

Composite Material Handbook

共6卷

3

复合材料手册

【美】CMH-17协调委员会 编著

汪海 沈真 等译

聚合物基复合材料 ——材料应用、设计和分析

Polymer Matrix Composites
Materials Usage, Design and Analysis

CMH-17

COMPOSITE MATERIALS HANDBOOK



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

复合材料手册

3

CMH-17协调委员会 编著

汪海 沈真 等译

共6卷

聚合物基复合材料

——材料应用、设计和分析



Polymer Matrix Composites

Materials Usage, Design and Analysis

CMH-17

COMPOSITE MATERIALS HANDBOOK



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

《复合材料手册》第3卷提供了用于纤维增强聚合物基复合材料结构设计、分析、制造和场外支持的方法与得到的经验教训,还给出了有关材料与工艺规范,以及如何使用第2卷中列出数据的指南。所提供的信息与第1卷中给出的指南一致,并详尽地汇总了活跃在复合材料领域,来自工业界、政府机构和学术界的工程师与科学家的最新知识与经验。

Originally published in the English language by SAE International, Warrendale, Pennsylvania, USA, as *Composite Materials Handbook, Volume 3: Polymer Matrix Composites: Materials Usage, Design, and Analysis*. Copyright 2012 Wichita State University/ National Institute for Aviation Research.

上海市版权局著作权合同登记号:09-2013-910

图书在版编目(CIP)数据

复合材料手册:聚合物基复合材料.第3卷,材料应用、设计和分析/美国CMH-17协调委员会编著;汪海等译.—上海:上海交通大学出版社,2015
ISBN 978-7-313-12205-6

I. ①复… II. ①美…②汪… III. ①聚合物-复合材料-手册 IV. ①TB33-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第281788号

复合材料手册 第3卷

聚合物基复合材料
——材料应用、设计和分析

编 著:CMH-17 编制协调委员会

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:韩建民

印 制:上海万卷印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:1107千字

版 次:2015年1月第1版

书 号:ISBN 978-7-313-12205-6/TB

定 价:348.00元

译 者:汪 海 沈 真等

地 址:上海市番禺路951号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:55.25

印 次:2015年1月第1次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-56928211

《复合材料手册》(CMH-17G) 译校工作委员会

顾 问 林忠钦 姜丽萍 郭延生

主 任 汪 海 沈 真

成 员 (按姓氏笔画排列)

