

## 高增益改进型短背射天线的研究

邱景辉 吴昊 谢飞

(哈尔滨工业大学电子与信息技术研究院 哈尔滨 150001)

**摘要:** 为提高天线的增益和带宽,对传统的短背射天线进行了改进,采用抛物面代替主反射面底部的平面,用水滴型的宽带振子作为馈源进行馈电,通过 CST 微波工作室<sup>®</sup> 仿真软件仿真调整天线的结构参数实现较高的增益和带宽。仿真结果表明,该天线在中心频率处增益可达到 18.65 dB,在 3.0~3.8 GHz 范围内 VSWR 小于 2。天线效率可达 83%,根据仿真结果制作实物的测试结果与仿真结果基本吻合。

**关键词:** 短背射天线;高增益;改进型

**中图分类号:** TN92 **文献标识码:** A

## Research of high gain improved short backfire antenna

Qiu Jinghui Wu Hao Xie Fei

(School of Electronic and Information Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

**Abstract:** The modification of traditional short backfire antennas is designed in this paper which has the advantages of a simple structure, easy to feed, high gain and so on. The configuration of the antenna is special. It has a parabolic main reflector with a surrounding rim, the subsidiary reflector is a circular metal disk and it is fed with a droplike half-wave dipole. Then the mode is being simulated with the simulation procedure-CST Microwave Studio<sup>®</sup>. The simulation result of directional pattern shows us that the gain of the antenna can attain 18.65 dB at the center frequency and VSWR is lower than 2 at the range of 3.0~3.8 GHz. At last, we made a production according the dimension from simulation result and the actual measurement results is consistent with the simulation results.

**Keywords:** short backfire antennas; high gain; modification

## 0 引言

短背射天线是仅有 40 多年发展历史的新型天线,它以高增益,高口面利用系数等特性而受到人们的广泛关注<sup>[1]</sup>,尤其是对天线的体积,重量要求苛刻的应用场合,短背射天线及短背射天线阵更显示出其优越性,如在相同增益条件下短背射天线的口面尺寸要比抛物面天线小许多,而与其他类型的高增益天线(如八木天线,螺旋天线等)相比,短背射天线的辐射特性具有明显优势<sup>[2]</sup>。但是目前常用的基本型和一些改进型短背射天线在电气性能方面都存在着一一定的不足。如基本型频带太窄,且增益较低,而其他改进型短背射天线往往只改进了某一方面性能,有的甚至是以牺牲其他性能为代价来实现的。这使短背射天线的应用受到局限<sup>[3]</sup>。

结合了抛物面天线的特性,本文采用抛物面作为短背射天线的主反射面,用水滴型的宽带振子作为馈源进行馈电,同时实现了天线高增益,宽带宽的两大电气特性,为该类型天线的研制提供了一种有效的设计形式。

## 1 短背射天线的基本原理

采用“等效反射面法”<sup>[4]</sup>说明短背射天线的工作原理。把短背射天线近似的视为图 1 所示的等效曲面反射器天线。所以它也有“焦点”。为了和垂射型天线的焦点相区别,我们把它称为“等效焦点”。置于“等效焦点”上的馈

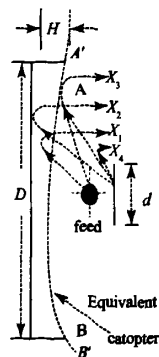


图1 短背射天线辐射示意图

源辐射的球面波经反射面反射后形成平面波窄波束。而天线孔径上的等相位面则是靠适当地选择大、小反射面的尺寸和位置,围边的高度等物理结构参数来实现的。

基于背射天线与垂射反射面天线的相似性设想,我们进一步讨论短背射天线的工作原理,用各反射波之间的相干性来解释短背射天线的辐射过程。如图 1 所示,用半波振子做馈源的短背射天线向空间的辐射场可近似地认为由以下四部分组成。

