

复合材料结构 及维修

田秀云 杜洪增 编著

中国民航出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

复合材料结构及维修/田秀云编著.-北京:中国民航出版社,1996.7
ISBN 7-80110-097-2

I. 复… II. 田… III. ①民用飞机-航空材料:复合材料-结构性能②民用飞机-维修 IV. V267

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 12652 号

复合材料结构及维修

田秀云 杜洪增 编著

*

中国民航出版社出版发行
(北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼)

邮政编码 100028

通县曙光印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 9 字数: 213 千字
1996 年 7 月第 1 版 1996 年 7 月第 1 次印刷 印数: 1—2 000 册

ISBN 7-80110-097-2/V·047 定价: 16.00 元

前 言

随着复合材料科学和技术的发展,复合材料结构在民用飞机上应用越来越多。因此,为适应民用飞机结构维修实践的需要,在总结复合材料结构维修经验和吸收国内、外复合材料结构先进维修技术的基础上编写了本书。

目前,国内、外出版和发表的复合材料方面的著作与论文,大部分是关于复合材料力学、试验、设计技术和生产工艺等方面的;涉及复合材料结构维修理论和维修技术的著作和论文较少。针对民用飞机结构维修实践的需要,本书着重介绍复合材料结构的损伤及检测;论述复合材料结构的维修理论和维修技术。也用一定篇幅介绍了飞机结构维修工程师应了解的复合材料结构的原材料、生产工艺、设计技术和疲劳强度等方面的内容。该书没有过多涉及复合材料力学方面的内容。

在飞机结构维修方面,本书仅作为民用飞机复合材料结构维修的指导性参考文献,不作为法规性文献。当某型飞机的结构修理手册给出某种损伤的修理方法时,应以结构修理手册为依据制定修理方案。对于超出结构修理手册范围的重大结构修理,可参考本书制定修理方案。但是,必须将修理方案报制造厂家和本国适航当局,得到制造厂家的认可和适航当局批准后,方可实施修理。

本书共分 10 章。第二至第九章由田秀云副教授编写;第一和第十章由杜洪增副教授编写。

张躬行教授对本书手稿做了认真审阅,提出了宝贵意见。作者谨向他表示衷心感谢。

由于作者的复合材料知识水平有限,维修经验不足,书中一定会存在不少缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

1995 年 11 月

内容简介

本书着重介绍民用飞机复合材料结构的损伤及检测；论述复合材料结构的维修理论和维修技术；也用一定篇幅介绍了飞机结构维修工程师应了解的复合材料结构的原材料、生产工艺、设计技术和疲劳强度等方面的内容。

本书可用作航空院校机械维修专业本科生、专科生的教科书；它对飞机结构维修工程师具有较高的参考价值。

目 录

前言

第一章 绪论

- 1.1 复合材料的定义和种类 (1)
- 1.2 层合板的表示方法 (2)
- 1.3 复合材料的特性 (4)
- 1.4 蜂窝夹芯结构 (6)
- 1.5 复合材料在民用飞机结构上的应用 (6)

第二章 复合材料的原材料

- 2.1 增强材料..... (10)
- 2.2 基体材料..... (14)
- 2.3 预浸料..... (15)
- 2.4 夹芯材料..... (18)
- 2.5 胶粘剂..... (19)

第三章 复合材料的成型工艺

- 3.1 预浸料的切割和铺叠方法..... (20)
- 3.2 毛坯的封装与固化..... (22)
- 3.3 有机基复合材料成型工艺方法..... (24)
- 3.4 金属基复合材料成型工艺方法..... (28)

第四章 复合材料结构设计

- 4.1 材料设计..... (31)
- 4.2 铺层设计..... (33)
- 4.3 混杂纤维复合材料设计..... (35)
- 4.4 防腐设计..... (37)
- 4.5 防雷击抗静电设计..... (39)

第五章 复合材料结构的连接设计

- 5.1 概述..... (41)
- 5.2 机械连接接头设计..... (42)
- 5.3 复合材料结构机械连接的强度分析..... (45)
- 5.4 机械连接施工工艺要求..... (50)
- 5.5 胶接连接设计..... (52)
- 5.6 夹芯结构连接设计..... (55)

第六章 复合材料结构的疲劳强度

- 6.1 复合材料的疲劳特性..... (59)
- 6.2 影响复合材料疲劳强度的因素..... (60)
- 6.3 机械连接接头的疲劳特性..... (64)
- 6.4 胶接接头的疲劳特性..... (67)

第七章 复合材料结构的损伤

- 7.1 疲劳损伤..... (69)
- 7.2 撞击损伤..... (74)
- 7.3 雷击损伤..... (75)
- 7.4 夹芯结构的损伤..... (77)

第八章 复合材料结构的损伤检查

- 8.1 目视及其他的简单检查方法..... (79)
- 8.2 渗透检测方法..... (81)
- 8.3 射线检测方法..... (84)
- 8.4 超声波检测方法..... (87)
- 8.5 涡流检测方法..... (92)
- 8.6 其他检测方法..... (93)

第九章 复合材料结构的修理

- 9.1 概述..... (94)
- 9.2 修理材料与设备..... (95)
- 9.3 损伤的清除与打磨修整 (103)
- 9.4 制作、清洁和安装蜂窝夹芯塞 (106)
- 9.5 铺层 (110)
- 9.6 封装与固化 (113)
- 9.7 表面修整和检查 (117)
- 9.8 几种特殊损伤的修理 (118)

