

机载超短波话音通信系统性能测试方法研究

韩海舰¹ 李文海²

(1. 海军航空工程学院研究生管理大队 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院科研部 ATE 研究所 烟台 264001)

摘要: 鉴于机载超短波电台语音通信系统实际使用环境中出现的一些突出问题, 考虑到实验室环境下的测试并不能真实地反映电台实际工作中的性能, 本文分析了机载超短波通信系统的生存环境, 提出了一种外场条件下机载超短波语音通信系统性能测试方法。通过对电台工作频点处的电磁环境、天线驻波比、发射机性能指标、接收机性能指标等项目的测试, 较为全面的掌握了机载超短波电台语音通信系统的性能和电磁兼容方面存在的问题。测试的结果和获取的数据可以有效指导后续的电磁兼容改进和机载超短波电台语音通信系统的兼容工作。

关键词: 外场条件; 机载超短波电台; 语音通信系统; 电磁环境

中图分类号: TN924 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5015

Performance test method research of airborne ultrashort wave radio voice communication system

Han Haijian¹ Li Wenhai²

(1. Graduate Students' Brigade, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China; 2. ATE Research institute of Research Department, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: In view of the actual airborne ultrashort wave radio voice communication system used in the environment of some prominent problems, considering the circumstances of the laboratory test does not truly reflect the performance of radio work, this paper analyzes the living conditions of the airborne ultrashort wave communication system. This paper proposes a field under the condition of airborne ultrashort wave voice communication system performance testing method, based on the electromagnetic environment, the radio frequency spot on the antenna standing wave ratio, transmitter performance indicators, such as receiver performance test of the project, a more comprehensive mastery of the airborne ultrashort wave radio voice communication system performance, and electromagnetic compatibility problems. The results of test and obtain data can effectively guide the subsequent electromagnetic compatibility improvement and airborne ultrashort wave radio voice communication system compatible with the work.

Keywords: outdoor space; airborne ultrashort wave radio; voice communication system; electromagnetic environment

1 引言

近年来, 针对机载超短波电台语音通信的问题较为普遍, 突出表现为故障率高、通信距离近、噪声大等现象。统计数据表明, 70%左右的电台返修后, 经厂方检测, 性能均合格, 实际遇到的问题未能复现。

目前, 机载超短波电台的性能测试主要依托于各种规范和测试标准在实验室或屏蔽室内进行测试^[1-3], 鲜有外场测试的文献。由于机载超短波电台受机载其他系统及外部电磁环境影响大, 单纯在实验室环境检测电台收发机和控制盒指标, 并不能真实的反应机载超短波电台语音通

信系统性能, 导致诸多故障现象成了不解之谜, “查无故障”的比例居高不下, 严重影响了正常的飞行训练和装备保障。因此, 研究外场条件下机载超短波电台语音通信系统性能测试方法具有重要的现实意义。

2 机载超短波通信系统生存环境分析

随着信息技术和电子技术的飞速发展和广泛应用, 大量先进的电子设备不断装备到了现代战机上, 如: 先进的雷达装置、电子对抗装置、无线电罗盘、高度表、发参采集器等, 这些先进的电子设备一方面提高了现代战机的作战效能; 另一方面也使得机载平台内的电磁环境更加复杂和

收稿日期: 2015-07

恶化,设备间的相互干扰不断加重,电磁兼容问题逐渐暴露。这就会使得某些电子设备不能正常工作,飞机的执行任务能力和飞行安全受到威胁。

机载超短波通信系统的生存环境特点如下^[4]:

- 1) 频谱密度高,机体表面存在大量复杂的反射结构;
- 2) 平台体积和空间有限,大量的电子设备共存于狭小的空间;
- 3) 无线设备多,机体表面集中了多部天线;
- 4) 大量不同类型设备共用同一电源和一套地线系统;
- 5) 系统内部高低电平设备共存。

