

文章编号 1004-924X(2012)01-0064-08

用于星上定标光源的 LED 筛选装置

叶 钊^{1,2}, 任建伟^{1*}, 李宪圣¹, 刘则洵¹, 全先荣^{1,2}, 刘洪兴^{1,2}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 考虑将发光二极管(LED)用作空间相机星上定标光源时对 LED 的发光一致性和稳定性的要求, 研究了对市售 LED 产品进行试验和筛选的方法。分析了影响 LED 发光效率的因素及 LED 作为星上定标光源需要注意的问题, 提出了将多只 LED 作为空间相机星上定标光源的筛选试验方案, 并设计、研制了筛选装置。为了检验 LED 的工作稳定性和不同 LED 的发光一致性, 该装置可同时监测多只 LED 的发光状态, 并实现了无人值守操控和自动测量。利用该装置对某批次 72 只随机抽取的白光 LED 进行测试并根据测试数据对被筛选的白光 LED 进行了分析计算, 结果显示, 经过筛选的白光 LED 在连续点亮 900 h 后, 相对光强变化在 1.5% 左右。最后, 从中筛选出符合光源要求的 10 只 LED。

关键词: 发光二极管(LED); 发光性能; 筛选; 星上定标

中图分类号: V447.3; TN312.8 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122001.0064

Screening device for LED as spaceborne calibration light source

YE Zhao^{1,2}, REN Jian-wei^{1*}, LI Xian-sheng¹, LIU Ze-xun¹,
QUAN Xian-rong^{1,2}, LIU Hong-xing^{1,2}

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

* *Corresponding author, E-mail: Renjw@ciomp.ac.cn*

Abstract: According to the requirements of Light Emitting Diodes (LEDs) for consistency and reliability, when they were taken as a light source in spaceborne calibration, a screening experiment scheme using multiple LEDs as spaceborne calibration light source was proposed, and a screening device was developed. In order to test the working stability and the consistency of luminescence for the LEDs, this device could monitor and measure the luminous status of multiple LEDs automatically at the same time. Using this device, 72 white LEDs which were randomly selected were tested. According to the analysis and calculation of the experimental data, the result shows that the change of the relative in-

收稿日期: 2011-04-22; 修订日期: 2011-06-02.

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 863-2-5-1-13B)

tensity is about 1.5% after those white LEDs are lighting for 900 h. Finally, 10 desirable LEDs are screened depending on the requirements of the light source.

Key words: Light-emitting Diode (LED); luminescent property; screening; spaceborne calibration

1 引 言

空间相机的性能通常由于光学元件和电子学元件的老化以及空间环境的变化而变化。经同步地面定标后发现某些空间相机的响应度每年约有 10% 的变化率^[1]。这表明,飞行前定标不是一劳永逸的,空间相机存在不稳定的问题,而且地面定标设备不能完全模拟空间环境的情况,所以在飞行中进行星上定标是十分必要的。例如,美国陆地卫星 MSS 和 TM,法国 SPOT 卫星的 HRV 相机,CBERS-1 的 CCD 相机,欧洲 MERIS 成像光谱仪和我国“资源一号”卫星等都使用了星上定标系统。

目前的星上定标系统常使用的光源为卤素灯(halogen lamps)。卤素灯的优点是光谱丰富,色温稳定;缺点是卤素灯属热光源,功耗大,待稳定时间长,大量开合后容易损坏,其发光光谱^[2]与大气顶部辐射(TOA)相比,蓝绿光部分辐射明显偏低。现考虑用 LED 作为星上定标光源,其功耗更小,反应速度更快(可高频开关),体积、质量更小,发热量更低,发光寿命更长(10^4 h 以上)等,这些优点对于空间应用是很重要的^[3]。

将 LED 作为星上定标光源,根据卫星应用的实际需要,必须在外太空真空环境下工作 3~5 年甚至更长时间。而辐射定标^[4]光源作为辐射量已知,辐射输出稳定的标准光源使用,其长期工作状态下辐射强度的稳定性是满足星上辐射定标要求的基本前提。对于空间相机,需要将几片甚至十几片 TDICCD 拼接起来成像,每个通道 CCD 都需要一只 LED 用于星上定标,由于 LED 本身以及后续电路的差异导致 LED 间的发光一致性有一定的差别,从而造成星上定标图像亮暗不一致的现象,严重影响定标结果,因此需要对用于空间相机各通道星上定标的 LED 光源进行筛选。

