

全向圆极化赋形反射面天线

匡勇 熊继容

(航天科工集团二院23所, 北京, 100854)

摘要: 本文介绍了全向圆极化赋形反射面天线, 其中包括设计方案、设计方法和理论分析方法, 此天线适于由于采用波导和喇叭馈电, 适于高功率, 可以实现圆极化。作者利用此设计方法设计了一部天线, 文中介绍了此天线的理论分析结果和试验结果, 此天线的方位面全向性能优良, 俯仰面方向图赋形试验结果与理论分析结果一致。本天线的设计方法为几何光学法, 而分析方法为物理光学法, 由于天线方向图宽, 增益低, 物理光学法比几何光学法有明显的优势。

关键词: 赋形天线、反射面天线、全向天线。

Circular polarization shaped reflector antennas with omni-directional Coverage

Kuang yong、Xiong Ji-gun

(Institute 23, the Second Academy of China Aerospace

Science and Industry Corp., Beijing 100854, China)

Abstract: This paper presents a circular polarization shaped reflector antenna with omni-directional Coverage, including the design and analysis method. This antenna can implement Circular polarization and may be applied to high power. The test pattern is correspond with its theoretic pattern.

Key: Shaped antenna、reflector Antenna 、Circular polarization

率。

在雷达、通讯和制导系统中, 常要求天线具有方位面全向及俯仰面全半球空域的作用空域。方位面全向是指天线在方位面 360° 的范围内方向图的照射功率是均匀的。为了保证天线增益满足要求, 对于俯仰面并不要求半球空域具有均匀照射, 而是根据需要作用空域和作用距离进行能量分配, 即进行波束赋形。对于不同的用途具有不同的波束赋形要求。

对于通讯和制导系统的天线还对天线的极化特性有较高的要求, 为了保证与接收或发射天线的极化相匹配, 有时常要求天线具有圆极化特性。

实现作用空域为方位面全向、俯仰面半球域的天线有多种方式, 归纳起来有三种方式, 即单个小天线、阵列天线和赋形波束天线。这三种方式各有优缺点, 可以实现的方向图性能及天线的极化特性不一样, 有些形式的天线仅适于低功

率。单个小天线的形式有微带天线、振子天线和平共处喇叭天线等, 这些天线在实现方位面全向, 俯仰面赋形宽波束、圆极化及满足大功率等方面, 各有一定的优势, 但很难全面满足。阵列天线可以实现较好的赋形方向图, 但馈电网络复杂。

通过比较我们选用赋形反射面天线来实现方位面全向, 俯仰面赋形方向图的方案。此天线的优点是: 方位面全向性能好; 可以采用波导器件, 馈线损耗小, 效率高; 可以承受高功率; 容易实现圆极化和俯仰面波束赋形。

全向圆极化赋形反射面天线可以采用馈源加赋形单反射面方式, 也可以采用双反射面的方式。反射面的形式有两种, 一种是馈源中间的能量经过反射后仍然在中间, 馈源外边的能量经过反射后辐射到外边(如图1所示)[1], 另一种是馈源中间的能量经过反射后辐射到外边, 馈源外边的能量经过反射后辐射到中间

(如图2所示)。图1所示的方式,有馈源阻档,反射面天线和馈源建立坐标系,馈电点及反射面的实际上与卡塞格伦反射面天线副面相似,图2坐标系如图3所示。

所示的方式无馈源阻挡,实际上与环焦反射面天线副面相似。两种方式的分析和设计方法是一样的,本文主要介绍图2所示的方式的设计、分析和试验结果。

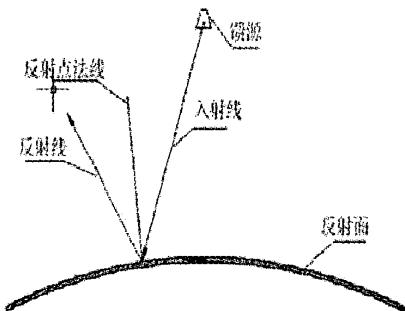


图1方案1天线示意图

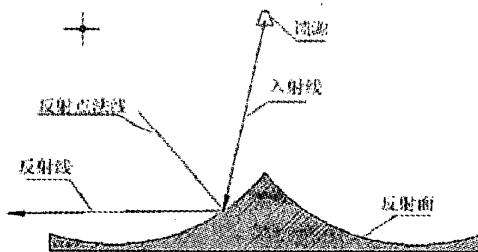


图2方案2天线示意图

2、赋形反射面天线的设计方法

赋形反射面天线设计的第一步是通过几何光学的反射定理及能量守恒等关系得到方程,通过求解方法求出反射面天线的形状。

采用几何光学进行赋形反射面天线的设计过程为:先进行馈源的设计,在馈源设计完成后可以通过试验测试方法或理论分析方法得到馈源的方向图,即可以得到馈源照射到反射面上的能量分布。根据馈源方向图,再通过几何关系、馈源的照射能量分布及要求的天线方向图形状求出反射面的坐标点。

