

# 一种微带天线的优化设计

刘洪颐<sup>1</sup> 李大伟<sup>1</sup> 陈征祥<sup>1</sup> 王 磊<sup>1</sup>

(中国白城兵器试验中心,吉林白城, 137001)

**摘要:** 本文对一种准行波微带天线进行了改进, 显著提高天线性能。这种方法采取在准行波微带天线各贴片单元上开双 H 槽和加装两个短路探针, 实现了在天线增益基本保持不变、带宽变宽、电压驻波比变小的效果。而且, 在天线主要工作方向上雷达散射截面得到明显缩减, 进一步改善了天线的隐身性能。

**主题词:** 准行波微带天线 开槽 短路探针

## The optimal design of a microstrip antenna

Liu hongyi<sup>1</sup>, Li dawei<sup>1</sup>, Cheng zhengxiang<sup>1</sup>, Wang lei<sup>1</sup>

(BaiCheng Ordnance Test Center of China, BaiCheng city, Jilin Province, China, 137001)<sup>1</sup>

**Abstract:** In this paper, the performance of a quasi-traveling wave microstrip antenna has been improved significantly by adaptation. The main point of this method is to cut two H-shape slots and install two short-circuit pins in each microstrip unit of the antenna, which expands the bandwidth, lowers VSWR, reduces the RCS significantly in main working direction, and remains the gain of the antenna unchanged at the same time.

**Keywords:** quasi-traveling wave microstrip antenna; slot, short-circuit pin

## 1 前言

微带天线具有剖面低、重量轻、共形性好、成本低等优点, 安装时可以比较自由而充分地利用弹体表面, 且不影响弹体结构的强度, 很容易实现装置小型化, 非常适用于弹上引信天线。引信天线主瓣往往与弹轴形成一个小于 90° 的倾角, 对于行波线阵来说可以通过调整单元之间的间距实现主波束偏移。

## 2 微带行波天线的原理及改进方法

### 2.1 微带行波天线的原理

一般说来, 所有传输 TEM 波传输系统都可以改造成为一个行波天线<sup>[1]</sup>。由于行波天线中没有或几乎没有反向波, 故对各单元之间的相位关系可以通过带线长度来调节。线阵由一端馈电, 可以通过调整辐射贴片单元之间的间距来获得希望的任意波束方

向<sup>[2]</sup>。若从端射方向起算的主波束指向角为  $\theta$ , 则有:

$$\cos \theta = \frac{\lambda_0}{\lambda_e} - \frac{\lambda_0}{d} \quad (1)$$

式中:  $\lambda_0$  为空气中波长;  $d$  为贴片之间的距离;  $\lambda_e$  为有效介质中的波长, 其计算式为:

$$\lambda_e = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

式中:  $\epsilon_r$  为基片材料的介电常数。由式(1)可得: 当间距  $d < \lambda_e$  时, 主波束方向偏向馈电端, 当  $d > \lambda_e$  时, 主波束方向偏向负载端。由于内部的反射按随机相位叠加并相互抵消, 因此, 馈电端输入阻抗即为所连接贴片单元的阻抗。

拟改进的微带行波天线

图 1 为文献[3]中给出的某种弹载准行波天线工作时贴片的电流分布图。该天线由 10 个矩形单元组成, 中心频率为 35GHz。介质基片选用 RT/duroid5880, 其介电常数  $\epsilon_r = 2.2$  厚度取  $h = 0.254mm$ , 贴片单元的宽  $W = 3.4mm$  与长为

$L = 2.74\text{mm}$ 。为使天线工作时最大增益为  $\theta = -30^\circ, \varphi = 0^\circ$ ，连接各单元的馈线长度  $d = 1.1\text{mm}$ ，宽度  $w_1 = 0.5\text{mm}$ <sup>[3]</sup>，天线最大增益方向为  $-30^\circ$ 。为了进一步提高该引信天线的性能，本文将根据微带天线理论对其进行改进。

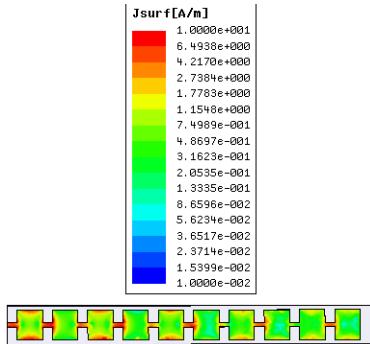


图 1 某弹载准行波微带天线的电流分布

## 2.2 单贴片矩形微天线的改进原理

根据天线方向图乘积原理，可以先单独分析如何优化其中一个矩形贴片天线的性能。在单贴片矩形微带天线开窄缝和加装短路针可以改变贴片上的电流分布，从而改变天线的性能。在贴片上开出的每条窄缝可视为电阻  $R$ 、电容  $C$  和电感  $L$  的串联，当发生谐振时，串联阻抗的虚部为零，只剩下辐射电阻  $R$ 。

