

文章编号: 1001-4322(2011)02-0463-04

# 用于抛物柱面空间功率合成天线的功分喇叭阵列\*

谢泽明, 张荣幸, 熊尚书

(华南理工大学 电子与信息学院, 广州 510640)

**摘 要:** 提出了一种用于偏馈抛物柱面反射天线的功分喇叭。由于改善了口面上的电磁分布,该功分喇叭可以让馈源阵列的栅瓣电平抑制到 $-28$  dB。用 FEKO 进行仿真发现,与传统用角锥喇叭阵列作为馈源的抛物柱面反射天线相比,使用功分喇叭直线阵列可以使空间功率合成天线的效率从 $68\%$ 提高到 $80\%$ ,同时天线的增益也能增加 $0.7$  dB。

**关键词:** 空间功率合成; 功分喇叭; 角锥喇叭; 偏馈抛物柱面天线; 口面利用效率

**中图分类号:** TN820.1

**文献标志码:** A

**doi:**10.3788/HPLPB20112302.0463

运用空间功率合成的方法能获得较大的微波干扰功率。近年来,空间功率合成的方法主要有准光功率合成、波导内功率合成以及自由空间功率合成<sup>[1-3]</sup>。空间功率合成从原理上有相控阵天线原理法、聚焦束法和交叉束法 3 种<sup>[4]</sup>。高功率微波功率合成的相位难以精确控制,已有相关文章针对这一问题做了研究<sup>[5]</sup>。当采用聚焦束法时,可用以喇叭阵列作为馈源的偏馈抛物柱面反射天线的结构来实现<sup>[6]</sup>。空间功率合成天线除了要把各路信号的功率合成以外,还要形成所需要的窄波束,以提高天线增益,增大系统的等效全向辐射功率,使给定方向的辐射更强。要提高天线的增益,获得更窄的波束,必须加大天线的口径尺寸。这需要更多的喇叭单元或者更大的阵列单元间距。更多的喇叭单元意味着更多的功放路数,这会大幅度提高系统的成本。如果不增加喇叭阵列的单元数,通过简单增大单个喇叭的口径,加大喇叭阵列单元之间的间距,也可以加大天线的口径,然而如果采用角锥喇叭,根据天线阵列理论,当阵元间距大于 1 个波长时,天线方向性图就会出现栅瓣,使功率在不需要的方向产生强辐射,这一方面浪费能量,降低功率合成效率,另一方面会产生不必要的干扰。本文提出了一种应用于偏馈抛物柱面天线的功分喇叭及其阵列。功分喇叭单独使用时,由于改善了口径上的电磁场分布,可获得比同等口径的普通喇叭天线更高的增益,功分喇叭天线阵列在加大天线阵列尺寸时能避免出现栅瓣,有效地加大空间功率合成天线的口径以及空间功率合成天线的增益,提高功率合成的效率。

## 1 功分喇叭的结构性能

功分喇叭和角锥喇叭的结构如图 1 和图 2 所示,角锥喇叭天线仅由匹配过渡段  $g$  和波导馈线  $f$  构成,而功分喇叭天线在匹配过渡段  $g$  后还连有一功率分配辐射口  $h$ 。功率分配辐射口  $h$  由一段空心矩形波导和焊接在空心矩形宽边中间的赋形金属尖劈组成,赋形金属尖劈把功率分配辐射口的口径分割成相同的两部分。赋形金属尖劈的作用为功率分配,而且能优化喇叭口面的口面场分布;对金属尖劈进行赋形设计是为了让电磁波的传播有一个渐变的过程,减小由于功率分配而造成的反射,从而能够获得较低的喇叭驻波比。

