

# 相控阵天线指向精度试验研究

邢瑾琪 王颖辉

## 【摘要】

本文用统计的方法对多套相控阵天线的试验结果进行分析,根据测试数据,对本相控阵天线指向精度误差产生的原因做出分析,指出了相控阵天线指向精度随机误差产生的主要原因是生产和装配带来的,系统误差主要来自天线单元方向图影响的结论。

## 【关键词】

相控阵天线 指向精度 随机误差 系统误差

## 一、引言

相控阵天线的指向精度对雷达系统的精度有非常重要的影响。影响天线指向精度的因素很多,包括系统误差和随机误差。由于大型相控阵天线是很庞大且复杂的一个系统,很难对系统误差和随机误差进行严格的区分,尤其是产生误差的原因。本文主要总结了相控阵天线的测试试验,然后根据测试数据,对该型相控阵天线指向误差产生的原因做出分析和结论。

## 二、随机误差测试

对相控阵天线进行测试(天线测试示意图如图3所示),对于天线波束指向精度随机误差的测试方法为:通过测试不同扫描角差方向图的零点位置来确定指向精度;在保精度扫描范围内,选5个工作频率,测试角度为 $41^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ( $41^{\circ}$ 为起点),以起点作为参考点,每隔 $0.2^{\circ}$ 测

一个指向。

$$\delta = \sqrt{[\sum (x_n - \bar{x})^2] / (n-1)} \quad (1)$$

$$\bar{x} = (\sum x_n) / n \quad (2)$$

式中,  $x_n$  是每个角度的测量误差。

通过(1)式、(2)式计算理论值与实测值的误差,统计求出均方误差。图1是多套相控阵天线随机误差分布图,每套天线都选取方位面和俯仰面的5个频率点做抽样,求出其均方误差。图2是把每一个天线的所有采样点做均方差得到的结果,误差分布随天线的不同略有不同,这跟天线个体的加工或装配误差有关系。前2套天线波束指向误差稍大,随后几套天线随机误差基本收敛,在这期间天线的技术状态没有改变,改变的是生产调试能力的提高和工艺的不断完善。因此可以说明当天

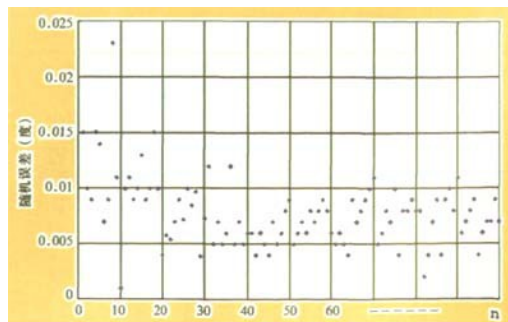


图1 天线随机误差分布测试结果

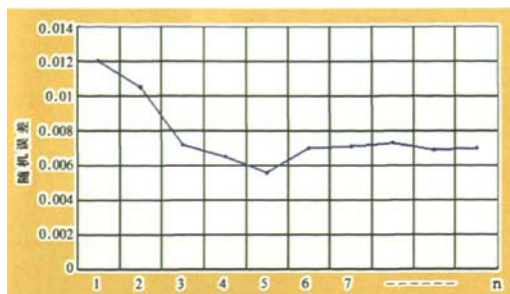


图2 天线随机误差（均方差）测试结果

线的技术状态确定后，天线指向的随机误差产生原因主要来自生产调试和装配的各个环节，例如天线单元在阵面上的平整度，移相器组件安装的一致性，天线阵面壳体的变形程度等。如果每个环节都严格控制，天线指向的随机误差是可以控制在一定范围的。

### 三、系统误差测试

系统误差测试主要寻找在整个扫描角范围内的最大指向误差。如图3所示，把天线扫描角度定为 $0^{\circ} \sim 46^{\circ}$ ，每隔 $2^{\circ}$ 取一个测试点，对同样的5个频率进行测量。在测量天线系统误差时，首先要对天线测试系统本身的系统误差进行校准，由于大型相控阵天线重量很大，因此从测试安全考虑必须把天线及测试支架的重心放在天线测试转台的旋转中心轴上。这样就造成天线阵面外表面的几何中心偏离了转台中心轴，而天线的相位中心与天线阵面外表面的几何中心非常接近。我们知道，天线测试要求天线的相位中心在转台的中心轴线上，这就带来了天线测试误差：偏心角误差。假设天线测试时，发射喇叭与相控阵天线相位中心等高，偏心角误差示意图见图3。

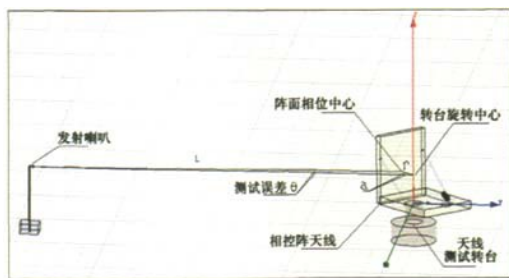


图3 测试误差示意图

图3中各个变量的含义为： $L$ 为测试距离， $r$ 为天线偏心半径， $\alpha$ 为转台转过的角度， $\theta$ 为转台测试误差。

根据它们的几何关系可以得出：

$$\theta = \arcsin(r \sin(\alpha) / L) \quad (2)$$

因此，在测试的时候转台转过的角度应该记录为

$\alpha - \theta$ ，然后再与天线的指向相比较来决定相控阵天线本身的系统误差。图4、图5是对应于图3的天线的系统误差测试结果。从测试结果看，天线的系统误差比随机误差要大一个数量级。图4是单个天线单个频率时的典型测试结果，图中显示了从 $0^{\circ}$ 到 $46^{\circ}$ ，每隔 $2^{\circ}$ 一个扫描角的指向误差曲线，从测试数据来看，随着天线扫描角的增大天线系统误差逐渐增大，且都向 $0^{\circ}$ 方向偏，图5是多套天线指向误差最大点的统计图。结果还表明所有的天线都在扫描到 $46^{\circ}$ 时候系统误差达到最大值。由文献显示，天线单元方向图影响阵列天线的波束向阵列法向（零度）偏斜，而其他误差不可能造成一致性地向法向偏，比如上面提到的各种相位随机误差的偏向总是不定的，因此可以说明系统误差的主要来源是天线单元方向图的影响。由于随机误差也同时反映在测试结果里，图5在小范围内显示出一定的离散性。



图4 单个天线误差随扫描角的变化

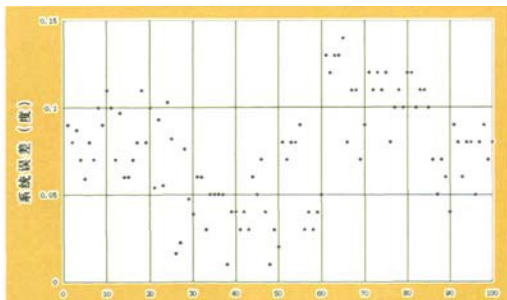


图5 系统误差最大值统计结果

### 四、结束语

本文对相控阵天线随机误差和系统误差的测试方法进行了详细的说明，最后分析了多套天线的测试结果，可以看出某型号相控阵天线指向精度随机误差产生的主要原因是生产和装配带来的；系统误差主要来自天线单元方向图的影响。■

参考文献见[www.dcw.org.cn](http://www.dcw.org.cn)

## 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>