3 机载超短波电台语音通信系统性能测试方法研究

3.1 系统连接

机载超短波电台语音通信交联较为复杂^[5],除收发信机和控制盒外,还包括天馈系统、机上电源系统、机内外通话系统、座椅连接器、飞行帽(头盔)等,如图1所示。

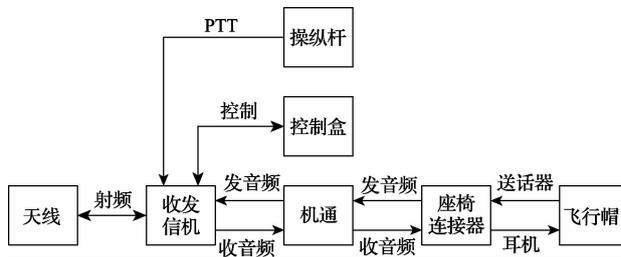


图1 系统连接示意

3.2 测试原理

按照原位测试^[6]的思想,所有机载系统保持原来的工作状态,通过一定的测试设备和交联电缆,可以实现超短波电台语音通信系统的性能检测。测试原理如图2所示。这种方法在最大程度上保持了被测对象的机载环境,对于来自机载其他系统的干扰、来自空间的辐射都能真实的反映出来,有利于从大系统的角度分析问题解决问题。

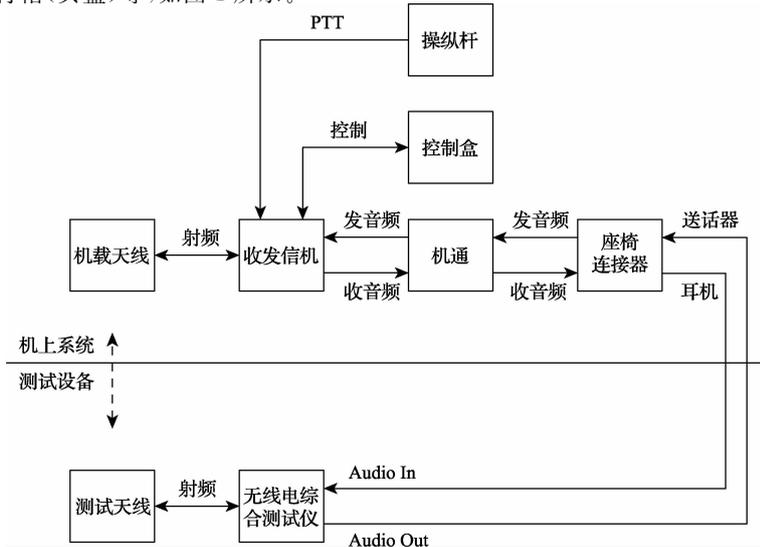


图2 测试原理

将测试用天线底端放置在一块 2 m×2 m 的铝板上(作反射面),通过支架调整至与装机天线高度基本平齐位置,距离装机天线 20 m 外。测试环境为机库外开阔地。测试天线安装如图3所示。

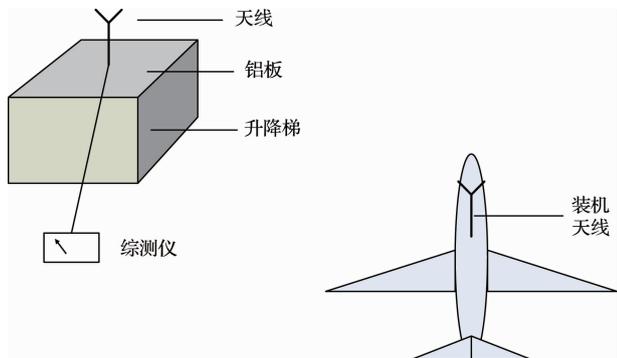


图3 测试天线安装

进行发射性能测试时,无线电综合测试仪提供 1 kHz 的音频信号,通过电缆连接到座椅连接器的送话引脚。当在座舱按下发射按钮时,机上通信系统将调制好的信号通过天线辐射到空中,此时在一定距离利用天线可以接收到该信号,将其送到无线电综合测试仪或/频谱分析仪^[7],经换算后可以得到发射信号的功率、频率、调幅度、频偏等指标。

进行接收性能测试时,利用无线电综合测试仪 1 kHz 内调制信号对载波进行幅度调制或频率调制,通过天线辐射到空中,此时机上通信系统可以接收到射频已调信号并解调出音频信号,从座椅连接器的耳机引脚将该信号连接到无线电综合测试仪的音频输入接口,通过调节射频输出电平,经过进一步处理和换算可以得到接收机灵敏度指标。

3.3 测试要求与所需资源

3.3.1 测试环境要求

测试需在机库外开阔地进行,地面要求平整,周围10 m内无障碍物,能架设所需的测试设备,能提供测试所需的动力电源 220 V/50 Hz/2 kW。

3.3.2 测试人员要求

测试人员素质的高低将直接关系到测试的安全及测试结果的正确可信,因此,参加测试的人员必须做到以下两点:

