

# 宽带正交双极化测向天线阵设计

周智杰<sup>1</sup> 刘 颖<sup>1</sup>

(西南电子设备研究所, 四川 成都 610036)

**摘要** 介绍了一种特高频(UHF)和L波段正交双极化测向天线阵。该天线阵采用维瓦迪槽缝单元和一种新颖的领结单元天线组阵, 能够实现水平和垂直双极化。通过仿真设计和实物测试验证, 天线性能良好并且具有小型化、易于加工等优点。

**关键词** 测向天线阵; 维瓦迪; 领结天线; 增益

**中图分类号** TN822<sup>+</sup>.4

## 1. 引言

由于接收低频段信号的需求, UHF/L频段测向天线是电子战系统重要组成部分。特别是机载平台, 由于安装空间的限制, UHF/L频段测向阵的设计是天线设计的难点之一。另外, 因全极化侦收及极化识别等方面的系统需求, 还需要实现正交双极化。常规的UHF/L频段测向天线(如槽缝天线、螺旋天线、对数周期天线及加脊喇叭天线等), 由于工作频段低, 测向阵的体积偏大<sup>[1]</sup>, 很难适应紧凑平台(如战斗机)的需要。特别要考虑实现双极化时, 受高度方向限制, 实现难度相当大。因此小型化正交双极化天线阵的研究具有迫切的应用背景及工程需求。

传统的双极化天线多采用同一种线极化单元直接正交的方式, 从而导致尺寸较大。本文给出了一种巧妙利用两种线极化单元结构上的特点, 组合而成形成正交双极化阵, 不但拓展了带宽, 同时压缩了高度尺寸, 很适合机载平台的安装。通过仿真及测试结果进行了验证。

## 2. 理论分析设计

测向阵的水平单元采用维瓦迪槽缝天线。维瓦迪槽缝天线<sup>[2]</sup>作为一种经典的宽带天线, 具有方向图特性好, 尺寸小, 重量轻的优点。维瓦迪天线通常采用双层微波印制板的方式制作, 通过两层印制板间的带状线进行馈电。天线单元结构模型如图1所示。

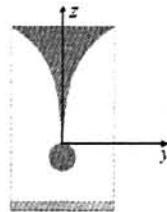


图1 维瓦迪槽缝天线示意图

维瓦迪天线的电性能主要依赖于槽缝的外形和缝隙的宽度  $W_s$ 。槽缝的外形通常由式(1)中的指数方程决定。其中  $R$  表示开放率  $P_1(z_1, y_1), P_2(z_2, y_2)$  表示指数线上的两点坐标。在计算时, 只需要令  $P_1, P_2$  分别是缝隙指数线的起点和终点坐标就可以计算出  $c_1$  与  $c_2$ (两点坐标可以根据缝隙的长度  $L$  和宽度  $H$  确定)。仿真优化过程中, 只需要改变参数  $R, H$  和  $L$  的数值便可以改变缝隙的外形。

$$y = c_1 e^{Rz} + c_2 \quad (1)$$

其中

$$c_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}} \quad (2)$$

$$c_2 = \frac{y_1 e^{Rz_2} - y_2 e^{Rz_1}}{e^{Rz_2} - e^{Rz_1}} \quad (3)$$

垂直极化单元采用一种新颖的领结天线, 馈电采用双线方式, 它是如图2的平面领结折叠某个角度构成。这种单元本质上是一种偶极子天线, 但是该偶极子的工作原理与普通偶极子不同, 它是借助于金属板反射领结产生的后向电场从而实现前向辐射特性<sup>[3]</sup>。天线的电性能主要取决于领结的外形尺

寸。该天线单元的特点是结构简单,工作频带宽,波束较宽。

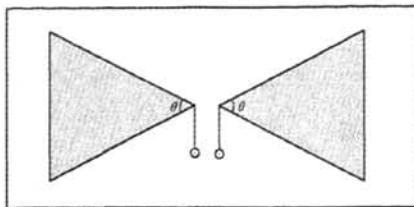


图 2 平面领结天线示意图

由于天线互耦等影响,单元天线的电性能和天线阵的电性能存在较大的差异。于是先分别将上述两种天线单元用 HFSS 电磁仿真软件进行建模和优化,接下来再将单元组成一个天线阵进行整体研究。最终天线阵水平极化采用三个槽缝单元,垂直极化使用四个折叠领结单元进行组阵。为了降低水平单元驻波,特别在天线阵的两端各加了半个水平单元。测向天线阵的结构如图 3 和图 4 所示。

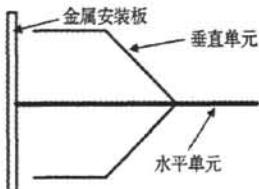


图 3 阵列侧视结构图

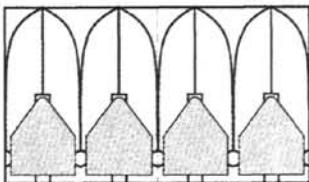


图 4 阵列俯视结构图

改变天线单元的间距相当于是同时改变了水平单元的口径尺寸,该尺寸直接决定水平单元的工作频段。由于垂直极化单元的前向辐射需要借助底板反射,因此单元与金属安装板的相对距离对垂直极化的影响很大。在仿真时需要特别关注上述两个参数。

