

# 近场聚焦法测相控阵天线方向图

王朝墀，王春阳，张敬伟

(空军工程大学 导弹学院制导雷达工程系，陕西 三原 713800)

**摘要：**阐述了用聚焦法在菲涅尔区测试相控阵天线的理论依据及实现方法,用实验结果对近远场方向图进行了比较。考虑到实际应用,对距离标定误差和频率漂移引起的测试误差进行了实验研究。结果表明在菲涅尔区用聚焦法监测相控阵天线性能是一种行之有效的方法。

**关键词：**菲涅尔区；聚焦法；相控阵天线；方向图测试

**分类号：**TN821   **文献标识码：**A   **文章编号：**1009-3516(2000)01-0067-03

相控阵天线有众多的有源组件,其辐射特性与电子线路的特性有很大关系<sup>[1]</sup>。因此,必须采取措施来保证相控阵天线可靠工作,首先要有检查和确定故障组件及分系统的能力,然而完好的部件和分系统并不能保证整个系统正确工作。所以,在相控阵天线这个大系统中必须有两种检测方式,即故障部件诊断方式和监测天线性能方式。所谓监测天线性能就是将天线作为一个系统,测出它相对于一个熟悉的标准的性能。

因为天线方向图是天线性能的表征,为了监测相控阵天线性能,可以采用平面近场扫描技术和远场测试等天线方向图测试方法。用平面近场扫描技术测试时,测试距离可减小到几个波长,用单个的源天线和矢量网络分析仪等设备对整个天线口径场进行幅度和相位扫描采样,然后用计算机将测出的口径场变换到远场,求出远场方向图。这种方法结果较精确,但技术要求高,设备精密,测试周期长,较适合于鉴定、维修和校准天线。用普通的远场测试方法,测试距离可能很大。对大型相控阵来说,就需要飞机或气球等才能满足测试距离的要求。因此,每一次测试就是一次大型的综合演练。这种方法用普通的仪器得到的方向图能最好地反映各种环境因素影响的真实情况,但其昂贵的费用和复杂的过程也不大适合于监测天线性能。

为了在野外能对相控阵天线性能进行监测,测试设备及测试过程必须简单、方便。用聚焦法测试相控阵天线方向图测试距离可以缩小到几个天线口径的最大尺寸<sup>[2]</sup>,场地易于满足,且可以用普通的远场测试设备,因此,用这种方法监测天线性能是合适的。

## 1 理论依据及实现方法

要在近场测试出天线的远场方向图,就必须使聚焦于无穷远处的相控阵天线聚焦于菲涅尔区的某个点上,必须在天线的口径辐射场附加相位校正因子<sup>[2]</sup>。我们以线阵天线形成0°波束时的情况为例,来讨论相位校正因子的形成。

线阵天线在0°波束上聚焦于无穷远处时,天线各单元在无穷远处的相位一致。但要聚焦于菲涅尔区的r<sub>0</sub>处,就需要使各单元到r<sub>0</sub>处的相位是一致的。这样,r<sub>0</sub>处的方向图就等效于无穷远处的方向图,这就是聚焦法测天线方向图的原理。如图1所示,X轴上放置一线阵天线,dx为相邻两单元之间的间距,m为

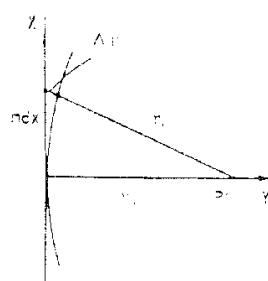


图1 聚焦的几何光学示意图

\* 收稿日期：1999-12-17

作者简介：王朝墀(1938-)，男，教授。

距线阵中心第  $m$  个单元,  $P$  点为源天线的位置, 也就是聚焦距离  $r_0$  处。由于各单元到  $P$  点有一路径差  $\Delta r$  将导致射频信号传播过程中有一相位差

$$\Delta\Phi_m = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta r = \frac{2\pi}{\lambda}(\sqrt{(mdx)^2 + r_0^2} - r_0) \quad (1)$$

