

文章编号 1005-0388(2010)02-0287-04

# 圆极化微带贴片天线辐射和散射特性研究

洪 涛 龚书喜 刘 英 徐云学

(西安电子科技大学天线与微波技术重点实验室,陕西 西安 710071)

**摘要** 提出了一种改进的宽带圆极化微带天线。该天线采用单端口、共面波导馈电。通过仿真优化,获得了 32.7% 的圆极化轴比带宽(AR<3dB),和 47.6% 的阻抗带宽(VSWR<2.0)。测量天线样机的阻抗带宽为 44.4%,较好地吻合了仿真计算结果。最后,以设计天线为例,研究了圆极化微带贴片天线的辐射特性和散射特性,为圆极化天线雷达截面减缩技术打下了良好的理论和实验基础。

**关键词** 圆极化; 宽频带; 微带天线; 雷达截面

中图分类号 TN821.8

文献标志码 A

## 1. 引 言

与线极化天线相比,圆极化天线可以接收任意极化方向的线极化波;圆极化天线辐射的圆极化波可被任意极化方向的线极化天线接收;圆极化天线具有旋向正交性,即左旋圆极化天线不能接收右旋圆极化波,右旋圆极化天线不能接收左旋圆极化波;圆极化天线辐射的圆极化波在入射到对称目标上时,反射波将改变旋向。以上特点使圆极化天线在电子侦查和干扰、电子对抗、无线通信、全球定位等领域得到了广泛的应用。

微带天线因其低剖面、重量轻、易共形等优点而被广泛应用。微带天线的极化方式一般为线极化,但是如果采用特殊的馈电方式,则可以使天线激励起两个幅度相等、相位相差 90 度的正交模,从而实现圆极化辐射。微带天线本身的带宽很窄,无法满足现代通信技术的发展要求,所以展宽微带天线的带宽变得十分重要。微带缝隙天线因其与普通微带贴片天线相比有着更宽的带宽而被广泛研究<sup>[1-4]</sup>。微带天线的圆极化带宽(轴比带宽)通常定义为某方向(一般为最大辐射方向)上轴比满足限定条件(一般小于 3 dB)的频带,这一带宽通常比阻抗带宽窄。

对于未来的高科技综合电子战而言,隐身技术起了决定性的作用。然而对于低可见平台而言,对其总雷达截面贡献较大的却是平台上的天线。由于

天线系统自身工作特点所限制,它必须首先保证自身雷达波的正常接收和发射,因此对天线散射的研究更为复杂,目前专门针对圆极化微带缝隙天线散射的文献并不多见。

## 2. 理论分析

天线是一类特殊的散射体,它的散射通常包括两部分:一部分是与散射天线负载情况无关的结构模式项散射场,其散射机理与普通散射体的散射机理相同;另一部分则是随负载情况变化的天线模式项散射场,它是由于传输线与接收机和天线不匹配而反射的功率经天线再辐射产生的二次散射场<sup>[5]</sup>。

在天线散射理论研究方面,文献[5]利用散射矩阵推导出了天线散射的基本表达式。文献[6]提出了一个分析天线散射的模型,利用该模型可分别得到天线散射的两个分量,解决了天线结构模式项与天线模式项之间相位差难以确定的问题。利用该模型可求解各种天线的 RCS 特性,该模型的结论公式如下所示

$$E^*(Z_1) = \frac{(1 - \Gamma_s)E^*(\infty) + (1 + \Gamma_s)E^*(0)}{2} + \frac{\Gamma_1}{1 - \Gamma_1\Gamma_s} \frac{1 - \Gamma_s^2}{2} [E^*(\infty) - E^*(0)]$$

式中:第一项对应结构模式项散射场,第二项对应天线模式项散射场,式中  $E^*(Z_1)$  是接收机端接任

收稿日期:2009-05-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60801042)

联系人:洪涛 E-mail: tok\_hong@126.com

意负载时的散射电场;  $E^*(\infty)$  是接收机端接开路负载时的散射电场;  $E^*(0)$  是接收机端接短路负载时的散射电场;  $\Gamma_1$  是接收机负载反射系数;  $\Gamma_2$  是天线反射系数; 相当于天线在辐射状态下的  $S_{11}$  参数。

