

# 航空领域用特种高性能玻璃纤维材料

## Special and High Performant Glass Fiber Material Used by Aviation Field

中材科技股份有限公司特种纤维事业部 张焱 祖群



张焱

博士,中材科技股份有限公司特种纤维事业部工程师。研究方向:特种纤维及其应用。

在航空制造发展的过程中,复合材料已成为航空工业不可或缺的一种材料,与铝合金、钢和钛合金3大金属材料共同成为支撑航空事业发展的基石。目前,先进的军用飞机复合材料用量比重正逐年增大。先进的民用客机,如空客系列,其复合材料用量也迅速增加。复合材料在空中客车中的应用比例逐年递增,这也代表了未来民用客机独特的技术发展方向。预计今后复合材料的用量将超过飞机总重量的50%,复合材料的用量已成为衡量飞机先进性的重要标志。

飞机结构复合材料化不但改变了飞机结构设计和制造的传统,也将对特种高性能玻璃纤维材料的应用提出更高的要求。

在航空领域,无论是民用客机还是军用飞机都使用了高性能玻璃纤维增强的复合材料,这种材料具有优良的力学性能,优异的抗疲劳和耐腐蚀性,优良的透波介电性能,可实现20%~30%的结构减重,其结构有利于整体设计和制造,可在提高飞机结构效率和可靠性的同时,降低制造成本。据报道,欧洲空客公司最先进、最具代表性、也是采用复合材料比例最高的A380-800飞机,使用了高达30~35t的先进复合材料,主要是碳/环氧复合材料,也包括GLARE(玻璃纤维增强铝)和玻纤/环氧复合材料。此外,还有30t玻纤/酚醛复合材料,用于飞机的内装饰。玻璃纤维虽然在比强度、比模量方面与碳纤维有一定差距,但优异性价比也使其具有广泛的应用。

### 航空用特种高性能玻璃纤维的种类

航空用特种高性能玻璃纤维的种类主要包括2大类,一类用于结

构增强的主、次承力结构件中,如GLARE层板、直升机旋翼等;一类是应用在有特殊电性能要求的功能结构件中,如机头罩、天线罩和雷达罩等。使用的玻璃纤维主要为高强玻璃纤维、石英玻璃纤维和无碱玻璃纤维。此外,玻璃微纤维作为隔音隔热材料也在航空领域得到了应用。

(1) 高强玻璃纤维。按照国际标准ISO2078对玻璃纤维分类定义,有2类高机械强度的玻璃纤维,一是S级高强玻璃纤维;另一类是R级高强玻璃纤维。前者是指硅铝镁系统玻璃拉制的,后者是硅铝钙镁系统玻璃,这2类高强玻璃纤维在国外均有制造和应用。S级高强玻璃纤维由美国OCV公司发明于20世纪60年代,商品牌号为S-2, R高强玻璃纤维由法国Saint-gobain公司发明,目前联手OCV公司经营;国内主要是S级高强玻纤,如中材科技股份有限公司定型生产的HS2和HS4。

(2) 石英玻璃纤维。石英玻璃纤维作为一种电绝缘性、耐高温性、机

械性能极优的特种纤维,在航空、航天、军工、高温隔热、高温过滤方面有着广泛的应用。石英玻璃纤维的介电常数和介质损耗系数是所有矿物纤维中最低的,在高温和高频率下,它的电绝缘性也表现得非常优秀。再加上低密度、不吸湿性和优秀的机械性能,使它成为雷达罩、电磁发射窗口和低介电透波部件的首选材料。

(3)特种无碱玻璃纤维。无碱玻璃纤维在航空复合材料上应用是以精细织物预浸料为主,单纤维直径不大于 $9\mu\text{m}$ ,这类玻璃纤维织物经纬密度高,要求布面平整度高且外观质量好。制成的复合材料除具有良好的耐腐蚀和电绝缘性能外,还具有较强的抗层间剪切撕裂性能。由于碳纤维复合材料与铝合金组合应用时会发生金属碳化、渗碳及电化学腐蚀现象,可采用玻璃纤维复合材料对碳纤维复合材料与金属件之间进行隔离或防护。

(4)玻璃微纤维制品。玻璃微纤维制品采用单纤维平均直径在 $3\mu\text{m}$ 以下的微纤维为基体材料,经过湿法、干法成毡或外覆特制的玻璃纤维布缝合而成。根据使用要求,微纤维可以是无碱、玄武岩、高硅氧、石英等玻璃纤维,微纤维制品具有不燃(A级)、耐高温、容重低、良好的耐碱性、抗热振性等优点。

