

基于HFSS的机载信标接收机天线设计

安兆卫¹ 洪铁山² 王明皓² 赵平³

(¹沈阳航空工业学院电子信息工程学院,沈阳 110036; ²沈阳飞机设计研究所,沈阳 110035;

³中国联合网络通信公司有限公司黑龙江省分公司,哈尔滨 150001)

anzhaowei123@163.com

摘要:在飞机无线电导航系统中,机载信标天线必须体积小、重量轻,配置在机身下部,其最大辐射方向垂直向下,以接收飞机下方来自地面的信标信号。当飞机飞过地面无线电信标上空时,信标接收机天线接收地面信标发射机发出的高频水平极化波信号,从而为飞机提供着陆引导信息,保障飞机的安全着陆。本文从机载天线的实际工程需要考虑,通过天线加载的角度来减少天线的体积。设计过程中利用了 Ansoft HFSS 电磁场高频仿真软件仿真了天线的性能及参数对天线性能的影响,通过优化来实现其阻抗匹配,最终获得的天线具有良好的电压驻波比和辐射方向图特性。

关键词:天线设计,信标天线, HFSS, 阻抗匹配

The design of airborne beacon receiver antenna based on HFSS

AN zhaowei¹, HONG tieshan², WANG minghao², ZHAO ping³

(¹School of Electronic and Information Engineering, Shenyang Institute of Aeronautica Engineering, Shenyang, 110036;

²Shenyang Aircraft Design and Research Institute, Shenyang, 110035;

³China Unicom Network Limited Corporation, Heilongjiang Branch, Harbin, 150001)

Abstract: Airborne beacon antenna must be small and light, configured in the lower part of the plane body, with the maximum vertical downward radiation direction. Beacon receiver antenna used to receive the signal of horizontal polarized wave from the beacon transmitter in high-frequency band, when the aircraft flies over the ground radio beacon station, which offers landing and navigating information to the aircraft, so as to ensure the safety of the aircraft landing. This article based on airborne antenna which needs to take into account the actual project through the antenna loading to reduce the size of the antenna. The high-frequency electromagnetic field simulation software Ansoft HFSS used to simulate the antenna performance and analyze some parameters' influence, through the capacitors, inductors to optimize the value to achieve its impedance matching. The results showed that the antenna has the character of good VSWR and radiation pattern.

Keywords: Maximum radiation direction; Beacon receiver; Beacon antenna; HFSS; Impedance matching

1 引言

目前,作为机载信标接收机广泛采用的天线是电小天线,即天线的尺寸与工作波长相比很小。此时,可以把天线看成是一个带有少量辐射的电感器、电容器或两者的某种组合,通过加载的方式达到使天线小型化的设计要求^{[1] [5]}。信标天线采用突出的、其辐射振子端部由加载容性负载而使其缩短了长度的水平振子构成。置在机身的下部,并具有最大辐射方向垂直向下的方向图。按照国际协议规定,信标接收机的工作中心频率为75MHz^[2],通过HFSS软件仿真对天线的馈电点、电容、电感进行了

优化设计,使其在中心频率在75MHz上实现良好的阻抗匹配,要求其天线的电压驻波比(VSWR)小于2,水平极化方向图为心脏形方向图。

2 设计原理

机载信标天线工作原理示意图如下图1所示,天线振子的一端b用螺钉连接在槽的窄壁上,在窄壁上开一个孔槽,用导线加载一个电感,连接到底板上的同轴馈电点上,通过调整电感值来达到阻抗耦合匹配的目的。而振子的另一端d连接在绝缘体上,在辐射器的该端的d点处焊接有负载电容器C1和微调电容器C3,分别连接e、f点接地。其中

