

文章编号: 1002-2082 (2020) 01-0033-04

一种胶片式的静态光学目标模拟器

吕 涛, 孙海江, 付东辉, 陈小云

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 光学成像敏感器是卫星姿态控制分系统的重要组成部分, 用于月面景象的获取, 可为月面着陆器完成障碍识别、路径规划和安全区域选取等功能提供图像信息来源。为实现光学成像敏感器装星后设备功能和性能的检测, 需要一种可在室内为光学成像敏感器提供月面场景信息的光学仪器。设计和研制了一种胶片式的静态光学目标模拟器, 该目标模拟器以胶片作为图像源, 通过积分球均匀照明系统将胶片照亮, 并经由光学镜头将胶片图像投射至无穷远处, 从而供光学成像敏感器接收。设计完成的静态光学目标模拟器视场 $\geq 30^\circ \times 30^\circ$, 入瞳直径 $\Phi 5$ mm, 入瞳距离为41 mm, 镜头焦距44.78 mm, 图像像素分辨率 $\leq 1\,024 \times 1\,024$, 各项指标均达到了光学成像敏感器装星后光闭路试验的要求。

关键词: 光学敏感器; 目标模拟器; 胶片; 积分球

中图分类号: TH741; V416.5

文献标志码: A

DOI: 10.5768/JAO202041.0101005

Static optical target simulator using films

LYU Tao, SUN Haijiang, FU Donghui, CHEN Xiaoyun

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS, Changchun 130033, China)

Abstract: Optical image sensor is an important part of satellite guidance, navigation, and control (GNC) subsystem, the sensor can get the moon's image, and the image information can help the moon lander to recognize obstacles, plan paths and select safety areas. In order to realize the function and performance detection of the optical image sensor, a kind of equipment that can afford infinite optical target in the limited space is needed, which can give the moon's image information to the optical image sensor. A static optical target simulator using films was designed and developed. The simulator used films as the image sources, the films were illuminated by an integrating sphere and the films images were projected to infinity by optical lenses, so as the images at infinity were received by optical image sensor. Results of the designed static optical target simulator show that the field view is more than $30^\circ \times 30^\circ$, the entrance pupil is $\Phi 5$ mm, the distance of the entrance pupil is 41 mm, the focal length is 44.78 mm, and the image resolution is more than $1\,024 \times 1\,024$. All the indicators of the static optical target simulator can reach the requirements of the optical image sensor light closed-loop test.

Key words: optical image sensor; target simulator; film; integrating sphere

引言

光学成像敏感器(降落相机)是卫星姿态控制分系统^[1-2]的重要组成部分, 用于月面景物的图像获取, 可为月面着陆器提供信息来源, 以供其完成

障碍识别、安全区域选取、避障路径规划等^[3-7]。

光学成像敏感器在装星之后必须进行充分的地面模拟试验, 需要一种能够在室内有限空间模拟生成无穷远光学目标的仪器^[8], 即光学目标模拟

收稿日期: 2019-01-16; 修回日期: 2019-05-21

基金项目: 吉林省科技厅重大科技招标专项(20170203015GX); 国家863高技术研究发展计划(2013AA7031010B)

作者简介: 吕涛(1984-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事空间目标成像设备和精密光学仪器的研究。E-mail: longjue_ciomp@126.com

器,静态光学目标模拟器可在室内产生无穷远的静态月面图像,供光学成像敏感器接收^[9-12]。

本文设计和研制了一种胶片形式的静态光学目标模拟器,该模拟器采用胶片作为光学目标图像源,通过光学积分球均匀照亮后,经无穷远光学镜头将图像信息投影至无穷远处,设计完成的静态光学目标模拟器能够在室内产生无穷远的月面图像,供光学成像敏感器接收,试验效果良好。

1 工作原理

静态光学目标模拟器主要由模拟器头部和调整机构组成。静态光学目标模拟器的头部主要由照明光源、光学积分球、胶片和无穷远镜头组成,模拟器头部组成如图1所示。

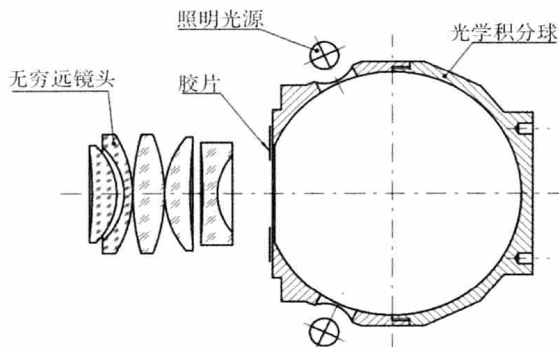


图1 模拟器头部组成

Fig. 1 Composition of simulator head

如图1所示,胶片为“135”相机翻转底片,胶片上的月面图像信息由计算机生成,并通过专业设备将数字图像转化为翻转片。由于翻转片颜色较深,必须采用照明系统。为保证照明的均匀性,设计采用光学积分球实现匀光。当胶片被照亮后,胶片上的图像信息被无穷远镜头投射至无穷远处,从而被光学成像敏感器接收。

