏性高的聚合物基体大多是力学降解的。

纤维增强复合材料备受人们关注,它具有十分显著的特点。与金属材料或其他无机材料相比,它的质量轻、比强度高、耐腐蚀、电绝缘、耐瞬时超高温、传热慢、隔音、防水、易着色、能透过电磁波,是一种兼具功能和结构特性的新型材料。

玻璃纤维增强复合材料(俗称“玻璃钢”)是发展较早的一种复合材料,它是以玻璃纤维及其制品为增强材料,以热固性或热塑性树脂为基体,通过一定的成型工艺而制成的一种结构物。它的学名为玻璃纤维增强塑料。1958年原建材部部长赖际发提出一个通俗而又形象的名称“玻璃钢”,现在已被国内外同行业界所认同。

通过对此类玻璃钢复合材料构造的分析,与传统材料相比,复合材料有以下特点。

① 材料的可设计性 复合材料结构的多层次性为复合材料及其结构设计带来了极大的灵活性。复合材料的力学、机械及热、声、光、电、防腐、抗老化等物理、化学性能都可按制件的使用要求和环境条件要求,通过组分材料的选择和匹配、铺层设计及界面控制等材料设计手段,最大限度地达到预期目的,以满足工程设备的使用性能。

② 可同时提供表面防腐和结构防腐性能 防腐蚀用复合材料既能提供优良的防腐蚀性能,又能作为结构材料,提供优良的力学性能,达到结构防腐蚀性。

而普通的防腐蚀材料,诸如防腐蚀涂料、内衬橡胶板材、胶泥衬砌块材(耐酸瓷板、铸石板、花岗石块材等),则只能作为防腐蚀层使用。一旦这类防腐蚀层出现破坏,将使受保护的部分结构受到腐蚀侵害,导致主体结构出现安全隐患。

③ 复合材料结构设计包含材料设计 传统材料的结构设计中，只需按要求合理选择定型化的标准材料。而在复合材料结构设计中，材料是由结构设计者根据设计条件自行设计的。如上所述，复合材料结构往往是材料与结构同时形成的，且材料也具有可设计性。因此，复合材料结构设计是包含材料设计在内的一种新的结构设计，它可以从材料和结构两方面考虑，设计人员可以根据结构物的特点，对结构物中不同的部位，视其不同的受力状态设计不同性能的复合材料。

④ 材料性能对复合工艺的依赖性 复合材料结构在形成过程中有组分材料的物理和化学变化发生，不同成型工艺所用原材料种类、增强材料形式、纤维体积分量和铺设方案也不尽相同。因此，构件的性能对工艺方法、工艺参数、工艺过程等依赖性很大，同时也由于在成型过程中很难准确地控制工艺参数，所以一般来说复合材料构件的性能分散性也是比较大的。

对于复合材料结构物，因为结构和材料是一体，使成型制造的各种结构物造型比较容易实现，甚至可以实现结构物的整体设计。而这一优越性的发挥依赖于复合材料结构设计和制造工艺设计的密切结合。合理的结构设计应该考虑到制造工艺的可能性，制造工艺设计则应最大限度地保证实现结构物的最优设计。

⑤ 复合材料具有各向异性和非均质性的力学性能特点 从力学分析的角度看，复合材料与常规材料（如金属材料）的显著区别是，后者被看作是均质的和各向同性的，而前者是非均质和各向异性的。所谓均质就是物体内各点的性能相同，也就是说，物体的性能不是物体内位置的函数；而非均质正好与此相反。所谓各向同性就是在物体内一点的各个方向上都具有相同的性能；而各向异性则表明某点的性能是该点方向的函数。

由于复合材料具有强烈的各向异性和非均质性的特点，因而在外力作用下其变形特征不同于一般各向同性材料。一种外力常常可以引起多种基本变形，其单层和层合板的强度及各种参数都是方向的函数。所以，研究复合材料的力学性能时，要注意它的复杂性和特异性。在进行结构设计时除了要考虑结构物中的最大应力，还要注意因材料各向异性特点反映出来的薄弱环节，这主要是剪切性能和横向性能远弱于纤维方向性能。

⑥ 优良的综合性能 由于防腐蚀用复合材料所具备的组成特点，使得选用复合材料作防腐蚀材料的制品或部位，可同时具备优良的防腐蚀性能、电性能（导电或绝缘）、热性能（导热或绝热）。

例如，玻璃纤维和树脂材料本身为电绝缘和绝热材料，具有优良的电绝缘性能和绝热性能。但是，我们可以根据实际需要，通过在防腐蚀树脂中引入导电或导热组分，从而使得复合材料具备相应的导电性能或导热性能。

⑦ 良好的表面性能 防腐蚀复合材料在制作成型的过程中，可以通过调节模