

文章编号 1005-0388(2006)01-0121-05

# 一种结构新型的双频双极化共口径微带天线

蔡明娟 尹家贤 刘克诚

(国防科技大学电子科学与工程学院, happy\_caier@163.com, 湖南 长沙 410073)

**摘要** 介绍了一种结构新型的双频双极化共口径缝隙耦合微带天线, 天线工作的中心频率分别为 2.1GHz(L 波段)和 8.6GHz(X 波段), 在两个工作频率采用了底馈的馈电方式。用时域有限差分法分别对 L 波段和 X 波段双极化的微带辐射单元进行了模拟分析, 制作了 L 波段的  $2 \times 2$  元即 X 波段的  $8 \times 8$  元阵天线, 同时给出了测量结果。

**关键词** 双频双极化, 底馈, 共口径缝隙耦合微带天线

中图分类号 TN820.11

文献标识码 A

## New dual-frequency and dual-polarization coplanar microstrip antenna

CAI Ming-juan Yin Jia-xian LIU Ke-cheng

(College of Electronic Science and Engineering, NUDT, happy\_caier@163.com,  
Changsha Hunan 410073, China)

**Abstract** A new dual-frequency and dual-polarization coplanar aperture-coupled microstrip antenna is introduced in this paper. The operation frequencies of the antenna are 2.1GHz (L-band) and 8.6GHz (X-band), and the inverse feed form is employed. The radiation unit cell of the dual-polarization microstrip antenna in L-band and X-band is analyzed by the finite-difference time-domain method (FDTD). A prototype antenna with unit-cell array in L-band and the unit-cell array in X-band is made, and the measured curves are obtained.

**Key words** dual-frequency and dual-polarization, the inverse feed, coplanar aperture-coupled microstrip antenna

## 1 引言

L、X 双频双极化探测在微波探测中有广泛的用途, 例如 L 波段有一定的穿透能力, 而 X 波段有更好的测量精度。双频双极化的实现, 天线是一个重要因素。以往的天线多采用波导缝隙阵来实现, 当要求为双频、双极化时, 其体积大、比较重、不易实现。因此发展体积小、重量轻的天线系统很有必要, 而微带天线符合这种要求, 它可以使重量减轻 1~2 个量级, 而且采用印刷电路制作工艺, 制作成本也可以降低。所以, 研究这种天线有很大的价值。

用 FDTD 方法分别对 L 波段和 X 波段的一个辐射贴片单元结构作了模拟, 分析了两者之间的影晌。经过多次计算, 选取了两个工作频率的辐射贴片共面时影响最小的结合尺寸, 采用了馈电均为底馈的新型合理结构, 并且制作了试验的阵天线。测量结果表明了该天线良好的性能。

## 2 FDTD 模拟

模拟所采用的是基于时域有限差分法的 Empire 软件。模拟中激励源设置为高斯脉冲, 采用 PML 吸收边界条件。选择介质基片的厚度  $h =$

1mm,介电常数  $\epsilon_r = 2.575$ 。

### 2.1 L 波段的单元

正方形微带贴片具有良好的正交极化辐射特性且易于制造,因此选择它来作为 L 波段的辐射单元。微带贴片的边长假定为 40.8mm,与 L 波段的谐振长度相对应。由于 X 波段的中心频率为 8.6GHz,大致为 L 波段中心频率 2.1GHz 的四倍,因此 L 波段的辐射贴片尺寸约为 X 波段辐射贴片尺寸的四倍。当两种频率结构相结合时,即 X 波段的辐射贴片与 L 波段的辐射贴片共面时,辐射贴片是四个 X 波段的单元组成的阵与一个 L 波段的单元相结合,如图 1 所示。经多次计算,得到了大小贴片相结合时的谐振最好的最佳尺寸与位置。

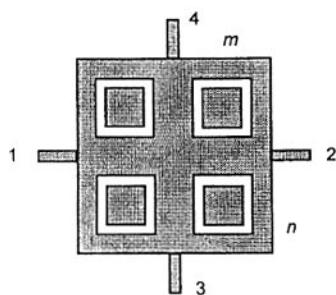


图 1 L 波段单元的辐射面

### 2.2 X 波段的单元

X 波段的结构主要由三层介质板组成,如图 2(a)所示,它的俯视图为图 2(b),图中已经清楚地标出了贴片、缝隙、馈线以及接地板的位置。经过模拟,得到它的谐振曲线。结果是在 8.6GHz 时谐振比较好。

