

【本文信息】陈伟,郝宏刚,景小荣,等.单极化线形智能天线阵小型化技术研究[J].电视技术,2012,36(3).

单极化线形智能天线阵小型化技术研究

陈伟^{1,2},郝宏刚¹,景小荣^{2,3},张祖凡²,卢化晓¹

(1. 重庆邮电大学 光电工程学院,重庆 400065;2. 重庆邮电大学 移动通信技术重点实验室,重庆 400065;
3. 中国电子科技集团公司第54研究所 通信网信息传输与分发技术重点实验室,河北 石家庄 050081)

【摘要】智能天线可以显著地提高移动通信系统的整体性能,然而,受施工、选址及环保等因素的限制,基站端智能天线采用小型化设计已成为一种趋势。设计了一款8单元(8通道)单极化线形智能天线阵。借助仿真软件,分析了单元间距对天线阵性能及小型化的影响。研究结果表明,在满足设计指标的前提下,单元间距为45 mm的紧凑型等间距线形智能天线阵的增益下降3 dB,半功率主瓣宽度增加了9°,横向电尺寸减少31.11%。采用非等间距可以使智能天线阵的第一副瓣电平降低5~7 dB,横向电尺寸减少9.18%~20%。

【关键词】单极化;线形;智能天线阵;小型化

【中图分类号】TN821+.91

【文献标识码】A

Study of Single-Polarization Linear Smart Antenna Array Miniaturization Technology

CHEN Wei^{1,2}, HAO Honggang¹, JING Xiaorong¹, ZHANG Zufan², LU Huaxiao¹

(1. College of Electronic Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;
2. Key Lab of Mobile Communication Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;
3. Science and Technology of Information Transmission and Dissemination in Communication Networks Laboratory,
the 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang 050081, China)

【Abstract】The smart antenna can dramatically improve mobile communication system performance. However, by the limited of construction, location, environmental protection and so on, the smart antenna which is used in base station adopting miniaturized design has become a trendence. In this article, a 8 units (8 channels) linear smart antenna array is designed by using simulation software, and analysis of the antenna array's performance and miniaturization which influenced by unit spacing. The results of the study show that, on the premise of meet the design indexes, the gain of compact equal spacing linear smart antenna array which unit spacing is 45 mm decline 3 dB, half power beam width of main lobe increase 9°, but horizontal electric sizes cut 31.11%; the first side lobe of antenna array can be reduced 3~7 dB by using of unequal spacing, and horizontal electric size decreases 9.18%~20%.

【Key words】single-polarization; linear; smart antenna array; miniaturization

智能天线的概念于20世纪80年代末90年代初提出,来源于阵列天线中的自适应天线理论,利用阵列信号处理技术和相控阵原理,产生高增益的窄波束,使天线的主波束对准期望信号方向,低增益的副瓣甚至零陷对准干扰信号方向,从而达到提高信号干扰噪声比、提高系统的频谱复用率和增加系统容量的目的。智能天线技术可以为通信系统的性能和容量带来较大的改善。因此,3G标准均引入了智能天线技术,尤其是中国提出的3G标准TD-SCDMA更将智能天线技术作为其核心技术,并且在TD-SCDMA系统中采用智能天线技术更具实现优势^[1]。目前智能天线不仅应用于移动通信网络,且在数字电视中也得到了广泛应用,并为提高数字电视尤其是车载数字电视的信号接收稳定度开辟了蹊径^[2]。

智能天线为了产生高增益的窄波束,必须采用由多

个天线单元组成天线阵的形式。这就意味着1个单元间距为 0.5λ (λ 为2 GHz所对应自由空间波长, $0.5\lambda=75\text{ mm}$)的8单元TD-SCDMA线形智能天线阵,其横向电尺寸大约在675 mm左右^[3-4]。智能天线阵较大的横向电尺寸给网络建设和工程施工带来了诸多问题,因此小型化是智能天线今后发展的主要趋势^[5]。目前,智能天线小型化技术方案主要有3种^[6],分别是减少天线阵单元数、紧凑型智能天线和双极化智能天线。3种方案都是力求在不降低网络性能的同时尽量减小智能天线的横向电尺寸。其中,紧凑型智能天线阵是通过调整天线单元间的距离,降低天线阵的横向电尺寸,该方法简单,容易实现。本文根据文献[6]提出的智能天线小型化技术方案,对单元间距为45 mm的紧凑型智能天线阵进行设计和分析。同时,对天线阵单元非等间距排布的几种方案的性能进行分析,

