

图 6 测试天线频率间隔 10M 的方向图(b)

## 5 结论

本文根据星载卫星通信系统对天线的要求，对四臂螺旋天线进行了研究。在理论上对其辐射场进行了分析，并给出了用  $90^\circ$  自移相结构与无限巴伦相结合的馈电方式，大大简化了天线的结构。用 HFSS 软件对天线进行仿真，对天线的辐射特性进行了分析研究。并进行了实际的测量。结果表明：该天线具有十分优良的电性能，能很好的满足卫星定位通信的要求。

## 参考文献

- [1] C.C.Killgus Shaped-conical radiation pattern performance of the backfire quadrifilar helix[J]. IEEE Translation, 1975,2(23):392-397.
- [2] A.T. Adams, Rober K, C.Lumjiak. The quadrifilar helix antenna[J].IEEE Antenna and Propagation., 1974,4(44) :173—178.
- [3] J.M Tranquilla, S R Best. A study of the quadrifilar helix antenna for global position system application[J]. IEEE Trans ,1990,38:1545-1550.
- [4] C.Gerst and R.A. Worden, Helix antenna take turn for better[J].Electronics, 1996,2:100—110.
- [5] 吕海寰等著.卫星通信系统[M], 北京：人民邮电出版社出版, 1991:206—210.
- [6] 李布凯, 杨红俊. 现代小卫星系统与技术[J]. 电讯技术, 1997, 特刊 2: 1-7.
- [7] 林敏, 杨水根. 新型谐振式螺旋天线的设计[J]. 无线通信技术, 2000, 第 2 期: 42—45.
- [8] 李宗谦, 余京兆, 高葆新. 微波工程基础[M].北京：清华大学出版社出版, 2004 年, 102—122.

# 宽波束柱面共形毫米波微带天线的设计

王少永, 朱旗, 徐善驾

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系, 安徽 合肥, 230027)

**摘要:** 本文提出了一种利用保距变换设计宽波束圆柱共形毫米波微带天线的方法。利用保角变换设计了该天线的馈线。应用这两种方法设计了一个宽波束柱面共形毫米波微带天线单元, 以及一个由八个这种天线单元组成的线型天线阵列。与传统的微带天线和阵列相比, 该天线和阵列具有更大的波束宽度。ANSOFT HFSS 软件的模拟结果证明了该设计方法的正确性。

**关键词:** 毫米波, 微带天线, 保距变换, 保角变换, 宽波束, 特性阻抗

**中图分类号** TN823

**Design of Cylindrical Conformal Millimeter-Wave Microstrip Antennas with Broad Beamwidth**

WANG Shao-yong, ZHU Qi and XU Shan-jia

(Dept. of EEIS, Univ. of Sci. & Tech. of China, Hefei 230027, China)

**Abstract:** This paper describes the design of cylindrical conformal millimeter-wave microstrip antenna with broad beamwidth by means of isotropic transformation. In addition, conformal transformation is

utilized to design the microstrip feed line of the present conformal antenna. Finally, a single radiation element and an array of 8 elements have been designed. Compared to traditional microstrip antennas and arrays, present antennas and arrays possess broader beamwidth. Simulation results using ANSOFT HFSS prove the validity of the design method.

**Key words:** millimeter wave, microstrip antenna (MA), isotropic transformation (IT), conformal transformation (CT), broad beamwidth, characteristic impedance (CI)

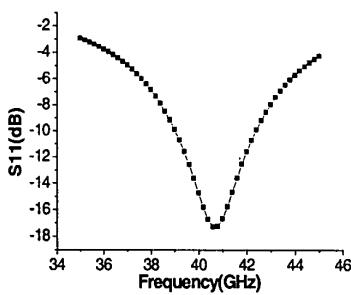
## 1. 引言

毫米波在许多诸如遥感、雷达以及通讯系统等领域变得日趋重要。而在飞机机体和导弹弹体上，考虑到飞行时动力方面的因素，需要用到共形天线。传统的微带天线通常具有外形低调、安装容易、重量轻以及与承载的母体在外形上拥有一致性等优点。然而，传统的微带天线是旁射天线，其 E 面和 H 面的辐射方向图的典型的 3dB 波束宽度分别是 100° 和 110°<sup>[1]</sup>。因此由工作模式仅仅是主模的传统微带天线构成的天线阵列很难实现大空间范围扫描。

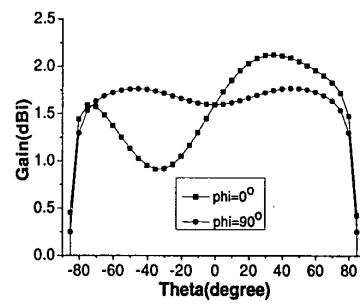
在以前的工作中设计了工作在 X 波段的宽波束微带天线。在本论文中，保距变换和保角变换被用来把平面宽波束天线及其馈线变换为柱面共形宽波束天线。保距变换和保角变换的应用大大地简化了天线结构的设计过程。

