

复合材料在民机应用中 有关适航问题的探讨

Airworthiness Issues of Composite Applied in Civil Aircraft

中航工业北京航空材料研究院 李宏运



李宏运

中航工业北京航空材料研究院自然科学研究员、副总工程师,中国航空学会青年工作委员会委员,中国复合材料学会工艺技术委员会委员。长期从事先进树脂基复合材料及制造技术研究,曾参加过国家自然科学基金重大项目、国家 973 项目、预研和型号等多项科研课题研究,获得部级科技进步二等奖 3 项。

先进复合材料已经大量应用于民用飞机结构中,空客 A380 飞机复合材料用量占飞机结构重量的 24% (不含 GLARE 层板),波音 787 飞机复合材料用量占飞机结构

对民机适航审定和取证中涉及材料和复合材料的有关内容进行了介绍,对美国与复合材料应用相关的适航审查技术要求和程序要求及其发展演变趋势进行了综述,以期为我国复合材料在大飞机上应用的适航思路提供借鉴。

重量的 50%,空客正在研制的 A350 超宽体客机复合材料用量提高到了 52%,在通用航空领域许多小飞机的复合材料用量更高,甚至达到了结构重量的 90% 以上,可以看出复合材料的应用已经成为民用飞机实现其先进性、经济性和舒适性的重要技术途径之一。然而,由于复合材料和传统的金属材料相比,其材料和应用的成熟度较低,如何保证复合材料在民机上应用的安全性,如何满足民用飞机的适航性要求,已经成为各国航空适航管理当局、航空工业、飞机设计与制造企业及复合材料供应商非常关注的问题,近 20 多年来随着复合材料用量的逐步增大,美国联邦航空管理局 (FAA)、运输部和工业部门组织了大量的研究,在这些研究工作基础上,形成了与复合材料和结构相关的咨询通报、政策声明、技术报告

及工业标准、方法和手册等文件体系,进一步明确了复合材料在民机上应用的适航审查技术要求和程序要求,推荐了可满足适航审查要求的工作指南。这些文件对美国复合材料在民机上的应用起到了关键的作用,欧洲也部分采用了美国的这些成果,对相关适航审查文件进行了修订。尽管这些成果仍在不断地完善和推广应用,但它们代表了发展的方向。

我国的大飞机项目已经启动,由于我国在民用飞机研制方面基础薄弱,除在技术上存在较大挑战之外,如何通过适航审查 (尤其是国际适航审查) 并获得相关适航证,从而突破美欧在大飞机领域的垄断和壁垒也是我国发展大飞机必须面对的重大问题,尽管我国民航总局 (CAAC) 采用的民机适航体系和标准与美国

的基本相同,但正如刘大响院士所讲“虽然我们清楚飞机符合什么标准才能进入民航领域进行经营性飞行直至退役,但我们不清楚这些标准是通过何种试验、如何制订出来的,进而也不清楚如何才能设计、制造出符合适航标准的民用飞机”。我国的大飞机正在开展初步的设计和研制方案论证,据了解其复合材料的用量可能占结构重量的20%~50%,那么,如何设计和制造出符合适航标准的复合材料结构则更具挑战性。尽管这一问题受到了国内高度关注,但在民机适航审定和取证过程及方法中仍存在一些模糊或混淆的概念,对复合材料应用中的与适航审定和取证相关的技术要求和程序要求了解较少,因而,到目前为止我国尚未形成解决复合材料应用中适航问题的规划、计划及指导性文件体系。

本文对民机适航审定和取证中涉及材料和复合材料的有关内容进行了介绍,对美国与复合材料应用相关的适航审查技术要求和程序要求及其发展演变趋势进行了综述,以期为我国复合材料在大飞机上应用的适航思路提供借鉴。

适航管理和“材料取证”

适航性是指航空器适合在空中飞行的性质或性能,只有满足适航性要求的航空器材才允许使用和飞行。适航管理由各国政府的适航当局负责,适航当局负责适航管理体系(如适航规章和标准等工作)的制定、航空器适航符合性审定和监督等工作,适航管理的范围涵盖航空器的设计、生产和使用的全寿命周期。我国的适航管理体系基本与美国的相同,即在航空产品设计和发展阶段对适航符合性审定后,发放型号合格证(Type Certification, TC);在产品生产阶段,对航空器制造厂的生产适航符合性进行审定后,发放生产许可证(Production Certification,

PC);在产品使用和服役阶段,对注册的民用航空器进行适航符合性审查后,发放适航证(Certification of Airworthiness, CoA)。美国适航规章 FAR21(中国 CCAR21)部给出了上述合格证的审定办法和程序。

