

微小振动对全息照相的影响及改进方法

王 玉 赵建光

全息照相(或称为全息术, holography)是记录波动干涉的振幅和位相分布以及随后使之重现的照相技术。“全息”源于希腊语“holos”,意思是完全的信息,不仅包括光的振幅信息,还包括位相信息。全息术的设想是英国籍匈牙利物理学家伽柏(D. Gabor)于1948年在为提高电子显微镜分辨本领的工作中提出的。1948年,他利用汞灯首次获得全息图及其再现像,从而创立了全息术,于1971年为此获得诺贝尔物理学奖。

全息术已历经多次变革。第一代全息术是伽柏用汞灯记录的同轴全息图(参考光与物光同轴),主要问题是原始像和共轭像分不开,且光源的相干太差,这是全息术的萌芽时期。激光出现后,美国科学家利思等人在1962年对伽柏全息术进行了改进,提出离轴全息术,产生了激光记录、激光再现的第二代全息图,为全息术的进一步发展奠定了基础。第三代全息图是激光记录、白光再现的全息图,主要有反射全息、像全息、彩虹全息及模压全息等。第四代全息图可能是白光记录和白光再现。

由于全息照相能够把物体表面发出的光波的全部信息(即光波的振幅和位相)记录下来,并能完全再现被摄物光波的全部信息,因此在精密计量、无损检验、信息存贮和处理、遥感技术和生物医学等方面有着广泛应用。全息术不仅适用于可见光波段,而且也适用于其他波动过程,如红外、微波、X光以及声波、超声波等波段,故有相应的微波全息、X光全息、超声全息等,使全息技术发展成为科学技术上的一个新领域。

一、全息照相原理

普通照相只记录物体各点的光强信息(反映在振幅上),而没有位相信息,得到的是二维平面图像,毫无立体感。全息照相则利用相干光叠加而发生干涉的原理,借助参考光波与原物光波的相互作用,在记录介质上记录下两种光波的干涉条纹,这种干涉条纹同时保存了物光波(从物体反射的光波)的振幅信息和位相信息。

图1记录的干涉条纹全息照片可以看作是一个复杂的衍射光栅,当用与原参考光波相同的光再照

射该光栅时,其衍射波就能重现原来的物光波,在照片后原被照物的位置,可以观察到其三维图像(图2)。全息照相无论是拍摄方法、观察方法,还是基本原理,都与普通照相截然不同。全息照相分为两步——全息记录和全息再现。



图1 全息记录的干涉条纹



图2 再现的三维立体象(原物为唐三彩马)

全息记录 全息照相需要在全息实验台上进行。全息台面一般是一块重达几十千克到几百千克的厚钢板,平放在一个坚实的水泥台或桌架上。由于全息照相记录的是很细密的干涉条纹,因此照相过程中的任何微小震动与干扰都会导致干涉条纹模糊,甚至记录失败。为了保持全息台的最大稳定性,钢板与其支撑物间有各种弹性材料或减震装置组成的隔震系统,而且实验中使用的所有光学元件也都用磁性材料或其他方法牢固地固定在全息台上。光具架下面有一块方形磁铁,把支架牢牢吸附在台面上。

一个很好的相干光源更是全息记录的必要条件,一般采用大功率激光发生器。通常的照相方法是,将激光器输出的光束分为两束,一束投射到感光板上称为参考光束;另一束投射到物体上,经物体反

射或透射后,产生的物光束也照射到感光板上,两光束相干叠加,在感光板上形成干涉条纹,就形成一张全息图,即干涉花样图。用肉眼直接观察全息底片,看到的是灰蒙蒙一片,不能直接显示被照物体的任何影像。但是,全息图已经通过干涉的方法记录了物体上各点的全部光信息,包括振幅和相位,这就是全息记录。

全息再现 用一与参考光束的波长和传播方向完全相同的光束照射全息图,就可以观察到一幅非常逼真的原物立体图像。从不同角度观察,就像观察原物一样可看到它不同侧面的形象。更有趣的是,如果挡住全息图的一部分,通过露出部分再现的物体形象仍然是完整的;甚至拿来摔碎的全息底片中的一小片,仍然可使整个原物再现。

全息照相以干涉、衍射等波动光学规律为基础。全息图中每一局部都包含了物体各点的光信息,所以全息底片的每一部分都能观察到一幅非常逼真的立体图像。此外,全息照相的记录和再现,都要求有很高相干性的强光光源,目前广为采用的是激光。全息照相的应用范围很广,但目前还处于实验阶段,如全息电影和全息电视,可使影视全面立体化。全息显微技术、全息干涉技术、全息存储技术,以及红外微波和超声的全息照相技术等,都将在国民经济的许多领域占有重要地位,并取得突破性进展。

