

文章编号:1002-0640(2010)04-0174-03

一种新型偏馈赋形抛物面天线设计

林 岩

(桂林空军学院,广西 桂林 541003)

摘要:一种新型偏馈赋形抛物面天线比普通偏馈抛物面天线的垂直面半功率束宽更宽,达 16.5° 。另外,提出的设计方法涉及了馈源喇叭的口径场的相位影响,但不需要计算出馈源喇叭的相位中心位置,还可用于其他任何偏焦量的偏馈或正馈抛物面天线的设计。

关键词:抛物面天线,偏馈抛物面天线,扇形波束,反射面天线的设计

中图分类号:TN823

文献标识码:A

Design of a New Type of Offset Shaped Paraboloidal Reflector Antennas

LIN Yan

(Guilin Air Force Academy, Guilin 541003, China)

Abstract: A new type of offset shaped paraboloidal reflector antennas and a new method for the design of this new type of antennas are presented in detail. By calculation and experiments it is found that one of half-power beamwidths of this new antenna equals 16.5° and it is wider than any offset paraboloidal reflector antenna. This new design method does not need to find out the phase center of the horn feed and includes the influence of the phase center of the horn feed. This new method can be used in the design of other types of both offset or non-offset and focus-fed or non-focus-fed paraboloidal reflector antennas.

Key words: paraboloidal reflector antenna, offset paraboloidal reflector antenna, fan beam, design of reflector antennas

引言

能产生扇形波束的椭圆口径偏馈抛物面天线有广泛的用途,因为扇形波束天线搜索目标比较容易,且偏馈抛物面天线无遮挡,可达到较低的旁瓣电平^[1,5],价格低廉,较易设计。但是,偏馈抛物面天线垂直面(扇面,H面)的半功率束宽 $2\theta_{0.5H}$ (假设本文

的扇形波束在水平面是窄波束的,而在垂直面是宽波束的)不能太大,如,当 $2\theta_{0.5H}=6^{\circ}$ 时,馈源喇叭垂直面的口径尺寸大到 3.18λ ,抛物面垂直面的口径尺寸小到 $11.6\lambda^{[1]}$,都已接近极限值。另一方面,某A型雷达在某高低角范围搜索距离欠佳,部队希望将某B型采用抛物面天线的雷达改装作为辅助搜索雷达(采用产生单个扇形波束的搜索天线)。本文将抛物面天线改为偏馈赋形抛物面天线,此赋形天线比普通偏馈抛物面天线的垂直面半功率束宽更宽。

收稿日期:2009-03-23 修回日期:2009-05-12

作者简介:林 岩(1964-),男,福建漳州人,硕士,副教授,研究方向:反射面天线技术及雷达吸波材料。

1 理 论

1.1 天线的组成

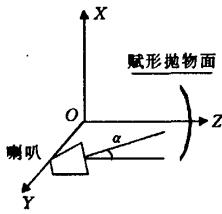


图 1 新型偏馈赋形抛物面与角锥喇叭馈源位置关系图

新型偏馈赋形抛物面天线由角锥喇叭馈源和赋形抛物面组成,如图 1,赋形抛物面方程为

$$F(x, y) = \begin{cases} -\frac{(x+d)^2 + y^2}{4f} + f & y \geq 0 \\ -\frac{(x-d)^2 + y^2}{4f} + f & y < 0 \end{cases} \quad (1)$$

它是将抛物面 $z(x, y) = -\frac{x^2 + y^2}{4f} + f$ (f 为焦距) 的 $|x| \leq d$ 部分切掉后遗留的两部分分别向 z 轴平移而得。由于反射面的对接缝隙在水平面(平面 $x=0$)内,天线采用水平极化。

1.2 一个位于坐标原点的角锥喇叭馈源辐射场

喇叭口面位于 xoy 平面、喇叭口径中心位于坐标原点 o 、喇叭口朝向 $+z$ 轴方向的角锥喇叭口径上的电场和磁场切向分量可近似为

$$E_y(x, y) = E_0 \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{D_1}\right) \cdot e^{-i \cdot \frac{\pi}{\lambda} \left[\frac{x^2}{R_1} + \frac{y^2}{R_2}\right]} \quad (2)$$

$$H_z(x, y) = -E_y(x, y)/\eta \quad (3)$$

式中 λ 是波长, R_1, D_1 分别为 E 面的喇叭长度、口径尺寸, R_2, D_2 分别为 H 面的喇叭长度、口径尺寸。由式(2)代入口径场绕射公式(参见文献[3]中的第 178 页(7-55)式)可得口径面中心位于坐标原点 o 的角锥喇叭在远区场点 $S(x, y, z)$ (直角坐标)的辐射场

$$H(x, y, z) = H_\theta(x, y, z)\hat{e}_\theta + H_\phi(x, y, z)\hat{e}_\phi \quad (4)$$

