

纤维增强塑料在空间技术中的应用

于 传 瑾

空间技术对结构材料的性能要求，可举出：①高比强；②可靠性；③耐用性等。这几项要求对一般机械、设备也具有同样重要意义，用于空间则要求更高、更严。空间技术在材料的种类方面并没有特别的局限性，目前应用的主要金属材料有：铝合金、镁合金、钛合金、不锈钢、合金钢以及铜合金等常用金属材料。其中铝合金用得最多。近年来，由于各种塑料复合材料的出现，玻璃纤维增强复合材料、碳纤维增强复合材料等在空间技术中得到了广泛的应用。我们这次去日本考察访问，了解到日本在宇航材料方面，目前重点研究的对象为碳纤维增强复合材料、不锈钢和超高强度钢。研究的内容，一般结构材料在强度分析，特种材料在工艺及性能方面。主要科研单位有科学技术厅金属材料技术研究所、东京大学宇航研究所，日本航空宇宙技术研究所等。关于金属材料的应用研究，这里不谈，仅就塑料复合材料的应用情况简单介绍如下：

塑料在空间技术中的应用，过去主要限于装饰材料、电器设备、防风罩等非重要部分。自从玻璃纤维增强塑料（或称玻璃钢）出现之后，作为结构材料也被大量应用。如飞机的门窗框、机翼和机身的一部分也已用了不少这种塑料复合材料。如今玻璃纤维增强塑料在飞机上的使用量已占飞机重量的5~22%。特别是在硼、碳、有机合成纤维研制成功之后，以这些材料制成的复合材料，由于其重量轻、强度高，在宇航方面也得到了广泛的应用。与金属材料相比，塑料复合材料在机械、物理性能方面具有许多特

点，主要可归纳为以下几方面：

1. 成形性好，可制成复杂形状的部位，并可降低造价。
2. 比强度、比刚度大，可减轻重量。
3. 抗破坏能力强，安全可靠性好。（用多根纤维增强的复合材料，在受力时不会突然断裂破坏，在这方面优于一般金属材料）。
4. 在电学上是不良导体，但电波的穿透性较好。
5. 碳纤维复合材料的减震性好。
6. 碳纤维复合材料的疲劳强度高。
7. 导热性低，热绝缘性好。

缺点可以举出以下几方面：

1. 强度的可靠性差。
2. 耐高温性能差。
3. 耐磨损性能差。
4. 冲击值低（约为钢材的1/10）。
5. 无损检测法尚未健全起来。（材料内部的缺陷以及纤维结合强度的检查还不够可靠，但最近有X射线、微波法、全息照相等方法，正在研究之中，可望得到改进）。

六十年代以来，日本塑料工业有了很大发展，随着玻璃纤维、碳纤维、硼纤维的出现，以这些纤维增强的塑料复合材料的应用也发展起来，在建筑、车辆等方面得到大量应用。在宇航方面的应用也有发展。

一、在火箭上的应用

发射人造卫星用的火箭，为提高其效率，减轻其自身的重量是关键。火箭本身的结构重量大，所载燃料大部分用于自身的推动，

达不到设计速度，就发射不了大的卫星。因此尽量减轻火箭的结构重量是提高火箭运载能力的关键。

1. 火箭头部的整流罩

日本东京大学宇航研究所用碳纤维复合材料制作火箭头部整流罩。为两开型。针对实物进行了破坏试验。小型火箭的头部，其内部一般装有各种观测仪器和测量仪器。对这一部分，要求重量轻且电波的透过率好，同时为了保温隔热起见，用酚醛树脂复合材料作整流罩比较合适。用于发射人造卫星的大型火箭，则因头部内装有人造卫星，并在飞行中需要张开脱离，所以外罩更要求重量轻和耐热性好、电波穿透性好。因此要几种复合材料并用，如用酚醛树脂和环氧树脂材料的夹层结构，以及绕线法的应用，采用这些办法来保证必要的强度和刚度。使用碳纤维增强塑料，可提高零部件的刚度。

2. 固体燃料喷嘴

过去在火箭发动机的喷嘴部分用过石墨材料，由于火箭的大型化，这部分的直径也大起来，给制作工艺带来了困难。另外，石墨材料的比重也大 ($\rho = 1.9 \sim 2.0$)，已不应用于大型火箭，因而要求一种重量轻的耐热复合材料喷嘴。日本航空宇宙技术研究所研制了塑料复合材料喷嘴。

3. 燃料罐

东京大学宇航研究所用绕线法试制了火箭燃料罐，直径700毫米，重量约12公斤。发挥碳纤维复合材料比重轻、强度大的特点，用来制造火箭燃料容器是一个好办法。该所研制了 $\phi 400$ ， $\phi 480$ ， $\phi 500$ ， $\phi 700$ 毫米容器，部分已达到实用要求。

日本宇宙开发事业团也在进行大型复合材料容器的试制。另外，日本航空宇宙技术研究所NAL试制了全塑料制火箭NAL-7P型，长2033毫米， $\phi 82$ 毫米。头部用耐热塑料，仪器与发动机部分用交叉绕线法，每层0.2毫米，布线角度为 0° ， 55° ，共10层。连接部分和仪器架用铝合金，喷嘴部分用碳环