丁惠梁 白嘉模 朱 珊 杨楠楠

李新祥 沈 真 汪 海 宋恩鹏

张开达 陈普会 徐继南 梁中全

童贤鑫 谢鸣九

《复合材料手册》第3卷 译校人员

- | | | | | | |
|----|---------------|-----------|----|------------|--|
| 1 | 总论 | | | | |
| | 翻译 | 沈真 | 校对 | 梁中全 | |
| 2 | 复合材料研制概述 | | | | |
| | 翻译 | 朱珊 | 校对 | 宋恩鹏 | |
| 3 | 飞机结构适航取证和符合性 | | | | |
| | 翻译 | 沈真 夏琴琴 | 校对 | 沈真 | |
| 4 | 复合材料结构的积木式方法 | | | | |
| | 翻译 | 丁惠梁 | 校对 | 徐继南 沈真 | |
| 5 | 材料和工艺——变异性影响 | | | | |
| | 翻译 | 赵学莹 王志刚 | 校对 | 杨楠楠 岳云江 沈真 | |
| 6 | 生产材料和工艺的质量控制 | | | | |
| | 翻译 | 佟淑慧 赵学莹 | 校对 | 杨楠楠 王志刚 | |
| 7 | 复合材料设计 | | | | |
| | 翻译 | 朱珊 | 校对 | 宋恩鹏 | |
| 8 | 层压板分析 | | | | |
| | 翻译 | 张开达 | 校对 | 徐继南 | |
| 9 | 结构稳定性分析 | | | | |
| | 翻译 | 童贤鑫 | 校对 | 李新祥 | |
| 10 | 胶接连接的设计与分析 | | | | |
| | 翻译 | 谢鸣九 | 校对 | 张开达 | |
| 11 | 螺接连接的设计和分析 | | | | |
| | 翻译 | 谢鸣九 | 校对 | 张开达 | |
| 12 | 损伤阻抗、耐久性和损伤容限 | | | | |
| | 翻译 | 范海涛 范寅 陈杰 | 校对 | 汪海 沈真 陈普会 | |
| 13 | 缺陷、损伤和检测 | | | | |
| | 翻译 | 徐继南 | 校对 | 张开达 | |
| 14 | 支持性、维护和修理 | | | | |
| | 翻译 | 丁惠梁 | 校对 | 徐继南 | |
| 15 | 厚截面复合材料 | | | | |
| | 翻译 | 张开达 | 校对 | 徐继南 | |
| 16 | 抗坠毁和能量管理 | | | | |
| | 翻译 | 徐继南 | 校对 | 张开达 | |
| 17 | 结构安全性管理 | | | | |
| | 翻译 | 刘湘云 | 校对 | 陈普会 | |
| 18 | 环境管理 | | | | |
| | 翻译 | 徐继南 | 校对 | 张开达 | |

译者序

1971年1月,《美国军用手册》第17分册(MIL-HDBK-17)第一版 MIL-HDBK-17A《航空飞行器用塑料》(*Plastics for Air Vehicles*)正式颁布。当时,手册中几乎没有关于复合材料的内容。随着先进复合材料在美国军用飞机上的用量迅速增大,美国于1978年在国防部内成立了《美国军用手册》第17分册协调委员会。1988年,该委员会颁布了 MIL-HDBK-17B,并把手册名称改为《复合材料手册》(*Composite Materials Handbook*)。近年来,先进复合材料在结构上的应用重心开始从最初的军用为主向民用领域转变,用量也迅速增加。为了适应这种变化,该委员会的归口管理机构于2006年从美国国防部改为美国联邦航空局,并退出军用手册系列,改为 CMH-17(*Composite Materials Handbook-17*),但协调委员会的组成保持不变,继续不断地将新的材料性能和相关研究成果纳入手册。2012年3月起,该委员会陆续颁布了最新的 CMH-17G 版,用以替代2002年6月颁布的 MIL-HDBK-17F。

在过去的四十多年里,大量来自工业界、学术界和其他政府机构的专家参与了该手册的编制和维护工作。他们在手册中建立和规范化了复合材料性能表征标准,总结了复合材料和结构在设计、制造和使用维护方面的工程实践经验。这些持续的改进最终都体现在了 MIL-HDBK-17(或 CMH-17)的多次改版和维护上,并极大地推动了先进复合材料(特别是碳纤维增强树脂基复合材料)在美国和欧洲航空航天及相关工业领域的广泛应用。

由于手册中收录的数据在测试、处理和使用等各个环节上完全符合相关规范和标准,收录的设计、分析、试验、制造和取证等方法均经过严格验证,因此,该手册在权威性和实用性方面超越了其他所有手册,成为美国联邦航空局(Federal Aviation Administration, FAA)适航审查部门认可的具有重要指导意义的文件,在国际航空

航天和复合材料工业界得到广泛应用,甚至被誉为“复合材料界的圣经”。

最新版 CMH-17G 共分为 6 卷。名称如下:

第 1 卷 《聚合物基复合材料——结构材料表征指南》

第 2 卷 《聚合物基复合材料——材料性能》

第 3 卷 《聚合物基复合材料——材料应用、设计和分析》

第 4 卷 《金属基复合材料》

第 5 卷 《陶瓷基复合材料》

第 6 卷 《复合材料夹层结构》

相比 MIL-HDBK-17F 版,CMH-17G 无论在内容完整性还是在对工程设计的具体指导方面,都有较大变化。特别是在聚合物基复合材料性能表征、结构设计与应用等方面,增加了大量最新研究成果,还特别对原来的 MIL-HDBK-23(复合材料夹层结构)进行了更新,并纳入为 CMH-17G 版的第 6 卷。

