

# 民用航空材料适航审定

## Airworthiness Certification of Civil Aviation Materials

沈小明<sup>1</sup>, 陈 挺<sup>2</sup>, 张迎春<sup>2</sup>

(1 中国民用航空 适航审定中心, 北京 100102; 2 中国民用航空 上海航空器适航审定中心, 上海 200335)

SHEN Xiao-ming<sup>1</sup>, CHEN Ting<sup>2</sup>, ZHANG Ying-chun<sup>2</sup>

(1 Airworthiness Certification Center of CAAC, Beijing 100102, China;

2 Shanghai Aircraft Airworthiness Certification Center of CAAC, Shanghai 200335, China)

**摘要:** 以适航规章研究为基础, 结合民用航空器适航审定的经验, 分析适航规章对材料的适航条款, 总结出对材料的核心适航要求是: 材料应符合某种材料规范, 材料规范保证材料具有设计资料所采用的强度性能和其他性能。分析国内民用航空材料适航管理方法, 提出改进建议: (1) 依据 CCAR 21. 351 至 371 条和 CCAR 37 的有关规定, 对民用航空材料开展单独适航管理; (2) 研究并推广基于统计的材料规范制定方法, 用于建立能够保证材料具有设计资料所采用的强度性能和其他性能的材料规范; (3) 建立民用航空材料协作机制, 基于统计建立民用航空材料设计值手册, 降低适航取证成本。最后给出材料规范建立过程中可采用的统计方法, 为材料规范的建立提供了技术方法。

**关键词:** 民用航空; 适航审定; 材料规范; 统计

**doi:** 10. 11868/j. issn. 1001-4381. 2017. 001084

**中图分类号:** V250 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381(2017)11-0139-04

**Abstract:** Based on years of airworthiness regulations research, combined with the experience of airworthiness certification of civil aviation products, the airworthiness requirement to materials for civil aviation products was analyzed. The key airworthiness requirement for materials is that materials should conform to some material specification to ensure their having the strength and other properties adopted in the design data. The shortcomings of domestic airworthiness management methods for civil aviation materials was discussed and three recommendations for improvement were proposed: (1) conduct individual airworthiness management for civil aviation materials according to CCAR 21. 351 through 371 and CCAR 37; (2) develop and promote statistical-based material specification developing methods, to establish material specifications which could ensure material having the strength and other properties adopted in the design data; (3) establish a cooperation mechanism for developing material design value data base for civil aviation materials to reduce the cost of airworthiness certification activities. At the end of this paper, statistical methods used for establishing material specifications were discussed.

**Key words:** civil aviation; airworthiness certification; material specification; statistics

材料是构成民用航空器的物质基础, 材料本身具备的性能属性以及设计中对材料的合理运用将对民用航空器的安全产生直接影响。在适航审定领域, 适航规章均对材料直接提出适航要求, 以保障民用航空器安全。

近年来, 中国民航适航审定工作者基于 ARJ 21-700 飞机、C919 飞机、蛟龙 600 飞机等航空产品的新材料、国产材料适航审定工作, 结合对国外飞机产品的认可适航审定经验, 并通过国内外航空器制造商、航空材料制造商的调查研究, 深入思考民用航空器适航规章关于材料适航要求的内涵, 探索国内民用航空材料

适航管理的方式。本文解析了材料相关适航条款的核心要求, 展望了可能适用于国内产业现状的民用航空材料适航管理方式, 说明了民用航空材料表明适航符合性主要的统计学方法。

### 1 民用航空材料的适航规章要求

#### 1.1 规章条款

中国民航 (CAAC) 关于民用航空器的适航规章 CCAR 23, CCAR 25, CCAR 27, CCAR 29 第 603 条款

要求<sup>[1-4]</sup>：

其损坏可能对安全性有不利影响的零件所用材料的适用性和耐久性必须满足下列要求：

(a)建立在经验或实验的基础上；

(b)符合经批准的标准,保证这些材料具有设计资料中采用的强度和其他性能；

(c)考虑服役中预期的环境条件,如温度和湿度的影响。

CCAR 33 第 33.15 条款<sup>[5]</sup>、CCAR 35 第 35.17 条款<sup>[6]</sup>有类似要求。

## 1.2 适航规章对材料的核心适航要求

通过适航审定工作和技术调研,认为关于材料的核心适航要求是第 603 条中(b)款。进一步解读为:材料应符合某种材料规范,材料规范应具备保证材料具有设计资料所采用的强度和其他性能的功能。