第十章 表面层的可允许损伤与修理

- 10.1 表面层的可允许损伤..... (125)
- 10.2 表面层的临时性修理..... (126)
- 10.3 火焰喷涂铝涂层的永久性修理..... (127)
- 10.4 镀铝玻璃纤维表面层的修理..... (132)
- 10.5 铝箔层 (BMS 8-299) 的永久性修理 (132)

第一章 绪 论

1.1 复合材料的定义和种类

一、复合材料的定义

复合材料是由两种或两种以上的保留其物理和化学特性的材料组成的一种新的多相材料，各组分材料之间具有明显的界面。复合材料通常由增强材料（例如，玻璃、硼、芳纶和碳纤维）和基体材料（例如，树脂、金属）组成。

复合材料中的分散相材料就是纤维增强材料，而包容相材料就是基体。例如，纤维增强复合材料，就是由拉伸强度和弹性模量均很高，但比较脆的纤维，分散到拉伸强度和弹性模量均较低但是韧性较高的树脂基体中而得到的。这样一来，复合材料中的各组分材料互相弥补了各自的弱点，使之具有优于各组分材料的综合性能。有时复合材料还具有各组分材料所没有的良好性能。

二、复合材料的种类

复合材料的种类很多，可按不同分类方式进行分类。表 1.1-1 给出了按不同分类方式划分的几种类别。

表 1.1-1 复合材料的种类

分类的方式	名 称	说 明
按分散相材料形状分	颗粒增强复合材料	分散相为微小颗粒构成的复合材料
	纤维增强复合材料	分散相材料是直径近于晶体大小的纤维构成的复合材料
按纤维长短分	长纤维（连续）增强复合材料	作为分散相材料的纤维，一般来说，每根纤维的两个端点都在材料制成构件的边界处
	短纤维（非连续）增强复合材料	短小的纤维无规则地分散于基体相材料中构成的复合材料
按基体相材料分	金属基复合材料	基体相材料为金属构成的复合材料。依据金属材料的不同种类，有铝基复合材料、钛基复合材料等
	非金属基复合材料	基体相材料为非金属构成的复合材料。依据非金属材料的不同种类，有塑料基复合材料、陶瓷基复合材料、橡胶基复合材料等

分类的方式	名 称	说 明
按应用情况分	工程复合材料	通常指在工程上已广泛应用的复合材料, 像玻璃纤维增强塑料 (又名玻璃钢)
	先进复合材料	像碳、硼、芳纶等纤维增强的塑料, 其比强度、比模量较大的复合材料
	混杂复合材料	由两种或两种以上的纤维混合或不同纤维的铺层混合构成的复合材料
按结构形式分	层合结构复合材料	由无纬布或纤维织物布用铺叠方法制成的纤维增强复合材料
	缠绕结构复合材料	由纤维粗纱缠绕或纤维织物布带卷绕方法制成的纤维增强复合材料

1.2 层合板的表示方法

本书研究的对象是目前民用飞机结构上应用最广泛的长纤维增强复合材料。图 1.2-1 (a) 所示的层合板就是一种典型的纤维增强复合材料, 它是由图 1.2-1 (b) 所示的 5 个铺层紧密粘合在一起而制成的。每一铺层称为单层板。

复合材料中单层板的纤维取向, 采用两个坐标系 (图 1.2-2) 来定义。图中 1-2 坐标系定义单层板的纵向 (纤维方向) 和横向, x - y 坐标系定义整个层合板的纵向和横向。这两个坐标系间的夹角即为该单层板的铺层角。

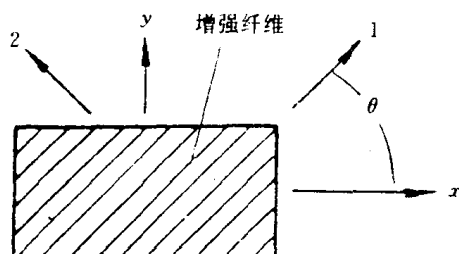


图 1.2-2 单层板的取向

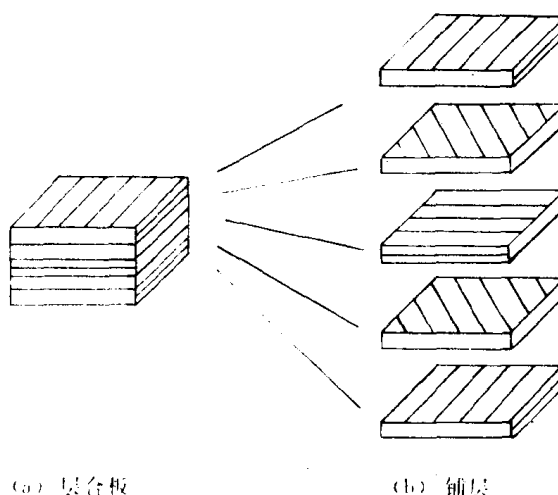


图 1.2-1 层合板和铺层

增强纤维单向置入基体中形成的单层板称为单向铺层或无纬铺层板, 如图 1.2-3 (a) 所示; 当纤维以编织品形式置入基体中形成的单层板称为编织双向铺层板, 如图 1.2-3 (b) 所示。

