

民用机载系统与设备适航取证研究



李哲^{1,*},张浩驰¹,王辉²,王鹏³

1. 中国航空工业发展研究中心, 北京 100029

2. 航空工业西飞民用飞机有限责任公司, 陕西 西安 710000

3. 中国民航大学, 天津 300300

摘要:适航性是民用机载系统与设备发展的最低安全要求,机载设备不满足适航要求将无法装机使用,许多制造人员也缺少全流程适航经验,对未来行业发展影响严重。本文通过对民用飞机机载设备的取证方式、取证路径,以及适航组织管理和主要工作等方面的阐述,为各机载系统供应商的系统或设备适航取证工作提供支持。本文认为,对于申请取证的机载系统和设备,各机载供应商应采用“自顶向下、分层分级”的适航取证路径,确立审定计划,包括适航审定基础和符合性方法等,通过开展单独取证或随机取证工作,满足项目适航性需求,提高供应商系统和设备研制能力。

关键词:适航; 机载设备; 随机取证; CTSOA; PMA

中图分类号: V2

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2019.12.005

我国民用飞机的发展经历了从仿制到自主研发的发展历程,但目前国产民用飞机机载系统和设备主要依赖国外供应商,我国国产机载系统和设备供应商在民用飞机产品领域面临很大生存压力。近年来,随着我国经济的快速发展,航空运输市场也迎来前所未有的发展机遇,特别是“两干两支”民用航空发展战略的逐步推进,国产民用飞机对机载系统和设备的需求也在不断增加,对国内机载系统供应商的研制能力提出了更高的要求,也为国产民用航空机载系统与设备的快速发展提供了历史机遇。本文以机载系统和设备供应商为主要研究对象,通过分析不同适航取证方式和路径,判断各种取证方式的特点,进而分析各自适航工作组织管理模式,并对适航取证主要工作进行研究和阐述。

1 取证方式

民用航空零部件(机载设备)是指任何用于民用航空产品或者拟在民用航空产品上使用和安装的材料、零件、部件、机载设备或者软件^[1]。国产民用飞机机载系统和设备适航取证申请人主要根据产品技术特点,以及有关适航规章的要求,确定和选择适用的适航取证方式。一般可分为两类:一类是单独取证方式,包括两种形式:(1)针对某一机载设备,民航局已颁发相应的技术标准(CTSO),制造人则

可以向适航当局提交设计和生产批准书申请,由地区管理局进行审查并批准颁发技术标准规定项目批准书(CTSOA);若民航局尚未颁发相应的CTSO,制造人应参照AC-37-01中建议的CTSO(草案)或现行有效的TSO提交最低性能标准建议书;(2)在已获型号合格证的民用航空产品上作为加改装或替换用的零部件,其制造人可向局方提交设计和生产批准书申请,由地方管理局进行审查并批准颁发零部件制造人批准书(PMA)。另一类是系统和设备没有相应的CTSO或TSO,只能随主机开展适航随机审查工作,系统和设备随主机进行批准。主要的批准方式见表1。

作为机载设备制造人,在决定申请什么样的适航批准方式之前,应首先考虑两个问题:一是设备取得适航批准的可行性;二是申请的适航批准方式和经济效益^[2]。只有选择最适合的取证方式,才能更好地完成设备取证工作。

2 取证路径

适航审查主要是对工程研发和制造的符合性审查。若申请人首次申请适航取证,还需要对申请单位的设计保证体系和质量保证体系进行审查;如果不是首次适航取证,申请人可以援引以前申请取证时提交的已经通过局方批准

收稿日期: 2019-09-29; 退修日期: 2019-10-17; 录用日期: 2019-10-30

*通信作者. Tel.: 010-57827661 E-mail: 15011008420@163.com

引用格式: Li Zhe, Zhang Haochi, Wang Hui, et al. A study on airworthiness of civil airborne systems and equipment[J]. Aeronautical Science & Technology, 2019, 30(12): 30-37. 李哲, 张浩驰, 王辉, 等. 民用机载系统与设备适航取证研究[J]. 航空科学技术, 2019, 30(12): 30-37.

