

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.12.017

引用格式:张丙伟,吴惠明,江志平.机载无线电设备兼容性内场试验方法[J].电讯技术,2016,56(12):1400-1404.[ZHANG Bingwei, WU Huiming, JIANG Zhiping. Indoor compatibility test method for airborne radio equipment[J]. Telecommunication Engineering, 2016, 56(12): 1400-1404.]

## 机载无线电设备兼容性内场试验方法\*

张丙伟\*\*,吴惠明,江志平

(南京长峰航天电子科技有限公司,南京 210003)

**摘要:**机载无线电设备之间的兼容性试验是飞机研制完成之后进行的一项重要整机性能试验项目,当前主要通过外场飞行来完成。提出了一种新的试验方法,即采用内场辐射式试验方案来完成无线电设备装机之后的兼容性试验。首先以典型机载无线电设备为基础,分析整机内场兼容性试验需要完成的试验项目,进而阐述内场辐射式试验系统的总体方案。该方法具有以下特点:易于构建复杂电磁环境;可完成机载无线电设备之间的兼容性试验;可完成整机在复杂电磁环境下的工作性能评估试验。这些工作在促进航空工业的发展、提升国产新型飞机的技术水平及市场竞争力等方面具有重大工程应用价值。

**关键词:**机载无线电设备;兼容性试验;复杂电磁环境;内场试验系统

**中图分类号:**TN03;TN806 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2016)12-1400-05

## Indoor Compatibility Test Method for Airborne Radio Equipment

ZHANG Bingwei, WU Huiming, JIANG Zhiping

(Nanjing Changfeng Aerospace Electronic Technology Co., Ltd., Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Compatibility test for airborne radio installations is one of the important items for whole aircraft performance test after the aircraft is developed. A new test method called indoor radiation test scheme is proposed to complete the compatibility test by replacing parts of the outdoor flight test items. The test items needed to finish are analyzed on the basis of the typical airborne radio equipment. Then the general solution for the indoor radiation test is described. With this indoor test method, complex electromagnetic environment can be built easily, the compatibility test between airborne radio equipment and performance evaluation test of the whole aircraft in complex electromagnetic environment can also be implemented. The work has significant engineering application value for promoting the development of aviation industry and enhancing the technical level and market competitiveness of new types of domestic aircraft.

**Key words:** airborne radio equipment; compatibility test; complex electromagnetic environment; indoor test system

### 1 引言

现代飞机是结构复杂、技术含量高的产品,在有限空间内装备有大量的无线电设备,它们的工作信号频带宽广、密集甚至交叠,发射设备功率大,接收

设备灵敏度高,天线数量多且分布集中,常导致飞机内部各机载无线电设备的工作信号相互干扰,使得机载无线电设备之间的工作兼容性日趋复杂<sup>[1-2]</sup>。同时,飞机在飞行过程中,其内部机载无线电设备工

\* 收稿日期:2016-06-08;修回日期:2016-08-23 Received date:2016-06-08;Revised date:2016-08-23

基金项目:江苏省自然科学基金-青年基金资助项目(BK20130108)

Foundation Item: The Natural Science Foundation of Jiangsu Province(BK20130108)

\*\* 通信作者:willaa@126.com Corresponding author: willaa@126.com

作时还会受到敌方设备的干扰信号,外部雷达站、导航站、通信基站、广播电台等设备发射的背景高场强信号,以及雷电等自然电磁环境信号的影响,使得飞机与外部电磁环境之间的兼容性变得日益严峻。此外,现代新型飞机将更多地采用复合材料,势必加剧飞机整机系统的兼容性问题。目前,主要通过外场飞行对上述兼容性问题进行评估与考核<sup>[3-6]</sup>。而外场飞行受天气、保密性、试验耗资、环境可控性等因素限制,试验组织难度大,试验周期长。为了提高新型飞机的研制效率,缩短研制周期,特别是为了降低飞机飞行试验的飞行风险,避免不必要的损失,本文提出采用内场试验方案进行兼容性试验,替代部分外场飞行试验项目。

