

复合材料在民用飞机结构上的应用

李俊昌¹ 雷波²

(1 四川航空公司, 四川 成都 610202; 2 深圳航空公司, 广东 深圳 518128)

摘要: 具有独特功能的复合材料越来越引起人们的重视。在制造飞机时, 其结构选用复合材料, 已显示出良好的应用前景, 以保障飞机安全性、可靠性和适航性。

关键词: 复合材料 飞机结构

中图分类号: V261 文献标识码: A 文章编号: 1008-7818(2006)06-0030-02

The Applications of Composites in Aircraft Structure

LI Jun-chang¹ LEI Bo²

(1. Sichuan Airlines, Chengdu 610202, China; 2. Shenzhen Airlines, Shenzhen 518128, China)

Abstract: The composites with particular functions are drawing more attention and presenting more value. It has shown promising foreground in aircraft structure, functional material and keeping aircraft safety, reliability and airworthiness.

Keywords: composites; aircraft structure

0 前言

民用飞机受机上环境和自然环境的制约, 对其可靠性、安全性、经济性等都有着十分苛刻的要求, 要求结构材料具有质轻、高强和耐高温及耐腐蚀等性能, 而复合材料的应用能很好地满足了这些要求。目前使用复合材料制造民用飞机的结构件得到了越来越广泛的应用, 未来民航业发展的趋势是以复合材料取代金属和非金属等常规材料成为制造飞机的主要材料。民航事业的安全保障与发展离不开使用复合材料。

1 复合材料的组成及分类

1.1 组成

复合材料是由两种或两种以上物理和化学性质不同的物质组合而成的一种多相固体材料, 用来承受载荷的相称为增强体, 将增强材料(纤维)粘接在一起, 在纤维之间传递载荷的相称为基体。复合材料在性能上不仅保留了组成它的各个组分的优点, 更为重要的是它的性能比构成它的单一的材料更为优异。

1.2 分类

常见的复合材料的分类法主要有三种:

(1) 按基体材料类型分类, 可分为树脂基、金属基和无机非金属基三类。

(2) 按增强体种类和形状分类, 可分为纤维增强、颗粒增强和层叠(夹层)增强三类。

(3) 按其性能分类, 可分为结构复合材料和功能复合材料二类。

2 复合材料的性能

(1) 比强度(拉伸强度与密度之比)高、比模量(弹性模量与密度之比)高。

例如, 高模量碳纤维复合材料的密度只有钢的1/5、铝的3/5, 其比强度则为钢的5倍、铝的4倍、钛合金的3.5倍以上; 其比模量是钢、铝、钛的4倍或更高(钢、铝、钛是目前飞机的主要金属材料)。由于复合材料大大降低了飞机的结构重量, 为航空公司带来了极为可观的经济效益。以波音767飞机为例, 平均每架飞机每年节省燃油费用约为26000美元。

(2) 具有极好的抗疲劳性能

复合材料, 特别是纤维增强树脂基复合材料, 由于纤维对制件表面的裂纹或类裂纹缺陷(应力集中源)起到了桥接的作用, 故阻止了裂纹的迅速扩展, 而且在拉伸时对疲劳裂纹的增长也几乎不敏感。例如, 碳纤维增强聚酯树脂复合材料疲劳极限可达抗拉强度的70%~80%, 而金属材料疲劳极限远远低于

这个数值,对于20~30年使用寿命的飞机,该复合材料对疲劳几乎不敏感。

(3) 断裂安全性好

纤维复合材料中大量独立存在的纤维通过具有韧性的基体把它们粘合成整体,当构件中有少数纤维断裂时,其它完好的纤维就会将承载接受下来并重新进行分配,因而构件不至于在短时间内发生断裂,故断裂安全性好。

(4) 高温性能(或称“红硬性”)好

纤维增强的复合材料,特别是金属基复合材料,一般均具有较好的耐高温性能。例如,石英玻璃纤维增强铝基复合材料在500℃下能保持室温强度的40%;涂复了SiC的硼纤维增强铝基复合材料可放心地在316℃温度下使用,力学性能保持稳定。但一般铝合金在400℃时弹性模量大幅度下降(接近于零),而且强度也显著下降。

