

飞机复合材料 结构修理

主编 虞浩清 刘爱平



中国民航出版社

飞机复合材料结构修理

主编 虞浩清 刘爱平

中国民航出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

飞机复合材料结构修理/虞浩清, 刘爱平主编. —
北京: 中国民航出版社, 2010
ISBN 978-7-80110-997-2

I. ①飞… II. ①虞… ②刘… III. ①飞机-复合材料-维修 IV. ①V267

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 167291 号

责任编辑: 姚祖梁 杨玉芹

飞机复合材料结构修理

虞浩清 刘爱平 主编

出版 中国民航出版社
地址 北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼 (100028)
排版 中国民航出版社照排室
印刷 北京金吉士印刷有限责任公司
发行 中国民航出版社 (010) 64297307 64290477
开本 787 × 1092 1/16
印张 16
字数 360 千字
印数 2000 册
版本 2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-80110-997-2
定价 36.00 元

(如有印装错误, 本社负责调换)

内 容 提 要

本教材是根据广州民航职业技术学院飞机结构修理专业人才培养方案而编写的，其内容涵盖了民航工人技术等级标准及培训大纲中对飞机复合材料修理工的应知应会要求，并且满足了民用航空器部件修理人员执照考试大纲和民用航空器维修基础培训大纲对复合材料知识与技能的要求。

全书共十一章，主要介绍复合材料在大型民用飞机上的应用，飞机复合材料结构的类型及识别；复合材料结构的原材料；复合材料结构件的成形工艺；飞机复合材料修理的常用工具、设备及其使用；飞机复合材料结构件的常见损伤及其检测；飞机复合材料结构的修理准则和修理方法；飞机复合材料层合板结构件的修理工艺；飞机复合材料夹芯结构件的修理工艺；金属粘接修理；飞机复合材料表面防静电层的修理工艺和飞机其他非金属件的修理工艺等内容。

本书适合作为高等职业院校飞机维修类专业的教材，也可作为民用航空器维修基础执照培训的参考教材和飞机结构修理专业工程技术人员的参考书。

前 言

目前,全国高等职业教育改革正在进行,教材的改革与创新是高等职业教育改革的重要内容之一。本教材是在学习先进职业教育教学理论以及对飞机复合材料结构修理工作岗位典型工作任务调研和分析的基础上,基于行业标准,按照广州民航职业技术学院“飞机结构修理专业人才培养方案”和“飞机复合材料结构修理”课程标准要求而编写的。本教材的内容涵盖了民航工人技术等级标准及培训大纲中对飞机复合材料修理工的应知应会要求,并且满足了民用航空器维修基础培训大纲,民用航空器机型、部件修理项目培训大纲和民用航空器部件修理人员执照考试大纲对复合材料知识与技能的要求。

本教材为校企合编教材,集中了学校和企业的优势。在编写过程中,编者注重突出飞机复合材料结构修理的基本知识和基本技能的培养,同时,将自己的实践经验融入到教材内容之中,力求做到让学习者学完这门课程后,能够具有解决飞机复合材料结构修理的知识和动手操作技能。然而,理论知识是可以传授的,但操作技能是无法传授的,只能靠训练。因此,本课程还设置了复合材料修理技能训练。在本教材中,理论课程讲授与实作技能训练相结合,每一章都设置了训练项目。另外,在实际的飞机复合材料结构修理工作中,常常需要阅读英文版的图纸和手册等资料,为加强学生专业英语阅读能力的培养,本教材对常用的专业术语和名词给出了英文的表达,以让学生对英文专业单词的学习达到积少成多、提高专业英语阅读能力的目的。

本教材由广州民航职业技术学院虞浩清和广州飞机维修工程有限公司刘爱平主编,参编人员有张望东、李家宇、邝卓军、龚友根、李健。各章节的编写具体为:刘爱平编写第4、10章;张望东编写第7章;张望东和李健编写第9章;邝卓军编写第11章;虞浩清编写绪论;李家宇和虞浩清编写第1章;李家宇编写第2、3章;龚友根和虞浩清编写第5、6章;中国东方航空江苏有限公司飞机维修部李健编写第8章;全书由虞浩清统稿。教材封面摄影由辛新提供。

