

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0628-03

锁模倍频 Nd:YAG 激光器的输出稳定性对 流动型卫星激光测距精度的影响

何世华

(中国地震局地震研究所, 武汉 430071)

摘要 介绍了流动型厘米级卫星激光测距仪(TSLR-II)的 SFUR-II 型激光器的工作机理及技术参数等,着重分析了激光输出稳定性对流动卫星激光测距精度的影响。最后,介绍了怎样消除影响激光输出稳定性的因素。

关键词 流动卫星激光测距, 激光输出稳定性, 单次测距精度

中图分类号 TN248.1⁺3 文献标识码 A

Influency of Power Stability of Mode-Locked Frequency-Doubled Nd:YAG Laser on Ranging Accuracy of Travelling Satellite Laser Ranging

HE Shihua

(Institute of Seismology, CSB, Wuhan 430071)

Abstract In this paper, a mode-locked frequency-doubled Nd:YAG laser for the satellite laser ranging is introduced. The influency of the power stability on the ranging accuracy is studied.

Key words travelling satellite laser ranging, laser out stability, single shot ranging accuracy

TROS-Z 型人造卫星激光测距仪的测距发射光源为自滤波非稳腔纯被动染料锁模倍频 Nd:YAG 激光器。取其名称英语单词的头字母拼写,简称 SFUR-II 型激光器。SFUR-II 型是 SFUR-I 型的改进型,并根据 SFUR-I 型的使用结果对其影响激光输出稳定性的某些结构作了重要的改进,因此, SFUR-II 型的输出稳定性比 SFUR-I 型更高。其系统光路图见图 1。

1 SFUR-II 型激光器的工作机理和输出技术指标

从 SFUR-II 型激光器谐振腔发射出来的是以循环五甲川染料溶液纯被动锁模方式激活,波长为 1.06 μm 的红外波段激光系列脉冲串[图 2(a)],其光束的偏振状态为线偏振。经过二次转向反射进入脉冲选择器后,系列脉冲串或被剔选为以其主波为主导的半串脉冲[图 2(b)],或被剔选为只剩下主波的单一脉冲[图 2(c)]。剔选后的脉冲波经过光束扩大和单级能量放大,再进行倍频,1.06 μm 的红外波变频为

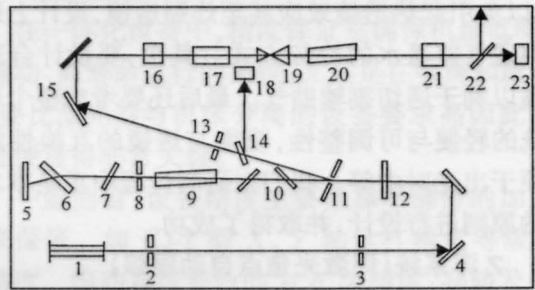


图 1 系统光路图。1: He-Ne 激光器; 2、3、8、13: 光阑孔; 4、15: 双转向反射镜; 5: 平面全反射镜; 6: 染料盒; 7: F-P 标准具; 9: 振荡 YAG 棒; 10: 双偏振片; 11: 凹面小孔光阑反射板; 12: 凹面全反射镜; 14: 分光镜; 16: 铌酸锂晶体; 17: 检偏镜; 18: PIN 取样器; 19: 扩束器; 20: 放大 YAG 棒; 21: 倍频器; 22: 45° 反射镜; 23: 主波取样器

Fig. 1 Optical path figure of system. 1: He-Ne laser; 2, 3, 8, 13: pinhole; 4, 15: reflector; 5: plane reflector; 6: dye box; 7: F-P etalon; 9: YAG; 10: polaroid; 11: concave reflector; 12: concave reflected mirror; 14: beam splitter; 18: PIN diode; 19 expander; 20: YAG amplifier; 21: double-frequency crystal; 22: 45° planar reflector; 23: main wave sampler

0.532 μm 的绿光光波, 通过人造卫星测距仪的发射

光学系统射向太空中的被测卫星。在 45° 反射镜的背后设置了一个主波光电转换取样器[图 1 中 23], 进入主波取样器的少许激光将提前进入人造卫星测距仪的时间间隔计数器作为其开门信号令其开门计数, 从卫星上反射回的激光主波回波信号也将滞后

进入计数器作为其关门信号令其在下一个激光脉冲发射前关门停止计数, 时间间隔计数器开关门的时间间隔 Δt 就是激光发射到卫星并从卫星返回的时间间隔。根据公式 $D = c\Delta t/2$ (c 为光速) 即可求出人造卫星激光测距仪与被测卫星之间的精确距离。

