



通用飞机与复合材料

General Aircraft With Composites

北京航空航天大学材料科学与工程学院 肇研 孙沛



肇研

毕业于北京航空航天大学, 博士学位, 并先后在德国、加拿大做访问学者。主要从事先进树脂基复合材料(复合材料界面、成型工艺)、纳米材料与技术(碳纳米管及改性研究)、功能复合材料(电磁屏蔽材料的研究)等方面的研究。

随着先进复合材料及其加工技术的快速发展,在通用飞机制造领域,新型飞机开始越来越多地使用先进复合材料,统计表明,2007年通用飞机上复合材料用量,在总材料用量中占到了57%的比例。

一般认为,通用航空是指干线和支线定期航班客货运输以及出租飞机公司经营的空运业务以外的所有民用航空活动。目前,各国对通用航空的定义说法不一,实际上还没有一个统一的严格的有关通用航空的定义^[1]。通用航空是民用航空的重要组成部分,通用航空的发展水平是一个国家科学技术发展水平、经济发展水平和人民生活水平高低的重要标志,在社会和经济发展中有着重要地位。

通用飞机可以通俗地理解为用于通用航空飞行的飞机,由于通用飞机的用途广泛,飞机的结构特点各有不同,大致可划分为运动飞机、公务机、农林飞机、多用途飞机,国外主要通用飞机制造商有庞巴迪宇航集团、湾流宇航公司、塞斯纳飞机公司、豪客比奇飞机公司、欧洲直升机股份有限公司等。

随着先进复合材料及其加工技术的快速发展,在通用飞机制造领域,新型飞机开始越来越多地使用先

进复合材料,统计表明,2007年通用飞机上复合材料用量,在总材料用量中占到了57%的比例^[2]。本文将介绍几种类型的通用飞机,并对一些通用飞机的复合材料使用情况进行介绍。

典型通用飞机及其复合材料的使用

1 小型飞机

小型飞机一般2~6座,大部分都只装一台活塞发动机,主要用于飞行员培训、航空运动、空中游览、教育培训、文化体育、航空广告灯等。“小鹰”500飞机是具有我国自主知识产权的轻型多用途飞机,是一种按单驾驶体制、双操纵进行设计的前后两排并列式4~5座飞机,这款飞机的发动机罩、尾锥和座舱部分侧蒙皮采用了玻璃纤维复合材料。美国西锐设计公司(Cirrus Design Co)以生产复合材料见长,其生产的SR20/SR22采用活塞发动机的四座复合材料轻型飞机悬臂式下单翼,翼尖上翻,为复合材料结构,机翼悬挂复合材料悬臂式缓冲主支柱,外带整流罩。G120A是德国Grob宇航公司的双座特技飞行飞机,机身整体是由碳纤维增强复合材料制成。

2 多用途飞机

多用途飞机是指可用于客货运输及其他社会服务的6~10座左右的通用飞机。1974年批量生产的P-68,其机体大部分为金属结构,仅在机翼机身连接处整流包皮采用了玻璃纤维增强复合材料。随着材料技术的发展,更多的新材料和新技术被应用,1991年首飞的PC-12来自瑞士派士飞机公司,其T形尾翼采用了玻璃纤维增强复合材料,而尾翼的背鳍和腹鳍则采用凯夫拉纤维增强

蜂窝板夹层复合材料。“探险家”飞机更是采用先进计算机辅助模型设计和制造技术,可迅速转入批量生产,其机身由半硬壳式结构,由碳纤维复合材料制成的外壳和金属骨架构成。德国格罗布宇航公司制造的“SPn Utility Jet”,载客9人,空载重量在3630kg以下,航程在3400km,满载情况下起飞跑道要求仅为915m,机身由法国播舍公司提供的机制织物(铺层角为0~90°、±45°)和单向纤维布制成,基体为环氧树脂^[3]。

3 公务机

越来越多的复合材料被用在了繁忙的公务机上,各国的飞机制造商则纷纷研制新型的全复合材料公务机抢占未来市场。

美国豪客比奇公司的“首相I”,由于机身由碳纤维蜂窝复合材料结构,除去所有的整体机身框架,蒙皮仅厚20mm,相对于常规制造客舱容积增加13%。

亚当公司的超轻型喷气机A700和装备了活塞发动机的A500,飞机

大部分是由碳纤维增强Nomax蜂窝夹心复合材料制成,部分地方使用了玻璃纤维增强。以A700为例,其载客数为6~7人,用AGATE认证的预浸料进行拼接(预浸料来自东丽公司),并相应开发了可以对复合材料进行二次加工的铣床。复合材料层合板是碳纤维或玻璃纤维织物增强Nomax夹心材料,真空袋成型,从机头到机尾的舱壁、翼梁底座、窗户框和门框都是共固化成型的。翼梁则由单向碳纤维增强复合材料制造而成,而翼梁抗剪腹板则是有多向的碳纤维织物增强复合材料制成。为了消除闪电击中的电弧作用,燃料箱是由玻璃纤维增强复合材料制成,碳纤维翼梁与蒙皮之间也用了一层玻璃纤维隔开,售价在100万~250万美元^[4]。

