

# 大尺寸 LED 超薄灯箱的导光板设计

尹杰 邱云峰 刘桥 王义

(贵州大学理学院, 贵州 贵阳 550025)

**摘要** 详细论述了导光板的工作原理以及导光板网点设计的理论。利用几何光学的反射、折射、散射等理论,推导出非均匀网点分布公式,设计了一款大尺寸 LED 双侧边缘背光的导光板。利用光学模拟软件建立导光板模型,并进行了调试仿真。在充分考虑成本和可能性的前提下使得均光度接近 80%,达到了广告灯箱对均光效果的要求。

**关键词** 几何光学; 导光板; 网点分布公式; 超薄灯箱; LED

**中图分类号** O702

**OCIS** 080.0080 220.0220 290.0290

**文献标识码** A

## Design of Light Guide Plate for Large-Size LED Slim Light Box

Yin Jie Qiu Yunfeng Liu Qiao Wang Yi

(College of Science, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

**Abstract** The working principle of light guide and the light guide network design theory have been discussed. The formula for the distribution of non-uniform network is derived by using reflection, refraction, scattering theory of geometrical optics, and a large-size bilateral-edge LED backing guide plate is designed. The light guide plate model is debugged and simulated by using optical simulation software. And taking full account of the cost and feasibility, the result of uniformity is very close to 80%, which fully meets the need of advertising light boxes.

**Key words** geometric optics; light guide plate; network distribution formula; slim light box; LED

## 1 引言

导光板超薄灯箱以其轻薄精美的外形,出色的均光输出效果,得到了越来越多的商家重视。它安装维护也较方便,是以荧光灯照明的旧式广告灯箱的理想换代产品。导光板作为灯箱的重要组成部分,对出光的均匀度和亮度起到了决定性作用。在本设计中导光板采用 LED 侧入式照明<sup>[1,2]</sup>,利用导光板将 LED 光源发出的侧入光导向正面且均匀输出。一般情况下,侧入式导光只适用于中小尺寸的导光板,随着尺寸的增大,使得光的均匀性很难达到一致<sup>[3]</sup>。本文设计了一款长 1100 mm,宽 400 mm,厚 5 mm 的导光板,经过多次实验,均光度接近 80%,完全满足广告灯箱的视觉要求。

## 2 导光板的工作原理

由光学原理可知,光在不同介质传播时将发生折射现象,公式表达形式为:  $\sin \theta_1 n_1 = \sin \theta_2 n_2$ , 其中  $\theta_1$  为入射光的角度,  $n_1$  为入射介质的折射率,  $\theta_2$  为折射光的角度,  $n_2$  为折射介质的折射率。如图 1 所示,一束光以极限角  $90^\circ$  射向导光板入光面,导光板的材料选用亚克力板 (PMMA), 折射率为 1.49 (对应的全反射角为  $42.2^\circ$ ), 入射光在入光面发生折射,使光线与法线成  $42.2^\circ$ ,接着光线到达底面,发生反射,反射光与法线成  $47.8^\circ$  到达上表面,在上表面发生全反射,继续向前传播<sup>[4]</sup>。当光线以小于  $90^\circ$  的角度射向入射面时,由折射定律可

**收稿日期:** 2010-06-03; **收到修改稿日期:** 2010-08-30

**基金项目:** 2009 年度贵州省工业攻关计划 [黔科合 GY 字 (2009)3008] 资助课题。

**作者简介:** 尹杰 (1984—), 女, 硕士研究生, 主要从事电子设计自动化 (EDA) 方面的研究。

E-mail: happy\_yinjie@sina.com

**导师简介:** 刘桥 (1955—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电路与系统和微电子材料等方面的研究。

E-mail: liuqiao1955@163.com

知,折射角小于  $42.2^\circ$ ,那么折射后的光线就会以大于  $47.8^\circ$ 的角度射向导光板上表面,同样发生全反射。由此可知,所有耦合进导光板的入射光都以全反射的形式向前传播,没有光线从上表面折射出去。为了让光线从导光板的上表面射出,必须在导光板的底面布置散射网点,破坏光的全反射。