电容器 C_2 和微调电容器 C_3 串联，然后和 C_1 并联，通过转动微调电容器来改变其电容值^[3]。

从图1可以看出，振子是由分流电路馈电的，同轴电缆内导体在 a 点连接振子，振子的全长 bd 应小于四分之一波长。天线的输入阻抗取决于振子上 c 点的位置，即取决于 bc 、 cd 两段振子的长度，调整、优化 c 点的位置，可以找到使天线输入阻抗接近馈线波阻抗的点，即达到天线的阻抗匹配。通过对天线的加载来控制天线上的电流分布，进而改变天线的输入阻抗、方向图特性和天线的效率，以此来提高天线的带宽^[4]。

信标天线辐射集中在狭窄的与地面垂直的圆锥范围内，即要求具有最大辐射方向垂直向下的心脏形方向图^[6]。因此，本信标天线的设计采用一种非对称的振子天线，将其臂弯成直角，即构成了倒 Γ 形天线，从而使信标天线得到了具有垂直向下的心脏形方向图^[7]，其心脏形方向图的构成主要由非对称振子天线上电流分布所产生的场强的幅值和相位的不同来实现的^[8]。

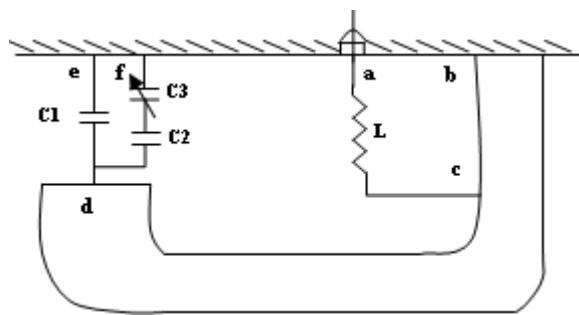


图1 信标天线示意图

3 HFSS的天线建模

结合上面的原理分析，设计一个工作频率为 $75 MHz$ 的信标天线，采用HFSS仿真软件进行参数化建模，馈线的特性阻抗为 50Ω ，采用集总馈电。对信标天线进行HFSS软件建模，其中X轴负方向为飞机航向、Y轴为飞机高度方向、Z轴为翼展方向，模型图如图2所示。HFSS软件是基于有限元法对研究对象进行网格剖分，为了减少网格剖分的数目，其手动剖分网格模型如下图3所示。

加载电容在图3标志区域上画出一个矩形片，放大后如图4所示。通过在边界条件Lumped RLC Boundary中设置电容值，对可变电容器 C_3 进行参数化设置；同理，对电感加载进行参数化设置。然

后，设置激励和求解方式，设置辐射边界时要求空气盒子尺寸合适。一般要求其边界到实际几何模型任何部分的距离大于四分之一波长，边界并非越大越好，边界太大会显著影响计算时间和精度。

