

# 大飞机复合材料结构制造和检测技术

Manufacturing and Testing Technology for Composite Structure of Large Aircraft

北京航空制造工程研究所 程文礼 梁宪珠 邱启艳 赵 龙 曹正华

超混杂复合材料技术在国内还处于研发阶段,若要用于大飞机的制造上应从多方面着手,合理避开产权侵犯风险。热塑性复合材料目前在大飞机上的用量较少,专利不多,这就给国内有了原创的机会,有关院所可以根据实际情况抓紧攻关,尽早形成自己的专利。

复合材料在飞机上的用量和应用部位已成为衡量飞机结构先进性的重要指标之一。图1为复合材料在大飞机上的应用状况,从中可以看出复合材料在大飞机上的应用与日俱增。其中A380、波音787以及A350的表现尤为引人注目。以787为例,复合材料用量已经占据了50%。当前,复合材料制造技术已成为各国研发的热点,其中共固化整体成型技术、液体成型技术、自动化制造技术及检测技术是先进复合材料发展的基本技术保障。

此次分析的数据来源为美国(www.uspto.gov)、欧洲(ep.espacenet.com)和中国(www.sipo.gov.cn)的3个专利数据库,检索于2008年1月9~11日进行(注:2006年和2007年取得的专利可能还没有进入数据库)。为保证数据全面准确,首先确定了大飞机复合材料

结构制造和检测的关键技术,此次分析将关键技术分为8个部分:胶接/共固化整体成型技术、缝合整体成型技术、液体成型技术、自动铺放技术、复合材料成型模具技术、复合材料构件无损检测技术、超混杂复合材料技术及热塑性复合材料构件制造技术。然后根据关键技术确定检索词进行

检索,最后筛选得到266篇相关专利,以下分析将以这些专利为基础。

## 大飞机复合材料制造技术发展概况

### 1 制造技术专利现状及发展趋势分析

大飞机复合材料结构制造和检

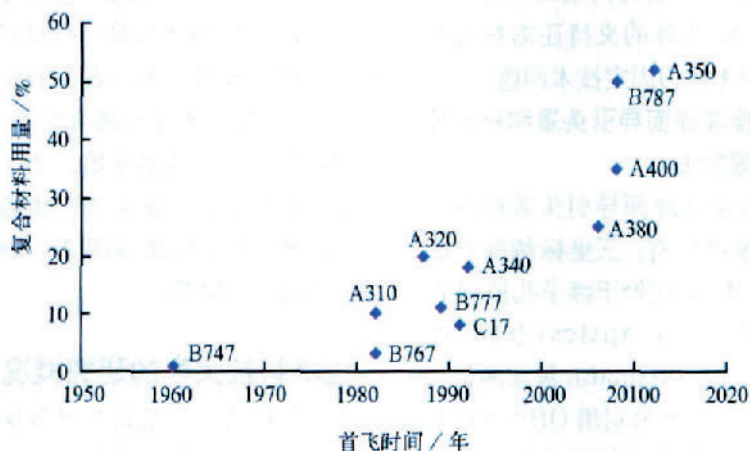


图1 大飞机复合材料用量示意图

测相关技术专利文献在 90 年代之前的变化不大,申请量也较少,但 90 年代后期,数量迅速增加,这说明随着复合材料在大飞机上用量的增加,技术要求也越来越高,各国对技术的保护意识也越来越强。

目前,在大飞机复合材料结构制造和检测技术的相关专利中,美国占 59%,欧洲占 19%,中国占 2%,其他如日本、加拿大、澳大利亚等大飞机制造商的合作伙伴占 18%。

美国大飞机复合材料制造技术的专利文献数量一直处于领先地位,90 年代后的增长速度更是迅速,同时日本和欧洲各国的专利近几年也呈现增长趋势,而国内大飞机的研制工作刚刚开始,许多技术正处于摸索阶段,还没有形成专利体系。

