

新机研制中的复合材料结构 装配关键技术

Key Assembly Technologies of Composite Structures in Developing New Aircraft

西北工业大学机电学院 曹增强



曹增强

博士,教授,博士生导师。1987年毕业于北京航空航天大学飞行器制造工程专业,获学士学位。1990年3月毕业于北航航空宇航制造工程专业,获硕士学位。2000年3月在西北工业大学航空宇航制造工程专业获博士学位。主要从事飞机装配与先进连接技术、复合材料结构制造技术、钣金成形工艺与模拟等方向的研究。目前主持总装十一五预研项目一项,负责某重点型号攻关项目一项,某型号重点预研项目一项。获国防科技进步奖一项,授权发明专利一项,实用新型专利二项。

复合材料的特点决定了其结构的装配连接难度大、技术要求高。与国外飞机制造公司相比,我国复合材料结构制造装配方面的基础差、技术水平低。随着复合材料在新机结构上应用比例的大幅度提高,复合材料结构装配连接方面存在的问题将更加突出,复合材料结构装配连接技术已成为新机研制的关键技术之一。

在我国已研制的飞机结构中,复合材料的用量均较少,即使使用了复合材料,也都基本用于非承力结构或次承力结构,大型主承力结构如复合材料机翼等的制造在我国还是空白。现在,我国新型飞机研制中复合材料的应用将出现飞跃式发展。新机研制中复合材料将用于主承力结构的制造(如复合材料机翼等),新机结构上的复材用量将大幅度提高,大型客机的复材用量将达整机材料用量的15%~23%。

与金属结构相比,复合材料由于具有层间强度低、抗冲击能力差等弱点,因此,复合材料的结构连接是其

应用的薄弱环节。复合材料的特点决定了其结构的装配连接难度大、技术要求高。与国外飞机制造公司相比,我国复合材料结构制造装配方面的基础差、技术水平低。随着复合材料在新机结构上应用比例的大幅度提高,复合材料结构装配连接方面存在的问题将更加突出,复合材料结构装配连接技术已成为我国新机研制的关键技术之一。

国外先进机型上复合材料的应用

国外飞机机体结构材料在经历了4个阶段的发展后,正跨入第5个

阶段,即以复合材料为主的阶段。从波音 787 开始,50%用量的复合材料已成为未来飞机制造的起点,飞机机体以复合材料为主的时代从此开始。继波音 787 之后,空客 A350 改进型 A350XWB 的复合材料用量已从原来的 37% 提高到 52%;波音 737 后继机和空客 A320 的后继机的复合材料用量也将高达 50% 左右,甚至可能逼近 60%;波音 787、A380 和 F35 等飞机采用复合材料机翼,取得明显的减重效果。A380 中央翼盒首先采用了复合材料和金属材料的混合结构,中央翼盒质量 8800kg,其中复合材料 5300kg,取得了减重 1500kg 的效果。

复合材料的广泛应用对制造技术提出了更高的要求,航空制造厂需要解决许多以前金属结构不曾遇到的新问题。为满足大型复合材料结构制造装配的需要,国外航空企业投入了大量人力和财力进行复合材料基础工艺的研究,制定了许多工艺规范,如 SSG 2006(1998-10)、MIL HDB K217F(2002-06)、BAC5063 等,确保制造过程中每一道工序的质量。为了满足复合材料结构装配的高标准要求,国外航空企业针对复合材料的特点研制了大型高精尖的自动化设备用于复材结构装配。美国 EI 公司为某军用运输机复合材料翼盒装配开发了五轴自动化制孔系统,满足了复合材料结构精确制孔及高效装配的需要;为满足波音 787 复合材料整体机身装配的需要,波音公司开发了以六轴机械手为核心的自动化装配系统;为满足波音 737 副翼装配,波音在澳大利亚的航空制造厂开发了机器人钻孔系统。严格的工艺过程控制和先进的装配设备为复合材料的广泛应用提供了保证。

国内飞机制造中复合材料的应用情况及存在的问题

我国复合材料的研究始于 20 世

纪 70 年代初。经过 30 多年的研究发展取得了较大进步。目前已形成了一支从设计、材料到制造配套的研发队伍,主机厂已具备了较完善的复合材料生产手段和车间,完成了相应的技术改造,各研究院所和相关高校也具备了一定的科研能力,并培养了大量的专业人才。复合材料在各种军、民机型号上已获得了实际应用。

