

文章编号 1005-0388(2008)02-0310-05

## 一种低成本的海事卫星移动终端天线\*

付世强<sup>1☆</sup> 房少军<sup>1</sup> 吕善伟<sup>2</sup>

(1. 大连海事大学信息工程学院, 辽宁 大连 116026;

2. 北京航空航天大学电子信息工程学院, 北京 100083)

**摘要** 提出一种适用于宽带全球局域网(BGAN)地面移动终端低成本天线的设计方案。通过选用泡沫塑料和铝箔材料,采用叠层微带天线阵结构及多种展宽带宽的方法来实现天线设计,并进行了电磁仿真优化。最后对天线进行了加工试验,测试结果表明天线在整个海事卫星通信工作频带内驻波比小于1.5,增益高于14 dB,3 dB广角轴比大于21°。本文所设计的天线已成功应用于HNS9201移动终端。

**关键词** 宽带全球局域网;卫星通信;微带天线阵;右旋圆极化

**中图分类号** TN828.5

**文献标志码** A

### Low cost antenna for INMARSAT mobile ground terminal

FU Shi-qiang<sup>1</sup> FANG Shao-jun<sup>1</sup> LU Shan-wei<sup>2</sup>

(1. Information Engineering College, DaLian Maritime University, Dalian

Liaoning 116026, China; 2. College of Electronic Engineering, BUAA, Beijing 100083, China)

**Abstract** A design scheme of low cost antenna for Broadband Global Area Network (BGAN) mobile ground terminal is presented in this paper. By choosing the material of foam and aluminum foil, employing the stacked microstrip antenna array, and adopting several techniques to enhance the bandwidth, the antenna is designed and is optimized by EM simulation. The measured results from the antenna fabricated show that in the whole INMARSAT(International Maritime Satellite Organization) communication work bands, the VSWR is less than 1.5, the gain is better than 14 dB, and wide-angle axial ratio (AR) 3 dB is more than 21°. The antenna has been successfully applied to HNS 9201 terminal.

**Key words** BGAN; satellite communication; microstrip antenna array; right-hand circularly polarize

## 1 引言

BGAN<sup>[1]</sup>是宽带全球局域网(Broadband Global Area Network)的英文缩写,是国际海事卫星组织(Inmarsat)提供的第四代全球性移动卫星通信系统。它吸取、兼容了3G的通信优势,在卫星通信中结合了便携移动、宽带、网络通信的需求,成为向在全球范围任意移动的用户提供安全可靠的音视频流媒体传输、电子邮件、网络接入服务的革命性通信系

统。该系统工作在L波段,它的下行和上行频率分别对应1525~1550MHz和1626.5~1660.5MHz,天线的极化方式为右旋圆极化,增益要求不低于12 dB。为了收发共用一个天线,天线的工作频带则设计为1525~1660.5 MHz,相对带宽为8.5%。

海事卫星地面移动终端天线采用微带天线结构是一种合理的选择,这是由于微带天线具有剖面低、体积小、重量轻;很方便把馈电网络与天线结构做在一起,适合用印刷电路技术大批量生产;较易实现圆

\* 收稿日期:2007-02-20.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60771032);国家高技术研究发展计划资助项目

(2006AA12A110)

☆E-mail: fushq@newmail.dlmu.edu.cn  
万方数据

极化<sup>[2]</sup>和多频段工作等优点。然而常规的微带天线带宽较窄,一般只有2%~5%。展宽带宽的方法很多,基本方法是降低微带基板材料的相对介电常数 $\epsilon_r$ ,增大微带基板的厚度 $h$ ,从而降低谐振 $Q$ 值。其他方法还有附加寄生贴片和采用双层、多层结构<sup>[3]</sup>,电容耦合馈电技术<sup>[4]</sup>,缝隙耦合馈电技术<sup>[5]</sup>,天线阵技术<sup>[6]</sup>等。

目前海事卫星移动终端天线主要采用微波介质基板材料,并且通过和天线共面的微带功分网络对各阵元等功率馈电。由于使用微波介质材料的成本较使用泡沫材料的成本高;同时由于对各阵元等功率馈电,容易产生辐射零点,对天线波瓣指向要求较高;此外与天线辐射单元共面的功分网络寄生辐射对天线的方向性也会造成影响。为了克服以上缺点,本文从实际工程应用出发,提出了一种低成本、易加工的海事卫星移动终端天线的设计方案。

