

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2019.01.007

民用飞机甚高频通信天线设计

Design of Very High Frequency Communication Antenna for Civil Aircraft

郭磊 宋金泽 / GUO Lei SONG Jinze

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

摘要:

作为民用飞机甚高频(Very High Frequency,以下简称VHF)通信系统的重要组成部分,VHF通信天线不仅辐射和接收电磁波,还要进行能量转换。VHF通信天线的设计直接影响通信中射频能量的分布,进而影响通信质量和飞行安全。简要介绍了VHF通信系统,并在给出VHF通信天线设计要求的基础上,通过工程实例分析了VHF通信天线的设计过程,最后总结了VHF通信天线设计的特点。

关键词:民用飞机;甚高频通信;天线

中图分类号:TN828

文献标识码:A

OSID:



[Abstract] As an important part of very high frequency(VHF) communication system on civil aircraft, VHF communication antennas transform energy while transmitting and receiving electromagnetic wave. The design of VHF communication antennas affects the radio frequency(RF) energy distribution of communication directly, and then affects the flight safety. This paper introduces the VHF communication system briefly. Based on the given design principles of VHF communication antenna, the process of designing VHF communication antenna is analyzed by an engineering example. Finally, the characteristics of designing VHF communication antennas are summarized.

[Keywords] civil aircraft; very high frequency communication; antenna

0 引言

VHF通信天线是无线电通信必不可少的组成部分,不但辐射和接收电磁波,同时也是一个能量转换器,是电路与空间的界面设备。天线发射时将电路中携带信息的能量转换为电磁场能量,以电磁波的形式向空间辐射;在接收时,空间中传来的携带信息的电磁波在天线中感应出电流,电磁场能量转换为电能。一方面,VHF通信天线安装在机身蒙皮上,天线的布置位置、电搭接是否良好、周围设备的电磁环境等都可能影响天线的传输性能;另一方面,天线自身的物理特性(如形状、重量等)、结构强度、固定方式等都可能影响飞机的气动、操稳性能。因此,VHF通信天线设计必须使得天线的性能满足民用飞机这一特殊载体,同时要对机体影响有限且可控。随着安装在飞机上的机载电子设备越来越多,

机上空间有限、电磁兼容等问题越来越突出^[1],如何设计符合VHF通信系统性能要求的天线,是天线系统研制的难点和关键技术,也是目前亟待解决的问题。

1 VHF通信系统简介

VHF通信属于视距通信,工作频率为118.000 MHz~136.975 MHz,有25 kHz和8.33 kHz两种频率间隔,通信方式为半双工信道,通信距离通常为30 km~300 km,可提供塔台、进近、航站自动情报服务、航务管理等服务。为保证VHF通信的高度可靠,CCAR25 R4^[2]第25.1307(d)条要求“两套双向无线电通信系统,每套系统的控制装置可在每个驾驶员的工作位置进行操作,其设计和安装需保证一套系统失效时不影响另一套系统工作。允许使用公共的天线系统,只要表明使用后仍具有足够的可靠

性”。民用飞机上一般都装有 2~3 套 VHF 通信系统,系统主要由收发机、天线及与之交联的调谐控制板和音频控制板组成。

VHF 通信天线一般为垂直极化,可全向接收和发射,通过天线底座周围的紧固件安装在机身蒙皮上,可使用加强件加固,如图 1 所示。天线的输入阻抗通常为 $50\ \Omega$,与 VHF 收发机发射电路的阻抗相匹配,并通过同轴电缆与 VHF 收发机组件相连,同轴电缆的电压驻波比一般不超过 2:1,且连接处有“O”形密封圈密封。VHF 通信天线外部结构由玻璃钢构成“刀”型,以减少气流阻力,内部结构有两个嵌在底座上的辐射电磁波的铸钢导体,其余内部空间由蜂窝状填充物填充。通常 VHF 通信天线的 MTBF(mean time between failures,平均故障间隔时间,简称 MTBF)应大于 30 000 h。

