

# 瞬态极化实验雷达收发八木天线阵列设计

卢中昊 王 晖 菅春晓 何建国

(国防科学技术大学电子科学与工程学院, 长沙 410073)

**摘 要:** 收发天线阵列是瞬态极化实验雷达系统收发信号的重要功能组成部分, 本文首先对天线单元间互耦进行仿真分析, 并设计特殊的单元布局, 通过对各单元的激励功率实施特定加权从而实现了窄波束, 低副瓣、高增益天线阵列。

**关键词:** 瞬态极化雷达, 天线阵列, 低副瓣

## Design of Antenna Array of Instantaneous Polarization Radar

Lu Zhonghao Wang Hui Jian Chunxiao He Jianguo

(School of Electronic Science&Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

**Abstract:** Antenna system is a critical component of the instantaneous polarization radar system which is used to transient signal and receive signals, Based on the simulation analysis, This article design a special arrangement of the array and give each unit of the implementation of specific incentives to achieve the low side-lobe, narrow beam, high gain antenna array.

**Keywords:** Instantaneous polarization radar, antenna array, low side-lobe

## 1 引言

瞬态极化新体制雷达对于提高雷达系统在复杂战场环境中的探测性能和感知能力以及在抗干扰、反隐身、反低空突防等方面具有极其重要的军事价值<sup>[2]</sup>。其主要功能是探测雷达目标的极化散射特性, 同时测得目标的极化散射矩阵的 4 个参数, 避免了传统的分时极化测量体制固有的测量精度差、补偿校准复杂的缺陷, 因而为准确测量运动目标的极化散射矩阵提供了技术保证。

## 2 收发天线阵列概述

从系统功能的要求出发, 天线阵列必须是两套独立的线极化天线阵, 向外辐射信号和接收目标回波信号的时候必须保证足够的增益和良好的方向性能, 同时具有良好的收发隔离度和极化隔离度, 天线增益期望值为 15dB, 方向图 3dB 宽度要求不超过

25 度。为减小地面反射及环境杂波影响, 系统要求天线具有较低的副瓣。

## 3 收发天线阵列设计

### 3.1 天线单元设计

本文采取八木天线组阵来实现工程设计要求<sup>[1]</sup>。并用配有 U 型平衡变换器的折合振子做馈电振子, 其结构如图 1 所示。

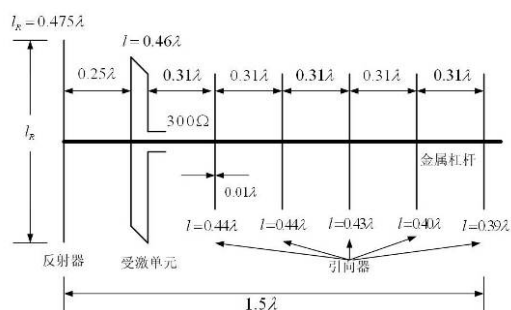


图 1 七元八木天线结构

## 3.2 天线阵列设计

天线阵的辐射是干涉现象的特例,辐射特性取决于阵元的类型、数目、排列方式以及各阵元的馈电等因素。另外,在天线阵中,由于各阵元相距较近,阵中任意两元之间都有较强的场的相互作用即为互耦,互耦会使辐射场和方向图产生变化<sup>[3]</sup>。

