

天基雷达展开方式及天线形式概述

王志刚

(中国电子科技集团公司第三十八研究所, 安徽 合肥 230088)

摘要: 天基雷达为了实现一定的功率口径积, 需要很大的面积, 超过了运载工具整流罩所能容纳的尺寸, 故必须采用可展开天线形式; 又由于运载工具对天线的重量也有严格的限制, 故必须采用轻型天线形式。轻型天线可采用薄膜天线或者瓦片天线, 而展开方式可选择充气展开或者机械展开。

关键词: 天基雷达; 薄膜天线; 瓦片天线; 充气展开; 机械展开

Discussion on Forms of Deployment and Antenna for Space-based Radar

WANG Zhi-gang

(The 38th Research Institute of CETC, Hefei 230088, China)

Abstract: Large area is required by space-based radar for certain power-aperture product, which is bigger than the container of dome, so the deployed antenna structure is obligatorily adopted. The lightweight antenna is also obligatorily adopted for which the bus severely restrict the weight of antenna. Membrane antenna and tile antenna are adopted for their lightweight. Inflatable deployment method and mechanical deployment method are adopted for their performance.

Key words: space-based radar; membrane antenna; tile antenna; inflatable deployment; mechanical deployment

引言

天基预警雷达系统要求作用距离远、监视范围大和增益高, 因此必须要有满足此要求的大口径天线。天线的口径往往需要达到几十平方米到上百平方米甚至几百平方米, 为了使大口径天线能顺利平稳地发射和正常工作, 大口径天线必须能做到可折叠展开和轻量化。

由于天线的口径巨大, 常规天线的体积、重量已经不能满足要求, 因此需要寻找体积小、重量轻的天线形式, 而瓦片天线和薄膜天线是其中可以选择的天线形式。天线的展开一般而言分为机械式和充气式展开两种形式。本文就两种天线形式和两种天线展开方式进行探讨。

1 机械展开方式

对小口径天线的展开, 运用比较成熟的是机械

式展开, 但机械式展开受结构本身尺寸与质量的限制, 使可展开的天线的口径受到很大约束。目前国内外对大口径天线的机械展开进行了大量的研究。

6 m×22m 的 X 波段天基雷达天线概念研究分为 2 个阶段。阶段 1, 天线是用传统的技术设计的相控阵, 如图 1 所示。

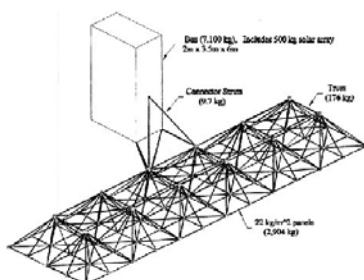


图 1 桁架结构 (阶段 1)

天线子阵单元安装在 70mm 厚的复合材料夹层板上。桁架质量是 176kg, 夹层板折叠到桁架结构上, 具有非常紧凑的压缩体积。桁架支撑的天线满

足 3Hz 的一阶固有频率和低表面误差。桁架结构满足 0.6mm 均方根的面精度要求。阶段 2，引入了先进卫星平台和天线技术 (transmit/receive antenna module , TRAM)，使得同样尺寸的天线能装入更小尺寸的发射舱。需要 21 个绳索来支撑 TRAM，每个 TRAM 尺寸为 0.3 m×0.285m，用恒力弹簧来连接每个 TRAM 支撑绳索到连接梁上。图 2 是安装了 TRAM 的可拉伸绳索结构。

