

## 一种双模圆极化贴片天线设计

郑宏兴，李智峰，李晶晶

(天津职业技术师范大学天线与微波技术研究所，天津 300222)

**摘要：**为满足卫星导航系统的要求，采用单点馈电叠层贴片技术，设计了一种双频圆极化宽波束天线；采用隐式的时域有限差分方法，对天线进行全波仿真，分析了影响匹配性能的结构参数，并通过在贴片的一组对边上开矩形缝隙，微调天线谐振频率，同时实现了阻抗带宽和轴比带宽相吻合；总结出改善天线双频匹配特性的方法，解决了双频段同时达到最佳匹配的问题。

**关键词：**双频；圆极化；贴片天线；时域有限差分

中图分类号：TN911 文献标识码：A 文章编号：2095-0926(2011)04-0012-04

### Design of dual-band circular polarization patch antenna

ZHENG Hong-xing, LI Zhi-feng, LI Jing-jing

(Institute of Antenna and Microwave Techniques, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** To satisfy the satellite navigation system, a wide-beam antenna is designed with dual-frequency and circular polarization by using a single feeded two truncated patches. For these designing processes, an alternating-direction implicit finite-difference time-domain method has been used to simulate the antenna with full wave. The geometric parameters of the antenna is analyzed which effects the match properties. Two rectangular patches are slotted to tune the frequency, both impedance and axis-ratio bandwidth can be matched concurrence. Dualband matching performance has been realized at the same time. Three operational modes are studied, and methods improved the match properties of the dualband antenna have been concluded. The design parameters has been optimized.

**Key words:** dual-frequency; circular polarization; patch antenna; finite-difference time-domain

卫星导航和定位系统在国民经济各领域起着越来越重要的作用，系统的信号频带分布较广，多频多模导航技术有着显而易见的优势。作为卫星导航系统的终端，天线起着举足轻重的作用，它直接影响整个系统的性能。通常应用于卫星导航系统的天线有多臂螺旋<sup>[1]</sup>和贴片<sup>[2]</sup>2种形式。通过改变螺旋天线臂的尺寸能够满足导航系统的宽波束要求，但轴向尺寸大，限制了它的应用范围。而微带天线由于具有剖面低、重量轻、能与载体共形等优点受到青睐。微带天线实现双频段圆极化的主要方法有2种：一是开槽，通过改变贴片上场的分布，形成对应不同主模的形式<sup>[3]</sup>；二是层叠<sup>[4]</sup>，用2片对应不同谐振频率的贴片叠起来形成双频辐射。由于层叠结构尺寸更小，本文选用这种结构，设

计了一种单点馈电的双频圆极化天线，在1.616 GHz(L波段)和2.495 GHz(S波段)分别接收/辐射右旋和左旋圆极化波。为了提高设计效率，采用隐式的时域有限差分(ADI-FDTD)方法<sup>[5]</sup>进行全波仿真，对设计参数进行优化，达到了设定的目标。

### 1 双频与圆极化的实现

利用文献[6]中方形贴片天线的设计原理，天线的双层结构如图1所示，上层贴片工作时，下层贴片做为接地面；而下层贴片工作时，上层贴片则做为电感性耦合元件。根据需要，上层贴片工作在S波段，而下层贴片则工作在L波段，上下层贴片谐振频率分别取决

收稿日期：2011-10-31

基金项目：国家自然科学基金资助项目(60871026)。

作者简介：郑宏兴(1962—)，男，教授，硕士生导师，研究方向为天线、微波电路和计算电磁学。

于 $l_1$ 和 $l_2$ 的大小,它们分别辐射或接收右旋或左旋圆极化波。上层贴片用同轴线直接馈电,由过孔耦合到下层贴片。单点馈电矩形贴片可产生2个等幅的正交简并模<sup>[6]</sup>,若实现圆极化,还要引入分离单元,使2个正交简并模相位差90°。这里对贴片的一组对角进行切角处理,选择合适尺寸,使2个简并模的阻抗相角分别超前和滞后45°,就形成90°的相位差,从而实现圆极化。其轴比性能主要取决于切角大小 $a_1$ 和 $a_2$ 。实现圆极化时,需要确定 $a_1$ 和 $a_2$ 的尺寸。设计实践发现,轴比带宽通常略低于阻抗带宽的整体频率,如果在贴片的一组对边开矩形缝,选择合适的缝隙尺寸,能够使阻抗与轴比带宽吻合。

