

文章编号 1005-0388(2004)05-0586-05

# 柱面共形蝶形微带天线的阻抗特性 和方向图研究<sup>\*</sup>

牛俊伟 钟顺时

(上海大学通信与信息工程学院 niujunwei@163.com 上海 200072)

**摘要** 研究了小曲率半径有限长度圆柱体上共形蝶形微带天线的阻抗特性和方向图。给出了不同曲率半径下的柱面共形蝶形微带天线反射损失和方向图的仿真结果。实际制作和测试了柱面共形微带天线的单元和二元阵列天线,仿真结果与实测结果比较吻合。研究表明:当圆柱半径较小时,不但方向图改变,而且谐振频率下降、阻抗带宽明显减小;当圆柱长度缩短时,方向图的起伏增大。

**关键词** 柱面共形天线,蝶形微带天线,方向图,反射损失

中图分类号 TN822 文献标识码 A

## Impedance characteristics and radiation patterns of conformal cylindrical bow-tie microstrip antennas

NIU Jun-wei ZHONG Shun-shi

(School of Communication and Information Engineering,  
Shanghai University, niujunwei@163.com, Shanghai 200072, China)

**Abstract** The impedance characteristics and radiation patterns of conformal bow-tie microstrip antennas on a cylinder with small curvature radius and finite length were studied, and the simulation results of reflection loss and radiation patterns of the antennas with different curvature radius were presented. Then, a one-element antenna and a two-element array were constructed, and their reflection loss and radiation patterns were measured, respectively. It has been shown that the simulation results are good agreement with the measured data. It can be found that as the radius of cylinder became small, the radiation pattern produced a great change, the resonant frequency decreased and the impedance bandwidth reduced. Furthermore, the oscillation of radiation pattern increased as the length of cylinder was decreased.

**Key words** conformal cylindrical antenna, bow-tie microstrip antenna, radiation pattern, reflection loss

## 1 引言

与载体表面相共形的共形微带天线具有良好的空气动力学特性,特别适合于高速飞行器和汽车等载体的应用,已引起广泛的关注。由于其结构的复

杂性,共形微带天线的分析难度较大,多采用近似方法,有的甚至不考虑载体表面曲率对天线阵单元的影响,即认为天线单元所在的局部表面是平面,只计入曲面上阵因子与平面时的不同。但是,当天线所在表面的曲率半径较小时,对天线单元的上述平面

\* 收稿日期 2003-08-11.

基金项目 国防科技重点实验室基金(No.00JS07.6.1QT0605)

近似处理就不再适用。同时对圆柱面共形微带天线,一般在圆柱体为无限长的前提下进行分析,而实际应用中,微带天线所在的圆柱体的长度总是有限的。因此,小曲率半径且有限长的圆柱体上的共形微带天线的研究是很有实用意义的。

已有很多研究致力于分析共形微带天线的方向图<sup>[1~3]</sup>,但对柱面微带天线的阻抗特性和带宽研究较少<sup>[4]</sup>,实现柱面微带天线的宽带工作是一个很有挑战性的课题。本文选取频带较宽的蝶形微带天线<sup>[5~7]</sup>,研究其在小曲率半径有限长度圆柱面上的特性。首先基于较严格的全波分析法对天线性能进行仿真,然后给出柱面共形蝶形微带天线和两单元柱面共形蝶形微带天线阵阻抗和方向图的实测结果和结论。

## 2 天线结构与仿真结果

蝶形微带天线贴片的几何关系如图1所示,采用薄PTFE基片( $\epsilon_r=2.78$ , $h=0.8\text{mm}$ )。将天线板环绕在曲率半径为 $R$ ,长为 $L$ 的金属圆柱体上,如图2所示,其中(a)和(b)分别是单元和阵列的结构。利用 $50\Omega$ 同轴线在圆柱体的边缘与微带馈线相连接,对蝶形微带天线馈电。单元天线的坐标原点和二元阵的坐标原点均在圆柱中心线上,与圆柱下底面的距离为 $L_1$ 。

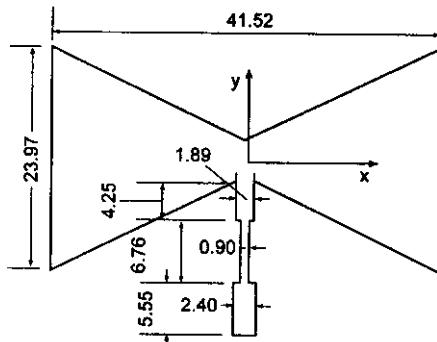


图1 蝶形微带天线(单位 mm)

