

文章编号:1001-893X(2007)02-0023-04

## 一种应用于卫星通信地面站的新型单臂螺旋天线 及其阵列的研究\*

杨放<sup>1,2</sup>, 张朋<sup>1</sup>, 郭陈江<sup>1</sup>, 许家栋<sup>1</sup>

(1. 西北工业大学 电子信息学院, 西安 710072; 2. 西安建筑科技大学 信控学院, 西安 710055)

**摘要:**研究了一种应用于卫星通信地面站的新型单臂平面螺旋天线,该天线采用圆柱螺旋激励同轴线馈电,可以形成倾斜的波束,通过改变圆柱螺旋的参数可以调整其输入阻抗以达到阻抗匹配的目的。用矩量法求解了天线的电流分布和三维辐射方向图以及增益轴比等参数,计算结果与参考文献很吻合。为了增强天线的方向性系数和增益,以四元天线阵为例,研究了这种天线组成的天线阵的辐射特性,给出了天线阵的三维辐射方向图。计算结果表明,该天线组成的天线阵同样具有倾斜的波束指向,各天线单元的输入阻抗为接近 $50\ \Omega$ 的纯电阻,增益比单个天线单元提高6.3 dB。

**关键词:** 卫星通信;地面站;螺旋天线;天线阵;倾斜波束;矩量法

**中图分类号:** TN828 **文献标识码:** A

## A Novel Monofilar Spiral Antenna and its Array for Ground Station in Satellite Communications

YANG Fang<sup>1,2</sup>, ZHANG Peng<sup>1</sup>, GUO Chen-jiang<sup>1</sup>, XU Jia-Dong<sup>1</sup>

(1. Department of Electronic Engineering, Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072, China;

2. School of Information and Automation, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** A novel monofilar spiral antenna for ground station in satellite communications is studied, which forms a tilted fan beam and is excited through a helical wire and fed by a coaxial line. The input impedance can be modified by properly setting the parameters of the helical wire for impedance matching. The current distributions and 3 dimensional radiated patterns as well as gain and axial ratio are calculated through the moment method. The results agree with the references. To improve the directivity and gain of the antenna, an array composed of 4 elements is analyzed. The results show that the array can also form a tilted beam and the input impedance of each element is close to  $50\ \Omega$ . The 6.3 dB gain can be improved.

**Key words:** satellite communication; ground station; spiral antenna; antenna array; tilted fan beam; moment method

### 1 引言

螺旋天线不仅可以实现宽波束圆极化,还具有体积小、重量轻、结构稳定、增益较高的优点,因而在卫星通信中得到了广泛的应用。具有倾斜波束指向

的平面螺旋天线不需要倾斜天线平面以达到波束指向对准卫星的目的,具有小尺寸、低轮廓的特点,因而作为地面移动通信天线引起了广泛的关注<sup>[1-5]</sup>。文献[1]、[2]提出了一种应用于卫星通信地面站的

\* 收稿日期:2006-07-27; 修回日期:2006-12-20

基金项目:航空科学基金项目(05F5302);西安建筑科技大学青年科技基金项目(AJ05015)

新型单臂螺旋天线,该天线由直线部分和平面螺旋部分组成,具有倾斜的波束指向。文献[1]、[2]还给出了由该天线组成的四元天线阵的辐射特性。文献[3]对这种天线做了一定的改进,将直线激励部分改为圆柱螺旋激励,通过调整圆柱螺旋的参数使天线的输入阻抗接近  $50\ \Omega$ 。为了提高天线的方向性系数和增益,本文以四元天线阵为例,用 VC++ 作为编程工具,用矩量法<sup>[6,7]</sup>研究了这种圆柱激励的平面螺旋天线组成的天线阵的辐射特性,结合 Matlab 语言绘制了天线阵的三维辐射方向图,具有清晰直观的特点。为了验证程序的正确性,本文还计算了文献[1]、[2]中提出的直线激励单臂平面螺旋天线及其组成的四元天线阵列的电流分布和方向图,所得结果均与文献[1]、[2]具有较好的一致性。

2 数值方法

任意形状线天线满足的方程为<sup>[6]</sup>

$$\sum_{k=1}^N \sum_j \int_{\text{element}} I_{kj}(s'_j) \pi_{1,kj}(s_i, s'_j) ds'_j = B \cos \beta (d_i + s_i) - \frac{jV_0}{2Z_0} \sin \beta |d_i + s_i| \quad (1)$$