二、微小振动对全息照相的影响分析

在进行全息照相时,操作人员在调好光路后,通常会吧各光学元件与防震台固定在一起。但激光器体积较大,一般不采取固定措施。另外,由于经常调换被摄物体、选择不同拍摄角度,因此载物平台上的被摄物体通常也不与载物平台固定在一起。由于激光器和被摄物体不采取固定措施,所以其微小振动会引起物光的位相变化。但进一步的分析表明,在激光器不固定时,一般的微小振动不会对全息照相的质量产生明显影响,而被摄物体不固定时,其微小振动才会明显影响全息照相的质量。下面分两种情况来分析微小振动对全息照相的影响。

首先假定激光器已采取固定措施,而被摄物体与载物平台没有固定在一起。

在记录光波复振幅的过程中,被摄物体散射的单色光波在全息干板上的复振幅为 $O = O_0 e^{i\varphi}$,参考光在全息干板上的复振幅为 $R = R_0 e^{i\phi}$ 。如果曝光记录过程中出现的微小振动使载物平台上的物体

发生微小位移,这时全息干板上物光的复振幅为 $O' = O_1 e^{i(\varphi + \Delta\varphi_1)}$ 。由于参考光路中各光学元件均与防震台固定在一起,其微小振动不会引起各光学元件的位置变化,因此参考光在全息干板上的复振幅仍为 $R = R_0 e^{i\phi}$ 。如果拍摄过程中的微小振动使被摄物体再次发生微小位移,这时散射在全息干板上的物光复振幅为 $O'' = O_2 e^{i(\varphi + \Delta\varphi_2)}$,而参考光仍为 $R = R_0 e^{i\phi}$ 。 $\Delta\varphi_1$ 和 $\Delta\varphi_2$ 是物体发生微小位移后的物光复振幅相对于原物光复振幅位相的变化量。

由此可见,微小振动引起的物光复振幅位相的变化对再现的被摄物体虚像产生干扰,导致虚像模糊。如果曝光过程中不断出现微小振动,那么在再现时就根本看不清虚像。另外,当微小振动引起的物光复振幅位相变化达 180° 时,物体仅发生 $1/2$ 波长(即 $0.3\mu\text{m}$) 的微小位移,这是实验者根本无法察觉的,但全息照相的质量却已受到极其严重的影响。

下面再分析另一种情况,即被摄物体与载物平台固定在一起,而对激光器不采取固定措施。

曝光过程中出现的微小振动,使激光器发生微小位移,将导致物光和参考光的复振幅位相都发生变化,并且其位相变化量相同。最初,物体散射光波在全息干板上的复振幅为 $O = O_0 e^{i\varphi}$,参考光在全息干板上的复振幅为 $R = R_0 e^{i\phi}$ 。曝光过程中出现的微小振动使激光器发生微小位移,这时全息干板上的物光复振幅为 $O' = O_1 e^{i(\varphi + \Delta\zeta_1)}$,参考光在全息干板上的复振幅为 $R' = R_1 e^{i(\phi + \Delta\zeta_1)}$,如果曝光过程中再次出现微小振动,则全息干板上的物光复振幅为 $O'' = O_2 e^{i(\varphi + \Delta\zeta_2)}$,参考光复振幅为 $R'' = R_2 e^{i(\phi + \Delta\zeta_2)}$ 。 $\Delta\zeta_1$ 和 $\Delta\zeta_2$ 为激光器发生微小位移而产生的物光复振幅和参考光复振幅的位相相对于原物光和参考光复振幅位相的变化量。

由此可知,如果不固定激光器,尽管微小振动也会使物光复振幅产生位相变化,但不会明显影响全息照相的质量。原因是激光器位置的微小位移使物光和参考光复振幅产生了相同的位相变化。这种复振幅位相发生相同变化的物光和参考光,在全息干板上叠加曝光后可消除因微小振动所产生的位相变化。因此,克服不易察觉的微小振动对全息照相影响的关键是将被摄物体与载物平台固定在一起。固定被摄物体是克服微小振动的最好措施,能够有效提高拍摄全息照相的成功率。

三、微小振动的监测和改进方法

以上分析了微小振动对全息照相的影响,总结出对被摄物体采取固定措施的有效方法。我们还可以针对微小振动,利用迈克尔逊干涉光路监测干涉条纹在环境振动和干扰下的漂移和抖动,避开干扰,找到最佳拍摄时机,进一步改善全息照相的质量。

