

# 星载宽波束 WACP 微带天线设计

## Single-feed Microstrip Antenna for Wide-angle Circular Polarization on Satellites

(1.中科院上海技术物理研究所;2.上海微小卫星工程中心) 吕源<sup>1,2</sup> 赵星惟<sup>2</sup> 龚文斌<sup>2</sup> 沈学民<sup>1,2</sup>

LV Yuan ZHAO Xing-wei GONG Wen-bin SHEN Xue-min

**摘要:** 本文提出了一种性能良好的 S 波段单馈点宽波束宽角圆极化微带天线。该天线具有优良的圆对称波束、半功率波束宽度 110 度、200 度宽角范围内轴比小于 3dB、增益 5.1dBi,且同时具有体积小、重量轻、剖面低等优点。文中给出了设计仿真和实测结果,两者能够很好的吻合。该天线适用于 LEO 星载天线单元及 GPS 等相关应用。

**关键词:** 微带天线;宽角圆极化(WACP);宽波束;轴比(AR)

**中图分类号:** TN82/92/96

**文献标识码:** A

**Abstract:** A S-band wide-angle circular-polarization(CP) microstrip patch antenna using a tuning stub is proposed and experimental-ly studied. The presented antenna shows a better wide-angle CP within 200deg, excellent circular beam, better impedance match and a stable gain level of 5.1dBi, which is obtained across the operation bandwidth. Details of antenna design and experimental results are proposed, which compared with excellent agreement. The constructed prototype is suitable for LEO satellite antenna system, as well as GPS related application.

**Key words:** microstrip antenna; wide-angle circular polarization(WACP); wide beam; axial ratios(AR)

### 引言

星载天线是卫星有效载荷的重要组成部分,对整个卫星通信系统的性能有着极其重要的影响。其中,宽波束( $2\theta_0 > 90^\circ$ )宽角圆极化天线以其独有的无需极化跟踪,可接收任意极化来波,宽角范围内极化失配损耗小等优良特性,在移动卫星系统、机载雷达系统等领域有着巨大的应用潜力。同时,在 Wimax, WLAN 相关应用中,对移动台而言,不需严格的方向对准便可保持良好的通信质量,实现性能最优化。因此对宽波束 WACP 天线的研究有很强的理论意义和实用价值。

为了适应此需求,平面印刷天线、微带天线以其独有的重量轻、体积小、剖面低容易与飞行器共形且易实现宽波束、多频点工作等特性和优点而倍受研究者青睐。如采用高介电常数基片以实现小型化宽波束设计,但随着贴片尺寸的缩减,阻抗和圆极化带宽相应变窄,表面波加强,辐射效率降低、增益降低。若增加介质基片的厚度,可以一定程度上弥补高介电常数所带来的不足,但重量会有所增加,同时也破坏了天线的低剖面特性。利用多馈源技术及多层贴片结构,可使微带贴片天线的 E 面方向图对称且与 H 面波瓣宽度相近,从而使  $E_\theta$  和  $E_\phi$  在宽角范围内相等以获得 WACP 特性,但结构上比较复杂,馈电网络的任何阻抗失配和幅相误差都会导致 AR 的恶化,同时也增加了加工、调试的难度。

本文设计了一种单馈点宽波束 WACP 微带天线,该天线无需外加任何移相功分网络,结构简单、成本低、适合大规模生产。而且,具有优良的圆对称半球波束, E 面 H 面方向图非常吻合、

半功率波束宽度  $110^\circ$ 、增益 5.1dBi,而且在  $200^\circ$  宽角范围内轴比小于 3dB,实现了 WACP 特性。下文将给出具体设计过程和仿真、实测结果。

### 1 天线结构设计

宽波束 WACP 微带天线设计,形式的选择至关重要。需综合考虑带宽、极化、方向图特性、增益、效率以及结构可实现等要求,选择最合适的微带天线元形式。利用基于微带天线空腔模型理论的简并分离技术,通过单点馈电形成两个空间正交的线极化电场分量并使二者振幅相等,并引入几何微扰使相位差为  $90^\circ$ ,从而形成 CP 辐射。这样做的优点是无需外加任何移相网络和功率分配器,结构简单、成本低廉,适合小型化设计。由于微带天线在法向辐射最强,为了实现宽波束辐射,即实现天线在垂直和水平方向都有较强的辐射,采用介质天线技术,以增强切线方向的辐射,使得天线在两主面都具有较宽的波束。对于贴片形式的选择,采用方形贴片。因为方形贴片与矩形、三角形贴片相比,结构对称;与圆形贴片相比,其波瓣宽、效率高且带宽性能也较好;方形贴片还可利用已经导出的较为准确的设计公式,方便地完成初始尺寸估计,为进一步分析调试奠定基础。

