

# 一种宽波束圆极化天线的研制\*

韩英臣, 张继龙, 高扬英, 赵国庆

(空军装备研究院防空所, 北京 100085)

**摘 要:**文中研究设计了一种具有良好低仰角增益的宽波束圆极化金属线四臂螺旋天线, 该天线在上半空间的增益分布十分均匀,  $10^\circ$  仰角的增益相对峰值增益下降不超过 3dB。为了改善天线的轴比性能, 提出了一种微带四臂螺旋天线方案, 实测结果表明, 这种天线的轴比性能得到了较大的改善。

**关键词:**四臂螺旋天线; 圆极化; 轴比

**中图分类号:** TN822.8    **文献标志码:** A

## Development of Circular Polarization Wide-beam Antenna

HAN Yingchen, ZHANG Jilong, GAO Yangying, ZHAO Guoqing

(Antiaircraft Laboratory, Air Force Armament Academy, Beijing 100085, China)

**Abstract:** A quadrifilar helix antenna made of copper wires is studied in this paper. The radiation property of the antenna is very good. In order to enhance the property of axial ratio, a new quadrifilar helix antenna made of microstrip lines is given. The measured results indicate that the new antenna has a good performance of axial ratio and radiation pattern.

**Keywords:** quadrifilar helix antenna; circular-polarization; axial ratio

### 0 引言

为了快速捕捉到微弱的卫星信号, 一般要求天线具有很宽的波瓣宽度并能保持一定的低仰角增益, 特别是我国的北斗导航系统中, 由于卫星较少, 这个特性就显得尤为重要。C. C. Kilgus 在 1968 年提出的谐振式四臂螺旋天线<sup>[1]</sup>具有一些引人注目的特点, 该天线通过选择适当的物理尺寸以及馈电方式可以形成不同的辐射方向图; 此外它还具有重量轻、尺寸小、不需要参考地的优点。由于四臂螺旋天线<sup>[1-5]</sup>具有一些优越的性能, 在卫星通信的终端设备中得到了广泛应用。

### 1 四臂螺旋天线

四臂螺旋天线结构如图 1 所示。它有 4 根旋臂和顶部的两根直臂, 每根旋臂的旋转角度一般为  $90^\circ$ , 长度近似为  $\lambda/4$ 。当采用底部馈电时, 一般对其中相邻两个臂等幅馈电, 相位相差  $90^\circ$ 。根据不同的圆极化特性要求, 改变旋臂的旋向便可以得到左旋圆极化或右旋圆极化。

等幅、相差  $90^\circ$  馈电时, 一定条件下, 根据环形偶极子模型, 四臂螺旋总辐射场可近似写成<sup>[1-2]</sup>:

$$E_\theta = E_{\theta 2} + E_{\theta 4} = Ae^{-jkr}(1 + \cos\theta)e^{-j\phi}$$

$$E_\phi = E_{\phi 2} + E_{\phi 4} = Ae^{-jkr}(1 + \cos\theta)e^{-j(\phi-90^\circ)}$$

由式上式可得出几个结论:

1)  $E_\theta$  与  $E_\phi$  空间正交, 相差  $90^\circ$ , 且幅值相等, 这表明辐射场为圆极化。

2) 幅值方向图为宽波束方向图, 即使在低仰角区四臂螺旋天线仍然可以保持一定的增益。

3) 四臂螺旋天线的空间相位分布十分均匀。

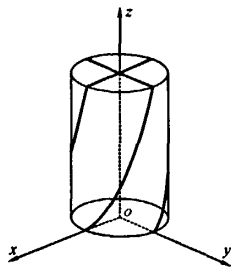


图 1 四臂螺旋天线示意图

### 2 金属线四臂螺旋天线

根据卫星定位的特点, 要求天线的 3dB 波瓣宽度为  $160^\circ$ , 圆极轴比在 3dB 波瓣宽度内不大于 5dB, 工作带宽 10MHz, 驻波比小于 1.5。

