

用于 SAR 系统的双频双极化共口径 微带天线的设计

孟明霞， 张凤林， 丁克乾， 李连辉， 丁晓磊
(北京遥测技术研究所 北京 100076)

摘要：设计一种工作在 L 和 C 两个频段的双极化共口径微带天线阵，中心频率分别为 1.25GHz 和 5.3GHz。天线由开了 4 个孔的 L 频段贴片单元和 16 个交错环绕的 C 频段贴片单元组成，同时采用了叠层结构展宽带宽。对 L 频段贴片单元采用在同一层上进行微带线馈电的形式，以简化天线结构，而 C 频段则采用缝隙耦合方式馈电，从而增大了 L 和 C 两个频段的隔离。馈电网络还运用了错位倒相馈电技术，最大限度地降低了交叉极化。

关键词：双频双极化； 共口径； 微带天线； 合成孔径雷达

中图分类号：TN822⁺.4

文献标识码：A

文章编号：CN11-1780(2010)03-0059-06

前 言

对于基于空间的合成孔径雷达(SAR)系统来说，决定整个系统性能的有天线、发射机功率和频谱、接收机灵敏度、信号处理等多个方面，其中天线起着关键性作用，它对雷达系统的系统灵敏度、距离和方位的空间分辨率、图像模糊度、测绘带覆盖等有着直接的影响。根据现代通信的要求，天线研究的一个重要方向就是多功能性，即多频段、多极化和多用途。而对于 SAR 系统而言，天线双频双极化工作有很重要的意义。一般对于植被、土壤和干沙而言，微波频率的低端比高端具有更强的穿透能力，因此双频工作的低频段适合于隐藏目标的侦察和资源勘测，而高频能量发射主要来源于物体的表面，所以双频工作的高频段比较适合地表情况的监测、海面细节变化与海上目标观测以及洪涝灾害的监视。采用双极化的工作模式可以利用地物对不同极化电磁波的散射特性不同而获取丰富的地物信息，从而更好地区分和鉴别地物。因此，研究双频双极化的 SAR 天线有很大的实用价值。

以往的双频双极化天线大多是用波导缝隙阵来实现的，其设计技术很成熟，交叉极化和副瓣指标都可以做到很低，双极化可以通过两个分离的波导来实现。但是，波导缝隙阵体积庞大，加工复杂，精度难以控制，不适合应用于对体积和重量要求较高的航天器中。而微带天线在这方面具有很大的优势。

双频、双极化微带天线通常是每一个频段一个口面，双频天线即需要两个口面，这将导致天线体积和重量都很大，国外曾用于航天飞机上成像雷达的双频(L 波段、C 波段)双极化天线的重量为 L 频段 795kg、C 频段 370kg。显然，这对于航空航天系统来说，载荷太重了，因此需要发展共口径、轻量化的天线系统。

要实现双频双极化共口径需要考虑以下几个方面：

- ①为了避免栅瓣的出现(特别是扫描阵的情况)，天线单元间距需有限制。
- ②由于两个工作频段一般相差很大(L、C 和 X 频段的组合)，为了避免出现栅瓣，不同的频段需要不同的单元间隔，因此两个频段的单元应相互交错放置，以实现共口径。
- ③系统的工作带宽一般为 3~8%，因而单层的贴片天线不能满足要求，需要采取其它办法展宽带宽。
- ④两个频段需要两个馈电网络，它们之间的隔离问题也应予以考虑。

由于以上限制,双频双极化共口径天线的实现有一定难度。文献[1]介绍了一种工作在 C 频段和 X 频段的双频双极化天线,采用微带贴片和印刷缝隙作为辐射单元,天线性能良好,但是为了抑制 X 频段缝隙单元的后向辐射,采用了间隔 $\lambda/4$ (λ 为 X 频段的工作波长) 的反射地板。如果将这种结构形式推广到 L 频段使用,将导致天线结构比较厚重。此外,大量缝隙的使用也会产生杂波,从而降低隔离。采用印刷振子代替缝隙^[2]可以改善上述情况,但由于振子本身的带宽很窄,因而限制了天线的带宽。后来出现了一种镶嵌式结构^[3~5],它在工作频率较低、尺寸相对较大的贴片上开孔,使工作频率较高而尺寸较小的贴片放置其中,两个频段的贴片交错放置,很方便地实现了共口径。在馈电方式的选择上,文献[3]采用了同轴馈电的方式,可以得到较宽的带宽,但是在大型阵列中同轴馈电网络的设计难度很大。文献[4]中,L 频段贴片采用共面的微带线馈电,C 频段贴片采用缝隙耦合方式馈电,这样两个馈电网络分别在地板两边,降低了两个频段交叉耦合。同时,天线还采用叠层结构展宽带宽。

