

浅谈空客A380的复合材料应用

陈绍杰

(沈阳飞机设计研究所, 沈阳 110035)

摘要:给出了先进复合材料在超大型客机A380上的应用情况,特别是GLARE层板的成功应用。分析了应用的技术基础,指出应用是各种预研计划认真执行的结果。讨论了我国在该技术领域存在的问题和差距,并提出了相关建议。

关键词:复合材料;大型飞机;应用

中图分类号: V258.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-9815 (2008) 04-0001-04

Application of Composites Materials in A380

CHEN Shao-jie

(Shenyang Aircraft Design and Research Institute, Shenyang 110035 China)

Abstract: This paper addresses the present status of the application of advanced composites in the jumbo aircraft A380, especially the success in application of GLARE lamination. The technological bases of application are commented as well. The applications result in various R & D projects being carefully carried out. Problems in the field of composite materials technology in China and the gap with the developed countries are pointed out, and suggestions for further improvement are given.

Key words: composite; large aircraft; application

前言

A380是欧洲空客集团最新研制的超大型客机,载客量达550~650人,分上下双层客舱,号称空中5星级宾馆,该机共用各种复合材料高达结构总质量的25%左右,开创了大型商用干线客机大规模使用复合材料的先河。该机已于2005年1月18日完成总装下线,于4月27日成功首飞,现已正式交付航线飞行使用,并已来过中国作展示飞行。该机复合材料的应用情况及其相关技术十分值得我们研究和关注。

1 复合材料在A380上的应用

1.1 应用概况

A380上共用碳纤维等复合材料约22%,估计约为36t,其主要应用部位如下:

(1) 中央翼、外翼,主机翼并未用复合材料。中央翼盒可以说是飞机最重要的受力构件,A380是第一个将复合材料应用于中央翼盒的大型民机,该翼盒尺寸 $8 \times 7 \times 2.4$ m,质量8.8 t,共用复合材料5.5 t,实现减重1.5 t。重要受力处板厚可达45 mm,重要连接交点处可达160 mm,几乎成了块了,超载很大。

(2) 垂直尾翼和水平尾翼。因是超大型客机,故其尾翼的大小可能超过A310和A320的机翼。如其平尾半展长19 m,超过A320机翼半展长的15 m,面积达205 m²,内装满燃油,号称正在飞行的世界上最大的复合材料整体油箱。

(3) 机身尾段、后承压框和地板梁。其中后承压框尺寸 $6.2 \times 5.5 \times 1.6$ m,采用先进的RFI(树脂膜熔塑)技术制造,采用日本东邦的6 k、12 k碳纤维,977-2树脂体系,其上15个加筋,内充德国DEGUSSA公司的泡沫塑料,为迄今为止世界上最

收稿日期: 2008-07-17

作者简介: 陈绍杰(1942-),男,吉林长春人,研究员,长期从事飞机结构设计及先进复合材料发展的研究,(电话)024-86368207。

大的用RFI成型的整体制件。机身地板梁尺寸 5.92×0.25 m, 为两端固支的I型梁, 受力很大, 由日本JAMCO公司采用创新的拉挤技术制造, 拉进去的是预浸料而不是纤维, 其中设备的研发和工艺的创新是关键。

(4) 机翼后缘的襟翼, 副翼, 当常规的复合材料技术难于成型时可能会用RTM技术制造。

(5) 固定机翼前缘, 采用了热塑性复合材料, 并采用了热塑性复合材料的焊接技术, 将加强件和蒙皮用激光焊和超声波焊技术焊接在一起, 而不用机械连接。某些翼肋和尾翼的前缘亦会用到热塑性复合材料。

(6) 各种大型整流罩: 包括翼身整流罩、襟翼滑轨整流罩、起落架舱门等处。该种结构多为各种夹层结构。

(7) 机身蒙皮壁板: 大量采用了一种名为GLARE的超混杂复合材料结构(详见后述)。

1.2 应用原则

空客声言在A380上应用复合材料主要考虑3个原则, 即性能、成本和减重。

(1) 性能, 主要指安全性。历史的经验证明先进复合材料具有优异的使用性能, 长期的使用环境和疲劳耐久性的考验, 未造成剩余强度的降低超过许用范围, 地面验证的结果和空中使用情况相符。迄今为止, 军机和民机上从未发生过因大量使用复合材料而造成的飞行事故, 这无疑增加了应用复合材料的信心和安全置信度。

