

文章编号: 0253-2239(2005)02-224-4

改进宽银幕投影显示照明系统的设计方法

周 杰 林宇翔 周 平 李海峰 刘 旭

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要: 照明系统是投影显示系统的重要组成部分,决定着整个系统的亮度和照明均匀性。复眼系统是一种常见的液晶投影显示系统照明结构。传统的复眼照明系统设计方法中,复眼小透镜具有与液晶板相同的长宽比,可以获得能量利用率和均匀性都比较好的照明光斑。但研究发现,利用这种方法设计宽银幕投影显示设备的复眼照明系统,会引起一定的光能损失。针对这一问题,通过对复眼系统设计理论的分析和对实际复眼照明系统的模拟,创新性地提出了在照明系统中引入柱面透镜改变复眼小透镜的长宽比的设计方法,能够有效的提高投影系统能量利用率。模拟计算结果表明,引入柱面透镜的复眼照明系统与传统方法设计的复眼系统相比,能量利用率可以提高 5%到 10%。

关键词: 光学设计; 投影显示; 复眼透镜; 液晶显示(LCD)

中图分类号: TN94 文献标识码: A

Method for Improving the Performance of Wide Screen Projection Display Illumination System

Zhou Jie Lin Yuxiang Zhou Ping Li Haifeng Liu Xu

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrument, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract: Illumination system is an important component of projection display system, and decides the whole brightness and uniformity of the whole system. Fly-eye system is a commonly used illumination configuration in liquid crystal display (LCD) projectors. In traditional fly-eye illumination systems, the elemental lens of fly-eye always has the same aspect ratio as the LCD device. But when applied to wide screen projection systems, this will lead to a certain energy loss. This paper presents a new method for improving the performance of wide screen projection display illumination systems, which introduces cylinder lenses. Results of simulation show that a total increment of about 5% to 10% of the output lumens is available with this improved fly-eye system.

Key words: optical design; projection display; fly-eye lens; liquid crystal display

1 引 言

照明系统是投影显示系统中的重要组成部分,其作用是收集光源发出的能量,并将照明光斑调整为适合液晶板的矩形光斑,以满足投影系统对光能利用率和照明均匀性的要求。照明系统的性能直接决定系统的亮度,因而一直成为投影显示技术中的研究重点^[1~4]。

宽银幕是投影显示设备发展的一个重要方向。本文通过对液晶显示投影系统中常见的复眼系统^[5]的设计方法的深入研究,指出了利用传统方法设计宽银幕投影照明系统会引起能量损失的缺点及

其原因,创新性的提出了应用柱面透镜的复眼照明系统,可以有效的提高整个系统的输出亮度。

2 复眼照明系统

复眼照明系统的基本结构如图 1 所示。光源发出的光线经冷抛物反光碗反射后投射在第一组复眼透镜上,被分解为光源阵列,并被成像在第二组复眼上。第二组复眼透镜位于第一组复眼的焦平面上,焦距与复眼 1 相同,它的每个小透镜将复眼 1 对应的小透镜重叠成像于无穷远,进而由照明镜成像于位于其焦平面处的显示器件上。照明镜组又把第二

作者简介: 周 杰(1978~),男,河北省唐山市人,浙江大学现代光学仪器国家重点实验室博士。主要研究方向为投影显示技术和光学系统设计。E-mail: jiezhou@cise.zju.edu.cn.

收稿日期: 2003-11-07; 收到修改稿日期: 2004-05-11

组复眼透镜成像于位于无穷远的投影物镜出瞳处，从而形成柯拉照明结构^[6]。

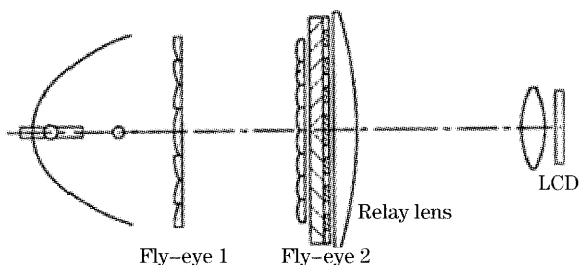


图 1 复眼照明系统原理图

Fig. 1 Schematic of fly-eye system

根据拉赫不变量原理^[7]，由液晶板上的光线高度和孔径角以及复眼透镜的尺寸，可以确定复眼透镜一侧的光线孔径角：

$$nyu = n'y'u', \quad (1)$$

其中 n, n' 为照明系统两侧介质的折射率， y, y' 表示液晶板和复眼透镜的尺寸， u 为液晶板上的光束孔径角， u' 是复眼透镜上的光线孔径角。由 u' 和复眼小透镜的尺寸确定复眼的焦距：