使用Ansoft HFSS 8.0<sup>TM</sup>对上述共形天线进行了仿真计算,其分析基于有限元法。首先研究小曲率半径对柱面共形蝶形微带天线反射损失的影响。令贴片沿圆周方向对圆柱中心的张角为 $\alpha$ ,对给定的贴片尺寸,圆柱曲率半径越小,则 $\alpha$ 角越大。分别计算了 $\alpha=62.4^\circ$ , $\alpha=83.3^\circ$ 和 $\alpha=124.9^\circ$ 的情况,结果如图3所示。可以看到,天线的谐振频率随圆柱半径的减小而下降,分别为9.8.7和8.5GHz。而且天线-10dB反射损失带宽受圆柱曲率半径的影响较大,分别为0.46、0.41和0.17GHz,与平面蝶形

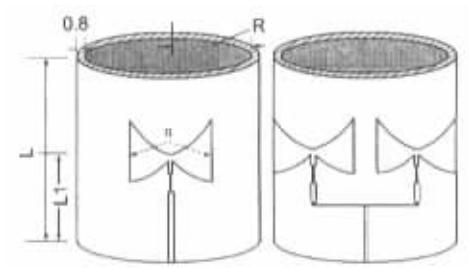


图2 柱面蝶形微带天线(单位 mm)

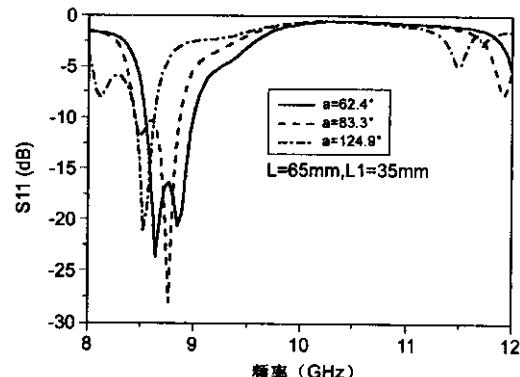


图3 不同曲率半径单元的反射损失

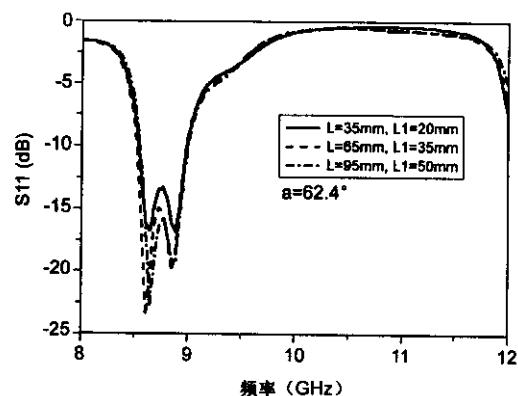
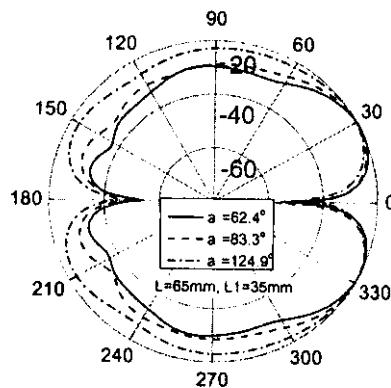


图4 不同圆柱长度单元的反射损失

微带天线相比,带宽有所减小。以上结果说明柱面对微带天线的谐振频率和阻抗带宽都有一定的影响。如图4所示,计算了不同的圆柱体长度时天线的反射损失,可以看到柱体长短对天线的输入阻抗影响较小。图5和图6中给出了相应的方向图,其中坐标系的规定和图2相同,方向图中角度分量为 $\theta$ , $\theta=0^\circ$ 的方向为 $z$ 轴正方向。考虑到文章的篇幅限制,以图5(a)为例,对方向图特性讨论如下。归一化方向图关于 $\theta=0^\circ$ 所在直线对称,下面只给出 $0^\circ$ 到 $180^\circ$ 区间的情况。当 $\alpha=62.4^\circ$ , $\alpha=83.3^\circ$ 和 $\alpha=124.9^\circ$ 时,其最大值分别出现在 $26^\circ$ 、 $30^\circ$ 和 $33^\circ$ 方

向。最小值都出现在 $0^\circ$ 和 $180^\circ$ 方向,大小约为 $-30\text{dB}$ 。在 $30^\circ$ 到 $150^\circ$ 区间,上述三种情况所对应的方向图最大起伏分别是 $-16.5$ , $-14.1$ 和 $-6.4\text{dB}$ 。