本文从 LED 的老化机理出发,综合考虑温

度、真空环境、空间辐射等对 LED 的影响,给出了一种实用的空间相机星上定标光源 LED 的筛选方法,并研制了筛选装置。通过该装置筛选的白光 LED 作为空间相机的星上定标光源已经投入使用,并在星上定标的过程中发挥了十分重要的作用,定标结果令人满意。

2 影响照明用 LED 作为星上定标光源的主要因素

星上定标光源要求具有足够的光能、较高的色温、稳定的光谱和辐射输出;由于星上定标光源是空间相机的一部分,空间相机工作在高真空的外层空间,环境条件极为苛刻,LED 作为星上定标光源除了能够适应一般条件外还要能够在空间环境中正常、稳定地工作。除了要求 LED 光源的机械稳定性、光学稳定性和电学稳定性外,对于其寿命、体积、能耗、灵敏度和辐射强度等都要有严格的要求。针对空间相机星上定标的特殊要求,还需要针对同批次 LED 开展发光一致性测试

长春光机所的任建伟等对星上 LED 定标光源的可行性进行了分析研究,测量了 LED 的工作稳定性。考虑到星上定标任务的特殊性,定标间断不连续等特点,对 LED 做了开合试验,讨论了它的电流特性。在真空环境下,分析了 LED 的冷热特性和抗辐射性能。发现测试用 LED 持续点燃 1 200 h 的衰减量 $< 1.2\%$;其开合重复性很好,但存在 10~15 min 的不稳定性;改变电流会引起测试 LED 发光强度和波长不同程度的变化;温度的变化也同样会影响 LED 的发光强度、正向偏压以及峰值波长。真空状态下,由于传输介质不同,LED 的发光强度会有所增加,但其封装材料真空挥发产生的影响不大;在抗辐射外壳的保护下,空间辐射对 LED 发光强度的影响不超过 $0.5\%/a$ 。经过分析讨论,证明将 LED 应用于星上定标是可行的^[5-8]。

将前文所述归纳总结,LED 作为星上定标光源需要注意的要素如表 1 所示。

表 1 LED 的相关特性在空间环境下的变化情况
Tab.1 LED characterizations and changes in space

注意要点	相关试验数据
工作稳定性	连续工作 1 200 h,衰减量少于 1.2%。
开合稳定性	重复性 0.3%;开启后存在 10 min 左右的衰减,衰减量为 1%。
电流特性	发光强度变化量 $\Delta L/I_F$ 为 1.7%~4.6%/mA; 峰值波长偏移量 $\Delta\lambda/I_F$ 为 -0.09~0.15 nm/mA;
温度特性	正向偏压变化量 $\Delta U/T$ 为 -3.0~-1.2 mV/K; 发光强度变化量 $\Delta L/T$ 为 -1.5%~-0.3%/K; 峰值波长偏移量 $\Delta\lambda/T$ 为 0.04~0.25 nm/mA。
真空特性	与地面情况相比,发光强度平均增加了 2.4%。 材料挥发量为 1%,可冷凝物质小于 0.1%,挥发成分以水为主。
抗辐射特性	受辐射量为 1 krad/year,发光强度的变化量不大于 0.5%/year。

3 LED 星上定标光源筛选装置的研制

电子产品在规定的工作环境条件下,进行的工作试验称为寿命试验,又称耐久性试验。随着 LED 生产水平的提高,产品的寿命和可靠性大为提高,LED 的理论寿命为 10^5 h,如果仍采用常规的正常额定应力下的寿命试验,很难对 LED 的寿命和可靠性做出较为客观的评价,而且试验用的 LED 已经在出厂时经过了一般的老化试验,可以直接作为照明光源使用。

空间相机 LED 星上定标光源筛选装置的主要目的是通过试验掌握 LED 光输出衰减状况及发光一致性差异,进而筛选出适合作为空间相机星上定标光源的一组 LED。空间相机星上定标光源 LED 筛选装置由电动旋转台机构、探测组件、积分球组件和总控系统等组成,可以同时进行 72 组(216 只)LED 的筛选试验。表 2 列出了装置主要构成及用途,装置实物图如图 1 所示,原理框图如图 2 所示。

