

复合材料结构修理指南

陈绍杰 主编

航空工业出版社

ISBN 7-80134-811-7



内 容 提 要

9 787801 348111 >

先进复合材料在航空航天领域应用日益增多,在其他民用及工业应用也与日俱增。其构件的缺陷和损伤在所难免,修理技术是必需的。本书给出了复合材料结构修理的基本知识,各种典型结构各种缺陷损伤的修理方法,包括国内适用的修理用材料体系,详尽的修理工艺流程及工具和设备,修理设计及其基本内容,也给出了修理无损检测、质保安全、修理建站等相关内容。本书主要是在国内系统发展研究的基础上写出,适当参考了国内外的有关资料,具有工程应用性、指导性和通用性。

该书主要用于航空航天领域复合材料结构的修理,特别是各种军机、民机上复合材料构件的修理,也可用于其他民用及工业领域复合材料结构修理,是复合材料发展研究、生产制造和应用部门的一本十分有用的工具书,亦可作为高等院校相关专业的参考书及修理培训用的教材。

图书在版编目(CIP)数据

复合材料结构修理指南/陈绍杰主编. —北京:航空工业出版社,2001.6

ISBN 7-80134-811-7

I. 复… II. 陈… III. 飞机-复合材料-零部件结构-维修-指南
IV. V267-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 14589 号

责任编辑:邵 箭 技术编辑:郑凤兰 封面设计:晓 明

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

北京云浩印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2001 年 6 月第 1 版

2001 年 6 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:13.25

字数:333 千字

印数:1—600

定价:60.00 元

ISBN 7 - 80134 - 811 - 7

TB · 033

前 言

先进复合材料在飞机结构上的应用已有 30 多年的历史了,目前国外军用飞机复合材料的用量占结构总重的 25% ~ 40% 左右,民用飞机达 10% ~ 15%,直升机则高达 60% 以上,各种无人机的比例还要高一些,甚而还出现了一些全复合材料的轻型飞机,且各种飞机结构上复合材料的用量均有进一步增长的明显趋势。一旦有复合材料制件的飞机交付部队或航线使用,若修理的问题尚未解决,则势必影响战备或营运,用户甚而可能拒收飞机。最近,美国 NASA 组织有关部门专门对复合材料的应用等有关问题进行调查研究,得出结论说阻碍复合材料进一步扩大应用的主要问题有两个,修理即为其一,包括修理方法、修理成本和修理用材的供应和贮存等具体问题。飞行使用的客观需求,使飞机复合材料结构的修理成为必须解决的重要技术问题。

国外大约从 20 世纪 80 年代初开始研究解决复合材料结构的修理问题,现在问题已获基本解决,但并未完结,仍在继续研究发展。国外各大飞机公司早在 80 年代中期就在正式的设计文件和使用维护手册中规定了较详细的复合材料结构的修理方法,此后他们又纷纷制定了有关机种的结构修理指南(SRM),基本解决了修理方法及相关的修理材料和工艺等具体问题,系列化的成套修理设备等已大量推广和出售,如热补仪等。为统一制定修理规范、降低修理成本、扩大修理规模,近期美国和欧洲共同组建了“商用飞机复合材料修理委员会”(CACRC),有 100 多个成员参加,其规模和重视程度可见一斑。

我国开展复合材料的应用研究也有 20 多年的历史了,以航空航天而言,现已从试用逐步转向了批生产的正式设计应用,后继研制的机种和现正在改进改型的机种上均拟扩大使用复合材料。各大民航公司从国外购进的各型客机上复合材料结构日益增多,尽管随机带有其 SRM,但国内实施起来,材料、工艺等尚有许多问题。因此国内复合材料结构修理的问题也日益迫切地提到了议事日程上来,急需解决。航空航天系统对该问题的重要性和迫切性已有所认识,并初步开展了一些工作,进行了某些实际的修理并取得了一定的经验。但总的看来尚不够深入、系统,也没有正式的修理规范和指南供实践中遵照执行。鉴于此,有关部门于“九五”期间正式批准立项,以“树脂基复合材料结构修理技术研究”为题,对复合材料结构修理问题进行了较深入系统的发展研究。本书即在该项目具体工作的基础上,并适当参考国外的相关技术资料总结写成。

本书从工程应用出发,共写出了 8 章及两个附录。前两章给出了进行复合材料结构修理必备的相关基础知识,其余各章重点介绍了有关复合材料结构修理的各种适用方法,包括修理用材的选择、修理工艺及设备 and 工具等具体问题,同时也给出了修理设计和计算分析及试验验证的相关内容,这些是本书的核心所在。此外还分别在第 6 章和第 8 章中给出了修理检测、质

量控制和安全防护等有关内容。

本书是一本以航空航天复合材料结构修理为主要内容的指导性工具书。全书主要在我们自己工作实践的基础上总结写成,同时适当参考引用了国外成熟的经验、做法和资料,比较全面系统,具有较强的工程应用性,能够指导国内航空航天复合材料结构修理的实践。同时亦可为民用和工业设备等其他方面的复合材料制件的修理提供参考和借鉴。特别应该指出的是,复合材料修理现已发展成为一门广具应用前景的高新技术产业,用该技术不仅可以修理复合材料结构,亦可修理金属飞机结构,亦可修理其他金属结构和设备,甚而现已推广到大量修理基础设施的混凝土等建筑结构,本书亦会对这些领域的修理提供有益的帮助和参考。