表1 国产民用飞机机载设备适航三种主要适航取证方式
Table 1 Three kinds of airborne equipment airworthiness certification

类别	单独取证		随机取证
	CTSOA	PMA	
适用范围	适用于技术标准规定包括的所有项目(可以是国内没有CTSO标准、国外有TSO标准;或部分国内外都没有TSO标准、复用性强的设备)	适用于供安装在已经获得型号合格证书的民用航空产品上作为加改装或更换的零部件。也适用于已获得装机批准的任何CTSOA项目中零部件的替换件	随主机型号合格证(TC)、补充型号合格证(STC)或改装设计批准书(MDA)一起批准
安装机型	可安装在多种机型(需要获得安装批准)	只能安装在原来取得型号合格证的机型	只能安装在随机取证的机型
供货方式	可给主机供货,也可直接给航空公司供货	可给主机供货,也可直接给航空公司供货	只能给主机供货
取证成本	较高	较高	较低
简要说明	CTSOA是局方颁发给符合CTSO项目制造人的设计和生产批准书。CTSOA不包括安装批准,申请人可申请在任何中国民用飞机上进行安装批准,可自行向用户提供备件,其适航性由申请人负责(若装机,则与装机单位共同负责)	PMA是局方颁发给供安装在已获型号合格证的民用航空产品上作为加改装或替换用的零部件制造人的设计和生产的批准书 由零部件制造厂家直接向局方申请。PMA项目审查的技术标准等将要替代的零部件规定的技术标准,承制厂家可单独向航空公司提供备件,其适航性由申请人和航空公司共同负责	对于目前局方还没有技术标准规定的或国际上也没有颁发现行有效的TSO标准的项目,可以进行随机批准。随机批准项目的适航性由航空器制造人(主机厂)和供应商共同负责,承制厂无权单独向用户提供备件
经济效益	直接给航空公司供货的航线替换价格可能高于供给主机的出厂价格,经济效益较好	直接给航空公司供货的航线替换价格可能高于供给主机的出厂价格,经济效益较好	经济效益较差
受理单位	民航地区管理局	民航地区管理局	民航总局/地区管理局

的、最新修订的现行有效质量与设计保证系统审查资料,供局方审查(见图1)。

2.1 单独取证

CTSO是民航局颁布的民用航空器上所用的特定零部件的最低性能标准。按照局方适航取证的一般要求,具有CTSO技术标准的设备,尽量按照单独取证方式开展审查工作。

CTSOA是局方颁发给符合特定技术标准规定的零部件(简称CTSO件)的制造人的设计和生产批准书。除技术标准规定项目批准书的持有人外,任何人不得用CTSOA标记对CTSO件进行标识。CTSOA不包括装机批准,按照技术标准规定项目批准书制造的零部件,只有得到相应的装机批准,才能安装到航空器上使用。

CTSOA的审定基础包括项目对应的CTSO标准、CCAR-21《民用航空产品和零部件合格审定规定》以及CCAR-37《民用航空材料、零部件和机载设备技术标准规定》,适航管理程序为AP-21-06《民用航空材料、零部件和机载设备的合格审定程序》。CTSOA的审定包括申请、受理、审查、批准及证后5个主要环节(见图2)。

PMA取证方式适用于供安装在已获得型号合格证书的民用航空产品上作为改装或者替换用的零部件项目,也适用于已获得装机批准的任何技术标准规定项目中零部件的替换件的项目^[3,4](对CTSO件的替换)。PMA的适航管

理程序为AP-21-06《民用航空材料、零部件和机载设备的合格审定程序》;生产许可审定依据AP-21-04《生产许可审定和监督程序》开展。

根据CAAC-21和AP-21-06中PMA流程相关规定,待飞机TC颁证后,机载系统和设备供应商向局方正式提出审查申请,将试验数据提供局方,局方审查申请资料,受理后成立审查组,开展项目审查工作,按局方要求开展试验件的制造符合性检查工作,完成符合性验证试验目击,并在主机单位的配合下完成产品装机试飞验证,符合性验证工作完成并合格后,由局方颁发PMA证书(见图3)。

2.2 随机取证

对于伴随主机取得适航证(TC、STC、设计更改等)的同时,机载系统和设备也随飞机完成了所有的适航符合性验证,并随飞机得到适航批准,即随机取证。

对于随机取证的机载系统和设备,机载供应商不直接面对局方,只对适航申请人(主机单位)负责,首先会与主机单位达成产品研制/使用的意向,主要工作形式为协助主机单位进行有关系统和设备研制过程中适航设计要求的贯彻、支持飞机级的需求定义和安全性分析、符合性验证及表明,提供并保存所负责工作包的设计资料和符合性验证资料。

