

Design Feed Network for Multi-Mode Broadband Microstrip Antenna of Navigation Terminal

Pingchuan Zhang*, Hongxing Sun, Sijie Wang, Jiayi Zhu, Peixin Qu

School of Information Engineering, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang Henan
Email: 362764053@qq.com, *zhangpingc@hist.edu.cn

Received: Sep. 29th, 2018; accepted: Oct. 19th, 2018; published: Oct. 26th, 2018

Abstract

In order to meet the demand of improving navigation service quality through receiving signals from the four GNSS systems, a four-feed network is designed and implemented for the multi-mode broadband microstrip antenna of navigation terminal. The right-handed polarization is obtained by applying 90-degree phase difference and other amplitude excitation signals at the port 1 to port 4 successively, improving the purity of circular polarization, and obtaining the circular polarization bandwidth that meets the design requirements. The comprehensive simulation using Designer and HFSS software shows that the antenna has good electrical performance and radiation characteristics within the frequency range of the four navigation systems. The vertex axial ratio is less than 3 dB; the impedance bandwidth is 45%; and the gain is greater than 6 dB; and the echo loss S_{11} is less than -10 dB, which ensures the accuracy needed in multi-mode navigation.

Keywords

Satellite Navigation, Feeding Network, Multimode, Broadband, Microstrip Antenna

导航终端多模宽带微带天线馈电网络设计

张平川*, 孙红杏, 王思捷, 朱家义, 曲培新

河南科技学院信息工程学院, 河南 新乡
Email: 362764053@qq.com, *zhangpingc@hist.edu.cn

收稿日期: 2018年9月29日; 录用日期: 2018年10月19日; 发布日期: 2018年10月26日

摘要

为了满足导航终端接收四大导航系统信号提高导航服务质量的需要, 本文设计实现了适用于导航终端多

*通讯作者。

模宽带微带天线的四馈电网络，通过在四个端口port1~port4依次施加90度相位差等幅度激励信号获得右旋极化，提高了圆极化纯度，获得了符合设计要求的圆极化带宽。综合利用Designer和HFSS软件场路协同仿真表明：该天线在四个导航系统的频率范围内，具有良好的电性能和辐射特性，顶点轴比小于3 dB，阻抗带宽为45%，增益大于6 dB，回波损耗 S_{11} 小于-10 dB，保证了多模导航中的精度需要。

关键词

卫星导航，馈电网络，多模，宽带，微带天线模板

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

馈电网络是微带天线设计中的关键点之一，尤其是四个全球卫星导航系统 GNSS (Global Navigation Satellite System)的普及应用，主要有美国的 GPS (Global Position System 全球定位系统)、欧洲的伽利略导航卫星系统(Galileo)、俄罗斯的 GLONASS (Global Navigation Satellite System 全球导航卫星系统)和我国的北斗系列(BEIDOU-1, BEIDOU-2) [1] [2] [3] [4]。由于各类导航系统采用的技术标准不同，卫星在空间的分布有限，各有优势，定位精度、可用性、可靠性也有差异，使得导航终端能接收多个卫星导航系统的服务数据成为一种需要，作为导航终端一个关键部件的天线，应具有宽带、多频段、圆极化、体积小等特点，其工作带宽需要覆盖上述导航系统工作频率[5] [6] [7]。为了使微带天线能接收四个导航系统服务信号，不同文献相继开发了多模微宽带天线，工作频段为：1163.72~1278.75 MHz、1561.098~1605.375 MHz，极化方式为右手圆极化 RHCP (Right-Hand Circular Polarization)，相对频带宽度为 33% [4]。由于微带天线固有频带窄带缺点，常制约微带天线设计。可以通过不同设计的微带元，其最大辐射方向可以从边射到端射范围内调整，且易于得到各种极化等诸多优势，结合右旋圆极化天线 RCP (Right-Hand Circular Polarization)的特点[6]-[15]。由于单馈电方案的圆极化带宽太窄，无法满足较大带宽的指标，而使用双馈电方案时，天线的调试更加容易，圆极化带宽提高较大，但是两馈电点圆极化方案天线中间辐射层采用的不是常用的板，整体制作费用比较高。因此，本文采用多模宽带微带贴片天线，为了扩大圆极化带宽和降低制作费用，设计了与之相匹配的四功分移相网络结合顺时针馈源激励方案，并可提高天线的右手圆极化纯度，更好满足导航终端多模式任务需要。

