

利用激光双光束干涉方法测量地球潮及监测地震*

周海光 徐剑芳

(厦门大学物理系, 厦门 361005)

摘要 本文提出利用激光双光束干涉方法研究地球潮的变化, 对其测量原理和测量精度作了分析、讨论。通过对干涉条纹进行调制并计数, 在激光波长为 $0.63 \mu\text{m}$ 时, 对 25 m 的测量精度可达 $1/100$ 干涉级次 ($0.006 \mu\text{m}$)。因此, 在隧道中用这个方法可测地球潮。

关键词 地球潮; 激光; 双光束干涉; 地震

Measurement of Tide Variation of the Earth with Laser Double Beam Interference Method

Zhou Haiguang Xu Jianfang

(Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract In this paper, the measurement of tide variation of the earth has been studied by using laser double beam Interference method. We have discussed the measuring principle and precision. The results show that the precision is of $0.006 \mu\text{m}$ at $\lambda = 6328 \text{ \AA}$, length 25 m by modulating and counting of interferogram. So the method may be used to measure the tide variation of the earth in tunnel.

Key words earthquake prediction; laser double beam Interference method; tide of the earth

1 引言

人们发现^[1], 通常在地壳深处 $10 \sim 20 \text{ km}$ 处的岩石发生形变产生应力时, 岩石发射“剪切波”——作迅速的振动性运动。对这些波加以分析, 就能获得关于地震积累能量过程的信息。如果在大地震前对这些波型加以正确解码, 就能准确地预报地震的时间和强度。

地壳的形变测量是相当困难的。然而月球对地球的引力引起地壳周期性的形变, 即地球潮或称固体潮。俄国科学家指出^[2], 在大震前将出现周期 $1 \text{ min} \sim 20 \text{ min}$ 的地球潮, 在大震前一昼夜振动幅度增大, 并出现“突变反向”现象。这种现象在大震半年后才会自动消失。因此为预报地震, 首先应测量地球潮^[3]。但地球潮引起的地壳应变甚小, 如相隔 100 m 的两点形变约为 $2 \mu\text{m}$ 左右; 且需持续监测 $10 \sim 20$ 年, 才可能分析地球潮的规律从而发现微震并达到预报大地震。

对于地球潮, 一般测量手段, 如石英管应变仪, 激光光电测量方法^[4] 都达不到要求。我们提出利用双光

束激光干涉仪测量地球潮, 并建议在厦门及台湾海峡两岸的备战隧道安装这种仪器。

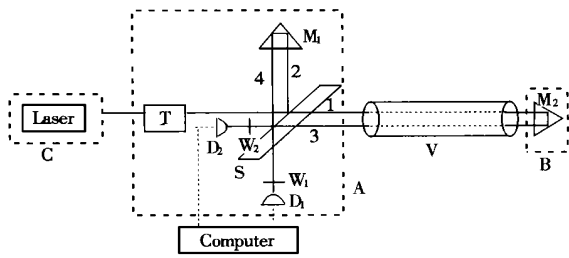
2 仪器及安装

实验装置如图 1。

在战备坑道中相距 25 m 的两处各修建一个混凝土底座, 它们直接坐落在坑道中的地下岩石上, 底座上安装铸铁工作台 A 和 B。由于激光器的放电管是个热源, 为减少它的影响, 将其放在离底座 A 约 1 m 的另一个混凝土工作台 C 上。该激光器采用稳频 He-Ne 激光器, 并采用特殊技术^[5,6] 使输出波长高度稳定。

干涉仪的长臂中有一长的真空管 V, 使大部分光路处在真空中, 从而减少外界干扰。为测量剪切波, 在隧道的东西和南北方向分别安装两台激光双光束干涉仪, 使在水平面的任何方向的形变都可分成 2 个相互垂直的分量加以检测, 从而测出地壳形变的大小和方向。

* 福建省自然科学基金资助课题(A97008)



S: Beam-splitting prism M_1, M_2 : Right-angle prism
 T: Alignment light pipe W_1, W_2 : Filter
 D_1, D_2 : Photoelectric detector V: Vacuum pipeline

图1 地球潮的测量装置

Fig. 1 The experimental set-up for measuring the tide variation of the earth by using laser double beam Interference method