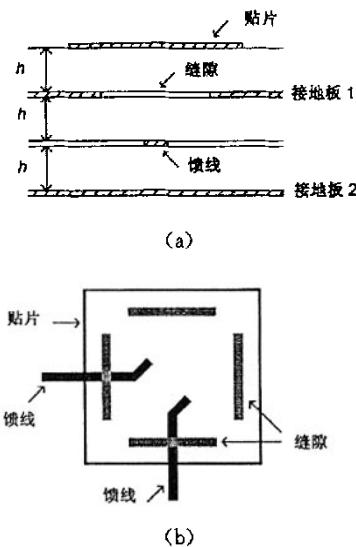


图 2 X 波段的单元结构

## 3 底馈的结构

在初期的尝试中,制作了一个双频双极化缝隙耦合微带天线单元,采用了在天线正面和背面都馈电的结构。但是该结构的缺点是背向辐射较大,激励有正反两面,操作中很不方便。由此,提出了一种新的馈电方式,两种频率的馈电都采用底馈,这样使得背向辐射大为减小,结构在使用中更为实用。该结构中有三层介质:第一层介质的上面敷有 L 波段的馈线以及 L、X 两个波段的辐射贴片,下面一层为 L 波段激励的接地面,在这个面上开了许多缝隙,作为 X 波段的缝隙耦合来用;接着为第二层介质;第三层介质的上面是 X 波段的馈线层,下面敷有金属为 X 波段激励的接地板。第二层与第三层介质上开有两个小方孔,以方便 L 波段激励的 SMA 接头放入。结构示意图为图 3。

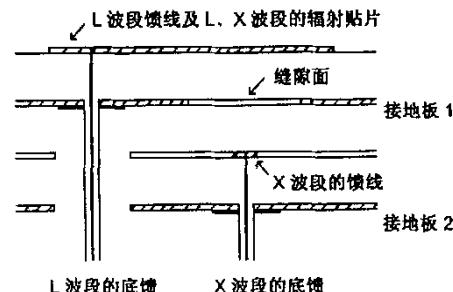


图 3 底馈的结构

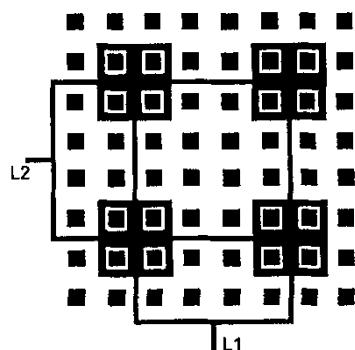
## 4 L 波段与 X 波段的结合及试验结果

### 4.1 天线阵的实现

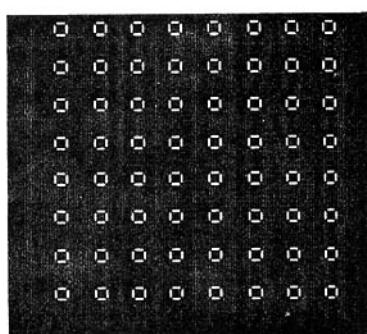
现在给出天线阵的结构,见图 4 所示。该天线为 L 波段的  $2 \times 2$  元阵,即 X 波段的  $8 \times 8$  元阵的天线。在 L 波段与 X 波段阵的馈线中,采用了并馈与串馈相结合的方式。为后面叙述方便,对各个馈入口编号为 L1、L2、X1、X2。

### 4.2 L 波段几种边结构的研究

在阵天线中,L 波段的贴片与馈线相连时有三种形式,即四分支、三分支和两分支,而在前面只研究了微带贴片带有四个馈线分支的情况,贴片的谐振频率在 2.10GHz,由于馈电分支不同,同样的贴片尺寸,其他两种单元的谐振频率会有所不同。因此,要对两种边结构作以研究。



(a) 辐射面



(b) 缝隙面

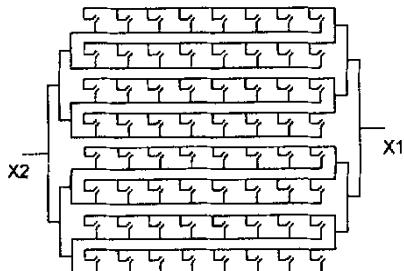


图4 双频双极化阵天线结构

图5中曲线为1端口输入时贴片上的电压分布,3端口与4端口的微带线位于电压零点,这两段微带线不影响贴片的谐振频率,三分支结构与四分支结构的区别是少了4端口或3端口的微带线,因此,当从1端口输入2端口输出时,它们的谐振频率点是一样的;而二分支结构与四分支结构的差别是少了2端口和4端口的微带线(或3端口的微带线),2端口的微带线对贴片谐振频率影响较大,因而二分支与四分支谐振点有较大差别。

