

# 多层板微带反射阵列天线设计

官正涛

(中国电子科技集团公司第十研究所, 四川 成都 610036)

**摘要:** 本文提出介质加载方案, 解决了微带反射阵列天线的工程化油漆问题。多层板微带反射阵列天线油漆后, 天线工作频带不发生偏移, 天线性能无明显恶化, 达到改进设计目的。

**关键词:** 反射阵列, 介质加载, 多层板

## Design of the Multilayer Microstrip Reflectarray Antenna

Guan Zheng tao

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Sichuan Chengdu 610036, China)

**Abstract:** A dielectric load scheme was used to solve the project problem of the microstrip reflectarray antenna. After the multilayer microstrip reflectarray antenna is oiled, there is no change in the working frequency of the antenna. It is proved that the improving design is successful.

**Keywords:** reflectarray, dielectric load, multilayer

## 0 引言

便携式雷达应用极广, 可用于边境、海岸、占区前沿、战场环境侦察和监视, 也可用于要地和高价值设施, 如政府要地、军事基地、部队驻地、电站、油库等敌方攻击目标的防御和保护, 具有极大的市场潜力。目前, 便携式雷达多利用易折叠微带反射阵天线替代传统的抛物反射面天线, 研制而成的。该微带反射阵天线可以3层叠放, 和收发信机组装一个便换单元, 能快速装卸, 具有目前国外便携式雷达平板阵天线的便携优点, 而且重量轻、天线增益高、生产成本低。

微带反射阵天线存在工程化问题, 天线面上的油漆对天线性能有严重影响, 使天线工作频率向低端偏移。最初的解决办法是预失真设计, 拉高天线设计频点, 让天线油漆后回到要求的工作频率。这就对油漆层厚度和均匀性提出非常高的要求, 很难保证。只能通过反复的油漆和天线测试达到指标要求, 这就严重降低了天线的生产性。其次, 由于天线面上是微带贴片和延迟线, 在前处理时, 只能进行清洗, 而不能对涂覆表面进行机械粗化处理, 漆

膜与基材附着力较弱, 只能达到2—3级。因此, 天线在使用过程中, 油漆容易脱落, 天线失去环境保护能力, 并且天线性能恶化, 副瓣电平抬高。

采用介质加载的方案能有效的解决微带反射阵列天线存在上述的工程化问题。采用多层板技术在天线上压制一层介质, 避免油漆直接接触微带延迟线, 就能有效的减小油漆对天线性能的影响, 杜绝油漆使天线工作频率偏移的现象。对油漆层的厚度和均匀性无要求, 天线生产性得以提高, 环境适应性更强。

## 1 天线原理

反射阵列天线的示意图及其坐标系统示于图1。在三层板的第2层蚀刻有大量微带贴片天线单元。每个微带贴片都用(m, n)赋予一个序号, 其中m代表行序号, n代表列序号。微带贴片天线单元的示意图如图1d。在图1中, A, B分别为反射阵天线的方位和俯仰口径尺寸, C为天线面下边缘, F为馈源相位中心至反射阵面的距离, 一般也称为反射阵天线焦距; S<sub>x</sub>, S<sub>y</sub>分别为微带贴片单元在x和y方向的尺寸; L, W为贴片在x和y方向的尺寸。