本文设计了一种 L/C 双频双极化共口径微带天线,也采用了类似文献[4]中的多层镶嵌式结构,组阵后采用错位倒相馈电技术,使得天线阵的交叉极化性能得到很大改善。

1 天线单元设计

一般 SAR 天线要求其带宽为 100MHz,在 C 频段的相对带宽只有 2%,很容易满足,但对于 L 频段而言,相对带宽为 8%,要实现这个指标相对比较困难。因此,在设计先后顺序上,应先考虑 L 频段的尺寸,使其满足带宽的指标要求。

1.1 L 频段贴片天线设计

L 频段的频率比 C 频段低,因此 L 频段需要较大的辐射贴片,在 L 频段的辐射贴片上开孔,将 C 频段置入其中,即可实现共口径。

开孔的尺寸是一个很难确定的量^[6]。开孔尺寸越大,天线的谐振频率就越低,也就是说开孔可以减小天线的尺寸。但是开孔过大会导致天线带宽变窄,因此要适当选择开孔尺寸。同时,我们需要采取展宽带宽的措施,本文采用了叠层结构。

为了降低交叉极化,所有结构必须是对称的。在 L 频段的贴片单元上开孔将导致表面电流的不连续性,进而引起严重的不对称。因此,打孔的结构也必须是对称的。也就是说,一个 L 频段的贴片上开 4 个孔,关于轴线对称,上下两层的开孔也要对称。

L 频段采用共面微带线馈电,和辐射贴片在同一层,这样简化了天线的结构。由于 L 频段的频率较低,馈线引起的辐射对天线性能不会有很大的影响。L 频段的馈电网络和 C 频段的馈电网络分别置于地板的两层,从而增大了两个频段的隔离。

天线自上而下共有四层。第一、三、四层采用相对介电常数为 2.65 的介质板。第二层是空气层。天线各层结构示意图如图 1 所示。

取介质基板厚度为 2mm,相对介电常数为 2.65。由公式^[7]计算得谐振频率为 1.25GHz 时的贴片大小约为 72mm。贴片上开孔会使贴片尺寸变小,驻波比带宽变窄,增益也稍有下降。因此,开孔后贴片尺寸变为 70.5mm。

采用叠层结构,驻波比呈现两个谐振点,其中较低的谐振点与单层时的谐振频率很相近。适当调节两层之间的距离和上下贴片的大小比值,得到驻波比(<1.5)带宽为 100MHz,此时两层间距为 14mm,上下贴片大小比值为 1.22。同时,天线的增益也提高了 1.1dB。这说明叠层结构中的寄生单元起了引向器的作用。

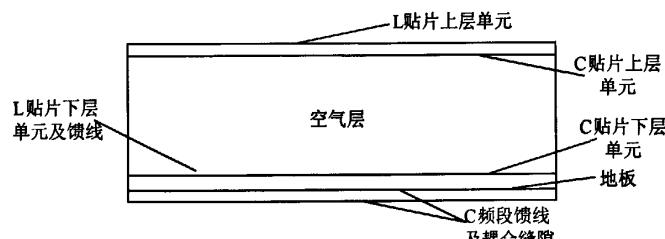


图 1 天线截面示意图

最后将端口输入阻抗用 $\lambda/4$ 阻抗变换过渡到 50Ω , 以便于和 SMA 接头连接。

考虑到两个频段贴片之间的耦合, 在 L 频段贴片单元仿真过程中加入了相应的 C 频段贴片单元。为了避免出现栅瓣, 相邻两单元之间的距离 d 应小于一个自由空间波长 λ , 本文取 $d = 0.7\lambda$, 则 L 频段单元间距约为 16cm, 而 C 频段单元间距约为 4cm。因此, 若两个频段共用一个口径, 就需要 1 个 L 频段的天线单元与 16 个 C 频段的天线单元对应。天线仿真模型如图 2 所示。

