

一种 Ka 频段多波束天线的工程实现

李 勇¹, 李文计²

(1. 中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050081;
2. 武警河北总队司令部, 河北 石家庄 050051)

摘要: 针对近空间飞行器测控的需求, 设计了一种 Ka 频段的宽角覆盖多波束天线。采用方喇叭作为馈源, 通过馈源的横向偏焦, 实现反射面天线的宽角覆盖; 最后, 仿真并研制了原理样机, 进行了测试。测试结果表明, 该多波束天线覆盖了 $\pm 1.5^\circ$ 以上的空域, 且在覆盖区内的增益差小于 1.8 dB, 实现了对探测空域的宽角高增益覆盖。样机的研制成功为后续的工程优化提供了重要的设计参考。

关键词: Ka 频段测控; 多波束天线; 偏馈波束; 宽角覆盖

中图分类号: TN823 文献标识码: A 文章编号: 1003-3114(2012)04-45-3

Engineering Implementation of a Ka-band Multibeam Antenna

LI Yong¹, LI Wen-ji²

(1. The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang Hebei 050081, China;

2. Hebei Head Troop Headquarters of the Armed Police, Shijiazhuang Hebei 050051, China)

Abstract: Aiming at TT&C demand of near space vehicle, a wide-angle coverage multibeam antenna is designed for Ka-band in this paper. The present antenna uses square horn as feed. A wide-angle coverage of the reflector antenna is achieved by the offset of landscape orientation. Simulation model and prototype are developed, and the prototype is tested. The test results indicate that the present antenna covers the domain of $\pm 1.5^\circ$ and the gain difference in the domain is less than 1.8 dB. The present multibeam antenna achieves a wide-angle coverage with high gain for covering about the whole detection space. The successful development can provide an important reference for the further optimization design.

Key words: Ka-band TT&C; multibeam reflector antenna; offset feed beam; wide-angle coverage

0 引言

飞行器在近空间飞行时, 机体四周将形成一定厚度的电离气体层, 称之为“等离子鞘套”。等离子鞘套的形成, 使无线电波通过等离子体传播时引起衰减, 严重时会造成无线电信号中断, 此现象称为“黑障”。关于“黑障”技术问题的研究, 国内外进行了大量的研究, 目前公认最有效的解决途径是提高无线电波频率克服“黑障”。考虑到元器件的成熟度和设备成本, 当前各国基本选择 Ka 频段作为工作频段^[1-3]。

工作频段的提高导致测控系统天线设备的波束变窄, 对于近地高动态目标的捕获将更加困难。所以, 研究一种具有宽角波束覆盖的高性能测控天线

是急需要解决的一个问题。多波束反射面天线单个波束可以实现较高的天线性能, 同时产生的多个波束又可以覆盖更大的空域, 实现宽角波束覆盖, 是非常适合这一应用。本文设计了一种多波束天线, 天线的基本性能要求如下:

- ① 工作频率: 27 ~ 28.5 GHz;
- ② 天线主波束增益 ≥ 57 dB ($F_0 = 28$ GHz);
- ③ 波束覆盖范围: $\pm 1.5^\circ$;
- ④ 偏焦损失 ≤ 3 dB。

1 天线模型及参数设计

1.1 天线反射面设计

按照天线的工作频段和天线增益的要求, 天线口径选择为 3.7 m。考虑到将来工程实际中天线需要兼容 S 频段应用, 天线形式确定为卡塞格伦形式。

3.7 m 天线的主要参数如下:

- 天线主反射面直径: $D = 3700$ mm;
- 天线副反射面直径: $d = 900$ mm;

基金项目: 国家部委基金资助项目

收稿日期: 2012-00-00

作者简介: 李 勇 (1978—), 男, 工程师。主要研究方向: 微波天线总体及馈源。

抛物面焦距: $F = 1480 \text{ mm}$;
照射副面半张角: $\theta_m = 37^\circ$;
照射正面半张角: $\Psi_m = 64^\circ$ 。

1.2 馈源阵列设计

偏馈馈源位置 P 与偏馈波束覆盖区域 W 的对应关系基本为 $W = \frac{P\theta_0}{\lambda}$, 其中 θ_0 为天线中心波束波束宽度。天线要实现 $\pm 1.5^\circ$ 的波束覆盖范围, 最外端馈源中心位置约为 80 mm。为了实现波束覆盖范围内无间隙覆盖, 多波束馈源外围采用方喇叭密集排列。中心馈源采用波纹喇叭形式提高天线主用信道性能, 配置单脉冲跟踪网络, 提高系统跟踪精度。综合考虑单馈源的性能及覆盖范围, 多波束馈源外围阵列确定为 14×14 方阵, 中心 4 个馈源位置空出用于排布主馈源。为了便于后端设备分组, 在阵列左右各增加 1 列馈源, 最终组合馈源的外围阵列为 14×16 阵^[4]。多波束馈源布阵图如图 1 所示。