## 2 天线的设计与仿真

设计的天线采用叠层微带结构,利用低介电常数泡沫材料支撑并组成天线阵以展宽带宽和提高增益。设计的单元天线结构如图1所示。 $d_1$ 、 $d_2$ 分别

为上下层介质基板厚度, $\epsilon_{r1}$ 、 $\epsilon_{r2}$ 分别对应其相对介电常数。天线的下层导体贴片为激励单元,上层导体贴片为寄生单元。上下两层贴片均采用正方形作为辐射单元,边长分别为 $L_1$ 和 $L_2$ 。这种单元简单、易于制造,并且具有良好的正交极化辐射特性。两层贴片同心放置,高频段天线贴片放在上层,低频段天线贴片放在下层。接收天线的贴片大于发射天线的贴片,可以作为发射天线的地。这两个导体贴片形成了两个谐振回路,具有两个谐振频率。通过选择合适的介质基板、馈电位置、贴片大小和贴片间距,可以调整这两个谐振频率,使这两个频率适当接近,从而形成频带大大展宽的双峰谐振电路。采用双馈电点馈电方案产生两路幅度相等、相位相差 $90^\circ$ 信号以实现右旋圆极化。双馈电方案比较四馈电<sup>[7]</sup>方案减少了馈电功分网络圆极化器的复杂度,易于组阵,同时也降低了天线加工误差的要求。为了抑制馈电网络寄生辐射对天线方向性的干扰,功分网络部分采用带状线结构,并将边缘和馈电点附近上下封闭接地。采用六个辐射单元天线组成天线阵以提高天线增益,通过底层馈电相移功分网络对各阵元不等功率馈电,以降低副瓣电平,增大主瓣宽度,并通过天线单元旋转馈电技术<sup>[8]</sup>改善天线性能,抑制交叉极化获得较好的轴比方向性。设计的天线阵和相移功分网络示意图如图2所示。

双层微带天线阵的结构十分复杂,要得到精确的分析结果,必须用严格的全波分析法进行分析。然而在实际的工程中,往往利用一些经典公式<sup>[3,9]</sup>初步确定天线的尺寸,获得单元天线设计的起点。设激励单元和寄生单元的谐振频率分别为 $f_1$ 和 $f_2$ ,贴片形状为正方形,单元天线结构如图1所示,则有

$$\begin{cases} f_1 = \frac{c}{2(L_1 + \Delta L_1) \sqrt{\epsilon_{e1}}} \\ f_2 = \frac{c}{2(L_2 + \Delta L_2) \sqrt{\epsilon_{e2}}} \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta L_i = 0.412 d_{ei} \cdot \frac{\epsilon_{ei} + 0.3}{\epsilon_{ei} - 0.258} \cdot \frac{\frac{L_i}{d_{ei}} + 0.264}{\frac{L_i}{d_{ei}} + 0.8} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \epsilon_{ei} = \frac{\epsilon'_{ei} + 1}{2} + \frac{\epsilon'_{ei} - 1}{2} \left(1 + \frac{10 d_{ei}}{L_i}\right)^{-\frac{1}{2}} \\ \epsilon'_{e1} = \epsilon_{r1} \\ \epsilon'_{e2} = \frac{d_{e2}}{\frac{d_1}{\epsilon_{r1}} + \frac{d_2}{\epsilon_{r2}}} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} d_{e1} = d_1 \\ d_{e2} = d_1 + d_2 \end{cases} \quad (4)$$

