

飞机复材构件制造装备 应用现状

Application of Manufacturing Equipment for Aircraft Composites Component

中航复合材料有限责任公司 周晓芹 段友社 薛向晨 吴文贵



周晓芹

高级工程师,主要从事复合材料自动铺放技术等方面的研究工作。

新一代飞行器为了提高性能,降低成本,延长寿命,其零件与结构向大型化、整体化方向发展。轻质、高强的复合材料大型零件和整体构件成为了设计师的首选,复合材料的应用已从最初的次承力结构大幅扩展到机翼、机身等主承力结构。复合材料在飞机结构上的用量和由此带来的减重效果已成为衡量飞机先进性的重要标志,是世界强国竞相发展的

复合材料作为现代先进飞机主结构用材已是明显的发展趋势,复材整体构件已成为现代先进飞机的最主要特征。因此,采用数字化、自动化生产工艺和装备,是促进复合材料产品降低成本,并使其得到更广泛应用的必由之路。

核心技术。国际上两大飞机制造巨头——空客和波音在市场上竞争激烈,其技术对决的主要关键点是先进复合材料的应用,如波音 787 复合材料用量达到 50%,而空客将 A350 复合材料用量提高到 52%,为达到这一用量,必须在机翼、机身、垂尾、平尾等结构上大量采用复合材料。

随着复合材料的大量应用,大型整体构件数量和尺寸的不断增长,尤其是结构实体设计软件的普及和用于复合材料设计/制造专用软件的开发,以及各种专用装备的研制成功,数字化、自动化制造技术在航空工业得到了普遍应用。本文结合航空复材构件中常用的预浸料-热压罐固化成型工艺,主要对国内外飞机复材构件制造中所用的装备进行整理汇总,以期为国内复合材料构件的研制提供借鉴。

预浸料设备

预浸料是用树脂基体在严格控制条件下浸渍连续纤维或织物,制成树脂基体与增强体的组合物,是制造复合材料的中间材料。预浸料的制备方法主要有溶液浸渍法(即湿法制备)和热熔法(干法制备)两种。热熔法制备预浸料的过程通常分为两个步骤:先制备胶膜,然后将胶膜和增强材料均匀复合在一起。与湿法预浸料相比,干法预浸料外观好,树脂含量的控制精度高,采用干法预浸料成型的复合材料,具有孔隙率低、纤维取向性好等优点。

目前,应用最广的碳纤维预浸设备主要有溶液法预浸设备、树脂膜机、热熔法预浸机、树脂膜和预浸组装机。

虽然溶液浸渍法在技术先进性

和产品性能方面赶不上热熔法工艺,但也有其不可替代的优点:增强材料容易被树脂浸透,特别是织物搭接处易于浸湿;既可以制备超薄预浸料也可以制备厚预浸料;工艺技术相对要求较低;设备造价也不太高,对操作人员要求也比较低。

近年来,航空复材构件已经日趋大型化和整体化,但由此也带来了麻烦,部件越大,其在热压罐内固化过程中的温度控制就越难保证均匀持续,如还采用传统的保温再加压的固化工艺,则难以保证预浸料加压带的要求,从而导致制件制造质量的下降和固化成型时间的增加。因此,“零吸胶”、“常温加压”的先进预浸料,已成为业内的发展方向。

自动裁切设备

复合材料构件制造过程中,传统的手工下料费时、费力、工序繁琐、效率低、精度差,容易造成浪费。因此,准确率高、方便快捷的自动裁切技术取代了传统的手工下料技术。自动裁切技术是将构件的三维实体数模展开,运用 CATIA 软件或 Fibersim 软件生成铺层料片的二维数据,经过裁切机自带的第三方软件生成指令自动切割成所需形状的料片。自动切割的预浸料不仅代替了手工切割样板,并且形状准确,每一层、每一形状都标有铺层编号,减少了铺放过程中的错误,而且效率大大提高。