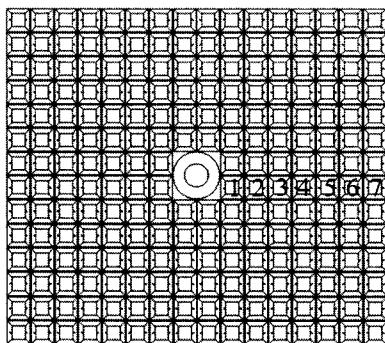


图 1 多波束馈源布阵图

偏馈馈源采用隔板移相器实现圆极化, 由于馈源排布密集, 空间狭小, 不能实现双极化。所以, 根据应用需求保留右旋圆极化端口, 另一个端口安装吸收负载实现匹配。对于此类紧密排列的波导辐射阵列, 采用在辐射口面加装极化栅实现双圆极化也不失为一种可行的办法。但是极化栅的工作带宽一般较窄, 如何设计极化栅的布置方式及相关尺寸实现较好性能, 以及如何控制极化栅实现极化切换都是需要仔细研究的问题。由于这些问题不是本样机的主要验证方向, 所以放在后续的研究中进行完善。

另外, 互耦效应是阵列天线设计中需要考虑的一个问题, 单元间的互耦会对阵列的性能产生影响, 会引起单元的阻抗特性及辐射方向图的变化, 尤其是对于密集布阵的馈源阵更需仔细研究。文献[5]中使用 HFSS 分析了喇叭阵列接收时的波束互耦情况。从分析结果来看用多喇叭阵列接收引起的 S21

参数的变化小于 3.36, 所以文献认为采用波导辐射的多波束天线的互耦影响较小。

2 仿真结果

为了验证波束覆盖范围, 利用物理光学算法对编号为 1~7 的 7 个馈源和中心波束的方向图进行了仿真, 图 2 为天线方向图仿真结果。从计算结果来看, 波束可以覆盖 $\pm 1.6^\circ$ 位置, 能够满足实现 $\pm 1.5^\circ$ 波束覆盖的要求。而且偏焦波束与主波束的最大增益差为 1.6 dB, 符合偏焦损失 $\leq 3 \text{ dB}$ 的设计需求。

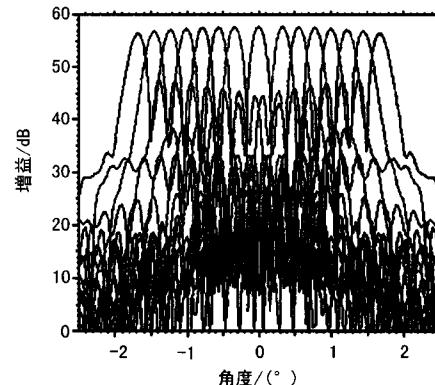


图 2 方位面天线方向图

利用物理光学算法对每个馈源的三维方向图进行了仿真计算。用程序提取每个波束的增益等高线并投影到平面上。图 3 是 5 dB 波束宽度覆盖效果图。可以看出, 多波束天线可以在 $\pm 1.6^\circ$ 空域基本实现全覆盖。

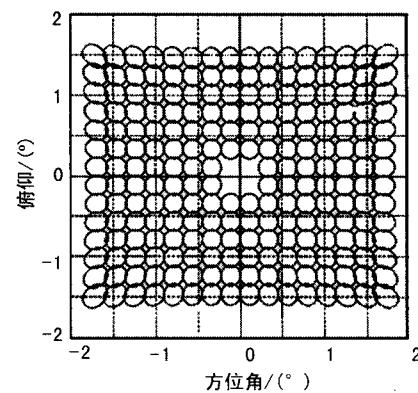


图 3 5 dB 波束宽度覆盖示意图

天线波束隔离会对多波束天线的功能实现有较大影响。此天线的跟踪模式为开环引导加闭环跟踪模式。跟踪目标处于偏馈波束覆盖区域时, 数据处理设备通过比较临近波束接收信号的强度确定信号最强波束的位置。然后, 按照先前标定的波束相对

