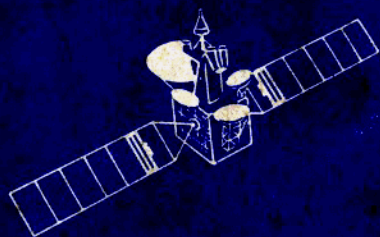


飞行器复合材料

天鵬设计与工艺



航 天 器 复 合 材 料

天 线、设 计 与 工 艺

责任编辑 张惠丽 周启美

审 校 方云华 赵祖虎

航空航天工业部第五〇八研究所

一九八八年十月

当今世界已进入航天高科技的年代，各国对航天技术的开发和应用极为关注，相继发射了各种科学实验卫星、应用卫星及通信卫星，并不断取得新的技术成果。天线系统是这些航天器的重要组成部分之一，负责数据和信息的收集、中继、转发，无不通过天线系统的作用而获得应用价值。

为了适应我国航天技术的发展，吸收国外先进技术，努力缩短与国际先进水平的差距，航空航天部第五〇八研究所情报资料室和复合材料结构研究室共同收集了国外在一九七四年至一九八七年关于卫星天线研制资料共七篇，并翻译汇编成册。

本书内容是重点介绍国外树脂基复合材料(CFRP)和金属基复合材料(CB/Al、Gr/Al、Gr/Mg、SiC/Al)在卫星天线结构件中的应用，合成孔径天线、多波束天线、单面和双曲面天线反射器，固定和展开式天线支架，波导及馈源阵等天线部件的结构，以及这些部件的设计、试验、制造工艺、性能分析方法。同时对适用于高精度天线反射器的低变形石墨成型模具的应用作了专门介绍。这些资料愿有助于我国从事航天器天线系统的研究设计人员、制造工艺人员开阔思路，从中得到借鉴。

总工艺师 方云华

第一章 卫星天线系统概述 1

第一节 卫星天线系统组成 1

第二节 卫星天线系统的主要性能指标 2

第三节 卫星天线系统的主要组成部件 3

第四节 卫星天线系统的主要组成部件 4

第二章 卫星天线系统的主要组成部件 5

第一节 合成孔径天线 5

第二节 多波束天线 6

第三节 单面和双曲面天线反射器 7

第四节 固定和展开式天线支架 8

第五节 波导及馈源阵 9

第六节 卫星天线系统的主要组成部件 10

目 录

编 述

- 先进复合材料航天器天线反射器的研制.....周启美译 赵祖虎校 (1)
先进复合材料在RCA卫星上的应用.....李玉英译 盛 磊校 (11)
石墨复合材料在未来航天器天线中的应用.....何逸珍译 盛磊 李国荣校 (19)
金属基复合材料在卫星抛物面天线中的应用.....盛 磊译 张惠丽校 (27)

设计

- ERS-1卫星的大型可展开式天线结构.....张惠丽译 盛 磊校 (34)
未来通信卫星天线设计的改进.....盛磊译 张惠丽 李国荣校 (43)

反 射 器

- 复合材料空间天线结构: 性能和环境效应.....周启美译 赵祖虎校 (50)
通信卫星用先进复合材料天线反射器.....张惠丽译 盛 磊校 (59)
精密复合材料卫星天线反射器的研制.....龚菊英译 张惠丽校 (63)
应用于国际通信卫星V上的先进复合材料结构件.....李玉英译 周启美校 (68)
轻型复合材料卫星天线.....金维珍译 庄年增 张惠丽校 (73)

分析 与 试验

- 用于通信卫星的先进复合材料天线反射器的分析和试验评定.....龚菊英译 盛 磊校 (89)
通信卫星用的新型碳纤维复合材料天线反射器的研究和试验.....王相松译 张惠丽校 (93)

支 撑 结 构

- 用于通信卫星的先进复合材料管件的设计与制造.....周启美译 张惠丽校 (105)
国际通信卫星V号天线支架结构用复合材料述评.....盛 磊译 周启美校 (110)
用于应用技术卫星的石墨环氧反射器桁架.....沃西源译 盛 磊校 (118)

