

机载宽频带超短波天线的设计

安兆卫¹ 王明皓² 洪铁山² 赵平³

(沈阳航空工业学院电子信息工程学院, 沈阳 110136)¹ (沈阳飞机设计研究所, 沈阳 110035)²;
(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)³

摘要: 运用具有普遍性的椭圆 V 锥天线做模型, 当椭圆 V 锥的模值 k 值趋于零时, 椭圆 V 锥天线退化为三角板天线^[1]。本文在对单极三角板天线研究的基础上, 设计出了一种用于机载超短波波段的宽频带、小型化的单极梯形板天线。采用基于有限元法的仿真软件 Ansoft HFSS 对梯形板天线进行建模、仿真优化, 使之与 50Ω 输入阻抗匹配, 最后确定了天线的尺寸。并给出了天线的驻波比曲线和远场辐射方向图, 结果表明天线在超短波波段 100—400MHz 内具有 4: 1 的阻抗带宽。

关键词: V 锥天线; 三角板天线; 超短波; HFSS; 驻波比

The design of airborne broadband V/UHF antenna

An Zhaowei¹ Wang Minghao² Hong Tieshan² Zhao Ping³

(School of Electronic and Information Engineering, Shenyang Institute of Aeronautica Engineering, Shenyang, 110036)¹; (Shenyang Aircraft Design and Research Institute, Shenyang, 110035)²;
(China Unicom Network Limited Corporation, Heilongjiang Branch, Harbin, 150001)³

Abstract: Utilizing the elliptic V-cone antenna (EVA) as a universal model, when $k \rightarrow 0$, the elliptic V-cone antenna regresses to a triangular V-plate antenna (TVA)[1]. In this paper, we proposed a unipolar trapezoidal antenna for wide-band and miniaturization on the basis of the study design for an airborne a unipolar trapezoidal antenna. The comprehensive electromagnetic simulation tools Ansoft HFSS™ is used to simulate the antenna performance and analyze some parameters' influence. Though optimized the parameter to achieve the feedpoint impedance match to the 50Ω input impedance, and determine the size of the antenna. Finally, the simulation results of VSWR and radiation pattern are presented, respectively. results showed that the antenna in the VHF and UHF band from 100—400MHz within the impedance bandwidth with 4:1.

Keywords: EVA; TVA; ultra-short wave; HFSS; VSWR

1 引言

V 锥天线因其在 VHF 和 UHF 波段具有宽频带特性而得到广泛的应用, 对于实用中的有限长实体 V 锥天线, 锥角 $30^\circ \sim 90^\circ$ 时, 具有良好的频带展开特性^[2]。然而, 对实体 V 锥天线和薄壳形 V 锥天线, 由于大的体积和重量等因素^[3], 使其无法满足在机载环境下对超短波天线的高机械强度、小型化的要求, 因此也就限制了这种天线的广泛使用。

椭圆 V 锥天线的一种变形——单极三角板天线

(又称 Bowtie 天线)^[4], 这种天线具有重量轻、小型化等优点, 当具有宽锥角时, 仍具有较好的宽频带特性^[5]。按照极化分类三角板天线属于垂直极化, 在水平面内辐射方向为水平全向。

随着战场信息化技术的发展, 机载超短波通信已不仅仅是语音通信, 还有数据传输和图像传输的要求^[6]。因此, 就要求配置具有宽频带的天线。

三角板天线由于其宽频带的特性使得它的增益、输入阻抗和方向图特性等电性能参数可在较宽的频带内保持稳定的特性以及它的体积小、重量轻的特点, 作为机载天线具有良好的应用前景和实用

性^[7]。本文利用 Ansoft HFSS 高频电磁场仿真软件设计了一种用于机载超短波波段的单极梯形板天线。通过仿真、优化得到了天线在机载超短波波段 108—173MHz, 225—400MHz 频段内有良好的电压驻波比和远场辐射方向图特性, 很好的满足了工程上所期望的设计要求。