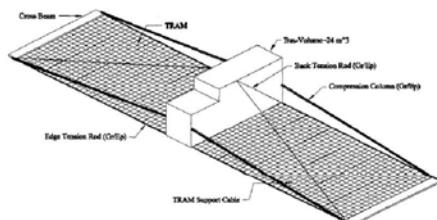


图 2 可拉伸绳索结构（阶段 2 安装 TRAM）

2 充气展开方式

充气展开机构是一种全新的设计概念，采用轻质柔性复合材料制作而成，并以折叠状态发射送入太空，到达预定轨道后再充气展开为所设计的几何型。

充气展开机构具有成本低廉、存储体积小、重量轻等优点，能够实现传统机构很难达到的性能。

空间充气展开技术对那些在功能上不适合被小型化的组件格外有用，如天基雷达、反射镜、太阳帆板、空间防护结构等。在这些可能的应用中对用于地球探测的合成孔径雷达尤其实用。为达到足够的稳定性，合成孔径雷达需要一个在数十平米排列孔径的大的平板天线，包括很多最近出现的被沉重支架结构支撑的可展的面板结构和电力控制的可展结构。这种传统合成孔径雷达的孔径尺寸受整流罩大小和运载火箭装载空间的限制。从目前所得的成果来看空间充气技术在增加合成孔径雷达的孔径和减少质量上起到了越来越重要的作用。

利用锥形展开结构技术设计的 9m×9m 阵面展开过程如图 3 所示，在展开过程开始前，贮藏箱的顶部和侧面打开释放天线和支撑结构。纵向贮藏的波导阵首先展开，两个相对的锥形展开管被用来控制这一展开过程。在贮藏箱两边的锥形管（1, 2）平行展开，当这些纵向的管子完全展开后波导的边壁也就完全展开了。三个锥形管（两个单向和一个双向）用来控制侧向展开，（3, 4）管和远侧边的

（5）管一致展开，当所有的管子完全展开并硬化后，波导阵也就完全展开了。

当充气展开结构冷却到空间环境稳定温度后硬化过程也就随之结束了，内部的用来保持结构刚性强度的气体也就不需要了，这些气体能够被排除。展开和充气的协调过程是在计算机控制下完成的。

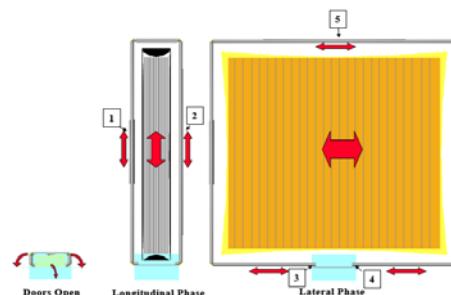


图 3 波导阵展开示意图

3 瓦片天线形式

所谓瓦片天线 (tile antenna)，是指一种新型的高密度集成有源天线系统，通常由若干瓦片状子阵扩充组合而成，每个子阵包括若干辐射单元、收发组件、射频馈电网络、电源、波控、冷却管道等功能电路和结构件，具有典型的薄而紧凑的“三明治”结构。该结构融合了微波高密度互连技术、单片微波集成电路技术、高密度微波封装技术以及新型电子材料等技术，是在二维微波多芯片模块 (MMCM) 基础上，进一步向三维立体结构发展的微波集成天线子系统。图 4 给出了瓦片天线和目前在雷达中普遍采用的砖状天线(brick antenna)系统的示意图。

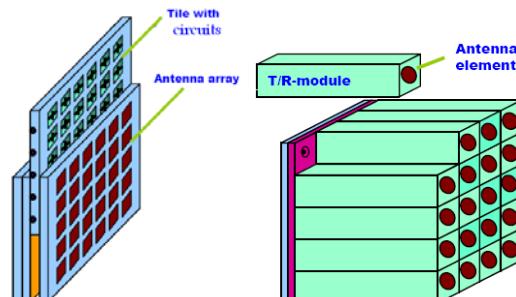


图 4 tile 和 brick 两种有源天线系统示意图

显然，瓦片天线在深度上相较于砖状天线具有明显优势，且具有以下显著特点：

- 1) 薄而紧凑的层状结构；
- 2) 体积小，重量轻；
- 3) 由于大量采用 MMIC 等宽带器件，具有潜

在的宽带特性；

4) 易于实现模块化，具有积木式可扩充功能。

瓦片天线的上述特点使其在现代军事上具有广阔的应用前景。特别是与传统的有源相控阵天线相比，具有更小的体积和更轻的重量，因而更适用于卫星平台，是天基预警雷达有源相控阵天线的发展趋势。

