

## 一种新型复合结构笼型中馈天线

李建峰, 孙保华, 刘其中, 周海进

(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:** 提出一种新型复合结构的笼型中馈天线, 将笼型与不对称双锥结构相结合, 展宽了天线的阻抗和方向图带宽, 抑制了天线辐射方向图在宽频带内上翘或裂瓣。在馈电位置引入螺旋短截线, 有效降低了天线的高度。采用矩量法对天线进行仿真和优化, 设计并制作了一副超短波(VHF/UHF)宽频带天线。实测结果表明在100~750 MHz频带内无须匹配或加载网络即可满足电压驻波比小于 $3.0:1$ , 在整个工作频带(100~400 MHz)内增益平坦且大于1.5 dBi。此外, 天线高度和常规偶极子天线相比减小了约50%。

**关键词:** 笼型中馈天线; 短截线; 宽频带天线

**中图分类号:** TN820 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2008)05-0889-05

## Novel center-fed cage antenna using the composite structure

LI Jian-feng, SUN Bao-hua, LIU Qi-zhong, ZHOU Hai-jin

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

**Abstract:** A novel center-fed cage antenna using the composite structure is proposed. The antenna has a composite structure of a cage and an asymmetric biconical structure. The impedance bandwidth and radiation pattern bandwidth are enhanced, and the tilting and ripping of radiation patterns are eliminated. A helical shorting wire is used to reduce the antenna height effectively. The antenna is analyzed and optimized by the method of moments (MOM). A prototype operating in VHF/UHF bands is constructed and tested. Measured results show that a VSWR (less than  $3.0:1$ ) bandwidth of 650 MHz (100~750 MHz), without additional matching or loading network, is obtained. The overall measured radiation gain of the proposed antenna in the horizontal plane is stable and larger than 1.5 dBi in the operating frequency band (100~400 MHz). Furthermore, a size reduction rate of 50% compared with a general dipole antenna is realized.

**Key Words:** center-fed cage antenna; shorting wire; broadband antenna

传统的短波、超短波(VHF/UHF)天线中, 单极子天线因其结构简单、易于馈电得到了广泛应用。不过在实际应用中, 天线并非位于无限大的理想地面上, 有限尺寸的地板会使其波束指向上翘, 最大增益方向偏离水平通信方向, 同时天线的带宽较窄难以满足现代化的宽带跳频扩频通信要求。采用加载或匹配电路可以展宽天线阻抗带宽, 但也会带来损耗, 降低天线辐射效率。中馈天线是指馈电位置位于天线中部的偶极型天线, 无须金属板作其地板。中馈天线的辐射特性不依赖于地面, 方向图具有良好的水平全向特性, 因而被广泛地应用于车辆、舰艇等 VHF/UHF 移动的通信中<sup>[1~4]</sup>。但是随着频率的增高, 频段高端的方向图出现裂瓣或上翘<sup>[5]</sup>, 使方向图在水平面上形成凹陷甚至零点, 降低了高频段通信质量。

此外, 尽管匹配或加载网络能够在一定程度上展宽天线的阻抗带宽<sup>[4,5]</sup>, 但限于器件的元件值、功率等因素, 目前还不能满足大功率的通信要求。为此, 笔者提出并研究一种新型复合结构的笼型中馈天线, 将笼型与不对称双锥结构相结合, 展宽天线的阻抗和方向图带宽, 抑制天线辐射方向图在宽频带内上翘或裂瓣。在

收稿日期: 2007-08-28

基金项目: 国家自然科学基金资助(60471043)

作者简介: 李建峰(1981-), 男, 西安电子科技大学博士研究生, E-mail: jlflee@mail.xidian.edu.cn.

天线馈电位置引入螺旋短截线,有效降低天线的高度.由于无须匹配或加载网络,该天线可满足大功率的通信要求.

