

文章编号:1008-8652(2006)01-001-003

缝隙加载方法减缩微带天线 RCS

杨 易 龚书喜 贺秀莲

(西安电子科技大学 西安 710071)

【摘要】 分析缝隙加载方法减缩微带天线雷达散射截面(RCS)的基本原理和规律。分别介绍四种不同加载形式,综合利用其中两种形式对微带天线 RCS 进行减缩。在天线增益只下降 0.2dB,其它工作性能基本保持的情况下,微带天线 RCS 在很宽的频带内得到较大幅度的减缩。

关键词: 雷达散射截面;微带天线;缝隙

中图分类号:TN 82 文献标识码:A

Reducing RCS of Microstrip Antenna Based on the Method of Embedding Slot

Yang Yi Gong Shuxi He Xiulian

(Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract: The theory and regularity of embedding slots to reduce the radar cross section (RCS) of microstrip antennas are analyzed and the method is utilized to reduce RCS of microstrip antennas. After introducing four different forms of embedding slots, the two forms of them are synthesized to reduce RCS of microstrip antennas. On the occasion that the drop of antenna's gain is 0.2dB and other performance is kept basically, RCS is reduced greatly through a very wide frequency band.

Keywords: RCS; microstrip antenna; slot

1 引言

随着通信技术的发展,整个系统对天线的要求越来越高。微带天线以其重量轻、低轮廓、易于制造等优点而被越来越广泛地应用^[1,2]。应用中,微带天线的谐振特性带来了一个不可忽视的特点:在谐振频率上较高的 RCS 值。事实上,谐振时的 RCS 值跟贴片的面积相比,仍然是很大的,这就导致了在这些频率上相当大的散射信号。由于天线系统自身工作特点限制,它必须保证自身雷达波的正常接收和发射,因此常规的隐身措施不可能简单地在天线隐身中获得应用,例如改变外形和使用雷达吸波材料^[3,4]。这就使天线系统隐身成为飞行器隐身技术中难以解决的关键问题,即使在国外也还没有找到一种很理想的途径,既可以显著降低天线的 RCS,又完全不影响天线的工作性能。

2 基本理论

一般微带天线结构如图 1 所示,设理想导电贴片尺寸为 $L \times W$,基本厚度为 h ,其相对介电常数为 ϵ ,周围为自由空间 μ_0, ϵ_0 ,其波数和波阻抗分别为 k_0 和 η_0 。在时谐平面波入射时,贴片上激励起表面感应电流 J ,天线散射场就由 J 决定。

* 收稿日期:2005-09-21

首先由表面电流等效原理得到积分方程, 即用微带贴片表面上的面电流密度 J 代替理想导电贴片。总场是已知入射场 (E^i, H^i) 与散射场 (E^s, H^s) 的和

$$E = E^i + E^s \quad (1)$$

$$H = H^i + H^s \quad (2)$$

积分方程可表达为贴片表面切向电场为零的边界条件, 即

$$-\hat{z} \times E^s = \hat{z} \times E^i \quad (3)$$

由于散射场 E^s 可表示为未知电流 J 与接地基片并矢格林函数之点积在微带贴片表面 S 上的积分, 因此上式表示电流 J 的积分方程。

可采用矩量法求解上述积分方程^[5]。

求得 J 后, 远区散射场便可直接进行计算得到, 再根据下式求得 RCS。

$$RCS = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|E^s|^2}{|E^i|^2} = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\mathbf{H}^s|^2}{|\mathbf{H}^i|^2} \quad (4)$$

由以上分析可知, 当平面波照射微带天线时, 在不同频率会激励起不同的感应电流, 而天线的散射场正是由这些感应电流所引起的。当沿 x 轴加载缝隙时, 如图 2 所示, 沿 x 轴流动的感应电流就受到较小的影响, 或影响很小, 而沿 y 轴流动的感应电流则受到较大影响, 所以当平面波入射角为 $\varphi=0^\circ$ (θ 为任意值, 以下同) 时, 单站 RCS 几乎不变, 而当平面波入射角为 $\varphi=90^\circ$ 时, 如图 3 所示, 天线单站 RCS 在 2GHz 到 8GHz 的宽频带范围内减缩效果比较明显。此天线增益为 6.7dB, 与同频率工作的普通微带天线增益十分接近。

