



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。

空客公司认为, A350XWB 的选材少了一些教条主义,目的是充分发挥各种材料的优势。在结构材料中,复合材料的结构重量高达 53%、包括铝锂合金在内的铝合金占 19%、钛合金占 14%、钢占 6%、其他 8%。复合材料主要用于机翼蒙皮、桁条及翼肋,在机身上主要用作蒙皮、机身骨架、隔框及大梁,平尾及垂尾也由复合材料制成。A350XWB 的地板梁、翼肋及起落架舱门用铝及铝锂合金制造,钛则主要用作发动机吊挂、连接件以及起落架材料。

空客公司对 A350XWB 结构材料的选择在 2008 年底最终冻结,可以说基本格局已经确定。它是继 A380 以及波音 787 之后出台的,既借鉴了 A380 以及波音 787 选材的一些成功经验,又吸取了两者的一些教训。

总的说来,空客公司认为, A350XWB 的选材少了一些教条主义,目的是充分发挥各种材料的优势。在结构材料中,复合材料的结构重量高达 53%、包括铝锂合金在内的铝合金占 19%、钛合金占 14%、钢占 6%、其他 8%。复合材料主要用

于机翼蒙皮、桁条及翼肋,在机身上主要用作蒙皮、机身骨架、隔框及大梁,平尾及垂尾也由复合材料制成。A350XWB的地板梁、翼肋及起落架舱门用铝及铝锂合金制造,钛则主要用作发动机吊挂、加强件以及起落架材料。

选材特点

在波音及空客最新的两种大型民机中,复合材料的结构重量都在50%以上,都称为全复合材料飞机,不过空客在计划之初,机身选择了铝及铝锂合金,只是在用户的推动下,机身改成基本由复合材料制成。

A350XWB的选材有以下几个特点:

一是继承性。主要表现在充分利用了已有的成熟材料技术,A350XWB飞机复合材料结构重量从早期A300系列的5%增到53%。

二是创新性。主要表现在吸取了波音787的先进经验,如在机身上由铝及铝锂合金改为复合材料,但有自己的创新,表现在机身为3段、4板式结构。另外在电网络建立上与波音787完全不同。

三是对可维修性的高度重视,它的返厂维修的目标是10年,结构维修的目标是12年,因此在选材以及结构上均以此目标进行设计。

1 复合材料应用从5%到53%

本来在空客系列飞机上,复合材料应用的增长是按常规渐进方式增长的。1985年,复合材料在A310-300上占主承力结构的5%;随后1993年在A320上,复合材料上升到10%;随着A340-500/600的开发,由于双机腹大梁采用碳纤维复合材料,使该材料用量攀升到占12%。A380的重要一步,是该机的复合材料结构重量达到25%。其最重要的碳纤维复合材料构件是中央翼盒,重量为11t,而碳纤维复合材料就占4.5t。翼盒的某些肋条

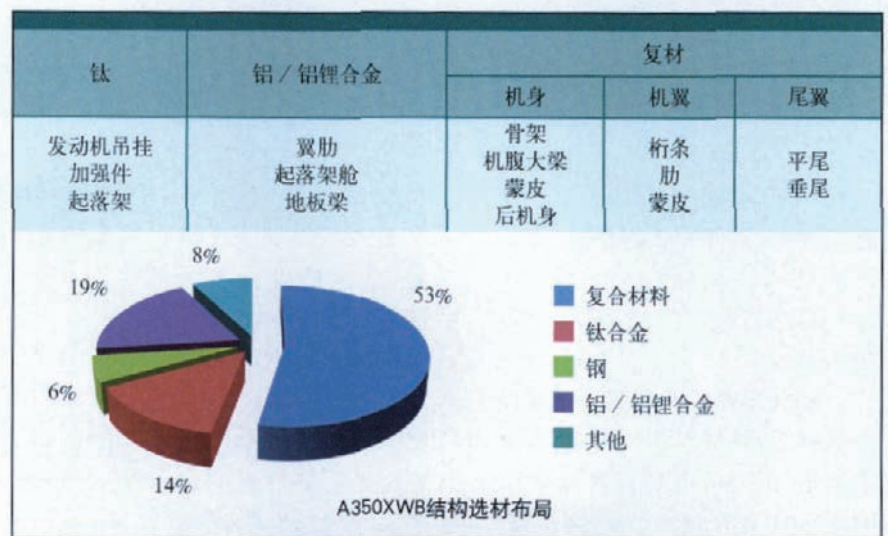
以及主翼梁是金属的,这种布局在A350XWB上得以再现。中央翼盒是整个机体的关键部分,因它承受大部分的弯曲、压缩、拉伸以及剪切应力,在起降时这些应力表现特别明显。在A350XWB上,中央翼盒采用了A340-500/600的结构形式以及A380的碳纤维复合材料方案。在金属的结构件中,高强度7010铝合金用于制造十字形及T形模锻件;水平及垂直大梁、主框架,主起落架接头件等用7075/7175铝合金,机翼上翼肋用铝锂合金;其他的结构件用碳纤维复合材料,结构的一些杆件也将用碳纤维复合材料并用RTM工艺制造。

