

文章编号:1007-2861(2007)03-0225-05

# 共用口径双波段双极化微带天线阵的设计

瞿新安, 钟顺时, 沈亮, 金骏

(上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072)

**摘要:** 介绍一种新的共用口径双波段双极化(DBDP)微带天线阵的设计. 天线工作于S波段和X波段, 采用双线性极化, 适用于机载或舰载的合成孔径雷达(SAR). 为了满足高低波段的带宽要求, 天线采用双层贴片形式, 解决以往DBDP天线在低波段难以满足带宽要求的问题. 在低波段采用微带振子天线, 放置在高波段矩形微带天线的阵列间隙处, 使低波段天线对高波段天线的影响降至最小, 并由于利用了垂直放置的双极化微带振子作为低波段辐射单元, 可以使双波段阵列适用于更广泛的双频比. 在馈电方式上, 采用外置功分器的形式, 低波段采用邻近耦合馈电, 高波段采用同轴探针馈电. 对天线进行了仿真、加工和测试, 实验结果验证了本设计的有效性.

**关键词:** 微带天线阵; 双波段; 双极化; 共用口径; 合成孔径雷达

**中图分类号:** TN 822

**文献标识码:** A

## Design of a Shared-Aperture Dual-Band Dual-Polarized Microstrip Antenna Array

QU Xin-an, ZHONG Shun-shi, SHEN Liang, JIN Jun

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** A new design of the shared-aperture dual-band dual-polarized (DBDP) microstrip antenna array is introduced. The antenna operates in S-band and X-band with dual-linear polarization, suitable for airborne and shipborne synthetic aperture radar (SAR) applications. To meet the bandwidth requirements in both bands, a stacked patch configuration is used. This overcomes the difficulty of the previous DBDP antennas in obtaining large bandwidth in the lower band. Furthermore, to minimize the influence on the higher band, microstrip dipoles are used in the lower band, located in the spaces among X-band patches. By using orthogonal dual-polarized microstrip dipoles as the lower band radiation elements, the dual-band array can be applied for a wider range of frequency ratio. The microstrip power combiner is not integrated in the array. The lower and higher bands use proximity coupled feed and probe feed respectively. The array was simulated, fabricated and measured. Experimental results have verified feasibility of the proposed array.

**Key words:** microstrip antenna array; dual-band; dual-polarized; shared-aperture; synthetic aperture radar (SAR)

微带天线具有传统天线所不具备的优点, 如低剖面、重量轻、易共型、多功能等, 因此微带天线已被

广泛应用于现代合成口径雷达(SAR)中. 对于一些机载和舰载的合成孔径雷达, 特别要求天线具有重

收稿日期: 2006-07-03 基金项目: 教育部高校博士学科点专项科研基金资助项目(20050280016); 上海市重点学科建设资助项目(T0102)

通信作者: 钟顺时(1939~), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为天线、微波与电磁场理论. E-mail: shshzhong@163.com

量轻、多波段、多极化的多功能工作的特点.所以,共用口径的双波段双极化(DBDP)天线的研制受到了广泛的关注.近 10 年来,国际上已初步研制出了各种形式的共用口径双波段双极化微带天线<sup>[1-3]</sup>.表 1 给出了国外文献报道的 DBDP 微带天线阵的主要指标和基本结构说明.文献[1-3]中提出的双波段阵列的双频比基本在 1:2、1:4 和 1:8 左右,而且从结

构上看,对于其他的双频率适用性较低.本文提出了一种低波段微带振子和高波段方形贴片的双波段双极化组合方式,能够适合更为广泛的双频比范围.天线设计工作于 S 和 X 波段.为便于比较,已将本文提出的天线阵的主要设计指标列于表 1 中.

