

文章编号:1001-0645(2004)06-0541-05

反射面变形对天线辐射特性的影响

刘彦¹, 张庆明¹, 黄风雷¹, 徐晓文², 董涛²

(1. 北京理工大学 爆炸灾害预防、控制国家重点实验室, 北京 100081;

2. 北京理工大学 信息科学技术学院电子工程系, 北京 100081)

摘要: 研究在冲击波作用下, 赋形双弯曲反射面变形对天线辐射特性的影响. 利用物理光学法对双弯曲反射面雷达天线的辐射方向性进行了建模和分析, 将反射面完好时的计算结果与测试结果进行比较, 其结果较为一致. 在此基础上, 重点研究了天线反射面变形后天线辐射特性随变形量、变形位置和变形面积的变化. 计算结果表明, 反射面的变形对水平面方向图影响较大, 对垂直面方向图的影响很小.

关键词: 赋形反射面变形; 物理光学法; 辐射方向图

中图分类号: TN 95 文献标识码: A

Influence of Distortion of a Shaped Beam Reflector on the Radiation Characteristics of an Antenna

LIU Yan¹, ZHANG Qing-ming¹, HUANG Feng-lei¹, XU Xiao-wen², DONG Tao²

(1. State Key Laboratory of Prevention and Control of Explosion Disasters, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 2. Department of Electronic Engineering, School of Information Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The influence of distortion of a shaped beam reflector on the radiation characteristics of an antenna under shock wave is studied. The far field of a shaped reflector antenna is modeled and analyzed based on the physical optics (PO) method. Results of measurement and calculation are compared when the shaped reflector is not distorted, and good agreement is obtained. The radiation characteristics of the antenna are studied when the shaped beam reflector are distorted by shock waves, including the value the location and the area of distortion. The results show that the distortion affects chiefly on the horizontal radiation patterns, and less on the vertical ones.

Key words: distortion of shaped beam reflector; physical optics method; radiation patterns

雷达是现代战争的信息源, 是C³I系统的核心部分, 但也是各种反辐射武器首要的、重点的攻击目标. 天线是雷达系统的重要组成部分, 是整个雷达系统与外部空间互相联系的出入口, 是能量转换器. 天线通常裸露在外, 很容易受到冲击波、破片等损伤元的作用^[1]. 天线受到攻击后, 其性能变化是战争双方都十分关心的, 在这方面的研究国内外很少报道, 而且对反射面损伤的精确建模国内外也很少研究. 作

为运用物理光学法对完好反射面和变形反射面分别进行建模, 作者重点研究了在冲击波作用下, 赋形双弯曲反射面变形对天线辐射特性的影响.

1 模型的建立

研究的赋形波束双弯曲反射面天线, 其辐射方向在水平面为窄波束, 以确定目标的位置, 在俯仰面为余割平方赋形波束, 以使雷达的威力覆盖一定的

高度、仰角和最大作用距离。

在冲击波作用下,对于大尺寸反射面,通常发生局部变形,如图 1 中的阴影部分。所以在建模时将反射面分为形变和未形变两个部分,分别计算各自的辐射场,然后将其进行矢量叠加,最后得到包括形变的辐射总场。

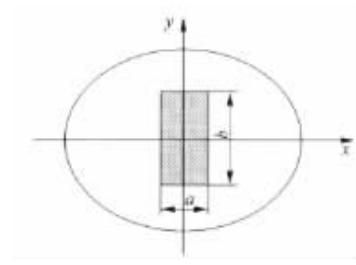


图 1 反射面轮廓及变形图

Fig. 1 Profile of the reflector antenna and the region of distortion

采用基于面电流近似的物理光学法进行分析计算^[2~7]。而馈源采用 TE₁₁模和 TM₁₁模叠加激励的双模圆形喇叭,垂直极化时的馈源的辐射场表达式为

$$E_i = E_e \sin \varphi \theta + E_h \cos \varphi \phi, \quad (1)$$

式中 $E_e = E_{0j} \frac{kR^2 e^{-jkr_1}}{4} \frac{J_1(\mu_{11})}{\mu_{11}} \frac{2J_1(u)}{u} \left[\left(1 + \frac{\beta'_{11}}{k} \cos \theta \right) - \alpha \frac{u^2}{v_{11}^2 - u^2} \left(1 + \frac{k}{\beta_{11}} \cos \theta \right) \right]$, (2)

$$E_h = E_{0j} \frac{kR^2 e^{-jkr_1}}{4} \frac{J_1(\mu_{11})}{\mu_{11}} \frac{2J_1(u)}{u} \left(\cos \theta + \frac{\beta'_{11}}{k} \right), \quad (3)$$