波 导

- 碳纤维增强复合材料开口波导天线的力学设计及评价.....郭 际译 张惠丽校 (130)
碳纤维波导金属镀层工艺方法和质量检验.....郭 际译 张惠丽校 (134)
复合材料在通信卫星波导中的应用.....郭 际译 张惠丽校 (141)

模 具

- 低变形模具在高精度宇航结构件上的应用.....张惠丽译 盛 磊校 (145)
石墨/环氧反射器的研制: 设计与费用分析.....周顺根译 盛 磊校 (152)

先进复合材料航天器天线

R. A. Stonier

周启美译 赵祖虎校

摘 要 本文综述先进复合材料航天器天线的研制。过去航天器天线结构均己采用石墨/环氧和凯美拉/环氧材料。因为天线必须在真空、潮湿、高温和在悬燥的空间热环境下须保持尺寸稳定,故这些先进复合材料是理想的材料。文中介绍了这类先进复合材料的许多应用,包括:“海盜号”火星轨道器使用的高增益天线反射器,它是首次飞行的石墨复合材料天线;“旅行者”行星探测器使用的3.7米直径天线反射器,它是以前研制的最大整体石墨天线;为行星际通信使用的高频、尺寸精确的天线反射器;和为国际通信卫星使用的大型可展式天线。这些材料可用于制造简单的夹层外壳以及大直径环和肋加强壳结构。本文将对材料的特性试验和这些先进复合材料天线结构的制造工艺进行讨论。

一、绪 言

在航天器结构中,石墨和凯美拉复合材料现在正得到广泛应用。这些材料在七十年代初期首先应用于天线反射器结构,现在几乎所有航天器天线都采用这些先进复合材料。由于石墨和凯美拉材料有独特的物理和机械性能,因而它制造常规天线和先进天线都具备很多优点。航天器天线必须在空间工作,因此在空间热环境下要保持尺寸稳定,另外,航天器天线结构的重量要求是很苛刻的,它要求有高的刚度。石墨和凯美拉复合材料作为天线结构材料是独一无二的,因为它们的热膨胀系数接近于零,而比强度和比模量又相当高。

以下讨论石墨和凯美拉复合材料在天线反射器结构中的应用。介绍材料、工艺进展,以及先进复合材料天线的设计情况。并具体说明福特宇航和通信公司(FACC)西方研制实验室对特殊先进复合材料天线的应用情况。

二、背 景

第一批石墨复合材料天线反射器的研制计划得到美国空军材料实验室(AFML)的资助。后来许多宇航公司独自开展了这种构件的研制工作。多数是直径约为1.0~1.2米的天线反射器,结构相当笨重。(图1)。1972年到1973年FACC研制了第一个为“海盜号”火星轨道器飞行器使用的石墨复合材料反射器飞行件。从此以后反射器工艺已经大有提高,已能满足当今应用中对表面精度和在最小重量条件下具有更好尺寸稳定性的要求。现

在天线结构通常是偏馈抛物面反射器,且多数是可展开的,先进复合材料航天器天线已由美国、英国、法国、德国、意大利和日本的许多公司所制造。



图1 早期研制1.2米直径的卫星天线

三、材料特性

为了达到高效率结构设计,航天器天线材料须经选择,使能以最小的重量获得最大的尺寸稳定性。所有材料还须满足严格的真空放气要求。

1. 先进复合材料

为了达到所需的高固有频率,在反射器结构设计中刚度常常是关键性的,同时也希望热膨胀系数接近为零。因此,可采用高模量和超高模量石墨纤维材料,它们的膨胀系数也最低。但是当需要热传导率低或者在反射器设计中需要微穿透诸如频率选择或极化敏感的表面时,可采用凯芙拉复合材料。用于天线反射器结构的石墨和凯芙拉复合材料是配制环氧树脂或改性环氧树脂体系的预浸料。

