

一种悬架式双频微带天线的设计

张新好^{1,2}, 洪 韬¹, 王振荣¹, 刘媚英³

(1 北京航空航天大学 北京 100191 2 解放军 94326 部队 济南 250023

3 北京谷波技术有限公司 北京 100094)

摘 要:为满足某一特定卫星通讯系统的应用需求,提出一种带抛物面基座的悬架式双频层叠微带天线结构模型。层叠微带结构确保天线的紧凑性,外加的抛物面基座改善双频天线的低仰角性能。利用商用软件 HFSS,分析双频天线的主要参数并给出结论。仿真与实测结果表明,所提出的天线结构不仅具有良好的双频圆极化性能,而且有较高的低仰角增益。

关键词:双频天线; 悬架式; 抛物面基座; 层叠微带天线

中图分类号:TN821⁺.1

文献标识码:A

文章编号:CN11-1780(2011)02-0010-04

引 言

在某一特定卫星通信系统中,对所需天线提出了双频、圆极化、重量轻和低费用等要求。层叠微带天线因其特有的低剖面、重量轻、结构紧凑、易于制造及可同时工作于双频甚至多频的特性^[1,2],成为满足上述特定要求的最佳选择。但是层叠微带天线也有严重的缺陷,如低仰角增益低、天线轴比特性差等。如何提高双频层叠微带天线的低仰角增益、同时保持良好的轴比特性($-70^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 范围内)成为亟待解决的问题。从相关文献得知,目前用于提高微带天线增益的技术措施,归纳起来主要分为三种①加空气层悬架贴片天线^[3];②使用层叠结构^[4-6];③使用锥形基座^[7]。上述措施虽然有利于提高天线的低仰角增益,但增益的提高量是极其有限的,仍无法满足特定用户的使用需求。

本文在上述研究的基础上,提出了一种新颖的、带抛物面基座的双频圆极化层叠微带天线设计方案。仿真和暗室实测结果表明,与同类型锥形基座的双频层叠微带天线相比,该结构天线能够较好地改善低仰角性能。

1 设计与理论分析

当要求一个系统同时工作在两个或两个以上不同的频率时,使用双频或多频天线可避免一个系统配置多个天线的情况发生,同时可降低结构的复杂性^[8]。在移动卫星通信系统中,为确保系统正常工作,要求天线的收发增益不随仰角和设备位置的变化而变化,而是保持在一个恒定的增益范围。使用圆极化的通信系统能较好地抑制从地面或大型建筑物反射回来的多路径干扰信号,且圆极化工作体制还能降低发射天线与接收天线间的特殊极化要求^[9]。因此,圆极化天线技术已广泛地运用于卫星通信系统中。

本文设计的双频微带贴片天线,以 L 波段($1615\text{MHz} \pm 5\text{MHz}$)、S 波段($2492\text{MHz} \pm 15\text{MHz}$)的驻波比(VSWR 小于 1.5),右旋(左旋)圆极化为设计目标。要求天线辐射尽量接近纯圆极化,即有较低的轴比、较好的宽带特性、较高的低仰角增益等。常用的微带贴片天线主要有三角形、圆形和矩形等形式。三角形微带贴片的增益最低,圆形贴片 H 面波束宽度较窄,这二者均无法满足上述设计指标要求,因此本文选择矩形微带贴片形式。

与其它形式的微带天线相比,微带贴片天线的一个最大缺点是频带宽度较窄。展宽微带天线频带的

常用技术途径有选用厚基板、较小的介电常数 ϵ_r 和较大的损耗正切 $\tan\delta$ 等。基板 ϵ_r 减小带来的问题是将所需要的基板尺寸加大,而 $\tan\delta$ 的增加又必然使天线的效率降低,如一个 $h = 3.2\text{mm}$ 的 RF4 介质基板, $\tan\delta \approx 0.02$, 其辐射效率只有 50%。通过悬置微带贴片天线,可使天线的等效相对介电常数 ϵ_e 大幅减小,同时又能保证较高的辐射效率($\tan\delta$ 不变)^[3]。本文所述的抛物面基座结构,是在锥形基座天线研究的基础上,为改善天线低仰角性能而提出的。