$X_1$  为由馈源直接射向直径为  $D$  的大反射器后向空间辐射的波

$X_2$  为由馈源向直径为  $d$  的小反射器,转而又向大反射器后向空间辐射的波

$X_3$  为被围边栏截转向向空间辐射的波

$X_4$  为所有经小反射器边缘的绕射波

当然,馈源辐射的波到达大反射器后,在大、小反射器形成的腔内会激励起高阶谐波,它们对天线的增益也会有所贡献,但由于它们的幅度相对于上述 4 部分来说小得多,故这里未考虑,现设:

$$X_1 = a_1 \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (1)$$

$$X_2 = a_2 \sin(\omega t + \varphi_2) \quad (2)$$

$$X_3 = a_3 \sin(\omega t + \varphi_3) \quad (3)$$

$$X_4 = a_4 \sin(\omega t + \varphi_4) \quad (4)$$

于是合成波可写为:

$$X = A \sin(\omega t + \theta) \quad (5)$$

适当选择和调整大反射器的直径  $D$ , 小反射器直径  $d$  和围边的高度  $H$  以及馈源与大、小反射器之间的距离,使  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  和  $\varphi_4$  在轴向尽量满足同相迭加条件,当它们之间的相位差为  $2n\pi$  ( $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ) 时,式(5)变为:

$$X = (a_1 + a_2 + a_3 + a_4) \sin(\omega t + \varphi') \quad (6)$$

式中:  $\varphi' = \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  或  $\varphi_4$

可见,短背射天线各几何参数的选择和调整的实质,就是尽量使  $X_1, X_2, X_3$  和  $X_4$  各波的相位在轴向同相或相位差为  $2n\pi$  (一般情况下,相位差不超过  $2n\pi \pm 30^\circ$  时,就可认为是接近同相),从而使得合成波振幅在轴向达到最大值,即天线增益达最大。

## 2 改进型短背射天线的设计与仿真

为了得到更好的相位叠加效果,实现高增益,本文兼容短背射天线和抛物面天线的特点,设计出由带围边的抛物面做主反射面的改进型的短背射天线。并且选择水滴形的半波振子做馈源,以增加天线的带宽<sup>[5]</sup>。

### 2.1 天线各参数对增益特性的影响

基于天线综合和天线分析<sup>[6]</sup>的方法以及实际加工需要,本文固定天线主反射面直径  $2R_1 = 260$  mm; 焦距与主反射面直径比  $\rho = 0.36$ ; 振子到主反射面距离  $d_1$ 、主副反射面距离  $d_2$ 、副反射面半径  $R_2$ 、围边高度  $H$  和振子长度  $L$  均为可变参量,结构模型如图 2 所示。

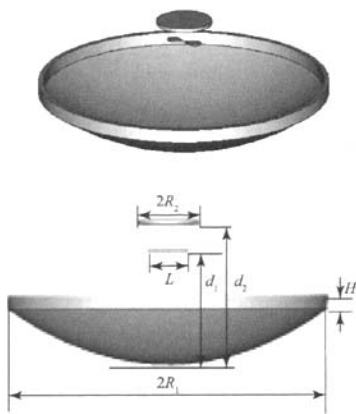


图 2 天线结构图

保持其他参数不变,观察当主反射面到振子的距离  $d_1$  变化时,中心频率 3.4 GHz 处的增益变化情况,如图 3 所示。从图中可以看出  $d_1$  在 70~90 mm 范围内增益均较大,同时考虑到  $d_1$  对带宽的影响,选择  $d_1 = 88$  mm, 基本在焦点 ( $1\lambda$ ) 处,与等效焦点理论<sup>[4]</sup>相符。