复合材料结构修理是在复合材料于各军、民用领域应用日益广泛的前提下逐渐发展起来的一项新技术。国外尚有许多不完善、不成熟之处,还正处于研究发展中。国内较系统地研究发展只能说是刚刚开始,随着应用的发展和各种新型复合材料结构的出现,如纺织复合材料等,今后仍会有许多具体工作要继续深入系统地开展下去,届时将会有更新的指南、规范或标准出现,使该项技术得以进一步完善。目前,限于我们的经验不足、认识不深、工作不到位,加之编写时间匆促,本书会有许多技术上的局限和不足,缺点以至错误亦在所难免,敬请读者、用户批评指正。

编著者

2000.12.26

第 1 章 复合材料简介

由两种或两种以上的组分材料组成的材料，各组分材料基本上仍保持其原来各自的物理和化学性质，彼此间有明显的界面的材料称为复合材料。

按这样定义，人类利用复合材料已有几千年的历史了，如人们用草增强泥来盖房子等。近代复合材料是以玻璃钢为代表的，即以玻璃纤维增强树脂用作结构材料，并于 20 世纪 40 年代用于美国“蚊式”等飞机机体结构的制造上。但因玻璃钢自身固有的弱点，不能用于主承力结构，直到 60 年代出现了所谓的先进复合材料后，其研究和应用才有了划时代的发展。

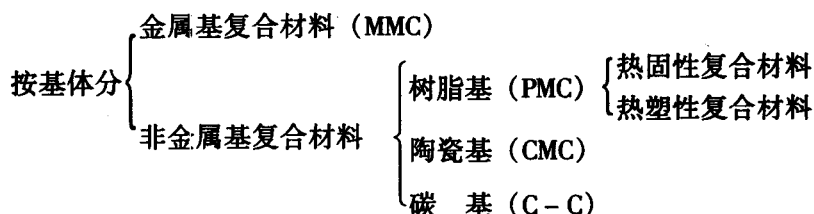
可用于主承力结构和次承力结构、刚度和强度性能相当于或超过铝合金的复合材料称为先进复合材料。目前主要指有较高强度和模量的硼纤维、碳纤维和芳纶（Kevlar，凯芙拉）等增强的复合材料，其中应用最广的则是碳纤维复合材料。

聚丙烯腈基（PAN 基）碳纤维自 1959 年问世，60 年代初进入工业化生产，60 年代中期碳纤维复合材料问世，70 年代初期即已开始用于飞机结构上。将先进复合材料用于飞机结构上可相应减重 20% ~ 30%，这是其他先进技术难于或无法达到的效果。因此，其在航空航天领域应用日益广泛，占了其初期用量的 70% ~ 80% 以上，在铝、钢、钛之后，已迅速发展成四大航空航天结构材料之一。当然，随着技术的进步，材料价格的降低，先进复合材料日益向民用领域扩展，目前民用已成为主流，航空航天的应用已只占 20% 左右的份额了。

1.1 复合材料及其应用

1.1.1 复合材料的分类

一般讲复合材料由增强材料和基体材料组成。基体材料有金属和非金属之分，于是形成了金属基和非金属基两大类复合材料。非金属基体又包括了树脂、陶瓷、碳等，分别形成了树脂基、陶瓷基、碳-碳（C-C）等几大类复合材料。



增强材料可有碳纤维（包括石墨纤维）、硼纤维、芳纶、玻璃纤维、超高强聚乙烯纤维等，形成的复合材料分别叫做碳纤维复合材料、硼纤维复合材料、芳纶复合材料和玻璃钢等。

按增强纤维分 { 碳纤维复合材料 (CFRP)
芳纶复合材料 (KFRP)
硼纤维复合材料 (BFRP)
玻璃钢 (GFRP)
其他: 包括混杂复合材料等

目前发展较成熟, 航空航天上应用较多的主要是树脂基碳纤维复合材料和芳纶复合材料, 当然还有玻璃钢等。一般讲, 树脂基复合材料耐温不超过 400°C , 硼纤维复合材料由于价格昂贵, 加工困难, 目前应用已不多。

金属基、陶瓷基、碳-碳复合材料均属高温复合材料, 金属基的可耐温 600°C , 陶瓷基的可耐温 1000°C 以上。当要求更高温度时只有碳-碳复合材料了, 可耐温达 2000°C 。不同的复合材料有其各自的发展程度和应用领域及范围。

1.1.2 复合材料的特点

先进复合材料的几个主要特点如下

(1) 比强度、比刚度高

比强度和比刚度是材料最重要的性能指标之一。比强度、比刚度高才能减重, 而减重正是复合材料最重要的优点。

(2) 可设计性强

复合材料是各向异性的, 可根据使用要求和受力情况进行材料的设计和剪裁, 为设计师提供了更多的自由度, 以便提高结构效率。

(3) 良好的抗疲劳性能

复合材料抗拉疲劳性能好, 纤维形成多传路结构, 裂纹不易扩展, 如发生疲劳破坏多有先兆, 不像金属那样来得突然。

(4) 抗腐蚀性能好

复合材料在苛刻环境条件下也不会腐蚀, 这条优点显得越来越重要, 使其可以广泛用在沿海或海上的军、民用工程中。

(5) 便于大面积整体成形

复合材料有多种成形工艺, 便于制成大型整体零件和表面复杂的零件, 从而可以大幅度减少零件数量和连接件数量, 既可减重又可降低装配和制造成本。

(6) 良好的尺寸稳定性

碳纤维的热胀系数几乎为零或是负的, 可设计出零膨胀的结构, 在温度剧烈变化的条件下可保持良好的结构形状和尺寸稳定性。

(7) 层间强度低

复合材料的层间强度低, 易产生分层破坏, 降低其承载能力。目前采用缝纫或编织复合材料, 此缺点或可克服。

(8) 冲击韧性差

碳纤维复合材料比较脆, 抗冲击载荷能力差, 甚至低能量的冲击也会产生内部损伤, 这也是其缺点之一。

1.1.3 复合材料的航空航天应用

复合材料在航空航天领域有广泛的应用,目前在机体结构、导弹、火箭和人造卫星上有日益增加的趋势。这些复合材料结构即是本指南所要进行修理的主要对象,故应对其应用情况有一个概括的了解。