用矩量法<sup>[7]</sup>将该方程化为矩阵方程:

$$Z \cdot I = V \quad (2)$$

求得天线的电流分布,由电流分布得到天线的方向图。

3 数值结果

3.1 直线激励的单臂平面螺旋天线

天线的结构及参数见文献[2],图1、图2分别为本文计算的电流分布和三维方向图,表1比较了本文的计算结果和文献[2]的结果。

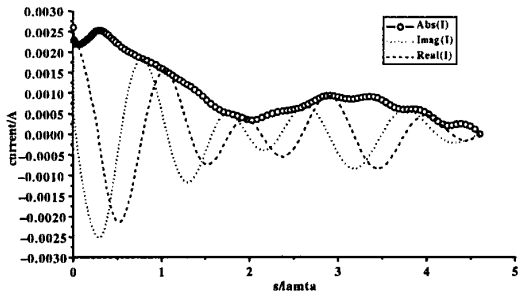


图1 直线激励的单臂平面螺旋天线的电流分布

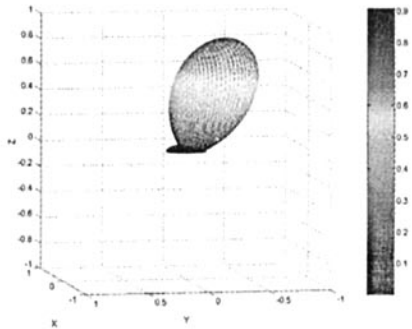


图2 单臂直线激励螺旋天线的三维方向图

表1 直线激励的单臂平面螺旋天线的辐射特性

	最大辐射 方向 $\theta$	最大辐射 方向 $\phi$	最大辐射 方向增益	最大辐射 方向轴比
本文结果	$27.9^\circ$	$230.4^\circ$	8.2 dB	1.76 dB
文献[2]结果	$28^\circ$	$232^\circ$	8.2 dB	1.7 dB

3.2 直线激励的单臂平面螺旋天线阵

天线的结构及参数见文献[2],图3、图4分别为本文计算的电流分布和三维方向图(为了使  $\varphi = 90^\circ$  平面辐射场最强,把天线绕轴旋转  $\varphi = 218^\circ$ ),表2比较了本文的计算结果和文献[2]的结果。

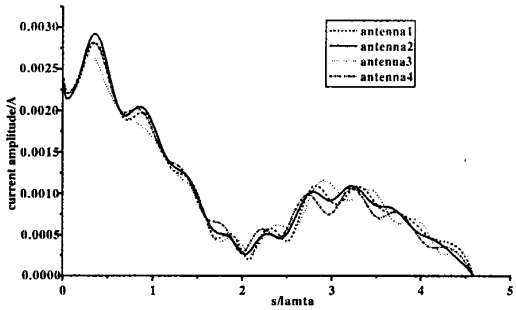


图3 直线激励的单臂平面螺旋天线阵的电流分布

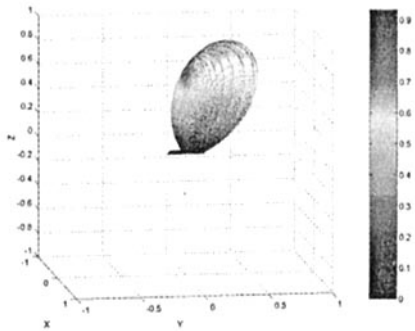


图4 单臂直线激励螺旋天线阵的三维方向图

表 2 直线激励的单臂平面螺旋天线阵的辐射特性

	最大辐射 方向 $\theta$	最大辐射 方向 $\phi$	最大辐射 方向增益	最大辐射 方向轴比
本文结果	24°	232°	14.76 dB	1.62 dB
文献[2]结果	24.3°	232°	14.2 dB	1.60 dB

