

文章编号 1004-924X(2002)02-0126-04

# 液晶背投影电视中蝇眼透镜阵列照明系统的设计

张增宝, 翁志成, 丛小杰, 张新, 常军  
(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所  
应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130021)

**摘要:**在对液晶背投影电视系统进行分析的基础上对其照明系统进行了设计,设计中采用蝇眼透镜阵列方法来提高照明系统的光能利用率和均匀性,并用 Light Tools 软件模拟,结果表明这种方法可实现 ANSI 均匀性 +5.07%, -8.61%, 光能利用率大于 70%,有效的提高了系统整体性能。同时针对实际光源的计算机建模进行了阐述,给出了蝇眼透镜阵列照明系统的设计方法和设计实例。

**关键词:**液晶背投影电视; 蝇眼透镜阵列; 光源建模; 光学设计  
中图分类号: TN942// TN949.192 文献标识码: A

## 1 引言

液晶背投影电视系统,是近几年发展起来的一种新的电视技术,由于其具有绿色环保、零辐射、体积小、重量轻、高亮度和色保真度,对传统的 CRT 电视带来了挑战,并将广泛应用于军事指挥机关、企业、商业、科研和教育部门、娱乐场所。据美国 Stanford Resources 的研究报告预测,全球范围内投影显示市场总值将从 1998 年的 72.2 亿美元增长到 2004 年的超过 117 亿美元。随着数字电视,高清晰电视标准的确立,液晶背投影电视有了更加广泛的应用前景和市场,最终会成为理想的显示终端。

液晶背投影电视的照明系统,是其主要的组成部分,并且直接影响到系统的最终性能,因此实现高亮度、高均匀性、高效率的照明系统的光学总体设计是这一系统的关键,在研究中,我们采用蝇眼透镜阵列方法提高系统的光能利用率和图像均匀性,计算机模拟的设计结果表明,采用这种方法可实现较高的均匀性和光能利用率,有效地提高系统的整体性能。

## 2 液晶背投影电视系统结构

以 TN/ TFT (Twisted Nematic/ Thin - Film Transition) 液晶板作为液晶光阀的背投影电视系统为例,主要由照明系统、偏振分色合成系统、液

晶光阀、投影物镜和投影屏幕组成。由金属卤化物发出的光经抛物面反射镜反射后,再经复眼透镜、偏振旋转合成棱镜,由二向色板将白光分解为红、绿、蓝三原色,分别照射在三块液晶板上,图像信号由驱动电路写入三片液晶板中, R、G、B 图像由 X 棱镜合成后,再经投影物镜在屏幕上形成彩色图像。

## 3 蝇眼透镜阵列照明系统

大尺寸、高亮度、高清晰度等特征是液晶背投影电视技术受到广泛重视的主要原因。为实现较高的分辨本领,必须要求光学系统提供充分均匀和高能量利用率的照明。一般的光源和透镜系统都符合高斯强度分布,如果在系统中采用普通的光学系统,将会出现图像中间较亮,而边缘亮度明显下降的现象,故我们在系统设计中采用透镜阵列方法以提高光能量利用率及均匀性,从而提高系统的整体光学性能,系统原理如图 1 所示。

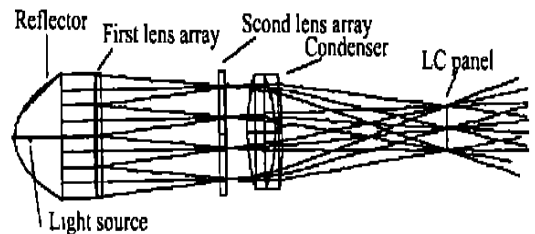


图 1 蝇眼透镜阵列照明系统原理图

Fig. 1 Illustration of the fly lens array illumination system.