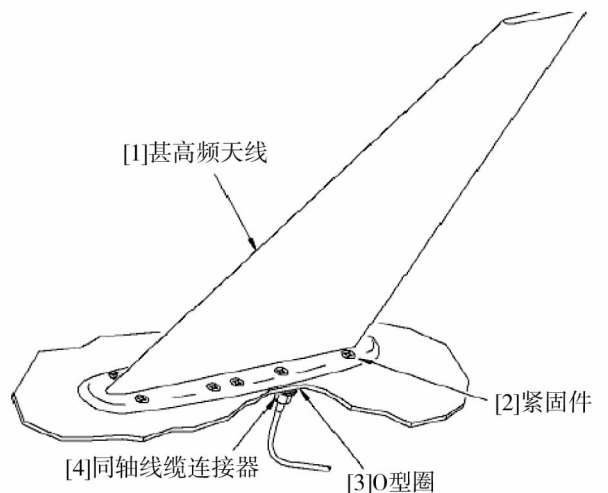


图 1 VHF 通信天线外部结构

2 VHF 通信天线设计要求

VHF 通信天线的设计,既要降低天线正常工作的要求,又要兼顾天线自身的电性能、气动、机械以及对其它天线的影响等各方面。VHF 通信天线设计要求,简要归纳如下:

1) 天线选择原则

天线使用的材料、零部件和工艺都应满足规定。HB/Z 86-85^[3]规定了天线外部结构的所有材料应经受各种液体综合浸渍而不会发生永久性电气和机械性损伤。

2) 总体布置设计原则

(1) 尽量减小对飞机结构及其它系统的影响;

(2) 尽量不影响外部标记;

(3) 尽量减小因天线安装导致的增重;

(4) 不影响地勤维护、货物装卸;

(5) 避免影响已完成的验证试验项目。

3) 气动干扰影响

(1) 应避免将天线布置于其它外部突出物后部,减少相互之间气动力影响,避免天线受到复杂气流的干扰;

(2) GJB 5035-2001^[4]中 3.6.3 规定:设计天线的外形时,使其在飞机上安装使用所引起的气动阻力尽可能小。

4) 结构安装要求

(1) 应避免将天线布置于蒙皮化铣区域;

(2) 为减少极化损失,应尽量将天线布置于机身等直段对称中心线或附近;

(3) 天线与所有金属零件之间有意设计配合的导电表面,应清除材料表面的氧化膜、油层、漆或其他高阻薄膜。

5) 电磁兼容要求

(1) VHF 通信天线与其它天线之间的隔离度应足够高以避免同频干扰;

(2) 对于系统间同频干扰,不仅要考虑系统间的带内干扰,还要考虑系统间的带外干扰;

(3) 不仅要考虑基波干扰,还要考虑谐波干扰、由于信号间互调与交调引起的杂波干扰以及可能的宽带干扰。

6) 特殊风险要求

应避免将天线布置于转子爆破、轮胎爆破等特殊风险影响区域。

3 VHF 通信天线设计的工程实例

下面以某型号工程实例来阐述 VHF 通信天线的设计过程。

3.1 天线的选择

不同的 VHF 通信天线都具有相似的电性能指标,通过相同的环境鉴定试验,但仍需注意不同的天线在制造工艺方面的差异:

(1) 应尽量选择 VHF 通信天线鳍到底座过渡光滑的天线,减少结构应力,某型天线的横向结构剖面图如图 2 所示;

(2) 应选择铸造工艺良好的 VHF 通信天线,避免内部气泡过多降低天线强度。



图 2 VHF 通信天线横向结构剖面图

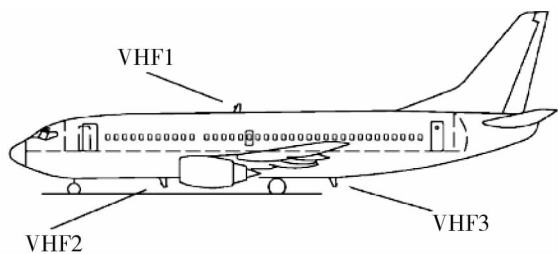
另外,VHF 通信天线还应满足 DO 160 的环境鉴定试验,表 1 给出了某型 VHF 通信天线 DO 160 E 环境鉴定试验结果。