1.1.3.1 复合材料在航空领域的应用

复合材料在航空领域的应用可分为军用飞机(军机)、民用飞机(民机)、直升机和轻型飞机等几个方面,应用早且量多的当然是以军机为主。

先进复合材料在军机上的应用 20 多年来走过了一条由小到大、由弱到强、由少到多、由结构到功能的发展道路。应用大致分为 3 个阶段,第一阶段用于受力不大的舱门、口盖、整流罩及襟副翼、升降舵和方向舵等操纵面上;第二阶段用在受力较大的垂尾、平尾一级部件上,20 世纪 70 年代初 F-14 战斗机复合材料平尾的出现是个重要的标志;第三阶段是用在机翼、机身等主要受力结构上。

70 年代中期以后进入服役的战斗机,尾翼一级的部件已基本上都由复合材料制成。如众所周知的 F-14、F-15、F-16、F-18、“幻影”2000 和“幻影”4000 等。1976 年美国麦道飞机公司率先将复合材料用在生产型飞机 F-18 的机翼上,并于 1982 年进入服役。由于在机翼上应用了复合材料,将其在结构中所占的百分比提高到了 13%。该公司又将复合材料用在英国“鹞”飞机的美国改型 AV-8B 的机翼和前机身上,复合材料占该机结构总重的 26%,使复合材料在飞机上的应用跨入了第三个阶段。目前,世界各国在研制中的性能先进战斗机机翼一级的部件已几乎无一例外地都是复合材料的了。近期的应用情况详见表 1-1,总的应用情况详见图 1-1,其他详细情况可见图 1-2~图 1-4。

表 1-1 军机上复合材料的应用近况

机 种	国 别	用 量	具体应用部位	首 飞
“阵风”(Rafale)	法国	25%	机翼、垂尾、机身结构的 50%	1986 年 7 月
JAS39	瑞典	30%	机翼、前翼、垂尾、所有的舱门	1988 年 12 月
B-2	美国	50%	中央翼(身)的 40%,外翼中部和侧后部,机翼前缘	1989 年 7 月
F-22	美国	25%	前中机身蒙皮、部分框、机翼蒙皮和部分梁、垂尾蒙皮、平尾蒙皮和大轴	1990 年 6 月
“台风”(EF 2000)	英、德、意、西四国联合	50%	前中机身、机翼、垂尾、前翼,机体表面的 82%为复合材料	1994 年 3 月