复合材料层合板是由单层板粘合而成的。在工程上, 我们常采用一种标记来表示铺层的层数、各层的铺层角和铺层顺序。表 1.2-1 给出了层合板中所采用的各种标记符号。

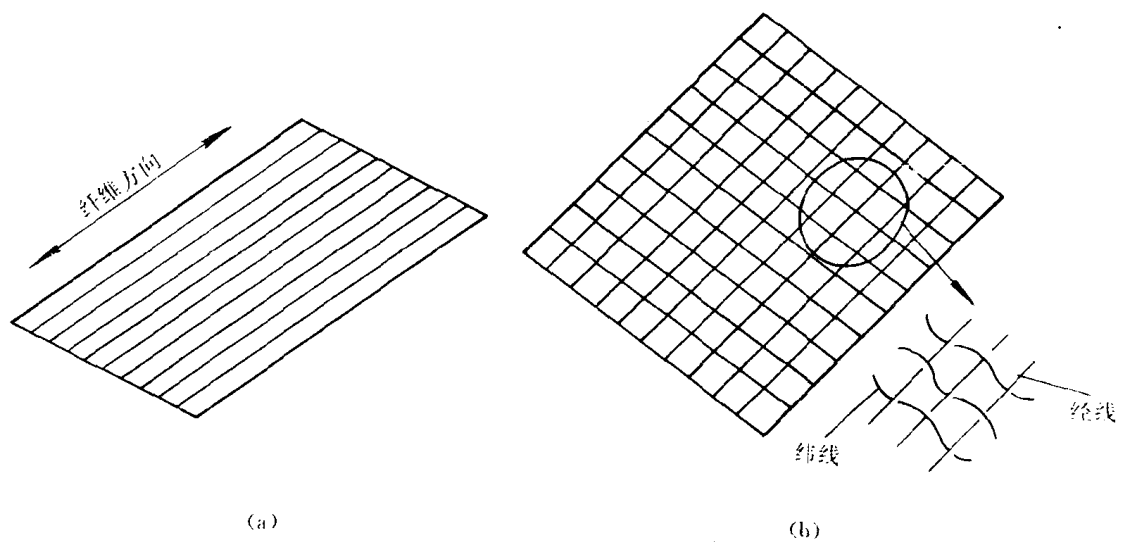


图 1.2-3 单层板的纤维形式

表 1.2-1 层合板中所采用的各种标记符号

符号名称	说 明	标记示例				
对称铺层符号	用下角标 S 表示	$[0/90]_s$ <table><tr><td>0</td></tr><tr><td>90</td></tr><tr><td>90</td></tr><tr><td>0</td></tr></table>	0	90	90	0
0						
90						
90						
0						
中分面铺层符号	在对称层合板中面处分开的铺层用顶标—表示	$[0/\overline{90}]_s$ <table><tr><td>0</td></tr><tr><td>90</td></tr><tr><td>0</td></tr></table>	0	90	0	
0						
90						
0						
全部铺层符号	用下角标 T 表示	$[0/45/90]_T$ <table><tr><td>90</td></tr><tr><td>45</td></tr><tr><td>0</td></tr></table>	90	45	0	
90						
45						
0						
层数符号	同一方向铺层连在一起铺设, 用下角标数字表示	$[0/45_2/90]_T$ <table><tr><td>90</td></tr><tr><td>45</td></tr><tr><td>45</td></tr><tr><td>0</td></tr></table>	90	45	45	0
90						
45						
45						
0						

续表

符号名称	说 明	标记示例						
正负铺层简缩符号	正、负铺层连在一起铺设,用前置符号±	$[0/\pm 45]_s$ <table><tr><td>0</td></tr><tr><td>+45</td></tr><tr><td>-45</td></tr><tr><td>-45</td></tr><tr><td>+45</td></tr><tr><td>0</td></tr></table>	0	+45	-45	-45	+45	0
0								
+45								
-45								
-45								
+45								
0								
铺层顺序重复符号	铺设的铺层顺序重复出现,用下角标数字表示重复次数	$[0/90]_{2T}$ <table><tr><td>90</td></tr><tr><td>0</td></tr><tr><td>90</td></tr><tr><td>0</td></tr></table>	90	0	90	0		
90								
0								
90								
0								
混杂铺层符号	当不同纤维的铺层混合时,用下角标区别: C——碳纤维 B——硼纤维 G——玻璃纤维 K——芳纶纤维	$[0_{2C}/45_G]_s$ <table><tr><td>0_C</td></tr><tr><td>0_C</td></tr><tr><td>45_G</td></tr><tr><td>45_G</td></tr><tr><td>0_C</td></tr><tr><td>0_C</td></tr></table>	0 _C	0 _C	45 _G	45 _G	0 _C	0 _C
0 _C								
0 _C								
45 _G								
45 _G								
0 _C								
0 _C								
单向与双向铺层混合符号	当单向与双向铺层混合铺设时,用()表示双向铺层	$[0/(0,90)/(\pm 45)]_s$ <table><tr><td>0</td></tr><tr><td>(0,90)</td></tr><tr><td>(±45)</td></tr><tr><td>(±45)</td></tr><tr><td>(0,90)</td></tr><tr><td>0</td></tr></table>	0	(0,90)	(±45)	(±45)	(0,90)	0
0								
(0,90)								
(±45)								
(±45)								
(0,90)								
0								

1.3 复合材料的特性

由于复合材料通常是由高强度、高弹性模量的纤维增强材料和低强度、低弹性模量的基体材料组成。因此,复合材料与常规金属材料不同,它是一种各向异性体。复合材料具有与常规金属不同的许多特性。其特性有以下几点。