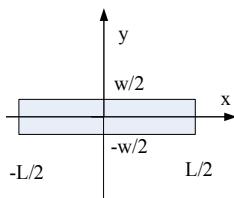


图 2 窄缝的几何尺寸

在图 2 坐标系中，窄缝的辐射场可用等效磁流源来计算。缝上等效面磁流为： $M(x, y) = E(x, y) \times \hat{n} = E_y \hat{x} - E_x \hat{y} = M_x \hat{x} + M_y \hat{y}$ ，则缝的远区辐射场为：

$$E_\theta = \frac{jk_0}{4\pi} \frac{e^{jk_0 R}}{R} \int_{-w/2}^{w/2} \int_{-L/2}^{L/2} \left[ -M_x \sin \varphi + M_y \cos \varphi \right] \times e^{jk_0 (x \sin \theta \cos \varphi + y \sin \theta \sin \varphi)} dx dy \quad (3)$$

对于窄缝， $E_y$  可以看成常数， $E_x = 0$ ，则 (3) 式中的积分结果为：

$$E_\theta = \frac{jk_0 E_y L W}{4\pi} \frac{e^{jk_0 R}}{R} \frac{\sin u}{u} \sin \varphi \quad (4)$$

$$E_\varphi = \frac{jk_0 E_y L w}{4\pi} \frac{e^{jk_0 R}}{R} \frac{\sin u}{u} \cos \varphi \cos \theta \quad (5)$$

(4) 式和 (5) 式中， $u = \frac{k_0 L}{2} \sin \theta \cos \varphi$ 。当

$\varphi = \pi/2$  时，E 面方向图为， $E_\theta = \left| \frac{k_0 E_y L W}{4\pi} \right|$  是一个圆形。当  $\varphi = 0$  时，H 面方向图为

$$|E_\varphi(\theta)| = \left| \frac{k_0 E_y L W}{4\pi} \frac{\sin(\frac{k_0 L \sin \theta}{2})}{\frac{k_0 L \sin \theta}{2}} \cos \theta \right|$$

对于单个矩形微带天线来说，在其贴片上如图 2 所示开两个 H 形槽，引入四条截断高频电流的 y 方向窄缝（两条横缝方向沿 x 轴方向，与电流方向一致，基本上不截断高频电流，在 E 面基本不产生辐射），每条窄缝的 E 面辐射方向图为圆形，其场强在远场与矩形贴片单元的两条辐射边同相叠加（因为在远场，窄缝与贴片单元辐射边之间的相位差可忽略）。因此，在贴片上开出窄缝不会使其 E 面方向图发生变化。但开出窄缝后切断了原来一部分高频电流的路径，迫使这部分高频电流在窄缝周围绕行<sup>[4-5]</sup>。这相当于一部分电流拉长了路径，只能谐振在比原来低的频率上。适当调整窄缝的长度，就可使原贴片天线工作在双频上，从而有可能展宽其工作频带。实验发现，横缝可以使谐振频率降低，缝隙越长频率下降越多，但导致天线增益下降，电压驻波比变大；开纵缝对谐振频率没有影响，但可以提高天线的增益，降低电压驻波比。

在贴片和地之间加装短路针后，相当于接入电纳。该电纳与原贴片天线的电纳并联后，可以使天线的输入阻抗发生变化，进而影响天线的增益和电压驻波比。特别是当贴片上面有窄缝截断高频电流时，短路针的位置可以影响高频电流的分布，也就是调节绕行的电流量和直行的电流量之间的比例，从而在较低谐振频率上（即绕行电流所对应的谐振频率）的阻抗和在较高谐振频率上（即直行电流所对应的谐振频率）的阻抗发生改变。

## 2.3 对微带行波天线的改进

对于单个贴片的微带天线来说，可以采取开槽

和加装短路探针的方法来改进其性能，但开槽的位置和形状、加装短路探针的位置却不易得知。虽然理论上我们可以应用腔模法来进行计算，但实际上推导出解析解是非常困难的，对于多数情况甚至是不可能的<sup>[6]</sup>。因此，对于如何开槽及加装短路探针，比较简便的方法是应用计算机进行数值计算和实验。