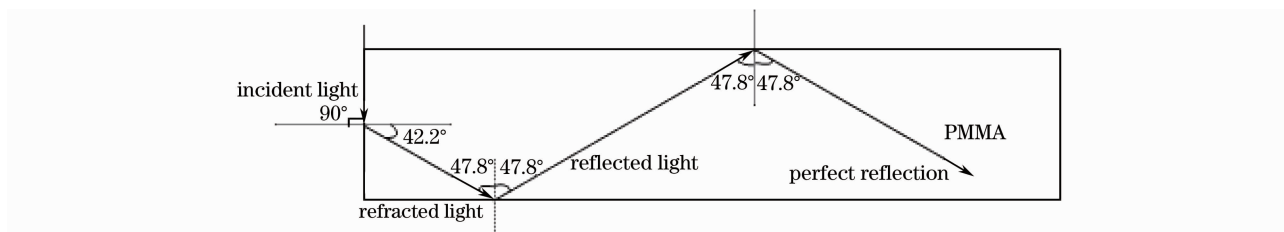


图1 光在导光板的传播过程

Fig. 1 Spread of light in the light guide plate

导光板底面网点的设计是导光板设计的关键环节,直接决定出光面的均匀度。网点的设计一般分为印刷式和非印刷式。印刷式较为简单,制作成本较低,将光学散射粒二氧化钛,硫化钡和紫外(UV)胶掺入油墨构成白色网点以印刷方式印在导光板底面。非印刷式的形式较多,根据制作方式的不同分为注塑成型式,光刻式,化学腐蚀式,金刚石紧密车削式等。

### 3 网点设计理论

理想的网点必须具备三个条件<sup>[5]</sup>:1)网点图案呈极不规则排列时,不会产生叠栅条纹;2)网点图案不规则排列时,肉眼亦无法辨识辉度不均;3)具备高度对应性可满足任意连续性的填充率分布。

在进行网点设计时要遵从上述原则。均匀的网点分布是最简单的一种方法,其结果是会产生叠栅干涉条纹。所以,现在在进行网点设计时都采用非均匀分布。目前比较成熟的网点分布理论有超均匀分布理论,斥力缓和法,动态分子法,但这些方法都只停留在理论设计方面。具体采用何种方法设计网点,到目前为止还没有确切可行的方法,大部分都是靠光学模拟软件进行模拟并根据模拟效果,调整网点的间隔以及大小。一般的设计原则是靠近光源部分的网点尺寸要小一些,且稀疏一些;而远离光源的地方网点尺寸大一些,且要密一些。此外网点的形状对出光的均匀效果也会有一定的影响。

### 4 大尺寸适用于广告灯箱的导光板设计

导光板的材料有很多,目前用的最多的是 PMMA,导光板的形状有平板型和楔形<sup>[6]</sup>,根据设计的需要可以在入射面、底面设计锯齿状或流线状等,根据底面网点制作方法的不同,又分为印刷式和非印刷式,网点的形状也多种多样,在二维图形中有圆形、方形、菱形、六边形等,在三维图形中有球形、圆柱形、圆锥形等。根据应用范围、光源种类、入光方式、材料等条件的不同,导光板的设计方案也多种多样,有的导光板采用单侧入光,有的采用双侧入光。

本文设计的导光板尺寸较大,光需要通过的总距离达 1100 mm,所以采用双侧入光效果更好。以往的一些导光板在形状上做了很多变化,例如,将立方体板制成楔形板,并且采用注塑成型技术在导光板的底面或出射面制作三维网点,或是 V 型槽<sup>[7,8]</sup>,以改变光的传导方向,使其能够从正面出射。然而,这样的设计对机械加工带来了很大的难度。例如 V 型槽的设计就需要单体金刚石精确定位,精密车削,这无疑增加了导光板的成本和技术上的困难。为此,本设计采用较容易实现的二维散射网点,具有极高的反射率。在具体网点的设计方面,主要有三种设计思想:一是保持网点的间距不变,改变网点的尺寸大小;二是网点的尺寸大小保持不变,只改变网点的间距;三是既改变网点大小又改变网点的距离。第三种方法在涉及到具体模型计算时比较麻烦,所以一般不用这种方法。本文采用的是第二种方法,网点分布的设计示意图如图 2 所示。