国内在实验室环境下对飞机装机后无线电设备之间的兼容性试验技术的研究和应用尚处于初期阶段<sup>[7-8]</sup>,未见公开发表的文献。本文拟对该试验技术做探索性研究,并提出总体实现方案,希望能在促进该技术的发展、提升飞机整机的兼容性设计与评估水平、完善性能指标符合性验证技术等方面做好技术准备。

## 2 需求分析

### 2.1 典型机载无线电设备

现代飞机上装备的无线电设备主要包括<sup>[2,8-9]</sup>:飞行管理设备,如无线电高度表、测距仪(Distance Measuring Equipment, DME)、塔康(Tactical Air Navigation system, TACAN)、导航系统、微波着陆系统(Microwave Landing System, MLS)、仪表着陆系统(Instrument Landing System, ILS)等;监视与告警设备,如机载雷达、交通警告和防撞系统(Traffic alert and Collision Avoidance System, TCAS)等;多功能电子系统,如电子侦察系统(Electronic Surveillance Measure, ESM)等;数据与语音通信设备,如机载通信电台(UHF/VHF/HF)、卫星通信系统等。

### 2.2 兼容性试验项目

本文所述兼容性试验不是成品单机设备的兼容性指标测试,而是通过常规电磁兼容测试之后的成品单机设备安装至飞机上的工作兼容性试验。对于不同类型的飞机,如民用飞机、军用飞机(战斗机、预警机、轰炸机等),由于它们处于不同的生存环境,故对机载设备之间的兼容性要求是不同的,此时的整机设备兼容性能考核标准由相关飞机总体单位根据要求量身定制,并装载到试验系统中。

本文涉及到的兼容性试验主要包括以下两个方面:飞机内部机载无线电设备发射分机对接收分机的工作兼容性试验;各无线电设备在复杂电磁环境下的工作能力试验。

#### 2.2.1 机载无线电设备之间的工作兼容性试验

本文主要考虑同频或邻频干扰、多功能电子系统与其他设备之间的相互干扰,试验项目及参试设备简述如下:

(1)C 频段功能之间的工作兼容性试验,参与试验的设备主要包括无线电高度表、MLS、机载气象雷达、卫星通信系统等;

(2)L 频段功能之间的工作兼容性试验,参与试验的设备主要包括 TACAN/DME、卫星导航系统、机载预警雷达、TCAS 等;

(3)U/V 频段功能之间的工作兼容性试验,参与试验的设备主要包括 ILS、机载通信电台等;

(4)机载雷达、TACAN/DME、卫星导航系统、TCAS、机载通信电台等设备工作对 ESM 系统工作性能影响的兼容性试验。

以上项目主要考核同频或邻频设备之间的兼容性,例如:L 频段功能设备 DME 和 TCAS 同时工作时,其工作信号之间是否存在相互干扰,需要通过试验进行评估。再如:ESM 是宽带系统,和很多机载分系统设备均有重合的工作频段,当 ESM 系统侦察目标时,机载雷达或者 TCAS 等工作是否会给 ESM 系统带来虚假目标而导致误判,同样需要通过试验进行评估。

#### 2.2.2 机载无线电设备在复杂电磁环境下的工作兼容性试验

本文所述复杂电磁环境主要包括:无线电高度表、机载雷达、ESM 系统等所需的目标信号环境;压制式干扰、欺骗式干扰等干扰信号环境;地杂波、海杂波、气象杂波等杂波环境;通信基站、导航台站、广播电台等产生的背景电磁信号环境。

这里所说的复杂电磁环境不包含雷电、静电放电等自然环境,例如:目标信号模拟器通过目标阵列向机载雷达辐射目标信号,而干扰信号模拟器通过目标阵列辐射欺骗干扰信号,这种情况可以考核干扰环境下机载雷达的工作能力。

## 3 试验系统总体方案设计

### 3.1 技术路线

为实现飞机装机后无线电设备在内场试验环境



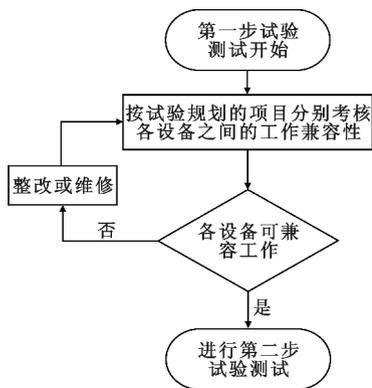


图 3 机载无线电设备之间的兼容性试验流程图  
Fig. 3 Flow chart of compatibility test between airborne radio equipment