氧复合材料，喷口用碳碳复合材料。

二、在飞机上的应用

1. 雷达保护罩

飞机机身前端雷达天线的保护罩，要求电波的穿透性好和具有一定强度。一般用玻璃钢即玻璃纤维增强塑料制成。雷达保护罩有几种类型：

分 类	结构种类	用途、特点
机上雷达用	单层玻璃钢 夹层玻璃钢	高频带用、耐热用 低频带用
地上固定雷达用	软质内压型 单层玻璃钢 夹层玻璃钢 金属框架型	低强度、低造价 中频带 低频带 电波、力学性能好
抛物面天线	单层玻璃钢 夹层玻璃钢	低频带、防水 低频带、防水

雷达罩一般可用热硬化型树脂加玻璃丝或玻璃布制成。框架式雷达罩，其框架用金属制成，用铝合金或钢材。铝合金用2024号杜拉铝或防锈铝，钢材用不锈钢。

2. 机身上的应用

塑料复合材料用于飞机机身制造的历史比较久，不是全部，而是部分使用。有名的U-2飞机大量使用了复合材料和夹层结构。目前美制波音727客机，总重量77100公斤之中，使用了2770公斤塑料，其中用于客室装饰的材料占91公斤。机身与机翼上的蒙皮材料部分用了玻璃纤维增强塑料。最近由于胶接技术的改善以及各种无损检验法的建立，玻璃钢夹层结构材料在飞机上的应用大有发展。波音747客机的制动板及机身下部的机翼与机身结合部分、轮罩等都用了玻璃纤维复合材料，其用量占飞机总重量的22%。总之，在机身、机翼、尾翼上，除了主结构之外均可大量使用塑料复合材料。不久前美国研制了全塑料喷气战斗机。有人设想，未来的旅客机可大量使用复合材料来制

造，基本改变目前的飞机制造工艺。

3. 在喷气发动机上的应用

主要可举出风扇机的叶片。以碳纤维增强塑料代替过去使用的钛合金来制造叶片已取得成功。目前主要还在以塑料复合材料代替铝合金、钛合金来制造叶片的阶段。关于在发动机的其他部分使用塑料复合材料的问题，还处在研究阶段，估计会有新的发展。

三、在人造卫星上的应用

1. 人造卫星的结构材料

开始阶段人造卫星的结构多用铝合金。近来开始有用各种塑料复合材料。用碳纤维—铝夹层材料，可减轻重量。

人造卫星的太阳电池帆板以及雷达天线、雷达天线的支架等可用碳纤维增强塑料来制造。美国某人造卫星的天线支架，过去用铝合金，重量77公斤，使用碳纤维塑料复合材料后重量为37公斤，减轻重量一倍。

美国目前在研制的航天飞机，其机身蒙皮使用了钛合金，机翼后缘用了镍基耐热合金，机翼表皮用了钴基合金钢，机首用了碳—碳复合材料。碳—碳复合材料，重量轻、耐烧蚀效果好。由于各种强化纤维的出现，以这种纤维强化的塑料复合材料为主来制造飞机、航天飞行器已属可能。塑料复合材料在空间飞行器上的应用将大发展。

2. 再返大气层时的耐烧蚀材料

人造卫星重返大气层时，与空气摩擦会产生高温，不采取保护措施，卫星将烧尽。过去研制的各种耐热材料，包括金属的和陶瓷的均不能满足实际使用要求，而碳—碳复合材料可抵住这种摩擦而产生的高温，保护卫星不会烧蚀。

四、纤维增强塑料在日本的研究概况

代表团这次在日本看到有五个单位在开展纤维增强复合材料的研究。

日本科学技术厅金属材料技术研究所对复合材料进行系统的研究。为了提高、改善金属材料的性能，向金属材料中加碳纤维或陶瓷纤维，研究纤维强化型复合材料，使金属与无机材料复合化，以期减轻重量、提高强度、提高耐热性能、延长使用寿命。该所正在进行多方面的研究。在基础研究方面，如研究金属与无机材料的接触面物理、化学现象等。在应用研究方面，则研究各种复合材料的制造技术。并且还在进行以碳纤维作为吸附剂的人造肾脏的研究。

大阪工业技术试验所和名古屋工业技术试验所都在开展各种复合材料的研究。其中大阪工业技术试验所在碳纤维的制造技术方面持有专利权。在碳纤维复合材料的性能测试方面做了大量工作。

东京大学宇航研究所材料研究部在复合材料的制造工艺、强度理论及应用方面做了大量工作，同时还进行耐热复合材料的研究。该所材料研究部是日本空间材料科研的权威单位，工作面广并结合实际应用。

日本航空宇宙技术研究所也研究复合材料，主要为应用研究，重点是强度分析。

日本把开发新型材料研究作为一项重要战略方向，给以充分的重视。当前有关研究所正在开展各种纤维增强复合材料的研究，其内容多为应用研究。不但用于宇宙空间技术，其他如建筑、车辆、文化、生活、医学等方面的应用研究也在发展。