一个典型的单辐射贴片微带天线和球形坐标系如图 1 所示。其结构主要包括介质基片、位于介质基片一面的辐射贴片、位于介质基片另一面的接地板和两根同轴馈电线。球形坐标系的原点位于介质基片接地板的中心, Z 轴垂直于介质基片。矩形微带贴片天线沿 X 轴方向和 Y 轴方向布置,介质基片的厚度为 h 、介电常数为 ϵ_r 、介质损耗正切为 $\tan\delta$, P_1 和 P_2 为辐射贴片的激励点。微带天线的性能由介质基片材料的 ϵ_r 、 $\tan\delta$ 和厚度 h 等参数决定。

图 2 所示为本文所提出天线的结构图。该天线由两层正方形辐射贴片构成,上层辐射贴片和下层辐射贴片分别由厚度为 h_1 、 h_2 ,介电常数为 ϵ_{r1} 、 ϵ_{r2} ,表面敷铜的介质基片加工而成,每个辐射贴片由两根同轴探针激励,激励信号由两个独立的、宽带 90° 移相功分网络通过同轴电缆提供^[10],同轴电缆的芯线通过基片加工过程中预留的孔与贴片(上贴片或下贴片)连接,同轴电缆的外导体与基片的接地板相连。上层贴片工作于 S 波段,而下层贴片工作于 L 波段。抛物面基座中间是空心的,由铜板冲压而成,其垂直剖面为双抛物线形状。基座的上表面是一个外径为 D_u 的平面, D_d 是基座的下底面直径,高度为 h_p ,两个介质基片安装在基座的上表面。单个辐射贴片的谐振频率 f_r 由下式决定^[9]

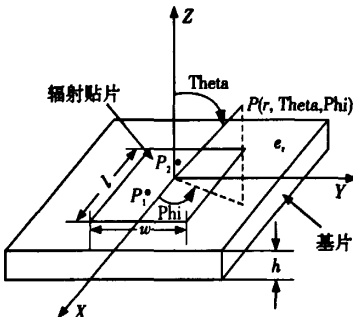


图 1 微带天线结构及坐标系

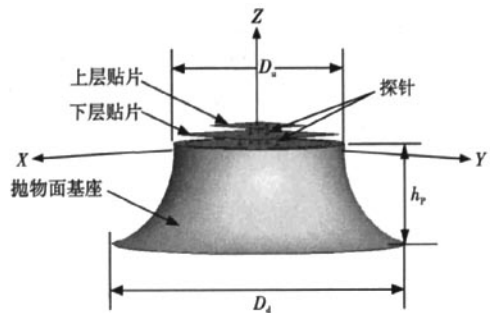


图 2 带抛物面基座的双频层叠微带天线

$$f_r = \frac{C}{2\sqrt{\epsilon_e}} \sqrt{\left(\frac{m}{l}\right)^2 + \left(\frac{n}{w}\right)^2} \quad (1)$$

式中, C 为光速, ϵ_e 为等效介电常数, l 、 w 分别为矩形贴片的长度、宽度, m 、 n 为不同时为零的整数, 取不同的值代表不同的模式, 用 $\text{TM}_{mn}(\text{TE}_{mn})$ 表示。

一般地, 矩形微带贴片天线为半波长结构。 TM_{10} 模工作时, 正方形贴片尺寸 L 可由以下近似公式计算得到

$$L = \frac{C}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} \quad (2)$$

2 仿真及测试结果

利用 HFSS 软件对带抛物面基座的双频层叠微带天线模型的参数进行了优化设计, 并与相同介质基片带锥形基底的贴片天线进行了比较分析, 给出了微带天线几个主要参数(驻波比、轴比、方向图和低仰角增益等)的优化结果。

图 3 和图 4 分别给出了文中所述双频天线相应工作频带内电压驻波比仿真、实测结果的比较。从图中可以看出, 驻波比小于 1.5 时, L 波段天线阻抗带宽不低于 12MHz, S 波段天线带宽不低于 47MHz, 抛物面基座天线与锥形基座天线的阻抗带宽及驻波比值在相应的工作频带内基本一致。

