

文章编号:1001-9014(2006)03-0426-03

# 太阳辐照对近红外激光高度计接收系统的影响

张海洪, 王建宇, 舒嵘, 胡以华

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

**摘要:**根据太阳辐射传输理论,对一星载近红外激光高度计样机在轨运行时,不同的姿态所受到的太阳辐照进行了分析.该激光高度计的工作波长为 1064nm.结合激光高度计样机的系统灵敏度,分析得到在激光高度计正常工作时,系统所接收到的星球表面漫射的太阳辐照产生的背景噪声约是系统灵敏度的十分之一,对系统的影响可以忽略.根据雪崩二极管的损伤阈值以及太阳直接辐照时到达探测器的太阳辐照,得到在空间没有任何保护措施的情况下,雪崩二极管所能承受的太阳直接辐照持续为 4s.根据分析所得结果,提出了改进措施,为系统的进一步完善提供了依据.

**关键词:**近红外激光高度计;太阳辐照;背景噪声;损伤阈值

**中图分类号:**TN216 **文献标识码:**A

## EFFECTS OF SOLAR RADIATION ON THE RECEIVER OF NEAR INFRARED LASER ALTIMETER

ZHANG Hai-Hong, WANG Jian-Yu, SHU Rong, HU Yi-Hua

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract:**Solar radiation received by a spaceborne near infrared laser altimeter prototype on orbit with various attitudes was analyzed based on the radiation theory. The working wavelength was 1064nm. With the system responsivity, the solar radiation reflected by the star surface and received by the laser altimeter when it is working at the normal mode was discussed. And the background noise caused by this radiation was about ten times smaller than the system responsivity and its effect on the system can be neglected. According to the damage threshold of the APD, the solar radiation that directly irradiates the system was analyzed. And the duration of the APD to this radiation in space without any protection on it is 4s.

**Key words:**near IR laser altimeter; solar radiation; background noise; damage threshold.

### 引言

星载激光高度计在工作时,对其影响最大的噪声源是太阳辐射.该辐射对激光高度计影响有三种.一种是在激光高度计正常工作时,由于太阳的运动,以斜入射的情况入射到接收系统中,形成杂散光,最终转化为噪声,影响信号的获取.通过一些措施,如在镜筒内壁涂黑或做成粗糙表面,以及在探测器前加装遮光罩等<sup>[1]</sup>,可以减小这类杂散光对系统的影响.

另外,在激光高度计正常工作时,星表对太阳辐射的反射也可能产生很大的噪声.除此以外,当其载体卫星的姿态发生偏移时,可能会出现太阳的直接入射的情况.这种情况下,由于太阳辐射经过接收系统会聚后功率密度非常大,可能会造成探测器的损伤.

下面以月球为例,计算月表反射的太阳辐射对激光高度计接收系统的影响.

激光高度计工作波长为 1064nm.国外在对星体表面进行分析时,一般假定其对 1064nm 波长的反射率为 0.05<sup>[2,3]</sup>.在计算实例中,假定月球表面反射率  $\rho$  为 0.03,接收系统有效口径为 120mm,采用的窄带滤光片的带宽为 10nm,工作轨道为离月表 200km.

### 1 理论计算

大气层外太阳相当于 5900K 黑体<sup>[4]</sup>,峰值波长: $\lambda_m = \frac{2897.8}{T} = 0.48\mu\text{m}$ .光谱辐射出射度峰值: $M_{\lambda_m} = BT^5 = 9.2 \times 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ .在  $\lambda =$

收稿日期:2005-09-19,修回日期:2006-02-24

基金项目:上海市科委计划(045115018)资助项目

作者简介:张海洪(1978-),女,江苏海门人,博士研究生,主要从事光电系统检测方面的研究.