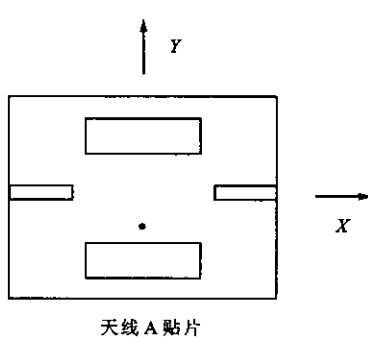


图 2 天线 A 贴片结构的示意图

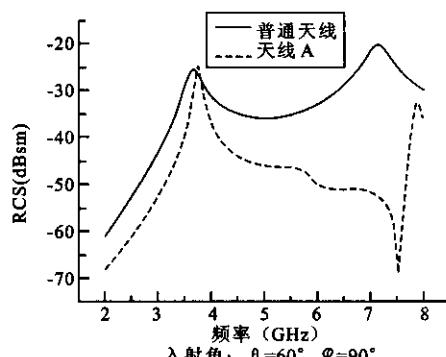


图 3 天线 A 和普通天线的散射特性

同理可知, 当沿 y 轴加载缝隙时, 如图 4 所示, 平面波入射角为 $\varphi=90^\circ$ 时, 单站 RCS 几乎不变, 而当平面波入射角为 $\varphi=0^\circ$ 时, 如图 5 所示三副天线的单站 RCS 在 2GHz 到 8GHz 的宽频带范围内, 都有不同程度的减缩, 其中天线 D 的减缩效果最明显。而且此三副天线的增益也都在 6.7dB 左右。同时, 也应该注意到无论沿 x 轴, 还是沿 y 轴加载缝隙, 在 $\varphi \neq n \cdot 90^\circ$ (n 为整数) 时, 例如 $\varphi = m \cdot 45^\circ$ (m 为奇数), 单站 RCS 都会不同程度地受到影响。

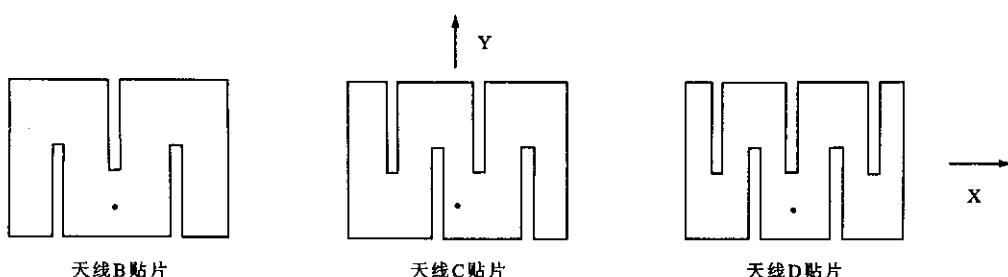


图 4 天线 B、C、D 贴片结构的示意图

由以上论述可知,通过在微带天线贴片上加载适当缝隙可以改变感应电流路径,进而影响天线的散射特性以达到降低天线 RCS 的目的。在具体设计时,可以同时考虑天线 A 与天线 D 的加载方式。

3 天线设计和数值结果

该天线的几何外形如图 6 所示。坐标原点在天线贴片中心,贴片外形关于 y 轴对称。天线贴片的外围总尺寸为 $W \times L$, $W=30\text{mm}$, $L=24\text{mm}$ 。共有 7 个矩形缝隙,较细的缝隙宽度 $d_1=0.5\text{ mm}$,其中沿 x 轴的两条缝隙中线在 x 轴上,较宽的缝隙宽度 $d_2=4\text{ mm}$ 。 $d_3=12\text{ mm}$, $d_4=5\text{ mm}$, $d_5=8\text{ mm}$, $d_6=13\text{ mm}$, $d_7=6.75\text{ mm}$, $d_8=15\text{ mm}$, $d_9=5\text{ mm}$ 。馈电点在 y 轴上,其坐标为 $x=0$, $y=-2$ 。 $\epsilon_r=2.62$, $h=2\text{ mm}$ 。