基金项目:中国电子科技集团公司第54研究所通信网信息传输与分发技术重点实验室开放课题(ITD-U10005);重庆市科技攻关项目(CSTS,2010AC2143);重庆市教委科研项目(KJ110526)

着重研究在实现天线阵的横向电尺寸减小的情况下,天线阵的总体性能的变化,为智能天线阵的小型化提供理论依据。

为了进一步考察阵元间距对智能天线阵列性能的影响,该方案利用仿真软件分别对紧凑型等间距、非等间距线形智能天线阵的性能进行了对比,其研究结论对于推进智能天线阵小型化设计的工程应用具有一定的参考价值。

1 基本原理

智能天线源于阵列天线中的自适应天线,它通过调节各单元信号的加权矢量来改变方向图形状,使主波束对准期望信号方向,零陷或副瓣对准干扰信号方向。一种线形智能天线阵结构如图1所示。

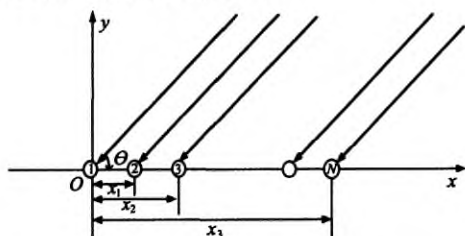


图1 线形智能天线阵结构

假设由 N 个相似元组成线形阵,第 n 个单元沿 x 轴位于 x_n ,天线阵的方向图函数可表示为

$$f(\theta, \varphi) = F_e(\theta, \varphi) \sum_{n=0}^{N-1} I_n e^{jkx_n \cos \theta} \quad (1)$$

式中: $F_e(\theta, \varphi)$ 为第 n 个单元的方向图。

$$f_a(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} I_n e^{jkx_n \cos \theta} \quad (2)$$

式(2)为阵因子, I_n 为第 n 个单元激励电流。若天线阵为等间距均匀激励,单元间距为 d ,电流相位线性渐变,且相邻两个单元的相位差为一个固定值 ϑ ,则激励电流可表示为

$$I_n = e^{jn\vartheta} \quad (3)$$

阵因子可表示为

$$f_a(\varphi) = \sum_{n=0}^{N-1} e^{jn\varphi}, \varphi = jn(k \cos \theta + \vartheta) \quad (4)$$

因此可得出天线阵的半功率波瓣宽度为

$$\theta = \left| \arccos \left[\frac{1}{kd} \left(-\vartheta - \frac{2.87}{N} \right) \right] - \arccos \left[\frac{1}{kd} \left(-\vartheta + \frac{2.87}{N} \right) \right] \right| \quad (5)$$

由式(5)可知,半功率波瓣宽度随单元间距的减小而增大。当天线阵采用非等间距线阵列结构时,依据参考文献[7]可知,通过调整单元的激励幅度可降低副瓣电平,当激励幅度自中心向两端锥削时,可使副瓣降低,其代价是主瓣宽度展宽。因此,非等间距线形阵可等效为单元激励幅度锥削的等间距线形阵,当两者的口径尺寸相同时,

可获得相似的方向图。考虑到该研究的重点是横向电尺寸缩小后天线阵的性能的变化,根据实际情况,本文研究的非等间距线形阵的最大间距为 0.5λ 。

2 紧缩型线形智能天线阵的设计

笔者对单极化智能天线阵进行了设计和研究,假设天线阵由8个单元(8通道)线形排布组成,每个单元由8个空气耦合阵子并联组成,每个单元的工作频段满足TD频段要求。

2.1 半波对称振子和智能天线阵单元的设计

设计对称振子结构如图2所示,天线采用厚度为1 mm的铝板,天线采用 50Ω 的空气微带线中心耦合馈电,通过调节阵臂的长度改变天线的谐振频率,以调节阵臂的宽度和馈电片的长度来改善天线的带宽。通过HFSS10.0仿真优化,最后得出振子长70 mm,振子臂宽15 mm,馈电片宽6.45 mm,长61 mm,天线到反射板的距离为35 mm。仿真结果如图2~图4所示。当振子的工作频率为1 770~2 260 MHz时, $VSWR \leq 1.5$,相对带宽达到了24.5%,满足TD工作频段(1 880~1 920 MHz,2 010~2 025 MHz)要求,且天线在2.0 GHz时的增益达到了8 dB。

