

文章编号:1001-893X(2012)03-0414-04

机载射频系统地面试验外场建设的新思路^{*}

陈 杰

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘 要:介绍了国外机载射频系统的组成,分析了机载射频系统的战技指标,探讨了国外试验外场的设计和装备配备。借鉴国外经验,总结了机载射频系统测试内容,提出针对机载射频系统地面测试外场建设的新思路,为工程实施奠定基础。

关键词:第四代战斗机;机载射频系统;外场试验;地面场地建设

中图分类号:V243 **文献标志码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2012.03.033

A New Thinking of Constructing Outfield Experiment Site for Airborne Radio Frequency Systems

CHEN Jie

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: The composition of foreign airborne radio frequency(RF) system is introduced. The tactical and technical performance indexes of RF system are analysed. The design and equipment configuration of foreign outfield experiment site are discussed. By referring to the foreign experience for reference, the experiment content of RF system is summarized and a new design thinking of constructing outfield experiment site for airborne RF system is presented. This design lays a foundation for the engineering implementation.

Key words: the fourth generation fighter; airborne radio frequency system; outfield experiment; site construction

1 引 言

第四代战斗机的基本要求是低可探测性隐身性能、超音速巡航、超视距攻击。目前服役的只有 F-22(F-35 即将服役,T-50 进行试飞)能达到下一代战斗机的水平。

机载射频传感器是四代机最重要设计部分,其配备功能线程较多,功能复杂,涉及频段广,功率起伏大。国外第四代战斗机设计基本思路是综合化,做到共用、复用等。而以上设计思路在上二代战斗机中并未涉及,这种跨越式必将是个反复设计、反复实践、反复迭代的过程。而作为研发流程中的地面外场试验也至关重要,建立一个完善、智能、综合化的地面机载综合射频传感器系统测试外场是需要重

点考虑的。

本文通过对国外第四代战斗机综合射频系统设计分析,结合其地面外场试验项目及其外场建设大概内容,提出对下一代战斗机综合射频系统试验外场建设的思路。

2 国外机载射频传感器介绍

2.1 国外机载射频传感器系统设计介绍

国外战斗机主要射频传感器^[1]有机载火控雷达(RD)、告警接收机(RWR)、无源探测(ESM)、有源干扰(ECM)、敌我识别(IFF)、UV 通信、JTIDS、塔康、仪表着陆、微波着陆、高度表、卫星通信、飞行数据链(IFDL)-F22、多孔径数据链(MADL)-F35 等。

^{*} 收稿日期:2011-11-03;修回日期:2012-02-27

2.1.1 F-22 的射频系统设计

F-22 是国际上第一种引入机载电子系统综合化设计理念的机型,并且实现了真正的综合化。这种高度的综合化体现在资源综合利用、数据综合处理、人机综合显控上:所有传感器、系统和任务数据采用统一的单一的人机接口;同步分配共享的情况、任务和系统数据;采用标准的“开放式”结构及接口的通用、模块化处理模块。

F-22 首次使用了 CIP(通用综合处理器)进行所有传感器输入、输出数据的处理和分发,是 F-22 真正的“大脑”。CIP 是包含信息处理与数据处理单元的插入式模块架,配有 7 种标准处理模块,负责所有机载传感器和任务设备的信号和数据处理。

F-22 另外一个射频综合设计是 ALR-94 电子战系统和 APG-77 雷达进行一体化设计,利用 ALR-94 探测到敌方雷达信息,通过 APG-77 有源阵面进行大功率、多波束的干扰,达到压制对方的目的。而 APG-77 雷达有源相控阵可作为雷达发射、接收天线,也可作为电子战无源探测和干扰天线,还可作为通信收发天线。这种跨功能设计是 F-22 射频综合化的一大特点,也是洛克希德·马丁公司(简称洛马公司)总体设计的技术结晶。

2.1.2 F-35 的射频系统设计

F-22 是四代机的典型代表,但是作为战斗机眼睛和耳朵的射频传感器系统没有做到真正的综合化设计,F-35 的设计是在 F-22 的基础上进行了更多的改进和综合,使 F-35 在射频综合设计上更加趋于完善。