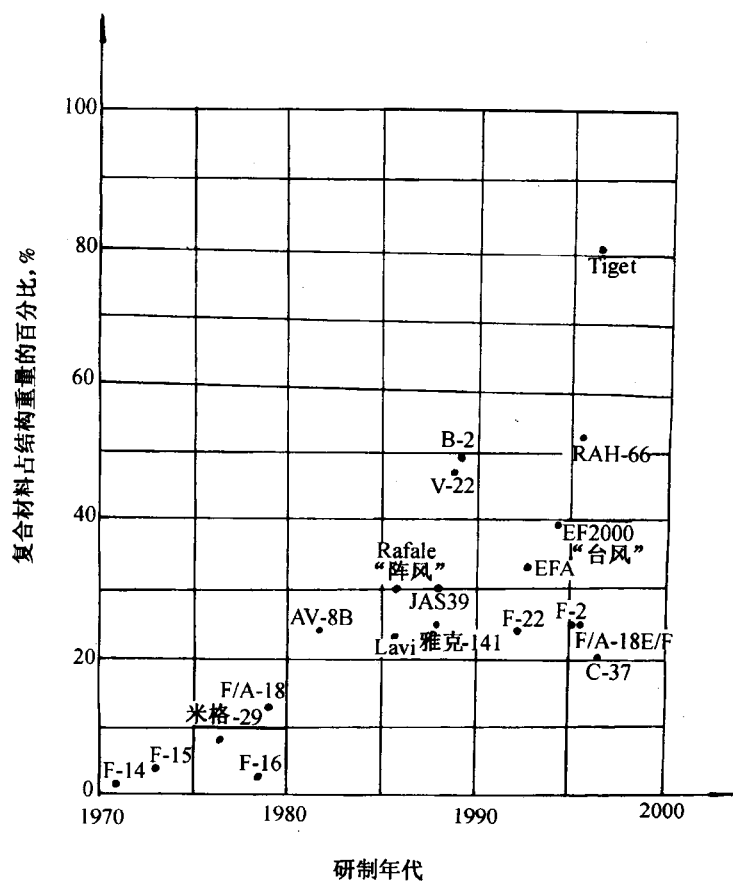


图 1-1 军机复合材料的应用情况

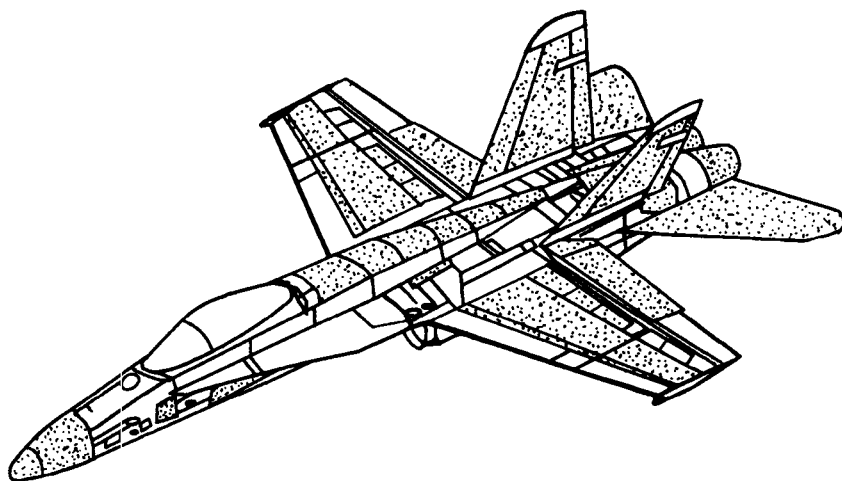


图 1-2 F-18 复合材料的应用

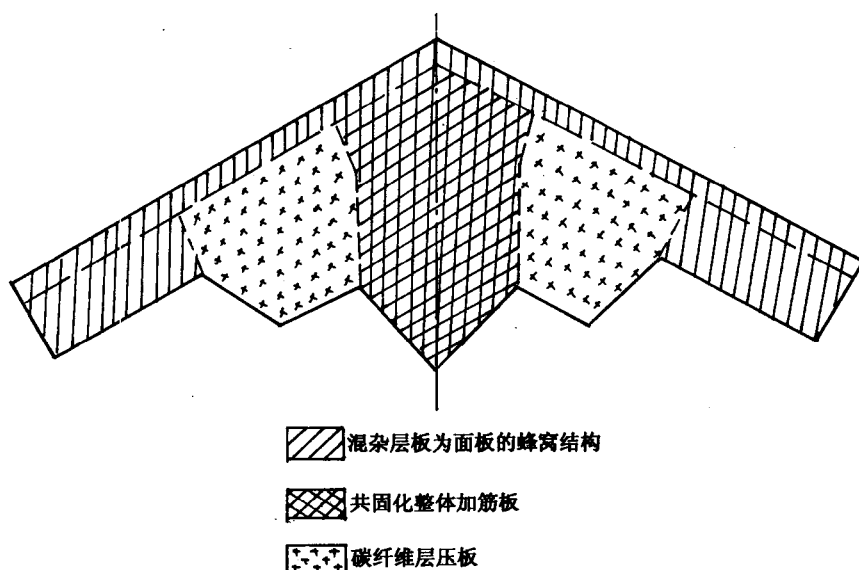


图 1-3 B-2 复合材料的应用



图 1-4 AV-8B 复合材料机翼

大型民机更强调安全性和经济性，复合材料用量的百分比低于军机，但用量也是日渐增加。如波音 757 用量 1429kg，波音 767 用量 1524kg，具体情况见表 1-2。

表 1-2 波音 757 和波音 767 上复合材料的使用情况

机 种	应 用 部 位	重量 (kg)	减重 (kg)
波音 757	内、外侧襟翼，副翼，扰流板，发动机整流罩，前、主起落架舱门，方向舵，升降舵	1429	517
波音 767	内、外侧襟翼，副翼，扰流板，发动机整流罩，前、主起落架舱门，升降舵	1524	567

美国各大飞机公司还分别研制了波音 737 平尾、DC-10 垂尾、L-1011 垂尾三个尾翼级部件。最新研制的波音 777 复合材料用量则已增加到 9900 kg，占结构总重的 11%，见图 1-

5. 欧洲的空中客车系列飞机用量多者可达结构总重的 15% 左右, 如 A340 用了 11000kg 之多, 占结构总重的 13%。法、意联合研制的 ATR-72, 由于采用了复合材料机翼, 其用量高达 20%。近期美国 NASA 分别与几大飞机公司合作, 拟研制干线飞机的复合材料机身和机翼, 进一步扩大用量。国内进口的大型干线客机上都有复合材料部件, 其修理需求日益增加。图 1-6 和图 1-7 为国外民用飞机装配复合材料部件的情况。