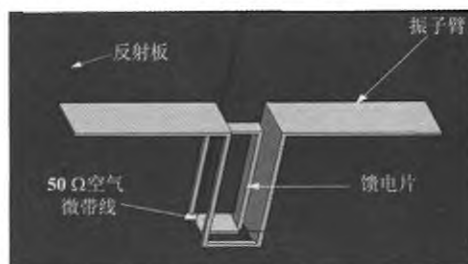


图2 振子结构示意图

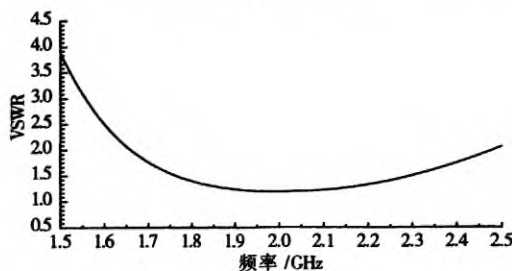


图3 驻波比

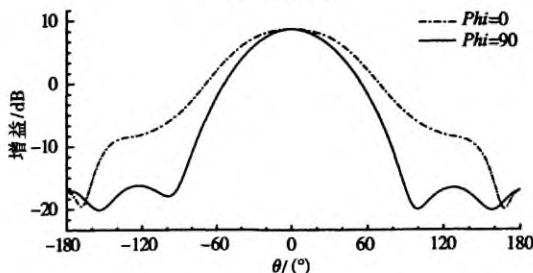


图4 2.0 GHz增益方向图

采用上述设计的 8 个振子组成 1 个智能天线阵单元,根据笔者的仿真经验,相邻的 2 个振子间隔定为 130 mm,通过 1 个微带 T 接头连接,由于 2 个相邻振子的馈电端口朝向不一致,若直接对其进行馈电,会造成馈入 2 个振子的信号反相。因此,通过控制馈线的长度,使其物理长度相差 180° 的电长度,达到对 2 个振子进行同相馈电的目的,最后通过 3 个二等功分器对 8 个振子进行等幅等相位馈电,天线阵单元结构和回波损耗如图 5~6 所示。



图 5 天线阵单元结构图

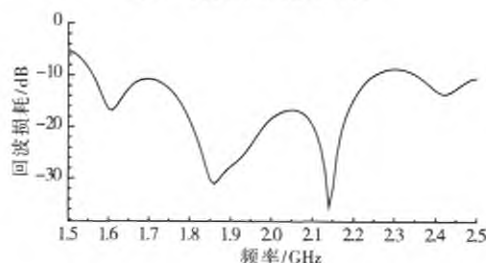


图 6 回波损耗

2.2 紧凑型等间距线形智能天线阵

为了抑制栅瓣,智能天线阵单元间距通常为 0.5λ (75 mm)。紧凑型天线阵压缩单元之间的间距,这样可以有效地减小天线阵的横向电尺寸。但由于间距缩小后单元间的互耦影响加剧,此时天线阵的方向图不但与不同方向来波在各天线单元上产生波程差相位有关,而且与各天线单元的阻抗不一致引入的幅度和相位有关^[8]。具体表现为天线单元间的互阻抗增大,导致天线阵方向性系数减小,赋形增益下降,方向图主波束展宽。如图 7 所示,当单元间距缩小为 45 mm 时,天线阵赋形的增益下降了 3 dB,半功率主瓣宽度增加了 9°,但天线阵的横向电尺寸却减少了 31%。