表 1 国外文献与本文 DBDP 天线阵的主要设计指标和基本结构

Tab.1 Main design specifications and configurations of the DBDP antenna array of Ref.[1-3] and this paper

文献	低频段,带宽	高频段,带宽	双频比	基本结构
[1]	C (5.3 GHz),4.0%	X (9.6 GHz),2.0%	1:1.8	低波段方形贴片,高波段槽天线
[2]	L (1.275 GHz),7.8%	C (5.3 GHz),2.0%	1:4.2	低波段开孔贴片,高波段方形贴片
[3]	L(1.25 GHz),6.4%	X (9.6 GHz),3.1%	1:7.7	低波段开孔贴片,高波段方形贴片
本文	S (3.05 GHz),6.0%	X (9.6 GHz),3.1%	1:3.1	低波段微带振子,高波段方形贴片

1 DBDP 天线形式的选择

为了设计能够工作在 S 和 X 波段上共用口径的双极化微带天线阵,我们在 X 波段上采用微带贴片天线,利用正交的馈电结构实现双极化工作;S 波段上采用微带振子天线,利用垂直放置的 2 个振子来实现双极化工作.为了提高带宽,2 个波段都采用了双层贴片,使得天线单元的阻抗带宽满足设计要求.图 1 是整个天线的结构示意图,天线由 5 层介质层组成,包括 3 层微波介质电路板和 2 层泡沫层.由于 S/X 2 个波段将被放置在一起,所以设计时所使用的介质层厚度也需要统一,一旦改变其中某一波段的某一个介质层的厚度,则另一个波段的介质层也需要改变,从而增加了设计的难度和复杂度.为了便于加工和节约成本,在综合了 2 个波段的各个因素后,第 1、3、5 层介质板选用 ROGERS RT6002,  $\epsilon_{r1} = \epsilon_{r3} = \epsilon_{r5} = 2.94$ ,  $h_1 = 0.508\text{ mm}$ ,  $h_3 = h_5 = 0.254\text{ mm}$ .第 2、4 层采用  $\epsilon_{r2} = \epsilon_{r4} = 1.07$  的泡沫,  $h_2 = 2.2\text{ mm}$ ,  $h_4 = 6\text{ mm}$ .另外,根据二维方向上  $\pm 30^\circ$  的扫描角度指标和栅瓣的抑制要求,选定阵列间隔为  $d_x = 20\text{ mm}$ ,  $d_y = 60\text{ mm}$ .样阵设计为 S 波段  $2 \times 1$  元阵和 X 波段  $7 \times 4$  元阵的组合.

为了使 2 个波段的馈电电路互不影响,考虑了 2 种馈电方式的组合.其一是 X 波段口径耦合馈电和 S 波段邻近耦合馈电的组合.口径耦合馈电的一个特点是具有较大的带宽,但是在设计此阵列是需要设计复杂的背面输出同轴连接<sup>[4]</sup>.另一方案是 X

波段同轴探针馈电和 S 波段邻近耦合馈电的组合.同轴探针馈电的优势在于其使得整个天线所需要的介质层数小于前一方案,而且背面输出同轴的连接方式也相对简单很多.最后选择此组合设计样阵.

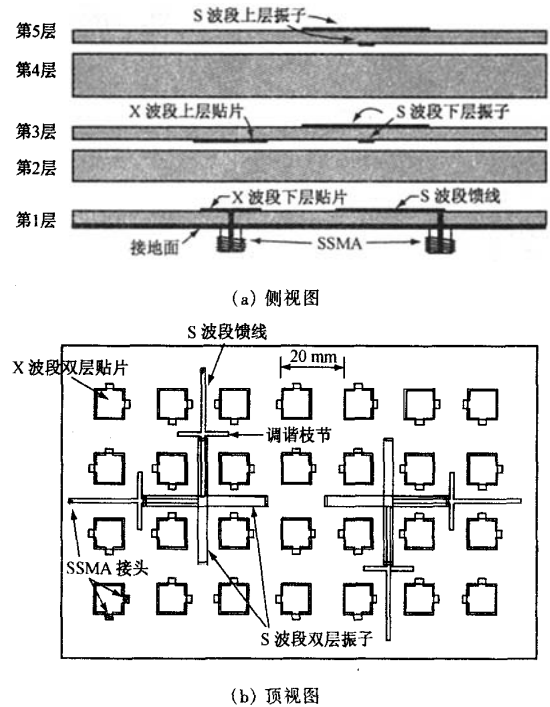


图 1 天线的结构示意图

Fig.1 Geometry of antenna

2 天线单元设计

X 波段天线单元主要参考了文献[5]的设计,不

同的是在馈电形式上采用同轴探针馈电.图2给出了X波段单元的结构图.图中下层贴片边长 $a$ ,上层寄生贴片边长 $b$ .由于X波段贴片尺寸较小,所以选择了结构紧凑的SSMA同轴接头.为了安装同轴接头的双孔法兰,在下层贴片上增加了长、宽分别为 $d_1$ 和 $d_2$ 的馈电块.