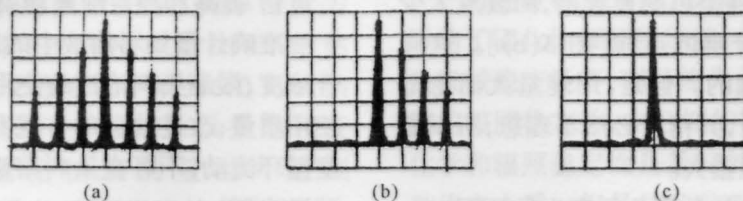


图 2 脉冲波形图. 1:锁模振荡的系列脉冲串;2:脉冲选择后的半串脉冲;3:脉冲选择后的单脉冲(x 轴:ns; y 轴:V)

Fig. 2 Figure of laser pulse waveforms. 1:series pulse string of mode-locked; 2:choosed half string pulse; 3:choosed single pulse (x axis ns; y axis V)

SFUR- II 型激光器的技术指标见下表。

Item	Technical indications
laser wavelength (λ)	$0.532 \mu\text{m}$ (green light)
laser pulse width (τ)	$< 50 \text{ ps}$
laser out energy (by single stage amplifying)	
• single pulse	$\geq 15 \text{ mJ}$ ($0.532 \mu\text{m}$)
• half string pulse train	$\geq 35 \text{ mJ}$ ($0.532 \mu\text{m}$)
divergent angle of laser beam	$\leq 1 \text{ mrad}$
mode of laser spot	TEM_{00}
diameter of laser spot	$\phi 9 \text{ mm}$
optical density of laser spot	$\sim 2 \text{ GW/cm}^2$
fluctuation of laser out energy	$\pm 10\%$
out stability of laser beam	$> 80\%$
operating frequency	$1 \sim 10 \text{ s}^{-1}$ (extenal synchrocontrol)
efficacy of frequency-double	$\sim 50\%$ (BBO crystal)
continuitive operating time	$> 40 \text{ min}$
operating ambient temperature	$-10^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$
levelling light source: He-Ne-L	$\sim 0.5 \text{ mW}$ ($0.6328 \mu\text{m}$)

2 激光输出稳定性对测距精度的影响

当流动人造卫星激光测距仪的电子接收系统均处在正常工作状态后, 影响测距精度的主要原因是激光输出的稳定性。所以, 提高测距精度的捷径是设法提高激光输出的稳定性。

激光输出的稳定性是指激光输出脉冲的波形尖窄, 底沿光滑、上下沿陡直、幅度起伏小、相邻波形之

间没有次波, 波形的间隔恒定[图 2(a)]。用这样的波形测距, 观测结果经过预处理后, 在显示屏上呈现出其命中的回波信号点密集, 形成几条清晰的点线(半串脉冲), 其中下面一条粗密清晰的点线[图 3(a)]是主波的回波点线, 若用单脉冲测距, 其回波信号只是一条粗密清晰的点线[图 3(b)], 噪声点与命中的回波点很容易分辨, 这样的观测结果处理简捷, 精度也理想。

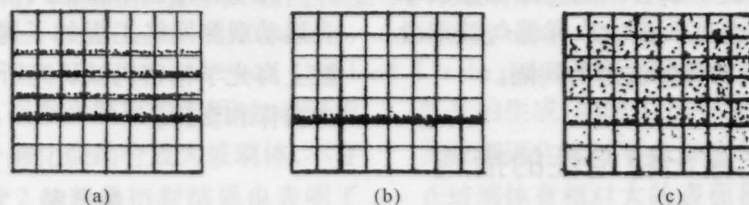


图 3 观测回波点线图. 1:半串脉冲的回波点线(下面一条为主波回波点线);2:单脉冲的回波点线;3:回波少、噪声多的状况

Fig. 3 Point line figure of ranging return wave. 1:reture wave point line of half string pulse; (next is reture wave point line of main wave); 2:reture wave point line of single pulse; noises suppress the reture wave

激光输出能量大,射向卫星的命中率高,回波点也多,特别对远距离(6000~20000 km)的卫星,例如:ETALON, GLONASS, LAGEOS, GPS 卫星。如果激光能量小,或用单脉冲测远卫星(半串脉冲的能量是单脉冲的2~3倍),其命中率低,回波信号与噪声点不易分辨,在显示屏上可明显看出,回波点太少而不能连成一条可以分辨的点线[图3(c)]。这样的观测结果是无法处理的。但是,用能量大而稳定性差的脉冲波形去测距,其精度必然不理想,所以激光必须是稳定性好且能量大。

