

# 一种新型超宽带低频小电尺寸天线的研究

何国瑜 王正鹏 李鹏程

(北京航空航天大学电子信息工程学院 北京 100083)

**摘要:**本文研究了一种渐变微带缝隙天线和 TEM 喇叭的混合天线,分析了这种天线的详细结构和设计方法。该混和天线在 100 MHz 到 3 200 MHz 的频率范围内驻波比小于 1.8,带宽达到 32:1。该天线在低频端小于 0.12 波长是一种点小尺寸天线,尺寸小,质量轻。在全频段内 E 面 H 面方向图等化,主瓣无分叉而且非常平滑。另外该混合天线还具有很低交叉极化和稳定的相位中心。是一种性能优良的超宽带天线,可以应用于紧缩场测试,电磁兼容测试,通信,电子对抗等需要高性能超宽带天线的领域。

**关键词:**SBH 天线; 超宽带天线; 微带天线; TEM 喇叭

中图分类号: TN82 文献标识码: A

## Research of novel UWB low frequency small-sized antenna

He Guoyu Wang Zhengpeng Li Pengcheng

(School of Electronic and Information, Beihang University, Beijing 100083)

**Abstract:** A novel antenna combined with tapered slot antenna and TEM horn is investigated. We analyze the construct of this antenna and give a designed method. The VSWR of this hybrid antenna is less than 1.8 when working in frequency ranging between 100 MHz and 3 200 MHz, and the bandwidth is more than 32:1. The antenna turns out to be a small size antenna with very light weight in occasions when wavelength is less than 0.12 below 100 MHz. The E plane and H plane of this antenna is almost sameness in the whole band, and the main beam of the antenna is smoothness and has no split exists. And the antenna also has very low cross-polarization and stable phase center. As an advanced ultra wide antenna, it can be used as a feed in compact antenna test range, the feed of EMC test and communication or electronic rivalry fields.

**Keywords:** SBH antenna; UWB antenna; microwave antenna; TEM horn

## 0 引言

近年来,随着隐身技术的飞速发展,无论从隐身还是反隐身角度讲,隐身目标的探测都是必须发展的关键技术。紧缩场作为室内目标 RCS 和天线测试系统,其重要性不言而喻,目前北航紧缩场测试范围已经可以达到 2~300 GHz,为了更好地检测目标在低频接近米波波段的电磁散射特性,紧缩场在低频端的测试范围还应当进一步的展宽。为了进一步降低紧缩场应用的下边频,首先应当有满足紧缩场测试要求的低频馈源,本文设计实现了一种超宽带,低频紧缩场馈源。该馈源天线不同于以往用作紧缩场馈源的喇叭天线,它结合了两种目前比较热门的超宽带天线,一种是渐变微带缝隙天线,一种是 TEM 喇叭,利用渐变微带缝隙天线为 TEM 喇叭馈电。该天线具有超宽带(0.1~3.2 GHz),低驻波比、低交叉极化、单主瓣、全频段内 E 面 H 面等化、体积小、质量轻等优良的性能,能够满足紧缩场对低频馈源的要求。同时,作为一种具有较高电气

性能的超宽带天线,该类天线还可以应用到通信、电子对抗、脉冲雷达等需要高性能超宽带天线的领域。

## 1 天线的结构

天线的主要结构分为 2 部分:一部分是渐变微带缝隙天线,另一部分是 TEM 喇叭,如图 1 所示。TEM 喇叭插入渐变微带缝隙天线中,在两天线相接处采用高温焊锡点焊成形,最后用低温焊锡骑缝焊匀。其中渐变微带缝隙天线本身也是一种超宽带天线,目前可以在超过 5:1 的带宽范围内做到驻波比小于 2<sup>[1-2]</sup>,本文引入渐变微带缝隙天线主要是为 TEM 喇叭馈电,解决 TEM 喇叭的超宽带馈电问题,在实际应用中发现,加入 TEM 喇叭可以进一步的减小渐变微带缝隙天线的驻波并且展宽原来渐变微带缝隙天线的频带,并且整个天线的带宽与加入 TEM 喇叭的高度有关。