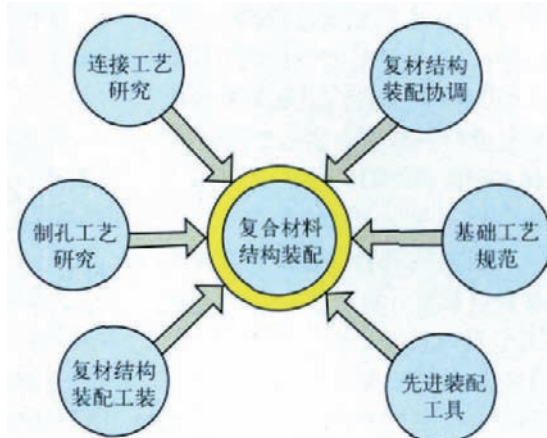
我国复合材料技术虽有一定的发展与进步,但与国外先进航空企业相比还有相当大的差距。国内复合材料的应用规模与水平,设计的理念、方法和手段,材料的基础和配套以及制造的工艺和设备均严重落后,其中应用落后最为明显。我国军机上复材用量最大还不到 10%,而国外军机的机翼 20 世纪 80 年代开始已复合材料化了,F35 复合材料用量已达 45%,我国至今尚无批量生产的复合材料机翼问世;最新研制的 ARJ21 新支线客机复合材料用量尚不足 2%。

在复合材料结构装配基础工艺研究方面,各主机厂为满足型号研制的需要已开展了一定的研究。如成都飞机公司、沈阳飞机公司为满足某型号复材尾翼的装配制造,在复材制孔和复材结构铆接方面开展了一定的研究,制定了一些工艺规范;北航、西飞等单位对复材结构的制孔也进行过一定的研究;北京航空制造工程研究所(625 所)在用于复合材料的钛合金紧固件研制方面也开展了大量研究,研制成功国产用于复材结构的干涉配合钛合金紧固件;为解决复材结构普通铆接难以解决的安装损伤问题,西北工业大学在复材结构的电磁铆接工艺研究方面也开展了大量研究,并取得一定进展。

目前我国的复合材

料开发和构件制造已具有较高水平,但在复合材料部件级制造方面和国外仍有很大差距,特别是大型复合材料机翼的制造装配在我国几乎还是空白。九五期间,沈阳飞机设计研究所(601 所)和沈飞公司曾承担原国防科工委预研项目,对复材整体油箱机翼制造进行过一定的研究,并在歼 8- II 上进行过试用;为满足新型战机研制的需要,2008 年,成都飞机设计研究所(611 所)、成飞公司等单位合作完成了某型机复材整体油箱机翼 1:1 试验件的制造,并完成了静力试验。在该项目中,北京航空材料研究院(621 所)和 625 所分别完成了上下复材壁板的制造,西工大进行了复材整体油箱机翼装配方案、制孔和协调准确度分析等方面的研究,成都飞机公司完成了机翼装配。该试验件的制造为新机研制中复合材料整体油箱机翼制造奠定了基础。

我国航空制造业通过转包生产和型号研制,攻克了复合材料零件模具设计与制造、热压罐成型、模压成型和真空袋成型等关键技术,基本掌握了复合材料零件制造工艺技术,也积累了尾翼类部件制造的经验。我国目前已能制造复合材料机翼整体壁板,但国内飞机整体件成型技术应用的工程化程度较低,缺乏复合材料整体件装配协调技术应用工艺实践的机会,大型复合材料整体件装配协调技术的研究几乎还没有开展。国



复合材料结构装配连接的关键技术

内已制造的复合材料尾翼类部件,装配时多采用传统金属结构的装配协调工艺方法,其装配工艺、质量与国外同类部件相比存在较大差距。

新机研制中复合材料结构制造装配的关键技术

我国新机研制中复合材料的用量将大幅度提高。大型客机将广泛采用复合材料结构,包括后机身含球面框、部分舱门等机身结构,中央翼盒、外翼翼盒和机翼活动面等机翼结构,水平安定面、升降舵、垂直安定面和方向舵等尾翼结构,翼身整流罩、尾翼整流罩和襟翼支臂整流罩等整流结构等。军用飞机也将采用复合材料机翼结构。

