

# Study on the Influence of Laser Machining Screen Dot Shape of Light Guide Plate on Optical Properties

Yongwu Wang<sup>1</sup>, Shufeng Sun<sup>1\*</sup>, Jing Shao<sup>1</sup>, Qingyu Liu<sup>1</sup>, Jin Wang<sup>1</sup>, Huafeng Zhang<sup>1</sup>,  
Mingyu Wang<sup>1</sup>, Qiang Zhang<sup>1</sup>, Xiao Wang<sup>2</sup>, Shunqi Ke<sup>3</sup>, Honghua Shen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical & Automotive Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Qingdao Guoqi Photoelectric Technology Co., Ltd., Qingdao Shandong

<sup>3</sup>Qingdao Hailei Laser Technology Co., Ltd., Qingdao Shandong

Email: 1617907309@qq.com, \*shufeng2001@163.com, 965810499@qq.com, shufeng2001@163.com

Received: Feb. 14<sup>th</sup>, 2019; accepted: Feb. 28<sup>th</sup>, 2019; published: Mar. 7<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

Lightguide plate is the core component of the light source of liquid crystal display (LCD), and its performance directly affects the imaging quality of LCD. At present, the research of scattering dot is mostly based on the hemispherical dot. In actual production, the shapes of scattered dot machined by two-dimensional parallel mechanism laser are semi ellipsoid with different sizes in order to improve the processing efficiency. Therefore, the existing research results are not accurate enough. In this paper, optical properties of scattering dot with difference shapes were analyzed; the simulation model of light guide plate was established based on Trace Pro Software; and the influences of different dot shapes on the uniformity and luminous flux were researched. The results indicate that when the dot shape is prism, cone, hemisphere and semi-ellipsoid, the optical flux of the guide plate is 1829.1 W/m<sup>2</sup>, 2799.6 W/m<sup>2</sup>, 3120.4 W/m<sup>2</sup> and 3505.5 W/m<sup>2</sup>, respectively, which increases successively. According to the optimized dot distribution design, the uniformity is the largest when the scattered dots are semi-ellipsoid, which can reach 91% and can be well adapted to the existing production platform. The results of this study have certain guiding significance for the actual production, which is helpful to improve the yield and reduce the production cost of guide plate.

## Keywords

Laser Machining, Screen Dot Shape, Light Guide Plate, Luminous Efficiency, Uniformity, 290.0290, 220.0220, 230.0230

## 激光加工导光板网点形状对光学特性的影响研究

王永武<sup>1</sup>, 孙树峰<sup>1\*</sup>, 邵晶<sup>1</sup>, 刘庆玉<sup>1</sup>, 王津<sup>1</sup>, 张华峰<sup>1</sup>, 王铭禹<sup>1</sup>, 张强<sup>1</sup>, 王晓<sup>2</sup>,  
柯顺琦<sup>3</sup>, 沈宏华<sup>3</sup>

\*通讯作者。

文章引用: 王永武, 孙树峰, 邵晶, 刘庆玉, 王津, 张华峰, 王铭禹, 张强, 王晓, 柯顺琦, 沈宏华. 激光加工导光板网点形状对光学特性的影响研究[J]. 光电子, 2019, 9(1): 20-27. DOI: 10.12677/oe.2019.91004

<sup>1</sup>青岛理工大学机械与汽车工程学院, 山东 青岛

<sup>2</sup>青岛国骐光电科技有限公司, 山东 青岛

<sup>3</sup>青岛海雷激光科技有限公司, 山东 青岛

Email: 1617907309@qq.com, \*shufeng2001@163.com, 965810499@qq.com, shufeng2001@163.com