目前,常用的预浸料自动裁切设备主要有两种,一种是固定式裁切台,需要一次次投放材料;一种是滚筒转动裁切台,可使用卷材连续加工。美国格柏是全球专业的复合材料自动裁切解决方案的提供者。新产品 GERBERcutter Z1 的特点是,利用滚筒转动裁切台,可使用卷材连续加工。而以往机型的裁切台为固定式,需要一次次投放材料。GERBERcutter Z1 的最大裁切速度为 1.1m/s,裁切台的可裁切范围为宽

1.81m、长 1.82m。

激光定位设备

激光定位技术是通过采用激光投影系统在模具上按 1:1 的比例显示铺层轮廓和轴线来实现铺层的精确定位。在制造过程中,将设计好的数模转换为制造生产所需的激光投影数据文件,输入激光投影设备供激光定位使用。如有必要,可将多个定位投影仪连接起来,以投影更大的图形或在同一区域投影更多的图形。激光定位技术的运用与传统模线样板定位技术相比减少了人力、物力的投入,降低了误差,提高了效率。目前,激光投影设备已在航空领域广泛应用,设备类型多种多样,但是工作原理相同,都是由控制台(计算机)、若干个激光定位投影仪和一系列工装定位靶标(光敏原件)组成。

LAP 激光定位投影仪体积小、重量轻(约 3kg),配有坚固的底座,可绕纵轴周围旋转,易于安装。对于较复杂的装配,可以附加一个标准模块化管道系统。

自动铺放设备

面对新一代先进飞机在机身、机翼等部位大面积应用复合材料的趋

势,为保证复合材料整体构件的质量稳定性和高制造效率,用于自动化铺放的自动铺带机与丝束铺放机得到快速发展,成为先进大型飞机制造的关键装备。

1 自动铺带设备

自动铺带技术是通过多坐标联动的自动铺带机将一定宽度(一般有 300mm、150mm、75mm 宽 3 种规格)的预浸料带,按照程序设定的路径,通过传送、切割、压实等功能,将预浸料带铺叠在模具上,制成复合材料预成型体。相比于手工铺叠,自动铺带在保证产品质量一致性,提高生产效率,降低制造成本等方面具有突出的优越性。

自动铺带主要适用于尺寸较大,曲率较为平缓的机翼、尾翼等翼面类结构。经过 40 多年的发展,自动铺带技术在欧美国家已经成熟,并大规模应用于航空复合材料结构件的制造,如波音 777 飞机机翼、水平和垂直安定面蒙皮,C-17 运输机的水平安定面蒙皮,波音 787 机翼蒙皮,A330 和 A340 水平安定面蒙皮,A340 尾翼蒙皮,A380 的机翼蒙皮和安定面蒙皮,A350 机翼蒙皮和中央翼盒,A400M 机翼蒙皮等。A400M 机翼大梁采用的是自动铺带加热隔



图1 A350XWB自动铺带

膜成型工艺。图1为A350XWB自动铺带设备。

目前,美国MAG Cincinnati公司、美国Ingersoll机床公司、西班牙M-Torres公司以及法国Forest-line公司等机床制造商均积极推出了各具优势的复合材料自动铺带设备。

西班牙M-Torres公司以通用的FANUC数控系统为平台,开发最大控制轴数为11的自动铺带数控系统Torreslayup,并采用了模块化设计技术,可根据用户需求进行配置。目前,M-Torres公司针对现有铺带机铺放效率仍显不足的现状研发多带平行铺放铺带系统,每条料带可单独控制,已用于A350机翼蒙皮的制造。

法国Forest-line公司以Siemens 840D为平台开发自动铺带控制系统,针对铺带机切割效率低的技术壁垒,研制了双工位铺带头以及相配套设备自动下料机。双工位铺带是指其中一个工位可直接用于切割铺放简单轮廓外形的料带,另一个工位可用于铺放复杂轮廓外形的料带(线外切割),这两个工位可根据制造构件外形的复杂程度交替使用。由于可在线外切割,在铺带头上只进行铺放,从而使得铺放效率大大提高。

