

民用飞机甚高频通信系统测试

郭磊* 宋金泽 陆晓刚

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

摘要:

作为民用飞机进行空地、空空通信的重要手段,甚高频(very high frequency,以下简称VHF)通信系统提供飞机与地面塔台、飞机与飞机之间进行双向语音和数据通信。为保证VHF通信系统能在整个飞行过程中提供高可靠、清晰的语音和完整的数据,如何全面地对民用飞机VHF通信系统的测试对型号适航取证显得尤为重要。首先分析了民用飞机VHF通信系统在适航安全方面的重要性,然后介绍了VHF通信系统应符合的适航要求,最后总结了VHF通信系统的导线综合测试、天线驻波比(voltage standing wave ration,以下简称VSWR)测试、系统功能测试、天线方向图测试、机上地面试验和飞行试验等完整的测试方法。

关键词: 民用飞机;甚高频;适航;测试

中图分类号: V243.1

文献标识码: A

OSID:



0 引言

VHF通信系统是提供飞机与地面、飞机与飞机之间进行双向语音和数据通信的系统,现已成为民航领域主要的空地通信手段^[1],主要应用在机场终端管制、航路对空通信等方面。民用飞机在取得型号合格证(TC)前,通常需要设计一套完整的测试程序对机上每个系统的测试进行验证^[2],进而保证整机设计符合规定的民用飞机适航标准和要求^[3]。随着民用航空业的空前发展,飞机安全性的要求不断提高,空管部门对甚高频通信质量的要求也越来越高,VHF通信系统的测试就显得尤为重要。如何对VHF通信系统进行完整功能和适航符合性验证的测试,既是民用飞机适航取证阶段的难点,也是适航管理部门关注的重点。

1 系统简介

VHF通信属于视距通信,主要按直射波传输,信号传输形式包括语音和数据^[4]。语音指飞机与地面或飞机与飞机间的话音,数据指地面与飞机的

数据链报文。根据ARINC 716定义^[5],VHF通信系统应支持以25 kHz和8.33 kHz的频道间隔选择,工作频率分别为118.000 MHz~136.975 MHz(间隔为25 kHz,共760个信道)或118.000 MHz~136.992 MHz(间隔为8.33 kHz,共3 040个信道)。VHF通信系统的组成部件包括收发机、控制装置和天线^[6]。通常,收发机安装在飞机电子电气(EE)舱设备架上,任意两套之间应有余度设计,确保甚高频通信的安全性要求,用于对信号进行调制、发射和解调;控制装置安装在驾驶舱中央操作台上,用于频率调节和通道的选择等;天线安装在机身上部或下部的中轴线附近,内部用加强垫板固定,采用天线底座与机身蒙皮面面搭接或紧固件电搭接的方式,用于射频信号的辐射和接收。VHF通信系统的设计保障等级^[7](DAL)为C级,还与飞机的音频综合系统、机载维护等系统交联。

2 适航要求

2.1 适航安全性要求

民用飞机所有功能失效状态(包括飞机级和系

* 通信作者。E-mail: guolei@comac.cc

引用格式: 郭磊,宋金泽,陆晓刚.民用飞机甚高频通信系统测试[J].民用飞机设计与研究,2020(2):65-70. GUO L, SONG J Z, LU X G. Very high frequency communication system test for civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2020(2):65-70(in Chinese).

