

## 陶瓷介质加载四臂螺旋天线

高阳, 王德苗, 董树荣, 金浩

(浙江大学 信电系, 浙江 杭州 310027)

**摘要:** 微波陶瓷介质加载的四臂螺旋天线, 体积显著减小, 而性能基本不变, 是应用在小型化卫星导航定位设备中的理想天线。在介绍四臂螺旋天线结构组成、工作原理和发展过程的基础上, 讨论了陶瓷介质加载四臂螺旋天线的特性和制作方法, 并指出了存在问题和今后的研究方向。

**关键词:** 电子技术; 陶瓷介质天线; 综述; 四臂螺旋天线; GPS天线

中图分类号: TN967.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-2028 (2008) 06-0026-04

## Review on ceramic-loaded quadrifilar helix antennas

GAO Yang, WANG De-miao, DONG Shu-rong, JIN Hao

(Dept. ISEE., Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** Recently ceramic-loaded quadrifilar helix antenna (DQHA) was developed as a perfect satellite communications antenna. It has four helix arms and small volume and excellent performance. The characteristic and development of dielectric-loaded quadrifilar helix antenna was reviewed. The introduction of DQHA was focused on its structure, operating principle and the developing process. The problems and its solution were also briefly discussed.

**Key words:** electron technology; ceramic dielectric antenna; review; quadrifilar helix antenna; GPS antenna

四臂螺旋天线 (Quadrifilar Helix Antennas, QHA) 是美国约翰霍普金斯大学应用物理实验室博士 Kilgus<sup>[1, 2]</sup>于1968年提出的, 之后人们对其进行了深入研究。该天线具有心型方向图、良好的前后比及优异的圆极化特性, 因此被广泛应用于卫星通信系统, 尤其被认为是理想的全球定位系统 (GPS) 和卫星手机接收天线, 但体积较大是其缺点。目前, GPS技术在民用领域蓬勃发展, 突出表现在车辆导航和个人移动终端定位两个方面, 这些应用对天线的小型化提出了迫切需求。介质加载是实现天线小型化的有效方法之一, 其中微波陶瓷介质近年来发展迅速, 已广泛应用于谐振器、滤波器、双工器等微波器件的小型化上。陶瓷介质加载四臂螺旋天线, 能使体积缩减80%以上, 而性能基本保持不变, 是应用于便携式GPS产品的最佳天线。笔者以GPS应用为背景, 综述了四臂螺旋天线的构成、原理和小型化发展过程, 重点讨论了介质加载四臂螺旋天线的特性和制作方法, 并提出了天线存在的应用问题和下一步研究方向。

### 1 四臂螺旋天线理论

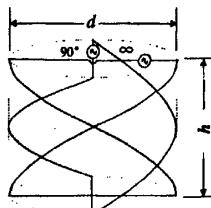


图1 谐振式四臂螺旋天线  
Fig.1 Resonant quadrifilar helix antenna

Kilgus 提出的四臂螺旋天线如图1所示, 为谐振型天线。该天线由四根螺旋臂组成, 每根螺旋臂长度为  $M\lambda/4$  ( $M$  为整数), 四根螺旋臂馈电端电流相等, 相位两两相差  $90^\circ$  (分别为  $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  和  $270^\circ$ ) ; 四个螺旋臂一般绕成  $N/4$  圈 ( $N=1, 2, 3\cdots$ ), 非馈电端开路 ( $M$  为奇数时) 或短路 ( $M$  为偶数时)。四臂螺旋天线也可以看作是由两个等幅正交馈电的双臂螺旋天线组成。

天线的结构参数可由下式确定<sup>[3]</sup>:

$$L_{\text{ax}} = N \sqrt{(1/N^2)(L_{\text{ele}} - Ar_0)^2 - 4\pi^2 r_0^2}$$

式中:  $L_{\text{ax}}$  为螺旋的轴向长度 (mm),  $L_{\text{ele}}$  为螺旋臂的

长度 (mm),  $r_0$  为螺旋的半径 (mm),  $N$  为螺旋的圈数。 $A=1$  ( $M$  为奇数时),  $A=2$  ( $M$  为偶数)。

设计四臂螺旋天线时, 要确定其轴向长度、螺旋半径和螺旋线上升角, 从而得到预期的天线增益、方向性和输入阻抗。谐振的 1/4 圈、1/2 圈和 1 圈的四臂螺旋天线在任何轴长和直径下, 能够产生心形方向图, 但旋转大于 1 圈或者轴长和直径之比较大或较小将对天线的方向图和轴比产生严重影响, 所以谐振式四臂螺旋天线一般臂长为  $\lambda/2$ , 旋转角度为 1/2 圈。