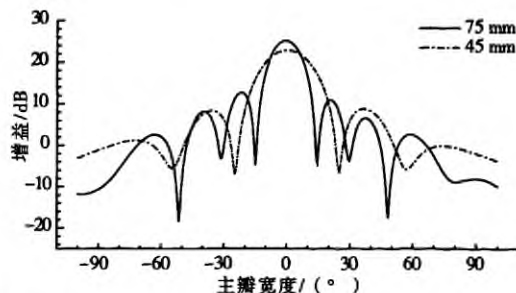


图 7 45 mm, 75 mm 等间距线形阵 xoz 面方向图比较

2.3 紧凑型非等间距线形智能天线阵

研究表明,非均匀线形阵可以明显地减小天线阵的

副瓣电平^[9]。非均匀线形阵有两种方案:一种是均匀激励非等间距线形阵;另一种是非均匀激励等间距线形阵。由于第二种方案在实际应用中需要复杂的馈电网络,为了减小智能天线系统的复杂性,本文选择第一种方案。设计了 3 种非等间距线形阵,如图 8 所示,其中(a)和(b)是基于参考文献[9],间距的递增因子分别为 0.2 和 0.1,最大间距为 0.5λ ,而(c)的排列分布可等效为相同口径的正弦幅度加权的等间距线形阵,第 n 个单元位于^[10]

$$x_n = \frac{L}{\pi} \arccos \left(1 - \frac{2n}{N-1} \right), n = 1, 2, \dots, N-1 \quad (6)$$

式中: $L=675$ mm,通过计算,第 1 个单元到第 2 个单元以及第 7 个单元到第 8 个单元的间距为 0.87λ ,这时天线阵会产生 2 个较大的副瓣;当减小到 0.5λ 时,2 个较大的副瓣消失,因此第 1 个单元到第 2 个单元以及第 7 个单元到第 8 个单元的间距取 0.5λ 。通过仿真可以得出,与间距为 75 mm 的 8 单元等间距线形阵相比,采用方案 a 天线阵最大副瓣电平减小 6 dB,半功率主瓣宽度增加 3.3°,天线横向电尺寸减少了 20%;采用 b 方案天线阵最大副瓣电平减小 5 dB,半功率主瓣宽度增加 1.4°,天线横向电尺寸减少了 9.18%;采用 c 方案天线阵最大副瓣电平减小 7 dB,半功率主瓣宽度增加 2.7°,天线横向电尺寸减少了 15.1%。如图 9 所示,副瓣电平的减小是以增加主瓣宽度为代价,且非等间距线形阵的零陷有了不同程度的上升,天线阵赋形增益下降 1.2 dB 左右。

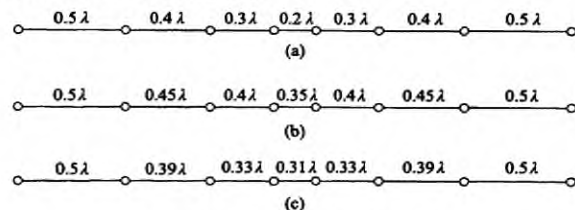


图 8 3 种非等间距线形阵结构

由上文分析可以得出,紧凑型等间距线形阵的赋形增益下降了 3 dB,半功率主瓣宽度增加了 9°,但天线阵的横向电尺寸却减少了 31%。紧凑型非等间距线形阵可以使天线阵的第一副瓣电平均降低 5~7 dB,横向电尺寸减少 9.18%~20%。

3 结语

本文首先完成了单极化线形智能天线阵的设计,研究了通过缩小单元间距来减小智能天线阵的横向电尺寸,对紧凑型等间距和非等间距线形智能天线阵进行了仿真和分析,得出智能天线阵横向电尺寸的减小是以降低天线阵性能为代价。这些结论对于实际工程应用中基站端天线类型的选址,具有一定的参考意义。由于利用 HFSS 软

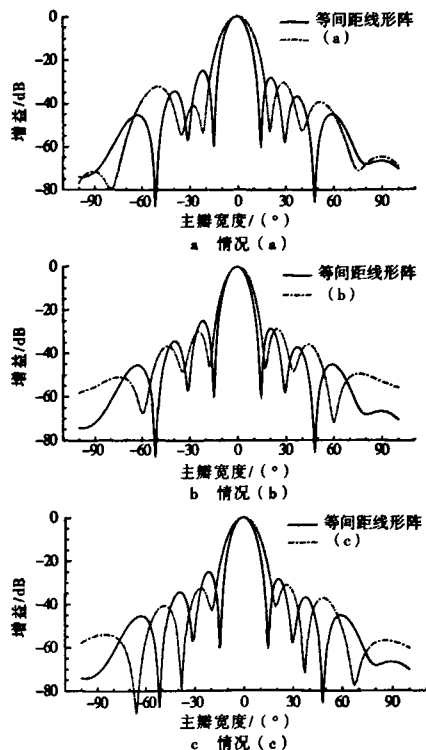


图9 等间距线形阵与非等间距线形阵 xoz 面方向图比较
件仿真大电尺寸的天线需要耗费大量的计算机资源,受硬件条件限制,无法对单元间距缩小后天线单元间的隔离度进行研究,因此今后将着重研究天线阵单元间距对单元间隔离度的影响。

