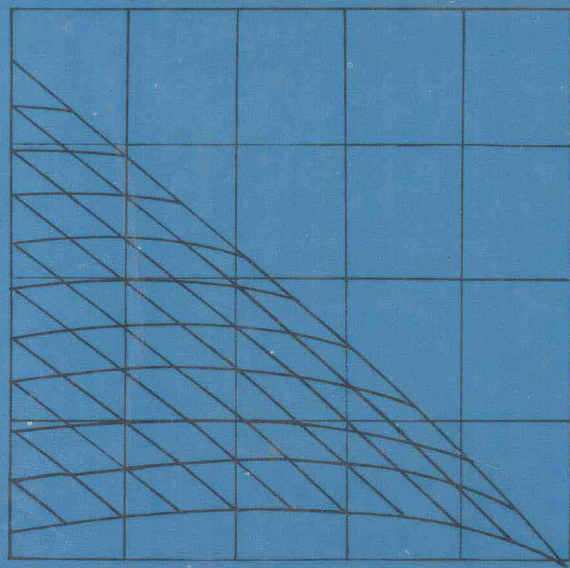


MIL-HDBK-17B

聚合物基复合材料

第一卷 指南



航空航天工业部第六三三研究所

M I L - H D B K - 1 7 B

聚合物基复合材料

第一卷 指南

唐啸东 柴亚南 陈普会 李新祥 译
丁惠梁 沈 真 王山根 邵毓俊 校
理有亲 审

航空航天工业部第六三三研究所

MIL-HDBK-17B

1988年2月29日

代替

MIL-HDBK-17A, Part I

1971年1月

军 用 手 册

聚 合 物 基 复 合 材 料

第一卷 指 南

译 者 的 话

复合材料因其优异性能在国内外获得日益广泛的结构应用,取得明显的结构减重效果,具有良好的工业应用前景。复合材料工业应用的前提,是要能正确地确定所用材料体系的性能和强度许用值。在对复合材料进行表征时碰到很多困难:由于试件的制备、试验方法都还不像金属那样完备和标准化,不同单位对同一体系得出的数据变异较大,耗资巨大得出的结果难于推广使用。为此,欧美各国对复合材料的性能表征这一关键问题都很关注,努力使表征和确定许用值的试验标准化。以美国为例,就有陆军—海军—空军、NASA 的联合组织(JANAF)、AIAA、ASTM、国防部(DoD)、以及 MIL-HDBK-17 陆军的材料试验研究中心(MTL)等,先后对此开展了大量研究。这里所译的 MIL-HDBK-17B 就是这种努力的一项具有代表性的重要成果。它取代了七十年代初的 MIL-HDBK-17A,对复合材料表征的内容、要求、方法和数据统计处理等给出了明确的规定与办法。这手册的翻译出版无疑对建立我国自己的标准提供了良好的借鉴,对指导当前的实际工程应用有很大指导作用。

该手册共分三卷:第一卷提供了总的指南,第二卷为材料性能(暂缺),第三卷为数据使用指南(暂缺)。第一卷对材料性能表征的数据建立和分析提供了指南,其中第 1 章为概述,第 2 章讨论了材料数据建立的有关问题;第 3 章和第 4 章分别为增强纤维和树脂材料的评估(暂缺),第 5 章为预浸料性能的表征方法;第 6 章介绍了单层和层压板的性能表征;第 7 章是结构元件的表征;第 8 章详细介绍了性能数据分析与提供。

本书翻译工作由航空航天工业部 623 所复合材料强度研究课题组织,唐啸东、柴亚南、陈普会、李新祥分担了各章翻译工作,丁惠梁和沈真负责校对;由航空航天部 621 所王山根、邵毓俊进行二校。航空航天部科学技术研究院复合材料处理有亲处长对本书出版给予了大力支持并对全书作了审校。本书第 8 章所列的数据处理方法,已由航空航天部 623 所与西北工业大学编制程序投入使用。由于译校者水平有限,错误之处肯定难免,恳请读者不吝指正。