F-35 射频传感器进行了高度综合设计^[2],多功能综合射频系统(MIRFS)是 F-22 航空电子技术趋于成熟的一个重要组成部分,具体表现在以下几方面。

(1)孔径综合共用

雷达、电子战共有雷达有源相控阵孔径,电子战某些频段与通信、导航、识别(CNI)共用孔径,CNI 利用雷达阵面进行通信。

(2)处理系统综合共用

各个射频传感器共用功能强大的综合核心处理机(ICP)进行信息、数据处理,ICP 经过多源处理、融合后将最后结果传输给飞行员,减少了飞行员的分析处理压力^[3]。

(3)射频信道综合共用

射频开关、中频开关和宽带超外差前端等均可同

时或分时利用,通过 ICP 软件进行分配和重构使用。

(4)模块通用化

ICP、射频信道大量模块实现通用,互为备份,将模块种类大大压缩,提高系统可靠性和可维修性。

总之,F-35 是目前国际上第四代战斗机中最先进的设计。由于是联合设计,所以 F-35 汇聚了美国等发达国家航空电子设计的精华,满足了 21 世纪战斗机作战需求,值得我国四代机航电综合化设计借鉴。

2.2 国外机载射频传感器系统外场试验分析

资料显示,F-22、F-35 等国外先进四代机射频综合系统进行试飞前,经历了桌面联式、暗室测试和地面外场无线辐射试验。地面外场无线辐射试验是极其重要的一环,在达到地面试验预期后方进行空中试飞。为此,F-35 总承包方洛克希德·马丁公司在地面建设了复杂的试验外场,主要包含中心测试塔(含战机等比模型)、复杂电磁环境、静态/动态威胁多目标系统、协作目标系统、测试系统和评估系统等。

通过查阅资料,美国 F-22、F-35 射频综合主要涉及传感器有雷达、电子战设备、CNI 设备等,所以其外场具备的模拟器有以下几种:

(1)雷达信号模拟,模拟器交战飞机的雷达发送信号和地面威胁雷达信号等;

(2)复杂电磁环境模拟,模拟高密度的复杂电磁环境,包含普通雷达信号、通信信号、杂波信号等^[4];

(3)雷达目标回波模拟,模拟机载火控雷达目标,已经欺骗诱饵目标等,可对 RCS、多普勒、距离进行调制;

(4)无源雷达模拟,模拟威胁方无源探测设备,监控本机射频系统辐射信号;

(5)协作目标模拟,模拟数据链、电台、导航等协作目标的信号反馈模拟。

测试手段有:

(1)地面固定点测试;

(2)地面动目标测试,利用电扫信号模拟动态目标;

(3)空中动目标测试,利用无人机、气球等进行控制目标模拟;

(4)分析评估手段,洛克希德·马丁公司和美国军方均有先进的数据采集系统和实时统计分析评估系统,满足测试输出录取处理的需要。

通过以上测试系统的组成我们可以分析:F-35

在地面将模拟逼真的空中复杂电磁环境,例如火控雷达信号、跟踪雷达信号、干扰信号、通信信号等,然后模拟敌、友的目标属性,比如 RCS、距离、速度、位置和辐射信号特性等,还模拟指挥基地或僚机的协作信号,比如电台应答、数据链通信、IFF 应答、导航信号等。总之,洛马公司在地面尽可能营造战机在空中起伏、巡航、格斗和着陆等不同状态时的电磁态势,为 F-35 在地面进行详细的测试奠定基础。

3 未来机载射频系统外场建设考虑

3.1 机载综合射频系统试验外场功能

机载综合射频系统试验外场主要是满足综合射频系统在研究阶段的软硬件调试,以及系统后期的子系统测试、系统综合测试和系统交付验收时的战技指标测试。具备功能有:

- (1)逼真模拟空空、空面复杂电磁环境;
- (2)逼真模拟作战对象动、静态目标;
- (3)逼真模拟协作对象信号;
- (4)具备全方位、全频段、大空域试验视野;
- (5)系统具备良好的指挥调度、监视、控制、试验结果录取分析、态势显示等能力;
- (6)具有良好的可扩展功能。

