

文章编号: 1007- 2985(2009) 01- 0076- 03

# 全息照相技术实验方法的改进\*

王朋朋, 李小娟, 叶伏秋

(吉首大学物理科学与信息工程学院, 湖南 吉首 416000)

**摘要:** 激光全息照相实验对实验环境和实验条件要求都很高, 笔者分析了影响激光全息照相的诸因素, 并对这些因素进行了深入探讨, 指出在高楼层做全息照相实验成功率低的原因, 并提出了有效的解决方法, 对高校物理实验教学 and 实际应用有一定的指导价值。

**关键词:** 全息照相; 物光; 参考光; 激光全息照相; 干涉

**中图分类号:** O4- 33; G642. 423

**文献标识码:** B

在全息照相中, 通常所采用的是激光波长为 632. 8 nm 的氦氖激光器, 曝光过程中必须保证拍摄系统的移动不超过干涉条纹间距的 1/4, 这么高的稳定性要求, 一般环境不能满足实验要求, 以往全息照相实验台都安装在一楼, 并且在全息台下重新用钢筋水泥浇灌抗振地基, 以提高该实验的成功率。近几年来, 由于各个高校实验室规模的扩大, 不得不在高楼层开设全息照相实验来满足教学需要, 全息实验就处在大楼的自然摆动、楼内大批人员走动、周围大机械作业等多振环境中, 也就导致高楼层全息照相实验的成功率低, 这就要求从理论上找到实验失败的原因, 从而找到提高实验成功率的方法, 满足教学的需要。<sup>[1]</sup>

## 1 理论分析

为了提高实验的成功率, 在设计生产时, 就考虑到了抗震问题, 采用磁力光具座, 增加紧固螺钉、减震泡沫、不变形的钢板等措施, 使其具有一定的抗震能力。影响高楼层全息照相实验成功率的主要因素通常为全息台自身抗震能力范围内的受迫振动和超过全息台自身抗震能力范围的受迫振动。

### 1.1 在全息台抗震能力范围内的受迫振动对实验结果的影响

如图 1 所示, 该光路是目前各高校普遍采用的光路, 在受到外界干扰时, 会出现以下情况:

假设只有一支光路受到振动干扰而发生振动。为了讨论方便, 只讨论物光光路中受到 2 次振动的情况对实验结果的影响。设原物光的复振幅  $A = A_0 e^{i\phi}$ , 那么, 第 1 次受振产生微小位移物光的复振幅  $A' = A_1 e^{i(\phi + \Delta\phi_1)}$ ; 第 2 次受振产生微小位移物光的复振幅  $A = A_2 e^{i(\phi + \Delta\phi_2)}$ 。设参考光  $R = R_0 e^{i\phi}$ , 则在干板处的曝光量为

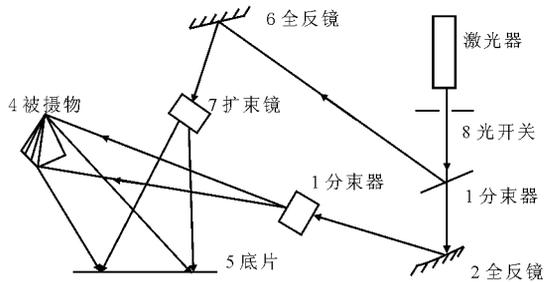


图 1 全息照相光路图

$$E = E_1 + E_2 + E_3 = |A_0 + R|^2 + |A_1 + R|^2 + |A_2 + R|^2 = |A_0 e^{i\phi} + R_0 e^{i\phi} + A_1 e^{i(\phi + \Delta\phi_1)} + R_0 e^{i\phi}|^2 + |R_0 e^{i\phi}|^2 + |A_2 e^{i(\phi + \Delta\phi_2)} + R_0 e^{i\phi}|^2,$$

化简整理得到参考光照射到全息干板上的透射光复振幅为

$$V = \alpha R_0 e^{i\phi} + \beta R_0 e^{i\phi} (A_0^2 + 3R_0^2 + A_1^2 + R_2^2) + \beta R_0^2 (A_0 e^{i(2\phi + \phi)} + A_1 e^{i(2\phi - \phi + \Delta\phi_1)} + A_2 e^{i(2\phi - \phi + \Delta\phi_2)}) + \beta R_0^2 (A_0 e^{i\phi} + A_1 e^{i(\phi + \Delta\phi_1)} + A_2 e^{i(\phi + \Delta\phi_2)}) = V_1 + V_2 + V_3 + V_4.$$

其中  $V_4$  正是再现的物光, 它在原物处再现原物的虚像, 再现的物光光强为

\* 收稿日期: 2008- 09- 11

基金项目: 吉首大学大学生研究性学习和创新性实验计划资助项目(JSU- CX- 2008- 12)