MIL-HDBK-17B: 第一卷

聚合物基复合材料

1. 军用手册 17(第一部分)提供了聚合物(有机)基复合材料指南及其性能数据, 其涉及的聚合物复合材料, 主要用于飞机、航天运载工具以及军用格斗运输工具, 但又不局限于这些用途。结构夹层复合材料已由 MIL-HDBK-23 给出, 金属基复合材料(MMC), 陶瓷基复合材料(CMC), 以及碳/碳复合材料(C/C)将分别编在随后出版的军用手册里。

2. 本标准化手册, 是作为国防部与联邦航空管理局的一项共同工作而进行编写和予以维护的。

3. 本手册包括的资料, 有些是从材料制造商、工业界、政府资助的研究报告以及公开发表的文献中搜集得到的, 有些是在与研究实验室以及 MIL-HDBK-17 协调组织的接触中获得的。

4. 所有包括在手册中的资料及数据, 在发表之前均与工业界、陆军、海军、空军、NASA 以及联邦航空管理局进行了协调。

5. 尽力使手册反映出有关聚合物基复合材料的最新资料。为了保证其完整性, 并反映出最新发展, 手册在不断地进行审查与修订。欢迎手册用户把发现的错误以及修改补充建议, 反映到陆军部、陆军实验室总部、材料技术实验室, 即送: SLCMT-OM, MIL-HDBK-17 Coordinator, Arsenal St., Watertown, MA 02172-0001。提交秘书处的文档资料应送 Materials Sciences Corporation, MIL-HDBK-17 Secretariat, Gwynedd Plaza II, Spring House, PA 19477。

6. 手册的副本及修订本可从 Naval Publications and Forms Center, 5801 Tabor Avenue, Philadelphia, Pennsylvania 19120 得到。

管理人:

Army-AV

Navy-AS

Air Force-20

3AA

筹备组织:

Army-MR

项目号 CMPS-0001

目 录

第一卷 指南

第1章 概述	1
1.1 引言	2
1.2 目的	4
1.3 范围	4
1.4 手册的使用及限制	5
1.5 批准步骤	5
1.6 符号、缩写, 及单位制	6
1.6.1 符号及缩写	6
1.6.2 单位制	12
1.7 定义	14
参考文献	30
第2章 建立性能数据的目的	31
2.1 引言	32
2.2 对建立物理和力学性能的建议	32
2.2.1 一般准则	32
2.2.2 环境敏感性	32
2.2.3 材料的获得及预浸料物理性能的特征	37
2.2.4 单层的物理和力学性能试验	38
2.2.5 力学性能的统计研究	40
2.2.6 数据汇集的条件	40
2.3 其他有用的试验阵列	40
2.3.1 材料体系的筛选	40
2.3.2 对候选材料供应厂商的要求	41
参考文献	41
第3章 增强纤维的评估	(暂缺)
第4章 树脂材料的评估	(暂缺)

第5章 预浸料的性能表征	45
5.1 引言	47
5.2 性能表征方法——综述	47
5.2.1 高效液相色谱法	48
5.2.2 红外光谱法	48
5.2.3 热分析法	48
5.2.4 流变分析法	49
5.3 取样、处理和储存	50
5.4 预浸料和复合材料的一般性能表征	50
5.4.1 增强材料的物理描述	50
5.4.2 树脂含量	51
5.4.3 纤维含量	51
5.4.4 挥发物含量	52
5.4.5 水分含量	52
5.4.6 无机填料和添加剂含量	52
5.4.7 面积重量	52
5.4.8 粘性和覆盖性	52
5.4.9 树脂流失量	52
5.4.10 凝胶时间	52
5.5 聚合物和预聚物性能表征的通用方法	53
5.5.1 热分析法	53
5.5.2 光谱法	55
5.5.3 稀释溶液的性能表征	55
5.6 试验方法	63
5.6.1 环氧树脂预浸料的树脂提取方法	63
5.6.2 玻璃、芳纶和石墨纤维预浸料的高效液相色谱(HPLC)/ 排阻色谱(SEC)分析法	64
5.6.3 Fourier 变换红外光谱法(FTIR)的步骤	65
5.6.4 差示扫描量热法(DSC)的步骤	66
5.6.5 动态力学分析(DMA)的步骤	66
5.6.6 流变性能表征的步骤	66
参考文献	67
第6章 单层和层合板的性能表征	71
6.1 引言	72
6.2 化学性能试验	72
6.3 物理性能试验	72
6.3.1 玻璃化转变温度	72
6.3.2 密度	72
6.3.3 吸水性	72