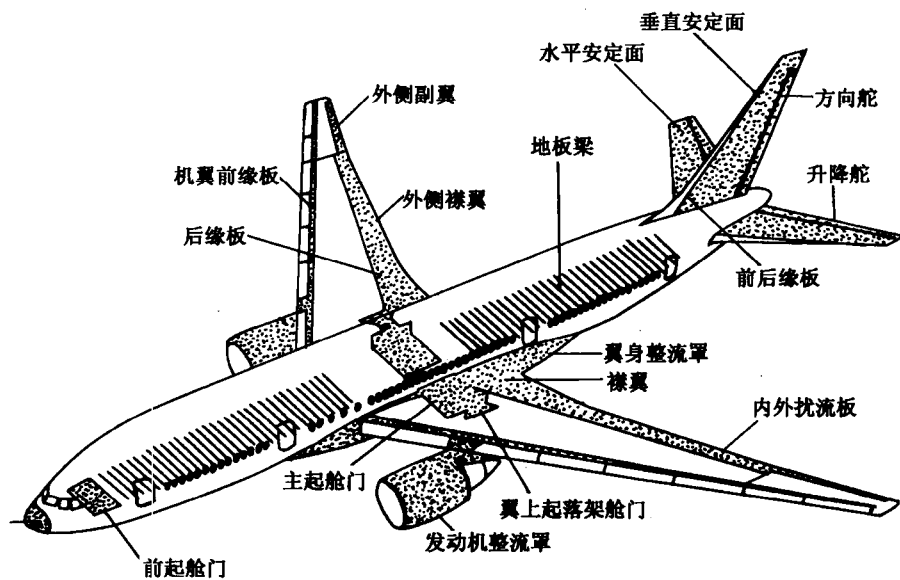


图 1-5 波音 777 上的复合材料结构

在近代直升机上复合材料的用量较一般军、民机还要多。在美国对直升机有一个 ACAP 计划 (先进复合材料应用计划), 在此计划下 H360、S-75、BK-117 等直升机和 V-22 倾转旋翼机均大量采用了复合材料。如垂直起落倾转旋翼后又能高速巡航的 V-22 用复合材料近 3000kg, 占结构总重的 45% 左右, 其中包括了机身机翼的大部分结构以及发动机悬挂接头和叶片紧固装置。美国最新研制的轻型侦察攻击直升机 RAH-66, 具有隐身能力, 复合材料用量约 50%, 机身龙骨大梁长 7.62m, 铺层最多处达 1000 层。欧洲法、德合作研制的“虎”(Tiger) 式武装直升机, 复合材料用量高达 80%。

轻型飞机领域更是和复合材料密切相关。自 20 世纪 80 年代后世界上出现了很多全复合材料飞机。美国比奇飞机公司的“星舟 1 号”(Starship 1) 是第一个获得 FAA 型号合格证的全复合材料飞机, 见图 1-9, 它是一种客货两用轻型飞机。“旅游者”号 (Voyager) 几乎全由碳纤维复合材料制成, 大大减轻了机体的结构重量, 可以装载大量燃油而号称飞行油箱。该机于 1986 年 12 月创下空中不加油、中途不着陆、连续 9 天环球飞行 40390km 的世界纪录, 举世轰动, 为先进复合材料的应用带来了成功与骄傲。中国台湾纬华直升机公司研制的超轻型直升机、双座的空机重量仅 180kg, 机体结构基本全是碳及混杂复合材料。目前世界上的各种轻型飞机多由复合材料制成, 不过多用的是玻璃钢结构。本指南所提供的修理方法对该类飞机亦是适用的。