表 1 某型 VHF 通信天线 DO 160 E 环境鉴定试验结果

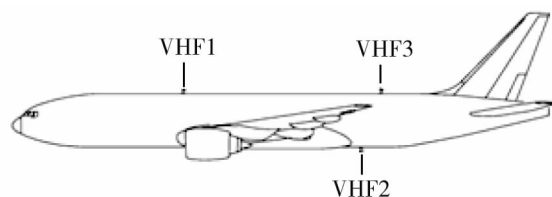
序号	试验内容	DO160 E 章节	试验结果
1	温度和高度	第 4 章	D2 类
2	温度变化	第 5 章	A 类
3	湿度	第 6 章	C 类
4	冲击和坠撞	第 7 章	D 类
5	振动	第 8 章	S 类 C 曲线
6	防水性	第 10 章	W 类
7	流体敏感性	第 11 章	F 类
8	砂尘	第 12 章	D 类
9	防霉	第 13 章	F 类
10	盐雾	第 14 章	S 类

3.2 天线的布置

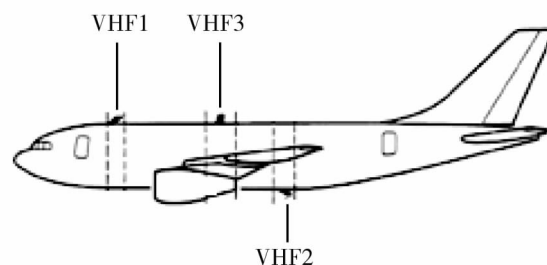
VHF 通信天线的布置可采用光学方法,电磁波和光的效应是一样的,即天线若在物理上有可见的遮挡,那么对信号的传输就会有影响,如折射、反射、干扰和绕射等。VHF 通信天线一般在机身上方和下方都要求至少安装一套,以满足信号全方位良好覆盖的要求。图 3 给出了常见机型 VHF 通信天线的布置。天线的布置应避开聚集水和其它液体的位置。此外,应避免因飞沙、碎石、泥土、雪等起飞或着陆时扬起而引起物理上的损坏。



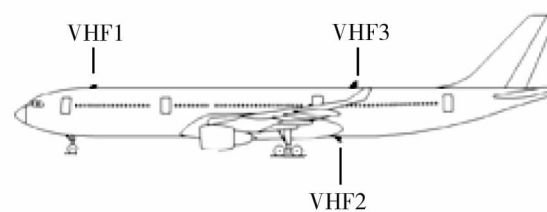
(a) 波音 737 中 VHF 通信天线布置



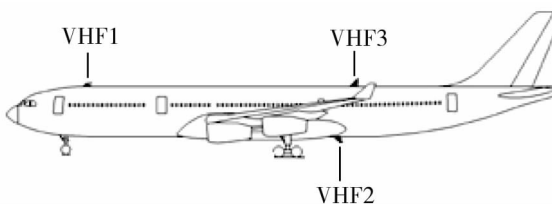
(b) 波音 777 中 VHF 通信天线布置



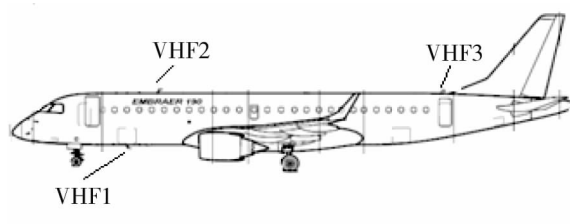
(c) A300 中 VHF 通信天线布置



(d) A330 中 VHF 通信天线布置



(e) A340 中 VHF 通信天线布置



(f) ERJ190 中 VHF 通信天线布置

图 3 常见机型 VHF 通信天线的布置

VHF 通信天线布置的位置应满足结构要求。GJB 5035-2001 中的 3.7.4 条与 GJB 2746-96^[5]中的 3.3.3 条规定:天线应能承受规定的环境条件下的

临界最大极限载荷(极限载荷为设计载荷的1.5倍)。根据供应商提供的VHF通信天线的三维数模,需分析计算出天线需要承受的最大侧向载荷(垂直于天线剖面的最大启动力,单位为N,载荷分布情况为均匀分布)。将计算出的最大侧向载荷数据与VHF通信天线设计指标对比,确保VHF通信天线强度满足要求。另外,此侧向载荷数据还将用于设计机身蒙皮下方的天线底座加强件。