Received date: 2005-09-19, revised date: 2006-02-24

1.064 $\mu\text{m}$  处的光谱辐射出射度:  $M_\lambda = f(\lambda T) M_{\lambda m} = 2.94 \times 10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ . 在  $\lambda = 1.064\mu\text{m}$  处,  $\delta\lambda = 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  间隔内的辐射出射度:  $M_{\delta\lambda} = M_\lambda \times \delta\lambda = 2.94 \times 10^5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

太阳可看成漫辐射源. 为计算太阳辐射对系统的最大影响, 以日月最近距离时的太阳辐照为基准. 日地距离为  $1.496 \times 10^{11} \text{ m}$ , 月地距离为  $3 \times 10^8 \text{ m}$ , 则日月最近距离  $d$  为  $1.493 \times 10^{11} \text{ m}$ , 太阳半径  $R$  为  $6.69 \times 10^8 \text{ m}$ . 因此, 太阳在月球表面处的辐照为

$$E_{\delta\lambda} = \frac{M}{\pi} \times \Omega = M \times \frac{R_S^2}{d^2} = M_{\delta\lambda} \times \frac{R_S^2}{d^2} = 6.39 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

激光高度计接收望远镜的有效口径为 120mm, 因此接收望远镜面积  $S_t$  为  $0.0113 \text{ m}^2$ . 当接收系统正对太阳时, 接收到的太阳辐射功率为:  $P_{\text{tot}} = E_{\delta\lambda} \times S_t = 0.0722 \text{ W}$ .

## 2 各种影响分析

### 2.1 月表反射的太阳辐射对探测器灵敏度的影响

#### 1. 雪崩二极管对太阳辐照的响应

图 1 和图 2 分别为雪崩二极管典型响应度、太阳光谱辐照曲线.

图 3 所示曲线是雪崩二极管在各波长处对太阳光谱辐照的响应  $R_\lambda$ . 假定激光高度计接收系统中, 探测器前面使用的窄带滤光片中心波长为  $1.064\mu\text{m}$ , 带宽  $0.01\mu\text{m}$ . 因此, 在图 3 中雪崩二极管的响应分成了 2 个阴影区域, 横线的区域  $A_1$  是雪崩二极管在  $0.4 \sim 1.1\mu\text{m}$  内对太阳光谱辐照的响应, 斜线的区域  $A_2$  是雪崩二极管在  $1.064 \pm 0.005\mu\text{m}$  滤光片通带内对太阳光谱辐照的响应.

分别对图 3 中 2 个阴影区域进行积分, 可以得到, 雪崩二极管在  $0.4 \sim 1.1\mu\text{m}$  整个响应波段内与  $1.064 \pm 0.005\mu\text{m}$  滤光片通带内对太阳辐照的响应对比为  $A_1:A_2 = 300:1$ .

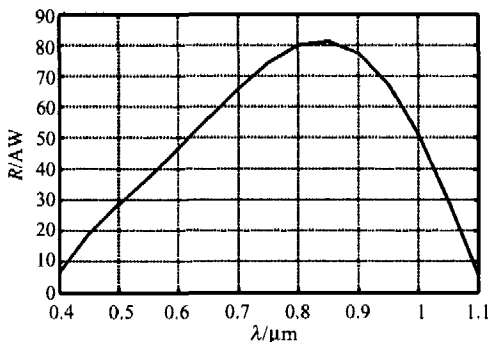


图 1 APD 典型响应率 (A/W)

Fig. 1 Typical responsivity of APD (A/W)