经过仿真计算, 选择螺旋半径  $r = 10\text{mm}$ , 天

\* 收稿日期: 2008-07-01

作者简介: 韩英臣(1976-), 男, 山东菏泽人, 工程师, 博士, 研究方向: 雷达与电子对抗。

线高度  $h = 43\text{mm}$ , 底部相邻两臂等幅相差  $90^\circ$  馈电。此时  $10^\circ$  仰角的增益相对峰值增益下降不超过  $3\text{dB}$ , 仿真结果如图 2 ~ 图 3 所示。

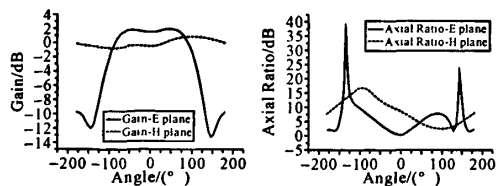


图 2 天线的方向图 图 3 天线的轴比

由图中仿真结果可以看出天线的  $3\text{dB}$  波瓣宽度约为  $\pm 80^\circ$ ,  $3\text{dB}$  轴比宽度为  $-55^\circ \sim 25^\circ$ , 其中轴比性能有待提高。



根据分析结果, 图 4 四臂螺旋天线实物

制作了天线实物, 如图 4。实测驻波比为  $1.4$ , 满足指标要求。实测方向图和轴比见图 5 和图 6。

该天线的增益特性能够满足性能指标, 但是天线的轴比性能较差, 实测的  $3\text{dB}$  轴比仰角范围为  $-40^\circ \sim 30^\circ$ 。

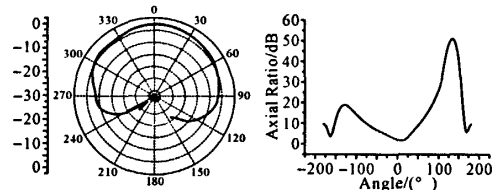


图 5 实测天线 E 面方向图 图 6 实测天线 E 面轴比

### 3 微带四臂螺旋天线

用金属导线制作的四臂螺旋天线虽然增益和驻波特性能够很好的满足指标要求, 但是天线的轴比性能不佳, 并且天线加工时产品的一致性不能保证。因此, 为了进一步提高天线的轴比性能和确保天线加工时产品的一致性, 提出用微带螺旋天线代替金属线螺旋天线, 并且将等幅相差  $90^\circ$  的馈电部分和天线辐射体做到一块微带板上。

为了便于将微带板卷成圆筒状, 选择总厚度  $0.17\text{mm}$ , 介电常数  $2.55$ , 敷铜厚度  $0.035\text{mm}$  的板材。经过大量仿真分析, 选择螺旋半径为  $9.5\text{mm}$ ,

此时的微带螺旋天线具有较好的低仰角增益和比较好的轴比性能, 仿真结果见图 7 和图 8。

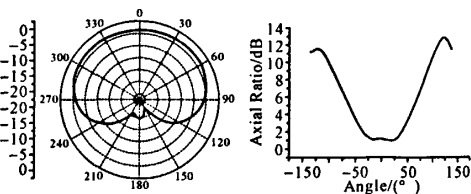


图 7 微带螺旋天线的方向图 图 8 微带螺旋天线的轴比

其中等幅相差  $90^\circ$  的馈电部分用  $3\text{dB}$  电桥来实现, 采用了一种变形的跑道结构, 见图 9。

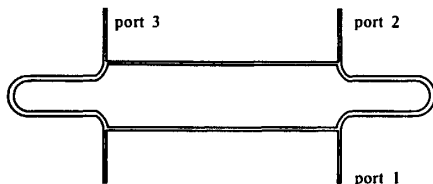


图 9 馈电路示意图

对制作的微带螺旋天线实物进行了测试, 实测驻波比为  $1.3$ , 满足指标要求, 方向图和轴比测试结果见图 10 和图 11。

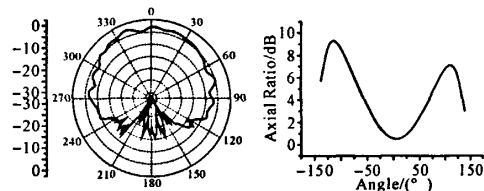


图 10 微带螺旋天线的方向图 图 11 微带螺旋天线的轴比

实测结果表明, 微带螺旋天线垂直方向的  $3\text{dB}$  波瓣宽度为  $160^\circ$ ,  $10^\circ$  仰角的增益下降不超过  $3\text{dB}$ , 且在整个波瓣范围内, 增益变化不大。另一个重要参数圆极化轴比在约  $\pm 70^\circ$  的范围内不大于  $5\text{dB}$ , 基本上满足指标要求。

