

现代大飞机复合材料应用与制造技术浅析

Composite Application and Manufacturing Technology for Modern Large Aircraft

哈尔滨飞机工业集团有限责任公司 黄领才 刘秀芝



黄领才

1988年毕业于南京航空学院直升飞机设计专业,2004年获哈尔滨工业大学MBA专业硕士学位,北京航空航天大学产品环境工程专业在读博士研究生。现为哈尔滨飞机工业集团副总工程师/研高工,黑龙江省复合材料学会副理事长,先进复合材料国防科技重点实验室第三届学术委员会委员。先后主持过国家重大科研项目——某重点型号飞行器平台的设计与研制、国防和“863”领域的科研项目。获多项国家和省部级奖励,荣立中航二集团二等功,在国内外刊物发表学术论文30余篇。

由于复合材料具有比强度高、比刚度大、可设计性强及良好的抗疲劳损伤性能和耐腐蚀性能的优点,大

目前,飞机制造中复合材料的用量已成为衡量某型飞机先进性、舒适性的重要指标,是世界飞机制造强国竞相发展的核心技术,也是我国飞机制造业的重点发展领域。

批飞机零、部件相继采用复合材料,并且采用复合材料的部位、面积和重量也日趋增加。将先进复合材料应用于飞机结构中可相应减重20%~30%,这是其他先进技术很难实现的效果。复合材料已成为铝、钢、钛之后,迅速发展的四大航空材料之一,所占比例也越来越高,在民用飞机上获得了大量应用。从目前波音和空客两大航空制造巨头的激烈竞争来看,在飞机的材料和技术选择上,没有复合材料的飞机是没有任何竞争力和发展潜力的。空客和波音在每一个新机型的宣传以及与对手的比较中,都会将复合材料的用量作为一个重要的卖点来宣传。随着复合材料低成本化、数字化制造技术的发展及应用,目前大型飞机机翼整体壁板、梁、机身等零部件大都采用了自动铺放技术。采用自动铺放技术成型的零件性能好,效率高,质量稳定可靠,可以有效提高设计许用值,

减轻结构重量。

复合材料在现代大飞机中的应用过程及现状

在大飞机机体结构上,怎样使用复合材料是飞机结构设计的关键问题,复合材料的用量多少和结构重量占比已成为衡量一种机型水平的重要指标。

就美国而言,其先进复合材料从70年代开始的研究应用可分为4个阶段:

第一阶段为受力很小的构件,如前缘、口盖、整流罩、扰流板等,该阶段约于70年代中期结束。

第二阶段为受力较小的部件,如升降舵、方向舵、襟副翼等。1975年NASA开始执行ACEE计划(飞机节能计划,包括减重、节油、增加商载),该阶段约于80年代初结束。

第三阶段为受力较大的部件,平尾、垂尾仍在ACEE计划下执行,该

阶段约于1985年前后完成。

第四阶段为在生产型飞机B757、B767、B737、B747上正式设计应用。B777所用复合材料占结构总重的11%，B787飞机复合材料用量占结构重量的50%，主要应用部位包括机翼、机身、垂尾、平尾、发房、地板梁及部分舱门、整流罩等。NASA于1989年正式启动ACT计划至今，旨在开展大型民机复合材料机翼、机身的发展研究工作，改进结构性能、降低成本，使之可与对应的金属结构相竞争，如波音和洛·马公司侧重机身的研发，原麦道公司侧重缝纫+RTM机翼的研发。

欧洲空客集团自70年代中期开始研究复合材料，1983年生产A300、A310的复合材料方向舵，重量减轻20%；1978年开始研制A310、A320的垂尾，1985年完成，重量减轻20%；此后机型(A320、A322、A330、A340等)中复合材料用量可达结构总重的15%左右，A340-500/600还应用了热塑性复合材料机翼前缘。

总体而言，近几十年来复合材料在外国军机和民机上的应用都得到了长足的发展。就大飞机而言，机体复合材料的用量也与日俱增，已实现了尾翼一级部件的批生产应用，并开始在机翼、机身等主承力部件上使用。B787、A380、A400M三大机型上复合材料的大规模应用形成了复合材料在航空领域再度“起飞”的强劲态势，图1所示为现代飞机复合材料的应用情况。