式中 $\hat{e}_\theta, \hat{e}_\phi$ 是球坐标系的单位矢量, \hat{e}_θ 和 \hat{e}_ϕ 可分别用矢量矩阵表示为

$$\hat{e}_\theta = \left[\frac{z \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}}{r(x, y, z)} \quad \frac{z \cdot \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}}}{r(x, y, z)} \quad \frac{-\sqrt{x^2 + y^2}}{r(x, y, z)} \right]^T$$

$$\hat{e}_\phi = \left[-\frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad 0 \right]^T$$

式中 $r(x, y, z) = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, 用 T 表示对矩阵转置。本文的直角坐标 $S(x, y, z)$ 、柱坐标 $S(\rho, \varphi, z)$ 和

球坐标 $S(r, \varphi, \theta)$ 参数之间的关系符合惯例。

1.3 一个最大辐射方向偏离 z 轴方向(在 xoz 平面内)的馈源的辐射场

求式(2)~式(4)表示的馈源绕 y 轴逆时针旋转 α 角(如图 2, 馈源的最大辐射方向在 $+Z$ 方向)时馈源的辐射场表达式 $H_s(x, y, z)$ 。直角坐标系 $o\text{-}XYZ$ 是由直角坐标系 $o\text{-}xyz$ 绕 y 轴逆时针旋转 α 角而得。由式(4)

$$H_s(x, y, z) = H(X, Y, Z) = H_\theta(X, Y, Z)\hat{e}_\theta + H_\phi(X, Y, Z)\hat{e}_\phi \quad (5)$$

式中 $\hat{e}_\theta, \hat{e}_\phi$ 是对应于直角坐标系 $o\text{-}XYZ$ 的球坐标系(如图 2)的单位矢量。由直角坐标系 $o\text{-}xyz$ 与直角坐标系 $o\text{-}XYZ$ 之间的变换关系, 可得

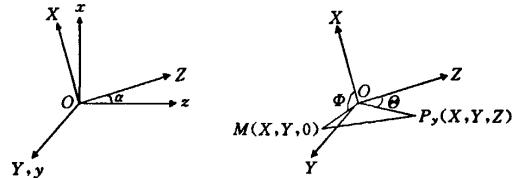


图 2 两直角坐标系 $o\text{-}xyz$ 和 $o\text{-}XYZ$ 的关系图

$$H_\theta(X, Y, Z) = H_\theta(-z \cdot \sin\alpha + x \cdot \cos\alpha, y, z \cdot \cos\alpha + x \cdot \sin\alpha) \quad (6)$$

$$H_\phi(X, Y, Z) = H_\phi(-z \cdot \sin\alpha + x \cdot \cos\alpha, y, z \cdot \cos\alpha + x \cdot \sin\alpha) \quad (7)$$

求 $\hat{e}_\theta, \hat{e}_\phi$ 在直角坐标系 $o\text{-}xyz$ 中的表达式。由球坐标与直角坐标的互换公式

$$\Theta = \arctg \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{Z} + c_1, (c_1 = 0 \text{ 或 } \pi) =$$

$$\arctg \frac{\sqrt{(-z \sin\alpha + x \cos\alpha)^2 + y^2}}{z \cos\alpha + x \sin\alpha} + c_1$$

$$\Phi = \arctg \frac{Y}{X} + c_2, (c_2 = 0 \text{ 或 } \pi \text{ 或 } 2\pi) =$$

$$\arctg \frac{y}{-z \sin\alpha + x \cos\alpha} + c_2$$

设

$$\hat{e}_\theta = [f_x(x, y, z), f_y(x, y, z), f_z(x, y, z)]^T,$$

$$\hat{e}_\phi = [g_x(x, y, z), g_y(x, y, z), g_z(x, y, z)]^T \quad (8)$$

式中 T 表示转置。由文献[4]的第 440 页,

$$f_D(x, y, z) = \frac{\frac{\partial \Phi}{\partial D}}{\sqrt{\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z}\right)^2}},$$

$$g_D(x, y, z) = \frac{\frac{\partial \Phi}{\partial D}}{\sqrt{\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z}\right)^2}} \quad (9)$$

式中 D 代表 x 或 y 或 z 。这样, 将式(6)~式(9)式代入式(5)可求得 $H_a(x, y, z)$ 。

1.4 新型偏馈赋形抛物面天线的远区辐射场

偏馈赋形抛物面天线的馈源由式(5)表示的馈源平移至 $(d_x, 0, d_z)$ 而得。

反射面的法向矢量为 N

$$N = \begin{bmatrix} \frac{d}{dx} F(x, y) & \frac{d}{dy} F(x, y) & -1 \end{bmatrix}^T \quad (10)$$

