

激光高度计探测视场角的测试研究

狄慧鸽, 王建宇, 方抗美, 舒嵘

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要:激光高度计的探测视场角是影响系统性能的一个重要参数, 论述了视场角对系统探测性能的影响. 受到回波杂散光和探测器响应不均匀性的影响, 激光高度计的探测视场角会随回波能量的改变而发生变化, 而回波能量随探测距离发生变化. 本文提出了测试激光高度计整机探测视场角的方法, 并且模拟了系统在实际工作状态时的情况; 对于有近程延时保护的系统, 给出了测试的解决方案. 对设计视场角为 1.5mrad 的激光高度计进行了测试, 调节模拟回波信号能量至 5×10^{-8} W, 模拟其工作距离为 200km 时的工作状态, 得出系统的探测视场角为 1.46mrad.

关键词:激光高度计; 视场角; 回波

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A

RESEARCH ON LASER ALTIMETER'S FIELD OF VIEW

DI Hui-Ge, WANG Jian-Yu, FANG Kang-Mei, SHU Rong

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

Abstract: Laser altimeter's field of view (FOV) is an important parameter affecting system's performance. The effect of the field of view on the detection performance of system was discussed. Because of the straylight and the sensor's nonuniformity, the FOV changes as the echo's power changes. At the same time the echo's power will be varied with the detecting distance. The testing way of detecting FOV was put forward, and the factual working status was simulated. For system with inner short-range delay protecting circuit, a new method was brought forward. A laser altimeter with the FOV of 1.5mrad was tested. The FOV of the system is 1.46mrad when its detecting distance is 200km and the echo's power is 5×10^{-8} W.

Key words: laser altimeter; field of view; echo

引言

激光高度计属主动遥感系统, 与微波遥感和红外遥感相比, 因为激光的发散角小, 激光主动遥感具有精度和角分辨率高的优点. 人们通过对多次散射的研究发现, 探测视场角 (FOV) 与多次散射激光雷达的接收信号有很大的关系. 视场角大, 接收系统更容易接收到回波信号, 对系统发射轴和接收轴的平行度要求降低, 但接收到的背景噪声也随之加大, 目标信号的相对幅度减小; 视场角小, 虽然背景噪声减少, 但目标信号强度也大大减小, 目标信号的相对幅度仍会降低, 并且对系统双轴平行性要求更高. 在系统设计中, 为了保证系统的综合性能, 视场角需要满足一定的数值. 表 1^[1-4] 是国外报导的几种激光高度计的 FOV 值.

由表 1 可以看出国外对发射的激光高度计探测视场角都进行了严格的限定, 探测视场的大小取决于抑制杂散光的需求和系统结构配准的裕度. 为了保证装调后得到的仪器能处于最优工作状态, 在激光高度计装配过程中及装机完成后, 对其特性参数都要进行测试, 以验证其是否满足设计要求. 光学系统装配后的视场范围利用光学方法可以得到. 但是, 当系统装上探测器之后, 由于探测器本身结构的影响, 会使得探测器光敏面的位置与理想焦平面位置有偏移. 该偏移除了导致视场发生变化之外, 还会引起接收望远镜的视轴发生变化, 从而引起发射轴与接收轴不共轴. 这些影响对高精度的仪器设备来说是不允许的.

1 探测视场对系统探测性能的影响

收稿日期: 2008-10-20, 修回日期: 2009-02-12

基金项目: 863(2007AA12Z105) 和 973(2009CB724004) 资助项目

作者简介: 狄慧鸽(1981-), 女, 河南洛阳人, 博士研究生, 研究方向为光电系统检测, E-mail: dihuige@gmail.com

通讯作者: 舒嵘(1971-), 男, 上海人, 研究员, 研究方向为光电遥感, E-mail: shuyong@mail.sitp.ac.cn

Received date: 2008-10-20, revised date: 2009-02-12

表1 几种激光高度计的 FOV 值
Table 1 Several laser altimeters' FOV values

激光高度计(LA)	MOLA	NLR	LOLA	MLA	LALT
目标 (TARGET)	火星 (Mars)	近地小行星 (Near Earth Asteroid)	月球 (Moon)	水星 (Mercury)	月球 (Moon)
探测视场 (FOV(mrad))	0.85	1.1	0.4	0.4	1