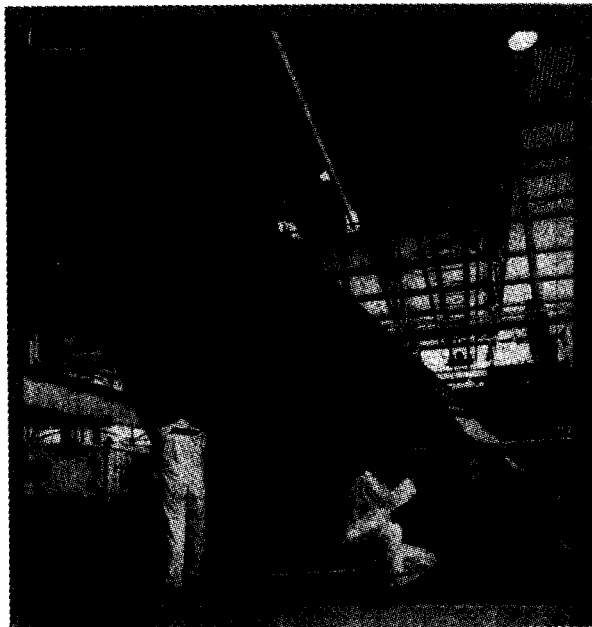


图 1-6 A320 的复合材料垂尾

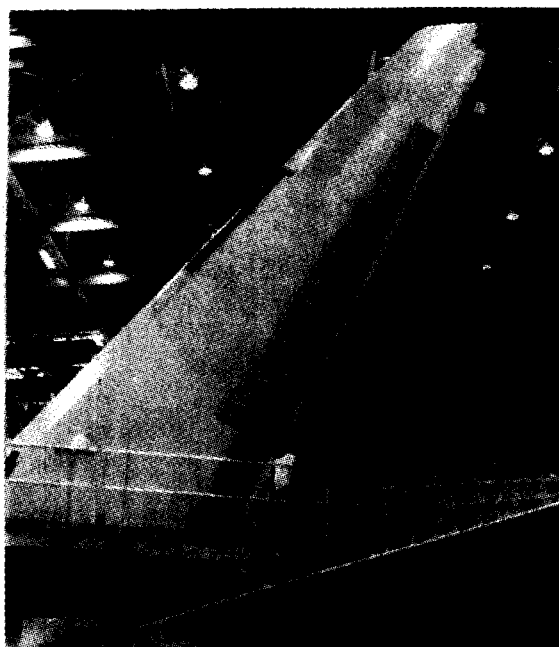


图 1-7 波音 777 的复合材料方向舵

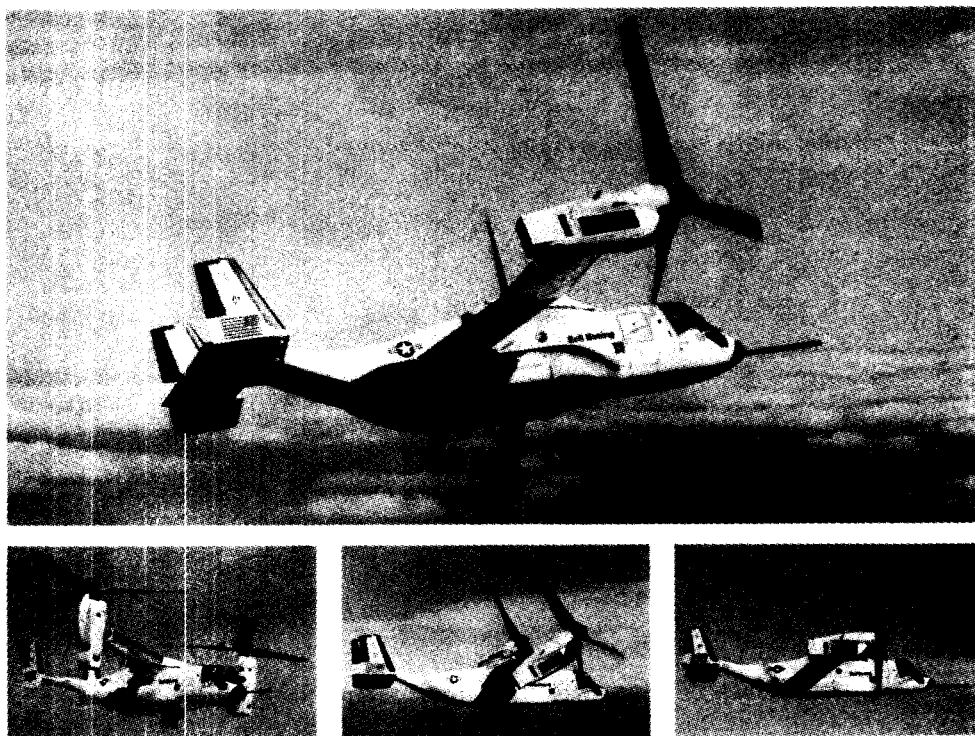


图 1-8 V-22 倾转旋翼机



图 1-9 “星舟 1 号”全复合材料飞机



图 1-10 公务机的复合材料机身

1.1.3.2 复合材料在航天等领域的应用

以美国为代表的西方，在先进复合材料问世后即已将其大量用于导弹、火箭、航天飞机和卫星等结构上。

在战略导弹和运载火箭上应用先进复合材料的构件主要有弹头鼻锥、壳体、弹体舱段、舱体、级间段等。弹头重量每减轻 1kg，可以增加射程 20km。用于战略导弹机动发射的发射筒可以说是目前最大的先进复合材料构件，如 MX 导弹的发射筒长 14.94m，内径 249cm，重达 7246kg。固体火箭发动机上先进复合材料所占比重更大，甚至有全复合材料固体火箭发动机之说，应用情况可见表 1-3。在巡航导弹上先进复合材料可用在弹翼、尾翼等部件上，据说采用复合材料的翼面可较铝合金翼面减重 40%。表 1-4 给出“战斧”式巡航导弹用复合材料的情况。此外，如航天飞机的大型舱门、翼面前缘，人造卫星的太阳能电池板和各种支架等也都大量使用了先进复合材料。表 1-5 给出了一个国内卫星应用复合材料的情况。图 1-11 则给出了一个战略导弹应用复合材料的示意图。

以国防工业系统而言，先进复合材料在舰船、电子、兵工武器等系统均有大量的应用，原则上讲，所有进入工程应用的复合材料结构均有修理的需求。

表 1-3 固体火箭发动机壳体用先进复合材料

型 号		发动机尺寸 (m×m)	壳体用先进复合材料
海神 (C-3)	一级	φ1.88×4.88	玻璃纤维/环氧
	二级	φ1.88×2.48	玻璃纤维/环氧
“三叉戟” 1 (C-4)	一级	φ1.88×4.50	K-49/环氧
	二级	φ1.88×3.50	K-49/环氧
	三级	φ1.88×2.45	K-49/环氧

续表 1-3

型 号		发动机尺寸 (mm)	壳体用先进复合材料
“三叉戟” 2 (C-5)	一级	$\phi 1.88 \times 4.50$	1M-7/HBRF-55A
	二级	$\phi 1.88 \times 3.50$	1M-7/HBRF-55A
	三级	$\phi 1.88 \times 2.45$	K-49/环氧
MX	一级	$\phi 2.34 \times 8.44$	K-49/环氧
	二级	$\phi 2.34 \times 5.60$	K-49/环氧
	三级	$\phi 2.34 \times 2.33$	K-49/环氧
侏儒	一级	$\phi 1.168 \times 5.45$	1M-7/HBRF-55A
	二级	$\phi 1.168 \times 3.00$	1M-7/HBRF-55A
	三级	$\phi 1.168 \times 2.03$	1M-7/HBRF-55A

表 1-4 “战斧”式巡航导弹用先进复合材料

部 件	复 合 材 料
头锥	Kevlar/聚酰亚胺
雷达天线罩	玻璃纤维/环氧
进气道	玻璃纤维/环氧
进气道整流罩	石墨纤维/聚酰亚胺
尾翼	玻璃纤维/环氧 Kevlar/环氧
尾锥	E 玻璃粗纱/环氧
发射容器	短碳纤维/环氧