3.3 圆柱激励的单臂平面螺旋天线

天线的结构及参数见文献[3],图 5、图 6 分别为本文计算的电流分布和三维方向图,表 3 比较了本文的计算结果和文献[3]的结果。

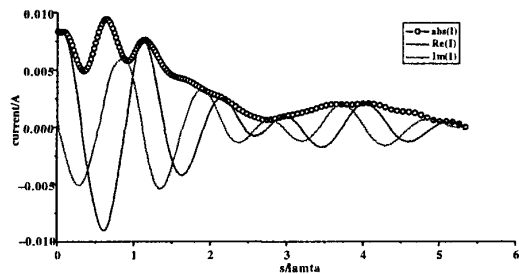


图 5 圆柱激励的单臂平面螺旋天线的电流分布

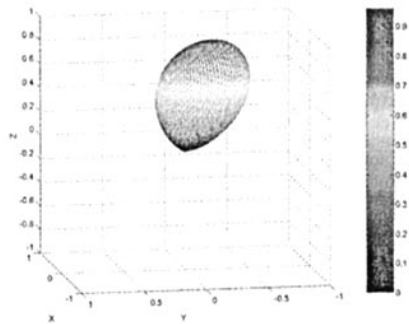


图 6 单臂圆柱激励螺旋天线的三维方向图

表 3 圆柱激励的单臂平面螺旋天线的辐射特性

	最大辐射 方向 $\theta$	最大辐射 方向 $\phi$	最大辐射 方向增益	最大辐射 方向轴比
本文结果	18.9°	234°	8.53 dB	0.78 dB
文献[2]结果	18°	232°	8.4 dB	0.8 dB

3.4 圆柱激励的单臂平面螺旋天线阵

为了提高天线的方向性系数和增益,由 4 个圆柱激励的单臂平面螺旋天线组成四元天线阵,天线单元间的距离为  $0.8\lambda$ ,图 7、图 8 分别为本文计算的电流分布和三维方向图,表 4 列出了本文的计算结果。

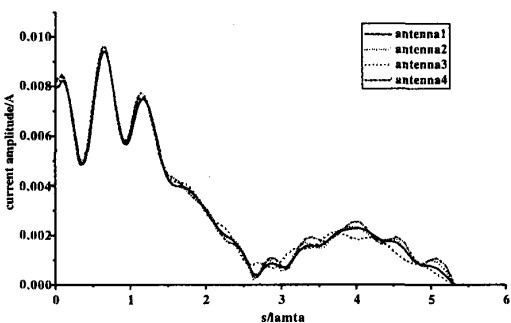


图 7 圆柱激励的单臂平面螺旋天线阵的辐射特性

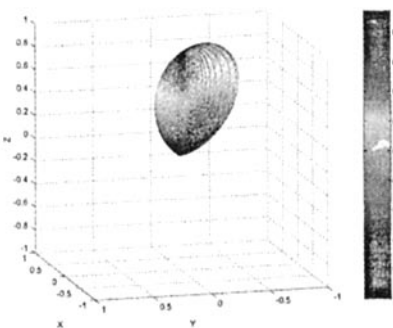


图 8 单臂圆柱激励螺旋天线阵的三维方向图

表 4 圆柱激励的单臂平面螺旋天线阵的辐射特性

	最大辐射 方向 $\theta$	最大辐射 方向 $\phi$	最大辐射 方向增益	最大辐射 方向轴比
本文结果	16.2°	270°	14.8 dB	1.42 dB

4 结论

本文研究了两种用于卫星通信地面站的新型单臂平面螺旋天线,这两种天线都采用同轴线馈电,一种由直线和平面螺旋组成,另一种用圆柱螺旋激励平面螺旋,都可以形成倾斜的波束指向。为了增强方向性,本文在正确分析由直线激励的平面螺旋天线组成的天线阵的基础上,分析了由圆柱激励的平面螺旋天线组成的天线阵的辐射特性。本文的研究结果为单个天线及天线阵的分析和设计提供了理论依据。

参考文献:

[1] H Nakano. Fan beam formation using spiral array antennas[J]. IEEE Trans. AP, 1996:1628 - 1031.  
[2] H Nakano, Yasuhiro Shinma, Junji Yamauchi. A monofi-

- lar spiral antenna and its array above a ground plane—formation of a circularly polarized tilted fan beam [J]. IEEE Trans. AP, 1997, 45: 1506–1511.
- [3] H Nakano, Yosuke Okabe, Hiroaki Mimaki, et al. A monofilar spiral antenna excited through a helical wire [J]. IEEE Trans., AP, 2003, 51: 661–664.
- [4] R T, Gloutak Jr. On the theory of eccentric spiral antennas [C]// IEEE APS Int. Symp. IL: Chicago, 1992: 2097–2100.
- [5] L Shafa. Design of multi-arm multi-mode spiral antennas for directional beams using equivalent array concept [J]. Electromagn., 1994, 14: 285–304.
- [6] H. Nakano. Helical and spiral antennas; a numerical approach [M]. Letchworth, Hertfordshire, England: Research Studies Press, 1987.