作者简介: 王朋朋 (1985- ), 男, 陕西铜川人, 吉首大学物理科学与信息工程学院学生, 主要从事物理学研究。

$$|V_4|^2 = \beta^2 R_0^4 [(A_0^2 + A_1^2 + A_2^2) + 2A_0A_1 \cos(\Delta\phi_1) + 2A_0A_2 \cos(\Delta\phi_2) + 2A_1A_2 \cos(\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2)]$$

假设在曝光过程中没有发生任何微小的振动, 即  $\Delta\phi_1 = \Delta\phi_2 = 0$ ,  $A_0 = A_1 = A_2$ , 那么再现的物光光强  $|V_4|^2 = 9\beta^2 R_0^4 A_0^2$ . 对照受振和不受振时 2 个光强即振幅的平方就可以得出结果, 受振时拍摄在干板的再现物光光强是多项叠加, 而不是简单的  $|V_4|^2$  这项, 实际情况要复杂得多, 所以这种受迫振动, 会直接降低实验的成功率. 同样, 参考光路受振情况以及整个光路同时受振动时, 也会得到同样的结果. 导致这种受迫振动的原因, 大多数是在物光路和参考光路加固元件参数调整不一致的情况下, 大楼内人员走动以及实验室周围环境有轻微震动所致.<sup>[2]</sup>

### 1.2 全息台受迫振动的强度远远超出实验台的抗震范围时对实验结果的影响

根据实验中的观察, 这种受迫振动是很强烈的, 物光路和参考光路都会强烈的振动, 从而使实验拍摄工作无法进行, 所以也就不存在成功的问题, 理论推导省略. 从实验统计资料中看到, 这种振动是由于实验台受到某种外来力的冲击或实验台所处的建筑物受到强烈冲击所致, 振动一般都不是连续的, 这种振动叫做突发性振动, 它对实验结果具有破坏性.

### 1.3 周围墙壁的漫反射对干涉、衍射的影响

现在全息实验室在建造时没有考虑周围墙壁的光吸收, 以至于周围环境漫反射产生的光也部分成像在全息干板上, 这样也影响成像质量, 从而造成成像的分辨率不高.

## 2 实验方法的改进措施

### 2.1 减小激光光源受空气振动的影响

由于高校实验室的激光器比较昂贵, 为节省资源, 可利用内部为橡皮材质的楔形槽作为激光器底座, 如图 2 所示, 激光底座内壁的橡皮对激光器也起到了固定和减振的作用, 即使周围空气有所振动, 也不会对激光光源产生影响. 在实验时只需将激光器放置在激光底座上, 从而使资源多方面利用.

### 2.2 消除经扩束镜扩大后的物光与参考光受空气振动的影响

从以下 3 个方面制定相应措施: (1) 实验人员的走动等使空气产生以水平方向为主的振动; (2) 现在大多数实验室在建造时都是以反光度很高的磁砖作为实验室的墙壁, 在实验时, 不可能在完全黑暗的环境中进行实验操作, 加上大部分激光器都会有少量的光从旁侧溢出, 这样就会使得周围墙壁与物体产生漫反射, 这样使全息干板这样灵敏的感光元件很容易曝光, 从而影响成像清晰度; (3) 全息干板产生条纹最关键的部分也是在物光与参考光经扩束镜扩大后形成的相干光, 易受空气振动的影响, 从而大大降低实验的成功率. 鉴于这 3 个方面因素, 笔者设计了无盖的曝光箱, 如图 3 所示, 箱内壁涂有对光有很好的吸收作用的材料(以黑色为主), 使经扩束镜扩大后的物光与参考光以及全息干板的成像在箱的底部进行, 这样可以使箱外水平方向的空气振动只影响箱的上部空气的振动, 而对箱子底部的影响可以忽略不计, 从而在干板上成像的物光光束与参考光光束不受空气振动的影响, 且因箱内壁涂有对光有很好的吸收作用的材料, 所以箱内壁漫反射的光也可以消除, 并隔绝了外界物体和墙壁产生的漫反射的光, 从而消除了空气振动和外界漫反射对干板干涉条纹的清晰度的影响.

### 2.3 排除高层楼房和实验台振动的影响

考虑实验台的振动以及高层楼房振动的因素, 笔者设计出有三角支架的底座, 如图 4 所示, 将整个全息照相装置固定在支架上, 如图 5 所示, 利用三角支架的稳定性减少振动, 即使实验台振动较大使支架产生受迫振动, 由于三角支架是通过一个支撑柱与整个照相装置相连, 振动时物光与参考光相对静止, 也不会影响干板上的干涉条纹.



