

一种 Ka 频段多波束天线设计研究

李 勇¹, 戴 明², 常立新³

(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. 中国交通通信信息中心, 北京 100011;
 3. 总参信息化部驻石家庄地区军事代表室, 河北 石家庄 050081)

摘要 针对临近空间飞行器测控的需求, 提出了一种 Ka 频段多波束天线。分析了天线的实现形式, 讨论了偏馈馈源位置与覆盖区域的关系、焦径比对偏馈波束性能的影响以及副面大小对偏馈波束性能的影响。从中总结了规律, 对天线的优化设计有一定的指导意义。

关键词 临近空间; Ka 频段测控; 多波束天线; 偏馈波束

中图分类号 TN823 文献标识码 A 文章编号 1003-3106(2012)08-0041-02

Design of a Ka-band Multiple-beam Reflector Antenna

LI Yong¹, DAI Ming², CHANG Li-xin³

(1. The 54th Research Institute of CFTC, Shijiazhuang Hebei 050081, China;
 2. China Transport Telecommunication & Information Center, Beijing 100011, China;
 3. The Military Department of General Staff Stationed in Shijiazhuang, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract Aiming at the requirements of near space vehicle TT&C, a Ka-band multiple-beam reflector antenna is proposed in this paper. The realization form of antenna is analyzed and the relation between coverage area and the position of offset feed is discussed. The influence of focus to diameter ratio and that of subreflector dimension on performances the offset beams are described. The obtained results will be helpful for optimal design and operation of antenna.

Key words near space; Ka-band TT&C; multiple-beam reflector antenna; offset beam

0 引言

飞行器在临近空间飞行时, 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”^[1,2]。关于“黑障”技术问题, 国内外进行了大量的研究, 目前公认的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^[3-5]。

工作频段的提高导致测控系统天线设备的波束变窄, 对于近地的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^[6]。对多波束天线的各项参数性能进行研究, 探讨各参数对天线性能影响的规律, 从而为多波束天线的工程设计提供一定的设计基础。

1 天线的形式

多波束反射面天线馈源阵列尺寸较大, 后端的

射频组件繁多, 所需安装空间较大, 采用前馈天线形式不易安装及布线, 所以天线形式采用后馈形式。另外, 为了保留天线扩展前馈应用的能力, 天线形式确定采用标准卡塞格伦形式。多波束天线组成示意图如图 1 所示, 天线由主、副反射面和位于天线相位中心的多波束馈源阵列等组成。

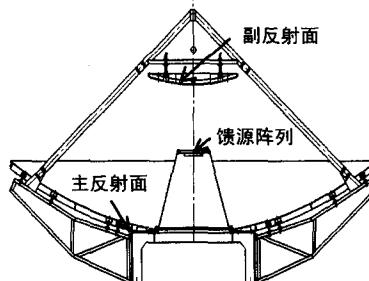


图 1 多波束天线组成原理

多波束天线主要关心的技术指标有 2 个:① 天线偏馈波束的覆盖范围;② 偏馈波束相对于主波束的增益变化情况。这 2 个指标会对后端信号处理系统的处理策略有较大的影响, 所以需要仔细地研究。

收稿日期:2012-05-23

从偏馈馈源位置与偏馈波束覆盖区域的关系、焦径比对偏馈波束的影响及副面大小对偏馈波束的影响3个方面对多波束天线的特性进行分析,以期获得多波束天线的设计规律,为后续的设计工作奠定基础。所有计算均基于Grasp9.0商用计算软件,出于工程实际及简化计算的考虑,馈源的照射角在计算中保持不变。下面的计算分析是基于馈源照射角为37°,主面直径为3 800 mm,计算频率为28 GHz,对应天线中心波束宽度 $\theta_0=0.2^\circ$ 的基本设计参数展开的。

2 偏馈馈源位置与波束覆盖区域的关系

多波束天线一个主要的设计参数为偏馈波束的覆盖范围。在满足系统指标需求的前提下,偏馈波束的覆盖范围越大,天线对于近地的高动态目标的捕获就越容易,捕获概率就越高。所以,确定偏馈馈源位置与偏馈波束覆盖区域的关系是多波束天线设计中需要优先解决的问题。