一、比强度和比模量高

拉伸强度与密度之比称为比强度;弹性模量与密度之比称为比模量。在很多情况下,这两个比值是度量材料承载能力的一个极重要的指标。复合材料与金属材料相比,具有高的比强度和比模量。例如,铝合金的比强度和比模量分别是 0.17 和 0.26,而碳纤维/环氧树脂复合材料的比强度和比模量分别是 0.63 和 1.50。鉴于复合材料具有比强度、比模量均较高的优点,在飞机上采用复合材料结构,可以减轻飞机重量。一般说来,用复合材料结构代替铝合金结构,可以减轻 20% 或更多的重量。

二、具有可设计性

由于复合材料的性能除了取决于纤维和基体本身性能外，在很大程度上还取决于纤维的含量和铺层方式。因此，可以根据各方面的实际需要，对复合材料本身进行优化设计。例如，承受内压作用的圆筒，其环向应力是纵向应力的两倍。因此，在铺层设计时，可以按2:1的比例在环向与纵向铺设纤维。

三、抗疲劳性能好

复合材料的抗疲劳性能比金属材料的抗疲劳性能优良。例如，一般金属材料的疲劳极限是拉伸强度的45%~50%，而碳纤维/聚酯树脂复合材料的疲劳极限可达抗拉强度的70%~80%。

四、减振性能好

结构的固有频率与材料比模量的平方根成正比。由于复合材料的比模量比较高，所以复合材料结构的固有频率较高，与干扰力的频率相差较远。因此，复合材料结构一般不会发生共振，不会引起早期振动破坏。另外，复合材料的纤维与基体的界面具有减振能力，因此，它的振动阻尼很高。复合材料结构抗声振疲劳的性能明显优于金属结构。由于以上原因，易发生声振疲劳破坏的发动机罩和吊挂整流罩通常采用以复合材料层合板作面板的蜂窝结构。

五、高温性能好

一般铝合金在400℃时，弹性模量大幅度下降，接近于零；而且强度也显著下降。但是，用碳纤维增强的铝合金基复合材料，能在400℃高温下长期工作，力学性能保持稳定。

六、破损安全性好

纤维增强复合材料中有大量独立的纤维，存在多传力路线，当构件有少量纤维断裂时，其载荷会通过基体受剪传到其他没有断裂的纤维上。

七、具有脆性材料的特性

复合材料表现出脆性材料的特性。在达到失效点之前，它们的应力—应变关系一直是线性的，如图1.3-1所示。

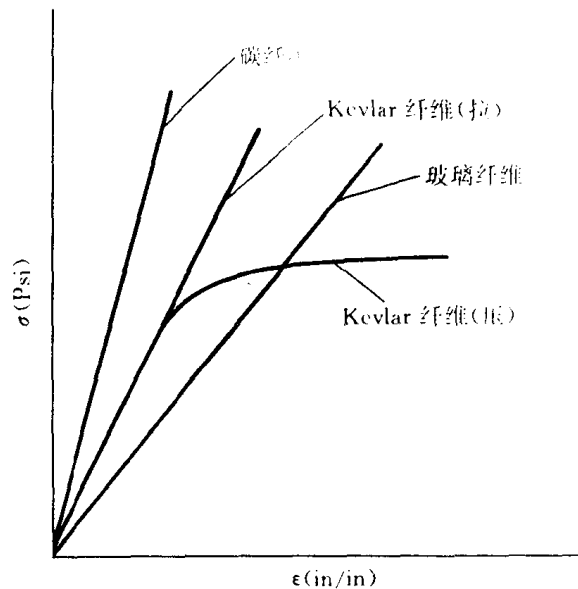


图 1.3-1 复合材料应力—应变关系示意图

1.4 蜂窝夹芯结构

一、蜂窝夹芯结构的结构形式

图 1.4-1 示出一块典型蜂窝夹芯结构的示意图。它是由上、下面板和蜂窝夹芯通过胶接而组成的。蜂窝夹芯结构的面板可以是复合材料层合板,也可以是铝合金面板、钛合金面板等。采用蜂窝夹芯结构的主要目的是为了提高结构件的抗弯刚度和充分利用材料的强度。

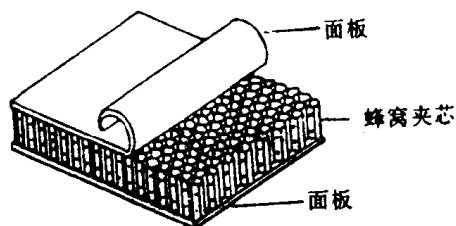


图 1.4-1 蜂窝夹芯结构示意图

二、蜂窝夹芯结构的受力特点

如果从承受侧向载荷的蜂窝夹芯板中取出一个单元体,则该单元体的受力状态如图 1.4-2 所示。剪力 Q_x 和 Q_y 由蜂窝夹芯承受;弯矩 M_x 和 M_y 通过面板受轴力来承受,即通过上、下面板分别受拉(或压)、压(或拉)来承受;轴力 N_x 和 N_y 也是由上、下面板承受的。

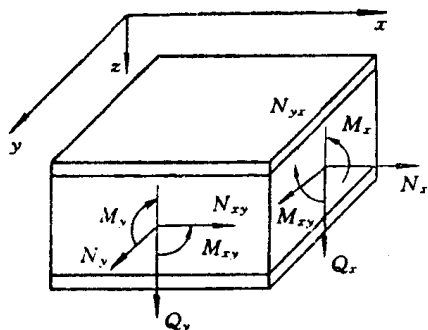


图 1.4-2 蜂窝夹芯板单元体受力状态

三、蜂窝夹芯结构的其它特性

蜂窝夹芯结构除具有以上的受力特性外,还有如下特性:

(1) 蜂窝夹芯结构有比常规金属结构更高的比强度。

(2) 蜂窝夹芯结构与厚度等于上、下面板厚度之和的平板相比,具有更高的抗弯刚度。

(3) 蜂窝夹芯结构具有较高的结构阻尼,较高的吸音和耐声振疲劳的性能。

(4) 蜂窝夹芯结构具有隔热性能,并具有光滑的气动外形。

1.5 复合材料在民用飞机结构上的应用

玻璃纤维复合材料(又称玻璃钢)是首先应用于飞机上的复合材料。因为玻璃纤维增强复合材料具有较高的比强度,能为无线电波和雷达波所穿过,制造上又易于成型复杂的外形轮廓。所以,这种复合材料首先用在飞机上制作雷达罩和无线电天线罩。波音 737-300 的雷达罩就采用了玻璃纤维复合材料结构,如图 1.5-1 所示。当然,这种复合材料也用在民用飞机的其他部件上。

为了提高复合材料的性能,现在研制和开发了许多新型的纤维和晶须材料,用它们作为增强相的复合材料称为先进复合材料或第二代复合材料。碳纤维复合材料是它们的典型代表。碳纤维的优异性能是密度低、强度高、弹性模量高,并且热膨胀系数小,能耐受多种介质的腐蚀,是一种较为理想的纤维增强材料。因此,碳纤维复合材料在民用飞机结构