空客南特配置了9台双工位铺

带机和6台下料机。日本三菱重工(MHI)从Forest-Line公司购置了4台双工位铺带机和2台下料机,用于波音787机翼上下蒙皮的制造。日本富士重工(FHI)也从Forest-Line公司购置了1台双工位铺带机和1台下料机,用于波音787复材翼盒的制造。

美国MAG Cincinnati公司采用开放式数控系统CM100开发自动铺带设备,研制了新一代的CHARGER系列铺带机,可实现高速和精密铺设功能,有助于加快工作流程,缩短建设时间,并降低成本。

20世纪80年代,自动铺带机主要用于军用航空复合材料构件的制造,而近年来,自动铺带机越来越多地应用于民用航空复合材料构件的制造,今后这种趋势还将继续。同时,为了适应不同种类的航空复合材料构件的需求,在加工能力方面对自动铺带设备提出了灵活性更强的要求。

目前国内各大主机厂以及航空院所只有几台铺带机,远不能满足未来一个时期飞机复材构件生产的需求。

2 丝束铺放设备

丝束铺放技术与自动铺带技术同样具有高效、低成本的特点,是专

为曲率较大的双曲面构件的铺叠而开发的技术。典型的丝束铺放技术是通过多坐标联动的铺放头将不同数量的预浸丝束(可适应3.2~25.4mm宽的预浸丝束)在压辊下集束成带,通过传送、加热、压实等功能,按照程序设定的路径铺叠在模具上。与自动铺带技术相比,丝束铺放技术的优点主要在于:每一条丝束独立控制,可以根据构件形状增减丝束根数以适应边界,并且可以适当控制纤维方向,对局部加厚、加筋、铺层递减、开口补强等复杂结构具有更强的适应性,因此该技术广泛应用于机身、进气道、翼身融合体、机翼大梁等大曲率复杂复材构件的制造,例如V-22倾转旋翼飞机的整体后机身,F-18上机身蒙皮和进气口蒙皮,A380的后机身蒙皮,波音787的机身段,以及A350XWB机翼前/后梁和机身段等都是采用丝束铺放技术制造的。

为适应航空飞机制造业这种实际发展需求,国外一些大型数控机床制造商,如M-Torres、MAG Cincinnati、Ingersoll和Forest-line等公司借助其在大型数控机床结构设计技术方面的优势,纷纷推出高铺放进给率的新一代大型高端丝束铺放机,其结构尺寸越来越趋向大型化。

西班牙M-Torres公司新推出的大型丝束铺放机床TORRESFIBERLAYUP,用于A350XWB机翼前/后梁和15段机身复材整体构件制造。

美国MAG Cincinnati公司生产了多种VIPER系列的丝束铺放机,机型已从VIPER1200、VIPER3000升级到VIPER6000,特别适合于高轮廓的结构如整流罩、机身部分、风机叶片、桅杆和“C”型梁等。波音787机身47段和48段,A350XWB机身蒙皮等都采用了VIPER 6000丝束铺放机。图2为MAG公司“VIPER”系列丝束铺放机。



图2 MAG公司丝束铺放机

Ingersoll 公司改变传统丝束铺放机床结构设计,推出了一种新概念的丝束铺放机床,取消了传统丝束铺放机床旋转芯轴驱动芯模转动的设计,这种结构可明显减少传统丝束铺放机尺寸,增强窄腔复材构件的铺放加工能力,并能显著减少设备车间占地面积。Googrich 公司准备应用这种新概念机床来进行 GENx 和波音 787 的 Trent 1000 发动机短舱复材内涵道支撑结构件的自动化生产。

法国科里奥利开发的纤维铺放技术依赖于标准的 polyarticulated 机器人的多关节机械手和一个复杂的创新纤维铺放系统(图 3)。工业机器人的柔性特点为丝束铺放设备同时适应复杂构件生产环境和研发环境铺放制造应用提供了有力支撑。



