

# 采用近场聚焦法测量雷达天线方向图的工程实践

黎海林

(北京跟踪与通信技术研究所, 北京 100094)

**摘要:**本文介绍了天线近场测量的系列方法,重点对近场聚焦法测量天线方向图的原理和方法进行了分析,结合工程实际,对两种不同测试距离下的天线方向图进行了比较。

**关键词:**近场测量; 远场区; 近场聚焦; 天线方向图

## 1 前 言

随着基于无线电脉冲雷达的空间目标探测活动不断深入,雷达的反射式作用距离越来越远,天线口径也越来越大,天线方向图等性能指标测试所要求的远场条件很难满足,在工程实践中,如何利用外场现有条件来测试雷达天线较真实的方向图等性能指标是一个难题。这里根据文献[1]给出的测量方法,结合某雷达的工程实际,对天线的方向图进行了近场聚焦测试,并与另外选择的场地测试的方向图进行了比对。

## 2 天线近场测量法简介

在紧邻天线的空间里,除了辐射场外,还有一个非辐射场,该场与距离的高次幂成反比,随着离开天线距离的增加迅速减小。在这一区域,由于电抗场占优势,所以把此区域称为电抗近场区,它的分布范围大约为一个波长。越过电抗近场区就到了辐射场区,按照离开天线距离的远近可把辐射场区分为辐射近场区和辐射远场区。在辐射近场区,场的角分布与距离有关,天线各单元对观察点的辐射场相对相位和幅度是离开天线的距离的函数。在辐射远场区,场的角分布与距离无关。从严格意义上讲,只有离开天线无穷远处才是天线的远场区。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,将该点至无穷远的区域称为天线的远场区。目前公认的辐射近远场的分界距离为  $R=2D^2/\lambda$ ,其中  $D$  为天线直径,  $\lambda$  为雷达的波长。

天线近场测量是指在小于最小远场距离内,获得天线远场特性的测量。近场测量技术主要有:场源分布法,近场扫描法,缩距法,近场聚焦法和外推法等。各种方法适用的大致范围如图 1 所示;

场源分布法是在紧邻天线的电抗区,用小探头测出天线的电流分布或口径分布场,然后根据标量或矢量绕射积分求出辐射场。该法由于探头不够理想,计算公式近似较多,测试结果不够满意。近场扫描法在距天线 3~10 个波长的距离上,测出天线场的幅度和相位

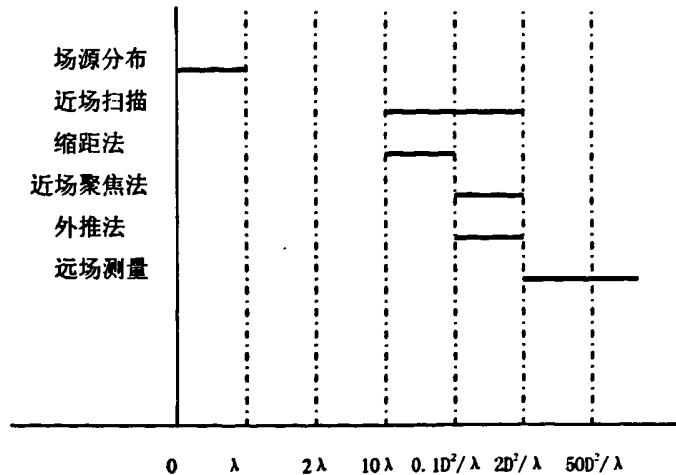


图 1 各种天线测量方法适用范围

分布，应用较严格的模式展开理论求出辐射场。该法要求的近场扫描测量设备复杂，一般适用于大型相控阵等天线的测试。缩距法用聚焦器件产生一个均匀照射待测天线的平面波，在缩短的距离上获得天线远场特性的直接测量。该法要求有微波暗室，不太适合工程上外场测试。近场聚焦法适用于焦距可变的天线方向图和增益等的测量，该方法由于不需要复杂的测量设备，简便易行，至今仍然在应用。外推法将三个任意的天线两两分组，构成三对收发系统，对每一对天线的两种不同的相互取向，在一个距离范围内测量出接收信号幅度相位随间距的变化关系，将测得的数据与天线间功率耦合方程的渐近级数表达式相拟合，可以外推出间距趋于无穷时的情况，从而可以确定出其中任何一个天线的远场特性。该法测试设备复杂，只适用小天线。这里主要对近场聚焦法进行分析。