3.2 机载射频系统外场试验需求分析

借鉴发达国家先进战机设计思路,结合实际研究特点,机载射频系统外场试验需求主要从以下几个方面进行分析考虑。

- (1)系统内各功能的兼容性测试
- 随着综合化的深入,各功能线程并发运行情况较多,作为机载设备,在有限的空间里各功能相互之间的兼容性如何必须定量测试,以给出各功能兼容工作后战技指标是否满足需求。机载射频系统功能较差严重,频率重叠或谐波影响矛盾日益突出,在设计之初对以上方面进行了技术要求,地面外场是无线验证或调试设计的必要过程。
- 兼容性测试主要内容包含以下几个大的方面:雷达发射对电子战无源接收的影响;电子干扰发射对雷达接收的影响;雷达发射对通信导航的影响;通信导航对电子战无源接收的影响;电子干扰对通信导航的影响;其他兼容问题。

- (2)资源共用性能测试
- 综合化的一个特点就是资源共用,尤其是综合化天线的共用。而资源共用后系统性能是否得以保

证,是否满足战技指标,需要进行外场无线辐射试验方可验证。

资源共用测试主要内容包含以下几个大的方面:共用孔径测试;共用处理资源测试;其他共用资源测试。

(3)各子系统协同分析处理试验

由于综合射频系统功能众多,而战机对外界态势感知需要各传感器综合分析、协同处理来得到。比如雷达和无源探测进行协同探测,模拟逼真的有源、无源目标,通过各自传感器进行探测然后综合协同反省处理得出真实航迹。这类试验将验证系统实现各传感器真正的综合化。

主要测试项目有传感器数据融合测试、传感器互引导测试、其他综合系统测试。

(4)综合系统和各子系统战技指标测试

需要对综合系统和子系统进行外场无线验收和指标测试时,结合配试模拟器进行调试、测试和验收,包括雷达功能性能指标测试、电子战功能性能指标测试、通信导航功能性能指标测试、其他功能测试指标测试。

(5)其他特殊功能测试

能按用户要求进行特殊功能的测试。

3.3 机载射频系统外场设备组成

要满足以上试验需求,笔者认为试验外场由以下设备组成^[4],见表 1。

表 1 机载射频系统试验外场设备组成表^[5]

Table 2 The detailed list of outfield experiment equipment for the airborne RF system	
设备名称	说明
复杂电磁环境模拟器	模拟雷达、通信、杂波等环境信号;频率范围:30 MHz ~ 18 GHz;作用空域:全空域。
通用信号模拟器	信号模拟类型:模拟机载火控、导引头、地面搜索/制导/跟踪等雷达;目标回波、干扰信号等;协作目标信号、数据链信号、导航信号等。
电磁频谱监测系统	监测射频系统辐射信号,进行分析、处理;频率范围:30 MHz ~ 40 GHz;作用空域:全空域。
试验指控系统	进行试验规划、配置、控制以及动态显示
分析评估系统	进行试验的数据录取、实时/事后分析评估生成报告
动目标模拟设备	无人机等
其他配套设备	高塔、转台、方舱、时统、载车、通信等

试验外场组成框图如图 1 所示。

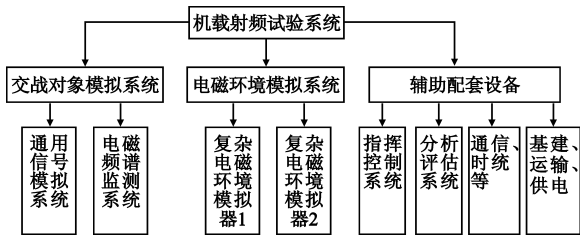


图 1 机载射频系统试验外场组成框图
Fig.1 The block diagram of outfield experiment site for the airborne RF system

3.4 机载射频系统地面试验外场布局及要求

机载射频系统地面试验外场分布图如图 2 所示。

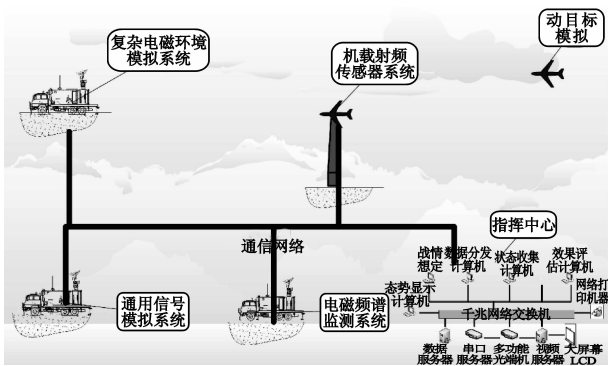


图 2 机载射频系统试验外场设备布局图
Fig.2 The layout diagram of outfield equipment for the airborne RF system