## 1 天线结构

天线的几何结构如图 1 所示,整个天线为导线组成的线栅结构.从图中明显看出,天线是一种笼型与不对称双锥的复合结构,即两端为笼型结构,中部为不对称双锥.上部的笼型圆柱由 16 根线栅构成,半径为  $r_1$ ,高度为  $h_1$ ;与之相连的是由 4 个互相垂直的梯形片组成的渐变盘锥结构,它是不对称双锥的上锥体,高度为  $h_2 + h_3$ ,和上部的笼型圆柱等高.下锥体为圆台结构,圆台上下底面半径分别为  $r_2$  和  $r_1$ ,高度为  $h_4$ .最下端笼型圆柱体的半径为  $r_1$ ,高度为  $h_5$ .连接上下锥体的螺旋短截线半径  $r_2$ ,高度为  $h_6$ ,圈数为一圈.

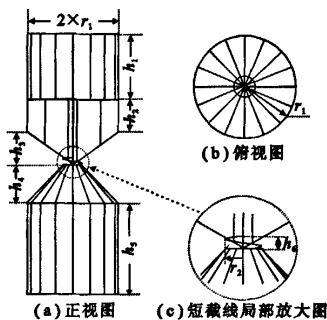


图 1 天线结构图

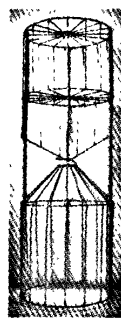


图 2 天线实物结构图

依照上述结构制作了天线样机,其实物照片如图 2 所示.样机由直径  $a=3$  mm 的铜线加工而成,上下结构通过介质棒来固定和支撑.采用  $50\ \Omega$  的同轴电缆穿过天线下部笼型对天线进行馈电.

## 2 仿真结果

参见图 1 所示的天线结构示意图,天线为线栅结构,该结构适合采用矩量法进行分析和计算.图 3~图 5 给出了一组天线的计算结果.天线的结构参数为:上锥顶端圆柱体的半径  $r_1 = 135$  mm,高度  $h_1 = 190$  mm,渐变盘锥高度为  $h_2 + h_3 = 114$  mm +  $76$  mm =  $190$  mm;下锥体圆台上下底面半径分别为  $r_2 = 27$  mm,  $r_1 = 135$  mm,下锥圆柱体的半径  $r_1 = 135$  mm.短截线是半径  $r_2 = 27$  mm,圈数为一圈的螺旋线.

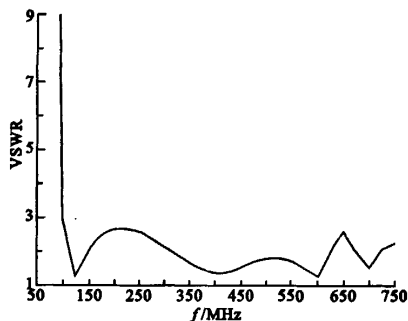


图 3 天线驻波比(VSWR)仿真结果

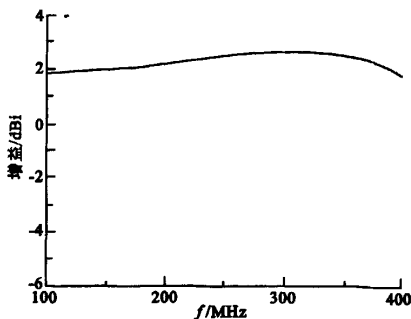


图 4 天线随频率变化水平增益曲线

天线的 VSWR 曲线如图 3 所示.由图可知,天线在  $100\sim 750$  MHz 的频率范围内 VSWR 小于  $3.0:1$ ,阻抗带宽达到 7.5 倍频,具有良好的宽带特性.图 4 所示为带内天线水平增益曲线,计算结果表明在整个工作频带内( $100\sim 400$  MHz)天线增益平坦且大于  $1.8$  dBi.