随机取证具体适航工作包括:机载系统和设备供应商与局方审查组讨论确定机载系统和设备适用的审定基础和

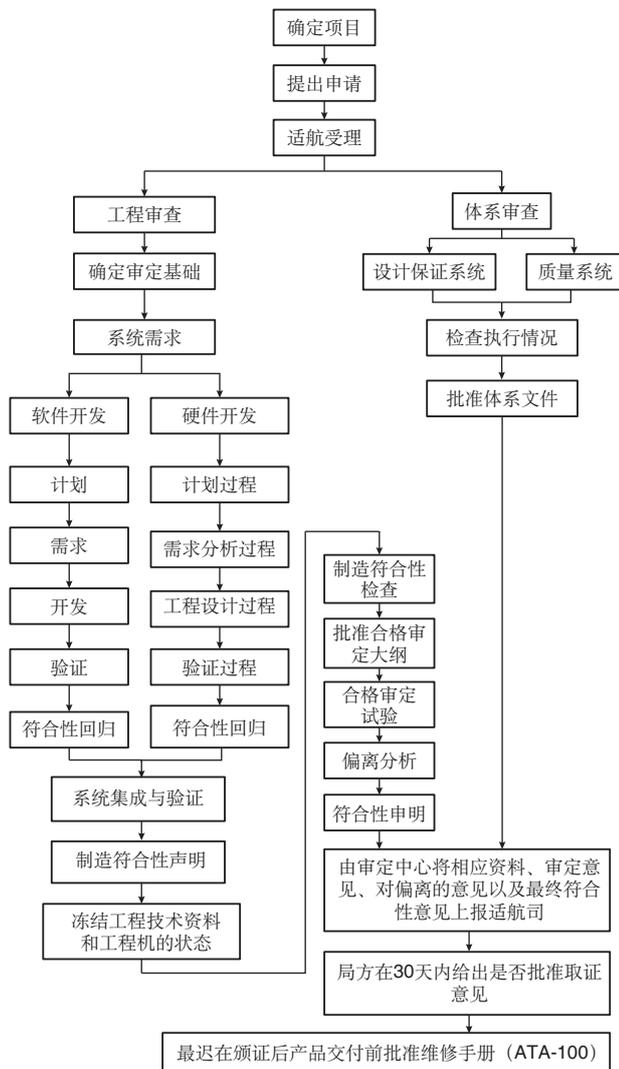
图1 机载系统/设备适航取证一般程序^[3]

Fig.1 General process of airborne system/equipment certification

符合性方法;参照主机适航审查工作进度安排,规划系统内各层级的验证活动并制订相应合格审定支持计划(CSP),并按照计划开展后续验证工作;负责确保产品对于主机提出的适航技术标准和要求(如 ARP-4754A、DO-178C、DO-254 和 DO-160G 等)的符合性;制订项目适航工作计划,提供负责产品的所有适航文件来表明系统和设备的符合性;配合主机完成相关系统和设备的符合性验证工作(见图4)。

在飞机完成 TC 取证后,当非型号合格证持有人对民用航空产品的型号设计进行未达到申请新型号合格证的大改时,还应向局方申请补充型号合格证(STC)。如果型号合格证持有人对型号设计进行设计大改,但尚未达到重新申请型号的情况,可以申请型号合格证更改,也可以申请 STC。

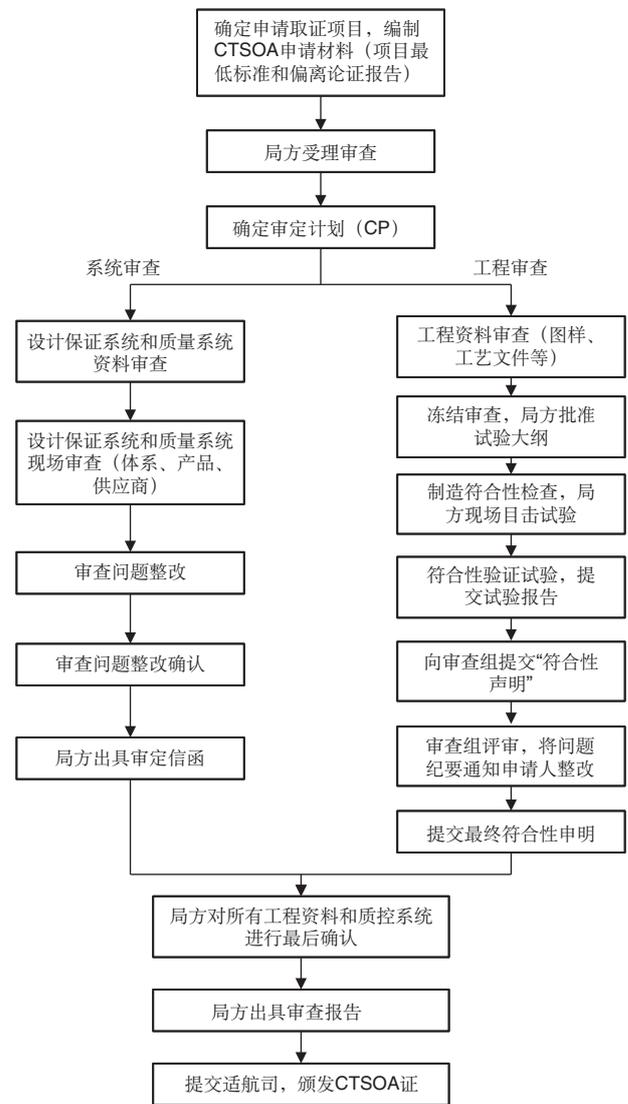


图2 CTSOA 取证流程

Fig.2 General process of CTSOA

在需要更改的机载系统/设备完成研制后,在相应飞机平台上安装进行验证,并对飞机有关结构和系统进行适应性更改。在相关设计更改获得适航批准后,飞机才能开展改装和试飞验证工作。