CMH-17G 是对美国和欧洲过去四十多年复合材料及其结构设计与应用研究经验的全面总结,也是美国陆海空三军、NASA(美国国家航空航天局)、FAA 及工业部门应用复合材料及其结构最具权威性的手册。虽然手册中多数信息和内容来自航空航天领域研究成果,但其他所有使用复合材料及其结构的工业领域,无论是军用还是民用,都会发现本手册是非常有价值的。

鉴于本手册对我国研发和广泛应用先进复合材料结构具有重要意义,在上海市科学技术委员会的支持下,上海航空材料与结构检测中心与上海交通大学航空航天学院民机结构强度综合实验室联合组织国内长期从事先进复合材料研究和应用的专家翻译了本手册。

本手册经原著版权持有者——美国 Wichita 州立大学国家航空研究院(NIAR, National Institute of Aviation Research)授权,经与 SAE International 签订手册中文版版权转让协议后,在其 2012 年 3 月陆续出版的 CMH-17G 英文版基础上翻译完成。

本手册的翻译出版得到了上海交通大学出版社和江苏恒神纤维材料有限公司的大力支持,在此一并表示感谢。同时,也对南京航空航天大学乔新教授为本手册做出的贡献表示感谢。

译校工作委员会

2014 年 4 月

序

《复合材料手册》(CMH-17)为复合材料结构件的设计和制造提供了必要的资讯和指南。其主要作用是:①规范与现在和未来复合材料性能测试、数据处理和数据发布相关的工程数据生成方法,并使之标准化。②指导用户正确使用本手册中提供的材料数据,并为材料和工艺规范的编制提供指南。③提供复合材料结构设计、分析、取证、制造和售后技术支持的通用方法。为实现上述目标,手册中还特别收录了一些满足某些特殊要求的复合材料性能数据。总之,手册是对快速发展变化的复合材料技术和工程领域最新研究进展的总结。随着有关章节的增补或修改,相关文件也将处于不断修订之中。

CMH-17 组织机构

《复合材料手册》协调委员会通过深入总结技术成果,创建、颁布并维护经过验证的、可靠的工程资讯和标准,支撑复合材料和结构的发展与应用。

CMH-17 的愿景

《复合材料手册》成为世界复合材料和结构技术资讯的权威宝典。

CMH-17 组织机构工作目标

- 定期约见相关领域专家,讨论复合材料结构应用方面的重要技术条款,尤其关注那些可在总体上提升生产效率、质量和安全性的条款。
- 提供已被证明是可靠的复合材料和结构设计、制造、表征、测试和维护综合操作工程指南。
- 提供与工艺控制和原材料相关的可靠数据,进而建立一个可被工业部门使用的完整的材料性能基础值和设计信息的来源库。
- 为复合材料和结构教育提供一个包含大量案例、应用和具体工程工作参考方案的来源库。

- 建立手册资讯使用指南,明确数据和方法使用限制。
- 为如何参考使用那些经过验证的标准和工程实践提供指南。
- 提供定期更新服务,以维持手册资讯的完整性。
- 提供最适合使用者需要的手册资讯格式。
- 通过会议和工业界成员交流方式,为国际复合材料团体的各类需求提供服务。