可见,柱体曲率半径越小,方向图的起伏越小。通过对图6进行类似的分析,可知柱体越短,方向图的起伏越大。



(a) XZ 面

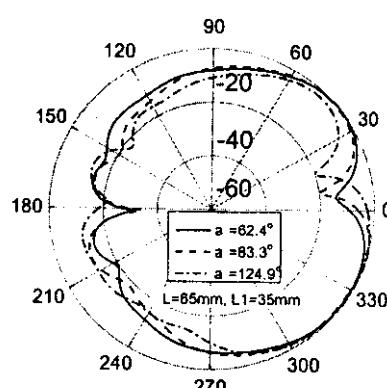
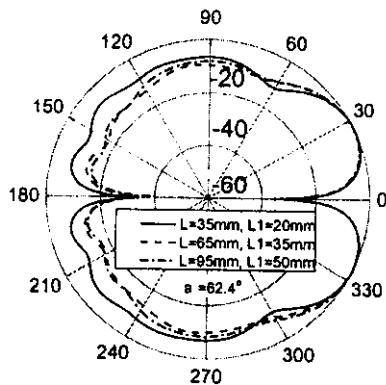


图5 不同曲率半径方向图仿真结果



(a) XZ 面

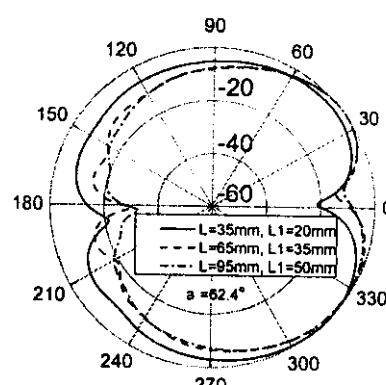
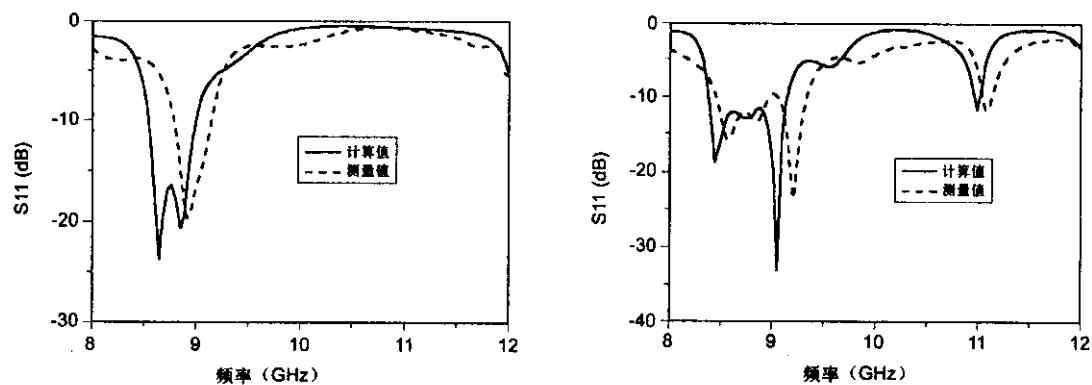


图6 不同柱体长度方向图仿真结果

### 3 实验结果

实际加工制作了 $\alpha = 62.4^\circ$ ( $R = 38.1\text{mm}$ )时柱面共形蝶形微带天线单元,并采用微带线并馈的形式加工了二元柱面共形蝶形微带天线阵。采用Agilent 8722ES矢量网络分析仪对天线的阻抗特性进行了测量,结果如图7所示。天线的阻抗带宽仍较

宽。例如,对单元情况,实测的 $-10\text{dB}$ 反射损失带宽约为 $0.33\text{GHz}$ ,即 $3.7\%$ 。已在微波暗室中测量了天线的方向图,工作频率为 $9\text{GHz}$ ,实验测试的中心轴为圆柱体的中心轴,测量结果在图8中给出。可见,对于小曲率半径柱面,无论单元或阵列,在天线背向都有辐射。因此,易于形成全向方向图。