式中 r_1 为场点到喇叭口面相位中心的距离; θ 为场点的偏轴角; β_{11}, β'_{11} 分别为 TE₁₁ 模和 TM₁₁ 模的传播常数; R 为喇叭口半径; $u = kR \sin \theta$; $k = 2\pi/\lambda$, λ 为波长; α 为 TE₁₁ 模和 TM₁₁ 模的模比复常数。

根据物理光学法可得反射面的辐射场为

$$E_S(\mathbf{r}) = B \int_S \frac{E_i}{r} [\mathbf{n} \times (\mathbf{e}_r \times \mathbf{e}_i)] e^{-jkr(1-e_r e_{r'})} dS, \quad (4)$$

式中 系数 $B = -\frac{j\omega\mu}{2\pi} \left(\left(\frac{\epsilon}{\mu} \right) \frac{P}{2\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{e^{jkr'}}{r'}$; P 为馈源的辐射功率; E_i 为馈源的辐射电场强度; r 为反射面焦距(坐标原点)到反射面上一点的矢量; r 为 r 的模值; \mathbf{e}_r 为 r 的单位矢量; r' 为坐标原点到观察点的矢量; r' 为 r' 的模值; $\mathbf{e}_{r'}$ 为 r' 的单位矢量; \mathbf{n} 为反射面上的单位法矢量; \mathbf{e}_i 为馈源照射极化单位矢量; S 为反射面的表面积。

2 计算结果及讨论

2.1 反射面完好时的计算结果与实测结果的比较

根据上述计算方法, 编制了相应的计算程序^[8~9], 对赋形双曲面反射体和低交叉极化的双模喇叭馈源组成的雷达天线进行了数值模拟仿真。

图 2, 图 3 分别为天线完好时水平面和垂直面方向图的计算和测试曲线, 可以看出水平面和垂直面的测试曲线和计算曲线都吻合较好。由于测试仪器精度的限制, 副瓣电平不能测的很低, 如图 2, 图 3 中的交叉极化曲线。影响副瓣的计算和测试有偏差的主要因素有: ①计算时没有考虑馈源的球面误差、馈源和支架的遮挡、边缘的散射效应; ②测试时环境的干扰、测量设备的误差与精度。因此可认为物理光学法对研究此天线是可行的, 这为研究反射面变形后天线的辐射特性打下了良好的基础。

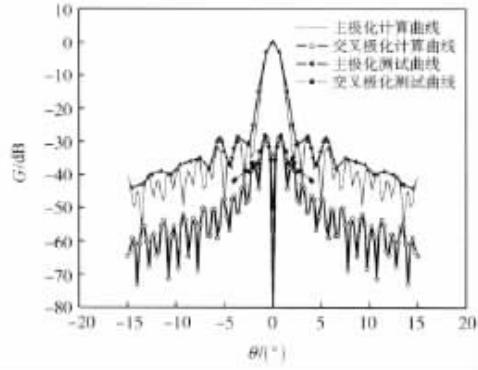


图 2 水平面计算曲线和测试曲线

Fig. 2 Calculated and measured patterns in the horizontal plane

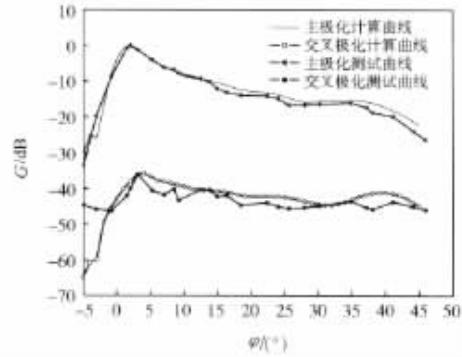


图 3 垂直面计算曲线和测试曲线

Fig. 3 Calculated and measured patterns in the vertical plane

2.2 变形量对天线辐射特性的影响

设在冲击波作用下, 反射面的变形如图 1 中的阴影部分, 其变形规律可用数学模型 $z = f(x, y)$ 近似表示。通过建模分别计算未形变和形变部分的辐

射场,然后矢量叠加即可得到反射面发生部分形变后的总辐射场。

设变形中心在 xOy 坐标原点上, a 为 0.2 m, b 为 1.0 m. 分别对最大变形量为 0.16λ , 0.24λ , 0.32λ , 0.40λ 和 0.48λ 的反射面变形情况进行了计算,计算结果如图 4~图 6 所示。

