

# 天线测试中的误差分析

李福剑, 李彦文

(船舶重工集团公司723所, 扬州 225001)

**摘要:**讨论了天线测试过程中引入的误差, 分析了这些误差的性质, 提出了优化和修正的方法, 对准确测量天线参数有重要意义。

**关键词:**天线测试; 误差分析; 参数测量

中图分类号: TN971

文献标识码: B

文章编号: CN32-1413(2007)01-0115-04

## Error Analysis in Antenna Test

LI Fu-jian, LI Yan-wen

(The 723 Institute of CSIC, Yangzhou 225001, China)

**Abstract:** This paper discusses the errors caused by the antenna test, analyzes the character of these errors, and puts forward the methods of optimization and revision. It is important to measure the antenna parameters more correctly.

**Key words:** antenna test; error analysis; parameter measurement

## 0 引言

在天线测量时, 由于天线的结构误差、测试场地、测试设备、气候等各种因素, 会在各项测试的电参数中引入误差, 因此需要尽可能降低这些误差, 提高测试的准确性。

## 1 测试转台形式引起的误差

收发天线如果架设高度不同, 采用传统的二维转台(如图1), 俯仰在上、方位在下, 就会产生测角误差, 此时测得的方向图不是正面的方向图, 而是圆锥切割方向图。这个误差是相当大的, 且仰角越大误差越大。如果用方位在俯仰上的转台(如图2)或是使用三维转台(如图3), 这个问题就可以解决。所以采用俯仰在上、方位在下的转台(传统的二维转台), 就要尽量让收、发两天线在同一水平面上。

## 2 测试天线安装引起的误差

在天线测试时, 天线应该放置在转台的原点

位置, 这样天线旋转的角度和转台旋转的角度才一致。但是在实际天线安装中, 不可能把天线正好安装在转台的原点位置, 这样就产生了误差。

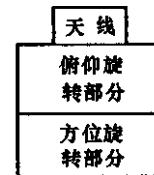


图1 传统转台

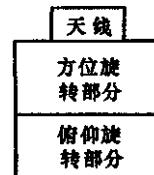


图2 新型转台

### 2.1 方位不同轴产生的误差

天线置于转台上测试的时候, 天线方位旋转的轴心与转台的方位轴心有可能不在同一直线上。

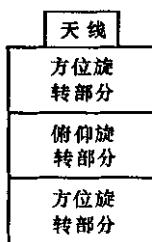


图 3 三轴转台

如图 4 所示,  $O$  为转台的方位轴心,  $P$  为发射源的位置, 设  $A$  为天线方位轴心放置的位置, 天线指向对准  $AP$  方向, 测试转台旋转  $\beta$  角, 天线轴心旋转到  $B$  点, 天线指向对准  $BQ$  方向, 天线指向旋转了  $\alpha$  角,  $\Delta = OA = OB$ ,  $OP$  为测试转台方位轴心到源的距离,  $OP = R$ , 则有:

$$OC = \Delta \cos \beta \quad (1)$$

$$BC = \Delta \sin \beta \quad (2)$$

$$PC = OP - \Delta \cos \beta = R - \Delta \cos \beta \quad (3)$$

$$\angle OPB = \arctg \frac{BC}{PC} = \arctg \frac{\Delta \sin \beta}{R - \Delta \cos \beta} \quad (4)$$

$$\alpha = \beta + \angle OPB = \beta + \arctg \frac{\Delta \sin \beta}{R - \Delta \cos \beta} \quad (5)$$

$$AP = OP - \Delta = R - \Delta \quad (6)$$

$$BP = \frac{BC}{\sin \angle OPB} = \frac{\Delta \sin \beta}{\sin(\arctg \frac{\Delta \sin \beta}{R - \Delta \cos \beta})} \quad (7)$$



图 4 方位方向图测试示意图

举例: 设  $R = 150$  m,  $\Delta = 0.2$  m,  $\beta = 40.0^\circ$ , 则:  $\angle OPB = 0.04917^\circ = 3'$ ,  $\alpha = 40.04917^\circ = 40^\circ 3'$ ,  $AP = 149.8$  m,  $BP = 149.8532$  m,  $BP - AP = 0.0532$  m。也就是说, 天线方向图测试过程中, 转到最大角度时测量角度与真实值相差 3', 测量距离与真实值相差 0.0532 m。

