

衰减振动全息减法照相

陈兴民

(北京航空材料研究所)

提要: 本文对衰减振动全息减法干涉条纹进行了分析。结果表明, 全息减法的节线位置容易确定。此外, 文中还提出用两张减法全息照片来测定衰减系数。

Holographic subtraction of damped oscillations

Chen Xinming

(The Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

Abstract: The intensity distribution arisen from holographic subtraction of damped oscillations is analysed. The result proves that the position of node is easily determinable within holographic subtraction of damped oscillations. Furthermore; it was suggested that two holograms of holographic subtraction can be used for measuring the damping factor.

衰减振动时间平均条纹

考虑物体每点都作共同的衰减振动运动, 物体上任一点的振动表示成

$$A(t) = m_0 e^{-\beta t} \sin \omega t \quad (1)$$

式中取位相 $\varphi=0$; 角频率 ω ; 衰减系数为 β 。全息照相取曝光时间 T 内一个振动周期的整数倍。 m_0 为曝光开始即 $t=0$ 时的振幅。若在曝光期间内有足够大的振动周期及全息图尺寸与它对物体的距离相比为足够小时, 在曝光期间内衰减振动时间平均再现像的合成振幅可以写成曝光开始到结束时的积分形式:

$$a(x, y) = a_0(x, y) \times \int_0^T J_0 \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) m_0(x, y) e^{-\beta t} \right] dt \quad (2)$$

式中 $a_0(x, y)$ 为物体静态像合成振幅; J_0 为零阶贝塞尔函数; T 为曝光时间; λ 为光波长; θ_1 和 θ_2 分别为入射和漫反射角。计算高阶贝塞尔函数非常小, 在 (2) 式中已被忽略。若 $\beta=0$ 时, 为谐振动情况

$$a(x, y) = a_0(x, y) \cdot J_0 \times \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) m(x, y) \right] \quad (3)$$

这时 m 为谐振动振幅。

从 (2) 式得到衰减振动时间平均干涉图的相对强度为

$$\frac{I(x, y)}{I_0(x, y)} = \left\{ \int_0^T J_0 \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) \times m_0(x, y) e^{-\beta t} \right] dt \right\}^2 \quad (4)$$

用电子计算机对 (4) 进行计算并归一化。以 $\theta_1 = \theta_2 = 30^\circ$ 、 $\beta = 0.12$ 为例计算不同曝光时

收稿日期: 1983年3月24日。

间情况下的归一化相对强度—初振幅关系示于图1。图1说明条纹对比度随条纹级数的增加而降低。同级条纹的对比度随曝光时间的

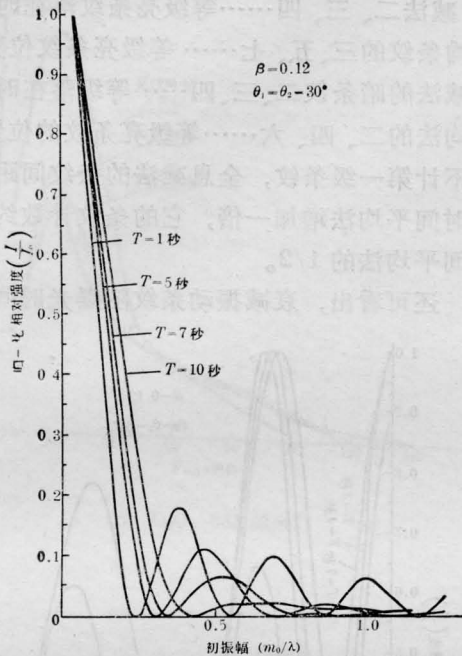


图1 不同曝光时间的归一化相对强度—初振幅关系

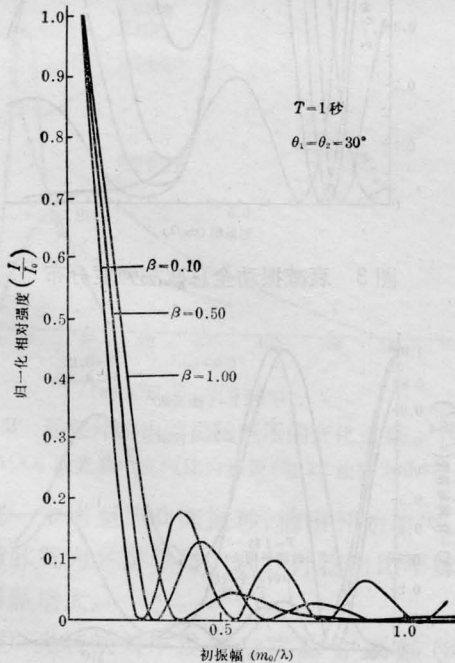


图2 不同衰减系数的归一化相对强度—初振幅曲线

增长而明显下降。若人的眼睛可观察到的对比度为0.02,在此情况下曝光7秒只能看见一根条纹,曝光1秒可看到更多级条纹。由此可知,衰减振动时间平均条纹的对比度和可观察数目将受到曝光时间的限制。从图1还看到,条纹间距随曝光时间增长而加大。随着曝光时间增长,同级条纹向大振幅方向移动。