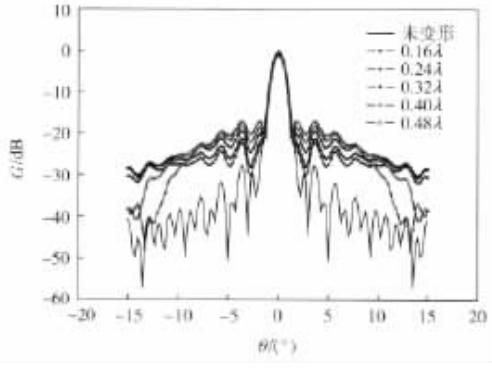


图 4 水平面主极化方向图随变形量的变化

Fig. 4 Principal polarization curves in the horizontal plane with the value of distortion

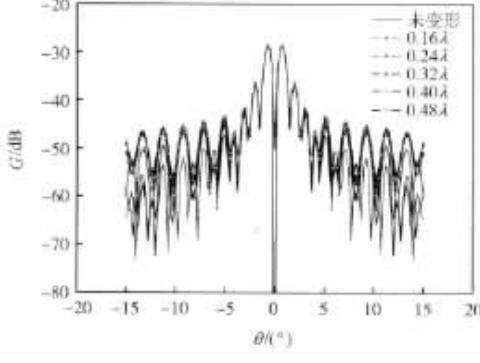


图 5 水平面交叉极化方向图随变形量的变化

Fig. 5 Cross polarization patterns in the horizontal plane with the value of distortion

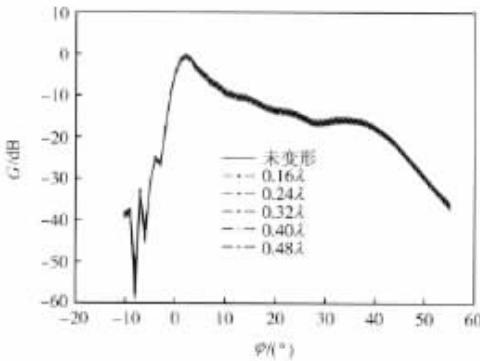


图 6 垂直面主极化方向图随变形量的变化

Fig. 6 Principal polarization patterns in the vertical plane with the value of distortion

由图 4~图 6 可得出:①反射面变形对水平面方向图的影响较大,水平面主极化副瓣电平和交叉极化电平都有很大升高;②反射面变形对垂直面主极化方向图的影响很小;③反射面变形对雷达的抗干扰性能影响很大,变形量越大,抗干扰性能越差。

水平面主极化的相对增益 G 和最高副瓣电平随变形量的变化如表 1 所示. 由表 1 可知,随变形量的增大,相对增益逐渐下降,最高副瓣电平逐渐升高.

表 1 水平面主极化的相对增益和最高副瓣电平

Tab. 1 Relative gain and minor lobe level of principal polarization in the horizontal plane

最大变形量/ λ	相对增益/dB	最高副瓣电平/dB
0	0	-27.85
0.16	-0.37	-22.28
0.24	-0.47	-21.84
0.32	-0.68	-19.49
0.40	-0.89	-18.14
0.48	-1.12	-14.12

2.3 变形位置对天线辐射特性的影响

当反射面的变形区域(a 为 0.2 m, b 为 1.0 m, 最大变形量为 0.24λ)的中心从 xOy 坐标原点沿 x 正向依次移动 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 和 0.9 m 时, 水平面方向图和垂直面方向图如图 7、图 8 所示. 由于垂直面的方向性随变形位置变化较小, 故没有给出垂直面的方向图(随变形面积变化也是如此).

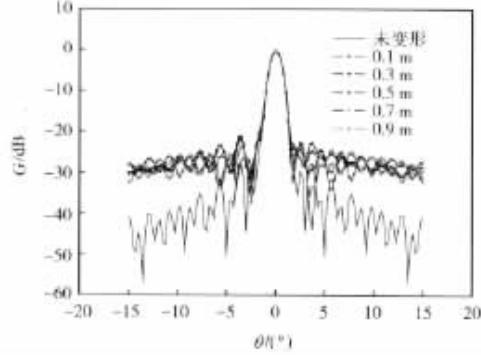


图 7 水平面主极化方向图随变形位置的变化

Fig. 7 Principal polarization patterns in the horizontal plane with the location of distortion

由图 7、图 8 可得出:随着变形区域天线中心向边缘移动,水平面主极化的最高副瓣电平和水平交叉极化副瓣电平的升高趋势越来越小,说明在相同的变形条件下,变形区域离反射面中心越近,雷达的抗干扰性能越差,这是因为越靠近天线中心部位,辐射场强度越强. 随变形位置向边缘移动,水平面方向