另外,通过 IPC 国际专利分类号来分析专利的类别,IPC 分类号为 B29C 的专利最多, B32B、B64C 和 G01N 其次,其他的较少。根据 IPC 号的分类说明,如表 1 所示,复合材料的胶接 / 共固化整体成型,缝合整体成型、液体成型、自动铺放等技术属于 B29C;超混杂复合材料及蜂窝夹层共交接结构等属 B32B 类;无损检测技术属 G01N 类。

另外,根据所分析的相关专利中,同族专利 1125 篇,其中 47 篇在中国申请,其他多数为欧美、日本等国的同族专利。说明在查询日之前,国外大飞机制造厂商知识产权的竞争主要还在欧美和日本等国之间。

## 2 专利技术的生命周期分析

专利技术生命周期分析包括申请人和发明人与专利申请时间和申请量的关系。2000 年后,大飞机复合材料制造技术的申请人数,发明人数显著增多,申请数量增多,这说明复合材料制造领域的人才正迅速增加,专利技术越来越新,复合材料制造技术已进入飞速成长期。

## 3 主要竞争对手研发实力及整体专利部署情况分析

表1 主要IPC号及相关技术领域

IPC 号	技术领域
B29C	塑料的成形或连接、塑性状态物质的一般成形、已成形产品的后处理
B32B	层状产品,即由扁平的或非扁平的薄层,例如泡沫状的、蜂窝状的薄层构成的产品
B64C	飞机、直升飞机类
G01N	借助于测定材料的化学或物理性质来测试分析材料

我国大飞机制造厂商的主要竞争对手是波音和空客,以及他们在世界各地的合作伙伴,如美国 Vought、Hexcel 公司,欧洲各国的航空公业、日本的三菱重工、富士重工等公司也掌握着许多复合材料制造的先进技术。此外,还有许多专业技术公司也掌握着先进的技术和设备。波音、空客、洛克希德·马丁公司的专利较多,其中波音公司的专利几乎占整个大飞机复合材料结构制造与检测技术专利的 40%。

图 2 为主要专利权人专利申请历年分布,可以看出,波音公司在七八十年代就有了大飞机复合材料制造技术方面的专利,90 年代末以来,增长更加迅速,专利也比其他公司多,空客、欧洲宇航防务集团 (EADS) 和洛克希德·马丁公司在 2000 年后也出现相关专利,说明复合材料制造技术已经得到各个公司的重视,这与复合材料的先进性能以及各国对知识产权保护意识的增强是分不开的。

## 大飞机复合材料结构制造和检测相关技术分析

图 3 为大飞机复合材料结构制造和检测技术中各个相关技术的发展趋势,可以看出胶接 / 共固化整体成型技术、自动铺放技术和缝合技术七八十年代就有相关专利,最近几年增长较快,其他各类技术的专利均在 80 年代末 90 年代初出现,并呈波浪势逐年增长,2000 年后的增长速度较快,热塑性复合材料专利技术近几

年才出现,而且相关专利文献较少。下面将从专利技术水平、发展概况及我国在该领域的技术现状进行分析,并初步提出相关建议。

### 1 胶接 / 共固化整体成型技术

胶接 / 共固化技术可用于连接不同材料、不同厚度、二层或多层结构,其结构重量轻,密封性能好,抗声振和颤振的性能突出,能大量减少零件、紧固件数目,从而实现复合材料结构从设计到制造一体化成型,在大飞机上的应用前途广泛,是整体化制造的关键技术之一。国外复合材料胶接 / 共固化整体成型技术从 70 年代开始就有相关专利,最近几年申请的专利更多,技术也越来越先进,其中美国最多,主要以波音公司为主,欧洲以空客为主,日本的富士重工也有相关专利文献,主要应用于共固化整体成型加筋壁板、机身结构,发动机整流罩,蜂窝夹层结构等,一些专利技术中还阐述了许多目前正在运用的先进制造技术,比如自动生成桁条技术、模具技术、封装方法、组合定位、形位控制等,这些技术对我国大飞机复合材料技术的开发具有很高的借鉴价值。还有一些专利技术基本覆盖了我们目前的技术,属于高风险专利,在大飞机设计和制造上应予以避免。另外,也有很多专利从技术方面看仅是个结构概念,比如一些关于加筋壁板结构的专利,在设计和结构上均有很多可以改进和替换的地方,对这些专利的改进,应用以及形成自己的专利还需根据实际情况进一步研究。从整个专利的分析结果