此外,曝光时间相同时,同级条纹的对比度随衰减系数的增大而降低。曝光为1秒时,不同衰减系数的光强分布示于图2。从图2看到,各级条纹也随衰减系数增大而向大振幅方向移动,且条纹间距也随衰减系数的增大而加宽。

选一些由(4)式计算的不同条件下的条纹间距,若不计零级亮条纹,从一级暗条纹算起,依顺序按暗→亮、亮→暗、暗→亮、亮→暗……排列,并以顺序给予1、2、3、4、……序号列于表1。

表1 不同条件下的条纹间距(m_0/λ)

条件因素	间距序号					
	1	2	3	4	5	6
$\beta=0.12, \theta_1=\theta_2=30^\circ$ $T=1$ 秒	0.14	0.16	0.15	0.16	0.15	0.16
$\beta=0.12, \theta_1=\theta_2=30^\circ$ $T=4$ 秒	0.16	0.21	0.16	0.21	0.16	—
$\beta=0.12, \theta_1=\theta_2=60^\circ$ $T=1$ 秒	0.25	0.28	0.25	0.28	0.25	0.28
$\beta=0.3, \theta_1=\theta_2=30^\circ$ $T=1$ 秒	0.15	0.17	0.16	0.18	0.16	0.18
$\beta=0.7, \theta_1=\theta_2=60^\circ$ $T=1$ 秒	0.28	0.44	0.28	—	—	—

人们知道,谐振动时间平均条纹为等距分布。从表1可以看出,衰减振动的时间平均条纹间距为相等等距分布。并且亮→暗条纹间距大于暗→亮条纹间距。

显然,衰减振动时间平均条纹和谐振动相比已经复杂化了。

总的来看,衰减振动时间平均全息干涉在衰减系数比较小和使用短时间曝光时才能得到质量比较好的全息再现像。

衰减振动全息减法条纹

在谐振动的时问平均法里, M. R. Wall 曾提出过在时问平均曝光的基础上增加一次静态曝光能看更高级的条纹^[2]。再有, 是人们比较熟悉的实时时问平均法。但是在实际使用的光强表达式中有的用加法, 有的用减法。

P. Hariharan 用减法来表示时问平均-静态二次曝光^[2]。经过 C. S. Vikram 和 G. S. Bhatnagar^[3] 的理论分析, 认为全息减法可看到 100 个条纹级数, 相当于看到时问平均法大约 200 个条纹级数。现在用减法来处理衰减振动的问题。由(2)式, 减法二次曝光的合成振幅为

$$\begin{aligned} a'(x, y) &= a_0(x, y) - a(x, y) \\ &= a_0(x, y) \left\{ 1 - \int_0^T J_0 \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\cos \theta_1 \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \cos \theta_2) m_0(x, y) e^{-\beta t} \right] dt \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

则再现像的强度为

$$\begin{aligned} I'(x, y) &= I_0(x, y) \\ &\times \left\{ 1 - \int_0^T J_0 \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \times m_0(x, y) e^{-\beta t} \right] dt \right\}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

相对强度的级数形式为

$$\begin{aligned} \frac{I'(x, y)}{I_0(x, y)} &= \left\{ 1 - T + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k!} \right. \\ &\times \left[\frac{2\pi}{\lambda} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) m_0(x, y) \right]^{2k} \\ &\times \left. \frac{(1 - e^{-2k\beta T})}{2k\beta} \right\}^2 \end{aligned} \quad (7)$$

同样, 用电子计算机对(7)式进行计算并归一化。

如在 $\beta=0.12$ 、 $\theta_1=\theta_2=30^\circ$ 时, 计算的减法条纹强度分布以及与时问平均条纹强度分布的对照示于图 3、4。

从它们的对照强度分布明显看出, 衰减

振动全息减法的对比度要比时问平均法好得多。减法的第二级暗条纹越过了时问平均暗条纹而落在它的第二级亮条纹位置。以此类推, 减法二、三、四……等级亮条纹落在时问平均条纹的三、五、七……等级亮条纹位置; 而减法的暗条纹二、三、四……等级落在时问平均法的二、四、六……等级亮条纹的位置。若不计第一级条纹, 全息减法的条纹间距要比时问平均法增加一倍, 它的条纹计数约为时问平均法的 1/2。

