

产品研究

浅谈纤维复合材料与中国大飞机

张兴金, 邓忠林

(沈阳航空工业学院航空宇航工程学院, 沈阳 110136)

摘要 国外一些军用、民用飞机的纤维复合材料应用量不断提升, 特别是一些大型飞机的纤维复合材料应用量惊人, 以至于其用量已成为评价一架飞机先进程度的一项重要指标。本文以波音、空客世界上两大客机公司为例, 就纤维复合材料在大型飞机中应用历程以及使用现状进行阐述与分析。结合两大公司的经验, 分析我国已经启动的大飞机计划在材料使用方面所面临的问题, 并且提出一些自己的见解。

关键词 纤维复合材料; 波音; 空客; 大飞机

The Discussion on Carbon Fiber Composite and Passenger - carrying Aircraft of China

ZHANG Xingjin, DENG Zhonglin

(School of Aerospace Engineering, Shenyang Institute Of Aeronautical Engineering, Shenyang 110136)

ABSTRACT With the rising volume of fiber composite applications on some military and civil aircrafts abroad, especially the surprising the volume of composites in large planes so that the amount of fiber composite becomes an important indicator to evaluate the advanced degree of a large - scale aircraft. This paper takes the world's two Airbus aircraft for example, analyze the application course of fiber composite material in large - scale aircraft and the current situation of its using. Combine the two company's experience, analyze the problems of the large aircraft plans which our country has launched in the use of the material and offer some own opinions.

KEYWORDS Fiber composites; Boeing; Airbus; Passenger - carrying aircraft

1 引言

最近看到这样一则消息: B787 飞机复合材料用量占结构总重量的 50%, 并承诺将燃油消耗降低 20%, 而空客 A350 飞机原来采用复合材料 37%。结果 B787 订货很多(大约有 900 多架), 大大超过 A350 的订单数。因此, A350 飞机不得不先后几次宣布修改设计, 采用复合材料 53%, 现在订单在逐渐增加。而复合材料在民用飞机中的主要应用方式是纤维增强塑料或纤维增强树脂(FRP)。这不得不对中国刚起步的大飞机计划进行深思, 本文就现今国内外大飞机碳纤维复合材料应用情况进行分析, 供有关人士参考。

2 国外纤维复合材料在大飞机中的应用

大飞机一般是指起飞总重超过 100t 的运输类飞机, 包括军用、民用大型运输机, 也包括 150 座以上的干线客机。目前世界上只有美国、欧洲四国和

俄罗斯有制造大飞机的能力, 而占领国际市场的只有美国波音公司和欧洲空中客车公司。因此, 纤维复合材料在大飞机上的应用, 实际上就是看美国波音公司和欧洲空中客车公司在大型飞机生产中采用复合材料的水平。

2.1 碳纤维复合材料在波音系列飞机中的应用

表 1 纤维复合材料(CFRP)在波音系列飞机中的应用

年份	机型	FRP用量(%)	适用范围
1957	B707	0	
1968	B747	2-3 ^[1]	
1982	B757	3-4 ^[1]	方向舵、升降舵、起落架舱门等
1983	B767	4-5 ^[1]	蒙皮、桁条、下面翼梁弦、地板、刹车片、起落架舱门等
1984	B737	1	升降舵等
1990	B747-400	2	蒙皮、桁条、下面翼梁弦、地板、起落架舱门等
1995	B777	9	尾翼、襟翼、副翼、天线罩、整流罩、起落架舱门、短舱和地板梁等
2008	B787	50	机身、尾翼、襟翼、副翼、天线罩、整流罩、起落架舱门、短舱和地板梁等

在美国波音公司生产第一代大型民用客机 B707 到第五代大型民用客机 B787,碳纤维复合材料的使用量一直处于递增趋势(表 1),并且应用范围也在不断扩大,主要包括主承力构件、次承力构件和内装饰等范围的应用。

B777 以及以前的机型主要将纤维复合材料应用于飞机尾翼、襟翼、副翼、天线罩、整流罩、短舱和地板梁等构件^[1]。美国波音公司认为在波音系列客机中可以进一步采用纤维复合材料的主要有:机翼结构与蒙皮、机身(前、后、中)及其蒙皮、压力舱等,并且在 B787 上得以实现。在 B787 应用的材料(表 2)中纤维复合材料(CFRP)所占重量比高达 50%。B787 采用纤维复合材料制造机翼结构,并且首次使用纤维复合材料制造机身结构,该结构是长 7 m 和宽 6 m 的整体结构件。因此 B787 被人们称为“塑料飞机”,它的出现代表了飞机结构材料的一次革命。先进复合材料的大量采用,降低了飞机结构质量,而加之创新的流线型机翼设计,使 B787 飞机比目前同类飞机节省 20% 的燃油消耗,并且也将以 0.85 倍音速飞行,这与当代速度最快的民用飞机波音 747 速度是相同^[4]。因此这就大大提高了 B787 的市场竞争力。