为实现装星后光学成像敏感器的光闭路试验,在静态光学目标模拟器头部下设计了调整机构,以方便与光学成像敏感器的光轴对准,由于装星后光学成像敏感器的位置较高,静态光学敏感器安装固定在一个三脚架上,设计选用了安捷伦的10753B三脚架,最低高度为0.5 m,最高高度可达1.5 m,能够满足静态光学目标模拟器与光学成像敏感器的对接高度。

2 光学设计

静态光学目标模拟器的光学设计需达到光学

成像敏感器的指标要求。按照光学成像敏感器的指标要求,静态光学目标模拟器的具体指标要求如下:

- 1) 视场: $\geq 30^\circ \times 30^\circ$;
- 2) 入瞳直径: $\geq \Phi 3$ mm;
- 3) 入瞳距: ≥ 40 mm;
- 4) 波长范围: 600 nm~800 nm;
- 5) 发光面不均匀度: 优于 $\pm 5\%$;
- 6) 图像分辨率: $\geq 1\,024 \times 1\,024$ 像素 (22 lp/mm 时, $\text{MTF} \geq 0.4$)。

“135”胶片的尺寸为36 mm×24 mm,要求的视场为 $30^\circ \times 30^\circ$,胶片可用尺寸为24 mm×24 mm,因此无穷远镜头的焦距为44.78 mm,考虑到光瞳匹配问题,无穷远镜头的 F 数设计为8.95,即入瞳直径为 $\Phi 5$ mm,设计完成的光学系统如图2所示。设计完成的光学系统传递函数在22 lp/mm时约为0.5,满足指标要求。

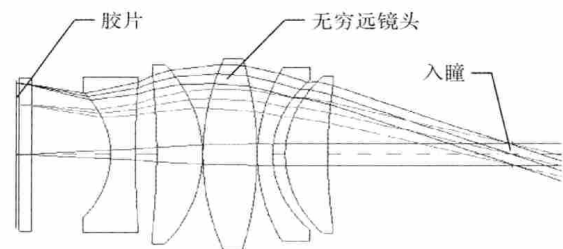


图2 静态光学目标模拟器的光学系统

Fig. 2 Optical system of static optical target simulator

为保证发光面的均匀性,设计采用光学积分球作为匀光器件^[13-14],设计完成的积分球出光口直径为 $\Phi 36$ mm,积分球内部直径为 $\Phi 90$ mm,此时积分球内部反射面的面积约为出光口面积的25倍,积分球内部涂层选择不易脱离的聚四氟乙烯涂层,避免涂层粉末掉落污染胶片,同时积分球的照亮采用在600 nm~800 nm有较强辐射能量的卤素灯,设计将2支20 W的卤素灯分别放置在积分球两侧的灯室内,采用成像法测量了光学积分球出光口处的不均匀度为 $\pm 4.24\%$ ^[15],满足指标的要求。