6.3.4 热膨胀	72
6.3.5 孔隙率	72
6.4 热稳定性	72
6.5 化学稳定性	72
6.6 力学性能试验	72
6.6.1 概要	72
6.6.2 拉伸试验	73
6.6.3 压缩试验	74
6.6.4 弯曲试验	74
6.6.5 剪切试验	74
6.6.6 疲劳	75
6.6.7 蠕变	76
6.6.8 损伤容限与层合板的试验	76
6.6.9 纤维缠绕	77
参考文献	78
 第7章 结构元件的表征	80
7.1 引言	81
7.1.1 背景	81
7.1.2 破坏模式	81
7.2 挤压强度的表征	81
7.2.1 意义	81
7.2.2 定义	82
7.2.3 试件设计与试验	83
7.2.4 试验重复性要求	83
7.2.5 试验条件	83
7.2.6 中间挤压应力的确定	83
7.2.7 挤压强度计算	87
参考文献	87
 第8章 数据的分析与给出	88
8.1 总论	91
8.1.1 引言	91
8.1.2 数据文件的编制要求	91
8.1.3 标准化	91
8.1.4 符号	92
8.2 材料及试样要求	93
8.2.1 基于统计处理的材料性能	93
8.2.2 典型性能	94

8.3 性能的确 定	94
8.3.1 引言	94
8.3.2 力学性能	94
8.3.3 化学性能	94
8.3.4 物理性能	94
8.3.5 热性能	95
8.3.6 电性能	95
8.3.7 典型应力-应变曲线	95
8.4 数据给出	95
8.4.1 性能与定义	95
8.4.2 手册中数据的编排	96
8.4.3 样本汇总表	97
8.4.4 样本图	97
8.5 基于统计的材料性能计算	97
8.5.1 引言	97
8.5.2 计算方法说明	101
8.5.3 异常数据检查及总体特性的表征	101
8.5.4 存在批间变异情况下的正态分析方法	104
8.5.5 单个总体的正态分析方法	106
8.5.6 单个总体的双参数威布尔分析方法	107
8.5.7 单个总体的非参数分析方法	110
8.5.8 线性回归分析方法	111
8.6 统计方法	113
8.6.1 引言	113
8.6.2 异常数据检查方法	113
8.6.3 子总体的均匀性检验	114
8.6.4 拟合优度检验	115
8.6.5 探索性数据分析	118
8.6.6 简单线性回归分析	121
8.6.7 方差分析方法	124
8.7 计算方法算例	127
8.7.1 例 1—异常数据检查与多样本检验	127
8.7.2 例 2—异常数据检查与 ANOVA 法	131
8.7.3 例 3—威布尔分布	134
8.7.4 例 4—正态分布	135
8.7.5 例 5—对数正态分布	136
8.7.6 例 6—非参数方法	138
8.7.7 例 7—数据不足	138
8.7.8 例 8—回归分析	139