本文所述天线,在原有切角贴片 CP 天线上引入了调谐枝节,这样做有三点好处:1)可以补偿探针馈电引入的感抗影响以获得良好的阻抗匹配;2)可对天线工作频率进行微调;3)利用平行于枝节方向的模式谐振频率略低于垂直于枝节方向模式谐振频率特性,选择适当尺寸及馈电位置并与切角微扰相结合,可以提升 CP 纯度、获得 WACP 辐射。本文设计的 WACP 天线与传统单馈 CP 天线相比,由于切角和调谐枝节的同时引入,使单馈圆极化天线的设计自由度更大、加工容差增大、CP 纯度更高、便于天线安装调试。

天线基片的材质和厚度直接决定了所设计天线的体积与重量。事实上并不存在各方面都理想的介质材料,根据星载天线

吕源: 学士 助理工程师 博士生

基金项目: 基金申请人: 龚文斌; 项目名称: 大规模去耦天线阵的多波束智能赋形技术研究; 基金颁发部门: 上海市科学技术委员会(上海市自然科学基金(09ZR1430400))

电指标及物理尺寸的要求,权衡选定采用 $\epsilon_r$ 较高的基片材料。本天线蚀刻在厚度 $t=2\text{mm}$ (按照所设计天线工作频带的高端结合表面波抑制关系提出), $\epsilon_r=9.8$ 的陶瓷材料,尺寸为 $W \times L$ 的介质基片上,结构如图1所示。其中,带调谐枝节的方形切角贴片蚀刻在介质板的正面,尺寸为 $a \times a$ ;调谐枝节和切角尺寸分别为 $w_1 \times l_1$ 、 $s$ ;地板蚀刻在介质板的背面,尺寸为 $b \times b$ 。在正面A点处通过探针底馈,即可实现天线的馈电。

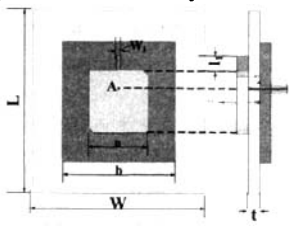


图1 天线结构示意图

## 2 天线仿真与实测

本文首先采用近似公式进行初始尺寸估计,进而利用基于MOM的2.5D仿真软件进行快速计算,获得参数变化与电性能改变的影响规律,最后导入HFSS进行3D全波仿真获取更为精确的设计参数。综合多次仿真优化结果,最终确定本WACP天线的结构参数如表1所示。

表1 WACP天线结构参数

参数	$f_0$	$W \times L$	$s$	$a$	A点位置
尺寸	2.19GHz	61mm×61mm	2.41mm	20.90mm	4.48mm

在频率 $f_0$ 时,WACP天线的辐射方向图如图2所示。计算结果显示,其E、H面方向图形状非常吻合,半功率波束宽度达 $110^\circ$ ,增益5.1dBi, $E_\theta$ 和 $E_\phi$ 在宽角范围内相等,天线获得WACP特性。图3所示的阻抗圆图表明,天线与馈线阻抗匹配良好且天线获得CP特性。如图4、5可见,天线轴比带宽约为40MHz(1.83%), $200^\circ$ 宽角范围内AR小于3dB。