用环-偶极子模型<sup>[3]</sup>可以对该天线工作原理进行理论分析。四臂螺旋天线可以看作由两个双臂螺旋天线构成, 它们之间旋转 90°且正交馈电。对于一个双臂螺旋天线来说, 当天线处于谐振状态时, 臂上的电流幅度接近正弦分布, 其中最大值位于馈电点和短路点, 零点位于螺旋臂中部, 若将每条螺旋臂简化成直线和半圆, 则得到双臂螺旋的简化模型如图 2 所示。这里选择螺旋中心为原点, 轴为  $z$  轴, 顶面和底面上天线臂方向为  $y$  轴来建立坐标系, 显然该模型可进一步简化为如图 3 所示的一个  $YZ$  平面上的电流环和一个  $x$  轴上的电偶极子的组合。同样, 另一付双臂螺旋天线亦可以等效成另一个环-偶极子组合。根据天线的叠加原理, 由于这两组环-偶极子互相垂直且相位差 90°, 那么在远区得到的是一个宽波束的心型的圆极化方向图。

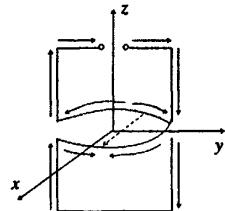


图 2 双臂螺旋天线简化模型  
Fig.2 Model of bifilar helix antenna

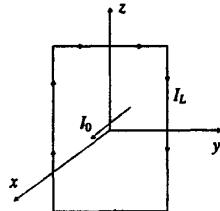


图 3 双臂螺旋天线环-偶极子模型  
Fig.3 Loop-dipole model of bifilar helix antenna

四臂螺旋天线的关键问题是实现四臂等幅且依次相差 90°馈电, 可以使用移相网络分别给每条臂馈电, 但这种结构较复杂且损耗大。另一种方法是采用同轴电缆经轴心在顶部进行馈电, 由于同轴电缆内外导体电流反向, 因此可实现双臂螺旋的等幅反向馈电, 而两个双臂螺旋之间的 90°相移可通过自相移结构来实现<sup>[3]</sup>, 即两个双臂螺旋的长度有一定差别, 其中一个比谐振时的长度稍长, 产生一个相对于谐振时有 -45° 相移的输入阻抗, 另一个比谐振时的稍短, 产生一个相对于谐振时有 +45° 相移的输入阻抗, 这样, 两个双臂螺旋就实现了相位差 90°。为实现同轴电缆到天线臂的平衡馈电, 可采用套筒扼流巴伦、缝隙对称巴伦等多种巴伦结构。对于印刷型四臂螺旋天线, 还有微

带线移相馈电网络<sup>[4]</sup>。

## 2 陶瓷介质加载四臂螺旋天线

### 2.1 四臂螺旋天线的小型化发展

1968年, Kilgus<sup>[1, 2]</sup>连续发表了两篇论文, 用环-偶极子理论对四臂螺旋天线进行了分析。研究表明, 反相馈电的双线螺旋天线的辐射模式为  $\sin\theta$  形状的圆极化方向图, 零点方向垂直于轴线, 而馈电信号为 90° 相移的谐振型四臂螺旋天线的辐射模式为心形圆极化方向图。

1990年, Tranquilla<sup>[5]</sup>利用矩量法对应用于卫星导航系统的四臂螺旋天线进行了详尽的分析。讨论了天线的相位和幅度特性, 以及双频天线的构成和性能。认为谐振型、非整周缠绕四臂螺旋天线具有尺寸小和宽波束等优点, 非常适用于卫星导航定位系统。

早期四臂螺旋天线的辐射单元一般采用金属管或金属线, 通过弯曲成型或是缠绕在绝缘柱上, 这样必然需要在馈电网络中加入复杂的平衡转换器和阻抗匹配网络, 螺旋结构也需要机械支撑, 因此天线体积较大, 难于批量生产。Shumaker 等<sup>[6]</sup>在 1996 年提出了应用于 GPS 接收机的印刷式四臂螺旋天线, 即将螺旋臂印制在柔性基材上, 然后将基材卷起放入圆柱形有机玻璃筒中形成天线。此举降低了天线的重量、尺寸和制作成本, 同时天线还具有低轮廓、高维稳定性好的优点。该天线辐射方向图具有大于 145° 的 3 dB 波瓣宽度, 性能良好。到了 1997 年, Sharaiha 等<sup>[7]</sup>阐述了将馈电网络与印刷式四臂螺旋天线相结合的思路, 进一步减小了天线尺寸。