8.8 有关统计表的计算 142

8.8.1 正态分布中置信水平为 0.95 时的单侧容限系数 k_B 143

8.8.2 威布尔分布中置信水平为 0.95 时的单侧容限系数 V 143

8.8.3 用于确定未知分布 B 基值的观测值序号 r 144

8.8.4 自由度为 γ_1 和 γ_2 时 F 分布的 0.20 分位数 144

8.8.5 自由度为 γ_1 和 γ_2 时 F 分布的 0.95 分位数 144

8.8.6 置信水平为 0.95 时的单因素随机效应 ANOVA 方法的单侧容限系数 T ... 145

8.8.7 在 0.05 显著性水平下 k -样本 Anderson-Darling 检验的临界值 145

8.8.8 自由度为 γ 时 χ^2 分布的 0.95 分位数 145

8.8.9 最大赋范残差(MNR)异常数据检查方法的临界值(显著性水平 $\alpha=0.05$) 145

8.8.10 最大赋范残差(MNR)异常数据检查方法的临界值(显著性水平 $\alpha=0.01$) 146

8.8.11 小样本非参数材料性能的 B 基值..... 146

参考文献 146

统计表 148

第二卷 材料性能(暂缺)

第 1 章 概述

第 2 章 纤维性能

第 3 章 基体性能

第 4 章 玻璃纤维复合材料

第 5 章 芳纶纤维复合材料

第 6 章 碳纤维复合材料

第 7 章 硼纤维复合材料

第 8 章 石英纤维复合材料

第 9 章 碳化硅纤维复合材料

第三卷 数据使用指南(暂缺)

第 1 章 引言

第 2 章 材料及工艺过程

第 3 章 材料生产的质量控制

第 4 章 设计与分析

第1章 概 述

1.1 引言	2
1.2 目的	4
1.3 范围	4
1.4 手册的使用及限制	5
1.5 批准步骤	5
1.6 符号、缩写, 及单位制	6
1.6.1 符号及缩写	6
1.6.1.1 组分性能	8
1.6.1.2 单层与层合板	9
1.6.1.3 下标	11
1.6.1.4 上标	11
1.6.2 单位制	12
1.7 定义	14
参考文献	30

1.1 引言

为了表征复合材料体系,把基于统计的力学性能数据库、处理方法以及所有的材料指南进行标准化,无论对制造商还是对政府部门都是有益的。同时,对任何工程材料体系性能的完整表征,主要取决于材料固有的物理与化学成分,而这些成分是与具体的应用无关的。因此,就表征材料体系而言,手册中包括的数据和指南适用于军用和民用产品,并且,为建立审定部门以及订货部门可接受的有效统计设计值,提供了技术基础。

具体地讲,本手册对现有的以及新兴的聚合物基复合材料,提供了基于统计的力学性能数据以及分析和表述数据的指南,同时还提供了材料加工和表征的文档,以保证数据结果的重复性,或可靠的误差可检性。在通常适用于复合材料的所有表征/设计方法方面,MIL-HDBK-17 主要着重于如图 1.1 所示的内容。

手册列出的数据,或被批准条款形式出现在 MIL-HDBK-17 协调会议备忘录中的数据,均为陆军、海军、空军及联邦航空管理局所认可。当使用手册中没有列出的数据或指南时,必须得到审定部门或订货方的同意。

本标准化手册是作为国防部与联邦航空管理局的一项共同工作进行编写和予以维护的。其目的,是针对现有的及新兴的复合材料,使得建立和分析其力学性能数据的方法达到标准化。

MIL-HDBK-17 最终包括三卷。第一卷涉及数据建立与分析的指南。其中的第 2 章,给出了生成材料性能的指南,包括可供使用材料的鉴定以及不同来源数据的归并。从第 3 章到第 5 章,对评定复合材料组分,包括增强纤维、树脂及预浸带材料,规定了可以采用的方法。第 6 章叙述了评定单层及层合板材料时可以采用的方法。分析复合材料结构细节件,特别是螺栓接头的方法由第 7 章给出。第一卷的第 8 章叙述了复合材料性能数据的分析与表示方法。引用的主要参考文献在每章的末尾和附录中列出。

