

准八木天线的一种新型隐身技术

刘 辰

(船舶重工集团公司 723 所,扬州 225001)

摘要:设计了一款工作在 X 波段的准八木天线,针对该天线提出了一种新型的雷达散射截面(RCS)减缩技术,根据天线分别工作在辐射状态和散射状态时金属反射板上电流分布的差异,对金属反射板进行了改进,在全频段内达到最大 10.0 dB 的后向 RCS 减缩,给出了原天线和改进后 2 款天线的增益、电压驻波比和 RCS 的仿真结果,证明了提出的 RCS 减缩技术的有效性。

关键词:准八木天线;电磁散射;雷达散射截面减缩

中图分类号: TN823.17

文献标识码: A

文章编号: CN32-1413(2014)01-0082-05

A New Stealth Technique of Quasi-Yagi

LIU Chen

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

Abstract: This paper designs an X band quasi-Yagi, puts forward a new reducing technique of radar cross section (RCS) aiming at the antenna, according to the difference of current distribution on the metal reflector when the antenna radiates or scatters, modifies the metal reflector, achieves maximum 10.0 dB backward RCS reduction in the whole frequency range, gives the simulation result of gain, voltage standing wave ratio (VSWR) and RCS of original antenna and two improved antennas, proves the validity of proposed RCS reducing technique.

Key words: quasi-Yagi; electromagnetic scattering; radar cross section reduction

0 引 言

作为舰船目标和飞行目标的强散射源之一,由雷达罩、雷达天线和雷达舱构成的雷达天线系统的 RCS 分析和减缩^[1-2]日益受到重视。大量理论和实验研究结果表明,用于相控阵雷达的反射面天线和阵列天线等高增益天线在某些视角范围内会产生高达 10 dBsm 以上的 RCS 贡献,因此降低雷达天线工作频带内的 RCS 必然成为系统隐身设计中一个极其重要的技术。

雷达天线系统通常采用相控阵天线,传统的波导裂缝^[3]相控阵天线的结构项和模式项散射的最大方向相同,2 种散射叠加后会导致后向散射增大,不利于天线的隐身设计。准八木天线^[4-6]体积小、重量轻、剖面低,并且具有平面结构,雷达辐射最大方向和镜面散射最大方向垂直,从而结构项和模式项

散射的最大方向正交,成为低 RCS 相控阵雷达天线单元的首选方案。

虽然准八木天线具有较低的雷达散射截面积,但仍然无法满足大规模相控阵天线低 RCS 的要求,因此需要进一步研究如何降低准八木天线的 RCS。

1 准八木天线设计分析

1.1 结构设计

目前,常用的准八木天线结构如图 1 所示,从功能上可以将其分为馈电和辐射单元 2 个部分。馈电部分包括传输线 p_1 、 p_4 、 p_5 ,阻抗变换器 p_2 ,功分移相器 p_3 ;辐射单元包括半波振子 p_6 ,引向器 p_7 和背部截断地板构成的反射器。

传输线输入的信号经阻抗变换后,功分为等幅同相的 2 路信号分别进入移相器的 2 臂,由于 $\lambda_g/2$

波程差转化为等幅反相的信号,到达半波振子后辐射出去。引向器和反射器用于增强天线的方向性。根据八木天线反射器设计的条件,反射器与振子的距离大于 $\lambda_g/4$ 。

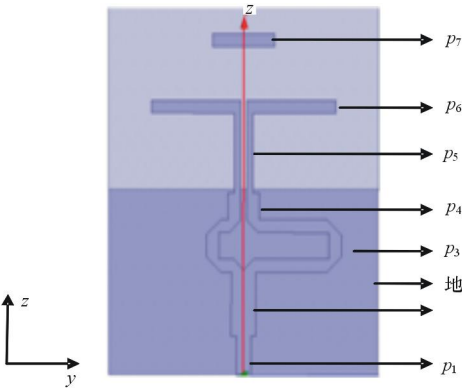


图 1 准八木天线结构示意图

天线基板参数如下:相对介电常数 10.2,厚度 0.635 mm,宽度 13 mm,高度 16.65 mm。根据如下近似公式估算微带线的宽度:

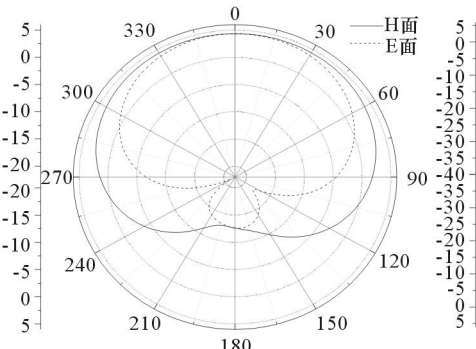
当 $w/h \leq 1$ 时:

$$z_0 = 60 \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right) / \sqrt{\epsilon} \tag{1}$$

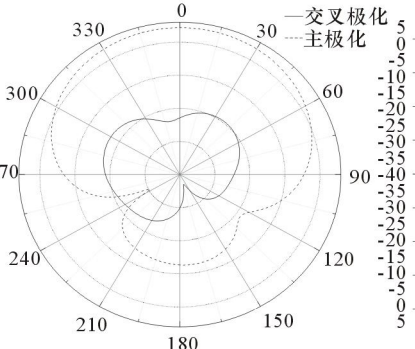
$$\epsilon = \frac{\epsilon + 1}{2} + \frac{\epsilon - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{12h}{w} \right)^{-1} + 0.04 \left(1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right] \tag{2}$$

当 $w/h > 1$ 时:

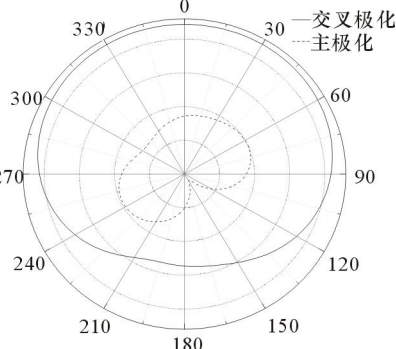
$$z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon} \left[\frac{w}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{w}{h} + 1.444 \right) \right]} \tag{3}$$



(a) E面和H面方向图



(b) E面主极化和交叉极化方向图



(c) H面主极化和交叉极化方向图

图 3 准八木天线仿真方向图(10 GHz)

一个半径为 a 的理想反射大金属球,其球半径远大于波长,球的雷达截面趋近于几何投影面积 πa^2 。在谐振区球的 RCS 随频率产生周期性的起

$$\epsilon = \frac{\epsilon + 1}{2} + \frac{\epsilon - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w} \right)^{-1} \tag{4}$$

由以上公式,通过软件优化得到准八木天线的尺寸参数如表 1 所示。

表 1 准八木天线的尺寸参数

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
宽度(mm)	0.6	1.2	2.4	0.6	0.3	0.6	0.6
长度(mm)	1.75	2.9	6.5	1.2	3.6	4.0	3.0

引向器和辐射单元之间的间距为 3.0 mm。

1.2 辐射和散射特性分析

对设计的准八木天线进行仿真分析,由图 2 可知,在整个 X 波段内,天线的驻波都小于 2,满足工程使用要求。图 3 为 10 GHz 时天线仿真方向图,由于引向器和反射器的作用,准八木天线的方向图表现出一定的定向性,半功率波束宽度为 117.2° ,增益达到 4.33 dB,后瓣增益很小,仅为 -12.6 dB。