3 机械结构

设计完成的静态光学目标模拟器的机械结构如图3所示。

静态光学目标模拟器的机械结构主要由模拟器头部、方位俯仰调整机构和平移调整机构组成,

模拟器头部实现光学系统的功能, 方位俯仰调整机构和平移调整机构实现模拟器头部与成像敏感器光轴的对准, 模拟器头部的结构如图 4 所示。

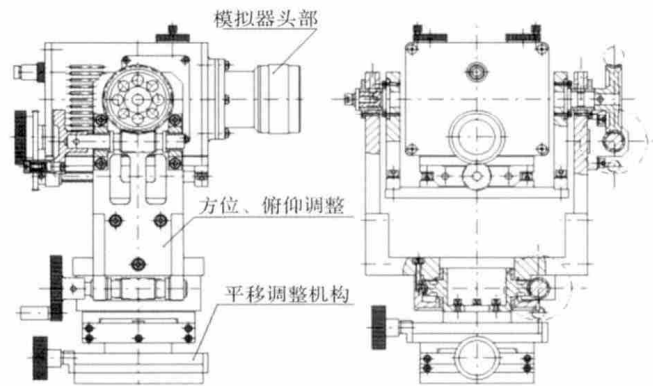


图 3 静态光学目标模拟器机械结构

Fig. 3 Mechanical construction of static optical target simulator

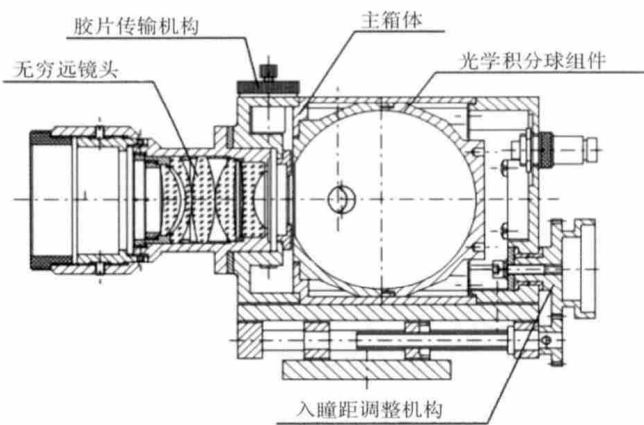


图 4 模拟器头部结构

Fig. 4 Construction of simulator head

如图 4 所示, 模拟器头部主要由无穷远镜头、胶片传输机构、主箱体、光学积分球组件和入瞳距调整机构组成。无穷远镜头将胶片图像投影至无穷远处, 其固定在胶片传输机构的法兰上。胶片传输机构实现胶片的更换, 主箱体为胶片传输机构和光学积分球组件提供机械结构支撑。入瞳距调整机构实现静态光学目标模拟器的瞳孔与光学成像敏感器瞳孔的匹配。为防止静态光学目标模拟器与光学成像敏感器机械碰撞, 在无穷远镜头前端设计了非金属绝缘件, 且该件与光学成像敏感器通过机械表面公差配合保证光轴的对准。

设计完成的静态光学目标模拟器实物如图 5 所示。

经检测后, 静态光学目标模拟器的各项指标达

到了设计要求, 图 6 为光学成像敏感器获取的一幅月面图像。

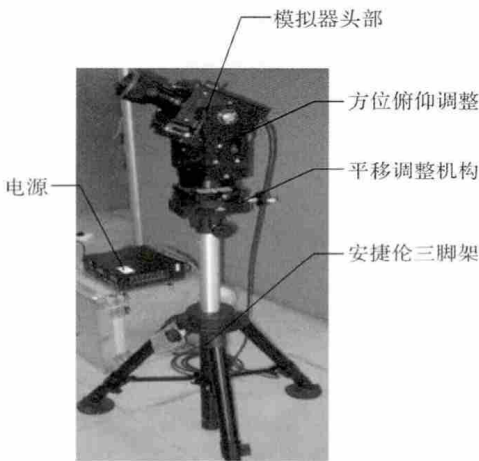


图 5 静态光学目标模拟器实物图

Fig. 5 Physical map of static optical target simulator



图 6 光学成像敏感器获取的月面图像

Fig. 6 The moon's image derived from optical image sensor

4 结论

静态光学目标模拟器采用胶片作为图像源, 可在室内产生无穷远的月面图像信息, 供光学成像敏感器接收, 是光学成像敏感器装星后进行功能和性能检测的关键设备。本文设计和研制的胶片式静态光学目标模拟器在与光学成像敏感器对接联试后, 成像效果良好, 各项指标均满足要求。

参考文献:

- [1] YIN Mingwei, LI Jingyang, BAOYIN Hexi. Singular optimal control for three-axis reorientation of an agile satellite[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2018, 26(4): 906-915.
- 印明威, 李京阳, 宝音荷西. 敏捷卫星姿态机动的奇异最优控制[J]. *光学精密工程*, 2018, 26(4): 906-915.