还可看出, 衰减振动条纹随曝光时问增

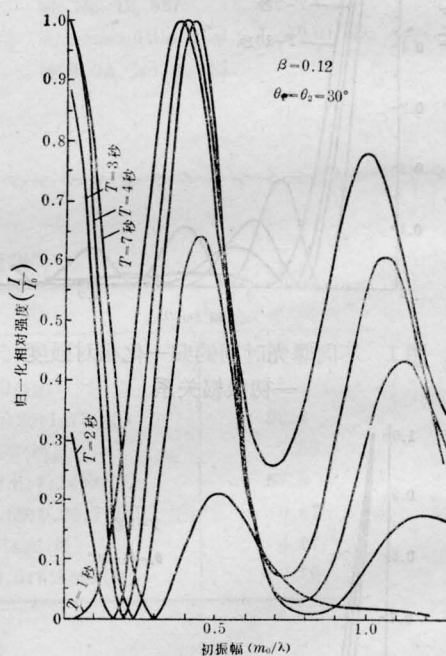


图 3 衰减振动全息减法强度分布

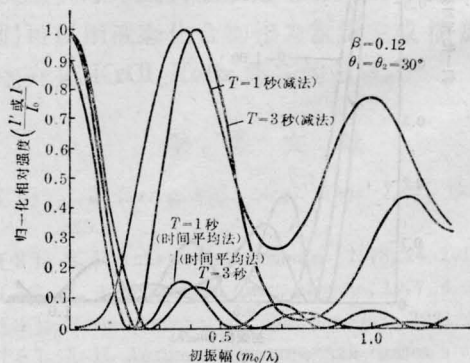


图 4 衰减振动时问平均与减法强度对照

长而向大振幅方向移动。

图3表明, 衰减振动减法再现像节线位置强度随曝光时间增长由暗逐渐变得最亮。在节线位置强度未达到最大值之前, 第一级亮条纹最亮; 当节线位置的强度达到最大值以后, 第一级亮条纹的强度逐渐降低。同时, 在它们两者之间存在着节线位置强度与第一级亮条纹强度很接近的曝光时间。

由此可知, 只要知道曝光时间, 衰减振动减法条纹的节线位置很容易确定, 这是很可贵的。

虽然减法条纹的对比度比时间平均法已大大提高, 但仍随曝光时间的增长而降低, 因而使用长时间曝光所扩大的量程仍然有限。从图3明显地可估计到, 它的量程将随曝光时间的缩短而增大。

图5是万里牌耳塞机膜片, 在1300赫下摄制的谐振动和1秒曝光时间的衰减振动减法对比照片。从这个对照, 我们可以看到1秒曝光时衰减振动减法节线位置的条纹为暗条纹, 与图3强度分布相一致。膜片衰减较快, 用更长时间曝光不容易得到较好质量的干涉图。

橡胶件振动衰减较慢。图6是在50赫激振后在衰减过程中3.5~4秒曝光记录的橡胶油封减法照片。图6照片为明显的弯曲



(a) 谐振动照片 (b) 1秒曝光减法照片

图5 万里牌耳塞膜片在1300赫下的全息干涉照片



图6 橡胶油封3.5~4秒曝光减法照片

振动模, 可以看到它的强度变化与图3强度分布相符, 节线位置也比较容易确定。

通过上述分析和试验说明, 连续波激光作衰减振动全息干涉试验比较适合于衰减系数较小的那些材料和结构。

衰减系数的测定

若把由衰减系数引起的减法二级暗条纹的移动绘成曲线于图7。当考虑利用条纹的移动来测定衰减系数时, 条纹移动量的多少将影响测量精度。由于全息照相的体效应, 光学几何布置要对条纹移动产生影响。用小角度光学几何布置, 条纹移动量少, 测量精度粗; 相反, 大角度布置对提高测量精度有利。利用图7曲线, 当 β 值达到一定程度, 曲线产生变形, 未变形的初始部份可表示成

$$m_{(\beta)} = m_{(0)} + k\beta \quad (8)$$

式中 $m_{(\beta)}$ 为与衰减系数相关的减法二级暗条纹所在位置的振幅; $m_{(0)}$ 为谐振动减法二级暗条纹的振幅, 是已知值; k 为系数, 在图7中曲线 $k=0.6$ 。