## 2. 平面宽波束毫米波天线的设计

首先，设计一个与[2]中讨论的天线具有类似结构的毫米波微带天线。图 1 所示的是该天线单元的匹配和辐射性能，从图中可以看到其 E 面和 H 面的 3dB 波束宽度均达到了 170°。



(a)



(b)

图. 1 宽波束天线单元的匹配与辐射性能  
(a) |S11|, (b) 该天线工作在 40.8GHz 时的辐射特性

## 3. 宽波束柱面共形毫米波天线设计

### 3.1 利用保距变换设计柱面共形微带辐射贴片

当设计好一个上面提及的平面结构的宽波束毫米波微带天线后，再利用保距变换<sup>[3]</sup>可将其变换为宽波束柱面共形毫米波微带天线。该共形天线的结构如图 2 所示。对于天线的辐射贴片，保距变换的公式是

$$\rho = a + h, \phi_0 = \frac{W}{2\rho}, z' = z \quad (1)$$

$$90 - \phi_0 \leq \phi \leq 90 + \phi_0$$

式中 h 是贴片与金属地之间介质的厚度。

同时，耦合孔和金属柱的尺寸以及它们相对于辐射贴片的位置仍然与平面结构的微带天线中相同，这样，两种结构的辐射单元和金属地之间的介质以及金属地与下层微带馈线之间的介质中就可以激励出相同的电磁场模式。

### 3.2 利用共形变换设计内柱面上的微带馈线

内柱面上的微带线结构的横截面如图 3 (a) 所示。该微带线的特性阻抗  $Z_0$  可以利用保角变换<sup>[4]</sup>计算。这里采用如下的变换公式

$$w = j \ln z + \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

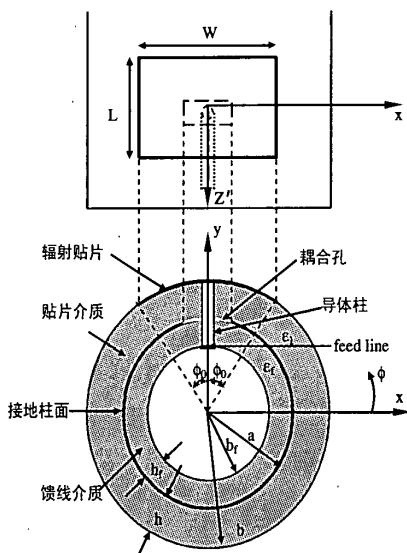


图 2 宽波束柱面共形毫米波微带天线的顶视图与截面图

利用公式(2)可将内柱面上的微带线变换为如图3(b)所示的平面微带线并计算其特性阻抗,这样便可以较容易的得到内柱面上的微带线的特想阻抗的计算公式:

$$\frac{2\phi}{\ln(a/b_f)} < 1$$

1) 当  $\frac{2\phi}{\ln(a/b_f)} < 1$  时,即微带线的宽度相对较窄时

$$Z_0 = \frac{376.687}{\pi\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \left\{ \ln\left[\frac{4}{\phi} \ln\left(\frac{a}{b_f}\right)\right] + \frac{1}{32} \left[ \frac{2\phi}{\ln(a/b_f)} \right]^2 \right\} \quad (3)$$

$$-\frac{1}{2} \left( \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \cdot \left( \ln\frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln\frac{4}{\pi} \right)^{-1}$$

$$\frac{2\phi}{\ln(a/b_f)} \geq 1$$

2) 当  $\frac{2\phi}{\ln(a/b_f)} \geq 1$  时,即微带线的宽度相对较宽时

$$Z_0 = \frac{376.687}{2\sqrt{\epsilon_r}} \left\{ \frac{\phi}{\ln(a/b_f)} + 0.441 + 0.082 \left( \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r^2} \right) + \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2\pi\epsilon_r} \right) \cdot \left[ 1.451 + \ln\left( \frac{\phi}{\ln(a/b_f)} + 0.94 \right) \right]^{-1} \right\} \quad (4)$$

最后,利用公式(3)或(4)计算出图3(a)中微带圆弧相对于圆心张开的角度  $2\phi$ 以设计出与上述平面结构的微带馈线具有相同特性阻抗的内柱面上的微带线。

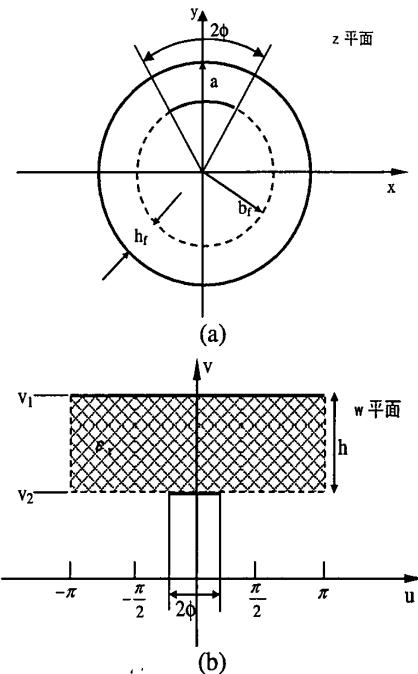
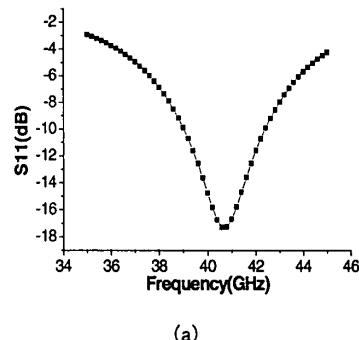
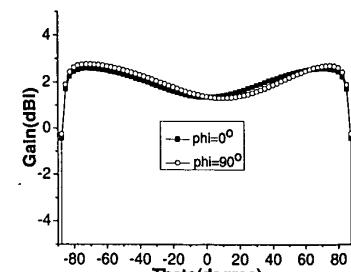