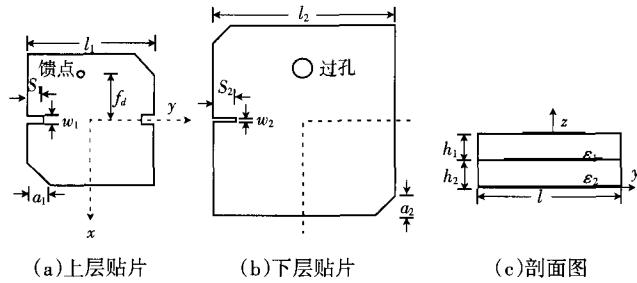


图1 天线的基本结构

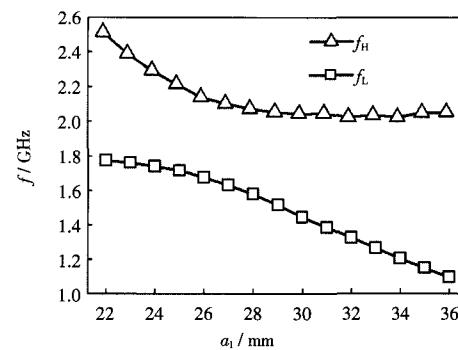
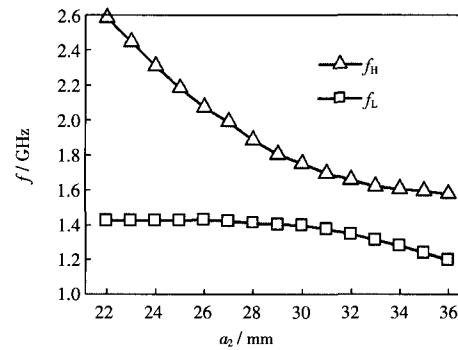
## 2 参数的选择与优化

利用ADI-FDTD方法<sup>[5]</sup>,由自己开发的设计软件对天线进行全波仿真,发现对于不同的结构参数组合,图1的天线有3种工作状态:一是高低频段分别由上层和下层贴片所决定,此时天线的双频匹配特性较好;二是工作模式与第一种相反,状态比较复杂,输入阻抗匹配比较困难;三是单频宽带工作状态,它表现出贴片之间的强耦合。这里选择第一种状态进行研究,其他结构参数的影响可以根据传输线理论以及天线辐射模型分析得出,便于后期调试。

### 2.1 切角尺寸

设 $f_L$ 和 $f_H$ 分别为天线低频段和高频段的中心频率,在理想情况下,分别对应1.616 GHz和2.495 GHz。图2给出了天线 $f_L$ 和 $f_H$ 随上层贴片尺寸 $a_1$ 的变化情况。随着 $a_1$ 的增加, $f_L$ 逐渐降低,当 $a_1$ 小于27.2 mm后, $f_L$ 降低的比较快,随后呈现出线性下降趋势。随着 $a_1$ 的增加, $f_H$ 先降低,当 $a_1$ 大于27.2 mm后, $f_H$ 几乎保持不变,不随 $a_1$ 的变化而改变。图3给出了天线 $f_L$ 和 $f_H$ 随 $a_2$ 的变化情况,变化规律与图2基本相同。综合图2和图3以及表面电流分析,仿真结果验证了上述3种工作状态的存在。

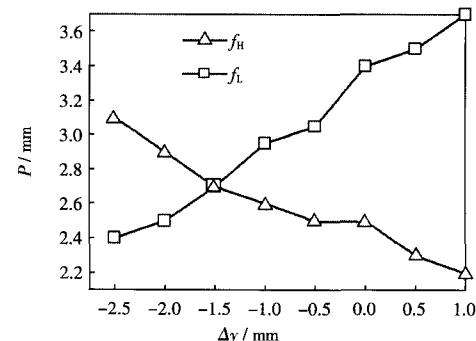
为了调整天线的结构参数,达到双频段的最佳匹配,下面用ADI-FDTD方法对馈电点、过孔直径和矩形