由于我国大型客机研制将采用全球供应商模式,并且主要采用成熟材料,加之我国在复合材料结构件成型方面已有一定基础,所以,在新机复合材料结构制造过程中,大型整体件装配将成为复合材料在飞机上应用的薄弱环节。由于复合材料不像金属结构那样可以挫修以及数控加工,加之固化过程中材料厚度的变化,使飞机复合材料大型部件的制造中装配协调成为非常突出的问题。因此,在大型复材结构制造装配过程中必须充分重视装配协调问题,否则,由于不协调导致强迫装配甚至部件报废的情况将不可避免。为此,在掌握复合材料零件制造工艺技术的同时,必须尽快研究复合材料结构装配协调技术,特别是复合材料部件的装配协调技术。我们需要不断摸索大型复合材料结构的装配工艺流程,掌握装配协调中的关键技术,为大飞机的研制。

我国新机研制中将采用新型复合材料以及复合材料部件结构,新机的飞行寿命将会更长。结合我国航空主机厂目前的实际情况,我国新机研制过程中需要解决的关键技术包括:基础工艺规范编制、先进的连接

工艺研究、复材结构装配协调技术、先进装配工具以及复材结构装配工艺研制。

1 复合材料结构装配制造基础工艺规范

相对于金属结构,复合材料结构的质量保证更为复杂。国外经验表明,全面系统的工艺规范是保证复材结构制造质量的关键。针对复合材料发展的趋势以及国外先进飞机复合材料的应用特点,我国新机研制中将采用新型复合材料。我国航空主机厂对 T300 系列复合材料结构的装配制造有一定的研究基础,也有相应的工艺规范,但这些工艺规范并不适合新型复合材料结构。因此,针对新机研制中将采用的新型复合材料的特点制定相应工艺规范是新型复合材料应用的前提。这些规范要覆盖零件制造、加工、装配和检验全过程中的每一个环节。

2 复合材料结构先进连接技术

在复合材料结构装配过程中,机械连接仍将是主要连接方法,包括铆接和螺接,而螺接包括普通螺栓连接和高锁螺栓、环槽钉等特种紧固件连接。复合材料结构连接一直是复合材料应用中的薄弱环节,制约着复合材料的广泛应用。我国目前在已有飞机型号的研制中,复合材料结构连接的问题还没有得到很好地解决,制造过程中的复合材料结构连接质量不高,铆接过程中往往还出现结构损伤。为保证新机长寿命、高可靠的质量要求,必须采用先进的连接工艺和方法。

金属结构的干涉配合连接能成倍提高金属结构寿命,已成为最主要的强化工艺方法。复合材料结构的干涉配合连接国内外已有多年研究历史,但我国目前飞机制造一般还是采用间隙配合。新机研制中干涉配合连接技术的应用将有效地提高结构强度和寿命。

电磁铆接是一种冲击距离为零

的冲击加载,代替普通铆接可以减轻对结构的冲击损伤。因此,在复材结构装配中采用电磁铆接可以提高连接质量。但一项新工艺的应用需要系统的工艺研究,新型复材结构的电磁铆接工艺研究是新机研制中不可缺少的工作。

3 复合材料翼面结构自动化装配技术

国外先进飞机复合材料结构制造中已广泛应用自动化装配技术,它对保证装配质量和提高装配效率起到了很好的作用。我国新机研制中,为满足复材结构的装配质量,必须采用自动化装配技术。在复材结构自动化装配技术研究中,可针对复合材料翼面结构部件自动化装配进行研究,包括自动化精确制孔、自动化铆接等。

4 大型复合材料整体结构装配工装研制

复合材料部件的整体结构尺寸大,装配难度大。装配过程中结构的变形、装夹定位质量等问题都需要摸索。另外,复合材料的性能特点也决定了大型复合材料整体件的搬运、上架等必须采用专用工装。在大型复材结构装配过程中,必须针对复合材料整体结构尺寸和重量大以及复合材料要求高的特点,研制满足复合材料结构要求的工装,开发机械化壁板上架系统,保证壁板上架的安全和定位可靠。

结束语

复合材料在我国新型号飞机制造中将充当重要角色。目前我国航空企业在复合材料结构制造,特别是在复合材料结构装配方面的软硬件环境还远不能满足新机研制的需要。因此,航空科研院所和主机厂需要通力合作,针对新机研制中的新型复合材料在大型复材部件装配技术、先进连接技术的应用等方面进行研究和攻关。

(责编 玉龙)