$F(x, y)$ 上的面电流密度为

$$J_s = 2 \frac{N}{|N|} \times H_a(x-d_x, y, F(x, y)-d_z) \quad (11)$$

反射面 $F(x, y)$ 的辐射场的场点 L 的球坐标为 (r_L, ϕ_L, θ_L) , \hat{e}_θ 和 \hat{e}_ϕ 在 L 点可表示为

$$\hat{e}_{\theta L} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_L) \cdot \cos(\phi_L) \\ \cos(\theta_L) \cdot \sin(\phi_L) \\ -\sin(\theta_L) \end{bmatrix}, \hat{e}_{\phi L} = \begin{bmatrix} -\sin(\phi_L) \\ \cos(\phi_L) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

反射面 $F(x, y)$ 的口径面选定为: 它在 xoy 平面的投影 S_0 为以坐标原点为中心的椭圆。由文献[2]的第 245 页式(9~16), 远区辐射场的电场强度 E 在 \hat{e}_θ 和 \hat{e}_ϕ 方向的分量为

$$E_\theta = \frac{i\omega\mu_0}{4\pi r_L} e^{-ikr_L} \iint_{S_0} J_{\theta L} e^{ikG \cdot R} |N| dx dy, \\ E_\phi = \frac{i\omega\mu_0}{4\pi r_L} e^{-ikr_L} \iint_{S_0} J_{\phi L} e^{ikG \cdot R} |N| dx dy \quad (13)$$

式中

$$J_{\theta L} = J_s \cdot \hat{e}_{\theta L}, J_{\phi L} = J_s \cdot \hat{e}_{\phi L}, R = \begin{bmatrix} \sin(\theta_L) \cdot \cos(\phi_L) \\ \sin(\theta_L) \cdot \sin(\phi_L) \\ \cos(\theta_L) \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} x \\ y \\ F(x, y) \end{bmatrix}$$

取波长 $\lambda=0.03$ m, 焦距 $f=0.5$ m, 椭圆 S_0 的半长轴 $R_x=0.8$ m, 半短轴 $R_y=0.2$ m, $R_1=0.260$ m, $R_2=0.201$ m, $D_1=0.09$ m, $D_2=0.024$ m, $d=0.05$ m, $d_x=-0.167$ m, $d_z=0$, 由式(13)可求得偏馈赋形抛物面天线的辐射场的电场强度 \vec{E} 从而可求出增益。

图 3(a)画出了此偏馈赋形抛物面天线(PE 平面副瓣电平为 -23.9 dB, 增益为 30.03 dB, 垂直面半功率束宽为 16°)在平面 PE (通过远场最大增益点且垂直于垂直面(xoz 平面)的平面)的方向图 RPE , 单位为 dB, β 为 PE 平面内的场点偏离反射

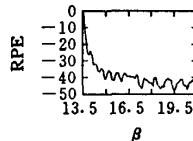


图 3(a) 偏馈赋形抛物面天线在平面 PE 的方向图 RPE , 平面 PE : 通过远场最大增益点且垂直于垂直面(xoz 平面)的平面

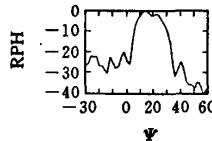


图 3(b) 偏馈赋形抛物面天线在 xoz 平面(z 垂直面)的方向图 RPH

面对称轴($-z$ 轴)的角度数, 由于对称, 方向图只画出半平面, 远场最大增益点的 $\beta=13.5^\circ$ 。图 3(b)画出了此偏馈赋形抛物面天线在 xoz 平面(z 垂直面)的方向图 RPH , 在此平面内偏离反射面对称轴($-z$ 轴)的角度数用 Ψ 表示, Ψ 的正、负值分别表示场点的坐标 x 大于、小于零。

对偏馈赋形抛物面天线进行测试, 测试结果(PE 平面副瓣电平为 -22.4 dB, 增益为 29.5 dB, 垂直面半功率束宽为 16.5°)与设计值基本一致。

2 结论

此偏馈赋形抛物面天线比普通偏馈抛物面天线的垂直面半功率束宽更宽。另外, 提出的设计方法计及了馈源喇叭的口径场的相位影响, 可通过改变 d_x, d_z 值的大小寻找最佳馈源位置, 但不需要计算出馈源喇叭的相位中心位置, 此设计方法还可用于其他任何偏焦量的偏馈或正馈抛物面天线的设计。此偏馈赋形抛物面天线及其设计方法都有一定的实用价值。

参考文献:

- [1] 李秀梅. 宽频带双极化低副瓣偏馈抛物面天线[J]. 成都: 电讯技术, 2004, 44(6): 146-149.
- [2] 魏文元. 天线原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985.
- [3] 刘克成. 天线原理[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1989.
- [4] 《数学手册》编写组. 数学手册[M]. 北京: 人民教育出版社, 1979.
- [5] 张祖稷. 雷达天线技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

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>