VHF通信天线的布置应与外部辐射源及其它分系统、发动机、起落架等保持足够的距离。机载电子设备可能因有寄生辐射、辐射能量的屏蔽、分系统阻抗的改变、谐振或反谐振而导致天线不能正常工作。另外,VHF通信天线的布置还应考虑地面遮挡的影响。机组人员在航线运营中使用第一套VHF通信系统进行ATC(air traffic control,空中交通管制,简称ATC)通信,若第一套VHF通信天线布置在机腹下,则存在通信被遮挡的可能。早期波音737飞机上就发生过此种情况,波音公司曾在2004年发出服务通告(编号:SHA-25R1)建议在地面使用机身上方的VHF通信天线作为地面的主ATC通信,后续波音737机型对VHF通信天线的布置进行了调整(如图3):机身下方天线连接第二套VHF收发机,机身上方天线连接第一套VHF收发机。

下面以某型飞机VHF通信天线布置(图4中1~4区)为例分析。VHF通信需要与地面塔台进行可靠的双向通信,VHF通信天线一般为单极子、垂直化天线,要求对机身上部空间和下部空间都要有良好的覆盖。初步考虑将第一、二套VHF通信天线分布机身上下(如图4中所示1区和2区),第三套VHF通信天线有3区和4区可选。3区靠近垂尾的区域由于垂尾遮挡,将导致该区域方向图发生畸变。4区安装天线擦地风险较大:着陆时很可能损坏天线,且该位置有很多口盖,故建议将第三套天线布置在3区远离垂尾区域。此时机身上方的两套天线同侧,要避免两者距离过近及被垂尾遮挡。

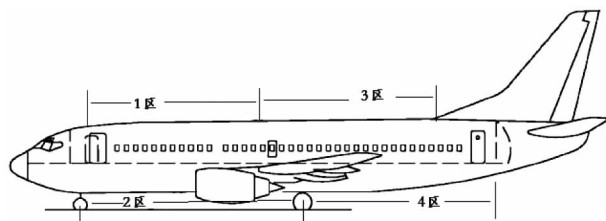


图4 某型号飞机VHF通信天线的布置分析

3.3 天线的方向图及隔离度仿真分析

方向图是衡量天线传输有用信号效能的重要指标。当天线安装到机体上后,由于散射、辐射源的互耦作用,天线辐射方向图可能会畸变,则此处通信效果较差。VHF通信天线一种常见形式是由带状线并联谐振电路和加感线圈的弯曲单极天线构成,天线高度小于1/8波长。为避免天线方向图在滚转面内的倾斜,天线一般都垂直安装在飞机的中心线上。VHF通信天线的辐射方向图在方位上必须是全方向性的,且最弱方位的零值深度不得超过20 dB。对单个天线来说,最强的辐射区域应在飞机下方相对水平面45°的范围内;对成对的天线来说,应在相对水平面±45°范围(飞机的机身轴线即在这个水平面内)内。另外,对飞机两侧方向图的覆盖同前后方向覆盖一样重要。当方向图覆盖范围对上下都有要求时,应优先考虑飞机下方的覆盖范围。

VHF通信天线方向图仿真分析首先要建立一个全机的表面模型,这是因为VHF通信天线工作的频率为118 MHz~156 MHz,而对材料为铝或碳纤维材料的机身,VHF通信天线的辐射场只会在机体材料的表面激起一层很薄的感应电流。通常使用CATIA软件建立一个全机的三维模型,对建立的内部可能存在大量缝隙和交叠面的全机三维模型进行修复和重建,去除其中的缝隙和交叠面,建立一个适用于电磁场仿真计算的三维几何表面网格模型。然后对该模型进行典型的VHF通信天线站位划分,再采用FEKO软件计算这些站位上VHF通信天线的辐射特性,最终可得三个主平面上VHF通信天线的方向图。

隔离度(耦合度)是分析天线电磁兼容(electromagnetic compatibility,简称EMC)的主要指标。通常情况下,隔离度(某天线端口)表示接收天线对发射天线功率的响应,该指标越高,则接收天线对功率的响应越小,电磁兼容性性能越差。由于多套VHF通信天线间可能存在同频干扰,故需要分析不同站位上VHF通信天线的隔离度。定义A天线的输入端口为端口1,B天线的输入端口为端口2, S_{21}^{FEKO} 是以任意指定电阻值(一般为50 Ω)为参考电阻时FEKO软件计算的端口1到端口2的传输参数,则端口1和端口2间隔离度 $D(1,2)$ 近似为:

$$D(1,2) = 20 \log \left(\frac{1 - |S_{22}^{FEKO}|}{|S_{21}^{FEKO}|} \right) (dB) \quad (1)$$