文中计算了不同主面焦径比下偏馈馈源位置与偏馈波束覆盖区域的对应关系,为了便于比较,排除其他设计参数对计算结果的影响,计算时副面直径固定为700 mm。偏焦位置分别设置为偏离中心20 mm、40 mm、60 mm和80 mm,分别对应 1.87λ 、 3.74λ 、 5.61λ 和 7.48λ ,计算结果如表1所示。

表1 偏馈馈源位置与波束覆盖区域的关系

馈源位置	20 mm (1.87λ)	40 mm (3.74λ)	60 mm (5.61λ)	80 mm (7.48λ)	焦径比
波束覆盖范围	0.374° ($1.87\theta_0$)	0.751° ($3.75\theta_0$)	1.135° ($5.67\theta_0$)	1.526° ($0.76\theta_0$)	0.30
	0.378° ($1.89\theta_0$)	0.756° ($3.78\theta_0$)	1.141° ($5.70\theta_0$)	1.519° ($0.76\theta_0$)	0.35
	0.375° ($1.87\theta_0$)	0.749° ($3.74\theta_0$)	1.140° ($5.70\theta_0$)	1.522° ($0.76\theta_0$)	0.40

从计算结果来看,偏馈波束覆盖区域与主面焦径比不相关,与偏馈馈源的位置正相关。排除掉计算误差的影响,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 $W=P\theta_0/\lambda$,其中 θ_0 为天线中心波束波束宽度。

3 焦径比对偏馈波束的影响

天线的设计过程是天线电气性能与结构实现优化设计相互折中的过程,而主反射面的焦径比直接决定了天线的结构尺寸,所以确定焦径比对偏馈波束的影响规律是多波束天线设计中需要解决的主要问题之一。

从上述的计算中可以得出焦径比对偏馈波束的覆盖范围没有影响,所以这里主要针对焦径比对

偏馈波束增益的影响进行分析。为了便于比较,排除其他设计参数对计算结果的影响,计算时副面直径固定为700 mm。

通过计算发现焦径比对偏馈波束增益的影响随着馈源偏移量的增加而变大,但是影响规律相同,所以为了更直观地表示影响规律,把对比位置设置为馈源偏移量80 mm处。偏馈波束相对主波束增益下降值随焦径比变化的趋势如图2所示。

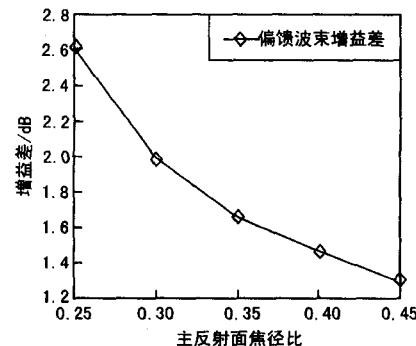


图2 焦径比对偏馈波束的影响

从计算结果来看,采用较大的焦径比可以获得更好的偏焦特性,但是大焦距导致天线的轴向尺寸加大,这一特点需要在天线设计时综合考虑。

4 副面大小对偏馈波束的影响

天线主反射面口径确定后,副反射面的尺寸会对天线主波束的增益和旁瓣等性能产生影响,最主要的是会对偏馈波束的增益产生较大的影响,所以确定副面大小对偏馈波束的影响规律也是多波束天线设计中需要解决的主要问题之一。

为了便于比较和简化计算,计算时主反射面焦径比固定为0.35。通过计算发现副面大小对偏馈波束增益的影响随着馈源偏移量的增加而变大,但是影响规律相同,所以为了更直观地表示影响规律,把对比位置设置为馈源偏移量80 mm处,计算结果如图3所示。

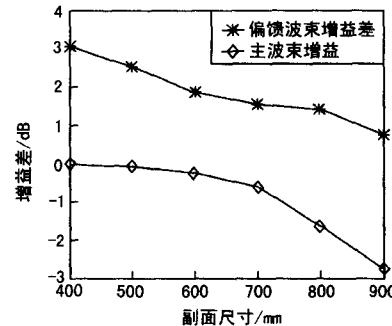


图3 副面大小对多波束天线的影响

(下转第45页)

