

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2015.02.019

引用格式:刘满堂,张家新,刘悦.复杂电磁环境下航空通信效能试飞评估[J].电讯技术,2015,55(2):222-225. [LIU Mantang,ZHANG Jiaxin,LIU Yue. Evaluation of Aeronautical Communication Effectiveness through Flight-test in Complex Electromagnetic Environment[J]. Telecommunication Engineering,2015,55(2):222-225.]

复杂电磁环境下航空通信效能试飞评估*

刘满堂^{1,**},张家新¹,刘悦²

(1. 中国西南电子技术研究所,成都 610036;2. 成都天奥信息科技有限公司,成都 611731)

摘要:根据复杂电磁环境下航空通信试飞要求,研究了航空通信效能试飞评估方法。在分析复杂电磁环境和通信效能评估的特点基础上,提出了复杂电磁环境的量化分级、通信效能试飞评估方法,实现了仿真、试验、试飞为一体的综合通信效能试飞评估,对航空通信系统在复杂电磁环境下通信能量化评估具有参考价值。

关键词:航空通信;通信效能评估;复杂电磁环境;量化评估;电磁干扰;电磁兼容

中图分类号:TN06 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2015)02-0222-04

Evaluation of Aeronautical Communication Effectiveness through Flight-test in Complex Electromagnetic Environment

LIU Mantang¹,ZHANG Jiaxin¹,LIU Yue²

(1. Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China;
2. Chengdu Spaceon Technology Co., Ltd., Chengdu 611731, China)

Abstract: According to the requirement of aeronautical communication flight-test in complex electromagnetic environment, this paper studies the evaluation method of aeronautical communication effectiveness. The characteristic of complex electromagnetic environment and communication effectiveness evaluation is analyzed, and the quantitative classification of complex electromagnetic environment and the evaluation method are proposed to realize synthetic evaluation of aeronautical communication effectiveness, including simulation, experiment and flight-test. This method has reference value for quantitative evaluation of aeronautical communication effectiveness in complex electromagnetic environment.

Key words: aeronautical communication; communication effectiveness evaluation; complex electromagnetic environment; quantitative evaluation; electromagnetic interference; electromagnetic compatibility

1 引言

复杂电磁环境下航空通信能力不仅与系统固有性能有关,也与飞机平台电磁环境密切相关,而且,恶劣电磁环境条件对航空通信质量的影响是巨大的。所以,研究复杂电磁环境条件下航空通信系统效能评估是提高航空通信系统使用效能的重要措施之一。

随着航空通信系统的应用范围不断扩大,系统

组成也成倍增长,采用拆分隔离等单一方式进行通信效能评估^[1]已不能满足现实需求,如何确保系统效能的准确评估是通信系统能力验证的关键。

鉴于技术发展和用户剧增所导致的航空平台电磁环境日益恶化的现状,开展复杂电磁环境通信能力^[2]试飞评估研究具有现实意义。

本文主要进行复杂电磁环境和通信系统的特点探讨,分析典型应用环境。

* 收稿日期:2014-07-10;修回日期:2014-12-26 Received date:2014-07-10;Revised date:2014-12-26
** 通讯作者:lmt19602004@126.com Corresponding author:lmt19602004@126.com

2 航空通信系统构成

2.1 通信天线

通信系统主要通信设备大都采用全向高增益天线,部分设备应用大角度定向天线,完成通信信号的磁电转换,实现无线收发。

2.2 通信设备

通信设备主要是航空通信系统内的信号接收和发射设备,完成信号的调制发射和接收解调还原。

2.3 系统其他设备

系统其他设备是除天线及收发设备外的其他辅助设备,完成系统供电、交联、计算、控制等功能。

2.4 通信对象

一般是与航空平台互通的地面通信设备或其他航空平台,主要配合完成通信信息交换。

从通信系统组成来看,受到环境影响的主要环节是天线和通信设备。天线在高性能接收通信信号的同时,对干扰信号也进行了高效接收。通信设备的高灵敏性也易受到影响,发射功率高会恶化航空平台自身和近场环境。系统交联控制间的串扰也是不可忽视的问题。同时,通信对象受其自身性能和环境的变化也会对通信效果产生明显影响。

3 复杂电磁环境特点

复杂电磁环境由空域、时域、频域和能量上分布的数量繁多、样式复杂、密集重叠、动态交迭的电磁信号构成^[3]。复杂电磁环境在一定空域、时域、频域和功率域上,多种电磁信号同时存在,对航空通信装备应用产生一定影响^[4]。