图 3 为用 CST 仿真的功分喇叭的  $H$  面口面场分布。功分喇叭的尺寸为:波导宽边  $a=0.794\lambda$ ;波导窄边  $b=0.397\lambda$ ;喇叭  $E$  面口径  $c=1.417\lambda$ ;喇叭水平口径  $d=1.167\lambda$ ;喇叭体长度  $e=2\lambda$ 。赋形金属劈的形状和渐变程度尺寸如下: $d_1=0.083\lambda$ ,  $d_2=0.75\lambda$ ,  $d_3=0.292\lambda$ ,  $d_4=0.208\lambda$ ,  $d_5=1.083d$ 。由图 3 可以看出,功分喇叭的口面场由一个  $TE_{10}$  模裂变成两个对称分布的  $TE_{10}$  模,改善了口面上的场分布。

用 CST 仿真出两种喇叭的  $H$  面方向图如图 4 所示。由图可知,功分喇叭的方向性图出现零点。喇叭组阵时,当这个零点刚好在栅瓣位置时就可以起到栅瓣压制的作用。仿真的功分喇叭的增益为 $13.47$  dB,而具有相同口径的普通角锥喇叭的增益为 $12.73$  dB,表明功分喇叭单独使用时,由于改善了口径上的电磁场分布,可获得比同等口径的普通喇叭天线有更高的增益。

\* 收稿日期:2010-01-25; 修订日期:2010-08-30

基金项目:国家自然科学基金项目(60971052)

作者简介:谢泽明(1963—),男,副教授,从事电磁场与微波技术的研究; eezmxie@scut.edu.cn。

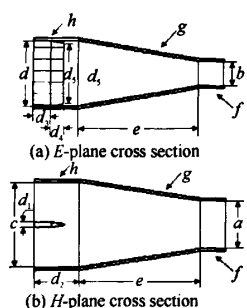


Fig. 1 Structure of power dividing horn

图 1 功分喇叭结构图

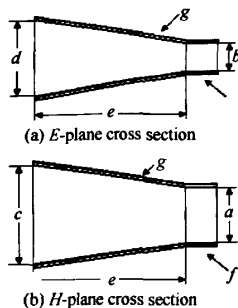


Fig. 2 Structure of pyramidal horn

图 2 角锥喇叭结构图

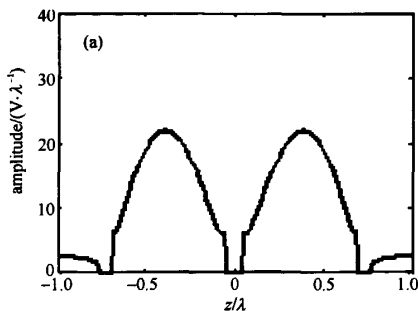
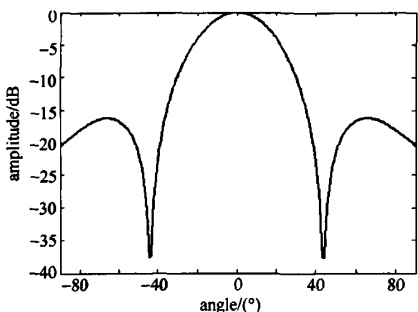
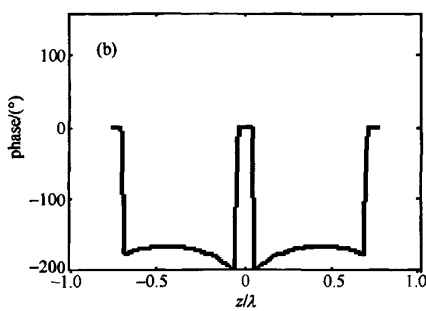
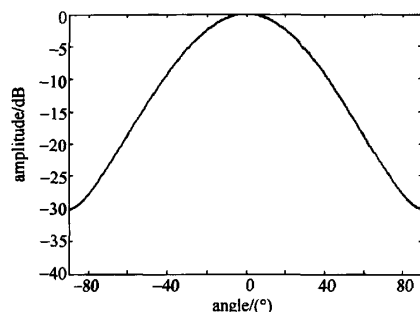