本教材由中国民用航空局特聘结构专家、广州飞机维修工程有限公司副总工程师赵日升高级工程师主审。赵日升高级工程师在百忙之中对书稿进行了认真的审阅,并且提出了非常宝贵的建议,在此表示最诚挚的感谢。另外,广州飞机维修工程有限公司工程部结构工程师姜泽锋也对教材提出了改进意见和建议,在此表示衷心感谢。

本教材在编撰过程中,参考并引用了大量国内外的文献资料和有关教材,恕未能在

书中一一注明，在此，对原作者深表谢意。

编写一本在结构上符合高职教育教学规律、在内容上满足飞机复合材料结构修理岗位需求的教材是我们最大的愿望。限于编者的知识水平和经验，书中难免会出现错误或不妥之处，恳请读者、同行批评指正，以便于今后本教材的修订。

最后请各位读者注意：本教材的内容仅供培训用。当具体修理某一型号飞机的复合材料结构时，应以该机型的修理手册（SRM、AMM 和 CMM 等）规定的工艺方法和规范为准。

编者

2010 年 7 月

目 录

前言

绪论	1
----	---

第 1 章 飞机复合材料结构的识别	4
-------------------	---

1.1 复合材料在现代民用飞机上的应用	4
---------------------	---

1.2 飞机复合材料结构类型	11
----------------	----

复习思考题	22
-------	----

第 2 章 飞机复合材料结构的原材料	23
--------------------	----

2.1 复合材料的纤维增强材料	23
-----------------	----

2.2 复合材料的基体材料	30
---------------	----

2.3 复合材料的预浸料	35
--------------	----

2.4 胶粘剂	39
---------	----

复习思考题	41
-------	----

第 3 章 复合材料结构件的成形工艺	42
--------------------	----

3.1 树脂基复合材料成形工艺	42
-----------------	----

3.2 复合材料的机械加工	50
---------------	----

复习思考题	54
-------	----

第 4 章 飞机复合材料修理常用工具、设备及其使用	55
---------------------------	----

4.1 飞机复合材料修理常用工具及其使用	55
----------------------	----

4.2 飞机复合材料修理常用设备及其使用	74
----------------------	----

4.3 飞机复合材料修理工具、设备的安全使用	87
------------------------	----

复习思考题	88
-------	----

第 5 章 飞机复合材料结构常见损伤及其检测	89
------------------------	----

5.1 飞机复合材料结构的常见损伤及其评估	89
-----------------------	----

5.2 飞机复合材料结构（件）损伤的检测方法	92
------------------------	----

复习思考题·····	102
第 6 章 飞机复合材料结构修理准则和修理方法·····	103
6.1 飞机复合材料结构的修理准则及修理流程·····	103
6.2 飞机复合材料结构修理方法·····	105
6.3 飞机复合材料结构修理铺层修理的主要工序·····	113
复习思考题·····	121
第 7 章 飞机复合材料层合板结构件的修理·····	123
7.1 复合材料层合板结构件损伤的确定和去除·····	123
7.2 修理铺层的准备·····	127
7.3 铺层修理·····	129
7.4 封装及固化·····	133
7.5 固化后的检查和打磨·····	137
7.6 其他修理方法·····	138
复习思考题·····	142
第 8 章 飞机复合材料蜂窝夹芯结构的修理·····	143
8.1 飞机复合材料蜂窝夹芯结构件的损伤评估和修理准则·····	143
8.2 蜂窝夹芯结构的修理方法与标准工艺·····	146
8.3 蜂窝夹芯结构件常见损伤的标准修理·····	159
8.4 蜂窝夹芯结构件的修理实例·····	164
复习思考题·····	176
第 9 章 飞机复合材料表面防静电层的修理·····	178
9.1 飞机复合材料表面防静电层的作用、设置及类型·····	178
9.2 飞机复合材料表面防静电层的修理·····	180
复习思考题·····	187
第 10 章 金属粘接修理·····	188
10.1 金属粘接修理概述·····	188
10.2 金属粘接修理常用材料的种类、牌号及特点说明·····	192
10.3 金属粘接修理的工艺流程和主要工序·····	199
10.4 常见金属粘接件损伤的修理·····	220
复习思考题·····	232