- [7] R F Harrington. Field Computation by Moment Method [M]. New York: Macmillan, 1968.

#### 作者简介:



杨放(1977–),男,陕西人,1998年毕业于北京师范大学电子学与信息系统专业,获理学学士学位,2004年毕业于西北工业大学电磁场与微波技术专业,获工学硕士学位,现为该专业博士研究生、西安建筑科技大学信控学院讲师,主要研究方向为卫星通信天线,(电子信箱) yangfangbnu@tom.com。

## 《电讯技术》征稿启事

《电讯技术》(双月刊)创刊于1958年,由中华人民共和国信息产业部主管、中国西南电子技术研究所(中国电子科技集团公司第十研究所)主办,系国内外公开发行的、理论与应用相结合的综合性电子专业科技刊物,具有权威性和导向性。国内刊号为CN51-1267/TN,国际标准刊号为ISSN1001-893X。

本刊主要刊登涉及下列应用方向和技术领域的述评、论文、新概念新技术新产品介绍:电子系统工程;通信;导航;识别;飞行器测控;卫星应用;雷达;信息战;共性技术(包括天线、射频电路、信号处理、信息处理、监视与控制、时间与频率、先进制造、电磁兼容、测试与试验、可靠性与维修性、软件工程化、综合保障等)。

欢迎业内学者、专家及科技工作者踊跃投稿。

#### 来稿要求及注意事项:

(1)文稿务必主题明确,论述合理,逻辑严谨,数据可靠,叙述清楚,文字精炼。内容应保守国家机密,引用他人作品应给出来源。

(2)文稿一般不应超过6000字,综述稿不超过8000字。稿件应附英文题名、作者名、单位名、摘要和关键词,基金项目应注明项目编号。中文题名一般不超过20个汉字,必要时可加副标题。

(3)摘要应包括目的、方法、结果和结论四要素,即用简洁的语言说明文章要解决的问题,主要工作过程及所采用的技术手段和方法,研究所获得的实验数据、结果及其意义。篇幅以120~150字为宜。

(4)关键词以3~5个为宜。为便于文献检索,应尽可能根据《中国图书馆分类法(第四版)》提供中图分类号。

(5)文中涉及的物理量和计量单位应符合国家有关标准。计量单位请用GB3100-3102-93《量和单位》规定的法定计量单位。注意区分各物理量符号的文种、大、小写、正斜体(矢量和矩阵用黑斜体)、上、下角标等。

(6)插图和表格只给出必要的,且应有图题和表题。插图最好采用计算机制作。照片以黑白为佳,也可采用扫描的电子文档(精度高于400 dpi, tif, jpg, psd等格式均可)。

(7)文稿中引用他人的成果,务请写明原作者姓名、题名、来源,一并在参考文献中给出,并在正文中相应位置进行标示,否则责任由来稿人自负。参考文献只择主要的,未公开发表的文献请勿列入参考文献。书写格式请参见《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范(CAJ-CD B/T 1-2005)》,可在“中国期刊网”(http://211.151.91.91/oldcnki/wxpi/index.html)下载。

(8)请务必采用email投稿,投稿邮箱:dianxunjishu@china.com,并尽量同时提供Word和pdf文档,无需另寄打印稿。来稿请注明作者详细通信地址、联系电话和有效电子邮箱,并提供作者照片。

(9)本刊编辑部将在3个月之内对来稿做出取舍,如逾期未收到处理意见或刊用通知,作者有权对稿件另行处理。稿件一经刊用,本刊将酌付稿酬并赠送当期样刊,本刊支付的稿酬中已包含作者著作权使用费。请勿一稿多投,否则后果自负。

电话:(028)87555632  
地址:四川成都94信箱《电讯技术》编辑部  
E-mail:dianxunjishu@china.com

传真:(028)87538378  
邮编:610036  
网址: http://dianxj.s.periodicals.net.cn

## 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>