航空器设计、生产和使用单位向适航当局提出航空器 TC、PC 或 CoA 申请并接受适航当局的取证,显然,申请人所获得的合格证所针对的对象是航空器,但是我们经常会在一些国内文献中看到“材料取证”或“复合材料取证”等词语,也经常听到“复合材料等新材料必须首先取证后才能用于民用飞机”、“国外材料已经完成适航取证并在民机上使用,我国大飞机研制时可以直接选用,国内材料一般未完成适航取证,不能在大飞机上直接选用”的观点。事实上,适航当局主要负责 TC、PC 和 CoA 三大类适航证书的审定和颁发,不会对某个材料进行所谓的“适航审定”,更不会给某家公司的材料颁发“适航合格证”。“材料取证”的说法一种出处可能是来自于对国外文献中“Material Qualification”的误译,另一种出处可能来自国外某家材料供应商展示的其材料在某飞机应用的“证书”。

复合材料在民机上应用的适航要求及实施途径和方法

由上节分析可知,对于一个新的飞机型号,设计者首先要向适航当局申请适航型号合格证(TC),适航当局负责对申请人的型号设计和发展进行全面的适航符合性审定,审定的依据为适航当局颁发的飞机适航标准,美国 FAA 的适航标准和中国 CAAC 的适航标准完全一致: FAR25 (CCAR25) 部为运输类飞机适航标准,一般指大飞机; FAR23 (CCAR23) 部为正常类、实用类、特技类和通勤类飞机适航标准,一般为通用航空用飞机或小飞机等;

FAR27 和 FAR29 (CCAR27 和 CCAR29) 部为旋翼类飞机适航标准,一般指直升机。这些适航标准对飞机各系统给出了全面系统的适航要求,但为了便于执行,适航当局会根据具体的系统和单元制定相应的咨询通报(AC)和政策声明,以提供可满足适航标准要求的实施途径和方法,TC 申请人必须按照上述要求制定完善的设计、分析和试验计划和方案,在适航当局相关机构的审批和见证下完成这些工作,并提供能够满足适航标准和相关要求的全部证据,提交适航当局进行审定。

材料的相关适航要求主要体现在 FAR25.603 和 FAR25.613(FAR23.603 和 FAR23.613) 节中,随着复合材料在民机上的应用和发展,美国于 1978 年 7 月 10 日颁布了咨询通报 AC20-107“复合材料结构”,这是一份指导性文件,该文件在符合 FAA 有关原则的前提下,对复合材料飞机结构制定了一个可以接受但不是唯一的验证方法,该方法类似于今天被普遍接受和使用的复合材料结构积木式验证方法。该文件适用于 FAR23、25、27 和 29 涉及的所有航空器的复合材料结构。1984 年 4 月 25 日 FAA 颁布了新版本的咨询通报 AC20-107A,对其中的某些方面作了重要的修改和完善。此后,此文件成为制定满足适航要求的复合材料结构设计、分析和试验方法的依据。另外,1989 年 FAA 颁发了咨询通报 AC21-26“复合材料结构制造质量控制”,从而构成了比较完整的适航技术要求和质量控制要求。

在实际操作层面,TC 申请人首先要按适航要求选用已有的型号材料规范或起草新的材料规范(该规范常被称为用户材料规范),在对供应商材料进行筛选的基础上,按 FAR25.603 和 FAR25.613(FAR23.603 和 FAR23.613)、AC20-107A 和

A C21-26 的要求编制对供应商材料进行“Qualification”的计划，“Qualification”是 TC 申请人为满足适航审查需要所制定和实施的。对材料全面性能进行多批次取样试验和验证的活动，其目的是确定材料性能的变异性(或稳定性)、获得具有一定置信度和破坏概率的材料许用值和设计值以及材料性能可接受的极限值。

从上述活动的内容和目的来看“Qualification”应该译为“合格性鉴定”(简称为“鉴定”)。鉴定计划应报适航当局相关机构审批，并在适航当局相关机构见证下由 TC 申请人负责执行，计划执行结束后，TC 申请人负责冻结最终的材料规范状态和相应的复合材料及结构制造工艺规范，并将所有文件和数据整理报适航当局有关机构进行适航符合性审查。审查通过后，TC 申请人会将该供应商列入其合格供应商目录或向供应商颁发合格供应商证书或产品鉴定合格证书。所谓的“材料取证”实际上是由 TC 申请人组织的“材料鉴定”，材料供应商手中的“证书”实际上是由 TC 申请人颁发的合格供应商证书或产品鉴定合格证书。

由于材料鉴定由 TC 申请人负责进行，因此实施过程形成的数据库、材料规范和工艺规范等知识产权一般归 TC 申请人所有，TC 申请人一般不愿将这些数据和知识与其他航空型号设计和制造商共享。

