

一种毫米波段的圆柱共形相控阵天线

刘敏 冯子睿 吴群 傅佳辉
(哈尔滨工业大学电子与信息技术研究院 哈尔滨 150001)

摘要:设计了一种工作在毫米波段的 2×8 圆柱共形相控天线阵。该阵列的天线单元采用底边馈电方式对矩形微带贴片进行馈电,基于共形天线相控阵的基本原理,通过各向同性变换方法(IT)和并联馈电网络将底边馈电的矩形贴片单元构成共形于圆柱载体表面的 2×8 微带天线阵,采用三维电磁仿真软件CST对该天线阵的辐射性能和波束扫描特进行分析,结果表明圆柱共形天线阵的中心频率为35GHz,增益达到19.6dB,在保证一定增益和副瓣电平的情况下,其单向波束扫描范围达到43°。

关键词:毫米波 圆柱共形相控 微带天线阵 波束扫描

1 引言

从上世纪60年代相控阵技术初步应用于雷达至今,相控阵体制的本身优点就不断吸引着许多国家的雷达研制人员,在雷达设计方案中优先考虑相控阵技术。近几年来,作为相控阵天线的改进型,适合于飞机与舰船等外形的共形阵天线正引起广泛注意。天线共形化具有如下优点^[1]:可安装在具有复杂表面的各种航空、航天、舰船及地面车辆上,不影响载体的空气动力性能,并可充分利用其表面积,增加天线有效孔径面积,通过方位面波束的开关切换,可以实现该空间区域的连续扫描;并且在满足增益要求的前提下,共形阵通过展宽波束,减少了空间的波束数目,因此共形相控阵天线在军事系统中具有良好的特性,尤其适合于安装在导弹导引头上。

圆柱共形相控阵天线具有扫描波束宽、雷达散射截面低等良好空气动力学性能,其在飞机、火箭等各种飞行器载体上具有广泛的应用价值^[2]。国外很早就对其进行研究,1974年美国设计出X波段圆柱导弹表面的共形阵^[3],首次把微带应用到天线单元和馈电网络中;1985年以色列计算出圆柱共形阵中半波微带阵子的辐射方向图^[4],从而提出了圆柱共形阵的表面电流模式,可用于计算天线方向图;1999年德国研制出工作在C波段的圆柱共形相控阵天线^[5],其工作带宽(VSWR=2)达到了19%。国内也就相关领域进行了研究,目前已有报道对圆柱共形缝隙天线阵的研究^[6]以及导引头共形相控阵新技术的讨论^[7],在毫米波段报道了有源柱面 2×4 共形微带阵列天线^[8]。

本文设计了一种工作在毫米波段的圆柱共形 2×8 弹载相控天线阵。采用底边馈电方式对矩形微带贴片单元进行馈电,并用并联馈电方式设计 2×8 天线阵的馈电网络,基于共形天线相控阵的基本原理,采用各向同性变换方法(IT)将该平面阵列共形于圆柱载体上。通过CST电磁仿真软件对天线性能进行仿真,该软件使用内存的有限积分算法(FI),采用理想边界拟合和薄片技术对天线性能和扫描特性进行分析,仿真结果验证了该设计的合理性和正确性。

2 圆柱共形相控阵天线设计

2.1 共形相控阵天线的馈电网路设计

微带天线阵的馈电方式主要包括串馈、并馈、反射阵面馈电和喇叭馈电等。并联馈电方式具有设计比较简单、各元所要求的激励振幅和相位可以通过设计馈电网络来实现、容易实现宽频带等优点,再加上T型结功分器具有结构简单、占据空间小、容易实现不等功分等优点,因此设计中采用由T型结功分器构成的并联馈电网络。

本文采用文献[9]中的底边馈电方式对矩形微带贴片单元进行馈电,图1给出了由并联馈

电网络构成的 2×8 天线阵，其中横向和纵向阵元间距均约为 $0.5 \lambda_0$ (λ_0 为自由空间波长)，馈电网络中采用四分之一波长阻抗变换器进行阻抗匹配，采用的三种馈线特性阻抗分别为 100Ω 、 70.7Ω 和 50Ω ，最终馈电端口的阻抗为 50Ω 。

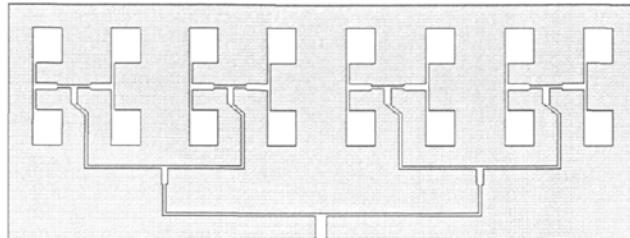


图 1 2×8 天线阵馈电网络示意图

2.2 共形相控阵天线的建模与仿真

基于前面设计的并联馈电网络和矩形微带单元，采用各向同性变换 (IT) 原理^[10]设计了一个圆柱 2×8 共形相控天线阵，圆柱形载体的半径为 100 mm ，高为 300 mm ，圆柱载体表面的金属层即可作为天线阵的地板层，如果载体表面不是金属，则需要给天线阵加一层地板，建模过程中将地板材料选为理想导体 (PEC)。 2×8 共形相控天线阵结构如图 2 所示，其中 (a) 为共形天线阵的正面示意图，(b) 为其侧面示意图，该圆柱共形阵列的仿真结果如图 3 所示。

