

# A350 XWB机翼开发上的创新

Innovation of Wing Development on A350 XWB

中国航空工业发展研究中心 陈亚莉



陈亚莉

中国航空工业发展研究中心研究员。长期从事航空材料情报研究工作。曾先后荣获先进国防科技情报工作者、“九五”、“十五”军用航空预研三等功等奖励。

A350XWB 目前已从总体布局冻结阶段进入与供应商联合开发的阶段,普遍认为机翼是该机的关键。综合来看, A350XWB 的机翼有三大特色: (1) 先进的机翼外形设计代表了未来的方向; (2) 卓越中心(CoE) 负责制下的设计制造成为从金属向复合材料转变的分水岭; (3) 生产组

A350XWB 目前已从总体布局冻结阶段进入与供应商联合开发的阶段,普遍认为机翼是该机的关键。综合来看, A350XWB 的机翼有三大特色: 先进的机翼外形设计代表了未来的方向; 卓越中心(CoE) 负责制下的设计制造成为从金属向复合材料转变的分水岭; 生产组织管理由分散转向统一, 是革命性的突破, 可避免 A380 出现过的麻烦。

织管理由分散转向统一, 是革命性的突破, 可避免 A380 出现过的麻烦。

## 先进的机翼外形设计

A350 的机翼有“王冠上的珍珠”之称, 是单通道客机机翼中最大的复合材料机翼, 面积达到  $442\text{m}^2$ , 翼展  $64\text{m}$ , 比 A330、A340 大  $3\text{m}$ ; 目前翼展最大的飞机是波音 777-200LR/300ER, 比 A350 大  $0.7\text{m}$ , 但面积小于 A350; A350 的后掠角比 A330/A340 大  $3^\circ$ , 达到  $35^\circ$ , 可使巡航速度与 A380 相当, 达到  $\text{M}0.87$ 。

A350XWB 机翼具有独特的气动外形设计, 可根据风洞试验对飞机外形进行气动修正, 机翼的气动扰流片由 7 个代替 6 个。机翼的外侧后

缘襟翼是高升力系统, 为 A380 式的机翼前缘装置, 可沿气流方向运动, 从而明显降低飞行阻力, 改善低速飞行性能和降低噪声, 这不仅是空气动力学上的突破, 也是油效上的革命。在此基础上优化的整体翼梢小翼以及可变弯度的特性又进一步提高了效率。由于低油耗使运行承包比现役飞机降低 25%, 因此 A350XWB 的机翼及高升力系统的设计指明了未来飞机提高效率的发展方向。

A350XWB 机翼的 80% 为复合材料, 选材是在 ATR 支线飞机以及 A400M 军用运输机基础上进行的。ATR 及 A400M 的复合材料机翼外翼上装有发动机吊挂, A350XWB 机翼上还安装了承受起落架的接头。

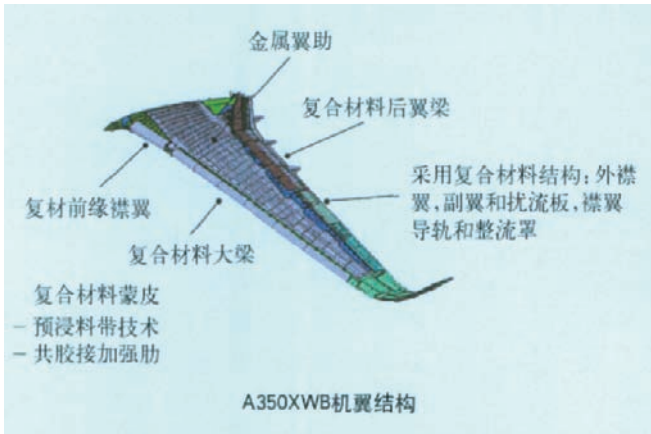
A350XB 吸收了 A380 大的平尾以及中央翼盒的选材经验,在机翼壁板厚度尺寸上还吸取了 A320、A330、A340 及 A380 的平尾壁板厚度经验,机翼表面要能承受登机梯的偶然冲击损伤。

A350XB 机翼上所有大结构件(蒙皮、桁条、梁)以及活动面均为复合材料,翼肋可能是铝或铝锂合金:32m 长的前缘 50% 为碳纤维复合材料。A350 的中央翼盒采用 A340-500/600 的结构布局,复合材料的应用则采用 A380 的模式。翼盒的十字形及 T 形接头采用 AA7010 铝合金,水平、垂直梁及主框架和起落架接头仍用 7150/7175 铝合金。