统级)的影响程度大小可以通过失效性概率来判定,并在此基础上进行等级划分,飞机所有功能失效发生的概率与失效状态影响等级之间的关系如表 1

所示。一般地,完全丧失语音通信功能属于 III 级失效状态,但同时丧失不可恢复的导航功能与通信功能则属于 I 级失效状态。

表 1 发生概率与失效状态影响等级之间的关系

失效状态分类	无影响 (V 级)	较小的 (IV 级)	较大的 (III 级)	危险的 (II 级)	灾难的 (I 级)
对飞机的影响	对运行能力或安全性无影响	轻微地降低功能特性或安全裕度	显著降低功能特性或安全裕度	极大地降低功能特性或安全裕度	通常会丧失飞机
对乘员影响(不含机组)	不方便	身体上的不适	身体上的难受	少部分乘客或客舱机组有严重或致命的受伤	多人死亡
对飞行机组的影响	对机组无影响	轻微地增加工作负荷	身体上不适或显著增加工作负荷	身体上的难受或过度工作负荷影响执行任务的能力	死亡或丧失能力
允许定性概率	无概率要求	可能的	微小的	极小的	极不可能的
允许定量概率	无概率要求	10^{-3}	10^{-5}	10^{-7}	10^{-9}

2.2 适航规章要求

表 2 满足适航要求的符合性验证方法

适航要求	MOC0	MOC1	MOC2	MOC3	MOC4	MOC5	MOC6	MOC7	MOC8	MOC9
25.1301		1				5	6	7		9
25.1307d		1				5	6			
25.1309		1		3						9
25.1353(a)、(c)		1				5	6			9
25.1431(a)、(c)、(d)		1				5	6			9

在飞机研制过程中,为了向审查方表明 VHF 通信系统对适航规章的符合性,VHF 通信系统一般应至少表明对 CCAR 25 部^[8] 25.1301、25.1307(d)、25.1309、25.1353(a)、25.1353(c)和 25.1431(a)、25.1431(c)、25.1431(d)的符合性。表 2 给出了满足上述条款的符合性方法。

3 系统测试

3.1 导线综合测试

VHF 通信系统的导线综合测试主要用于验证系统中导线的完整性和正确性。VHF 通信系统的导线综合测试一般包括测试系统中导线的导通和绝缘,还应测量电源地线的电阻以验证供电线路的地线可靠接地。根据测试目的可分为连续性测试、接地线导通测试和同轴电缆衰减测试。其中,连续性测试的主要内容为导通性和绝缘性的测试;接地线导通测试的主要内容为接地导通性测试;同轴电缆

衰减测试的主要内容为在典型工作频率上同轴电缆的衰减测试。

为避免在飞机上的误操作和误布线对设备造成的损害,在进行本试验前应确保断开 VHF 通信系统所有航线可更换单元(LRU)的连接,在测试完成并满足试验要求后方可重新连接。VHF 通信系统的导线综合测试中使用的测试设备包括自动测试设备、万用表、28 V 直流稳压电源和天馈分析仪。

VHF 通信系统的导线综合测试应首先形成系统从端连接器针孔号和到端连接器针孔号的阻值或同轴电缆衰减值的测试表,然后根据测试表采用自动测试设备或万用表测量系统中两个指定的测试点之间的阻值,采用天馈分析仪测量收发机到天线间同轴电缆的衰减值,通常测量的衰减值应不超过 3 dB。需要注意的是,若被测的同轴电缆存在分离面,应确保各分离面的连接器连接良好。最后,将测试值与设计要求值进行对比,判断系统中的导线功能是否正常。

3.2 天线驻波比测试

VHF 通信系统天线驻波比测试是通过测量与天线端接电缆的 VSWR,验证 VHF 通信天线及电缆的安装是否正确,验证 VHF 通信天线以及相关电缆是否按设计要求进行安装和敷设,性能指标是否满足设计要求;验证 VHF 通信天线及附件的电搭接设计是否符合电搭接要求。测试设备包括射频分析仪、VHF 仿真盒。

如图 1 所示,连接 VHF 通信系统 VSWR 测试设备,根据待测天线的工作频段设置射频分析仪,设置测量频段以及 VSWR 阈值。若 VSWR 值没有超过阈值,则试验通过,若 VSWR 值超出阈值,则试验失败,应保存失败数据,以便后续进行分析,将试验通过/失败记录。一般情况下,VHF 通信天线的驻波比测试结果应不大于 2.0:1。