- 1) 熟悉超短波电台的功能、组成、性能及通电操作;
- 2) 能按照测试要求及项目正确操作测试仪器。

3.3.3 测试资源

测试资源为测试所需的仪器及一些部附件,归纳如表1所示。

表1 测试资源

序号	名称	数量	作用
1	无线电综合测试仪	1	射频和音频测试
2	便携式频道仪	1	机上电磁环境检测
3	通过式功率计	1	天线驻波测试
4	超短波电台天线	1	信号辐射与接收
5	耳机及延长线	1	提供机通所需真实阻抗,并将机上接口延长至地面设备
6	射频电缆及转接头	若干	连接天线与仪器
7	音频电缆	2	将音频信号从座舱连接到综合测试仪
8	测距仪	1	测量天线架设距离

3.4 测试项目及步骤

依据《GJB 1128A—2002 机载超短波电台通用规范》、《某型机载超短波电台技术说明书》、《某型机载超短波电台履历本》和《电磁兼容试验技术》确定了以下测试项目,具体如表2所示。

表2 测试项目

序号	测试项目
1	电磁环境测试
2	驻波比测试
3	频率误差
4	发射机输出功率
5	指标测试 调幅度和调幅失真度
6	调频频偏听偏和调频失真度
7	接收机 AM、FM 接收机灵敏度
8	指标测试 AM、FM 接收机静噪灵敏度和静噪回滞

3.4.1 测试前目视检查

1) 馈线及连接目视检查

目视检查装机高频电缆头是否空转,高频电缆是否存在

在破损(屏蔽层断裂)、缩针、松动、严重折弯现象;检查高频电缆是否配有保险孔;

目视检查装机低频电缆头是否存在破损(开叉)、缩针等现象;检查低频电缆是否有屏蔽层、是否接地。

2) 收发机开盖检查

① 电台对外接口检查

a. 低频接插件检查

目视检查电台前面板模块低频接插件是否存在生锈、氧化现象,是否存在缩针、折弯现象;

b. 高频接插件检查

检查前面板模块高频接插件的插孔是否存在生锈、氧化现象,插孔张开(开叉)、断裂(破损)现象;

② 高频电缆检查

检查模块间高频电缆是否存在破损(屏蔽层断裂)、插拔无力、高频头空转、高频头有无缩针、开叉现象;

③ 低频电缆检查

检查模块内部低频电缆是否松动、破损、接触不良;

④ 元器件外观检查

检查模块元器件焊盘、管脚是否存在氧化、生霉、盐雾现象;检查元器件外观、颜色是否存在受损现象。

3.4.2 电磁环境测试

电磁环境测试^[8]与电磁兼容性能测试密切相关,测试的目的是检测机载电台工作频点处的电磁环境,观察是否存在使得电台性能下降的干扰源,并进行分析,简单定位干扰源,为后续电磁兼容改进提供依据。电磁环境测试如图4所示。



图4 电磁环境测试

测试步骤如下:

- 1) 将电台射频电缆拧下,通过射频测试电缆连接到频谱仪射频输入端;
- 2) 飞机断电,测试所需频点的频谱;
- 3) 飞机加电,部分系统加电工作,测试所需频点的频谱;
- 4) 飞机加电,机上系统工作,测试所需频点的频谱。

3.4.3 驻波比测试

天线端口驻波比^[9]是电台信号能量通过天线辐射的指标。驻波比过大一方面会影响电台的功率输出,降低通信的质量;另一方面会造成较大功率的能量从天线端口反射回发射机端,形成很强的馈线发射,从而使机内电磁环境更加恶化,辐射和耦合的影响均会增大。

驻波比测试原理如图5所示,在电台收发机和天线馈线之间串入通过式功率计,通过功率计可以读出驻波比的大小,将其与电台要求的限值进行比较,看其是否满足限值要求。

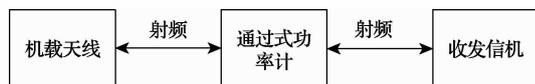


图5 驻波比测试原理

3.4.4 发射机指标测试

1) 频率误差

- ① 预置电台波道号；
- ② 预置电台工作在 AM 或 FM 状态；
- ③ 接通 PTT, 电台处于发射状态；
- ④ 无线电综合测试仪测量发射的载波频率。该频率与预置的标称频率之差为频率误差。