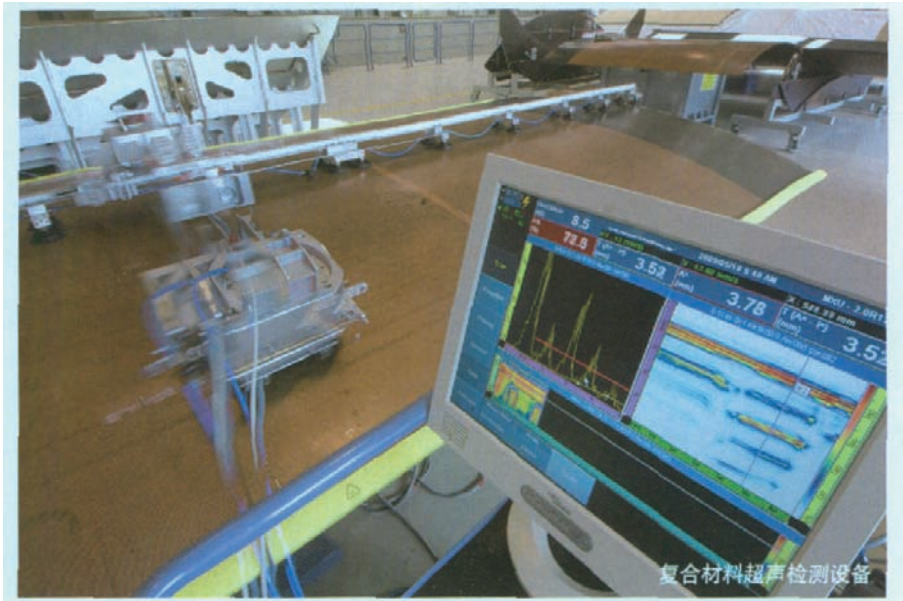
机翼独特的气动外形支承结构由机翼内部的独特型材对蒙皮伸屈而成。机翼为高度变截面,翼梢小翼的尺寸大。

### 金属向复合材料过渡的多元化模式

根据空客公司的内部规则,飞机研制采用 CoE 负责制,即将飞机构建按几大块由几个 CoE 来负责提供。CoE 是按能力及效率而不是人为的分工来组成工业化最佳解决方案的。



空客的机翼历来是由空客(英国)来负责设计、制造和装配的。机翼及发动机吊挂一般分给空客(英国)来负责。具体的执行单位是英国在北威尔士岛上的布劳顿和费尔顿 2 个工厂,前者为设计制造厂,后者为机



翼总装厂。该 CoE 不仅是欧洲,也是世界上有名的机翼研制基地,可与三菱重工相媲美,在历史上主要从事金属材料机翼的研制,在复合材料方面的投资很少,因此错失了 A350XB 复合材料的研制良机。但由于它是机翼方面的 CoE,因此仍由它来主导 A350XB 的机翼研制,并以此为分水岭,向复合材料机翼研制跨越。

鉴于目前的实际情况,布劳顿工厂将负责 A350XB 机翼翼盒的装配;费尔顿厂已卖给 GKN,因此机翼的研制分配给空客(德国)及空客(西班牙)这 2 个被公认为复合材料能力中心(CoC)的机构来完成,即由德国 Stade 处的工厂来负责机翼下翼面,由西班牙 Illescas 处的工厂来负责上翼面的研制,机翼的固定后缘及后梁由 GKN 在费尔顿工厂完成,固定前缘及前梁则外包给独立的斯匹里特航空系统公司来完成。

几大部件完成后,由位于不来梅的空客公司负责系统组装,然后交给布劳顿工厂装配,最后送到图鲁兹总

装。这样, A350XB 机翼的研制是在布劳顿的推动下,由空客(德国)、空客(西班牙)和 2 家一级航空结构供应商等参与的多元化生产结构来完成的。

其中,布劳顿工厂表示将进一步壮大自己以便迎接下一代窄机身飞机的复合材料机翼工作;空客(德国)和空客(西班牙)2 家专长于复合材料的公司有研制现代飞机尾翼的丰富经验,实力雄厚;GKN 则在 A400M 机翼研制上有成功经验,将负责机翼后梁的研制并计划收购费尔顿,成为全球有竞争力的复合材料中心,并兼具雄厚的人力物力;斯匹里特是目前最大的民机航空结构商,在机翼制造上有强大的实力,是空客选择航空结构供应商的首选对象之一。

总体来看, A350XB 机翼 CoE 及相关的架构制造商仍有雄厚的整体实力,以布劳顿工厂为例,有工人 6000 以上(包括 1400 名转包工),曾投入 7.7 亿欧元建成世界级的机翼装配中心,用于 A380 的机翼装配,使机翼生产周期成本降低 20%。为支持 A350XB 的机翼装配,工厂的制造功能包括桁条、机翼壁板、梁的切削加工,桁条及蒙皮成形,机翼壁板机器人钻孔、手工及自动装配。自动装配采用低压电磁铆接机,生产的