对材料供应商来讲，在进入材料鉴定计划之前，应冻结树脂的配方和预浸料的工艺，形成完整的过程控制文件(PCD)，其中包括原材料控制、树脂工艺和性能控制、预浸料工艺和性能控制或相应的产品规范和工艺规范(这些规范一般称为供应商规范)，这部分的知识产权一般也归供应商所有，TC 申请人在必要时可引用这些规范以保证材料的可追溯性，适航当局在进行适航符合性审查时

有权利检查这些文件。国外传统的复合材料鉴定基本流程如图 1 所示。

到目前为止，国外复合材料在民用飞机上的应用基本上都采用了上述鉴定方法和流程。在这种模式下，如果 A 材料通过了甲 TC 申请人的鉴定并在该公司航空器上得到了应用，并打算在乙 TC 申请人的型号上应用，为了满足适航审查，乙 TC 申请人必须进行同样的材料鉴定工作，图 2 表示了这种各不同 TC 申请人独立进行数据测试和鉴定的模式。这也就是为什么国外在民机上已经应用的材料，不能直接被我国大飞机直接选用的原因，从这方面讲，国外和国内材料在我国大飞机上应用所需进行的材料鉴定和结构验证工作量是完全相同的。

尽管上述这种模式可以满足适航当局对 TC 申请人进行适航审定的要求，但每个 TC 申请人都必须单独对材料进行鉴定、形成独立的不能共享的数据库和规范，其他 TC 申请

人即使使用同一种材料也必须重复材料鉴定工作，这就造成了经费的浪费和时间的耽误，这一点对波音和空客这样的大公司可能不算什么，但对于从事 FAR23 部所涵盖的小型航空器设计和制造公司来讲，这些浪费几乎是不可接受的，因此，复合材料鉴定模式的改变首先是从 FAR23 部涵盖的航空器领域开始的。

满足 FAR23 部要求的复合材料鉴定、等同和数据库共享方法

从 1994 年开始在 NASA、FAA 和美国 70 家企业、学术机构和政府机构组织开展了 AGATE(Advanced General Aviation Technology Experiments) 项目，目的是在满足 FAR23、A C20-107 A 和 A C21-26 要求的前提下，发展一种通用的复合材料鉴定和性能等同判断方法和规则，建立共享的数据库，大幅度降低材料鉴定的成本和时间，加快通用

