

基于 TFT-LCD 的动态星模拟器光学系统设计

林子棋¹, 张国玉^{1,2}, 宋淑梅³, 高玉军³

(1. 长春理工大学 光电工程学院, 长春 130022; 2. 光电测控与光信息传输技术教育部重点实验室, 长春 130022;
3. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 设计了一种视场 28° 、相对孔径 $D/f'=1.7$ 和焦距 $f'=60.636\text{mm}$ 的动态星模拟器光学系统。通过分析像质, MTF 数在空间频率为 50lp/mm 时达到了 0.4 , 最大畸变为 0.175% , 此动态星模拟器的光学系统完全满足设计要求。

关键词: 星模拟器; 光学设计; 最大畸变; TFT-LCD

中图分类号: V448

文献标识码: A

文章编号: 1672-9870 (2011) 02-0028-02

The Design of Optical System of A Dynamic Star Simulator Based on TFT-lcd

LIN Ziqi¹, ZHANG Guoyu^{1,2}, SONG Shumei³, GAO Yujun³

(1. School of Photo-electronic Engineering of Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022;
2. Key laboratory of optoelectronic Measuring-controlling and optical information Transmitting Technology, ministry of education, Changchun 130022 3. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences 130033)

Abstract: This article describes the design of a dynamic star simulator optical system whose field angle is 28° and $D/f'=1/1.7$, focus length $f'=60.636\text{mm}$. The imaging analysis results show that spatial frequency MTF achieve 0.4 at 50lp/mm , the distortion maximum is 0.175% . The dynamic star simulator optical system meet completely design requirements.

Key words: star simulator; optical design; distortion maximum; TFT-LCD

随着航天技术的发展, 用来测量航天器飞行姿态的星敏感器也有了很大进展, 因而对为星敏感器提供地面标定设备的星模拟器正朝着更高星间角距和星等精度的方向发展。星模拟器用来模拟无穷远恒星发出的星光, 主要用来模拟不同恒星发出星光的相对角距位置和星光的辐照度。星模拟器主要由两大部分组成, 一部分是星点显示器, 另一部分是准直光学系统。根据显示星点器件的不同, 可分为静态星模拟器和动态星模拟器^[1-2]。静态星模拟器是指星空图不随时间的变化而变化; 动态星模拟器是指星空图随时间的变化而变化。无论是动态星模拟器还是静态星模拟器, 其核心器件都是星模拟器的光学系统, 其成像质量的好坏直接影响到星模拟

器的质量^[3]。

1 动态星模拟器的工作原理

动态星模拟器的工作原理图如图 1 所示。由背光板发出的光均匀地照射在显示器件 TFT-LCD, 将显示器件 TFT-LCD 放在准直光学系统的焦面上, TFT-LCD 显示出亮度均匀的星点, 星点发出的光线经过准直光学系统后成平行光射出, 模拟由恒星组成的星图。同时 TFT-LCD 显示器由计算机控制, 实时地显示出星敏感器所对应视场范围内的星图。动态星模拟器的主要功能是检测星敏感器星图识别和星跟踪等功能^[4]。

收稿日期: 2011-01-22

作者简介: 林子棋 (1986-), 男, 硕士研究生, 主要从事精密测控技术与仪器的研究, E-mail: ziqige1949@yahoo.cn

通讯作者: 张国玉 (1962-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事空间科学与技术, 光电仪器与探测技术研究, E-mail: zhguoyu@yahoo.com.cn。