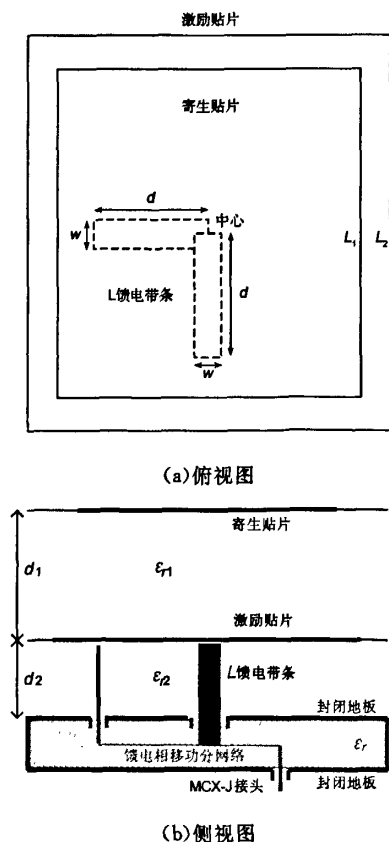
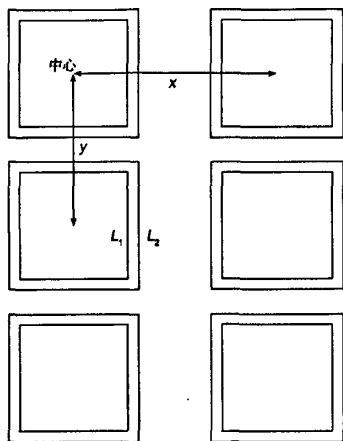
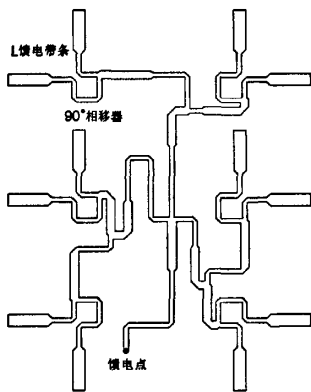


图1 单元天线结构示意图



(a) 天线阵



(b) 相移功分网图

图2 天线阵和馈电相移功分网络示意图

其中,  $c$  为自由空间中的光速,  $i=1,2$ 。

根据上述公式,选择介质基板的厚度和介电常数,便可以确定单元贴片的大小。然后利用全波分析软件 Ansoft Hfss,对天线阵进行优化仿真得到工程需要的参数要求。最终天线的设计参数如下

$$L_1=7\text{cm}, L_2=8.4\text{cm}, \epsilon_{r1}=\epsilon_{r2}=1.08$$

$$d=2.5\text{cm}, d_1=1\text{cm}, d_2=0.5\text{cm}$$

$$x=13\text{cm}, y=10\text{cm}, w=1\text{cm}$$

( $x, y$  分别代表天线阵单元横向和纵向间距)

天线阵仿真结果如图3~5所示。图3是天线回波损耗仿真结果,在整个工作频带内,回波损耗大于12 dB,最低点出现在1580 MHz,与设计的中心频率1590 MHz接近。由于设计的双峰频率接近,频带展宽后使得仿真结果呈现单峰。中心频率处的增益方向性如图4所示,天线具有较好的主瓣方向性,副瓣电平和后瓣电平很低,主要是因为采用了不等幅馈电和封闭结构的带状线馈电功分网络,天线阵增益约为15 dBi。中心频率处的广角轴比仿真结

果如图5所示,其中3 dB 广角轴比达21°以上。

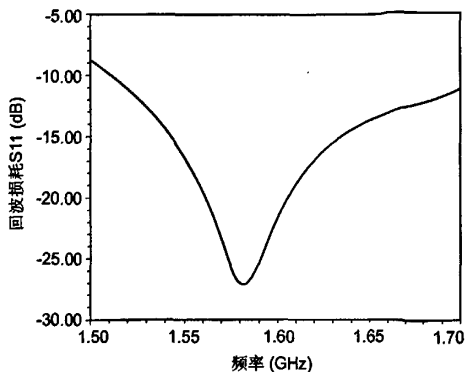


图3 天线回波损耗仿真结果

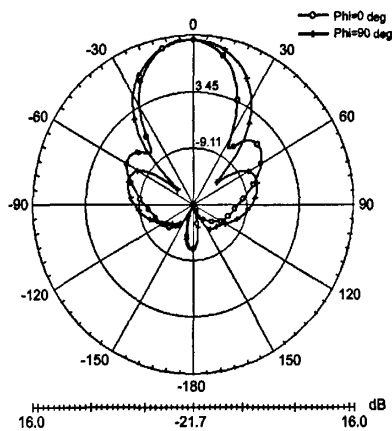


图4 天线在1590 MHz的增益方向性仿真结果

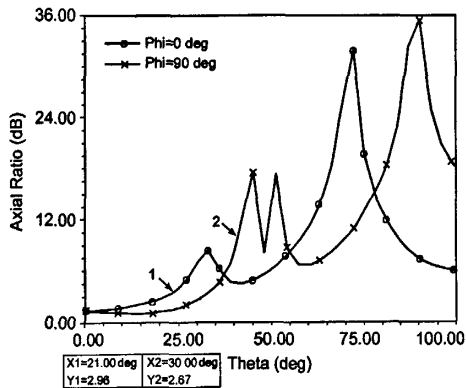
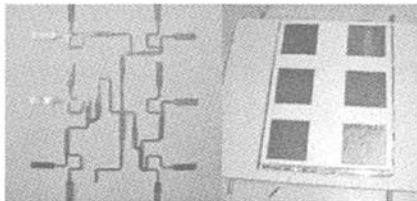