表 2 B787 的材料应用

FRP (%)	铝合金 (%)	钛合金 (%)	钢 (%)	其它 (%)
50	20	15	10	5

2.2 纤维复合材料在空客系列飞机中的应用

为了占领更多的市场,欧洲空中客车公司在新型材料(表 3)的使用上也毫不示弱,从本文开头的例子中也可以看到。

表 3 纤维复合材料(CFRP)在空客系列飞机中的应用

年份	机型	FRP 用量 (%)	年份	机型	CFRP 用量 (%)
1985	A300-600	5-6	1994	A321	15
1986	A310	10	1997	A322	15-16
1989	A320	15	2004	A380 ^[2]	25
1991	A340	13	2009	A350	53
1993	A330	15			

2004 年首飞的 A380 结构设计中,纤维复合材料的用量达 30 吨,占总量的 25%。采用纤维复合材料主要部位包括:机翼前缘、翼肋、机翼前后缘操纵面、机身上蒙皮壁板、后承压隔框、上舱地板梁、机身机翼整流罩、中央机翼盒、机身尾段、尾翼和起落架舱门等。A380 作为超大型客机开创了大型飞机上大量使用复合材料的先河,从而减轻了飞机的重量,

使其成为一架高燃油效率的飞机,与竞争机型相比,其油耗低 12%,并相应减少了排放。A380 无疑是首架每乘客百公里油耗不到 3 公升的远程飞机——这一比例相当于一辆经济型家用汽车的油耗。另外,为了增加航程和降低运营成本,同时也是为了与全新设计的 B787 进行竞争,空中客车公司 A350 项目于 2005 年 10 月 6 日正式启动,预计于 2009 年第 2 季度进行首次飞行,2010 年正式投入运营。为了更好的占领市场不得不宣布修改设计方案,他们把复合材料的用量由 37% 上调到 53%。A350 的选材方案在一定程度上继承了 A380 结构方案的同时,又有新的发展。A350 的中央翼盒和外侧翼盒均采用纤维复合材料,几乎整个 35 米长的机翼全用纤维复合材料制造,复合材料面积达约 442 平方米,在同类型飞机机翼中复合材料使用面积最大。并且 A350 机身采用 4 块纤维复合材料蒙皮壁板连接而成,这种结构不仅可使飞机的每座空重比 B787 降低 14%,而且在一定程度上减少了维护费用。

从 B787 和 A380、A350 飞机结构纤维复合材料的应用可以预言,未来纤维复合材料在大型飞机上的应用将成为“主流”,而金属材料将成为“辅助”。由于各个航空公司以及建筑^[6]、航天^[7]、石油工程^[8]等行业对纤维复合材料的应用,碳纤维的供需失衡,有关人士表示在航空航天业纤维复合材料需求仍将以 19% 的速度增长^[3]。

3 国内大飞机面临的现状

美国的波音公司和欧洲的空中客车公司对纤维复合材料的大量使用,这对中国刚起步的大飞机计划无疑是一个大的挑战。中国的大飞机要想在世界有立足之地,就必须顺应世界航空发展的趋势,大量使用复合材料。杜善义院士提出我们的大飞机项目上复合材料的用量至少要有 25%。然而,纤维复合材料在大飞机中大量使用无疑要面临很多问题。

3.1 碳纤维材料问题

B747 和 B767 使用的大多是 T300 等低模碳纤维,而 B777, B787 和 A380 所应用的大部分都是 T700、T800 和 IM 系列高强度高性能碳纤维^{[2][6]}。但是我国碳纤维工业与先进国家差距 15 年左右,还不能生产高中模碳纤维, T300 仍处于产业化阶段。但是碳纤维属于高技术新材料,大部分国家和地区对我国采取一定的技术封锁。所以我们发展大飞机的前提是努力自主发展碳纤维工业,使材料与大飞机项目同步发展,尽最大可能使我国大飞机完全国产化,但就目前现状这条路还很长。

3.2 设计制造的技术问题

20世纪90年代我国开展了运7复合材料垂尾应用研究并通过了结构地面验证和适航审定。目前研制的新支线客机ARJ21在次承力构件上应用了纤维复合材料,并计划在未来应用更多的纤维复合材料结构。另外,国内一些飞机制造厂为波音和空客生产制造零部件积累了一些经验。虽然我国在设计制造大飞机中有一定的工作基础,但主体制造大飞机仍面临着很多技术问题。例如纤维复合材料用在次承力结构甚至主承力结构的设计上,在国内基本属于空白;一些大型整体结构件和复杂的整体结构件制造,在国内也基本没有做过。另外,纤维复合材料适合做大的整体结构件,进行一次或多次成形。这就需要专用大型加工设备,目前国内几家主要的飞机制造厂都面临着相应设备短缺的现状。

综上所述,我国的大飞机要想有立足之地,必须在纤维复合材料的应用上有所突破。结合国内现状,我们至少应达到A380水平,也就是说纤维复合材料重量比至少达到25%。所以我们必须发展高中模碳纤维,同时结合国内现有技术经验,发动一切力量在大型复杂结构件的设计制造的关键技术上有