广泛采用单向带和板材(薄型织物除外)。抛物面天线反射器结构采用非常薄的预浸料,以便使其重量最轻。

早期石墨天线反射器采用0.13毫米高模量聚丙烯晴长丝或人造先质石墨纤维的单向带材料制造。蒙皮一般采用平衡准各向同性铺层,按此生产的结构很重。后来改用0.06毫米薄型单向预浸板材,蒙皮按 0° 、 90° 、 90° 、 0° 铺层,结果形成非常轻的天线结构。采用2层 0° 、 90° 不对称蒙皮且蒙皮总厚度为0.13毫米的蜂窝夹层结构已研制成功。表1显示薄层高模量(HMS)石墨环氧蒙皮的机械性能数据。

表1 HMS石墨/Fiberite 834环氧复合材料蒙皮板的拉伸性能

(0.06毫米厚石墨预浸料)

纤维方向	测试方向	极限应力	模量
		MN/m ²	GN/m ²
$0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ$	0°	558	117
	90°	614	117
$0^\circ \pm 60^\circ$	0°	434	83
$0^\circ, 90^\circ$	0°	600	124
	90°	538	110

在最近的反射器设计中,已采用超高模量GY-70石墨纤维,0.06毫米GY-70石墨环氧预浸薄型板材近来已在许多计划中被采用。这种材料的典型机械性能列于表2。近来也

有采用0.13毫米GY—70织物的。已研制成用这种石墨织物和薄层凯美拉120织物结合的夹层反射器。将此薄蒙皮与凯美拉蜂窝芯子共同固化即形成一种热膨胀系数接近于零的结构。表3显示其机械性能。

许多未来的设计将采用这种新型高模量和超高模量的沥青石墨纤维。

表2 单向GY—70石墨纤维/环氧玻璃钢层压板的机械性能
(0.06毫米厚石墨预浸料)

试验温度 ℃	典型拉伸强度		典型短梁剪切强度 MN/m ²
	极限应力 MN/m ²	模量 GN/m ²	
23	518	250	41
177	414	230	35

表3 GY—70和凯美拉120/Narmco5208环氧混合复合材料层压板的拉伸强度

测试方向	极限应力 MN/m ²	模量 GN/m ²
	0°	90°
0°	152	54
90°	138	48

注：GY—70斜纹织物名义厚度为0.13毫米。

凯美拉120织物名义厚度为0.10毫米。

2. 蜂窝芯子材料

在反射器夹层结构中，一般采用铝蜂窝作芯材。铝蜂窝芯材具有极好的剪切性能，能得到各种密度，在夹层蒙皮之间能提供极好热传导性，容易成型和机加工，也便于结构接地。在大部分设计中已采用标准铝蜂窝芯子，其密度在32千克/米³和50千克/米³之间，密度更低的蜂窝芯材也可得到。也曾使用一种称Hexcel's的柔性芯子材料，该材料容易构成反射器的复合外形。铝蜂窝芯子的唯一缺点是能使整个夹层复合结构的热膨胀系数变高。改用新型凯美拉蜂窝芯子就可制成低热膨胀系数的夹层结构，但目前可得到的凯美拉芯子只有一种类型，其密度为34千克/米³，且剪切性能不是最佳的。

未来的高性能反射器结构将需要改进的凯美拉芯子和新型的石墨蜂窝芯子材料。

3. 粘合剂材料

曾采用结构环氧胶膜把预固化蒙皮与蜂窝芯子粘合。大多数体系在120℃固化。图2显示试验温度对中温和高温胶膜的剪切强度的影响。现在反射器夹层结构所采用的胶膜重量仅为0.1千克/米²。