通过 HFSS 软件仿真,得到天线的电压驻波比如图 5 所示。可以看到,天线水平极化的驻波在 UHF/L 频段内均小于 3.5,垂直极化单元的驻波小于等于 3。

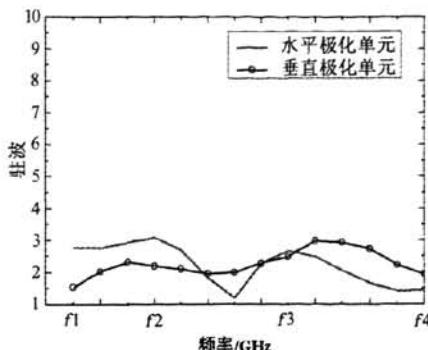


图 5 水平/垂直极化单元驻波

### 3. 实验结果

测向天线阵的水平和垂直极化单元均采用微波印制板工艺进行加工,垂直极化印制板依靠泡沫支撑。水平极化单元的带状线通过带状线转微带线最后与底板上的 SMA 座焊接;垂直极化单元的双线则通过垂直式插座直接与同轴电缆相连,然后同样与底板上的 SMA 座焊接。天线阵实物照片如图 6。



图 6 测向天线阵实物

将天线阵置于微波暗室中测试,得到其主要性能测试结果如图 7~图 11 所示。图 7,图 8 分别是水平和垂直极化实测驻波。图 11 是两个极化的增益。图 10 和图 11 分别表示水平极化单元和垂直极化单元方向图,其中实线是单元方位面方向图,散点线是单元俯仰面方向图。

从图 7~图 11 的实测性能结果可见,测向天线阵

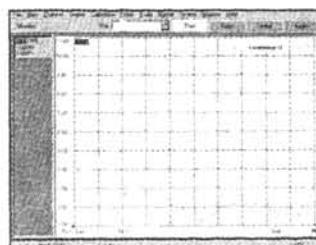


图 7 水平极化单元实测驻波

在 UHF/L 频段的,对于水平极化单元,电压驻波系数 $<3$ ,增益 $-2\text{ dB}\sim7.5\text{ dB}$ ,方位面波束宽度 $33^\circ\sim140^\circ$ ,频率低端波束前后比大,这是由于天线的电小尺寸结构使得水平单元方位面方向图随频率降低呈现出全向性的趋势。高端波束出现波动,导致 3

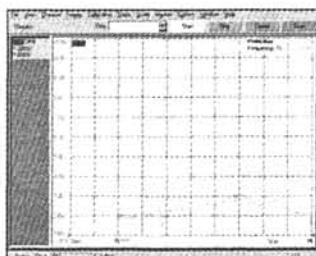


图 8 垂直极化单元实测驻波

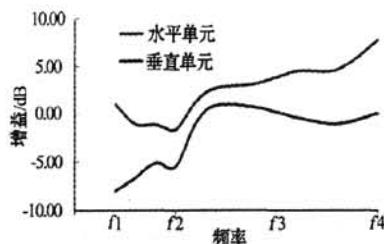
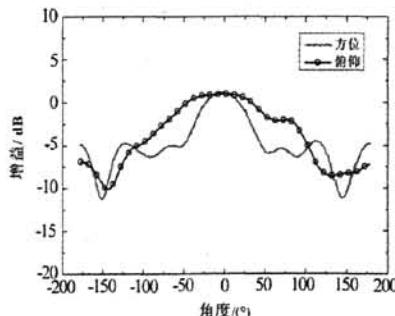
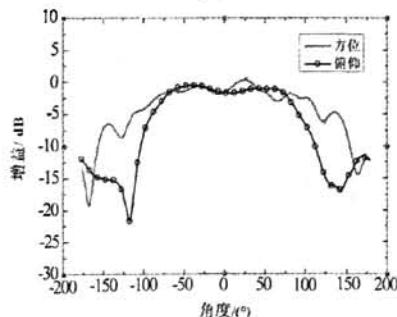