高附加值产品占 79%，A350 机翼制造周期及成本降低 30%。装配工艺将静止的立式装配改成脉动式及全卧式的装配，取消了型架。月装配目标是 10 ~ 13 架。布劳顿将在 2010 年初建成 58500m<sup>2</sup> 的装配厂房，用于 A350XWB 机翼装配，投资大约 4 亿欧元，空客(英国)将以 A350XWB 为切入点缩小在复合材料上的差距，为 A350XWB 做准备。

早在 20 世纪 80 年代后期，空客(西班牙)公司即收购了辛辛那提的第一代自动铺带机，用于 A320、A340、A330 水平尾翼的制造及其蒙皮、梁、桁条及肋组成整体结构，为此进行大力投资，配备大型结构件制造设施。

1988 年购买了平面及特型铺带机，其后增加 2 台，置于超现代化的厂房内，与手工铺层相比，效率提高 22 倍，目前该厂又增加了新一代 Charger 铺带机。

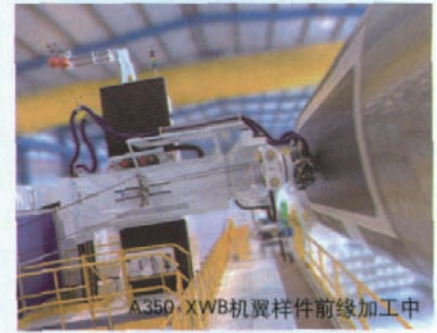
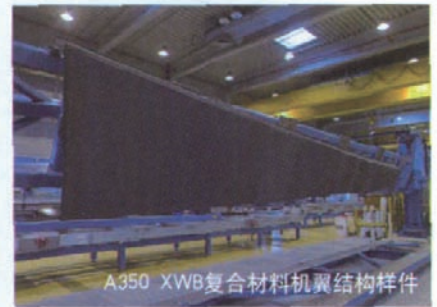
空客(德国)的情况大致与空客(西班牙)相当，最近又安装了 MTorreslayup 11 轴自动铺放机，用于 A350XWB 的机翼制造；GKN 公司也安装了 MTorres 自动铺带机。

### 从分散走向统一协调的管理

鉴于 A380 在研制成功后交货延期以及 Boeing787 试飞和交货延期的经验教训，A350XWB 的管理通过政策上的协调统一，正在改变以前作坊式工厂分散、不协调的弊病，主要采用了以下措施。

#### 1 数字化设计平台的建立

由于设计软件版本及数字样机的不统一，造成 A380 总体布局上的问题，影响了飞机的交货。在 A350XWB 上采用了单一的数字样机，由大约 850 人进行虚拟工程设计，24h 更换一次，保证对总体布局的控制，在空客公司各部门从工程、生产



到项目管理，采用 CatiaV5 软件与用户联络。

#### 2 重大铺层设备的统一配合

在 A380 研制时，各公司的机翼自动化铺层设备并不统一，这造成在不同设备上铺出的预浸带在生产时出现粘合时间不同的问题。目前对于 A350XWB，生产时从空客公司到供应商采取统一的、通用的基本设备，例如机翼的铺带机规定采用同一公司生产的设备，以西班牙 MTorres 公司生产的 MTorreslayup11 轴龙门式高速铺带机为例，该机为模块式结构，可根据用户需求采用 CNC 定做。该机可铺 75mm、150mm 及 300mm 的预浸带，用于 A350XWB 的机翼蒙皮、桁条及梁的制造，机器有超声切割刀，机头有缺陷检测装置，安装在费尔顿、德国 Stade 厂。

空客及欧洲合作者此前购买了 10 台自动铺带机用于 A320、A330、A340、A380 及 A400M 的生产，7 台 Charger 铺带机，用于机翼生产，包括桁条、梁、蒙皮以及尾翼蒙皮及平尾等，其重大改造项目见表 1。

