

五频共用宽带微波辐射计天线喇叭设计

曹多礼 叶长利 吕庆立

(西安空间无线电技术研究所, 西安 71000)

摘要 文章描述了海洋卫星微波辐射计 6.6GHz~37GHz 宽频段环加载波纹喇叭的设计思路和方法; 利用模匹配法对波纹喇叭进行优化仿真, 给出了设计和测试结果, 解决了跨频段波纹喇叭方向图等化、高次模控制和驻波匹配等技术难点; 研制的环加载波纹喇叭全频段交叉极化电平优于 -25dB, 驻波比优于 1.2, 辐射计天线主波束效率优于 90%。

主题词 波纹喇叭 主波束效率 微波辐射计 设计 仿真

1 引言

微波辐射计天线是气象卫星主要有效载荷之一。该辐射计天线接收正交线极化微波信号, 在工作频带内, 波束宽度从 $0.6^\circ \sim 3.5^\circ$, 主要用于对海洋和大气垂直温度探测, 为数值气象预报提供数据。

该微波辐射计天线工作频段从 6.6GHz~37GHz, 工作频率分别为: $6.6 \pm 0.15\text{GHz}$ 、 $10.7 \pm 0.05\text{GHz}$ 、 $18.7 \pm 0.10\text{GHz}$ 、 $23.8 \pm 0.20\text{GHz}$ 、 $37.0 \pm 1.0\text{GHz}$, 整个天线共用 1 个反射面和 1 个波纹喇叭, 频率跨度非常大。共用 1 个喇叭高次模很容易激励起来且控制难度大, 宽带反射匹配和方向图的等化很难做好, 因此宽带波纹喇叭性能优化设计就成为解决该天线的关键和难点技术之一。

本文采用环加载波纹喇叭, 利用环加载波纹喇叭工作区频率的周期性, 优化调整环加载波纹喇叭相关参数, 对平衡混合频率的配置进行优化, 实现了五频率共用 1 个波纹喇叭, 解决克服了上述技术难点。通过仿真分析, 该微波辐射计天线主波束效率 $\eta_M \geq 90\%$, 驻波比 $VSWR \leq 1.2$ 。

2 宽带波纹喇叭设计

通常设计的直齿波纹喇叭其带宽比为 1.5:1, 这样的波纹喇叭明显不能满足微波辐射计天线 6:1 的带宽比。为此采用了环加载波纹喇叭, 同时利用加载波纹喇叭的周期性特性, 通过合理选择波纹槽参数, 使得辐射计天线喇叭的性能在各个工作频带内满足要求。

根据文献^[1], 环加载波纹结构归一化壁导纳的工作区应满足:

$$0 \leq S_e \leq \infty \quad (1)$$

式中, S_e 是波纹结构的壁导纳。

而满足这一条件的频率关系为:

$$F_n \leq F \leq F_n + F_1 \quad (2)$$

$F_1, F_2 \cdots F_n$ 是第 1, 第 2, \cdots , 第 n 阶平衡混合频率。

$$F_n = (2n - 1) \cdot \frac{c}{4d} \quad (3)$$

其中, d 为波纹喇叭槽深; c 是光在自由空间的传播速度。

这样,满足条件的频率工作区为:

第 1 工作区: $f = F_1 \sim 2F_1$

第 2 工作区: $f = 3F_1 \sim 4F_1$

第 3 工作区: $f = 5F_1 \sim 6F_1$

通过调整波纹喇叭的相关参数可实现不同的频带配置,如图 1 所示。

在设计中,首先通过调整环加载参数对平衡混合频率的配置进行优化,使得波纹喇叭的工作区频率满足微波辐射计天线的频率要求,从而实现多频共用 1 个波纹喇叭。其次在确保环加载波纹喇叭方向图满足边缘照射要求且基本不变的情况下,对波纹喇叭的驻波比和交叉极化进行优化,以完成环加载多频共用波纹喇叭的最终参数设计。

