

文章编号：1001-8360(2002)04-0073-05

车号识别系统的收发天线研究

邱景辉，宋朝晖，李红梅

(哈尔滨工业大学 铁路高新技术研究所，黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要：收发天线采用微带矩形贴片天线阵，本文用传输线模型法分析和设计。为简化分析，辐射单元被看成是由一段低阻抗传输线连接的两个缝隙。本文给出了开路半波谐振器及微带线阵的设计方法与步骤。该天线在设计时选用最小单元间距方法，减小天线体积，同时易于匹配，提高增益带宽。在 902 MHz~928 MHz 工作时，实测天线驻波小于 1.4，增益大于 9 dB，半功率波瓣宽度大于 60°。

关键词：微带天线；天线阵；射频识别

中图分类号：TN99,U285 文献标识码：A

Research on transmitting/receiving antenna of vehicle number identification system

QIU Jing-hui, SONG Zhao-hui, LI Hong-mei

(Institute of Railway High & New Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Microstrip rectangular patch antenna array is used as transmitting/receiving antenna. Transmission line model theory is applied in the analysis and design in this paper. In order to simplify the problem, the radiating element is considered as two slots separated by a transmission line of low characteristic impedance. A design procedure for open circuit half-wave resonators and for array of such resonators is given. Minimal distance between units is chosen to minimize the volume of antennae, easy to be matched increase gain and widen bandwidth. An array antenna in which VSWR less than 1.4, gain more than 9 dB and half beam-width reached 60 degree is attained.

Keywords: microstrip antenna; antenna array; RFID

车号自动识别系统是一个集车号信息采集、处理、传输于一体的系统，射频识别系统是车号自动识别系统的关键部分^[1~3]，射频识别系统由读卡器、射频模块、收发天线及标签组成^[4~6]，其中收发天线是车号识别系统信息采集前端。收发天线的类型很多，由于微带天线具有结构简单，易于制造和生产，体积小，成本低等其它类型天线无可比拟的优点，所以本文设计的收发天线采用微带贴片天线阵。因为工程要求天线放置在有限空间内，限定了天线的尺寸，这给设计带来了一定难度。

微带天线的辐射可以用图 1 所示的简单情况来说明^[7,8]。这是一个矩形微带贴片天线，与地板相距十分之一波长。假定电场沿微带结构的宽度与厚度方向

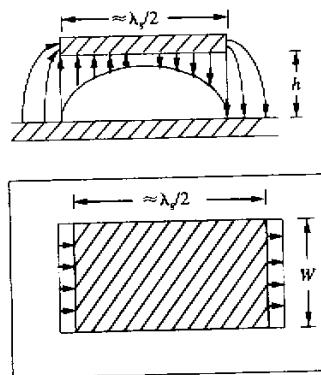


图 1 矩形微带天线的场图

没有变化，则辐射器电场结构如图 1 所示。电场仅沿约为半波长($\lambda_g/2$)的贴片长度方向变化。辐射基本上是由贴片开路边沿的边缘场引起的。在两端的场相对于

地板可以分解为法向分量和切向分量,因为贴片长为 $\lambda_g/2$,所以两端电场的法向分量是反相的,由它们产生的远区场在正面方向上互相抵消。辐射器两端平行于地板的电场切向分量同相,因此,其远区场合成场叠加而增强,从而使垂直于结构表面的方向上辐射场最强。所以,贴片可表示为相距为 $\lambda_g/2$,同相激励并向地板以上半空间辐射的两个缝隙。

矩形贴片辐射器的特性可由辐射方向图、输入阻抗、增益、带宽、波瓣宽度、效率、损耗和 Q 因数来表征。因此虽然分析方法很多,但是,就设计成本和性能推算而论,有一个最佳方法,即可用简单的表示式推算天线参数并与实验得到的结果相一致。天线的分析方法主要有矢量位法、并矢格林函数法、导线网模型法、辐射孔径法、腔体模型法、模式展开法和传输线模型法等等^[9,10]。前六种模型在预测微带辐射器性能方面都仅是部分成功的,并且要求大量的计算。Munson 和 Derneryd 的传输线模型可得到适合大多数工程应用的结果,并且需要的计算量不大。它是将微带天线视为加宽了的终端开路的微带线。这种分析方法物理概念清晰,计算简单,可以给出有用的工程设计数据,可以比较准确的预计它的辐射特性。