( a )单元 ( b )阵列

图 7 反射损失的仿真和测量结果

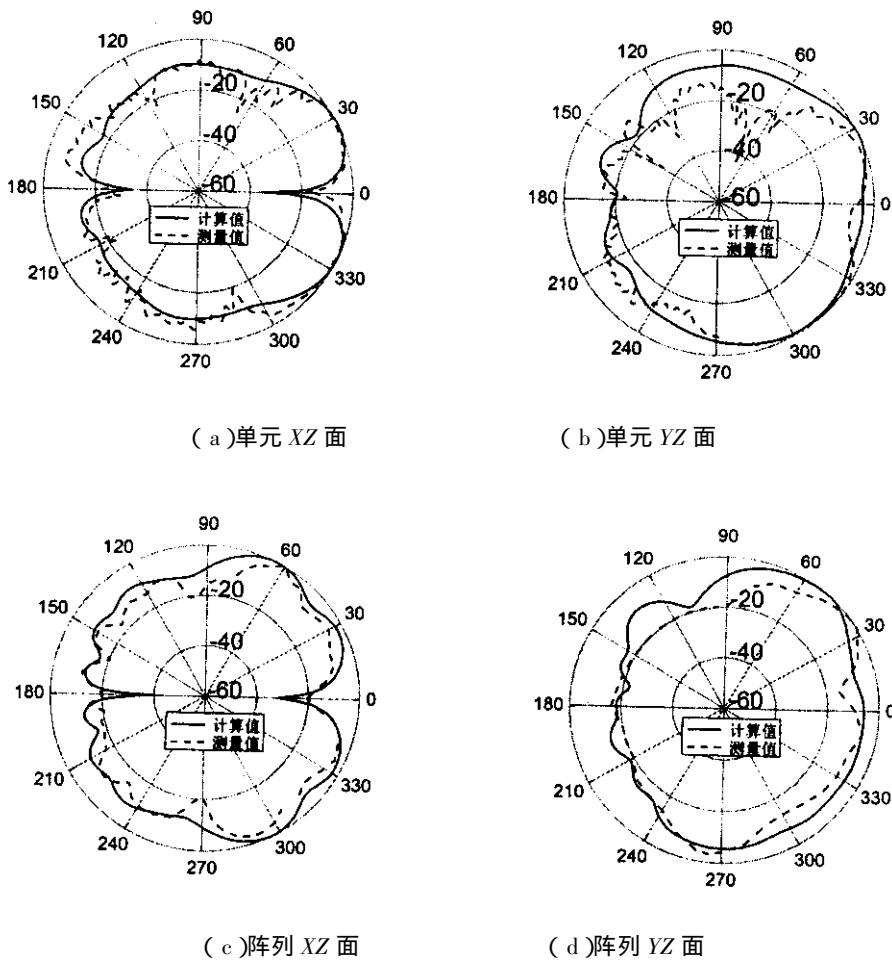


图 8 方向图的仿真和测量结果

可以看出,仿真结果与测量结果吻合良好。计算谐振频率与测量值有小的偏移,但反射损失的变化规律基本一致。方向图的仿真结果和实验结果有一些差异但也大致吻合。造成误差的原因主要有以下几个方面:首先是小曲率共形微带天线的加工过

程比较复杂,这是较难见到此类天线测量结果的原因。其次是在暗室测量时,对共形微带天线测量面的校准存在一定的误差,而且在较高的频率,天线受环境的影响较大。

## 4 结论

本文对小曲率半径有限长度金属圆柱体上的共形蝶形微带天线阻抗和方向图进行了仿真和实验研究。结果表明,大曲率圆柱面不仅会对天线的方向图造成强烈影响,而且会改变天线的输入阻抗特性,随曲率半径的减小,天线的谐振频率下降,阻抗带宽变窄。因此,要得到高性能的柱面微带天线,虽可基于平面微带天线的设计,但需有所不同。圆柱体的长度对天线阻抗带宽的影响不大,但减小长度会增大方向图的起伏。根据柱面的特点,如何利用大曲率形成特殊的方向图及获得较宽频带等问题,值得进一步研究。

## 参考文献

- [ 1 ] J Ashkenazy ,S Shtrikman and D Treves. Conformal microstrip arrays on cylinders[ J ]. IEE Proc Pt. H ,1988 ,135 :132 ~ 134.
- [ 2 ] N Burum and Z Sipus. Radiation pattern of spherical array of rectangular microstrip patches[ C ]. IEEE AP-S Int Symp Dig 2002 ,1 ,96 ~ 99.

- [ 3 ] C S Lee ,T-H. Hsieh ,and P-W. Chen. Electrically steerable cylindrical microstrip array antenna[ J ]. Microwave Opt Technol Lett 2003 ,36 :386 ~ 387.
- [ 4 ] K L Wong. Design of Nonplanar Microstrip Antennas and Transmission Lines[ M ]. Willey ,New York ,1999.
- [ 5 ] K W Loi ,S Uysal and M S Leong. Design of a wideband microstrip bowtie patch antenna[ J ]. IEE Proc Microw Antennas Propagat ,1998 ,145 :137 ~ 140.
- [ 6 ] S Uysal ,M S Leong and C H Ng. Bowtie patch antennas and simple arrays for wireless indoor communications [ J ]. IEEE Trans Microwave Theory Tech ,1999 ,47 :738 ~ 745.
- [ 7 ] 张需溥,钟顺时. 蝶形微带天线的全波分析与宽带设计[ J ]. 电波科学学报 2001 ,16( 4 ):419 ~ 421.  
X P Zhang ,S S Zhong. Full-wave analysis and broadband design of bow-tie microstrip amtnenn[ J ]. Chinese Journal of Radio Science 2001 ,16( 4 ):419 ~ 421.

牛俊伟 (1975-) ,男,河南人,上海大学博士生,主要研究兴趣为天线和微波电路等。

钟顺时 (1939-) ,男,浙江人,上海大学教授,博士生导师,主要研究兴趣为微带天线,智能天线和电磁场理论等。



## 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>