## 2.2 俯仰不同轴产生的误差

如图 5 所示, 设  $O$  点为测试转台俯仰的轴心,  $A$  点为天线电中心,  $OA$  为天线转接架, 俯仰旋转  $\theta$  角后,  $OA$  转到  $OB$  位置,  $P$  点为发射源,  $OA = OB = \Delta$  为转架高度。  $A$  点距离发射源垂

直距离为  $r$ ,  $B$  点距离发射源垂直距离为  $R$ , 则有:

$$BC = \Delta \times \sin \theta \quad (8)$$

$$R = r + BC = r + \Delta \sin \theta \quad (9)$$

$$\alpha = \arctg \frac{\Delta - \Delta \cos \theta + h}{r + \Delta \sin \theta} \quad (10)$$

$$\beta = \arctg \frac{h}{r} \quad (11)$$

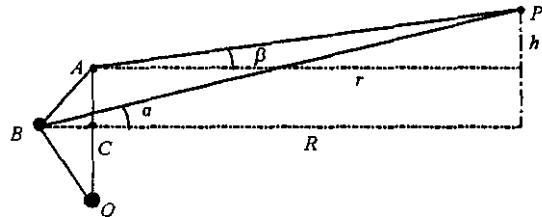


图 5 俯仰方向图测试示意图

举例: 若  $\theta = 30^\circ$ ,  $r = 150$  m,  $\Delta = 1$  m,  $h = 5$  m, 则:  $BC = 0.5$  m,  $R = 150.5$  m,  $\alpha = 1.9538^\circ$ ,  $\beta = 1.9092^\circ$ ,  $\alpha - \beta = 2.7'$ 。可以看出, 若天线转接架高 1 m, 俯仰转 30°, 天线测试的角度读数与真实值差 2.7', 距离读数与真实值差 0.5 m。

为了减小转台在转动过程中方位不同轴、俯仰不同轴会对波束宽度、方向图测量造成的误差, 必须尽可能提升测试转台和发射源距地面的高度和测试距离。

## 3 有限测试距离引起的误差

在天线辐射近场区, 场的角分布与距离有关, 其相对相位和相对幅度是离开天线距离的函数。在辐射远场的角分布与距离无关。严格讲, 只有离天线无穷远才是天线的远区, 但在某个距离上, 场的角分布与无穷远时的角分布误差在允许的范围以内时, 把该点至无穷远的区域称为天线的远区。公认的辐射近、远场的分界距离为:

$$R = 2D^2/\lambda \quad (12)$$

式中:  $D$  为天线直径;  $\lambda$  为工作波长。

实际测量天线增益不可能使两天线相距无限远, 只能在有限测试距离上完成。测量距离还与所要求的测量精度有关, 如果要求增益测量误差小于 0.25 dB, 那么为了同时满足相位、幅度和互偶对测试距离的要求, 可以按照式(12)确定天线的最小测试距离:

$$\begin{cases} R \geq 2D^2/\lambda, & d \leq 0.41D \\ R \geq (d+D)^2/\lambda, & d > 0.41D \end{cases} \quad (13)$$