1 矩形微带天线的理论设计

微带天线单元可以单独使用,也可作为阵列的一部分再同其它相同的单元组合使用。无论哪种情况,设计者应掌握单元的详细设计步骤。

通常,设计的总目标是在指定的工作频率上得到特定的工作特性。如果微带天线能达到这个总目标,首先是选择合适的天线形状。这里,选择线极化的矩形贴片来设计。

(1) 介质基板的选取

作为微带天线设计的第一步就是要选定介质基板并确定其厚度 h 。这是因为基板材料的相对介电常数 ϵ_r 和损耗角正切 $\tan\delta$ 值及其厚度 h 直接影响着微带天线尺寸、体积、重量、方向特性、频带、效率等指标。

(2) 单元宽度 W 的选取

在确定介质基板材料及其厚度后,应先确定单元宽度的尺寸。 W 的尺寸影响着微带天线的方向性函数,辐射电阻及输入阻抗,从而也就影响着频带宽度和辐射效率。另外, W 的尺寸直接地支配着微带天线的总尺寸。具有高辐射效率的贴片宽度计算公式为^[11]

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

式中, c 为光速, f_r 为天线工作频率; ϵ_r 为相对介电常数。

当然也可以选择其它的宽度,但当选用小于式(1)的宽度时,微带天线的辐射面积减小,辐射效率必然会降低;在安装尺寸允许的条件下取得适当大些,对天线效率及阻抗匹配都有利。而选用大于式(1)的宽度时,辐射器的效率虽较高,按照微带天线分析中的腔模理论,这时将产生高次模,而不完全是所需的主模 TM10 模,从而引起场的畸变。

(3) 单元长度

辐射单元长度一般取为 $\lambda_g/2$,这里 λ_g 是介质内的等效波长。一旦知道了单元宽度 W ,考虑到边缘缩短效应后实际的辐射单元长度应为

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l \quad (2)$$

式中, ϵ_e 为有效介电常数; Δl 为由于天线的边缘效应而使辐射贴片沿 L 方向两端缩短的长度。在文献[11]中给出了计算它们的经验公式

$$\begin{aligned} \epsilon_e &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} \\ \frac{\Delta l}{h} &= 0.412 \frac{(\epsilon_e + 0.3)}{(\epsilon_e - 0.126)} \frac{(W/h + 0.262)}{(W/h + 0.813)} \end{aligned}$$

(4) 馈电方式的确定及阻抗匹配

矩形微带天线的馈电方式基本上分成侧馈和背馈两种。显然,当工作于相同频率时,侧馈所需的面积大于背馈。为达到阻抗匹配,则阻抗变换器是不可少的,从而增大了天线的面积。当矩形微带天线作为独立的天线应用时,背馈方式是常被采用的;而当它作为平板微带天线阵的阵元时,各单元的馈电相位应非常准确,显然采用馈线与天线的辐射贴片一起光刻制作的精度要优于采用电缆连接背馈的方式,所以微带天线阵的各单元的馈电方式势必采用侧馈。由工作于主模的矩形微带天线的场结构可知,沿长度方向谐振输入电阻从侧馈时的最大值到中心时变为零,即

$$R_{in} = R_{in}^0 \cos^2(Y_0/L) \quad (3)$$

式中, R_{in}^0 为侧馈时的输入电阻; Y_0 为背馈点离侧馈边的距离。于是可以用实验方法方便地在某一个 Y_0 处实现与 50Ω 馈电线的匹配,省去了阻抗变换器。

(5) 辐射方向图的计算

对大多数工程应用来说,简单的传输线模型法给出的结果已足够令人满意。因此矩形单元的辐射方向图可由单缝的方向性函数乘上二元阵因子来画出。矩形贴片单元的方向性函数为

$$F(\theta, \phi) = \frac{\sin\left(\frac{k_0 h}{2} \sin\theta \cos\phi\right)}{\frac{k_0 h}{2} \sin\theta \cos\phi} \cdot$$

$$\frac{\sin(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta)}{\frac{k_0 W}{2} \cos\theta} \cos(\frac{k_0 L}{2} \sin\theta \cos\phi) \sin\theta \quad (4)$$

令 θ 和 ϕ 分别等于 $\pi/2$, 可以获得 E -面和 H -面的方向性函数, 并据此可以画出这两个面的方向图。

(6) 输入导纳

把坡印廷矢量的实部对半空间积分, 可得辐射功率。当 $h \ll \lambda$ 时, 辐射功率为

$$P_r = \frac{V_0^2 I}{240\pi^2} \quad (5)$$

式中

$$I = \int_0^\pi \sin^2(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta) \operatorname{tg}^2\theta \sin\theta d\theta \quad (6)$$