2001 年 Leisten<sup>[8]</sup> 提出了陶瓷介质加载四臂螺旋天线 (Dielectrically-loaded Quadrifilar Helix Antenna, DQHA)。该天线采用  $\epsilon_r=36$  的陶瓷填充, 天线体积缩小到  $10.00 \text{ mm} \times 17.8 \text{ mm}$  (底面直径  $\times$  高), 为未加载时体积的 1/6。相对于应用于 GPS 系统的介质加载微带贴片天线, DQHA 还具有优良的前后比和广角圆极化特性, 且电磁场被约束在陶瓷核内, 近场很小, 天线受手机、人手等周围物体影响较小, 这种特性也使该天线能够和其它天线安装在较近的位置而不会受到严重干扰。

除采用陶瓷介质外, 四臂螺旋天线还有其它几种小型化方法。如曲流法<sup>[9, 10]</sup>, 该技术将天线臂蜿蜒折叠, 天线轴长可减小 50% 以上; 枝节加载法<sup>[11]</sup>, 针对螺旋臂中点电流为零, 将该部分螺旋结构变成弧线, 可使天线轴长缩减 15%; 部分折叠法<sup>[12]</sup>, 将螺旋臂顶部一部分向下垂直弯曲, 天线轴长可以缩减 20%。

## 2.2 介质加载四臂螺旋天线

较大的尺寸和复杂的馈电结构一直制约着四臂螺旋天线的应用。介质加载四臂螺旋天线采用高介电常数的陶瓷介质和自相移馈电结构, 可解决上述问题。图3(a)所示为英国Sarantel公司生产的GPS介质加载四臂螺旋天线<sup>[13]</sup>。该天线采用 $\epsilon_r = 40$ 的陶瓷作为介质, 四条臂通过激光刻蚀形成, 尺寸为10.00 mm×17.75 mm(直径×高)。馈电结构如图3(b)所示(以双臂螺旋为例), 同轴电缆通过轴心在顶端嵌入两臂, 底部为 $-\lambda/4$ 套筒巴伦, 实现顶部平衡馈电, 同时将电流限制在巴伦边缘, 减少周围物体对天线的影响。图3(c)为该天线的方向图, 波束宽度 $>120^\circ$ , 增益-2.8 dB。频率 $1575.42 \pm 2.00$  MHz, 极化方式为右旋圆极化, 轴比小于1.5, 效率50%, 带宽(3dB)20 MHz, VSWR小于2, 输入阻抗 $50\Omega$ 。国内的上海大学也报道了一款方形介质加载四臂螺旋天线<sup>[14]</sup>, 体积为8 mm×8 mm×18 mm, 具有优良的圆对称半球波束覆盖和广角圆极化特性, 适合于GPS手持机应用。

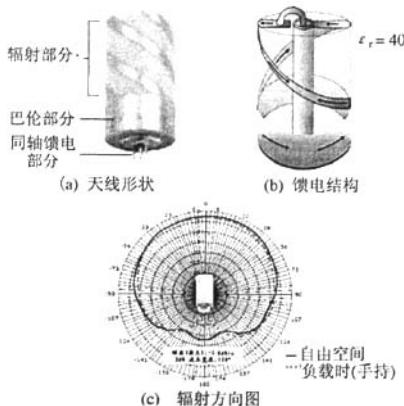


图3 陶瓷介质加载四臂螺旋天线  
Fig.3 Ceramic-loaded quadrifilar helix antennas

## 3 陶瓷介质天线的制作

### 3.1 陶瓷基体的制作

微波介质陶瓷是近30年来迅速发展起来的新型功能电子陶瓷, 它具有损耗低、频率温度系数小、介电常数高等特点。用微波陶瓷材料可以制成介质谐振器、介质滤波器、双工器、微波介质天线、介质稳频振荡器、介质波导传输线等。目前微波陶瓷材料的应用范围已在300 MHz~40 GHz系列化<sup>[15]</sup>。

由于四臂螺旋天线属谐振型天线, 采用陶瓷介质加载后, 天线性能对陶瓷基体比较敏感, 基体介电分布不够均匀或者体积产生形变, 都将会影响天线的谐振频率、方向图和圆极化特性, 因此要选择介电常数