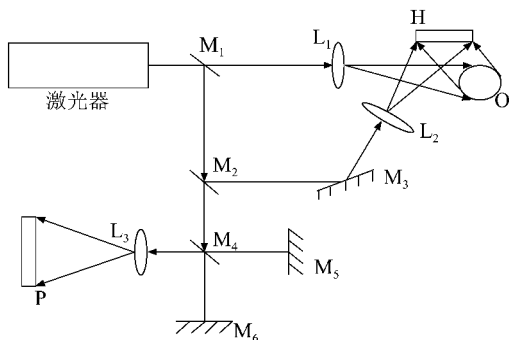


图3 全息监测光路

图3是在原有全息照相光路上扩展的一个迈克尔逊干涉监测光路。 M_3 、 M_5 、 M_6 是全反射镜, M_1 、 M_2 、 M_4 是分束镜, L_1 、 L_2 、 L_3 是扩束镜, H 是全息干涉板, P 是监视屏, O 是被摄物体。把干涉条纹用透镜成像于监视屏上(图4),条纹的抖动和漂移情况基本上可以反映全息底板上条纹的变化情况,能够从中选择最佳曝光时机。

从监视屏上可观察到环境扰动对干涉条纹的影响,其形式可概括为三种:①微小振幅随机振动;②低速漂移,一般每秒0.002~1条——在条纹稳定位置附近往返漂移、朝一个方向漂移不回复;③突发性干扰,一般持续时间为1秒到几十秒。

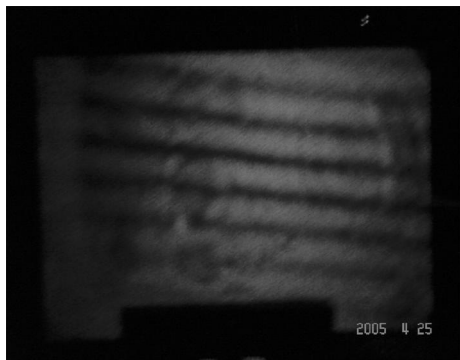


图4 监视屏上的干涉条纹

对第一种微小振幅随机振动而言,由于全息照相曝光时间比微小振幅随机振动的振动“周期”长得多,所以其对拍摄全息图影响不大,可以正常曝光。

对低速漂移,如条纹在稳定位置附近往返运动,只要条纹仍回到原来1/4条纹范围内,则可以选

择曝光提供机会。但朝一个方向漂移而不回复的情况则不适于选择曝光,但在漂移速度相当缓慢时(即在曝光时间内,条纹漂移少于1/4条)仍可得到满意的全息图。

突发性干扰会严重破坏拍摄,如果条纹突然跃变或干扰时间较长,将导致实验失败。但出现这种情况的概率并不高,这种干扰的持续时间大约在几十秒内。对此可采用分段曝光法处理,遇干扰中断曝光,累计时间达到曝光要求即可。

通过微小振动对全息照相影响的理论分析及实验观测,总结出改进微小振动对全息照相影响的措施有:将被摄物体与载物平台固定在一起,利用迈克尔逊干涉等方法监测环境振动,尽量避开干扰,寻找时机,分段曝光、累计光量,从而提高全息照相质量。

(邢台市河北机电职业技术学院 054048)

科苑快讯

X光照片揭示植物

吸收砷元素的机理

某些植物,如蜈蚣草(*Pteris vittata*),能够吸收有毒物质并将其储存在自己体内,这种性质使它们对于清除污染物有着特殊作用。最近的一些X光照片揭示了这种特殊的蕨类植物是如何吸收砷元素的。

这些照片显示,蜈蚣草将砷酸盐(AsO_4^{3-}),甚至毒性更大的亚砷酸盐($H_2AsO_3^-$)输送到叶片,而不是以前认为的根部。它还将亚砷酸盐送入细胞中的液泡内畅饮,这可能是其抗衡亚砷酸盐毒性的应对机制。摄取这些照片的研究者说,照片是采用斯坦福直线加速器中心的同步辐射技术摄取的,这项技术是迄今为止对于显示这种蕨类在何处及以何种形式储存砷元素最为精确的。

这个研究小组通过以不同能量水平的显微X射线束照射蜈蚣草,查看了活体植物和单细胞厚度的配偶体。

加利福尼亚大学伯克利分校的植物分子生物学家鲍勃·布坎南(Bob Buchanan)说,这项研究有助于从基础科学的层面理解植物吸收砷元素的机理,从而利用植物治理被砷酸盐污染的地区。破解这种特殊蕨类的行为机制,也有益于修改植物的遗传信息以实现清除污染物的目的。

(高凌云编译自 *Environmental Science and Technology*, 2006年第16期)