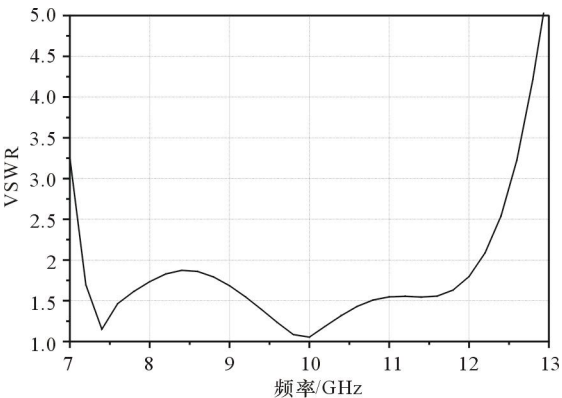


图 2 准八木天线电压驻波比仿真曲线

伏振荡,这是由于爬行波返回到镜面反射的方向与镜面反射波叠加。本文用仿真软件计算了一个半径为 30 mm 的金属圆球,仿真结果如图 4 所示。

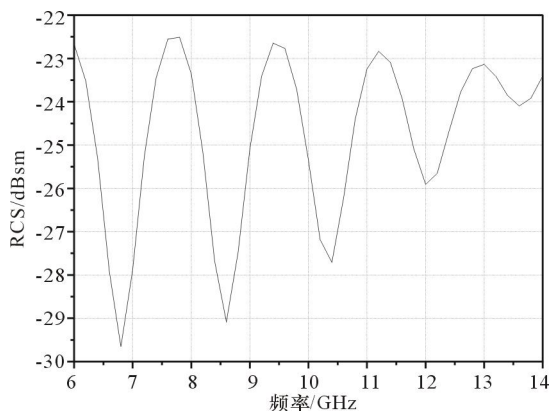


图4 理想金属圆球的后向 RCS 与频率的关系

该金属球的物理截面为 0.00283 m^2 , 换算后为 -25.49 dBsm 。仿真结果表明随着频率的增加, 金

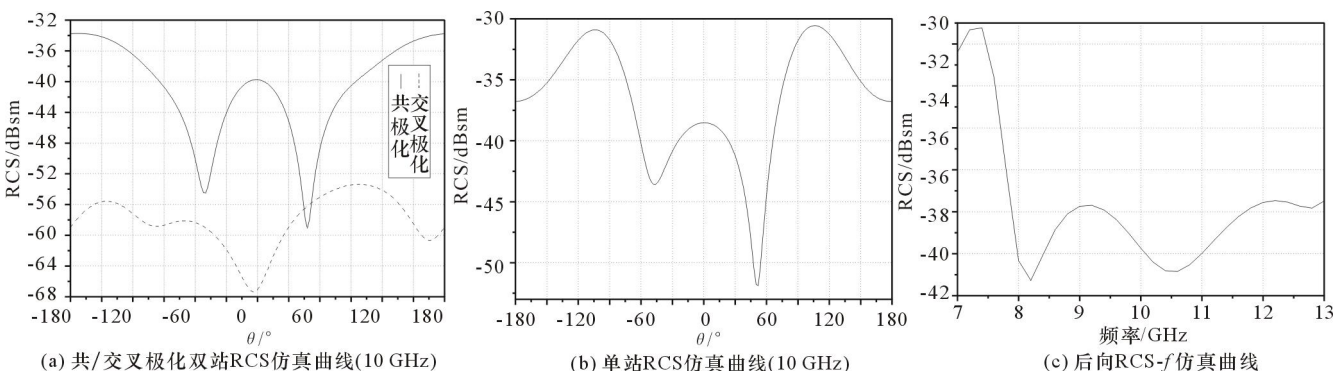


图5 准八木天线的 RCS 仿真曲线

图 5(b) 为天线主极化单站 RCS 曲线, 在 $\theta = -103^\circ$ 和 $\theta = 106^\circ$ 这 2 个方向上出现 2 个峰值, 这是由于这 2 个方向入射波几乎垂直于天线平面, 出现了镜面散射, 结构项散射达到最大。由于模式项和结构项散射的最大方向几乎垂直, 没有出现最大值同相叠加的情况, 所以在整个角度范围内 RCS 相对较小。

图 5(c) 为后向 RCS 随频率变化的曲线。当频率接近天线工作频带下沿时, 天线的模式项散射和结构项散射相对都比较大, RCS 达到最大值。在天线工作频带内, 由于天线馈源阻抗与天线辐射阻抗匹配良好, 后向的模式项散射较小, 故 RCS 的值较低。