LED 用作星上定标光源还需经过高低温存储、温度循环以及高低温冲击等试验。在每一种试验前后都要对 LED 进行一次测试。主要测试

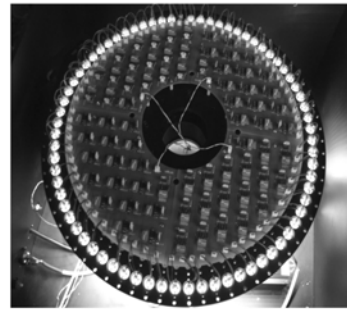


图 1 LED 筛选装置

Fig.1 Screening device for the LED

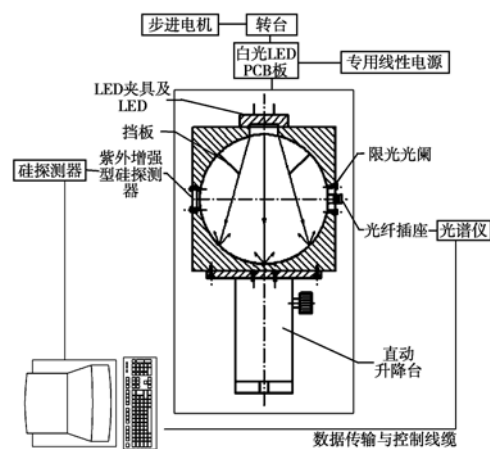


图 2 LED 筛选装置原理框图

Fig.2 Frame drawing of the LED screening device

LED 在给定电流下的光谱和相对发光强度。

该定标光源筛选装置的主要功能是全自动(每天 24 h)监视工作状态下 LED 的发光性能。将 LED 分别安装在带有 72 个安装孔位的多样品测试台面上,由步进电机控制测试台面旋转;光纤的一端连接摄谱仪,另一端连接积分球,调整积分球,将积分球接收孔上端面与测试台面保持 0.5 mm 的测试距离,控制测试台的旋转使得每个

LED 发光面的中心与积分球接收孔的中心重合,LED 发出的光能全部被积分球接收,经光纤束传输到摄谱仪,摄谱仪将光谱数据传递到主控计算机。积分球内部探测器将光信号转换成电信号,由后续的高稳定度放大器放大,在单片机和 CPLD 的控制下电信号由 A/D 转换成数字信号,通过串口传输到主控计算机内。

表 2 LED 星上定标光源筛选装置的主要构成

Tab. 2 Main compositions of screening device for LED light source in spaceborne

序号	部件名称	设备名称	用途	主要技术指标
1	电动旋转机构	电动旋转台	自动控制,水平正反旋转	传动比:180 : 1 重复定位精度:≤0.005° 最大速度:25°/s 分辨率:0.001 25°
		多样品测试台面	放置被筛选 LED	5 mA、10 mA、15 mA、20 mA、25 mA、30 mA、35 mA、40 mA、45 mA、50 mA、60 mA、85 mA、100 mA 多种工作电流可选
2	探测部件	支撑机械	保证电动旋转台稳定性,便于安装快捷及准确定位	可同时放置 3 种不同封装的 LED 多样品测试台面平面精度:≤0.1 mm
		定光栅摄谱仪	辐射量探测	A/D 精度:16 位 信噪比:≥60 dB 最佳分辨率:0.23 nm(435.8 nm 处,缝宽 10 μm,使用 1 200 g/mm 光栅) 视场外杂散光影响:≤0.1% 探测器波长响应范围:190~1 100 nm
		紫外增强型硅探测器		探测器非稳定性((20±5)℃):≤±0.08%/h 探测器相对灵敏度:5×10 ⁻⁴ (最大输出信号 10 V 时)
		数据采集装置	探测器输出数据采集	直流稳压电源精度:0.005% 长期稳定性:0.05%/year
3	积分球组件	积分球	辐射量辅助测量	实测反射率:≥97%(450~900 nm)
		积分球支撑组件	保证积分球平稳,定位精度高	精度:0.005 mm 行程:15 mm
4	总控系统	探测器采集电路		CPLD+单片机控制
		步进电机控制器	电动旋转台驱动	驱动 57 步进电机(最大电流 3A) 扫描方式:2,4,8,10,20,40 加减速方式:梯形波减速
		PC 机+控制软件	自动扫描测量控制	无人值守,自动扫描测量:VC++ , Matlab 7 编程实现
		通讯接口:RS232 标准		

