航空科学技术
Aeronautical Science & Technology
May. 2014 Vol. 25 No.05 73-76

综合模块化航空电子系统(IMA)适航认证研究

刘文*，孔德岐

中航工业西安航空计算技术研究所，陕西 西安，710068

摘　要：对综合模块化航空电子系统(IMA)相关适航标准进行了研究，分析了IMA系统适航认证四个阶段的任务，包括模块认可、应用软件/专用硬件的认可、IMA系统的认可、IMA系统的飞机级综合。自此基础上，总结了IMA系统的符合性验证程序，包括硬件模块测试、独立系统功能测试、IMA系统集成测试、机上地面试验和飞行试验，为IMA系统的适航认证提供思路。

关键词：综合模块化航空电子系统；适航；符合性验证

中图分类号：V24　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1007-5453（2014）05-0073-04

随着综合模块化航空电子(Integrated Modular Avionics, IMA)技术的快速发展和应用，民用飞机IMA系统的适航认证方法越来越被适航审定局方和航空工业界所关注。IMA系统因其复杂的架构方法和各功能之间紧密的关联性，本质上区别于传统的联合式航空电子系统，不能采用单一技术标准规定(TSO)取证或全系统随机取证的方法获得适航批准。本文就IMA系统的适航认证相关标准、方法和验证过程进行分析，为IMA系统适航认证提供思路。

1 常见标准

IMA系统首先需要满足民航规章(CCAR/FAR)23部、25部、27部或29部中相关要求，包括功能、性能、安装以及安全性等方面。在适航认证过程中针对IMA系统架构和开发过程的特殊性，还需要参考以下标准文件：

（1）RTCA DO-297综合模块化航空电子系统IMA开发指南与认证考虑

DO-297是由美国航空无线电技术委员会(RTCA)特别委员会SC-200联合欧洲民航设备组织(ERUOCAE)工作组WG-60联合编制的，目的在于向IMA系统适航认证过程中的利益相关方，包括IMA系统集成商、硬件开发商、应用开发商、适航认证申请人等，提供IMA模块、应用、系统开发过程和增量式认可的认证方法。

DO-297中提出：增量认可是针对IMA模块化架构的一种认证方法，主要为以获得批准和通过适航认证为目标，接受或确定IMA模块、应用、和/或未装机IMA系统能够满足特定要求，获取审定局方认可的一种过程[1]。增量认可分解为多项任务，通过获得审定局方对单个任务的信任，最终实现整个系统适航认证的目标。

（2）TSO-C153 综合模块化硬件部件

TSO-C153是由美国联邦航空管理局 (Federal Aviation Administration, FAA) 针对IMA硬件部件颁布的技术标准规定[2]，包含对IMA硬件模块和机柜(或机架)的整体要求。TSO-C153标准从IMA硬件的功能、功能限制、失效状态分类、功能和环境鉴定、软件和硬件设计保证、构型管理、质量控制以及偏离等方面提出了要求。此外，该标准还对产品标识、产品申请、制造和随行的数据进行了规定，明确申请人必须提供的产品数据。

TSO-C153在附录中对硬件单元的最低性能标准(Minimum performance standard,MPS)的开发提出了准则，包括通用要求、环境要求、测试等各方面，需要设计考虑和需要验证的内容。

（3）功能TSO标准

对于独立完成飞机系统功能的机载设备或系统通常

收稿日期：2014-03-18;　录用日期：2014-05-09

*通讯作者．Tel.：029-88151158　E-mail：liuwen631@126.com

引用格式：LIU Wen, KONG Deqi. Study of airworthiness certification on Integrated Modular Avionics[J]. Aeronautical Science & Technology, 2014,25(05):73-76.刘文,孔德岐.综合模块化航空电子系统(IMA)适航认证研究[J].航空科学技术,2014,25(05):73-76.

