

椭球反射面聚焦天线的设计和仿真^{*}

肖辰飞 吕善伟 吴东梅 张岩

(北京航空航天大学 北京 100083)

摘 要: 本文根据聚焦要求,采用物理光学法分别设计了工作在 Ka 和 Ku 波段的椭球反射面天线,计算了正馈和偏馈两种方式下的反射面的焦场,并用电磁场仿真软件进行验证,结果表明理论计算与软件仿真结果一致。同时,对影响焦斑大小的因素进行了分析和比较,结果表明无遮挡的偏馈方式的汇聚效果稍优于正馈,口面越大聚焦效果越好。

关键词: 聚焦; 椭球反射面天线; 物理光学法

Design and simulation of elliptical reflector antenna

Xiao Chenfei Lv Shanwei Wu Dongmei Zhang Yan

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

Abstract: In this paper, the method of design and simulation of a kind of elliptical reflector antenna is introduced. Physical optics method is used to compute the current distribution, the simulation examples are given. Different kinds of feed methods are compared, and the factors influenced the size of the focal are analyzed. It shows that offset reflector antenna is more efficient, and the focus effect is positive with the aperture of reflector antenna. Simulation results using special microwave software are in accordance with the theory calculation.

Keywords: focus; elliptical reflector antenna; physical optical method

0 引言

聚焦天线常应用于测量电磁材料特性参数、微波医疗设备等,常用的聚焦天线有双反射面天线、椭球反射面天线、透镜等^[1-3]。本文要求设计 3 dB 焦斑小于 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$, 天线口径小于 12 cm 的聚焦天线,用于测量电磁材料参数。选用椭球反射面天线作为聚焦天线,设计合理的反射面参数达到所需的指标。

1 基本测量原理

采用椭球反射面天线测量电磁材料的结构如图 1 所示。该测量系统由一对椭球反射面天线组成,一个作为发送天线,另一个作为接收天线,两个椭球的远焦点重合,长轴重合,测量时待测物位于远焦点。椭球反射面天线有两个焦点,当馈源位于近焦点时,则在远焦点形成汇聚场,通过比较远焦点有待测件和没有待测件两种情况下,接收天线收到的信号差异,计算出待测件的特性参数。根据反射面与馈源的位置不同,该测量系统有两种形式:正馈和偏馈。

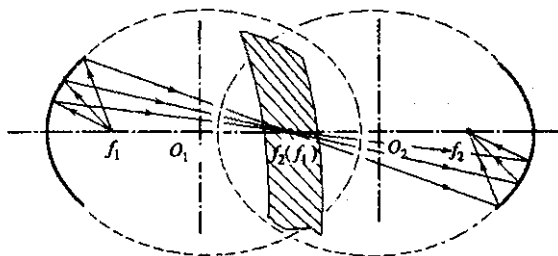


图1 椭球反射面天线测量电磁材料示意图

2 物理光学法计算反射面的焦场

为了设计焦斑满足要求的反射面,需要计算天线的焦场,当选择的椭球参数合适时,可以达到 3 dB 焦斑小于 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 的要求。对于椭球反射面天线,馈源位于椭球的近焦点,从几何光学角度分析,能量将先集中到椭球的远焦点,然后发散继续传播。因为远焦点是焦散点,所以不能用几何光学来分析,因此,本文采用物理光学计算焦场分布^[4]。计算焦场分布的坐标系如图 2 所示。

图 2 中 f_1 为近焦点; f_2 为远焦点; N 为反射面上任一点; θ 为 N 与 $-z$ 轴的夹角; \hat{n} 为 N 的单位法向量; P 为远焦点附近的任一点; 以近焦点 f_1 为原点。