空间相机 LED 星上定标光源筛选装置的软件界面操作简单,通过操作软件可以驱动转台水平正逆转动,在达到目标位置时控制数据采集组件工作,最终实现无人值守操控、自动测量、实时监测、数据文件自动保存等功能。使用 VC++ 语言进行接口通信和界面设计,Matlab 软件进行数据实时处理并将设计模块嵌入 VC++ 设计的程序面板。软件流程如图 3 所示,操作界面如图 4 所示。

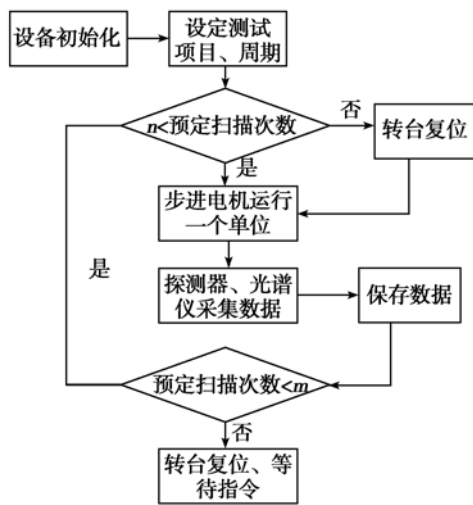


图 3 筛选装置 PC 机软件流程图

Fig. 3 Flowchart of the screening device for PC

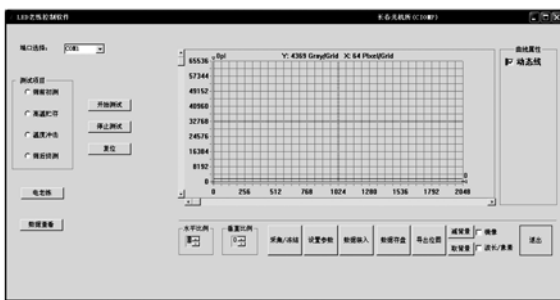


图 4 筛选装置 PC 机软件界面

Fig. 4 Software interface of the screening device

4 空间相机 LED 星上定标光源的筛选与评估方法

空间相机 LED 星上定标光源筛选装置,数据筛选方法如下:

将每一批次待筛选的 LED 采集到的数据表

示为 $D(N, T)$ 。N 为 LED 灯的编号; T 表示数据采集的次数;由于采样时间间隔固定,所以采集的时间可以表示为采样次数乘以采样时间。将每一批次采集得到的数据表示成 N 行 \times T 列的矩阵形式。而每次采集能引起误差的原因包括:(1) LED 自身发光的不稳定性;(2)工作电流波动的影响;(3)外界杂散光影响;(4)探测器测量误差;(5)外界温度的影响。

则数据 $D(N, T)$ 可以表示为:

$$D(N, T) = R(N, T) + \Delta I(T)\beta(N) + \Delta\Phi(T) + \Delta\delta \quad (1)$$

式中: $R(N, T)$ 表示不同编号的 LED 灯第 T (T = 1, 2, 3, ..., n) 次采集的发光强度; $\Delta I(T)\beta(N)$ 中 $\Delta I(T)$ 为每次测量时电流出现的波动, LED 的发光强度受电流变化的影响,在电流变化不大的情况下,可以认为是线性变化, $\beta(N)$ 为各个灯的电流线性变化系数; $\Delta\Phi(T)$ 为环境杂光的影响,实际测量所得数据已经扣除了此部分; $\Delta\delta$ 为探测器的测量误差,对数据进行平均即为零。

外界温度变化引起 LED 发光强度衰减,是温度变化长期作用的结果。令筛选过程处于超净间中,环境温度始终控制在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。可以认为长时间环境温度变化很小,环境温度影响可以忽略。