MIL-HDBK-17 的第二卷将为现有的及新兴的复合材料,提供一套基于统计的材料性能数据汇编。该卷的头两章涉及基体材料与增强纤维这两种组分的性能。其余章节涉及复合材料体系的性能,并按基本增强纤维的类型予以说明。在不同的章节里分别介绍玻璃纤维、芳纶纤维、碳纤维及硼纤维复合材料的性能。

第三卷将给出第二卷所列数据的应用指南。第 1 章介绍典型的复合材料及工艺过程。考查了 MIL-HDBK-17 所关心的作为典型的产品形式的基体材料及增强纤维材料,作为参考,还对加工方法进行了介绍。第 2 章给出了与复合材料生产过程中质量控制相关的要点。除材料性能验证及统计质量控制技术外,还给出了建议采用的生产检验方法。第 3 章介绍了复合材料体系的设计与分析,概括了当今采用的技术,并介绍如何把 MIL-HDBK-17 给出的各种组分性能,用于复合材料体系的设计与分析。

在本卷第 1 章其他部分,给出了对每个 MIL-HDBK-17 用户都很重要的附加内容;规定了手册的目的和范围,并讨论了它的使用和限制;对采用的符号体系、缩写及单位制进行了规定,给出了与本手册有关的大量术语的定义。