### 3. 天线设计

文献[7]中提出了一种利用共面波导方式馈电的圆极化微带天线。在其基础上设计了一种宽带圆极化微带缝隙天线, 天线结构如图 1 所示。

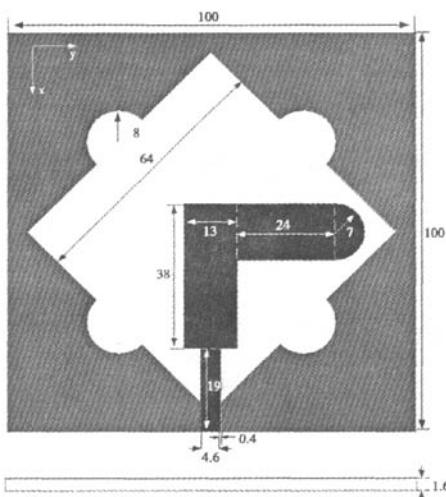


图 1 天线结构图(单位:毫米)

通过仿真计算、优化得到天线的尺寸规格如下: 辐射单元和辐射地板印制在介质板的同一侧, 采用特性阻抗为 50 欧姆的 CPW 馈电, CPW 带线宽度为 4.6 mm, 缝隙宽度为 0.4 mm, CPW 连接有相互垂直的两条矩形条带, 两条矩形条带的尺寸分别为 38 mm×13 mm 和 24 mm×14 mm, 与 CPW 带线垂直的矩形条带末端接半径为 7 mm 的半圆, 中间正方形缝隙边长为 64 mm, 正方形的中心位于介质板的中心, 介质板厚度为 1.6 mm, 介电常数为 2.65, 正方形缝隙四个边各掏半径为 8 mm 的半圆。正方形缝隙四个边上的半圆可有效地增加缝隙的边长, 改变天线的谐振频率, 一定程度上增加天线的带宽。设计天线通过在对称天线结构中增加微扰单元来实现圆极化特性, 这种激励方式可以在缝隙内激励出两个相互正交的模式。

### 4. 天线性能

加工天线样机, 图 2 给出了天线 VSWR 仿真计

算和采用矢量网络分析仪测试的结果, 从图中可以看出设计天线在  $VSWR < 2.0$  条件下的仿真计算频率范围为 2.4~3.9 GHz, 1500 MHz, 相对带宽为 47.6%; 天线在  $VSWR < 2.0$  条件下的实测频率范围为 2.45~3.85 GHz, 1400 MHz, 相对带宽为 44.4%, 仿真结果和实测结果吻合较好, 出现差异的主要原因是样机加工精度和实际测量环境。图 3 给出设计天线轴比曲线图, 其 3 dB 轴比带宽为 2.05~2.85 GHz, 800 MHz, 相对带宽为 32.7%。以上结果说明设计天线具有较宽的阻抗和轴比带宽。