Fig. 3 Aperture field of power dividing horn

图 3 功分喇叭 H 面口面场



(a) power dividing horn



(b) pyramidal horn

Fig. 4 H-plane normalized radiation patterns

图 4 H 面归一化方向图

图 5(a)给出了用 CST 仿真的  $d_5$  对功分喇叭驻波比的影响,图 5(b)给出了  $d_5$  对 H 面方向性图的零点深度的影响。由图 5 可见,在工作频带内喇叭的驻波比基本上是随着  $d_5$  的减小而减小的,但是零点的深度随着  $d_5$  的减少而变浅。作为折中选择,我们采用  $d_5 = 1.083\lambda$ ,可以保证功分喇叭的驻波比小于 1.2,而此时功分喇叭阵列的压制栅瓣效果也比较好,满足应用要求。这时驻波比小于 1.2 的相对带宽大于 10%。

优化设计后的功分喇叭的设计尺寸如下:波导宽边  $a = 0.794\lambda$ ;波导窄边  $b = 0.397\lambda$ ;喇叭 H 面口径  $c = 1.417\lambda$ ;喇叭 E 面口径  $d = 1.167\lambda$ ;喇叭体长度  $e = 2\lambda$ 。赋形金属劈的形状和渐变程度尺寸如下: $d_1 = 0.083\lambda$ ,  $d_2 = 0.750\lambda$ ,  $d_3 = 0.292\lambda$ ,  $d_4 = 0.208\lambda$ ,  $d_5 = 1.083\lambda$ 。

利用 FEKO 仿真功分喇叭内部的电场,我们发现在功分喇叭口面上靠近宽边的 1/4 和 3/4 长度处的电场最大,功分喇叭的输入功率必须保证以上最大位置上的场强不能超过空气的击穿场强。通过 FEKO 仿真计算不同输入功率下的最大场强,可以得出功分喇叭的功率容量为 2 684.6 W。

## 2 功分喇叭阵列

功分喇叭紧靠天线沿波导馈线的宽边方向排成线形阵列,喇叭的壁厚刚好为中间赋形金属劈厚度  $d_1$  的一半。这时阵元间距为  $1.5\lambda$ 。微波信号从波导馈线输入,通过角锥喇叭体渐变过渡到功率分配器,利用角锥喇叭

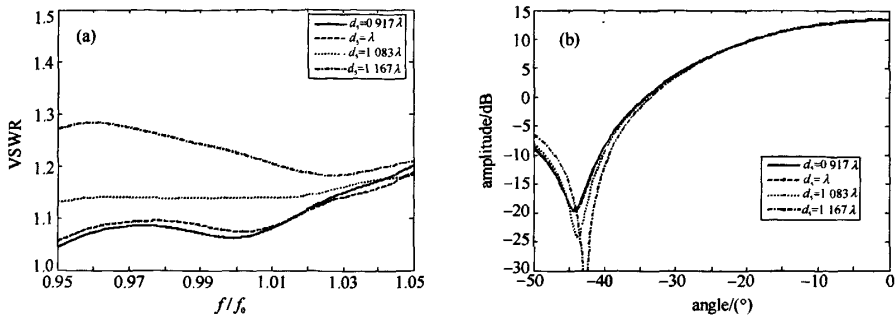


Fig. 5 Relation between  $d_s$  and the performance of the antenna

图 5  $d_s$  与天线性能的关系

叭体过渡的目的是减少功率的反射,提高效率。在功率分配器中,赋形金属尖劈把信号平均分成两路。当功分喇叭紧靠波导馈线的宽边方向排成线阵的时候, $N$ 个间距为 $d$ 的余弦分布口面场等效于 $2N$ 个间距为 $d/2$ 的余弦分布口面场,通过功分喇叭的功率分配,等效于阵元间距缩小为原来的 $1/2$ ,因此,当功分喇叭阵列的阵元间距超过1个波长时,阵列方向图也可以不出现栅瓣,从而不会产生不必要的辐射,并且保持了较高的天线口径利用效率。用 CST 仿真的 16 元功分喇叭阵列和角锥喇叭阵列的  $H$  面归一化方向性图如图 6 所示。由方向性图相乘原理,阵列方向性图为单元的方向性图与阵因子的乘积,由于功分喇叭阵元方向性图中的零点正对于阵因子的栅瓣,功分喇叭阵列的方向性图中的栅瓣被压制。

