

有源诱偏反辐射导弹天线研究

杨伯朝

(电子 20 所、西安 92 信箱 74 分箱 710068)

(email:bcyang@163.com)

摘要: 本文从能量守恒定律、镜面反射定律出发, 对二维赋形散焦天线进行分析, 从而建立设计模型并推导出设计、分析方法。所设计的模型天线实现了方位面 180° 、俯仰面 $10\sim 80^\circ$ 的圆极化等功率覆盖, 是一种可用于有源诱偏反辐射导弹系统的理想天线。

关键词: 有源诱偏, 抗反辐射导弹天线, 二维赋形天线

A Study of Antenna for the Active Induced Deviation ARM

Yang bochao

(Research Institute of Navigation Technology, Xi'an Branch 74 Po Box 92 Xi'an 710068)

Abstract: The paper is based on both the energy conservation principle and the specular reflection law and analyzes the two dimension beam shaped antenna. Thereby, it sets up a design model and deduces the method of both design and analysis. The designed model antenna achieves uniform energy coverage of the azimuth of 180° and the elevation of $10\sim 80^\circ$ of circular polarization. It properly applies for the active induced deviation ARM(Anti-Radiation Missile) system.

Key Words: Active induced deviation ARM, Counteracting ARM antenna, Two dimension beam shaped antenna

1 引言

雷达系统对抗反辐射导弹的攻击可以用两种方法, 即采用远地作战平台的雷达数据供本地武器系统使用, 本地的雷达处于静默状态; 根据系统中对目标的威胁估计, 采用诱饵系统是保护雷达免遭反辐射导弹袭击的另一种有效手段。近年来的研究^[1]表明, 三诱饵系统不但能保护雷达系统, 而且诱饵系统也是安全的。本文重点对诱饵系统中天线分系统的性能、设计与分析方法进行探索。为了使诱饵系统有效工作, 要求反辐射天线方位面覆盖 180° , 俯仰面覆盖 $10\sim 80^\circ$, 并且在波束覆盖范围内等功率辐射, 在波束覆盖范围外辐射尽可能小。为了不失一般性, 将研究模型设计为圆极化。

图 1 中的虚线区域即为波束需要覆盖的区域, 其它区域为波束不希望覆盖区域。经大量分析论

证, 决定采用二维赋形散焦双弯曲反射面天线来实现上述空域的波束等功率覆盖。同时, 考虑到天线的极化要求, 若在所覆盖的所有空域均实现圆极化, 则要求馈源的极化特性符合要求, 亦即馈源的 E 面和 H 面方向图在正面的照射范围内尽可能做到完全一致, 波纹喇叭是满足馈源这一要求的最佳选择。

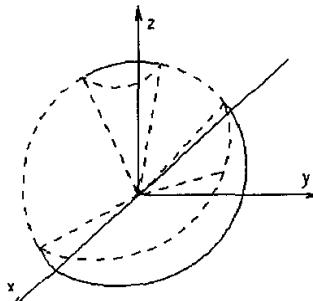


图 1 波束覆盖空间示意图

2 散焦二维赋形天线的设计

根据二维散焦赋形天线的特点,仿照聚焦双弯曲反射面天线的设计方法,将天线形面的设计分为中截线与横截线的计算以及相应的修正。

2.1 中截线

设 $G(\xi)$ 为馈源的功率方向函数、 $r(\xi)$ 为从馈源相位中心到天线形面中截线的距离、 $P(\theta)$ 为天线次级功率方向函数——赋形函数,通过解(1)、(2)积分方程组即可求出 $r(\xi)$,此即为天线的中截线。

$$\frac{\int_{\xi_1}^{\xi} \frac{G(\xi)}{r(\xi)} d\xi}{\int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{G(\xi)}{r(\xi)} d\xi} = \frac{\int_{\theta_1}^{\theta} P(\theta) d\theta}{\int_{\theta_1}^{\theta_2} P(\theta) d\theta} \quad (1)$$

$$\ln \frac{r(\xi)}{\xi_1} = \int_{\xi_1}^{\xi} \operatorname{tg} \frac{\theta(\xi) + \xi}{\xi} d\xi \quad (2)$$

在计算中截线时,对形面尺寸、 R_0 、馈源对形面的边缘照射电平等进行了初步的确定,模型天线形面的最大尺寸为 19.8 个波长, R_0 取 20 个波长,边缘照射电平取 -11dB, 馈源的照射半张角为 20°。