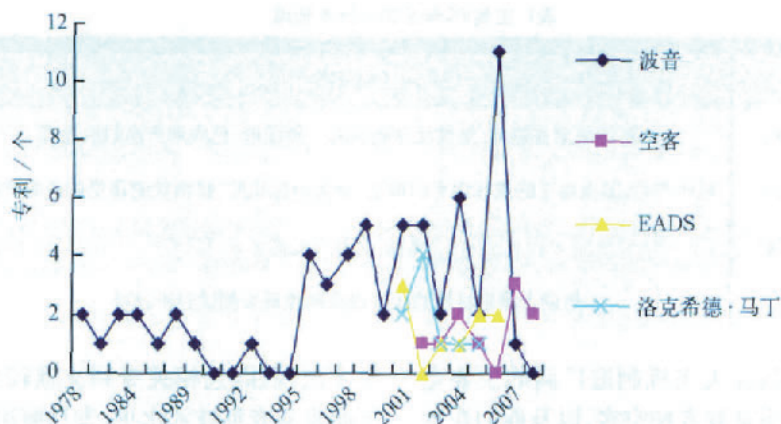


图2 主要专利权人专利申请历年分布

看,国内还没有关于自主知识产权的飞机构件胶接/共固化整体成型技术的专利,虽然一些技术在国内一些型号上已经展开应用,且与国外一些专利技术水平相当,比如北京航空制造工程研究所的加筋壁板共固化成型技术、蜂窝夹层结构共胶接整体成型技术,相对国外一些专利的技术水平已有过之,应尽快形成自己的专利,并加以保护。

## 2 液体成型技术

复合材料液体模塑成型技术(Liquid Composite Molding, LCM)是指将液态聚合物注入铺有纤维预成型体的闭合模腔中,或加热熔化预先放入模腔内的树脂膜,液态聚合物在流动充模的同时完成树脂/纤维的浸润并经固化成型为制品的一类制备技术,树脂传递模塑(Resin Transfer Molding, RTM)和树脂膜渗透成型工艺(Resin Film Infusion, RFI)是最常见的LCM技术。液体成型技术是先进复合材料低成本制备技术的主要发展方向之一。目前在大飞机上的应用较多的是横梁、桁条等,另外,A380的机翼后缘、后压力隔框也采用了RFI技术制造。液体成型技术的专利仍然以欧美为主,波音和联合技术公司的专利较多,主要涉及注射设备和模具技术,有价值的专利一般在最近十几年内。通过对一些专利技术的解读

发现,目前北京航空制造工程研究所的模具技术,特别是树脂流道的设计已超越了一些专利技术,为液体成形转移过程中树脂的流动提供了保障。国内用于大飞机制造的液体成型技术的专利几乎没有,但一些院所正在力赶国外先进技术,目前国内已购买了高温RTM注射成形机,而流道技术又可以通过改进其形成树脂临时通道的方法形成新的专利,北京航空制造工程研究所的真空辅助成型(Vacuum Assisted Resin Infusion, VARI)技术已超过国外某些类似专利技术,正在申报国防专利,该所还拥有各种用于液体成型的环氧树脂体系,并将结合VARI工艺在ARJ21飞机上应用。