天线的辐射方向图如图 5 所示,图(a), (b), (c), (d)分别是天线在  $100$  MHz,  $200$  MHz,  $300$  MHz,

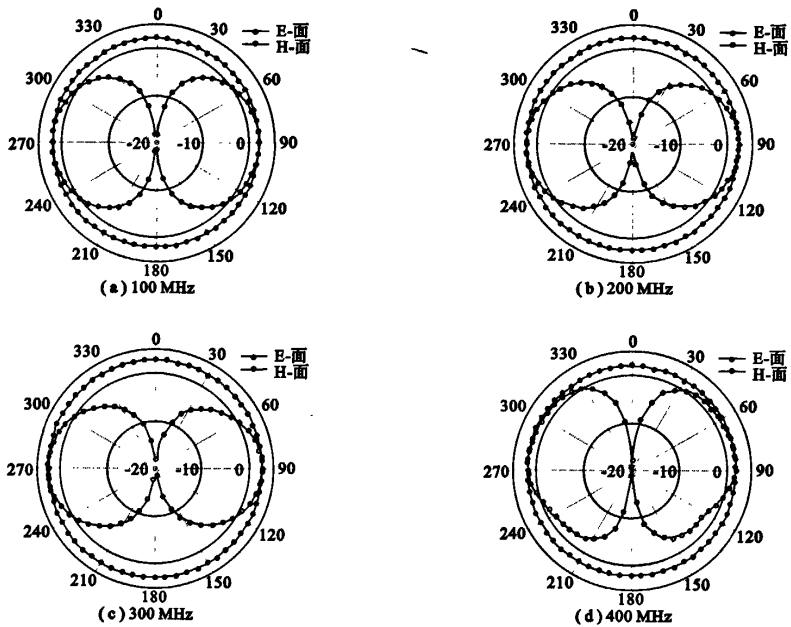


图 5 E 面及 H 面 方向图 (增益/dBi)

400 MHz 的 E 面和 H 面方向图。由图可以看出,在四倍频工作频带内,H 面辐射方向图具有良好的水平全向辐射特性。特别指出,E 面辐射方向图最大辐射方向始终保持在水平方向上,没有裂瓣或形成凹点。在现代化的 VHF/UHF 宽频带跳频、扩频通信中,该方向图特性具有突出的实用价值。

3 天线结构参数对天线性能的影响

由于笔者提出的天线包含的结构参数较多,通过调整这些参数同时获得良好的阻抗和方向图带宽是非常困难的。借助电磁仿真软件,研究天线性能随其结构参数的变化规律,可为天线设计提供实用的参考。分析文中的天线结构,影响天线性能的主要参数除了天线高度  $h$  和半径  $r_1$  外还有短截线结构位置,盘锥高度  $h_3$ 、圆台高度  $h_4$ 、圆台半径  $r_2$  等,以下将分节进行讨论。

3.1 天线的高度及半径对天线性能的影响

与对称振子天线相类似,天线的总高度主要由工作频率的低端来决定,频率越低则天线越高。天线半径决定天线的特性阻抗,加粗振子半径可以使天线的输入阻抗变得平坦。一般来说,上述尺寸由实际使用环境来决定。值得关注的是,普通的对称振子天线谐振长度为低端工作频率的  $1/2$  波长。笔者所给出的天线结构,由于加入螺旋短截线能够起到小型化的作用,使天线的结构高度降到了  $1/4$  波长左右,减小了  $50\%$  左右。

3.2 短截线对天线性能的影响

为了适应天线的安装环境,往往需要采取一定的小型化措施。引入短截线可以有效地减小天线的尺寸并改善天线的性能<sup>[6]</sup>。不过短截线的引入会使水平方向图的不圆度变差,引入什么形式的短截线及几条短截线是一个值得研究的问题。

传统的短截线形式为直线型,先对该结构进行计算和对比。短截线位于上下锥体之间,不同数目的短截线对天线性能有不同的影响。当引入 4 条等距离均匀分布的短截线时,计算结果如图 6(a) 所示。在低频端,引入 4 条短截线没有改善天线的 VSWR 性能,亦即没有起到小型化的作用。减少短截线的数目为两条和一条,计算结果如图 6(a) 所示。两条短截线和 4 条短截线相比,低频段天线的性能有所改善,但驻波仍然没有满足小于  $3.0:1$  的指标要求。当引入一条短截线,VSWR 进一步得到改善,且基本满足工作频带内 VSWR 小于  $3.0:1$ 。