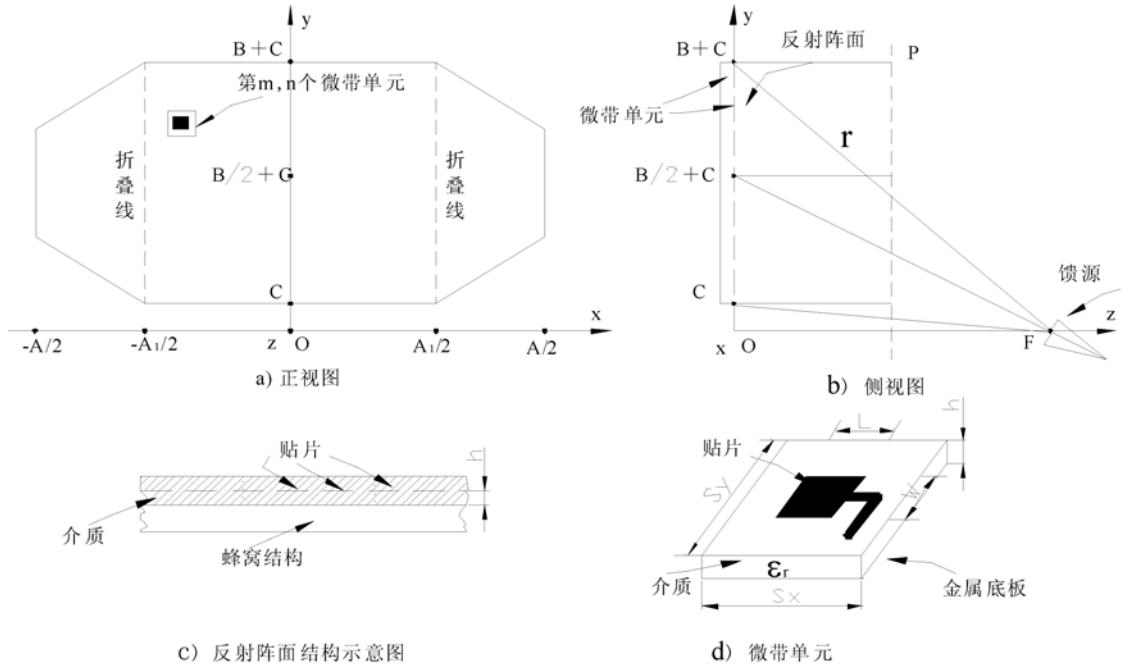


图 1 反射阵天线示意图及其座标系统

当从馈源辐射出来的电磁波照射到第 (m, n) 个微带贴片上时, 由于它没有负载, 故将接收到的电磁波二次辐射回自由空间, 我们把这一过程中在贴片处的附加相位记为  $\varphi_{mn}$ , 在反射阵中心的附加相位记为  $\varphi_{00}$ , 并把从馈源相位中心到第 (m, n) 个贴片中心的距离记为  $r_{mn}$ , 到反射阵中心的距离记为  $r_{00}$ , 那么当满足

$$(kr_{mn} + \varphi_{mn}) - (kr_{00} + \varphi_{00}) = 2i\pi \quad (1)$$

其中  $i$  为整数,  $k$  为自由空间波数。则所有贴片的二次辐射波在  $z=0$  平面同相, 因而所有二次辐射波所形成的阵列天线主波束方向在  $z$  方向。这就是反射阵天线的基本工作原理。

## 2 天线设计

在仿真条件受限制的条件下, 采用几何光学法分析与阵中单元局部仿真相结合的方法。反射面阵元的设计是多层板反射阵列天线设计的难点。阵元设计目标是保证辐射贴片与延迟线阻抗匹配, 补偿相位随延迟线长度增加而线性递减, 并且油漆层对延迟相位的影响可以忽略。因此, 从设计角度看, 阵元设计满足要求, 则天线技术状态就能满足指标要求。

### 2.1 天线基本参数

天线焦距比为 0.6; 天线口径分布采用近似台劳分布, 方位边缘照射电平约为-16dB, 俯仰边缘照射电平约为-8.5dB。

### 2.2 阵元设计

反射阵元关于阵面中点对称分布, 设阵面中点为直角坐标系  $(\xi, \zeta)$  原点, 其第一象限阵元分布如图 2 所示。图中一个方格代表一个阵元, 每个阵元的尺寸为  $0.6\lambda \times 0.6\lambda$ 。采用几何光学法, 可计算出每个单元的延迟相位  $\varphi_{mn}$ :

$$\varphi_{mn} = 2i\pi + (kr_{00} + \varphi_{00}) - (kr_{mn} + \varphi_{mn}) \quad (2)$$

其中,  $k$  为波数,  $r$  为馈源相位中心到阵元采样点的距离,  $\varphi$  为馈源引起的相位差, 可忽略不计, 下标  $mn$  指第  $m$  行、第  $n$  列的阵元。阵元延迟相位与延迟线长度的关系如下<sup>[1]</sup>:

$$\varphi_{mn} = \frac{4\pi\sqrt{\epsilon_e}(L_{mn} + \Delta L)}{\lambda_0} \quad (3)$$