第 11 章 飞机其他非金属件的修理	233
11.1 塑料零构件的修理	233
11.2 橡胶零构件的修理	238
复习思考题	244
附录	245
参考文献	246

绪 论

一、本课程的性质和任务

本课程是飞机结构修理专业的一门主要的专业技术课程。

本课程的主要任务是介绍飞机复合材料结构、飞机复合材料结构的损伤及其检测、飞机复合材料结构的修理准则、飞机复合材料层合板结构与蜂窝夹芯结构的修理工艺以及金属件粘接修理等知识，并且通过相应的技能训练项目实训，使学生具有解决飞机复合材料结构修理的知识和动手操作技能。

二、本课程的教学内容和教学目标

本课程的主要教学内容有：飞机复合材料结构和原材料的识别与保管、飞机复合材料结构的制造工艺、常用工具设备的使用和保管、复合材料损伤的检测方法、复合材料层合板损伤的修理、复合材料蜂窝夹芯结构损伤的修理、复合材料表面防静电层损伤的修理和金属件粘接修理等八个学习项目的知识与技能项目训练。

本课程的教学目标是使学生具备以下知识、技能和素质：

(1) 了解和掌握飞机常用复合材料结构的类型、构造和受力特性，飞机常用复合材料原材料的种类、特性及应用，能够正确识别和保管飞机常用的复合材料结构和原材料；

(2) 了解飞机复合材料结构（件）的成形工艺；

(3) 了解和熟悉飞机复合材料结构常用的修理工具、设备及其应用，能够正确选用和使用常用的飞机复合材料结构修理的工具与设备；

(4) 熟悉并能遵守飞机复合材料结构修理的安全生产规则以及做好个人安全防护工作；

(5) 熟悉飞机复合材料结构（件）损伤的检测方法、特性及其应用场合，能应用目视检测法和敲击法检测复合材料的损伤；

(6) 熟悉和掌握飞机复合材料层合板结构（件）的修理工艺，能够应用合适的修理方法，正确修理复合材料层合板的损伤；

(7) 熟悉和掌握飞机复合材料夹芯结构（件）的修理工艺，能够应用合适的修理方法，正确修理复合材料夹芯结构的损伤；

(8) 熟悉和掌握飞机复合材料结构表面防静电层的修理工艺，能够修理复合材料结构表面防静电层的损伤；

(9) 熟悉和掌握飞机金属件粘接修理工艺，能够实施飞机金属件粘接修理；

(10) 熟悉和掌握飞机塑料和橡胶结构件的修理工艺，能够实施飞机塑料和橡胶结构件的修理；

(11) 培养科学、诚信、敬业、严谨的工作态度和较强的安全、质量、效率及环保意识，从而具有良好的职业道德素质，并使学生逐步具备民航机务作风所要求的“敬业爱岗、诚信务实、认真负责、遵章守纪、严谨规范、精益求精、吃苦耐劳、团结协作”的精神。

三、本课程的教学安排及建议学时

本课程安排在第五学期。其先行课程主要有：英语、工程制图、航空材料学、工程力学、航空机械基础、飞机修理钣金技术、飞机结构图纸识读与飞机结构修理手册使用和飞机结构修理等课程；后续课程有：飞机客舱设施修理和企业顶岗复合材料修理车间实习。