3.1 航空平台内部电磁环境

电子信息技术的发展增强了航空电子系统的功能,扩展了应用范围,使得航空平台有限的区域内形成了极为复杂的电磁环境。航电设备电磁频谱分布宽^[5],辐射功率大,众多设备集中安装。系统运行过程中,由于电磁干扰(EMI)导致设备之间、系统之间电磁兼容性(EMC)下降,造成系统功能失效或性能降级,必然影响系统试飞评估结果。

3.2 自然空间环境

新的电子信息技术研究成果带动了通信产业的高速发展,通信产品种类和数量不断增加,电磁辐射和人为无意干扰有增无减,这不仅破坏了背景噪声

占优的分布特征,而且使得航空通信系统试飞实施变得更加困难。

3.3 干扰对抗环境

通信截获与干扰能力伴随通信技术的发展而不断提升,生产和应用大功率、宽频带干扰设备也变得容易。由于通信系统自身在作用距离、灵敏度等方面性能的提高,也给敌对干扰信号的进入留下了更大的空间。

3.4 综合环境

对航空平台和电子系统而言,真实和复杂电磁环境往往是集合自身环境、自然环境和对抗环境于一体的多维度的综合环境,对通信系统的影响也复杂多变,使得航空通信系统试飞评估变得更加困难。

4 复杂电磁环境的量化分级

4.1 电磁环境测试

电磁环境测试主要目的是完成电磁环境复杂度评估分级,为通信能力评估提供参考。通过环境测试建立完备的试飞电磁环境数据库是基础。

电磁环境量化主要从电磁信号平均功率谱密度、频谱占用度、时间占用度、空间覆盖率等方面进行分析:频谱占用度衡量电磁环境与航空通信系统试飞用频在频域的冲突;时间占用度衡量电磁环境与航空通信系统试飞用频时域冲突;空间覆盖率衡量电磁环境与航空通信系统试飞用频空域的冲突。

试飞电磁环境测试流程如图 1 所示。

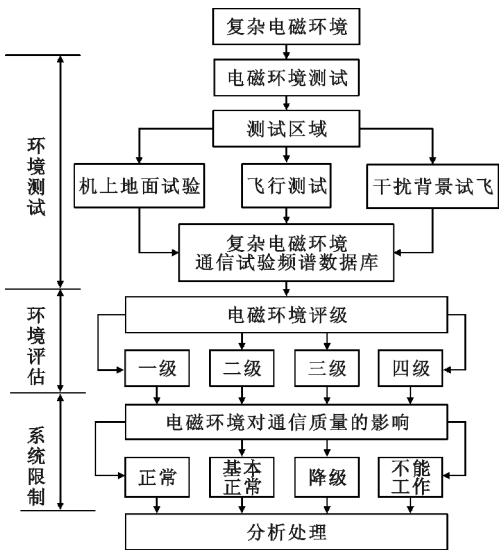


图 1 电磁环境测试流程

Fig. 1 Electromagnetic environment test process

4.2 电磁环境等级分类

工程试飞实践证明,只有制定了电磁干扰级别和通信降级准则,才能有效开展复杂电磁环境通信能力试飞评估。

通信距离是航空通信系统最重要战术指标之一,以通信距离作为系统能力试飞评估基准量评估系统状态,将其分为正常工作、基本正常工作、降级工作和不能工作 4 级。

依据相关标准并参照工程试飞经验数据,将航空超短波通信频段电磁环境规划为以下 4 级:

- 一级环境:接收天线端口电磁背景电平 $P \leq -110\text{ dBm}$;
- 二级环境:接收天线端口电磁背景电平 $-110\text{ dBm} \leq P \leq -104\text{ dBm}$;
- 三级环境:接收天线端口电磁背景电平 $-97\text{ dBm} \leq P \leq -80\text{ dBm}$;
- 四级环境:接收天线端口电磁背景电平 $P \geq -78\text{ dBm}$ 。

5 典型应用及效果估计

复杂电磁环境航空通信效能试飞评估依赖通信接收天线端口信噪比分析计算,当通信信号接近灵敏度值时,电磁噪声和随机干扰对分析计算影响更大,因此,需要测试多种信号电平信噪比数据并按照准则进行加权计算。

假设超短波通信系统发射功率 $P_t = 10\text{ W}$ (40 dBm),通信频率 $f = 300\text{ MHz}$,系统损耗为 -4 dB ,天线增益 $G = G_t + G_r = -4\text{ dB}$, G_t 为发增益, G_r 为收增益,收发天线阻抗、极化方式匹配,通信距离 300 km ,根据公式

$$L_{p0} = 32.44 + 20\lg f + 20\lg r \tag{1}$$

计算可得机载通信系统接收天线端口电平 $P_{si} = P_t + G - L_{p0} = -100\text{ dBm}$ 。

考虑信噪比 $(S+N)/N \geq 10\text{ dB}$,保障正常通信的基本条件是接收天线端噪声电平小于 -110 dBm 。

5.1 仿真推演

仿真推演具有经济性、安全性、灵活性、可控性等优势,能可视化检查试飞规划、航线设计、资源保障的符合性,对真实试飞数据进行重演并与仿真结果对比分析,辅助航线优化制定最佳试飞方案。仿真推演是实现复杂电磁环境航空通信能力试飞评估的有效途径。