2 单极三角板天线的理论分析

2.1 单极三角板天线的物理模型

一个 V 形天线绕它的轴线旋转 $2\phi_0$ 角, 则形成 V 锥天线。整个天线金属辐射臂仅仅是角坐标 (θ_0, ϕ_0) 的函数, 而与径向坐标 r 无关^[8]。当从 V 锥顶点馈电时, 金属辐射臂表面的电流、空间中的辐射电磁场都是球面波形式^[9]:

$$\Phi = f(\theta_0, \phi_0) \frac{\exp(\pm jkr)}{r} \quad (2-1)$$

$$k = \frac{\cos \theta_y}{\cos \theta_x}, \quad \theta_x = \theta_0 \quad (2-2)$$

式中, $f(\theta_0, \phi_0)$ ——天线辐射臂结构决定的分布函数, 与频率无关; k ——V 锥模数; θ_x ——常数, 表示一组以 z 轴为对称轴的椭圆锥面; r ——常数, 表示一组球面。

当 V 锥模数 $k \rightarrow 0$ 时 (即 $\theta_0 = 90^\circ$), V 锥天线退化为三角板天线。这种天线具有与 V 锥天线类似的阻抗特性, 其特性阻抗 Z_0 为^[10]:

$$Z_0 = 60 \ln \left(\cot \frac{\theta_0}{2} \right) \quad (2-3)$$

2.2 单极三角板天线的结构改进

对于单极三角板天线如下图 1 所示, 其中 h 、 w 分别表示三角板天线的高度和宽度。当具有宽半锥角 θ_0 时, 此结构天线才会有宽频带特性。如果工作在低频段, 如 VHF 和 UHF 波段, 这样的单极三角板天线因其高度不可能设计过小而导致宽度十分庞大, 不能适应机载环境对天线小型化的要求。

因此, 本文尝试构建了如图 2 所示的单极子梯形板天线, 可视为单极三角板天线下端切去锥角部分构成。图中用 a 、 b 、 c 、 θ 分别代表梯形板天线的上底宽、下底宽、高度、和半锥角。

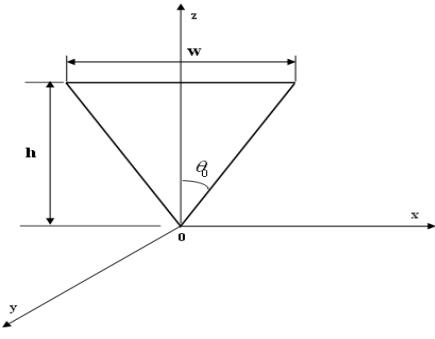


图 1 单极三角板天线结构示意图

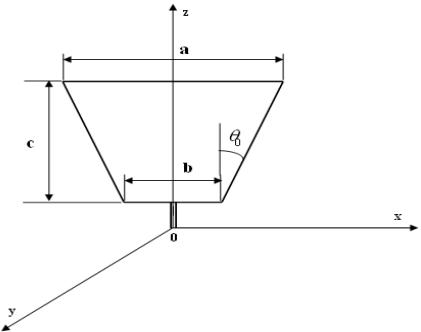


图 2 单极梯形板天线结构示意图

3 天线模型的建立

根据上述理论, 利用 Ansoft HFSS 软件建立如图 3 所示的天线模型, 根据设计要求建立仿真模型的主要结构数值的优化变量, 其优化变量的数值选取由表 1 所示。

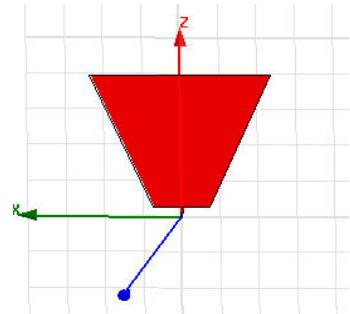


图 3 单极梯形板天线的 HFSS 模型

表 1 梯形板天线结构参数选取要求

变量含义	变量名称	取值范围
半锥角	θ_0	$10^\circ \sim 45^\circ$
平板下底宽	b	(50~90)mm
平板高	c	(350~390)mm