为了把加强筋粘接到反射器外壳上，需要结构膏状环氧粘合剂。图3显示试验温度对几种粘合剂体系剪切强度的影响。

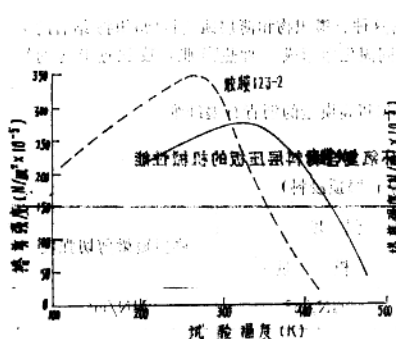


图2 胶膜的剪切强度

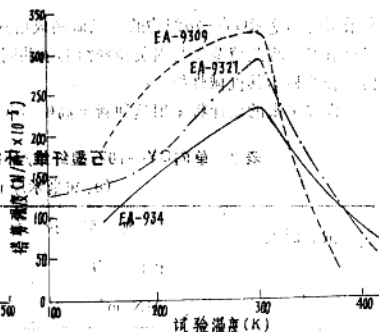


图3 膏状粘合剂的剪切强度

四、加工特性

先进复合材料预浸料体系复合金属基复合材料 (Advanced Composite Materials) 的制造与加工特性

先进复合材料反射器蒙皮采用普通的真空袋/热压罐成型技术制成。制造、加工工艺和模具设计通常取决于反射器尺寸和型面精度要求。型面精度要求是根据电性能设计，特别是工作微波频率确定。复合材料蒙皮通常在低膨胀陶瓷、石墨或殷钢模具里固化，这样在提高固化温度时，模具的机加工抛物面外形不致发生变化。是否可采用膨胀较高的金属模具，取决于制造部件与理想型面所能允许的偏差大小。

大部分复合材料预浸料在177℃固化。第一个反射器结构采用预固化石墨复合材料蒙皮，用粘合剂把它与蜂窝芯子胶合，形成完整夹层结构。近来的天线结构已采用常规层合预浸料体系和粘合层（一般为胶膜）共同固化。粘合层为蜂窝芯提供粘接，也作为阻挡层，在低粘度时阻止环氧预浸料的树脂流动。现在已经研制出新的控制树脂流动的先进复合材料预浸料体系，它将用于未来计划。

五、设计依据

早期天线反射器是中心馈电式抛物面反射器。新近计划采用偏馈抛物面反射器，因为这种结构的馈电器、传输线和它的支承结构都不阻挡孔径，也不降低电性能。当使用复绕时（如国际通信卫星V），采用这种结构尤为重要。在太阳照射下，反射器部分处于自身的阴影时即产生热梯度。这种热梯度会引起变形。但是通过设计可使结构的热膨胀系数尽可能接近于零，则这样就可使这种变形减至最小。

材料综合部

先进复合材料整体天线反射器通常有三种设计类型：加强的层压壳；不加强的厚夹层壳和加强的薄夹层壳。即使是小直径的反射器，层压壳仍需增强加筋肋。由加强肋提供所需的固有频率，和反射器与航天器之间的连接，这种连接法有令人满意的载荷分布路径。加强结构通常是一个或几个石墨环（取决于直径大小），环间有石墨加强肋。加强结构部分作为独立零件制造，而后用室温或中等温度固化的环氧膏状粘合剂将加强件粘接在反射

器壳体上。

有厚芯子但没有附加加强结构的重量效率高的蜂窝夹层反射器，其直径能设计到1.2~1.5米，整个夹层厚通常为1.3~1.5厘米。通过粘结在蜂窝夹层上的嵌件将反射器连接到航天器上。因此嵌件周围通常需有密度较高的蜂窝芯，以使其具有足够的剪切强度。又由于在这些地方蒙皮的应力较高，故这些地方的蒙皮可能需成倍的石墨纤维铺层。

对于直径较大的反射器，为了达到所需的刚度和固有频率，这种芯子的厚度必将很厚，以致此类结构的重量效率就不高了。对于这些大反射器结构，要采用夹层薄壳，在其背面粘结肋或环加强构件。此类结构比厚型芯结构轻得多。通常由肋或环结构将反射器连接到航天器上。