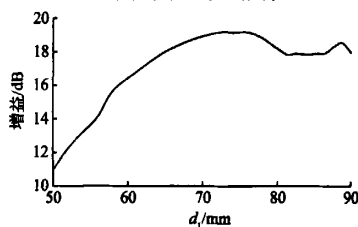


图 3  $d_1$  与增益的关系曲线图

考虑  $d_2$  对增益的影响,保持其他参数不变,改变  $d_2$  的大小,观察中心频率处增益的变化情况,如图 4 所示。可以看到  $d_2 = 112$  mm 处增益最大。

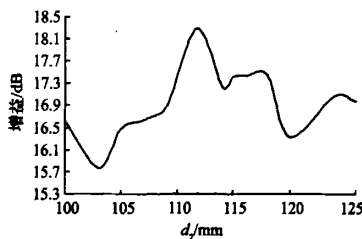


图 4  $d_2$  与增益的关系曲线图

由文献[7]中给出传统短背射天线的尺寸可知,一般取  $2R_2 = 0.5\lambda$ , 为了得到能够产生最大增益的副反射器,调节  $R_2$ , 得到图 5 所示  $R_2$  与中心频率处增益的关系曲线,从而为我们提供最合适的  $R_2$ 。

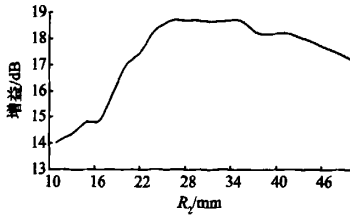


图5  $R_2$  与增益的关系曲线图

在  $d_1$ 、 $d_2$  和  $R_2$  都确定的情况下,改变围边尺寸的  $H$ ,实质上就是改变  $X_3$  的振幅和相位,使合成振幅最大,即天线增益最高。图6为  $H$  与中心频率处增益的关系,从图中可以看出满足同相叠加条件的  $H$  必然是最佳围边高度,小于或者大于这个最佳尺寸都会破坏同相叠加条件使增益下降。

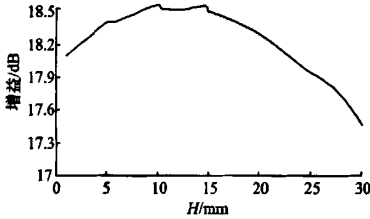


图6  $H$  与增益的关系曲线图

振子长度  $L$  的变化对天线增益没有明显的影响,但是对带宽影响很大。图7为振子长度与带宽的关系曲线,从图中可清楚的看出当振子长度为 31 mm 时带宽明显增大。

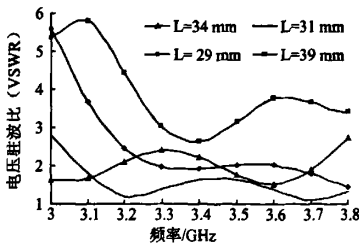


图7 振子可变长度与带宽的关系曲线图

## 2.2 参数的最后选定

综合上述,最终选取参数如下:  $d_1 = 88$  mm;  $d_2 = 112$  mm;  $H = 10$  mm;  $R_2 = 24$  mm;  $L = 31.2$  mm。按照所选定的参数尺寸进行仿真,结果如下:从图8所示的 VSWR 可以看出,天线的带宽范围为 3.0~3.8 GHz,分数带宽为 23.5%。图9为天线频带范围内的增益,从中我们可以观察到中心频率处的最大辐射方向的增益可达到 18.65 dB。