航空器设计资料使用基于统计且满足一定概率要求的材料强度性能和其他性能。静强度方面,设计所用的材料强度设计值:

(1)应基于足够样本的统计确定:1)对于单载荷路径,材料强度值应有 99% 的概率高于材料设计值(置信度 95%);2)对于多载荷路径,材料强度值应有 90% 的概率高于材料设计值(置信度 95%)。

(2)或者,在“精选”的基础上采用较高的某项强度设计值,但必须在使用前对每一零件的该项强度值进行测试实现“精选”。

(3)或者,使用经适航部门批准其他材料设计值,如 S 值<sup>[7]</sup>。S 值是基于较少样本的假设正态分布 1% 概率对应值。

疲劳评定方面,采用基于疲劳分散性统计得到的寿命分散系数的疲劳实验和/或基于统计的材料疲劳强度的疲劳分析;损伤容限评定方面,需采用基于统计得到的材料断裂韧度数据最小值<sup>[8]</sup>和平均裂纹扩展速率。

因此,应基于统计建立材料规范。只有基于统计建立的材料规范,才能保证材料具有设计资料所采用的满足一定概率要求的材料强度和其他性能。

## 2 民用航空材料的国内外适航管理方法

### 2.1 国外局方对民用航空材料的适航管理

(1)通过行业材料规范和行业材料性能手册,进行间接适航管理

1)金属材料方面,美国联邦航空局(FAA)的 AC 25.613-1 和欧洲航空安全局(EASA)的 AMC 25.613

都指出:公布于 MMPDS 手册中的材料设计值是可接受的<sup>[9]</sup>。根据 MMPDS 要求,材料应符合 MMPDS 所列出的材料规范<sup>[8]</sup>,才能采用 MMPDS 手册中数据。因此,MMPDS 所列出的材料规范也直接被接受为 2x.603 条款的符合性证据。MMPDS 手册中的数据和信息、所引用的 AMS 材料规范都已经按标准的制定程序得到评估和批准,FAA 和 EASA 不再对其进行直接审查,主要基于第三方监控和质量保证体系保障。

2)复合材料方面,FAA 接受 NCAMP 建立的复合材料行业规范作为 2x.603 条款的证据,接受 NCAMP 建立的复合材料设计值作为表明对 2x.613 条款的证据<sup>[10]</sup>。NCAMP 关于建立复合材料规范和设计值的方法已经落实了 FAA 所发布的关于复合材料鉴定、材料规范和工艺规范建立方法指导材料<sup>[11-14]</sup>的指导意见。

(2)对于根据民用航空器具体需求建立的用户材料规范,FAA 和 EASA 在适航审查中对该用户材料规范及其建立过程进行直接审查。

FAA 和 EASA 采用的民用航空材料适航管理方法,以长期的技术积累和社会诚信体系为基础,保证了民用航空器的安全,减少了适航审查中评估和批准材料规范、材料性能数据的工作,还显著降低了适航审定的成本,也为材料供应商和用户树立了一套有序的材料开发、生产和应用机制。

### 2.2 CAAC 对民用航空材料的适航管理

目前,CAAC 对民用航空材料的适航管理方式为:(1)不单独对民用航空材料开展适航审查和颁证,随民用航空器的适航审定进行直接审查。(2)对于 FAA 和 EASA 直接接受的 MMPDS 及其所列的行业材料规范,在适航审定实践中,在说明适用性的前提下,接受申请人选用 MMPDS 中的材料设计值及对应的行业材料规范作为符合性证据。(3)对于选用国内行业材料规范及相应的材料设计值,需表明这些行业规范建立过程中是否基于统计的方法、用于材料规范建立的材料生产是否处于稳定,以确认国内行业手册中材料设计值满足适航的要求。(4)对于根据民用航空器具体需求建立的用户材料规范,CAAC 在民用航空器的适航审查中对该用户材料规范及其建立过程进行直接审查。