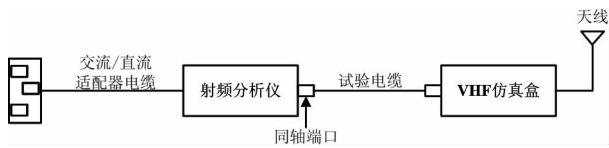


图 1 利用 VHF 仿真盒进行的天线 VSWR 测试

3.3 系统功能测试

为验证 VHF 通信系统在飞机与飞机、飞机与地面双向通信的功能正常,通常会对 VHF 通信系统进行机上功能试验。VHF 通信系统机上功能试验所需的工装包括 VHF 航空电台、航空电台手持麦克风(Mic)、通信导航测试装置(T-36C)和功率计。通常 VHF 通信

系统机上功能测试项目包括收发机上电自检、静噪测试、通信试验、发射测试和接收测试。其中,发射试验中使用的功率计与天线同轴电缆的连接方式及测得功率显示如图 2、图 3。用功率计分别测量三套 VHF-1/2/3 天线同轴电缆的正向和反向功率,若正向功率和反向功率同时满足辐射功率指标时,说明 VHF 通信天线发射功能正常。在接收试验中,通过调节 T-36C 的输出水平来测试收发机的接收性能。若低于 T-36C 的静噪临界值,正驾驶耳机中听不到单音;高于 T-36C 的静噪临界值,正驾驶耳机中听到单音,按压 PTT 开关时,听不到单音,则 VHF 通信天线的接收功能正常。