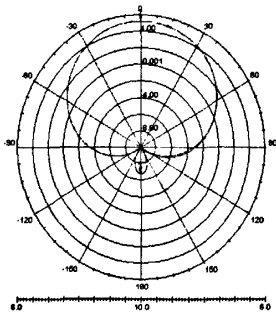


图2 E/H面仿真方向图

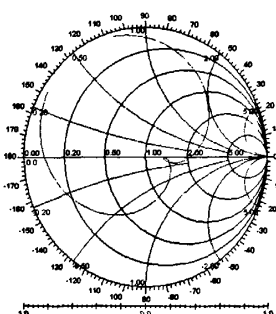


图3 仿真阻抗特性曲线

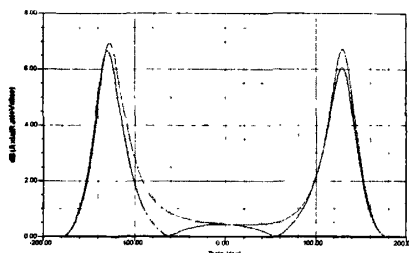


图4 AR仿真曲线

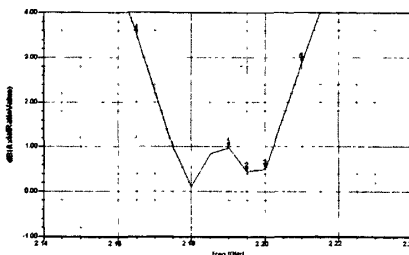


图5 AR带宽仿真曲线

依照表1所示结构参数,在 $\epsilon_r=9.8$ , $t=2\text{mm}$ 的介质板上双面蚀刻图1所示天线,天线实物照片如图6所示。图7-图9列出了天线相关指标的实测结果,通过与仿真结果对比发现,两者比较吻合,验证了设计的有效性。(注:两者的细小偏差主要是由于实际使用的陶瓷材料具有非均匀特性,与理想的简单媒质有一定差别,同时金属贴片的实际尺寸与设计尺寸也有一定的误差。)

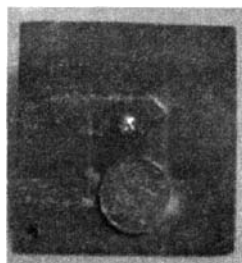


图6 宽波束WACP天线实物图

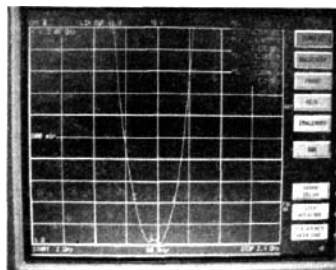


图7 实测驻波曲线

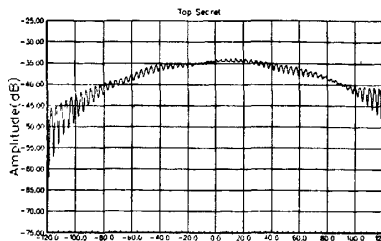


图8 实测AR方向图

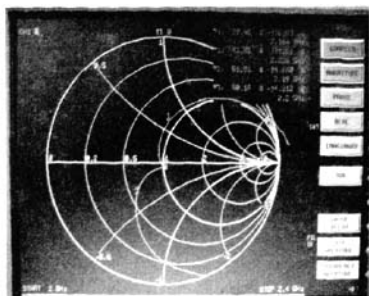


图9 实测阻抗特性曲线

因此,上述设计的宽波束宽角圆极化天线具有电特性优良、性能稳定、结构简单、容易加工实现等优点,满足星载天线实际应用环境的要求,是构成大规模星载天线阵列的理想单元形式。

### 3 结论

本文依托具体工程要求,设计并加工了一种性能良好的宽波束 WACP 天线。采用介质天线理论结合添加调谐枝节技术,实现小型化设计的同时,有效地展宽了波束宽度,提高了宽角圆极化的辐射特性。该天线具有优良的圆对称波束、半功率波束宽度 110 度、200 度宽角范围内轴比小于 3dB、增益 5.1dBi,且同时具有体积小、重量轻、剖面低等优点,适用于 LEO 星载天线及 GPS 等相关应用。尽管论述微带天线圆极化技术、宽波束枝节的相关文献为数众多,但都尚存欠缺,亟需进一步探索更具实用性的设计方法、技术措施。同时还应预先确定天线结构的安装形式,从而综合考虑地板、结构及天线罩的电性能影响,进行一体化天线设计。天线的极化性能、小型化程度与加工制作水平等方面之间常常相互牵制,必须在权衡之中寻求最佳设计平衡点。

本文作者创新点:提出了将介质天线理论与边缘添加调谐直接技术相结合的设计思想,使传统单馈 CP 天线在实现宽波束辐射的同时,CP 纯度更高,获得优良的 WACP 特性,且同时设计自由度更大、加工容差增大、便于天线安装调试。

