

先进复合材料在空间应用的前景

洗 杏 娟

(中国科学院力学研究所)

先进复合材料能适应和满足空间使用的技术要求,包括材料本身的可设计性,能满足严酷的空间使用条件和宽广的设计范围;轻质、高强、高比强度、高比刚度、耐久性、耐高低温、尺寸稳定和耐空间环境腐蚀等。

复合材料的诞生和空间技术时代的出现是相应的,都在50年代后期。先采用玻璃纤维增强复合材料,60年代后期开始采用先进复合材料已应用于做火箭、卫星、航天飞机的承力构件,隔热弹头、热保护瓦以及火箭发动机的零部件等。1970年人造卫星只有4个复合材料元件,而1985年已增至45,000个。

本文主要介绍从当前至本世纪末的空间技术发展中应用先进复合材料的前景。尤其是碳复合材料的应用。

80年代后期要发射到木星的Galileo宇宙飞船,使之加速进入木星轨道的人马座火箭联接器采用石墨/环氧面板铝蜂窝的夹层结构,天线采用由铝蜂窝支撑的玻璃/环氧面板和金属网;雷达罩采用芳纶/玻璃复合材料;放射性同位素热电发电机支架是硼/环氧复合材料。它的探测器在115000mph进入木星气层,要经受450g的冲击载荷和40000 w/cm²的热载(航天飞机只有其1/1000, Apollo宇宙飞船自月球返回也只有其1/100),于是采用防烧蚀的碳/酚醛材料做前保护罩,民龙/酚醛材料做后保护罩。

Hubble空间望远镜可能是目前最有效利用复合材料的空间飞行器。为了节省重

量、保证热稳定和结构刚度,以石墨/环氧做焦距结构衍架、导航仓和高增益天线。这种天线送回被测物(地质、气象、化学分析等)的图象,信号失真小,耗能也小。

人类要长久停留的空间站计划在90年代建造,设计采用先进复合材料做很大的衍架结构,刚度要求能灵敏地控制空间站的低频运动,保持扰动在1mg以内。空间站的主要构件是一个大5M²的衍架件,研究用内涂铝层(防氧原子腐蚀)的石墨/环氧管支架能满足要求。未来的空间站将是载物交通持久留在空间的装置,几个大的,复合式的、长寿命的科学平台将在轨道上进行多项研究。

90年代末,将出现下一代的科学空间飞行器——可展开的发射器,由84块六角形板装在20M直径的反射器内,要求很高的表面精度(20M直径上误差小于2μRMS),研究表明石墨/环氧蜂窝结构可能满足其刚度和热稳定的要求。

本世纪末,火箭和航空发动机方案的设计要满足第二代空间运输系统的要求,包括三个关键技术:先进的发动机系统;带有隔热外蒙皮和内部低温油箱的轻结构;自备起飞着陆系统。只有用先进的复合材料才能有效地减轻30—70%的重量,降低进入空间的成本。

更远的未来将要建立持久的月球基地和进行通向火星的载人飞行,将开采并加工月球上的材料,月球可能具有推进剂中氧的源泉和表层材料(可能是玻璃/玻璃复合材料

的能源)。

值得强调的是在空间应用中碳或石墨增强复合材料占了重要的地位。由于碳纤维比玻璃纤维和芳纶纤维具有更高的比刚度和压缩强度，又比碳纤维易于生产，价格也较便宜，已成为空间使用中的主要增强元素。同时碳/碳复合材料和将碳素材料用树脂或金属浸渍、硬化制成的复合材料，化学气相沉积法制成碳化硅等，使碳复合材料的作用更为显著。

碳/碳复合材料与碳化硅片用作航天飞机等头部的烧蚀材料，它具有高的高温比强度，低的烧蚀率，而且烧蚀表面光滑不影响其气动特性。

采用碳布/树脂复合材料碳化后再浸渍树脂制成的烧蚀防热材料，既保持了碳/酚醛低的热传导和低的热膨胀系数，又改善了它的烧蚀性能和提高了高温强度，更好地应用于空间飞行器再入大气层的防热材料，使防热层内不受回地时产生高温的影响。如增加重金属粉于树脂中制成的碳布/树脂作为内层防热层；表层为软木/树脂烧蚀层，将在“星球大战”中作为防激光的加固设施。碳纤维增强酚醛作为火箭发动机的喉衬是具有良好的热冲击性，小比重的耐热材料。

采用碳纤维增强环氧制成的火箭发动机壳体强度大，刚度好，重量大大减轻，提高

了起始速度，使重心前移提高了准确度，而且减去了配重的重量。使用碳/环氧制成的人造卫星主体结构，使卫星本身重量仅59公斤，而在轨道上包括有效载重整体为550公斤重量级，有利于空间运输。并进行了电子束辐射和热真空试验的考察，碳/环氧在空间环境中的应用。多级火箭的级间连接件采用碳/环氧，重量比原来的铝合金件重量减轻一半。以碳纤维增强复合材料作为面板，以泡沫塑料填充铝蜂窝作夹芯的夹层结构作空间飞行器重量大大减轻。用作卫星天线反射面及衍架，重量也减轻一半，而且采用不同比例的碳纤维和不导电纤维的毡层，使入射面到内表面形成梯度式电导特性，它对微波的反射作用很小，甚至没有。采用石墨纤维增强复合材料制作的大型太阳能电池底板和微波天线，作为80年代一颗5千兆瓦功率的太阳能卫星的心脏，利用此太阳能电池吸收能量再转换为微波发向地球再转换为电能供人类使用。

为了使先进复合材料更好地为空间科学服务，必须进一步研究了解复合材料的工艺和性能；加强质量控制，提高检测缺陷、破坏的能力，保证使用可靠，满足空间使用要求。这就要求空间科学的各分支沟通交流，加强合作，重视复合材料在空间技术中的作用，为实现未来各项空间研究任务做好基本准备。

小资料:

各种纤维的极限氧指数 (LOI)

纤维名称	LOI	纤维名称	LOI
丙纶	18	醋酸纤维	20
锦纶	24	聚碳酸脂	25
腈纶	18	聚甲醛	15
阻燃腈纶	27	聚乙烯	47
维纶	19.5	聚苯乙烯	18
阻燃维纶	32	棉	18
氯纶	37	阻燃棉	30
涤纶	21	羊毛	24-25
芳纶	28	阻燃羊毛	32
涤纶	90	顶氧丝	55-60