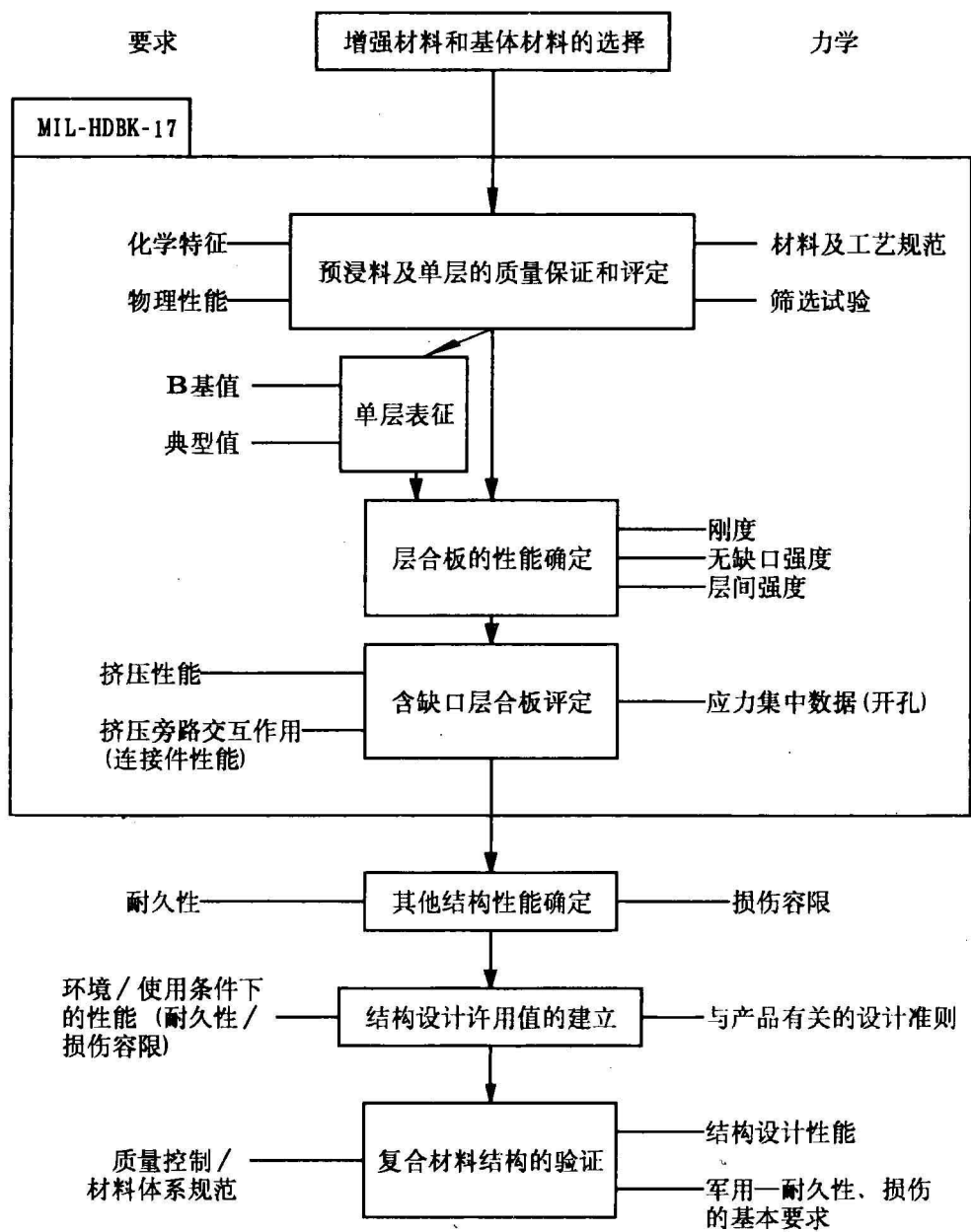


图1.1 MIL-HDBK-17 的主要内容

1.2 目的

本手册的目的是对现有的及新兴的复合材料, 提供一套统计力学性能数据的标准来源。为此目的, 手册必须给出具体的指南, 说明如何建立和分析所需的数据, 同时, 明确规定这些复合材料加工与性能表征的文档要求。

每年两次的 MIL-HDBK-17 协调会议, 目的在于具体考察和批准新指南和新数据的提案。这些会议由国防部、联邦航空管理局和工业界的代表参加。经批准并收入到本手册或 MIL-HDBK-17 协调会议备忘录的材料, 均被陆军、海军、空军及联邦航空管理局认可, 并且从被 MIL-HDBK-17 协调委员会批准之日起开始生效。使用那些未被批准因而也未被收入本手册的数据或指南, 必须得到有关审定部门或订货方的批准。

1.3 范围

MIL-HDBK-17 最终分三卷出版, 并提供下列内容:

第一卷 — 为用于宇航飞行器及结构的复合材料体系, 提供性能表征指南。复合材料体系通常必须按照这些或等效的指南进行评定, 以便被政府审定部门及订货方所接受。

第二卷 — 为那些用于宇航工业的现有的及新兴的复合材料体系, 提供一套基于统计的力学性能汇编。除有关的数据外, 同时给出 B 基强度值以及破坏应变值。

第三卷 — 提供有关材料、加工方法、质量控制, 以及设计和分析方面的资料。

具体地讲, 第一卷为表征复合材料的物理、化学以及力学性能, 提供指南。这些指南涉及纤维、基体及预浸料这些典型复合材料体系中基本组分的性能表征。同时, 这些指南还涉及复合材料体系的性能表征, 并且着重于单层性能, 而不是层合板性能。给出了评定复合材料螺栓接头的建议。这一卷还提供了数据统计分析以及表述的指南。

第二卷将为宇航工业用的复合材料, 提供基于统计的力学性能数据。强度以及破坏应变性能将用 B 基值或用 S 值(见 1.7 节)给出。刚度性能一般按典型值给出。其中每个量值的具体统计意义将在第二卷的头一章里解释。复合材料组分——纤维、基体和预浸料——的物理、化学及力学性能则在适当的场合给出。之后的章节将给出各种复合材料体系的数据汇总, 其中每一章针对一种特定的增强纤维。

第三卷给出复合材料设计与分析的指南。在第三卷各章介绍题目包括 1) 材料及工艺过程, 2) 复合材料生产的质量控制, 和 3) 设计与分析。给出这些资料, 主要是为了提供背景材料, 而不是给出指令性的规定。