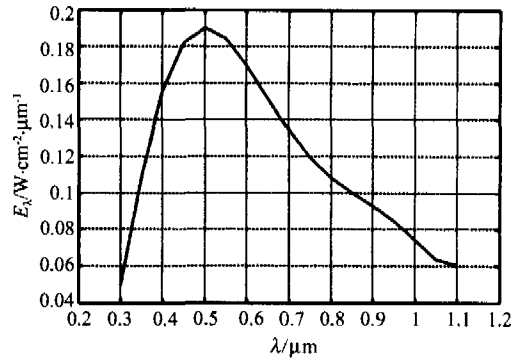


图 2 太阳光谱辐照曲线

Fig. 2 The curve of solar spectral radiation

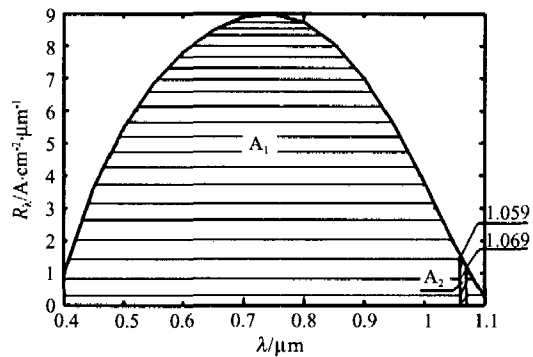


图 3 APD 对  $0.4\mu\text{m} \sim 1.1\mu\text{m}$  范围内的太阳光谱辐照的响应

Fig. 3 The responsivity of APD to solar spectral radiation at wavelength range of  $0.4\mu\text{m} \sim 1.1\mu\text{m}$

由于滤光片限制不完全, 在通带以外的波段内还会存在一定的透过率, 且整个波段内的透过率值并不相同. 假定通道以外有 10% 的能量进入探测器, 通带内的透过率大于 90%, 则到达探测器的太阳辐射功率近似为原来的 4 倍.

#### 2. 接收系统接收到的月表反射的太阳辐照

激光高度计接收系统的视场为  $1.5 \text{ mrad}$ , 在  $200 \text{ km}$  轨道高度时对应的地面像元半径  $R_l$  为  $150 \text{ m}$ . 该像元半径  $R_l$  远远小于月球与在卫星之间的距离  $d$ , 因此, 认为该像元内的辐射为点光源辐射. 在  $1064 \text{ nm}$  波长处, 由于太阳辐照, 月球漫反射体在  $200 \text{ km}$  距离处的辐射照度为

$$E_m = \rho \frac{E_{\delta\lambda} R_l^2}{d^2} = 0.03 \times \frac{6.39 \times 150^2}{200000^2} = 1.08 \times 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

接收望远镜接收到的辐射功率为  $P_{\text{tm}} = E_m \times S_t = 1.22 \times 10^{-9} \text{ W}$ . 由于滤光片的原因, 到达探测器的月球漫反射辐射功率为原功率的 4 倍, 变为  $4.88 \times 10^{-9} \text{ W}$ . 而接收系统的灵敏度要求为  $4 \times 10^{-8} \text{ W}$ .

二者相差一个数量级,在回波接收电路性能较好的情况下,月球表面反射的太阳辐照对激光高度计接收系统的性能并不会会有显著的影响。

## 2.2 太阳直射的辐照对探测器的影响

光电探测器的损伤存在一个阈值<sup>[5]</sup>。雪崩探测器的损伤阈值与被照时间有关,照射时间越长,损伤阈值越低。图4和图5<sup>[6]</sup>分别为激光脉冲重复频率和照射时间与损伤阈值的对应表和关系图。试验所用雪崩探测器的性能参数与激光高度计中的基本一致。

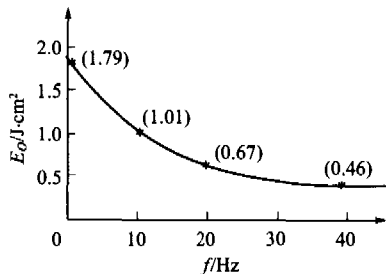


图4 照射时间为1s时损伤阈值与激光脉冲重复频率的关系

Fig.4 The relation between the damage threshold and the laser pulse rate at irradiated time of 1s

由图4和图5可知,光照时间为1s时,对单次重复频率的探测器的损伤阈值为 $1.79\text{J}/\text{cm}^2$ ,以平均功率来计算,损伤阈值即为 $1.79 \times 10^4\text{W}/\text{m}^2$ 。

光照4s时的损伤阈值为光照1s时的84%左右,而4s以上光照时间的损伤阈值趋于稳定的常值。因此,可以认为对连续波来说,4s以上光照时间的条件下,雪崩探测器的损伤阈值为 $1.50 \times 10^4\text{W}/\text{m}^2$ 。