式中: $d$ 为辅助天线口径的最大线尺寸; $D$ 为待测天线口径的最大线尺寸。

当 $d \leq 0.41D$ 时,对于口面场均匀分布的方

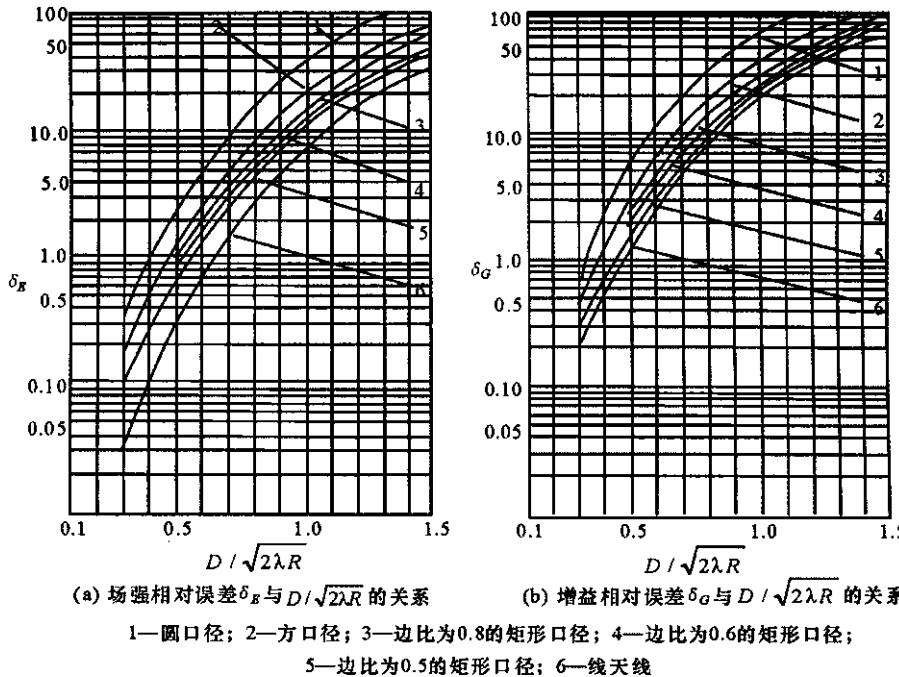


图6 不同口径天线场强、增益相对误差与距离的关系

由图6中曲线可见,在 $D / \sqrt{2\lambda R} = 0.5$ ,即 $R = 2D^2 / \lambda$ 时,对于圆口径天线,有: $\delta_E = 2.7\%$ , $\delta_G = 5\%$ 。在同一距离上,圆口径天线的相对误差比方口径天线大。它们在不同距离上的增益相对误差由曲线求出,如表1所示。

表1 均匀分布方口径和圆口径天线

#### 在不同距离上的增益相对误差

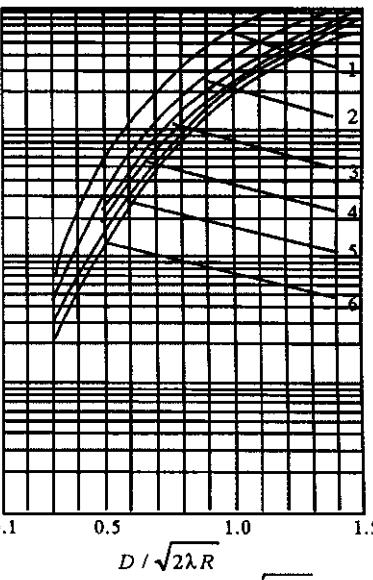
$R$	方口径天线		圆口径天线	
	$\delta_G$ (dB)	$\delta_G$ (dB)	$\delta_G$ (dB)	$\delta_G$ (dB)
$D^2 / \lambda$	10%	0.41%	17%	0.68%
$2D^2 / \lambda$	2.7%	0.12%	5%	0.2%
$4D^2 / \lambda$	0.7%	0.03%	1%	0.045%

为了减小测量距离对准确测量天线参数的影响,只有在可能的条件下,尽量加大待测天线与信号发射源之间的距离。

## 4 测试仪表精度引起的误差

(1) 信号源频率设置:对于点频测试,很好的频率稳定精度引起的误差可以忽略。在扫频时,精度就更重要了,这时要尽量减少其稳定时间并通过与一定长度电缆的标准相位来比较。

口径天线和口面场均匀分布的圆口径天线的场强相对误差 $\delta_E$ 、增益相对误差 $\delta_G$ ,可以根据图6求得。



(b) 增益相对误差 $\delta_G$ 与 $D / \sqrt{2\lambda R}$ 的关系

同轴电缆线在天线测量中是不可缺少的,电缆受挤压、接头或转换器之间松动、接头不匹配都可能影响测量结果,应选用性能好的同轴电缆线。信号源、功率放大器输出功率不稳定易引起接收信号突跳。转动过程中天线在某一角度遇到同频干扰等都可能引起天线参数测量的不准确。

(2) 环境噪声:噪声限制了低副瓣的精度,但具体测量误差远大于普通噪声,可不予考虑。

(3) 接收机线性动态范围:只要不饱和,现代接收机典型的线性度为 $0.1 \text{ dB} + 0.005 \text{ dB}/\text{dB}$ ,相位为 $0.1^\circ + 0.005^\circ/\text{dB}$ 。除了非常复杂的副瓣测试,该值远远满足一般的副瓣测试要求,但对增益测试有影响。如果测试天线的增益高于增益标准 $20 \text{ dB}$ ,会出现 $0.2 \text{ dB}$ 的误差分布。