在局方受理设计更改申请或 STC 申请并成立审查组后,机载设备制造商协助主机单位与审查组讨论确定审定基础和符合性方法,按照确定的审定基础和符合性方法开展取证工作。机载设备制造商根据计划安排,配合主机完成机载设备的符合性设计和验证工作,包括提供合格审定支持计划(CSP)、设计保证手册、工程文件及符合性验证资料等,并配合局方开展制造符合性检查及符合性验证试验目击及监控工作。

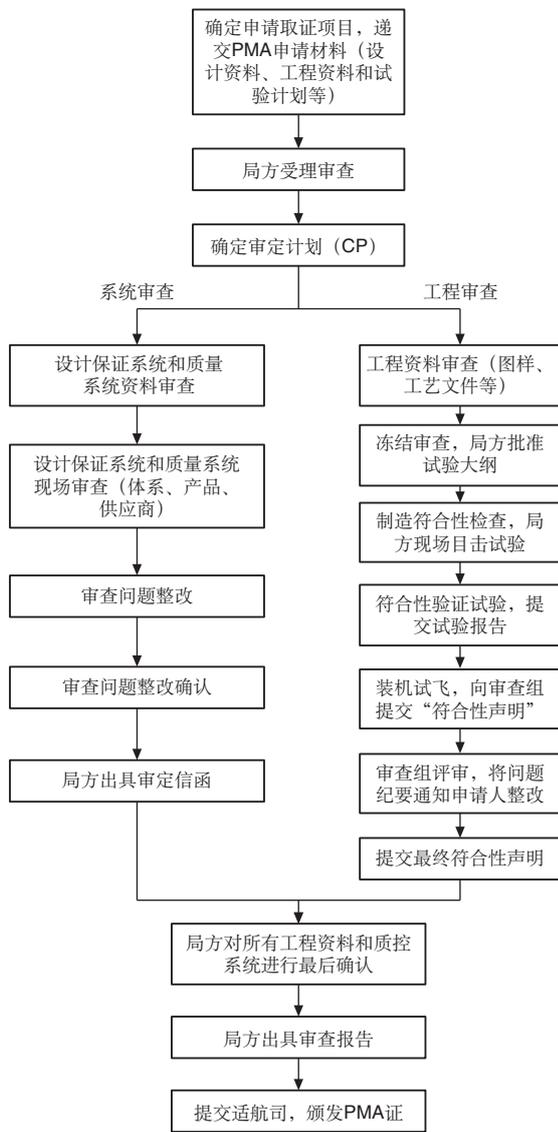


图3 PMA 取证流程

Fig.3 General process of PMA

3 适航工作组织管理模式

3.1 责任审定与责任审查单位

责任审定与责任审查单位由中国民用航空局、中国民用航空局适航司和各地方民航管理局、审定中心组成的二级管理体系构成。其中右侧架构与随机取证相关,左侧架构与CTSOA和PMA取证相关,组织架构如图5所示。