目前正在制造的整体反射器结构，其最大尺寸在现有运载火箭的空间限制范围内。对于像应用技术卫星，伽里略和跟踪和数据中继卫星航天器所需的较大的反射器，已采用可折叠肋的网状反射器结构。将来的方案需要提高尺寸精度并采用直径非常大的反射器，其中许多方案拟采用可折叠的整体石墨复合材料反射器结构。

六、应用

现以福特宇航通信公司 (FACG) 过去和现在某些航天器天线反射器中的应用情况。

1. “海盗号”火星轨道器

第一个投入飞行的石墨复合材料天线反射器是为“海盗号”轨道器上，该轨道器于1976年7月绕火星运行。X/S波段抛物面天线反射器。这种反射器结构是一个壳。



图4 “海盗号”火星轨道器的石墨复合材料天线

环氧，厚度为0.25毫米。它由四层0.084毫米厚的单向高模量石墨 (HMS) 预浸料 (裁成三角形幅) 按 0° 、 90° 、 90° 、 0° 铺层而成。图5为其结构详图。蒙皮在同样的陶瓷增强模

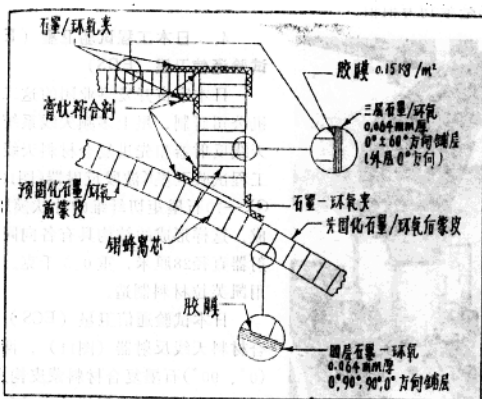
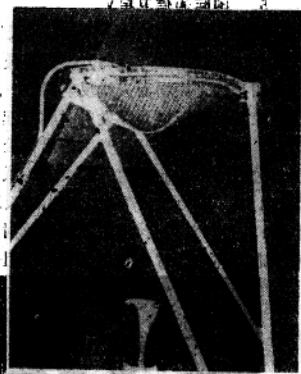


图7 “旅行者”反射器的构造



200℃) 以及由 (80℃) 发射。受到气动加热。石墨和凯。明显降低。正弦振动冲击。



3. 日本通信卫星 (CS)

日本中等容量通信卫星 (CS) 具有一个简单而消旋折迭喇叭天线。三菱电机公司按合同为日本开发事业团研制该先进天线系统。这种天线能四种不同波段工作。图9为该天线外形图, 它由1米石墨/环氧蜂窝芯。支撑反射器的石墨硬壳。石墨环加强。凯莱拉圆柱体组成。反射器表面由计算机计算后点计算后覆盖所有的日本岛屿。

这种天线的所有结构部件采用石墨/环氧或凯莱拉天线的大多数先进复合材料的组合。共采用压或胶合面构成完整的部件。凯莱拉圆锥圆柱体凯莱拉是因为它具有低的热传导特性, 能使卫星各向同性 ($0^\circ \pm 60^\circ$)。石墨复合材料构成。反射器反射器面板是由四层石墨纤维以 $0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ$



图10 用于... 体模... 使用... 由准... 的... 理论外

尼亚公司供给，石墨复合材料反射器由英国宇航公司动力部制造。这些反射器结构与“海蓝号”天线反射器相类似。二个预固化GFR-20石墨复合材料蒙皮用粘合剂胶合在等厚度的蜂窝芯子上。其中有一个反射器是可展开的。为了使波束覆盖区移动到地球上所希望的地点，两个反射器都是可转向的。