(4) 标准增益喇叭精度:标准增益精度相对来说是基本的限制,国家标准局引用的精度也为 $\pm 0.2 \text{ dB}$ 。

(5) 经纬仪测角精度:在天线测量中,经纬仪是最常用的精密测角仪表之一,天线方向图的最大指向和波束宽度都可用它较准确测得,其测角误差是影响天线测量精度的最重要的指标之

一。由于在天线测量中还未广泛使用具有轴系误差自动补偿功能的电子经纬仪,目前仍多用传统的没有轴系误差自动补偿的普通光学经纬仪,调平仪器使垂直轴铅垂是通过照准部水准器气泡居中来实现的,由于水准器轴与垂直轴正交的校正不完善、水准器气泡居中的精度限制以及外界因素(主要是温度变化以及重力变形等)的影响,致使产生垂直轴倾斜误差。

## 5 测试场地引起的误差

(1) 有限测试场长度引起的相位曲率变化:在有限距离的场地上测试方向图,待测天线口面上会产生球面相差。相位变化主要影响的是填充主瓣和第一副瓣之间的零点以及抬高第一副瓣,对第二副瓣以外的方向图几乎没有影响。

(2) 源方向的改变或地面测试场高度引起的幅度斜变:这一点在收发天线架设高度不同的情况下有表现,主要表现为第一副瓣的不对称。所以要尽量让收、发天线在同一水平面上。

(3) 测试场地的反射:反射瓣的幅度分别取决于源的照射、反射系数和测试天线的位置。通常的物体反射性如下:

草木	-15~-25 dB
建筑	-5~-15 dB
吸收体	-20~-40 dB

地面 0~5°	0~-5 dB
地面 5°以上	-1~-15 dB
静止的汽车	0~-15 dB

我们采取的主要方法是调整发射天线和被测试天线的位置,以免引起严重的反射。在测试方向图中的副瓣时,周围物体的反射可能导致严重的测量误差。例如,测量 -25 dB 副瓣,误差小于 ±0.5 dB(最大误差为 1 dB) 时,环境反射电平应低于 -55 dB。

## 6 结束语

以上介绍了天线测试时转台形式、天线安装、测试距离、测试场地等多种因素对天线参数测试的影响。对天线测试过程中产生误差原因的分析,可让我们有针对性地完善天线测试条件,从而对天线性能参数能准确地掌握和了解。

## 参考文献

- [1] 约翰·克劳斯. 天线 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [2] 毛乃宏, 魏新德. 天线测量手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1987.
- [3] 阮馨远. 天线测量技术 [M]. 南京: 电子工业部第十四研究所, 1997.
- [4] 董树义. 微波测量技术 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1991.

## (上接第 114 页)

-2 V 电源, 有用于存储器和 FPGA 的 +3.3 V 电源, 还有用于 FPGA 内核的 +1.5 V 电源, 是一个复杂的多电源系统, 设计中应该采用分割电源面的方法。分割电源面的基本原则是紧邻电源层的信号线不能跨越电源之间的间隙布线, 而所有跨越该间隙的信号线都必须位于紧邻大面积地的电路层上。在有些情况下, 将模拟电源用 PCB 连接线连接而不是用一个面来设计, 可以避免电源面的分割问题。

## 3 结束语

DRFM 混合信号电路 PCB 板的设计是一个复杂的过程, 设计过程中要有合理的元器件布局, 并将 PCB 分为独立的模拟和数字部分, 注意

模拟和数字电源的分割及在电路板的模拟和数字部分下敷设统一地。这样可以有效的减小由电源和地引起的干扰。分析信号返回地电流实际流过的路径和方式, 采用正确的布线规则, 减小信号电流回流路径。当然, 要设计稳定可靠的高性能 PCB 板, 除了注意上述规则外, 还有 PCB 板的层叠、特性阻抗的匹配、信号端接、滤波电容的放置等方面的问题, 这里不再详述了。

## 参考文献

- [1] 戴晨斌. 正交 8 比特幅度量化数字射频存储器设计 [J]. 舰船电子对抗, 1996(4): 14~18.
- [2] Johnson H W. High-speed Digital Design [M]. Prentice Hall, 1993.

## 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](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>