- [2] YU Qinghua, WU Dongmei, CHEN Fuchun, et al. Design of a wide-field target detection and tracking system using the segmented planar imaging detector for electro-optical reconnaissance[J]. *Chinese Optics Letters*, 2018, 16(7): 38-43.
- [3] LIU Qihai, GONG Dezhu, HUA Baocheng, et al. New generation camera-type rendezvous and docking sensor[J]. *Aerospace Control and Application*, 2018, 44(2): 56-61.
刘启海, 龚德铸, 华宝成, 等. 新一代空间交会对接光学成像敏感器[J]. *空间控制技术与应用*, 2018, 44(2): 56-61.
- [4] SUN Zezhou, ZHANG Tingxin, ZHANG He, et al. The technical design and achievements of Chang 'E 3 probe[J]. *Sci. Sin. Tech.*, 2014, 44: 331-343.
孙泽洲, 张廷新, 张焯, 等. 嫦娥三号探测器的技术与成就[J]. *中国科学:技术科学*, 2014, 44: 331-343.
- [5] JIA Yingzhuo, DAI Shuwu, WU Ji, et al. Chang 'E-3 Lander 's scientific payloads[J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2014, 34(2): 219-225.
贾瑛卓, 代树武, 吴季, 等. 嫦娥三号着陆器有效载荷[J]. *空间科学学报*, 2014, 34(2): 219-225.
- [6] WU Weiren, WANG Dayi, MAO Xiaoyan, et al. Obstacle recognition and safe area selection method in soft landing based on a single lunar image[J]. *Journal of Deep Space Exploration*, 2014, 1(4): 262-268.
吴伟仁, 王大铁, 毛晓艳, 等. 基于月面单幅图像的软着陆障碍识别与安全区域选取方法[J]. *深空探测学报*, 2014, 1(4): 262-268.
- [7] LI Jianguo, CUI Hutao, TIAN Yang. Sensors relative calibration method for landing navigation based on feather matching[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(1): 267-273.
李建国, 崔祐涛, 田阳. 基于特征匹配的着陆导航敏感器相对校准算法[J]. *红外与激光工程*, 2014, 43(1): 267-273.
- [8] JI Xiaohui, KONG Wei. Design of multi-spectral common aperture infinity collimator[J]. *Journal of Applied Optics*, 2018, 39(3): 339-342.
纪晓辉, 孔巍. 多光谱共孔径无穷远目标器设计[J]. *应用光学*, 2018, 39(3): 339-342.
- [9] YANG Xue, HE Xu, ZHANG Xiaohui, et al. Design of optical target simulation device for high frequency and image rotation[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology : Natural Science Edition*, 2018, 41(3): 10-15.
杨雪, 何煦, 张晓辉, 等. 高频像旋光学目标模拟装置结构设计[J]. *长春理工大学学报: 自然科学版*, 2018, 41(3): 10-15.
- [10] CHEN Wei, LIANG Zhiyi, ZHOU Yang, et al. Design of target simulator system in visible light based on DMD[J]. *Electronic Design Engineering*, 2014, 22(6): 50-53.
陈炜, 梁志毅, 周阳, 等. 基于数字微镜的可见光目标模拟器系统设计[J]. *电子设计工程*, 2014, 22(6): 50-53.
- [11] SUN Xiaomin. Dynamic target simulator design based on DMD[D]. Suzhou: Suzhou University, 2014.
孙晓敏. 基于空间光调制器的动态目标模拟器的设计[D]. 苏州: 苏州大学, 2014.
- [12] WEI Zhonglun, LIU Weiqi, LIU Hua. Optical design of visual simulation lens for dynamic target simulator[J]. *Journal of Applied Optics*, 2013, 34(1): 26-31.
魏忠伦, 刘伟奇, 柳华. 动态目标模拟器用视景仿真镜头光学设计[J]. *应用光学*, 2013, 34(1): 26-31.
- [13] YANG Chaopu, FANG Wenqing, LIU Mingbao, et al. Design and implementation of portable LED uniform light source with diffuse reflection[J]. *Journal of Applied Optics*, 2017, 38(6): 985-989.
杨超普, 方文清, 刘明宝, 等. 一种便携式漫反射LED均匀光源的设计与实现[J]. *应用光学*, 2017, 38(6): 985-989.
- [14] CHEN Hong, DU Xiaoqing, TONG Guang, et al. Performance comparison between full-integrating sphere and semi-integrating sphere under optical fiber detection manner[J]. *Journal of Applied Optics*, 2016, 37(1): 152-156.
陈宏, 杜晓晴, 童广, 等. 光纤探测方式下全积分球与半积分球性能对比研究[J]. *应用光学*, 2016, 37(1): 152-156.
- [15] LYU Tao, ZHANG Jingxu, FU Donghui, et al. Luminance uniformity measurement of integrating spheres using image luminance measuring method[J]. *Journal of Applied Optics*, 2013, 34(2): 308-312.
吕涛, 张景旭, 付东辉, 等. 成像法测量积分球的亮度均匀性[J]. *应用光学*, 2013, 34(2): 308-312.