^{*} 基金项目:国家自然科学基金(60271012)资助项目

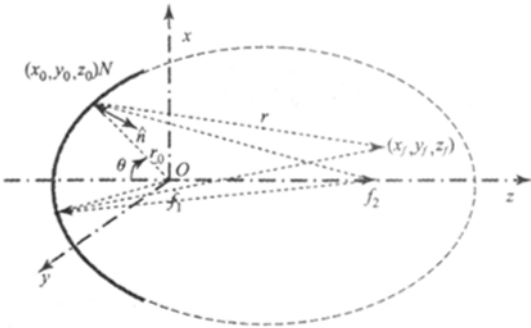


图 2 反射面坐标系统

旋转椭球反射面的几何方程为：

$$\frac{(z-c)^2}{a^2} + \frac{x^2 + y^2}{b^2} = 1 \tag{1}$$

反射面上任一点 N 的单位法向量为：

$$\hat{n} = -[\hat{x}a^2x_0 + \hat{y}a^2y_0 + \hat{z}b^2(z_0 - c)] \tag{2}$$

N 点到 P 点的矢径为：

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_f - \mathbf{r}_0 = \hat{x}(x_f - x_0) + \hat{y}(y_f - y_0) + \hat{z}(z_f - z_0) \tag{3}$$

假设馈源的辐射场为： $\mathbf{E}_i = \hat{\theta}E_\theta + \hat{\phi}E_\phi$ ，则反射面上的感应电流为：

$$\mathbf{J} = 2\hat{n} \times \mathbf{H}_i = 2\hat{n} \times (\hat{k} \times \mathbf{E}_i / \eta) \tag{4}$$

把式(1)~式(4)代入到简化的朱兰成辐射公式 $\mathbf{E} = -\frac{j\omega\mu_0}{4\pi} \iint_S [\mathbf{J} - (\mathbf{J} \cdot \hat{r})\hat{r}] \frac{e^{-jkr}}{r} ds$ ，则可以计算出远焦点附近的场分布。

3 仿真软件计算反射面的焦场

物理光学法是一种高频近似方法,因此,需要采用其他方法作进一步验证。现在很多电磁场分析软件能够快速、精确地对高频结构进行仿真计算,本文使用 CST 对椭球反射面天线进行建模仿真。部分结构复杂的组件可在专业的三维制图软件中完成物理模型的建立,再导入 EDA 软件。

4 数值计算与软件仿真

采用上述的物理光学法和商业软件分别对所设计的反射面天线作计算和仿真。

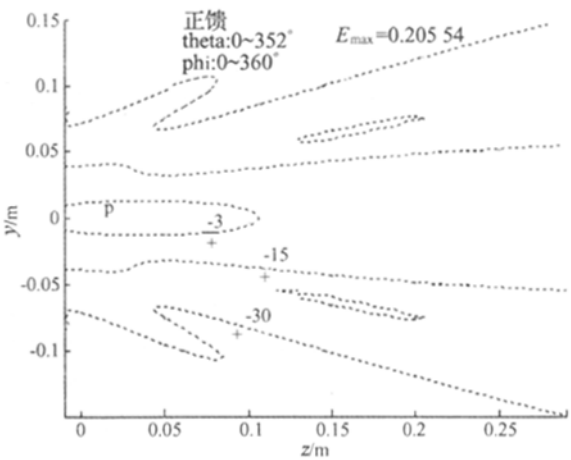
计算例子取反射面参数为： $a = 160 \text{ mm}$ ， $b = 143.8 \text{ mm}$ ，则焦距 $c = 70 \text{ mm}$ ，远焦点位于 $z = 140 \text{ mm}$ 。以圆锥喇叭为初级馈源，分别计算 Ku、Ka 波段的场分布图。

4.1 Ku 波段正馈

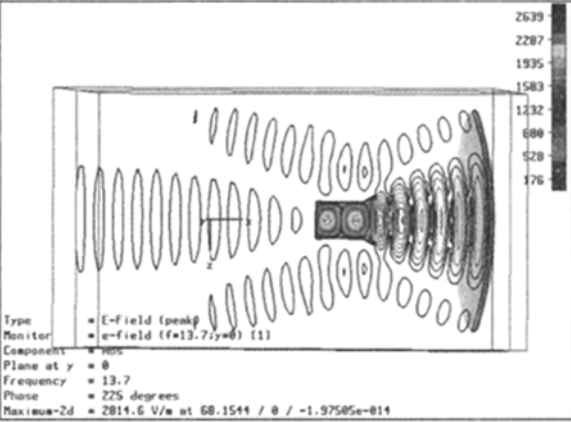
图 3(a)中-3 dB 焦斑直径为 2.7 cm，-15 dB 焦斑最小直径为 6.6 cm，从图 3(b)中可明显看出能量没有汇聚到远焦点，即反射面的会聚作用很小，经反射面反射回的波强度小且分布区域较大。

