

锁模激光器在人卫激光测距中的应用

谭业春 杜瑞林

(国家地震局地震研究所, 武汉, 430071)

摘要: 在人卫激光测距中, 激光器的性能至关重要, 它对仪器的测程和精度起着决定性的作用。本文将描述锁模激光器的结构、性能及其在人卫激光测距中的应用与发展。

关键词: 锁模激光 卫星测距

Application of mode- locked laser in SLR

Tan Yechun, Du Ruilin

(Institute of Seismology, State Seismological Bureau)

Abstract: In SLR (Satellite Laser Rangefinder), the laser plays the most important role in effecting the measurement range and accuracy of SLR system. The mode- locked laser, which has these advantages of narrow pulse, high power, higher stability, gets the wide application especially in SLR. This paper discusses the structure, performance and future application of mode- locked laser in SLR.

Key words: mode- lock laser satellite ranging

一、引言

卫星激光测距是随着现代激光、光电子学、计算机和空间科学发展而建立起来的一门崭新观测技术。由于它具有独特的测距方式和较高的测量精度, 已在地学领域广泛应用。目前, 其观测资料已可用于地球物理学, 地球动力学, 大地测量学, 天文学和地震预报等多种学科。

90 年代以来, 随着可观测卫星的不断发射, 特别是美国等国联合研制的空中激光跟踪系统的实现, 人卫激光测距工作已出现新的高潮。目前全球跟踪网各观测站的人卫激光测距仪已从二代升为三代, 也就是仪器的测距精度从十几厘米跨越到几个厘米。而在人卫激光测距仪中, 激光器的性能至关重要, 尤其是测距精度与激光器激光脉冲的脉宽有着直接的关系。

武汉人卫站二代测距仪的激光器, 是由中科院上海光机所研制的一台调 Q 器件, 工作程式为透射调 Q 倍频式, 一级振荡, 二级放大, 脉宽为 4.5ns, 输出能量为 0.25J, 重复率为 1pps 或 2pps, 测距精度在 14cm~16cm。这是因为该器件虽然能量很大, 可是脉冲宽度较宽, 使测距精度提不高, 且重复率低, 使每个观测图的有效点也提不高。

为了提高观测技术, 跨入世界卫星激光观测网的先进行列, 高精度、高回波率地测到如远程 ETALON(20000km), 近程如 ERS(时间段短)等卫星, 必须换窄脉宽、高峰值功率和高重复率的锁模激光器件。1990 年武汉站鉴定的三代人卫激光测距仪, 不仅测到 1989 年由苏联发射的两颗最远程的卫星: ETALON-1, ETALON-2, 并且其测距精度都在几个厘米, 达到世界先进水平。使该仪器升级的主要原因之一就是采用了高重复率, 超短脉冲锁模激光器。

二、锁模激光器的结构及使用情况

用于厘米级卫星激光测距系统的是由中科院上海光机所研制的一台经主、被动锁模, 高重

复率的超短脉冲激光器。它的激光材料是掺钕的钇铝石榴石,由 50MHz 高频调制电源所激励的声光调制器在这里作主动锁模器件,而五甲川染料溶液则用为被动锁模。由于采用了这种锁模形式,而大大降低失锁率,得到较为稳定的激光输出。图 1 为激光器的光路示意图^[1]。

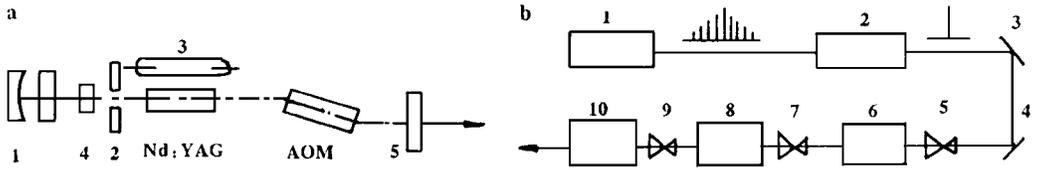


Fig. 1 a- Mode-lock laser oscillator 1- circular dye and retroreflector 2- transverse mode select diaphragm 3- arc lamp 4- front mirror 5- F-P plate b- Block diagram of a high-repetition rate, ultra-short pulse mode-lock laser 1- ultra-short pulse oscillator 2- single pulse selector 3, 4- mirror 5, 7, 9- beam extenders 6- first, second amplifier 8- third amplifier 10- frequency doubler

由一级振荡和三级放大器组成的激光器,可得到能量为 100mJ, 波长为 1.06μm, 脉宽为 150ps 的红外光输出, 然后通过 KDP 晶体组成倍频器, 最后获得能量约为 50mJ, 波长为 532nm 的绿光输出。其重复率为每秒一, 二, 四, 五次可调。