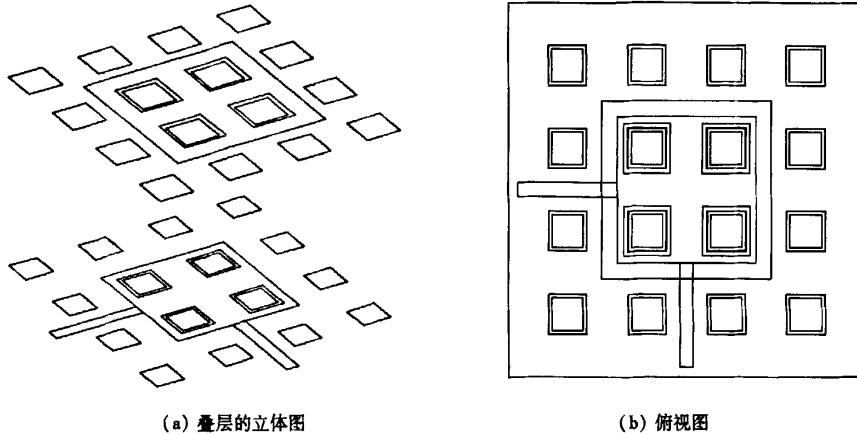


图 2 L 频段单元仿真模型

两个端口的隔离如图 3 所示。在工作频带范围内, 两个端口的隔离保持在 -20dB 以下。

天线单元两个端口的驻波比曲线示于图 4。驻波比 (< 1.5) 带宽为 100MHz, 两个端口驻波比的一致性也很好。

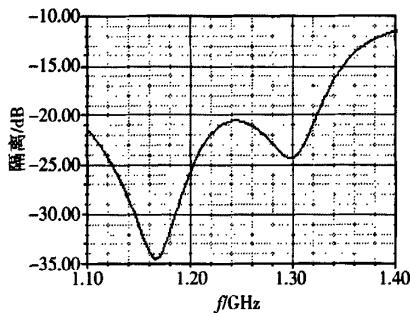


图 3 L 频段天线单元两端口的隔离

天线两个端口的增益方向图示于图 5。仿真增益在 9dB 左右, 交叉极化电平在 -20dB 以下。

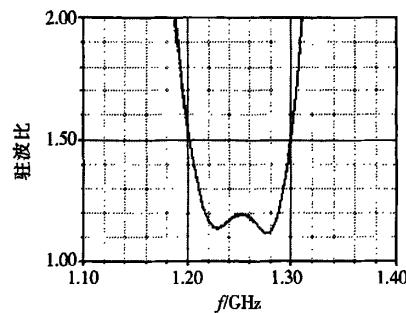
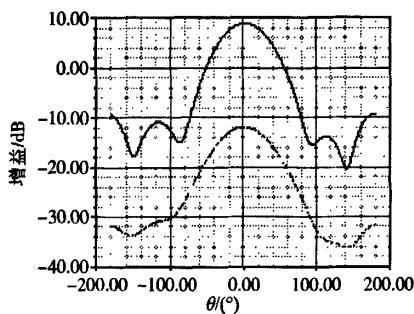
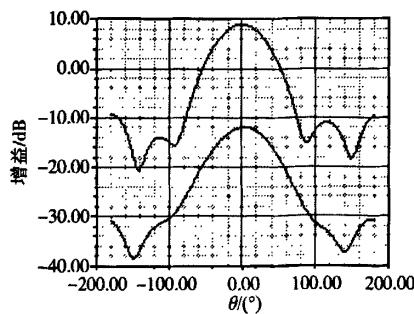


图 4 L 频段天线单元的驻波比曲线



(a) 端口 1



(b) 端口 2

图 5 L 频段天线单元的主极化和交叉极化方向图

1.2 C 频段贴片天线设计

因为贴片上的孔开得太大会降低带宽,但太小又会使两个频段的耦合过大,所以要适当选择开孔尺寸,这就要求 C 频段贴片单元越小越好,但这样可能导致 C 频段贴片单元偏离谐振状态。而采用叠层结构也会让下层的 C 频段贴片尺寸更小一些,这样设计起来就更容易些^[8]。

如果 C 频段仍采用微带线馈电,由于馈线在这个频段的辐射很大,则会导致交叉极化变坏,而将馈线置于地板下面即可避免这种情况的发生,因此 C 频段采用缝隙耦合方式馈电,这样还可以展宽带宽。

为了保持结构对称,除了两种极化的激励缝隙外,在相对的另一边也开了缝。如果 4 个缝都用微带线激励的话,空间可能不够,因此只对其中正交的两个缝激励两个正交的极化,另外两个缝虽然不激励,但仍然起到降低交叉极化的作用。C 频段单元模型如图 6 所示。图 7 给出了天线单元的驻波比曲线,驻波比(<1.5)带宽约 140MHz。图 8 是天线单元两个端口的增益曲线。