3 检测原理与方法

图1中光束3,4发生干涉,通过窄带滤波片 W_1 及 W_2 到达光电探测器 D_1 和 D_2 。为提高检测精度,使干涉仪产生的干涉条纹以一定大小的振幅振动,在读出其变化量的同时,将信号换成数字电压,最后取平均值,以取得与地壳形变大小成正比的电压信号。当干涉仪的两臂 SM_1 及 SM_2 的长度差等于激光半波长的整数倍时,两束光以同位相重叠,干涉光强达最大。随着地壳的形变,混凝土底座A,B之间的距离发生变化会引起干涉光程差的变化,设 SM_1 臂长度变化为 ΔL ,激光波长为 λ ,干涉级次的变化量为 ΔN ,当臂长每增加 $\lambda/2$ 时,干涉光强变化一周,则

$$\Delta N = \Delta L / (\lambda/2) \quad (1)$$

由式(1)即可知道A,B两底座间岩石的形变^[7,8]。

地壳形变通常是一个非常小的量,如地球潮,对于25 m的长度,伸缩量约为 $1 \mu\text{m}$ 。因此 $0.63 \mu\text{m}$ 激光的干涉级次变化量 ΔN 仅为3左右;若伸缩量小至 $0.1 \mu\text{m}$,则 ΔN 仅为0.3,就很难计数。为此,使干涉仪所产生的干涉条纹以一定大小的振幅振动,在读出其变化量的同时,转换成数字电压并取平均值,从而取得与地壳形变大小成正比的电压信号。采用这一方法,测量精度可达 $1/100$ 干涉条纹($0.006 \mu\text{m}$)。

应用这个方法,可以测出月球及太阳造成的地壳形变—地球潮。这种地球潮有一定的规律性^[9],其周期一般为12 h。如发现周期有1 min~20 min的变化,即出现微震;若摆动幅度加大,并出现“突变反向”现象,即是临震讯号,即可预报大震。例如1948年日本福井地震应用倾斜仪即发现震前几小时地球潮形

变曲线发生反向突变;1976年松潘地震发生前也发生反向突变;福建省1989~1993年地球潮形变曲线出现3次异常,其中2次发生地震。利用激光双光束干涉的方法可提高精度和准确率。

4 讨论

地球潮形变曲线包含两项成分,其中第1项为地球弹性介质对固体潮汐的响应,可用潮汐因子表示;第2项是漂移,包括仪器本身漂移,外界干扰,地下密度变化和物质迁移等。在地震预报中用地球潮预报地震的主要方法是检测潮汐因子的变化,一般情况下潮汐因子在仪器观测精度范围内变化。由于在应力场作用下,其介质的变化可能导致潮汐因子地震前的变化,潮汐因子随时间变化异常,其时间、幅度与震级关系不大,主要在于有无趋势变化,异常特征如果存在趋势性变化,则表明700 km范围内有6级以上地震。在非潮汐曲线中,对其零漂曲线呈线性且有规律变化的曲线,如果发现偏离正常背景值,而且不能用仪器本身问题和干扰因素解释的异常,可以与地震有关的异常变化来考虑,同时斜率的变化也是衡量有无异常的标准。

为了准确测量地球潮,应尽量消除外界干扰,如调整棱镜 M_1 的位置使光路 SM_1 及 SM_2 之间暴露于大气中的光程相等。由于空气中的光波长会受到与气压,温度等有关的空气折射率的影响,因此,只要干涉仪两臂暴露于大气中的光程相等,就能抵消空气折射率变化所产生的影响,从而减少测量误差。另如使用窄带滤波器 W_1 及 W_2 可减少环境光的干扰。但为了防止外界因素造成的地面振动(如海浪,车辆,爆破等),我们可使用一些隧道,废矿井放置地震激光干涉仪。

台湾海峡位于环太平洋地震带,据Gutenberg和Richter的统计^[3],在1904年到1952年期间,发生在该处的微震释放了地震所释放的总能量的74.5%,因此利用激光双光束干涉仪通过监测微震,从而达到预报海峡及其两岸大震是完全可能的。台湾海峡两岸由于长期备战,有不少山都挖空了,如能利用这些坑道,装置激光双光束干涉仪,两岸地震工作者协同研究,就可以监测海峡两岸的地壳形变。