2 准八木天线的 RCS 减缩

2.1 天线设计

根据准八木天线的结构可知, 地板对天线的辐射和散射特性都具有重要的影响。对于辐射特性而言, 准八木天线的地板结构要保证微带线能够良好

属球的后向 RCS 逐渐收敛到 -24 dBsm , 与理论值较为接近, 验证了仿真结果的可靠性。

图 5 为准八木天线的 RCS 仿真曲线。图 5(a) 为垂直入射情况下, 信号极化与天线极化分别相同和正交时天线的双站 RCS 曲线。当极化相同时, 前向 RCS 为 -33.7 dBsm , 后向为 -39.7 dBsm , 后向 RCS 比前向低 6 dB。这是由于准八木天线模式项与结构项散射最大方向正交, 且后向散射主要由模式项决定, 当馈源与天线匹配良好时, 后向散射非常小, 利于整个天线的电磁隐身设计。当极化正交时, 天线前后向 RCS 分别下降了 25.2 dB 和 27.4 dB, 所以准八木天线的交叉极化电磁波散射几乎可以忽略不计, 其 RCS 主要由共极化散射决定。

地传输信号, 使信号由馈电端口传送到辐射振子。对于散射特性而言, 则希望尽可能减少金属地板面积, 以减小天线的 RCS, 满足隐身要求。在保证优良的辐射特性前提下, 有目的地减小金属地板面积, 可以实现天线 RCS 的减缩。

图 6(a) 和 (b) 是用仿真软件计算的准八木天线工作在辐射和散射状态时地板的电流分布情况。

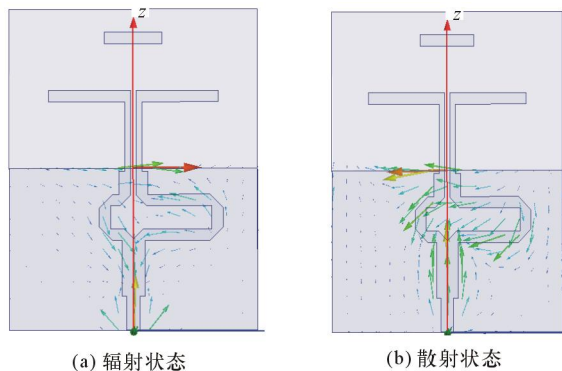


图6 准八木天线的地板电流分布

天线辐射时,天线馈电端口以及微带线附近地板上的电流较大,而远离微带线部分的地板上电流幅度很小;天线散射时,远离微带线部分地板上的电流幅度要大得多,可以适当去掉地板上这些区域。改进后的准八木天线如图 7 所示。

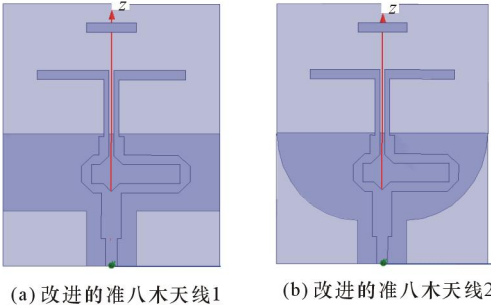
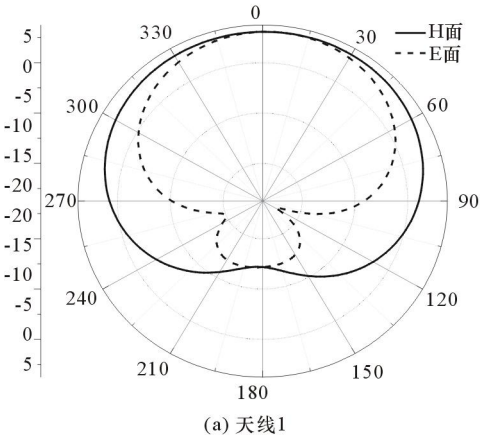


图 7 改进的准八木天线

2.2 数据分析

改进前后准八木天线电压驻波比的对比图如图 8 所示,model0 表示原天线,model1 和 2 分别为改进后的天线 1、天线 2。从图中可知,在8~9.5 GHz