(2) 成本, 成本亦即经济性原则。空客集团认为使用复合材料成本可能较高, 但与铝合金相比生产中能源消耗小, 可降低成本。生产制造中又

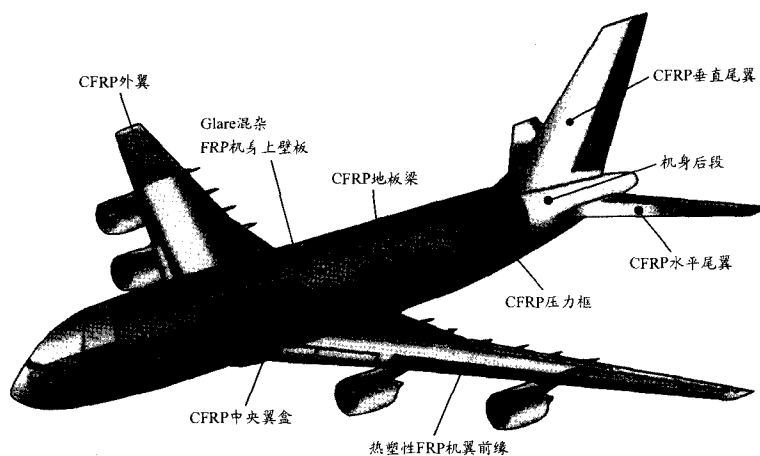


图1 复合材料在A380上的应用



图2 复合材料中央翼盒



图3 RFI成型的后承压框

充分注意了采用低成本技术, 如ATL和AFP等自动铺放技术, 扩大RTM低成本制造技术的应用, 整体成型结构等。

(3) 减重, 减重是飞机设计永恒的主题, 大量采用复合材料的核⼼目标之一就是减少飞机结构质量。空客集团在A380上应用复合材料明确提出要达到减重25%的指标。他们还强调指出, 复合材料的耐腐蚀性能, 较高的损伤容限性能和良好的抗疲劳性能等均会为结构带来潜在的减重空间。

为满足上述的几个原则他们在A380的研制中反复进行了大量材料和制造的成本分析, 认为减重是最为关键的, 但性能和成本上要有竞争力, 要能和常规的铝合金及钛合金竞争。为此一再强调“材料特性与设计之间要有最好的匹配, 选材和制造技术之间要有最好的匹配。”据知A380上

复合材料的主要用材体系均在A340-500/600上和欧洲联合战斗机“台风”(原EF-2000)上进行了验证, 并非新的。

2 GLARE层板的应用

所谓GLARE层板系玻纤增强铝合金层板, 由0.3~0.5 mm的铝合金薄板和预浸玻纤带(0.2~0.3 mm)交替层压而成, 我国又称之为超混杂复合材料。A380的上机身共用27块GLARE层板, 面积多达470多平方米, 约占全机结构质量的3%, 致使A380的复合材料用量在22%基础上增加3%达25%左右。GLARE层板与相应的铝合金比可减重25%~30%, 提高抗疲劳寿命10~15倍, 效果是很可观的。