上得到了广泛应用，如图 1.5-1、图 1.5-2 和图 1.5-3 所示。

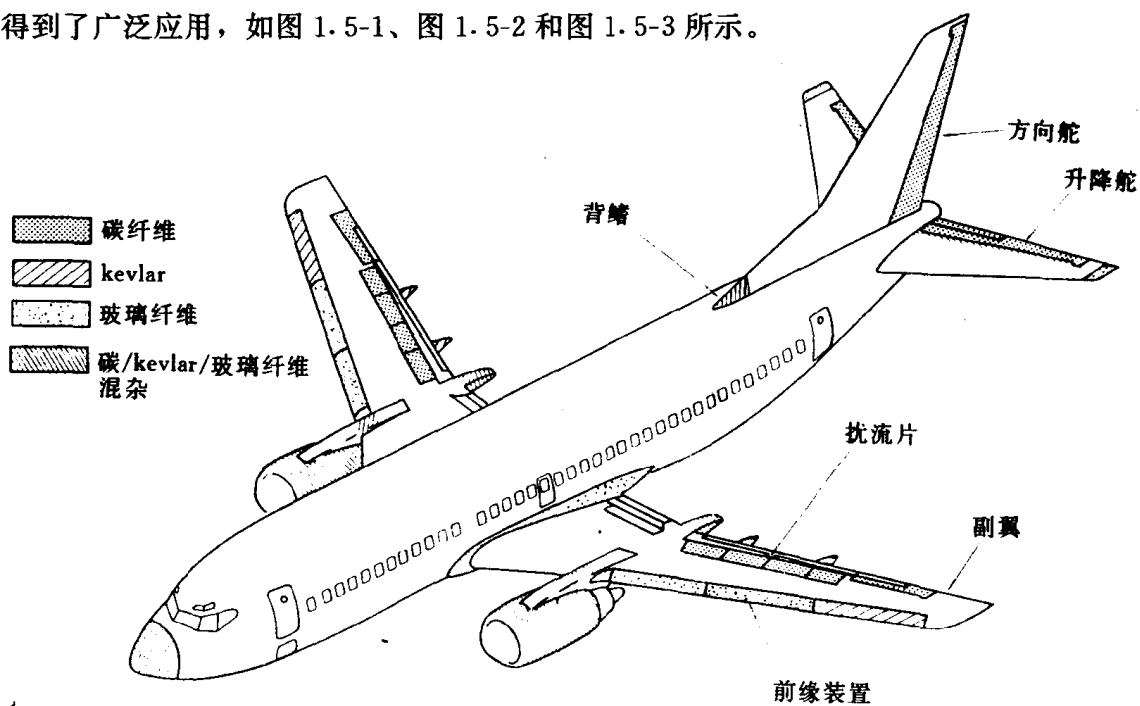


图 1.5-1 复合材料在波音 737-300 飞机上的应用

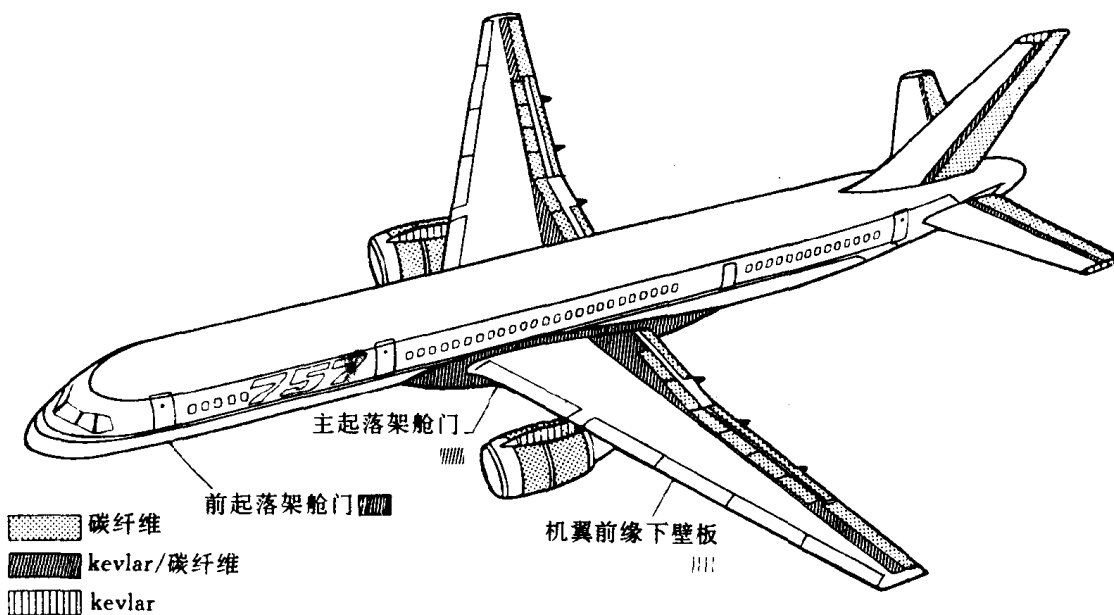


图 1.5-2 复合材料在波音 757 飞机上的应用

1968 年美国杜邦公司研制成功了一种高强度、高弹性模量的有机纤维——芳纶，1972 年正式投入生产，商品名称为 Kevlar。芳纶纤维抗拉强度高、弹性模量高、密度小且易于同树脂亲和，是制造复合材料结构的良好增强纤维材料。芳纶纤维复合材料在民用飞机上得到广泛应用。图 1.5-1 至图 1.5-3 示出了芳纶纤维复合材料在波音 737-300、波音 757 和

波音 767 飞机上的应用。

混杂复合材料也是复合材料的发展方向之一。这种复合材料采用两种或两种以上的纤维作为增强材料,使制成的产品性能更优良。图 1.5-1 至图 1.5-3 示出了这种复合材料在波音 737-300、波音 757 和波音 767 飞机上的应用情况。

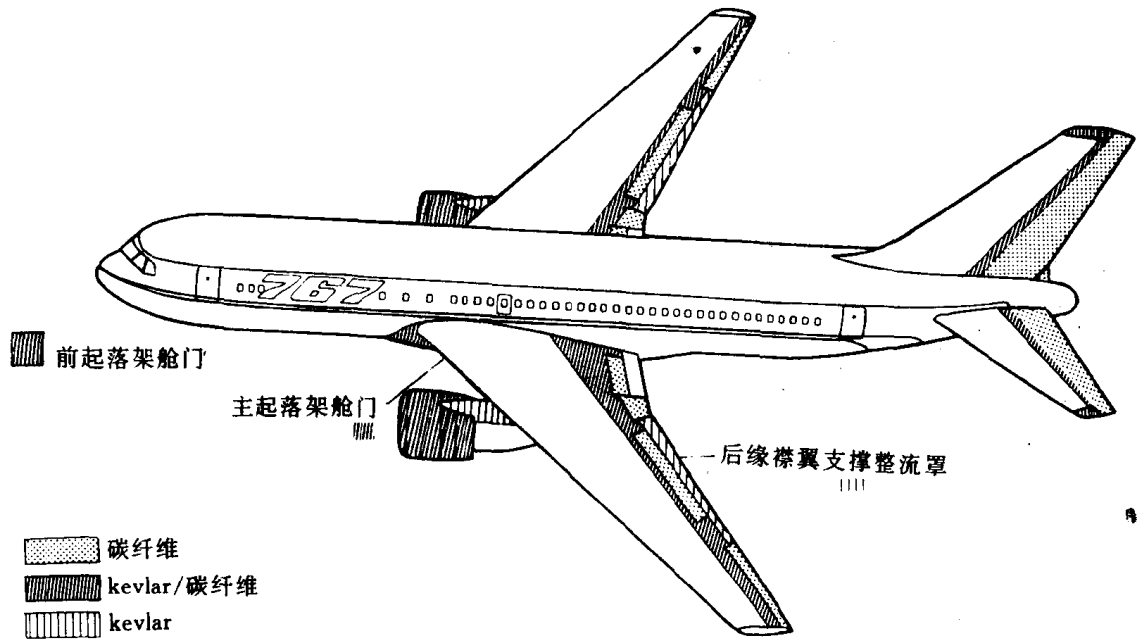


图 1.5-3 复合材料在波音 767 飞机上的应用

目前,大型民用飞机上采用复合材料的部件主要是指承受和传递局部气动载荷,而不参加飞机结构总体受力的部件。例如,雷达罩、整流包皮、副翼、襟翼、升降舵和方向舵等。这可从图 1.5-1 至图 1.5-3 上明显看出。

随着复合材料的发展,目前已研制出主要采用复合材料的小型商用飞机。例如 Lear Fam 2100 小型商用飞机采用的复合材料总重达到飞机结构总重的 85%,比用铝合金减重 40%。

复合材料主要是以蜂窝结构的形式应用在飞机结构上。例如,波音 767 飞机的方向舵采用了碳纤维复合材料面板的蜂窝结构,如图 1.5-4 所示。当然,在有些民用飞机结构上还采用金属面板蜂窝结构。例如,波音 767 飞机外襟翼的上、下壁板就采用了铝合金面板的蜂窝结构,而襟翼的前缘和后缘采用的是 Kevlar 复合材料面板蜂窝结构,如图 1.5-5 所示。