其中  $L_{mn}$  为阵元延迟线长度,  $\epsilon_e$  为传输线等效介电常数,  $\lambda_0$  为中心频率对应的波长。 $\Delta L$  为端头效应引起的附加相位的等效长度, 实际设计中不用

考虑。

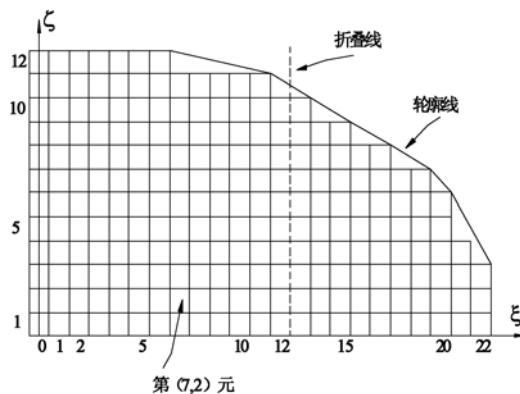


图 2 天线第一象限阵元分布图

对辐射贴片、微带延迟线的理论设计没有考虑在阵列中表面波和互耦的影响，延迟线相位的设计也是建立在单个微带贴片与延迟线匹配的基础上，这与实际情况有所差别。因此，必须采用仿真软件分析，仿真模型如图 3 所示。理论设计结果可作为仿真优化的初始值，还能定性的指导优化过程。

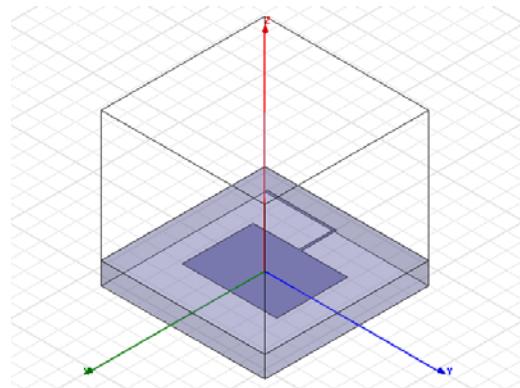


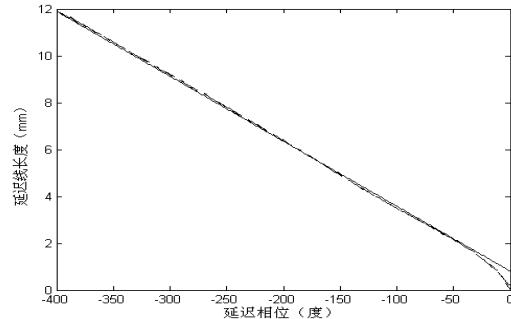
图 3 反射阵元微带延迟线仿真建模

图 4a 中实线为理论计算结果，点划线为仿真结果。除接头处延长 1.6mm 范围内的延迟线与延迟相位不满足线性变化外（这是由于接头处的不连续性，引起的高次模所致），其余都近似满足式（3）的线性关系，仿真结果与理论结果误差在  $\pm 2^\circ$  范围内。因此，在实际设计中，将延迟线 1.6mm 处设为参考相位。

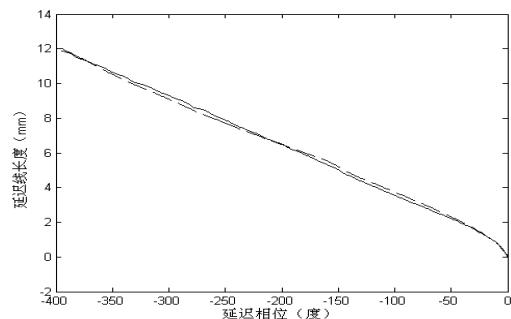
图 4b 中实线为未加油漆层仿真结果，虚线为带油漆层（介电常数为 4.5，厚度为 0.1mm）仿真结果。油漆层引起的相位偏差在  $\pm 10^\circ$  范围内，等效天线表面均方根误差 0.44mm。由天线误差分析可知，均方根误差小于 0.5mm，就能保证反射阵天线副瓣电平满足指标要求。因此， $\pm 10^\circ$  的相位偏差是可以