(上接第86页)

4 总结

本文以 GSM 和 CDMA 系统构成的异构无线通信网络为例,提出了一种应用在无线中继基带信号处理中的信号识别算法。该算法利用了 GSM 和 CDMA 信号的频率和码率等特征参数在循环谱上的对应关系来识别时域混叠信号中存在的期望信号,从而为后续的信号处理方式提供了重要的依据。所提出的无线中继的信号识别算法的可靠性和有效性通过仿真实验得到了验证,有关的判决门限值也可以通过参考仿真中的统计数据来确定。

参考文献:

- [1] 何楚斌,许林,傅汝霖. 信号调制方式自动识别的谱相关方法[J]. 物探化探计算技术,2005(1):79-83.
- [2] 黄春琳,柳征,姜文利,等. 基于循环谱包络的扩谱直序信号的码片时宽、载频、幅度估计[J]. 电子学报,2002,30(9):1353-1356.
- [3] 朱雷,程汉文,吴乐南. 利用循环谱和参数统计的数字调制信号识别[J]. 应用科学学报,2009,27(2):31-37.

参考文献:

- [1] 蒋年专. 智能天线及其在 TD-SCDMA 中的应用[J]. 通信技术,2003(5):59-61.
- [2] 晋军,程剑,朱德生. 智能天线及其在数字电视中的应用[J]. 电视技术,2004,28(7):46-48.
- [3] BELLOFIORE S, BALANIS C, FOUFZ J, et al. Smart-antenna systems for mobile communication networks part I: Overview and antenna design [J]. IEEE Antenna's and Propagation Magazine, 2002, 44(3):145-154.
- [4] WANG Maowen, HE Yejun, ZHU Guangxi, et al. Design and simulation of dipole and cable-fed network of td-scdma smart antenna [C]// Proc. IEEE International Conference on Communications and Mobile Computing. [S. l.]: IEEE Press, 2002: 65-69.
- [5] 张斌. 突破瓶颈智能天线走向“四化”[J]. 电信技术, 2008, 11: 29-32.
- [6] 刘龙山. 智能天线小型化的发展[J]. 电信科学, 2008(2): 90-91.
- [7] 康行健. 天线原理与设计[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1993: 115-121.
- [8] 姚超军. 互耦合对小间距天线阵增益影响的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [9] TAN N, RAHIM S, ALI M, et al. Smart antenna: weight calculation and side-lobe reduction by unequal spacing technique [C]// Proc. IEEE International RF and Microwave Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2008: 441-444.
- [10] 王建. 列阵天线分析与综合[EB/OL]. [2011-04-25]. <http://www.docin.com/p-40023172.html>.

作者简介:

陈伟(1986-), 硕士生, 研究方向为天线与电波传播。

责任编辑: 时 雯

收稿日期: 2011-05-23

- [4] 孟玲玲, 李静. 基于循环谱相关方法的 MFSK 信号识别[J]. 无线电通信技术, 2010, 36(1): 26-29.
- [5] KYOUWOONG K, AKBAR I A, BAE K K, et al. Cyclostationary approaches to signal detection and classification in cognitive radio [C]// Proc. 2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks. Dublin: IEEE Press, 2007: 212-215.
- [6] GARDNER W A. Measurement of spectral correlation, acoustics [J]. IEEE Transactions on Speech and Signal Processing, 1986, 34(5): 1111-1123.
- [7] 刘祥震. 认知无线电频谱感知技术研究[D]. 上海: 上海大学, 2009.
- [8] 李建东, 郭梯云. 移动通信[M]. 4版. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007.
- [9] GARDNER W. Spectral Correlation of Modulated Signals: Part I—Analog Modulation [J]. IEEE Transactions on Communications, 1987, 35(6): 584-594.
- [10] GARDNER W, BROWN W, CHEN C. Spectral correlation of modulated signals: part II—digital modulation [J]. IEEE Transactions on Communications, 1987, 35(6): 595-601.

责任编辑: 杨 岩

收稿日期: 2011-06-09

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>