式中  $\Delta\Phi_m$  就是  $0^\circ$  波束上第  $m$  个单元需要补偿的相位校正因子。

当天线波束扫描  $\theta$  角时, 第  $m$  个单元的相位差将随扫描角  $\theta$  而变化, 根据其变化规律, 第  $m$  个单元上的相位可用下式表示

$$\Phi_m(r_0, \theta) = A(\theta)mdx + B(r_0, \theta)(mdx)^2 + C(r_0, \theta)(mdx)^3 \quad (2)$$

$A(\theta)$  是线性扫描系数, 天线波束要在  $\theta$  方向聚焦就必须扫描到该方向。 $B(r_0, \theta), C(r_0, \theta)$  为聚焦系数, 随着聚焦距离  $r_0$  和扫描方向  $\theta$  的不同而变化, $C(r_0, \theta)$  的值比较小, 可视移相器精度的不同进行取舍。显然用(2)式即可求出使天线聚焦于不同距离、不同扫描方向时各单元的相位。

从上面分析可以看出, 要测出线阵天线在  $r_0$  距离  $\theta$  方向的聚焦方向图, 要么移动源天线位置, 使源天线距被测天线  $r_0$  处沿圆周移动; 要么固定源天线在  $r_0$  处, 转动被测天线, 这样才能测出  $r_0$  距离、 $\theta$  方向的聚焦波束方向图。

## 2 实验

我们用一个长度为 3.9m 的线阵天线和用垂直天线做成的源天线进行了实验。实验过程中, 近场测出的方向图数据都与远场测出的方向图数据进行了比较。

在  $r_0 = 15.15m$  处对  $\theta$  为  $0^\circ$  和  $5.04^\circ$  波束的和 ( $\Sigma$ )、差 ( $\Delta$ ) 方向图进行测试, 第一副瓣电平 (FSLL)、主瓣宽度 ( $2\theta_{0.5}$ ) 结果如表 1 所示。 $0^\circ$  和  $5.04^\circ$  波束  $\Sigma$  方向图如图 2、图 3 所示。

表 1 远近场方向图比较

扫描角度	条件	参数	$\Sigma$	$\Delta$
$0^\circ$	远场	FSLL	-20.7dB	-17.5dB
		$2\theta_{0.5}$	$0.90^\circ$	$1.33^\circ$
$5.04^\circ$	近场	FSLL	-20.8dB	-16.5dB
		$2\theta_{0.5}$	$0.93^\circ$	$1.30^\circ$
	远场	FSLL	-20.4dB	-18.0dB
		$2\theta_{0.5}$	$0.90^\circ$	$1.61^\circ$
	近场	FSLL	-20.0dB	-17.5dB
		$2\theta_{0.5}$	$0.95^\circ$	$1.61^\circ$

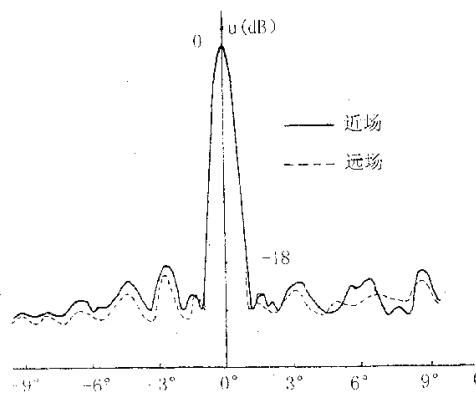


图 2  $0^\circ$  波束  $\Sigma$  方向图近远场比较

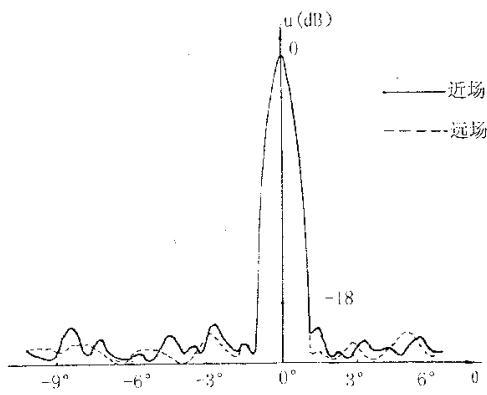


图 3  $5.04^\circ$  波束  $\Sigma$  方向图近远场比较

在实际应用中, 为了简单方便, 不使用高精密的定位设备和高精度的复杂仪器, 被测天线和源天线之间的距离测试可能有一定的偏离, 另外信号源的工作频率也可能有一定的漂移。这些因素对在菲涅尔区测试方向图会造成多大的影响, 我们专门进行了实验。先让天线分别聚焦于 15.10m、15.15m 和 15.20m, 在 15.15m 处进行测试, 结果如表 2 所示。然后在 5650MHz 频率上进行聚焦, 让源天线的信号源分别