(5) 具有很好的减振性能

由于复合材料的比模量高,其自振频率也高,这是因为受力结构的自振频率与其结构材料比模量的平方根成正比,高的自振频率决定了复合材料有很强的吸振能力,可以避免构件在一般工作状态下发生共振,不易造成振动破坏。同时,复合材料中高韧性的基体材料也具有显著的震动阻尼特性。

(6) 增加飞机防腐能力

复合材料较之金属和非金属常规材料具有更为优异的抗腐蚀性,能够为延长飞机的使用寿命、减少民航开支、提高经济效益。

3 复合材料在民用飞机上的应用

复合材料的广泛应用于飞机的制造,将彻底解决目前应用常规的金属材料和非金属材料引起的腐蚀和疲劳问题,这对于提高飞行安全、降低维修成本,起到了非常重要的作用。

(1) 树脂基复合材料

先进的B777飞机树脂基复合材料的用量已占整机结构重量(机翼、机身、尾翼和起落架等结构的总重量)的11%(铝合金为70%,钢为11%,钛合金为7%)。波音公司研制的最新一代民用飞机B787是迄今为止唯一的飞机结构以复合材料为主的大型客机,

结构重量中复合材料占到了60%(铝合金为21%,钢为8%,钛合金为11%)。其中,应用最多的是碳纤维增强的树脂基复合材料(CFRP)。因为固化了的树脂基复合材料处于玻璃态,故具有高的模量、强度和尺寸稳定性,可广泛用于飞机的主结构材料,它的机身蒙皮、框、地板梁、龙骨梁、机翼蒙皮及翼肋、发动机的喷管等主要结构件全部采用CFRP。波音767飞机地板结构采用的是玻璃纤维/环氧树脂面板蜂窝夹芯结构。

(2) 金属基复合材料

它与一般金属相比,具有耐高温、高比强、高比模、热膨胀系数小和耐磨损等优点,因此,作为一种新型高温结构材料,对其轻质化、小型化、高性能化民用飞机的发展,将发挥出不可低估的作用。

航空发动机相当于飞机的心脏,是确保飞机的使用性能、可靠性和经济性的决定因素,航空发动机的性能水平很大程度上依赖于高温材料的性能水平。

用英国罗·罗公司研制出的SCS-6/Ti(金属基复合材料)代替耐热钢制成发动机压气机静子,将其重量减轻了40%;用SCS-6/Ti代替镍基高温合金制作的发动机压气机叶盘结构转子,减重达80%;可望采用SCS-6/Ti代替不锈钢制作活塞杆用在F-22试验型飞机上。

(3) 无机非金属基复合材料

碳/碳复合材料具有低密度、耐高温、寿命长和良好的磨擦性等性能。据此,欧美公司生产的民用飞机的刹车盘已基本上用碳/碳盘取代钢盘(飞机刹车时磨擦引起的温升高达500℃以上,特别是紧急刹车引起的温升可超过1000℃,此时一架B747-400的刹车系统瞬间发生的热能可迅速达到一些钢制刹车片的熔点)。如空中客车公司的所有飞机都采用了碳/碳刹车装置;波音公司出售的B757和B767任选刹车盘;B747-400及B777只提供碳/碳盘。

使用了碳/碳刹车装置后,空中客车A-310减重499Kg;A-300-600减重590Kg;A-330及A-340各减重998kg。碳/碳刹车盘可达1500~2000个起落寿命,而钢制刹车盘一个周期仅可达300次着陆,寿命提高了5~6倍。

(下转第29页)