收稿日期: 2019年2月14日; 录用日期: 2019年2月28日; 发布日期: 2019年3月7日

## 摘要

导光板是液晶显示器的光源核心部件, 其性能直接影响液晶显示器的成像质量。目前散射网点的研究多建立于球形网点形状基础之上。而实际生产中, 为了提高加工效率, 采用二维并联机构激光加工散射网点的形状为大小不一的半椭球形, 因此现有研究结果不够精确。本文针对不同形状的散射网点进行了分析, 基于Trace Pro软件建立了导光板的仿真模型, 研究了不同网点形状对均匀性及光通量的影响。结果表明, 当网点形状为棱柱、圆锥、半圆球和半椭球形时, 导光板的光通量依次增大, 分别为1829.1 W/m<sup>2</sup>、2799.6 W/m<sup>2</sup>、3120.4 W/m<sup>2</sup>和3505.5 W/m<sup>2</sup>。按照优化后的网点分布设计, 散射网点为半椭球形时均匀性最大, 可以达到91%, 能够很好地适应现有生产平台的使用。该研究结果对于实际生产具有一定的指导意义, 有助于提高导光板产品良率, 减少生产成本。

## 关键词

激光加工, 网点形状, 导光板, 均匀性, 光通量, 290.0290, 220.0220, 230.0230

Copyright © 2019 by author(s) 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

背光源模组是液晶显示器的光源, 而导光板是背光源模组的核心元件。导光板引导耦合LED产生面光源, 照射在液晶屏上, 导光板的光通量和均匀性直接影响液晶显示器的质量[1][2]。导光板散射网点的加工主要有印刷式和激光加工式, 其中印刷式导光板使用寿命短, 生产稳定性差, 并且会产生一定污染, 激光加工导光板无污染且导光板使用寿命长、导光效果好、使用稳定, 应用相对广泛[3][4]。

目前对于散射网点的研究主要集中于网点大小和网点分布对均匀性的影响, 国内骆健忠等[5]介绍了一种以冷阴极荧光灯作光源的侧光平板式导光板网点排布规律的设计方法, 利用软件进行仿真分析, 并对仿真结果进行了改进。黄炳乐等[6]从导光板导光理论出发, 结合仿真实验和样品验证, 提出了导光板网点的最佳网点平均密度。张鹤等[7]提出一种用于大尺寸液晶照明的直下式导光板模块设计。王文根等[8]利用光学模拟软件 Trace-pro 对背光系统进行了优化, 其亮度均匀性和光利用率分别达到 87%和 74%。但这些研究中导光板网点都是同一形状; 国外 Kim Y C 等[9]提出了导光板网点布局优化设计; 但也没有分析网点形状对导光板光学性能的影响。综上所述, 目前已有大量关于导光板光学性能的影响, 然而, 大多数研究都是基于导光板网点是半球形的假设[10][11], 研究结果不够精确。而在实际生产中, 加工导光板散射网点最常用的方法是激光加工。为了提高加工效率, 多采用二维并联机构进行流水线作业, 网点的形状为大小不一的半椭球形。而目前针对导光板散射网点形状的研究相对较少, 不同的导光板散射

网点形状对于导光板的出光效率和均匀性的影响尚不明确，缺乏相应的关键研究数据，以致加工中需要人工补加网点，产品良率和生产效率偏低。

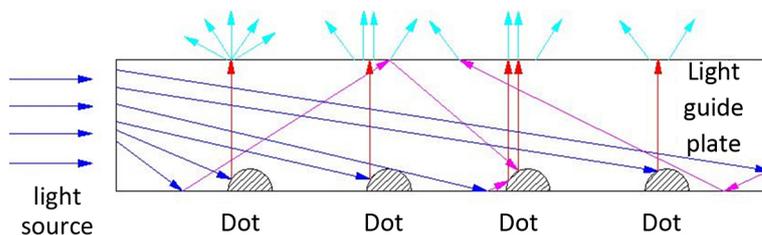
本文针对导光板散射网点形状对光通量和均匀性的影响进行研究，建立导光板模型，确定网点分布，依次改变网点形状为棱柱、圆锥、半圆球和半椭球，探究不同的导光板散射网点形状对导光板的影响，通过对比分析，选择合适网点形状和分布参数，为进一步高效生产提供技术支持。

## 2. 导光板工作原理及网点密度理论推导

### 2.1. 导光板的工作原理和加工设备简介

根据 LED 灯光线的入射面不同，背光源模组分为直下式和侧入式两大类。本文研究侧入式导光板。

在背光源模组中，LED 灯发出的光从导光板侧面耦合进入导光板，光线进入导光板后一部分光经过导光板的折射，从出光面射出；另一部分光线在传递过程中碰到散射网点，光线发生漫反射后经导光板折射从出光面射出。LED 灯发射出的光线经过导光板的折射和反射，改变光线的传递方向，最终实现出光面有均匀的光线射出，其光学原理如图 1 所示。