本文要设计的天线是一种全向天线,其特点是反射面为旋转对称的,即可以通过一条母线来得到反射面的各点坐标位置。因此赋形反射面天线的设计实际上是求出反射面天线的母线方程即可。

为了求出反射面天线的赋形母线方程,首先对

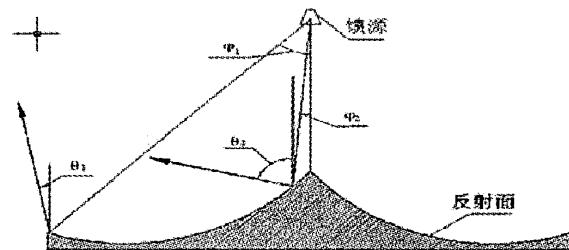


图3 赋形单反射面天线坐标关系图

馈源的相位中心位于F点。

由几何光学的能量关系可得:

$$P_f(\phi)d\phi = KP(\theta)d(\theta) \dots\dots\dots(1)$$

其中: $P_f(\phi)$: 馈源功率方向图

$P(\theta)$: 天线功率方向图

K 可以根据能量守恒得到,由式2求得:

$$K = \frac{\int_{\theta_1}^{\theta_2} P_f(\phi)d\phi}{\int_{\theta_1}^{\theta_2} P(\theta)d\theta} \dots\dots\dots(2)$$

由此可以得到 θ 与 ϕ 的关系方程, θ 与 ϕ 的关系方程如式3所示。

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} P_f(\phi)d\phi = K \int_{\theta_1}^{\theta_2} P(\theta)d\theta \dots\dots\dots(3)$$

求出 θ 与 ϕ 的关系的关系后,天线的坐标 ρ (ϕ) 的方程为:

$$\frac{d\rho}{d\phi} = \tan \frac{\phi - \theta(\phi)}{2} \dots\dots\dots(4)$$

给定 $P_f(\phi)$ 和 $P(\theta)$ 后, 可由方程3和方程4求出天线的坐标 ρ (ϕ)。这样即可完成单反射面赋形天线的设计。一般情况下馈源正对着反射面的

中心，整个反射面均为有效区，因此 $\varphi_2 = 0$ 。

3 赋形反射面天线的分析方法

由于天线较小，采用几何光学来设计的天线方向图形状与要求的方向图会有差异，所以求解的第2步是通过物理光学分析赋形反射面天线的方向图，通过分析结果可以对赋形反射面天线的设计进行修正。为了对赋形单反射面天线的方向图性能进行分析，首先对赋形单反射面天线建立坐标系。赋形单反射面天线分析坐标系如图4所示。

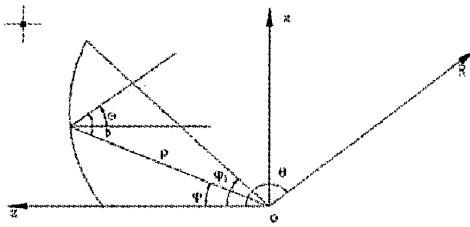


图4 赋形单反射面天线分析坐标系
如图4所示，馈源的照射中心位于O点，馈源为X

方向的线极化，馈源的功率方向图为 $P_f(\varphi)$ 。

则天线的方向图为：

$$E_\theta = j \frac{\pi e^{-jkr}}{\lambda R} \{ [F_1(\theta) - F_2(\theta)] \cos \theta + j 2 F_3(\theta) \sin \theta \} \cos \phi \quad (5)$$

$$E_\phi = j \frac{\pi e^{-jkr}}{\lambda R} [F_1(\theta) + F_2(\theta)] \sin \phi \quad (6)$$

式中：

$$F_1(\theta) = \int_0^{\varphi_1} \sqrt{P_f(\varphi)} \rho \sin^2 \varphi (\operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} + \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}) \\ \times J_0(k \rho \sin \varphi \sin \theta) e^{jk\rho(\cos \varphi \cos \theta - 1)} d\varphi \quad (7)$$

$$F_2(\theta) = \int_0^{\varphi_1} \sqrt{P_f(\varphi)} \rho \sin^2 \varphi (\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} - \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}) \\ \times J_2(k \rho \sin \varphi \sin \theta) e^{jk\rho(\cos \varphi \cos \theta - 1)} d\varphi \quad (8)$$

$$F_3(\theta) = \int_0^{\varphi_1} \sqrt{P_f(\varphi)} \rho \sin \varphi \cos \varphi (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}) \\ \times J_1(k \rho \sin \varphi \sin \theta) e^{jk\rho(\cos \varphi \cos \theta - 1)} d\varphi \quad (9)$$

$$\beta = \varphi + \Theta \quad (10)$$

4 设计、分析及试验结果

高功率全向圆极化赋形反射面天线可以实现方位面全向，俯仰面根据要求进行方向图赋形，由于采用喇叭馈电的反射面天线形式，适于高功率。此天线为旋转反射面结构，在设计中仅需要设计通过式3和式4求出反射面的母线方程即可。