与此同时,也可以使用这些团队和单个工业界成员的工程技能为手册提供资讯。

注释

(1) 已尽最大努力反映聚合物(有机)、金属和陶瓷基复合材料的最新资讯,并将不断对手册进行审查和修改,以确保手册完整反映最新内容。

(2) CMH-17 为聚合物(有机)、金属和陶瓷基复合材料提供了指导原则和材料性能数据。手册的前三卷目前关注(但不限于)的主要是用于飞机和航天飞行器的聚合物基复合材料,第4,5和6卷则相应覆盖了金属基复合材料(MMC)、包括碳-碳复合材料(C-C)在内的陶瓷基复合材料(CMC)及复合材料夹层结构。

(3) 本手册中所包含的资讯来自材料制造商、工业公司和专家、政府资助的研究报告、公开发表的文献,以及参加 CMH-17 协调委员会活动的成员与研究实验室签订的合同。手册中的资讯已经经过充分的技术审查,并在发布前通过了全体委员会成员的表决。

(4) 任何可能推动本手册使用的有益的建议(推荐、增补、删除)和相关的数据可通过信函邮寄到:

CMH - 17 Secretariat, MaterialsSciences Corporation, 135 Rock Road,
Horsham, PA 19044,

或通过电子邮件发送到: handbook@materials-sciences.com.

致谢

来自政府、工业界和学术团体的自愿者委员会成员帮助完成了本手册中全部资讯的协调和审查工作。正是由于这些志愿者花费了大量时间和不懈的努力,以及他们所在的部门、公司和大学的鼎力支持,才确保了本手册能够准确、完整地体现当前复合材料界的最高水平。

《复合材料手册》的发展和维护还得到了材料科学公司手册秘书处的大力支持,美国联邦航空局为该秘书处提供了主要资金。

目 录

第1章 总论 1

- 1.1 手册介绍 1
- 1.2 手册内容概述 1
- 1.3 第3卷的目的和范围 3
- 1.4 材料取向编码 3
 - 1.4.1 层压板取向编码 3
 - 1.4.1.1 铺层顺序记号 3
 - 1.4.1.2 铺层百分比记号 4
 - 1.4.2 编织物取向编码 5
- 1.5 符号、缩写及单位制 5
 - 1.5.1 符号及缩写 6
 - 1.5.1.1 组分的性能 11
 - 1.5.1.2 单层与层压板 12
 - 1.5.1.3 下标 13
 - 1.5.1.4 上标 14
 - 1.5.1.5 缩写词 15
 - 1.5.2 单位制 18
- 1.6 定义 19
- 参考文献 42

第2章 复合材料结构研制概述 43

- 2.1 引言 43
 - 2.1.1 为什么复合材料是不同的 43
 - 2.1.2 不同的研制方法 44
 - 2.1.3 本章的局限性 45
- 2.2 复合材料的力学行为 45
 - 2.2.1 材料术语和坐标系 45

- 2.2.2 材料级力学性能 46
- 2.2.3 铺层顺序问题 47
- 2.2.4 环境影响 49
- 2.2.5 损伤的影响 50
- 2.2.6 变异性问题 51
- 2.2.7 设计用力学性能 52
- 2.3 材料的选择 53
 - 2.3.1 结构材料 53
 - 2.3.1.1 纤维类型 53
 - 2.3.1.2 复合材料的形式 54
 - 2.3.1.3 树脂类型 54
 - 2.3.1.4 纤维形式 55
 - 2.3.1.5 胶黏剂类型 56
 - 2.3.1.6 夹层材料类型 57
 - 2.3.2 附属材料 57
 - 2.3.3 材料选择考虑的因素 59
- 2.4 制造工艺的选择 61
 - 2.4.1 工艺步骤和方法 61
 - 2.4.2 模具成形方法 65
 - 2.4.3 质量保证过程 66
 - 2.4.4 工艺选择的考虑因素 68
- 2.5 结构概念 69
 - 2.5.1 基本结构类型 69
 - 2.5.2 连接类型 70
 - 2.5.3 零件的装配 72
 - 2.5.4 整体化的大型复合材料结构 73
 - 2.5.5 装配成完整的结构 74
- 2.6 缺陷和损伤问题 75
 - 2.6.1 一般缺陷和损伤的考虑 76
 - 2.6.2 缺陷和损伤来源 76
 - 2.6.2.1 制造来源 76
 - 2.6.2.2 使用损伤来源 77
 - 2.6.3 缺陷和损伤特性 77
 - 2.6.4 使用中缺陷和损伤的检测 78
 - 2.6.5 设计和开发过程中缺陷和损伤的处理 79
 - 2.6.5.1 总体设计和研发的考虑 79
 - 2.6.5.2 具体的设计思路和方法 80