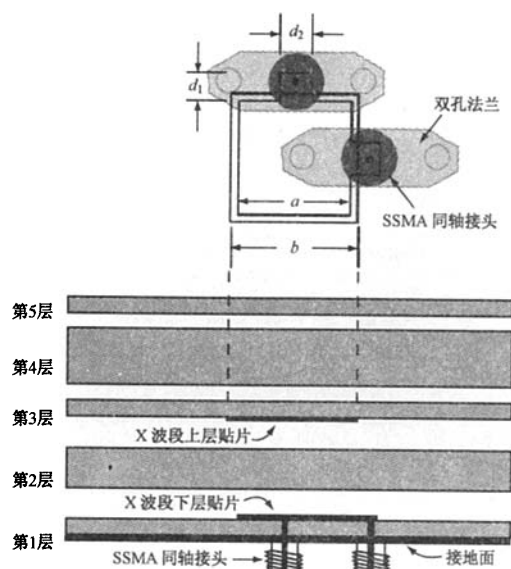


图2 X波段单元结构

Fig.2 Geometry of X-band antenna element

图3示出了S波段振子的结构.图中 $d_1$ 、 $d_2$ 分别为下层和上层振子的长度,宽度为 $w$ .为了避免遮挡X波段天线的辐射,S波段微带振子排列在X波段贴片阵列的间隙处.由于微带振子在薄介质( $h < 0.1\lambda_0$ )情况下带宽较小,而且振子的宽度越小,带宽也越小.这样,在薄介质上采用对X波段影响较小的窄振子再实现6%的带宽存在困难.所以,在S波段上也采用双层贴片,对于宽度为5 mm的双层振子,其仿真带宽约为330 MHz( $VSWR < 2$ ),百分带宽为11%左右;而宽度为2 mm的振子带宽稍小,约为250 MHz.由于下层微带振子与X波段寄生贴片共面,所以5 mm的宽振子与X波段寄生贴片耦合较强,从而可能导致雷达扫描性能变差,而窄振子所带来的影响较小,而且获得的带宽也满足设计要求,所以我们最后选择了2 mm宽的水平极化振子和3 mm宽的垂直极化振子.另外,在S波段上,还采用了微带调谐枝节来增加天线带宽.此外,尽量使用对称的结构来设计枝节也可以改善天线的交叉极化性能<sup>[2]</sup>.

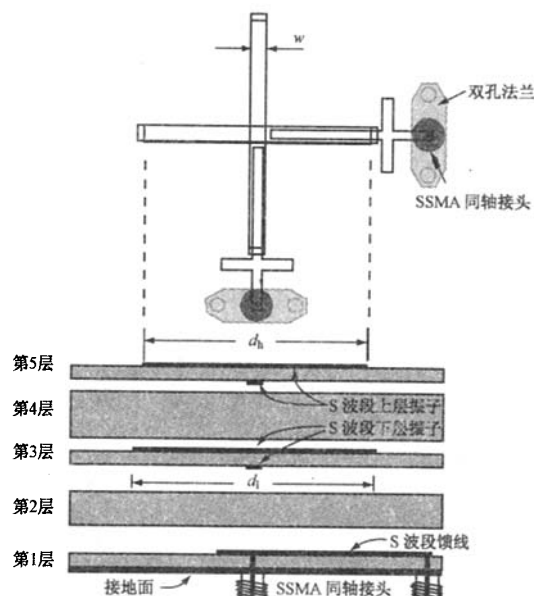


图3 S波段单元结构

Fig.3 Geometry of S-band antenna element

### 3 天线单元和样阵的仿真和实测结果

我们设计、加工并测试了S波段 $2 \times 1/X$ 波段 $7 \times 4$ 元DBDP阵列.我们使用了粘胶来粘连天线的相邻介质层,并采用背馈式的方法连接SSMA同轴接头.因此,整个天线样阵由5层介质层、5层粘胶和1个金属接地板构成,所以加工难度很大.

X波段双极化天线单元仿真与实测的回波损耗和极化隔离示于图4.从图上可以看到,双层贴片使得X波段贴片天线的带宽超过了17%,从9.07 GHz到10.82 GHz( $VSWR < 2$ ),而天线的极化隔离在带宽内-20 dB以下.

