

# 介质覆层对圆柱共形微带天线性能的影响研究\*

陈汉辉, 张智军, 郭 博, 王俊鸣

(空军工程大学工程学院, 西安 710038)

**摘要:**研究了圆柱共形微带天线加载介质层对天线性能的影响。首先采用互易定理分析了加载介质层后圆柱共形微带天线辐射特性,然后运用有限元法计算了天线的方向图,与文献结果进行了比较,验证了程序的有效性。最后,对不同介质覆层厚度和不同覆盖层介电常数下天线的散射参数和辐射方向图进行了仿真。结果表明,圆柱共形微带天线加载介质层后,天线的谐振频率产生了漂移而且阻抗带宽明显降低,介质层厚度对天线阻抗带宽的影响较大,而介电常数的影响相对较小。

**关键词:**互易定理;圆柱共形微带天线;有限元法

**中图分类号:**TN82    **文献标志码:**A

## Study on the Effect of the Dielectric Cladding on the Performance of Cylindrical Conformal Microstrip Antennas

CHEN Hanhui, ZHANG Zhijun, GUO Bo, WANG Junming

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

**Abstract:** The effect of the dielectric cladding on the performance of cylindrical conformal microstrip antennas was studied. Firstly, the radiation characteristic of cylindrical conformal microstrip antenna with dielectric cladding was analyzed by using reciprocity theorem. Then, the FEM was applied to calculate the radiation patterns of the antennas and the results were compared with the experimental results to verify the program validity. Finally, the scattering parameters and radiation patterns of the antennas with different values of the dielectric cladding thickness and dielectric constant were simulated. The calculated results show that the antennas have a resonance frequency drift and impedance bandwidth decrease after loading dielectric layer. The influence of the dielectric cladding thickness on impedance bandwidth is greater than that of the dielectric constant.

**Keywords:** reciprocity theorem; cylindrical conformal microstrip antenna; FEM

## 0 引言

近年来,共形微带天线一直是人们研究的热点。原因有:一方面,对于火箭和导弹等高速飞行器,传统的喇叭天线、抛物面天线、平面天线等不利于缩小系统体积,如果将天线设计为飞行器表面共形,可以减少系统体积,减小天线对飞行姿态的影响;另一方面,非平面阵列在某些方面的性能优于平面阵。

天线在实际的工程应用中,天线表面可能专门覆盖介质层,以保护天线。这些覆盖层会改变微带天线的某些特性,尤其是会使谐振频率产生

漂移,从而影响天线的性能<sup>[1~2]</sup>。因此,分析介质覆盖层对微带天线性能的影响在天线理论设计和实际应用方面都有现实的意义。对于介质覆盖层对微带天线的影响问题,很多国内外文献采用不同的方法研究了介质覆盖层对平面微带天线性能的影响<sup>[3~5]</sup>,而对于共形微带天线情况的研究比较缺乏。文中以圆柱共形微带天线为研究对象,首先对圆柱共形微带天线进行仿真,与文献结果进行比较,验证仿真程序的有效性,在此基础上研究加载介质覆盖层对圆柱共形微带天线性能影响并给出了数值结果。

\* 收稿日期:2008-05-26

基金项目:国家863高技术基金(2006A701408)资助

作者简介:张汉辉(1984-),男,福建泉州人,硕士研究生,研究方向:微波信号处理及工程应用。

## 1 加载介质层后圆柱共形微带天线辐射特性分析

文中所研究的圆柱共形微带天线由在一个金属圆柱上放置的矩形曲面贴片构成,其结构示意图如图 1(a) 所示。圆柱共形微带天线加载介质层后,可视为矩形微带贴片嵌在介电常数为  $\epsilon_1$  和介电常数为  $\epsilon_2$  的基片上,结构示意图如图 1(b) 所示。根据互易定理,假设源  $J_2$  为与圆柱共形的微带贴片上的电流,产生的场为  $E_2$ ,而源  $J_1$  为处于电场  $E_2$  内的一个理想的电偶极子,产生的场为  $E_1$ 。如果  $J_1$  的坐标为  $(x_0, y_0, z_0)$ ,则:

$$J_1 = IL\delta(x - x_0)(y - y_0)(z - z_0)\hat{u}$$

其中:  $IL\hat{u}$  是偶极子的磁矩,  $\hat{u}$  表示正切于偶极子的单位向量。可得<sup>[8]</sup>:

$$E_2(x_0, y_0, z_0) \cdot \hat{u} = \frac{1}{IL} \iint_{S_2} E_1 \cdot J_{S_2} dS' \quad (2)$$