在人卫激光测距仪中, 接收口径等一旦确定后, 激光器的性能对仪器的测程和精度起着决定性的作用。一般来说, 由于激光器的输出具有一定的脉宽, 它对测距结果带来的误差可用下列方程式估算: $M = T_p / \sqrt{n}$, 式中, T_p 是激光器的脉宽; n 是接收的光子数。

从上式可知, 脉宽愈窄, 误差愈小。实际测量的数据也证明测距精度随着脉宽的减小而提高。如国际上第二代人卫激光测距系统过渡到第三代进程中, 普遍将腔倒空或调 Q 式的激光器改为锁模器件, 脉宽从几个 ns 一下子压窄到 100~ 200ps。其测距精度骤然从分米级提高到数厘米级水平。武汉站的经验也是如此, 在其它条件不变的情况下, 仅是更换激光器, 激光脉宽从 4.5ns 变为 150ps, 其测距精度随即从 15cm 提高至 6~ 7cm。表 1 列出了在其它情况不变时, 调 Q 器件与锁模器件所得测距精度对比。

Table 1 The accuracy comparing with YAG Q-switch and mode-lock laser

date	time(UTC)	effective points	accuracy	laser
1985. 8. 2	15: 44	103	13. 9	YAG Q-switch
8. 3	14: 20	370	15. 8	
8. 14	13: 26	131	14. 6	
8. 16	14: 21	105	15. 4	
9. 11	14: 01	280	14. 9	
9. 28	12: 02	320	14. 7	
1989. 11. 27	18: 50	471	5. 1	YAG mode-lock
11. 28	17: 34	431	5. 1	
11. 28	21: 07	303	6. 5	
12. 01	17: 04	144	6. 1	
12. 01	20: 28	483	6. 3	
12. 02	19: 04	176	5. 1	

三、测 距 能 力

人卫激光测距仪的测距能力应主要考虑接收光子数和回波信号的处理, 下面以武汉站 φ60cm 望远镜作接收器为例分析其测距能力。

1. 接收光电子数

回波平均光子数 E_r 由 Pletkin 测距方程^[2] 给出(现以 ETALON 卫星为例):

$$E_r = E_t \cdot 4a_s / (\pi D^2 \theta_t^2) \cdot 4S_r / (\pi D^2 \theta_r^2) \cdot T_A^2 \cdot T_r \cdot T_l \cdot \alpha$$

式中, E_r 为回波平均光子数; $E_t = 0.05 \times 2.8 \times 10^{18}$ 为激光发射能量(光子数); $a_s = 4 \times 2.5 \times 10^{-2}$ 为反射器有效面积(m^2); $S_r = 0.28$ 为接收器有效面积(m^2); $T_A = 0.45$ 为大气透明度; $\lambda = 0.53\mu m$, 高度角为 30 时: $T_r = 0.40$ 为接收率; $T_l = 0.85$ 为发射效率; $\theta_t = 1.5 \times 10^{-4}$ 为发射激光发散角(rad); $\theta_r = 10^{-4}$ 为接收视场角(rad); $D = 2 \times 10^7$ 为测量距离(m); $\alpha = 0.1$ 为大气衰减因子(经验值)。算得 $E_r \approx 1.2$ 。

从理论上讲,似乎不大容易测到 ETALON 卫星,可实际上我们却测到了,且回波率也还不是很低,应该认为,这与激光脉宽窄,能量集中有关,并和采用与之相应的光电转换器件有关。武汉站在更换锁模激光器后,采用 MCP 光电倍增管作光电检测器,首次在国内成功地测到了两颗 ETALON 卫星。

2. 回波信号处理

卫星激光测距时,由光电倍增管引起的误差主要包括:管子的响应时间,电子渡越时间的跳动,幅度效应,星象位置变化,热噪声等。当使用激光脉宽为 150ps 的激光器时,应选用响应时间为 300ps 的 MCP 光电倍增管,可与锁模激光脉宽相匹配,不引起明显的波形展宽,它的电子渡越时间跳动最大只有 2cm。而用于二代测距仪上的 PM2233B 光电倍增管响应时间为 2.5ns,电子渡越时间的跳动可达 10cm,虽有窄脉宽的激光器,其测距精度仍然受到限制。因此,我们用型号为 F4129 型 MCP 光电倍增管检测回波信号,该管子效率为 6%,其增益比常规的光电倍增管(如 2233B 等)低至少一个数量级,最大放大倍数仅为 1×10^6 ,而实际使用中,为了延长管子寿命,没有使管子的高压用于最高状态下。因此,其增益仅为 10^5 。若以此增益