渐变微带缝隙天线的结构如图 2 所示。

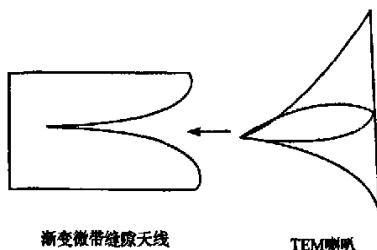


图1 混合天线的构成

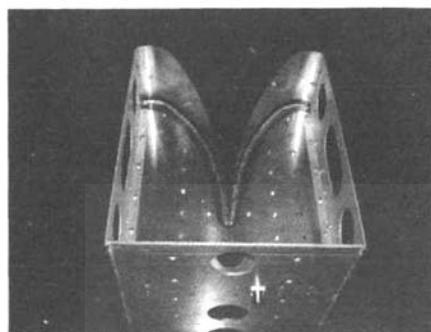


图3 实际天线结构图

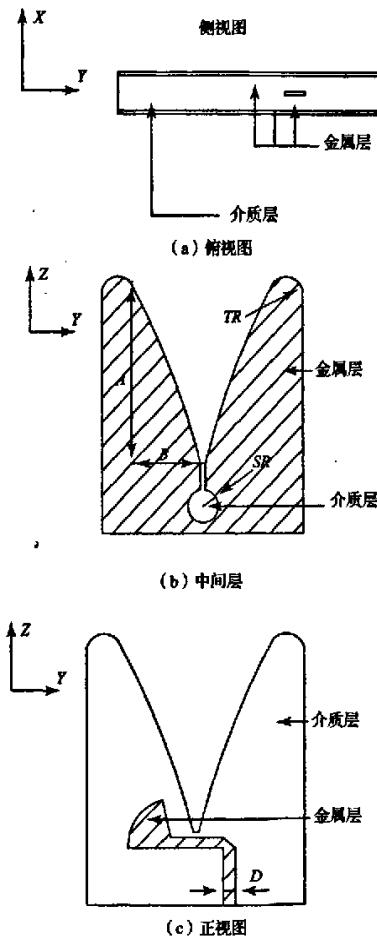


图2 渐变微带缝隙天线结构图

A 为指数线的长度, B 为指数线的宽度, TR 为指数线终端过渡圆弧的半径, D 为带状线的宽度, SR 为槽线开路圆的半径。

整个天线的实物照片如图 3 所示。

在渐变微带缝隙天线和 TEM 喇叭的基础上加入侧板和后板, 接头等辅助结构, 天线总长度 350 mm, 宽 300 mm, 高 240 mm。

## 2 天线性能分析

渐变微带缝隙天线由槽线逐渐张开构成, 而槽线是一种电流在两个导电层上对称的平衡馈电结构, 要与同轴线、微带线或带状线等非平衡馈电结构相接时需要用到由不平衡馈电到平衡馈电的过渡巴伦结构。带状线到槽线的过渡巴伦结构主要分为 2 类: 一类是 Marchand 巴伦及其各种改进型, 当它用于 Vivaldi 天线时, 能够在 8 倍频程内达到驻波比小于 2; 另一类是双 Y 型巴伦, 双 Y 型巴伦可以在 10 倍频程内驻波小于 1.5<sup>[4]</sup>。从性能上看双 Y 型巴伦的性能更好, 但是从制造上来说, 双 Y 型巴伦对加工精度的要求很高, 加工误差会带来电气性能的急剧变坏, 本文采用 Marchand 巴伦结构的改进型如图 2 所示。

加入 TEM 喇叭构成的混合天线比单独的渐变微带缝隙天线的驻波特性有明显的改善, 在 0.1 GHz 到 3.2 GHz 频率范围内驻波小于 1.8, 在设计过程中还发现, 混合天线比渐变微带缝隙天线的驻波改善程度与 TEM 喇叭的高度有关, TEM 喇叭由零逐渐增大时混合天线的驻波性能持续变好, 但是当 TEM 喇叭的高度跟渐变微带缝隙天线的开口大小一致后继续增大效果则对整个混合天线驻波影响不再明显。设计测试的混合天线的驻波特性如图 4 所示, 测试结果与仿真结果基本吻合, 并且在高频段表现出测试结果好于仿真结果的现象, 主要原因是介质板的损耗没有记入仿真模型, 实际介质板存在损耗, 导致高频段的回损变小。