其实欧洲由荷兰Delft大学首先研发了ARALL

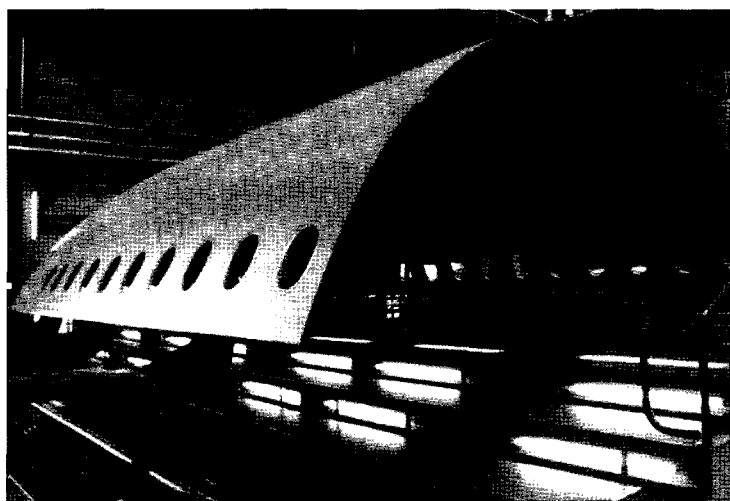


图4 拉挤成型的机身地板梁

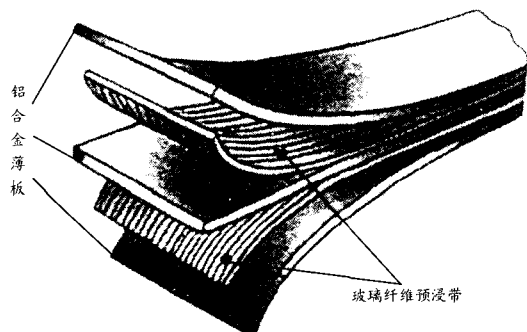


图5 GLARE层板组成

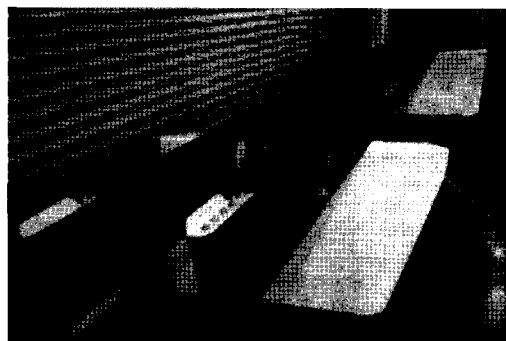


图6 机身上壁用GLARE层板

层板,即芳纶增强铝合金层板,具有复合材料高强度低密度的特点,同时又能兼有铝合金高韧性的优点,但将其用于双向受力的机身蒙皮时,抗拉-压疲劳的性能不理想,出现纤维损伤的情况。于是他们又能研发了能解决上述问题的GLARE层板,将其用于双向受力的机身壁板上。

GLARE层板研发试用的过程亦有20多年的历史了。目前研究应用较多的有4种,其组成详见表1。由于玻纤的热胀系数为 $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,较芳纶的 $-2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 更接近铝的热胀系数 $23.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,所以固化后玻纤的残余应力比芳纶的低,加之玻纤有较高的破坏应变,能允许裂纹尖端的铝合金层塑性变形,这不仅使GLARE层板具有优良的抗拉-压疲劳性能,同时大大提高了它的缺口断裂性能。此外玻纤一般用 S_2 高强玻纤,其价格仅为芳纶的1/10左右,较大地降低了成本,符合经济性原则,只是比重比ARALL层板高一些,因玻纤的密度高于芳纶的。

3 应用的技术基础

欧洲空中客车工业集团约于上世纪70年代中期开始了在大型商用客机上应用复合材料的进程,起步几乎和美国同时。1983年有了批生产的A300, A310的方向舵,实现减重20%。从1978年开始花了7 a的时间研制A310和A320的复合材料垂尾,于1985年完成,此后空客的大型客机尾翼一级的部件已均为复合材料的了,包括A320、A330、A340等,如A340共用复合材料11 t,占结构总质量的13%, A320系列的更是达到了15%,此时空客的应用水平甚至超过了美国的波音,详见图7。

为了扩大复合材料在大型民机上的应用,欧洲执行了著名的TANGO (Technology applicaiton

表1 GLARE层板的组成

名称	组成	附注
GLARE1	7075-T6铝合金,单向玻纤预浸料	0.5%的后拉伸
GLARE2	2024-T3铝合金,单向玻纤预浸料	无后拉伸
GLARE3	2024-T3铝合金,50/50玻纤预浸料	无后拉伸
GLARE4	2024-T3铝合金,70/30玻纤预浸料	无后拉伸

to the near-term and objectives) 计划。该计划由欧洲12个国家的34个部门联合发起并共同执行,为期4 a,目标要减重20%和降低成本20%。计划共选用4个大的验证平台,一个中央翼,一个外翼,两个机身段,规模均较大,各平台采用不同的技术途径进行验证,旨在通过竞争达到高质量,低成本,其结果要直接用在A380等机种的研制上。

接着欧洲又提出了更新的SWK计划,主要为发展大型飞机复合材料机身服务,此时目标要减重30%和降低成本40%,为此强调要革新设计思想和革新制造方法。

从复合材料的应用中我们可以看到,应用是一步一步走过来的,预研是应用的基础,没有预研就没有应用的发展。笔者认为我们既要看到先进复合材料在大型飞机上如此大踏步前进的应用态势,又要看到其应用的技术基础,只有如此,才能使我们从中发现问题,看到差距,认清方向,为我国大型客机的研制提供参考和借鉴。

现在我们已经知道,美国正在研制“梦想飞机”B787,该机共用复合材料50%,几乎全机结构均由复合材料制成,并已于2007年7月8日成功下线。欧洲最新研制的大型军用运输机要用复合材料40%,并已于2008年6月26日成功下线,下一代超宽体客机A350XWB要用复合材料52%,甚至超过了B787的水平。A380等4大机种上大幅采用复合材料,直接导致了世界范围内碳纤维的短缺,引发了近期的世界性的碳纤维危机,此点我们已感同身受。各大机种上复合材料应用的近况亦可从图7中看到。

(下转第24页)