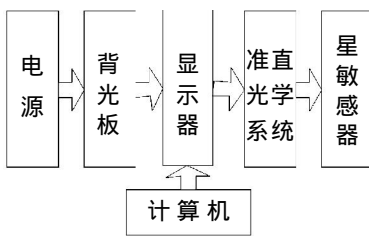


图 1 动态星模拟器原理图

Fig.1 The schematic diagram of dynamic star simulators

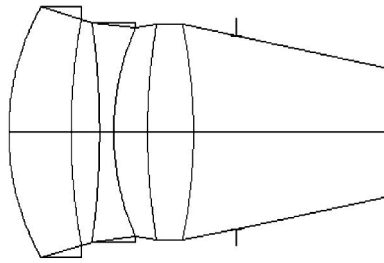


图 2 光学系统的初始结构图

Fig.2 Initiating structure of the optical system

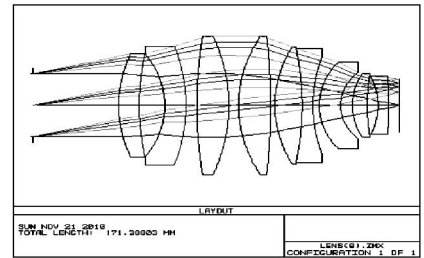


图 3 光学系统结构图

Fig.3 Layout of the optical system

2 星模拟器光学系统主要参数

星模拟器的光学系统类似于照相物镜光学系统，将焦平面的星点经光学系统成像在无穷远处，为保证星模拟器的出瞳与星敏感器的入瞳相同，应该严格控制星模拟器的出瞳距。为保证星模拟器对星敏感器标定的有效性，星模拟器的视场应比星敏感器的视场稍大。再根据所选显示器件的尺寸来确定星模拟器光学系统的焦距。另外，与照相物镜光学系统所不同的是星模拟器光学系统应严格控制畸变。要求光学系统有小畸变、小场曲和复消色差的成像质量。星模拟器光学系统主要参数如表 1 所示。

表 1 光学系统主要参数

Tab.1 System parameters of collimating objective lens

有效视场	28°
出瞳距	40mm
焦距	60±1mm
光谱范围	0.5μm -0.8μm
中心设计波长	0.65μm
入瞳	35.5mm
畸变	0.20%

3 星模拟器光学系统的初始结构选择

星模拟器光学系统初始结构选择是否合理，其结果将直接影响到最终的光学系统设计，因此选择一个合理的初始结构尤为重要。由于星模拟器的光

学系统的出瞳需要放在最后一片透镜前方 40mm 处，并且该光学系统有大的相对孔径，因此如何提高轴外视场的成像质量是选择光学系统初始结构时考虑的重要因素。因为匹兹伐物镜在靠近像面的地方增加一个负场镜，可以用来矫正畸变和场曲，所以相对孔径可以做的比较大^[5]。简单化的匹兹伐照相物镜系统布局图如图 2 所示。

4 星模拟器光学系统设计结果

设计的星模拟器光学系统的焦距为 $f^*=60.636\text{mm}$ ，后截距为 4.89mm，系统总长 171.29mm，像高 15.12mm，系统布局图如图 3 所示。

5 像质评价

光学系统的畸变是影响星点位置的主要因素，但畸变的大小却不影响光学传递函数 MTF。因此在评价光学系统时不能仅用光学传递函数进行评价，而且要加入畸变的测量值 DIMX 来找出最大的畸变值。图 4 给出了 0°、5°、10°、12°、14°五个视场的点列图，从点列图可知每个视场平行光所成光斑大小以及 RMS 半径的大小。从图 4 中可以看出所有视场的 RMS 半径均较小，在视场为 14°时，RMS 半径最大，为 14.571μm 符合设计标准。图 5 表明星模拟器的光学系统五个视场的光学传递函数 MTF 在空间频率为 50lp/mm 时均在 0.4 左右。图 6 表示

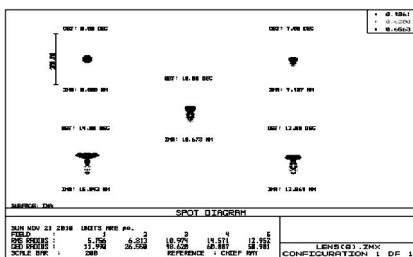


图 4 点列图

Fig.4 Spot diagram

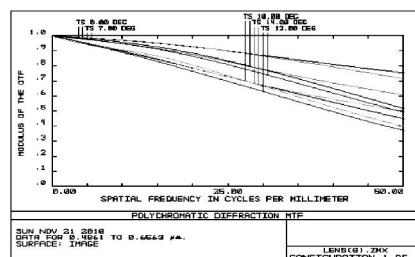


图 5 MTF 曲线

Fig.5 MTF curvature

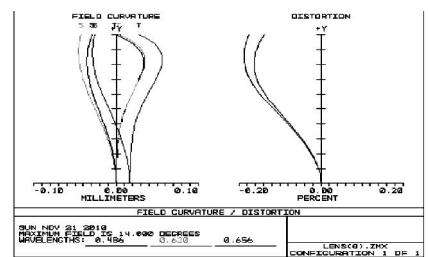


图 6 场曲、畸变曲线

Fig.6 Field curvature and distortion

(下转第 50 页)