对于三分支,模拟分析后确实证明了它的谐振点相对于四分支没有偏移。对于二分支,假设去掉图1中的2、4微带馈线,取贴片为40.8mm×40.8mm

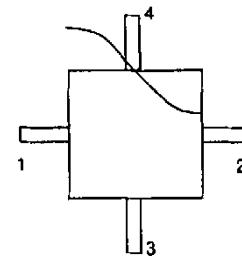


图5 贴片上的电压分布

为标准,在此基础上改变m、n边,其谐振频率点变化情况分析后列在表1中。

表1 L波段二分支贴片谐振频率随贴片变化的情况

m的变化	为40.8mm	上移1.6mm	下移0.8mm	为40.8mm	下移0.4mm
n的变化	为40.8mm	右移1.6mm	左移0.8mm	左移0.8mm	左移0.4mm
谐振频率	2.08GHz	1.98GHz	2.12GHz	2.12GHz	2.10GHz

#### 4.3 阵天线的驻波、方向图及分析

图6分别给出了两种频率的两个极化馈口处经阻抗匹配后的驻波曲线。由图中曲线可以看出,在谐振点附近,X波段驻波在2以下的频带比较宽,而在L波段驻波在2以下的频带比较窄;在L波段2.1GHz处两个端口的驻波系数最小为1.3,并且很对称;在X波段处两个端口的驻波在谐振点的为1.4。

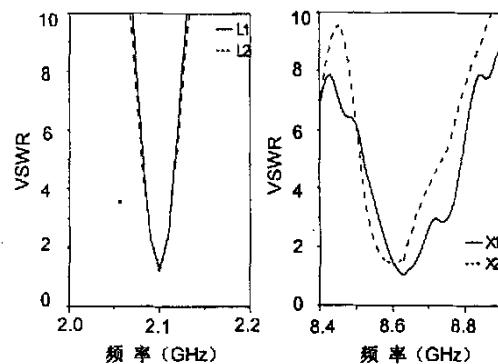
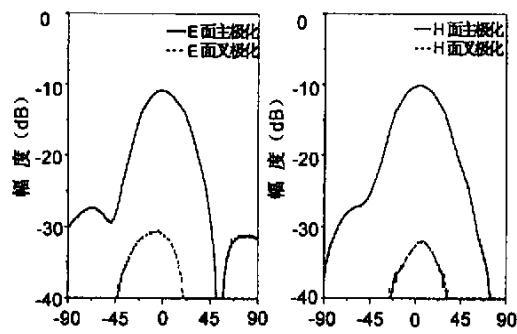


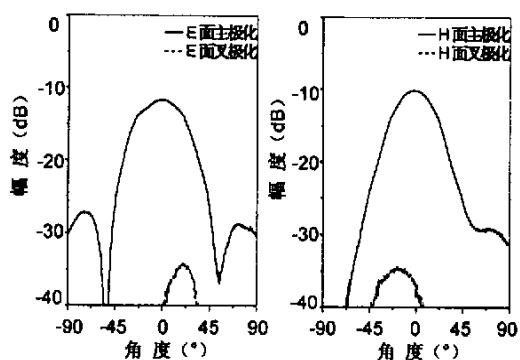
图6 L、X波段各端口的驻波系数

图7为阵天线的L波段的实际测量所得方向图。图中给出的是L1端口、L2端口在接受功率最大的频率点的E面、H面的主极化与叉极化方向图。这个频率点比计算的谐振频率点有些偏移,这是很正常的,现实中存在随机因素的试验天线与理想条件下的计算总是有些误差的。从上图可以看出,主极化方向图形状比较好,E面主极化方向图的

第一零深比较明显,表明阵单元的辐射比较同相,对于相位的计算是准确的。四个图中主极化与叉极化的比较表明,叉极化低于主极化 20dB 以上。



(a) L1 端口方向图( $f=2.094\text{GHz}$ )



(b) L2 端口方向图( $f=2.107\text{GHz}$ )

图 7 阵天线 L 波段方向图

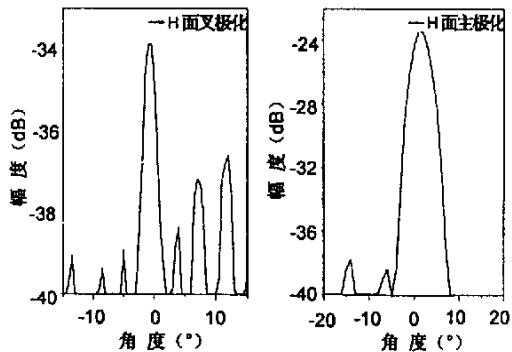


图 8 阵天线 X 波段 X1 端口方向图( $f=8.64\text{GHz}$ )

图 8 为阵天线的 X 波段实际测量所得方向图。在测量中,由于在 8.6GHz 处发射源信号的功率较小,而接收设备对接收到的信号截止于 -40dB,只测量到了 X1 端口的 H 面主极化与叉极化的方向图,X1 端口的 E 面方向图及 X2 端口的 E 面、H 面