本课程建议采用理实一体教学法进行教学。建议理论授课 46 学时、实训 66 学时，共计 112 学时（4 周）。具体教学安排如下表：

序号	学习项目	教学目标	学习内容与训练项目	学时
1	飞机复合材料结构及其原材料的识别与保管	使学生了解和熟悉飞机复合材料结构及其原材料的种类、构造、特性、应用、保管和贮存等知识；了解飞机复合材料结构（件）的成形工艺；能够正确识别和保管飞机常用的复合材料结构和原材料	一、学习内容 第1章 飞机复合材料结构的识别 第2章 飞机复合材料结构的原材料 第3章 复合材料结构件的成形工艺	10
			二、训练项目 飞机复合材料原材料和结构类型的识别	2
2	飞机复合材料修理常用工具、设备及其使用	了解和熟悉各种复合材料常用修理工具、设备的构造、功能、应用范围及使用注意事项；能够正确使用复合材料修理的工具和设备	一、学习内容 第4章 飞机复合材料修理常用工具、设备及其使用	6
			二、训练项目 上述修理工具和设备的识别与使用	4
3	飞机复合材料结构（件）损伤检测	熟悉和掌握复合材料结构常见损伤的类型，损伤常用的检测方法、特点及其应用，能够用目视和敲击法检测复合材料结构件的损伤	一、学习内容 第5章 飞机复合材料结构常见损伤及其检测	4
			二、训练项目 1. 目视检测飞机复合材料结构损伤 2. 敲击法检测飞机复合材料结构损伤	2
4	飞机复合材料层合板损伤修理	掌握飞机复合材料层合板损伤的修理工艺与修理操作技能	一、学习内容 第6章 飞机复合材料结构修理准则和修理方法 第7章 飞机复合材料层合板结构件的修理	6
			二、训练项目 1. 切割和打磨去除复合材料层合板的损伤 2. 湿铺层法修理复合材料层合板	20

续表

序号	学习项目	教学目标	学习内容与训练项目	学时
5	飞机复合材料蜂窝夹芯结构损伤修理	掌握飞机复合材料夹芯结构损伤的修理工艺与修理操作技能	一、学习内容 第8章 飞机复合材料蜂窝夹芯结构的修理	6
			二、训练项目 1. 复合材料蜂窝夹芯结构的修理 2. 飞机主操纵面的平衡检测与配平	22
6	飞机复合材料表面防静电层损伤修理	了解飞机复合材料表面防静电层的种类、作用；掌握飞机复合材料表面防静电层的修理方法及其注意事项	一、学习内容 第9章 飞机复合材料表面防静电层的修理	4
			二、训练项目 飞机复合材料表面防静电层的修理	6
7	金属件粘接修理	了解飞机结构修理常用胶粘剂的种类、牌号、特性与应用，掌握金属件粘接修理方法	一、学习内容 第10章 金属粘接修理	6
			二、训练项目 金属件粘接修理	6
8	飞机其他非金属件的修理	了解飞机塑料件和橡胶件的应用与常见损伤，掌握飞机常见塑料件和橡胶件的修理	一、学习内容 第11章 飞机其他非金属件的修理	4
			二、训练项目 1. 塑料件修理 2. 橡胶件修理	4

四、本课程学习注意事项

(1) 要注重理论知识的学习，根据需要及时复习相应的先修课程，努力掌握飞机复合材料结构修理的工艺知识并将所学知识用于指导实践。

(2) 由于波音系列飞机采用英制单位，空客飞机系列采用公制和英制单位，所以，学习时应注意公制与英制单位的区分，不要搞错单位。

(3) 谨记：修理技能只能靠自己动手实践习得。同时，注意在实训中善于动脑，用脑指挥动手。

(4) 实作训练时，注意遵守操作工艺规程，确保安全生产。

(5) 学习本课程的过程中，学生要有意识地锻炼和培养自己的机务作风，努力使自己具备良好的职业道德素质。

第1章 飞机复合材料结构的识别

1.1 复合材料在现代民用飞机上的应用

1.1.1 复合材料的定义、命名及种类

复合材料 (Composite Materials) 是由两种或两种以上不同物理和化学性质的组分材料, 经人工复合而成的、各组分材料之间具有明显界面的且具有新性能的材料。

通常也可以认为, 复合材料由增强材料和基体材料组成。根据这个定义, 稻草与泥土构成的土坯、钢筋与水泥沙石构成的混凝土和帘子线与橡胶构成的轮胎以及玻璃纤维与树脂构成的玻璃钢等都属于复合材料范畴。本教材主要讨论目前广泛用于现代飞机结构的先进复合材料。先进复合材料 (Advanced Composites) 是指以碳纤维、芳纶纤维、硼纤维或高性能的玻璃纤维为增强材料构成的比强度和比模量较高的复合材料。先进复合材料的比刚度和比强度性能相当或优于铝合金, 甚至高于强度钢。