图 6 天线的工作频率为 3.25GHz,其增益约为 6.5dB, -10dB 损失带宽约为 1.5%,而工作在 3.25GHz 的普通微带天线增益约为 6.7dB, -10dB 损失带宽约为 2.5%。两者增益差值为 0.2dB,带宽差值为 1%。两个天线的 S_{11} 如图 7 所示,方向图如图 8 所示。

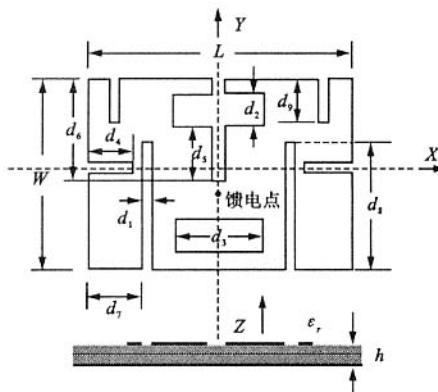


图 6 天线的几何外形

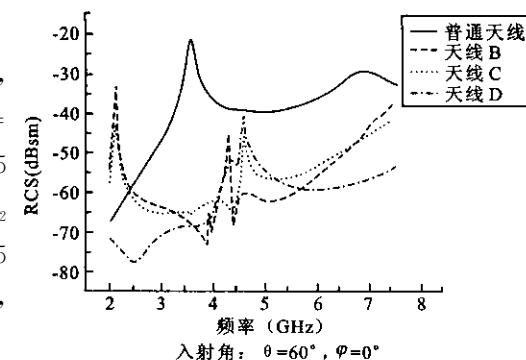


图 5 天线 B、C、D 和普通天线的散射特性

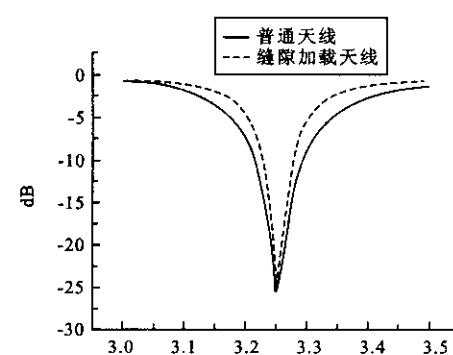


图 7 缝隙加载天线和普通天线的 S_{11} 参数

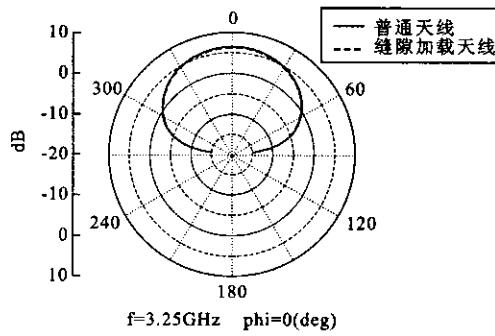
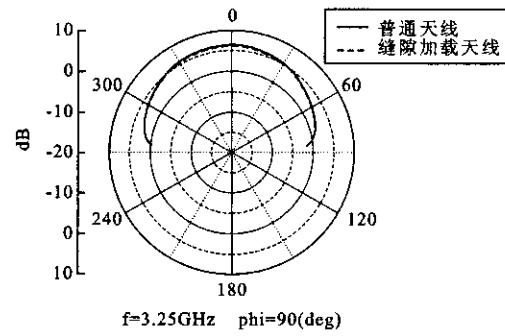


图 8 缝隙加载天线和普通天线的辐射特性



再由图 9 可看出加载缝隙后在 2GHz 到 8GHz 的宽频带范围内,当 θ 极化平面波由各个典型角度入射时,微带天线单站 RCS 都得到较大幅度的减缩,其它角度没有考虑是因为空间对称的原因。例如当入射角为 $\theta=60^\circ$, $\varphi=45^\circ$ 时,普通天线的第一个 RCS 峰值减少了约 30dB,第二个 RCS 峰值减少了约 25dB。在 5.6GHz 出现新的 RCS 峰值是因为电流路径的改变激励起新的高次模,但它只占整个频段的较小的一部分,而且远离天线的工作频率。当入射角为 $\theta=60^\circ$, $\varphi=0^\circ$ 或 $\varphi=90^\circ$ 时,整个频带内的 RCS 也都有不同程度的减缩。在增益损失为 0.2dB 的情况下,达到以上减缩效果,可以认为是值得的。