### 3 近场聚焦法的测量原理

雷达采用的是双反射面卡塞格伦式天线，近场聚焦法对应的射线光学几何关系，如图2所示。

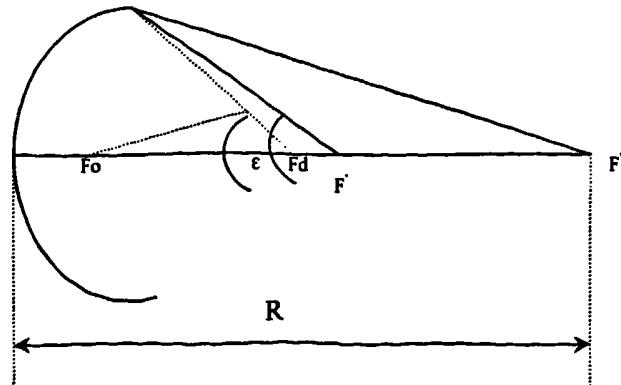


图 2 近场聚焦法原理示意图

天线的馈源位于副反射面的一个焦点  $F_0$ ，主反射面的焦点为  $F_d$ ，此时天线聚焦在无限远处。当天线副反射面位移  $\epsilon$  距离后，通过主反射面的微波射线在焦点  $F''$  处聚焦，此时，副反射面的一个焦点位于  $F_0$  处，另一个则在  $F'$  处。采用射线追踪法确定天线副面移动的距离为：

$$\epsilon = \frac{1}{R} [f^2 + \left(\frac{D}{4}\right)^2] / \left(1 + \frac{1}{M^2}\right)$$

其中：  $f$  为天线主反射面的焦距；

$D$  为天线主反射面的直径；

$M$  为天线副反射面的放大率；

$R$  为近场测试距离；

$\epsilon$  为天线副反射面移动的距离。

将有关参数代入：  $D=14m$ ,  $f=0.35D$ ,  $M=4.2684$ ,  $\lambda=0.033$ ，则可以得到测试距离与副反射面位移之间的关系如下：

距离 $R$ (m)	2800	6000	9470	12000	$\infty$
位移 $\epsilon$ (mm)	12.1	5.6	3.6	2.8	0

按照前面最小远场距离的公式计算， $R=11.8km$ 。工程实际中，现有外场标校塔与天线的距离为 2.8km，将天线副反射面按照表中计算的数值进行移动，以实现近场聚焦，待天线方向图等性能指标测量完后，再将副反射面恢复到原来的设计位置。以下给出了近场非聚焦时天线的方位和以及俯仰和方向图，并给出了近场聚焦时天线的方位和、俯仰和、方位差和俯仰差方向图。从图上可以看出，在不聚焦时，天线方向图波瓣失真较严重，无法获得天线的实际性能指标。在近场聚焦状态下，天线方向图比较对称，可以获得天线的实际性能指标。