1.1 探测视场与杂散光的关系

激光高度计属于高灵敏度探测系统,容易受到外界光线的影响,外界光线包括接收系统视场内的背景光和视场外的光线通过内壁散射进入探测器的杂散光^[5].这些背景光和杂散光的存在会引起系统信噪比的降低^[6],增加系统虚警率.激光高度计接收到的外界光线主要包括太阳直射入系统的光线和太阳被其它物体漫射后的散射光线.接收系统视场内的背景光通量如式(1)^[7]所示

$$P_{ine} = \frac{E\tau_a^2\rho_E\theta_{FOV}^2 A_r\tau_r}{\pi}, \quad (1)$$

式中, P_{ine} 为系统接收到的背景光通量, E 为太阳光辐射通量, τ_a^2 为大气双程透过率, ρ_E 为物体反射率, θ_{FOV} 为系统探测视场角, A_r 为接收系统孔径, τ_r 为接收系统透过率.

从式(1)可以看出,杂散光大小与系统的探测视场角平方成正比关系.视场角越大,系统受背景光的影响越厉害.

1.2 探测视场对系统结构的影响

激光高度计需要接收到发射激光的回波才能实现其功能,其发射轴与接收轴的配准度是实现测距功能的重要关键之一.对于收发不共轴系统,系统允许的光轴偏差量与系统本身的激光发散角和接收望远镜视场有关.假设激光发散角为 α 、接收望远镜视场角为 θ_{FOV} 、两光轴夹角为 δ .对于确定的夹角为 δ ,在不同的距离为 R 处的目标上,激光光束与接收望远镜的视场有三种重叠的情形:完全不重合、部分重合和完全重合.当两视场不完全重合时,系统接收到的激光能量会减弱,影响系统最大测程和探测漏警率;当重合度为零时,激光高度计将探测不到信号.满足系统在远距离状态一直重合的条件^[8]是

$$\delta < \frac{\theta_{FOV} - \alpha}{2}, \quad (2)$$

由式(2)可以看出,探测视场越大,系统两光轴配准情况要求就会越低.

2 激光高度计 FOV 测试原理和方法

2.1 测试原理

激光高度计为能量接收系统,不能成像,装上探测器之后不能利用光学的方法来判断其探测视场,只能根据电信号的输出情况来判断.在测试中需要根据激光高度计的实际工作情况产生模拟回波,模拟回波触发探测器产生电信号,根据电信号输出情况与回波之间的关系来判断系统 FOV 值的大小.理想情况下,只有处于探测视场内的光线才能被接收系统探测.所以在测试时,偏转回波相对于接收光轴的方向,找到信号变为零的回波偏转角度 δ_2 和 δ_1 , $(\delta_2 - \delta_1)$ 即为激光高度计的探测视场角.

2.2 FOV 测试影响因素分析

2.2.1 回波能量

激光高度计在工作时回波能量的大小反映出探测距离的远近,对于大目标探测来说,探测方程如下^[9]所示

$$P_r = P_t\tau_o\tau_a^2\rho A_r/\pi R^2, \quad (3)$$

式中, P_r 为接收功率, P_t 为发射功率, τ_o 为光学系统光学效率, τ_a^2 为双程大气透过率, ρ 为某指向的反射率定向分布函数(如果目标上各点的特性一致时,可取平均值), A_r 为光学系统有效接收面积, R 为目标与激光雷达的距离.

由式(3)可以看出,探测能量与探测距离的平方成反比关系.根据文献[10],当激光回波的能量太强时,由于信号本身形成的杂散光的影响,会使得模拟回波在很大的角度范围内都能触发探测器输出信号,从而影响到测试结果.图1给出了利用光学软件 ASAP 模拟的已经偏离出视场的回波形成的杂散光在探测面上的情况.

为了模拟激光高度计在实际工作时探测器的输出情况,需要控制模拟回波的能量能在一定范围内变化.并且与实际工作距离时的情况相对应,避免能量太强时杂散光对测试结果形成影响.