值得一提的是在获取上述数字信号时,应该考虑到信道的衰落和相关峰值的采样问题。众所周知,对流层散射信道是一种典型的衰落多径信道,信号的衰落有可能致使校频环路失锁,失去校频的作用就造成严重的误码。针对这个问题,可以把4路匹配滤波输出信号分别进行合并,从而达到抗衰落的目的。

4 校频性能测试

以10 MHz晶振作为钟源,分别供给调制器和信号源使用,而解调器的钟源则由信号源提供。然后通过改变信号源输出信号的频率,达到拉偏收、发载波频率的目的。测试框图如图3所示。测试结果如表2所示。

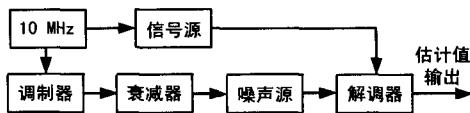


图3 校频性能测试

表2 校频的测试数据

频偏/Hz	归一化信噪比/dB			
	10	9	8	7
无频偏	9.0×10^{-4}	2.9×10^{-3}	9.8×10^{-3}	4.3×10^{-2}
100	9.4×10^{-4}	5.2×10^{-3}	1.3×10^{-2}	4.5×10^{-2}
560	9.7×10^{-4}	5.2×10^{-3}	1.3×10^{-2}	4.8×10^{-2}

从表2的测试数据可以看出,该校频环能够完全跟踪接收信号的频率,达到校频的目的。通过测

(上接第42页)

图3中偏馈波束增益差为不同计算模型中主波束增益与偏馈波束增益的差值。主波束增益以副反射面尺寸为400 mm模型的增益计算结果进行了归一。从计算结果来看,采用较大的副面尺寸可以获得更好的偏焦特性,但是需要指出的是副面尺寸的增大将使天线口面有效面积的减小,导致天线主波束增益的下降。所以,副面尺寸的大小需要在天线设计时根据天线主波束增益和偏馈波束增益变化需求进行综合考虑。

5 结束语

随着临近空间飞行器逐渐增多,对于临近空间飞行器的测控研究也逐渐展开。而天线作为测控系统的主要设备和主要功能实现手段,需要尽快地开展相关研究工作,其中多波束天线由于先天的优势非常适合这一应用。分析了各种设计参数对多波束天线性能的影响,总结了一些设计规律,希望可以为

试,与无频偏无校频的性能曲线相比,损失小于1 dB,测试结果满足设计指标要求。

5 结束语

由于低速散射通信的传输速率较低,信号在散射信道传输中产生频偏,因此提出了一种低速率散射通信校频体制,并首次实现了散射通信中的全数字自动校频功能。由于信息速率较低,导致信号对频偏变化的敏感性增强,相干载波不易提取。针对此问题,提出并设计了一种有效的校频措施,并在测试阶段对其性能进行了测试,得到了良好的测试结果,其中某些关键技术在其他方面也有一定推广价值。

参考文献

- [1] 张明高. 对流层散射传播 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [2] 樊昌信, 张甫翊. 通信原理(第5版) [M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [3] 郑继禹. 锁相同步理论 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1991.
- [4] 李滔, 韩月秋. 基于CORDIC算法的雷达信号坐标变换处理器 [J]. 现代雷达, 1999, 21(2): 45~49.
- [5] 程佩青. 数字信号处理教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [6] PROAKIS J G. 数字通信(第3版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.

作者简介

周观国 男,(1979—),工程师。主要研究方向:无线信息传输。

后续的设计工作奠定基础,争取早日实现多波束天线的工程应用。

参考文献

- [1] 徐茂格,席文君. 近空间高超音速飞行器射频通信“黑障”研究 [J]. 电讯技术, 2009(10): 49~52.
- [2] 曲馨, 方格平.“黑障”问题的介绍与分析 [J]. 硅谷, 2010(10): 173~174.
- [3] 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): 1 007~1 012.
- [4] 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.
- [5] 刘嘉兴. 发展Ka频段测控通信系统的思考 [J]. 宇航学报, 2008(11): 1 685~1 688.
- [6] 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.

作者简介

李勇 男,(1978—),工程师。主要研究方向:微波天线总体及馈源设计。

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>