图5 天线在1590 MHz的广角轴比仿真结果

### 3 天线的加工与测试

为了验证该设计方案的有效性,对天线进行了实际的加工和测试。为了获得较宽的带宽和最佳的广角轴比,天线部分采用低介电常数 EPS 泡沫支撑,介电常数1.08,大小29×22 cm。天线辐射单元贴片采用0.1 mm厚铝箔,尺寸按照上述设计的参

数要求,上下层对齐准确的粘贴在泡沫基板上。为了降低加工的复杂性和避免馈电点的不连续性,采用微带形式 L 探针(称 L 馈电带条)近耦合馈电,并且这种馈电的阻抗带宽也是很宽的<sup>[10]</sup>。天线下层辐射贴片通过底层馈电相移功分网络伸出的 L 馈电带条进行激励。功分网络采用带状线结构,介质部分采用较轻的聚乙烯增强型发泡板,介电常数 1.3,厚度 3 mm。加工的相移功分网络如图 6(a)所示。天线输入端口采用 MCX-J 接头。最终的天线加工实物如图 6(b)所示。



(a) 馈电功分网络 (b) 加工天线实物  
图 6 天线加工实物

对加工天线的各项指标进行了实际测试。用 Anritsu 天馈线测试仪 S332D 测试的回波损耗曲线如图 7 所示。测试结果表明测试曲线与仿真曲线基本一致,并且加工天线在整个海事卫星工作频带内回波损耗大于 14 dB,即驻波比近似小于 1.5,优于仿真值。在天线工作频带内,轴比和增益的仿真和测试结果见表 1。实际中馈电网络提供的幅度、相

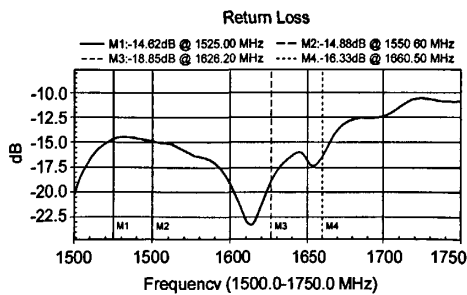


图 7 天线回波损耗测试结果

表 1 天线轴比、增益的仿真测试结果

频率 (MHz)	轴向轴比(dB)		轴向增益(dB)	
	仿真 结果	测试 结果	仿真 结果	测试 结果
1525	1.64	1.8	14.53	14
1550	1.54	1.7	14.75	14.1
1626.5	1.26	1.2	15.22	14.4
1660.5	1.18	1.3	15.33	14.5

位精度在一定程度上制约了轴比,但实际测试结果还是较好的符合理论仿真值。最后试验将该天线接到 HNS9201 移动终端,结果设备工作良好,电话和上网均取得了满意的效果。

4 结论

设计了一种应用于 BGAN 通信系统下的地面移动终端天线。天线在整个海事卫星通信工作频带内有较好的特性,驻波比小于 1.5,增益高于 14dB,3dB 广角轴比达 21°,测试值与计算值具有较好的一致性。设计的天线已成功地应用于 HNS9201 移动终端,验证了该设计方案的可行性。该天线具有成本低廉,加工简单,适合大批量生产制作等优点,为海事卫星通信地面移动终端提供了一种实用的收发天线。

参考文献

[1] Inmarsat Broadband Global Area Network (BGAN) System Description Manual[M]. Revision 2.1.0, February 2003.

[2] 薛睿峰,钟顺时.微带天线圆极化技术概述与进展[J].电波科学学报,2002,17(4):331-336.

Xue R F, Zhong S S. Survey and progress in circular polarization technology of microstrip antennas[J]. Chinese Journal of Radio Science,2002,17(4): 331-336.