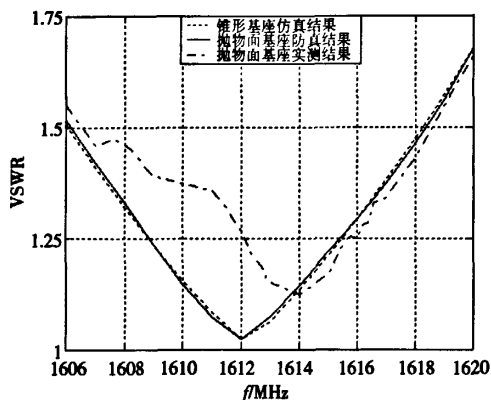


图 3 L 波段天线 VSWR 仿真与测试结果比较

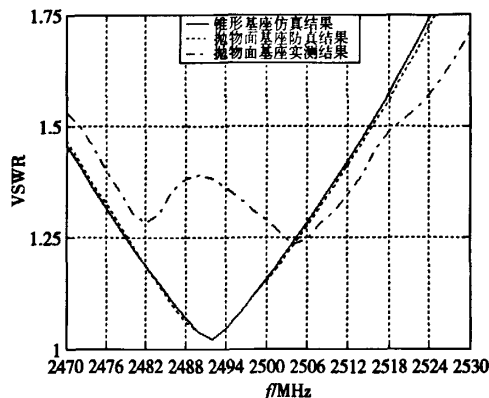


图 4 S 波段天线 VSWR 仿真与测试结果比较

图 5 给出了 L、S 波段天线工作于中心频率、 $\Phi = 180^\circ$ 时, $\Theta = -90^\circ \sim 90^\circ$ 范围内轴比值仿真结果的比较, 可以看出, 在要求的角度范围 ($-70^\circ \sim 70^\circ$) 内, S 波段抛物面基座天线的轴比特性有较为明显的改善。图 6 为 L、S 波段天线工作于中心频率, $\Theta = 70^\circ$ 时, 轴比值仿真、实测结果的比较。可以看出, 抛物面基座天线的轴比特性优于锥形基座天线, 其轴比值满足小于 6dB 的设计要求。

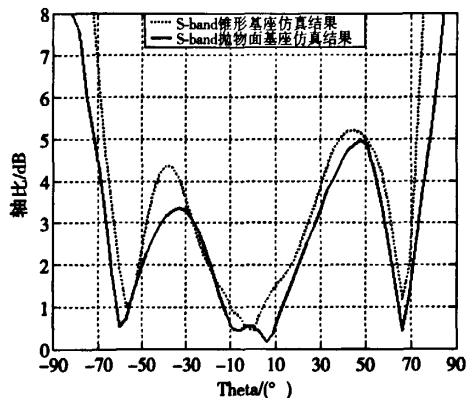
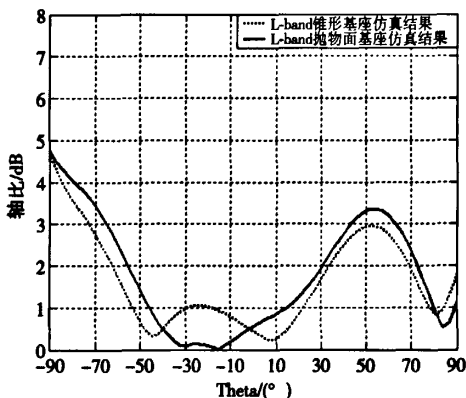


图 5 双频层叠天线轴比特性仿真结果比较

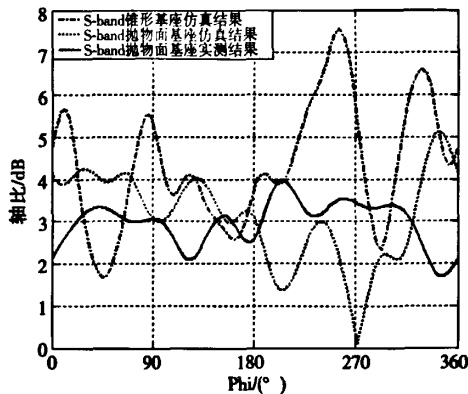
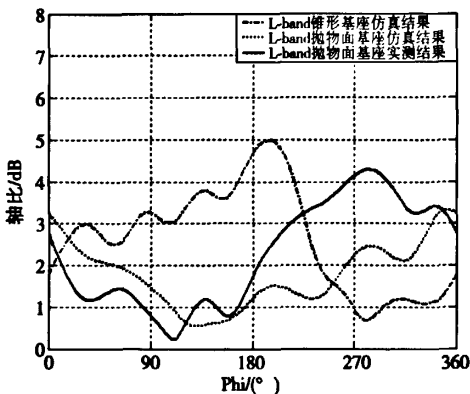