按照上述方法,完成了海洋卫星微波辐射计天线喇叭的优化设计,波纹喇叭的结构图如图 2 所示。

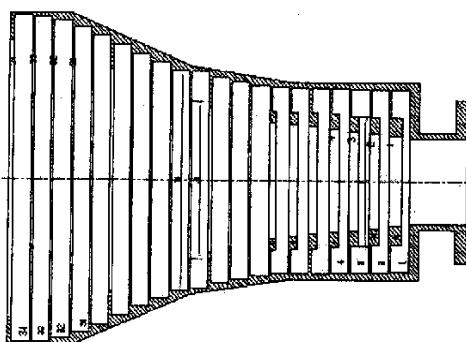


图 2 环加载波纹喇叭结构示意图

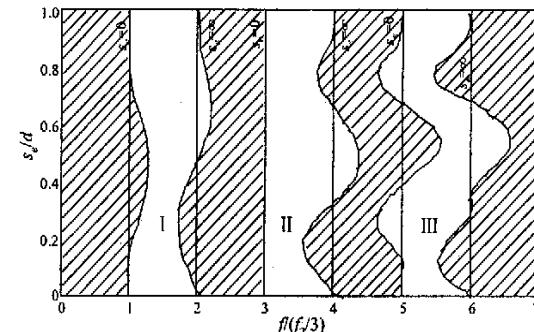


图 1 加载波纹结构随 s/d 变化的频率特性

针对图 2 的结构模型,利用模匹配法编制的波纹喇叭优化软件对喇叭的性能进行优化仿真,并将计算的喇叭方向图代入微波辐射计天线中,对辐射计天线的整体性能进行仿真计算。

在整个辐射空间内,将天线的 $2.5\theta_{3dB}$ 波束宽度区域定义为微波辐射计天线的主波束区。辐射计天线的主波束效率定义为天线在主波束区域内的接收功率与天线在整个空域内的接收功率和之比。主波束效率可表示为:

$$\eta_{Mbeam} = \frac{\iint_{\Omega_{main}} P(\theta, \phi) \cdot d\Omega}{\iint_{\Omega} P(\theta, \phi) \cdot d\Omega} \quad (4)$$

式中:

Ω_{main} 是定义的主波束积分区域,等于 2.5 倍的 $3dB$ 波束宽度;

Ω 是天线方向图全域积分区域;

$P(\theta, \phi)$ 是天线的功率辐射方向图。

3 测试结果

喇叭驻波比参数采用网络分析仪进行测试。

喇叭性能测试由于受远场测试设备的限制,采用平面近场进行测量。远场方向图从近场测试数据通过 FFT 变换得到。

辐射计天线方向图角度测试范围为 $\pm 90^\circ$; 90° 以外的旁瓣电平按 $\pm 90^\circ$ 处的电平积分计算天线的主波束效率。

波纹喇叭的实测驻波比如图3~图7所示。

波纹喇叭的实测方向图如图8~图12所示。

微波辐射计天线的主波束效率见表1。

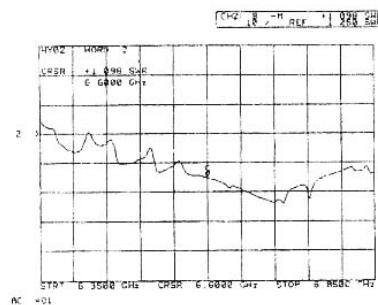


图3 喇叭驻波测试($F_0 = 6.6\text{GHz}$)

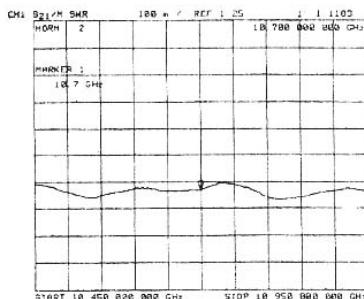


图4 喇叭驻波测试($F_0 = 10.7\text{GHz}$)

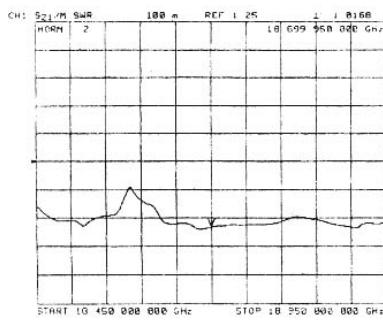


图5 喇叭驻波测试($F_0 = 18.7\text{GHz}$)

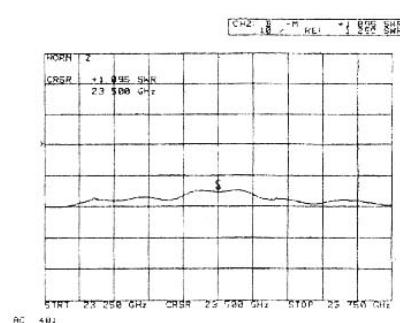


图6 喇叭驻波测试($F_0 = 23.8\text{GHz}$)