1 波音公司大飞机复合材料应用情况

波音公司复合材料技术的应用也经历了从次承力构件向主承力构件过渡的过程。C17大型运输机的水平尾翼采用复合材料，与金属平尾相比重量减轻20%；B757飞机上复合材料的总用量达到了2t，约占结构重量的2.5%；B777飞机共用复合材

料9.9t，约占结构重量的11%。

波音公司研制的B787飞机，提高燃油效率20%（其中12%的贡献来自于大量采用复合材料结构），它是世界上第一个采用复合材料机翼和机身的大型商用客机，其应用广度远远超过B777和A380，大型机翼整体壁板、机身等部件大量采用了自动铺放制造技术。波音公司指出：在人类有动力飞行进入第2个百年之后，如此的选材决定将使波音在先进材料技术领域占据世界优势，“领跑”飞机设计技术，复合材料将成为“航空航天结构的未来”。波音认为采用复合材料除减重外，还可提供更好的耐久性，降低使用维护要求，增加未来发展的潜力和空间。

2 空客公司大飞机复合材料应用情况

空客公司一直注重复合材料的研究与应用，空客系列飞机复合材料所占结构重量比例不断上升。主要应用部位包括中央翼、外翼、垂尾、平尾、机身、地板梁、后承压框等，大

采用RFI技术制造。机身地板梁为I型梁，两端固支，受载很大，由日本JAMCO公司制造，采用了创新的拉挤技术。A380上机身使用多块Glare层板，面积达470m²以上，约占全机结构总重的3%~4%，与相应的铝合金板比可减重25%~30%，其疲劳寿命则可提高10~15倍。

目前，空客重新启动A350WB项目，为了同B787进行竞争，复合材料的用量已达到了52%，具体的部件包括机翼、平尾、垂尾以及机身的各段，其中机翼、平尾、垂尾为全复合材料结构，机身为混杂结构。由于在机身上使用了复合材料，机身段数目减少为3个，生产将采用自动铺放技术。

3 欧洲大型军用运输机A400M

A400M是欧洲空客集团正在研发的一种大型军用运输机，机体广泛使用复合材料，采用了英国GKN宇航公司的碳纤维翼梁。飞机设计全长为1.8m，高为14.7m，货舱长为

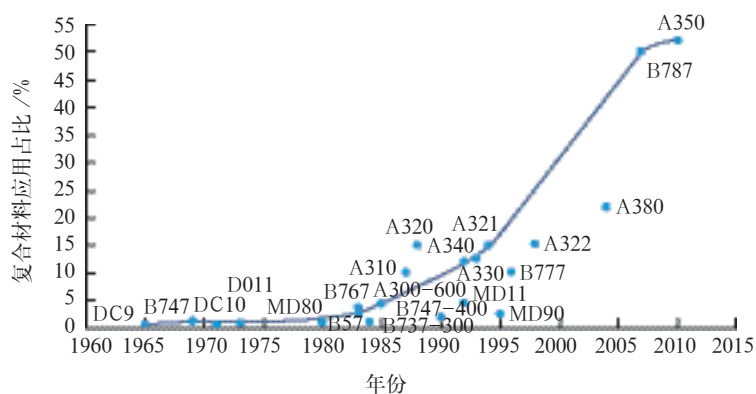


图1 现代飞机复合材料的应用情况

量采用了自动铺放制造技术。A380是第一个将复合材料用于中央翼盒的大型民机，该翼盒总重8.8t，其中采用复合材料5.3t，减重1.5t；板厚可达45mm，重要连接点处可达160mm，连接钉直径可达2.54cm，可承受高载。其水平尾翼的大小相当于A310的机翼，垂直尾翼的大小相当于A320的机翼。后承压框

17.7m，内部容积达到349m³，设计最大载荷为38t。该机大量采用复合材料，约占全机重量的25%~40%，大量减重以增加其有效载荷，亦是对美国复合材料技术的一个挑战。该机计划于2008年首飞，2009年交付使用。复合材料主要应用部位包括机翼、机身、垂尾、平尾，生产将采用ATP技术。

