

文章编号:1002-2082(2018)02-0169-05

通用型数字鱼眼镜头检测系统的设计

李维善^{1,2},单宏^{1,2},高今朝²,阎继华^{1,2},杨刚²,

王虹达^{1,2},张文胜^{1,2},王宏伟^{1,2},于梅霞²

(1. 秦皇岛美视达视听检测技术有限公司,河北 秦皇岛 066000;

2. 秦皇岛视听机械研究所,河北 秦皇岛 066000)

摘要:设计了一种通用型数字鱼眼镜头检测系统,由照明系统、检测标板、等效平行平板系统和球幕组成。照明系统内部设有平面反光镜、柱体蝇眼透镜阵列、准直物镜,起到了缩小系统体积,提高光能利用率和照明均匀性,以及实现照明光斑大小尺寸可调的作用。其球幕内壁刻有角度分划尺,用于测量被测镜头的视场角。测试系统的照明视场范围为 $\varphi8.1\text{ mm} \sim \varphi36.3\text{ mm}$,照度均匀度达到91%,光通量大于5 000 lm,且大小可调。检测系统可实现对芯片尺寸为 $0.55'' \sim 1.55''$ 的1DLP、3DLP、3LCD、3LCOS的各种类型的数字投影或放映鱼眼镜头的像方视场角、分辨率、彩色还原性能、色差等性能和放映效果进行测试,降低了检测成本,通用性强。

关键词:光学设计;检测系统;数字鱼眼镜头;照明系统

中图分类号:TN202;O439

文献标志码:A

DOI:10.5768/JAO201839.0201002

Design of universal digital fish-eye lens testing system

Li Weishan^{1,2}, Shan Hong^{1,2}, Gao Jinzhao², Yan Jihua^{1,2}, Yang Gang²,

Wang Hongda^{1,2}, Zhang Wensheng^{1,2}, Wang Hongwei^{1,2}, Yu Meixia²

(1. Qinhuangdao Meishida Audio-Visual Testing Technology Co. Ltd., Qinhuangdao 066000, China;

2. Qinhuangdao Audio-Visual Machinery Research Institute, Qinhuangdao 066000, China)

Abstract: A universal digital fish-eye lens testing system was designed. The system is composed of illumination system, testing plate, equivalent parallel plate system and ball screen, and the illumination system is configured of plane reflector, cylindrical fly-eye lens array and alignment lens. In this way, the volume of system is reduced, the utilization rate of light energy and uniformity of illumination are improved, and the size of the illumination spot can be adjusted. An angle dividing ruler is carved on the inner wall of ball screen for testing the field of view(FOV) of lens. The range of illumination FOV for testing system is $\varphi8.1\text{ mm} \sim \varphi36.3\text{ mm}$, the illumination uniformity is 91%, and the luminous flux of testing system is above 5 000 lm which is adjustable. The testing system can test the performance of various types of fish-eye lenses with 1DLP, 3DLP, 3LCD and 3LCOS in $0.55'' \sim 1.55''$ chip size, such as FOV angle, resolution, color rendition, chromatic aberration, and the projection effect. It has strong general availability, and can reduces the cost of testing.

Key words: optical design; testing system; digital fish-eye lens; illumination system

引言

随着数字视频制作技术和数字投影机技术的

快速发展,球幕数字投影越来越受到青睐,被广泛应用于天文、地理教学、展览展示等领域^[1-3]。然

收稿日期:2017-07-19; 修回日期:2017-09-15

基金项目:科技部科研院所技术开发研究专项基金(2011EG119199);科技部中小企业科技创新基金(10C26211303678)

作者简介:李维善(1982—),男,江苏沛县人,硕士,高级工程师,主要从事光学系统研发设计、光学产品、电影电教产品检验检测方法的研究工作。E-mail: 54Liweishan@163.com