2.2.2 模拟回波发散角

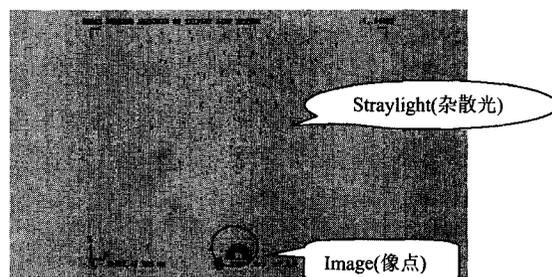


图1 回波偏离出视场时探测面上的杂散光
Fig. 1 The stray light on the detector

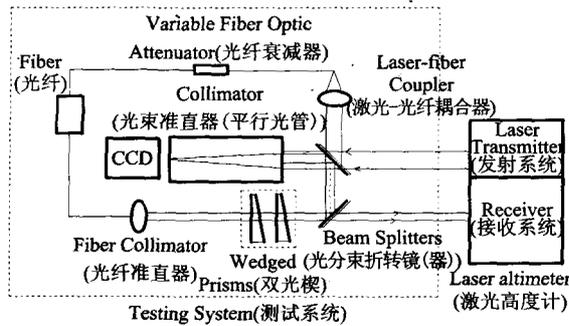


图2 激光高度计 FOV 测试系统
Fig. 2 The test setup for FOV of laser altimeter

激光高度计的目标为远距离目标,对于接收系统来说,经过目标反射后的回波来自于无穷远,所以模拟回波可以近似为平行光.为了在室内测试激光高度计的性能参数,需要产生一与发射激光有一定延时序的准直光来作为模拟回波对其进行探测.

2.3 系统实现

为了实现在室内完成对激光高度计不同距离回波的模拟,采用如下装置实现.

系统由长距离光纤(长度 \geq 近程保护距离)、可变光纤衰减器、光纤准直器、光束折转器、光束方向基准装置和光束方向微调器组成.测试系统通过光纤耦合器采取被测系统激光做为光源,经过光纤传输后完成对系统信号的延时和衰减,模拟远距离探测情况.光纤出射光束发散角比较大,在光纤出射后采用一个光纤准直器对光纤发散角压缩,使得模拟回波变为准直光.准直光经过光束方向微调器后被引入激光高度计接收系统.光束方向微调器完成对回波偏转角度的微调和控制,使得回波可以在水平和垂直方向对探测器扫描.当探测器探测到的回波信号达到饱和可以通过调节光纤衰减器实现能量衰减,并且不改变回波方向.图中折转镜、平行光管和 CCD 构成光束方向基准装置,用来调整激光高度计发射激光光束和模拟回波平行,给出模拟回波偏转的基准位置.

3 实例

根据图 4 对一台设计视场角为 1.5mrad 的激光

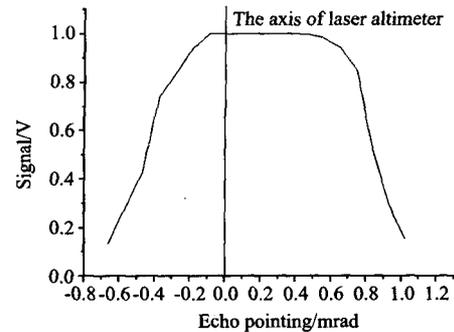


图3 激光高度计 FOV 截面图
Fig. 3 The laser altimeter's FOV cross section

高度计进行测试.系统采用文献[11]中所示方法进行装配,保证装配精度.测试时采用 7km 多模光纤,经过光纤准直器后的准直光发散角为 1mrad,用示波器显示回波信号.根据式(1)、激光高度计本身参数和实际使用情况,当模拟工作距离为 200km 的情况时,回波信号大小应该为 5×10^{-8} W.调整光纤衰减器的衰减倍数,用高灵敏度功率计测试回波激光能量.在此能量状态下调节光束方向微调器,记录光束偏转角度和回波信号值.如表 2 所列.根据表 2 可以得到激光雷达的 FOV 图,如图 3 所示.由于回波光束有一定的发散角,在像面上的像不是无限小的点,信号在视场的边界处有一定的过渡,而不是突降为零.考虑到探测器边缘响应,灵敏度会有所降低^[12],取信号降为最大值的 30% 时为视场边缘点.根据表 2 和图 3 可以得到被测试激光雷达的 FOV 值为 1.46mrad.