$$f_{\text{fly-eye}} = (D/2)/u', \quad (2)$$

其中 D 为小透镜的口径。照明镜组的焦距由复眼的焦距和照明系统的放大率决定：

$$f' = M \times f_{\text{fly-eye}}. \quad (3)$$

3 传统的复眼照明系统设计方法

传统的复眼系统设计时，两组复眼透镜的小透镜具有与液晶显示器件相同的长宽比。这种设计方法对于长宽比为 4:3 的投影显示系统可以获得较好的设计结果。但将这种方法应用于 16:9 的宽银幕投影系统的设计时，尽管照明系统仍能够为液晶显示器件

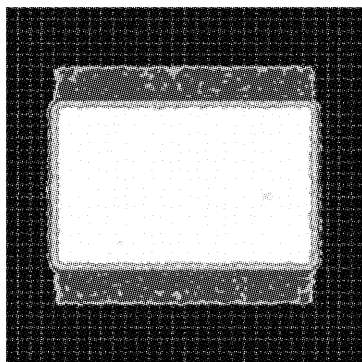


图 2 长宽比为 16:9 的复眼照明系统中液晶面板表面上的能量分布

Fig. 2 Energy distribution on the LCD plane of a fly-eye illumination system with a 16:9 element aspect ratio

提供大小合适和均匀性良好的照明光斑，但同时也造成部分能量损失。图 2 给出了小透镜长宽比为 16:9 的复眼系统在液晶板上形成的照明光斑。从图 2 可见，中心照明光斑的上下各有一条深色能量带，落在该区域内的光能无法被后续的投影系统利用。

图 3 给出了该系统在复眼 2 上的光斑分布图。图中的网格表示相应的复眼小透镜的区域。从图中可见，由复眼 1 的小透镜所形成的光斑，部分能量落在了复眼 2 中相对应的小透镜的相邻透镜内，中间两列小透镜上的光斑相互交叠尤为严重。正是由于这种光斑的交叠分布，破坏了复眼透镜的成像关系，从而形成了在图 2 中照明区域上下分布的能量较弱的光斑。

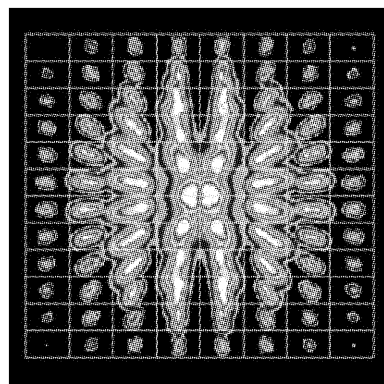


图 3 长宽比为 16:9 的复眼照明系统中第二复眼透镜前表面上的能量分布

Fig. 3 Energy distribution on the front surface of fly-eye lens 2 of a 16:9 aspect ratio fly-eye system

引起复眼 2 上光斑交叠的主要原因是小透镜过小，光线经过复眼 1 的小透镜后所形成的光斑超出了复眼 2 相应小透镜的范围。落在相邻透镜内的光线具有过大的角度，从而引起液晶板上光斑增大，导致图 2 中所示的能量损失。

4 引入柱面透镜的新型复眼照明系统

提高 16:9 复眼系统小透镜的竖向宽度，可以减轻光斑交叠现象。但如果维持长宽比不变，会导致复眼小透镜的尺寸变大，复眼的列数减小，影响到系统的均匀性和能量利用率。

引入柱面透镜可以较好的解决这一问题。柱面透镜是仅在一个方向上具有非零曲率的透镜，采用柱面透镜的光学系统具有不同的横向和竖向放大率，因而可以改变像面的长宽比。这样，复眼的小透镜就可以具有小于 16:9 的长宽比，而通过柱面透镜形成 16:9 的照明光斑，同时也消除了原有的光斑交叠现象。改