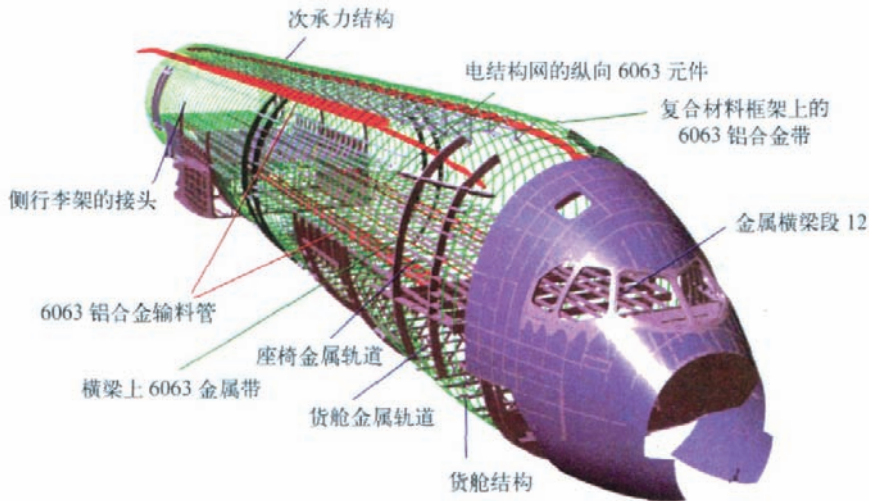
另外A350XWB还将采用其他一些项目的经验。例如在A400M军用运输机中,碳纤维复合材料应用得更多,机翼及货舱装卸板均为碳纤维复合材料。因此在空客一系列民机及军机A400M经验基础上,A350XWB由于不断地引入复合材料,使其占结构重量比例上升到了53%,并采用了RTM等低成本技术。因此A350XWB的选材是建立在成熟材料的基础之上的。对于A350XWB来说,大的选材格局已经完成,今后将进行细节设计。

2 应用多种创新技术

A350XWB不仅应用了公司积累下来的成熟技术,同时也有创新,例如机头部分经多次修改。关于尾锥的后部分,A350XWB发展了A380用过的方案。A380的后部锥体做成两个半硬壳并最后组装在一起,而A350XWB的尾锥则是整体硬壳结构(整体件),用纤维铺放法制成。该机身段是非增压段,所受疲劳应力小于客舱增压段的疲劳应力。在机身上部分,即由垂尾对隔框施加应力的地方,隔框以及接头件是金属制的,下隔框以及尾锥的增强框将用碳纤维复合材料。

A350XWB的中央翼盒具有A380的方案以及A340-500/600的结构布局,A350XWB的机腹大梁具有A340-500/600开发方案的特征;A350XWB的三种型别(A350-800/900/1000)中任何一个都没有采用为A340-600开发的起落架机腹支柱,而采用了双梁的方案,以免沿用起落架机腹支柱。A350XWB的长达14m的机腹框架比A340-500/600的简单,选择碳纤维增强复合材料作框架蒙皮、桁条及大梁,但机腹框架的横梁是用钛还是复合材料仍未决定。相反机身隔框将选用复合材料,但机身段连接处受力大的隔框及舱门框架则将用钛。客舱门





保证A350XWB等电位的原理图

将用碳纤维复合材料,而且是首次在民机客舱门上采用与货舱门一样的材料。

A350XWB选材中坚持高的性能标准,例如复合材料翼梁的选择上坚持选用三代增韧的M21E/IMA预浸料,M21E/IMA是T800/M21的改型,所用树脂是用热塑性树脂初化的,缺乏流动性,成形较困难,要求采用自动纤维铺放,而该结构的供应商GKN宇航公司不愿采用这一方案,而要用Cytec公司的977-2环氧树脂。A400M的梁就是用这种树脂作原料、采用热隔膜成形而成,GKN认为977-2也可满足A350XWB的要求,且工艺简单,并建议空客重新考虑,但空客坚持不改。这可能是由于空客考虑到波音787用的是3900-2树脂,也是三代增韧,要与波音看齐。当然,977-2树脂属于二代环氧,其性能不如M21。据报道,T800S/3900-2的冲击后压缩强度(CAI)达到315~345MPa,而IM7/977-2的CAI只有260~298MPa。