- 2.6.5.3 飞机检查程序的制定:冲击评估 81
- 2.7 寿命的考虑 82
 - 2.7.1 环境退化 82
 - 2.7.2 维护问题 82
 - 2.7.3 与“任务谱”变化有关的问题 82
 - 2.7.4 环境管理 83
- 2.8 发展规划纲要 83
- 参考文献 84

第3章 飞机结构取证和符合性 86

- 3.1 引言 86
 - 3.1.1 概述(背景) 86
 - 3.1.2 目的和范围 87
- 3.2 认证考虑 87
 - 3.2.1 产品研发(初始适航) 87
 - 3.2.2 持续适航 88
 - 3.2.3 产品改型(变更的产品) 89
 - 3.2.4 具有资质的工作人员和团队 90
- 3.3 规章 91
 - 3.3.1 结构、设计和构型 91
 - 3.3.2 产品批准 94
 - 3.3.3 持续适航(维护) 95
- 3.4 设计验证 96
 - 3.4.1 设计和工艺文件 96
 - 3.4.2 材料/胶黏剂鉴定 97
 - 3.4.3 环境暴露和液体相容性 98
 - 3.4.4 结构胶接 99
 - 3.4.5 模具和零件固化 100
 - 3.4.6 生产中出现的缺陷 101
 - 3.4.7 结构一致性工艺 101
 - 3.4.8 结构验证(静强度和损伤容限) 102
 - 3.4.9 颤振验证(气动弹性稳定性) 106
 - 3.4.10 防火,阻燃和热问题 106
 - 3.4.11 闪电防护 107
 - 3.4.12 耐坠损性 108
- 3.5 生产——必需的 109
 - 3.5.1 生产实施 109

- 3.5.2 制造质量控制 110
- 3.5.3 缺陷处理和制造记录 114
- 3.5.4 生产过程变更 114
- 3.6 维护——技术问题 115
 - 3.6.1 修理设计和工艺验证 115
 - 3.6.2 团队合作和处置 116
 - 3.6.3 损伤检出和表征 118
 - 3.6.4 修理工艺(螺接和胶接) 120
- 3.7 指南和报告 121
 - 3.7.1 咨询通报 121
 - 3.7.2 政策声明 124
 - 3.7.3 技术报告 124

第4章 复合材料结构的积木式方法 126

- 4.1 引言与原理 126
- 4.2 基本原理与假设 130
 - 4.2.1 降低风险 131
- 4.3 方法 131
 - 4.3.1 失效模式 132
 - 4.3.2 分析 133
 - 4.3.3 材料评定与许用值(试样级) 134
 - 4.3.4 设计细节许用值(元件试验级) 134
 - 4.3.5 关键结构的预生产保证(组合件试验级) 134
 - 4.3.6 全尺寸结构验证——部件级试验 135
 - 4.3.6.1 全尺寸静力试验 135
 - 4.3.6.2 全尺寸飞机的耐久性和损伤容限试验 136
- 4.4 具体应用考虑 136
 - 4.4.1 飞机原型 136
 - 4.4.1.1 对 DoD/NASA 原型飞机结构生成的聚合物基复合材料许用值 136
 - 4.4.1.2 DoD/NASA 原型飞机的 PMC 复合材料积木式结构研发 139
 - 4.4.1.3 DoD/NASA 原型复合材料飞机结构的许用值和积木式试验任务小结 143
 - 4.4.2 工程制造发展型(EMD)飞机和生产型飞机 144
 - 4.4.2.1 DoD/NASA 工程制造发展型和生产型飞机结构 PMC 复合材料许用值的生成 144