4 薄膜天线形式

美国在这一技术方面处于绝对优势地位，他们先后于 1996 年进行了直径 14m 的薄膜反射面天线实验，1998 年进行了 50m×55m 薄膜反射面天线实验。薄膜天线形式多样，既有反射面天线又有平面相控阵天线。美国 NASA 于 2004 年提出的馈源偏置的抛物柱充气反射面天线，如图 5 所示。Ku 波段天线尺寸为 5.3 m×5.3m，Ka 波段天线尺寸为 2.1m×2.1m。该天线主要特点是利用抛物柱反射面的宽带特性，可实现 Ka 和 Ku 双波段工作；采用 2×166 个天线单元的 Ku 波段相扫馈源阵和 4×166 个天线单元的 Ka 波段相扫馈源阵作为馈源；在抛物柱焦线方向上实现 0°~37°扫描范围。

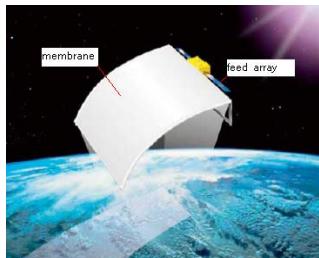


图 5 抛物柱反射面天线

波导阵列是除了反射面天线外另一种能够为航天器提供辐射和接收信号所需口径的天线形式。薄膜波导阵列的优点包括重量轻、封装效率高和其固有的形状，与反射面天线相比，它并不要求精确的双曲面形状。

薄膜波导天线设计是基于把一系列波导单元组合在一起形成一个大的天线阵的思想。每个波导单元是封闭的壳体，其截面为长方形，由 0.01mm 厚的金属化的 Kapton 薄膜材料制成，每个波导单元的一端有馈电点。波导阵由 8 个波导单元组成，图 6 所示为 2.2m×1.1m 的 L 波段充气波导阵，天线面密度为 0.7kg/m²。

波导阵的顶部和底部由两个悬链片相连，悬链片被位于其顶角处的绳缆来模拟充气支撑结构

固定拉紧阵面。相邻波导单元交界壁是 0.13mm 厚金属化的 Kapton 加强层，这些加强层能提供沿交界壁竖直方向的更大的强度。当天线阵面被悬链线拉紧时这些加强层垂直于波导单元底部和顶部。

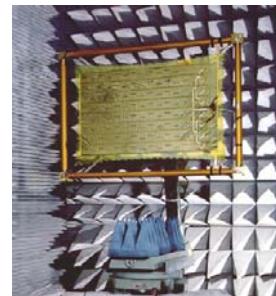


图 6 薄膜波导阵

5 结束语

针对天基雷达的发展目标和需求，开展瓦片天线和薄膜天线以及机械展开机构和充气展开机构原理化和工程化技术研究。研制具有适应卫星有效载荷平台的体积小、重量轻、可靠性高的天线及展开机构实验系统，为发展工程化的天线及展开机构提供技术储备和理论支撑。

参 考 文 献

- [1] Qamarul Wahab. Skin and phased array antennas [C] // International Bhurban Conference on Applied Sciences & Technology, 2005.
- [2] RAHMAT-SAMII Y, HUANG J, LOPEZ B, et al. Advanced precipitation radar antenna: array-fed offset membrane cylindrical reflector antenna [J]. IEEE Trans. Antennas Propag., 2005, 53(8) : 2503-2515.
- [3] David Lichodziejewski, Dr.Robin Cravey, Glenn Hopkins. Inflatably Deployed Membrane Waveguide Array Antenna for Space [M]. AIAA 2003-1649.
- [4] AARON A, MARTIN M M, JOHN M Hedgepeth. Novel phased array antenna structure design [J]. IEEE, 1998: 69-81.
- [5] 徐东海. 天基预警雷达天线轻量化技术研究[J]. 电子机械工程, 2008 (24) : 26-27.
- [6] 沈自才. 充气展开式结构在航天器中的应用[J]. 航天器环境工程, 2008 (25) : 323-329.

王志刚 (1977-)，男，工程师，主要从事雷达天馈系统结构设计工作。

E-mail: braverry@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)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>