现有的 CAAC 对民用航空材料适航管理模式使得国内民用航空材料适航审定直接介入材料规范建立、材料设计值建立,范围大、程度深,加大了型号申请人和适航审定部门的成本;国内缺少可直接接受的行业材料规范和材料设计值手册,适航审定的成果局限

在民用航空器的各个申请人,共享性差,限制了工作效率;国产材料符合国外行业规范的技术难度巨大,限制了性能优异但又有别于国外材料的优秀国产材料的使用,对国内航空材料产业发展的促进作用有限。

### 2.3 对国内民用航空材料适航管理的思考

为促进国内民用航空材料适航管理的发展,借鉴国外经验并考虑国内航空材料产业的发展现状,作者认为可以开展三方面工作:(1)适航管理上,适航审定部门依据 CCAR21.351~371 条和 CCAR 37 的有关规定,对国产民用航空材料开展直接审查,逐步形成一系列民用航空材料的技术标准规定,可直接作为 2x.603,33.15,35.17 条款的证据;(2)合作机制上,适航审定部门和国内材料生产和使用部门加强合作形成机制,成立充分理解适航规章要求和技术方法的联合团队,在基于统计建立材料规范的基础上,基于统计建立满足 2x.613 条款的材料设计值公共数据,作为共享数据资源,减少适航成本;(3)技术方法上,首先应突破基于统计的材料规范制定方法,形成指导材料,用于指导国内材料规范的制定,使材料规范具有保证材料具有设计资料所采用的强度和其他性能的功能。

## 3 基于统计的材料规范

通常材料规范中包含三方面的技术要求:(1)直接影响材料性能/功能的材料生产工艺要求;(2)直接影响材料性能/功能的材料组成和组织结构;(3)能够实现材料性能全面控制的代表性的材料性能项目<sup>[7,15]</sup>。前文指出基于统计建立的材料规范才能保证材料具有设计资料中所采用的强度和其他性能。在此,讨论确定材料规范中材料性能技术要求的统计方法。

### 3.1 材料规范建立统计方法探讨

确定材料规范中材料性能技术要求的统计方法,主要解决三方面的问题:(1)选择并确定列在材料规范中的性能项目,保证设计所使用的性能都得到有效控制;(2)确定材料性能的接收限,使得被控制的材料性能能够足够高概率(99%)地达到设计将使用的性能;(3)材料规格的划分。

列在材料规范中的性能项目的选择与确定:首先选择设计最主要使用的性能,如铝合金材料的拉伸性能。其他设计要使用的性能,应通过不同材料性能间的相关性分析来确定是否需要列在材料规范中。适用的统计方法有相关性统计分析、回归统计分析等。当统计分析结论认为材料性能之间密切相关,则可选择其中一项列在材料规范中;反之,均需列在材料规范中。在工程统计学领域,有相关性分析、回归分析的具

体统计方法以及样本要求、通过准则等具体指导,本文不详细展开。

材料性能接收限的确定:一般采用 1%拒收率确定材料性能接收限。分为几种情况:性能最低值接收限,为性能分布 1%概率对应值,如强度性能;性能最高值接收限,为性能分布 99%概率对应值,如高强度钢用于控制疲劳性能的强度值;性能最低和最高两边约束接收限,最低和最高值为性能分布上下各 0.5%概率对应值。统计材料性能接收限时,为充分考虑材料生产中可能的变异,需要样本来自于多个生产批次,一般不少于 3 炉。样本量较小时,采用假设正态分布的 1%概率点对应值(S 基值)作为材料性能最小值的接收限;在样本量积累足以计算得到 A 基准值时,材料规范中的材料性能接收限应该修正为 A 基准值,以保证更加可靠。复合材料规范中材料性能接收限的计算遵循 1%拒收率的原则,但因样本小(低于 30)、材料变异性稍大,统计方法有别于金属材料,可见参考文献[13,14]。