需要进行设备腐蚀控制措施的选择,包括:海生物的控制、设备内外表面的金属和非金属的涂层、阴极保护及对缝隙腐蚀、电偶腐蚀的预防等。

大亚湾核电站采取加次氯酸的方法对海生物进行控制,通过定期或不定期的涂防腐层对金属的一般腐蚀问题进行控制。大亚湾核电站的海水闸门、海水滤网、凝汽器、碎石过滤器都采用了外加电流法、牺牲阳极法的阴极保护。缝隙腐蚀预防的关键是消除缝隙,在海洋大气环境中要避免非金属和金属材料的接触,在海水中也可以采取阴极保护的办法进行控制。海水中电偶腐蚀的控制一般是:在同一个电连接的海水系列,应尽可能选择海水电动序中电位差别小的两种金属,否则应采取电隔离,电隔离时除了要考虑设备本体之间的电绝缘还要考虑到本体之间连接螺栓的电绝缘。

(上接第31页)

作为结构材料,碳/碳应用目标还有机翼前缘、热喷口及发动机的热端部件,如涡轮盘、涡轮叶片、燃烧室、尾喷管调节片等。

陶瓷基复合材料具有耐高温、低密度、高强度、高模量、耐磨损、抗腐蚀等优异性能,作为热结构材料在民用飞机结构制造方面,同样具有广泛的应用前景。为改善陶瓷脆性和提高可靠性,发展连续增韧的陶瓷基复合材料是有效的途径。目前航空发动机采用的连续增韧的陶瓷基复合材料主要应用部位有燃烧室、燃烧室浮壁、涡轮外环、火焰稳定器、尾喷管调节片等。

(4) 夹层增强复合材料

一种第二代航空航天复合材料叫做 GLARE,它由薄铝合金板和高强度R-玻璃纤维层交替铺设而成。它具有低密度(比铝的密度小10%)、高强度(纤维强度为4600MPa)、抗疲劳、防火和很好的损伤容限(比芳纶纤维为基础的复合材料 ARAMID 和 2024-T3 铝合金高2~3倍)的突出性能。在承受高拉伸和疲劳负载应用中,采用这种材料可以使结构的质量减轻30%,成为大型民用飞机的候选结构材料。实验证明,这种材料上的一条人造裂纹,经过上千次的飞行起落后尺寸几乎没有扩大;防腐蚀效果也出人意料地好;

3 结束语

大亚湾核电站所处的地理位置、核电站工艺的特殊要求,决定海洋环境下设备腐蚀与控制是核电站设备管理的重要内容。核电站的防腐蚀技术人员在总结了海水腐蚀特点的基础上,结合大亚湾核电站十多年来的工程经验提出一些具体的防腐蚀措施,相信随着我国核电工业的快速发展,核电站的腐蚀控制技术也必将会进一步发展完善。

参考文献

- [1] 陈孝渝. 岭澳核电工程防腐问题及其对策[A]. 第三届海峡两岸材料腐蚀与防护研讨会论文集[C]. 167-172.
- [2] E. 马特松. 腐蚀基础[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990.
- [3] 张耀, 费克勤, 杨帆. 核电站化学水处理过程中的腐蚀与防护[J]. 全面腐蚀控制, 2005, 19(5):17-19.

虽然使用了热粘接制造工艺,但在修理时可采用与标准铝材相同的方法。

由于GLARE的损伤容限极好,是现代和未来飞机机身蒙皮材料等的主要候选材料,如A380的上部机身外壳、隔框等承受双轴向负载的结构,考虑广泛采用这种材料。

(5) 多功能聚合物基复合材料

选择具有高比热、熔融热和汽化热的聚合物基体(如酚醛树脂)制成的复合材料,在很高的温度下可吸收大量的热能,这种具有防热功能的复合材料可作为飞机的耐烧蚀隔热材料。它与玻璃纤维配合,适于座舱内部结构及装饰件的制造,具有良好的耐火性、自熄性、低烟性及低毒性。

4 结论

复合材料在民用飞机上的应用将与日俱增,这是形势发展之必然。我国民航业正处在迅猛发展阶段,未来20年,中国市场将需投入700架左右的支线飞机,与欧、美国家相媲美的国产民用飞机可望揽下半壁江山。目前,正在研制的ARJ21飞机是一种70~100座的客机,采用了大量的、先进的复合材料。民航事业的安全保障与发展,离不开使用复合材料。