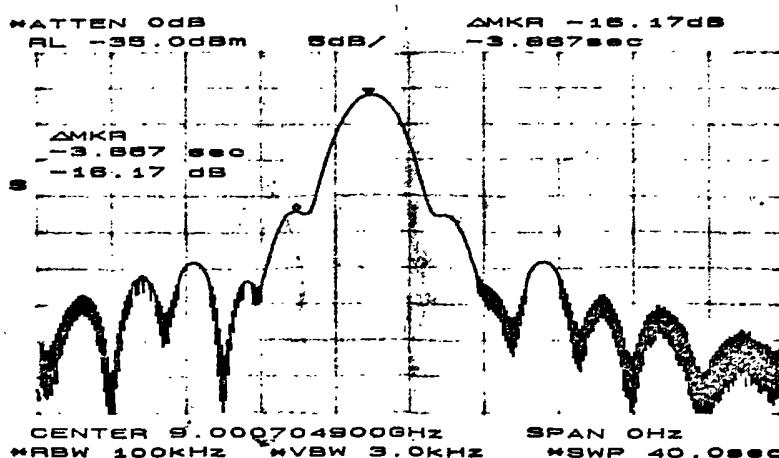


图 3 垂直极化时近场非聚焦方位面和方向图

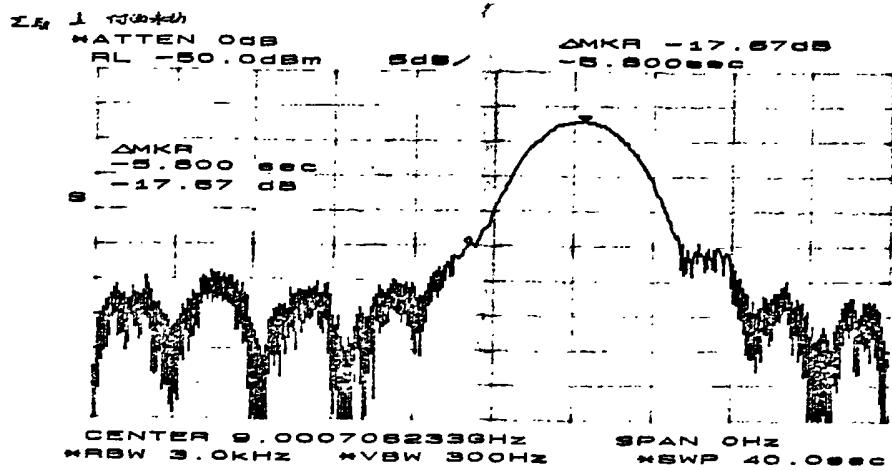


图4 垂直极化时近场非聚焦仰面和方向图

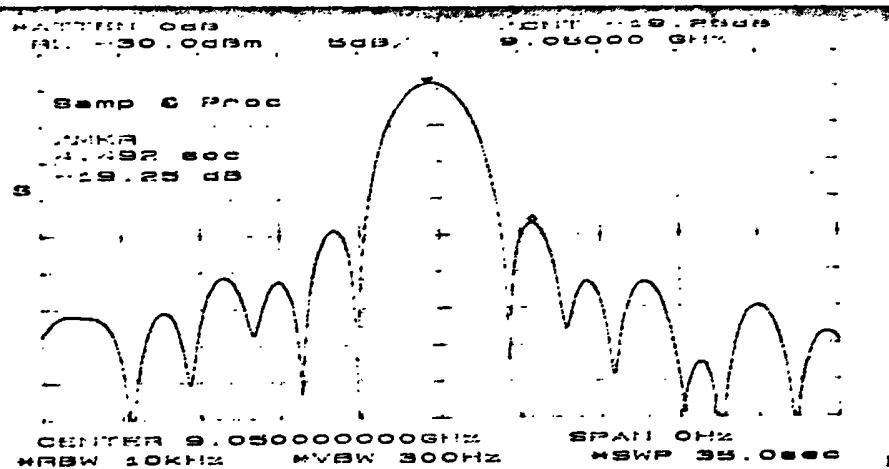


图5 垂直极化时近场聚焦方位面和方向图

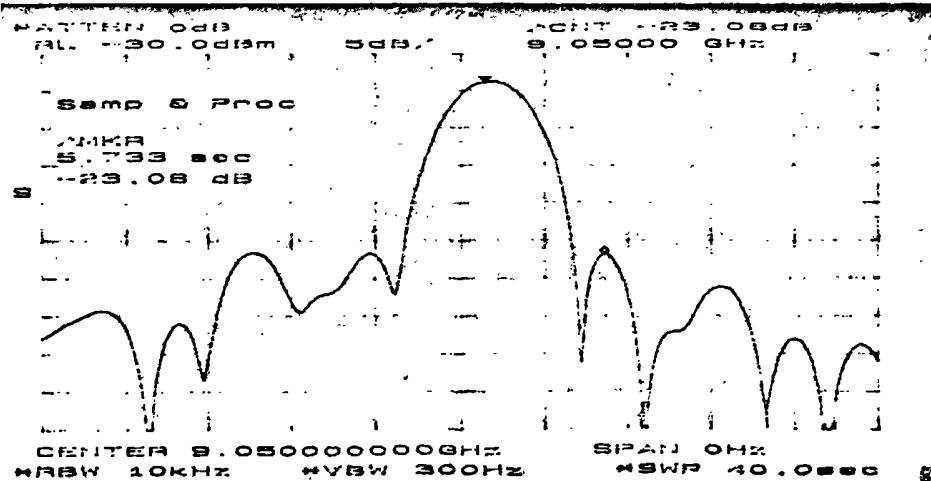


图6 垂直极化时近场聚焦仰面和方向图

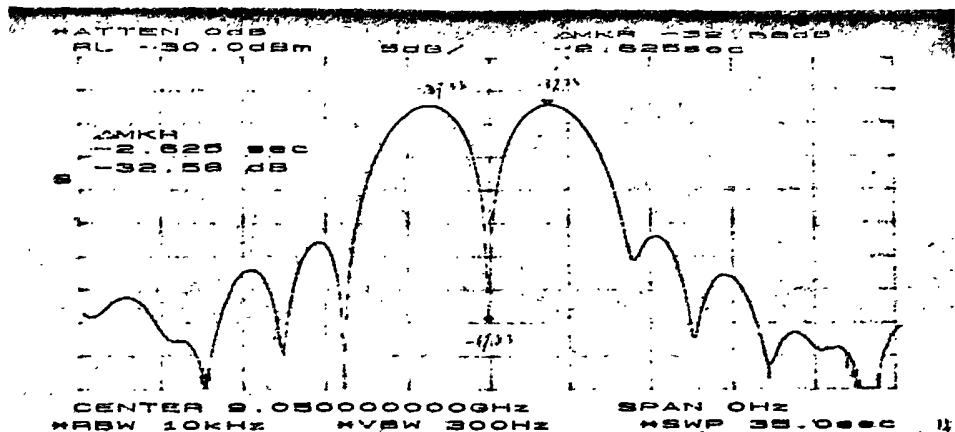


图 7 水平极化时近场聚焦方位面差方向图

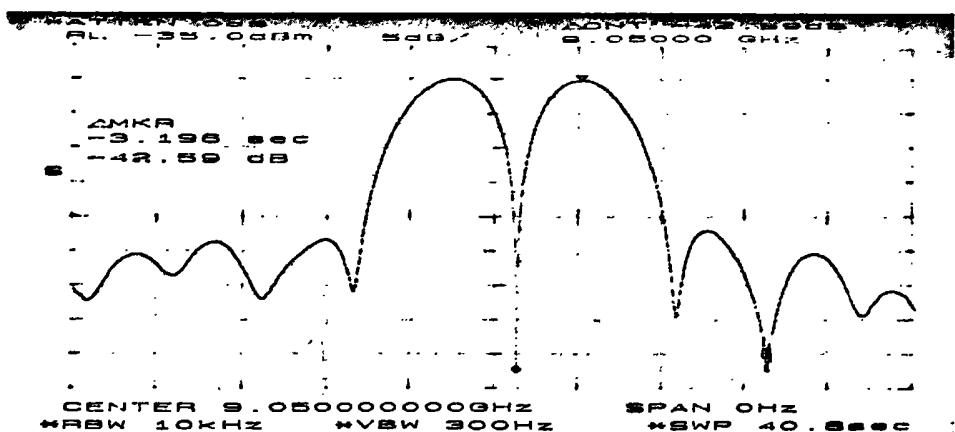


图 8 垂直极化时近场聚焦仰面差方向图

#### 4 有效性验证

为了验证近场聚焦法测量结果的有效性,可以选取另外一个测试距离,通过前面的位移计算公式算出副反射面移动的距离,然后测量天线的方向图等性能指标,其结果应该具有一致性。具体的一致性判别标准为:天线和波瓣的第一副瓣电平变化在1dB以内,差波瓣峰值变化在0.5dB以内,差斜率的变化在5%以内。实际工程中选取了距离天线为9.47km的一个点进行验证,该距离接近最小远场距离。以下给出了距离天线9.47km聚焦时天线的方位和、俯仰和、方位差和俯仰差方向图。从图上可以看出,与2.8km近场聚焦的测试结果比较吻合。事后统计表明,天线和波瓣的第一副瓣电平、差波瓣峰值变化、差斜率的变化均在一致性要求的误差范围以内。