图 6 双频层叠天线轴比特性仿真、实测结果比较

L、S 波段天线 E 面方向图仿真、实测结果示于图 7, 天线均工作于中心频率。可以看出, 抛物面基座天线方向性能优于锥形基座天线, 在 L 波段, 两者的方向图形状基本一致, S 波段的方向图形状有较大区别。

图 8 给出了 L、S 波段天线工作于中心频率、 $\Theta = 70^\circ$ 时, 增益值仿真、实测结果比较, 可以看出, 抛物面基座的双频天线的低仰角增益有了明显提高, 其 S 波段天线增益几乎都在 0dB 以上。

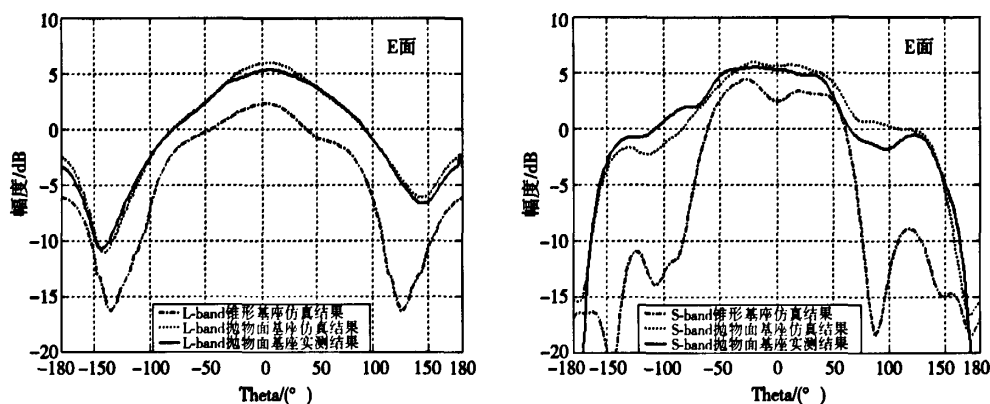


图 7 双频层叠天线 E 面方向图仿真、实测结果比较

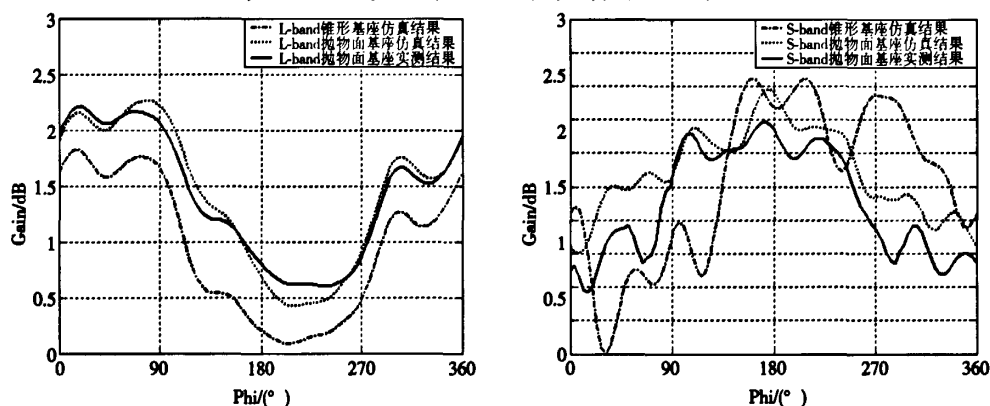


图 8 双频层叠天线增益值仿真、实测结果比较

从上述分析可以得知,与锥形基座相比,抛物面基座有助于改善双频天线,尤其是 S 波段天线的低仰角轴比、方向图特性,有效提高了双频层叠天线的低仰角增益。

3 结 论

本文提出了一种适用于特定移动卫星通信、带抛物面基座的双频层叠微带天线,仿真和暗室实测结果表明,文中所提出的天线不仅具有良好的双频圆极化性能,而且具有较高的低仰角增益。该抛物面基座结构卫星通信天线成本低、结构紧凑,适于批量生产。

参考文献

- [1] Lo Y T, Solomon D, Richards W F. Theory and Experiment on Microstrip Antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1979, 27(2): 137 ~ 145.
- [2] Ferrero F, Luxey C, Jacquemod G, et al. Dual-band Circularly Polarized Microstrip Antenna for Satellite Applications [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2005, 4: 13 ~ 15.
- [3] Gardelli R, La Cono G, Albani M. A Low-Cost Suspended Patch Antenna for WLAN Access Points and Point-to-Point Links[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2004, 3: 90 ~ 93.
- [4] Carver K R, Mink J W. Microstrip Antenna Technology[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1981, AP-29(1): 2 ~ 24.
- [5] Boccia L, Amendola G, Di Massa G. A Dual Frequency Microstrip Patch Antenna for High-precision GPS Applications [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2004, 3: 157 ~ 160.