方向图都没有测出完整的图形,因此,图 8 只给出了 X1 端口的 H 面主极化与叉极化的方向图。从图中可以看到,天线的中心频率点与计算比较吻合,最大辐射方向也在中心,方向图的形状比较好,说明阵单元同相馈电。但 X1 端口上的叉极化仍然较大,以及 X2 端口的数据欠缺,表明 X 波段的馈电仍有些问题,需要进一步改进。

## 5 结论

经过用 FDTD 模拟计算并制作试验的双频、双极化的共口径微带天线,通过实验测量对天线的各项指标加以调试,最终得到性能较好、工程易实现的可靠的天线。对双频、双极化共口径微带天线的研究表明:这种天线是可以实现的,并且在初步的研究中表明了较好的性能。

## 参考文献

- [1] Ralph Pokuls, Jarosław Uher, D M. Pozar. Dual-Frequency and Dual-Polarization Microstrip Antennas for SAR Applications[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1998, 46(9): 1289~1296.
- [2] R Zahn, P Shutte, H Braumann. Advanced antenna technologies for X-band SAR[C]. Geoscience and Remote Sensing Symposium Proc, IEEE, 1995, 3: 2060~2062.
- [3] Lotfollah L Shafai, Walid A Chamma, Mohamed Barakat, et al.. Dual-Band Dual-Polarized Perforated Microstrip Antennas for SAR Applications [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2000, 48(1): 58~66.
- [4] 尹家贤, 谭怀英, 刘克成. 双极化口径耦合微带天 FDTD 分析[J]. 微波学报, 2001, 17(1): 13~17.
- [5] 尹家贤, 谭怀英, 刘克成. FDTD 中微带线激励源设置的新方法[J]. 电波科学学报, 2000, 15(2): 204~207. J X Yin, H Y Tan, K C Liu. A novel method of microstrip line-fed excitation source of FDTD [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2000, 15(2): 204~207.
- [6] 杨雪霞, 钟顺时. 双极化方形微带天线的阻抗特性[J]. 电波科学学报, 2000, 15(2): 199~203. X X Yang, S S Zhong. Impedance characteristics of dual-polarized square patch antenna [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2000, 15(2): 199~203.
- [7] 杨雪霞, 钟顺时. 双极化微带天线单元及二元阵的 FDTD 法分析[J]. 电子学报, 2002, 30(9): 1333~1335.
- [8] 袁宁, 聂小春, 梁昌洪. 有限厚导电平板上任意缝隙的耦合特性分析[J]. 电波科学学报, 1999, 14(3):

- 261~267.
- N Yuan, X C Nie, C H Liang. Analysis of coupling properties of an arbitrary slit in a thick conducting plate[J]. Chinese Journal of Radio Science, 1999, 14(3), 261~267.
- [9] 崔俊海, 钟顺时, 段文军, 等. 一种新型双极化口径耦合微带天线阵[J]. 应用科学学报, 2002, 20(4), 373~376.
- [10] 高向军, 王聪敏. 两种双频微带天线的分析与设计[J]. 雷达与对抗, 2003, (1), 28~30.
- [11] 刘庭华, 章文勋. 双频/双极化贴片天线的研究进展[J]. 现代雷达, 1999, (5), 91~99.
- [12] 张钩, 刘克成, 张贤铎, 赫崇骏编著. 微带天线理论与工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.
- [13] 刘克成, 宋学成编著. 天线原理[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1989.



**蔡明娟** (1977—), 女, 陕西人, 国防科技大学在读博士研究生。

分别于2000年和2002年在国防科技大学电子科学与工程学院获学士、硕士学位, 2003年起在国防科技大学电磁场与微波专业攻读博士学位。目前主要从事于电磁场数值计算、微带天线的数值计算研究。



**尹家贤** (1964—), 男, 浙江人, 国防科技大学电子科学与工程学院副教授, 博士。研究方向: 电磁场数值计算、微带天线的数值计算及工程应用。

**刘克成** (1937—), 男, 江苏人, 国防科技大学电子科学与工程学院教授, 中国电子学会高级会员。研究方向: 电磁场数值计算、超宽带天馈系统以及目标特性测量等。

(上接第120页)



**项春阳** (1976—), 男, 山西人, 2005年于空军工程大学导弹学院电磁场与微波技术专业硕士研究生毕业, 现在空军装备研究院工作, 主要从事天线设计与仿真、电磁场数值计算等领域科研的工作, 获军队科技进步奖1项, 在期刊和会议上发表与交流学术论文10余篇, 其中被SCI、EI、ISTP三大检索收录2篇。



**耿方志** (1974—), 男, 山东人, 现为空军工程大学导弹学院电磁场与微波技术专业博士研究生, 主要从事雷达目标特性、电磁场数值计算等领域的研究工作, 获军队科技进步奖1项, 在期刊和会议上发表与交流学术论文10余篇, 其中被SCI、EI、ISTP三大检索收录2篇。

## 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>