4.2 Ku 波段偏馈

图 4(a)中-3 dB 焦斑最大直径为 3.8 cm，-15 dB 最



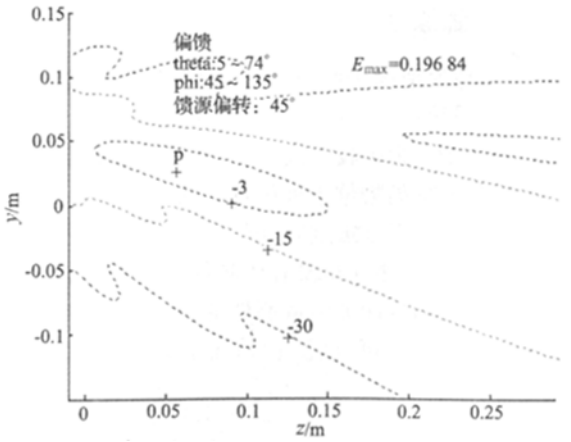
(a) PO 法



(b) 软件仿真

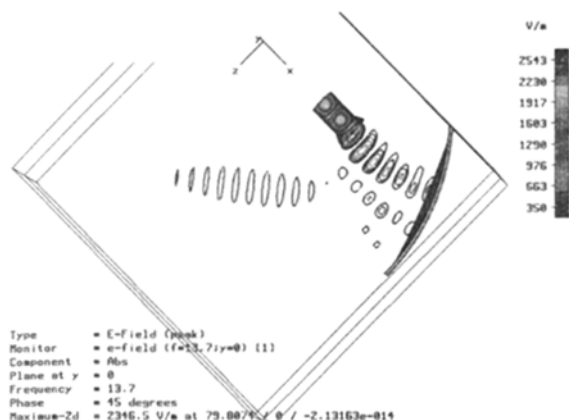
图 3 Ku 波段正馈时电场的纵剖面图

小直径为 6.6 cm，从图 4(b)可看出偏馈稍微改善了反射面的会聚作用，但焦场分布不规则、会聚强度小且不在预期的位置。同时，分别比较物理光学和软件仿真得到的焦场分布图可知，二者得到的焦场分布是一致的，验证了物理光学法计算反射面焦场的准确性。



(a) PO 法

图 4 Ku 波段偏馈时电场的纵剖面图



(b) 软件仿真

图 4 Ku 波段偏馈时电场的纵剖面图

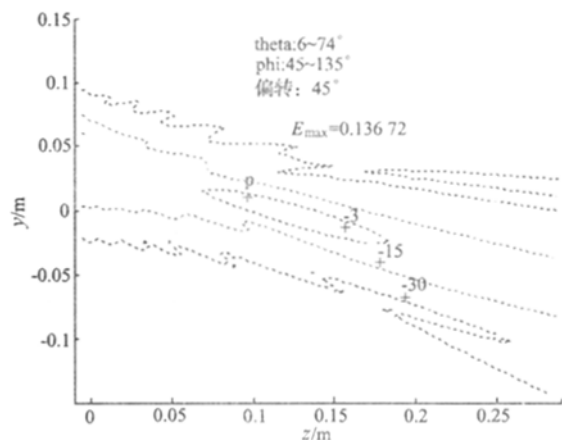


图 6 Ka 波段偏馈时电场的纵剖面图

4.3 Ka 波段正馈

前面的结论证明了物理光学计算反射面天线的焦场是可信的, 所以对 Ka 波段仅用物理光学计算天线焦场, 因为工作频率很高, 如果用软件仿真会花费很长的时间。椭球参数与 Ku 波段的椭球参数相同。