4 结语

激光高度计作为主动遥感系统,探测视场角的大小对系统性能有重要影响,所以在系统装配完成后需要对其实际 FOV 值进行测试.由于受到回波杂散光和探测器响应不均匀性的影响,系统 FOV 值的大小与回波能量大小相关.在回波能量大时,探测视场会大于系统的光学设计视场值;能量小时,可能会小于设计视场值.对于一定的探测目标和探测环境,回波的能量大小与探测距离的平方成反比关系.对

表2 光束偏转角度与对应信号值
Table 2 The echo's pointing and corresponding signals

回波指向 (Echo pointing(mrad))	-0.664	-0.567	-0.47	-0.378	-0.184	-0.092	0	0.092	0.184
信号相对值(Signal)	0.135	0.28	0.43	0.74	0.94	1	1	1	1
回波指向 Echo pointing(mrad)	0.281	0.373	0.465	0.557	0.649	0.741	0.833	0.925	1.018
信号相对值 Signal	1	1	0.997	0.98	0.94	0.85	0.53	0.3	0.15

于远距离探测来说可能会由于探测视场的缩小而影响整机探测性能. 本文提出了室内探测激光高度计视场角的方法, 并建立了一套测试系统. 对于有近程保护的激光高度计系统, 利用长距离光纤采集被测系统激光作为测试光源. 通过改变回波的能量值可以来模拟激光高度计在不同工作距离时的工作状态; 采用光束方向微调器偏转回波的方向达到对激光高度计视场扫描的目的. 利用该测试系统对一台设计视场为 1.5mrad 的激光高度计进行了测试, 调节回波信号能量为 $5 \times 10^{-8}\text{W}$, 模拟激光高度计工作距离为 200km 时的情况, 得出在此状态下激光高度计的探测视场为 1.46mrad .

REFERENCES

- [1] Izquierdo I R, Bufton J L, Patricia Hayes. Optical system design and integration of the mars observer laser altimeter [J]. *Applied Optics*, 1994, **33**(3): 307—321
- [2] Izquierdo L R, V Stanley Scott III, Schmidt S, et al. Optical system design and integration of the mercury laser altimeter[J]. *Applied Optics*, 2005, **44**(9): 1748—1760.
- [3] Cole T D. NEAR Laser Rangefinder: A tool for the mapping and topologic study of asteroid 433 eros[J]. *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 1998, **19**(2): 142—157.
- [4] Riris H, Sun Xiaoli, John F Cavanaugh, et al. The Lunar orbiter laser altimeter (LOLA) on NASA's lunar reconnaissance orbiter (LRO) mission[J]. *SPIE, Sensors and Systems for Space Applications*, 2007, **6555**: 1—8.
- [5] ZHANG Hai-Hong, WANG Jian-Yu, SHU Rong, et al. Effects of solar radiation on the receiver of near infrared laser altimeter[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (张海洪, 王建宇, 舒嵘, 等. 太阳辐射对近红外激光高度计接收系统的影响. *红外与毫米波学报*), 2006, **25**(4): 426—428.
- [6] LIN Jun-Yang, SHU Rong, HUANG Geng-Hua, et al. Study on threshold of laser damage to CCD and CMOS image sensors[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (林均仰, 舒嵘, 黄庚华, 等. 激光对 CCD 及 CMOS 图像传感器的损伤阈值研究. *红外与毫米波学报*), 2008, **27**(6): 475—478.
- [7] OUYANG Jun-Hua. The high-precision measurement of speed and range about little-goal[D]. Chinese Academy of sciences. PHD's degree paper. 2008 (欧阳俊华. 小目标高精度测速测距技术研究. 中国科学院研究生院. 博士学位论文), 2008, 36—39.
- [8] Measures R M. *Laser Remote Sensing/ Fundamentals and Applications* [M]. Toronto: Krieger Publishing Company, 1983, 237—280.
- [9] ZHANG Hai-Hong. Research on the testing technology of the space-borne laser altimeter[D]. Chinese Academy of sciences. PHD's degree paper (张海洪. 星载激光高度计地面定标与测试技术研究. 中国科学院研究生院. 博士学位论文), 2005, 12.
- [10] SUN Jian-Guo, CONG Jun-Kui. Analyzing FOV errors in laser warning technology[J]. *Infrared and Laser Engineering* (孙建国, 丛俊奎. 激光告警技术中视场误差分析. *红外与激光工程*), 2001, **30**(4): 168—173.
- [11] Zhang Haihong, Wang Jianyu, Shu Rong, et al. Optical system integration of near infrared laser altimeter [J]. *SPIE*, 2005, **61503E**: 1—5.
- [12] ZHU Lei, HUANG Geng-Hua, OUYANG Jun-Hua, et al. Study on time interval measurement system in photon counting imaging lidar[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (朱磊, 黄庚华, 欧阳俊华, 等. 光子技术成像激光雷达时间间隔测量系统研究. *红外与毫米波学报*), 2008, **27**(6): 461—464.