图5为S波段的双极化微带振子天线仿真与实测的回波损耗和极化隔离.图中给出了S波段单元在单独仿真和加入X波段贴片影响后的回波损耗.可以看到,X波段贴片对S波段的回波损耗有影响,但影响不大.我们可以通过调节S波段的调谐枝节,在仿真中将S波段天线重新匹配.从图5上可以看到,双层微带振子天线的实测带宽( $VSWR < 2$ )达到8.9%,从2.91 GHz到3.18 GHz,达到了系统指标要求.极化隔离在带内小于-25 dB,说明邻近耦合双极化微带振子的极化隔离还是较好的.值得注意的是,S波段实测带宽较仿真带宽频率下移了约40 MHz,这主要是由于加工中使用的粘胶的性能不稳

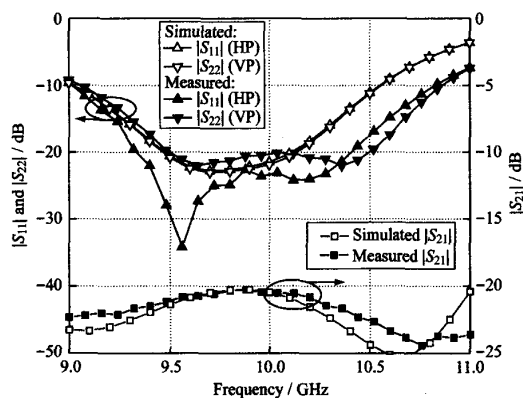


图 4 X 波段双极化天线单元的回波损耗和极化隔离

Fig.4 Return loss and isolation of X-band dual-polarized antenna element

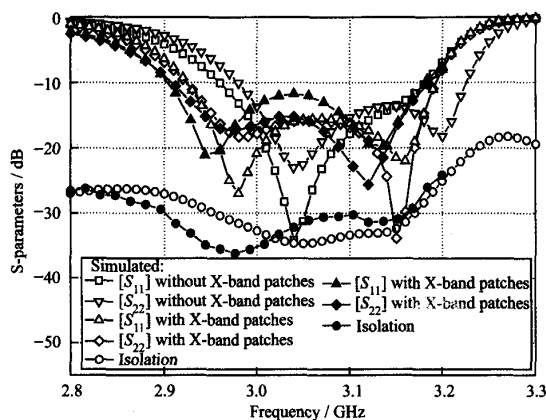


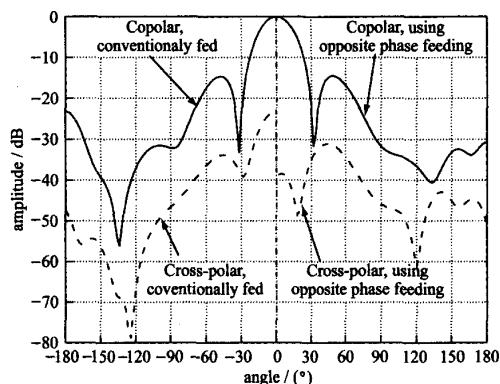
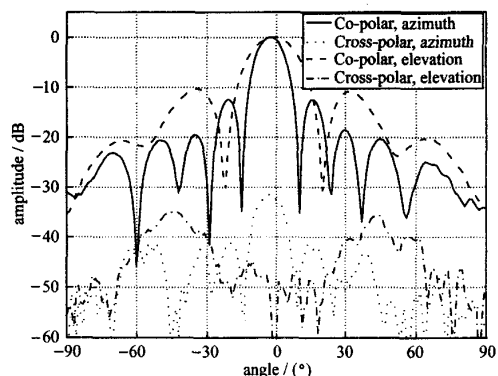
图 5 S 波段双极化天线单元的回波损耗和极化隔离

Fig.5 Return loss and isolation of S-band dual-polarized antenna element

定所导致的.由于 S 波段实测带宽较设计指标具有一个余量,所以其对 S 波段的性能影响不大.

