

# 星载薄膜双频平板抛物面天线设计

李小秋<sup>1</sup>, 郑雪飞<sup>1, 2</sup>, 陈虎<sup>1</sup>, 任波<sup>1</sup>, 何炳发<sup>1, 2</sup>

(1. 南京电子技术研究所, 南京 210039;

2. 天线与微波技术国防科技重点实验室, 南京 210013)

**摘要:** 设计了一种由 L 波段和 C 波段两个反射面天线组成的星载薄膜双频平板抛物面天线及两个天线共面。天线阵面由两层膜面组成, 阵列单元直接印制在膜面上。底层膜上全部印刷金属膜, 上层膜上印刷 L 波段单元。在上层膜面上粘贴软泡沫衬垫, 在软泡沫衬垫上印刷 C 波段单元, L 波段单元同时用作 C 波段单元的反射面。由于平板抛物面天线具有重量轻、成本低等优点, 因此无论在军事还是民用都将具有广泛的应用前景。

**关键词:** 反射阵天线; 反射相位; 双频

## Design on Double Frequency Flat Parabolic Surface Antenna for Spaceborne Radar

LI Xiao-qiu<sup>1</sup>, ZHENG Xue-fei<sup>1,2</sup>, CHEN Hu<sup>1</sup>, REN BO<sup>1</sup>, HE Bing-fa<sup>1,2</sup>

(1. Nanjing Research Institute of Electronics Technology; Nanjing 210039 China;

2. National Key Laboratory of Antenna and Microwave Technology, Nanjing 210013 China)

**Abstract:** The double frequency flat parabolic surface antenna for spaceborne radar was designed, which comprised of two coplanar L waveband reflecting surface antenna and C waveband reflecting surface antenna. The bottom layer film printed copper film, which is the metal ground plane of L waveband flat parabolic surface antenna. The middle layer film printed L waveband flat parabolic surface antenna element, which is also the metal ground plane of C waveband flat parabolic surface antenna. The top layer printed C waveband flat parabolic surface antenna element. As flat parabolic surface antenna has little weight and prices, it will be widely applied in military and civil application field.

**Key words:** Reflect array antenna; Reflection phase; Double frequency

### 引言

随着卫星技术在通信、射电天文观测、地球与空间探测等领域应用的深入, 需要在卫星或航天器上装载大型可展开天线。这些天线一般要求其口面直径从几米到一百多米, 并且具有能满足高频段工作的高精度反射器表面。但由于受有效载荷仓的容积限制, 对大型、轻量可展开空间天线的需求越来越迫切。

平板抛物面天线 (flat parabolic surface antenna, FLAPS) 是九十年代出现的一种大口径天线形式, 它利用平面微带阵列反射面来代替抛物面天线, 通过控制平面阵列上的每个单元用入射波散射相位来调节相位, 使 FLAPS 和抛物面一样有等相位面, 发射出方向性极强的笔形波束。FLAPS 是抛物面天线和微带相控阵天线相结合的产物<sup>[1-3]</sup>。同传统的抛物面天线相比, FLAPS 具有重量轻, 体积小, 结构简单, 便于与其他物体共形, 易于安装与展开等优点; 同微带相控阵天线相比, FLAPS 没有复杂的馈电网络, 具有损耗小, 成本低, 易加工与制造等优点<sup>[4]</sup>,

适合于星载通信的各种要求。FLAPS 由大量的金属贴片单元组成, 每个单元既要完成辐射器的作用, 又要实现抛物面变平面所需要的相移即实现移相器的作用。因此, 天线单元将直接决定 FLAPS 的天线增益、带宽及交叉极化等性能, 天线单元的设计是 FLAPS 技术的核心。常见的 FLAPS 单元形式有十字形单元、圆环形单元、方形环形单元、正方形形单元等<sup>[5-6]</sup>。

本文主要针对星载通信天线大口径高增益需求与有效载荷对天线折叠体积和重量的限制之间的矛盾, 利用平板抛物面天线的结构优点, 选择薄膜柔性结构, 在不改变结构设计, 基本不增加天线重量和体积的前提下, 设计双频平板抛物面天线, 解决电讯和结构设计关键技术, 满足未来大口径星载通信天线需求。