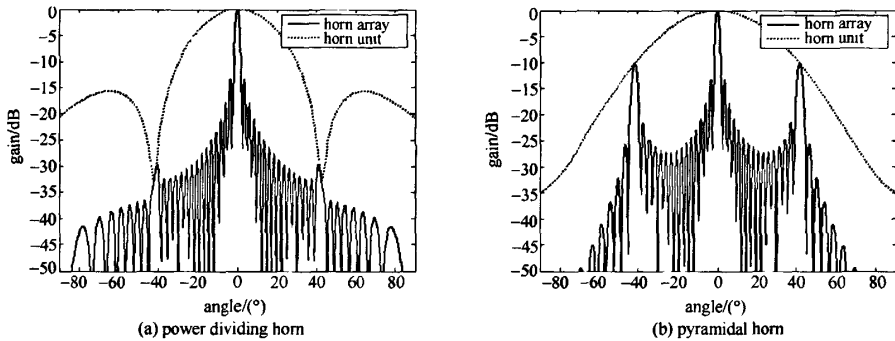


Fig. 6 H-plane normalized radiation patterns

图 6  $H$  面归一化方向性图

3 用于抛物柱面空间功率合成天线的功分喇叭阵列

如图 7 所示,16 路的微波信号馈入功分喇叭阵列,电磁波由喇叭阵列向外辐射,遇到抛物柱面反射板反射后在自由空间中实现功率合成。其中, $F$  为抛物柱面的焦距, $H$  为抛物柱面的高度, $T$  为抛物柱面的投影宽度,喇叭馈源的口径法线指向角度为  $\Psi_m$ ,即抛物柱面的夹角  $\Psi$  的角平分线方向,为了防止抛物柱面反射的电磁波对馈源阵列的影响,我们采用的偏馈形式。

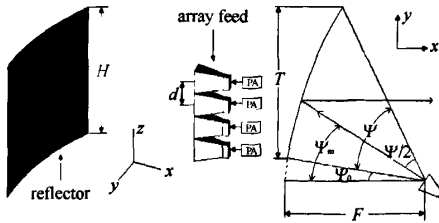


Fig. 7 Parabolic cylindrical antenna with power dividing horn array

图 7 功分喇叭阵列馈源形式的抛物柱面天线

抛物柱面反射板的尺寸为: $H = 25.25\lambda$ ,  $T = 13.342\lambda$ ,  $F = 12.5\lambda$ ,  $\Psi_0 = 5^\circ$ ,  $\Psi = 55^\circ$ ,  $\Psi_m = 32.5^\circ$ 。

用 FEKO 仿真功分喇叭阵列和角锥喇叭阵列作为馈源的抛物柱面反射天线,对抛物柱面天线采用物理光学方法进行分析,可以得到图 8 的结果。

通过仿真可以得出,16 路功分喇叭馈源偏馈抛物柱面空间功率合成天线的增益为 35.3 dB,与其同口径的 16 路普通角锥喇叭馈源偏馈抛物柱面空间功率合成天线的增益为 34.6 dB。可见,采用功分喇叭阵列作为馈源的天线增益更高。功分喇叭阵列馈源偏馈抛物柱面天线的口面利用效率为 80%,而普通角锥喇叭馈源偏馈

