

## 光栅多重像三维全息图

## Three Dimensional Photograph of Grating Multiple Picture

肖光文 戴薇

Xiao Guangwen Dai Wei

(吉首大学物理与电子工程系 湖南吉首 416000)

(Dept. of Physics &amp; Electronics Engineering, Jishou Univ., Jishou, Hunan, 416000, China)

摘要 应用光栅,采用新的光路调节方法拍摄多重像三维全息图片,全息图片上同时再现出一个物体的多重像。文中对此现象作了理论分析,得出的结论与实验结果相一致。

关键词 全息图 光栅 多重像

中图分类号 O 438.1

**Abstract** Three dimensional photographs of multiple picture which reappear the multiple picture of an object at the same time are taken by using grating. The results of theoretical analysis agree with that of experiments.

**Key words** hologram, grating, multiple picture

在拍摄三维全息图片的光路中分别加上一维光栅和正交光栅,拍出的全息图片可以同时再现 3个和 9个像,大大增加了三维全息图片的艺术效果。在拍摄光路的调节中采用了一种离轴全息图拍摄光路的新方法,提高了实验中光路调节的效率。

## 1 原理光路及光路的调节

实验中的光路如图(1)所示,分束器  $BS$ 和干板  $H$ 放在椭圆的两个焦点  $a$   $b$ 上,物体  $O$ 和反射镜  $M$ 放在椭圆的轨道上, $G$ 为光栅,放在  $O$ 和  $H$ 之间。由激光器发出的激光通过分束器  $BS$ 后分成两束,一束作为照明物光照明波,通过  $L_1$ 扩束后照射物体再通过光栅衍射后到干板  $H$ ;另一束作为参考光,由  $M$ 反射后通过  $L_2$ 扩束后直接照射干板  $H$ 。物光和参考光相遇发生干涉。这样不论  $M$ 和物体  $O$ 在轨道上的任何位置,由椭圆的性质可知,物光程和参考光程总是相等的。因此,调节实验光路,只要使物体沿椭圆轨道移动,而不必反复测量光程。调节时, $L_1$ 到物体的距离以扩束后的光斑稍大于物体为好,使  $L_2$ 扩束后的光斑照射到整个干板。尽量使光栅正对物体。由于一维光栅和正交光栅常数不同,所以光栅到物体的距离不一样,实验用眼观察使通过光栅衍射所看到的物体的像能够相互分开,不产生重叠,调节时使物体仍在椭

圆轨道上,同时转动光栅正对着物体,并注意使照明物光和参考光的夹角尽量小。

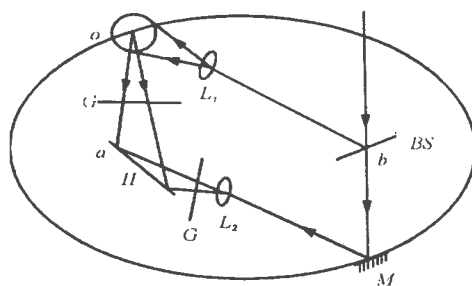


图 1 光路图

Fig. 1 Light route

## 2 理论分析

1) 物体发出的光波通过光栅  $G$ 衍射后与参考光在干板  $H$ 前相遇发生干涉,设其振幅分布为  $U_1$ ,一维光栅的振幅透射率为  $\tilde{t}(x,y) = t_0 + t_1 \cos(2\pi f x + \phi_0)$ ,其中  $f = 200$ 条/毫米。

由于来自物体表面的是大量球面波,每一点发出的球面波可以看成是无数光线组成。为了理论推导简化,将入射在光栅  $G$ 上的照明波的散射分量用平行光代替,在此并不影响结论的推导。

当平行光正入射在光栅上,这时入射波前为  $U_1 = A_1$ ,所以透射波前为

$$\tilde{U}_2(x,y) = \tilde{U}^1(x,y)\tilde{t}(x,y) = A_1[t_0 +$$

$$t_1 \cos(2^c f x + h_b)],$$

利用欧拉公式

$$\begin{aligned} U_2(x, y) = A_1 t_0 + \frac{1}{2} A_1 t_1 \{ \exp[i(2^c f x + h_b)] + \\ \exp[-i(2^c f x + h_b)] \} = U_0(x, y) + U_1(x, y) + \\ U_{-1}(x, y), \end{aligned}$$

其中  $U_0(x, y) = A_1 t_0$ ,

$$U_1(x, y) = \frac{1}{2} A_1 t_1 \exp[i(2^c f x + h_b)],$$

$$\tilde{U}_{-1}(x, y) = \frac{1}{2} A_1 t_1 \exp[-i(2^c f x + h_b)],$$

即从光栅输出的是 3 列波. 它们的方向分别为:

$U_0$  沿原方向,  $U_1$  和  $U_{-1}$  是一对共轭波, 它们的方向角  $\theta_1$  和  $\theta_{-1}$  分别满足下式:

$$\sin \theta_{\pm 1} = \pm f \lambda.$$

如果用眼睛通过光栅看物体, 正好看到物体的 3 个像, 它们分别是 0 级和  $\pm 1$  级衍射像.  $\pm 1$  级波的振幅为 0 级振幅的  $\frac{1}{2}$ . 从光栅  $G$  输出的 3 列波, 与参考光相遇发生干涉, 经暗室处理在干板  $H$  上形成多重像三维全息图.