第一步,将同一批次中的 LED 数据出现明显变化的去除,在以后的数据处理中不予考虑;然后对剩下的数据进行时间平均,得到各个 LED 的平均输出 $D(N)$:

$$D(N) = \overline{D(N, T)} = \overline{R(N, T)} + \overline{\Delta I(T)}\beta(N), \quad (2)$$

第二步,将同一批相同编号 LED 历次所有采集的数据相加取平均,可以得到采样的平均值 D。由此得出:

$$D = \overline{D(N, T)} = \overline{R(N, T)} + \overline{\Delta I(T)}\beta(N), \quad (3)$$

第三步,对每组 LED 的 D 值进行标准偏差计算,SD 表示标准偏差值:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{i=1}^T [R(N, T) + (\Delta I(i) - \overline{\Delta I})\beta(N)]^2}. \quad (4)$$

在同一批次 LED 筛选过程中, $\Delta I(i)$ 的变化是确定的,可以认为 SD 最小的 LED 是自身稳定性最优的 LED。并根据需要从 SD 值中挑选出

方差最小的 n 个数据,这 n 个数据所对应的 LED 就是该批次 LED 中发光一致性最优的一组 LED。

5 应用及分析

对同一批次 72 只日亚暖白 LED-NS-SL100DT 按试验流程进行筛选。该批次 LED 的工作电流 20 mA,筛选时使用 35 mA 电流。由于试验数据庞大,为了更清楚的展示试验结果,我们从中随机抽取了 3 只白光 LED,编号分别为 18、38、60,分析其相对发光强度变化。试验以实测光谱数据积分值为准(图 5),硅探测器值作为参考。

试验发现,白光 LED 电老炼 240 h 后的相对发光强度有明显下降,LED18、LED38 变化量均在 2% 左右,LED60 变化量超过 5%,如图 6 所示。说明白光 LED 在长时间、大电流情况下工作,有明显老化的现象。电老炼后,将装有白光 LED 的多样品测试台面移入高低温箱进行高温存储试验及温度冲击试验,发现该批次日亚暖白 LED 的相对发光强度在温度试验前后变化不大。变化量主要集中在筛选试验过程。

筛选试验后,将该批次 LED 再次安装在筛选试验台上,工作电流为 35 mA,进行 1 000 h 跟踪试验,从图 6 中 300~1 200 h 这段区间发现,LED 输出的相对发光强度变化不大,没有超过 1.5%,考虑到实际星上定标的使用情况,能保持 900 h 定标的输出辐射度值变化不超过 1.5%,证明筛选的 LED 是稳定的^[9]。如果在轨星上定标过程中 LED 的光强出现衰减,也可以通过微弱调节电流的方法进行修正。

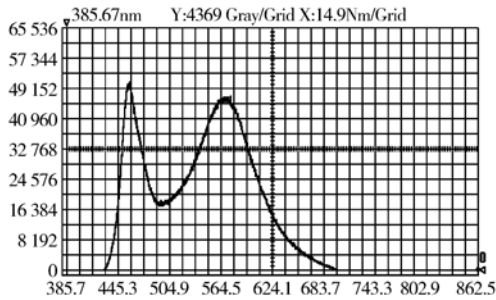


图 5 LED18 的实测光谱图

Fig. 5 Situ spectral measurements figure of the LED18

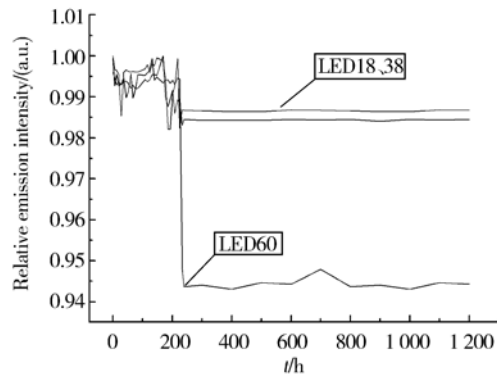


图 6 LED60 筛选 240 h 后相对发光强度有明显下降
Fig. 6 Relative intensity of LED60 decreased significantly after burning for 240 h