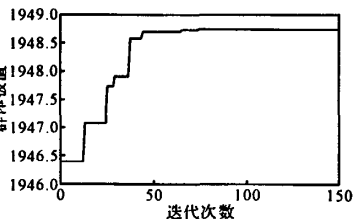
### 4 小结

文中通过对四臂螺旋天线的分析计算, 设计制作了底端 2 臂馈电的金属线四臂螺旋天线实物, 实测结果表明, 除了圆极化轴比性能外, 天线的其它性能满足指标要求。为了改善轴比性能和解决加工时产品的一致性问题, 提出微带四臂

(下转第 250 页)

找到了最优值,如果 PSO 迭代终止条件设置为最小误差精度,还可以减少计算量来提高速度,所以设定过高的迭代次数是没有必要的。

在实验  
中可以看出,  
 $w$  取 LDW,  
学习因子取  
 $c_1 = c_2 = 2$ ,  
最快的搜索



到了最佳阈  
值,这是因为采用 LDW 方法使算法在开始时搜索较大的区域,较快地定位最优解的大致位置,随着  $w$  逐渐减小,粒子速度减慢,开始精细的局部搜索来寻求最佳阈值。而在采用动态选取  $w$  的方法中, $w$  的选取是随机的,它不能在较大的区域内搜索,在后期也不能准确的进行精细查找,导致速度减慢,还有可能错过最佳阈值。所以应用 PSO 算法进行阈值分割时选取惯性权重为 LDW 方法可以达到最好的试验结果。

#### 4 结论

图像分割是自动目标识别的重要组成部分,

图像分割的正确性和实时性具有重要的理论和实际应用价值。文中采用的二维 Otsu 算法可以较好地实现图像的分割。通过采用 PSO 寻优方法,能有效地降低计算量,有较好的实时性。因此,文中提出的基于 PSO 的二维 Otsu 算法是一种简单有效且快速的图像分割方法。

#### 参考文献:

- [1] 刘健庄. 灰度图像的二维 Otsu 自动阈值分割法[J]. 自动化学报, 1993, 19(1): 101-105.
- [2] 肖艳伟, 张云. 改进的二维 Otsu 自动分割算法及其应用研究[J]. 2007, 43(7): 243-244.
- [3] Y H Shi, R C Eberhart. Empirical study of particle swarm optimization[C]// Proceeding of Congress on Evolutionary Computation, Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1999: 1945-1949.
- [4] R C Eberhart, Y H Shi. Tracking and optimizing dynamic systems with particle swarms[C]// Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation, Piscataway, NJ: IEEE Press, 2001: 94-100.
- [5] Gerhard Venter. Particle swarm optimization[R]. AIAA, 2002-1235, 2002.

(上接第 246 页)

螺旋天线方案。实测结果表明,微带四臂螺旋天线的圆极化轴比性能得到很大提高,基本能够满足指标要求。

#### 参考文献:

- [1] C C Killgus Shaped-conical radiation pattern performance of the backfire quadrifilar helix[J]. IEEE Translation on Antennas and propagation, 1975, 23(3): 392-397.
- [2] A T Adams, Rober K, C Lumjiak. The quadrifilar helix antenna[J]. IEEE Translations on Antennas and Propagation, 1974, 22(6): 173-178.
- [3] J M Tranquilla, S R Best. A study of the quadrifilar helix antenna for global position system application[J]. IEEE Translations on Antennas and propagation, 1990, 38(10): 1545-1550.
- [4] C Gerst and R A Worden. Helix antenna take turn for better[J]. Electronics, 1966, 22(8): 100-110.
- [5] 林敏, 杨水根, 龚铮权. 新型谐振式螺旋天线的设计[J]. 无线通信技术, 2000, 9(2): 42-45.

## 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>