3.2 适航工作体系框架

对于随机取证的机载系统和设备,主机单位作为适航符合性验证工作的负责人以及型号合格证的申请人,适航验证工作必须通过项目管理纳入整个项目研制计划,主机

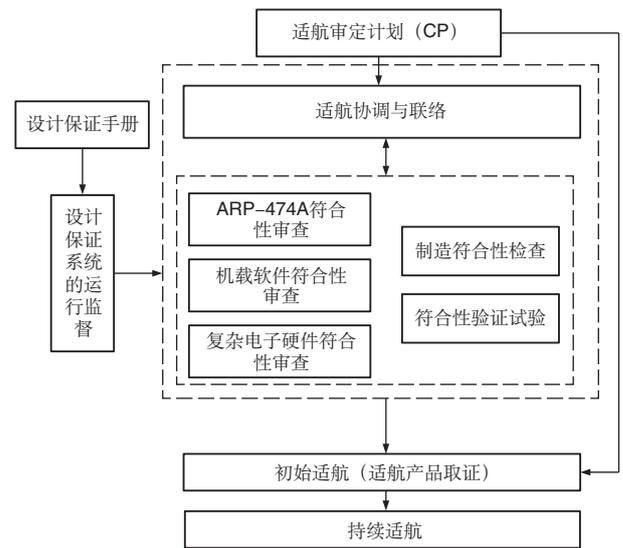


图4 随机取证关键要素

Fig.4 Key elements of airworthiness process with aircraft type certification

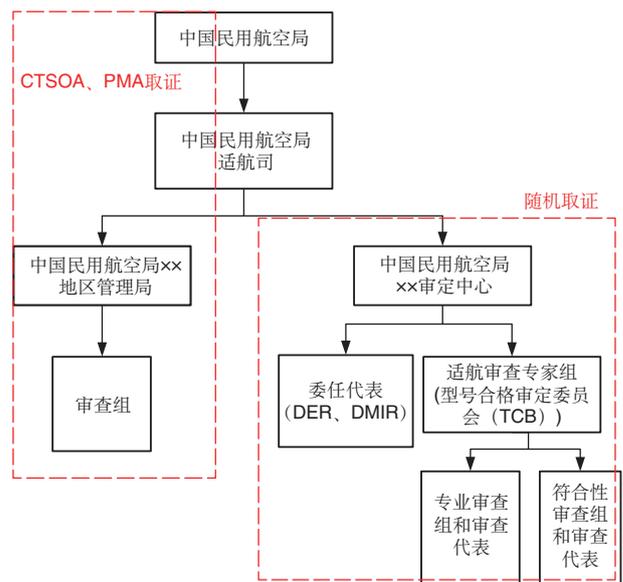


图5 适航审定组织架构

Fig.5 Organizational framework of airworthiness certification

全面领导和协调整个项目的适航符合性验证及取证活动,包括对各系统供应商适航工作管理和控制,以及支持持续适航活动。

同时,为推进适航工作有序开展,确保适航要求能够得到全面贯彻,总师系统应履行相应的适航职责,组建包括项目适航副总师、适航经理、专业适航主管和符合性核查工程师(CVE)、参研单位适航联络员等在内的团队(见图6)。

对于单独取证的机载设备研制单位,基于民用飞机型

号要求,应建立涵盖项目参研单位和供应商的适航管理机构,履行适航职能,组织实施项目适航取证和持续适航工作。适航管理机构主要包括:适航主管领导、项目副总设计师、适航管理办公室、适航工程师、设计研发部、质量部、民用飞机事业部等。

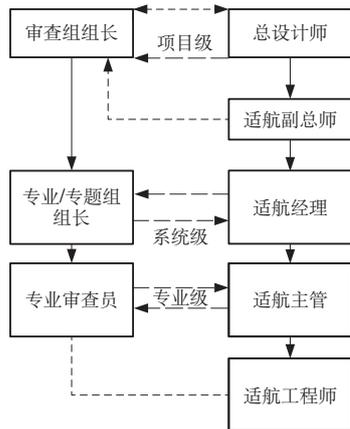


图6 适航工作关系图

Fig.6 Airworthiness work relationship

4 适航取证主要工作分析

4.1 体系审查

CCAR-21-R4 第4章规定:型号合格证、补充型号合格证、改装设计批准书、零部件制造人批准书和技术标准规定项目批准书的申请人和持有人应当建立适当的设计机构,表明该设计机构已经建立并能够保持一个设计保证系统,对申请范围内的民用航空产品和零部件的设计、设计更改进行控制和监督^[5]。

设计保证系统(DAS)指通常包括设计机构为落实上述设计保证措施所需要的组织机构、职责、程序和资源。同时,设计机构应当制定符合局方要求的《设计保证手册》^[6],对于供应商完成的零部件或者民用航空产品的设计更改,设计保证手册应当包括设计机构如何保证所有零部件符合21部要求的声明,并且应当在设计保证手册中直接给出或者通过引用其他文件给出提交这份声明所需的供应商的设计活动和设计机构的描述和资料(见图7)。

同时,为满足质量管理体系(QMS)的要求,机载设备制造厂商须按照CCAR-21、AP-21-04等文件要求,自上向下对已有的质量手册、程序文件、作业文件和表单进行更新完善^[7]。

4.2 随机取证

在《航空器型号合格审定程序》(AP-21-AA-2011-03-

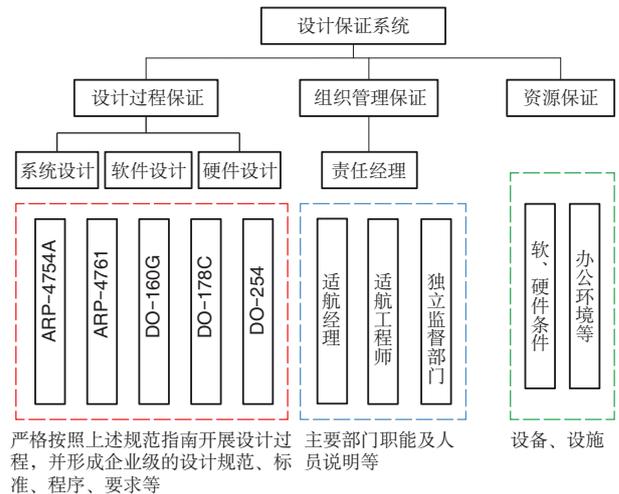


图7 设计保障系统关键要素

Fig.7 Key elements for Design Assurance System(DAS)