### 3.2.1 相邻阵元的互耦分析

由于天线结构的复杂性,互耦的计算也会非常麻烦,但使用 HFSS 计算分析相邻单元的互耦会比较方便。图 2 显示了相邻天线单元共线排列和平行排列的互耦分析结果。

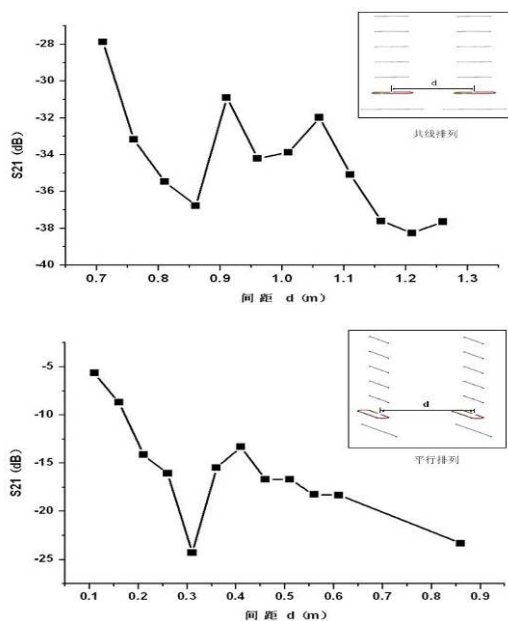


图 2 相邻天线单元的互耦分析

结果显示,随着间距的增加,耦合按照  $1/d^2$  减小,但不是平滑地减小;阵元的电场平行取向耦合比共线时强。当共线间距  $\geq 5$  cm、平行间距  $\geq 20$  cm 时,  $S_{21} \leq -15$  dB,因此在组阵时只要选取间距大于上述所给数值时,耦合对方向图的影响是可以忽略的。

### 3.2.2 天线阵列关键参数的选择

若忽略单元之间的互耦,天线阵的场等于各单元辐射场的矢量叠加。为了得到强方向性,必须使各单元的辐射场在期望的方向相长干涉,而在其余方向相消干涉。通过控制天线的几何形状、单元间距、单元的激励幅度和相位和单元方向图等因素,可以形成天线阵的总方向图。

### (1) 阵元数目的选择

图 3 给出了在中心频率为 445 MHz 时不同阵元数目按一定间距排列时 HFSS 仿真得到的 H 面和 E 面方向图。可以看到随着阵元数目的增加,阵列增益逐渐增大,并且只要满足某种排列时,5 元阵和 6 元阵均能得到既满足增益要求又适合主瓣宽度要求的方向图,且副瓣均压制在 -15 dB 以下。

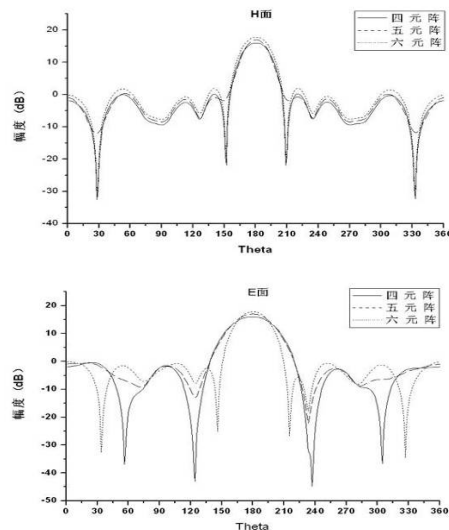


图 3 不同阵元数目仿真的方向图

### (2) 阵元间距的选择

为了便于实际工程的需要,结合上文对阵元数目的分析,选取 6 元阵列中的阵元间距作为研究对象,并假设为均匀馈电,采用 HFSS 作仿真分析。图 4 给出了平行间距保持 40 cm 不变的情况下,共线间距分别为 60 cm、70 cm、80 cm 时的 H 面和 E 面方向图;图 5 给出了在共线间距保持 70 cm 不变的情况下,平行间距分别为 30 cm、40 cm、50 cm 时的 H 面和 E 面方向图。