辐射电阻为

$$R_r = \frac{V_0^2}{2P_r} \quad (7)$$

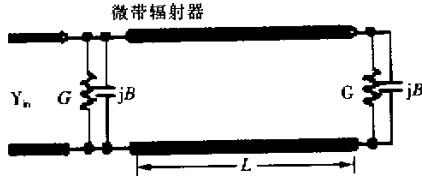


图 2 微带贴片的传输线等效模型

应用传输线模型的理论, 此模型的等效电路示于图 2, 微带元表示为传输线连接的两个导纳。应用传输线理论易得输入电抗为

$$Y_{in} = G + jB + Y_0 \frac{G + j(B + Y_0 \operatorname{tg}\beta L)}{Y_0 + j(G + jB) \operatorname{tg}\beta L} \quad (8)$$

式中, 各个参数表达式为

$$G = \frac{1}{R_r} \quad Y_0 = \frac{1}{Z_0}$$

$$B = \frac{k_0 \Delta l \sqrt{\epsilon_r}}{Z_0} \quad \beta = \frac{2\pi \sqrt{\epsilon_r}}{\lambda_0}$$

谐振时, 式(8)中虚部为 0, 微带贴片单元的输入导纳为

$$Y_{in} = 2G \quad (9)$$

(7) 方向性系数增益和半功率波束宽度

天线的方向性系数定义为主波束中的最大功率密度与平均辐射功率密度之比。按定义计算, 可应用于任何天线阵。若已经求出天线阵的归一化总方向性函数, 代入式(10)即可算出方向性系数

$$D = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi F^2(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi} \quad (10)$$

万方数据

有效增益定义为

$$G_e = \eta D \quad (11)$$

式中, η 为天线效率。

在具体的应用中往往对天线的波束宽度提出要求。所谓半功率波束宽度是指增益减小 3 dB 或辐射场强减小到最大值的 0.707 时两方向之间的度数, 对于单元天线可用式(12)计算

$$\theta_{BH} = 2\arccos\left(\frac{1}{2(1 + k_0 W/2)}\right)^{1/2}$$

$$\theta_{BE} = 2\arccos\left(\frac{7.03}{3k_0^2 L^2 + k_0^2 h^2}\right)^{1/2} \quad (12)$$

式中, θ_{BH} 、 θ_{BE} 分别为 H -面和 E -面半功率波束宽度。对于天线阵, 可由方向性函数下降到最大值的 0.707 而获得。

2 微带阵列天线

虽然用一个微带元往往就能得到所要求的天线特性。然而同一般微波天线一样, 要得到高增益, 波束扫描, 或波束控制等特性, 只有将离散的辐射元组成阵列才有可能, 同一阵列中的辐射元可以相同, 也可不同。在空间排成线阵、面阵、或立体阵。线阵是由位于一条直线上并隔一定距离的若干辐射元所构成。

由图 3 的坐标关系可得水平极化的四元线阵的方向性函数为

$$F_4(\theta, \phi) = F(\theta, \phi) \frac{\sin(2k_0 d \sin\theta \cos\phi)}{4\sin(0.5k_0 d \sin\theta \cos\phi)} \quad (13)$$

式中, $F(\theta, \phi)$ 为矩形微带贴片单元的方向性函数; d 为贴片单元中心间距。

根据设计要求的方向图所需, 考虑到单元间的互耦影响, 本设计中选用 130.7 mm。

水平极化的四元阵的 E -面 ($\theta=90^\circ$) 方向函数为

$$F(\phi) = \frac{\sin(\frac{k_0 h}{2} \cos\phi)}{\frac{k_0 h}{2} \cos\phi} \cdot$$

$$\cos(\frac{k_0 L}{2} \cos\phi) \frac{\sin(2k_0 d \cos\phi)}{4\sin(0.5k_0 d \cos\phi)} \quad (14)$$

四元阵的 H -面 ($\phi=90^\circ$) 方向函数

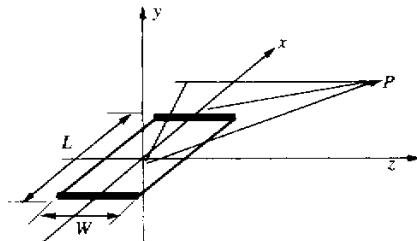
$$F(\theta) = \frac{\sin(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta)}{\frac{k_0 W}{2} \cos\theta} \sin\theta \quad (15)$$

