

新型直下式正三角阵列 LED 背光源的光学分析与设计

王 帅, 李荣玉, 陈秀锦, 陆俊彪

(上海交通大学 区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 上海 200240, E-mail: shanewang@sjtu.edu.cn)

摘 要: 从分析直下式 LED 背光的基础结构入手, 对传统的矩阵 LED 背光布局方式进行数学建模。针对该布局方式的缺点, 提出了一种新型的正三角阵 LED 背光布局模型, 通过对比分析, 证明该模型能够有效减小混光“盲区”比例, 提高均匀性。通过 Lighttools 仿真软件证明了该新型结构的有效性: 当灯腔高度为 20 mm 时, 新型正三角阵结构的均匀性为 90.79%, 相比于传统矩阵结构的 88.77%, 提升幅度达到 2%; 在 LED 间距较密的情况下, 新型正三角阵结构的均匀性相比传统结构而言优势并不明显, 仅有不到 1% 的提升; 随着灯腔高度的提升, 新型正三角阵结构相比传统结构的优势逐渐缩小, 当达到 24 mm 时, 均匀性的提升仅有 0.3%。

关 键 词: LED 背光; 直下式; 新型正三角阵列; 均匀度
中图分类号: TM923.02; TN873+.93 **文献标识码:** A

1 引 言

液晶显示器作为一种被动性显示器件, 本身并不发光, 所以其显示性能在很大程度上受为其提供光照的背光源所影响^[1]。在目前情况下, 虽然成本低廉、技术成熟的冷阴极灯管(CCFL)背光源液晶显示器(LCD)依然占据着市场的主导地位, 但其致命缺陷如污染环境、色域窄等为它的退出埋下了伏笔。近年来, 随着用户环保意识的提高以及对画面质量越来越高的追求, 出现了一系列 CCFL 背光的替代方案, 如发光二极管(LED)、电极外置荧光灯(EEFL)、场致发光平面光源(EL Flat Lamp)和有机电致发光(OLED)光源等, 其中具有色域广、绿色环保、寿命长等优势

的 LED 背光源已经占据了一部分市场, 并且被认为是 LCD 背光源未来发展的主流方向^[2,3]。根据光源位置的不同, LED 背光源可分为侧光式与直下式两种。侧光式 LED 背光源主要应用于中小尺寸 LCD, 若应用于大尺寸 LCD, 其导光板的重量和成本将随着尺寸的增加而增加, 而且其发光亮度较低和均匀性较差的缺点也越发明

显, 所以大尺寸 LCD 的背光源主要采取直下式。直下式背光源不使用导光板, 在一定程度上降低

了成本; 另外, 还可以对 LED 实行区域动态背光控制, 提高了 LCD 的显示质量^[4]。直下式背光源的关键技术在于对亮度均匀性的控制。一般来说, 要提高亮度均匀性就必须增加混光光腔的厚度, 以增大光程, 实现最佳的混光效果, 但这势必会使显示器的整体厚度变大, 削弱平板显示器的轻薄优势。本文提出了一种新型正三角阵列 LED 布局方式, 在不需要做出很大改动的前提下, 该布局方式能够有效提高均匀度, 在达到同等均匀度情况下降低所需灯腔的高度。

2 直下式 LED 背光结构

典型的直下式 LED 背光结构如图 1 所示。LED 点光源布局于带有反射膜的灯腔内, 在灯腔内初步混光后, 通过扩散膜将光线均匀分散, 之后

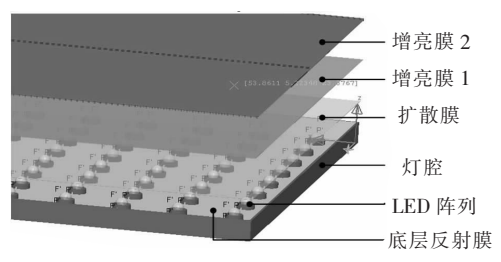


图 1 直下式 LED 背光结构图

Fig. 1 Structure of the direct type LED backlight

进入水平与垂直放置且布有棱镜片微结构的两层增亮膜中,将过于发散的光线汇聚到一定的可视角度内,这样便完成了由 LED 点光源到最终出射面光源的过程^[5]。传统上采用的方案是调整 LED 灯的间距 r 以及灯腔的高度 H 以使 LED 点光源达到最优的混光效果,一般而言,灯腔的高度越高则混光的效果就越好。由于大尺寸液晶显示器、液晶电视对于薄型化设计的需求,如何使灯腔的高度在尽量小的情况下又能保持很好的均匀度,成为各个厂家研发的重点。