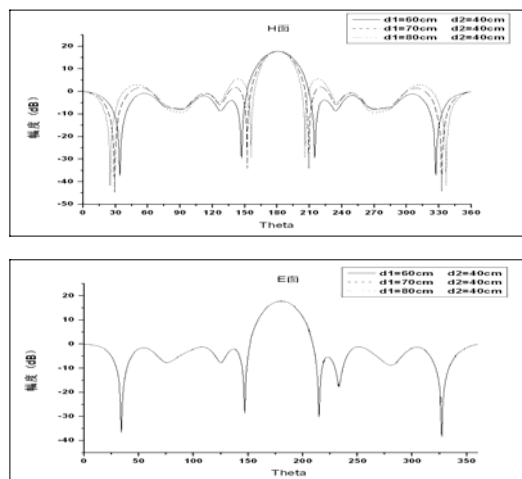


图 4 不同共线间距时的方向图仿真结果

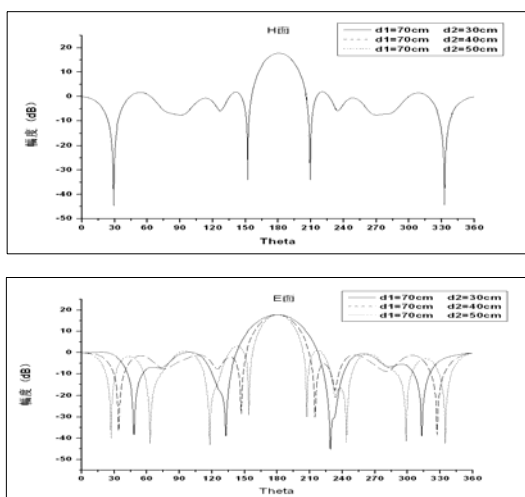


图5 不同平行间距时的方向图仿真结果

表1列出了在不同共线间距下H面方向图的波束宽度和第一副瓣电平；表2列出了在不同平行间距下E面方向图的波束宽度和第一副瓣电平。

表1 共线间距对H面方向图的影响

	主瓣宽度	副瓣
D1=60cm,d2=40cm	27.62	-21.6
d1=70cm,d2=40cm	23.94	-15.83
d1=80cm,d2=40cm	21.68	-12.16

表2 平行间距对E面方向图的影响

	主瓣宽度	副瓣
d1=70cm,d2=30cm	32.7	-17.78
d1=70cm,d2=40cm	26.48	-17.2
d1=70cm,d2=50cm	20.82	-16.77

可以看出：当平行间距固定时，共线间距对E面方向图影响不明显，但显著影响H面的方向图；当共线距固定时，平行间距对H面方向图影响不明显，但显著影响E面的方向图。阵元间距过小，则会导致3dB宽度增大，而间距过大则又会导致副瓣的升高，而且可能会出现栅瓣。这是因为，均匀馈电时，共线(平行)平面的半功率主瓣宽度只与天线行(列)的电长度有关，电长度越长，半功率主瓣宽度越窄。阵列天线的两个主平面上的方向性是互相独立的，可以分别控制，根据这一点，可在行方向和列方向采用不同的排列来满足对两个主平面方向性的不同要求。根据方向图的结果分析，选取了共线间距 $d_1=70\text{cm}$ ，平行间距 $d_2=40\text{cm}$ 的 $3\times 2$ 阵列作为实际阵列的设计依据。

### (3) 阵元馈电幅度加权的选择

图6显示了均匀分布与泰勒分布的方向图的H面和E面的对比，相比均匀分布，泰勒分布的方向图增益有1.8dB的下降，H面的主瓣宽度增加1.8度，第一副瓣电平降低3.92dB；E面的主瓣宽度增加10.36度，但第一副瓣消失。泰勒分布实现了压低副瓣的效果，但是这样增加了功分器设计的复杂度。上文中阵列方向图的分析可知并不需要对输入各天线单元电流采用泰勒分布加权处理，当各单元使用等幅同相电流激励时即可满足本文天线阵列的指标要求。