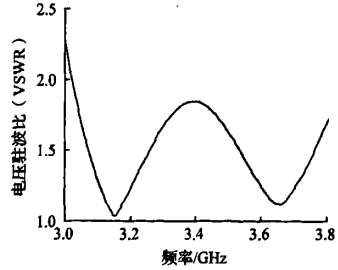


图8 天线 VSWR 的仿真结果

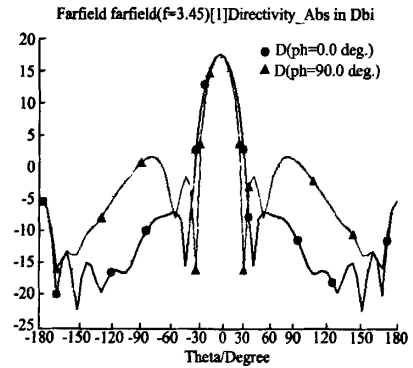


图9 直角坐标方向图

## 3 试验与测量

根据确定参数进行实物天线的制作<sup>[8]</sup>,天线实物如图10所示。图11为仿真和实际测量的 VSWR 对比图,实测值与仿真值基本吻合,在 3.0~3.8 GHz 的范围内,实测天线的 VSWR 小于 2。在 3.0~3.8 GHz 带宽内,将实际测得的增益与仿真增益结果进行比较,如图12所示。带宽内增益均大于 17.5 dB,最大增益可达 18 dB。



图10 制作的天线实物照片

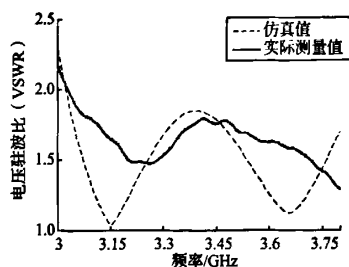


图 11 实测 VSWR 与仿真结果的比较

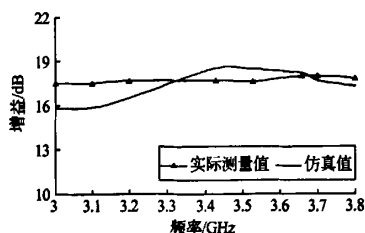


图 12 实测增益与仿真结果的比较

## 4 结 论

设计了一种具有较宽带宽和高增益的短背射天线,该天线的主反射面的底部由平面变为抛物面,可以提高天线增益,采用宽带的水滴状振子馈电,提高了天线的带宽,最终设计出的带宽为 3.0~3.8 GHz,实际增益为 17.5 dB 以上,最大增益达到了 18 dB。和传统短背射天线相比,该天线的口面利用系数高,尺寸小,带宽宽,可以广泛应用于各类移动通信系统中。

## 参 考 文 献

- [1] EHRENSPECK H W, the Backfire antenna, a new type of directional line source[J]. Proe IRE, 1960, 1 (48):109-110.
- [2] 李连辉,杨彩文. 小背射天线阵的设计[J]. 遥测遥控, 2004, 9: 27-31.
- [3] 陈宗周,郝晋. 短背射天线等效焦点的研究[C]. 全国微波会议论文集, 1993: 560-561.
- [4] 周超,曹海林,杨力生. 一种改进的共面波导馈电超宽带天线设计[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2008, 2(20): 39-41.
- [5] 宋锡明,林昌禄. 短背射天线分析[J]. 成都电讯工程学院学报, 1982, 4(6): 75-82.
- [6] EHRENSPECK H W. the short backfire antenna[J]. Proc IEEE, 1965, 53: 1138-1140.
- [7] WONG J L, KING H E. A Cavity-Backed Dipole Antenna With Wide-Band Width Characteristics[J]. IEEE Trans. Antennas Propag. 1973. 21 (2): 725-727.
- [8] 颜红兵. S 波段短背射式地面遥测站天线[J]. 遥测遥控, 1996, 17(4): 5-9.

## 作 者 简 介



邱景辉(1960-),男,黑龙江省双鸭山市人,哈尔滨工业大学电子与信息技术研究院,教授,博士,系副主任,主要研究方向为超宽带天线技术、脉冲辐射天线技术、高功率电磁脉冲技术、机载弹载天线技术、被动毫米波成像技术、邻近空间高速飞行器通信技术等。

E-mail: qiuqh@hit.edu.cn



吴昊(1984-),女,哈尔滨工业大学电子与信息技术研究院研究生,主要研究方向短背射天线,抛物面天线,可展开式天线,毫米波成像等。

E-mail: wubanban\_first@163.com.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>