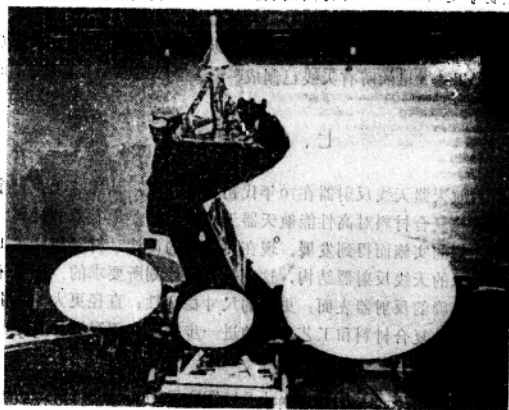


图13 国际通信卫星V天线

6. INSAT-1

为印度国内卫星通信系统INSAT-1研制了石墨复合材料天线反射器。该卫星由福特宇航公司提供，而星上的反射器则由塞列尼亚公司研制。两个天线结构是偏馈抛物面反射器。较大的天线在发射时是可折叠的，发射后可展开到一定位置。

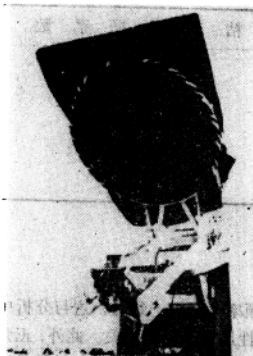


图14 INSAT-1卫星的C波段天线反射器

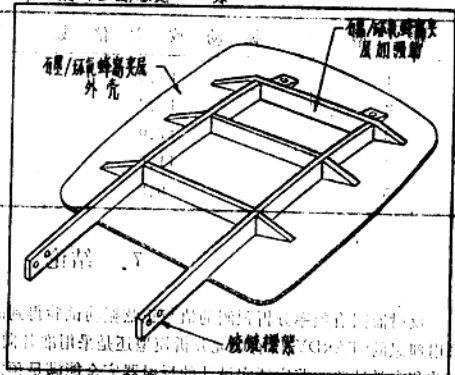


图15 INSAT-1加强肋结构石墨复合材料天线反射器

两者均可收藏，待发射后展开到一定位置。较大的C/S波段反射器呈矩形(1.6米×1.5米)。

在图4所示的C波段反射器呈圆形，其直径为1.4米。这两种结构均由0.64厘米厚蜂窝夹芯外壳连同加强和可展开肋结构组成。加强肋结构也是夹层结构它们粘接在反射器的背面（图15）。夹层壳的蒙皮采用超高模量（GY-70）石墨纤维预浸料，以 $(0^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 0^\circ)$ 方向铺层，加强肋蒙皮以 $(0^\circ \pm 60^\circ)$ 方向铺层。制造工艺包括预固化前蒙皮，然后用120℃胶膜粘接等厚度。加强肋结构用室温固化环氧胶膜粘接。C波段反射器重4.4千克。两个AT-1卫星的所有天线已制成。第一颗AT-1卫星于1982年4月发射。

七、

先进复合材料航天器天线反射器在70年代初开始使用，从那时起，一个接一个计划充分证明石墨和纤维增强复合材料对高性能航天器天线反射器是最理想的材料。该项技术已随每一个新航天器计划的实施而得到发展。现在，通过新的设计、材料选择和工艺能生产出重量极轻、几乎完美的天线反射器结构，这完全符合计划所要求的。未来的计划将提出更高的要求：更精确的反射器表面；更大的尺寸稳定性；直径更大的反射器和更长的寿命。现有石墨纤维增强复合材料和工艺已能进一步改进，而纤维增强材料的进一步改进，基本上能满足要求。

(上接第92页)

表3 模态阻尼和振动放大倍数

模态号	振动放大倍数	粘滞阻尼系数
1	13.2	
2	13.8	
3	17.0	
4	11.6	
5	9.8	

7. 结论

反射器固有频率分析预测的值与正弦振动试验得到的频率一致，这与分析中采用理想的STARDYN有限元分析模型还是采用准各向同性材料模型无关。此外，正弦振动和声学试验的鉴定证实设计的反射器完全能满足预定的飞行环境的要求。从反射器试验得到的振动放大倍数为反射器飞行状态应力分析奠定了基础。