设置仿真频率在 100—400MHz 频段内, 通过仿

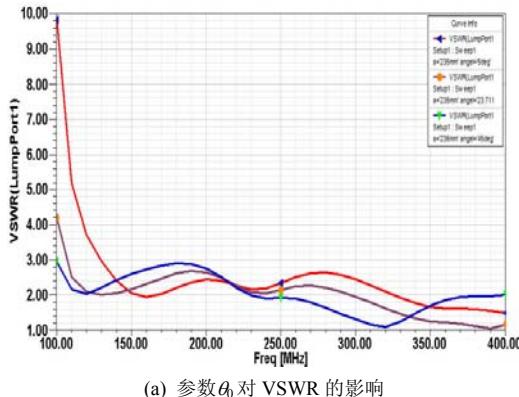
真来研究以下三个问题：

- 1、固定 b 、 c ，改变 θ_0 时，VSWR 曲线随 θ_0 的变化关系；
- 2、固定 c 、 θ_0 ，改变 b 时，VSWR 曲线随 b 的变化关系；
- 3、固定 b 、 θ_0 ，改变 c 时，VSWR 曲线随 c 的变化关系；

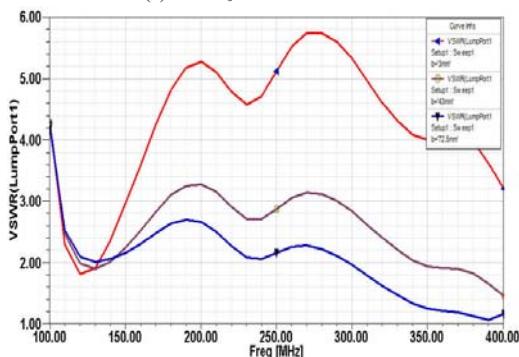
4 仿真结果分析

4.1 VSWR

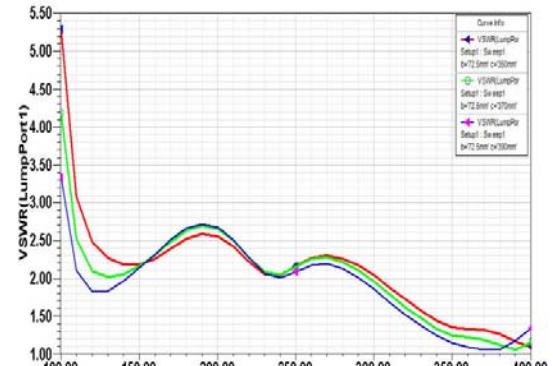
采用 HFSS 软件对天线主要参数半锥角、平板下底宽 b 及平板高 c 分别进行了仿真优化，如下图 4 所示。由仿真优化从图 4 中(a)可以看出，随着参数半锥角 θ_0 的增大，在 225—320MHz 频段内 VSWR 减少，320—400MHz 频段内 VSWR 逐渐增大；从图 4 中(b)可以看出，随着参数平板下底宽 b 的增大，在 100—400MHz 频段内 VSWR 减少；从图 4 中(c)可以看出，随着参数平板高 c 的增大，在 230—380MHz 频段内 VSWR 减少，其他频段内对 VSWR 的影响不大。通过对参数的仿真、优化，最终确定了天线的结构参数，其仿真 VSWR 曲线如下图 5 所示，在 108—173MHz, 225—400MHz 频段内其 VSWR<2.5，整个工作频段 100—400MHz 内满足其 VSWR<3。



(a) 参数 θ_0 对 VSWR 的影响



(b) 参数 b 对 VSWR 的影响



(c) 参数 c 对 VSWR 的影响

图 4

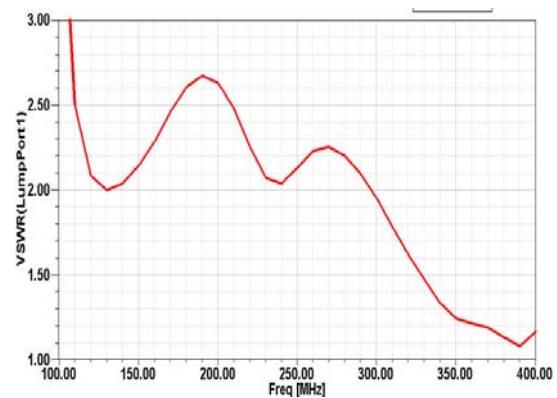
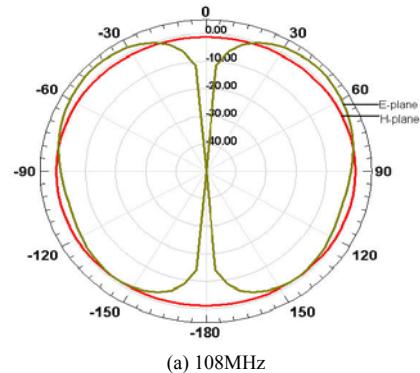