### 1 计算及分析

图 1 所示正方形形单元 FLAPS 的单元结构示意图, 图 2 所示是 FLAPS 的剖面图, 则在正方形 FLAPS 单元表面由阻抗边界条件可以得到:

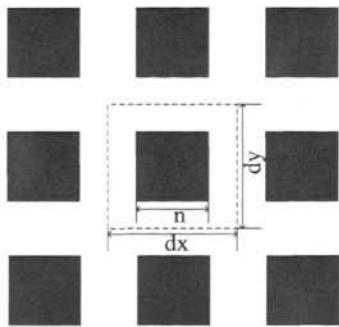


图 1 正方形单元 FLAPS 的单元结构

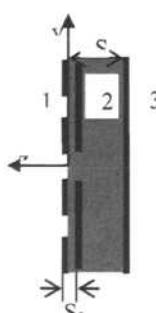


图 2 FLAPS 的剖面图

$$\bar{E}_1^e(x, y) + \bar{E}_1^s(x, y) = Z_s \bar{J}_1(x, y) \quad (1)$$

$\bar{E}_1^e(x, y)$  是入射场,  $\bar{E}_1^s(x, y)$  是散射场,  $\bar{J}_1(x, y)$  是正方形单元表面上的感应电流。

$$\bar{E}_1^s = \sum_{i=1}^{2L} d_i (1 + \Gamma_i) \bar{e}_i \exp(j(k_{xm} x + k_{ym} y + k_z z)) \quad (2)$$

$$\bar{E}_1^s = \sum_{i=1}^{2L} \tilde{G}(k_{xm}, k_{ym}) \cdot \tilde{J}(k_{xm}, k_{ym}) \quad (3)$$

其中  $\tilde{G}(k_{xm}, k_{ym})$  和  $\tilde{J}(k_{xm}, k_{ym})$  分别是谱域中的格林函数和感应电流。将正方形单元的表面电流分布用全域基函数展开为:

$$\bar{J}(x, y) = \sum_{p=1}^P \alpha_p \Psi_p^s(x, y) + \sum_{q=1}^Q \alpha_{p+q} \Psi_q^e(x, y) \quad (4)$$

即可用矩量法求解方程 (1)<sup>[1,7]</sup>。C 波段 FLAPS 天线正方形单元的边长为  $n$ , 按正方形排列, 单元间距为  $dx=dy$ , 介质层的介电常数为  $\epsilon_r$ , 损耗角正切值为  $\tan \delta$ , 介质层的厚度为  $S$ , 中心频率为  $f_0$ , 则正方形 FLAPS 单元的反射相位计算曲线如图 3 所示, 正方形 FLAPS 单元的移相范围为  $340^\circ$ , 基本

满足要求。同理可以计算出 L 波段 FLAPS 天线正方形单元的反射相位曲线, 如图 4 所示。

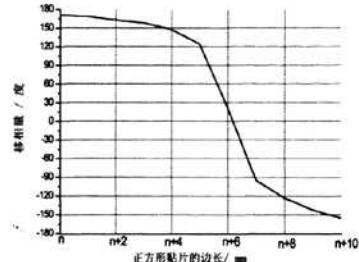


图 3 C 波段正方形 FLAPS 单元的反射相位计算曲线

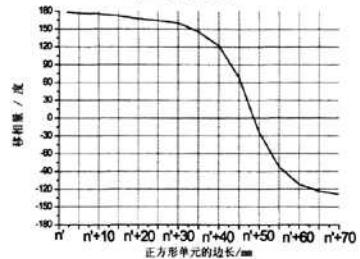


图 4 L 波段正方形 FLAPS 单元的反射相位计算曲线

## 2 薄膜双频 FLAPS 天线的设计

天线阵面由两层膜面组成, 阵列单元直接印制在膜面上, 膜面采用单面覆铜膜材, 通过结构优化设计, 使得膜面张力均匀分布, 保证膜面具有足够的平面度。阵面底层膜上全部印刷金属膜, 上层膜上印刷 L 波段单元。在上层膜面上粘贴软泡沫衬垫, 在软泡沫衬垫上印刷 C 波段单元, L 波段单元同时用作 C 波段单元的反射面。阵面可以折叠, 阵面收拢时, 呈画轴状, 阵面展开以后, 形成高精度的双频 FLAPS 天线阵面。