图2 谐振频率随上层贴片切角尺寸 $a_1$ 的变化图3 谐振频率随下层贴片切角尺寸 $a_2$ 的变化

缝隙等3种影响匹配特性的因素进行分析。

### 2.2 馈电点

设 $\Delta y$ 为上层贴片处于天线几何中心时,下层贴片中心相对于天线中心在 $y$ 方向的距离, $\Delta y > 0$ ,表示中心偏移到 $y$ 轴正向; $\Delta y < 0$ ,则表示移动到 $y$ 轴负方向。通过仿真找出L和S两个频段的回波损耗最小值所对应的馈电点位置 $P_L$ 和 $P_S$ ,如图4所示。在 $\Delta y$ 由正到负的变化过程中, $L$ 频段回波损耗最小值所对应的馈电点位置 $P_L$ 逐渐向基板中心移动;而 $S$ 频段所对应的馈电点 $P_S$ 则远离基板中心。当 $\Delta y = -1.52$  mm时, $L$ 和 $S$ 频段回波损耗最小值所对应的馈电点位置基本重合。说明通过调节上下贴片中心的相对距离可以改善天线的双频匹配特性。

图4 不同 $\Delta y$ ,回波损耗最小值随馈电点 $P_L$ 和 $P_S$ 的变化

### 2.3 过孔直径

天线的下层贴片由过孔耦合得到馈电, 孔径 $d$ 对天线的影响如图5和图6所示。

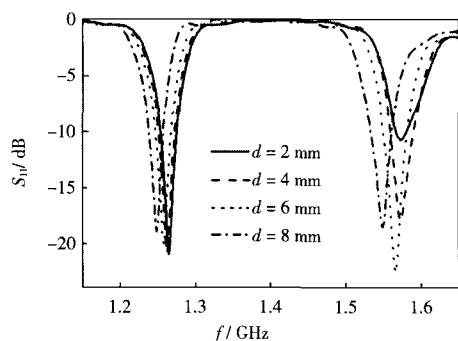


图5 不同过孔直径 $d$ , 下层贴片的回波损耗

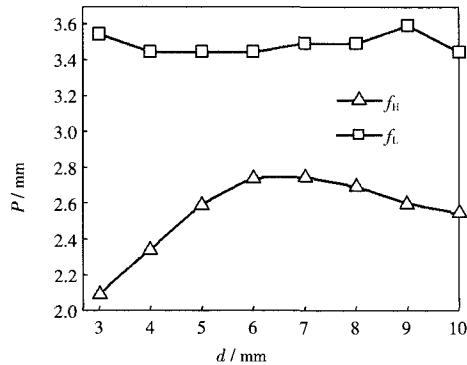


图6 不同过孔直径, 回波损耗最小值随馈电点 $P_L$ 和 $P_S$ 的变化

由图5可以看出, 随孔径的增加, 由于过孔对下层贴片表面辐射电流路径的限制作用, 以及上下层贴片之间的相互耦合作用, 天线的低频和高频谐振点都向低频端移动。图6给出了回波损耗最小值与孔径的关系。从图6中看出, 低频段的回波损耗最小值均出现在馈电点位置 $P_L=4.5$  mm左右, 即对低频段, 几乎不受过孔直径的影响, 而对高频段的影响较大。可以得出, 改变下层贴片过孔直径可以改善天线的双频匹配特性。

### 2.4 频率调谐

通过在辐射贴片的一组对边上开矩形缝隙, 微调天线谐振频率, 较好地实现阻抗带宽和轴比带宽吻合。仿真结果表明, 天线在L波段1.581~1.638 GHz内和S波段2.417~2.636 GHz内回波损耗都小于-10 dB, 相对带宽分别为3.2%和8.8%, 而在频段1.599~1.628 GHz内和频段2.459~2.598 GHz内回波损耗都小于-15 dB。天线3 dB轴比带宽为1.610~1.625 GHz和2.466~2.515 GHz, 相对带宽分别为1.0%和1.8%。 $\varphi=0^\circ$ 时天线在1.616 GHz和2.495 GHz的0 dB波束宽度达到140°以上。