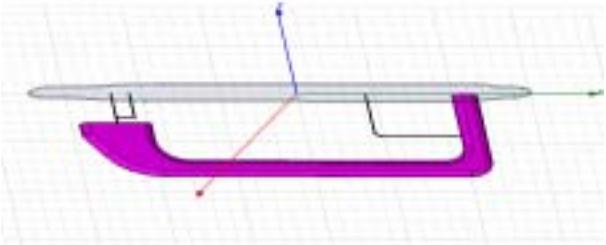


图2 天线 HFSS 模型

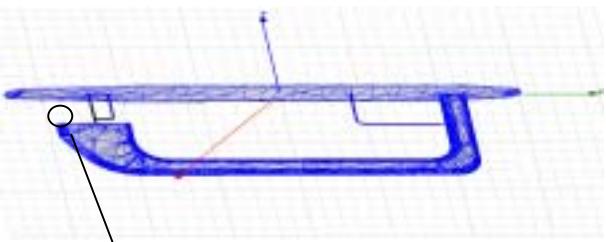


图3 天线 HFSS 模型网格剖分

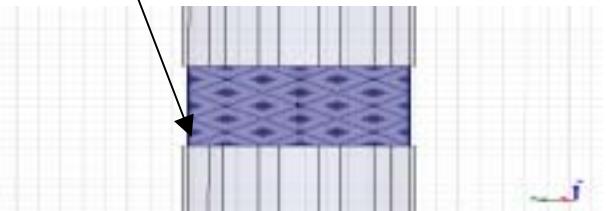


图4 电容加载位置

4 仿真结果分析

4.1 驻波比

仿真中心频率设置为 $75 MHz$ ，通过对可变电容 C_3 、电感 L 、 C 点距底板的长度 L_1 的值在 $74.7 MHz \sim 75.3 MHz$ 进行优化，取 $C_3 = 8.5 pF$ ， $L = 0.18 \mu H$ ，对 L_1 从 $29 mm \sim 32 mm$ 进行优化，得到其电压驻波比 (VSWR) 如下图5所示。

由图5可知，当 L_1 取 $29 mm$ 时，其回波损耗远大于 $-10 dB$ ，没有实际工程意义。当 L_1 从 $30 mm \sim 32 mm$ 优化时，随着 L_1 的增加，其中心频率逐渐接近 $75 MHz$ ，但驻波比变大了。

通过在 $74.8 MHz \sim 75.2 MHz$ 频率范围内，继续调节、优化可变电容 C_3 来减少频偏，但同时要保证不使驻波比增大。为此，取 $L_1 = 30.5 mm$ ， $L = 0.18 \mu H$ ， C_3 从 $8.2 pF \sim 8.6 pF$ 进行优化，其优化后

的电压驻波比 (VSWR) 如下图6所示。

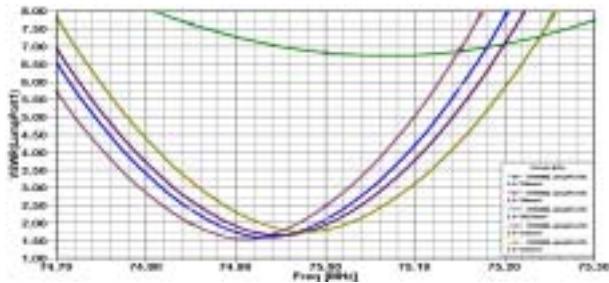


图 5 VSWR 与频率关系曲线

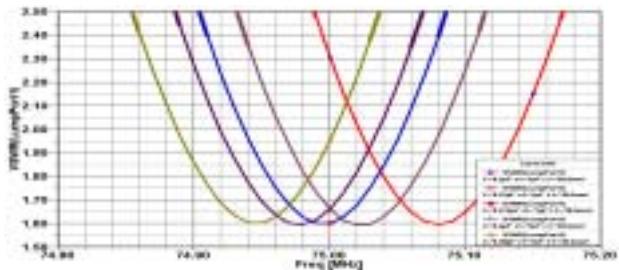


图 6 VSWR 与频率关系曲线

由图6可知，优化可变电容C3值时，在中心频率 75 MHz 上下产生了不同程度的频移。当取 $C_3 = 8.374\text{ pF}$ 时，在频率 74.991 MHz 处，驻波比为1.60。

在 $74.9\text{ MHz} \sim 75.1\text{ MHz}$ 频率范围内，通过优化电感L值，来达到减少驻波比的目的，由前面的优化确定了 $L_1=30.5\text{ mm}$ ， $C_3 = 8.374\text{ pF}$ ，对L从 $0.175\text{ }\mu\text{H} \sim 0.185\text{ }\mu\text{H}$ 进行优化，得到其优化后的电压驻波比 (VSWR) 如下图7所示。