进后的宽银幕复眼照明系统如图 4 所示。

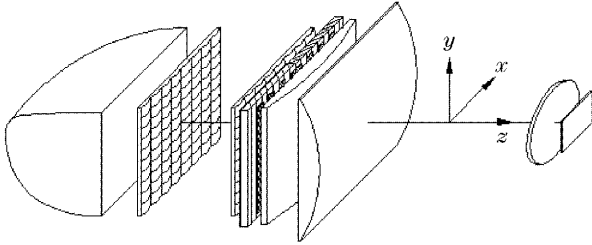


图 4 引入柱面透镜的改进复眼照明系统结构图

Fig. 4 Improved fly-eye system that introduces cylinder lenses

图 5 给出了确定照明系统初始结构的原理图。复眼 1(物面)位于复眼 2 的焦平面上,液晶板(像面)位于由 Lens 1、Lens 2 和 Lens 3 组成的照明镜组的焦平面上。Lens 3 由于非常靠近像面($d_4 \approx 0$),相当于场镜,对成像没有影响。对 x 方向,Lens 2 相当于玻璃平板,因而可得 x 方向放大率为

$$M_x = \frac{d_2 + d_3 + d_4}{d_0} = \frac{f'_1}{f_{\text{fly-eye}}}, \quad (4)$$

同样,对 y 方向,Lens 1 相当于平板,因而 y 向放大率为

$$M_y = \frac{d_3 + d_4}{d_0} = \frac{f'_2}{f_{\text{fly-eye}}}. \quad (5)$$

复眼小透镜的焦距等参量由光源、复眼及液晶器件的口径和照明光束的数值孔径确定, d_1 、 d_4 等由系统对机械结构的要求决定,照明系统的 M_x 、 M_y 由复眼 1 小透镜与液晶板的物象关系确定,因此可以由以上两式得到 Lens 1 和 Lens 2 的焦距,并进一步由照明系统对光束孔径角的要求得到 Lens 3 的焦距。

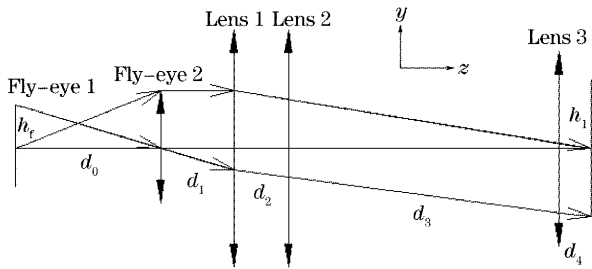


图 5 改进复眼照明系统的工作原理

Fig. 5 Schematic of improved fly-eye system

5 设计结果比较及结论

图 6 和图 7 给出了应用柱面透镜的宽银幕复眼照明系统在液晶板和复眼 2 上的光斑分布情况。改进的系统使用普通的 4:3 的复眼透镜,在复眼 2 不存在明显的光斑交叠现象,而由于柱面透镜具有不同的 x 和 y 方向的放大率,照明系统形成的光斑不

仅具有适合液晶板的尺寸,而且也消除了图 2 中存在的无法被后继系统利用的能量带。

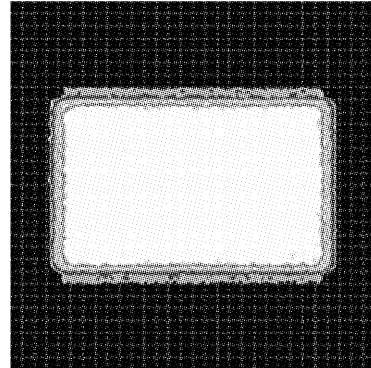


图 6 应用柱面透镜的复眼照明系统中液晶板表面上的能量分布

Fig. 6 Energy distribution on the LCD plane of a fly-eye illumination system that introduces cylinder lenses

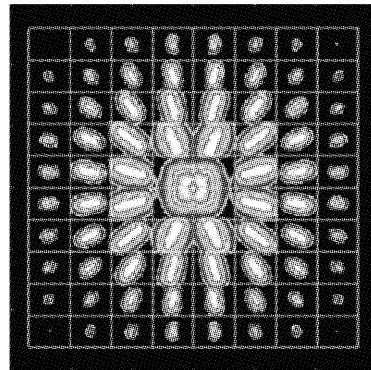


图 7 改进的复眼照明系统中第二复眼透镜前表面上的能量分布

Fig. 7 Energy distribution on the front surface of fly-eye lens 2 of the improved fly-eye system

表 1 给出了利用照明系统仿真软件对普通的 4:3 投影照明系统(系统 1)、依据传统方法设计的 16:9 投影照明系统(系统 2)和引入柱面透镜的改进 16:9 投影照明系统(系统 3)进行模拟的数据结果。其中柱面复眼系统采用与 4:3 系统中相同的两组复眼透镜。三个系统均使用 120 W 的抛物形超高压汞灯(UHP)作为光源,出射光能为 7000 lm。为保证不同系统的可比性,三种复眼系统的小透镜对角线尺寸相同,同时复眼透镜的行列数满足整个复眼的尺寸基本相同,使得由光源进入复眼系统的光能基本相同,而且复眼 2 上光束的孔径角和光线高度相同,从而根据(1)式,保证三个系统具有相同的拉赫不变量。各复眼透镜均为均匀复眼,不同位置的复眼小透镜完全相同,而不采用偏心设计。系统模拟过程中都不考虑其它方式的能量损失,包括灯碗、复