Table 2

satellite	date	time(UTC)	effective points	accuracy
E ₁	90. 09. 11	15: 48—16: 10	81	4. 8
	90. 09. 19	14: 55—15: 40	68	4. 9
	90. 09. 20	12: 30—13: 50	45	5. 1
	90. 10. 29	11: 40—12: 20	206	5. 8
	90. 10. 30	10: 38—11: 30	306	5. 5
	90. 11. 14	10: 20—11: 20	375	5. 7
E ₂	90. 10. 29	18: 40—19: 40	386	4. 5
	90. 10. 30	15: 30—16: 30	354	5. 6
	90. 10. 31	15: 00—15: 44	168	5. 4
	90. 11. 15	13: 22—14: 10	125	6. 4
	90. 12. 07	15: 45—16: 30	316	5. 4
	90. 12. 09	13: 00—14: 12	692	6. 2

状态下计算一个光电子的输出电平为:

$$V = (s' \cdot g \cdot e \cdot r) / \tau$$

式中, s' 为光电倍增管发射光电子数, g 为光电倍增管电流增益; e 为电子电荷量; r 为负载电阻; τ 为回波脉冲宽度。

当 $s' = 1, g = 10^5, e = 1.6 \times 10^{-19}, r = 50\Omega, \tau = 300ps$

(考虑激光脉冲的展宽), 则:

$$V \approx 2.7mV。$$

此信号加前置放大和功率放大后便能检测到。从上式可

以看到,激光脉宽越窄,回波电平就会越高,更有利于检测。这也就是我们能测到 ETALON 卫星的重要原因之一。表 2 是 1990 年下半年测到的两颗 ETALON 卫星的情况。

四、结 束 语

锁模激光器以其窄脉宽、高能量、输出稳定等优点,在人卫激光测距中应用愈来愈多。国外许多流动型卫星激光测距仪均选用了锁模激光器。某部测绘研究所委托地震研究所正在研

真实火箭燃气射流的实时显示及定量测试技术研究

阎大鹏 刘峰 王振东 贺安之

(南京理工大学应用物理系, 南京, 210094)

摘要: 提出了一种实时显示真实火箭燃气射流和定量测试其参数分布的技术。它是由激光光源、大口径莫尔偏折仪、CCD、监视器、图象存储和处理系统以及 486 计算机等组成。利用这种技术, 实时显示了真实火箭燃气射流场, 定量计算了流场的参量分布。

关键词: 流场显示 测量 莫尔偏折法 火箭射流

Real time visualization and quantitative measurement of rocket exhausted plumes field

Yan Dapeng, Liu Feng, Wang Zhendong, He Anzhi

(Dept. of Appl. Phys., Nanjing University of Science and Technology)

Abstract: A new technique of real-time visualizing and quantitatively measuring of rocket exhausted plume field is presented in this paper. The beam source is a He-Ne laser and a alignment optical system to provide a parallel light beam 300mm in diameter. Then the parallel light beam goes through the plume field and two 20line/mm Ronchi gratings to obtain a diffraction pattern, and the pattern imaged at a CCD sensor to display on a monitor and been recorded. By means of image computer processing and Gladstone - Dale formula, with the parameters of grating index P , shift of more fringe, interval of more fringe, and interval of two gratings, the density distribution of the plume field can be calculated.

Key words: flowfield visualization measurement moire deflectometry rocket exhaust plumes

制的流动型人卫激光测距仪也将采用小型的 YAG 对撞锁模激光器, 其主要指标: 激光波长 532nm, 输出单脉冲能量 $\geq 30\text{mJ}$, 脉宽 $\leq 100\text{ps}$, 重复率为每秒一至五次。该器件也是中科院上海光机所研制, 在上海天文台试验时, 加上原锁模器件上末级放大和倍频, 用输出 17mJ 能量测到了 Lageos 卫星和 ETALON 卫星。与他们正在研制的流动仪相比, 所不同是上海天文台的望远镜接收面积与流动仪接收面积之比为 3:1, 而激光器输出能量之比为 1:2, 如在发散角上加以改善, 那么流动仪测到 ETALON 卫星应该是有把握的, 这一点将会很快得到验证。

当然, 激光器仅仅是发射部分之一, 测距的成功还取决于微弱回波信号的检测处理, 以及其它配套设备如计数器的测时精度和稳定度, 时间系统同步和频率标准等。随着科学技术的不断提高, 人卫激光测距技术将会进一步发展。

参 考 文 献

- 1 夏治中, 叶文蔚, 蔡庆福 *et al.* 地壳形变与地震, 1993; (4): 33~ 40
- 2 沈镜祥, 何妙福, 刘基余 *et al.* 空间大地测量. 北京: 中国地质大学出版社, 1990: 255~ 257

*

*

*

作者简介: 谭业春(附照片), 女, 1953 年 2 月出生。高级工程师。从事人卫激光测距仪研制及卫星测距观测工作。