**Figure 1.** The light transmission path diagram of the inner light guide plate  
**图 1.** 导光板内部光线传输路径图

激光加工导光板设备为亚克力点阵激光加工机，该设备在青岛骐骥光电科技有限公司和青岛海镭有限公司投入使用，设备使用二维并联机构，激光聚焦镜沿 X 方向运动，吸附平台沿 Y 方向运动，实现对导光板散射网点的加工，设备外观如图 2 所示。



**Figure 2.** Machining equipment appearance drawing  
**图 2.** 加工设备外观图

## 2.2. 导光板网点分布规律

在背光源模组中，LED 灯发出的光经过导光板的反射和折射，然后，由导光板出光面射到液晶显示器，因此决定液晶显示器亮度和光学均匀度的关键因素是在于如何改变光线在导光板中传递的路径，因此散射网点的分布规律就显得至关重要。导光板的网点分布大小可由公式  $f(x) = a + bx + cx^2 + dx + ex^4$  调节，导光板为单侧入光时，可取  $a = c = e = 0$ ；导光板为双侧入光时，可取  $a = b = d = 0$ ；由于导光板的大小不同，所以各个参数的取值也有所不同。

## 3. 仿真分析

### 3.1. 建立 Trace Pro 仿真模型

基于 Trace Pro 软件，设计简化的背光源模组，侧入式背光源模组从下到上的结构依次是反射片、导光板、下扩散片、上扩散片、增光片和胶框。简化后的背光源模组只需要导光板、LED 灯、LED 灯罩和观察板。除了入光侧面和出光面导光板的其他面均设置为全反射面，设置导光板尺寸为  $50 \times 50 \times 5$  mm，材料设置为 PMMA（即聚甲基丙烯酸甲酯，俗称有机玻璃）材质；多个 LED 小灯简化成一根 LED 灯条；LED 灯罩确保 LED 发出的光不会漏出，全部从导光板入光侧射入，设置 LED 灯罩，其内表面属性均设置为全反射；观察板放置在出光面上方，与出光面对应面属性设置为全吸收面，吸收出光面的全部出射光。设计模型如图 3 所示。

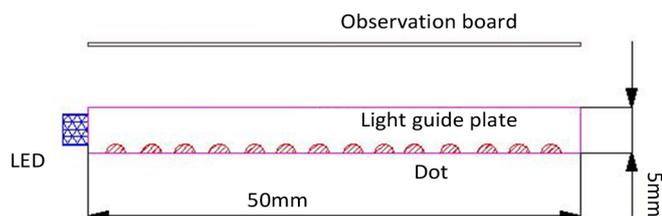


Figure 3. Schematic diagram of the model

图 3. 模型示意图

对导光板出光均匀性影响最大的是散射网点的分布，本文采用经典的网点分布规律公式： $f(x) = a + bx + cx^2 + dx + ex^4$ 。因为本文是针对侧入式导光板的网点优化研究，所以公式中设  $a = c = e = 0$ ， $b$  和  $d$  取合适的值，网点密度从入光侧到导光板的另一侧密度逐渐变大，根据导光板网点分布优化设计，使用 Trace Pro 中 2D、3D 优化功能，仿真得到最优的光学效果。网点分布示意图如图 4 所示。

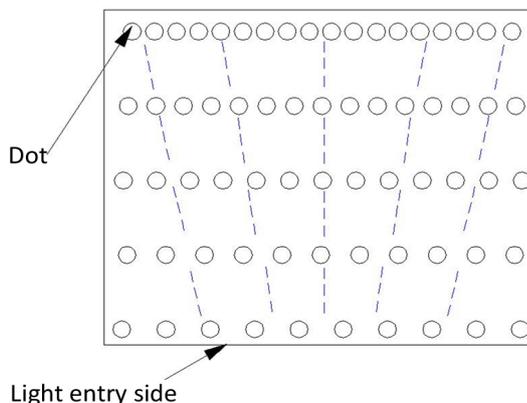


Figure 4. Schematic diagram of dot distribution

图 4. 网点分布示意图

### 3.2. TracePo 仿真内容及结果分析

现如今有关导光板网点设计优化仿真中，网点形状设计大多都是半圆球，针对网点形状的研究不够深入。本文根据已建立的仿真模型，针对网点形状设计，设计半圆球、半椭球、圆锥和棱柱不同的网点形状，分析各自的仿真辐照图，分析对比仿真结果。