2.2 横截线

由于此天线的形式为散焦,它的横截线就不能用一个解析方程来描述,因此横截线同中截线一样也必须用一组离散的点来描述,具体的计算方法与中截线相同,不再赘述。

2.3 形面的形成

以上关于中截线以及横截线的计算,按照几何光学理论,次级波束都是在截线平面内的。也就是说,在计算时仅仅考虑了中截线与横截线在交点处的连续性,而没有考虑波束的空间指向。因此,形面的形成需要进行进一步的计算。

关于形面的形成,可以采用逐点计算法。按照 $P(\phi)=1$,首先对中截线和横截线进行赋形计算,并且保证交点的连续性,然后按照形面连续性原则和波束在空间指向 (θ, ϕ) 与形面单元的对应关系构造出横截条带。接着对这一横截条带进行性能分析,观察是否满足在 θ 方向 $P(\phi) < 1 \pm \Delta$ (Δ 为误差最大范围)。如果不满足,则修正赋形函数后重新计算。最后按照形面连续性原则和波束在空间指向 (θ, ϕ) 与形面单元的对应关系构造出整个形面。

图 2 为设计的形面模型。

形面的形成实际上是一个对赋形函数不断进行修正的过程。给定赋形函数,计算出中截线、横截线、形成形面 → 面电流分析 → 与目标方向图进行比较 → 修正赋形函数 → 重新进行计算……直至达到满意的结果。由此可以看出,形面的次级方向图分析是非常重要的,下面进行讨论。

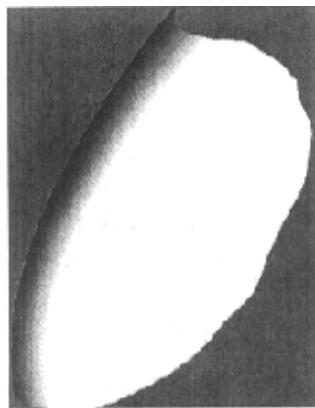


图 2 形面模型

3 次级方向图的面电流分析

诱饵天线的分析方法与文献[2]的方法类似,但也有不同,主要差别有两点。首先诱饵天线是圆极化的,我们知道圆极化可以分解为两个正交的线极化,在分析中需要计算水平和垂直两种极化状态;其次坐标系选取不同,诱饵天线次级方向图覆盖的是接近 $1/2$ 上半空域,因此选取球坐标系比较方便,需要注意,采用这种坐标系需要分别计算场的 θ 、 ϕ 分量。

$$E_\beta(\theta, \phi) = B \int_{-d/2}^{d/2} \int_{\psi_1(x)}^{\psi_2(x)} I(x, \psi) W(\theta, \phi, x, y, z) K(\theta, \phi, x, y, z) d\psi dx \quad (3)$$

其中:

$$\begin{aligned} I(x, \psi) &= \frac{G^{1/2}(\psi, \xi)}{r} \\ \psi &= \arcsin(y/r) \\ \xi &= \operatorname{arctg}(x/y) \\ W(\theta, \phi, x, y, z) &= \bar{I}_\beta [\bar{n} \times (\bar{r}_0 \times \bar{e}_i)] \\ &\quad \cdot |\bar{e}_x \times \bar{e}_y| \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} N_x &= \frac{\partial y}{\partial x} \frac{\partial z}{\partial \psi} - \frac{\partial y}{\partial \psi} \frac{\partial z}{\partial x} \\ N_y &= -\frac{\partial z}{\partial \psi} \\ N_z &= \frac{\partial y}{\partial \psi} \end{aligned} \quad (5)$$

3.1 当馈源为水平极化时

$$\begin{aligned} W_{\theta x} &= \frac{1}{\sqrt{y^2 + z^2}} \{ (zF_z + yF_y) \sin \theta \sin \phi \\ &\quad + yF_x \cos \theta - zF_x \sin \theta \cos \phi \} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} W_{\phi x} &= \frac{1}{\sqrt{y^2 + z^2}} \{ (zF_z + yF_y) \cos \phi \\ &\quad - zF_x \sin \phi \} \end{aligned} \quad (7)$$