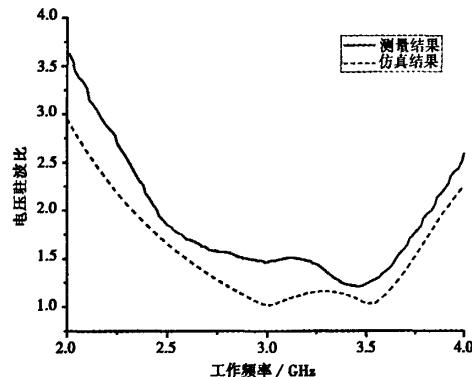


图 2 天线 VSWR 曲线图

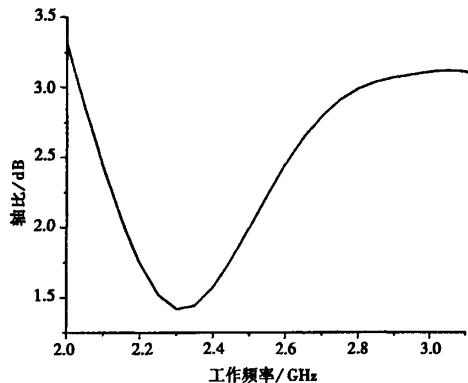


图 3 天线轴比曲线图

图 4 给出设计天线左旋圆极化和右旋圆极化分量增益图, 两条曲线基本吻合, 这是因为设计天线结构上沿  $x-y$  面对称, 双向辐射, 且前后向极化旋向相反。图 5 和图 6 分别给出设计天线工作在 2.4 GHz 和 2.7 GHz 下的归一化方向图。天线最大辐射方向偏离  $z$  轴方向的主要原因是天线结构的不对称设计天线为双向辐射, 前向和后向的极化旋向相反, 即在  $z$  轴的一侧辐射左旋圆极化波, 在另一侧辐

射右旋圆极化波。

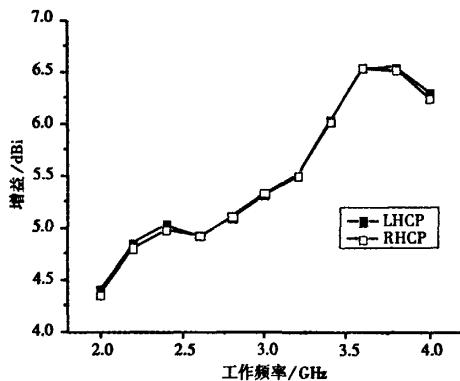


图4 设计天线增益图

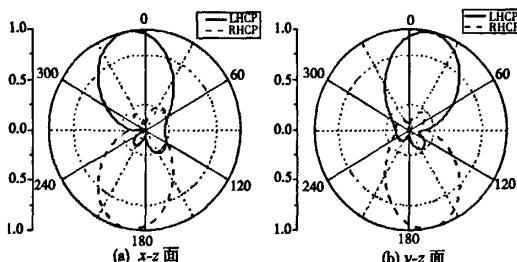


图5 设计天线工作在2.4 GHz方向图

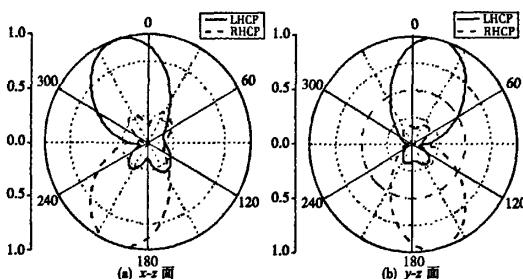


图6 设计天线工作在2.7 GHz方向图

图7为仿真计算出的天线在1.0~10 GHz平面波照射下,平面波电场矢量平行于x轴或y轴的单站天线结构模式项RCS曲线图。从图中可以发现在工作频带内两曲线波动差异比较大,而其余部分变化趋势和数量级则大致相同。

图8给出了天线在1.0~10 GHz平面波,入射和接收电场的极化方式为垂直极化,沿-z方向垂直照射下,天线端接不同负载(匹配负载、开路负载、短路负载)的单站RCS,利用这三个模式的RCS可容易地计算出天线结构模式项RCS、天线模式项RCS和天线总RCS。从计算结果可看出天线三个