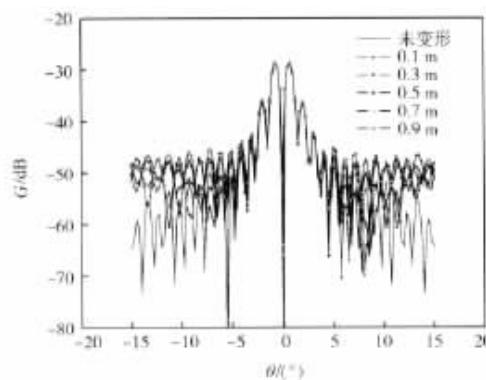


图 8 水平面交叉极化方向图随变形位置的变化

Fig. 8 Cross polarization patterns in the horizontal plane with the location of distortion

图的对称性越来越差. 变形位置变化对垂直面主极化方向图的影响很小.

2.4 变形面积对天线辐射特性的影响

以 xOy 坐标原点为变形中心, 保持变形区域的 $b=1.0$ m 和最大变形量 0.24λ 不变, 依次改变 x 方向的变形宽度 a , a 分别取 $0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ 和 0.8 m. 计算结果如图 9、图 10 所示. 水平面主极化的最高副瓣电平和相对增益变化如表 2 所示.

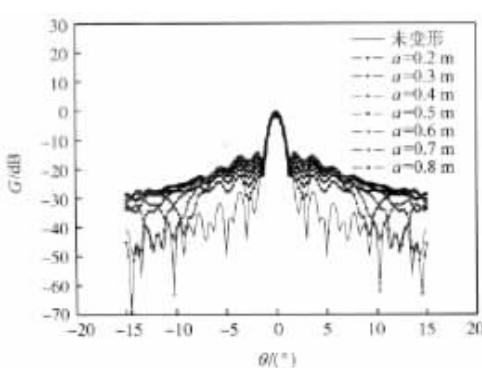


图 9 水平面主极化方向图随变形面积的变化

Fig. 9 Principal polarization patterns in the horizontal plane with the area of distortion

表 2 水平面主极化的相对增益和最高副瓣电平

Tab. 2 Relative gain and minor lobe level of principal polarization in the horizontal plane

变形面积/m ²	相对增益/dB	最高副瓣电平/dB
0	0	-27.85
0.2	-0.39	-22.28
0.3	-0.57	-20.30
0.4	-0.79	-18.77
0.5	-1.01	-17.60
0.6	-1.23	-16.72
0.7	-1.47	-16.02
0.8	-1.71	-14.49

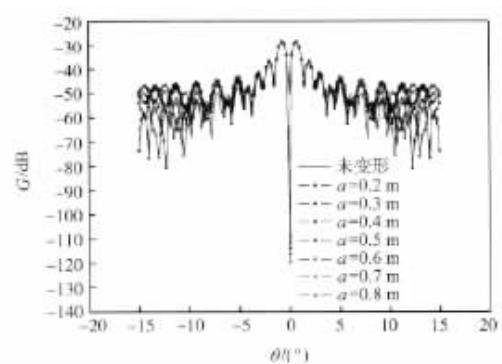


图 10 水平交叉极化方向图随变形面积的变化

Fig. 10 Cross polarization patterns in the horizontal plane with the area of distortion

由图 9、图 10 可得出: 随着变形面积的扩大, 水平面主极化的副瓣和水平面交叉极化电平都越来越高, 雷达抗干扰性能越来越差; 变形面积变化对垂直面主极化方向图的影响很小. 由表 2 可以看出, 随着变形面积的扩大, 相对增益逐渐下降, 最高副瓣电平逐渐升高.

3 结 论

根据冲击波对反射面天线的作用模式, 利用基于面电流近似的物理光学法对完好反射面和变形反射面进行了建模, 反射面完好时的计算结果与实验测试结果吻合较好, 说明所采用的物理光学法是可行的, 所建的模型是正确的. 通过计算可知, 反射面的变形对水平面方向图影响较大, 对垂直面方向图的影响很小. 随着变形量和变形面积的增大, 雷达的抗干扰性能越来越差, 变形位置越接近天线中心, 雷达的抗干扰性能越来越差. 这些研究结果对评价雷达的生存能力及评价反辐射武器的作战效能提供了重要的、有价值的资料.

参考文献:

- [1] 刘彦. 雷达目标易损性及毁伤效应研究[D]. 北京: 北京理工大学机电工程学院, 2003.
Liu Yan. The study of vulnerability and damage effect of radar[D]. Beijing: School of Mechatronics Engineering, Beijing Institute of Technology, 2003. (in Chinese)
- [2] Marder L. Doubly-curved narrow-beam reflectors[J]. Appl Phys, 1978, 11: 2489-2497.