表 2 距离变化时近场方向图比较

扫描角度	参数	15.10m	15.15m	15.20m
$0^\circ$	FSLL	-20.2dB	-20.8dB	-20.1dB
	$2\theta_{0.5}$	$0.90^\circ$	$0.93^\circ$	$0.91^\circ$
$5.04^\circ$	FSLL	-20.0dB	-20.0dB	-19.5dB
	$2\theta_{0.5}$	$0.90^\circ$	$0.95^\circ$	$0.93^\circ$

在 5550MHz、5650MHz 和 5750MHz 上工作, 测试结果如表 3 所示。

### 3 结束语

经过反复的近场测试, 方向图的重复性较好, 测试结果是可信的。在用聚焦法进行菲涅尔区近场测试时, 测试距离为  $(15.15/3.9)D \approx 3.9D$  ( $D$  为天线最大口径尺寸), 与远场要求的最近距离  $(2D^2/\lambda) = (2 \times 73.45)D \approx 147D$  相比很小, 而从远近场的方向图测试

结果看, 主瓣和近区副瓣基本一致, 近区副瓣差别在 1dB 左右。因此, 用远场的测试结果作为标准, 用在菲涅尔区的测试结果与标准进行比较, 当误差在一定范围内时, 就认为天线是正常的, 否则认为天线故障, 用这种方法来实现天线性能的监测。从测试距离有  $\pm 5\text{cm}$  的偏差和频率上有  $\pm 100\text{MHz}$  的偏移的测试结果看, 在没有高精密的定位设备和高精度的复杂仪器情况下可以完成对相控阵天线方向图的监测任务。

因此, 用聚焦法在近场测试相控阵天线方向图, 具有不需要严格的大型场地、高精密的仪器和很高的操作技术要求等优点, 是野外条件下监测相控阵天线性能的有效方法。

表 3 频率偏移对方向图测试的影响

扫描角度	条件	参 数	5550MHz	5650MHz	5750MHz
0°	远场	FSLL	-19.3dB	-20.7dB	-19.7dB
	近场	$2\theta_{0.5}$	1.00°	0.90°	0.85°
5.04°	远场	FSLL	-19.1dB	-20.8dB	-19.3dB
	近场	$2\theta_{0.5}$	1.05°	0.93°	0.85°
	远场	FSLL	-19.3dB	-20.4dB	-18.5dB
	近场	$2\theta_{0.5}$	1.02°	0.90°	0.87°
	远场	FSLL	-18.5dB	-20.0dB	-17.5dB
	近场	$2\theta_{0.5}$	1.05°	0.95°	0.90°

### 参考文献

- [1] Eilhelm Sander. Monitoring and Calibration of Active phased Array. IEEE International Radar Conference, 1985.
- [2] WANG Chao-Chi, WANG Chun-yang, ZHANG Jing-wei, et al. Focusing Technology of Phased Array Antenna. Istw/1997 2nd International Symposium on Test and Measurement, 1997.

## Pattern Measurement of Phased Array Antenna by Focusing Method in Near Field

WANG Chao-chi, WANG Chun-yang, ZHANG Jing-wei

(Dept. of Guided Radar Engineering of the Missile Institute, AFEU., Sanyuan 713800, China.)

**Abstract:** Antenna pattern is the best reflecting of antenna's performance. There are many methods to measure the pattern of phased array antenna, such as the technique of plane scanning in near field, focusing method in Fresnel zone, general method in far field, etc. In this paper, the principle base and the realization method of the phased array antenna pattern's measurement with focusing method in Fresnel zone are discussed. The patterns of near field and far field are compared through experiment. Considering the fact, an experiment is made on the testing error caused by distance error and frequency drift. The results indicate that this method to monitor the phased array antenna's performance in Fresnel zone is an effective method.

**Key words:** Fresnel zone; Focusing method; Phased array antenna; Pattern measurement

## 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>