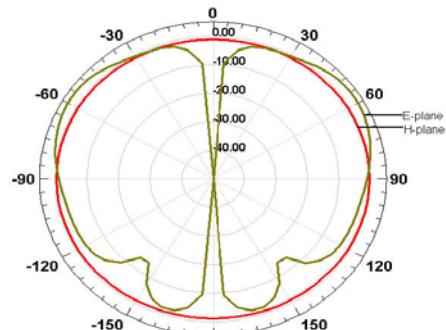
图 5 参数优化结果的 VSWR 曲线

4.2 方向图

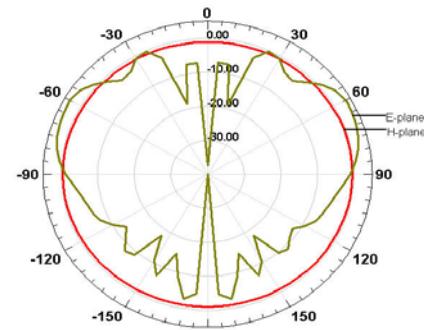
由于天线结构具有对称性，因而在水平面 (H 面) 内，辐射方向图为水平全向性的；而垂直面 (E 面) 内，其辐射方向图与普通电偶极子天线的 E 面方向图相似，如下图 6 中(a)、(b)、(c)、(d) 所示。从图 6 中(a)可以看出，改进的平板天线在 108MHz 时，其 E 面方向图与普通电偶极子天线的 E 面方向图相似。但随着仿真频率的增大，如图 6 中(b)、(c)、(d) 所示，最大辐射方向偏离水平方向而向上偏移，从而导致天线在水平方向的方向性系数下降。



(a) 108MHz



(b) 173MHz



(d) 400MHz

图 6 HFSS 仿真的天线 E、H 面方向图

5 结束语

本文通过对单极梯形板天线参数进行了仿真设计和优化，使其能够分别在机载超短波波段 108—173MHz, 225—400 MHz 频段内 VSWR<2.5, H 面辐射方向图具有水平全向性。由于其宽频带、小型化的特性，因此，可以很好的作为机载超短波天线来使用。从而验证了机载超短波天线设计理论的正确性，本设计方案具有一定的可行性。

参 考 文 献

- [1] Yuan Naichang, Ruan Chengli, Lin Weigan, Biconical and V-conical antennas with elliptic crosssections.Journal of University of Electronic Science and Technodogy of China.
- [2] Tokusuda Tamura-machi.Radiation field of biconical horn antenna with different flare angels.IEEE,CH2654-2/89, 1989,16(7):347-350.
- [3] Tokusuda Tamura-machi.Radiation field of dis-cone antenna with a oblique cone.IEEE,0-7803-0730-5/92,1992,21(5):1829-1833.
- [4] Warren L. Stutzman&Gary A.Thiele.Antenna Theory and Design(Second Edition).2006.
- [5] Gerald J. Oortman, Ultrawide Bandwidth Antenna Design, Aircraft Antennas, Antenna Engineering handbook, Chapter (19):16-19,June,2007
- [6] Gerald J. Oortman, VHF and UHF Antennas for Communications and Broadcasting, Antenna Eng-ineering handbook, Chapter (29):20-25,June,2007.
- [7] Gerald J. Oortman, Aircraft Antennas, Antenna Engineering handbook, Chapter(40):15-17,June,2007.
- [8] DEMMERLE F, WIESBECK W. A biconical Mu-ltibeam antenna for space-division multipleaccess. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1998,46(6):781-788.
- [9] SAMADDAR S N, MOKOLE E L. Biconical Ante nnsa with unequal cone angles. IEEE Transactions and Propagation,1998,46(2):185-192.
- [10] Chengli Ruan.Biconical antennas with elliptical crosssection[J], Electronics Letters,2000,36(16):1339~1340.

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；

王明皓，男，研究员，主要研究领域为航空电子信息系统；

洪铁山，男，主管设计师，主要从事飞机天线和天线布局设计；

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>