#### 参考文献

- [1]DAVID M. POZAR. Microstrip Antennas[C]. PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 80, NO 1, JANUARY 1992:79-91.
- [2]林炫龙,姜兴. Ku 波段宽频带双极化微带天线阵的设计[J]. 微计算机信息,2008,3-1:183-184.
- [3]Chih-Yu Huang. Design of GPS Microstrip Antenna using Nearly Square Patch [C]. Asia Pacific Microwave Conference. 1997:237-240.
- [4]Fujimoto, T. Dual-band circularly polarized microstrip antenna for GPS application [C]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2008:1-4.
- [5]O. Pigaglio. Design of Multi-frequency band Circularly Polarized Stacked Microstrip Patch Antenna[C]. IEEE. 2008:1-4.
- [6]Eisuke NISHIYAMA and Masayoshi AIKAWA. Wide-band and High-gain Microstrip Antenna with Thick Parasitic Patch Substrate [C]. IEEE. 2004:273-276.
- [7]He Haidan. A Novel Wide Beam Circular Polarization Antenna-Microstrip Dielectric Antenna [C]. IEEE ICMW Proceedings. 2002,3rd:381-384.
- [8]Nasimuddin; Chen, Z.N. Aperture-coupled asymmetrical c-shaped slot microstrip antenna for circular polarisation [J]. Microwaves, Antennas & Propagation, IET Volume 3, Issue 3,

April 2009 Page(s):372 - 378.

[9] Yaping Chen. Design of a broadband wide-angle circularly polarized microstrip patch antenna with small phase deviation[C]. ICMMT 2008:1089-1091.

作者简介:吕源(1981-),男,陕西西安人,1999~2003:西安电子科技大学电子信息工程学士;2003~2006:西安电子科技大学电子科学与技术硕士;2006~2007:中电 39 所微波室助理工程师;2007~今:中国科学院上海技术物理研究所/上海微小卫星工程中心博士生,研究方向为微波技术与天线。

Biography: LV Yuan (1981-), Male, Xi'an, Shaanxi province, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Doctoral Student, Major: Electromagnetics and Microwave Technology, Research Area: Microwave Technology/Antenna.

(200083 上海 中科院上海技术物理研究所) 吕 源 沈学民

(200050 上海 上海微小卫星工程中心) 吕 源 赵星惟 龚文斌 沈学民

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China) LV Yuan SHEN Xue-min (Shanghai Engineering Center for Microsatellites, Shanghai 200050, China) LV Yuan ZHAO Xing-wei GONG Wen-bin SHEN Xue-min

通讯地址:(200050 上海市长宁区长宁路 865 号 2 号楼通信技术研究室) 吕 源

(收稿日期:2009.12.24)(修稿日期:2010.03.24)

技术创新

(上接第 54 页)

- [1]龚伟,曾晓红. 基于 ASP.NET 的企业通用网络 OA 系统的设计和实现[J]. 微计算机信息 2006(24)
- [2]黎卓虹,罗智佳,彭奕文,毛宗源. 基于三层结构数据可视化的开发及应用[J]. 微计算机信息 2006(21)
- [3]盛蕾,方华. 基于 ASP.NET 的四层 web 应用模型设计与实现[J]. 计算机与数字工程,2006,34(7):147-150
- [4]范振钧. 基于 ASP.NET 的三层结构实现方法研究[J]. 计算机科学,2007,34(4):289-291
- [5]柴晓路,梁宇奇. Web Service 技术、架构和应用[M]. 北京:电子工业出版社,2003
- [6]William A Ruh. 企业应用集成. 北京:机械工业出版社,2003

作者简介:周惠(1977-),女(汉族),江西丰城人,南京工业职业技术学院信息系讲师,硕士,主要从事网络技术研究。

Biography: ZHOU Hui (1977-), Female (han), Jiang Xi Province, Department of Information Engineering, Nanjing Institute Of Industry Technology, lecturer, Master, Network Technology.

(210046 江苏南京 南京工业职业技术学院信息工程系) 周 惠 廖彦武

(Department of Information Engineering, Nanjing Institute Of Industry Technology, Nanjing 210046, China) ZHOU Hui LIAO Chang-wu

通讯地址:(210009 南京市大方巷 28 号 1 单元 302 室) 周 惠

(收稿日期:2009.10.05)(修稿日期:2010.01.05)

您的才能 + 阅读本刊 = 您的财富

## 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，一直致力和专注于微波、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>