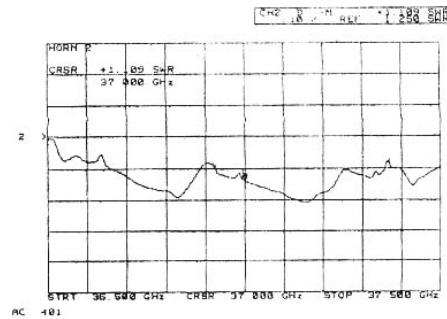


图7 喇叭驻波比测试曲线

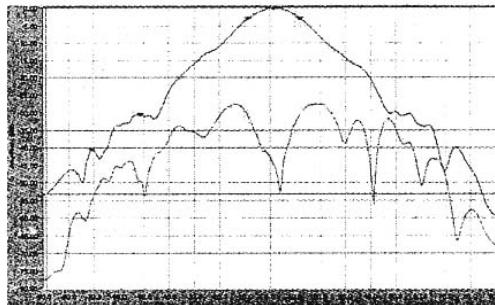
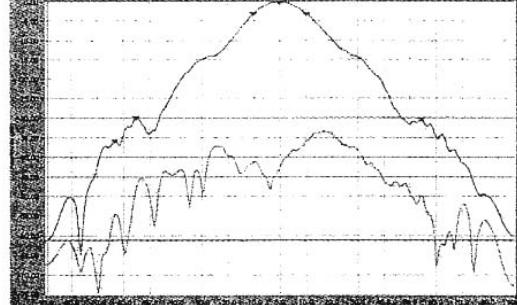


图8 喇叭实测方向图($F_0 = 6.6\text{GHz}$)



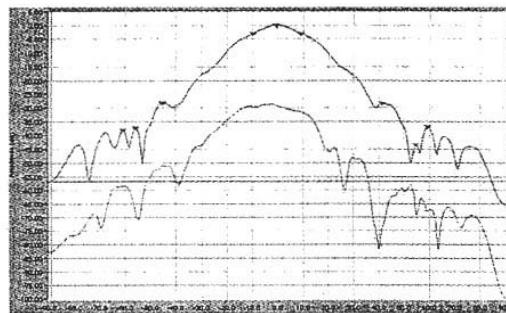
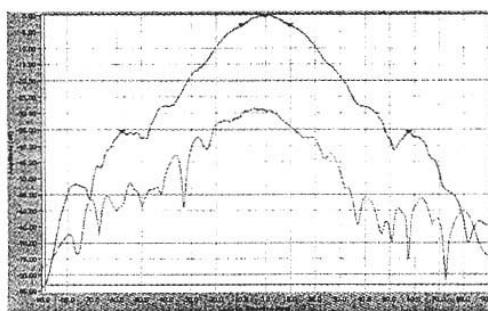


图 9 喇叭实测方向图($F_0 = 10.7\text{GHz}$)

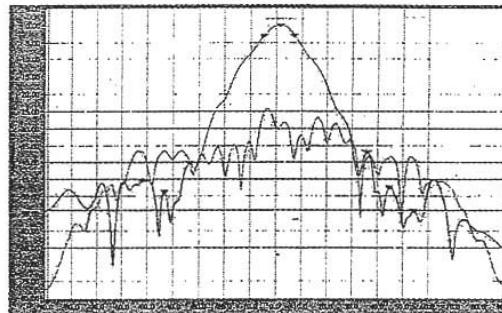
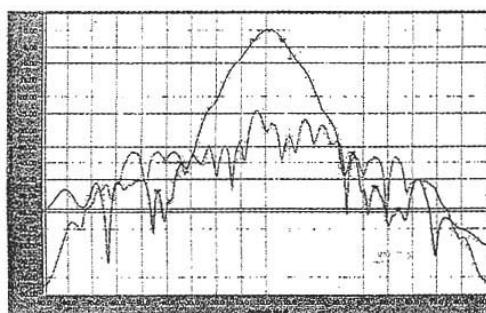


图 10 喇叭实测方向图($F_0 = 18.7\text{GHz}$)

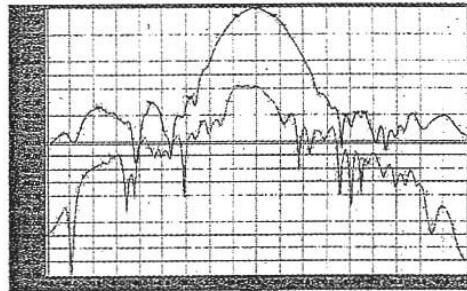
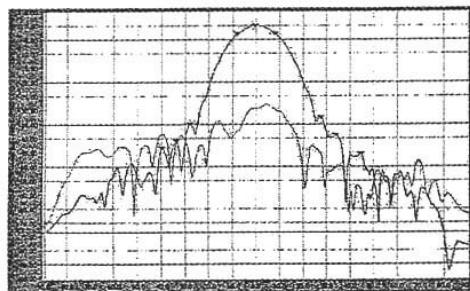