所创新突破,促进纤维复合材料技术的全面深化和发展,为我国大飞机复合材料的高效应用提供技术保障。并且在国内几家主要的飞机制造厂引进国外或研制一些大型加工设备提高纤维复合材料的加工技术。我们还应加强国际间技术合作充分吸收国外先进的经验和教训,努力缩短纤维复合材料在飞机应用的周期,尽量避免不必要的弯路。

参 考 文 献

- [1] 赵稼祥. 民用航空和先进复合材料[J]. 高科技纤维与应用, 2007, 32(2): 6-10.
- [2] 贺福, 孙微. 碳纤维复合材料在大飞机上的应用[J]. 高科技纤维与应用, 2007, 32(6): 5-8.
- [3] Carbon Fiber 2007 looks forward with optimism[J]. High Performance Composites, 2008, 16(1)(引自 www.compositesworld.com).
- [4] Dale Brosius. Boeing 787 Update [J]. High Performance Composites, 2007, 15(2)(引自 www.compositesworld.com).
- [5] 侯锋辉, 邓红兵, 李崇俊等. 碳纤维结构的常用表征技术[J]. 纤维复合材料, 2008, 25(3): 18-20.
- [6] 熊佳, 黄英, 王琦洁. 高性能纤维的发展和应[J]. 玻璃钢/复合材料, 2004, (5): 49-52.
- [7] 郭峰, 张炜, 王晓洁等. 碳纤维/环氧固体火箭发动机壳体补强现状[J]. 纤维复合材料, 2008, 25(3): 35-38.
- [8] 孔庆宝, 孔凡旭. 纤维缠绕复合材料在海洋油气工业的应用研究[J]. 纤维复合材料, 2008, 25(4): 24-27.
- [9] 李建国, 王宝瑞, 李冬梅等. MJ系列碳纤维拉伸强度影响因素探讨[J]. 纤维复合材料, 2007, 24(4): 32-35.
- [14] K. E. Atkins, R. C. Gandy, R. R. Gentry. SMC: Thinner - smoother - tougher, a new generation of low profile additives[C]. SPI, 1982; C-7.
- [15] K. E. Atkins, R. L. Seats, G. C. Rex. New developments in low profile additives: low viscosity poly(Vinyl Acetate) LPA's[C]. International Composites expo Proceeding, 1998; D-5.
- [16] N. Ujikawa. New development in low profile additives[C]. SPI, 1994; C-22.
- [17] K. B. Chandalia, J. M. Connor. Polyurethane low profile additives for UP[C]. SPI, 1983; B-3.
- [18] 李忠恒, 张宁, 陶国良. SBS改性SMC复合材料的研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2007, (4): 34-37.
- [19] 李忠恒, 张宁, 陶宇等. PNBZ增韧改性SMC的研究[J]. 橡胶工业, 2008, 55(4): 203-207.
- [20] 黄志雄, 王伟, 刘坐镇. SMC/BMC制备中树脂糊的粘度控制[J]. 纤维复合材料, 2007, 24(4): 3-6.
- [21] 林茂青, 张玉军, 刘胜平. SMC中不饱和聚酯树脂增稠及贮存性能的研究[J]. 纤维复合材料, 2002, 19(3): 14-16.
- [22] 苏东明. 轿车用SMC的研制[J]. 化学工程师, 2003(1): 57-58.
- [23] Z. Zhang, S. Zhu. Microvoids in unsaturated polyester resins containing poly(vinyl acetate) and composites with calcium carbonate and glass fibers[J]. Polymer, 2000, (41): 3861-3870.
- [24] Masski Yasuda, Hiroyuki Kawami, Shoichi Sassi, et al. A Study of the Low-Profile Mechanism of Unsaturated Polyester Compounds[A]. 47th Annual Conference Composites Institute[C]. The Society of the plastics Industry, Inc, 1992.
- [25] 徐亮工. 缠绕玻璃钢管道的残余热应力[J]. 玻璃钢/复合材料, 1997, (1): 11.
- [26] 谢怀勤, 李地红, 吴新跃. 优化SMC模压工艺控制制品收缩率和表面粗糙度[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2002, 35(6): 47-49.
- [27] 谢怀勤, 王海龙, 佟立芳. SMC模压工艺参数对固化收缩率影响的实验研究[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2001, 34(3): 88-90.
- [28] 张卫国. 用正交试验法对SMC模压工艺的研究[J]. 汽车科技, 1994, (2): 22-24.
- [29] 王炳淑, 李庆奎, 马金华. SMC模塑大型盆状制品成型工艺探讨[J]. 工程塑料应用, 1998, 26(9): 11-13.
- [30] 宋修官, 孙巍, 王继辉. SMC模压工艺参数对大型复杂汽车件表面针眼影响的研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2006, (3): 42-43.
- [31] 孙巍, 滕文学, 岳晓东. 复杂SMC零件成型的CAE技术[J]. 纤维复合材料, 2006, 23(3): 43-44.

(上接第29页)