考虑到星上定标光源的可靠性,印度遥感卫星 IRS-P3 上的 MOS-A 要求其定标灯发光强度的变化量 $< 1.5\%$ ^[10]。从图 6 及表 3 可以看出,LED18、LED38 在 1 200 h 的上电试验过程前后的相对发光强度变化在 3% 左右,变化幅度不大,而 LED60 有 7% 左右的变化量,并且从图 6 发现筛选过程中 LED60 的相对发光强度有明显的下降趋势。经分析该批次暖白 LED 随机抽样的 LED60 不能用作星上定标光源。

表 3 各时间段的辐射衰减情况

Tab. 3 Output degradation in different time period of aging process

t/h	LED18/(%)	LED38/(%)
300	-0.10	-0.08
450	-0.32	-0.40
650	-0.40	-0.57
850	-0.50	-0.70
950	-0.65	-0.81
1 150	-0.78	-0.92
1 300	-0.85	-1.03

对该批次 LED 按筛选公式(4)进行计算,所得计算结果如表 4 所示。发现 SD 的计算结果在 0.9~1.1 之间,变化幅度小,证明该批次 LED 符合筛选要求,并根据任务需要从该批次 LED 中筛选出方差数据间隔最小的 10 只 LED 用作空间相机星上定标光源,如表 5 所示。

表 4 该批次 LED 筛选数据处理的结果

Tab. 4 Results of screening data processing

编号	SD	编号	SD
LED1	0.918	LED37	0.959
LED2	1.204	LED38	1.090
LED3	1.012	LED39	0.982
LED4	0.945	LED40	1.099
LED5	0.963	LED41	0.936
LED6	1.023	LED42	0.965
LED7	1.026	LED43	1.069
LED8	0.917	LED44	1.049
LED9	1.017	LED45	1.070
LED10	0.963	LED46	1.038
LED11	0.985	LED47	1.046
LED12	0.892	LED48	1.008
LED13	0.925	LED49	1.024
LED14	0.971	LED50	0.897
LED15	0.976	LED51	1.038
LED16	0.953	LED52	0.961
LED17	0.922	LED53	0.985
LED18	1.006	LED54	0.997
LED19	0.917	LED55	0.995
LED20	0.967	LED56	0.967
LED21	0.977	LED57	0.946
LED22	1.004	LED58	1.018
LED23	1.007	LED59	0.988
LED24	1.040	LED61	0.957
LED25	1.012	LED62	0.976
LED26	0.999	LED63	0.992
LED27	1.034	LED64	0.991
LED28	1.041	LED65	0.978
LED29	1.041	LED66	0.965
LED30	1.046	LED67	1.011
LED31	1.068	LED68	0.981
LED32	1.063	LED69	0.944
LED33	1.084	LED70	1.014
LED34	0.971	LED71	0.987
LED35	1.079	LED72	1.081
LED36	1.080		

表 5 该批次 LED 中发光一致性最优的一组 LED

Tab. 5 A batch of LED with optimal consistency of luminescence

编号	SD	编号	SD
LED37	0.959	LED66	0.965
LED52	0.961	LED20	0.967
LED5	0.963	LED56	0.967
LED10	0.963	LED14	0.971
LED42	0.965	LED34	0.971

6 结 论

将 LED 用于星上定标是一个新兴领域,很多问题有待解决,本文从 LED 的老化机理出发,设计并研制了一套空间相机 LED 星上定标光源筛选装置。

实际使用表明,该筛选装置功能完善,操作简单,筛选结果客观准确,达到了试验目的。试验所耗人力、物力小,节约了成本;试验所用时间相对较少,满足航天任务时间紧任务重的要求。由该装置筛选的 LED 已经被用于空间相机星上定标,并取得了很好的效果。

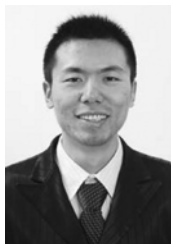
目前,白光 LED 的谱段窄,封装形式多种多样,这给星上定标光源的设计提出了很高的要求,同时也给光源的筛选测试带来了很大的问题。如何研制更为通用,试验结果更为准确、筛选方法更为科学的星上定标光源 LED 筛选设备,必将成为新的研发目标。

参考文献:

- [1] 陈世平. 空间相机设计与试验[M]. 北京:中国宇航出版社,2002:345-350.
CHEN SH P. *Design and test of space camera* [M]. Beijing: China Astronautic Publishing House, 2002:345-350. (in Chinese)
- [2] 陈风,郑小兵. 光谱非匹配对光学遥感器定标精度的影响[J]. 光学精密工程,2008,16(3): 415-419.
CHEN F, ZHENG X B. Influence of spectrum not-matching on calibration precision of remote sensor [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(3): 415-419. (in Chinese)
- [3] ARTURAS Z, MICHAEL S S, REMIS G. *Introduction to solid-state Lighting* [M]. America: Wiley-Interscience, 2001: 105-135.
- [4] 任建伟,万志,李宪圣,等. 空间光学遥感器的辐射传递特性与校正方法[J]. 光学精密工程,2007,15(8):1186-1190.
REN J W, WAN ZH, LI X SH, *et al.*. Radiation transfer characteristic and calibrating method for space optical remote sensor [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(8): 1186-1190. (in Chinese)
- [5] NIKE E J, SOLBRIG M, SUMNICH K H, *et al.*. Space borne spectrometer calibration with LEDs

- [J]. *SPIE*, 2004, 4135: 384-394.
- [6] 王健,黄先,刘丽. 温度和电流对白光 LED 发光效率的影响[J]. *光学学报*, 2008, 29(2): 358-361.
WANG J, HUANG X, LIU L, *et al.*. Effect of temperature and current on LED luminous efficiency [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2008, 29(2): 358-361. (in Chinese)
- [7] 杨少华,吴福根,张春华. 白光 LED 的失效机理分析[J]. *半导体光电*, 2009, 29(6): 857-859.
YANG SH H, WU F G, ZHANG CH H. Analysis of failure mechanisms of white LEDs [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2009, 29(6): 857-859. (in Chinese)
- [8] 王磷,计忠英,王忠厚,等. 热真空环境中超亮白光 LED 发光强度性能研究[J]. *半导体光电*, 2006, 27(1): 20-22.
WANG L, JI ZH Y, WANG ZH H, *et al.*. Luminous intensity of super-light LED in thermal vacuum test [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2006, 27(1): 20-22. (in Chinese)
- [9] 任建伟,麦镇强,万志,等. 星上定标光源的可行性研究[J]. *光学精密工程*, 2008, 16(3): 398-405.
REN J W, MAI ZH Q, WAN ZH, *et al.*. Feasibility of LED light source in spaceborne calibration [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(3): 398-405. (in Chinese)
- [10] 麦镇强,李凤有,任建伟,等. 星上定标 LED 光源长期工作的稳定性[J]. *发光学报*, 2007, 28(5): 753-758.
MAI ZH Q, LI F Y, REN J W, *et al.*. The long term working stability of spaceborne calibration LED light source [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2007, 28(5): 753-758. (in Chinese)

作者简介:



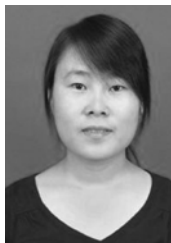
叶 钊(1985—),男,天津塘沽人,博士研究生,2008 年于南京理工大学获得学士学位,主要从事光电仪器辐射定标及相关系统的设计与控制。E-mail: sunyeath@gmail.com



刘则洵(1980—),男,吉林省吉林市人,硕士研究生,助理研究员,主要从事空间光学遥感器辐射定标方面的研究。E-mail:bjxlzx@163.com



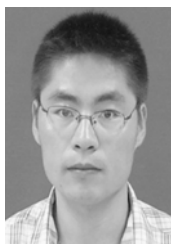
任建伟(1956—),男,吉林长春人,高级工程师,研究生导师,主要从事光谱/辐射测试设备的开发研制和光学遥感辐射校正方面的研究。E-mail: Renjw@ciomp.ac.cn



全先荣(1987—),女,山东临沂人,硕士研究生,主要从事遥感图像辐射校正方面的研究。E-mail: xianrong870721@163.com



李宪圣(1979—),男,山东德州人,硕士,助理研究员,主要从事光电仪器辐射定标研究。E-mail: lixs688@163.com



刘洪兴(1986—),男,山东聊城人,博士研究生,主要从事光学遥感器辐射定标方面的研究。E-mail: lhxing_888@126.com