太阳光的发散角 $\theta_s$ 为 $32'$ ,对于焦距为533.335mm的接收系统,在探测器上的光斑直径为: $533.335 \times \text{tg}32' = 4.965\text{mm}$ ,即光斑面积 $S_s$ 为 $1.94 \times 10^{-5}\text{m}^2$ 。探测器光敏面直径为0.8mm,即光敏面积 $S_d$ 为 $5.03 \times 10^{-7}\text{m}^2$ 。因此,到达探测器光敏面上

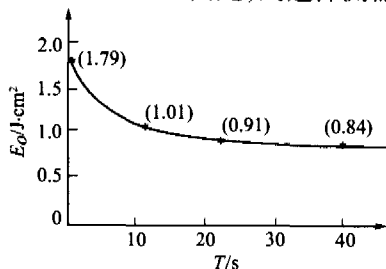


图5 激光脉冲重复频率为10Hz时损伤阈值与照射时间的关系

Fig.5 The relation between the irradiated time and the damage threshold at pulse rate of 10Hz

的太阳辐射功率与进入接收系统的太阳辐射功率之间的比例为 $P_d:P_s = S_d:S_s = 1:38.6$ 。

由于滤光片的原因,到达探测器的太阳辐射功率为原功率的4倍,即 $P_{ts2} = 4P_{ts1} = 0.2888\text{W}$ 。因此,当太阳直射时,到达探测器的功率密度为: $D = 0.2888/S_s = 0.2888/(38.6 \times S_d) = 1.49 \times 10^4\text{W}/\text{m}^2$ 。而上述4s以上光照时间的条件下,雪崩探测器的损伤阈值为 $1.50 \times 10^4\text{W}/\text{m}^2$ ,二者相当。

因此,在空间没有任何保护措施的情况下,雪崩探测器所能承受的太阳直接辐照的时间为4s。

## 3 结语

本文根据太阳辐射传输理论,并结合所采用的窄带滤光片的带宽,得到一星载激光高度计样机在轨运行时可能受到的太阳辐照。假定中心波长为 $1.064\mu\text{m}$ ,带宽为10nm的滤光片,带外总透过率为1%,带内透过率大于90%,根据雪崩二极管的典型响应度以及太阳光谱的辐照曲线,计算得到,该激光高度计样机所接收到的总的太阳辐照约为带内辐照的4倍。而太阳辐照产生的背景噪声约是系统灵敏度的十分之一,对系统的影响可以忽略。如果在保证滤光片带内透过率不降的情况下,将带宽变为5nm,则该背景噪声将更小,对探测电路的设计要求也随之降低。而在空间没有任何保护措施的情况下,雪崩二极管所能承受的太阳直接辐照时间持续时间为4s。

## REFERENCES

- [1] WANG Zhi-Jiang. *The Handbook of Optics*. The first volume, Version 1 [M]. Beijing: China Machine Press(王之江.光学手册.上册,第一版.北京:机械工业出版社), 1987:13~14.
- [2] Cole T D, Davidson F M. Performance evaluation of the near-earth asteroid rendezvous (NEAR) laser rangefinder [J]. *SPIE*, 1996, **2811**:156—168.
- [3] Boies M T, Cole T D, El-Dinary A S. Optical system development and performance testing of the NEAR Laser Rangefinder [J]. *SPIE*, 1996, **2811**:169~184.
- [4] LIU Jing-Sheng. *Infrared Physics*. Version 1 [M]. Beijing: The Publishing House of Ordnance Industry(刘景生.红外物理.第1版.北京:兵器工业出版社), 1992:61~69.
- [5] CHEN Yu-Wei, ZHANG Li, HU Yi-Hua, et al. Array detection technology of echo on earth observation dastri imager [J]. *J. Infrared Milim. Waves* (陈育伟,张立,胡以华,等.对地观测激光成像的回波阵列探测技术.红外与毫米波学报), 2004, **23**(3):169—171.
- [6] XUE Jian-Guo, HAO Wei, SU Xin-Zhi. Research on laser damage of avalanche photoelectric diode [J]. *Applied Laser* (薛建国,赵威,苏心智.强激光对雪崩光电探测器破坏的研究.应用激光), 2000, **20**(3):127—128.