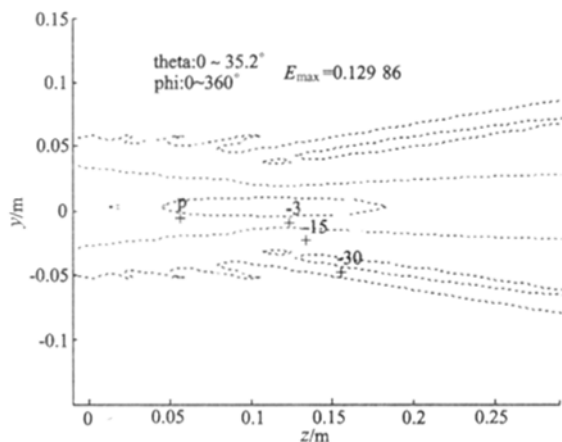


图 5 物理光学法计算的电场纵剖面图

图 5 中-3 dB 焦斑最大直径为 2 cm, -15 dB 焦斑直径为 4.3 cm。比较图 3 和图 5 可知: 对同一个反射面天线, 工作频率越高, 汇聚能力越好, 能量越集中。

4.4 Ka 波段偏馈

图 6 中-3 dB 焦斑最大直径为 2.3 cm, -15 dB 焦斑直径为 4.6 cm。比较图 5 和图 6 可知: 在 Ka 波段, 偏馈的聚焦场稍有改善, 但场分布不规则。

4.5 增大反射面

通过比较 Ku、Ka 波段的焦场分布可知, 反射面的电尺寸越大, 汇聚能力越好, 焦斑越小。为了证明这个结论, 增大反射面面积后计算 Ka 波段时的焦场, 如图 7 所示, -3 dB 焦斑最大直径为 0.9 cm, -15 dB 焦斑直径为 1.8 cm。显然 3dB 焦斑很小, 接近几何光学的结论。

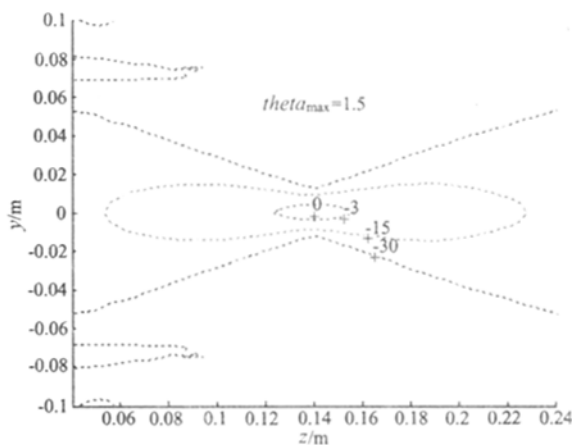


图 7 增大反射面积后计算的 Ka 波段焦场纵剖面

5 结 论

从上述仿真结果可知, 椭球反射面天线的汇聚能力取决于反射面的大小, 只有反射面足够大才体现出汇聚特性。同时, 偏馈与正馈相比, 方向图形状不规则, 汇聚效果稍好一些; 但偏馈时反射面的加工复杂得多。对所给的反射面大小, 所设计的椭球反射面天线, 在 Ku 波段的焦斑不满足要求, 在 Ka 波段的焦斑达到指标要求。

参 考 文 献

- [1] 赵常青, 李世智. 电磁材料的复介电常数和复磁导率的空间标量测量方法[J]. 微波学报, 1997, 3(1): 26-32.
- [2] 马平, 何昌伟, 刘述章. 点聚焦透镜天线及分辨率的分析与测量[J]. 微波学报, 2004, 20(3): 74-76.
- [3] 方剑. 可形成聚焦波束的双反射面天线仿真设计方法[J]. 电子对抗技术, 2002, 17(2): 23-25.
- [4] 吴东梅, 吕善伟, 王伟, 等. 椭圆极化前馈抛物面天线的焦场分析[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(9): 1508-1510.

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,一直致力和专注于微波、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>