而,市场上数字投影机的品牌和规格繁多,所需要配制的数字鱼眼镜头的规格也很多,检测为数字投影机配制的数字鱼眼镜头便成为了难题。目前,国内外还没有相关的检测设备对数字鱼眼镜头的性能、放映效果进行全面的测试,只能购买价格昂贵的与之匹配的数字投影机来进行性能、放映效果的测试,这样不仅增加了测试费用成本,而且通用性差。为此,研制一种通用型可检测各种类型数字投影鱼眼镜头的检测系统,变得十分迫切。本文研究讨论了一种鱼眼镜头检测系统,可实现芯片尺寸为 $0.55''\sim 1.55''$ 的1DLP、3DLP、3LCD、3LCOS的各类型的数字投影或放映鱼眼镜头的像方视场角、分辨率、彩色还原性能、色差等性能和放映效果进行测试,通用性强。

1 技术要求

设计一种检测系统,可以满足 $0.55''\sim 1.55''$ 的1DLP、3DLP、3LCD、3LCOS的各类型的数字投影或放映鱼眼镜头的性能参数和放映效果的测试,可实现的照明视场范围大于 $\varphi 8.5\text{ mm}\sim \varphi 35\text{ mm}$,照明视场的照度均匀性应不低于85%,出射光通量应不小于5 000 lm。

2 设计思路

数字鱼眼镜头的设计是根据所配接的数字投影或放映机的关键参数和尺寸而定,如数字鱼眼镜头的像高由芯片尺寸而确定。为了更好地匹配系统整体像差,数字鱼眼镜头在设计时需要加入等效平行平板来模拟数字投影或放映机内部光学引擎中分合色棱镜^[4-7]。

要满足不同规格的数字鱼眼镜头的性能(视场角、分辨率、彩色还原性能、色差)和放映效果的测试,检测系统需要具有不同种类和规格的检测标板,同时具有模拟数字投影或放映机内部分合色棱镜的功能,以及具有可以形成均匀且大小尺寸能改变的照明视场的功能。

3 设计过程

3.1 鉴别率标板的设计

数字投影或放映机的分辨率直接决定了所配接的数字鱼眼镜头的极限分辨率^[4,8],由公式(1)得出:

$$R_L = \frac{1}{2 \times \frac{L_p}{R_p}} = \frac{R_p}{2 \times L_p} \quad (1)$$

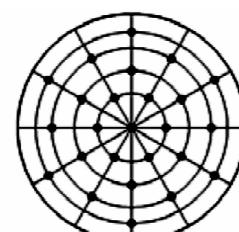
式中: R_L 为数字鱼眼镜头的极限分辨率; R_p 为数字投影或放映机芯片的横向分辨率; L_p 为数字投影或放映机芯片的横向尺寸。

表1列出了主流数字投影或放映机对数字鱼眼镜头极限分辨率的要求。一般情况下,镜头设计时会将极限分辨率的设计值提高到理论值的1.3到1.5倍,所以,实际数字鱼眼镜头的最高极限分辨率可能会达到100 lp/mm,甚至会更高。考虑到检测系统的通用型,鉴别率标板的单个分辨率图案包含5组线对,分别为125 lp/mm、100 lp/mm、80 lp/mm、63 lp/mm、50 lp/mm。鉴别率标板的尺寸根据各种规格的数字鱼眼镜头的成像像高而确定,每种规格的鉴别率标板在0、0.3、0.5、0.7、0.85视场上均匀分布着单个分辨率图案,如图1所示,给出了鉴别率标板的示意图。

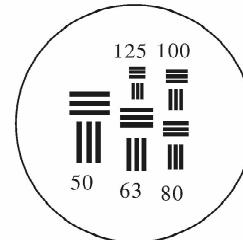
表1 不同数字投影机对应的镜头极限分辨率

Table 1 Different types of digital projectors and corresponding ultimate resolutions of lenses

芯片尺寸/in	芯片像素	极限分辨率/lp/mm
0.76	1920×1200	59
0.7	1024×768	36
0.67	1920×1200	66.5
0.65	$1920 \times 1080, 1280 \times 800, 1024 \times 768$	66.8 / 45.7 / 38.8
1.2	2048×1080	38
1.38	4196×2160	67



