

机载设备适航符合性验证 电磁环境的构建方法研究

Electromagnetic Environment Constructing Methods for the Airborne Equipment in the Test of Airworthiness

胡剑波 杨晶晶 郑磊 / Hu Jianbo Yang Jingjing Zheng Lei
(空军工程大学,西安 710051)
(Air Force University of Engineering, Xi'an 710051, China)

摘要:

构建机载设备适航符合性验证所需的电磁环境是开展机载设备适航性工作的重要基础条件。分析了适航规章所推荐技术标准 DO160E 的电磁环境要求,给出了电磁环境模拟的四种基本方法及其构建对象和构建要素,重点研究了数字仿真环境的构建方法,为构建机载设备适航符合性验证电磁环境、开展机载设备适航符合性验证技术研究奠定了基础。

关键词:电磁环境;适航符合性验证;机载设备

中图分类号:V221+.91

文献标识码:A

[Abstract] Constructing electromagnetic environment for airborne equipment is one of the most important basic conditions in the process of its airworthiness. The requirement of the constructing electromagnetic environment is deduced with DO160, which is suggested by some airworthiness documents. Four typical constructing methods, objects and elements are given to test the electromagnetic environment airworthiness of airborne equipment. The construction method of the digital simulation is mainly shown to establish the airworthiness test's electromagnetic environment for the airborne equipments.

[Key words] Electromagnetic Environment; Airworthiness Test; Aviation Equipment

0 引言

航空器遭受的电磁环境主要来源于内部的电磁干扰和外部电磁场作用。内部的电磁干扰影响是指电磁兼容问题,外部的电磁场作用是指闪电、高强辐射(HIRF)等外部电磁场对航空器造成的不利影响。为了提高航空器的安全性,CCAR25-R4 等适航标准已经提出了电磁场防护要求和电磁兼容要求。例如,可参考 SAE ARP 5414《航空器闪电分区》来确定航空器外部闪电环境和 HIRF 环境,并规定了 A 级系统(例如电传操纵系统)要进行设备级、系统级和整机级验证,还要求 A 级系统在进行集成系统实验室试验前按照 RTCA/DO-160E《机载设备环境条件及试验

程序》进行适航符合性验证试验^[1]。

目前,随着航空器适航工作的深入开展,适航符合性验证的重要性与日俱增,机载设备电磁环境适航符合性作为实施难度最大、用户关注程度最高的验证任务而倍受各界的广泛关注。在机载设备电磁环境适航符合性验证中,需要关注的问题主要集中在电磁环境如何构建上,即如何构建出符合机载设备使用环境要求的电磁环境,以便发现机载设备在可能面临的电磁环境条件下存在的缺点或薄弱环节,完善电磁兼容设计、采取有效的保护措施,促进机载设备质量水平的提高。这些都是航空器适航必须认真面对和有效解决的问题。

为此,本文结合在建的实验室条件建设项目,

系统描述机载设备电磁环境适航符合性试验环境的构建方法,重点研究机载设备电磁环境适航符合性验证数字仿真系统的构建问题。

1 电磁环境对机载设备的影响及其适航符合性验证要求

1.1 电磁环境对机载设备的影响

根据功能危险性分析(FHA),机载设备在使用过程中必然会面临电磁兼容等内部电磁干扰以及闪电、高强辐射等外场电磁场的作用,可导致A级机载设备(如电传操纵系统)的功能失效而阻碍飞机继续飞行、B级机载设备的功能失效而严重降低飞机性能、C级机载设备的功能失效而降低飞机性能、D级机载设备的功能失效而轻微降低飞机性能,均存在飞行安全隐患。

电磁环境对机载设备的影响具体表现在:一是机载设备容易受到各种电磁干扰的影响或者电磁武器攻击,导致机载设备工作性能下降、工作不稳定或者失效;二是机载设备无法回避闪电、高强辐射等电磁环境的作用,在机载设备输入端形成瞬间大电流、超高压,直接或间接引起机载设备故障或损毁;三是有些机载设备采用了高密度集成电路、模拟电路和数字电路,即便采取了电磁防护措施,还是很容易受到电磁环境的攻击,发生诸如元器件击穿、烧毁等故障;四是有些机载设备采用了计算机单元或模块,其运行软件很容易在遭到电磁环境攻击时发生运行逻辑出错、控制指令失效、标准数据清零以及运行程序复位等严重故障。