2. 多模宽带微带天线贴片设计

四大导航系统的工作频率分别为：GPS 的 1575 ± 2.046 MHz 和 1227.6 ± 2.06 MHz，GALLIO 的 1164~1215 MHz、1260~1300 MHz 和 1559~1592 MHz，BEIDOU-2 的 1268.52 ± 10.23 MHz、 1207.14 ± 10.23 MHz、 1561.098 ± 2.046 MHz、 2491.75 ± 8.25 MHz，GLONASS 的 1603.69 ± 10.7325 MHz。经归纳分析，可以将四大导航系统的工作频率划归为两个频段，即 1561.098~1605.375 MHz 和 1163.72~1278.75 MHz，且都可以采用右旋圆极化方案[4]-[16]。

矩形微带天线结构图如图 1 所示。

根据腔模理论，矩形微带天线一般工作在 TM₀₁/TM₁₀ 基模，矩形微带天线的长度宽度 W 的最大值由下述公示确定：

$$W = \frac{0.707C}{f_r} (\varepsilon_r + 1)^{-0.5} \quad (1)$$

式(1)中, C 为光速, f_r 为天线中心频率, ε_r 为相对介电常数。由于微带天线是基于磁流辐射的原理, 两个辐射缝隙间的电纳具有容性特征, 相当于传输线产生了等效延长 ΔL 。 ΔL 可以根据准静法计算得到:

$$\Delta L = 0.412 \frac{(\varepsilon_r + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\varepsilon_r - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2)$$

实际微带长度应该计算如下:

$$L = \lambda_g / 2 - \Delta L \quad (3)$$

考虑微带天线介质的特点, 介电常数 ε_r 须用等效介电常数 ε_{e1} 代替, 用保角变换法计算如下:

$$\varepsilon_{e1} = 0.5(\varepsilon_r + 1) + 0.5(\varepsilon_r - 1) \left(1 + \frac{10h}{W} \right)^{-0.5} \quad (4)$$

考虑到介质板下面的空气层的影响, 微带贴片等效复合介电常数为

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_{e1} \varepsilon_{e2} (h + hl)}{\varepsilon_{e2} h + \varepsilon_{e1} hl} \quad (5)$$

其中 $\varepsilon_e = 1$ 是空气的介电常数, $h = 5 \text{ mm}$ 。微带线中的波长为

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon_e}} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\varepsilon_e}} \quad (6)$$

对于两个工作频段 1561.098~1605.375 MHz, 1163.72~1278.75 MHz, 分别取中心频率 1605.375 MHz 和 1221 MHz, 联合公示(1)~(6)即可以得出 L 、 W 初值。

3. 馈电网络设计

多模卫星导航天线主要由天线和馈电网络组成。馈电设计不仅影响天线的性能, 也影响天线的成本,

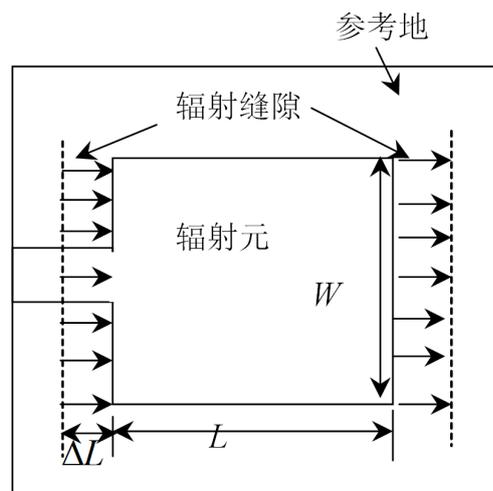


Figure 1. Structure of the rectangular microstrip patch antenna

图 1. 矩形微带贴片天线结构图

要综合考虑。目前已经研究的应用不同馈电方法的各种类型的圆极化微带天线，按照馈电点数目，微带圆极化天线可分为单馈电圆极化微带天线和双馈电圆极化微带天线，虽然多馈电圆极化天线整体制作费用比较高，但具有更宽的轴比带宽，且在极化纯度有较大的提高，能较好满足多模宽带的需要，因此为了扩大圆极化带宽和降低制作费用，在两馈电的基础上设计四馈电圆极化天线的设计方案[9] [10]。