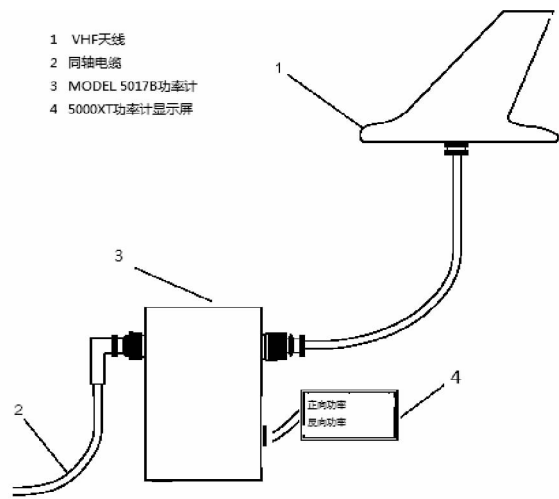


图 2 功率计与 VHF 通信天线同轴电缆连接方式

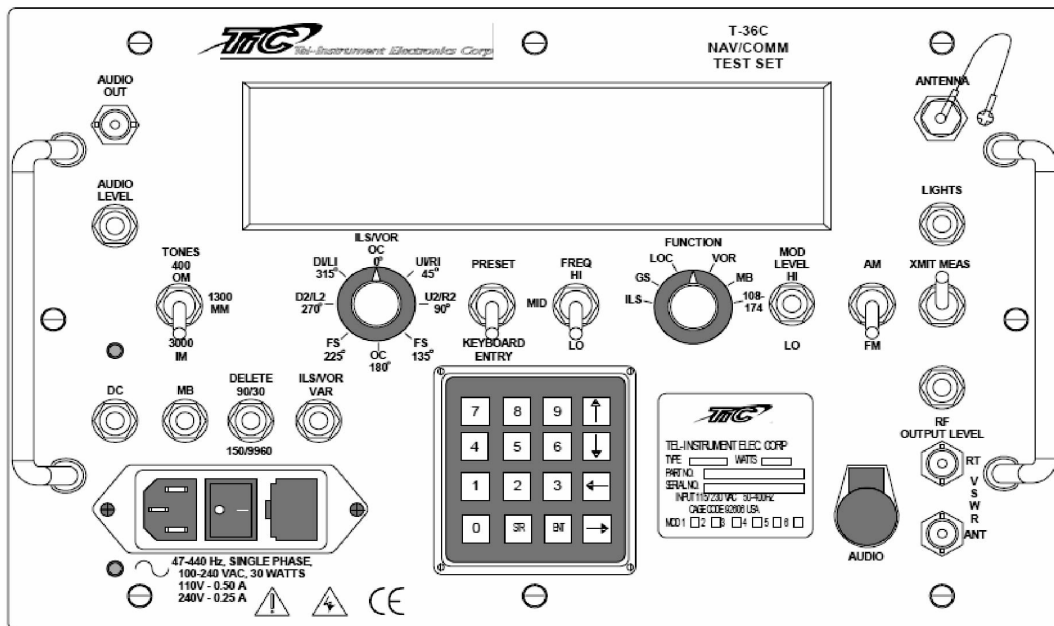


图 3 T-36C

3.4 天线方向图测试

VHF 通信系统天线方向图测试是为了确保 VHF 通信天线装机后方向图在各个方向上的增益都符合设计要求。通常天线布置的位置需要完成天线方向图仿真计算,且在实际安装于飞机后,由于存在机体对电磁波的影响,还应进行装机后测试。GJB 5035-2001^[9]中提出了对方向图的要求:辐射方向在方位面上必须是全方位的,作为设计目标,最弱的方位的零值深度不得超过 20 dB,且不应出现在飞机的纵轴方向。

VHF 通信系统天线方向图测试通常要求被测飞机符合 SAE ARP1870^[10]和 SAE ARP1481^[11]电搭接阻值要求;测试场地应选择在开阔场地,地面近似平坦,距离其它飞机或高大建筑远于 100 m,并远离塔台、高压线等;试验时飞机上除待测顶部 VHF 通信天线供电工作外,其它电子设备均处于断开状态。测试设备包括频谱分析仪、双锥天线、激光测距望远镜、三脚架和转接电缆。典型的测试方法以某型民用飞机为例,VHF 通信天线工作频率范围为 118.000 MHz ~ 136.975 MHz,方向图试验分别在以下低、中、高三个频点(118.000 MHz、127.500 MHz 和 136.975 MHz)测量,试验时接收天线分别用水平极化和垂直极化两种工作方式接收 VHF 通信天线发射出来的电磁波功率,测试数据为双锥天线接收到的功率值,通过公式 $E = \sqrt{120\pi P}$ (其中 P 为频谱分析仪 3 次测量接收到的功率平均值),将功率转换为场强,从而得出 VHF 通信天线场强方向图,VHF 通信天线方向图测试原理图,如图 4 所示。

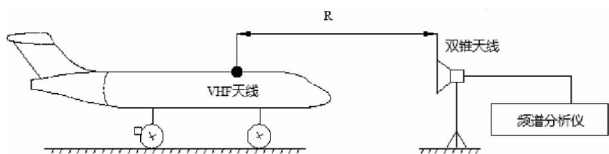


图 4 某型民用飞机 VHF 通信天线方向图测试原理图

测试场地依据等高架测试场进行布置,测试场几何关系如图 5 所示,其中天线架设高度 h 为 3.4 m,架设距离 R 为 50 m。

测量点布置位置如图 6 所示,标定以飞机机头方向为 0° ,VHF 通信天线为中心,飞机右侧方向为 90° ,机尾方向为 180° ,飞机左侧方向为 270° ,顺时针变更双锥天线测量点。