(a) 鉴别率标板



(b) 鉴别率标板的单个分辨率图案

图1 鉴别率标板的示意图

Fig. 1 Diagram of discrimination board

3.2 照明系统的设计

目前投影显示系统中主要采用复眼透镜照明系统和方棒照明系统 2 种照明方式^[9]。

复眼透镜照明系统采用双排复眼透镜, 属于柯拉照明。照明系统由于光源的整个光束被分为多个细光束照明, 而且对称位置上的细光束光斑互相叠加, 所以形成了较为均匀的照明场。但是复眼透镜照明系统结构较为复杂, 很难保证 2 组复眼透镜严格的同轴, 加工较为困难。

而方棒照明系统采用方棒形式, 光在光棒里面多次反射, 每次反射都会形成虚拟光源像, 多次反射形成二维的虚拟光源矩阵, 从而使得光更加均匀。但是方棒照明系统存在能量利用率相对较低, 而且系统结构较长。

为了克服现有投影照明系统的不足和缺点, 研究讨论了采用柱体(六边形)蝇眼透镜照明系统来提供高均匀的照明场。相比双排复眼透镜结构, 柱体蝇眼透镜结构不但避免了在加工工艺中产生的两组蝇眼不同轴的误差和前后组蝇眼之间的粘合剂对光的吸收、散射以及杂光的入侵问题, 而且还减少了加工面, 简化了机械固定结构; 相比方棒结构, 能量利用率更高, 系统的结构更加紧凑, 有利于小型化。

系统由抛物型的反光碗光源、柱体蝇眼透镜阵列、准直物镜(场镜和集光镜)组成。其工作原理图如图 2 所示, 抛物型的反光碗光源发出类平行光, 类平行光进入柱体蝇眼透镜阵列被形成多点光源, 多点光源经准直物镜的调制之后均匀叠加在系统片窗上, 如图 3 所示。

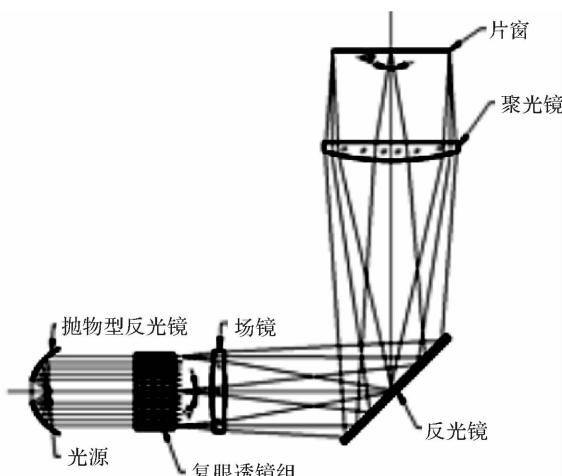


图 2 工作原理图

Fig. 2 Working principle diagram

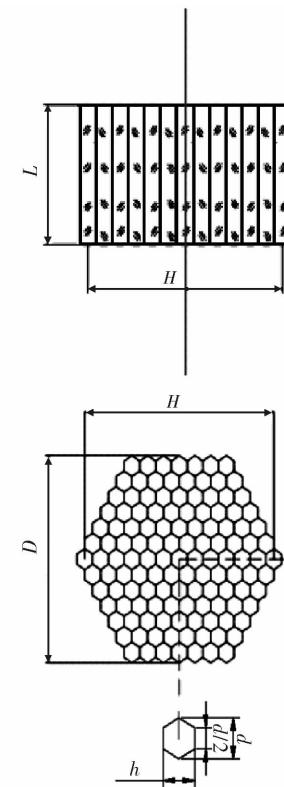


图 3 柱体蝇眼透镜阵列结构图

Fig. 3 Architecture diagrams of cylindrical fly-eye lens array

3.3 照明系统中关键元件基本参数的确定

准直物镜的焦距 $f_{\text{准}}$ 与照明场的大小 y 存在以下关系:

$$f_{\text{准}} = \frac{y/2}{\tan\omega} \quad (2)$$

式中, ω 为准直透镜的视场角, 如图 4 所示。

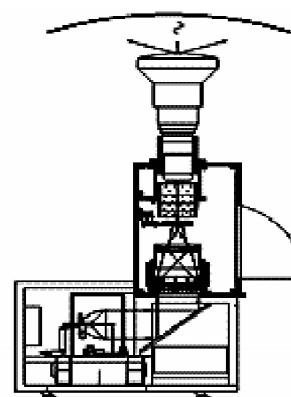


图 4 检测系统结构示意图

Fig. 4 Schematic drawing of testing system

准直物镜的焦距 $f_{\text{准}}$ 与柱体蝇眼透镜组的子午方向上下边缘 2 个柱体中心距 H (如图 3 所示)的关系:

$$H = f_{\text{准}} \cdot \tan\theta \quad (3)$$

式中, θ 是准直物镜光学系统的孔径角。

该投影照明系统中柱体蝇眼透镜组的焦平面与准直物镜的物平面重合, 即单个柱体透镜的像方孔径角也是准直物镜的视场角, 故有:

$$f_{柱} = \frac{h/2}{\tan w} \quad (4)$$

式中: $f_{柱}$ 是单个柱体透镜的焦距; h 是单个柱体透镜上下边的距离。

柱体蝇眼透镜组的子午方向上下边缘 2 个柱体中心距 H 与单个柱体透镜上下边的距离 h 之间的关系如下:

$$H = h(n-1) \quad (5)$$

式中 n 为柱体蝇眼透镜组子午方向柱体透镜的总个数。

照明系统中, 柱体透镜的排列方式, 如图 3 所示, 故, 柱体蝇眼透镜组的小透镜的总个数为

$$N = 1 + \sum_1^{(n-1)/2} 6 \cdot \frac{(n-1)}{2} \quad (6)$$

考虑到缩短整个光路, 以及有效地提高照度均匀度, 取准直透镜的视场角 $w=6^\circ$, 准直物镜光学系统的孔径角 $\theta=4^\circ$, 再由各参数之间的关系式(2)~(6), 最终得出关键元件的设计尺寸。

3.4 照明视场大小可变功能的实现

测试系统需要满足不同类型数字鱼眼镜头的检测, 故所需的照明视场大小也不同, 为了防止光能量的不必要的损失, 测试系统应该具有照明视场大小可调的功能。由(2)式知, 当系统的准直透镜的视场角确定后, 改变准直透镜的焦距, 就可以改变照明场的大小。通过改变场镜和集光镜之间的距离便可以得到不同焦距值的准直透镜^[10], 进而实现照明视场的大小变化。

4 设计结果

设计了一款通用型数字鱼眼镜头检测系统, 如图 4 所示, 主要由照明系统、检测标板、等效平行平板系统和球幕组成。照明系统采用的柱体蝇眼透镜阵列是由 91 个六边形柱透镜组成, 测试标板主要是鉴别率板, 用于检测数字鱼眼镜头的分辨率; 等效平行平板系统是由 4 种不同厚度的平行平板组成, 不同的组合可以满足不同类型数字鱼眼镜头的测试。球幕内部刻有角度线, 用于检测数字鱼眼镜头的视场角。

经过定量化性能测试, 主要性能指标测试结

果如表 2 所示, 满足了设计指标要求。

表 2 检测系统测试结果

Table 2 Testing result of testing system

主要性能	测试结果	参数指标
照明视场范围 φ/mm	8.1~36.3	$>8.5\sim35$
照度均匀度 /%	91	$\geqslant 85$
出射光通量 /lm	$\geqslant 5\,000$, 可调	$\geqslant 5\,000$