网点采用圆形,半径 0.5 mm,在垂直方向保持网点的间距不变,只改变水平方向上网点的间距。由于板子的尺寸较大,所以将网点分成两个大小、形状、分布完全相同的,关于纵轴对称的两个区域,图 2 只画了左侧的网点分布情况。光从左侧耦合进导光板,假设耦合进导光板的初始光通量为  $\phi_0$ ,在理想情况下,当光遇到网点时发生散射,此时向前传播的光通量会减少,至于减少多少,取决于网点的大小和密度。在本设计

中网点的大小一致,且在垂直方向上网点的密度相同。所以,光到达每一列网点时的反射率相同,用参数  $k$  表示,  $0 < k < 1$ , 第一列网点到入光面的距离设为  $L_1$ , 第二列网点到入光面的距离设为  $L_2$ , 第三列网点到入光面的距离设为  $L_3$ , 如图 2 所示, 以此类推。照度  $B$  的表达式为:  $B = \frac{\phi}{WL}$ , 其中  $\phi$  为光通量,  $W$  为导光板的宽度,  $L$  为导光板的长度。为了使导光板出光面的照度处处均匀, 就要保证  $L_1 \times W$  区域单位面积的光通量和  $(L_2 - L_1) \times W$  区域单位面积的光通量相等。即满足

$$\frac{\phi_0 k}{L_1 W} = \frac{\phi_0 - \phi_0 k}{(L_2 - L_1) W} \quad (1)$$

由(1)式推导出

$$\frac{L_1}{L_2 - L_1} = \frac{k}{1 - k}, \quad (2)$$

$$\phi_1 = \phi_0 - \phi_0 k, \quad (3)$$

式中  $\phi_1$  为初始光通量  $\phi_0$  经过第一列网点后的剩余光通量。光继续向前传播, 当遇到第二列网点时要满足  $L_1 \times W$  区域单位面积的光通量和  $(L_3 - L_2) \times W$  区域单位面积的光通量相等。即满足

$$\frac{\phi_0 k}{L_1 W} = \frac{\phi_1 - \phi_1 k}{(L_3 - L_2) W} \quad (4)$$

由(4)式推导出

$$\frac{L_1}{L_3 - L_2} = \frac{k}{(1 - k)^2} \quad (5)$$

以此类推, 得到经验公式

$$\frac{L_1}{L_i - L_{i-1}} = \frac{k}{(1 - k)^{i-1}} \quad (6)$$

按(6)式对网点的分布进行设计, 采用 C 语言进行编程, 初始化  $L_1$  和  $k$  的值, 计算出  $L_2, L_3, L_4, \dots$  的值, 并转化成  $x$  和  $y$  的坐标值, 导入光学模拟软件 Lighttools<sup>[9]</sup> 中, 进行光学模拟, 根据模拟效果, 不断调整  $L_1$  和  $k$  的值, 重复上面的步骤, 直到得到满意的效果。

## 5 光学模拟实验

首先设计一款网点均匀分布的导光板, 导光板的尺寸定为  $1100 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ , 材料采用 PMMA, 网点采用圆形, 半径为  $0.05 \text{ mm}$ , 在  $x$  轴和  $y$  轴采用等距离的矩形分布, 间距为  $4 \text{ mm}$ , 再对导光板的各个面进行设定。光源采用经济的贴片式 LED3020, 外形尺寸为  $3.0 \text{ mm} \times 2.0 \text{ mm} \times 1.3 \text{ mm}$ , 发光角度为  $125^\circ$ , 功率  $0.06 \text{ W}$ , 光通量  $6 \sim 7 \text{ lm}$ ,  $164$  颗灯珠均匀地分布在导光板两短边(每边  $82$  颗)。采用  $1 \times 10^6$  条光线进行光线模拟, 模拟的效果图如图 3 所示。在本设计中, 只改变  $x$  轴方向上网点的间距, 其他所有条件都和采用均匀网点分布时的条件相同, 通过多次实验与计算,  $k=0.3, L_1=15 \text{ mm}$  时效果最好, 然后将利用推导公式得到的  $x$  值和  $y$  值导入到 Lighttools 的表格中, 将导光板的底部网点设计在两个区域中 texture 和 texture1, 这两个区域的网点大小以及间距分布完全相同, 并关于垂直中心轴对称。网点设计成散射型的。考虑到光的利用率问题, 在导光板的下面加一层反光膜, 把从导光板底部漏出的光重新反射回导光板, 大大提高了光的利用率。