天线四个馈电点，在空间位置和结构上对称大大提高轴比带宽、减小尺寸，相位上设计成逆时针方向依次相差 90°。在贴片表面四周对称位置上各开 1 个矩形缝隙形成一个缝隙辐射器，由此获得新的谐振频率点，大大提高了天线阻抗带宽[11] [12] [13] [14] [15]。缝隙长度和宽度分别决定频点带宽和频点位置。矩形贴片微带天线四馈电结构示意图俯视图如图 2 所示，四馈电多模微带宽带天线结构侧视图如图 3 所示。

图 2 中， $d = 25.59 \text{ mm}$ ， $l_1 = 65 \text{ mm}$ ， $l_2 = 55 \text{ mm}$ ， $l_s = 83.9 \text{ mm}$ ， $l_{\text{ground}} = 99.99 \text{ mm}$ ， $w_1 = 6.01 \text{ mm}$ ， $w_2 = 8.99 \text{ mm}$ 。

图 3 中， $h_1 = 12.01 \text{ mm}$ ， $h_2 = 9.99 \text{ mm}$ ， $h = 2.99 \text{ mm}$ ，基板大小为 $100 \times 100 \text{ mm}$ ，馈电点设置在基板背面。中间辐射层为 $65 \times 65 \text{ mm}$ ，中间层介质基片厚度 3 mm ，介电常数为 4.4，在辐射片的周围加工构成方形环状空气圈。