图 3 保距变换前后内柱面与平面微带馈线的横截面,(a) 内柱面上的微带线,(b) 平面微带线

图4给出了柱面共形毫米波天线单元的匹配和辐射性能,从图4(b)中可以看到其E面和H面的3dB波束宽度均达到了170°。



(a)

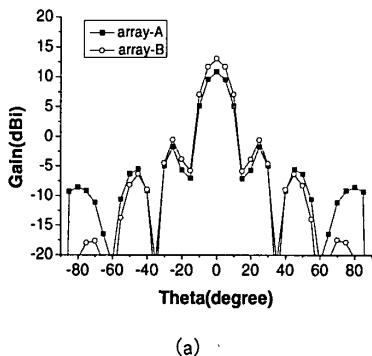


(b)

图 4 柱面共形毫米波天线单元的匹配和辐射性能  
(a)  $|S_{11}|$ , (b) 该天线工作 40.7GHz 时的辐射特性

#### 4. 共形毫米波阵列的设计

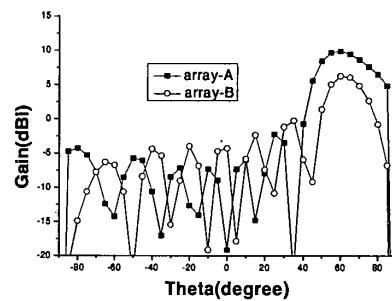
本文也设计了安装在接地导体柱面上的由八个上述宽波束共形天线单元组成的共形天线阵列A。为了与传统共形天线阵列相比较，这里也设计了由八个单层结构的共形微带天线单元组成的共形天线阵列B。这两个天线阵列具有相同的尺寸并且安装在具有同样半径的接地导体柱面上。图5给出了两个阵列的辐射特性。从图5(a)可以看到，当阵列的最大辐射方向指向 $\theta=0^\circ$ 方向时，由宽波束天线单元组成的天线阵列A具有 $15^\circ$ 的 $3\text{dB}$ 波束宽度，和 $10\text{dBi}$ 的增益；而由传统天线单元组成的天线阵列B具有 $11^\circ$ 的 $3\text{dB}$ 波束宽度和 $13\text{dBi}$ 的增益。然而，从图5(b)可以看到，当阵列的最大辐射方向指向 $\theta=60^\circ$ 方向时，由宽波束天线单元组成的天线阵列A的波束宽度增大到 $32^\circ$ ，其增益仍保持为 $10\text{dBi}$ ；而由传统天线单元组成的天线阵列B的 $3\text{dB}$ 波束宽度仅稍微增大到 $11^\circ$ ，其增益降低到 $6.2\text{dBi}$ 。



(a)

#### 参考文献

- [1] Ramash Garg, Prakash Bhartia, Inde,r Bahl, Apisak Ittipiboon. "Microstrip Antenna Design Handbook", Artech House, Boston London 2001, 532.
- [2] Zhu Qi, Bao Liang, "Design of microstrip antenna with broader bandwidth and beam", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 3A, July 2005, pp617- 620.
- [3] Shaoyong Wang, Qi Zhu, Shanjia Xu, "Design of Conformal Arrays with Series Feed on



(b)

图5 不同最大辐射方向情况下阵列A与阵列B的辐射方向图比较, (a)  $\theta=0^\circ$ , (b)  $\theta=60^\circ$

#### 5. 结论

本文给出了一种由多层介质、寄生单元和导体柱以及耦合孔构成的新型共形毫米波微带天线。文中利用保距变换和保角变换设计共形天线单元和阵列的辐射单元和馈线。软件模拟结果表明本文设计的天线单元和阵列具有比传统天线单元和阵列更宽的波束宽度。本文设计的天线单元和阵列的匹配和辐射特性证明了采用的保距变换和保角变换方法的正确性。

Cylindrical Conducting Surfaces", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 9-14, July 2006, pp1487- 1490.

- [4] Lingru Zeng, "A method of solving complicated boundary value problems with its application to coupled rods", Sczentia Sinica (series A), vol. 25, pp1099-1113, October, 1982.

**朱旗:** 中国科学技术大学电子工程与信息科学系, Email 地址 [zhuqi@ustc.edu.cn](mailto:zhuqi@ustc.edu.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>