塞斯纳750“奖状”是美国塞斯纳飞机公司研制的一种高速远程公务机,其最大马赫数可达0.92,机翼悬臂式下单翼,整体机加壁板式翼蒙皮,所有的控制面,扰流板、减速板和



SR-22轻型飞机

襟翼均由复合材料制成。“湾流”G250 的一体化方向舵(长 2.8m, 宽 1.1m, 厚 25.4mm) 是一个集翼肋、翼梁、方向舵外壳及防雷击装置为一体的共同模塑的整体化结构, 采用 Carlson 设计公司生产的自动化裁剪设备及对多层碳纤维及玻璃纤维无屈曲织物(NCF) 型增强材料进行裁剪^[5]。另一款来自庞巴迪的全复合材料飞机里尔 85 计划在 2013 年投入使用, 里尔 85 全复材机身不仅减轻重量, 减少维修成本, 而且获得了更好的气动性能和降噪效果。

4 农林飞机

农林飞机多由轻型飞机改装而来, 大多采用冷活塞发动机, 要求能在土跑道起飞, 超低空机动飞行, 成本低等, 因此在农林飞机出现伊始, 很多二战后退役的飞机被改装成农林飞机。

农林飞机速度低, 高度也低, 并且要求控制成本, 因此一般不采用复合材料或者仅采用玻璃纤维增强复合材料以减轻重量, 例如波兰飞机和发动机工业集团华沙工厂研制的 PZL-106 “渡鸦” 采用了玻璃钢翼尖, 机翼前缘缝翼采用了泡沫芯材的玻璃钢夹层结构。农林飞机一般都携带有药箱, 药箱则多为玻璃钢结构, 并在机身骨架涂有聚氨酯以防止腐蚀和防尘。

5 水上飞机

水上飞机是能在水面上起飞、降落和停泊的飞机, 其中有些也能在陆上机场起降。水上飞机用途广泛, 在民用方面可用于运输、森林消防、航空旅游、飞播造林、医疗救护等, 比较有名的有中国的水轰 5、日本的 US-1、美国的 PBY-5、加拿大的 CL-415、俄罗斯的 Be-103, 值得一提的是多尼尔海星马来西亚公司的“海星” CD2, 其复合材料用量很大, 机翼为悬臂式下单翼, 高升力机翼外侧前缘下垂, 采用玻璃纤维增强复合材料和泡沫夹心材料, 具有碳纤维增强复

合材料制成的前、后梁, 尾翼由玻璃钢制成, 常规尾翼, 装电驱动可变安装角平尾。

6 旋翼机

旋翼机是指利用动力驱动的旋转旋翼提供升力、推进力和操作力的飞行器, 目前通用航空中使用的旋翼机主要是直升机, 民用侧转旋翼机 BA609 正在研制, 还未投入市场。

旋翼机的使用已经相当普遍, 主要应用领域有: 旅客运输、海上油井服务、渔业作业、紧急救援、环境监测、城市治安管理、医疗救护等等。现在新型的直升机几乎都采用了复合材料旋翼, 机身也多在采用复合材料代替部分金属材料, 比如西科斯基飞机公司的 S-92, 4 片桨叶全复合材料旋翼, 桨尖后掠, 其机身主要由铝和复合材料制成, 复合材料约占 40%。欧洲直升机公司的 EC135, 4 片桨叶安装在可控复合材料柔性臂上, 机身壳、框、舱门、水平安定面及端板均采用复合材料结构, 复合材料大部分是芳纶或碳纤维蜂

窝结构^[6]。德事龙集团贝尔加拿大直升机公司在贝尔 230 基础上研制的贝尔 430 采用全复合材料 4 桨无铰无轴承旋翼系统, 旋翼桨叶由不锈钢大梁、前缘包条和玻璃纤维增强复合材料蒙皮组成, 在大梁和后缘之间填充 Nomax 蜂窝^[7]。在汶川大地震堰塞湖抢险中立下大德的俄米 26 直升机, 其尾桨由 5 片玻璃钢制桨叶组成。欧洲直升机工业公司的 EH101 使用了 PMI 聚甲基丙烯酸酯亚胺硬质泡沫填充的直升机旋翼叶片^[8], EH101 还是新美国总统专机“海军一号”的备选机型, 该公司的 EC135 和 NH90 也是用了此项技术。另外, NH90 的扭力臂和纵向推力杆的中心凸耳 RTM 工艺成型, 使用了来自德国 Heek-Nienborg 的机织织物预成型体。纤维使用东丽公司的 T300-12K 碳纤维^[9]。