根据以上分析, 得出天线的优化参数如表1。

表1 优化后的天线参数

参数/mm	$l$	$l_1$	$l_2$	$s_1$	$s_2$	$w_1$	$w_2$
	62.5	29.5	45.5	3.12	5.65	1.5	2.1
参数/mm	$f_d$	$a_1$	$a_2$	$h_1$	$h_2$	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$
	10.5	4.35	6.15	4.0	4.25	3.12	3.52

### 3 实验与测试

在实际制作时, 不仅考虑表1中的参数, 还要选择上层基板介电常数小于下层基板, 降低表面波的传播。这里分别用ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-LiTi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>和ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-TiO<sub>2</sub>-Mg-TiO<sub>3</sub>陶瓷进行低温固化, 还根据用户要求, 综合考虑重量以及机械强度等因素。天线采用传统的同轴线馈电方式, 结构简单, 便于制作。

经过实测, 天线的回波损耗曲线如图7所示。在L波段1.581~1.638 GHz内和S波段2.417~2.636 GHz内回波损耗都小于-10 dB, 相对带宽分别为3.2%和8.8%, 在频段1.599~1.625 GHz内和频段2.465~2.575 GHz内回波损耗都小于-15 dB。低频段的阻抗带宽( $S_{11}<-10$  dB)约为30 MHz; 高频段的阻抗带宽约为38 MHz。图8为 $\theta=0^\circ$ ,  $\varphi=0^\circ$ 时天线轴比随频率的变化曲线, 曲线表明:L波段3 dB轴比带宽为1.610~1.625 GHz, 相对带宽为1.0%; S波段3 dB轴比带宽为2.466~2.515 GHz, 相对带宽为1.8%。图9为增益随频率变化曲线, 可以看出L和S波段增益分别达到5.8 dB和7.2 dB。图10分别为1.616 GHz和2.495 GHz时的天线远场辐射方向图, 可以看出0 dB增益波束宽度均达到140°以上。

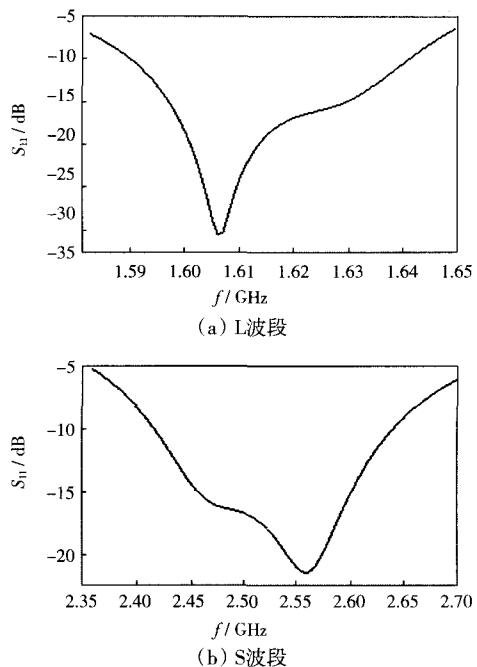
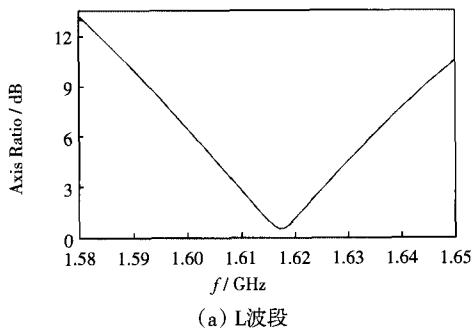
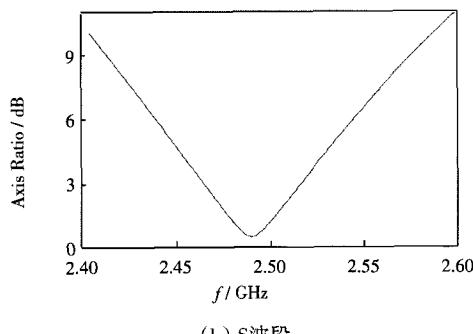