适当、尺寸准确、质地均匀、体积对称的陶瓷基体。

$\epsilon_r$ 为38的介质陶瓷比较适用于该型GPS天线。目前, 该陶瓷材料主要有BaO-TiO<sub>2</sub>系与ZrO<sub>2</sub>-SnO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>系两大类。BaO-TiO<sub>2</sub>系具有介电性能优良、价格便宜等优点, 但该系材料的品质因数不易控制, 且介电常数易受工艺影响, 特别是作为上述天线的介质基体, 其圆柱尺寸较高, 在成型时陶瓷圆柱两端的压力不易均匀控制, 易造成基体不同部位介电常数波动。而ZrO<sub>2</sub>-SnO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>系陶瓷, 虽然价格相对较高, 但成型密度对陶瓷介电性能影响较小, 更适合该类天线使用。

对于ZrO<sub>2</sub>-SnO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>系微波介质陶瓷, 其化学分子式可以表示为 $(\text{Zr}_x\text{Sn}_{1-x})\text{TiO}_4$ , 其介电常数和温度系数主要通过调整x值的大小来实现, 即通过调节Zr与Sn的比例来调节瓷料的介电性能。通过适当的工艺, 并严格控制造粒、成型和烧结三个关键工序, 制出的陶瓷材料的介电性能如下:  $\epsilon_r=38.0 \pm 0.1$ ;  $Q_0=48\ 000 \pm 1\ 000$  GHz;  $\tau_p=(4 \pm 2) \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

### 3.2 天线的制作

制作介质加载四臂螺旋天线, 首先要在陶瓷基体上镀适当厚度铜膜, 然后通过激光刻蚀形成螺旋臂, 最后安装馈电结构。为保证天线性能, 应设法提高加工精度。

对于铜膜的形成, 传统印刷工艺不易在陶瓷表面形成金属层, 而电镀不够环保, 所以采用磁控溅射镀膜是较好的选择。为了使膜层均匀, 要适当控制溅射速率并使基体匀速旋转。激光刻蚀工艺中, 激光强了会损伤陶瓷基体, 激光弱了会使金属在陶瓷表面残留, 皆影响天线性能, 调整适当的激光强度比较困难。另外, 采用激光直接刻蚀, 加工速度慢, 时间长, 不利于生产。为解决上述问题, 笔者采用抗蚀油墨, 将其覆盖在铜膜上, 先用激光刻蚀油墨, 然后通过腐蚀工艺形成螺旋结构。这样, 就能够解决刻蚀速度慢、基体损伤和金属残留三大问题。

馈电结构是一段 $\lambda/4$ 同轴电缆, 并具有天线阻抗匹配功能。天线馈电点阻抗约为 $2\Omega$ , 为实现 $50\Omega$ 阻抗, 该同轴电缆特性阻抗选为 $10\Omega$ 。

## 4 存在问题及今后的研究方向

介质加载四臂螺旋天线属窄带天线, 无法实现双/多频应用。目前许多GPS接收机都要求能够在 $L_1$ 和 $L_2$ 两个频段工作, 且随着GPS技术和手机等其它无线设备集成的快速发展, 也需要解决GPS和GSM、CDMA或3G两个频段的应用问题。传统的四臂螺旋天线可以通过将两个不同谐振频率的天线, 采用同轴方式进行上下堆叠或内外嵌套组合成双频天线<sup>[5]</sup>, 不

过相对于单频天线, 双频天线的性能有所下降, 增益分别减少了 3.5 dB 和 1.5 dB, 且后瓣增大; 在文献[16]中, 也提出了将四臂螺旋天线的每条臂用三条不同谐振长度的臂代替, 实现了三频段工作。但介质加载四臂螺旋天线的多频化要困难得多。另外, 该天线加工制作复杂, 成本较高, 不利于广泛应用。

介质加载四臂螺旋天线可在以下三个方面作进一步研究：一是双/多频天线；二是降低天线制作成本；三是研究应用环境对天线性能的影响。

## 5 总结

陶瓷介质加载的四臂螺旋天线，体积显著缩减，约为原来的 1/6，而性能基本保持不变，具有心型的方向图、良好的前后比和广角圆极化特性，是应用在手持型 GPS 接收机上的理想天线。天线制作比较复杂，对陶瓷基体特性和加工精度要求较高，可通过基体制备、铜膜镀覆、激光刻蚀螺旋臂和馈电结构安装四步进行。该天线还需在双频工作、降低制作成本和工作环境对其影响等方面进行研究，以进一步促进其在 GPS 市场的应用。

### 参考文献：

- [1] Kilgus C. C. Multi-element fractional turn helices [J]. *Antennas Propagation*, 1968, 16: 499—500.