### 特种高性能玻璃纤维的具体应用

(1)主承力结构件。旋翼桨叶作为直升机的主要振源之一,主要承受高周应力疲劳,为此旋翼桨叶的设计既要考虑动力学设计,又要考虑桨叶的疲劳细节设计。

复合材料旋翼桨叶主要由桨叶大梁、桨叶蒙皮、后缘条、桨叶内腔填充泡沫或蜂窝及前缘防蚀包片等组成。对于桨叶大梁,它是桨叶的主承力件,通常采用 $0^\circ$ 铺层或缠绕方式组成。由于承受了大部分离心力和

弯矩,它是桨叶抗拉刚度、挥舞及摆振刚度的主要贡献者,并且要求具有高的抗冲击性能、通常选用高强玻璃粗纱带。欧洲直升机公司采用R高强玻璃纤维,美国一般采用S-2玻璃纤维,我国直升机旋翼系统复合材料目前采用国产高强(HS4)玻璃纤维。

旋翼桨叶蒙皮是桨叶的升力面和扭转、摆振刚度的主要贡献者,承受部分离心力和弯矩,通常采用碳纤维与玻璃纤维增强复合材料混合铺层,主要以 $\pm 45^\circ$ 铺层为主,辅以少量的 $0^\circ/90^\circ$ 铺层。可选用特种无碱玻璃纤维织物或碳纤维无纺布、织物,也有少量选用Kevlar纤维织物。旋翼桨叶后缘条主要用于提供摆振刚度,为防止后缘失稳,通常采用高强玻璃纤维粗纱填充而成。

(2)次承力结构件及内饰材料。国外大型客机的次受力件所采用的主要材料有高强或无碱玻璃纤维环氧预浸料、Nomex蜂窝、泡沫夹芯、铝蜂窝、玻璃纤维酚醛预浸料、环氧胶膜、聚氨酯泡沫等。这些复合材料可用于飞机的机翼固定前缘、机翼固定后缘、襟翼整流罩、副翼、翼身整流罩、翼尖小翼、背鳍、方向舵、尾翼和尾锥等部件上。

我国新一代运输机机舱内部的地板和天花板等内饰,采用2种高均匀性缎纹玻璃纤维织物,与阻燃环氧、酚醛制成的复合材料,具有高比强度和比刚度的特点,阻燃和低烟雾的优势明显,不仅成功为飞机结构减重,提高了飞机的防火安全性能,还可用于大型客机舱内的内饰。

(3)雷达罩和蒙皮。飞机雷达罩既是飞机的一个结构部件,又是气象雷达探测系统的功能单元。它除具有外形要求、强度要求外,还必须满足雷达系统的电磁透波要求。因此,天线罩的材料必须是一种既能满足结构强度要求,又能满足电气性能要求的透波介质材料。

20世纪50年代末,美国首先研

究高强度玻璃纤维,并在1960年成功研制的E-2预警机的垂直翼面和雷达天线罩上使用了玻璃纤维增强复合材料。从此,具有高强度、高模量、耐候性能好、介电性能好等要求的雷达天线罩材料均选用有较低的介电常数和正切损耗的玻璃纤维。

国外大型客机的飞机雷达罩蒙皮材料主要是玻璃纤维或石英纤维增强环氧树脂预浸料,其相关产品已经比较成熟,大量地应用在波音和空客的客机上。而国外较为先进的军用飞机雷达罩多采用的是高强或无碱玻璃纤维及石英玻璃纤维增强氰酸酯树脂复合材料。AIRBUS 320/330系列雷达罩具有不同的构型,蒙皮分别采用玻璃纤维、石英纤维、Kevlar纤维预浸料。

(4)隔音隔热材料。据报道,波音767飞机从鼻锥部到尾部,所有的受压部位都安装了玻璃纤维隔音材料。这种材料具有优良的声学性能,而且重量轻。玻璃微纤维制品制成隔音材料能够吸收频率为125~5000Hz的噪音。因此,安装玻璃纤维隔音材料后,乘客在飞行中能进行正常的交谈。

选择玻璃微纤维制品作为吸声材料的另一个理由是这种材料还能起保温和隔热的作用。波音767飞机在飞行中机身外表面的温度低至 $-65^\circ\text{C}$ ,玻璃纤维可保持机舱内的正常温度。可用于飞机座舱、空调及其高温管道、供氧系统等地方。

### 结束语

飞机结构复合材料化不但改变了飞机结构设计和制造的传统,也将对特种高性能玻璃纤维材料的应用提出更高的要求。

国产高级及性能稳定的特种高性能玻璃纤维在航空材料上应用将不断扩大,为我国航空制造业的发展做出重要贡献。

(责编 志一)