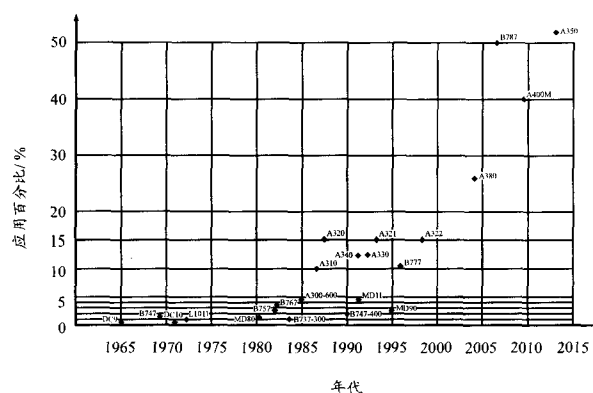


图7 大型客机上复合材料的应用情况

碳粉、电解液，却全都仰赖从岛外进口，没有自主性。燃料电池被视为新一代能源的新星，预计可取代手机、笔记型电脑等的行动性电池，而其最主要的4大零组件，只要可以拥有生产的自主性，就可以保住台湾地区新一代能源生产的关键，进而出口岛外。

逢甲大学已经研发出新型气体扩散层，具有制程简单，成本低之优点。在Load 0.5 V时，自制气体扩散层电流密度为720~1 050 mA/cm²，而商用气体扩散层电流密度仅为300 mA/cm²，已经改善提高至400~700 mA/cm²。并且在2007年3月的时候，逢甲大学已经成功的将技术转移给碳能技术股份有限公司，并协助研发生产碳布、碳纸，制作燃料电池元件之气体扩散层。该碳布及碳纸可用于复合材料之补强材，更可以作为电磁波遮蔽材。

参考文献:

- [1] 黄镇江. 燃料电池修订版[Z]. 全华科技图书股份有限公司, 2005.
- [2] 王建义. 图解燃料电池百科[Z]. 全华科技图书股份有限公司, 2005.
- [3] LITSTER S, MCLEAN G. Pem fuel cell electrodes[J]. Journal of power sources, 2004, 130: 61-76.
- [4] HIROTAKA MIZUHATA, SHIN-ICHI NAKAO, TAKEO YAMAGUCHI. Morphological control of PEMFC electrode by graft polymerization of polymer electrolyte onto platinum-supported carbon black[J]. Journal of power sources, 2004, 138: 25-30.
- [5] SHEN CHUN-HUI, MU PAN, YUAN RUN-ZHANG. Sodium silicate/graphite conductive composite bipolar plates for proton exchange membrane fuel cells[J]. Journal of power sources, 2006, 162: 460-463.
- [6] LITSTER S, SINTON D, DJILALI N. Ex situ visualization of liquid water transport in PEM fuel cell gas diffusion layers[J]. Journal of power sources, 2006, 154: 95-105.

(上接第4页)

飞机设计一直与采用性能优异的新材料密切相关，现在有一代飞机一代材料之说。纵观世界各种军、民航设计领域，已明显存在着飞机结构复合材料化的趋势，未来飞机结构的主体材料必将是复合材料而非金属已是不争的事实，世界上对“复合材料是航空航天结构的未来”已达共识。

国内先进复合材料在航空航天领域的研究和应用也有30多年的历史，虽也取得了一定的成绩和可嘉的进展，但与西方发达国家相比，尚存在着相当大的差距，在应用的规模和水平、设计的理念、方法和手段，材料的基础和配套、制造的工艺和设备上均严重落后，落后是全方位的。其中应用的落后是根本的落后，带有标志性的落后。有鉴于此，国内的复合材料同仁应充分看到我们的问题和差距，利用国内研发大型飞机的大好机遇，切实把我国的复合材料研究和应用提高到一个新水平。

参考文献:

- [1] 陈绍杰. 复合材料与A380客机[J]. 航空制造工程, 2002, (9): 27-29.
- [2] 陈绍杰. 复合材料技术与大型飞机[J]. 航空学报, 2008, (3): 606-610.
- [3] DORA J, HINRICHSEN J. Material and technology developments for the A380[J]. Proceedings of the 22nd international SAMPE europe conference, 2001: 123-134.
- [4] DORA J. Composite material in the airbus A380 from history to future[M]. Beijing:ICCM 13 proceedings, 2001.
- [5] 陈绍杰. 先进复合材料的近期发展趋势[J]. 材料工程, 2004, (9): 9-13.
- [6] 陈绍杰, 李萍, 朱珊. 新型层板材料GLARE[J]. 航空制造工程, 1991, (5): 17-19.