接受的。

在工程上，一遍底漆和一遍面漆的总厚度一般在 20~80μm 范围内，则天线表面的油漆引起的相位偏差更小，对降低天线副瓣电平更有利。因此，多层板微带反射阵列天线对油漆工艺没有特殊要求。



a) 未油漆



b) 油漆

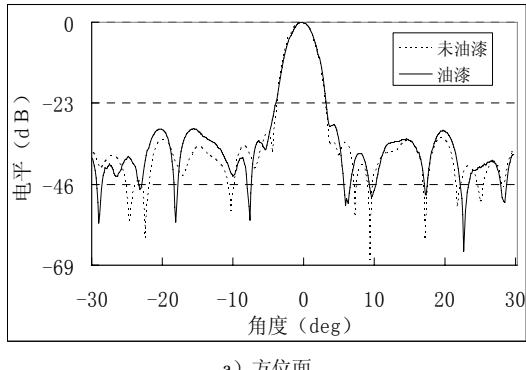
图 4 微带延迟线与延迟相位的关系

### 3 实验结果及分析

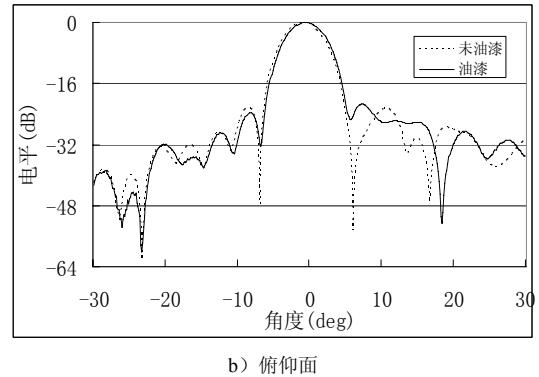
为了验证油漆对多层板微带反射阵列天线的影响，对天线油漆前后两种状态进行对比测试。油漆前，天线中心频点方位面波束宽度  $2.79^\circ$ ，副瓣电平-32dB；俯仰面波束宽度  $4.79^\circ$ ，副瓣电平-21.1dB。与理论计算结果比较，天线实测结果与理论计算结果一致，波束宽度的增加和副瓣电平的抬高是由于加工误差引起的。这说明几何光学法与阵元相位提取技术相结合的分析方法切实有效，设计精确。

油漆后，天线副瓣电平提高  $2\text{dB} \sim 4\text{dB}$ ，天线增益降低  $0.5\text{dB} \sim 1\text{dB}$ ，而对天线波束宽度几乎没有影响。天线工作频带无明显偏移，天线油漆前后都能在工作频带内满足技术指标。在 X 波段 4% 的带宽内，天线方位面波束宽度小于  $2.8^\circ$ ，副瓣电平低于 -23dB；俯仰面波束宽度大于  $4.79^\circ$ ，副瓣电平低于 -18dB；天线效率高于 53%。天线中心频点方向图如

图 5 所示。这说明阵列天线采用介质加载技术能有效的降低油漆层对天线性能的影响，杜绝油漆使天线工作频带发生偏移。



a) 方位面



b) 仰俯面

图 5 天线实测方向图

## 4 结论

本文提出的介质加载方案解决了微带反射阵列天线的工程化问题，提高了天线的生产性和环境适应性。阵元的相位提取技术能有效的提高设计精度，适用于所有阵列天线的设计，不受阵元形式的限制，具有通用性。

## 参 考 文 献

- [1] Ronald D. Javor, Xiao-Dong Wu, and Kai Chang, Design and Performance of a Microstrip Reflectarray Antenna[J], IEEE AP, VOL. 43, No.9, 1995, PP932~939.

作者简介：

官正涛，男，四川人，2004 年毕业于西南交通大学电磁场与微波技术专业，一直从事天线设计与测量工作，研究领域包括多波束天线、波导裂缝阵天线、微带阵天线、微带反射阵天线等。获部级成果奖一项。

## 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>