5 结论

本文设计的通用型数字鱼眼镜头检测系统采用的柱体蝇眼透镜阵列照明系统不但光能利用率高, 可产生较高的均匀度, 而且有较高的准直性和较好的光束控制。通过调整更换不同厚度的等效平行玻璃平板, 用于模拟各种数字投影或放映机内部棱镜, 同时在片门处调换不同类型、不同尺寸的测试标板, 被检测的数字鱼眼镜头将测试标板成像在球幕上, 可实现对芯片尺寸为 $0.55''\sim1.55''$ 的 1DLP、3DLP、3LCD、3LCOS 的各种类型的数字投影或放映鱼眼镜头的像方视场角、分辨率、彩色还原性能、色差等性能和放映效果进行测试, 通用性强, 降低了鱼眼镜头产品的检测成本。

参考文献:

- [1] CHEN Chen, WANG Baoqi, LI Chenyou. Application of fish-eye lens in digital movies rojection[J]. Advanced. Motion Picture Technology, 2008 (1):28-32.
陈琛, 王宝琦, 李臣友. 鱼眼镜头在数字电影和数字投影中的应用[J]. 现代电影技术, 2008(1):28-32.
- [2] CHEN Chen, HU Chunhai. Design of general type zoom fish-eye lens for dome-screen projector[J]. Optics and Precision Engineering, 2013,21(2):323-335.
陈琛, 胡春海. 球幕投影通用型变焦鱼眼镜头设计[J]. 光学精密工程, 2013,21(2): 323-335.
- [3] LI Weishan, CHEN Chen, LIU Xiaochan, et al. Optical design of digital fish-eye lens for dome-screen projector[J]. Journal of Applied Optics, 2016, 37 (1): 39-44.
李维善, 陈琛, 刘宵婵, 等. 球幕投影数字鱼眼镜头的光学设计[J]. 应用光学, 2016, 37(1):39-44.
- [4] LI Weishan, CHEN Chen, ZHANG Yu, et al. Design of short focal digital projection lens based on ZEMAX [J]. Journal of Applied Optics, 2010, 31(5):714-717.
李维善, 陈琛, 张禹, 等. 基于 ZEMAX 软件的短焦数字投影镜头的设计[J]. 应用光学, 2010, 31 (5):

- 714-717.
- [5] LI Weishan, CHEN Chen, SONG Tao, et al. Design of ultra wide-angle digital universal projection lens[J]. Acta Photonica Sinica, 2014, 43 (8): 082205-1-082205-9.
李维善,陈琛,宋涛,等.超广角数字通用型投影镜头设计[J].光子学报,2014,43(8):082205-1-082205-9.
- [6] CHEN Chen, LI Weishan, ZHANG Yu, et al. Optical design of short focal digital projection lens[J]. Acta Photonica Sinica, 2011, 40(12):1854-1859.
陈琛,李维善,张禹,等.短焦数字投影镜头的光学设计[J].光子学报,2011,40(12):1854-1859.
- [7] CHEN Chen, LI Weishan, ZHANG Yu, et al. Optical design of digital movie zoom projection lens[J]. Acta Photonica Sinica, 2012, 41(10):1186-1192.
陈琛,李维善,张禹,等.短焦段数字电影变焦放映镜头的设计[J].光子学报,2012,41(10):1186-1192.
- [8] CHEN Chen, LI Weishan, ZHANG Yu, et al. Digital light processing mini-projection lens based on ZEMAX[J]. Journal of Applied Optics, 2011, 32 (6): 1121-1125.
陈琛,李维善,张禹,等.基于ZEMAX软件的DLP微型投影镜头的设计[J].应用光学,2011,32(6):1121-1125.
- [9] LIU Xu, LI Haifeng. Modern projection display technology[M]. Hangzhou: Zhengjiang University Press, 2009:162-177.
刘旭,李海峰.现代投影显示技术[M].杭州:浙江大学出版社,2009,162-177.
- [10] YAO Qijun. Optical course[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002:203-205.
姚启钧.光学教程[M].北京:高等教育出版社,2002:203-205.