3.4.1 场地需求

由于要在地面模拟机载空空环境,所以尽量要求空域广阔,减少射频波束的折射和反射,根据国内外各类型电子试验场地的经验,要求试验场地至少为1 km × 1 km;地面平坦无遮挡,良好的通视条件;具备模拟器设备运输的道路和通信的光纤线路。

3.4.2 布阵需求

布阵基本要求如下:

- (1)试验高塔布局在试验场靠边位置,基本保证目标模拟设备与被试射频系统有 900 m 左右的通视距离;
- (2)模拟器与被试设备距离要求;
- (3)最小远场距离要求:满足公式 $R \geq 2D^2/\lambda$, 式中 R 为远场距离, D 为天线口径, λ 为信号波长;
- (4)模拟器发射功率:在被试设备灵敏度恒定的情况下,模拟器发射功率有限,所以对布阵有一定影响,应根据具体情况进行计算分析;
- (5)模拟器灵敏度:在被试设备发射信号功率恒定的情况下,模拟器灵敏度设计不同,对布阵有一定

影响,应根据具体情况进行计算分析;

(6)环境因素:由于机载射频系统有大功率发射的设备,电磁辐射对周边环境将造成一定影响,布阵时应考虑发射方向避开建筑物和人口密集方向。

4 结束语

笔者通过对试验场的测试内容、配试模拟器设备、配套保障设施、试验场的要求以及设备布阵等进行详细说明,旨在提出建设先进的机载射频系统试验外场方法。目前国内尚无相应的综合试验外场,本文工作对后期实验外场建设具有一定借鉴作用。由于笔者对国外资料理解有限,以上方法思路还有较多不足之处,且在具体机载射频系统试验过程中对试验外场还有具体的要求。以上只是笔者的粗识拙见,愿抛砖引玉,与同行专家商榷,共同促进机载射频系统的研究。

参考文献:

[1] Ian Moir. 军用航空电子系统[M]. 吴汉平,译.北京:电子工业出版社,2008:3-29.
Ian Moir. military Avionics System[M]. Translated by WU Han-ping. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2008: 3-29. (in Chinese)

[2] Jay Miller. “猛禽”F-22[M]. 杨晨光,白堃,译.北京:科学普及出版社,2009:150-160.
Jay Miller. Lockheed Martin F/A-22 Raptor[M]. Translated by YANG Chen-guang, BAI Kun. Beijing: Popular Science Press,2009:150-160. (in Chinese)

[3] 陈颖,陈德志. 航空传感器综合处理机的开放式体系架构[J]. 电讯技术,2005,45(2):107-110.
CHEN Ying, CHEN De-zhi. Open Systems Architecture of Airborne Integrated Processor[J]. Telecommunication Engineering,2005,45(2):107-110. (in Chinese)

[4] 周宏伟. 密集复杂电磁环境下电子对抗装备外场试验设备能力需求[J]. 舰船电子对抗,2010,33(3):18-22.
ZHOU Hong-wei. Capability Requirement of Outfield Test Devices for Electronic Countermeasure Equipments in The Dense Complex Electromagnetic Environment[J]. Shipboard Electronic Countermeasure,2010,33(3):18-22. (in Chinese)

[5] 戎建刚,魏建宁,黄和国. 如何构建电子战靶场的复杂电磁环境[J]. 电子对抗,2010(1):6-10.
RONG Jian-gang, WEI Jian-ning, HUANG He-guo. How to Built Complex Electromagnetic Environment of Electronic Warfare Target Range[J]. Electronic Warfare,2010(1):6-10. (in Chinese)

作者简介:

陈杰(1977—),男,四川万源人,工程师,主要研究方向机载电子战。
CHEN Jie was born in Wanyuan, Sichuan Province, in 1977. He is now an engineer. His research direction is airborne electronic warfare.
Email: jet0314008@163.com