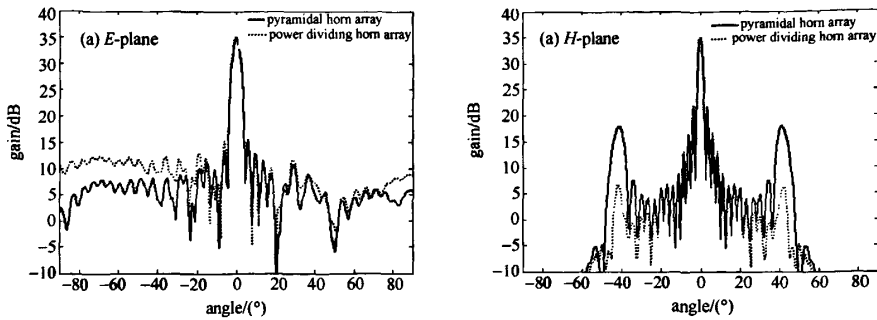


Fig. 8 Radiation patterns of the spatial power combining antenna

图 8 空间功率合成天线的方向图

抛物柱面天线的口径利用效率仅为 68%。而且普通角锥喇叭馈源偏馈抛物柱面天线出现较大的栅瓣,而功分喇叭馈源偏馈抛物柱面空间功率合成天线没有出现栅瓣。

#### 4 结 论

本文提出了用于空间功率合成的功分喇叭天线及阵列,研究了功分喇叭的口面场分布及其阵列的栅瓣压制原理。功分喇叭单独使用时,由于改善了口径上的电磁场分布,可获得比同等口径的普通喇叭天线有更高的增益,功分喇叭天线阵列在加大天线阵列尺寸时避免出现栅瓣,有效地加大空间功率合成天线的口径,提高空间功率合成天线的增益,提高功率合成的效率。并给出了功分喇叭应用在空间功率合成天线的具体实例,仿真结果表明,功分喇叭能改善抛物柱面空间功率合成天线的口径利用效率。

#### 参考文献:

- [1] 章宇兵,张浩,廖桂生. 任意分散布阵短波通信干扰机空间功率合成技术[J]. 西安电子科技大学学报, 2006, 33(1): 150-155. (Zhang Yubing, Zhang Hao, Liao Guisheng. A technology of spatial power-combination for the random decentralized jammer array. *Journal of Xi'an University of Electronic Science and Technology*, 2006, 33(1): 150-155)
- [2] Alexanian A, York R A. Broadband spatially combined amplifier array using tapered slot transitions in waveguide[J]. *Microwave and Guided Wave Letters*, 1997, 7(2): 42-44.
- [3] 宋开军,樊勇. 基于波导的微波毫米波空间功率合成技术研究[D]. 电子科技大学, 2005. (Song Kaijun, Fan Yong. The researches on microwave and millimeter-wave spatial power-combining technology based on waveguide. University of Electronic Science and Technology of China, 2005)
- [4] 赵荣,侯德亭,郭杰,等. 高功率微波空间功率合成方法研究[J]. 信息工程大学学报, 2007, 8(4): 443-445. (Zhao Rong, Hou Deting, Guo Jie, et al. Analysis of HPM spatial power combining methods. *Journal of Information Engineering University*, 2007, 8(4): 443-445)
- [5] 张嘉焱,舒挺,袁成卫. 高功率微波空间功率合成的初步研究[J]. 强激光与粒子束, 2007, 19(6): 915-918. (Zhang Jiayan, Shu Ting, Yuan Chengwei. Primary study on spatial powers combining of parallel and intersectant beams of high power microwave. *High Power Laser and Particle Beams*, 2007, 19(6): 915-918)
- [6] 钟哲夫. 阵列馈源偏置抛物面天线合成高功率微波的研究[J]. 强激光与粒子束, 2003, 15(5): 467-470. (Zhong Zhefu. Generating high-power microwave with array feed offset paraboloid antenna. *High Power Laser and Particle Beams*, 2003, 15(5): 467-470)

### Power dividing horn array for parabolic cylindrical spatial power combining antenna

Xie Zeming, Zhang Rongxing, Xiong Shangshu

(School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** A power dividing horn for the offset parabolic cylindrical reflector antenna(OPCRA) is proposed. When the horns constitute an array, the grating lobes can be suppressed to  $-28$  dB because of the improved aperture field. Compared with the OPCRA using conventional pyramidal horn array feed, the aperture efficiency of the OPCRA fed with power dividing horn array, which is simulated by FEKO, is improved from 68% to 80%. And the gain of the OPCRA can also be increased by 0.7 dB.

**Key words:** spatial power combining; power dividing horn; pyramidal horn; offset parabolic cylindrical reflector antenna; aperture efficiency

## 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>