- 4.4.2.2 DOD/NASA 工程制造发展型 EMD 和生产型飞机的 PMC 复合材料积木式结构研发 146
 - 4.4.2.3 DoD/NASA 工程制造发展型 EMD 和生产型复合材料飞机结构许用值和积木式试验任务小结 152
 - 4.4.3 商用飞机 152
 - 4.4.3.1 引言 152
 - 4.4.3.2 积木式方法 153
 - 4.4.3.3 复合材料路线图 155
 - 4.4.3.4 商用的积木式方法 156
 - 4.4.3.5 A 组,材料性能的确定 157
 - 4.4.3.6 B 组,确定设计值 158
 - 4.4.3.7 C 组,分析验证 161
 - 4.4.3.8 波音 777 飞机复合材料主结构的积木式方法 161
 - 4.4.4 公务飞机和私人飞机 168
 - 4.4.4.1 高性能飞机 168
 - 4.4.4.2 轻型飞机和微型机 172
 - 4.4.5 旋翼飞机 172
 - 4.4.5.1 设计许用值试验 174
 - 4.4.5.2 设计研发试验 176
 - 4.4.5.3 全尺寸验证试验 178
 - 4.4.6 运载火箭和宇宙飞船 181
 - 4.5 特定工艺和材料形式的特殊考虑和变化 183
 - 4.5.1 室温 183
- 参考文献 183

第 5 章 材料和工艺——变异性对复合材料性能的影响 185

- 5.1 引言 185
- 5.2 目的 186
- 5.3 范围 186
- 5.4 组分材料 187
 - 5.4.1 纤维 187
 - 5.4.1.1 碳和石墨纤维 187
 - 5.4.1.2 芳纶 189
 - 5.4.1.3 玻璃 192
 - 5.4.1.4 硼 198
 - 5.4.1.5 氧化铝 199
 - 5.4.1.6 碳化硅 200

- 5.4.1.7 石英 202
- 5.4.1.8 超高分子量聚乙烯 205
- 5.4.2 树脂 208
 - 5.4.2.1 概述 208
 - 5.4.2.2 环氧 208
 - 5.4.2.3 聚酯(热固性) 208
 - 5.4.2.4 酚醛 209
 - 5.4.2.5 双马来酰亚胺 209
 - 5.4.2.6 聚酰亚胺 210
 - 5.4.2.7 热塑性材料 211
 - 5.4.2.8 特种与新型树脂体系 214
- 5.5 产品成形工艺 215
 - 5.5.1 织物和预成形件 215
 - 5.5.1.1 机织物 215
 - 5.5.2 预浸渍的形式 217
 - 5.5.2.1 预浸无捻粗纱 217
 - 5.5.2.2 预浸带 217
 - 5.5.2.3 预浸织物和预成形件 218
 - 5.5.2.4 预压实热塑性塑料片材 219
 - 5.5.3 定义生产使用时材料的“批料”或“批次”的详细指南 219
- 5.6 装运和贮存过程 221
 - 5.6.1 包装 221
 - 5.6.2 运输 221
 - 5.6.3 打开包装与贮存 221
- 5.7 制造工艺 221
 - 5.7.1 手工铺贴 221
 - 5.7.2 自动铺带/单向带自动铺叠 223
 - 5.7.2.1 背景 223
 - 5.7.2.2 效益/能力 223
 - 5.7.2.3 变异性来源 224
 - 5.7.3 自动铺丝/纤维铺放 224
 - 5.7.3.1 背景 224
 - 5.7.3.2 纤维铺放工艺流程 225
 - 5.7.3.3 效益/能力 226
 - 5.7.3.4 材料产品形式 226
 - 5.7.3.5 专门考虑的问题 228
 - 5.7.4 编织 230