其中:  $J_{S_2}$  表示贴片表面的电流密度,  $S_2$  表示微带天线贴片面积。在已知电流源  $J_{S_2}$  和偶极子场  $E_1$  的情况下,通过求解式(2)所示的面积分方程,可计算圆柱共形微带天线的远区辐射场。

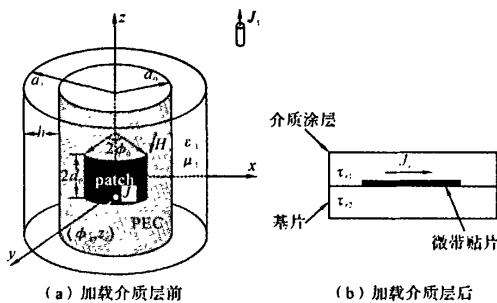


图 1 圆柱共形微带天线结构示意图

## 2 介质覆盖对共形微带天线性能影响仿真分析

### 2.1 加载介质层前仿真结果

采用同轴线对柱面微带天线单元馈电,有以下优点:首先,馈电点可选在贴片内任何所需的位置,便于匹配;其次,同轴电缆位于天线接地平面下方,避免了对天线辐射的影响,所以文中采用同轴线馈电。利用矢量有限元法对图 1 所示的天线进行仿真,其参数为  $a_0 = 50\text{mm}$ ,  $h = 0.795\text{mm}$ ,  $\epsilon_1 = 2.32\epsilon_0$ ,  $\mu_1 = \mu_0$ ,  $d_0 = 15\text{mm}$ ,  $2a_1\varphi_0 = 40\text{mm}$ , 馈电点为  $\varphi_r = 0^\circ$ ,  $z_r = 5\text{mm}$ 。图

2 给出了天线远场归一化辐射方向图。可以看出,文中的仿真结果与文献[7]的计算结果在 H 面吻合得很好,而 E 面方向图在  $0^\circ \sim 180^\circ$  上很吻合,在  $180^\circ \sim 360^\circ$  上也比较接近。所以,用有限元法仿真圆柱共形微带天线有较高的精度。

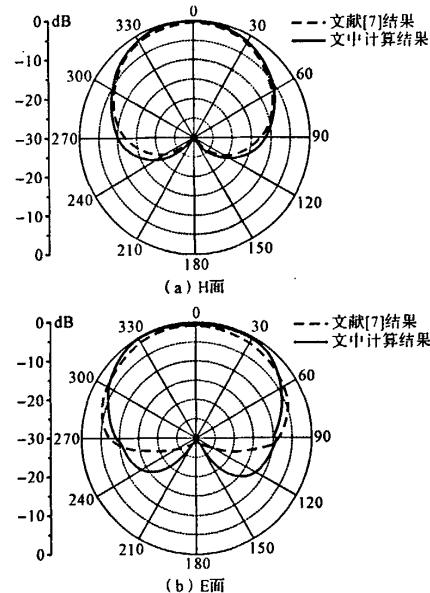


图 2 圆柱共形微带天线方向图

### 2.2 加载介质层后仿真结果与讨论

微带天线上加载介质层后,其特性阻抗、相速、损耗及品质因素值将作为介电常数、损耗正切和介质层厚度大小的函数而发生变化。以图 1 所示的天线为例,运用矢量有限元法对该天线加载介质层前后进行了仿真分析,天线参数为  $a_0 = 50\text{mm}$ ,  $h = 0.795\text{mm}$ ,  $\epsilon_1 = 2.32\epsilon_0$ ,  $\mu_1 = \mu_0$ ,  $d_0 = 15\text{mm}$ ,  $2a_1\varphi_0 = 40\text{mm}$ , 馈电点为  $\varphi_r = 0^\circ$ ,  $z_r = 5\text{mm}$ , 介质层为熔融石英陶瓷,这种材料被广泛运用于“国者”、“潘兴”II 号及意大利的“Aspide”导弹、美国陆军“Sam-D”导弹等高速飞行器的天线罩上,且具有极小的线膨胀系数(约  $0.5 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ ),较好的抗热冲击性能和低的损耗角正切(小于 0.0004)等优点,因此文中忽略气动加热等因素对天线的影响。图 3 和图 4 分别是天线覆盖介质层前后的散射参数图。从图中可以看出天线加载介质层前谐振频率为  $2.95\text{GHz}$ ,加载介质层后谐振频率为  $2.84\text{GHz}$ ,加载介质覆盖层使天线的谐振频率产生了漂移。天线加载介质层前  $VSWR \leq 2$  的阻抗带宽为  $1.08\%$ ,加载介质层后  $VSWR \leq 2$  的阻抗带宽为  $0.7\%$ ,可见加载介质