频段内,改进后的 2 款天线的驻波均小于原天线,天线阻抗匹配得到优化。

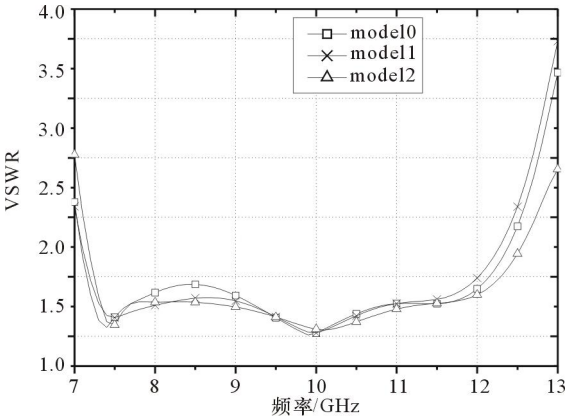


图 8 准八木天线的电压驻波比仿真曲线对比

图 9 为 2 款天线的 E 面和 H 面方向图,天线 1 的增益为 4.94 dB,半功率波束宽度为 98.5°;天线 2 的增益为 4.98 dB,半功率波束宽度为 99.0°。随着增益的提高,波束宽度有所减小,定向性增强。

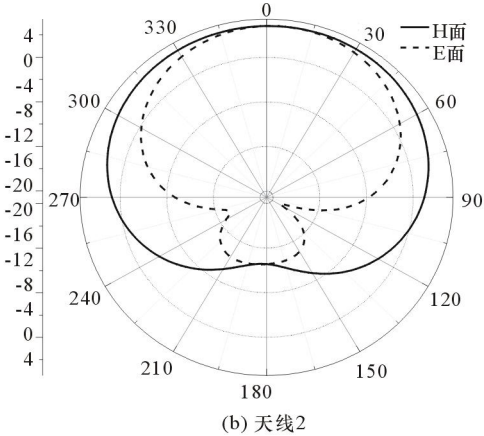


图 9 改进后准八木天线 E 面和 H 面方向图(10 GHz)

图 10 为改进前后准八木天线 RCS 仿真曲线的对比图。图 10(a)对各天线主极化单站 RCS 进行比较,在峰值方向原天线的单站 RCS 为-30.5 dBsm,天线 1 为-31.7 dBsm,天线 2 为-31.9 dBsm,2 款天线分别下降了 1.2 dB 和 1.4 dB。根据天线隐身技术研究,重点是降低后向约±50°一个锥状范围内的 RCS,从图中可以看出,在这个角度范围内,改进后天线的 RCS 有显著的减缩。

图 10(b)为各天线后向 RCS 随频率变化的对比图,在 X 波段与原天线相比,改进后 2 款准八木天线的 RCS 显著降低,并且减缩值随着频率的增加

而增大,12 GHz 处天线 1 和天线 2 的 RCS 减缩值分别达到为 8.5 dB 和 10.0 dB。

图 10(c)和(d)为入射平面波分别垂直入射和 90°斜入射时,各天线双站 RCS 的对比图。改进后 2 款天线的 RCS 在后向约±50°范围内得到了有效的减缩。入射波垂直于天线平面时,产生镜面散射,结构项散射达到最大。原天线的双站 RCS 在 140°方向达到最大值-30.8 dBsm,改进后天线 1 的双站 RCS 在 140°方向达到最大值-31.9 dBsm,天线 2 的双站 RCS 在 136°方向达到最大值-32.1 dBsm,分别降低了 1.1 dB 和 1.3 dB。