(上接第 25 页)

- [8] 董守义, 郭霄鹏, 于美燕, 等. GaP 纳米晶对溶剂热合成氮化硼的物相和微观相貌的影响 [J]. 功能材料, 2004, 6(35): 695—697.

[9] 崔得良, 郭霄鹏, 徐现刚, 等. 制备氮化硼纳米微粉的方法 [P]. 中国专利: CN1323738, 2003-02-12.

[10] 唐春盛, 丁晓夏, 高建明, 等. 一种六方氮化硼纳米微球及合成方法和应用 [P]. 中国专利: CN1931719A, 2007-03-21.

[11] 陈坤, 岳领东. 氮化硼球形纳米粒子的制备及影响因素分析 [J]. 武汉理工大学学报, 2006, 28(8): 9—10.

[12] 杨辉, 张铭毅, 唐杰, 等. 防热材料用氮化硼纤维的制备及其在空间技术领域中的应用 [J]. 硅酸盐通报, 2005, 4: 62—65.

[13] 郭秀生, 陈朝辉, 向阳春. 氮化硼先驱体的合成与研究 [J]. 西安交通大学学报, 2003, 37(2): 201—204.

[14] Bernard S, Chassagneux F, Berthet M P, et al. Structure and mechanical properties of a high-performance BN fibre [J]. J Eur Ceram Soc, 2002, 22: 2047—2059.

[15] Venkatasubramanian N, Bruce W, Desai P, et al. Synthesis and characterization of spinnable sol-gel derived polyborates [J]. J Non-cryst Solids, 1991, 130: 144—156.

[16] Pfleging W, Klotzbucher T, Wesner D A, et al. Structure and chemical composition of BN thin films grown by pulsed-laser deposition [J]. Diamond Relat Mater, 1995, 4: 370—374.

[17] Choi B J. Chemical vapor deposition of hexagonal boron nitride films in the reduced pressure [J]. Mater Res Bull, 1999, 34(14-15): 2215—2220.

[18] Huang J L, Pan C H, Lii D F. Investigation of the BN films prepared by low pressure chemical vapor deposition [J]. Surf Coat Technol, 1999, 12: 166—175.

[19] Rohr C, Boo J H, Ho W. The growth of hexagonal boron nitride thin films on silicon using single source precursor [J]. Thin Solid Films, 1998, 322: 9—13.

[20] Dudy C, Johnson R, Bondi S, et al. Pyrolytic laser CVD of boron nitride and molybdenum [J]. Adv Mater, 2003, 24 (15): 298—301.

[22] Qiu D J. Investigation on the microstructure and optical properties of c-axis oriented nanocrystalline hexagonal BN films fabricated by hot-filament chemical vapor deposition [J]. Thin Solid Films, 2005, 484: 90—93.

[23] El-Yadouni A, Soltani A, Boudrioua A, et al. Investigation of the optical and electro-optical properties of hexagonal boron nitride thin films deposited by PECVD technique [J]. Opt Mater, 2001, 17: 319—322.

[24] Paine R T, Narula C K. Synthetic routes to boron nitride [J]. Chem Rev, 1990, 90: 73—91.

[25] Paine R T, Narula C K, Schaeffer O. Precursors for boron nitride ceramic coatings [P]. U S Patent: 5188757, 1993-02-23.

[26] 唐惠东, 徐杰, 丘泰, 等. 行波管能窗和夹持杆的研究 [J]. 学术研究, 2002, 35(2): 3—5.

[27] 雷长成, 包旭东, 刘军, 等. 六方氮化硼无压烧结研究 [J]. 兵器材料科学与工程, 2005, 28(4): 20—23.

[28] Clarence L, Hoenig, Livermore, et al. High density hexagonal boron nitride prepared by hot ISO static pressing in refractory metal [P]. U S Patent: 5116589, 1992-05-26.

[29] Kuznetsova I G, Poluboyarinov D N. Sintering boron nitride by hot pressing and its properties high temperatures [J]. Refract Ind Ceram, 1967, 8(3): 190—195.

[30] 今红波, 宋润滨, 李颖, 等. 稀释剂对燃烧合成 h-BN 陶瓷性能的影响 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2004, 9(4): 24—27.

[31] 联合碳化喷涂服务技术公司. 一氮化硼坩埚及其制造方法 [P]. 中国专利: CN1037701C, 1998-03-11.

[32] 中国科学院金属研究所. 一种电子管用夹持杆 [P]. 中国专利: CN1093685C, 2002-10-30.

(编辑: 陈渝生)

## 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>