航空通信系统试飞任务推演流程如图 2 所示。

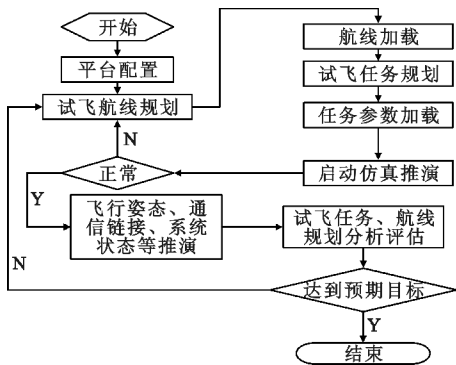


图 2 试飞推演流程
Fig. 2 Flight-test emulation process

5.2 试验评估

按照试飞需要布设地面配试站点,并完成试飞准备。干扰站布置在试飞出航航线的前侧方向,地面通信站、干扰站与飞机之间距离关系满足飞机在试验区域内干扰压制系数要求(压制系数 K_{jR} 等于抗干扰容限 M_j)。图 3 所示为空中试飞验证示意图。

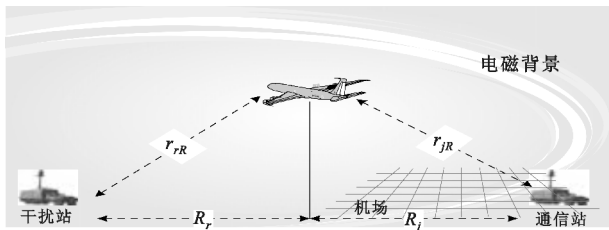


图 3 空中试飞示意图
Fig. 3 Flight-test scene

由理论推导可知,压制系数与干扰功率、通信功率、通信距离、干扰距离等满足

$$K_{jR} = \frac{P_{ji}}{P_{si}} = \frac{P_j \cdot G_{Rj} \cdot G_{jR} \cdot K_p \cdot f(B_R \cdot B_j)}{P_s \cdot G_{sR} \cdot G_{Rs}} \cdot \frac{r_{sR}^2 \cdot L_{Rs}}{r_{jR}^2 \cdot L_{Rj}} \tag{2}$$

式中, P_s 为信号发射机功率; G_{sR} 为发射天线在接收机方向上的增益; G_{Rs} 为接收天线在发射机方向上的增益; λ 为工作波长; r_{sR} 为通信距离; L_{Rs} 为通信实际传播偏离理想自由空间传播的衰耗量(机载通信 $L_{Rs} \approx 1$); P_j 为干扰机发射机功率; G_{jR} 为干扰天线在接收机方向上的增益; G_{Rj} 为接收天线在干扰机方向上的增益; r_{jR} 为干扰距离; L_{Rj} 为干扰天线与接收天线间实际传播偏离理想自由空间传播的衰耗量(机载通信, $L_{Rj} \approx 1$); K_p 为天线极化形式,当电磁波极化形式与天线极化形式相同时, $K_p \approx 1$ 。

依据图 4 所示流程开展空中试飞,包括实验室仿真推演、地面模拟试验和空中飞行试验。

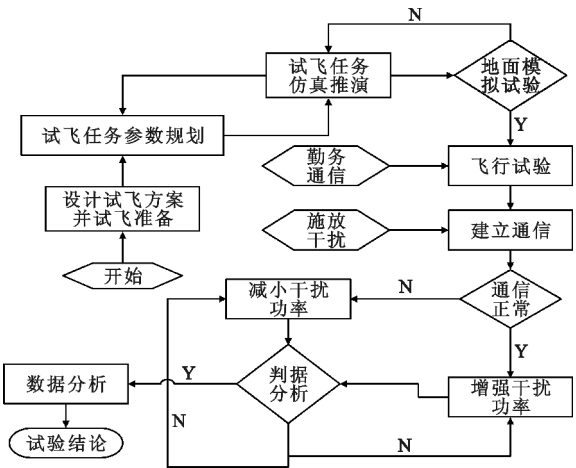


图 4 试飞试验流程
Fig. 4 Flight-test process

5.2.1 试飞数据分析

完成空中试飞,将试飞数据加载至试飞仿真系统进行试飞场景回放,综合分析实验室试飞仿真推演与空中试飞数据结果,开展试飞数据相容性分析重建,依据试飞数据处理准则进行完整试飞数据处理。试飞数据处理流程如图 5 所示。