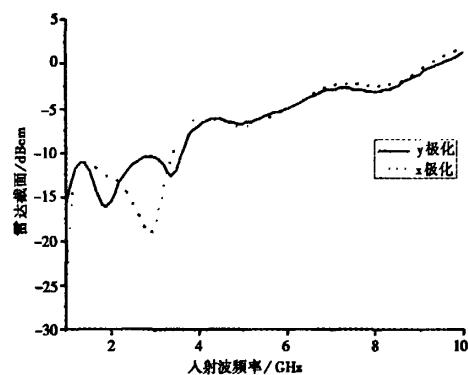


图7 设计天线结构模式项散射场

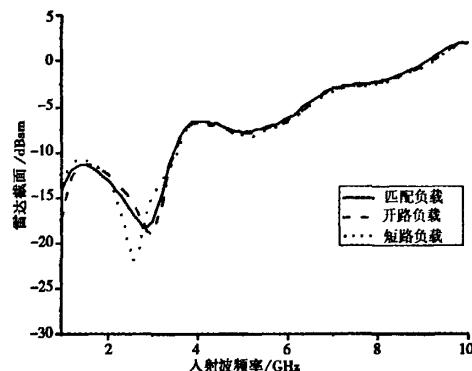


图8 设计天线RCS曲线图

状态的RCS变化趋势和数量级在整个频带内大致是相同的,这与普通的微带贴片天线的规律相似。

## 5. 结论

提出一种改进的圆极化微带缝隙天线,设计天线由单馈点、共面波导方式馈电,实现了47.6%的阻抗带宽和32.7%轴比带宽。以设计天线为例,分析了圆极化微带贴片天线的散射特性,该研究将有助于深入理解圆极化天线的散射机理,为圆极化天线雷达截面减缩技术打下了良好的理论和实验基础。

## 参考文献

- [1] 薛睿峰,钟顺时.微带天线圆极化技术概述与进展[J].电波科学学报,2002,17(4):331-336.  
XUE Rui feng, ZHONG Shun shi. Survey and progress in circular polarization technology of microstrip antennas [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2002, 17 (4): 331-336. (in Chinese)
- [2] 刘国玺,耿京朝,王大力,等.一种新型宽频带圆极化

- 球螺旋馈源[J]. 电波科学学报, 2009, 24(3): 463-466.  
LIU Guoxi, GENG Jingzhao, WANG Dali, et al. A novel feed of broad-band circularly polarized spherical helical [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2009, 24 (3): 463-466. (in Chinese)
- [3] 陈铁博. 可重构微带天线及宽带圆极化微带天线研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.  
CHEN Yi bo. On the reconfigurable microstrip antennas and broadband circularly polarized microstrip antennas[D]. Xi'an: Xidian University, 2008. (in Chinese)
- [4] 项阳, 钱祖平, 赵守俊, 等. 一种宽带圆极化微带天线阵的设计与制作[J]. 电波科学学报, 2008, 23(3): 565-571.  
XIANG Yang, QIAN Zu ping, ZHAO Shou jun, et al. Design and realization of a broadband circularly polarization microstrip antenna array [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2008, 23 (3): 565-571. (in Chinese)
- [5] 刘英. 天线雷达散射截面预估与减缩[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2004.  
LIU Ying. Prediction and reduction of antenna radar cross section [D]. Xi'an: Xidian University, 2004. (in Chinese)
- [6] LIU Ying, GONG Shu xi, FU De min. A novel model for analyzing for analyzing the RCS of microstrip antenna [C]//in Proc. IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp., 2003: 22-27.
- [7] CHEN Y, LIU X, JIAO Y., ZHANG F. CPW-fed broadband circularly polarized square slot antenna [J]. Electronics Letters, 2006, 42(19): 1074-1076.

## 作者简介



洪涛 (1983—), 男, 陕西人, 西安电子科技大学博士生。主要研究方向为电磁散射计算与隐身技术。



龚书喜 (1957—), 男, 河北人, 西安电子科技大学教授, 博士生导师。研究方向: 电磁理论、电磁辐射、电磁散射与隐身技术等。



刘英 (1976—), 女, 河南人, 西安电子科技大学副教授。主要研究方向为通信天线与隐身技术。

## Radiation and scattering properties of circularly polarized microstrip antenna

HONG Tao GONG Shu-xi LIU Ying XU Yun-xue

(Key Lab. of Antennas and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an Shaanxi 710071, China)

**Abstract** In this paper, an improved microstrip antenna fed by a CPW is proposed for circular polarization. Simulated results show that the 3 dB axial-ratio bandwidth of the proposed antenna can reach 32.7% while the impedance bandwidth (VSWR < 2) of that can do 47.6%. Measured results show that the impedance bandwidth can reach 44.4%, agree well with the measured ones. The monostatic RCS and radiation characteristics of the reference antenna are investigated, which provides a theoretical and practical basis for the radar cross section reduction of circularly polarized antennas.

**Key words** circular polarization; broad band; microstrip antennas; radar cross section

## 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>