复合材料结构也应用于民用飞机的内部结构上。例如,波音 767 飞机的地板就采用了玻璃纤维/环氧树脂面板蜂窝夹芯结构。

目前,复合材料在民用飞机结构上得到了广泛应用。例如,波音 757 飞机采用复合材料总重有 3 150 lb^①,而波音 767 飞机采用复合材料总重有 3 360 lb。由于这两种机型大量采用复合材料结构,降低了飞机结构重量,为航空公司带来了明显的节油效益。根据初步估算,如果按每 gal^②燃油价值 1.25 美元,飞机平均飞行任务 500 n mile 计算,则对于 757

① 1 lb(英磅)=0.453 592 kg

② 1 gal(加仑)=3.785 43 L(美国)

飞机，每年每架飞机节省燃油费用为 32 000 美元；对于 767 飞机，每年每架飞机节省燃油费用 26 000 美元。

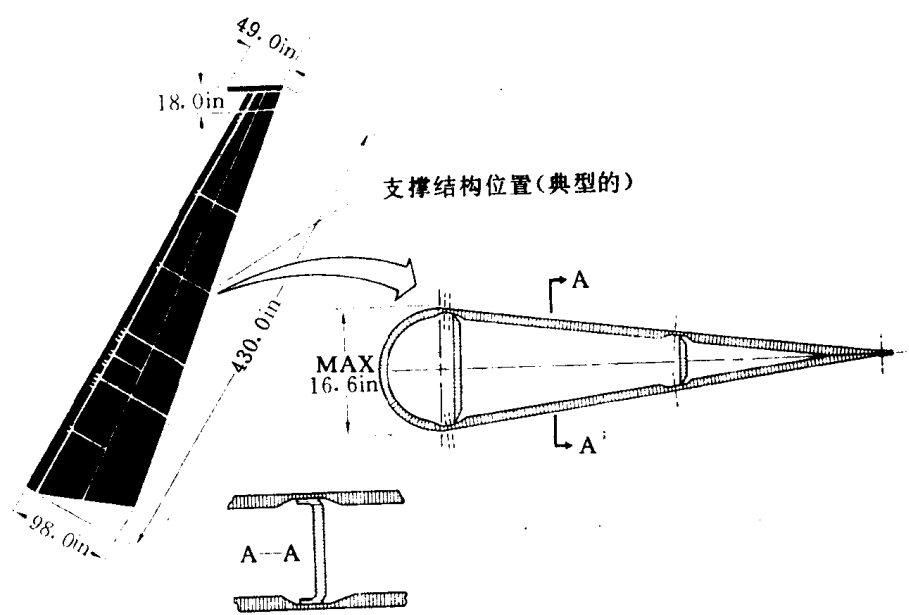


图 1.5-4 波音 767 飞机方向舵——碳纤维复合材料面板蜂窝结构

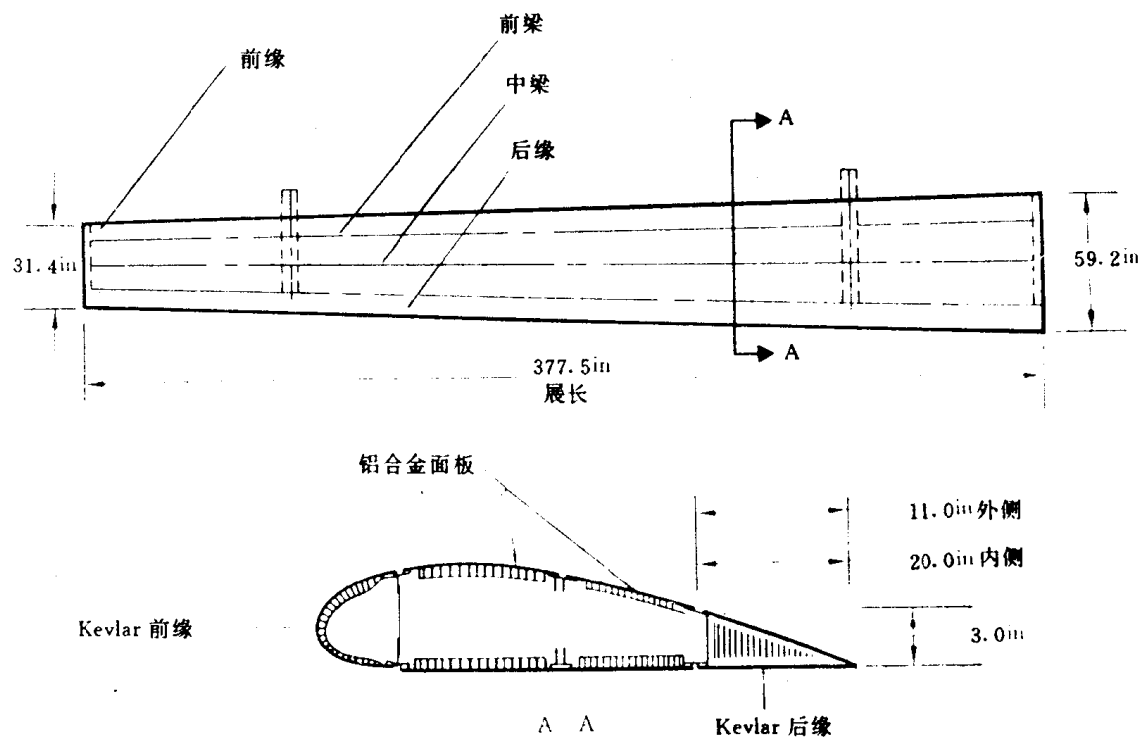


图 1.5-5 波音 767 飞机外襟翼——铝合金面板蜂窝结构

第二章 复合材料的原材料

复合材料的原材料包括增强材料、基体材料和由它们制成的中间材料——预浸料（又称半固化片）；此外，还有制作夹层结构所用的蜂窝夹芯、泡沫夹芯以及胶粘剂和工艺辅助材料等。