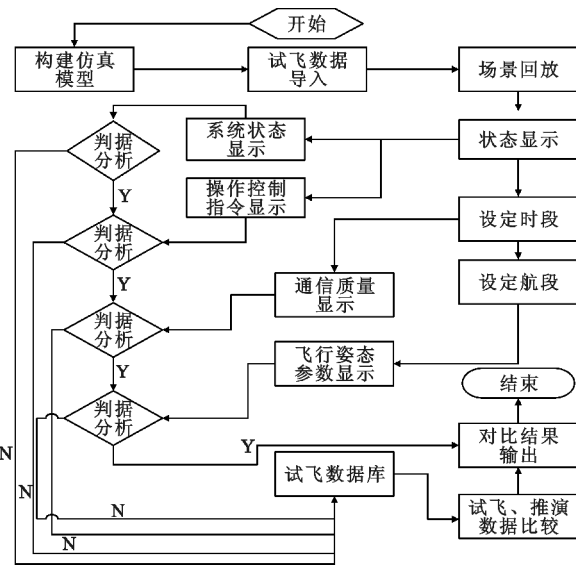


图 5 试飞数据分析流程
Fig. 5 The analytical process of flight-test data

5.2.2 综合评估

根据试飞数据分析和复杂电磁环境测试的分级,结合当前飞行时刻的飞机姿态信息和系统控制操作,通过链路通信质量变化,准确评估各级电磁环境对通信质量和通信距离的影响。基于时间相关综合分析飞行航迹、通信质量和电磁频谱数据,并采用可视化手段还原试飞场景,定量分析形成综合评估结论。

6 结束语

开展复杂电磁环境下航空通信系统试飞评估是提升通信系统使用效能的有效保障。本文结合工程实际,对复杂电磁环境量化分级,实现了集实验室仿真、空中飞行试验等于一体的综合性航空通信系统试飞评估,对工程航空电子系统试飞具有参考价值。

参考文献:

[1] 段守福,杨凯,汪军,等. 航空无线电通信系统作战效能评估[J]. 火力与指挥控制,2010,35(11):117-119.
DUAN Souhu, YANG Kai, WANG Jun, et al. Evaluation of the aeronautical wireless communication fight effectiveness [J]. Fire Control & Command Control, 2010, 35 (11): 117-119. (in Chinese)

[2] 刘义,王国玉,冯德军,等. 基于装备作战效能的复杂电磁环境下训练效果评估[J]. 系统仿真学报,2009,21(9):5375-5378.
LIU Yi, WANG Guoyu, FENG Dejun, et al. Evaluation of Training in Complex Electromagnetic Environment Based on Combat Effectiveness of Equipment[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(9): 5375-5378. (in Chinese)

[3] 古小明,周克胜,朱居莹. 战场复杂电磁环境[J]. 四川兵工学报,2009,30(1):78-80.
GU Xiaoming, ZHOU Kesheng, ZHU Juying. Electromagnetic Environment Based on Combat [J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2009, 30(1): 78-80. (in Chinese)

[4] GJB6130-2007, 战场电磁环境术语[S].
GJB6130-2007, Terms of Battlefield Electromagnetic Environment[S]. (in Chinese)

[5] 刘满堂,彭笠. 航空通信系统试飞过程中的电磁兼容性(EMC)评估[J]. 电讯技术,2013,53(5):661-666.
LIU Mantang, PENG Li. Evaluating Electromagnetic Compatibility(EMC) for the Test Flight Process of Avionics Communication System[J]. Telecommunication Engineering, 2013, 53(5): 661-666. (in Chinese)

作者简介:



刘满堂(1962—),男,陕西扶风人,1982年于西安电子科技大学获学士学位,现为研究员,主要从事航空通信系统总体技术研究;
LIU Mantang was born in Fufeng, Shaanxi Province, in 1962. He received the B. S. degree from Xidian University in 1982. He is now a senior engineer of professor. His research concerns aeronautical communication system technology.

Email: lmt19602004@126.com

张家新(1981—),男,重庆璧山人,助理工程师,主要从事航空通信系统技术研究;

ZHANG Jiixin was born in Bishan, Chongqing, in 1981. He is now an assistant engineer. His research concerns aeronautical communication system technology.

刘悦(1987—),男,四川成都人,助理工程师,主要从事通信技术研究。

LIU Yue was born in Chengdu, Sichuan Province, in 1987. He is now an assistant engineer. His research concerns communication technology.