(下转第 14 页)

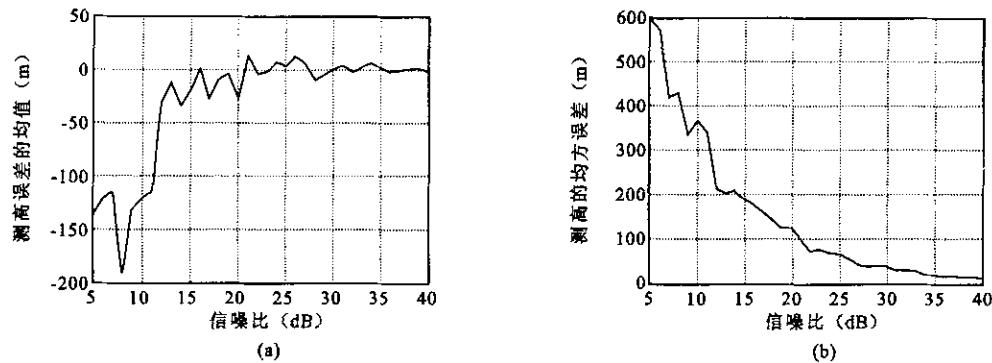


图 4 测高精度与信噪比的关系

参考文献：

- [1] 丁鹭飞、张平. 雷达系统[M]. 西北电讯工程学院出版社, 1984 年 11 月.
- [2] 张瑜、李玲玲. 多径条件下雷达到达角的估算及仿真[J]. 电波科学学报, 2004, 19(2): 215~218.
- [3] 刘峥、刘宏伟、张守宏. 步进频率信号分析[J]. 西安电子科技大学学报, 1999, 26(1): 71~74.
- [4] 马长征、张守宏、陈伯孝. 基于时频信号分离的单脉冲雷达角闪烁抑制技术[J]. 西安电子科技大学学报, 1998, 25(5): 582~587.
- [5] 张焕颖. 单脉冲三维成像方法研究[C]. 西安电子科技大学硕士论文, 2005.

(上接第 3 页)

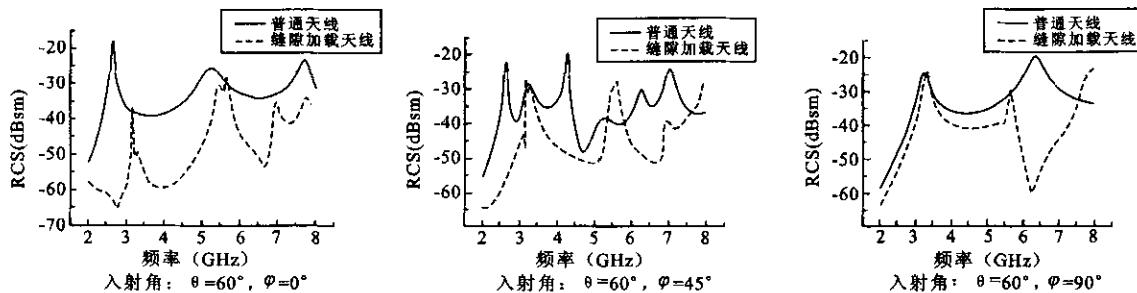


图 9 缝隙加载天线和普通天线的散射特性

4 结论

迄今为止, 微带天线的 RCS 减缩问题引起了越来越广泛的注意。本文提出一个新的缝隙加载方法, 可以在增益损失 0.2dB 的情况下, RCS 在很宽的频带内达到较大幅度的减缩。本文的工作对天线 RCS 减缩有一定的借鉴作用, 作者正在进行更深入的研究。

参考文献:

- [1] Pozar D. Microstrip antenna[J]. Proceedings of the IEEE, 1992, 80(1): 79~91.
- [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] Knott E F et al. Radar Cross Section[M]. Dedham, MA: Artech House Inc, 1985.
- [4] 阮颖铮. 雷达散射截面与隐身技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [5] Edward H. Newan. Scattering from a Microstrip Patch [J]. IEEE Transactions on Antenna and Propagation, 1987, AP-35: 245~251.

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)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)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),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>