宽带微带多模天线四馈电网络如图 4 所示。

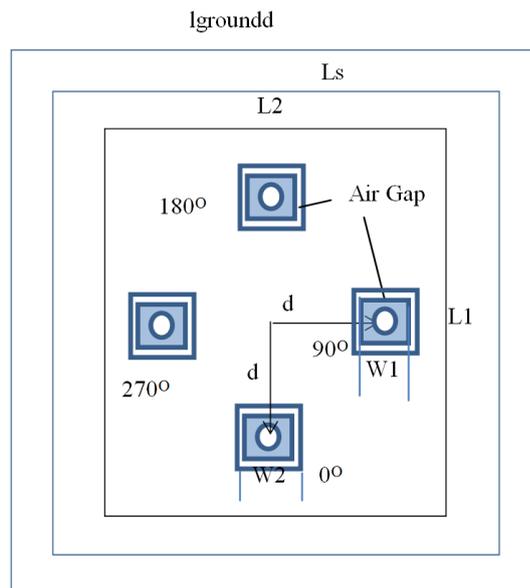


Figure 2. Birdview diagram of four-feed structure of rectangular patch

图 2. 矩形贴片四馈电结构俯视示意图

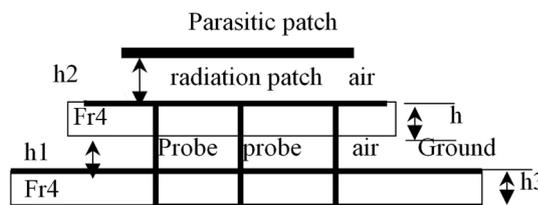


Figure 3. Lateral view of four feed of multimode microstrip broadband antenna

图 3. 四馈电多模微带宽带天线结构侧视图

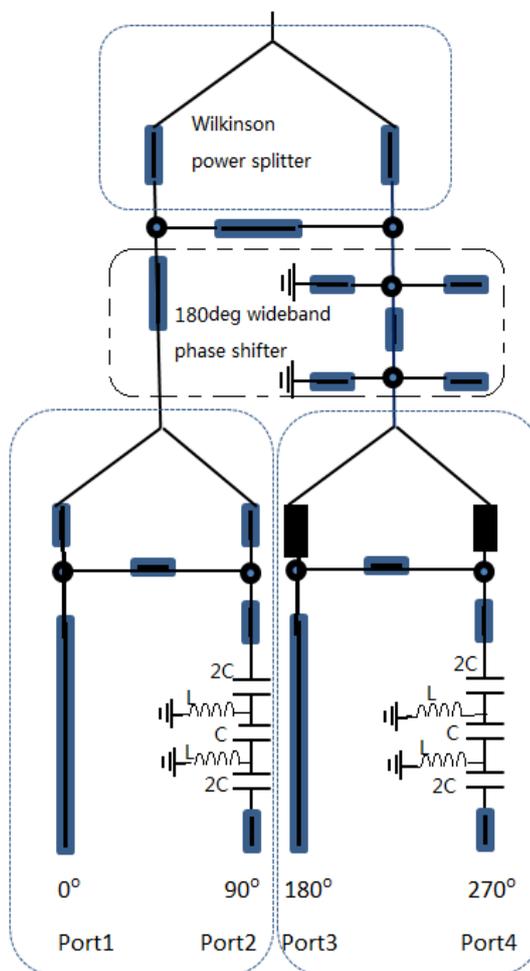


Figure 4. Phase shifter of four-feed points network
图 4. 四馈电网络移相器

图 4 中, port0 为信号输入口, 隔离电阻可以吸收不平衡产生的反射能量其大小为特征阻抗的 2 倍。

4. 仿真及结果

本文利用 Ansoft 公司的电磁仿真软件 HFSS 和 Designer 进行联合仿真。首先, 将多模宽带微带天线的馈电网络看作是一个复杂的无源器件, 并拆分成四个基本馈电单元, 每个基本单元通常都是结构简单且电尺寸小。对于这样的结构, 在 HFSS 中很容易就能得到收敛的仿真结果。第二步, 对每个基本单元在 HFSS 中建立三维模型进行电磁场仿真和参数化扫描。通过参数化扫描可以为后面的自动优化设计提供基本数据。此时, 能够充分利用场仿真的高精度为后续提供高精度的基础数据源。第三步, 利用 HFSS 中的基本单元通过场到路的“协同仿真”链接到 Designer 电路设计原理图中。由此使得整个复杂器件的导波特性和电路仿真完成, HFSS 中的基本单元表示了电路原理图中的元件。联合仿真得到天线与馈电网络连接后天线回波损耗结果如图 5 所示。该天线在 1561 MHz 和 1268 MHz 两个工作频点的 2 个主平面轴比方向图分别见如图 6 和图 7。