同理: 对正交光栅, 设透过率函数为

$$G: t(x) = t_0 + t_1 \cos 2^c f x,$$

$$G': t'(y) = t'_0 + t'_1 \cos 2^c f' y.$$

当平行光正入射时, 入射光波  $\tilde{U}_1 = A_1$ , 则通过正交光栅后的透射光波为

$$\begin{aligned} U_2(x, y) = U_1 t(x) t'(y) = A_1 [t_0 t'_0 + t_1 t'_0 \cos \\ 2^c f x + t_0 t'_1 \cos 2^c f' y + t_1 t'_1 \cos 2^c f x \cos 2^c f' y] = \\ A_1 [t_0 t'_0 + t_1 t'_0 \cos 2^c f x + t_0 t'_1 \cos 2^c f' y + \frac{1}{2} t_1 t'_1 \cos \\ 2^c (f x - f' y) + \frac{1}{2} t_1 t'_1 \cos 2^c (f x + f' y)], \end{aligned}$$

其中  $f, f'$  是正交栅分别在  $x, y$  方向的空间频率. 我们用的正交光栅为  $f = f' = 100$  条/毫米.

$U_2(x, y)$  表达式中除第一项外, 其余的每项相当于一块特定频率的正弦光栅而产生的一对平面波. 后场共有 9 列平面衍射波, 它们的方向角分别为

$$(\sin \theta_1, \sin \theta_2) = \begin{cases} (0, 0) \text{ (0级)} \\ (\pm f \lambda, 0) \text{ (} f \text{ 的 } \pm 1 \text{级)} \\ (0, \pm f' \lambda) \text{ (} f' \text{ 的 } \pm 1 \text{级)} \\ \pm (f \lambda, -f' \lambda) \\ \pm (f \lambda, f' \lambda) \end{cases} \text{ (交叉项的 } \pm 1 \text{级)}.$$

衍射图形由像的方阵构成, 它的零级、正负一级衍射像光强度较强, 但是强度差别不大, 因此就有 9 个明亮的像.

2) 由于物体的尺寸有一定的大小, 所以各级像之间的间隔的大小与光栅到物体之间距离有关. 如图 (2) 所示, 设零级像与一级像之间的间隔为  $\Delta Y$ , 物体  $O$  到光栅的垂直距离为  $X$ , 一级像的衍射角为  $\theta$ , 则

有;

$$\text{tg } \theta = \frac{\Delta Y}{X}, \therefore \Delta Y = X \text{tg } \theta.$$

又由光栅方程  $d \sin \theta = \pm K \lambda$ ,  $K = 1$ , 则  $d \sin \theta = \lambda$ ,

$$\Delta Y = X \text{tg } \theta = X \frac{\lambda d}{1 - (\lambda/d)^2}.$$

在实验中,  $\lambda$  一定, 光栅一定, 即  $d$  一定, 所以,  $\Delta Y$  与  $X$  成正比,  $X$  大, 物体到光栅的垂直距离大, 则各级衍射像的间隔大, 因此物体的尺寸要选择适当, 才能拍得各级像分开的理想的多重像全息图,  $\Delta Y$  的最小值是物体的线宽度. 如果  $\Delta Y$  一定, 则

$$X = \Delta Y \frac{d}{\lambda} \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{d})^2} \approx \frac{\Delta Y}{\lambda} d.$$

$d$  大, 要使  $X$  大,  $d$  小要  $X$  小.

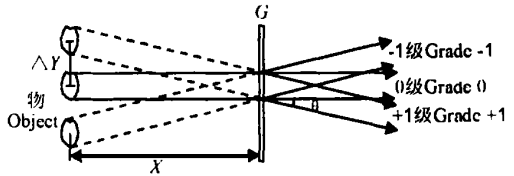


图 2 光栅衍射像间距与  $X$  的关系

Fig. 2 Relationship of between  $X$  and the spaces of grating diffraction images

### 3 实验数据及结果

实验中采用长度为 2.5 cm 的瓷鸡作为拍摄物体, 采用 200 条/毫米的一维光栅和两个方向都为 100 条/毫米的正交光栅, 使用 HR-1 干板.

物到光栅的距离: 一维光栅 20 cm; 正交光栅为 30 cm.