1.2 电磁环境适航符合性验证中的电磁环境要求

DO160E所要求的电磁环境适航符合性验证工作如表1所示^[2]。在这些验证工作中,需要根据机载设备的安装位置、原材料特性,结合周边设备分布和飞机机体天线分布情况,模拟机载设备所处的电磁环境、周边电磁环境和可能受到的外部电磁场作用,以验证机载设备的电磁兼容性以及机载设备对闪电、高强辐射等外部电磁场的保护能力。

2 适航符合性验证电磁环境构建的一般方法

电磁环境的构建是开展机载设备电磁环境适航符合性验证的前提。根据使用的装备、器材和手段不同,国内外电磁环境构建的方法大体可分为四种:实际装备模拟法、半实物仿真模拟法、计算机模

拟法和综合模拟方法^[5-7]。根据机载设备在设计、研制等各个阶段的电磁环境适航符合性验证需要,上述四种方法均有不同的用途和特点。

表1 160E要求的电磁环境机载设备适航符合性验证内容

序号	条款章节	内容
1	15.0	磁影响试验
2	16.0	电源输入试验
3	17.0	电压尖峰试验
4	18.0	音频传导敏感性试验
5	19.0	感应信号敏感性试验
6	20.0	射频敏感性试验
7	21.0	射频能量发射试验
8	22.0	雷击感应瞬间敏感性试验
9	23.0	雷击直接影响试验
10	25.0	静电放电试验

实际装备模拟法就是用实际装备来构建适航符合性验证电磁环境。这种方法需要采购高性能的实际装备,试验费用高,保障难度大。尽管如此,实际装备模拟法是机载设备电磁环境适航符合性验证的首选方法,一般用于机载设备成品在装机前和系统级的电磁环境适航符合性验证。

半实物仿真法就是用一些模拟设备替代部分实际装备的方法来构建适航符合性验证电磁环境。这种方法需要研制专用的模拟设备,试验费用明显要低于实际装备模拟法,且试验保障难度也因此而降低,并能有选择地通过设备选择、状态控制和动态调度来模拟适航符合性验证所需的电磁环境。当然,半实物仿真法的实际效果取决于模拟设备的仿真能力,其验证的真实性需要进一步用实际装备来确认,一般用于研制阶段的电磁环境保护措施等技术手段的有效性验证。

计算机模拟法就是采用数字仿真技术来模拟适航符合性验证所需的电磁环境^[5]。它通过构建虚拟的电磁环境、模拟机载设备所在的空间位置、原材料特性和周边电磁环境来实现机载设备电子样机所受电磁环境影响的分析与计算。这种方法具有方便、快捷,重复性好,通用性强,费用低等优点,但其效果完全取决于电磁环境模型,一般用于确定机载设备的电磁环境适航性防护要求以及机载设备电子样机的电磁环境适航符合性验证。

实践证明,无论单靠哪一种模拟方法都不能满足从机载设备论证、设计、研制到成品等各个阶段的电磁环境适航符合性验证需要。综合构建方法既有实际装备,又有信号模拟器等模拟设备;既有外场真实的安装位置,又有数字仿真的周边电磁环境。综合模拟方法充分发挥了实装、半实物信号模拟器和全数字仿真的各自优势,来模拟构建适航符合性验证所需的电磁环境。也就是在外场动态试验时,用实装模拟电磁信号环境以及电磁干扰环境;用信号环境模拟器模拟电磁环境背景信号;在外场动态试验前和动态试验后,还可利用数字仿真产生虚拟电磁环境进行试验方案验证、试验结果预先验证和试验结果分析推断,并把实装对抗试验数据应用到计算机仿真模型建设,对模型进行修正和验证,不断提高模型的准确性。

3 机载设备电磁环境构建对象和构建要素

机载设备电磁环境的构成要素就是机载设备适航符合性验证中起决定性影响的电磁环境构成因素,缺少任一要素都不能完整地形成机载设备适航符合性验证所要求的电磁环境。同样,在构建电磁环境的时候如果没有注意到这些要素,也不能完整全面地反映机载设备验证所要求的电磁环境。确定机载设备电磁环境适航符合性所需电磁环境的构建对象和要素是构建和设置逼真、可靠、贴近实际机载设备电磁环境适航符合性验证的前提和依据。