对每种复合材料体系, 将按可能的使用条件范围, 确定基于统计的强度性能。其目的是给出特定材料在可能的环境条件上、下限的性能数据; 从而避免因有关的应用问题影响力学性能的表征。如果还有中间环境条件下的数据, 则将用来更准确地确定材料性能与环境影响之间的关系。在第二卷中还将列表给出可得到的基于统计的强度数据。当应力与强度分析有能力进行单层水平上的强度校核时, 这些强度数据可用作建立结构设计许用值的

出发点。根据应用的需要,有些结构设计许用值必须在层合板以及复合材料水平上经验地确定, MIL-HDBK-17 不提供这些数据。

在证实其他可得到的资料以及性能数据满足指南要求时,将增补进手册。如果典型性能值以及 S 值(见定义)得到 MIL-HDBK-17 协调组的认可,也将收入。

当不能满足 MIL-HDBK-17 中的指南或数据要求时,应与审定部门或政府订货部门联系,以确定数据要求和其他可能需要的文件,以证明生产厂家提出或采用数据的正确性。

1.4 手册的使用及限制

MIL-HDBK-17 中包括的资料,有些是从材料制造和加工厂商、宇航工业界、政府资助的研究报告,以及公开发表的文献中搜集来的,有些是从研究实验室以及参与 MIL-HDBK-17 协调组织的各成员中获得的。手册中的所有资料和数据在发表之前均与工业界、陆军、海军、空军及联邦航空管理局的代表进行了磋商,尽力使手册反映宇航飞行器及结构用复合材料和结构细节件的最新资料。为了保证其完整性,并尽可能反映出当前的发展,手册在不断地进行审查和修订。

手册中所有的数据,都只基于试件。试件的尺寸与所用具体试验方法中规定的相一致。只要可能,推荐使用标准试验方法(主要是 ASTM 标准)。把手册中的数据用到手册中未包括的其他试件尺寸、温度、湿度及其他环境条件下时,必须由设计师和使用者自己负责。本手册未涉及诸如尺寸放大效应以及所用试验方法对性能影响等问题。关于 S 基值的使用方式由设计师酌定。一般地讲,对某一具体的应用或设计,决定采用什么性能数据,是设计师的责任,不属本手册的范围。

本手册中所表列的数据,其目的是有助于确定某一材料的性能值。在特定情况下,需要或希望建立高于手册所列的强度值时,其值必须得到有关订货部门或审定部门的认可。同样,对手册中具体条文的适用性及其解释,必须由相应的订货、管理,或审定部门规定。

手册所列参考文献中的资料可能与手册中给出的指南或其他准则不完全一致。参考文献附在每章的末尾,主要是对讨论的领域提供其他的资料来源。

对商品名称以及专卖产品名称的使用,并不就是政府对这些产品的认可。

1.5 批准步骤

MIL-HDBK-17 协调小组是一个政府与工业界的联合组织,每年召开两次会议。在每次会议上,该小组研究讨论任一工作小组提交的有关手册的修改与增补提案。会议日程通常在会议召开前四周寄给会议参加者,而会议备忘录则在会议结束四周之后寄出。有关把材料列入手册的要求,应远在邮寄日期之前提交给有关的工作小组和秘书处。

在提出的有关手册修改或增补的附件中,应对需要进行的修改或增补内容予以专门注释,并对支持性数据及分析步骤进行适当的文档说明。同时应把需要列入手册中的可复制图表或照片提供给秘书处。

有关要求把数据列入 MIL-HDBK-17 的申请, 应连同 8.1.4 节中规定的文档一起提交秘书处。在秘书处对这些数据进行了分析和考核之后, 将把这些数据提交下次协调小组会议。

是否把新材料列入手册, 由 MIL-HDBK-17 协调小组决定。从实际考虑, 不会把可能感兴趣的所有先进复合材料都收入手册。因此要做一些工作, 以便适时地把感兴趣的新材料增加到手册里。