收稿日期: 2001-08-09; 修订日期: 2002-01-12

基金项目: 中国科学院创新基金项目

系统采用双排蝇眼透镜阵列。每排蝇眼透镜阵列由一系列相同的小透镜组成。超高压水银灯置于反射聚光镜的焦点上,灯弧沿轴放置,由灯弧发出的光经抛物面反射聚光镜后近似于平行的投射于第一组蝇眼透镜上,两组蝇眼透镜的间隔等于第一组透镜中透镜元的焦距,灯弧通过第一排蝇眼透镜的每个小透镜成像到第二组蝇眼透镜上,在第二组透镜阵列上形成多个灯弧像,后面的聚光透镜将多个灯弧像叠加后均匀地照明液晶板。由于整个宽光束被分为多个细光束照明,而每个细光束的均匀性必然大于整个宽光束范围内的均匀性,又因为对称位置细光束的相互叠加,使细光束的细微不均匀性又能获得进一步的补偿,因而采用双排蝇眼透镜阵列可使整个孔径内的光能更均匀更有效地利用。

蝇眼透镜阵列照明系统的设计步骤如下:

由于旋转抛物面反射镜使光源产生发散角

$$= \tan^{-1} \frac{d}{4f},$$

( $d$ :光源的弧长, $f$ :反射聚光镜焦距) (1)

这个从光源产生的发散角由第一透镜组成像到第二透镜组的位置,第二透镜组各透镜的大小为

$$B = 2 \tan \alpha \times f_A = \frac{df_A}{2f},$$

( $f_A$  第一透镜组各透镜焦距) (2)

第二透镜组各透镜的最小尺寸是  $B$ , 因为从反射聚光镜出射的是近似平行光, 所以应使第一透镜组各透镜的尺寸与第二透镜组各透镜的尺寸相同。

$$A = \frac{df_A}{2f},$$
 (3)

第一透镜组的每个透镜都应通过第二透镜组成像到 LC 上, 因此 LC 和第一透镜组的每个透镜之间有一个比例关系。第二透镜组到 LC 间的距离:

$$L_{BC} = \frac{2W''f}{d} \quad (W'' \text{ : 液晶板的尺寸}),$$
 (4)

对于给定反射聚光镜参数(焦距、和孔径)、光源弧长、液晶面板尺寸后, 就可根据公式(1)~(4), 设计出照明系统。但同时应考虑以下三个问题:

1) 透镜个数: 为充分发挥复眼透镜阵列的匀光化作用, 应选择适当的小透镜数目。透镜个数

过少, 失去了利用小透镜将宽光束分裂为细光束的作用。个数增加能改善高斯光束的照明均匀性, 但个数的增多使加工的成本和难度增加, 同时由于照明系统本身的像差, 并不能使照明均匀性获得更进一步的提高。因而应当综合考虑反射聚光镜、光源的发光特性和照明均匀性的指标来确定小透镜的数目。在本系统中每个透镜阵列使用了 18 块小透镜。

2) 透镜阵列的排列: 蝇眼透镜阵列照明系统不但提供液晶板的均匀照明功能, 而且还要实现将光源的圆光斑输出转化为矩形光斑照明的作用。因而小透镜的长宽比要与液晶板的长宽比例相同: 4:3 或 16:9。同时透镜阵列的排列方式应从三方面考虑: 能量利用率、照明均匀性及液晶板的形状。设计实例的透镜阵列排列如下图:

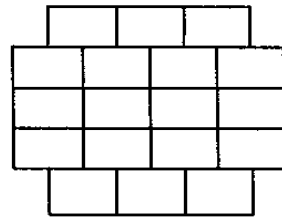


图 2 蝇眼透镜阵列排列

Fig. 2 Arrangement of fly lens array.

3) 对实际光源的计算机建模: 因为光源的弧长尺寸、空间位置发光分布、空间方向发光分布等参数直接关系到照明系统中反射聚光镜参数的选取和光能利用率的高低, 因此在建模过程中要充分考虑各个参数, 力求接近实际光源的照明效果。在本系统中使用多个体光源来等效实际光源, 具体设计过程如下:

实际光源参数: 光源总光通量: 假定为 100 Lumens, 光源弧长: 1mm, 光源发光的空间分布和方向分布如图 3。

在光源建模时, 用一组嵌套的圆柱体光源实现实际光源的空间位置分布, 每个分光源外形尺寸分别和实际光源辐射等值线上 20%、40%、60%、80%、100% 相对应(如图 4), 而这组体光源的相对发光强度都相同, 这样一组嵌套的圆柱体光源就能近似模拟出实际光源发光的空间位置分布。

光源的总功率为  $P$ , 每个圆柱体光源的体积为  $V_i$ , 每个光源的功率  $P_i = P \times (V_i / V)$ ,  $V$  是