2.1 增强材料

复合材料中的增强材料是直径极细的纤维，这种纤维与同材质的块状材料相比，其强度要高得多。例如，块状玻璃的拉伸强度仅为 200 MPa，而玻璃纤维的拉伸强度可达 4 500 MPa。虽然纤维比较脆，易折断，但当它们被均匀地分散到韧性好的基体（如树脂）中时，由于基体的保护和支撑作用，它们就不易折断了。这样，复合材料中的纤维增强材料就起到了主要承载作用。

由第一章我们知道，复合材料可以分为颗粒增强复合材料和纤维增强复合材料。颗粒增强复合材料的增强材料呈微小的颗粒状。对于直径为 $0.01\sim 0.1\ \mu\text{m}$ 的细微颗粒分散相材料，由于它具有阻止复合材料位错的能力，故能起增强作用；对于直径为 $1\sim 50\ \mu\text{m}$ 的微小颗粒，则具有抵抗复合材料变形或阻止其硬化的能力，从而起到增强作用。

由第一章我们还知道，复合材料按纤维长短又可分为长纤维（连续纤维）增强复合材料和短纤维（非连续纤维）增强复合材料。在第一章中主要介绍了长纤维增强复合材料，在这里简单介绍一下短纤维增强复合材料。有机基复合材料所用的短纤维，其长度可从几 μm 到 25 mm。这些纤维在增强复合材料的强度和刚度方面，不如长纤维的增强效果那样明显，这是因为它们不能通过纤维实现连续的传力路线。由于模塑技术的新发展，使短纤维增强复合材料的制造成本大大低于长纤维增强复合材料。

纤维增强材料的主要品种有碳纤维、芳纶、硼纤维、碳化硅纤维和玻璃纤维等。

一、碳纤维

几乎绝大多数的有机纤维物都可以被制成碳纤维。但是，原材料不同、碳化过程不同，则形成的产物结构就不同，性能也就各异。

在碳化过程中，不同有机纤维物的碳原子按石墨结构的排列形态沿纤维轴取向的能力是不同的。通常，纤维的结晶取向度越高，其机械性能就越好。

一般制作碳纤维的原材料主要是聚丙烯腈纤维、粘胶纤维和沥青纤维。粘胶基碳纤维耐烧蚀性好；沥青基纤维结晶取向度高，弹性模量大；聚丙烯腈基碳纤维的综合机械性能好。飞机结构上主要采用聚丙烯腈基碳纤维。此类碳纤维，从性能上可分为高强度型、超高强度型和高模量型等。表 2.1-1 列出了典型碳纤维的品种与性能。

复合材料中的碳纤维实际上是碳纤维丝束。飞机结构上使用的碳纤维复合材料的碳纤维丝束一般含有 1 000 根至 12 000 根纤维。波音系列飞机上采用的碳纤维复合材料，其碳纤维丝束一般含有 1 000 根或 3 000 根纤维（图 2.1-1）。纤维的根数仅表示每个丝束的粗

细，其机械性能一般不受丝束大小的影响。

表 2.1-1 典型碳纤维的品种与性能

纤维 牌号	每束单丝 根数	拉伸强度			拉伸模量			断裂 伸长 (%)	1km 的 质量 (g/1 000 m)	密 度 (g/cm ³)
		(ksi)	(MPa)	(kgf/mm ²)	(Msi)	(GPa)	(kgf/mm ²)			
T300	1 000	514	3 530	360	33.6	230	23 500	1.5	66	1.76
	3 000								198	
	6 000								396	
	12 000								800	
T300J	3 000	643	4 410	450	33.6	230	23 500	1.9	198	1.82
	6 000								396	
	12 000								800	
T400H	3 000	643	4 410	450	36.4	250	25 500	1.8	198	1.80
	6 000								396	
T700S	12 000	700	4 800	490	33.6	230	23 500	2.1	800	1.82
T800H	6 000	814	5 590	570	42.9	294	30 000	1.9	223	1.81
	12 000								445	
T1000G	12 000	928	6 370	650	42.9	294	30 000	2.1	485	1.80
T1000	12 000	1 029	7 060	720	42.9	294	30 000	2.4	448	1.82
M35J	6 000	729	5 000	510	50.0	343	35 000	1.6	225	1.75
	12 000								450	
M40J	6 000	642	4 400	450	55.0	377	38 500	1.2	225	1.77
	12 000								450	
M46J	6 000	613	4 200	430	63.5	436	44 500	1.0	223	1.84
	12 000								445	
M50J	6 000	586	4 020	410	69.3	475	48 500	0.8	215	1.87
M55J	6 000	529	3 630	370	78.6	540	55 500	0.7	212	1.93
M60J	3 000	557	3 820	390	85.8	588	60 000	0.7	100	1.94
	6 000								200	
M30	1 000	571	3 920	400	42.9	294	30 000	1.3	53	1.70
	3 000								160	
	6 000								320	
	12 000								640	
M40	1 000	400	2 740	280	57.1	392	40 000	0.6	61	1.81
	3 000								182	
	6 000								364	
	12 000								728	
M46	6 000	371	2 550	260	65.7	451	46 000	0.5	360	1.88
M50	1 000	357	2 450	250	71.4	490	50 000	0.5	60	1.91
	3 000								180	