可以通过获得技术标准规定批准的方式进行适航，例如TSO-C113电子飞行显示器、TSO-C9自动驾驶仪等。在IMA系统中，将涉及到多个TSO功能，执行着原分立式系统中各TSO设备的功能，但并不存在独立的TSO设备。为了解决这一问题，FAA提出的功能TSO批准的概念，并在AC 20-170[3]中列举了部分IMA系统中可能涉及的TSO功能。

功能TSO的申请人应证明当IMA系统加载了功能软件时，满足功能TSO中所有适用的要求，包含其中关于环境试验的要求。所有安装在TSO-C153批准过机柜中的软件或硬件模块应该依据飞机型号的特殊设计要求进行定义，满足型号的不同要求。同时还应满足对应TSO标准中的最低性能标准。

(4) 软件和硬件开发过程相关标准

针对软件和硬件开发过程，下述标准集合了工业界的工程经验，是机载设备开发保证最好的行业实践经验的集合，FAA已接受其作为认证的符合性方法。

a. RTCA DO-178/EUROCAE ED-12机载系统和设备合格审定中的软件考虑[4]。DO-178提出了机载系统和设备中的软件开发提供软件生存周期中各过程的目标。IMA系统软件开发过程应涵盖达到这些目标所进行的活动，并形成符合DO-178B目标的证据，确保使软件以一定的置信度完成其预定功能，符合适航要求。

b. RTCA DO-254 / EUROCAE ED-80机载电子硬件设计保证指南。DO-254主要为机载电子硬件设计保证提供指南[5]，它适用于复杂电子硬件(FPGA或CPLD)，也适用于硬件电子模块。同DO-178一样，DO-254中相应等级的目标在IMA系统硬件开发过程中也同样需要考虑，并形成相关证据文件。

c. RTCA DO-160/EUROCAE ED-14机载设备环境条件和测试程序。对于IMA系统的环境鉴定试验，应按照DO-160中规定的条件和程序[6]进行。TSO-C153的附录1列出了满足TSO最低性能标准的环境鉴定试验(Equipment Qualification Test, EQT) [2]，试验应根据DO-160中的程序和类别进行。EQT应用于有功能的TSO环境鉴定，也可用于飞机TC、STC、ATC或ASTC的环境鉴定。在AC 20-170附录A中FAA制定了环境鉴定试验的指南[3]，主要针对TSO-153和功能TSO环境鉴定试验。

(5) FAA咨询通告和SAE指南

在IMA适航取证方面，DO-297和TSO-C153之间的一致性和使用一直是审定局方和工业界关注的焦点，直到FAA在2010年发布了AC20-170采用RTCA/DO-297和TSO-C153进行IMA的开发、验证、集成和批准，正式表明了FAA接受DO-297中提出的符合性方法。

在IMA研制过程中，SAE ARP4754A[7]和ARP4761[8]作为系统开发过程指南和安全性评估指南，对于系统开发过程和安全性评估过程具有指导意义。目前国内对于这两项标准研究较多，在此不再赘述。

2 适航认证任务

在FAA发布的AC20-170中接受了DO-297作为IMA审定局方可以接受的一种方法。AC20-170中认可了DO-297中关于IMA开发和审定的几个阶段，对于IMA开发、集成、验证和批准的所有关键活动，都需要执行[3]。下面逐一介绍DO-297中提出的这四个阶段活动，如图1。

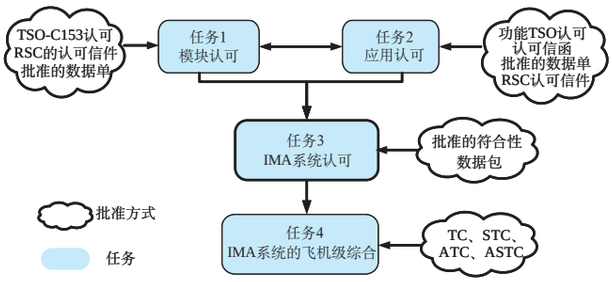

图1 IMA系统适航认证任务组成

Fig.1 Airworthiness certification tasks of IMA system

图中，任务1指模块认可(IMA开发)；任务2指应用软件/专用硬件的认可(IMA集成)；任务3指IMA系统的认可(IMA验证)；任务4指IMA系统的飞机级综合(IMA批准)。

对于新研IMA的审定过程并不涉及DO-297中提出的模块或应用的更改和重用[1](任务5和任务6)，因此本文不再讨论有关更改和重用的问题。

结合设计标准的使用，逐一对这四项任务进行分析。

(1) 任务1：模块认可

DO-297中提及的模块不仅指单一硬件模块(如电源模块、处理器模块)，也可以是软件(如核心服务软件)或软硬件的组合，还可以是IMA平台[1]。

模块认可通过提供一系列证据文件，来表明模块的特性、功能和接口满足预期需求。申请人至少需要向审定局方提供以下文件：模块认可计划(MAP)、模块需求规范(MRS)、模块的确认与验证数据、质量保证记录、模块配置索引(MCI)、配置管理记录、模块认可完成总结(MAAS)、模块认可的数据手册(MADS)、问题报告以及其他生命周期数据。