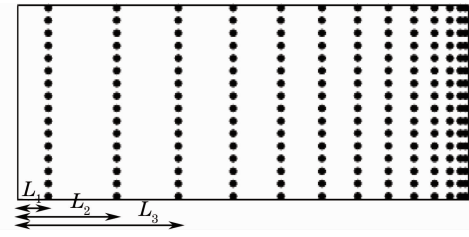


图 2 网点分布的示意图

Fig. 2 Scheme of the network distribution

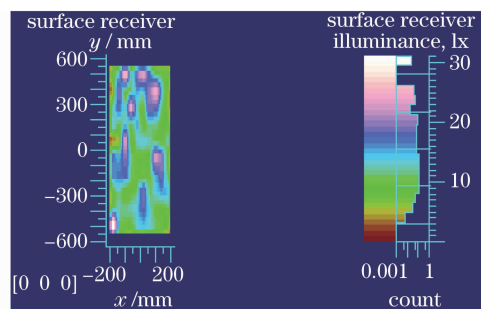


图 3 网点均匀分布时的模拟效果图

Fig. 3 Simulation result when network distributes evenly

在导光板的设计中有人在导光板的上表面加入散射膜和增光膜<sup>[10]</sup>,以增加光的均匀度和亮度。考虑到成本问题,本文在设计时没有添加散射膜和增光膜。建模时,在导光板的出光面加一个接收器,以测试光线正面出光照度,最后,采用 $1 \times 10^6$ 条光线进行光线模拟,并观察模拟结果。得到的效果图如图4所示。从模拟的效果图可以看出,在水平方向上网点的间距大了,导致越靠近光源部分光线反射的越少,使得出射光成梯度式变化,所以要在原有(6)式的基础上乘上一个修正因数 $p$ ,形式为

$$L_i = \frac{(1-k)^{i-1}L_1 + kL_{i-1}}{k} p. \quad (7)$$

经过反复计算、模拟与实验,最后确定 $p=0.4$ ,得到的效果图如图5所示。效果有了明显的改进,根据效果图做进一步网点密度的局部微调,得到最后的光学模拟效果图如图6所示。最小亮度为1018 lx,最大亮度为1284 lx,平均亮度为1151 lx,均匀度高于79%,完全满足视觉要求的75%以上。

## 6 结 论

通过理论分析计算,提出了导光板网点分布的经验公式。和其他的一些网点分布设计方案相比,本文采用了只改变一个方向上网点的距离,不改变网点尺寸大小的全新方案。通过光学软件模拟以及实验,验证了公式的可行性,具有较强的实际应用价值,为大尺寸LED广告灯箱的导光板制作提供了较好的理论指导,同时也为导光板在其他领域的应用提供了很好的借鉴。在当今的显示领域,更大、更轻、更薄成了许多厂商的追求目标,本文的设计基本上解决了侧入式导光板无法适应大尺寸应用的瓶颈,且在光照均匀度接近80%的情况下,厚度做到5 mm,很好地满足了显示领域的要求,具有较好的实际意义。