采用FEKO对不同站位上VHF通信天线两两

间的参数进行扫频计算,并由式(1)可得 VHF 通信天线两两间隔度的频响特性,则其中隔离度值较小的站位,VHF 通信天线间的同频干扰较小,可作为天线预布置的选择位置。

3.4 天线的安装及功能验证

VHF 通信天线安装位置确定后,应按照工艺规范规定的螺栓定力安装天线,天线可以通过与表面处理过的机身蒙皮直接接触进行搭接,同时也可以安装螺钉以及导电密封胶与机身蒙皮进行搭接,以满足天线射频搭接要求。在大多数情况下,为防止机载电子系统雷击,天线的接地十分必要。经验表明,一般天线的接地电阻应不超过 $0.5\text{ m}\Omega$ 。HB5876-85^[6]规定,应尽可能避免将天线布置在舱门、口盖、蒙皮间断部位和其它不规则的机体附近。需要注意的是,飞机表面一般为带有弧度的曲面,而天线底座一般为平底,在安装时底座和蒙皮会有弯曲形变。为避免应力集中,有的机型需要将安装处的蒙皮进行平整化,或直接露出蒙皮开口的天线加强件,如图 5 所示。

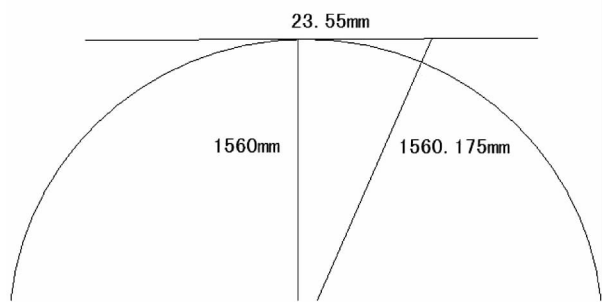


图 5 某型号飞机蒙皮表面与平底天线底座落差示意图

为验证 VHF 通信天线在飞机与飞机、飞机与地面双向通信功能正常,通常要对 VHF 通信系统进行机上功能试验。有条件的情况下可以与地面塔台进行 VHF 通信;条件不允许时,可考虑使用便携式的 VHF 航空电台和手持 Mic 与飞机进行 VHF 通信,以检测 VHF 通信天线设计的正确性,如图 6 所示。



(a) VHF 航空电台



(b) 手持 Mic

图 6 某型号 VHF 航空电台及手持 Mic

4 结论

民用飞机 VHF 通信天线的设计既要考虑天线本身的技术性能要求,又要尽量减少对飞机结构的影响,减少飞机额外增加的气动阻力和结构件的载荷,还要考虑维护性、安全性、可接近性等诸多因素,是一个综合设计的过程。民用飞机是一个 VHF 通信天线安装的特殊载体平台,随着大量的天线布置在有限的机体上,且工作频段相互重叠,电磁环境更加恶劣,如何采取有效的方法对 VHF 通信天线进行设计,将具有广泛的应用前景和重要的应用价值。

参考文献:

- [1] 姚友雷,王宝发. 机载天线电磁兼容及布局分析[J]. 航空学报,1994,15(6):740-744.
- [2] 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-R3[S]. 中国:中国民用航空总局,2001.
- [3] 机载天线分系统设计与布置准则:HB/Z 86-85[S]. 中国:中华人民共和国航空工业部,1985.
- [4] 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:国防科学技术工业委员会,2002.
- [5] 国防科学技术工业委员会. 机载天线通用规范:GJB 2746-96[S]. 中国:国防科学技术工业委员会,1997.
- [6] 中华人民共和国航空工业部. 飞机电搭接技术要求:HB5876-85[S]. 中国:中华人民共和国航空工业部,1986.

作者简介

郭磊 男,硕士,工程师。主要研究方向:甚高频通信系统设计。E-mail:guolei@comac.cc

宋金泽 男,硕士,高级工程师。主要研究方向:通信系统设计。E-mail:songjinze@comac.cc