译自《13th National SAMPE Technical

Conference》October 13—15, 1981

先进复合材料在RCA卫星中的应用

R. N. Gounder

李玉英译 盛 磊校

摘 要 本文介绍了在RCA公司过去和目前制造的卫星中应用先进复合材料的情况。RCA公司制造了各种用途的卫星，包括导航卫星、通信卫星、军用卫星、气象卫星、科学卫星和其它用途的卫星。由于先进纤维增强复合材料重量轻、强度高、刚度大、热稳定性好、透波性好、电性能好，促进了在卫星部件上的应用。使用到卫星结构件上的先进纤维增强复合材料包括凯美拉/环氧、石墨/环氧以及玻璃/环氧。本文对诸如天线反射器、天线馈源支架、波导管和馈源喇叭多路微波滤波器、准确定位的仪器安装平台、太阳能电池基板和结构分系统的构件中用的先进复合材料进行了介绍。对材料选择准则、设计方法和制造工艺也作了简要介绍。

1. 引言

自1958年开始以来，RCA宇航电子分部已经设计和制造了一大批各种用途的卫星，包括导航、通信、军用、气象、科学及其它应用卫星等等。各种卫星系统的结构对强度、重量、装配和刚度均有很高的要求，选择的运载火箭对卫星结构尺寸和重量提出了严格限制。具有超比强度和超比刚度的先进轻质材料体系可以满足运载火箭对重量的要求。对应用具有优异比强度和比刚度特性先进材料的需要还来自于卫星发射环境中卫星结构及其它分系统所产生的载荷。要求卫星结构件具有足够的刚度，以保持它的振动频率，在发射过程中不产生共振，也不会与在轨道上运行的转动设备所引起的激振发生共振。先进的纤维增强复合材料具有刚度可设计的特性，使它在很大程度上能满足这些卫星结构对频率的要求。卫星结构也必须能维持各种仪器和控制装备的位置精度，以使卫星在使用寿命期间保证各仪器所要求的指向精度。这意味着卫星结构和其它分系统构件的构成材料在执行任务的极端温度环境下，在空间温度分布、辐射、真空和其它载荷作用下尺寸稳定。先进复合材料优良的热膨胀系数对设计尺寸稳定的结构提供了很大的可能性。本文将概括地介绍先进复合材料在特殊的卫星结构件上的选择应用。

2. 先进复合材料的性能

图1对比了各种类型的先进增强纤维和普通材料的强度和刚度性能。从图中可以明显看出，先进纤维的刚度和强度比普通材料要高得多。先进纤维的这些优异的性能正被用来

增强普通材料，如有机和金属。在单向的预浸料或预浸片中，纤维在基体中呈直线排列，这样，忽略基体性能，纤维增强材料的性能大约相当于纤维性能的50%。表1和图2

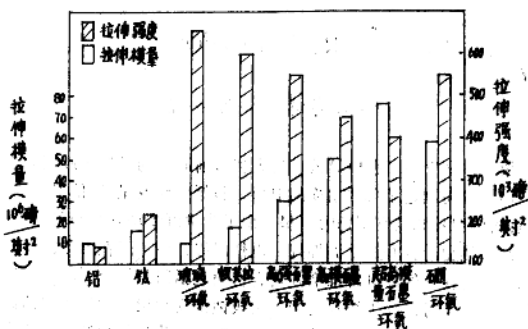


图1 用于复合材料的先进纤维和普通材料的拉伸模量、强度性能比较

将几种环氧树脂复合材料单向板的性能与普通结构材料进行了比较。表1比较的是先进复合材料和相同体积普通材料结构的机械性能（刚度和强度）。如果把这些材料的性能在相同的重量下比较时，那么复合材料的优点就更加显著。图2比较的是先进复合材料和普通材料的比模量（模量/密度）和比强度（强度/密度）性能。从图中可看出在重量较少的情况下，复合材料所提供的结构性能可能与金属相当，或者说在相同体积和重量下，它可以提供较好的性能。