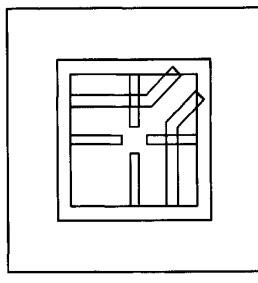


图 6 C 频段单元模型

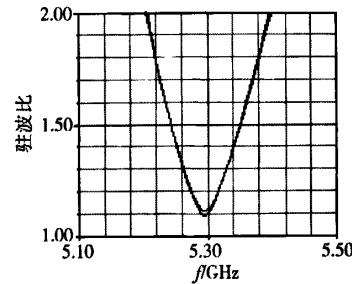
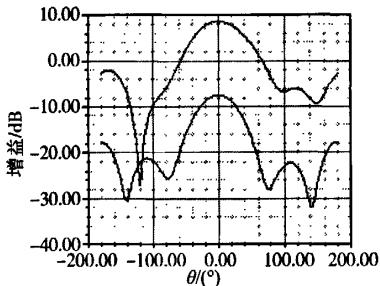
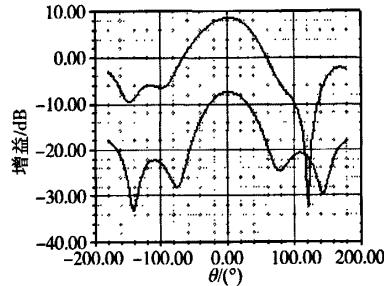


图 7 C 频段单元驻波比曲线



(a) 端口 1



(b) 端口 2

图 8 C 频段单元方向图

2 天线阵列与馈电网络设计

天线工作在 L 和 C 两个频段,中心频率分别为 1.25GHz 和 5.3 GHz。由于 C 频段的频率与 L 频段的频率比值大于 4,因此它们单元之间的间隔之比要小于 4。为了避免出现栅瓣,且在两个频段得到相同的扫描角,选取 L 频段贴片间隔为 16cm,C 频段贴片间隔为 4cm,这样开了 4 个孔的 L 频段的贴片单元和 16 个交错环绕的 C 频段贴片单元就组成了 L/C 双频双极化共口径天线。

2.1 馈电网络设计

为了降低交叉极化,对 C 频段贴片的馈电采用错位倒相馈电技术^[9]。由腔模理论可知,当激励方形贴片时,除了产生主模 TM_{01} 外,还要产生高次模。对于各单元相同激励的双极化微带天线阵,由于高次模的存在,使两端口之间产生干扰,从而降低了端口间的隔离度,抬高了交叉极化电平。为了取得较高的极化纯度,可对成对单元采用等幅反相馈电。馈电示意图

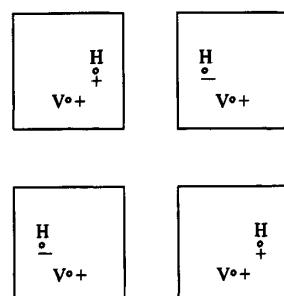
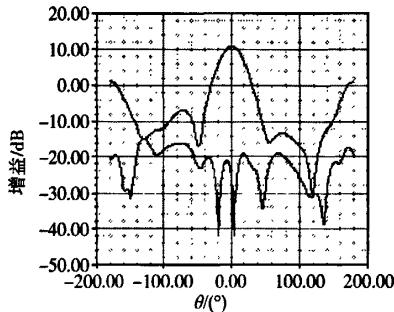


图 9 错位倒相馈电示意图

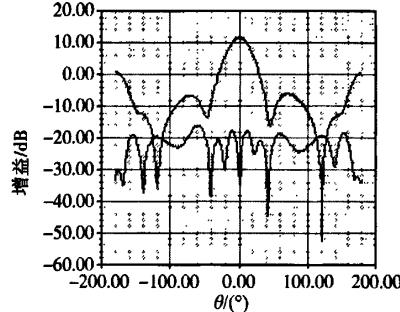
如图9所示。每个贴片有两个激励点,将产生水平和垂直两种线极化波(端口分别用H和V标示)。“+”表示两个单元对应的端口采用等幅同相馈电,“-”表示两个单元对应的端口采用等幅反相馈电。

2.2 阵列设计

组阵后L频段天线的仿真结果如图3~图5。C频段贴片 2×2 子阵的仿真驻波比曲线如图10所示。驻波比(< 1.5)带宽约80MHz。图11给出了组阵后C频段的仿真方向图曲线。从图11可以看出,交叉极化在主波束范围内下降到-30dB以下,达到了降低交叉极化的目标。但是天线的后向辐射较大,可采取加反射板等措施来减小后向辐射。