2) 发射机输出功率

- ① 预置电台波道号；
- ② 预置电台工作在 AM、FM 或 DS 工作状态；
- ③ 接通 PTT, 电台处于发射状态；
- ④ 无线电综合测试仪测量发射的载波功率, 并通过计算得到发射机的实际输出功率。

3) 发射调幅度和调幅失真度

- ① 预置电台波道号；
- ② 预置电台工作在 AM 状态, 明话(窄带)工作方式；
- ③ 无线电综合测试仪的 AF_OUT 端输出音频信号作为调制信号, 其频率和信号幅度为: 频率 1 kHz, 信号幅度为 40 mV；

④ 接通 PTT, 发射调幅信号；

⑤ 无线电综合测试仪测量调幅度和调幅失真度。

4) 发射调频频偏和调频失真度

- ① 预置电台波道号；
- ② 预置电台工作在 FM 状态, 明话(窄带)工作方式；
- ③ 无线电综合测试仪的 AF_OUT 端输出音频信号作为调制信号, 其频率和信号幅度为: 频率 1 kHz, 信号幅度为 40 mV；

④ 无线电综合测试仪测量其电台调频频偏和调频失真度。

3.4.5 接收机指标测试

1) AM、FM 接收机灵敏度

- ① 无线电综合测试仪音频输入设为高阻状态；
- ② 预置电台工作频率；
- ③ 预置电台工作在 AM 或 FM, 明话(窄带)、收发工作方式, 机通静噪开关置静噪“关断”位置；
- ④ 无线电综合测试仪工作于 AM 或 FM 模式的标准状态(1 kHz 正弦信号, AM 30% 调制度或 FM ± 8 kHz 频偏)；

⑤ 调节无线电综合测试仪的 RF 输出电平, 使无线电

综合测试仪测得音频输出 SINAD 为 10 dB 时, 记录 RF 输出电平, 经换算可求得接收灵敏度。

2) 静噪灵敏度和静噪回滞

① 无线电综合测试仪工作于 AM 或 FM 状态(调制频率 1 kHz 正弦信号, AM 30% 调制度或 FM ± 8 kHz 频偏)；

② 机通静噪开关置静噪“通”位置, 将无线电综合测试仪输出的射频信号从小开始增大, 直至静噪“开启”, 此时 SINAD 会从 0 突然增大至 15 dB 以上, 耳机中出现 1 kHz 声音, 记录此时射频信号电平 RF_1 (dBm), 按照既定方法换算可求得静噪灵敏度 RF_s (dBm)；

③ 再从大到小调节综测仪输出的射频信号, 使静噪由“开启”转“闭锁”, 此时 SINAD 会突然变成 0, 耳机中 1 kHz 声音消失, 呈静音状态。记录此时射频信号的电平 RF_2 (dBm)；

④ $RF_2 - RF_1$ 即为静噪回滞。

4 实际测试问题分析

通过对多架飞机的测试发现该方法可操作性强, 能够反映系统真实技术状态, 暴露故障隐患。测试结果表明装机电台主要技术指标基本满足规定, 所反映的“通信距离短”、“噪声大”的问题多是由其他因素综合造成。现对测试中遇到的主要问题分析如下。

4.1 目视检查发现的问题

在已测飞机中发现一架飞机馈线接头与电缆断裂, 5 架飞机插头与电缆连接处明显松动。该现象容易导致电缆驻波偏大、连接不可靠等问题, 表现为通信系统部分频点天线辐射功率偏小, 严重时无法发射, 接收灵敏度不稳定、噪声偏大等故障现象, 与检测数据吻合。

4.2 驻波测试发现的问题

对某架飞机下天线驻波测试时, 发现其驻波比大于 130, 导致电台报故, 故障代码 E9, 表示电台发射故障, 更换馈线后故障消除, 驻波测试正常, 再换回机上馈线, 故障复现。

4.3 机上电磁环境恶化导致的问题

针对 I 号飞机“通信距离短”的故障进行检测, 发现该飞机设备全部通电的条件下, 电磁环境较差, 经电台天线耦合的噪声较高, 导致电台接收灵敏度^[10-11]下降严重(较理想值低 7 dB), 而引起空中通信距离大幅缩短。从图 6 和图 7 对比看出, I 号飞机较 II 号飞机(状态正常)天线接收信号噪底高出约 10 dB。将该电台接收灵敏度从 -102 dBm 调整为 -109 dBm, 经多架次飞行验证, 该故障未复现。