3.1 构建对象

机载设备电磁环境适航符合性验证时需要重点构建的电磁环境主要包括自身电磁干扰环境、敌方电磁干扰环境、民用电磁环境、闪电以及高强辐射环境^[1-2]。

(1)自身电磁干扰环境:通信信号环境,是指机载设备可能面临的由于自身各种通信及通信对抗装备辐射电磁波而产生的电磁环境,主要包括有线通信、无线通信和光通信信号环境。雷达信号环境,是指机载设备可能面临的由于自身各种雷达及雷达对抗装备辐射电磁波而产生的电磁环境。光电信号环境,是指机载设备可能面临的由于自身各种光电及光电对抗装备辐射电磁波而产生的电磁环境。综合电子对抗信号环境,是指机载设备可能面临的由于己方各种综合电子对抗装备辐射电磁波而产生的电磁环境。

(2)敌方电磁干扰环境:机载设备可能面临的

由于敌方各种电子对抗装备对我进行电子攻击而产生的电磁环境,主要包括敌方雷达干扰信号、通信干扰信号和光电干扰信号以及各类无源干扰物产生的电磁信号影响。

(3)民用电磁环境:机载设备可能面临的由于一些民用电磁辐射源及设施在工作时产生的电磁环境。例如民用雷达、广播电视发射台和其他一些民用的无线通信等。

(4)闪电、高强辐射环境:机载设备可能面临的闪电、高强辐射环境一方面来自自然界的具有高电压、高电流或瞬时电磁场特点的闪电,对机载设备及其周边系统会造成直接或间接影响;另一方面源于大功率电台、电磁脉冲波的高强辐射,造成机载设备所处环境电场强度的剧烈改变,机载设备将因此产生感应电流,极易造成系统功能混乱。

3.2 构建要素

电磁环境的构建要素主要取决于两个方面:一是电磁辐射的技术特性,二是机载设备适航符合性验证需求。电磁辐射技术要素主要为:辐射信号种类、信号频率与样式、背景环境等特性要素。机载设备适航符合性需求就是模拟 DO160E 要求的电磁环境。因此,机载设备电磁环境构建要素主要包括电磁信号密度、电磁信号强度、电磁信号样式和电磁信号分布等几方面^[2-3]。

(1)电磁信号密度。电磁信号密度,指机载设备每秒接收到的脉冲信号平均数。电磁信号密度特征反映了电磁环境中信号的疏密程度。不同密度的电磁信号环境对机载设备的性能影响也不同,因此,模拟电磁环境信号,电磁环境密度是关键要素之一。

(2)电磁信号强度。电磁信号强度与辐射源功率、辐射源远近、电磁波衰减等因素有关。信号强度直接决定了电磁环境的影响能力,是对各种机载设备产生影响的能量基础。检验一个机载设备受电磁环境的影响程度,就是关注该设备所接收到的各种电磁信号的强度,如果强度高于接收机灵敏度,则必然进入到机载设备内部,进而产生影响。验证中要模拟不同信号强度的电磁信号环境和电磁干扰环境,检验机载设备在不同电磁信号强度中的环境适应能力。

(3)电磁信号样式。电磁环境的复杂程度主要表现在信号形式多样化。对于机载设备环境,包括电磁信号在频率、重频和脉宽等参数调制方式和调制信号的参数范围。

(4)电磁信号分布特征。电磁信号在时域、空域和频域分布反映了电磁环境中信号的部署特性。时域分布描述的是不同时段内信号分布情况;频域分布描述的是信号在不同频段的分布情况;空域分布描述的是信号辐射源在不同空(地)域分布情况。

4 适航符合性验证数字仿真电磁环境的构建

4.1 电磁环境适航符合性验证数字仿真的需求分析

电磁环境适航符合性验证数字仿真的需求表现在以下几个方面。

(1)确定机载设备电磁环境适航性要求的需要。模拟机载设备面临的电磁环境,计算机载设备内部、周边的电磁场分布,给出机载设备电磁环境适航性要求,确定电磁环境保护措施。以前,由于没有适航性要求,机载设备的电磁环境适应能力只能在系统联试时才能得以验证,无法避免因为技术指标制定得不够合理而导致的重复设计和研制,造成不必要的浪费并影响装备整体研制进度。为此,通过构建电磁环境适航符合性验证数字仿真系统,