大型飞机复合材料制造技术

(1) 复合材料成本过高仍是制约飞机结构大量应用复合材料的主要障碍,造成成本下不来、用量上不去的状况。复合材料成本的70%以上来自制造工艺,因此,低成本的制造技术仍是复合材料发展中亟待解决的关键问题。目前,国外复合材料最新的制造理念是整体制造(即尽量将复合材料设计成整体结构),采用诸如像自动铺放、共固化或共胶接等技术实现整体制造。在满足结构总体性能要求的前提下,复合材料整体成型技术的意义在于可以通过减少零件数目、紧固件数量和协调/连接装配工作量进一步减轻结构重量,降低成本(尤其是制造成本)。同时,由于相应钉孔数量下降,可改善结构的承载能力,采用整体成型技术还可以减少分段、对接、间隙和台阶,使机体表面光滑,降低 RCS 值,提高隐身性能。

(2) 大型飞机复合材料的扩大应用紧密地与其制造技术相联系,从 B787、A380、A400M 等大型飞机复合材料机翼和机身的应用可知,其发展趋势是在制造大型飞机整体壁板、大梁、机身等复合材料构件时采用自动铺放制造技术。整体成型技术已广泛应用于复合材料构件的制造,当

复合材料零件的尺寸较大时,人工铺层难度大、产品质量也难以保证,因此,相应的自动铺带技术(ATL)和纤维自动铺放技术(AFP)等自动化制造技术应运而生。

(3) 采用自动铺放技术可显著降低具有复杂形状复合材料构件的制造成本。最早的自动铺放技术研究始于复合材料机身的制造,由于采用缠绕技术制造机身时缠绕张力使四面产生缝隙,并使纤维滑移而偏离原来位置,且传统的缠绕工艺无法有效改变厚度,纤维铺放技术解决了上述问题,在大型复杂型面上铺放和压实连续预浸纤维,使得纤维在芯模上的铺放完全在无压力状态下进行;铺放预浸带时可按要求调整其宽度,还能通过加热或冷却调节其粘度,自动铺放精度可达 0.005mm。自动铺放(ATL/AFP)自动化制造技术可以提高制件质量和工艺效率,减少零件数量,降低制造及装配成本,目前该技术已得到广泛应用,图 2 为数控铺放设备。

(4) 自动铺带适用于尺寸较大,曲率相对较小的零件,如整体壁板类零件、大梁、长桁等,而纤维自动铺放

适用于尺寸较大,形状相对较复杂的零件,如机身段、进气道等。目前哈飞集团已经引进了自动铺带设备,下面以自动铺带为例,简要介绍机翼整体壁板的制造流程。

大型飞机机翼整体壁板结构尺

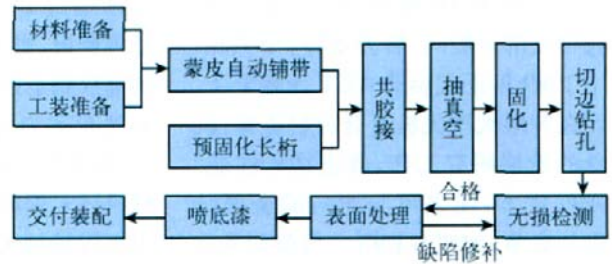


图3 复合材料机翼整体壁板制造流程

寸较大,不适于手工制造,只能采用自动铺带制造技术。整体壁板分为包括横、纵向加强筋的格栅式整体壁板和只包括横向加强筋的整体壁板。加强筋还分为工字形、T形等结构形式,带有工字形加强筋的格栅式整体壁板成型最为复杂,而只带有横向 T 形加强筋的整体壁板相对较易制造,但无论采用何种形式,其制造流程基本是一致的,图 3 为复合材料机翼整体壁板制造流程。

结束语

目前,飞机制造中复合材料的用量已成为衡量某型飞机先进性、舒适性的重要指标,是世界飞机制造强国竞相发展的核心技术,也是我国飞机制造业的重点发展领域。

我国大飞机项目的启动是航空工业发展的极大机遇,在大飞机的设计过程中,安全性、长服役寿命、最小重量、可维护性 4 个主要方面的性能是必须要考虑的。在大飞机上大量应用复合材料是我国航空实现跨越发展的迫切需求,同时也是我国航空复合材料发展到了一定程度的必然结果,大型复合材料构件自动铺放制造技术在国内还是空白,各项关键技术还有待于突破。

(责编 钟元)



图2 数控铺放设备