位置关系,逐步引导天线的中心波束对准目标,在满足闭环条件时启动闭环跟踪,使天线稳定对准目标。采用此种跟踪模式后,某一个波束的旁瓣增益只要不高于临近波束对应点的增益就不会引起数据处理设备的误判。从图 2 的计算结果来看,所设计天线波束隔离满足此要求。

3 工程实现

利用 3.7 m 卡塞格伦天线和伺服控制系统搭建了 Ka 频段多波束天线原理样机,如图 4 所示。

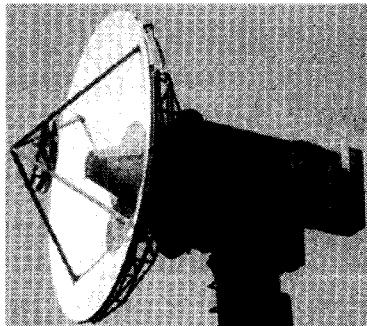


图 4 Ka 频段多波束天线原理样机

对 Ka 频段多波束天线原理样机进行了测试,测试结果如表 1 所示。图 5 为方位面天线方向图测试结果,图形利用各波束接收的绝对电平绘制。

表 1 Ka 频段多波束天线测试结果

项目	测试指标
波束覆盖范围 (5 dB 交叠)	方位覆盖范围:3.51° 俯仰覆盖范围:3.12°
主波束增益	57.71 dBi
偏焦增益损失	<1.8 dB

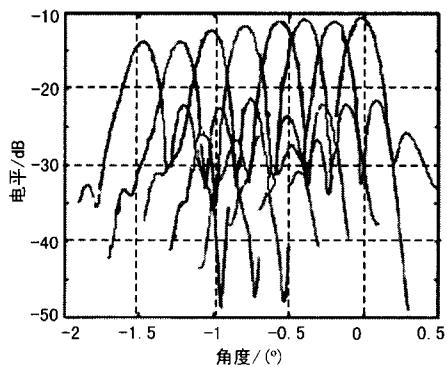


图 5 Ka 频段多波束天线测试方向图

各波束的方向图基本符合仿真结果,波束互耦影响不大,但是,各波束接收电平变化趋势与仿真结果有一定差别。为了消除射频信道对天线增益测试的影响,波束增益采用方向图法进行了核算,其核算公式为:

$$G = 10 \lg(27000 / [AZ3 * EL3]);$$

式中:

AZ3——方位 3 dB 波束宽度(·);

EL3——俯仰 3 dB 波束宽度(·);

G——待测波束增益(dBi)。

增益的测试和仿真分析结果如图 6 所示。

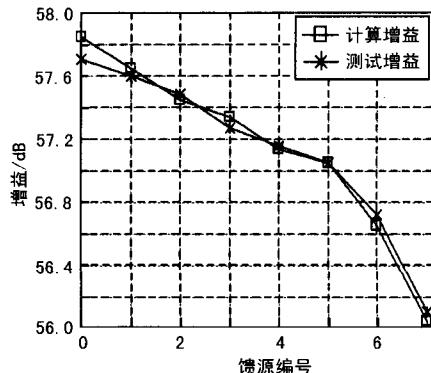


图 6 Ka 频段多波束天线增益测试结果

从计算结果来看,考虑测试误差,波束增益的变化基本符合仿真结果。随后,对天线后端射频信道进行了测试发现各馈源对应的射频信道增益一致性不太好,导致测试结果产生了较大的偏差。综合来看,样机的各项性能满足设计预期。

此外,原理样机与数据处理分系统配合进行了高动态跟踪、跑车等相关验证试验,跟踪效果良好,达到了预期效果。

4 结束语

通过原理样机的测试表明利用多波束天线实现空间宽角波束覆盖是切实可行的。而且,在与数据处理分系统配合进行的相关验证试验表明此天线体制是完全适合近地高动态目标的捕获测控,此样机的研制成功,为后续的工程实施提供了良好的设计基础和工程经验。

参 考 文 献

- [1] 柴霖. 临近空间飞行器测控与信息传输系统频段选择[J]. 航空学报, 2008, 7:1007–1012.
- [2] 申志强, 孟令杰. 临近空间高超声速飞行器测控通信的需求及策略分析[J]. 航天电子对抗, 2010, 2:31–34.
- [3] 刘嘉兴. 发展 Ka 频段测控通信系统的思考[J]. 宇航学报, 2008, 11:1685–1688.
- [4] 李保明, 王玉峰. 一种高增益多波束反射面天线设计[J]. 通信对抗, 2010, 4:51–54.
- [5] 郭艳玲. 均匀多波束分区透镜天线研究[D]. 电子科技大学硕士学位论文, 2009:55–58.

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>