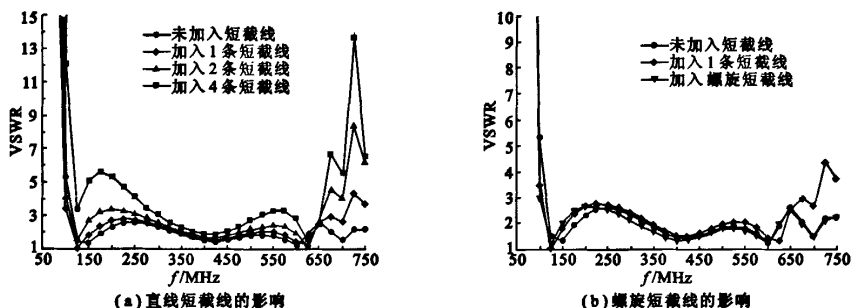


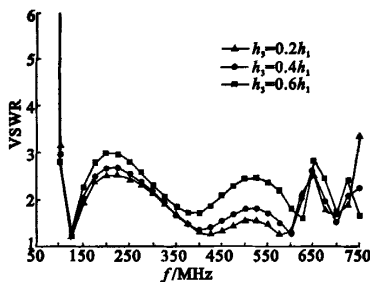
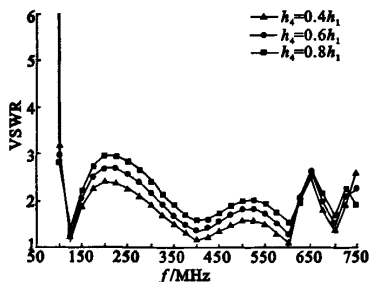
图 6 短截线对天线性能的影响

然而,由于一条短截线结构的不对称性,会使得水平方向图的全向性变差。为此,笔者提出一种新型的短截线,即一条结构形式为螺旋的金属导线。天线的 VSWR 仿真结果如图 6(b)所示,和一条直线型短截线相比,不仅等效于加长了长度,使得天线进一步小型化,而且由于改善了结构的对称性,使得天线具有更好的水平全向辐射特性,如图 5 所示。

顺便指出,短截线结构将偶极子的上下两臂直流短接,可使直流电流直接短路到地,从而起到避雷的作用。

### 3.3 天线的盘锥高度 $h_3$ 对天线性能的影响

具有渐变结构的天线可以有效地展宽天线的驻波比带宽。改变渐变盘锥的高度,即改变盘锥的角度影响天线的阻抗带宽。图 7 给出一组  $h_3$  不同取值时天线 VSWR 变化曲线。可以看出,当盘锥高度减小时,频段高端特性得到改善但低端特性变差;盘锥高度增加时,频段低端特性得到改善但高端特性变差。计算结果表明,当  $h_3 = 0.4h_1$  时天线可获得最佳的驻波比特性。

图 7  $h_3$  对天线性能的影响图 8 圆台高度  $h_4$  对天线性能的影响

### 3.4 天线圆台高度 $h_4$ 对天线性能的影响

天线上下结构的不对称性可以起到上下互补的结构,因此选取合适的圆台对于天线的性能影响很大,选择不同的圆台高度对天线的性能影响如图 8 所示。当圆台的高度较高时天线的低端特性改善,但是高端特性会变差;当圆台的高度较低时天线的高端特性改善,但是低端特性会变差,计算结果表明当  $h_4 = 0.6h_1$  时,天线具有最佳的驻波比带宽。