R4)中,将型号审定过程划分为5个阶段:概念设计阶段、要求确定阶段、符合性计划制订阶段、符合性计划实施阶段和证后阶段。审查方与申请人对每个阶段进行评估,只有当评估结果满足要求后,审定活动才能进入下一阶段^[8]。

为推动机载系统和设备的审查工作高效、顺利地展开,申请人应与审查方建立沟通协调机制。例如,在机载软件研制初期,申请方应结合研制单位的实际情况、先前开发软件遵循的标准、项目进度、风险等因素,参照当前国际主流的软件合格审定标准,与审查方沟通确定软件的审定基础和符合性方法^[9](见图8)。

在概念设计阶段开始初期,就应请适航当局尽早介入潜在的审定项目,进行适航规章的宣贯,审定使用规章的指导、审定计划(CP)的讨论,以及设计保证系统的初步评估等。

在要求确定阶段,由主机提出申请,各系统制造商配合和支持主机的各项工作,如编写合格审定项目计划(CPP)、专项合格审定计划(PSCP)草案等。

在符合性计划制订阶段,主要是确定审查组直接介入的范围,确定授权与监督方位,制订制造符合性检查计划,完成CP或PSCP。

在批准CP或签署PSCP后,展开具体的验证、符合性表明和确认等符合性计划实施工作。在此阶段,需要按已签署的PSCP进行管理,确保所有要求得以满足,在实施过程中不断评估计划执行情况并及时修订。最终,完成项目的工作总结、资料保存、证后评定等收尾性工作。