图7 天线回波损耗实际测试曲线

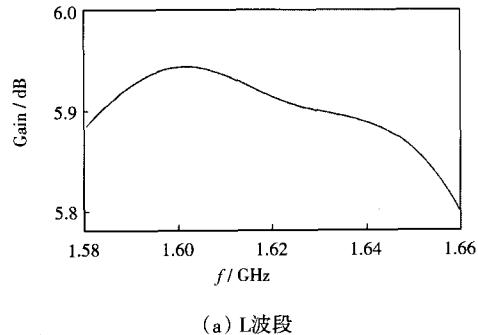


(a) L波段

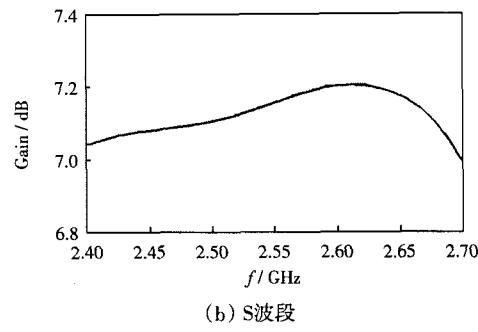


(b) S波段

图8 天线轴比随频率变化曲线



(a) L波段

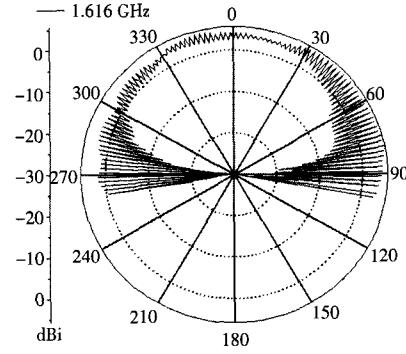


(b) S波段

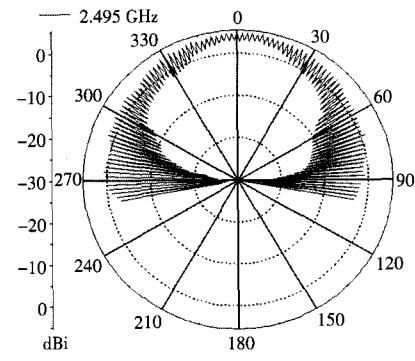
图9 增益随频率变化曲线

#### 4 结束语

用ADI-FDTD方法研究了单点馈电叠层贴片天线的特性,设计了一种宽波束双频双圆极化贴片天线。通过合理选择下层贴片过孔直径、上下贴片中心位置



(a) L波段



(b) S波段

图10 天线的远场辐射方向图

偏移等参数,达到天线的最佳双频匹配特性。采用低温陶瓷固化工艺制作了天线样品,测试表明,其电性能可以满足卫星导航系统的要求。天线采用同轴线馈电方式,整体结构简单,制作成本低,具有广泛的应用价值。

#### 参考文献:

- [1] LIU Z D, HALL P S, WAKE D. Dual frequency planar circularly polarized antenna at S and L bands [C]//International Conference on Antenna and Propagation, 1997:378–380.
- [2] 钟顺时. 微带天线理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991.
- [3] POZAR D M, DUFFY S M. A dual-band circularly polarized aperture-coupled stacked microstrip antenna for global positioning satellite [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1997, 45(11):1618–1625.
- [4] SHIN D M, PARK P, KIM J, et al. A novel dual-band circularly polarized antenna using a feeding configuration for RFID reader [J]. International Conference on Electromagnetism in Advanced Applications, 2007(2):511–514.
- [5] 郑宏兴, 李晓东, 陈妹, 等. 用修正的ADI-FDTD方法研究介质谐振器天线[J]. 天津工程师范学院学报, 2007, 17(3): 6–10.
- [6] KRAUS J D, MARHEFKA R J. Antennas: For All Applications [M]. New York: McGraw-Hill Companies, 2002.

## 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>