如图3所示，在贴片单元上开两条纵缝(x方向)、四条横缝(y方向)，在x轴两侧对称加装两个探针。实验发现，在图3所示的天线中，当短路针向窄缝靠近时，天线谐振频率会降低，但天线增益会升高；当两短路针间距增大时，天线谐振频点不变，但增益变大。经过反复试验，得到了最佳开槽方式和探针位置。两条纵缝的中心位置为(3.05, 0.2)、(3.05, -0.2)，长0.9mm、宽0.2mm；四条横缝的中心位置为(2.7, 0.8)、(2.7, -0.8)、(3.4, 0.8)、(3.4, -0.8)，长1mm、宽0.2mm；两个短路探针的位置分别在(2.3, 0.8)、(2.3, -0.8)处。用同样方式在微带行波天线的10个贴片单元开槽和加装短路探针。为了保持天线工作时最大增益仍为 $\theta = -30^\circ, \varphi = 0^\circ$ ，将连接各单元的馈线长度调整为1.2mm。

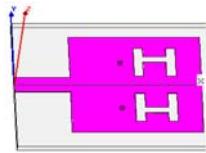


图3 改进的单贴片天线

天线改进后贴片电流分布如图4所示。比较图1和图4可知，改进后天线的贴片电流更加集中于短路探针和槽的周围，说明电流路径与原天线相比变得更加曲折。

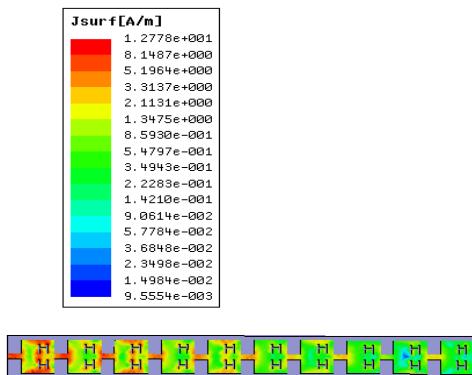


图4 改进后天线的电流分布

### 3 天线改进前后的性能比较

图5为天线改进前后的输入端口的反射系数。从图中可以看出，天线改进后，在35GHz处，反射系数减小达13.5dB。在32GHz到38GHz频带范围内反射系数均得到明显下降。

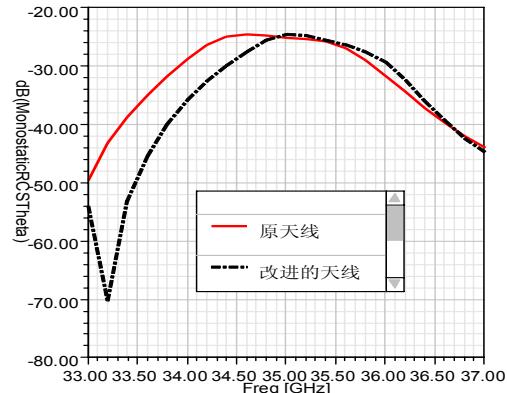


图5 天线改进前后的S11曲线

图6、图7为天线改进前后的辐射方向图。

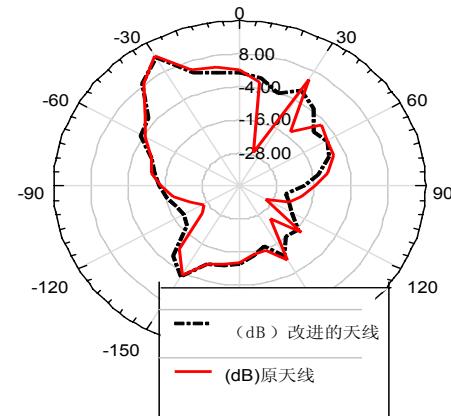


图6 天线改进前后的E面辐射方向图

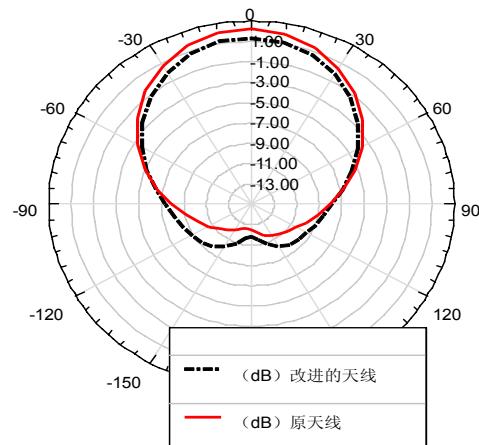


图7 天线改进前后的H面辐射方向图

从图 6、图 7 中可以看出, 天线改进后辐射方向图基本未变, 对于天线工作的  $\theta = 330^\circ, \varphi = 0^\circ$  方向, 天线增益未发生变化, 可以满足引信的工作需要。对改进后的天线性能进行分析后发现, 天线的雷达散射截面也得到了很大程度的缩减, 这对于提高导弹的隐身性能是非常有利的。