为了降低天线的交叉极化电平,我们使用了倒相馈电技术<sup>[6]</sup>,见图 1(b).对  $3 \times 3$  元的 X 波段子阵,分别采用同相馈电和倒相馈电技术的仿真结果如图 6 所示.左边为传统同相馈电的主极化与交叉极化方向图,右边为倒相馈电的主极化与交叉极化方向图,方向图取自垂直极化端口的方位角面( $\varphi = 0^\circ$ ).同相馈电的 X 波段  $3 \times 3$  元阵的交叉极化电平在  $-20$  dB 左右,而利用倒相馈电技术,交叉极化电平被抑制在  $-38$  dB 左右.可见利用倒相馈电技术抑制交叉极化效果较好.图 7 给出了样阵的 X 波段  $7 \times 4$  元阵的垂直极化的实测方向图.可见,利用倒相馈电技术,样阵的 X 波段垂直极化端口的交叉极化电平被抑制在  $-31$  dB 以下.此外,样阵的 X 波段

水平极化端口,S 波段的垂直和水平极化端口的实测的交叉极化电平也满足设计指标,分别被抑制在  $-34$ 、 $-26$  以及  $-27$  dB 以下.

图 6 X 波段  $3 \times 3$  元阵同相馈电与倒相馈电仿真方向图的比较Fig.6 Comparison of the simulated radiation patterns of  $3 \times 3$  X-band subarray with conventional feeding and opposite phase feeding图 7 X 波段  $7 \times 4$  元阵垂直极化端口实测方向图Fig.7 Measured radiation pattern of  $7 \times 4$  X-band prototype array with vertical polarization

## 4 结论和展望

本文介绍了一种由双层微带贴片和微带振子的组合构成共用口径双波段双极化微带天线阵.设计并制作了 S 波段  $2 \times 1$  / X 波段  $7 \times 4$  的 DBDP 微带天线阵,并对其进行了测试.从仿真和实测结果来看,天线的带宽、交叉极化性能和端口隔离都可满足基本设计要求.

这种共用口径的 DBDP 微带天线阵不但设计复杂,其加工同样是一难点.本样阵中使用了 3 层微带板和 2 层泡沫,并需要用粘胶来粘连邻近的介质层.

粘胶的均匀度、介电常数以及厚度都将影响整个天线的性能.此外,天线下方需要使用可以安装同轴接头法兰的金属接地板.由于天线将使用外加功分器和移相器,这使得连接天线与馈电网络的同轴接头数量很大.并由于工作频率较高,单元尺寸相对较小,导致 SSMA 同轴接头间的距离很近,这也增加了加工和测试的难度.不过虽然整个天线阵的加工测试难度大,但是加工的样阵的实测结果还是比较稳定的,性能也基本达到了设计要求.随着新材料技术的发展,一些新的制作加工技术(例如低温共烧陶瓷技术,LTCC)也必定会被用于双波段双极化共用口径天线阵的设计中.我们期待着这些新技术的应用,以使双波段双极化共用口径天线阵具有更好的稳定性及其他更优良的性能.

致谢 感谢华东电子工程研究所天馈部张玉梅主任对本课题的大力支持和帮助,同时感谢华东电子工程研究所汪伟博士和上海大学梁仙灵博士在本研究中给予的有益的讨论和帮助.

#### 参考文献:

- [1] POKULS R, UHER J, POZAR D M. Dual-frequency and dual-polarization microstrip antennas for SAR application [J]. IEEE Trans Antennas and Propagat, 1998, 46(9): 1289-1296.
- [2] SHAFAI L L, CHAMMA W A, BARAKAT M, et al. Dual-band dual-polarized perforated microstrip antennas for SAR application [J]. IEEE Trans Antennas and Propagat, 2000, 48(1):58-66.
- [3] POZAR D M, TARGONSKI S D. A shared-aperture dual-band dual-polarized microstrip array [J]. IEEE Trans Antennas and Propagat, 2001, 49(2):150-157.
- [4] 汪伟.宽带印刷天线与双极化微带及波导天线阵[D].上海:上海大学,2005.
- [5] ZHONG S S, LIANG X L, WANG W. Dual-polarized slot-coupled microstrip antenna with very high isolation [J]. Journal of Shanghai University: English Edition, 2005, 9(4):336-338.
- [6] WOELDERS W, GRANHOLM J. Cross-polarization and sidelobe suppression in dual linear polarization antenna arrays [J]. IEEE Trans Antennas and Propagat, 1997, 45:1727-1740.

(编辑:刘志强)

## 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,一直致力和专注于微波、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>