3 理论分析

3.1 单颗 LED 光源分析

单颗白光 LED 可以看作郎伯型点光源,以飞利浦的 Luxeon III PW09 为例^[6],其光强角分布图如图 2 所示。

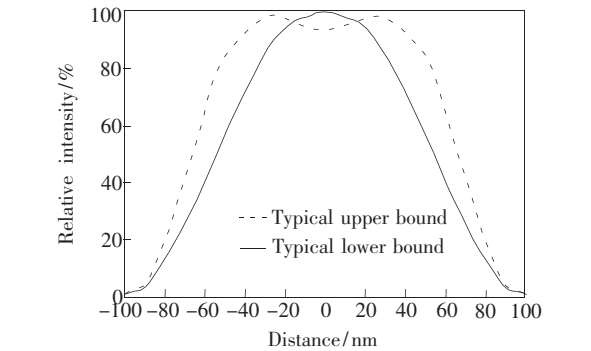


图 2 单颗 LED 光强角分布图

Fig. 2 Light angular distribution of single LED

由于 LED 光强的非均匀分布(角度越大,光强越小),显然每一颗 LED 的光照区域为(传播一定高度后)以其中心点为圆心的同心圆组成的照度不同的区域,图 3 即为单颗 LED 照明时,高度为

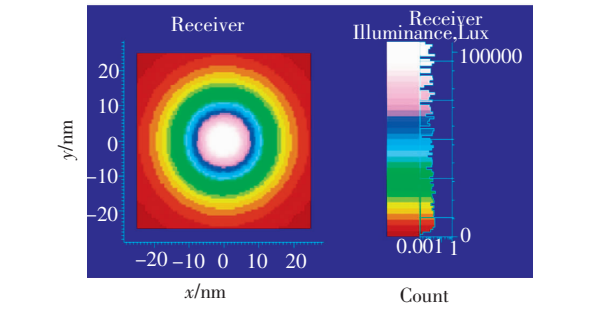


图 3 单颗 LED 照度分布图

Fig. 3 Illuminance raster chart of single LED

10 mm 的接收面照度效果图(LightTools 仿真)。

相邻 4 颗 LED 照明时(图 4 取间隔为 25 mm),高度为 10 mm 的接收面混光照度效果如图 4 所示(LightTools 仿真)。

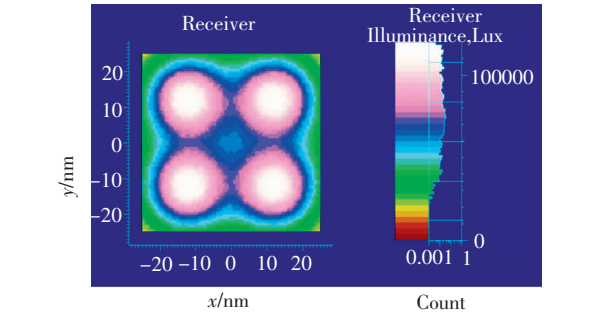


图 4 4 颗 LED 照度分布图

Fig. 4 Illuminance raster chart of four LEDs

3.2 LED 布局方式分析

3.2.1 传统矩阵 LED 布局方式分析

以图 4 的仿真结果作为分析起点。传统上 LED 以矩阵方式布局,由于其点光源的特性,相邻的 LED 发出的光都是以照度圆的叠加方式进行混光,这里假设每一颗 LED 的有效作用范围(相对性区域)为半径为 r 的圆,也就是说 LED 之间的间隔 $l=2r$,取其中的基础性单元进行分析,数学模型如图 5 所示(圆心为每颗 LED 的位置)。

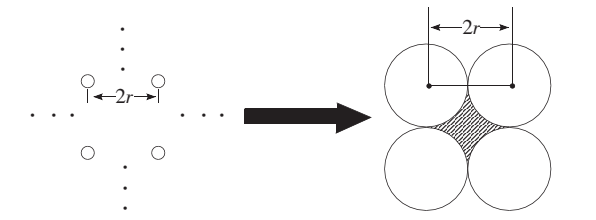


图 5 矩阵 LED 布局方式基本结构

Fig. 5 Basic structure of matrix LED layout

图 5 中阴影部分为相邻 LED 所产生的等量照度环所无法作用到的区域,该部分区域即为混光“盲区”,这部分区域 S_R 的大小是影响最终点光源转换为面光源均匀度的主要因素。