- 5.7.5 纤维缠绕 231
- 5.7.6 拉挤 232
- 5.7.7 夹层结构 232
- 5.7.8 胶黏剂胶接 233
- 5.7.9 预结合水分 234
- 5.7.10 胶接质量 235
- 5.8 固化和压实工艺 239
 - 5.8.1 真空袋成形 239
 - 5.8.2 固化炉固化 239
 - 5.8.3 热压罐固化工艺 240
 - 5.8.3.1 一般说明 240
 - 5.8.3.2 变异性来源 240
 - 5.8.4 模压成形 241
 - 5.8.5 整体加热模具 241
 - 5.8.6 拉挤型模固化和压实 241
 - 5.8.7 树脂传递模塑(RTM) 242
 - 5.8.8 热成形 245
- 5.9 装配工艺 246
- 5.10 工艺过程控制 246
 - 5.10.1 通用工艺过程控制方案 246
 - 5.10.1.1 经验方法 247
 - 5.10.1.2 基于传感器的主动控制 247
 - 5.10.1.3 基于模型的被动控制 247
 - 5.10.2 实例——热固性复合材料的热压罐固化 247
 - 5.10.2.1 固化度 248
 - 5.10.2.2 黏度 249
 - 5.10.2.3 树脂压力 249
 - 5.10.2.4 空隙预防措施 250
 - 5.10.2.5 流动 250
- 5.11 制订材料与工艺规范 251
 - 5.11.1 规范的类型 251
 - 5.11.1.1 材料规范 251
 - 5.11.1.2 工艺规范——控制终端产品 251
 - 5.11.2 规范的格式 251
 - 5.11.2.1 范围 251
 - 5.11.2.2 适用文件 251
 - 5.11.2.3 技术要求/工艺过程控制 252

- 5.11.2.4 验收检验和鉴定试验 252
- 5.11.2.5 交付 252
- 5.11.2.6 说明 252
- 5.11.2.7 批准的来源及其他 252
- 5.11.3 规范示例 252
 - 5.11.3.1 行业规范 253
 - 5.11.3.2 军用规范 253
- 5.11.4 结构管理 253
- 5.12 确定复合材料鉴定时的变异源 253
 - 5.12.1 引言 253
 - 5.12.1.1 除批次外来自其他来源的复合材料性能变异性 255
 - 5.12.1.2 常规鉴定方法和许用值计算 256
 - 5.12.2 嵌套式鉴定方法的发展和应用 257
 - 5.12.2.1 研发背景 257
 - 5.12.2.2 碳纤维/环氧树脂鉴定方法 262
 - 5.12.2.3 数据审查 264
 - 5.12.2.4 数据分析 268
 - 5.12.2.5 嵌套式实验进展的回顾和结论 271
 - 5.12.3 用回归法进行嵌套式鉴定数据许用值计算实例 272
 - 5.12.4 供应商 C 制造供应商 A 材料的鉴定 275
 - 5.12.4.1 引言 275
 - 5.12.4.2 鉴定计划 276
 - 5.12.4.3 工艺批的热压罐固化程序 280
 - 5.12.4.4 工艺和试验批进度 280
 - 5.12.4.5 供应商 C S2 G/Ep 材料的变异源 290
 - 5.12.4.6 总结 292
 - 5.12.5 使用嵌套式方法的设计许用值 293
 - 5.12.6 嵌套式鉴定成本问题 294
 - 5.12.7 总结 302

参考文献 303

第 6 章 生产用材料与工艺的质量控制 307

- 6.1 引言 307
- 6.2 材料采购质量保证程序 307
 - 6.2.1 规范和文件 307
 - 6.2.2 供应商阶段的材料控制 308
 - 6.2.2.1 工艺过程控制文件(PCD) 308