如图 5 所示, 馈源发出的入射波到达每个阵列单元的空间距离不相等, 即各个单元的入射相位不同, 因此可以合理设计每个正方形单元的边长以补偿从馈源到每个正方形贴片单元的相位延迟, 使每个单元在某个方向上达到同相, 则第  $j$  个正方形单元需要补偿的相位为  $\Phi = k_0(R - F) + 2N\pi$ 。根据阵列大小, 求出 FLAPS 中每个单元所需要补偿的相位, 我们可以根据正方形单元的相位曲线设计出每个正方形单元的边长。图 6 所示是 C 波段正方形 FLAPS 天线的阵列结构图。

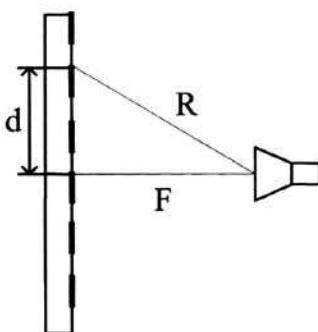


图 5 FLAPS 的相位补偿示意图

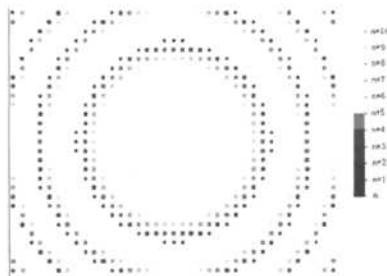


图 6 C 波段 FLAPS 阵列结构图

### 3 结束语

本文设计了由两个共面的 C 波段和 L 波段 FLAPS 天线组成的薄膜双频 FLAPS 天线, 同单频的 L 波段和 C 波段 FLAPS 天线相比, 薄膜双频 FLAPS 天线不需要改变结构设计, 也不会增加天线的重量和体积, 可以有效的解决星载通信天线大口径高增益需求与有效载荷对天线折叠体积和重量限制之间的矛盾。但由于我国在薄膜双频 FLAPS 天线的研究方面起步较晚, 还有许多关键技术没有完全取得突破, 例如天线展开后的平整度问题, 天

线的带宽问题等等。随着对 FLAPS 天线的深入研究, 相信这种形式的天线在军事和民用领域会得到非常广泛的应用。

### 参考文献

- [1] John Huang, Jose A. Encinar. Reflectarray antenna[M]. WILEY-INTERSCIENCE A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2007.
- [2] Jose A. Encinar. Design of Two-Layer Printed Reflectarrays Using Patches of Variable Size[J]. IEEE TRANSACTION ON ANTENNAS AND PROPAGATION, 2001, 49(10)
- [3] Pozar D M, Targoritski S S, Syrigos D S. Design of Millimeter wave microstrip Reflectarray[J]. IEEE Trans. 1997, (2): 287-296.
- [4] Jose A. Encinar, Agustin Zornoza J. Broadband design of three-layer printed reflectarrays[J]. IEEE Trans. on antennas and Propagation, 2003, 51(7):1662-1664.
- [5] Pozar D M, Metzler T A. Analysis of a reflectarray antenna using microstrip patches of variable size[J]. Elect. Letters, 1993, 29:657-659.
- [6] Bozzi M, Germani S, Perregiani L. Performance comparison of different element shapes used in printed reflectarrays[J]. Geoscience and remote Sensing Symposium, 2003, 3: 2109-2111.
- [7] J. Huang. Analysis of a microstrip reflectarray antenna for microspacecraft applications[J]. TDA Progress Report 42-120, 1995.

李小秋 (1980—), 男, 工程师, 博士, 主要从事相控阵天线技术、雷达隐身技术及频率选择表面的研究等。

E-mail: [xqiu12@126.com](mailto:xqiu12@126.com)

## 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](http://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](http://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](http://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>