(下转第 558 面)

萜类化合物, NaHCO_3 萃取液中所含的三萜类化合物为总三萜组分。因此, 本实验采用测定单一化合物的含量方法以代替供试品中总三萜的质量分数。

三萜类化合物是灵芝中重要的生物活性组分之一, 作者在本文中建立的快速测定灵芝样品中三萜类化合物含量的方法, 具有简化检测工艺、准确度较高、实验误差较小和重复性好的优点, 可以应用于灵芝及其相关产品的质量评估。

参考文献:

- [1] Zhu Hesun, Yang Xinlin, Wang Libo, et al. Effects of extracts from sporoderm-broken spores of *Ganoderma lucidum* on HeLa cells [J]. *Cell Biology and Toxicology*, 2000, 16: 201—206.
- [2] Lin C N, Tome W P, Won S J. Novel cytotoxic principles of formosan *Ganoderma lucidum* [J]. *J Nat Prod*, 1991, 54(4): 998—1002.
- [3] Koyama K, Imaizui T, Akiba M, et al. Antinociceptive components of *Ganoderma lucidum* [J]. *Planta Med*, 1997, 63(3): 224—227.
- [4] El-Mekkawy S, Meselhy M R, Nakamura N, et al. Anti-HIV-1 and anti-HIV-1 protease substances from *Ganoderma lucidum* [J]. *Phytochem*, 1998, 49(6): 1651—1657.
- [5] 王明宇, 刘强, 车庆明等. 灵芝三萜类化合物对 3 种小鼠肝损伤模型的影响 [J]. *药学学报*, 2000, 35(5): 326—329.

(上接第 544 面)

- [3] Carberry T F. Analysis theory for the shaped-beam doubly curved reflector antenna [J]. *IEEE Trans AP*, 1969, 17: 131—138.
- [4] Winter C F. Dual vertical beam properties of doubly curved reflectors [J]. *IEEE Trans AP*, 1971, 19: 174—180.
- [5] Duan D W. A generalized diffraction synthesis technique for high performance reflector antennas [J]. *IEEE Trans AP*, 1995, 43: 27—40.
- [6] 胡明春, 李建新. 赋形波束双弯曲反射面探讨 [J]. *现代雷达*, 1996(6): 64—68.
Hu Mingchun, Li Jianxin. Research on double curved reflector antenna with shape beam [J]. *Modern Radar*, 1996(6): 64—68. (in Chinese)

Wang Mingyu, Liu Qiang, Che Qingming, et al. Effects of triterpenoids from *Ganoderma lucidum* (Leyss. ex Fr.) Karst on three different experimental liver injury models in mice [J]. *Acta Pharm Sin*, 2000, 35(5): 326—329. (in Chinese)

- [6] 王帮武, 杨新林, 张利刚等. 灵芝酸性组分的提取分离及抑菌活性研究 [J]. *北京理工大学学报*, 2002, 22(1): 125—128.
Wang Bangwu, Yang Xinlin, Zhang Ligang, et al. Study on extraction, separation and the antibacterial acidic of components from *Ganoderma lucidum* [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2002, 22(1): 125—128. (in Chinese)
- [7] 黄书铭, 杨新林, 王帮武等. 灵芝醇溶酸性组分的制备工艺与检测方法研究 [J]. *中国中药杂志*, 2003, 28(4): 332—334.
Huang Shuming, Yang Xinlin, Wang Bangwu, et al. Study on preparation and measurement methods of ESAC from *Ganoderma lucidum* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2003, 28(4): 332—334. (in Chinese)
- [8] 中华人民共和国国家药典委员会. 中华人民共和国药典(二部) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
The State Pharmacopoeia Committee of People's Republic of China. *Pharmacopoeia of the People's Republic of China. Part II* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000. (in Chinese)

- [7] 林世明. 赋形波束双弯曲反射器天线理论研究 [J]. *电子学报*, 1981(4): 56—66.
Lin Shiming. Study on doubly shape-beam reflector antenna theory [J]. *ACTA Electronica Sinica*, 1981(4): 56—66. (in Chinese)
- [8] 潘志, 贺祖琪. 数学手册 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1993.
Pan Zhi, He Zuqi. Math manual [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1993. (in Chinese)
- [9] 谭浩强. FORTRAN 语言 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1992.
Tan Haoqiang. FORTRAN language [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1992. (in Chinese)

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)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)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),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>