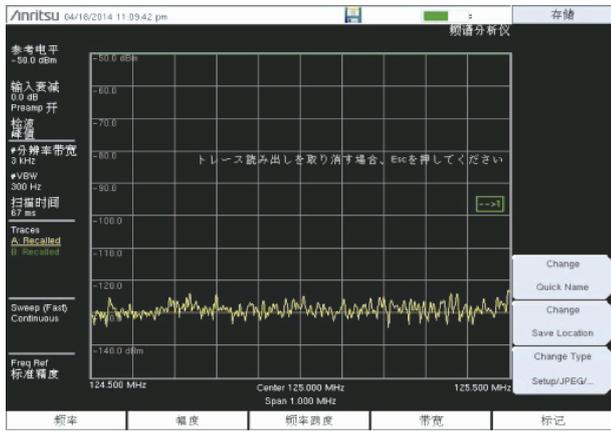


图6 II号飞机天线接收信号噪声

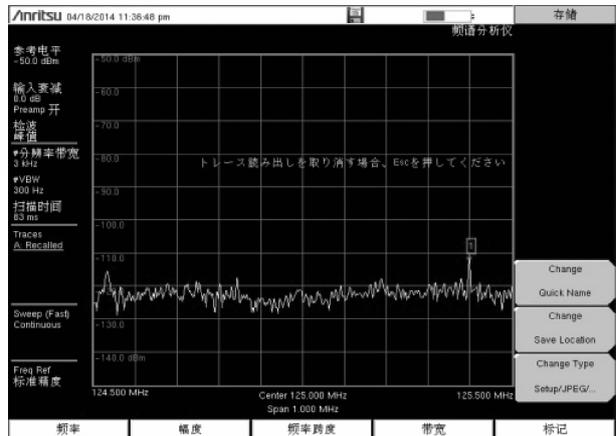


图9 关闭雷达显示屏时天线信号噪声

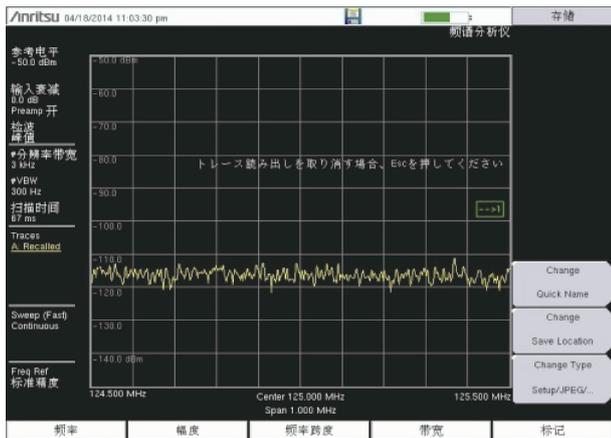


图7 I号飞机天线接收信号噪声

另外,针对IV号飞机反映的“偶尔有噪音”,经检测发现惯导通电后,电台上天线收到-101 dBm干扰信号(在该电台静噪灵敏度内),随着通电时间延长,干扰信号频率逐步贴近电台的某一工作频率,如图10所示,该问题暂未解决。