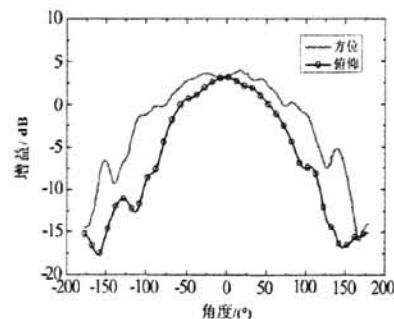
图 9 单元增益统计曲线



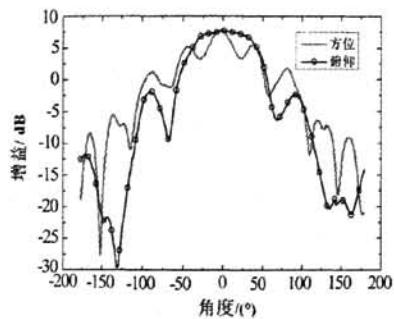
(a) 频点  $f_1$  方向图



(b) 频点  $f_2$  方向图

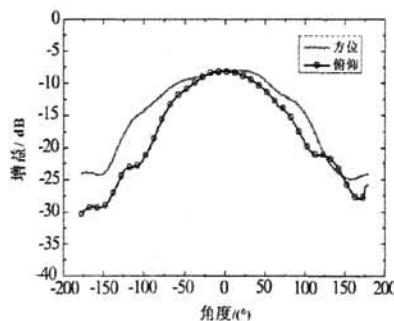


(c) 频点  $f_3$  方向图

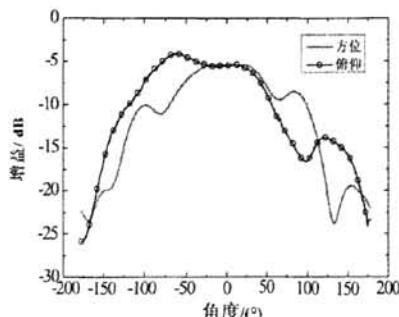


(d) 频点  $f_4$  方向图

图 10 水平极化单元方向图实测结果



(a) 频点  $f_1$  方向图



(b) 频点  $f_2$  方向图

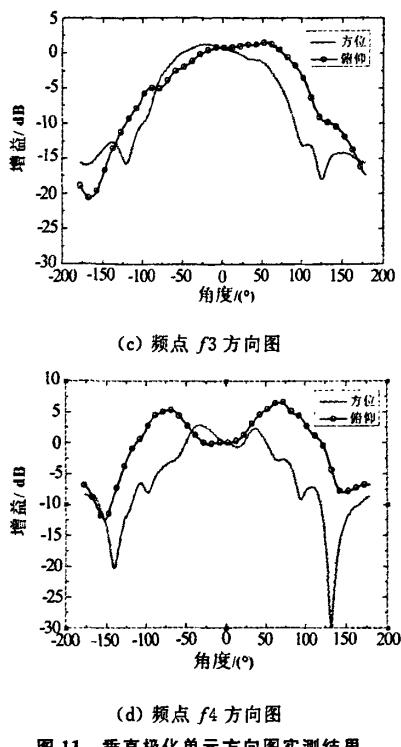


图 11 垂直极化单元方向图实测结果

$\text{dB}$  波束宽度减小。对于垂直极化单元,驻波 $<3.2$ ,增益 $-8 \sim 1.5 \text{ dB}$ ,波束宽度 $54^\circ \sim 133^\circ$ ,垂直极化

(上接第 480 页)

苗俊刚 (1963—),男,教授,博士,在德国不来梅大学遥感研究所有 10 年学习工作经历 (1993-2003)。主要从事微波遥感理论与技术、电磁散射与辐射测量技术、微波毫米波成像技术和微波天线技术研究。目前主持国家杰出青年科学基金、自然科学基金、教育部新世纪优秀人才支持计划、总装备部武器装备重点基金、国防科工委基础科研项目等以及民用航天重点型号项目共十项。曾两次获得国家科技进步二等奖(排名 3 和排名 8)。1990 年获国家教委霍英东青年教师奖,2004 年入选教育部“新世纪优秀人才支持计划”。在 JGR、IEEE T-GRS、Radio Science 等国际一流杂志发表论文 10 篇,SCI 收

录 10 篇,SCI 引 39 次。回国两年来,已指导博士后 1 名,博士、硕士研究生 28 名。现任中国电子学会微波分会委员。

## 4. 结论

本文通过仿真分析,设计实现了一种可工作在 UHF/L 频段的小型双极化测向天线阵。经实物测试,天线性能良好。该天线采用同轴电缆馈电,具备尺寸小,结构简单、可加工装配性强等特点,在电子战系统领域中具有广泛的工程应用价值。

## 参考文献

- [1] KRAUS J D, MARHEFKA R J 著,章文勋译.天线(第三版)[M].北京:电子工业出版社,2006.
- [2] SKIN J, SCHAUERT D H. A parameter study of stripline-fed vivaldi notch-antenna arrays[J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1999, 47(5): 879-886.
- [3] 周游,潘锦,聂在平.时域背腔式领结天线的工程化设计[J].电子科技大学报,2005,34(1):1-3.

## 作者简介

周智杰 (1983—),男,四川人,西南电子设备研究所工程师,硕士,主要从事宽带天线研究设计。

录 10 篇,SCI 引 39 次。回国两年来,已指导博士后 1 名,博士、硕士研究生 28 名。现任中国电子学会微波分会委员。

胡岸勇 (1980—),男,工学博士,博士期间主要从事综合孔径微波辐射计的系统设计、仿真、系统校正及定标,信号处理等方面的研究工作,先后参加了国家自然科学基金,武器装备预研项目、国家高技术研究发展计划(863)等项目的研究。2009 年 7 月进入北京航空航天大学电磁场与微波技术专业博士后流动站,从事全极化辐射计的系统设计及定标方面的研究工作。

## 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](http://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](http://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](http://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>