4.3 单独取证

CTSO是民用航空产品应符合的技术标准,也是最低

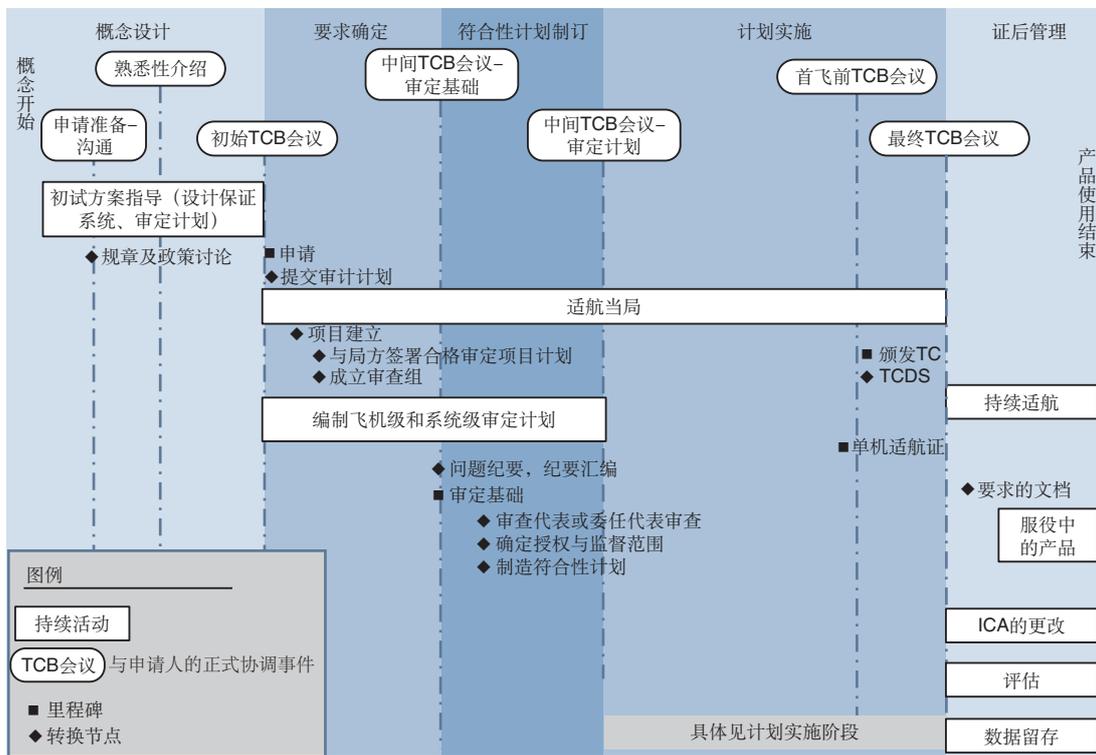


图8 典型的型号合格审定过程模型

Fig.8 Typical type certification process model

安全性要求,在民用航空产品的概念设计阶段,就要明确其审定基础。对机载设备来说,也就是要明确设备所适用的适航条款^[10]。

对于无现行适用CTSO标准的机载设备,需要先进行CTSO标准建立及申请,机载设备供应商作为申请人,在CTSO标准草稿等资料准备完成后,向所在地的民航地区管理局提交标准申请,达成申请意见一致后,按照要求编制完成申请资料,由地区管理局上报适航司,在局方受理后进行汇报预审,配合接受局方各项审查工作,然后由局方公布征求意见,在规定的征集期如通过,则申请人依据草稿完成正式版CTSO,提交局方进行发布,形成正式标准。如在意见征集过程中有工业方或相关公众意见,则须根据异议进行迭代后再次公布征集意见直到通过,再依据草稿完成正式版CTSO提交局方发布。正式发布后,局方开展审查工作,审查通过予以颁发CTSOA。

对于申请取PMA证的机载设备,申请人在完成必要的研发验证工作和制造符合性检查工作后,与其审查方确定须在飞机上进行验证的试验项目,并协调主机单位初步确认试验验证方案。审定方按照有关规章、流程进行合格审定,审查通过后予以颁发PMA。

5 结论

本文以机载系统和设备供应商为主要研究对象,通过分析不同的适航取证方式和路径,判断各种取证方式的特点,继而结合项目分析可能的适航工作组织管理模式,对适航取证主要工作进行阐述,为各机载系统供应商的适航取证和验证工作提供支持。

结合前文论述内容和部分项目经验,以下提出几点建议供参考。

(1) 建立完善的设计保证系统

根据中国民航局适航规章要求,航空零部件供应商在合格审定过程中需要进行体系审查,而设计保证系统即是其中重要一环,其要求设计机构具有为落实有关设计保证措施所需要的组织机构、职责、程序和资源。因此,机载设备供应商若想早日进入国内外民用飞机制造体系中,应熟悉型号合格审定的流程和要求,建立完善合规的设计保证系统并保证系统有效运行,是保证适航研发过程的必要条件。

(2) 建立与国际接轨的CTSO标准体系

TSO规定了用于民用航空器上的材料、零部件和机载设备的最低性能标准。大部分机载设备具有国外TSO和国

内CTSO,但部分标准颁发时间较长,技术先进性有待提升,有些制约新机型的研制工作,需要更新标准。另外,对于无现行适用CTSO标准的机载设备,也需要先进行标准的建立及申请,进而建立与国际接轨的CTSO标准。因此,机载设备供应商应未雨绸缪,提前谋划布局,加强投入,一方面为日后设备顺利取证应用奠定基础,另一方面也能够提高自身的技术水平和适航能力。

(3) 重视对国外知识产权的规避

目前,国内主机制造商为顺利拿到适航证,可能会首先考虑欧美国家成熟的设备,但随着国内机载设备供应商能力的提升,部分设备将进行PMA单独取证以替换国外产品。对于这些机载设备供应商来说,在研制过程中必然面临国外现有技术和产品的专利问题,也只有提前开展知识产权分析工作,采取措施进行合理的利用和规避,才能更好地完成适航取证工作并投入使用。

(4) 积极加强与局方和主机的沟通

机载设备的适航取证具有涉及面广、关联方多等特点,通常情况下,飞控、航电和机电系统均涉及随机取证、CTSOA和PMA等几种不同的取证方式,取证方式和路径较为复杂,局方受理单位还包括各地区管理局、民航适航审定中心等机构和部门,许多单位不在同一地点。因此,机载单位必须在产品研制和适航审查过程中不断与各方进行沟通,确保适航工作能够按时完成。

(5) 进一步提升适航验证的能力

面对国外成熟企业的行业垄断和技术打压,我国机载设备供应商任重道远。考虑时间、经费等影响因素,在适航验证过程中,各机载单位应在现有验证资源和设施的基础上,贯彻“V&V”研制程序,针对验证需求,整体规划适航验证工作,搭建必要的试验设施,合理安排验证计划,确保适航验证工作有序、高效地开展。例如,对于部分机载设备,可以采用他机试飞方式进行飞行试验,避免多个产品在一款型号上集中测试,造成进度延误。

(6) 重视证后管理工作

目前,主机厂提供给供应商技术规范,对于取得适航后的管理还要供应商自身负责。例如,后期客户对于产品有新需求,或者技术改进、升级等,均会产生证后更改需要,机载供应商应对大改和小改加以区分,在哪些情况下报告主机单位/申请人向局方申请。