A350XWB机身原计划采用铝合金制造,只是在客户要求下,采用了波音787的全复合材料机身方案,但A350XWB仍有自己的创新,主要表现在坚持“壁板化”的方案,即

机身由前、中、后三段组成,每段由4块壁板与框架支承结构组成(见表1)。这种三段式布局的好处是可以避免在机身受力大的部位之间进行对接,从而减少了对接的复杂程度。而波音787的机身由6段筒体组成,机身各段之间的对接段数多,复杂程度高,从而增加了重量,每一对接段的增重达到80kg。而且筒体内还要另加钛合金隔框,用大型热压罐进行CFRP固化。

4块式壁板设计改善了铺层以及加强件的布局。易于加工制造。还可根据受力情况对结构进行优化。

A350XWB的另一创新点是提出多功能的机电一体化方案。即将电功能与复合材料结构的力学性能结合在一起,这一点胜过波音公司一筹。这是因为复合材料是不良导体,带来许多电学上的问题,如供电设备的电流回流问题、导线短路问题以及电磁屏蔽问题、雷击保护问题等。这些问题已成为全复合材料飞机的难点。目前波音公司采用的方案,是除了

在复合材料结构中引入金属结构之外,主要采用“全屏蔽”方案,后果是使飞机增重,仅电防护装置就增重达1吨。为了减重,只好减小中央翼盒梁的宽度,从而又带来了梁的屈曲,不得不重新设计。有鉴于此,空客则采用多功能电网络结构,抛弃了传统的铜网屏蔽方案而代之以铜带方案,用金属条带代替一般回流用的电缆,另外在靠近机载设备、座椅滑轨、复合材料框架等处安装金属型材及条带,这样做的效果是减轻屏蔽装置的重量,提高效率。空客公司已用6063铝合金条带做了模拟试验,取得良好效果,可保证设备电流的回流、导体的所有部位处于同一电位、雷击感生电流的引出等,保持电的连续性,实现与金属机身等同的电网络。

3 强调可维修性

A350XWB的机身壁板化除了设计上易于根据载荷情况进行优化、工艺简单等特点外,另一个显著优点是易于维修,遇有在机场碰撞受损时,可以对壁板进行更换而无需对整个机身进行更换,而整体式机身筒体的维修就复杂得多。

A350XWB在电网络上的多功能结构创新也正是为了减少因电偶腐蚀、导线短路失火以及雷击引起的维修。

A350XWB的返场维修目标定为10年,结构维修为12年,与波音787大致相同。除上述创新带来的

表1 A350XWB与波音787机身各段尺寸对比

A350XWB-900		波音 787-900		
长度/m		长度/m		
前机身	13	前机身	41段	13.741
			43段	7.010
中机身	18	中机身	44段	8.534
			46段	10.058
后机身	15	后机身	47段	6.934
			48段	9.626

维修上的好处外,空客公司还采用了其他一些措施,在选材上充分考虑到可维修性。

一是不盲目追求大型复合材料结构的一次固化,例如 A350XWB 的水平尾翼翼盒采用两段固化,即先与加强件固化,然后与蒙皮固化。而波音 787 的水平安定面翼盒长 20m,由 27 个模塑件将翼盒一次固化而成为世界上最大的复合材料构件,用来做静力试验,验证材料工艺水平。而空客的做法是吸取了 A330/340 和 A380 的经验。

二是简化选材及结构,例如 A350XWB 的机翼选材已确定,但翼肋是铝还是铝锂合金尚待评估,目的是获得更好的成本/质量平衡以及可维修性。又如 A350XWB 机翼的外翼加以简化,简化后只需一前一后两根梁,不用中央梁。

三是反复平衡,如 A350XWB 的机头原为铝,后仿波音 787 改为

复合材料结构件工程的半开放式外包

相对于波音 787 结构件工程的外包深度及广度,空客对 A350XWB 的外包算得上是从过去的保守转向开放,但这种开放只能说是半开放式的,这也反映了公司在开放上的谨慎及外包的难度。

波音 787 的结构件外包在 70% 以上,而 A350XWB 只有 50%。这两方面的原因,一方面是一些核心技术仍由公司内部来掌握,把非关键结构件的制造外包,例如后机身的顶部壁板(16/18 段)是双曲率结构,带有关键性技术性质,不打算外包,正像在 A380 研制时,复合材料核心技术都由空客南特厂来实施。