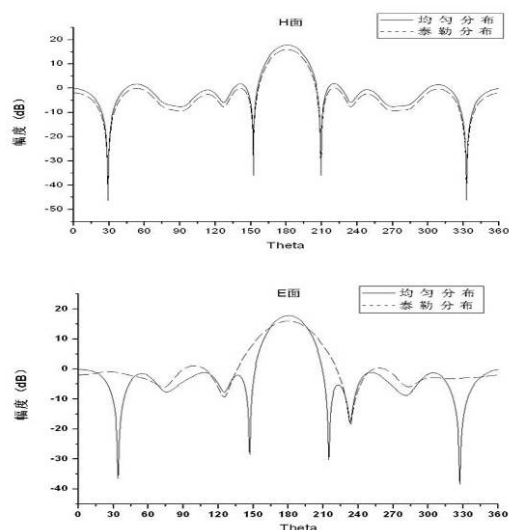


图6 均匀分布和泰勒分布的方向图对比

## 4 天线阵列性能实测结果

图7给出了收发天线阵列实物图。图8是天线阵列驻波测试结果，图9是在400MHz—500MHz频带内天线单元之间互耦的实测结果。



图7 收发天线阵列以及运动平台实物

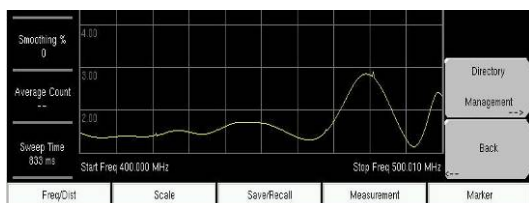


图 8 天线阵列驻波实测结果

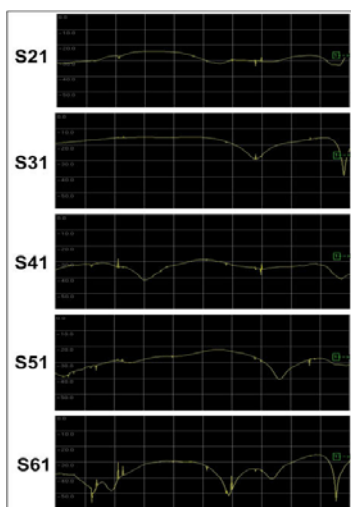


图 9 天线阵列单元间互耦实测结果

在 420MHz~470MHz 的频带内天线阵驻波小于 2，单元间互耦不超过 15dB，且随着间距增加，互耦逐渐减小至 -60dB。

图 10 是天线阵列的 H 面方向图测试结果。组阵之后的方向图主波束较窄，频率在 420MHz 时，3dB

宽度为  $24.19^\circ$ ，第一副瓣电平小于 -15dB，背瓣小于 -20dB；频率为 445MHz 时，3dB 宽度继续变窄为  $22.98^\circ$ ，第一副瓣电平略有升高但小于 -15dB，背瓣小于 -20dB，频率在 470MHz 时，3dB 宽度为  $22.08^\circ$ ，第一副瓣电平升高，不超过 -15dB，背瓣上升但小于 -20dB，天线在带内的方图一致性较好，已满足设计指标要求。

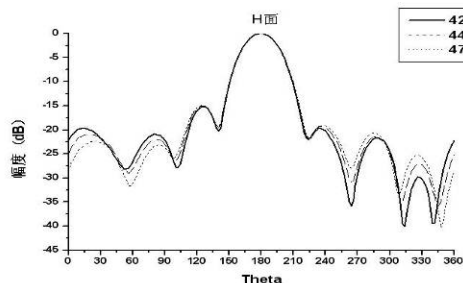


图 10 天线阵列 H 面方向图实测结果

## 5 结论

本文采用八木天线作为天线阵单元，运用电磁仿真软件对收发天线阵列参数的选择进行了仿真分析，对各天线单元的激励功率实施特定的加权实现了窄波束、低副瓣天线阵列。实物测试的结果与仿真结果也取得了较好的一致性。

## 参考文献

- [1] John D. Kraus, Antennas: For All Applications, Publishing House of Electronic Industry, 2004
- [2] 王雪松, 宽带极化信息处理研究, 国防科技大学出版社, 1999
- [3] 林昌禄, 天线工程手册, 电子工业出版社, 2002

作者简介:

卢中昊, 男, 博士生, 主要研究领域为天线设计和电磁兼容等;

王晖, 男, 博士生, 主要研究领域电磁兼容, 电子测量等;

营春晓, 男, 博士生, 主要研究领域为电磁兼容;

何建国, 男, 教授, 博导, 电子学会高级会员, 主要研究领域为超宽带技术和天线设计等。

## 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>