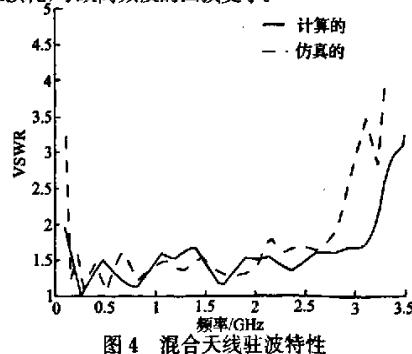


图4 混合天线驻波特性

Alert Lai 等人在文章中提到的渐变微带缝隙天线和领结天线的混合天线张角与 10 dB 波束宽度有较明显对应关系<sup>[3]</sup>,但是,这个前提是混合天线的轴长在 2 个波长以上,在低频段这样的天线无法实际应用,必须将天线设计为电小尺寸,而电小尺寸的天线和电大尺寸的同类天线不同,张角过大或过小均导致方向图在全频段内的剧烈变化。主要原因是电尺寸较小导致边缘场较强,口面场分布不均匀且随频率有较大变化,因此方向图变化比较剧烈。在设计过程中采用指数渐变 TEM 喇叭的特性阻抗计算公式<sup>[4]</sup>,整个 TEM 喇叭的结构示意图如图 5 所示,  $d(y)$  表示 TEM 喇叭两金属面之间张开的距离,  $W(y)$  表示金属面的宽度,  $Z(y)$  为 TEM 喇叭的特性阻抗,  $\delta$  为面张角,  $\beta$  为口张角。

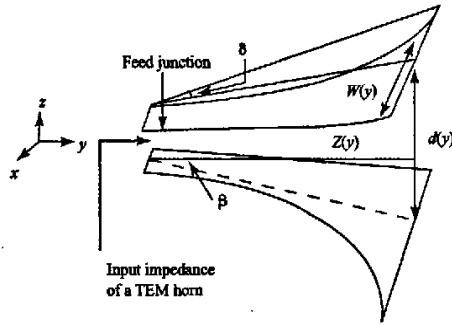


图 5 TEM 喇叭结构示意图

TEM 喇叭的特性阻抗和尺寸之间的关系可由式(1)~(3)表示。

$$Z(y) = Z_0 e^{\alpha y} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1}{L} \ln \left( \frac{Z_L}{Z_0} \right) \quad (2)$$

$$Z(y) = \frac{d(y)}{w(y)} \times 377 \quad (3)$$

结合  $\delta$  和  $\beta$  近似相等以及  $W(y)$ ,  $d(y)$  和  $y$  之间的几何关系可确定 TEM 喇叭的几何尺寸。