## 3 缝合整体成型技术

缝合技术是采用缝纫对增强纤维

物叠层块(预制件)沿厚度方向用纤维增强。可以大幅度提高构件的层间强度,增加抗冲击损伤能力,从而进一步提高复合材料结构效率,降低结构重量。从目前的专利看,国内外均有一定的研究,但主要涉及概念和影响因素,在军机和航天上的应用较多。国外从80年代就出现相关专利,国内近几年才出现,有一些具有新颖性和借鉴价值的技术,比如有专利就提出了一种缝合点阵复合材料夹层板结构,还有关于缝线类型、走向、缝合密度、缝合张力等的专利,另外,还有一些关于整体缝合夹芯结构的专利。除缝合外,还有Z-pin增强技术,查询发现仅波音公司申请了一系列专利,包括Pin增强夹层结构和Pin增强层板。目前,北京航空制造工程研究所已完成锁式缝合、Tufting缝合、OSS缝合试验件的研究,并在此基础上,通过RTM、RFI和VARI工艺分别成形了各种结构的缝合典型试验件,并完成力学性能测试,完全可以根据缝合和其他成型方式的结合产生新的发明专利。Z-pin技术在国内处于试验阶段,还未在典型结构件上展开应用。

## 4 自动铺放技术

自动铺放技术是近30年来发展和广泛应用的自动化制造技术,包括自动铺带技术(Automated Tape Laying, ATL)和自动铺丝技

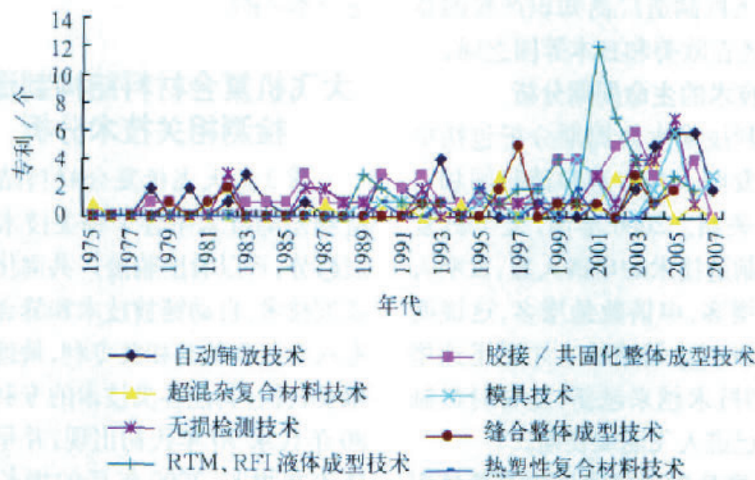


图3 各类技术的专利发展趋势

术 (Automated Fiber Placement, AFP)。这 2 项技术的共同优点是采用预浸料,并能实现自动化和数字化制造,高效高速,特别适用于大型复合材料结构件制造,尤其是大飞机的结构制造,如 A380 的安定面蒙皮和中央翼盒、787 的机翼蒙皮和机身等。自动铺放技术专利主要针对设备和铺放控制问题,波音等公司在预浸丝束的分散,传递,多头铺放技术,铺放过程中的控制,计算机辅助模型等问题上均有相关专利;设备方面的专利以 Cincinnati Machine, Ingersoll 公司为主,国内南京航空航天大学在抽纱、铺放及丝束切割技术上也有相关专利。

#### 5 复合材料成型模具技术

复合材料成型模具技术贯穿于复合材料制造的各种技术中,在大飞机上应用的专利仍以国外为主,有一些具有很高的借鉴价值,如有介绍气囊成型复合材料薄壁结构控制拐角质量方法的专利;有介绍阴、阳模成型技术解决拐角缺料的方法;有介绍用来制造回转体的水溶性模具的专利,还有介绍成型复合材料大型构件连接分段芯模的工具和多模块叠合模具,其中也有不少技术水平与目前国内技术水平相当,如某专利的加筋壁板定位所用工装模具技术在国内就有类似。模具随成型工艺的变化较大,根据不同的工艺技术合理改变模具的设计和制造方法,可以达到即借鉴国外先进技术又防范产权侵犯的效果,另外开发新材料,采用新技术也是一种避开专利地雷的好方法。