图 3 中，(a) 为 2×8 圆柱共形天线阵的反射损耗 S_{11} 图，(b) 为二维远场波瓣图。从仿真结果可以看出，天线阵的中心频率为 35 GHz ，带宽 (VSWR=2) 约为 1.02 GHz ，中心频率处的增益达到了 19.6 dB ，副瓣电平为 -13.8 dB ， 3 dB 波束宽度为 13.5° 。

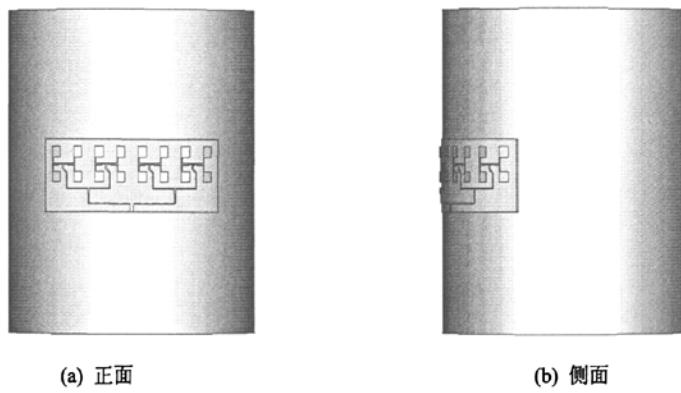


图 2 2×8 共形相控天线阵示意图

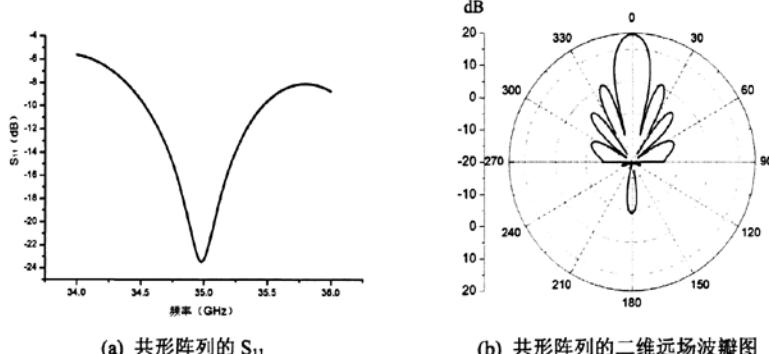


图 3 2×8 共形相控天线阵仿真结果

3 共形相控阵天线的波束扫描

典型的相控阵是利用电子计算机控制移相器改变天线孔径上的相位分布来实现波束在空间扫描，即电子扫描，简称电扫。相位控制可采用相位法、实时法、频率法和电子馈电开关法，设计中采用相位法实现圆柱共形相控阵的波束扫描，即给横向和纵向天线单元加上不同的相移量，使相邻单元之间具有相位差，相位差不同，共形相控阵的波束扫描角度也不同，通过改变相移量即可实现天线阵在空间的波束扫描，该阵列的扫描波瓣图如图 4 所示。

从图 4 的扫描波瓣图可知，随着相移量的增大，扫描角度也越来越大，3dB 波束宽度也有所增加（这是因为端射阵的波瓣比旁射阵的波瓣宽），而增益却随着扫描角的增大而降低，同时第一副瓣电平也越来越高，也就是说当该相控阵单向扫描到 43° 时，其在中心频率（35GHz）处的增益从 19.6 dB 下降为 9.8 dB，副瓣电平从 -13.8 dB 上升到 -9.8 dB，而 3 dB 波束宽度从 13.5° 展宽为 18.3°，可见当扫描角度要求越大时，要实现高增益低副瓣性能难度就越大，这是需要进一步解决的问题，即在尽可能大的扫描角度范围内尽可能的保证增益不变而副瓣降低。