可以看出，同其他复杂机载系统一样，模块认可的过程是按照系统工程的方法进行的，需要逐步进行计划、需求、开发、验证等过程活动，并生成证据文件。需要注意的是，模块认可可以通过获得TSO-C153批准的方式进行。

(2) 任务2：应用软件/专用硬件的认可

IMA系统中的应用软件和专用硬件只有和IMA模块或平台集成时，才能执行飞机系统级功能[3]。伴随任务2，实际进行的是IMA系统的软硬件集成活动。

对于任务2，审定局方和IMA开发方共同认可并推荐使用成熟的软硬件开发标准和指南进行，例如DO-178和DO-254。提交给审定局方的符合性证据文件，也应当按照标准中对应开发保证要求的目标证据文件准备。不同于传统机载系统中软硬件符合性证据文件，IMA系统应用软件或专用硬件还应考虑重用问题需要准备的文档，例如接口定义、适用说明等。

(3) 任务3：IMA系统的认可

IMA系统认可的主要目的是证明模块、宿主应用和平台通过系统集成能够持续地执行其预期的功能，同时不会对其它模块和应用产生危险影响[1]。因此任务3的实质是IMA系统的验证。

DO-297建议IMA系统认可采用结构化方法[1]，认可过程的活动均应纳入IMA系统合格审定计划(IMASCP)和IMA系统确认和验证计划(IMASVVP)[7]，最终确认验证结果和系统约束/限制，并且所用工具应纳入IMA系统完成总结文件(IMASAS)中。IMA系统认可最终应该表明各种应用、模块和平台资源之间能够正确地交互；IMA系统符合相关规章、指南和飞机需求；IMA系统构型正确。

(4) 任务4：IMA系统飞机级综合

IMA系统飞机综合实际类似联合式航电架构下飞机级验证活动，主要是为了表明系统能够实现预期功能，和飞机其他系统之间的交互正常，满足飞机安全性目标，并且符合相关规章的要求。

IMA系统飞机级综合同样应按照结构化的方式进行，形成飞机级IMA系统的合格审定计划(IMASCP)，该计划应在任务3中的IMASCP基础上增加飞机级安全性评估和持续适航指令的策划。任务4中提及的合格审定计划以及确认验证计划应该比任务3中更高一个层次，建议纳入飞机合格审定计划和确认验证计划中进行编写。

飞机TC/STC/ATC/ASTC申请人应证明IMA系统构型满足适用飞机的审定基础，其中包括功能性能，协同性能，安全性评估，环境鉴定，系统集成试验，飞行试验，软硬件开发保证及其他符合性证明活动[3]。

3 符合性验证

IMA系统认证过程伴随着一系列IMA系统符合性验证活动，目的在于向审定局方表明IMA模块、平台、宿主应用和IMA系统均满足飞机级需求和相关规章，同时满足飞机的安全性要求。

如图2所示，IMA系统符合性验证活动可以按照以下过程进行，主要分为硬件模块测试、独立系统功能测试、IMA系统集成测试、机上地面试验和飞行试验[9]。IMA符合性验证活动应伴随上节中提到的审定任务进行，所有验证活动应该在IMA系统确认和验证计划中详细说明。

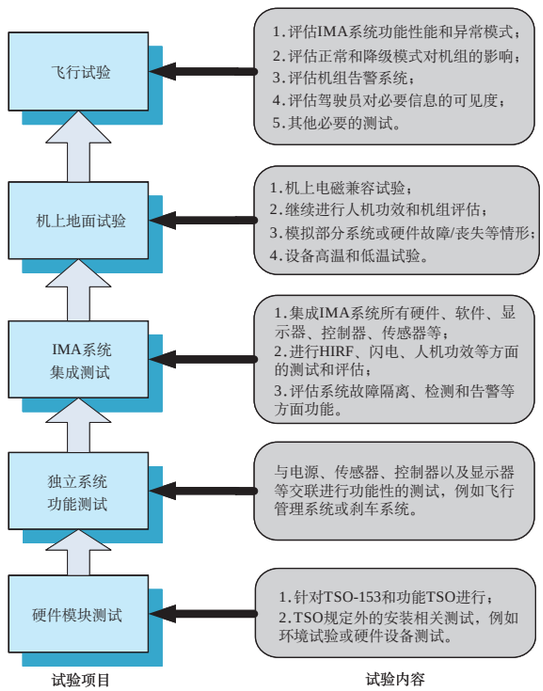

图2 IMA系统符合性验证活动

Fig. 2 Verification activities of IMA system

除了图2中列出的符合性验证活动外，IMA系统的安全性评估也是整个符合性验证活动中重要的一部分。系统安全性评估应按照SAE ARP4754A和ARP4761中推荐的安全性评估流程进行，评估过程中应该注意以下问题[10,11]：