### 3.5 天线圆台半径 $r_2$ 对天线性能的影响

天线圆台半径  $r_2$  对天线性能的影响非常显著。这是因为在笔者的设计中其大小决定着短截线的位置,从而影响了天线的阻抗匹配,而且合适的圆台结构能够与天线上部结构形成互补,得到较宽的方向图带宽。参见图 9,当圆台的上半径  $r_2 = 0.2r$  时获得最佳的驻波比带宽。

最终根据仿真计算结果把天线结构参数对天线性能的影响规律进行了总结,如表 1 所示。此外表中还给出了增益随各项参数的变化规律。

表 1 天线参数对天线性能影响的规律总结

参数		VSWR			增益	
		低端	中端	高端	低端	高端
		( $f < 150$ MHz)	( $150 < f < 600$ MHz)	( $f > 600$ MHz)	( $f < 150$ MHz)	( $f > 150$ MHz)
$h$	↑	↓		↑	↑	
$h_3$	↑	↓	↑	↓		↓
$h_4$	↑		↑			↑
$r$	↑	↑		↓	↓	↓
$r_2$	↑	↑	↑		↓	↓

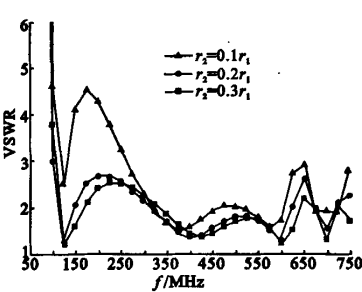


图 9 圆台半径  $r_2$  对天线性能的影响

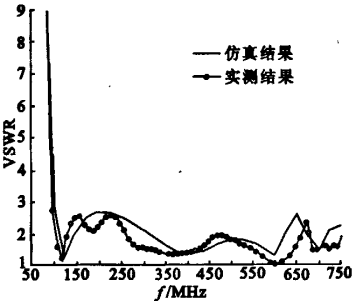


图 10 天线驻波比(VSWR)仿真及实测结果

4 实测结果

实际天线样机如图 2 所示.使用矢量网络分析仪 Hp 8753D 测量天线的 VSWR,结果如图 10 所示.为了和仿真结果相比较,图中同时给出了 VSWR 的仿真结果.不难看出,仿真结果和实测结果相吻合,在100~750 MHz的频带范围内 VSWR 小于 3.0 : 1,并且天线在整个工作频带内(100~400 MHz)的实测增益大于1.5 dBi.

5 结束语

笔者研究了一种新型的复合结构的笼型中馈天线.该天线将笼型与不对称双锥结构相结合,展宽天线的阻抗和方向图带宽,抑制天线辐射方向图在宽频带内上翘或裂瓣.在天线馈电位置引入螺旋短截线,有效降低了天线的高度.天线样机的测试结果表明,VSWR 小于 3.0 : 1 的带宽为 7.5 倍频(100~750 MHz),在工作频带 100~400 MHz内天线具有良好的水平辐射特性,与常规偶极子天线相比天线高度降低了约 50%.该天线适合作为现代化的宽带大功率跳频、扩频通信电台使用.

参考文献:

[1] Milligan T A. Modern Antenna Design[M]. 2nd Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2005.  
[2] Balanis C A. Antenna Theory: Analysis and Design[M]. 3rd Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2005.  
[3] Johnson R C, Jasik H. Antenna Engineering Handbook[M]. New York: McGraw2Hill, 1984.  
[4] 邮电部电信总局. 短波天线维护手册[M]. 北京: 人民邮电出版社,1991.  
[5] 周斌,刘其中,徐志,等. 笼形中馈天线的设计与优化[J] 西安电子科技大学学报, 2006, 33(6): 975-979.  
Zhou Bin, Liu Qizhong, Xu Zhi, et al. Optimization and Design of the Center-fed Cage Antenna[J]. Journal of Xidian University, 2006, 33(6): 975-979.  
[6] Lau K L, Li P, Luk K M. A Monopolar Patch Antenna With Very Wide ImpedanceBandwidth [J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2005, 53(3): 1004-1010.

(编辑: 郭 华)

## 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>