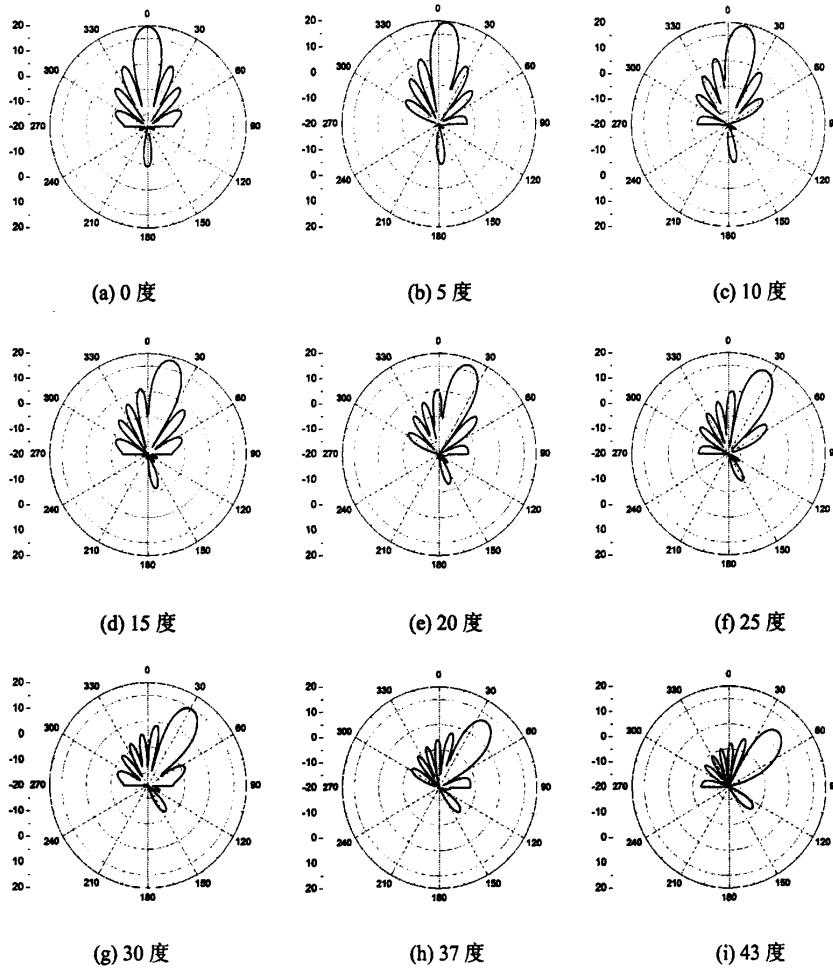


图 4 2×8 共形相控阵的波瓣扫描图

4 结论

本文采用底边馈电方式对矩形贴片单元进行馈电，利用该单元设计出 2×8 天线阵的并

联馈电网络。基于共形相控阵的基本原理，利用该馈电网络和各向同性变换方法（IT）设计了一个工作在毫米波段，与圆柱载体共形的 2×8 弹载相控天线阵，该天线阵的中心频率为 35 GHz，带宽（VSWR=2）约为 1.02GHz，在中心频率处增益达到 19.6 dB。利用 CST 三维电磁仿真软件分析了该天线阵的波束扫描特性，分析结果表明随着扫描角度的增大，天线阵的增益越来越小，而副瓣电平和波束宽度越来越大，这正是进一步研究需要解决的问题，即在保证增益足够高和旁瓣足够低的前提下尽可能的增大天线阵的波束扫描范围，从而提高该共形相控阵在毫米波制导等应用领域的有效性和适用性。

参考文献

- [1] W.Y.Tam, A.K.Y.Lai, K.M.Luk. “Cylindrically rectangular microstrip antennas with coplanar parasitic patches”. IEEE Proc.-Microw.Antennas Propag. 1995, 142(4): 300-306.
- [2] Lars Josefsson, Patrik Persson, “Conformal array antenna theory and design”, IEEE Press Editorial Board, 2006, PP. 60 - 62, 135-140, 305-358.
- [3] Hunson R E, “Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays”, IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol.22, Issue 1, Jan 1974:74-78.
- [4] Ashkenazy J, Shtrikman S and Treves D, “Radiation patterns of half-wavelength mcirostrip elements on cylindrical bodies”, Antennas and Propagation Society International Symposium, 1985, IEEE, Vol 23, Juny 1985: 401-404.
- [5] Loffler D, Wiesbeckl W, Johannisson B, “Conformal aperture coupled microstrip phased array on a cylindrical surface”, Antennas and Propagation Society International Symposium, 1999, IEEE, Vol.2, 11-16 July 1999: 882-885.
- [6] 杨弃疾, 范国新, “圆柱共形缝隙阵”, 电波与科学学报, 1997, 第 12 卷, 第 4 期。
- [7] 何庆强, 王秉中, 殷忠良等, “导引头共形相控阵天线新技术”, 系统工程与电子技术, 2006, 第 28 卷, 第 12 期。
- [8] 李玉星, 葛俊祥, “毫米波有源柱面共形微带阵列天线的理论与实验研究”, 电子学报, 1999, 第六期。
- [9] 刘敏, 冯子睿, 孙凤林, 吴群, “Ka 波段 4×4 圆锥共形微带天线阵列设计”, 2007 年全国微波毫米波会议论文集。
- [10] Wang Shaoyong, Zhu Qi, Xu Shanjia, “Design of Cylindrical Conformal Millimeter-Wave Microstrip Antennas with Broad Beamwidth”, Springer Science Business Media, April 2007.

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>