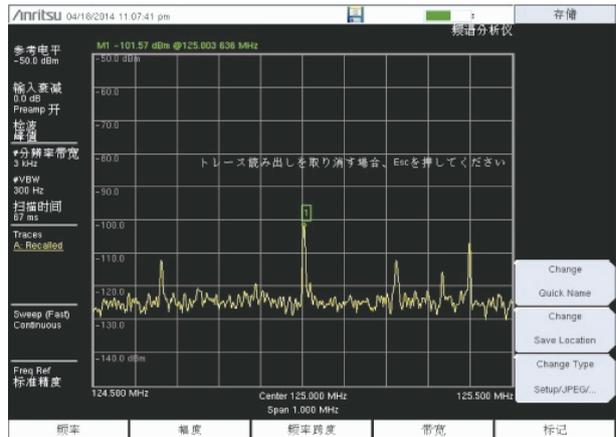


图10 电台不发射,惯导开机时天线收到的信号

其中III号飞机反映“通信距离近”,检测发现雷达显示屏造成电磁干扰,电台上天线收到的信号噪声抬高近15 dB,如图8和图9所示,厂家已串件验证。

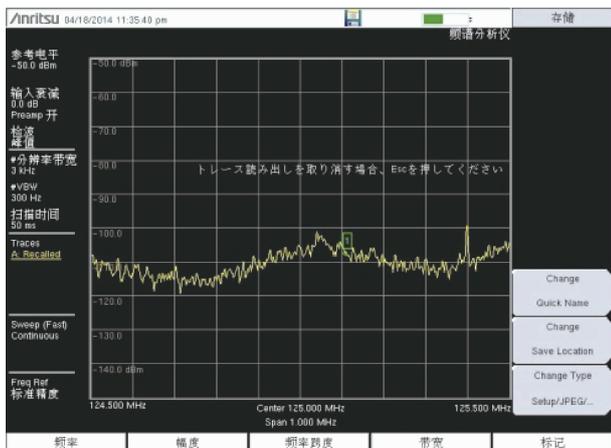


图8 开雷达显示屏时天线信号噪声

5 结论

对外场条件下机载超短波电台语音通信系统性能的测试方法进行了探讨,提出了一种能够对机载超短波电台语音通信系统性能进行较为全面测试验证的方法,并对某型机载超短波电台语音通信系统进行了实际测试验证。

通过对机载超短波电台语音通信系统性能的测试,不但可以较为全面掌握电台的实际工作性能,而且可以发现电台在实际工作中遇到的一些电磁兼容性问题,并能逐步隔离和定位干扰源,还可以获得实测数据用于优化和改进系统的电磁兼容性设计,以便更加有效地保障机载超短波语音通信系统的稳定可靠工作。

(下转第98页)

- [15] 岳陈平, 孟丽娅. 基于 SAD 算法的立体匹配的实
现[J]. 微型机与应用, 2013, 32(6):41-43.
- [16] 林森, 苑玮琦, 宋辉. 二进制鲁棒不变尺度特征在非
接触掌纹识别中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2013,
34(12):2785-2792.

作者简介

孙东辉, 教授, 北华航天工业学院。主要研究方向为
智能仪器与控制装置、检测与传感器技术。

E-mail: lfsdh2000@126.com

冯登超, 工学博士, 副教授, 硕士生导师, 北华航天工
业学院。主要研究方向为智能信息处理、机器视觉与数据
融合。

E-mail: tyfdc001@163.com

鞠秀亮, 硕士研究生, 北华航天工业学院。主要研究
方向为通信与信息处理。

E-mail: jxl529597457@163.com

(上接第 53 页)

参考文献

- [1] ROHDE U L, 胡铁君. 接收机测试方法-如何评估接
收机[J]. 电子制作, 2012(3):6-13.
- [2] 张宸. 超短波无线电发射机常规电性能指标测试方法
浅析[J]. 信息通信, 2014(3):191-193.
- [3] 张宸. 超短波无线电接收机常规电性能指标测试内容
及方法浅析[J]. 大众科技, 2014(4):80-83.
- [4] 崔恩吉. 机载短波电台的电磁兼容性设计[J]. 通信与
广播电视, 2007(3):25-30.
- [5] 成都十所. 某型机载超短波电台技术说明书[Z]. 2011.
- [6] 徐典科, 赵云, 姚金宝, 等. 机载雷达有源干扰原位检
测技术及应用[J]. 电子测试, 2014(12):80-82.
- [7] 孙英侠, 李亚利, 宁宇鹏. 频谱分析原理及频谱分析仪
使用技巧[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(7):76-80.
- [8] 陈淑凤, 马蔚宇, 马晓庆. 电磁兼容试验技术[M]. 北

京:北京邮电大学出版社, 2012.

- [9] 李秀峰. 车载通信系统电磁兼容测试与评估[D]. 西
安:西安电子科技大学, 2006.
- [10] 高帆. 基于双通道矢量信号发生器的多模无线电导航
系统性能测试方法[J]. 国外电子测量技术, 2014,
33(12):11-14.
- [11] 张俊辉. 接收机噪声系数对接收灵敏度影响[J]. 电子
技术与软件工程, 2014(20):53.

作者简介

韩海舰, 1982 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为
航空测控技术。

E-mail: happyhhj@126.com

李文海, 教授。主要研究方向为仪器与测试技术、自
动测试系统等。