通用飞机用复合材料的市场

预计在未来 20 年内, 世界上大约需要通用飞机 56916 架 (含民用



整体成型的复合材料公务机机舱



欧直公司的EC175

迅速发展,对通用飞机的需求呈现出指数形式的增加,这对中国通用飞机及其使用的复合材料的发展将是一种巨大的推动。日前,新成立的中航通用飞机公司成功收购了美国西锐公司,希望中国的通用航空事业能够在新的时期蒸蒸日上,更好地为社会服务。

参考文献

[1] 胡问鸣. 通用飞机 [M]. 北京: 航空工业出版社. 2008:2.
[2] 陈亚莉. 复合材料结构在通用飞机上的应用. [http://www.cnfrp.net/news/echo.](http://www.cnfrp.net/news/echo.php?id=30097,13/10/2008)

[http://www.cnfrp.net/news/echo.](http://www.cnfrp.net/news/echo.php?id=30097,13/10/2008)

[3] Sara Black. Light Jets Yet Another Category. [http://www.compositesworld.com/articles/light-jets-yet-another-category,](http://www.compositesworld.com/articles/light-jets-yet-another-category,01/01/2006) 01/01/2006.

[4] George Marsh. Taxi! How composites may help in calling up new airborne cabs. Reinforced Plastics. 2005, 49(11): 20-24.

[5] 韩秀峰. G250 商务机的一体化方向舵. http://www.frponline.com.cn/News/detail_24683.html,18/01/2010.

[6] Niesl G, Arnaud, G. Low noise design of the EC 135 helicopter. AHS, Annual Forum, 52nd, Washington, DC, UNITED STATES: 4-6 June 1996. pp. 32-44. 1996.

[7] Samiran Saha. How safe is Bell 430. <http://www.hindustantimes.com/How-safe-is-Bell-430/Article1-449874.aspx,09/03/2009>.

[8] Helicopter rotor blades benefit from Rohacell. Reinforced Plastics. 1999,43(9): 4.

[9] Dale Brosius. Complex Composites Lighten Nato Copter. High-Performance Composites. 03/01/2003.

[10] Chris Red. Aviation Outlook: Composite aerostructures in General Aviation. High-Performance Composites. 2008,6 (28).

[11] Barry Berenberg. AGATE Methodology Proves Its Worth. <http://www.compositesworld.com/articles/agate-methodology-proves-its-worth,05/01/2003>.

[12] George Marsh. Flying high, with the self-build movement. Reinforced Plastics. 2002, 46 (1):26-30.

(责编 晓立)

直升机)。专业人士认为中国每年至少应有 250 架公务机和数百架私人飞机的市场潜力。未来 10 年国内对各类通用飞机的需求量很大,保守预测应在 1500 架。据估计^[10],2007 年通用飞机用复合材料的市场为 7 亿美元,而到了 2008 年,这个数字增加了 16.7%,达到了 8.17 亿美元,根据遗传算法计算等到了 2014 年,通用航空用复合材料市场将达到峰值而超过 11 亿美元。

各国大力发展复合材料通用飞机

欧美的通用飞机发展已经有相当长的历史,特别是美国,2004 年,美国通用飞机总数在约 22 万架,美国为了让复合材料能够在通用航空中得到更广泛的应用,由飞机制造商与材料供应商、研究大学和联邦航空局 (FAA),美国航空宇航局 (NASA) 在先进通用航空技术实验室 (AGATE)^[11] 建立了可使用复合材料的数据库,并由 FAA 核准相关材料的技术细节。一旦选用了数据库中的材料,就可以简短研发周期,减少实验数量从而节约研发经费(据统计可以大约节约实验经费 50%)

^[12]。

欧洲诸国以及加拿大、日本均采取了航空公司与复合材料公司紧密合作的机制,广泛进行企业间以及国家间的合作,奎奈蒂克(英国国防科技公司)的海王直升机就使用了由美国宾夕法尼亚州的卡尔森直升工厂提供的复合材料直升机旋翼叶片。庞巴迪的里尔 85 飞机项目更是拥有超过 30 家的供应商。

印度虽然在复合材料领域的技术并不先进,但是由于通用航空用复合材料的技术门槛较低,印度也进行了这方面的尝试,并取得了很好的成绩。早在 2004 年,印度就在班加罗尔的航空宇航技术实验室完成设计和制造一架全复材两座的轻型飞机。这架名为 HANSA-3 的轻型飞机主要用来训练领航员以及航空运动。这架飞机也能用于航空拍摄。海岸巡轮以及环境监测。整个机身除了起落架部分和发动机部分,是一个整体的复合材料夹层结构,是由玻璃纤维和硬质泡沫芯材真空袋固化成型的,翼梁则用碳纤维。

相比之下,中国通用飞机的发展就显得比较缓慢,通用飞机用复合材料的使用也较少。随着我国经济的