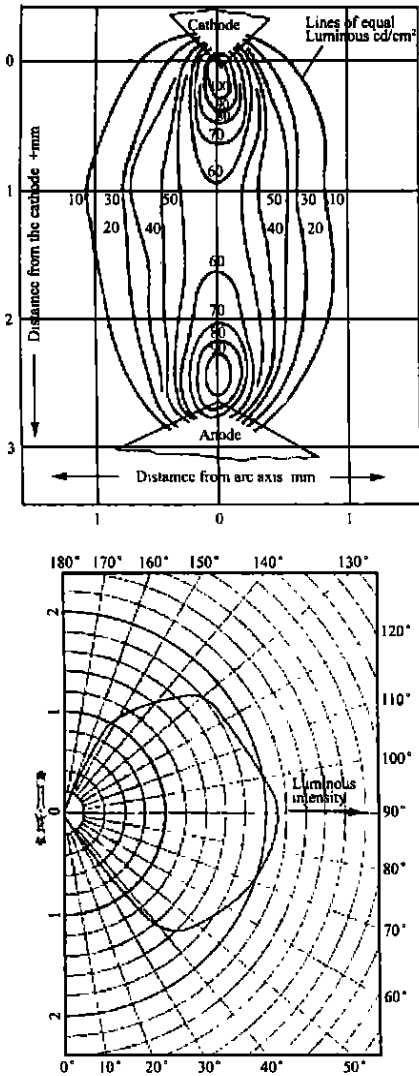


图 3 实际光源发光的的空间分布和方向分布  
Fig. 3 Spatial and angular variations of actual light sources.

各圆柱体光源体积  $V_i$  的和。上面 7 个圆柱体光源数据如表 1:

表 1 各圆柱体光源数据

Table 1 Data of cylindrical volumne sources

Luminance contour	Length	Diameter	Volume	$V_i/V$	Power $P_i$
20	1	0.125	0.0491	0.7317	73.17
40	1	0.068	0.0145	0.2165	21.65
60	0.35	0.0325	0.0012	0.0173	1.73
60	0.35	0.0325	0.0012	0.0173	1.73
80	0.21	0.0275	0.0005	0.0074	0.74
80	0.21	0.0275	0.0005	0.0074	0.74
100	0.15	0.018	0.0002	0.0023	0.23

光源的空间角度分布可利用 Apodizer 功能<sup>[2]</sup>模拟实现,图 4 的空间角度分布可用表 2 数据实现。

表 2 实际光源的方向分布模拟数据

Table 2 Modeling data of angular variations of actual light sources

Angle(°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Weight	0	0	0.20	1.06	1.40	1.80	1.82	1.90	2.00	2.10
Angle(°)	100	110	120	130	140	150	160	170	180	
Weight	2.07	2.00	1.83	1.77	1.40	0.20	0	0	0	

蝇眼透镜阵列设计参数:

液晶板尺寸:15.68mm ×11.76mm。

蝇眼透镜阵列透镜元尺寸:9mm ×12mm。

旋转抛物面反射聚光镜:  $r = 24\text{mm}$ ,

$k = -1$ 。

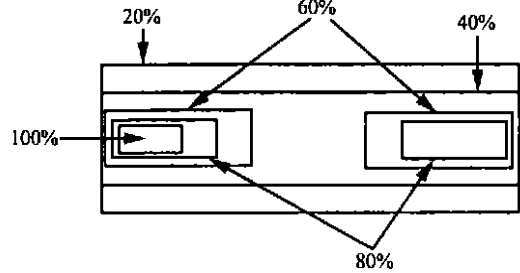


图 4 用来模拟位置分布的一组光源

Fig. 4 Nested cylindrical volume sources used to model an arc lamp.

设计实例的计算机模拟如图 5 所示。

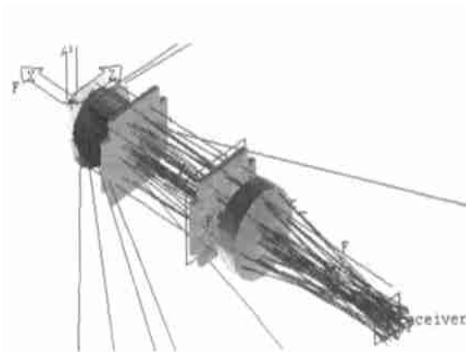


图 5 设计实例的计算机模拟图

Fig. 5 Computer modeling layout of the designed sample.