材料规格划分,需根据材料性能数据统计不同规格材料性能是否来自于同一母体。可采用的方法如:直接混合数据检验是否符合正态分布,符合则认为来自于同一母体,可以合并规格;对来自不同规格材料的性能数据进行 Anderson-Darling 检验,如通过则认为来自于同一母体,可以合并规格。

### 3.2 基于统计的材料生产过程控制

为奠定材料规范、材料设计值建立的统计基础,材料生产商需建立生产过程控制体系,实现材料的稳定生产。推荐在材料生产过程控制中采用统计过程控制(SPC)方法,即利用材料生产过程中和最终的检验数据对生产趋势进行监控和进行实时过程校正。统计过程控制的具体方法参见 AS9103 A<sup>[16]</sup>。

## 4 结束语

本文分析了相关规章对民用航空材料的核心适航要求:材料应符合某种材料规范,保证材料具有设计资料所采用的强度性能和其他性能。本文对比了民用航空材料国内外适航管理现状,提出了国内航空材料适航管理改进的建议:(1)依据 CCAR21.351 至 371 条和 CCAR 37 的有关规定,对民用航空材料开展单独适航管理;(2)研究并推广基于统计的材料规范制定方法,用于建立能够保证材料具有设计资料所采用的强度性能和其他性能的材料规范;(3)建立民用航空材料合作机制,基于统计建立民用航空材料设计值手册,降低适航成本。本文给出了材料规范建立确定性能项

## 目、性能接受限和规格划分的统计方法。

## 参考文献

- [1] 中国民用航空局. 正常类、实用类、特技类和通勤类飞机适航标准 (CCAR23-R3)[S]. 2005.
- [2] 中国民用航空局. 运输类飞机适航标准 (CCAR25-R4)[S]. 2011.
- [3] 中国民用航空局. 正常类旋翼航空器适航规定 (CCAR27-R1) [S]. 2002.
- [4] 中国民用航空局. 运输类旋翼航空器适航规定 (CCAR29-R1) [S]. 2001.
- [5] 中国民用航空局. 航空发动机适航规定 (CCAR33-R2)[S]. 2011.
- [6] 中国民用航空局. 螺旋桨适航标准 (CCAR-35)[S]. 1987.
- [7] SAE International. Editorial style manual for the preparation of aerospace material specifications metallic and process and non-metallic materials [S]. 2002.
- [8] Federal Aviation Administration. Metallic materials properties development and standardization (MMPDS) [Z]. 2012.
- [9] Federal Aviation Administration. Material strength properties and material design values (AC 25.613-1) [Z]. 2003.
- [10] Federal Aviation Administration. Acceptance of composite specifications and design values developed using the NCAMP process (Memorandum AIR100-2010-120-003) [Z]. 2010.
- [11] WARD S, McCARVILL W, TOMBLIN J. Guidelines and recommended criteria for the development of a material specification for carbon fiber/epoxy fabric prepregs (DOT/FAA/AR-06/10) [R]. Federal Aviation Administration, 2007.
- [12] McCARVILL W, WARD W, BOGUCKI G. Guidelines and recommended criteria for the development of a material specification for carbon fiber/epoxy unidirectional prepregs update (DOT/FAA/AR-07/3) [R]. Federal Aviation Administration, 2007.
- [13] TOMBLIN J S, NG Y C, RAJU K S. Material qualification and equivalency for polymer matrix composite material systems; updated procedure (DOT/FAA/AR-03/19) [R]. Federal Aviation Administration, 2003.
- [14] SAE International. Composite materials handbook-17 composite materials handbook-17 (CMH-17) volume 1[M]. PA: SAE International, 2012.
- [15] AIR4779 C. User's guide to AMS specifications [S].
- [16] AS9103A. Aerospace series-quality management systems-variation management of key characteristics[S]. 2012.

收稿日期:2017-08-26;修订日期:2017-10-09

通讯作者:沈小明(1963—),男,高级工程师,长期从事民用飞机适航审定管理和适航审定技术研究,联系地址:北京市朝阳区花家地东路3号中国适航审定中心(100102),E-mail:shenxm\_acc@caac.gov.cn

(本文责编:解宏)