考虑曝光时间因素之后, 衰减系数为

$$\beta = \frac{1}{kT} (m_{(\beta)} - m_{(0)}) \quad (9)$$

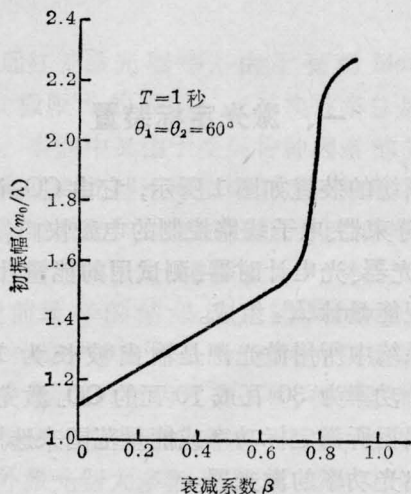


图7 衰减系数引起的二级暗条纹移动曲线

(下转第425页)

胶偏振全息术的物理机制。由于紫外光照的作用,在氯化银乳胶中产生光电子。这些光电子被原来存在于氯化银晶体中的缺陷所俘获,就形成胶态形中心(即K心)。K心带负电,能俘获带正电的填隙银离子。接连产生光电子和俘获填隙银离子的结果,使得K心包含的银粒长大,从而使得银-氯化银体系在长波一侧展宽一个附加的吸收带。因此,紫外预辐射过的氯化银乳胶,一方面对红光敏感且具有极高的分辨率,可用氩-氟激光记录全息图;另一方面由于K心的属性,可用偏振红光诱导各向异性。当用偏振的氩-氟激光照射时,K心被激发到激发态,激发态的K心容易被偏振光场所取向,从而使椭球银粒的长轴方向排列成光轴的方向,这样就诱导了各向异性。如果物光和参考光都是线偏振的,它们在氯化银乳胶上合成线偏振光或椭圆偏振光,就能在干涉条纹的亮纹结构中诱导各向异性。当所记录的具有各向异性的全息图对观察波长只有二向色性而没有双折射

时,该全息图就可能再现物波的偏振态。

参 考 文 献

- [1] J. H. Schulman, W. D. Compton; *Color Centers in Solids* (Pergamon Press, Inc., New York, 1962), 270~272.
- [2] С. В. Чердынцев; *ЖФХ*, 1941, № 3~4, 419~429
- [3] J. M. C. Jonathan, M. May; *Opt. Commun.*, 1979, **29**, No. 1, 7~12.
- [4] 于美文, 哈流柱; 《北京工业学院学报》, 1981, No. 1, 37~45.
- [5] Ш. Д. Какичавили; *Опт. и спектр.*, 1972, **33**, № 2, 324~326.
- [6] P. S. Theocaris, E. E. Gdoutos; *Matrix Theory of Photoelasticity* (Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1979), 214.
- [7] G. R. 福尔斯基, 陈时胜等译; 《现代光学导论》, 上海科学技术出版社, 1980, 37.
- [8] A. E. Cameron, A. M. Taylor; *JOSA*, 1934, **24**, No. 12, 316~330.
- [9] I. Schneider *et al.*, *Appl. Opt.*, 1970, **9**, No. 5, 1163~1166.
- [10] A. A. Anikin *et al.*; *J. Optics (Paris)*, 1981, **12**, No. 2, 115~121.

(上接第429页)

(9)式表示用条纹移动的差来测定衰减系数。这时需要一张谐振动的减法全息照片来确定 $m_{(s)}$ 。于是,使用一张衰减振动和另一张谐振动减法照片可确定衰减系数。其可观测范围估计约在0~0.7之内。

J. Janta 和 M. Miler 曾提出过用时间平均条纹来定衰减系数^[4]。他们提出两种方法。一种是用一张谐振动和另一张衰减振动时间平均全息照片的对比来定衰减系数。另一种方法是用两张不同衰减时间的时间平均全息照片来定衰减系数。前一种方法只需要对一个曝光时间进行准确控制;而后一种方法要对两个不同曝光时间进行准确控制。由于时间平均条纹严重受到对比度限制, C. S. Vikram 提出用两张不同衰减时间与同等的谐振动双曝光照片来定衰减系数^[5]。这种方

法为cos调制,有好的条纹对比度,也要对两个不同曝光时间进行准确控制。若能实现谐振动情况下使用两张减法照片来定衰减系数,只要求对一个曝光时间进行准确控制,这有助于在试验技术和所需要的设备条件方面更容易实现。

在此工作中,电子计算机程序编制和计算得到本所韩希鹏同志及计算机组的大力帮助,特此致谢。

参 考 文 献

- [1] M. R. Wall; *Opt. and Laser Technology*, 1969, **1**, 266.
- [2] P. Hariharan; *Appl. Opt.*, 1973, **12**, No. 1, 143.
- [3] C. S. Vikram, G. S. Bhatnagar; *Appl. Opt.*, 1973, **12**, No. 10, 2239.
- [4] J. Janta, M. Miler; *Optik*, 1972, **36**, 185.
- [5] C. S. Vikram; *Optik*, 1975, **39**, 361.