由图 5 可知, 在阻抗带宽为 1163~1790 MHz 范围内, 天线 $S_{11} < -10$ dB 时, 达到了 45% 的相对带宽。

由图 5、图 6、图 7 可以看出该天线具有良好的增益覆盖和圆极化轴比特性。馈电网络的轴比损失与相位误差关系见图 8。

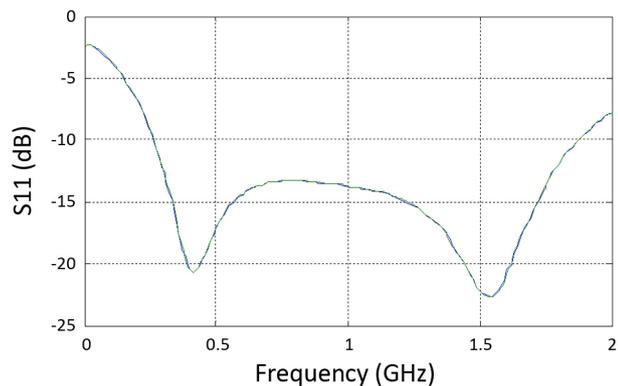


Figure 5. Simulation results of S_{11} fed by multi-mode microstrip antenna

图 5. 多模微带宽带天线馈电回波损耗 S_{11} 仿真结果

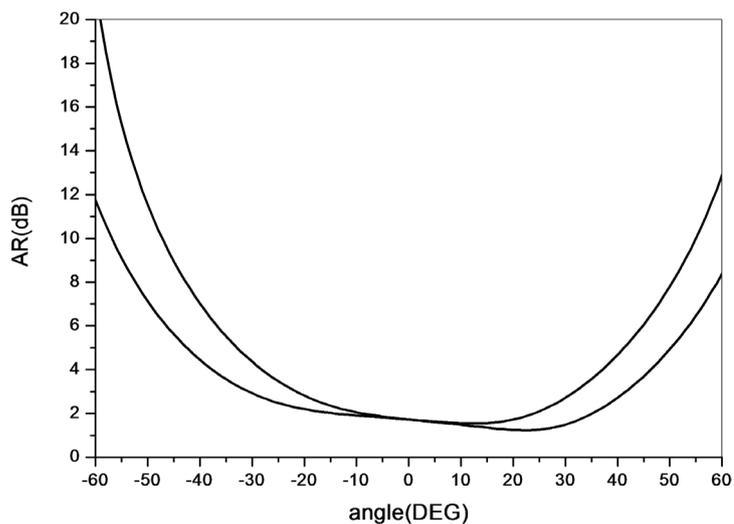


Figure 6. The axial ratio diagram of 1561 MHz

图 6. 1561 MHz 轴比方向图

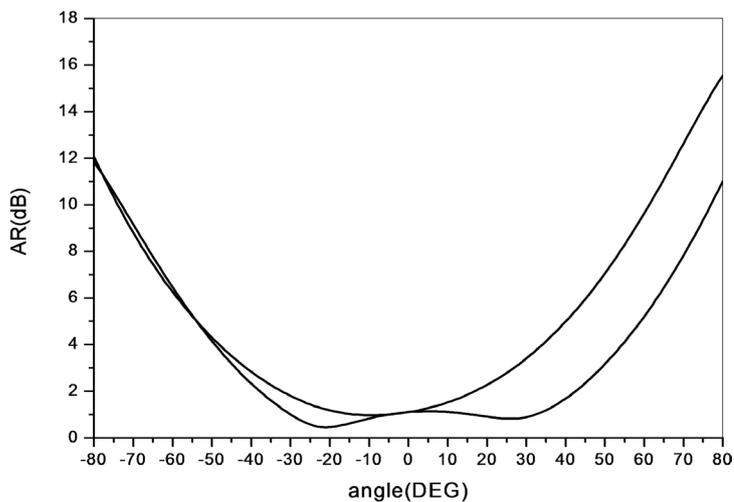


Figure 7. The axial ratio diagram of 1561 MHz

图 7. 1561 MHz 轴比方向图

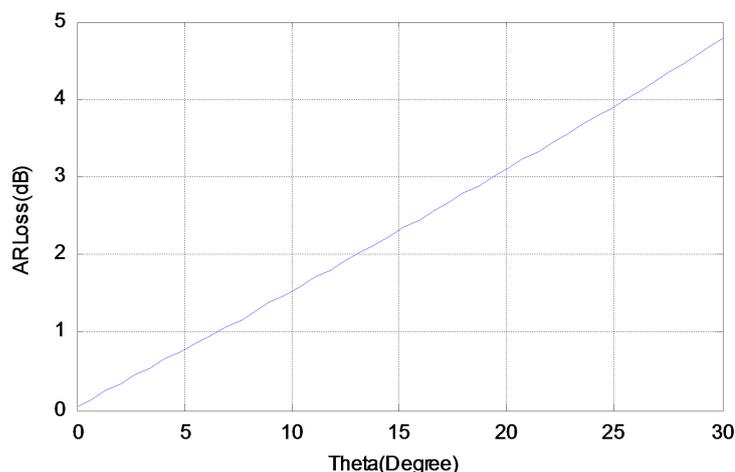


Figure 8. Phase error versus axial loss
图 8. 相位误差与轴比损失对比

从图 8 可以看出, 相位误差小于 10° , 可以满足天线工作于多模导航需要。

5. 结语

为了实现导航终端能够接收目前四大导航系统导航服务, 在设计的叠层结构宽频带右手圆极化微带天线的前提下, 设计实现了适用于多模天线的移相馈电网络。克服了双馈电网络成本高的不足, 采用寄生贴片和空气介质相结合、馈电网络级联宽带移相器和三个 Wilkinson 功分器结构, 通过向天线的 4 个馈电端口提供幅度相等、相位依次相差 90° 的激励信号, 提高了天线的轴比值和圆极化带宽轴比带宽。本文利用 Ansoft 公司的电磁仿真软件 HFSS 和 Designer 特有的“场路结合、协同仿真”优势进行了协同仿真。仿真表明, 该天线在工作频率范围内, 增益大于 6 dB , 回波损耗 $S_{11} < -10\text{ dB}$, 顶点轴比 $< 3\text{ dB}$, 具有良好的电性能和辐射特性, 使得导航终端能够完全覆盖四大卫星导航系统的工作频率, 从而对提高导航服务质量具有重要价值。

基金项目

感谢河南省科技厅对本项目的资助。本项目为河南科技厅科技攻关项目“导航系统多模宽带微带天线研究”(项目编号: 152102210309)。

参考文献

- [1] 陶金锋. 多模卫星导航系统天线设计[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京邮电大学, 2011.
- [2] 付灿, 李民权, 金秀梅. 应用于多模卫星定位导航系统的宽带天线设计[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2011(3): 391-394.
- [3] 唐洪军, 郑先宝, 张书文. 一种短路环状叠层宽带 GNSS 天线设计[J]. 中国科技信息, 2016(18): 80-81.
- [4] 田印炯. 多模卫星导航终端天线的研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2014.
- [5] 刘宝国, 徐凌伟, 张浩, 等. 北斗导航系统中天线阵的选择研究[J]. 信息安全, 2015(1): 12-15.