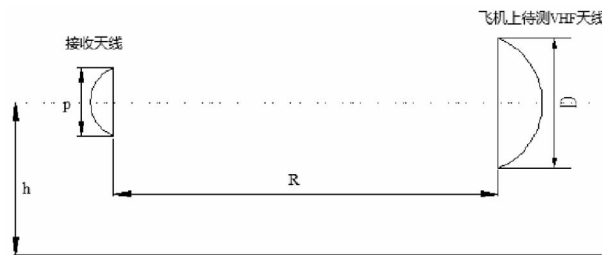


图 5 某型民用飞机 VHF 通信天线测试天线布置图

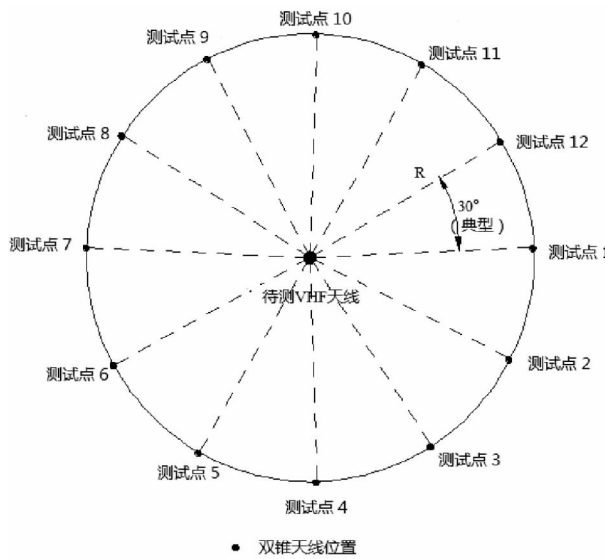


图 6 测量点布置位置示意图

3.5 机上地面试验和飞行试验

VHF 通信系统的机上地面试验(MOC5)和飞行试验(MOC6)用以表明系统满足 CCAR25 部适航条款[25.1301、25.1307(d)、25.1353(a)、25.1353(c)和 25.1431(a)、25.1431(c)和 25.1431(d)。在开始试验前,要求对被试的 VHF 通信系统编写试验任务书、试验大纲和构型评估报告,并进行制造符合性检查,以明确当前 VHF 通信系统的构型状态,确保 MOC5 和 MOC6 表明符合性试验数据的有效性。MOC5 和 MOC6 试验流程如图 7。

VHF 通信系统的 MOC5 试验和 MOC6 为局方目击试验,典型 MOC5 试验项目包括收发机上电自检(BIT)、VHF 频率范围测试、语音/数据模式切换测试、通信测试等。根据 AC25-7C^[12],VHF 通信系统的 MOC6 试飞项目包括 VHF 语音通信试飞和 VHF 数据链通信试飞两类。VHF 语音通信试飞应至少包括大于 5 490 m 高度的飞机测试、使用低于 5 490 m 高度的飞机测试、天线覆盖范围测量、远距离接收、高角度接收、进场形态和电磁兼

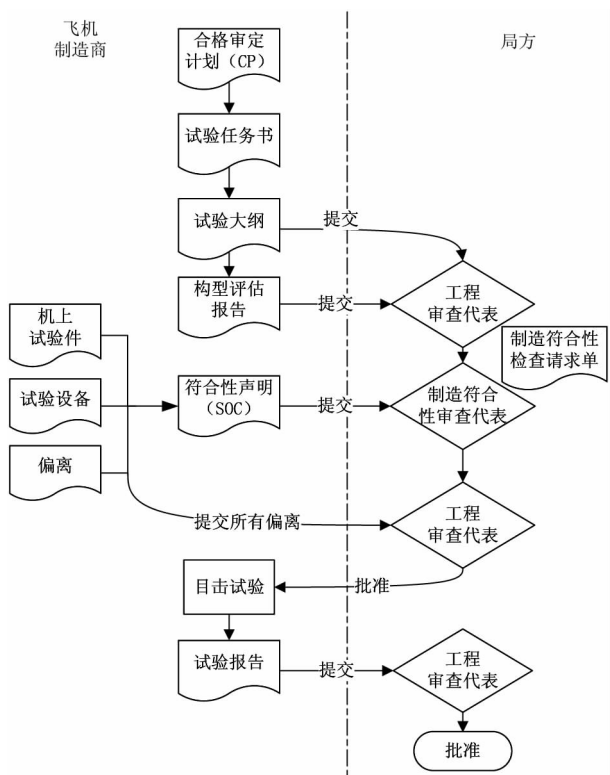


图7 MOC5/6 试验流程

容性七个方面,并给出了具体的试飞方式。通过以上七个方面的试飞,检查 VHF 通信系统通信质量,通信质量可以依据 GJB 2763-1996^[13]进行评测。VHF 数据链通信试飞应包括飞机在起飞前和飞行中 VHF 数据链路建立和数据链应用报文收发测试,测试结果可以根据机上相应报文显示响应进行评测。