复合材料的命名方法是將增强材料名称放在前面, 基体材料放在后面, 最后再缀以“复合材料”。例如, 由碳纤维与环氧树脂复合构成的复合材料, 通常被称为“碳纤维环氧树脂复合材料”。为简便起见, 也可只写增强材料和基体材料的缩写, 并在两者之间加一斜线或短杠隔开, 再加上“复合材料”。例如, 碳纤维环氧树脂复合材料可简写或者简称为“碳/环氧复合材料”或者“碳-环氧复合材料”。

复合材料的种类有很多, 其常见的分类方法有以下四种。

(1) 按增强纤维类型分类

- 碳纤维复合材料 (CFRP): 以碳纤维为增强纤维构成的复合材料。
- 芳纶纤维复合材料 (AFRP): 以芳纶纤维为增强纤维构成的复合材料。
- 玻璃纤维复合材料 (GFRP): 以玻璃纤维为增强纤维构成的复合材料。
- 硼纤维复合材料 (BFRP): 以硼纤维为增强纤维构成的复合材料。
- 陶瓷纤维复合材料: 以陶瓷纤维为增强纤维构成的复合材料。

(2) 按基体类型分类

- 非金属基复合材料: 分别以树脂、陶瓷材料、碳等为基体构成的复合材料。树脂基复合材料是分别以各种树脂为基体材料构成的复合材料, 如环氧树脂基复合材料、酚醛树脂基复合材料和聚酰亚胺树脂复合材料等。

- 金属基复合材料（MMC）：以金属为基体构成的复合材料，如铝基复合材料、钛基复合材料和铜基复合材料等。

(3) 按增强材料的几何形状分类

- 长纤维（连续）增强复合材料：增强纤维以与构件等长的形式出现在构件中构成的复合材料。
- 短纤维增强复合材料：增强纤维材料以短小的纤维无规则地分散于基体材料中构成的复合材料。
- 颗粒增强复合材料：增强材料以微小颗粒（如铝粉、酚醛小球等）的形式无规则地分散于基体材料中构成的复合材料。

(4) 按同一复合材料构件中含有增强材料种类的数量分类

- 单一复合材料：同一复合材料构件中只含有一种增强材料的复合材料，称为单一复合材料。单一复合材料无须特别说明。
- 混杂复合材料（Hybrid Composites）：同一复合材料构件中含有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称为混杂复合材料。混杂复合材料需注明由哪几种增强材料混杂。

1.1.2 复合材料的特性

复合材料是由多种组分材料人工复合而成的，由于复合效果使其组分材料的性能互补并产生叠加效应，因此可产生一些原组分材料所不具备的优异性能。先进复合材料主要具有以下几个特性。

1. 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。比强度和比模量是度量材料承载能力的一个极其重要的指标。复合材料与金属材料相比，具有高比强度和比模量。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。因此，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。减重是复合材料最重要的优点。

2. 具有可设计性

复合材料的性能除了取决于纤维和基体本身的性能外，在很大程度上还取决于纤维的含量和铺层方式。因此，可以根据构件的实际需要，通过选择组分材料以及铺层设计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。

3. 抗疲劳性能好

疲劳破坏是材料在交变载荷的作用下，由于裂纹的形成和扩展而产生的低应力破坏。复合材料中纤维与基体的界面可以使扩展裂纹尖端变钝或改变方向，从而能阻止裂纹迅速扩展，此外，树脂基复合材料对缺口、应力集中的敏感性小，所以复合材料具有较好的抗疲劳性能。复合材料的抗疲劳性能优于金属材料。大多数金属材料的疲劳极限是其拉伸强度的 40% ~ 50%，而碳纤维聚酯树脂复合材料的疲劳极限可达其抗拉强度的 70% ~ 80%。