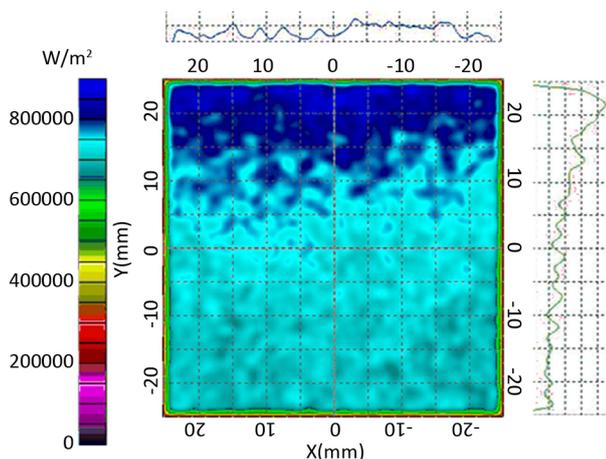


Figure 5. Simulation irradiation map of prism-shaped scattered dots

图 5. 棱柱形散射网点仿真辐照图

设置网点形状为棱柱，棱柱参数  $Y(0) = 0.20\text{mm}$ ， $Y(1) = 0.1\text{mm}$ ， $x(0) = 0.2\text{mm}$ ， $x(1) = 0.1\text{mm}$ ，仿真得到光学辐照图如图 5 所示，辐照图中右侧和上侧曲线为导光板沿中部切开的光强曲线图。

观察分析辐照图，光强最大值为  $8.72 \times 10^5 \text{ W/m}^2$ ，最小值为  $6.80 \times 10^5 \text{ W/m}^2$ ，出光均匀度为 78%，总光通量为 1829.1 W。

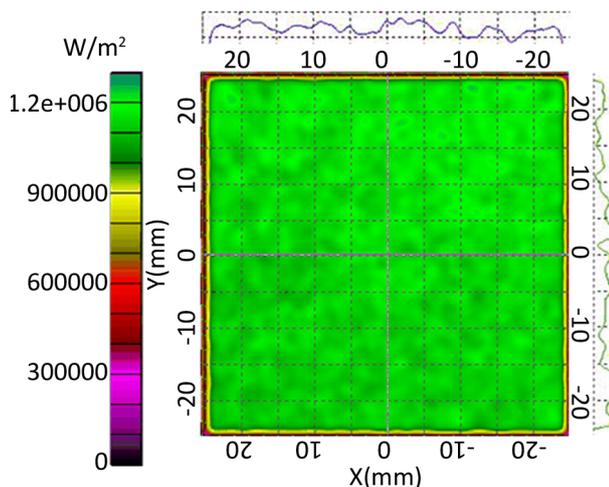
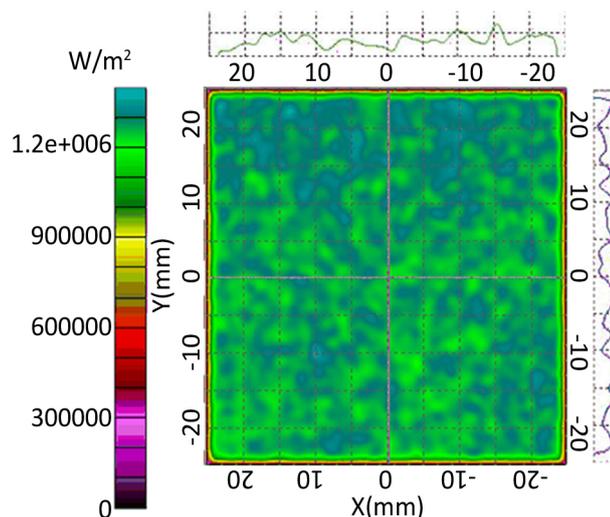