眼及其它透镜的吸收,以及透镜等光学元件表面的反射损失等。系统的输入能量为复眼 1 上的入射能量,输出能量为经过两组复眼透镜和照明镜组后进入液晶器件照明区域的光能。

表 1 三种复眼照明系统的比较

Table 1 Comparison of three fly-eye illumination systems

	System 1	System 2	System 3
System aspect ratio	4:3	16:9	16:9
Element aspect ratio	4:3	16:9	4:3
Element size /mm	6.4×4.8	7.0×3.9	6.4×4.8
Element number	8×10	7×13	8×10
Fly-eye size /mm	51.2×48.0	49.0×50.7	51.2×48.0
Input lumens /lm	5453	5452	5453
Output lumens /lm	3145	2746	2980

由以上数据可见改进的 16:9 复眼照明系统的输出光能比未改进的照明系统提高了 8.5%, 非常接近 4:3 照明系统的输出能量。

该复眼照明系统的优点是能够在为宽画幅投影系统的显示器件提供大小合适的照明光斑的同时进一步提高系统的输出能量(5%~10%), 对于对能量利用率有着严格要求的投影显示系统, 这一改进有着非常重要的意义。该系统的结构和原理与常见的复眼照明系统相似, 设计方法简便。同时复眼小透镜的长宽比可以为 4:3, 与普通画幅的投影系统相同, 经过合理的设计, 两者完全可以互换, 有利于降低多型产品生产的成本。另一方面, 该系统的设计原理适用于各种长宽比的系统, 可以根据复眼 2 上的光斑分布情况优化复眼小透镜的长宽比, 从而进一步提高系统的能量利用率。采用具有非球面的

柱面透镜和复眼透镜, 可以进一步提高系统性能。

参 考 文 献

- 1 Gu Peifu, Liu Xu, Li Haifeng *et al.*. Polarization selective beamsplitter used for liquid crystal light valve large screen display[J]. *Acta Optica Sinica*, 1995, **15**(5): 1111~1114 (in Chinese)
顾培夫, 刘旭, 李海峰等. 液晶光阀大屏幕显示中的偏振分色系统[J]. *光学学报*, 1995, **15**(5): 1111~1114
- 2 Yao Liying, Yi Kui, Yang Jian *et al.*. Design and fabrication of polarizing beam splitter for projection display system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(9): 1116~1118 (in Chinese)
姚李英, 易葵, 杨健等. 应用于投影显示系统的偏振分光镜的设计和制备[J]. *光学学报*, 2002, **22**(9): 1116~1118
- 3 Zhang Yueguang, Gu Peifu, Liu Xu *et al.*. Color-separation multilayer systems used for thin film transistor-liquid crystal display[J]. *Acta Optica Sinica*, 1999, **19**(6): 791~794 (in Chinese)
章岳光, 顾培夫, 刘旭等. 薄膜晶体管液晶投影仪中的偏振分色薄膜[J]. *光学学报*, 1999, **19**(6): 791~794
- 4 Zhang Zengbao, Weng Zhicheng, Cong Xiaojie *et al.*. Design on a fly lens array illumination system applied in LC rear projective TV[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, **10**(2): 126~129 (in Chinese)
张增宝, 翁志成, 丛小杰等. 液晶背投影电视中蝇眼透镜阵列照明系统的设计[J]. *光学精密工程*, 2002, **10**(2): 126~129
- 5 Edward H. Stupp, Matthew S. Brennessoltz. *Projection Displays* [M]. SID (Society for information display), 1998. 116~120
- 6 Zheng Zhenrong. *Studies on Theoretical Analysis and Application of the Optical System Used in Liquid Crystal Projection Display*[D]. State Key Lab of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, 1999. 41~44 (in Chinese)
郑臻荣. 液晶投影显示光学系统的理论分析与应用研究[D]. 浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 1999. 41~44
- 7 Li Xiaotong. *Geometry Optics and Optical Design* [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1997. 14~15 (in Chinese)
李晓彤. 几何光学和光学设计[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1997. 14~15