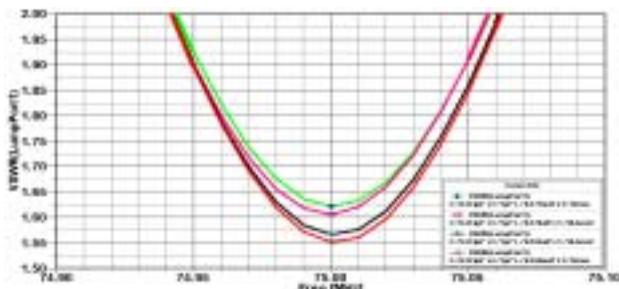


图 7 VSWR 与频率关系曲线

由前面的仿真优化，最终确定了当 $L_1=30.5\text{ mm}$ ， $C_3 = 8.374\text{ pF}$ ， $L = 0.1845\text{ }\mu\text{H}$ 时，仿真后的电压驻波比 (VSWR) 如下图8所示，得到在中心频率 75 MHz 处驻波比为1.55，其阻抗带宽 (回波损耗小于 10 dB) 为 100 KHz ，满足频偏 $\pm 15\text{ KHz}$ 的要求，满足了工程设计要求。

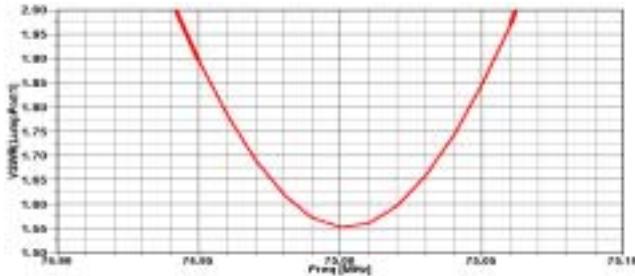


图 8 VSWR 与频率关系曲线

4.2 天线表面电流分布

天线表面的电流分布的HFSS仿真结果如下图9所示，从中可以看出电流矢量方向随相位的变化而变化，在 0° 相位和 180° 相位时，天线横臂端处形成最大的辐射面电流，即有最大的远场辐射方向，在 90° 相位时，辐射电流最小。

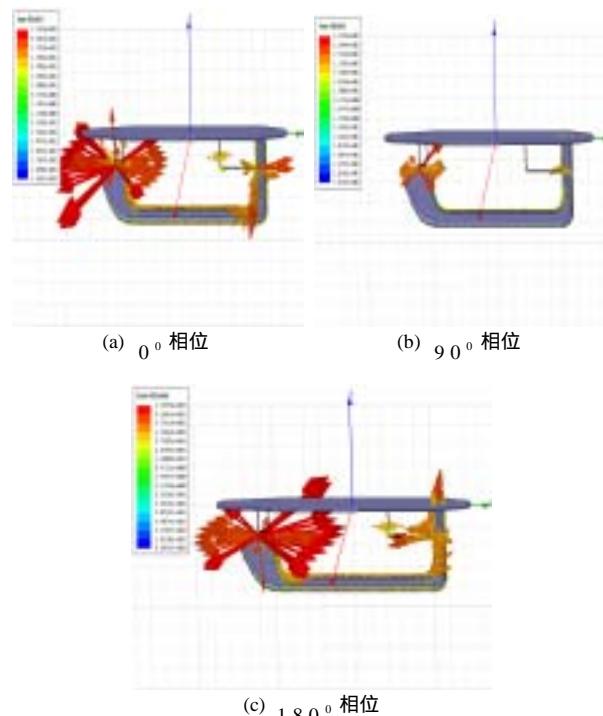


图 9 天线表面的电流分布

4.3 远场辐射方向图

在HFSS中，设置仿真频率 $74.9\text{ MHz} \sim 75.1\text{ MHz}$ ，对信标天线进行仿真，得到其三维远场方向图如下图10所示。

二维H、E面方向图如下图11、12所示从仿真结果上可以看到，H面方向图的最大辐射面在当 $\text{Phi} = -90^\circ$ 时，即天线的最大辐射方向沿Y轴负方向垂直向下，其方向图为心脏形；E面方向图为水平全向，软件仿真的增益 -1.5 dB ，达到了我们对