此外，这种统一的设备还包括喷水切割设备、无损检测设备的统一。

为了加强对供应商的管理，空客采用了跨公司的软件，用标准的机

表1 A350XWB机翼技术改造重大项目

公司		生产项目	重大设施项目
空客(西班牙)	Illescas	机翼下翼面；专长复合材料自动化生产	已有一代辛辛那提铺层机 4 台，2 台为平面铺，2 台为特种型面铺层，可能新安装辛辛那提公司 69Charger 自动铺带机及相关切割、下料检测设备
	Gefat	水平尾翼装配及系统组装；复合材料设计、开发及制造	
	Purfo Real	升力面结构装配	
空客(德国)		上翼面、尾翼、扰流板	新一代自动铺带机，安装 MTorreslayup 11 轴高速、龙门式自动铺带机及其相关设备
布劳顿厂		机翼组装(100% 翼盒组装，20% 系统组装)	曾投资 7 亿欧元建装配厂房，2010 年初前拟投资 4 亿欧元建 58500m <sup>2</sup> 组装厂房
GKN		机翼后梁及固定后缘	已有 1 台 MTorres 铺带机及热隔膜成形机，政府资助投资 2.08 亿美元收购费尔顿厂，拟建全球有竞争力的复合材料机翼制造中心，投入 3~4 百万美元新建复合材料结构制造中心，并于 2010 年投产。该中心包括全自动导向车、五坐标 CNC 龙门切割机床、每小时铺 5 磅(2.25kg)的自动铺带机和激光扫描检测设备。

器、工夹具对供应商进行复合材料的共同训练。

值得一提的是,在A350XWB机翼的装配过程中,采用了新的装配设备。随着A350机翼后缘的引入,GKN公司正在改变已有的装配工艺,采用新的装配线,广泛使用移动式装配型架。机翼后缘将由内、中、外侧分装件组装而成,这些分装件将在专用机床及工作站中流动,仿照A380及Boeing787的总装模式,但又有新的发展。流动装配线采用全自动导引车(AGV)来移动型架,采用主动激光定位型架以及摄像/激光跟踪来检测型架是否正确。

A350机翼后缘工作站有五轴式CNC龙门切削机床,高18m、宽8m、长10m,可钻大尺寸孔和大量高精度孔。在中央及外侧分组件中,采用精度达0.2mm的CNC机械手,机械手配有复杂的钻头,在工作站轨道上运行。这些机械手可用来钻较小尺寸的孔,比龙门式机床的成本低。

激光扫描技术将用于分装件的组装,扫描头加上机械手将用来测定接头区,得到的结果将下载到工作站CNC机床,CNC程序将用来切削所需精度的连接条带。

### 3 强化技术验证的执行

为了降低新技术创新上的风险,A350XWB采用了技术验证件的工作模式,比较典型的为壁板式机身验证件(1段4m长的前机身,7m长的中机身以及19m长的后机身),该验



证件引入了 $\omega$ 截面的共固化段,目前正在德、法工厂内开展第二代整体筒形机身的验证,机翼盒形件也从第一个验证件发展到第二个。通过这2个大型验证件的验证,发现了在高度曲面以及水平翼盒组件采用自动铺放的必要性。供应商也深入到验证件的建立并从中获得知识,从而提升了能力,而按以往的工作方法,这是不可能实现的。

A350XWB机翼后梁的材料选择也是一个例子,后梁选择了赫氏公司的M21E/IMA预浸带,该预浸带碳纤维采用了与A380相同的T800纤维,树脂M21E是通过加入热塑性树脂而在损伤性能上得到改进的。所有工程材料都是多种因素平衡的结果,通过聚合物工程提高了结构韧性,但在处理复合材料切削上,刀具的性能还有待进一步提高。

### 4 不同层次CoE的建立

在空客公司的各分公司都建有CoE,如空客(德国)及空客(西班牙)都有自己被公认的CoE,这种中心也称复合材料能力中心(CoC),或称作复合材料开发中心。它不是单纯的复合材料研究机构,而是负责公司复合材料结构件从研发到入市的一个体现能力和效率的中心。例如

GKN公司建立了全球性的、有竞争能力的复合材料机翼结构设计制造中心,该中心在人才、行业协会支持以及政府资助方面具有优势,能承诺高技术的制造。

另外,英、德、法等国家还在建立更高级的工业CoE,以保持欧洲在下一代航空结构上的领先地位。该CoE将由法国的航空谷、英国的范堡罗联合体以及德国的汉斯航空合资兴建,满足未来设计、制造能力的需要,开发新的设施方法、低成本工装以及绿色处理技术。

### 5 公司内部机构之间透明度的增加

增加空客公司内部围绕空客系统的最佳技术、知识以及能力的透明度和共享有助于各公司开发自己的能力,这是从前的空客公司不曾有过的转变,因为当时的公司习惯于保护自己的知识产权。而现在空客(英国)可在空客(德国)及空客(西班牙)的协助下负责A350XWB机翼制造。

### 结束语

A350XWB机翼的设计制造是该机最大的亮点,是当今最先进的机翼之一,由于在气动力设计上的独创、CoE负责制的推行以及在管理上的创新加上有雄厚的技术改造实力,可以预料在今后生产中将可以顺利进行,避免不断延期的局面出现。(责编 淡蓝)