4. 抗腐蚀性能好

复合材料具有优良的抗腐蚀性能。很多种复合材料具有优异的抗酸碱腐蚀能力。例如，玻璃纤维酚醛树脂复合材料可在含氯离子的酸性介质中长期使用。

5. 减振性能好

结构的自振频率除了与结构本身的形状有关外，还与材料比模量的平方根成正比。因为复合材料的比模量高，所以，其自振频率也高，可以避免构件在一般工作状态下产生共振。另外，复合材料的纤维与基体的界面具有较大的吸振能力，即使产生了振动也会很快衰减下来。因此，复合材料减振性能良好，不容易产生振动破坏。

6. 电性能好

复合材料具有优良的电性能。通过选择不同的树脂基体、增强材料和辅助材料，可以将其制成绝缘材料或导电材料。例如，玻璃纤维增强的树脂基复合材料具有优良的电绝缘性能，并且不受电磁作用，不反射无线电波，微波透过性能良好。复合材料通过原材料的选择和适当的成形工艺可以制成导电复合材料，如金属基复合材料具有良好的导电和导热性能。

7. 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。

8. 冲击韧性差

复合材料比较脆，抗冲击载荷能力差，甚至低能量的冲击也会使材料产生内部损伤。

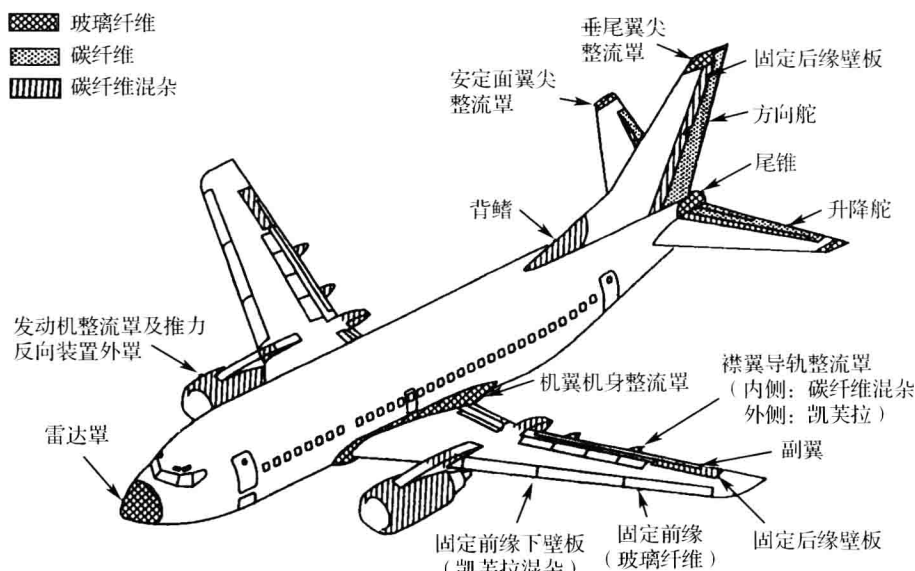
9. 层间强度低

复合材料的层间强度低，易产生分层破坏，从而降低其承载能力。

1.1.3 复合材料在现代民用飞机上的应用

复合材料由于具有重量轻、强度高、刚度好和不易腐蚀等优点，在现代大型民用飞机结构中得到较多的应用。目前，复合材料主要用于制作现代大型民用飞机上的雷达罩、整流罩、起落架舱门、扰流板、副翼、襟翼导轨整流罩、升降舵和方向舵等机体结构件以及客舱的地板、装饰面板和盥洗室结构、货舱侧壁板和顶板等内部结构件。