覆盖层后使天线的阻抗带宽减小了。这说明加载介电层对共形微带天线的谐振频率和带宽都有一定的影响,而且结果与平面微带天线的情况不同<sup>[6]</sup>。

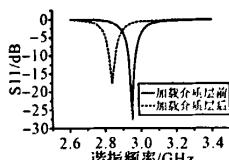


图3 S11图

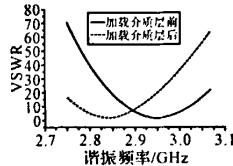


图4 VSWR图

图5为天线覆盖介电层前后E面和H面方向图的仿真结果。从图中可以看出加载介电层前后的方向图基本不变。加载介电层后H面辐射方向图天线在100°到360°之间有一定的起伏,而E面辐射方向图只是在-64°~ -58°和-123°~ -119°方向上分别有10dB和5dB左右的变化。

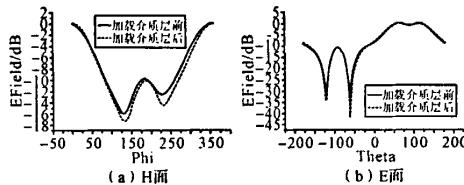


图5 圆柱共形微带天线覆盖介电层前后远场辐射方向图

图6和图7分别给出了当介电层的介电常数和厚度为不同数值时,天线谐振频率的变化情况。图6表明当介电层厚度不变,介电常数值增大时,驻波比最小点向频率减小的方向漂移,这表明圆柱共形微带天线的谐振频率随覆盖层介电常数的增大而减少。图7表明当覆盖层介电常数值不变,厚度增大时,驻波比最小点向频率低端漂移,当厚度增加到一定程度后,天线谐振频率趋于一个定值。通过进一步的仿真计算表明,当介电层厚度不变,介电常数发生变化时天线VSWR≤2的阻抗带宽均为0.7%左右,可见介电常数的变化对阻抗带宽的影响相对较小,而介电层厚度的变化对其影响则相对较大,当厚度达到一定值时,VSWR≤2的阻抗带宽为零。

### 3 结论

文中仿真研究了圆柱共形微带天线加载介

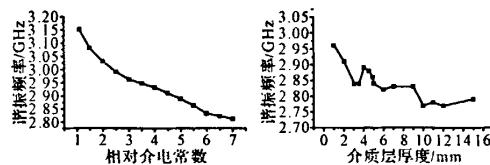


图6 天线谐振频率随介电常数变化曲线

质覆盖层对天线性能的影响。结果表明,圆柱共形微带天线加载介电层后,天线的谐振频率产生了漂移而且阻抗带宽明显降低。保持介电层的介电常数不变,适当增加介电层的厚度,天线谐振频率随着厚度的增大向低端漂移,阻抗带宽随着厚度的增加大大地降低;当介电层的厚度不变,适当增加介电常数时,天线谐振频率随着厚度的增大而减小,而介电常数变化对天线的阻抗带宽等特性的影响相对较小。因此,适当地加载介电层可以使圆柱共形天线工作在合适的频带内。文中所得到的结论对共形微带天线的设计具有一定的理论指导意义。

### 参考文献:

- [1] 钟顺时. 微带天线理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991.
- [2] I J 鲍尔, P 布哈蒂亚. 微带天线[M]. 北京: 电子工业出版社, 1984.
- [3] Babil I J, S S Stuchly. Analysis of a microstrip covered with a lossy dielectric[J]. IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., 1980, 28(2): 104~109.
- [4] Babil I J, S S Stuchly. Design of microstrip covered with a lossy dielectric[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1982, 30(2): 314~318.
- [5] 刘刚, 钟顺时. 介质覆盖矩形微带天线的理论和实验[J]. 电子学报, 1996, 24(9): 99~101.
- [6] 唐祥生. 圆极化三角形微带天线的研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2005.
- [7] Mang He, Xiaowen Xu. Closed-form solutions for analysis of cylindrically conformal microstrip antennas with arbitrary radii[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 2005, 53(1): 518~524.
- [8] Rene J Allard, Douglas H Werner. Radiation pattern synthesis for arrays of conformal antennas mounted on arbitrarily-shaped three-dimensional platforms using genetic algorithms [J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 2003, 51(5): 1054~1061.

## 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>