[3] Zhang-Fa Liu, Pang-shyan Kooi, Le-wei Li, et al.. A method for designing broad-band microstrip antennas in multilayered planar structures[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 1999, 47(9):1416-1420.

[4] Kin-Lu Wong and Tzung-Wern Chiou. Broad-band single-patch circularly polarized microstrip antenna with dual capacitively coupled feeds[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation 2001,49(1):41-44.

[5] Stephen, David. Design of wideband circularly polarized aperture-coupled microstrip antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1993,41(2):214-220.

[6] L E Garcia-Castillo, J Grajal de la Fuente, G G Gentili, et al.. Receiving stacked patch array antenna for satellite mobile communications in L-band[C]. IEEE Electrotechnical Conference, 1996:1389-1392.

[7] 胡明春,杜小辉,李建新.宽带宽角圆极化微带贴片天线设计[J].电波科学学报,2001,16(4):441-446.

Hu M C, Du X H, Li J X. Design of broad-band and wide-angle circularly polarized microstrip patch antennas [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2001,

16(4):441-446.

- [8] Jazi, M N Azarmanesh, M N Design and implementation of circularly polarised microstrip antenna array using a new serial feed sequentially rotated technique[C]. IEE Proceedings Microwaves, Antennas and Propagation, 2006, 153: 133-140.
- [9] 董玉良, 田步宇, 纪奕才. 宽频带双层微带天线研究[J]. 微波学报, 2002, 18(1): 43-45.
- [10] C L Mak, K M Luk, K F Lee, *et al.*. Experimental study of a microstrip patch antenna with an L-shaped probe [J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2000, 48 (5): 777-782.



付世强 (1981—), 男, 山东人, 博士生, 主要从事卫星通信和卫星定位移动终端天线研究。



房少军 (1957—), 男, 山东人, 博士生导师, 从事电磁场与微波技术、微波通信和天线的教学与科研, 在国内外发表论文 60 余篇, 出版著作教材 6 部, 目前主要研究方向为微波技术与天线等。

(上接第 295 页)

- [6] J M Song and W C Chew. Multilevel fast-multipole algorithm for solving combined field integral equations of electromagnetic scattering [J]. Microwave Opt. Technol. Lett., 1995, 10(1): 14-19.
- [7] P Zwamborn, P M van der Berg. The three-dimensional weak form of the conjugate gradient FFT method for solving scattering problems[J]. IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., 1992, 40(9): 1757-1766.
- [8] G Zhang, L Tsang, and K Pak. Angular correlation function and scattering coefficient of electromagnetic waves scattered by a buried object under a two-dimensional rough surface [J]. J. Opt. Soc. Am. A., 1998, 15(12): 2995-3002.
- [9] L Tsang, D Chen, P Xu, *et al.*. Wave scattering with the UV multilevel partitioning method: 1. Two-dimensional problem of perfect electric conductor surface scattering[J]. Radio Science, 2004, 39, RS5010.
- [10] L Tsang, Q Li, P Xu, *et al.*. Wave scattering with the UV multilevel partitioning method: 2. Three-dimensional problem of nonpenetrable surface scattering [J]. Radio Science, 2004, 39, RS5011.
- [11] 华夷和, 徐金平, 牛臻弋. FAFFA 加速的 PO-MM 研究复杂金属载体上线天线电磁特性[J]. 电子学报, 2003, 31(12A): 2045-2049.
- [12] H T Chen, J X Luo and G Q Zhu. Using UV technique to accelerate the MM-PO method for three-dimensional radiation and scattering problem[J]. Microwave Opt. Technol. Lett., 2006, 48(8): 1615-1618.

- [13] S M Rao, D R Wilton and A W. Glisson electromagnetic scattering by surface of arbitrary shape [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat., 1982, 30(3): 409-418.



陈海涛 (1979—), 男, 湖北人, 工程师, 现为武汉大学电子信息学院博士生, 主要从事电磁理论与天线技术的研究。



罗建新 (1965—), 男, 湖北人, 研究员, 中船重工集团第 722 研究所副总工程师, 主要从事舰船天线理论与工程研究工作。



朱国强 (1959—), 男, 湖北人, 博士, 武汉大学电子信息学院教授, 博士生导师, 主要从事电磁场理论与天线、复杂目标散射特性等领域研究工作。

## 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](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>