表 1-5 国内卫星应用的复合材料结构件

卫星 序号	结构件名称	外形尺寸 (mm)	材料及结构件组成
1	(1) 喇叭天线 (2) 椭圆抛物面天线反 射器 (3) 消旋支架 (4) 支撑筒	高约 280, 大端直径约 250 长轴 1200, 短轴 700, 最大旋转半 径 1300 高约 580 高约 300, 大端直径约 140	主体材料碳/环氧, 镀铜、金等碳/ 环氧面板铝蜂窝夹层结构 由碳/环氧圆管与铝合金接头组成 由碳/环氧锥壳和金属端框组成
2	电池梁	“工”字形, 长 750, 高 54, 宽 44	由碳/环氧和钛箔组成混杂结构
3	(1) 波纹承力筒 (2) 夹层结构板 (3) 太阳能电池基板 (4) 连接架	高 1983, 锥段大端内径 1166 最大件 1668×2158 1720×2220 750×2220	由碳/环氧波纹筒、端框、隔框、纵 桁和若干角撑件组成 由碳/环氧(或铝合金)面板与铝蜂 窝芯复合 由碳/环氧网格面板和铝蜂窝芯复合 由碳/环氧方管与钛合金接头组成

续表 1-5

卫星序号	结构件名称	外形尺寸 (mm)	材料及结构件组成
4	(1) 加筋壳 (2) 夹层结构板 (3) 太阳能电池基板 (4) 连接架	高 1300, 内径 1187.6 最大件: 1250 × 1985 1755 × 2581 750 × 2581	由 1.7mm 厚碳/环氧壳体、碳/环氧隔框和桁条、铝合金端框组成 同卫星序号 3 之 (2) 同卫星序号 3 之 (3) 同卫星序号 3 之 (4)
5	(1) 加筋壳 (2) 夹层结构板 (3) 太阳能电池基板 (4) 连接架 (5) 支撑结构	高 1620, 内径 1187.6 1250 × 1985 1755 × 2581 810 × 2581 950 × 2030	同卫星序号 4 之 (1), 但碳/环氧壳体壁厚 3.2mm 同卫星序号 4 之 (2) 同卫星序号 3 之 (3) 同卫星序号 3 之 (4) 碳/环氧型材与钛合金接头组成

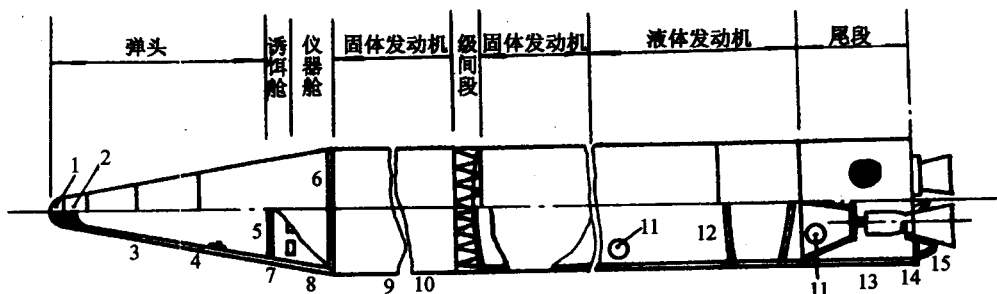


图 1-11 战略导弹应用复合材料的示意图

- 1—鼻锥；2—弹头上壳体；3—弹头下壳体；4—天线窗；5—底盖板；
6—再入诱饵；7—诱饵舱；8—仪器舱；9—固体发动机壳体；
10—级间段；11—高压气瓶；12—共底；13—尾段壳体；
14—发动机底部防热板；15—柔性防热裙

1.1.4 复合材料的民用发展

复合材料的应用传统上分为航空航天、体育及休闲用品和工业应用三大领域，后两部分即所谓的民用部分。目前民用领域占了先进复合材料 70% ~ 80% 的市场份额，而且还有继续扩大的趋势。

体育及休闲用品一直是碳纤维复合材料应用的一个重要领域，而且是一个开发较早的领域，其中高尔夫球杆、网球拍和钓鱼杆是其三大支柱产品，几乎占了该类产品的 80% 以上。其他则包括自行车、船舶、赛车、弓箭、滑雪杆、滑雪板以至乐器等，如图 1-12 和图 1-13 所示。