4 结论

针对民用飞机 VHF 通信系统测试,总结了系统中不同类别的测试项目,重点说明测试步骤和要求,并从适航取证角度进行了符合性验证方法的阐述,对工程研发和型号适航取证具有实践意义。

参考文献:

[1] 金德琨,敬忠良,王国庆,等. 民用飞机航空电子系统[M]. 上海:上海交通大学出版社,2011.
 [2] MAYER J T B, MONTANEZ L, ROBERTS J A, et al. Avionics Systems Validation Test Environments [J]. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2009, 24(1) :31-37.

[3] SAFRI T. A system-level approach to designing modular switching software [C]. IEEE AUTOTESTCON Conference. [S. l. :s. n.], 2011 :428-434.
 [4] 金辽. 提高甚高频地空通信作用距离的探讨 [J]. 民航飞行与安全,1999(3) :21-24.
 [5] Aeronautical radio Inc. Airborne VHF communications transceiver; ARINC 711-11 [S]. [S. l.] : Aeronautical radio Inc, 2003.
 [6] 师志荣. VHF 电台收发系统的设计与研究 [D]. 西安:西北电子科技大学,2009:5-7.
 [7] SAE International. Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems; SAE ARP4754A [S]. [S. l.] : SAE International, 2011.
 [8] 中国民用航空总局. 中国民用航空规章第 25 部 运输类飞机适航标准;CCAR-25-R4 [S]. 中国:中国民用航空总局,2011.
 [9] 国防科学技术工业委员会. 甚高频机载通信设备天线分系统通用规范;GJB 5035-2001 [S]. 中国:国防科工军标出版发行部, 2002.
 [10] SAE International. Aerospace Systems Electrical Bonding and Grounding for Electromagnetic Compatibility and Safety;SAE ARP1870 [S]. [S. l.] :SAE International, 2012.
 [11] SAE International. Corrosion Control and Electrical Conductivity in Enclosure Design;SAE ARP1481 [S]. [S. l.] :SAE International, 2004.
 [12] Federal Aviation Administration. AC25-7C Flight test guide for certification of transport category airplanes [S]. U. S. : Federal Aviation Administration, 2012.
 [13] 国防科学技术工业委员会. 通信设备语音质量等级标准与评测方法; GJB 2763-96 [S]. 中国:国防科工军标出版发行部, 1996.

作者简介

郭磊 男,硕士,工程师。主要研究方向:航空无线电通信。E-mail: guolei@comac.cc
 宋金泽 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:航电架构设计与研究。E-mail: songjinze@comac.cc
 陆晓刚 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:航电安全性研究。E-mail: luxiaogang@comac.cc

Very high frequency communication system test for civil aircraft

GUO Lei* SONG Jinze LU Xiaogang

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

Abstract: As the important part of space-to-ground and space-to-space communication on civil aircraft, Very high frequency (VHF) communication system provides the voice and data intercommunication between the aircraft and the control tower or the aircraft. In order to ensure the VHF communication system can provide the reliable, clear voice and unabridged data in the whole flight, it's particularly important to test the civil aircraft VHF communication system comprehensively for the type airworthiness and certification. The significance of VHF communication on the airworthiness safety was analyzed firstly and then the airworthiness requirement of VHF communication was introduced. Finally, the wire test, antenna voltage standing wave ration (VSWR) test, system function test and antenna radiation pattern test were summarized.

Keywords: civil aircraft; very high frequency; airworthiness; test

* Corresponding author. E-mail: guolei@comac.cc