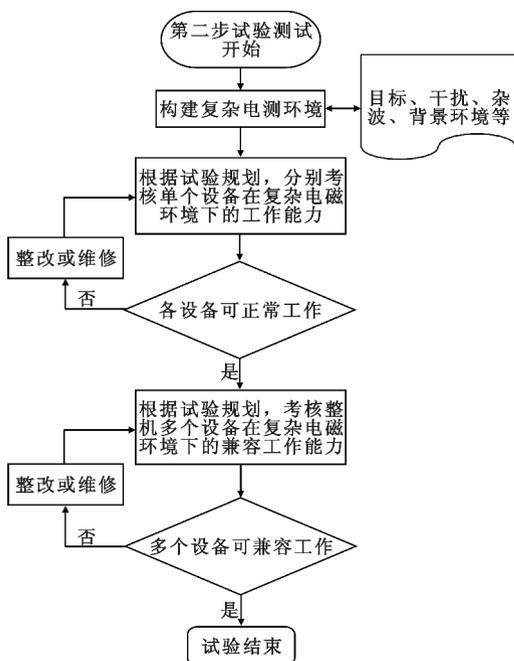


图 4 机载设备在复杂电磁环境下的工作兼容性试验流程图  
Fig. 4 Flow chart of working compatibility test of airborne radio equipment in complex electromagnetic environment

试验过程中录取的数据作为后续分析的依据, 通过以上试验的飞机可以进行下一步工作。

### 3.4 几点说明

(1) 本文主要提出了一种新的整机无线电设备的兼容性测试方法, 以及实现该方法的测试系统总体方案。

(2) 本文所述的兼容性试验是成品单机设备通过常规电磁兼容测试之后安装至飞机上的工作兼容性试验, 对于不同类型的飞机, 如民用飞机、军用飞机(战斗机、预警机、轰炸机等), 由于它们处于不同的生存环境, 故对机载设备之间的兼容性要求是不

同的, 此时的整机设备兼容性能考核标准由相关飞机总体单位根据要求量身定制, 并装载到试验系统中。

(3) 当前国内还没有建成一座整机兼容性实验室(仅有一座整机暗室, 但无法实现复杂环境下的动态性能测试), 故无法开展试验, 导致暂时没有测试数据。下一阶段建造完成实验室后则可展开试验, 而本文的工作是下一阶段工作的重要基础。

(4) 机载无线电设备的兼容性试验系统涉及领域广, 专业性强, 工程研制和实施过程中, 技术协调难度大, 对系统一体化建设能力要求高, 为确保试验测试系统能发挥最大效益, 研制中建议以交钥匙工程的原则对试验系统进行设计、建设、施工和服务, 从而可有效避免系统研制和使用风险。

### 3.5 本方法创新点

本文方法主要有以下 5 点创新:

(1) 可完成整机装机后机载无线电设备之间的工作兼容性评估;

(2) 可完成整机系统在外界复杂电磁环境下的工作能力评估;

(3) 可适应多种类型飞机的兼容性试验;

(4) 复杂电磁环境构建全面, 能够逼真再现真实环境信号;

(5) 能够自主设置目标与环境。

## 4 结束语

本文提出的内场辐射式兼容性试验方法是一种高效、可靠、可重复、高性价比的技术手段, 目前国内在实验室环境下对该试验技术的研究和应用尚处于初期阶段, 未见公开发表的文献。该方法能够为飞机自身设备兼容性以及飞机与环境兼容性措施的实施效果提供解决方案, 下一阶段将以此为基础进行整机兼容性实验室的建设。本文是半实物仿真技术在整机兼容性试验、系统兼容性测试以及复杂电磁环境下机载设备工作能力考核等领域的推广应用, 具有重要研究和工程应用价值。希望本文的工作能对相关试验测试提供有益的帮助和参考。

### 参考文献:

- [1] 钟科. 复杂电磁场对机载设备的干扰研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.  
ZHONG Ke. The research on complex electromagnetic field interfering the airborne equipment[D]. Xi'an: Xidian University, 2012. (in Chinese)