将 (6)、(7) 分别代入 (3) 即可求出水平极化时场的 θ 、 ϕ 分量。

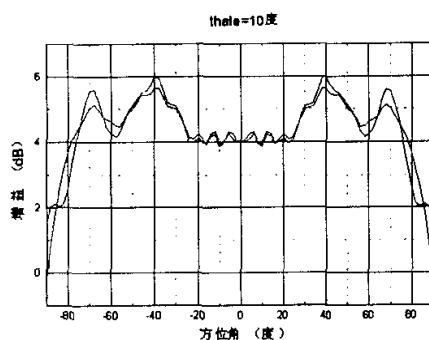


图 3 俯仰角 10°时方位面方向图

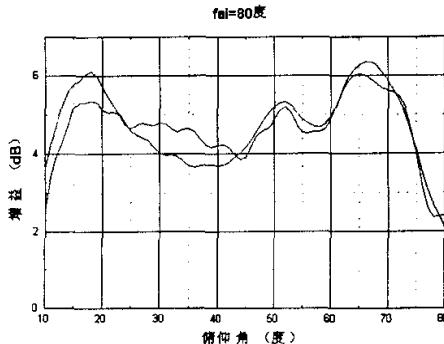


图 5 俯仰角 80°时方位面方向图

3.2 当馈源为垂直极化时

$$\begin{aligned} W_{\theta y} &= -\frac{1}{\sqrt{x^2 + z^2}} \{ (x \sin \phi + z \cos \phi) F_y \sin \theta \\ &\quad + (xF_x + zF_z) \cos \theta \} \end{aligned} \quad (8)$$

$$W_{\phi y} = \frac{1}{\sqrt{x^2 + z^2}} \{ xF_y \cos \phi - zF_y \sin \phi \} \quad (9)$$

将 (8)、(9) 分别代入 (3) 即可求出垂直极化时场的 θ 、 ϕ 分量。

由不同极化时场的 θ 、 ϕ 分量即可求出不同极化时的次级方向图。

4 次级方向图

采用以上方法设计了反辐射天线的模型, 图 3~图 5 为几种俯仰角时的方位面计算方向图, 图中两条曲线分别为垂直极化与水平极化特性, 由图可以看出圆极化的轴比在 0.5dB 以内。图 6~图 8 为天线实验模型圆极化工作时的实际测试结果。可以看出, 实测结果与理论计算吻合良好。

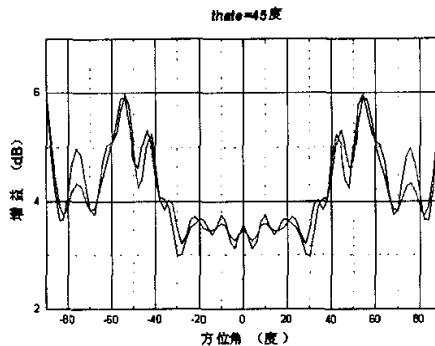


图 4 俯仰角 45°时方位面方向图

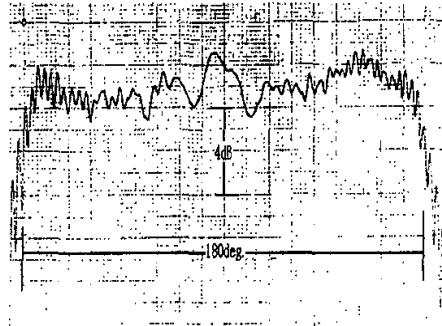


图 6 俯仰角 10°时方位面实测方向图

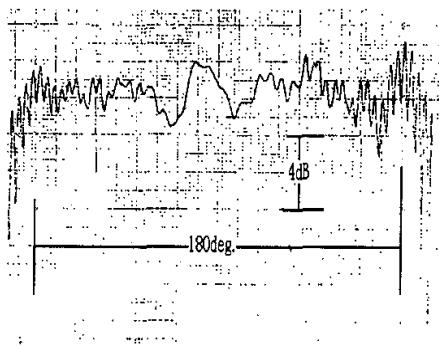


图 7 俯仰角 45° 时方位面实测方向图

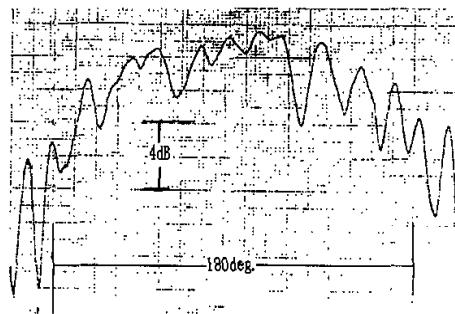


图 8 俯仰角 80° 时方位面实测方向图

参考文献

- [1] 顾尔顺 有源诱偏反辐射导弹的理论 《现代防御技术》，1993.03
- [2] 林世明 《微波天线设计的数学方法》 西北工业大学，1983
- [3] 杨可忠等 《现代面天线新技术》 人民邮电出版社，1993

- [4] Lie Fa-Yu "A DUAL-BAND, DUAL-POLARIZATION AND DUAL-BEAM SHAPED ANTENNA SYSTEM" Proceeding of the Fourth International Symposium on ANTENNA AND EM THEORY, 1997

作者简介

杨伯朝 男，1964 年生于河南省，硕士。电子 20 所高级工程师，主要从事雷达天线的研究工作。

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>