另一方面,外包的确可以实现风险共担的双赢局面,经过近两年的努力,空客公司建立了一个一级供应商网,工厂从 10 家减少到 5 家,把原来的

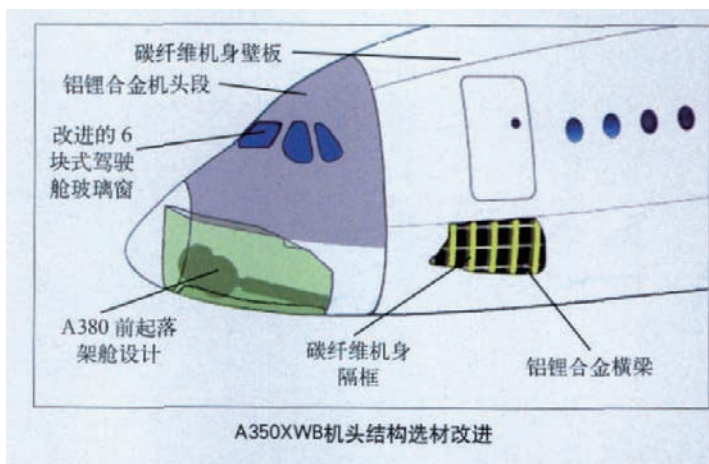
几个工厂出售给几个大结构供应商,由这些供应商来承担风险。有些供应商发挥了重要作用,如 GKN 公司投资 90 万英镑将原空客的费尔顿工厂从一个金属机翼制造中心改造成复合材料结构制造中心,承诺将该中心建成为与三菱重工复合材料机翼水平相匹配的中心,并承诺开发高度自动化设备,降低成本,从而减少复合材料手工铺层的份额。对于未能成功出售的几个厂,合并组成子公司参与 A350 的制造,子公司有两个,一个是法国的 Aerolia 及德国的 Aerotec,将来逐步使其成为一级结构供应商。另一家是 Spirit 航空系统公司,近日成为空

客的供应商网络。它是波音 787 的 6 大供应商中唯一没有延期交付的公司,已计划承担中机身上部壳体的制造,该壳体尺寸 19.71m × 5.96m,重 4078kg,为此公司投资 3 百万 ~ 4 百万美元,拟建立一个飞机复合材料制造中心,于 2010 年投产。这样空客及 EADS 不仅有了一家美元区的合作伙伴,而且由于空客在复合材料上缺乏实力,也很想引入日本的先进复合材料技术,但除了法、日在 T800S 碳纤维上的合作外,在复合材料结构制造技术上很难引入日本技术,因为日本的航空复合材料制造技术为波音公司独占,日本政府不鼓励日本航空结构制造公司出国办厂(越南是例外),虽然三菱重工也表示不愿只与波音一家合作,但由于种种原因,目前仍只服务于波音公司,空客也只能无奈。

总之,在 A350XWB 的复合材料构件外包生产时,大型构件的研发将向欧洲顶级供应商转移,而一些要求手工铺层的构件以及金属构件加工工作(大约 15%)则可能向劳动力成本低的地区转移。在这种新的机遇面前,空客有可能在新材料特别是复合材料结构制造技术方面上一个新的台阶。

当前全球性的金融危机也为 A350XWB 的结构供应商带来变数,有的供应商只愿意合作,但表示不承担经济风险,也就是要空客资助,有的如俄罗斯的经济遭受沉重打击,能否有财力承担工作份额也是一个未知数。

另外,当前波音在外包上遇到的麻烦,迫使公司将在外包上进行重大调整,估计对空客也将有重要影响。空客想利用波音 787 几次延期交付的机会赶上或提前入市,分析家认为, A350XWB 目前仍存在一些超重、进度、资金等问题,最早也得 2015 年入市,不仅无法提前,反而要比原计划推迟 2 年。(责编 侧卫)



复合材料,最后又仍改为铝合金,这是因为它的抗冲击性能比复合材料好。

综上所述, A350XWB 选材的基础是已有的经过验证的成熟技术,在此基础上吸取他人的先进选材经验,但不盲目趋同。有所创新,开发自己的新技术。目标是研发具有高性能、低成本、可维修性好的飞机。从中不难看出现代大型客机的选材方向。

制造中心改造成复合材料结构制造中心,承诺将该中心建成为与三菱重工复合材料机翼水平相匹配的中心,并承诺开发高度自动化设备,降低成本,从而减少复合材料手工铺层的份额。对于未能成功出售的几个厂,合并组成子公司参与 A350 的制造,子公司有两个,一个是法国的 Aerolia 及德国的 Aerotec,将来逐步使其成为一级结构供应商。另一家是 Spirit 航空系统公司,近日成为空