## 4 结果及讨论

利用 Light Tools 软件照明模块对设计实例建

表 3 ANSI(thirteen points)数据(单位 LUX)

Table 3 ANSI(thirteen points) data(unit:LUX)

48.919937	48.369781	49.184025
50.755238	50.613338	50.766796
49.073555	48.870323	48.965118
45.235008	47.676025	47.676025

表 4 输出的液晶板光亮度 mesh 数据(单位 LUX)

Table 4 Output lightness distribution mesh data of a LC panel

48.600468	48.498962	47.904888	48.462032	48.501759
50.082668	49.831642	49.853264	50.104218	49.860123
51.264187	51.505779	50.431061	51.22929	51.074901
50.085915	49.768311	49.950821	50.231071	49.965153
48.54858	48.388927	47.965015	48.267429	48.510239

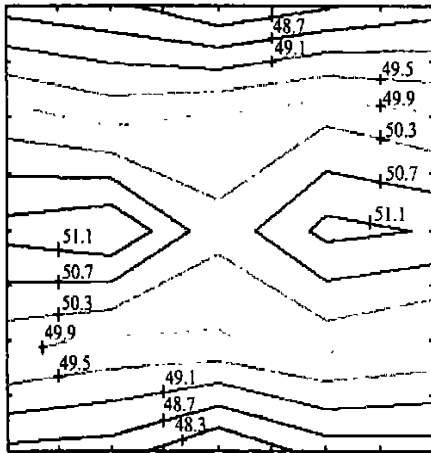


图 6 模拟的液晶板上的光亮度分布

Fig.6 Lightness distribution of a modeling LC panel.

模,在光源建模时,力求模拟实际光源,考虑到光源的弧长、发光的位置和方向分布,通过计算 100,000 条光线在模拟液晶板上得到的照明结果如图 6。根据美国国家标准化组织(ANSI)均匀性计算方法(thirteen points)<sup>[5]</sup>得到在液晶光阀上的 13 点数据如表 3,利用软件的 MESH 功能<sup>[2]</sup>得到模拟液晶板上的 25 个采样点数据如表 4。模拟结果显示,采用蝇眼透镜阵列照明系统,液晶光阀上的光分布可实现 ANSI 均匀性(thirteen points)<sup>[5]</sup>+5.07% - 8.61%、光能利用率为 71% 的照明输出。能够满足液晶背投影电视对照明系统的指标要求。

## 参考文献:

- [1]宋菲君 Jutamulia S.近代光学信息处理[M].北京:北京大学出版社,1998.4.
- [2]Optical Research Associates. *Light Tools Illumination Module User's Guide*[M]. 1997.9.
- [3]Yoo J, Kung Ch, et al. Compact projection optical engine[J], *SPIE*,1998,3296:46.
- [4]Alan E, Rosenbumth, Rama N. Singh. Projection optics for reflective light valves[J], *SPIE*,1999,3634:87.
- [5]Leon Shapiro. New ANSI/IEC standard for projectors[J], *SPIE*,1996,2650:209 - 211.

## Design on a fly lens array illumination system applied in LC rear projective TV

ZHANG Zeng-bao, WENG Zhi-cheng, CONG Xiao-jie, ZHANG Xin, CHANG Jun

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)

**Abstract:** Based on analyzing the LC rear projective TV system, a fly-eye lens array illumination system has been designed, which can magnificently improve the optical performance. The modeled result by means of the Light Tools software shows that the uniformity can reach +5.07%, -8.62%, and the effective energy can be above 70%. This paper also explicates the computer modeling based on the actual light source, and presents the design method and cases.

**Key words:** liquid crystal rear projective TV; fly-eye lens arrays; light source modeling; optical design

**作者简介:**张增宝(1976-),男,河北省保定市,1999年毕业于南开大学物理系,获理学学士学位,同年考入中科院长春光学精密机械与物理研究所攻读硕士研究生。2001年获直接攻读博士学位资格,现攻读博士学位。主要从事应用光学方面研究。