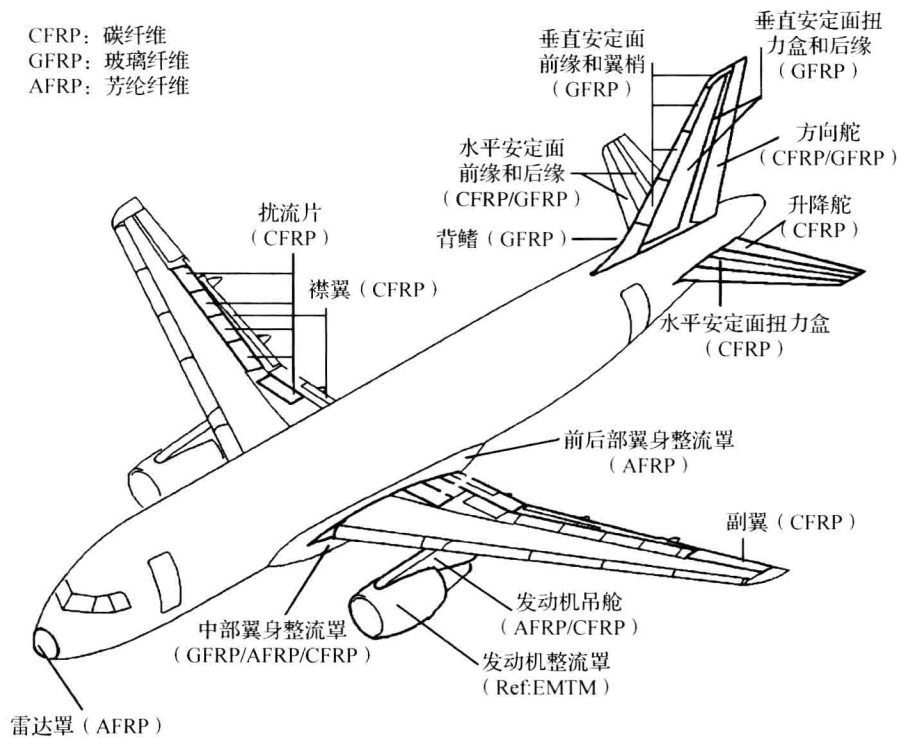
下面以波音 737-300 飞机为例，看看复合材料在该大型民用飞机上的应用，如图 1.1 所示。波音 737-300 飞机的雷达罩 (Nose Radome)、发动机整流罩 (Engine Cowlings)、机翼与机身结合处的整流罩 (Wing-to-Body Fairing)、机翼翼尖整流罩、机翼前缘外侧上下固定蒙皮、机翼后缘外侧上固定蒙皮、副翼及调整片、扰流板、襟翼导轨整流罩、起落架舱门、垂直安定面翼尖、垂直安定面后缘壁板、方向舵 (Rudder)、水平安定面翼尖、水平安定面后缘上蒙皮壁板、升降舵 (Elevator)、机身尾锥、客舱地板、货舱壁板、货舱隔框、发动机吊架整流罩、发动机进气道整流罩和发动机风扇整流罩等构件都是复合材料结构件。复合材料在波音 757、波音 767 和波音 777 飞机以及空客 A320 系列飞机上的应用大致与波音 737 飞机相似，只是应用的范围更广一些，所占飞机结构总重的比例更大一些，例如，波音 777 飞机的复合材料用量占结构总重的 11% 左右，空客 A340 的复合材料用量达 1100kg 之多，占结构总重的 13%。目前，对于这些现代大型民用飞机而言，复合材料主要还是用于承受和传递局部气动载荷的次要结构和内部结构上。



注：起落架舱门为玻璃纤维/碳纤维混杂复合材料。

图 1.1 复合材料在波音 737-300 飞机上的应用

随着复合材料及其成形工艺技术的发展，复合材料也开始应用于大型民用飞机的主承力结构上而且用量也越来越多。最新的大型民用飞机，除了上述机体结构件和内部构件采用复合材料外，飞机机身、隔框以及机翼等主要结构也都采用了复合材料。例如，世界上第一架将复合材料用于中央翼盒的大型民用飞机空客 380 的中央翼盒、翼肋、机身上蒙皮壁板、机身后段、机身尾段、地板梁、后承压框、平尾和垂尾等大型主承力构件都采用复合材料制作，其复合材料用量占飞机结构总重的 25% 左右。又如，最新一代民航客机波音 787 飞机，其机身、机翼等主要的部件以及垂尾、平尾和地板梁等构件都采用复合材料制作，其复合材料用量占飞机结构总重的 50%。



注：前起落架舱门 (CFRP)，主起落架舱门 (CFRP)，其他未注明部件请参见 SRM。

图 1.2 复合材料在空客 320 飞机上的应用