仅仅改变 r 的大小,例如减小 r ,即增大 LED 的密度,虽然会使阴影部分的面积相应减少,但不能使阴影区域所占的比例减少。为了使这一情况有所改善,从几何图论的角度来考虑这个模型,可以通过减少临近接触圆数量的方法来减少 S_R 部分所占的比例^[7]。在此基础上,本文提出了新型正三角形 LED 布阵方式。

3.2.2 新型正三角阵列 LED 布局方式分析

新型正三角阵列的基础结构数学模型如图 6 所示。

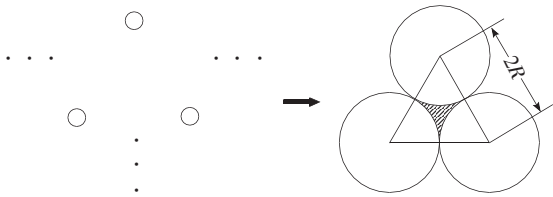


图 6 三角阵 LED 布局方式基本结构
Fig. 6 Basic structure of triangular LED layout

从图 6 可以看到,任意 3 颗 LED 构成了一个正三角形的基础结构。采用此种结构能够有效减少阴影部分 S_T 所占的比例,达到改善 LED 灯腔内混光效果的目的。下面进行详细的对比分析。

3.3 矩阵布局方式与正三角阵列布局方式的对比分析

在单颗 LED 照明功效相同、使用相同数量 LED 照亮等大区域面积的前提下,对比矩阵与正三角形阵列布局的均匀性。利用极限的思想,取无限大的平面区域进行分析,这样模型就转换为使用无限多的 LED 灯对该无限大的平面区域进行照明。假定每颗 LED 所需照亮面积为 S (区域总面积/LED 颗数),矩阵布局结构下“盲区”阴影部分面积为 S_R (图 5 右),正三角形结构下“盲区”阴影部分面积为 S_T (图 6 右)。

3.3.1 无限大区域采用矩阵方式布局

图 7 给出了一个无限大区域采用矩阵布局方式下单颗 LED 所占面积的数学模型,右图对左图的数学模型进行了详尽的划分。以图中标有 M 的 LED 为例,无限大区域中的每一颗 LED 都要成为邻接的 4 块矩阵的中心,每一颗 LED 均需要为其自身作为顶点的 4 块矩阵照亮 1/4 的范围,这样每一颗 LED 所需照亮区域,以 M 为例,即为 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 合在一起的面积,因此得到:

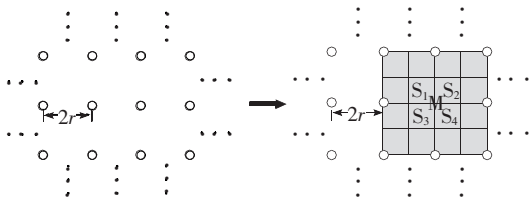


图 7 LED 矩阵布局模型分析
Fig. 7 Analysis of LED matrix layout model

$$S = 4r^2 \tag{1}$$

此结构的基础单元如图 8 所示。

阴影部分(制约均匀性的主要部分)的面积为:

$$S_R = 4r^2 - \pi r^2 \tag{2}$$

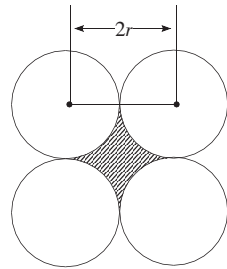


图 8 矩阵布局基础单元
Fig. 8 Basic unit of matrix layout

3.3.2 无限大区域采用正三角形阵列布局

图 9 给出了一个无限大区域采用正三角阵列布局方式下的单颗 LED 所占面积的数学模型,右图对左图的数学模型进行了详细的划分。任意一个 LED 都为临近 6 块正三角形块的公共顶点,以 M 为例,M 要在每一个以自己作为顶点的共计 6 个三角形中各占据 1/3 的面积,这样每一颗 LED 所需照亮的区域为一个由 S'_1 、 S'_2 、 S'_3 、 S'_4 、 S'_5 、 S'_6 共计 6 块子区域组成的一个正六边形结构,由此得到:

$$S = 2\sqrt{3}R^2 \tag{3}$$

此结构的基础单元如图 10 所示。

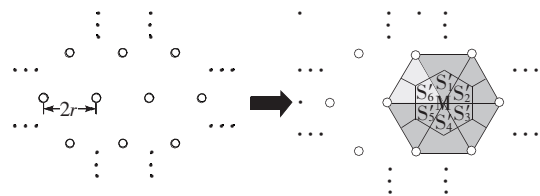


图 9 三角阵 LED 布局模型分析
Fig. 9 Analysis of triangular LED layout model

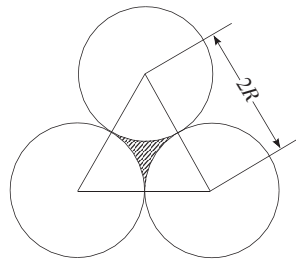


图 10 三角阵布局基础单元
Fig. 10 Basic unit of triangular layout

阴影部分(制约均匀性的主要部分)的面积为:

$$S_T = \sqrt{3}R^2 - \pi R^2/2$$

(4)

3.3.3 两种布局方式的对比分析

因为在两种不同的布局方式下,单位 LED 的照明功效相同(即单位 LED 所需照亮区域 S 相同),所以得到:

$$S = 4r^2 = 2\sqrt{3}R^2$$

(5)

将式(5)代入式(2),得到:

$$S_R = 4r^2 - \pi r^2 \Rightarrow S_R = (2\sqrt{3} - \sqrt{3}\pi/2)R^2$$

(6)

与式(4)对比可得:

$$S_R \approx 4.6S_T > S_T$$

(7)

显然,在相同的单位 LED 照明功效下,采用新型正三角形结构布局的 LED 阵列与矩阵结构

布局的 LED 阵列相比,将会有效减小混光“盲区”,从而提高最终混光的均匀性。

4 背光源效果的模拟与分析

使用 LightTools 仿真软件,按照 1.6:1 的屏幕长宽比,在 480 mm×300 mm 的区域对矩阵 LED 布局 and 正三角阵列 LED 布局进行对比分析,仿真结果按照 10×10 划分区块进行采样。

仿真结果计算公式:

$$P_1 = (I_{\max} - L_{\text{mean}})/L_{\text{mean}}$$

$$P_2 = (L_{\text{mean}} - L_{\min})/L_{\text{mean}}$$

$$P_3 = L_{\min}/L_{\max}$$

(8)

仿真中,单位 LED 照明功效相同;两种布局结构 LED 的间距始终满足 $r^2=\sqrt{3}/2R^2$,表中使

表 1 灯腔高度为 24 mm 时均匀性对比表

Table 1 Comparison of brightness uniformity when height is 24 mm

间距 r (mm)	P_1 (矩阵)(%)	P_1 (三角)(%)	P_2 (矩阵)(%)	P_2 (三角)(%)	P_3 (矩阵)(%)	P_3 (三角)(%)
21	5.35	4.71	5.72	4.93	91.27	91.57
23	5.32	4.68	5.91	4.32	91.53	91.79
25	5.61	4.57	5.93	4.73	91.82	92.14
27	6.40	5.32	6.97	5.77	87.78	89.02
29	7.21	6.33	7.47	6.75	85.63	86.94

表 2 LED 间距 $r=25$ mm, $R=26.86$ mm 时均匀性对比表

Table 2 Comparison of brightness uniformity when $r=25$ mm, $R=26.86$ mm

高度(mm)	P_1 (矩阵)(%)	P_1 (三角)(%)	P_2 (矩阵)(%)	P_2 (三角)(%)	P_3 (矩阵)(%)	P_3 (三角)(%)
16	9.17	8.36	8.13	7.57	83.20	84.10
18	6.96	6.33	6.07	5.76	87.63	88.71
20	5.67	4.26	6.38	3.99	88.77	90.79
22	5.07	4.13	5.37	4.62	90.43	91.37
24	5.61	4.57	5.93	4.73	91.82	92.14

用 r 作为参考量,对应 R 的数值略去。

仿真结果分析如下:

(1) 在单位 LED 照明功效相同的前提下,采用新型三角阵布局所得到的均匀性效果始终优于传统矩阵布局方式,这与理论分析中所得到的结果相吻合,这个优势在高度为 20 mm,间距为 $r=25$ mm, $R=26.86$ mm 的情况下达到 2%。

(2) 从提高均匀性的角度出发,LED 的间距并非越近均匀性效果越好。在表 1 中,当 LED 间隔小于 25 mm 时,在 $r=21$ mm 和 $r=23$ mm 的

情况下均匀度可以维持较高的水准;但较之 $r=25$ mm 时的均匀性,其效果略有逊色。在 LED 间距较近的情况下,三角形阵的均匀性优势并不明显,仅有不到 1%的提升;同时由于大功率 LED 的发热量较大,将 LED 放置过密不利于基板的散热。

(3) 随着灯腔高度的增加,均匀性相应提升,但提升的幅度逐渐减小。正三角形阵布局在均匀性上的优势在低高度下的体现比较明显,在 16~22 mm 高度下均有 1%左右的提升,而在 24 mm 高度下仅有 0.3%的提升。

5 结 论

从大尺寸直下式 LED 背光源的结构出发, 通过对传统的 LED 矩阵布局方式数学模型的分析, 提出了一种新型正三角阵列 LED 布局方式, 经过 Lighttools 软件仿真对比, 证明该新型布局方式在单颗 LED 照明功效相同的情况下, 能够有效提

升均匀度。当灯腔高度为 20 mm 以下时, 均匀度的提升最为明显, 相比传统矩阵布局方式约提升了 2%; 在 LED 间距较小的情况下, 新型正三角阵列结构在均匀性方面的优势并不明显, 与矩阵结构相比仅有不到 1% 的提升; 随着灯腔高度的增大, 新型正三角阵列结构的优势逐渐缩小, 当达到 24 mm 时, 均匀性的提升仅有 0.3%。

参 考 文 献:

- [1] 赵申苓. 液晶显示器背光源驱动优化的探讨[J]. 液晶与显示, 2006, 21(2): 165-168.
- [2] 王晓明, 郭伟玲, 高国, 等. LED 用 LCD 背光源的前景展望[J]. 现代显示, 2005, (7): 24-28.
- [3] 汪敏, 夏咸军. 新型 LED 背光源技术及应用[J]. 光电子技术, 2005, 25(4): 267-270.
- [4] Wiep Folkerts. LED Backlighting Concepts with High Flux LEDs [C]//SID 2004 Digest, San Jose, CA: SID, 2004: 1226-1229.
- [5] Sun Ching-cherng, Moreno Ivan, Chung Shih-hsun, *et al.* Direct LED backlight for large area LCD TVs: brightness analysis [J]. *Proc. SPIE*, 2007, 6669: 696909(1-10).
- [6] Philips Lumileds. Luxeon III emitter technical datasheet (DS45) [R/OL]. [2006-03-31]. <http://www.philipslumileds.com/docs/docs.cfm? docType=3>.
- [7] Douglas B West. 图论导引 [M]. 李建中, 骆吉洲, 译. 北京: 机械工业出版社, 2006.

Design of Novel Triangular LED Array Unit for Direct Type LED Backlight

WANG Shuai, LI Rong-yu, CHEN Xiu-jin, LU Jun-biao

(State Key Laboratory on Fiber Optic Communication Networks and Advanced Optical Communication Systems,

Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China, E-mail: shanewang@sjtu.edu.cn)

Abstract

Based on the analysis of traditional layout of LED matrix array, a mathematical model is built to optimize the luminance uniformity. Design of novel triangular LED array unit is proposed for improving high uniformity of the direct LED Backlight Units (BLUs) for large area LCD-TVs. With the structure of the triangular LED array unit well illustrated and designed, the comparison simulation between traditional and novel layout using Lighttools software is executed to prove that the novel design performed better on the parameter of uniformity. When the light box thickness is at 20 mm, the uniformity of the novel design reaches 90.79%, which is 2% better than the performance of traditional design at 88.77%; when the layout of the LEDs is dense, the improvement that the novel design brings is not obvious, which is about 1%; along with the rising of the light box thickness, the improvement is reducing, when it comes to 24 mm, the figure only stays at 0.3%.

Key words: LED backlight; direct type; triangular layout; uniformity

作者简介:王帅(1984—),男,山东济南人,硕士研究生,主要从事大尺寸液晶屏的 LED 背光方向的研究。