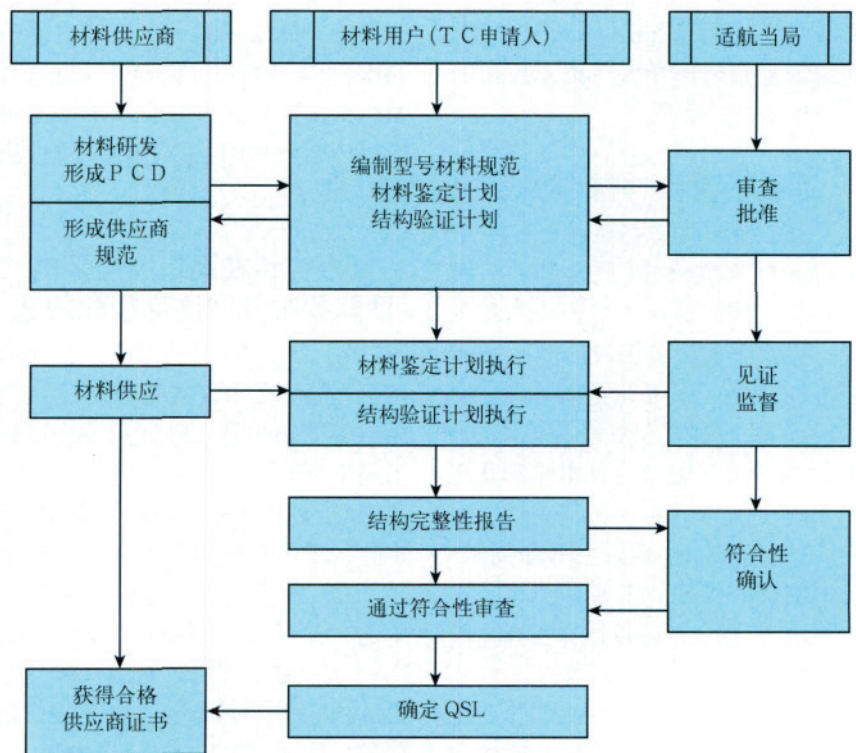


图1 国外复合材料鉴定基本流程

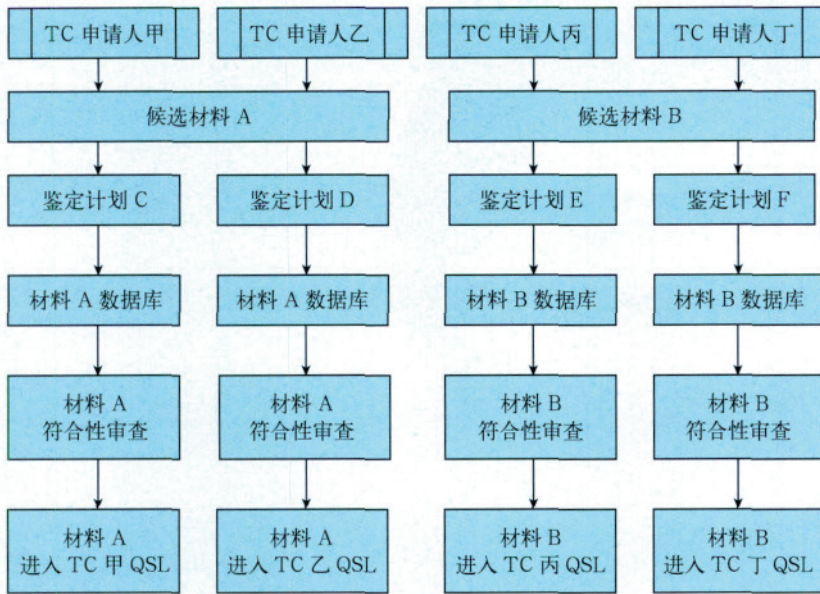


图2 不同TC申请人独立进行材料鉴定的模式

飞机设计、发展进程和适航审定。在2001年4月AGATE计划结束时形成了一套完善的方法,并由FAA出版了DOT/FAA/AR-00/47(2003年修改完善后改为DOT/FAA/AR-03/19)“聚合物基复合材料体系的材料鉴定和等同”的技术文件,之后AGATE作为这一方法和共享数据库运营者为许多材料供应商和航空器设计者提供了服务。2003年FAA小飞机理事会将“聚合物基复合材料体系的材料鉴定和等同”作为政策声明出版发表。

2005年NASA的技术人员认识到AGATE的方法应该从通用航空领域推广到整个航空行业,于是建立了一个永久性机构(National Center for Advanced Materials Performance, NCAMP),与CMH-17一起来继续优化这些方法,并致力于这些方法的发展和运用,同时也成为共享数据库的运行维护者和服务提供者。

为了形成共享的标准化的行业材料规范和工艺规范,FAA还制定出版了预浸料和复合材料规范及工艺规范编制指南,这些指南包括:

(1) DOT/FAA/AR-02/109“碳纤维/环氧单项预浸料材料规范的推荐编制标准和指南”;

(2) DOT/FAA/AR-02/110“纤维增强聚合物基复合材料工艺规范、指令和控制文件的编制”;

(3) DOT/FAA/AR-06/10“碳纤维/环氧织物预浸料材料规范的推荐编制标准和指南”;

(4) DOT/FAA/AR-06/25“液体成型碳纤维复合材料材料和工艺推荐编制标准和初级指南”。

尽管目前这些方法尚未在FAR25部涵盖的运输机类飞机上应用,但随着NASA、FAA和有关工业部门的努力,可望未来在大飞机领域得到应用,从而降低成本,加快研制与适航审定的进度。

结束语

本文对民机适航审定和取证中涉及的复合材料的相关技术要求、程序要求、实施途径和方法及其发展演变趋势进行了综述,希望对我国复合材料在大飞机上的应用和适航审定具有一定的借鉴作用。

(责编 岩石)



FISCHER PRECISE 集团 精密高速主轴的专家

永远领先一步

活跃在世界范围的FISCHER PRECISE集团为航空航天、模具制造、精密微量切削、印刷电路板、医学和汽车工业领域提供研发、生产和销售等方面的专业化及客户化的系统方案。

系列主轴特性如下:

- 同步电机、异步电机驱动主轴;
- 陶瓷球轴承、静压轴承、空气轴承;
- 主轴功率范围0.3 kW至100 kW;
- 主轴转速至200 000 r/min;
- 多种夹刀方式如HSK、刀柄直接夹持、筒夹、磨杆等。

飞速主轴技术(上海)有限公司
上海市闵行区双柏路888号5栋
邮编:201108
T: 021 6434 8150
F: 021 6434 8155
fpsc@fischerprecise.cn

专业的主轴维护与维修中心
展开全方位
的对外服务

www.fischerprecise.ch

www.precise.de