(下转第 32 页)

功率的增加,增益逐渐下降。当输入信号功率上升至 -30 dBm 时,变频通道增益比线性工作区域的增益下降约 1dB,因此系统的输入 1dB 压缩点为 -30 dBm。变频通道在线性工作范围内的增益约为 45.2dB,两者相加,得到系统输出 1dB 压缩点约为 $+15.2$ dBm,满足设计指标要求。

4 结束语

在 L 波段多通道下变频器的仿真设计中,通过 ADS 软件建立变频通道的行为级仿真模型,对信道的关键参数进行了分析、探讨和验证。仿真结果显示,此设计满足信道的各项技术指标要求,实现了该方案的可行性验证。

参考文献

- [1] 张 斌. 最新智能天线设计与应用新技术指导手册[M]. 北京:科学技术出版社,2007.
- [2] 陈邦媛. 射频通信电路[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [3] 陈严华,李朝晖,夏 玮. ADS 应用详解——射频电路设计与仿真[M]. 北京:人民邮电出版社,2008.

Design and Simulation of Multi-Channel Down-Converter Based on ADS

Song Lijin, Hai Sen, Song Xiaoyong

Abstract: This paper focuses on the design and simulation of L band multi-channel down-converter. The simulation model is built up on the Agilent ADS software platform by the method of top-down. It is designed by the S-parameter and harmonic balanced simulation. The low noise and high dynamic range simulation results can be achieved by the optimistic method. And the feasibility of the multi-channel converter design is demonstrated.

Key words: Multi-channel; Down conversion; S-paramater; Harmonic balance

[作者简介]

宋里瑾 1978 年生,学士,工程师,从事射频微波电路的研究与设计。

海 森 1981 年生,学士,工程师,从事射频微波电路的研究与设计。

宋小勇 1981 年生,硕士,工程师,从事射频微波电路的研究与设计。

(上接第 14 页)

- [6] Waterhouse R B. Design of Probe-fed Stacked Patches[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1999, 47 (12): 1780 ~ 1784.
- [7] 刘东海,苗俊刚,赵 鑫. 一种三频圆极化层叠微带天线的设计[J]. 遥测遥控, 2008, 29(1): 27 ~ 30.
- [8] Anguera J, Puente C, Borja C, et al. Dual-Frequency Broadband-Stacked Microstrip Antenna Using a Reactive Loading and a Fractal-Shaped Radiating Edge[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2007, 6: 309 ~ 312.
- [9] James R, Hall P S, Wood C. Microstrip Antenna Theory and Design[M]. Peter Peregrinus LTD., UK, 1981.
- [10] Garg Ramesh. Microstrip Antenna Design Handbook [M]. Artech-house, USA, 2001.

Design of a Dual-band Suspended Microstrip Patch Antenna

Zhang Xinhao, Hong Tao, Wang Zhenrong, Liu Meiyong

Abstract: In order to meet the requirements of a given mobile satellite communication system, a novel dual-band suspended microstrip patch antenna configuration with parabolic pedestal is proposed in this paper. The stacked microstrip antenna structure is used to ensure the compaction, and the suspended structure is used to improve the performance of low elevation of microstrip patch antenna. The key parameters of the proposed antenna are analyzed. Both simulation and test results demonstrate that the proposed antenna not only works well at dual-band with circular polarization(CP), but also obtains higher gain at low elevation angle.

Key words: Dual-band antenna; Suspended; Parabolic pedestal; Stacked microstrip antenna

[作者简介]

张新好 1968 年生,博士生,主要研究方向为雷达装备作战运用,目标电磁散射测量、射频仿真等。

洪 韬 1974 年生,博士,讲师,主要研究方向为微波成像、射频仿真等。

王振荣 1941 年生,教授,博导,主要研究方向为微波测量系统、微波成像技术和射频仿真等。

刘媚英 1982 年生,工程师,主要研究方向为射频组件工艺设计等。

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>