由以上各方向性函数的表达式可以画出天线的方向图, 如图 3 所示。

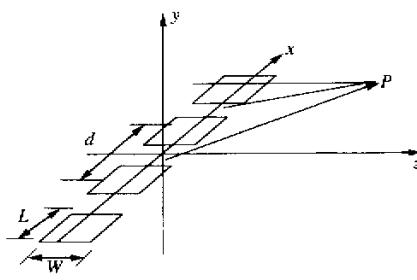
采用 $\epsilon_r=2.55$ 、厚度 $h=5$ mm 的聚四氟乙烯/玻璃叠层布材料作为天线基板, 微带天线的尺寸如图 4 所示, 单位为 mm。

四元阵天线中间用半波长的高阻抗线相连, 输出

阻抗约为 $87.4\Omega - j0.7\Omega$, 所以加一段四分之一波长的阻抗变换器再与同轴线相连, 以达到阻抗匹配。馈电点选在中间位置, 而不是像大多数参考资料上所介绍的在一端馈电, 这样作的好处是可以减小误差, 有利于展宽频带。



(a) 单元天线辐射场空间关系坐标



(b) 四元阵天线辐射场空间关系坐标

图 3 空间关系坐标

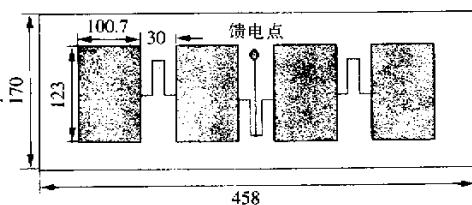


图 4 四单元水平极化天线阵

3 天线罩和天线底座的设计

天线罩主要用来保护装设在天线罩内的天馈系统

表 1 天线驻波及反射损耗测试结果

f/MHz	870	880	890	900	910	915	920	925	930	935	940
ρ	2.19	1.6	1.22	1.39	1.26	1.19	1.14	1.27	1.39	1.68	1.91
$ \Gamma ^2/\text{dB}$	-8.56	-12.74	-20.08	-15.75	-18.78	-21.23	-23.69	-18.49	-15.75	-11.91	-10.10

4.3 增益测试

天线的增益是天线的一个主要指标。天线增益的测试有多种方法。我们先用其中一种易于实现的方法, 即用比较法来测量天线的增益, 测试原理参见文献[13]。标准天线选用 Amtech 公司的振子阵天线, 该天

以及一部分收发设备, 使其免受恶劣环境之害。天线罩应满足对天线-天线罩综合体的电气指标、机械结构强度、抗气候影响、使用寿命以及工业制造成本等各种复杂的相互矛盾的要求^[12]。本系统天线工作于室外恶劣的环境中, 要有经受得住环境考验的强度、抗腐蚀能力和良好的密封性, 并且要求安装方便。据此, 天线罩采用玻璃钢制作, 它是非金属透波材料, 对天线的辐射性能影响不大; 天线底座采用铝合金材料, 主要考虑强度和抗腐蚀性。

4 天线指标的测试

天线性能指标的测试主要是对天线频带、驻波、方向图及增益进行测试, 均在标准室温条件下进行。

4.1 天线驻波测量

天线驻波是表征天线辐射能的一个指标, 所测天线为四单元线极化阵, 极化方向垂直于火车运行方向。采用的仪器为 WILTRON 公司的 6409 标量网络分析仪。

测试结果见表 1, 在 900~930 MHz 频带内天线驻波 $\rho < 1.4$, 反射功率小于 3%, 即小于 -17.75dB 。

4.2 天线方向图测试

天线方向图测试包括天线的 E-面方向图和 H-面方向图测试, 所测天线为四单元天线阵。系统组成框图如图 5 所示, 方向图测量中功率信号源是一个基本条件, 即必须有足够的发射功率, 在被测天线接收端要有准确的读数, 同时还应减小周围环境及人体的干扰, 天线测量是在微波暗室内进行的。H-面方向图测试结果图 6(a)所示, 理论值与试验值吻合较好; E-面方向图测试结果如图 6(b)所示, 主瓣理论值与试验值吻合较好, 旁瓣电平理论与试验值有一定误差, 主要是因为单元间相位误差引起的, 改进单元间相位可改善旁瓣电平。