参 考 文 献

- 1 英国地震预报有突破性进展. 中国地震报. 1989年9月21日

母、数字分别在不同的通道并行进行相关识别, 上述识别方案还可进一步缩短识别时间。

识别系统的另一个问题是识别的准确性。影响准确性的主要因素是对相关峰的判读以及确定相关峰的位置。本系统采用相关峰实时模板判别方法, 用目标图象的自相关峰模板实时捕捉相关峰并进行相似度计算, 根据计算结果作出决策, 在多目标图象产生的多相关峰的自动判别中, 具有较高的可靠性和准确性。

4 小结

以光电混合联合变换相关器为基础, 采用复合参考图象的方法对汽车牌照进行识别, 并采用相关峰实时模板判别方法, 对多相关峰进行自动判别, 得到较理想的实验结果, 证明了这种方法对汽车牌照识别的可行性。如果采用高速空间光调制器和高性能计算机和图象卡, 可望提高识别系统的速度, 达到实时识别水平。

参 考 文 献

- 1 T. Iwaki, Y. Mitsuoka. Optical pattern recognition of letters by a joint transform correlator using a ferroelectric liquid-crystal spatial light modulator. *Opt. Lett.*, 1990, **15**

(21): 1218 ~ 1220

- 2 L. Guibert, G. Keryer, A. Serval, *et al.* On-board optical joint transform correlator for real-time road sign recognition. *Opt. Eng.*, 1995, **34**(1): 135 ~ 143
- 3 Dennis A. Montera. Object tracking through adaptive correlation. *Opt. Eng.*, 1994, **33**(1): 294 ~ 301
- 4 陈希明, 葛宝臻, 张以谟. 相关峰实时模板判别方法的研究. *光电子·激光*, 1997, **8**(5): 377 ~ 382
- 5 张以谟, 秦玉文等. 四通道实时联合变换相关器. *光学学报*, 1995, **15**(6): 448 ~ 449

葛宝臻 男, 1964年10月出生. 副教授, 硕士学位导师. 1987年毕业于天津大学精密仪器系光学仪器专业, 1993年于天津大学获光学仪器专业工学博士学位. 主要从事光电信息处理技术及计算机应用的教学和科研工作.

陈希明 女, 1955年11月出生. 副教授. 1996年于天津大学光学仪器专业获工学硕士学位. 现在天津职工电子仪表工程学院计算机系任教. 主要研究方向为光电信息处理及计算机应用.

张以谟 男, 1933年2月出生. 教授, 博士生导师. 1955年毕业于天津大学机械系, 1958年毕业于该校精密仪器专业研究生班. 天津大学现代光学仪器研究所所长, 中国光学学会常务理事, 光电技术专业委员会主任. 从事光电技术和信息光学的教学和科研, 负责的光纤工业内窥镜系列获国家教委科技进步一等奖, DP-01型快速激光滴谱仪获国家教委科技进步二等奖, 参加研制的内窥镜图象显示仪获国家教委科技进步二等奖.

(上接第241页)

- 2 苏联地震研究一瞥. 中国地震报, 1989年10月21日
- 3 Frank. D. Staley 著. 中国科技大学地球物理教研室译. 地球物理学. 北京: 地震出版社, 1981
- 4 J. Berger. *Advances in geophysics*, New York: Academic Press, 1973
- 5 V. Vali, R. C. Boston. One Thousand Meter Laser Interferometer. *Review of Scientific Instrument*, 1968, **39**: 1304
- 6 J. Levi, J. L. Hall. design and Operation of a Methane

Absorption stabilized Laser Strainmeter. *J. Geop hysical Research*, 1972, **17**: 2595

- 7 兰信钲等. 激光技术. 长沙: 湖南科技出版社, 1981
- 8 蔡伯荣等. 激光器件. 长沙: 湖南科技出版社, 1981
- 9 方俊. 固体潮. 北京: 科学出版社, 1984

周海光 男, 1945年生, 1967年毕业于厦门大学物理系, 现任厦门大学物理系副教授, 教研室主任. 主要从事激光物理和非线性光学的教学和科研工作, 发表学术论文40作篇.