#### 6 复合材料构件无损检测技术

复合材料构件无损检测技术的专利主要是针对复合材料结构的检测系统、方法与设备,这部分专利以波音公司的专利为主。用于大飞机复合材料检测的主要是超声无损检测法,涉及到大面积的快速检测和复杂结构的检测,主要还是超声检测

法。目前,北京航空制造工程研究所的反射法超声检测系统已经用于复合材料构件的检测,另外,还研制出电子散斑干涉测量仪,大型构件超声 C 扫描技术和复杂形状构件的检测技术正在研究中。

#### 7 超混杂复合材料技术

超混杂复合材料即金属-纤维复合材料层板,目前用于大飞机的主要是 A380 机身蒙皮的 GLARE 层板(铝箔-玻璃纤维复合材料层板),其具有优良的抗拉-压疲劳性能,同时可以大大提高了缺口断裂性能。这部分专利属荷兰福克 (Fokker) 公司的较多,但大部分是概念性问题,不具有新颖性,个别具有参考价值的如介绍液态树脂在真空作用下浸润纤维-金属层板的方法,类似于 RTM 工艺。除了热固性树脂浸润纤维-金属片外,还有以热塑性树脂作为基体的金属-纤维层板,还有一些介绍钛合金-纤维增强复合材料层板制备方法的专利,超混杂复合材料层板技术国内正在研究中。

#### 8 热塑性复合材料构件制造技术

目前,热塑性复合材料构件在大飞机上的应用较少及制造技术的专利也不多。其中空客公司申请的专利有介绍热塑性复合材料飞机地板梁和蒙皮的制造,热塑性复合材料的焊接专利以波音公司为主,还有一些包括热塑性层板的制造以及蜂窝夹层结构胶接专利。国内目前在这方面的专利较少。

### 对我国大飞机复合材料制造与检测技术发展的建议

由七八十年代至今国外所发表的专利,几乎涵盖了复合材料制造与检测的各种技术,美国以波音公司为主,又占据了大部分专利,他们经过多年的技术积累,在复合材料制造技术方面已经有了较为先进和完整的专利体系,有些重要的核心专利,专利权利人在其即将到期时又重新申请,

以延续其知识产权的保护,在这种情况下,后来者的创新难度较大,但是前人富有成效的工作和创新思路,又会给后来者莫大的启示,使之有可能在前人工作的基础上,开发和发展自己的知识产权。目前大飞机的研制刚刚起步,在研制时应密切关注国外的技术动向。因此,借鉴、改进、创新是拥有自己关键技术的根本。

从大飞机复合材料的制造和检测各项技术看,胶接/共固化整体成型技术是目前复合材料整体化制造的关键技术,包括加筋壁板的整体成型技术,共胶接蜂窝夹层结构技术,这些技术的专利体系比较完整,而国内又没有申请,在大飞机的研制时,应谨慎小心,积极吸收国外技术,将其逐步转变为自己的技术,并形成大量专利。

缝合、液体成型技术包括缝合技术和液体成形技术,这些技术的变化具有多样性,完全可以根据材料体系和设计方式合理避开国外专利的干扰,形成自己的技术。

自动铺放技术包括设备,控制等问题,目前,设备可以通过联合开发或引进国外技术来实现,控制技术及数字化制造技术还需进一步摸索,一旦成熟即可形成自己的专利并加以保护。

模具技术包括模具材料和模具的设计,开发新工艺、新材料、新模具应成为研制过程中模具技术的主题。无损检测技术最主要的是检测设备的制造及检测方法的建立,应该将自主创新和引进先进技术结合起来,避开产权侵犯。

超混杂复合材料技术在国内还处于研发阶段,若要用于大飞机的制造上应从多方面着手,合理避开产权侵犯风险。热塑性复合材料目前在大飞机上的用量较少,专利不多,这就给国内有了原创的机会,有关院所可以根据实际情况抓紧攻关,尽早形成自己的专利。(责编 微凉)