1.6 符号、缩写, 及单位制

本节定义了 MIL-HDBK-17 所采用的符号和缩写, 并解释了所沿用的单位制。只要可能, 保留通常的用法。这些资料主要来源于参考文献 1.6(a), 1.6(b), 1.6(c)。

1.6.1 符号及缩写

用上标和下标区别各种不同的复合材料物理量和参数。使用上标和下标的详细规则如下:

- 符号 f 和 m , 不管用于上标还是下标, 都分别表示纤维和基体。
- 表示应力类型的符号 (如 c_y — 压缩屈服) 总是用于上标位置。
- 方向标示符 (如 x , y , z , L , T 等) 总是用于下标位置。
- 铺层序号标示符 (如 1, 2, 3 等) 用于上标位置, 且需用括号括起来, 以便与数学的幂指数区别。
- 其他标示符, 只要明确清楚, 可用于下标位置, 也可用于上标位置。
- 由上述规则导出的复合符号 (即基本符号加标示符) 的具体形式, 由下表给出。

在使用 MIL-HDBK-17 时, 认为下列通用符号和缩写是标准的。遇有例外时, 在正文或表格中予以注明。

A	— 面积(m^2 , in^2)
a	— (1)长度(mm , in) — (2)加速度(m/sec^2 , ft/sec^2)
b	— 宽度(mm , in), 如与载荷方向垂直的受挤压或受压缩板的宽度, 或梁截面宽度
C	— 柱的欧拉屈曲约束系数
$\bar{c}$	— (1)比热($kJ/kg^\circ C$, $BTU/lb^\circ F$) — (2)蜂窝夹芯高度(mm , in)
CF	— 离心力(N , lbf)
CG	— 质心; “重心”; 也指频率, 体积形心面积
$\bar{C}$	— 中心线
D	— (1)直径(mm , in) — (2)刚度($N-m$, $lbf-in$)
E	— 弹性模量(GPa , Msi)

E'	— 储能模量
E''	— 损耗模量
E'_c	— 垂直于夹层平面方向的蜂窝芯弹性模量(GPa, Msi)
e	— 端距(mm, in)
F	— 许用应力(MPa, ksi)
f	— 作用应力(MPa, ksi)
$F_{0.70}, F_{0.85}$	— 斜率分别为0.70E和0.85E的割线与应力应变曲线交点对应的应力水平(MPa, ksi)
G	— 剪切模量(MPa, ksi)
g	— 重力加速度
G'_{cx}	— 夹层芯子沿x轴的剪切模量(MPa, ksi)
G'_{cy}	— 夹层芯子沿y轴的剪切模量(MPa, ksi)
h	— 高度(mm, in), 如梁截面高度。有时用作厚度
H/C	— 蜂窝(夹层)
I	— 面积惯性矩(mm ⁴ , in ⁴)
K	— (1)介电常数 — (2)一般系数
k	— (1)一般系数 — (2)导热系数(W/m°C, BTU/ft ² /hr/in/°F)
K_t	— (1)几何应力集中系数 — (2)蜂窝夹层结构中的 t_w/c 比
K_s	— 板或筒壳的剪切屈曲系数
K_x, K_y	— 板或筒壳的压缩屈曲系数
L	— 筒壳、梁或柱的长度(mm, in)
L'	— 柱的有效长度(mm, in)
M	— 力矩(N-m, in-lbf)
m	— (1)质量(kg, lb) — (2)半波数
M.S.	— 安全系数
MW	— 分子量
MWD	— 分子量分布
N	— (1)疲劳循环数 — (2)层合板中的单层数 — (3)板的面内分布力(lbf/in)
n	— (1)子样大小 — (2)半波或全波数
NA	— 中性轴
P	— 作用载荷(N, lbf)
p	— 法向压力(Pa, psi)