激光输出不稳定的常见现象及产生的原因:

1) 波形幅度起伏大

这种激光输出波形进入计数器,触发计数器开门的不一定是激光主波,可能是与主波前后相邻的次波,但计数器是以主波的回波信号作为关门信号,故在此状态下,计数器取数明显有误差。波形幅度起伏大的原因一是锁模效率差,二是谐振腔处在“失谐”的临界状态,在这二种状态下,激光振荡输出稳定,脉冲波形起伏大,经脉冲选择器剔除后,主波有可能被剔除。

2) 主波前有幅度较大的次波

次波经放大后,其幅值足以能替代主波提前触发计数器,这种次波的相位领先于主波进入计数器并令其开门计数,而此时所记录的数据是不准确的。当脉冲选择器的光路静态消光比未调试在最佳状态时,系列脉冲的前半串未能剔除干净,故其主波前的次波仍通过了脉冲选择器。

3) 振荡输出一大一前一后二串脉冲波形

这种前后相距 250 μs 的一大一小一前一后二串脉冲进入计数器完全扰乱了计数器的触发和计数规律。如果染料溶液使用过久而变质,而振荡氙灯工作电压又过于提高,这种现象将会发生。

4) 波形上升沿由陡直变为平缓

波形的上升沿由正常状态的陡直变为平缓,这种波形进入计数器也就是改变了触发计数器开门的精确时间,这导致计数器取数有误差。如果主波取样器位置不合适,杂散光进入主波取样器与波形叠加后改变了波形的形状和相邻波形的间隔。

3 消除影响激光输出稳定性的措施

提高激光输出稳定性的关键是提高振荡级输出的稳定性。“由于被动锁模激光器稳定性差,能实现

锁模的激发率一般最好达 60%~70%^[1]。由实践经验证明,被动锁模染料溶液变化因素多,且最影响激光输出稳定性,其次为由于环境温度,内循环水温的变化而导致谐振腔“失谐”。我们在观测过程中采取了以下一些措施,并收到了较好的效果:

1. 提高和稳定纯被动染料锁模的效率:

准确计量染料溶液中的五甲川与二氯乙烷的混合浓度;限制染料溶液的使用周期,保证染料溶液的使用质量;改进抽运的方式和流速使溶液以均匀速度循环流动;不可在染料溶液未充分循环流动就启动激光器。

2. 切勿过高提升振荡氙灯的工作电压。

3. 降低并控制内循环水的水温($< 30\text{ }^{\circ}\text{C}$),减少振荡 YAG 棒的“热透镜”效应,并将由此导致的“失谐”控制在不足以影响振荡输出稳定的范围内。

4. 及时清除各光学表面(特别是染料盒内壁表面)的污染,减少光损耗,降低振荡级的激光阈值。

5. 注意脉冲选择器的静态消光比,雪崩高压电路和同步触发电路的工作状态。

6. 避免和消除杂散光进入谐振腔和主波取样器,经常检查主波取样器 PIN 光电管的工作性能。

TROS-2 型流动人造卫星激光测距仪于 2000 年 8 月下旬运到其第一个野外观测点——北京房山 GPS 基准站,虽然经过近 1300 km 的火车长途运输的振荡和颠簸,仪器就位后激光器稍加微调即有激光输出。在二个多月的观测周期内已测到了 300 多圈数据,其中远距离卫星:ETALON, GLONASS, LAGEOS, GPS; 近距离卫星:AJISAT, TOPEX, BE-C, ERS 等。这些数据均在观测结束即分别发往美国 TEXAS 大学空间研究中心、英国 NERS 分析中心和荷兰 DELFT 大学,反馈回来的所有数据分析报告公布:单次测距精度为 2~4 cm,其中 LAGEOS I、II 卫星的单次精度为 1~2 cm。这些观测结果表明,TROS-2 型流动型厘米级卫星激光测距仪的整体性能和运行状况均已达到国际先进水平。

此项目系国家级重大科研项目——中国地壳运动观测网络工程的子课题,并得到过中国科学院上海光学精密机械研究所孙占鳌副研究员等的鼎力协作和支持。

参 考 文 献

- 1 华中工学院等. 激光技术. 湖南科学技术出版社, 1981. 118