图 8、图 9 是天线改进前后的单站 RCS 变化情况。

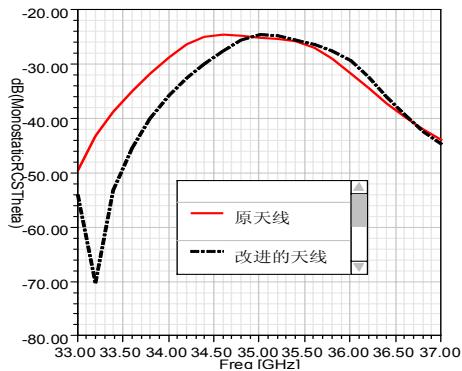


图 8 天线改进前后的单站 RCS 曲线 ( $\varphi = 0^\circ$ )

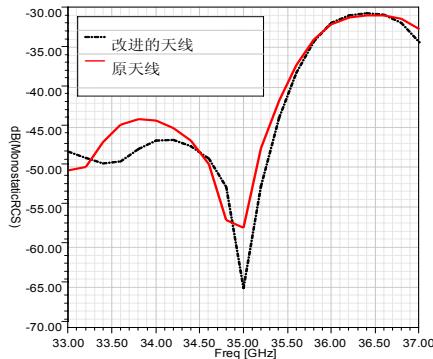


图 9 天线改进前后的单站 RCS 曲线 ( $\varphi = 45^\circ$ )

在图 9 中, 当平面波的入射角为  $\theta = -30^\circ$ ,  $\varphi = 0^\circ$ , 发射、接收均为  $\theta$  极化时, 在 33GHz 至 35GHz 频带内单站 RCS 得到极大缩减, 特别是在 33.2GHz 处 RCS 减小了 27dB; 但在 35GHz 以上 RCS 基本未变。在图 10 中, 当平面波的入射角  $\theta = -30^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$  时, 发射、接收均为  $\theta$  极化时, 在天线的中心工作频率 35GHz 处 RCS 缩减达 7.44dB, 在 33.3GHz 到 33.5GHz 频带内和 35GHz 到 35.8GHz 频带内 RCS 也得到了明显缩减。

## 4 结论

从理论分析和实验结果看, 采用在贴片上开槽和加装短路探针的办法, 可以显著提高微带行波天线的性能。由于双 H 形开槽具有多个可调参数, 且导致的高频电流路径转折较多, 因此在贴片上开双 H 形槽是一个较好的办法<sup>[7]</sup>。理论分析和实验表明, 在 X 轴两侧对称加装两根短路探针, 不仅便于调整谐振频率, 而且将两根短路探针加装在远离 X 轴的位置可以进一步降低 RCS。

## 参 考 文 献

- [1] 张钧、刘克诚、张贤铎、赫崇骏.微带天线理论与工程[M].北京: 国防工业出版社, 1988.
- [2] 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.
- [3] 刘景萍、吴大俊. 毫米波引信共形天线的设计[J]. 制导与引信, 2008(2): 14-17.
- [4] 方大刚.天线理论与微带天线[M].北京:科学出版社,2006.
- [5] 丁君,程春霞,郭陈江.一种微带天线 RCS 减缩方法研究[J].计算机仿真, 2008 (9): 130-133
- [6] DR Jackson. The RCS of a Rectangular Micro strip Patch in a Sub-strate-Superstrate Geometry [J]. IEEE Trans on AP(S0018-926X). 1990, 38(1): 2-8.
- [7] DM Polar Radiation and scattering from a micro strip patch on a uniaxial substrate [J]. IEEE Trans on AP(S0018-926X).1987,35(4): 613-621.

作者简介:

刘洪颐, 男, 硕士, 工程师, 主要研究领域为天线; 李大伟, 男, 工程师, 主要研究领域为建模仿真; 陈征祥, 男, 工程师, 主要研究领域为电磁环境, 王磊, 男, 工程师, 主要研究领域为兵器测试。

## 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>