天线的实测和仿真的方向图如图 6~11 所示。

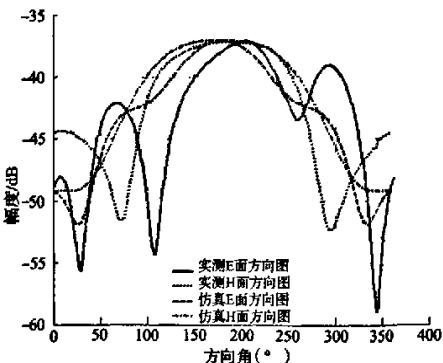


图 6 0.5 GHz 仿真实测天线方向图对比

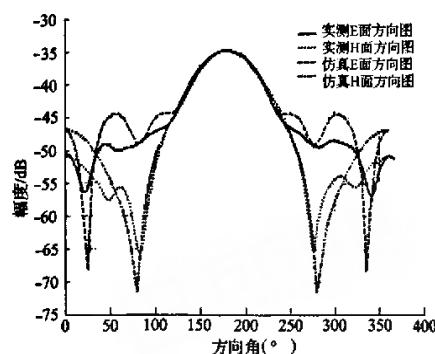


图 7 1.0 GHz 仿真实测天线方向图对比

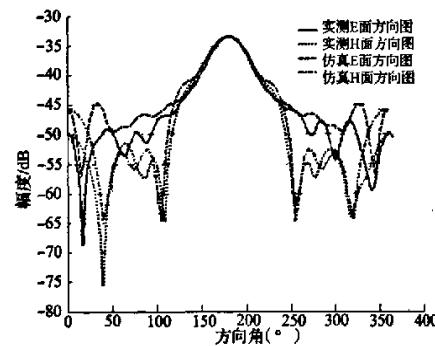


图 8 1.5 GHz 仿真实测天线方向图对比

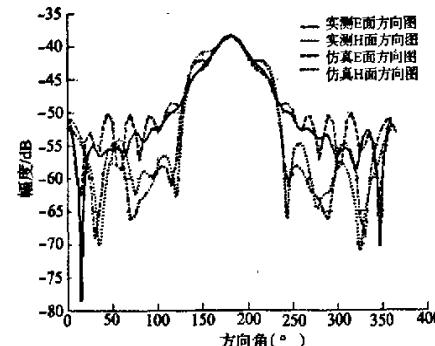


图 9 2.0 GHz 仿真实测天线方向图对比

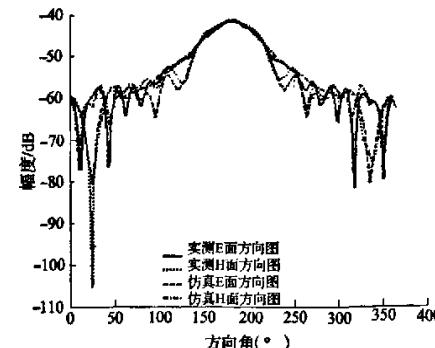


图 10 2.5 GHz 仿真实测天线方向图对比

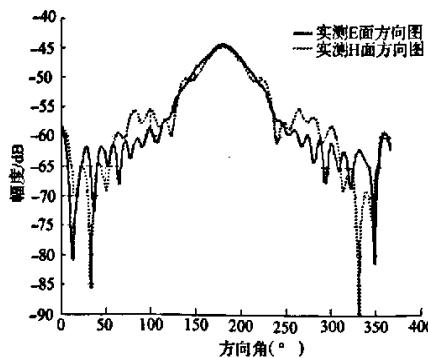


图 11 3.0 GHz 仿真实测天线方向图对比

由仿真和实测的结果发现,该混合天线的方向图主瓣没有分叉现象并且很平滑,没有抖动现象,在全频段内 E 面和 H 面方向图基本等化,随频率升高波束有变窄的现象但是变化相对平缓,在低频段 0.5 GHz 时仿真和实测结果有较大差别,目前考虑主要原因是测试暗室应用频率一般高于 2 GHz,低频段吸波材料吸波特性变坏导致的。混合天线在低于 0.3 GHz 时增益进一步降低至小于 2 dB,近似于全向天线。由于该天线具有关于 E 面完全对称,关于 H 面基本对称的结构特点,因此具有很低的交叉极化,全频段内均在 30 dB 以下。另外,该天线具有稳定的相位中心。

### 3 结 论

本文介绍了一种新型低频小电尺寸的超宽带天线,该天线由渐变微带缝隙天线和 TEM 喇叭组成,它能够在尺寸小于十分之一波长的情况下驻波比小于 1.8,提供大于三十倍的阻抗带宽,在超宽带内提供单一主瓣,E 面 H 面对称并且主瓣非常平滑的主瓣方向图。另外还具有低交叉极化,向为中心稳定等优点。该超宽带天线的设计初衷是作为紧缩场馈源,由于该天线具有优良的电气性能也可以应用于通信,电子对抗等领域,并根据各自实际需要做出进一步的改进设计。

### 参 考 文 献

- [1] KRAGALOTT M, PICKLES W R, Kluskens M S. Design of a 5 : 1 bandwidth stripline notch array from FDTD analysis [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2000, 48(11):1733-1741.
- [2] JOON S, SCHAUERT D H. A parameter study of stripline-fed vivaldi notch-antenna arrays [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1999, 47(5):879-886.
- [3] LAI A Y, SINOPOLI A L, BURNSIDE W D. A Novel Antenna for ultra-wide-band applications [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1992, 40(7):755-760.
- [4] CHUNG K, PYUN S, CHOI J. Desing of an ultrawide-band TEM horn antenna with a microstrip-type balun [J]. Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53, (10):3410-3413.
- [5] YNGVESSON K S, KORZENIOWSKI T L, KIM Y. The tapered slot antennas [J]. IEEE Trans on Microwave Theory and Tech, 1995, AP43:365-374.
- [6] 徐勤.一种宽频带微带天线的设计[J].雷达与对抗, 2004(2):38-41.
- [7] 王宏建,高本庆,刘瑞祥.槽线及平面宽带天线的全波分析[J].北京理工大学学报,2001,21(3):353-356.
- [8] KRAUS J D, MARHEFKA R J. 天线[M]. 章文勋,译. 北京:电子工业出版社.



### 作 者 简 介

王正鹏,北京航空航天大学硕士研究生,主要研究方向为超宽带天线、电磁计算。  
E-mail: bee1030@163.com

## 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，一直致力于专注于微波、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>