另外,证后阶段机载供应商体系还会受到主机单位的持续监督,供应商应根据相关法规和持续适航文件的要求,严格把控零部件的维护和维修等工作。

参考文献

- [1] AP-21-06-R3. 民用航空材料、零部件和机载设备的合格审定程序[S]. 北京:中国民用航空局,2002.
AP-21-06-R3. Certification procedure for civil aviation materials, articles and airborne equipment[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2002. (in Chinese)
- [2] 吕海霞. 民机机载设备适航批准方式及其选择[J]. 航空标准化与质量, 2009(3): 32-33.
Lv Haixia. Airworthiness approval method and selection of airborne equipment for civil aircraft[J]. Aviation Standardization and Quality, 2009(3): 32-33. (in Chinese)
- [3] 中航工业成都凯天电子股份有限公司. 机载设备适航工作指南[M]. 北京:航空工业出版社, 2014.
AVIC Chengdu CAIC Electronics CO., Ltd. Airworthiness guidelines for airborne equipment[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2014. (in Chinese)
- [4] 白杰,冯振宇. 航空器适航审定概论[M]. 北京:中国民航出版社, 2018.
Bai Jie, Feng Zhenyu. Introduction to airworthiness verification of aircraft[M]. Beijing: China Civil Aviation Press, 2018. (in Chinese)
- [5] CCAR-21-R4. 民用航空产品和零部件合格审定规定[S]. 北京:中国民用航空局, 2017.
CCAR-21-R4. Certification procedures for products and articles[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2017. (in Chinese)
- [6] 设计保证系统(草案)(AC-21-AA-2017-××). 中国民用航空局航空器适航审定[S]. 北京:中国民用航空局, 2017.
Design Assurance System (draft) (AC-21-AA-2017-××). Airworthiness certification of China civil aviation administration [S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2017. (in Chinese)
- [7] 王永,杨宏. 民用飞机机载设备适航与安全性设计[J]. 航空科学技术, 2014, 25(8): 27-33.
Wang Yong, Yang Hong. Airworthiness and safety design for civil aircraft airborne equipment[J]. Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(8): 27-33. (in Chinese)
- [8] AP-21-AA-2011-03-R4. 航空器型号合格审定程序[S]. 北京:中国民用航空局, 2011.
AP-21-AA-2011-03-R4. Civil aircraft type certification

- procedure[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2011. (in Chinese)
- [9] 丰立东. 民用飞机机载软件计划阶段评审方法研究[J]. 航空科学技术, 2014, 25(10): 22-25.
Feng Lidong. Research on review method of airborne software during planning stage for civil aircraft[J]. Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(10): 22-25. (in Chinese)
- [10] 卢佩妍. 机载设备初始适航管理研究[J]. 适航性和安全性技术研究, 2015(2): 39-43.
Lu Peiyan. Initial airworthiness management for airborne equipment[J]. Research on Airworthiness and Safety Technology, 2015(2): 39-43. (in Chinese)

(责任编辑 王为)

作者简介

李哲(1990-)男, 学士, 工程师。主要研究方向: 民机市场分析、适航管理、项目管理。

Tel: 010-57827661 E-mail: 15011008420@163.com

张浩驰(1984-)男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 项目管理、民机综合论证、产业及能力规划。

Tel: 010-57827169 E-mail: 15001133380@163.com

王辉(1967-)男, 硕士, 研究员。主要研究方向: 民机适航技术研究。

Tel: 029-86832769 E-mail: XCAC_wangh@mail.avic.com

王鹏(1982-)男, 博士, 研究员。主要研究方向: 适航技术研究。

Tel: 022-24092310 E-mail: pwang_cauc@163.com

A Study on Airworthiness of Civil Airborne Systems and Equipment

Li Zhe^{1,*}, Zhang Haochi¹, Wang Hui², Wang Peng³

1. Aviation Industry Development Research Center of China, Beijing 100029, China

2. AVIC XAC Commercial Aircraft Company, Xi'an 710000, China

3. Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China

Abstract: Airworthiness is the lowest safety requirement for the development of civil airborne equipment, the airborne equipment cannot be installed and used without meeting these airworthiness requirements. Many manufacturers also lack the whole process of airworthiness experience, which has a serious impact on the future development of the industry. This paper studies the airworthiness methods, airworthiness paths, airworthiness organization and management and main work of civil aircraft airborne equipment, in order to provide support for the certification work of airborne system suppliers. The paper holds that for airborne systems and equipment applying for certification, each airborne manufacturer should adopt the airworthiness certification path of "top-down, hierarchical classification". The certification plan should be established together, which includes certification basis and the method of compliance. Through with type certification and separate certification, the airworthiness requirements are satisfied, and the development capability of supplier is improved.

Key Words: airworthiness; airborne equipment; airworthiness with aircraft type certification; CTSOA; PMA

Received: 2019-09-29; Revised: 2019-10-17; Accepted: 2019-10-30

*Corresponding author. Tel. : 010-57827661 E-mail: 15011008420@163.com