可以在机载设备设计之前确定出合理的技术指标,还可以在研制过程中综合地给出更加合理的技术指标,避免不必要的浪费或造成严重的技术问题。

(2)验证机载设备电磁环境适航性设计的需要。按照 DO160 的要求模拟机载设备适航符合性验证的电磁环境,并将构建的机载设备电子样机置于其中,计算机载设备内部、周边的电磁场分布,给出机载设备电磁环境适航符合性结论。这项工作可以在系统联试前进行,避免发生因机载设备设计不符合适航性要求而导致联试通不过的情况,对提高系统联试的成功率、降低系统联试费用、加快联试进度等具有重要作用。

4.2 适航符合性验证电磁环境数字仿真系统的构建

根据电磁环境适航符合性数字仿真验证的需求,机载设备电磁环境适航符合性验证数字仿真系统需要构建机载设备电磁环境模拟系统、进行电磁场分析与计算,并需构建机载设备的 CAD 电子样机,构建如图 1 所示的数字仿真系统,主要由机载设备电磁环境安全威胁分析、机载设备 CAD 建模和电磁环境模拟平台等模块组成^[8]。

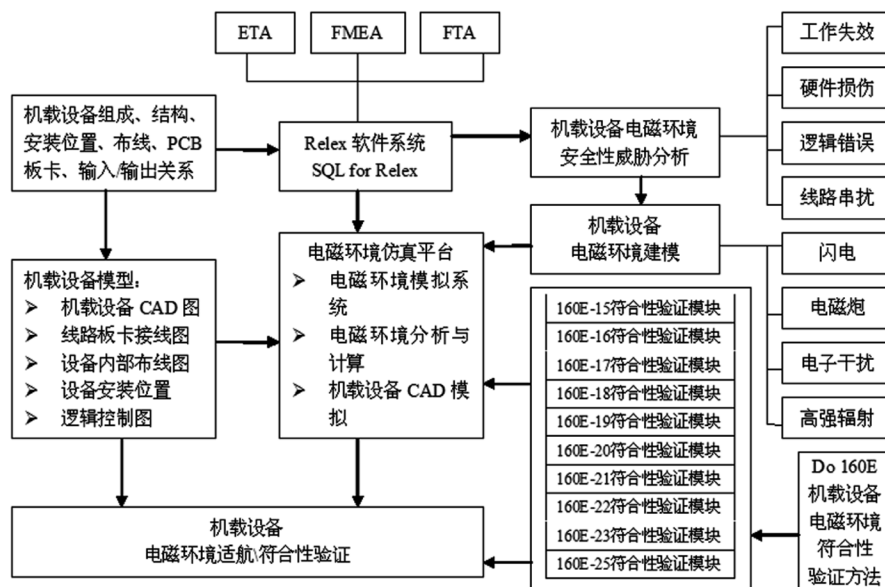


图 1 电磁环境适航符合性数字仿真系统

(1)机载设备电磁环境安全威胁分析。利用安全性分析工具,将电磁环境当作安全威胁源,进行系统安全性分析,建立功能危险树、失效模式图和故障树,给出适航性要求的电磁环境设计建议或保护措施,其分析结果既可以当作电磁环境建模的重要基础,也可当作电磁环境适航性设计的重要依据。

(2)机载设备 CAD 建模。利用电子设备专用的 CAD 软件生成机载设备电子样机,包括机载设备外形、内部构造、材料种类、线缆大小、焊接方式、器件规格以及电子线路板卡尺寸大小、空间层次关系和接线关系,标明其空间安装位置、外部控制关系以及相应的电磁环境保护措施。(下转第 76 页)

5 机载信息系统技术发展初探

机载信息系统是随着信息化技术以及电子软、硬件技术发展而来的新兴系统,代表着飞机新的应用需求。同时,民用飞机的机载电子设备和总线自上世纪50年代开始经历了几个阶段的明显变革,美国航空无线电公司(ARINC)在航空公司电子工程委员会的支持下,经过近70年的发展,经历了如表1所示的演进。从演进过程可以看出,航空电子设备正在向着综合结构和网络化方向发展。