表1 先进纤维/环氧单向复合材料同普通材料的工程性能比较

性 能	玻 璃	凯芙拉	石 墨			硼	铝	钛
	E 玻璃 环氧	凯芙拉49 环氧	高强 石墨 环氧	高模 石墨 环氧	超高模 石墨 环氧	硼 环氧		
拉伸强度 10^3 /英寸 ²	260	220	220	170	110	230	82	125
拉伸模量 10^6 磅/英寸 ²	8	14	20	28	44	30	10	16
密度,磅/英寸 ³	0.072	0.05	0.057	0.059	0.061	0.073	0.10	0.16
热膨胀系数 英寸/英寸·°F	3.5	-2.2	-0.2	-0.3	-0.65	2.5	13	5
热导,英热量 单位/小时·英尺·°F	2	1	8	31	65	1	70	4
材料费用 美元/磅	10	15	50	75	500	500	2	30

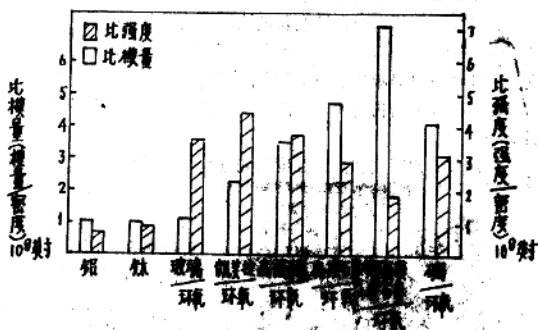


图2 先进复合材料的比模量和比强度同一般材料的比较

从图2中可以看到，单向高模量石墨/环氧在相同重量下，刚度是7075-T6铝合金的5倍，强度是铝合金的3.5倍。如表1所示，先进复合材料也具有优良的耐热性能。凯美拉/环氧和石墨/环氧单向复合材料都具有很小的热膨胀系数。这一性能意味着，当制造要求热稳定性特别高的结构件时这些材料将是最好的选择对象。

3、应用于RCA卫星中的先进复合材料

由于先进纤维增强复合材料具有独特的性能，所以它有可能在RCA空间中心（RCA宇航电子分部）设计和制造的各种飞行器系统中被使用。在卫星的设计中，通过应用先进的复合材料，几乎使每个主要的分系统都能显示独特的优点。八十年代设计的卫星要携带数量更多的和体积更大的有效载荷，以供各种应用。其目标是以卫星系统的最小重量提供最大的有效载荷，这意味着发展先进的轻质材料的轻型结构是非常需要的。下面我们介绍过去及目前RCA制造的各种卫星分系统部件中应用的复合材料。

3.1 先进复合材料在轻型叠层偏置天线反射器中的应用

RCA应用先进复合材料的主要飞行器结构是从凯美拉/环氧夹层结构偏置天线反射器开始的。该反射器是为1975年12月发射的Satcom I和1976年3月发射的Satcom II设计的。选择凯美拉/环氧复合材料做天线反射器除了因为它有优良的比强度、比刚度外，还有两个其它原因：一是如前面提到的凯美拉/环氧层板可以设计成零膨胀系数；利用这个性能，可以提供这样一个反射器，在卫星运转过程中，当温度从阴影区最低（约-135℃）到太阳直接照射时最高值（约+100℃）变化时，不变形。另一个更主要的原因是要满足极化隔离、德尔它火箭整流罩容积限制和非展开时叠层反射器安放稳定性的综合要求。两个反射器的反射面上布有平行的铜丝栅条，彼此相互垂直。这意味着支撑反射栅条元件的两个结构都能传递射频信号。凯美拉/环氧是一种具有低介电损耗性能的材料。图3表示的是焦距50英寸、口径70×50英寸的天线反射器，这是两个凯美拉/环氧复合材料C波段反射器中的一个，这两个反射器是根据独立研究与发展计划设计制造的。它可满足飞行任务中的静载荷