图 2 楔型激光底座



图 3 无盖的曝光箱



图 4 三角支架底座



图 5 装置透视

该装置的优点体现在以下几个方面:

(1) 从实验室考虑, 实验者的走动会使空气在水平方向产生较大的震动, 由于装置中有一个上端无盖的箱子, 而且整个实验在箱子底部进行, 这样空气振动只在水平方向的上面有影响, 对于箱子底部空气震动强度几乎为零, 从而可排除空气震动对干板成像的影响.

(2) 从激光传导过程中考虑, 空气震动及周围环境所产生的漫反射, 对激光传导过程中所产生的光程差的影响, 由于有专门传输激光的封闭管道, 可排除空气震动和漫反射的影响.

(3) 从高层楼房的实验台的振动考虑, 由于有三角支架底座的作用, 它和整个全息照相装置构成一个整体, 震动时, 整体都在震动, 物光与参考光相对静止, 排除了实验台对实验效果的影响. 由于每个实验采用的都是一个厂家生产的光具及光

具座,各种参数都非常一致,所以把这种受迫振动也可以看作是共振,若发现 2 次振动,则设原物光的复振幅  $A = A_0 e^{i\phi}$ , 参考光的复振幅为  $R = R_0 e^{i\psi}$ , 则第 1 次受振物光复振幅  $A' = A_1 e^{i(\phi + \Delta\zeta_1)}$ , 参考光复振幅  $R' = R_1 e^{i(\psi + \Delta\zeta_1)}$ ; 第 2 次受振物光复振幅  $A'' = A_2 e^{i(\phi + \Delta\zeta_2)}$ , 参考光复振幅  $R'' = R_2 e^{i(\psi + \Delta\zeta_2)}$ . 其中  $\Delta\zeta_1, \Delta\zeta_2$  是 2 次振动使光具同步移动而产生的位相, 因此  $\Delta\zeta_1 = \Delta\zeta_2$  则经推导可知

$$V = \alpha R_0 e^{i\psi} + \beta R_0 e^{i\psi} (A_0^2 + R_0^2 + A_1^2 + R_1^2 + A_2^2 + R_2^2) + \beta R_0 (R_0 A_0 + R_1 A_1 + R_2 A_2) e^{i(2\psi - \phi)} + \beta R_0 (R_0 A_0 + R_1 A_1 + R_2 A_2) e^{i\phi} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4,$$

其中  $V_4$  项同样与物光光波类似, 含有物光光波, 所以这种振动不会对实验结果产生影响<sup>[3]</sup>.

### 3 结语

上述几种异常现象通过实验装置的改进是完全可以排除的, 选用具有良好的相干性和稳定性的激光器作为光源, 同时还要使物光和参考光的光程差尽量相等, 两束光的光强比要适当, 曝光时全息照相系统要稳定. 可见该装置满足了全息照相实验各方面的条件, 从而可以得到清晰的再现像. 通过对异常现象产生原因的分析 and 实验装置的改进有助于加深理解全息照相的原理, 使全息照相实验的成功率大大提高.

#### 参考文献:

- [1] 张潞英, 谢嘉宁, 伍贤栋, 赵慧民. 对激光全息照相实验的研究 [J]. 中山大学学报论丛, 2006, 36(5): 89- 92.
- [2] 姚启钧. 光学教程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 16- 17, 75- 76.
- [3] 陈炳文. 全息照相实验的抗振研究 [J]. 重庆职业技术学院学报, 2007, 16(3): 148- 151.

## Improvement of Experimental Methods for Holography Technology

WANG Peng-peng, LI Xiao-juan, YE Fu-qiu

(College of Physics Science and Information Engineering, Jishou University, 416000 Hunan China)

**Abstract:** Experiment of laser holography has high requirements for environment and conditions. After analysing and exploring the factors which influence laser holography, the author points out the reasons for the low success rate of carrying out the holography experiments on high floors and puts forward solutions accordingly. This study is of value for physics experiment teaching in universities and for practical application.

**Key words:** holography; object light; reference light; laser holography; interference (责任编辑 陈炳权)

(上接第 75 页)

## Improvement of the Experimentation of Measuring Surface Tension Coefficient of Liquid Based on $\Pi$ Type Tinsel

WU Li-hua

(College of Physics Science and Information Engineering, Jishou University, Jishou 416000, Hunan China)

**Abstract:** The experimentation of measuring surface tension coefficient of liquid usually makes use of metal ring. But, as it is difficult to adjust the level of ferrule and the ferrule side can not contact with liquid, great experimental errors may result in while, with  $\Pi$  type tinsel, the accuracy can be improved.

**Key words:** surface tension coefficient of liquid;  $\Pi$  type tinsel; metal ring; film of liquid; error (责任编辑 陈炳权)