(a) 端口 1



(b) 端口 2

图11 C频段贴片 2×2 子阵两个端口的仿真方向图

3 结束语

本文设计了一种叠层结构的L/C双频双极化共口径微带天线,中心频率分别为1.25GHz和5.3GHz。在两个频段上,驻波比小于2的带宽都在100MHz以上。错位倒相技术的使用使交叉极化降低到-30dB以下。这种结构的L/C双频双极化天线具有良好的双频工作特性,并能够很方便地组成大规模天线阵列,具有很好的工程应用价值。

参考文献

- [1] Pokula R, Uher J and Pozar D M. Dual-frequency and Dual-polarization Microstrip Antennas for SAR Applications [J]. IEEE Trans. Antenna Propag., 1998, 46: 1289 ~ 1296.
- [2] Qu X, Zhong S S and Zhang Y M. , Dual-band Dual-polarised Microstrip Antenna Array for SAR Application[J]. Electronics Letters, 2006, 42(24) :1376 ~ 1377.
- [3] Granholm J and Skou N. Dual-frequency, Dual-polarization Microstrip Antenna Development for High-resolution, Airborne SAR[C]. Microwave Conference, 2000 Asia-Pacific.
- [4] Shafai L L, Chamma W A, Barakat M, Strickland P C and Seguin G. Dual-Band Dual-Polarized Perforated Microstrip Antennas for SAR Applications [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2000, 48(1) : 58 ~ 66.
- [5] Pozar D M, Targonski S D. A Shared-Aperture Dual-Band Dual-Polarized Microstrip Array[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2001, 49(2) :150 ~ 157.
- [6] Shafai L and Chamma W. Bandwidth and Polarization Characteristics of Perforated Patch Antennas [C]. Int. Conf. Antennas Propagat. , Edinburgh, U. K. , Apr. 1997, 41 ~ 46.
- [7] 林昌禄,聂在平. 天线工程手册[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [8] Croq F and Pozar D M. Millimeter-wave Design of Wide-band Aperture-coupled Stacked Microstrip Antennas [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat. , 1991,39(12) ;1770 ~ 1776.

- [9] Woelders K and Granholm J. Cross-polarization and Sidelobe Suppression in Dual-linear Polarization Antenna Arrays [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat., 1997, 45(12): 1727 ~ 1740.

Dual-band Dual-polarized Shared-aperture Microstrip Antenna for SAR Systems

Meng Mingxia, Zhang Fenglin, Ding keqian, Li Lianhui, Ding Xiaolei

Abstract: A multilayer dual-band dual-polarized (DBDP) antenna operating at L and C bands with a shared aperture is presented. The operating frequencies at the band centers are about 1.25GHz and 5.3GHz, respectively. The L-band elements are selected as perforated patches to enable the placement of C-band elements within them. Stacked-patch configurations are used to meet the bandwidth requirements, especially in the L-band. Transmission line feed is used in the L-band antenna to simplify the antenna structure. For the C-band elements, slot coupling is used to enlarge the isolation between the bands. The “pair-wise anti-phase feeding technique” is adopted to minimize the cross polarization level.

Key words: Dual-band dual-polarized (DBDP); Shared-aperture; Microstrip antenna; SAR

[作者简介]

孟明霞 1984 年生,硕士研究生。主要从事天线设计工作。

张凤林 1964 年生,研究员。长期从事卫星导航与测控天线的研究与研制工作。

丁克乾 1976 年生,高级工程师。主要从事天线设计工作。

李连辉 1975 年生,高级工程师。主要从事天线设计工作。

丁晓磊 1971 年生,研究员,2002 年获电子科技大学电磁场与微波技术专业博士学位。主要研究方向为超宽带天线、波导缝隙阵天线、矩形波导多模天线等天线设计和测量技术。

(上接第 58 页)

tion technologies. Its software gathers the information of environment, equipments, instruments, VGA and so on, builds the data link between the survey boat and the calibration tower, and realizes the real-time monitoring for the calibration equipments. This system can solve the problems of conventional mode and possesses the merits of security, operation convenience, real time, and expansibility.

Key words : Calibration tower; Remote monitoring; GPIB; Modbus; C/S mode

[作者简介]

周江 1975 年生,硕士,高级工程师。主要研究方向为天线与微波、自动测试系统和故障诊断等。

潘高峰 1972 年生,学士,高级工程师。主要研究方向为智能仪器、自动测试系统与故障诊断等。

谢勇 1972 年生,硕士,高级工程师。主要研究方向为微波技术、远程技术支持与网络协议等。

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>