图3 法国科里奥利的机器人铺放机

法国 Forest-line 公司 2007 年推出的大型丝束铺放机床 FP ATLAS,主要用于大型飞机机身段复材构件和类似零件铺放制造。为兼顾高铺放生产率与制造构件复杂度,法国 Forest-line 公司在其所属的 Capdenac 工厂,配置了一台新研制的具有双铺放头的铺放机床,将铺带头和丝束铺放头集成在同一台机床上,形成一种自动铺带-丝束铺放混合铺放机床,这种混合铺放机床特别适用于复材构件研究开发、试制、试验和技术培训应用,同时也可用于实际复材构件铺放制造。

由于复合材料构件品种多、结构复杂,其加工既需要通用自动化设

备,也需要根据构件的形状和批量化要求进行定制专用设备。

目前,国内在工程化应用的丝束铺放装备方面还属于空白,严重阻碍了航空自动化制造技术的发展。

热压罐设备

预浸料-热压罐固化成型工艺是利用热压罐设备,通过升温、真空以及压力等工艺措施,使复合材料毛胚密实、固化形成复合材料制品的一种工艺方法。随着复材构件尺寸的不断增大,对热压罐尺寸和温度场均匀性的要求越来越高。国外已开发出超大尺寸的热压罐和先进的热压罐空气循环系统,可有效降低大尺寸复合材料构件成型过程中的温度差,降低单位重量复合材料构件的能耗,

且有利于保证复合材料构件的成型质量。

Ashida Mfg. Co. Ltd 和 Hiroshima Ryoju Engineering Co. Ltd 设计研发出全球最大的先进空气循环系统热压罐,该热压罐直径约 8m,长约 40m,重约 700t,可直接将约 30m 长的复材构件置入热压罐加压加热。三菱重工用这套热压罐系统为波音 787 生产复合材料机翼,满足了波音 787 的增产需求。

无损检测设备

随着复合材料在航空结构件上应用比例的不不断提高,为保障飞行安全,监控复合材料结构内部质量受到

越来越广泛的关注。目前,航空复合材料无损检测方法主要有超声检测、射线检测等。大飞机复合材料检测涉及到大面积的快速检测和复杂结构的检测,因此需要配置大型 C 扫描设备(图 4)和 X 光无损检测设备。

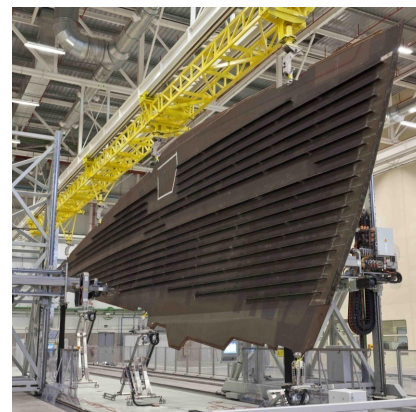


图4 大型超声C扫描设备

此外,美国德克萨斯州的 iPhoton 公司研发了一种全新的非接触式、非破坏性的激光超声系统,在飞机复合材料结构件中检测近表面缺陷。相比传统超声探伤,对于形状稍复杂的零件,激光超声探伤系统则突显优势。

结束语

复合材料作为现代先进飞机主体结构用材已是明显的发展趋势,复材整体构件已成为现代先进飞机的最主要特征。因此,采用数字化、自动化生产工艺和装备,是促进复合材料产品降低成本,并使其得到更广泛应用的必由之路。

但国内的现状是上述复材构件制造中所需要的数字化、自动化装备绝大部分依赖进口,尤其是用于大尺寸整体构件制造的自动铺带和丝束铺放设备。因此,国内有实力的大型数控机床制造企业应关注复合材料自动铺放技术的发展和应,抓住难得历史性发展时机,投入必要的人力和物力尽快研发国产大型自动铺带机和丝束铺放机床,以满足国内航空飞机制造业的实际迫切需要。

(责编 亦非)