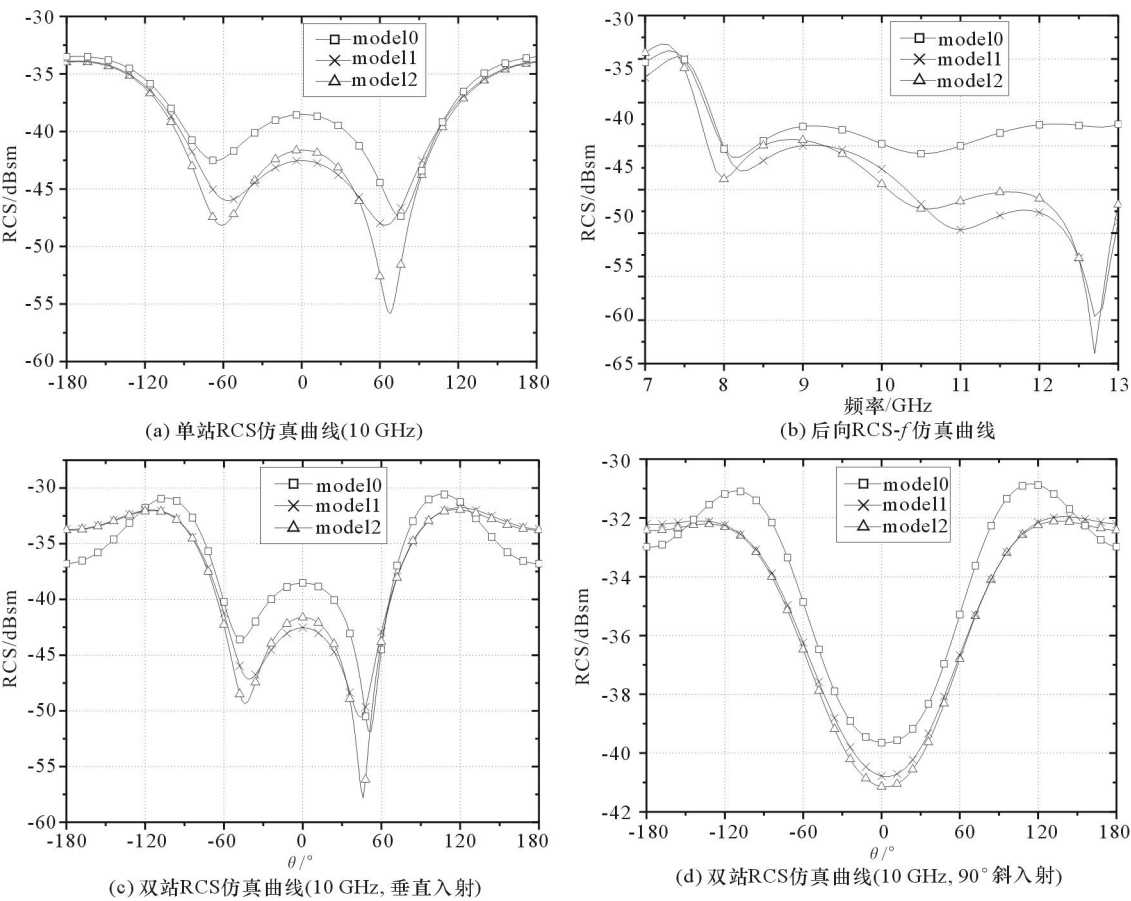


图 10 准八木天线 RCS 仿真曲线对比

表 2 准八木天线的 RCS

	单站 RCS (dBsm)			双站 RCS (dBsm)			
	0°	-36°	36°	0°入射		90°入射	
				-30°	30°	0°	30°
原天线	-38.5	-42.0	-43.0	-39.6	-39.6	-43.7	-41.6
天线 1	-42.5	-46.8	-48.3	-43.9	-44.0	-44.4	-42.0
天线 2	-41.6	-47.4	-48.9	-43.4	-43.4	-44.5	-42.1

3 结束语

本文提出了一种新型的 RCS 减缩技术,并且通过在准八木天线的应用证明了该技术的有效性,2 款改进的准八木天线都达到了较大的 RCS 减缩。应用本文提出的减缩技术,可以显著降低大规模相控阵天线的 RCS,满足隐身设计的需求。

参考文献

[1] 郑军豪.一种有效减缩微带天线 RCS 的新方法[J].

通信与信息技术,2008(13):15 - 18 .

[2] 刘英.用于天线 RCS 减缩的分形微带贴片天线[J].电子学报,2004(32):1530 - 1531 .

[3] 鲁加国.非对称单脊波导裂缝阵天线分析[J].现代电子,1998(3):23 - 27 .

[4] Noriaki Kaneda,Deal W R.A broad-band planar quasi-Yagi antenna [J].IEEE Transactions on Antennas and Propagation ,2002 ,50(8):1158 - 1160 .

[5] Hui Chu .Wideband self-complementary quasi-Yagi antenna for millimeter-wave systems [J].IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters , 2011 (10): 322 - 325 .

[6] Zheng G ,Kishk A A ,Glisson A W ,Yakovlev A B . Simplified feed for modified printed Yagi antenna [J]. Electron Letters ,2004(40):464 - 466 .

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),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>