表1 航空电子设备研制规范演进过程

机载电子设备	分离式	联合式	综合式	分布式
	低速		高速	
ARINC 标准	ARINC - 400 系列	ARINC - 600 系列	ARINC - 800 系列	ARINC - 900 系列
时间	19 世纪 50 到 70 年代		80 和 90 年代 → 21 世纪	

机载信息系统是个新兴的系统,主要从飞机架构上对机载系统的研制提出了新理念,将机载系统划分为高安全等级的系统(DAL A,B,C)和一般安全等级的系统(DAL D,E),从而为飞机的系统综合规划出更加清晰的道路。如机载维护系统会驻留在机载信息系统的服务平台内,快速记录系统也不再使用CF卡,直接记录在信息系统的大容量存储器里,并通过空地

(上接第41页)

(3)电磁环境仿真平台。一是建立典型电磁环境模型:开发电磁环境模拟系统,模拟符合DO160要求的电磁兼容/电磁干扰、闪电、高强辐射等数字仿真的电磁环境。二是进行电磁环境分析与计算:计算电磁环境噪声电平、频段占用度、时间占用度、空间覆盖率、功率通量密度、信号强度、信号类型、频谱密度、干扰场强、脉冲流密度、信号密度等电磁分布特征。三是分析并检验机载设备电磁效应:根据机载设备的安装位置和周边设备情况,模拟机载设备所处的电磁环境或突发事件,给出电磁分布特征,验证机载设备的环境适应能力,提供机载设备电磁环境适航符合性验证结论。

5 结论

本文根据机载设备电磁环境适航符合性验证要求,研究了适航符合性电磁环境构建的一般方法,重点研究了电磁环境适航符合性验证数字仿真系统的构建方法,构建了具有适航符合性审查流程模拟、适航符合性要求确认和适航符合性验证等数字仿真功能的电磁环境适航符合性数字仿真系统。该系统能

无线以及机场无线网络自动下载到机场信息网络中心,数据加载与构型管理也可以通过网络的安全机制实现无线加载,通过机载信息系统大量地实现飞机与地面的IP通信,提高飞机的数据通讯能力。

另外机载信息系统新的应用也不断地涌现,移动航图、机场门到门导航的需要、甚至机场信息化的需要、“无纸化驾驶舱”的需要及机载系统“E化”的需要等都必将进一步激发机载信息系统新的功能不断被开发出来。为了改进驾驶舱的人机工效设计,电子飞行包的显示逐步需要和下显结合起来统一进行考虑和任务分工。

另外也可以大胆地预测,随着空地无线宽带通信新技术在机载信息系统的应用以及普及,传统的航线管理及航线运营维护也可能和机载信息系统进行进一步的融合,并改进系统设计或产生新的应用,从而提高民航运营水平、维护工作效率和旅客服务水平。

参考文献:

- [1]曹全新.新一代民机航电系统初探[J].民用飞机设计与研究,2010,1:1-4.
- [2]Cheryl L. Allen 等. Integrated Vehicle Health Management Technical Plan Summary[EB/OL]. NASA,2007:7-10.

合理确定机载设备电磁环境性能指标要求,将机载设备电磁环境影响风险前移到设计阶段,对提高机载设备质量水平、降低研制风险和适航性审查效率均具有十分重要的意义。

参考文献:

- [1]舒小华,周燕佩.航空器闪电与高强辐射防护的适航审定[J].民用飞机设计与研究,2010,1:45-47.
- [2]RTCA DO-160E. Environment Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment. RTCA Inc., 2004,9.
- [3]崔积丰,田益明,韩伟.电子装备试验电磁环境构建方法[J].电子信息对抗技术,2012,27(1):60-64.
- [4]李莉,孙振华,李立伟,单月辉.装备定型试验中复杂电磁环境研究[J].装备指挥学院学报,2009,20(2):73-76.
- [5]翁干飞,华祖耀,田新华,电磁环境仿真研究[J].计算机仿真,2002,19(5):107-110.
- [6]洪丽娜,狄东宁,王华兵,董俊.空战场全数字模拟电磁环境表示方法[J].航空电子对抗,2013,29(1):35-38.
- [7]马永辉,张攻文,张元发.电磁环境模拟仿真系统研究与实现[J].福建电脑,2012,2:119-120.
- [8]胡剑波.适航性讲义[M].西安:空军工程大学,2013.