(1) 低级失效危害的功能是否会影响安全关键功能；

(2) 是否对为防止可能同时对多个功能产生有害影响的单点故障和可预见的失效组合而采取的保护措施；

(3) 系统架构中安全性相关功能，以及对飞机功能分配和宿主应用施加的限制条件；

(4) 系统健康监控、资源管理和故障管理能力。

4 结论

民用飞机IMA系统适航必须建立在飞机型号审定的前提上，只有IMA系统伴随飞机进行合格审定，表明系统对相关规章的符合性和对飞机相关功能需求的满足，按照审定局

方的要求提供相应的符合性证据文件，才能获得审定局方对IMA系统的适航批准。本文从适航标准着手研究IMA系统适航过程中的要求，并分析DO-297中提出的增量认可任务，归纳出IMA系统符合性验证活动，为IMA系统集成商、IMA系统平台和部件供应商的适航工作提供参考。 AST

参考文献

[1] RTCA. DO-297 Integrated Modular Avionics (IMA) Development Guidance and Certification Considerations[S]. Washington, DC: RTCA Inc, 2005.

[2] Federal Aviation Administration.TSO-C153 Integrated Modular Avionics Hardware Elements[S]. Washington, DC: Federal Aviation Administration.2002.

[3] Federal Aviation Administration.AC20-170 Integrated Modular Avionics Development, Verification, Integration, and Approval Using RTCA/DO-297 and Technical Standard Order-C153[S]. Washington, DC: Federal Aviation Administration, 2010.

[4] RTCA. DO-178 Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification[S]. Washington, DC: RTCA Inc, 1992.

[5] RTCA. DO-254 Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware[S]. Washington, DC: RTCA Inc, 2000.

[6] RTCA. DO-160 Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment[S]. Washington, DC: RTCA Inc, 2010.

[7] SAE. ARP4754A Guidelines For Development of Civil Aircraft and Systems[S].Warrendale: SAE International, 2010.

[8] SAE. ARP4761 Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment[S]. Warrendale: SAE International, 1996.

[9] Federal Aviation Administration.AC20-145, Guidance for Integrated Modular Avionics (IMA) That Implement TSO-C153 Authorized Hardware Elements[S]. Washington, DC: Federal Aviation Administration, 2003.

[10] 靳文瑞.综合模块化航电的安全性分析理论与适航评估[J].航空标准化与质量,2013(6):17-19,40.
JI Wenrui. Integrated modular avionics safety analysis and airworthiness evaluation [J].Aeronautic Standardization & Quality, 2013(6):17-19,40. (in Chinese)

[11] 孙欢庆. 民用飞机综合航电系统技术发展研究[J]. 航空科学技术, 2010, 22(3): 6-8.
SUN Huanqing.Research on integrated avionics system of civil aircraft [J]. Aeronautical Science & Technology, 2010(3):6-8. (in Chinese)

作者简介

刘文(1982—) 女，学士，工程师，主要研究方向：机载系统适航与安全性。

Tel：029-88151158

E-mail：liuwen631@126.com

孔德岐(1962—) 男，硕士，研究员，主要研究方向：机载航空电子系统技术。

Study of Airworthiness Certification on Integrated Modular Avionics

LIU Wen*, KONG Deqi

AVIC Aeronautical Computing Technique Research Institute, Xi'an 710068, China

Abstract: Studied the airworthiness standards of Integrated Modular Avionics (IMA) , analyzed the four tasks for IMA certification process, including module acceptance, application software/hardware acceptance, IMA system acceptance and aircraft integration. Based on this, the IMA system verification activities for certification compliance were summarized, which contains hardware module testing, independent system function testing, IMA integration testing, and flight testing, provides reference for IMA certification.

Key Words: Integrated Modular Avionics(IMA); airworthiness; certification

Received: 2014-03-18; **Accepted:** 2014-05-09

***Corresponding author. Tel.:** 029-88151158 **E-mail:** liuwen631@126.com