- [6] Fu, L., Liu, Z.-G., Cao, J., et al. (2014) Design of a Multi-System Circularly-Polarized Square Microstrip Patch Antenna for GNSS Navigation Devices. *Proceedings of 2014 3rd Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP 2014)*, Harbin, 26-29 July 2014, 476-479.
- [7] Shin, J.Y., Park, C.H. and Woo, J.M. (2018) Design of Microstrip Antenna for Satellite Navigation System Jamming. *Journal of Positioning, Navigation, and Timing*, 7, 37-42.
- [8] 李运志, 袁子伦, 李军. 多模 GNSS 天线技术研究与设计[J]. 中国科学: 物理学力学, 天文学, 2011(5): 564-567.

- [9] 商锋, 刘一江. 多模导航系统的接收天线的设计[J]. 西安邮电大学学报, 2014, 19(6): 62-65.
- [10] 曾慧灵. 宽带多模天线设计研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2017.
- [11] Xu, Z., Ma, H., Wang, J., *et al.* (2014) Dual-Band Dual-Polarized Microstrip Antenna for Compass Navigation Satellite System. *Progress in Electromagnetics Research C*, **46**, 25-30.
- [12] 张更, 王威, 霍小宁, 王焯, 杨绰, 金文, 王晓飞. 小型化四馈点多模导航天线设计[J]. 空间电子技术, 2017(6): 85-88.
- [13] Yuan, H.Y., Zhang, J.Q., Qu, S.B., *et al.* (2012) Dual-Band Dual-Polarized Microstrip Antenna for Compass Navigation Satellite System. *Progress in Electromagnetics Research C*, **30**, 213-223. <https://doi.org/10.2528/PIERC12041714>
- [14] 宋跃, 刘岚, 韩国栋. 北斗多模卫星导航天线设计[J]. 电子科技, 2013(4): 137-139.
- [15] 胡少青. 多模全球卫星导航系统天线研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- [16] Ye, S., Martynyuk, D., Vasilenko, O., *et al.* (2015) Novel Microstrip Antenna Array for Anti-Jam Satellite Navigation System. *Radioelectronics and Communications Systems*, **58**, 97-106. <https://doi.org/10.3103/S0735272715030012>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2325-2227, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ja@hanspub.org