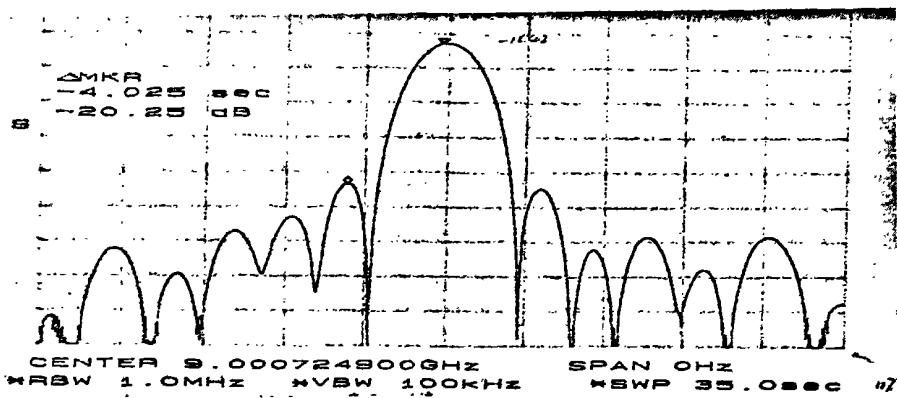


图9 垂直极化时距离天线9.47km聚焦方位面和方向图

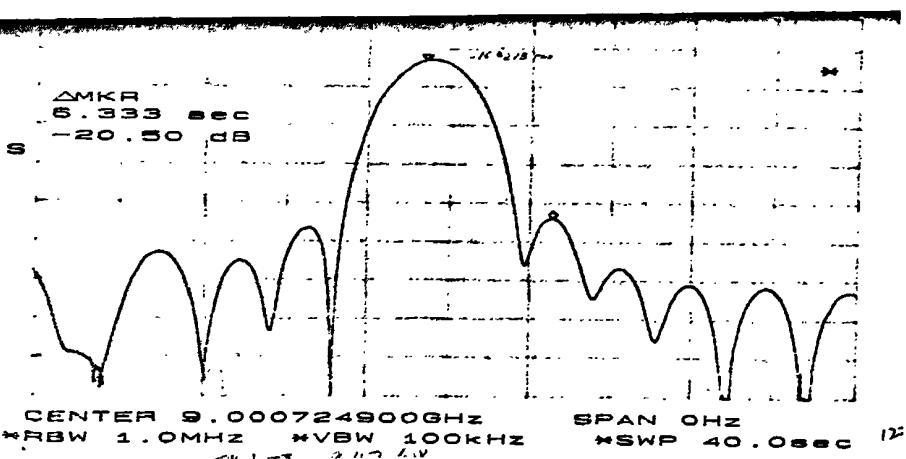


图10 垂直极化时距离天线9.47km聚焦俯仰面和方向图

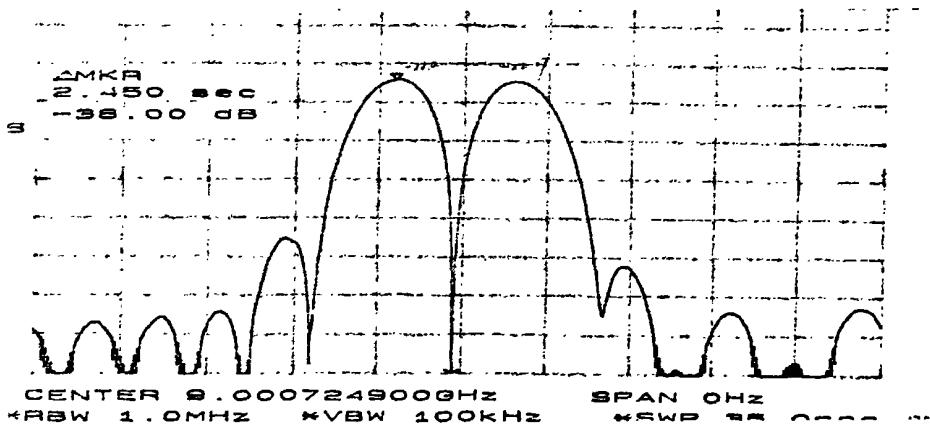


图11 水平极化时距离天线9.47km聚焦方位面差方向图

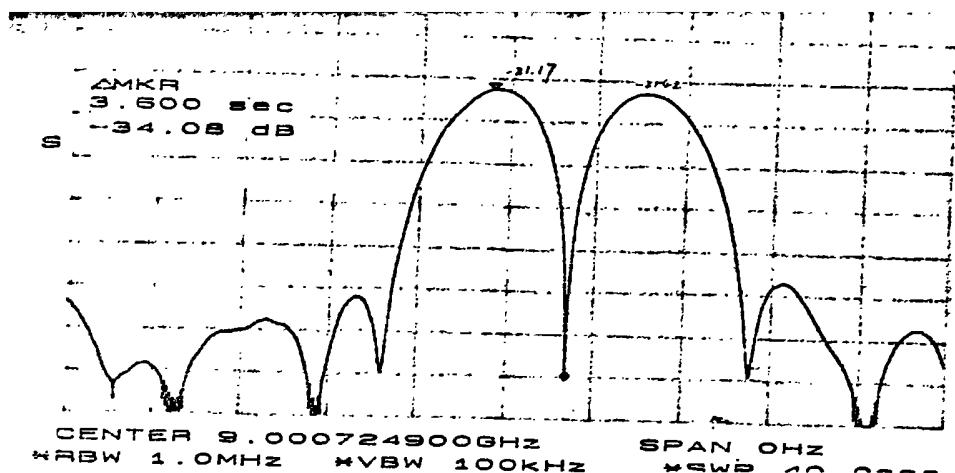


图 12 垂直极化时距离天线 9.47km 聚焦仰面差方向图

## 5 结 论

实践表明, 近场聚焦法适用于大型抛物面天线的方向图等性能指标测试, 这对于未来雷达大型天线的性能测试具有一定的借鉴意义。

### 参 考 文 献

- [1] IEEE Std. 149-1979, Test Procedures for Antennas, 1979
- [2] Antenna Measurement Techniques, Gary E.Evans, Artech House, Inc,1990
- [3] 毛乃宏等. 天线测量手册. 国防工业出版社, 1987
- [4] 康行健. 天线原理与设计. 北京理工大学出版社, 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>