线增益为 9.5 dB 。

从测试结果可见, 被测天线的 E-面测试增益为 10.8 dB , H-面测试增益为 9.1 dB , 误差主要是环境因素的影响, 取最小值计算, 被测天线的增益大于 9.0 dB 。

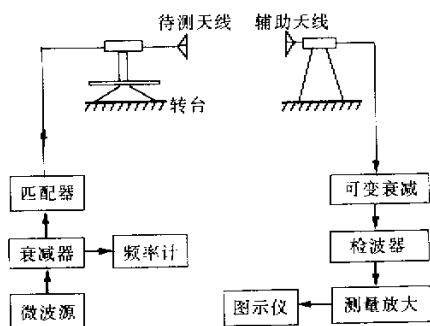
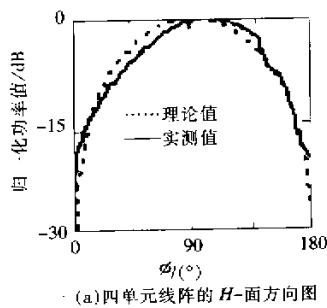
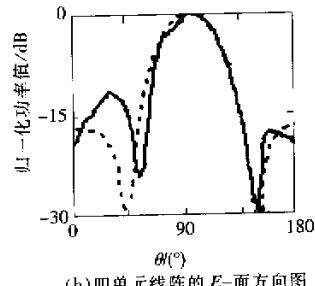


图5 天线方向图测试系统



(a) 四单元线阵的H-面方向图



(b) 四单元线阵的E-面方向图

图6 天线方向图的理论计算与测量结果比较

5 结论

本文提出了地面收发天线的设计方法，并且作了大量的实验测试。实验结果符合预定指标，性能良好。在与系统其它部件联机调试时，能够完成识别任务，有效工作距离可达 10 m。已完成的这套识别系统已经通过了合作单位哈尔滨铁路科研所的技术验收及现场应用。

本文所研究的射频识别系统，虽然可以满足工程需要，但如果选用介电常数小的敷铜板或在敷铜板上

镀金或镀银可进一步提高电路性能指标。

参考文献：

- [1] Alfred R Koelle, Jeremy A. Landt. System for Identifying Particular Objects [J]. Microwave Journal, 1988, 31(7): 426—433.
- [2] 云振新. 射频识别技术的发展与应用 [J]. 新技术, 1996, (1): 17—19.
- [3] Joseph M Sussman. Intelligent Vehicle Highway Systems: Challenge For Future [A]. In: Vehicle Navigation & Information Systems Conference Proceedings [C]. 1993. 101—104.
- [4] Daniel J Reitz. Automatic Vehicle Identification Technology and Applications [A]. In: IEEE 1985 35th Vehicle Technology Conference [C]. 1985. 285—291.
- [5] Sakuragi J, Kimura Y, Kameda K. Microwave Automatic Vehicle Identification (AVI) System [A]. In: Proceedings of 29th IEEE Vehicle Technology Conference [C]. 1979. 72—78.
- [6] Alfred R Koelle. Advances in Practical Implementation of AVI Systems [A]. In: Vehicle Navigation & Information Systems Conference Proceedings [C]. 1992. 969—975.
- [7] Verma A K, Nasimuddin. Resonance frequency and bandwidth of rectangular microstrip antenna on thick substrate [J]. Microwave and Wireless Components Letters, IEEE, 2002, 12(2): 60—62.
- [8] Jeong Phill Kim, Wee Sang Park. Analysis and network modeling of an aperture-coupled microstrip patch antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2001, 49(6): 849—854.
- [9] Paulson M, Kundukulam S O, Aanandan C K, Mohanan P. Resonance frequencies of compact microstrip antenna [J]. Electronics Letters, 2001, 37(19): 1151—1153.
- [10] Yi-hsin Pang, Ruey-beei Wu. Analysis of microstrip antennas with finite-sized substrate [A]. In: Antennas and Propagation Society. 2001 IEEE International Sym. [C]. 2001. 814—817.
- [11] 张钧, 刘克诚, 张贤铎, 赫崇骏. 微带天线理论与工程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.
- [12] 杜耀惟. 天线罩电信设计方法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1993. 401.
- [13] 毛乃宏, 俱新得. 天线测量手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1987. 73—77.

(责任编辑 姚家兴)

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>