分布图,和图2能量分布图相比,此时中心区域光强分布更陡直,无光程度进一步降低,呈双高斯分布。(c)为像面处光线追迹图,可以近似看成圆环光束。

2.4 利用反射式 Schwarzschild 系统实现圆环光束

由于实际应用中轴棱锥的加工精度和调节精度要求很高,我们提出一种非球面实现圆环光束系统,采用 Schwarzschild 反射系统,它和卡塞格林系统的结构形式正好相反,所以有人称此系统为逆卡塞格林系统。入射光线先经过一个凸球反射镜,再经过一个凹非球面反射镜,最后到达像面。

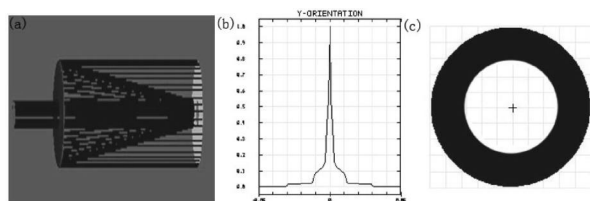


图5 方案4原理图及输出结果

Fig.5 Principle diagrams of project 4 and output

图5(a)为系统原理图。(b)为像面处能量分布图,呈高斯分布。(c)为像面处光线追迹图,可以近似看成圆环光束。

3 结论

由以上分析可知,利用几何光学法产生圆环光束的关键光学元件为轴棱锥,采用两个轴棱锥的方案简便易行,然而在实际应用中轴棱锥加工精度的

要求和光路调节的准确度都会影响系统的效果。注意到方案1光束通过锥棱锥后有光线重叠区,会产生干涉现象,必然会影响圆环的质量。采用单个轴棱锥可以降低对轴棱锥加工精度的要求和光路调节难度,选择合理的系统结构是关键,方案2输出光束为双高斯空心激光束,可以看到空心区域并非完全无光,空心激光束内壁光强分布并非陡直。方案3采用轴棱锥和球面镜组合系统,在这些方面有一些改进。以上方案都是采用透射式系统,对于单波长输入系统可行,如果需要多波长输入,在折射过程中必然产生色差,影响系统效果。方案4提出一种采用反射式 Schwarzschild 系统的新方法,不产生色差的同时实现了圆环光束输出,同时注意到像面处能量分布为高斯分布。

参考文献

- [1] 安连生.应用光学[M].北京:北京理工大学出版社,2003:226-240.
- [2] 王之江.实用光学技术手册[M].北京:机械工业出版社,2007:416-464.
- [3] 黄慧琴,赵承良,陆璇辉.空心光束的研究进展[J].激光与红外,2007,37(4):300-303.
- [4] 印建平,刘南春,夏勇,等.空心光束的产生及其在现代光学中的应用[J].物理学进展,2004,24(3):336-380.
- [5] 于化东.准双半高斯空心激光束形成装置[P].中国专利:CN200810051203.8,2009.
- [6] Brzobohaty O, Cizmar T, Zemanek. High quality quasi-Bessel beam generated by round-tip axicon[J]. Opt Exp, 2008, 16(17):12688-12700.

(上接第29页)

准直光学系统的场曲,像散和畸变。从图6中可以看出光学系统的场曲和像散都已矫正。通过评价函数DIMX找到最大的畸变值,结果表明最大畸变为0.175%,小于规定的最大畸变0.2%,都符合设计指标。

6 结论

本文设计了基于 TFT-LCD 显示器的动态星模拟器的光学系统,根据星敏感器的各项技术指标,确定了该动态星模拟器光学系统的参数。该光学系统采用了八片透镜其中一片是双胶合透镜,视场角为 28° ,焦距 $f'=60.636\text{mm}$,通过像质评价得出各项

指标均符合要求。

参考文献

- [1] 刘亚平,李娟,张宏.星模拟器的设计与标定[J].红外与激光工程,2006,35(1):24-28.
- [2] 赵晨光,谭久彬,刘俭,等.用于天文导航设备检测的星模拟装置[J].光学精密工程,2010,18(6):1326-1332.
- [3] 李杰. APS 星敏感器关键技术的研究[D].北京:中国科学院,2005.
- [4] 郝允慧,张国玉.小型静态星模拟器光学系统设计[J].长春理工大学学报:自然科学版,2009,32(4):545-546.
- [5] 马菊,曹维国,李明,等.基于光学性能参数测试的 CCD 摄像系统设计[J].长春理工大学学报:自然科学版,2009,32(3):370-372.