- [2] 谢振球,吴铭望. 大型飞机机载设备及关键技术分析[J]. 航空制造技术,2009(2):48-51.  
XIE Zhenqiu, WU Mingwang. Analysis of airborne equipment and its key technologies on large aircraft[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(2):48-51. (in Chinese)
- [3] 杨剑,张鹏. 飞机电磁兼容性试验与试飞研究[J]. 电子科技,2011,24(2):66-69.  
YANG Jian, ZHANG Peng. Study of the electromagnetic compatibility trial and flight test of aircraft [J]. Electronic Science & Technology, 2011, 24(2):66-69. (in Chinese)
- [4] 张同斌,李体方,盛又文. 国外四代战机飞行试验综述[J]. 飞航导弹,2012(5):74-78.  
ZHANG Tongbin, LI Tifang, SHENG Youwen. Overview of flight test of foreign four generation airplane [J]. Aerodynamic Missile Journal, 2012(5):74-78. (in Chinese)
- [5] 范旭明,王建军,李杨. 试飞测试系统地面实验验证技术初探[J]. 测控技术,2011,30(增刊):156-160.  
FAN Xuming, WANG Jianjun, LI Yang. Study of ground experimental validation for flight test measuring system [J]. Measurement & Control Technology, 2011, 30(suppl.):156-160. (in Chinese)
- [6] 张宝珍,张丽星,尤晨宇. 国外武器装备电磁环境适应性试验与评价技术及能力发展综述[J]. 计算机测量与控制,2015,23(3):677-681.  
ZHANG Baozhen, ZHANG Lixing, YOU Chenyu. Overview of foreign weapon systems test and evaluation technology research and capability development under complex electromagnetic environment [J]. Computer Measurement & Control, 2015, 23(3):677-681. (in Chinese)
- [7] 韩征,齐亮. 国内外机载设备电磁环境验证标准分析[J]. 安全与电磁兼容,2011(6):29-32.  
HAN Zheng, QI Liang. Difference analysis of airborne equipment electromagnetic environment certification standards in China and abroad [J]. Safety & EMC, 2011(6):29-32. (in Chinese)
- [8] 刘满堂,彭笠. 航空通信系统试飞过程中的电磁兼容性评估[J]. 电讯技术,2013,53(5):661-666.

LIU Mantang, PENG Li. Electromagnetic compatibility evaluation in test flight of avionics communication systems [J]. Telecommunication Engineering, 2013, 53(5):661-666. (in Chinese)

- [9] 冯培德. 发展中国大型飞机机载设备的思考[J]. 航空学报,2008,29(3):681-685.  
FENG Peide. Ideas for Developing airborne equipments of China's large aircraft [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2008, 29(3):681-685. (in Chinese)

## 作者简介:



张丙伟(1980—),男,江苏沛县人,2011年于东南大学获工学博士学位,现为工程师,主要从事复杂电磁环境构建、射频仿真及内场试验技术的研究;

ZHANG Bingwei was born in Peixian, Jiangsu Province, in 1980. He received the Ph. D. degree from Southeast University in 2011. He is now an engineer. His research concerns construction of complex electromagnetic environment, RF simulation system, and indoor test technique.

Email: willaa@126.com

吴惠明(1971—),男,浙江人,2004年于东南大学获工学硕士学位,现为高级工程师,长期从事射频仿真、电子对抗及电子系统作战效能评估系统的研制工作;

WU Huiming was born in Zhejiang Province, in 1971. He received the M. S. degree from Southeast University in 2004. He is now a senior engineer. He is engaged in the development of RF simulation system, electronic countermeasure and electronic system operational effectiveness evaluation system.

江志平(1963—),男,湖南湘阴人,1987年于东南大学获工学硕士学位,现为高级工程师,长期从事雷达系统总体设计、雷达系统内场测试和外场试验系统、雷达电子对抗系统的研究。

JIANG Zhiping was born in Xiangyin, Hunan Province, in 1963. He received the M. S. degree from Southeast University in 1987. He is now a senior engineer. His research concerns general design of radar system, indoor and outdoor test system for radar system, and electronic countermeasure system for radar.