Figure 6. Simulation irradiation map of cone scattered dots

图 6. 圆锥形散射网点仿真辐照图

设置网点形状为圆锥，圆锥参数最大直径为 0.2 mm，锥角为  $60^\circ$ ，仿真得到光学辐照图如图 6 所示，辐照图中右侧和上侧曲线为导光板沿中部切开的光强曲线图。

观察分析图6圆锥形散射网点仿真辐照图可得, 光强最大值为  $1.20 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ , 最小值为  $1.05 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ , 出光均匀度为 87%, 总光通量为 2799.6 W。

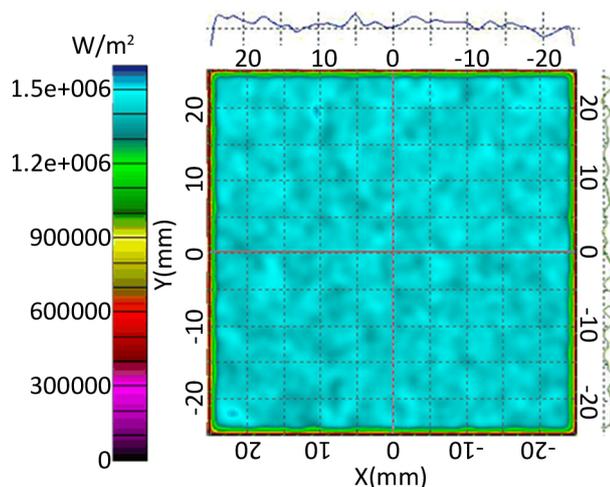


**Figure 7.** Simulation irradiation map of semicircular scattering points

**图 7.** 半圆球形散射网点仿真辐照图

设置网点形状为半圆球, 半圆球直径为 2 mm, 仿真得到光学辐照图如图7所示, 辐照图中右侧和上侧曲线为导光板沿中部切开的光强曲线图。

观察分析辐照图可得, 光强最大值为  $1.22 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ , 最小值为  $1.35 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ , 计算出光均匀度为 90%, 总光通量为 3120.4 W。



**Figure 8.** Simulation irradiation map of semi-ellipsoidal scattered dots

**图 8.** 半椭球形散射网点仿真辐照图

设置网点形状为半椭球, 半椭球参数 x 向半径为 0.2 mm, y 向半径为 0.1 mm, z 向半径为 0.05 mm, 仿真得到光学辐照图如图8所示, 辐照图中右侧和上侧曲线为导光板沿中部切开的光强曲线图。

观察分析辐照图可得,光强最大值为  $1.48 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ , 最小值为  $1.35 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ , 出光均匀度为 91%, 总光通量为 3505.5 W。

上述四幅仿真辐照图中, 导光板四个边缘均有光强度急剧下降的现象, 我们把急剧下降的宽度称为失效宽度, 失效宽度不参与均匀性的计算, 失效宽度由于导光板散射网点加工中, 边缘设有留白而产生, 并且从仿真辐照图中可以看出, 急剧下降的宽度均为 2 mm, 符合二维并联机构加工要求, 网点分布合理。

根据上述仿真结果, 分析对比仿真结果, 研究不同网点形状对导光板光通量和均匀性的影响。由表 1 可以看出, 网点形状为半椭球时, 导光板的出光均匀性最好, 达到 92%, 网点形状为棱柱时, 导光板的出光均匀性最差, 为 79%, 导光板散射网点形状为半椭球的均匀性远大于网点形状为棱柱的导光板; 网点形状为棱柱时总光通量最小, 为 1829.1 W, 导光板网点形状为半椭球时的总光通量远大于网点形状为棱柱的导光板, 总光通量为 3505.5 W, 总光通量越大, 出光效率越好。总结可知, 网点形状为棱柱、圆锥、半圆球和半椭球顺序时, 出光效率和均匀度都依次增大。