作为设计例，采用波纹喇叭馈源，设计了一个赋形单反射面天线，要求所设计天线的方向图在方位面全向，俯仰面半功率波束覆盖范围为 $20^\circ \sim 70^\circ$ ，其设计过程为：通过理论计算求出波纹喇叭的方向图，再由要求的天线俯仰面方向图，由式3和式4求出反射面天线的母线，即完成赋形反射面天线的设计。

由于设计方法是基于几何光学，因此设计所得到的方向图与要求的方向图相差较大，为此需要采用物理光学进行分析，求出赋形反射面天线的方向图。图5为采用物理光学求出的全向赋形反射面天线的俯仰面方向图（理论曲线）。为了进行实验验证，生产了一套采用波纹喇叭作为馈源的全向赋形反射面天线，经过试验测试得到其俯仰面方向图如图5所示（试验曲线）。通过比较可知，通过物理光学分析得到的结果与试验结果吻合较好。

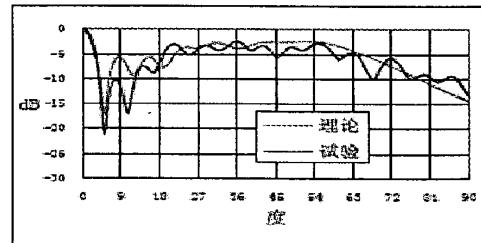


图5 全向赋形反射面天线俯仰面方向图

试验结果围绕理论曲线波浪状起伏变化，加大反射面尺寸可以减小起伏的幅度，但加大尺寸将受到结构的限制。我们选用降低反射面边缘照

射电平的方法减小由于边缘处切断电流而产生的绕射影响,这也是采用第二种反射面的优势之一,一般可以选择边缘照射电平低于-15dB。而采用第一种方案时,为了保证天线方向图在远离法线的大角度处有比较大的增益,边缘照射电平不容易取得太低。另外还可以采用一些其它措施来改进方向图,如将边缘由直棱边改成与圆弧状相接的平滑形。这将使边缘尖劈绕射改为沿平滑曲线的爬行波,使其绕射均匀分布,也可在边缘加装吸收装置,减小边缘切断电流的影响。

另一个要考虑的问题是馈线对全方位方向图全向性的影响,由于馈线是不可避免的,它将横穿反射面的辐射场,为了减小它的影响,除了常规的用波导窄边面朝向反射面外,还应量使它距反射面远一些,这些都是有效的。采用双反射面的设计方案可以避免馈线的影响,但设计较复杂。对于单反射面天线,若要求功率不高,也可以采用同轴杯状馈源,馈线在馈源的中心,可以避免馈线的影响。

5 小结

本文介绍了一种全向圆极化赋形反射面天线,其中包括天线的设计方案,设计方法和

理论分析方法,并利用此设计方法设计了一部天线,此天线可以实现方位面全向,俯仰面赋形(或半球)的方向图要求,采用波导器件馈电,可以实现圆极化,并适于高功率。文中介绍了此天线的理论分析结果和试验结果,此天线的方位面全向性能优良,俯仰面方向图赋形试验结果与理论分析结果一致。本天线的设计方法为几何光学法,而分析方法为物理光学法,由于天线方向图宽,增益低,物理光学法比几何光学法有明显的优点。

感谢本天线的结构设计师宋晓明高工和于春国高工,为本天线优良性能的实现在结构设计中作出了贡献,感谢姜新发研究员对全文的审核和修改。

参考文献:

- [1] Dual Polarized Characteristics of a Shaped Reflector Antenna with Omni-Directional Coverage, Antennas and Propagation Society International Symposium 2006, IEEE, 09-14 July 2006.
- [2] 某型号天线技术设计报告 二十三所档案资料室 2004年11月

小口径微波反射面天线的设计

苏道一^{1,2} 傅德民¹ 汪宁清² 杨华²

(1 西安电子科技大学天线与微波国家重点实验室, 陕西 西安, 710071)

2 广东盛路天线有限公司, 广东 佛山, 528100)

摘要 本文给出了具有自支撑结构的新型馈源, 该馈源结构紧凑, 通过电磁场全波分析方法计算了馈源辐射特性, 然后物理光学和几何绕射理论相结合的混合方法计算了整个反射面天线的辐射特性, 计算结果和实验结果吻合的很好, 证实了设计的有效性。该天线具有较好方向图包络, 满足高性能微波传输天线的要求。

关键词 新型馈源, 混合算法, 高性能微波天线

中图分类号 TN820

Small Microwave Reflector Antenna Design

Su Dao-yi^{1,2} Fu De-min¹ Thomas N.C. Wang² and Yang Hua²

(INational Lab of Antennas and Microwave Technology, Xi Dian University, Xi'an China)
2 Shenglu Antenna Ltd. Guang Dong, China)

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>