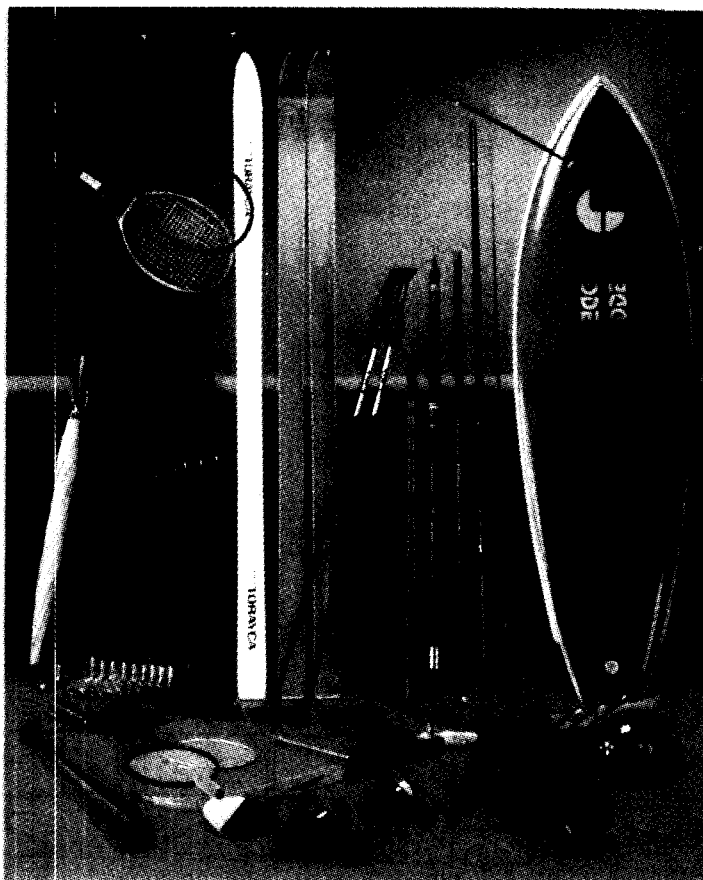


图 1-12 琳琅满目的复合材料体育用品

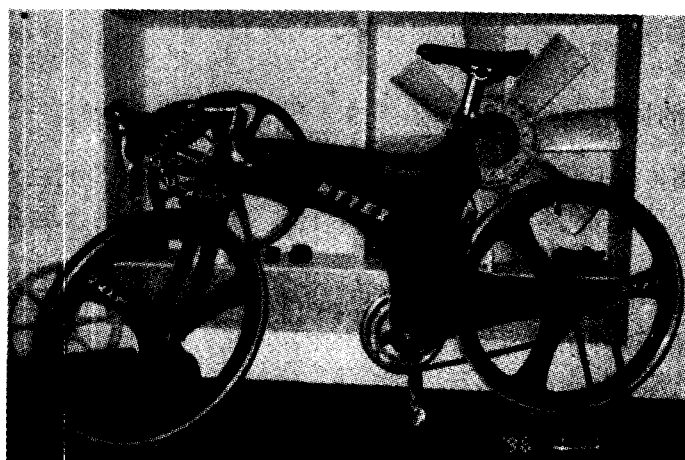


图 1-13 复合材料自行车

工业领域是目前先进复合材料应用最大，也是发展最快的一个重要的领域，该领域包括基础设施（建筑业）；沿海油气田的管道系统、护栏扶手、通道、竖井、钻杆等；汽车的车体结构、电动汽车、压缩天然气瓶等；防弹产品的防弹服、头盔、装甲和防弹车等；其他则还有工业机械应用，高速列车、集装箱、风力发电桨叶，电子领域的线路板、反射天线、发热体材料，以及生物工程等。

仅以基础设施领域的应用（见图 1-14）目前即形成了碳纤维复合材料的最大潜在市场。所谓基础设施包括桥梁、房屋建筑、混凝土工程、地铁、涵洞等建筑设施。先进复合材料以梁、索、柱、杆、筋、桁架、构架、层压板，包缠料等多种形式用于该领域。用复合材料修理、加固和更新基础设施技术目前已形成了巨大的市场，为全球所接受。该技术实质上是复合材料胶接修理技术在基础设施领域的扩展与延长。

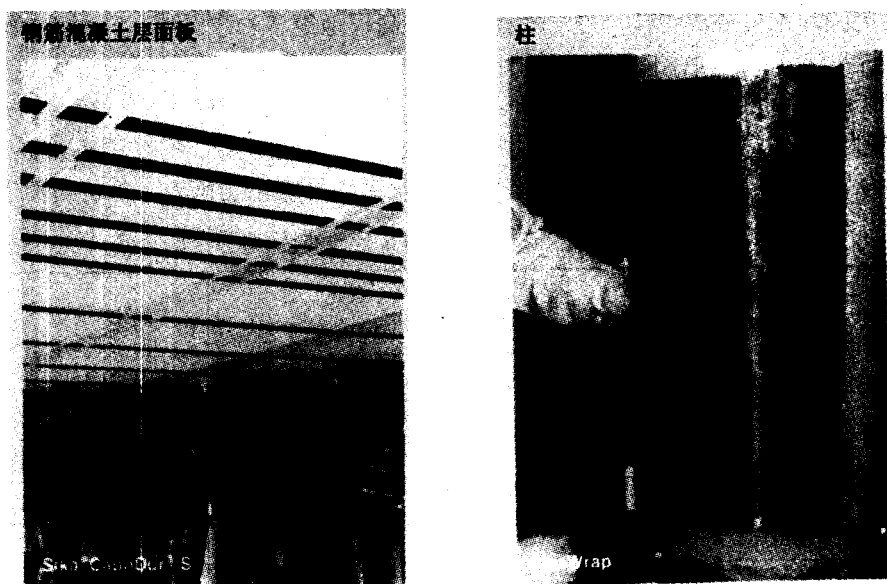


图 1-14 复合材料用于基础设施的修复、更新和加固

原则上讲所有的民用复合材料结构和设施也都存在生产制造和使用过程中缺陷和损伤的问题，也都有修理的需求。本指南所提供的修理方法原则上也适用于这些民用复合材料结构和设施的修理。广义上讲，复合材料修理已形成了一种产业，有着广阔的发展应用前景。

1.2 材料简介

欲进行复合材料结构的修理，必须对复合材料的用材体系有一个初步的认识和概括的了解。复合材料涉及到的材料体系主要包括增强纤维、树脂基体、预浸料、胶粘剂和辅助材料等，下面分别予以简述。