**Table 1.** Simulation results parameters of different dot shapes

**表 1.** 不同网点形状仿真结果参数

	<i>Prism</i>	<i>Cone</i>	<i>Semicircle bal</i>	<i>Semi ellipsoid</i>
Uniformity	78%	81%	90%	91%
Luminous flux ( $\text{W/m}^2$ )	1829.1	2799.6	3120.4	3505.5
Failure width (mm)	2	2	2	2

#### 4. 总结

导光板是液晶显示器的核心元件, 其性能直接影响液晶显示器的成像质量。针对现阶段对导光板散射网点形状研究的欠缺, 本文基于 Trace Pro 软件研究导光板散射网点形状对光通量和均匀性的影响, 仿真分析相同网点分布情况下, 设置网点形状分别为棱柱、圆锥、半球状和半椭球, 对比仿真结果, 从结果分析可知, 光通量按照网点形状为棱柱、圆锥、半圆球和半椭圆的顺序依次增大, 光通量分别为  $1829.1 \text{ W/m}^2$ 、 $2799.6 \text{ W/m}^2$ 、 $3120.4 \text{ W/m}^2$  和  $3505.5 \text{ W/m}^2$ ; 均匀度同样按照相同顺序依次增大, 依次为 78%、81%、90%和 91%。总结可知, 半椭球网点形状的导光板出光率最高, 出光均匀性最好。该研究结果对于实际生产具有一定的指导意义, 有助于提高导光板产品良率, 减少生产成本。

#### 基金项目

国家自然科学基金(51605240)、泰山学者工程专项经费资助(ts201511038)、山东省重大关键技术项目资助(2016ZDJS02A15)、山东省自然科学基金(BS2015ZZ009)、中国博士后科学基金(2018M632639)、山东省自然科学基金(ZR2017BF010)、青岛应用基础研究计划(17-1-1-91-JCH)和(18-2-2-6-jch)。

#### 参考文献

- [1] Su, T.L., Chen, H.W. and Lu, C.F. (2010) Systematic Optimization for the Evaluation of Microinjection Molding Parameters of Light Guideplate with TOPSIS-Based Taguchi Method. *Advances in Polymer Technology*, **29**, 54-63. <https://doi.org/10.1002/adv.20181>
- [2] Teng, T.C. and Kuo, K.F. (2010) Highly Precise Optical Model for Simulating Light Guide Plate Using LED Light Source. *Opt Express*, **18**, 22208-22214. <https://doi.org/10.1364/OE.18.022208>
- [3] 李海峰, 杨柏梁, 马凤雷. 高品质液晶显示器用轻薄背光源技术要点[J]. 液晶与显示, 2003(1): 58-62.
- [4] 汪江胜, 叶芸, 徐胜, 等. 量子点网点导光板的制备及性能研究[J]. 发光学报, 2017, 38(1): 91-96.

- [5] 骆健忠, 陈哲, 张永林, 等. 侧光平板式导光板散射网点设计及仿真分析[J]. 液晶与显示, 2006, 21(3): 206-213.
- [6] 黄炳乐, 郭太良, 陈恩果, 等. 导光板网点平均密度范围的最优化研究[J]. 光学学报, 2015, 35(5): 314-320.
- [7] 张鹤, 朱钧, 赵燕, 等. 一种用于大尺寸液晶照明的直下式导光板模块设计[J]. 光学学报, 2010, 30(9): 2668-2673.
- [8] 王文根, 李瑛, 邵明, 等. 用于 TFT-LCD 的大功率 LED 侧式背光系统[J]. 液晶与显示, 2006, 21(5): 533-538.
- [9] Kim, Y.C., Oh, T.S., Lee, Y.M., *et al.* (2011) Optimized Pattern Design of Light-Guide Plate (LGP). *Optica Applicata*, **41**, 863-872.
- [10] 黄明波, 郭震宁, 黄智炜, 等. 基于一种圆形 LED 面光源的网点设计及仿真[J]. 应用光学, 2010, 31(5): 701-704.
- [11] 黄羽中, 姜言森, 沈奕, 等. 侧光式 LED 背光源的导光板网点设计[J]. 应用光学, 2008, 29(5): 689-692.

#### 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: 2164-5450, 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: [oe@hanspub.org](mailto:oe@hanspub.org)