设计天线的要求。

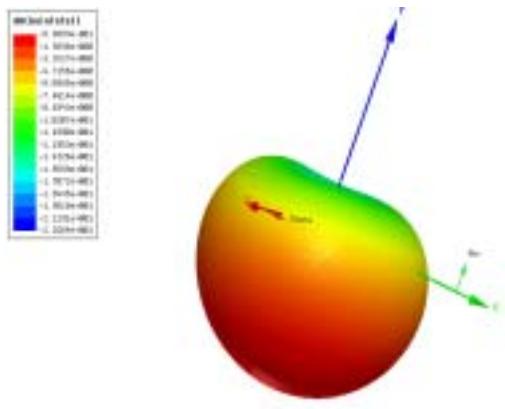


图 10 三维辐射方向图

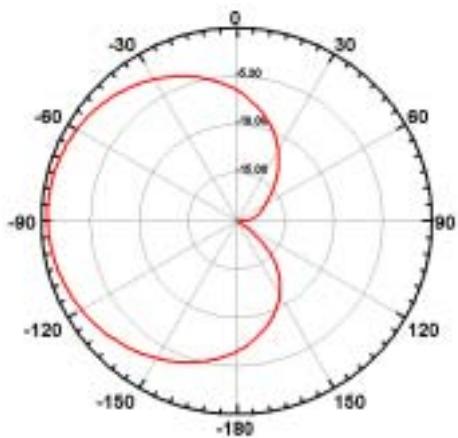


图 11 H 面方向图

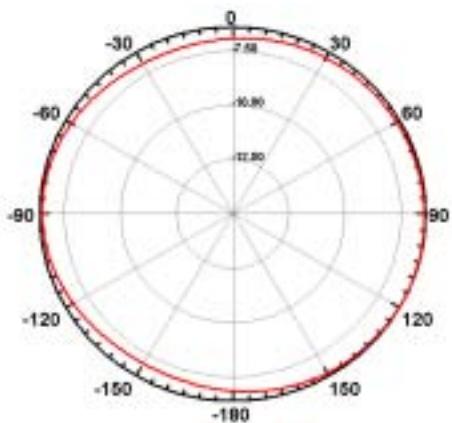


图 12 E 面方向图

5 结论

本文设计、仿真了一种机载信标接收机天线，基于对机载天线的空间布局和对飞机的整体气动性考虑，从天线加载的角度来减小天线的体积，通过利用集总元件来缩小天线的尺寸。经过对天线参数的仿真和优化，得到了满意的电性能参数，从而验证了信标天线设计理论的正确性和HFSS软件准确、可靠的仿真性能，本设计方案具有一定的可行性。

参考文献

- [1] Steven R. Best, Small Antennas, Antenna Engineering handbook, Chapter (6), 7, June, 2007
- [2] Cooper C. E. Aircraft antenna systems .SERT Jouinal , Vol .9, February 1975 .p. p. 37—44 .
- [3] Gerald J. Oortman, Aircraft Antennas, Antenna Engineering handbook, Chapter (40):13-15, 7, June, 2007
- [4] A. Broadband, Loaded Antennas Designer, volume 48 , 5 , October, 2006 ,p. p.120 —129
- [5] H. A. wheeler. Small Antenna, IEEE Transaction on Antenna and Propagation ,Volume-23,4,July,1975,p. p. 462—469
- [6] A.A.鲍尔包特等著. 飞机通讯与导航天线[M]. 航空工业部第六〇一研究所译, 1982.12
- [7] IO.沙特拉柯夫等著. 飞机天线系统[M]. 航空工业部第六〇一研究所译, 1985.6
- [8] 林昌禄等著. 天线工程手册[M]. 电子工业出版社, 2002.6

作者简介：安兆卫，男，硕士研究生，主要从事航电系统和天线的设计研究；洪铁山，男，主管设计师，主要从事飞机天线和天线布局设计；王明皓，男，研究员，主要研究领域为航空电子信息系统；赵平，男，工程硕士，主要从事通信产品研发工作。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>