## 参 考 文 献

- Zheng Jiuyun, Han Zhigang, Luo Shengqin. The application and driver of white-light LED[J]. *Advanced Display*, 2009, **20**(8): 43~46
- 郑久云, 韩志刚, 罗胜钦. 白光LED的应用与驱动[J]. *现代显示*, 2009, **20**(8): 43~46
- Huang Chong, Jiang Yansen, Shen Yi *et al.*. Design of scattering netted dots on light guide plate of edge-lighting LED backlight[J]. *Journal of Applied Optics*, 2008, **29**(5): 690~692
- 黄 翀, 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): 690~692
- Wang Min, Xia Xianjun. Technology and applications of the new LED backlight[J]. *Optoelectronic Technology*, 2005, **25**(4): 268~270
- Yang Lei, Hou Yao, Wu Zhaoxin. Design and optical simulation of scattering netted dots on side-incident light guide plate [J]. *Journal of Applied Optics*, 2008, **29**(12): 55~57
- 杨 雷, 侯 瑶, 吴朝新. 侧入式导光板散射网点设计和光学仿真[J]. *应用光学*, 2008, **29**(12): 55~57
- Zhao Xingxing. The Research on Random Distribution and Vector Property of LGP Pattern[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2008. 21~22

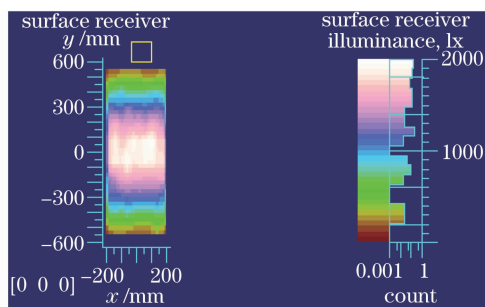


图4  $k=0.3$ ,  $L_1=15$  mm时的模拟效果图

Fig. 4 Simulation result when  $k=0.3$ ,  $L_1=15$  mm

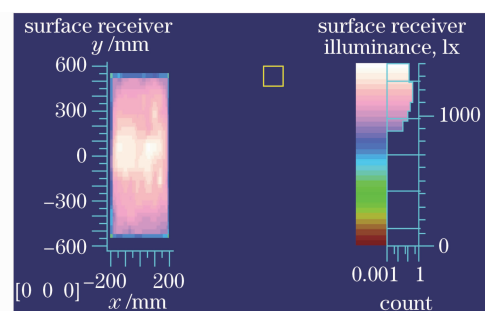


图5 乘上修正因数 $p$ 后的模拟效果图

Fig. 5 Simulation result when multiplied by correction factor  $p$

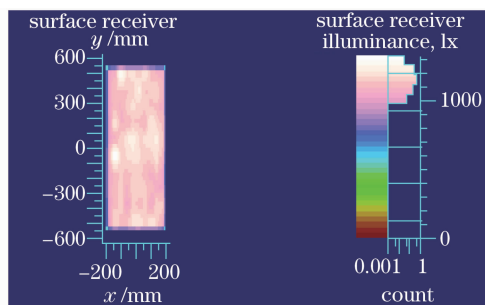


图6 最终模拟效果图

Fig. 6 Final simulation result

- 赵星星. 导光板网点随机分布和矢量性研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2008. 21~22
- 6 Chen Xiangxian, Xu Ping, Wan Lili *et al.*. The new technology of light guide plate for backlight system[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2007, **22**(5): 577~582
- 陈祥贤, 徐平, 万丽丽等. 新型背光系统导光板技术[J]. *液晶与显示*, 2007, **22**(5): 577~582
- 7 Seung Ryong Park, Oh Jang Kwon, Dongho Shin *et al.*. Grating micro-dot patterned light guide plates for LED backlights [J]. *Opt. Express*, 2007, **15**(6): 2888~2899
- 8 Yan Jinren, Wang Qionghua, Li Dahai *et al.*. Edge-lighting light guide plate based on micro-prism for liquid crystal display [J]. *Journal of Display Technology*, 2009, **5**(9): 355~357
- 9 Jin Peng, Ye Hao. The application of lightTools in LED backlights design[J]. *Advanced Display*, 2010, (2): 9~12
- 金鹏, 叶浩. LightTools在LED背光设计中的应用[J]. *现代显示*, 2010, (2): 9~12
- 10 J. H. Lee. LED light coupler design for a ultra thin light guide[J]. *Journal of the Optical Society of Korea*, 2007, **11**(3): 113~117