图 11 喇叭实测方向图($F_0 = 23.8\text{GHz}$)

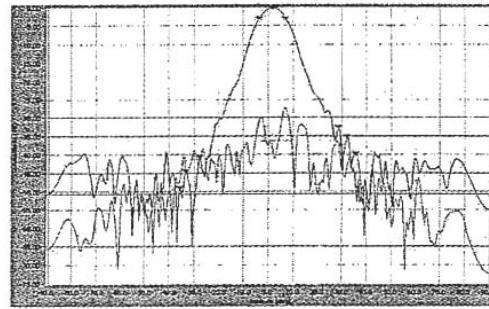
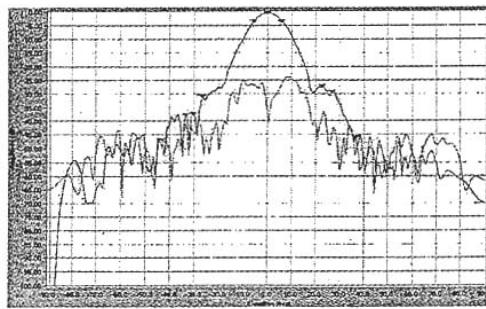


图 12 喇叭实测方向图($F_0 = 37.0\text{GHz}$)

表1 微波辐射计天线主波束效率测试结果

天线 编号	频率 (GHz)	3dB 宽度	3dB 宽度	天线主波束效率 η	
		(MIN)	(MAX)	主波束宽度	效率 (%)
天线	6.6	1.731°	1.784°	$4.3275^\circ \times 4.46^\circ$	89.42
	10.7	1.119°	1.134°	$2.7975^\circ \times 2.835^\circ$	91.58
	18.7	0.756°	0.813°	$1.890^\circ \times 2.033^\circ$	93.0
	23.8	0.703°	0.736°	$1.7575^\circ \times 1.84^\circ$	93.62
	37.0	0.710°	0.835°	$1.775^\circ \times 2.0875^\circ$	95.0

表中辐射计天线的主波束率为通过计算天线的方向图，并对全空域积分得到。

4 结束语

利用本文给出的设计方法解决了跨频段波纹喇叭设计中的方向图等化、高次模控制和驻波匹配等技术难点；为海洋卫星辐射计天线设计的波纹喇叭性能满足技术要求，天线主波束效率达到 90%，喇叭驻波比从 6.6GHz~37.0GHz 均优于 1.2。

参考文献

1 杨可忠,杨智友,章日荣著.现代面天线新技术.北京:人民邮电出版社,1993

作者简介

曹多礼 1966 年生,武汉大学空间物理系毕业,本科学历,高级工程师。主要研究方向为多波束天线技术和毫米波技术。

叶长利 1977 年生,电子科技大学电磁场与微波技术专业毕业,本科学历,工程师。目前主要从事天线技术设计。

吕庆立 1980 年生,西安电子科技大学通信工程学院电子信息系毕业,本科学历,助理工程师。目前主要从事天线技术设计。

(上接第 56 页)

3 Kundu D. Modified MUSIC algorithm for estimating DOA of signal. *Signal Processing*, 1996, 48(1):85~90

4 何子述,黄振兴,向敬成.修正 MUSIC 算法对相关信号源的 DOA 估计性能. *通信学报*, 2000, 21(10):14~17

5 Gupta I J, Ksieniak A A. Effect of mutual coupling on the performance of adaptive arrays. *IEEE Trans. AP*, 1983, 31(5):785~791

6 熊兵.自适应天线在移动通信中的应用研究. 西安电子科技大学硕士学位论文. 2002

7 杨超,邱文杰.自适应天线阵元间互耦的校正. *电子学报*, 1993, 21(3):58~62

8 罗景青,保铮.雷达阵列信号处理技术的新发展. 西安:西安电子科技大学出版社, 1994

作者简介

于斌 1980 年生,在读硕士研究生。主要从事自适应天线和阵列信号处理方面的研究。

宋铮 1957 年生,教授,硕士生导师。主要研究方向为自适应天线理论、电子对抗天线及电波传播理论和技术。

黄炳东 1978 年生,学士,助理工程师,毕业于解放军电子工程学院。主要研究方向:C³I 仿真。

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>