光强比: 用一维光栅时  $I_0 : I_R = 1 : 5$ .

用正交光栅  $I_0 : I_R = 1 : 2$ .

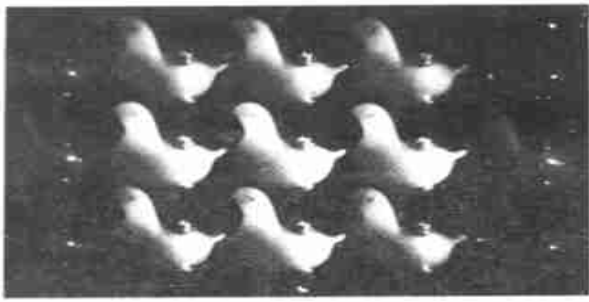
光源用 1 mW 的 He- Na 激光器.

曝光时间为: 一维光栅 100 s, 正交光栅是 180 s.

再现时, 用一维光栅拍摄的全息图可以看到 3 个像, 但中央零级的光强比正负一级像的光强强许多, 如图 3a 所示, 加正交光栅拍摄的全息图, 能观察到 9 个完全一样且光强相差不大的像, 如图 3b 所示.



(a)



(b)

图 3 全息图

Fig. 3 Hologram

## 4 结论

通过实验和理论分析, 可以得出如下结论:

(责任编辑: 黎贞崇)

## 参考文献

- 1 科利尔 R J等. 光全息学. 北京: 机械工业出版社.
- 2 赵凯华, 钟锡华. 光学. 北京: 北京大学出版社.

## 郑皆连院士——广西第一位工程院院士

郑皆连, 男, 1941年7月出生, 1965年8月毕业于重庆交通学院桥梁与隧道专业, 先后在广西壮族自治区公路局、交通设计院、公路工程公司、交通厅工作, 现任广西壮族自治区交通厅副厅长兼总工程师, 教授级高级工程师, 中国工程院院士。

1999年3月, 广西壮族自治区人民政府、广西科协、中国公路学会同时推荐郑皆连同志为中国工程院院士候选人, 同年12月经国务院批准, 郑皆连同志当选中国工程院院士, 实现了广西科技人员入选中国工程院院士零的突破。

1992年开工新建的邕宁邕江大桥为跨径312m的中承式钢砼拱桥, 跨径超过了世界最大同类桥型72m, 难度非常大。郑皆连同志任《邕宁邕江大桥钢骨钢筋砼拱桥设计与施工技术》课题组长和大桥专家组组长, 课题研究纳入交通部“八五”联合科技攻关项目。1996年, 交通部鉴定认为, 这一项目的总体研究成果居国际领先水平, 其中由郑皆连同志提出的千斤顶斜拉扣挂悬拼架设技术和千斤顶斜拉扣挂连续浇注拱肋外包砼技术是世界拱桥建桥史上首创。这一研究成果迅速运用到我国5座大桥建设, 目前世界最大跨径(420m)的钢筋砼上承式拱桥万县长江大桥也使用了该课题开发的千斤顶斜拉扣挂悬拼架设技术。

1978年~1983年, 郑皆连同志主持当时国内最大规模的预应力砼顶推连续梁桥柳州市第二大桥的设计和施工。将重9655t、长541.6m的预应力砼连续梁顶推到位, 轴线最大偏离值仅为1.5mm, 获国家优质工程银质奖。

1976年, 他主持设计广西第一座钢筋砼箱型拱桥——跨径组合为90m+105m+90m的来宾红水河桥, 成功地建成我国当时规模最大的一座无支架施工钢筋砼薄壁组合箱型拱桥, 获国家优质工程银质奖。

1968年, 郑皆连同志首创我国双曲拱桥无支架施工方法, 解决不立拱架修筑拱桥这一难题, 并迅速在全国推广, 获得巨大经济效益。

郑皆连同志还主持过多项重大工程建设, 其中南宁至北海二级公路和桂平航运枢纽工程(后期由其他人主持)获改革开放以来交通部双十大工程称号, 主持桂柳高速公路建设, 经交通部验收, 质量优良。应交通部的邀请, 他曾参加珠海伶仃洋大桥、南京长江二桥、万县长江大桥、厦门海沧大桥设计的评审工作。

34年来, 郑皆连同志在生产建设第一线为交通工程科技项目呕心沥血, 刻苦攻关, 作出了重大贡献, 是交通行业著名的桥梁专家和科研技术带头人。他的研究成果得到社会认可并迅速转化为巨大的生产力, 曾获国家级、自治区科技进步奖7项, 其中国家二、三等奖各1项, 省级一等奖1项、二等奖2项, 1988年获国家有突出贡献的中青年专家称号, 并经国务院批准享受政府津贴, 1994年获自治区优秀专家称号, 1995年获交通部评选为优秀科技人员。