

# 大场景全息照相实验中若干问题的探讨

印建平

夏建刚

陆俊发

幸良梁

(苏州大学)

(徐州师范学院)

(华东地质学院)

(广州教育学院)

大场景、大景深全息照相术已有一些文章介绍与报道<sup>[1-3]</sup>。近年来,我们初步获得了景深为250cm,场景面积为 $100 \times 250\text{cm}^2$ 和视场角优于 $120^\circ$ 的广角大场景全息图<sup>[3]</sup>。为进一步提高大场景全息图的质量,普及大场景全息术,从而开拓大场景的全息应用,本文对大场景全息照相实验中的若干特殊问题进行探讨,并给出相应的理论分析与实验结果。

## 一、场景面积与景深的扩展

一般全息照相的条件之一是物光波与参考光波的光程差小于光源的有效相干长度。对于大场景、大景深全息照相,由于光源相干长度的有限性,此程差条件尤为重要。采用光程补偿法<sup>[2,3]</sup>或选取光程差为激光器腔长偶数倍的方法(以下简称程差 $2KL$ 法)<sup>[2,4]</sup>,可以克服因光源相干长度有限而导致场景面积或景深受限的困难,实现大场景、大景深全息照相。实验表明,对于输出功率为20~60mW的多纵模He-Ne激光器,采用多束与参考光等光程的物光分区照明场景的物光程补偿法,可使场景面积扩至 $250\text{cm}^2$ 以上,景深扩至500cm以上。

由于纵模频宽 $\delta\nu_H$ 的影响,光程差 $\Delta l = 2KL$  ( $K = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ )附近的相干长度将随着光程差 $\Delta l$ (或自然数 $K$ )的增加而单调减小。如果允许 $\Delta l = 2KL$ 附近的相干长度下降至零光程差( $\Delta l = 0$ )附近之相干长度的 $\frac{1}{2}$ ,则由纵模线型(Lorentz线型)

的傅里叶变换结果,  $\exp\left[-\frac{\pi}{c} \delta\nu_H |\Delta l|\right] \geq \frac{3}{4}$  得到

$$|K| \leq 2.7 \times 10^7 / 2L\delta\nu_H. \quad (1)$$

此式表明,程差 $2KL$ 法的最大光程差也是有限的,它与激光器腔长 $L$ 和纵模频宽 $\delta\nu_H$ 有关。若 $\delta\nu_H = 2 \times 10^6\text{Hz}$ ,  $L = 1.5\text{m}$ ,则 $|K| \leq 5$ 。即对于腔长为1.5m的He-Ne激光器,所允许的最大光程差仅为 $2L$ 的五倍,而不是任意倍数。这一点在利用程差 $2KL$ 法时,必须事先加以考虑。由于不同 $2KL$ 附近的相干长度是不相同的,故在确定光程差分别为 $\Delta l = 0, 2L, 4L, \dots$ 处每束物光的相干区域时,不能均用零光程差附近的相干长度作为依据。文献[3]虽应用程差 $2KL$ 法拍摄了大景深全息图,但对上述两点未加考虑。此外,我们曾对多纵模Ar<sup>+</sup>激光时间相干性与输出功率的关系进

行了实验研究<sup>[5]</sup>。结果表明,随着输出功率的递减,相干长度将有成倍的提高。例如457.9nm线,当输出功率减小五倍时,相干长度约增加四倍,且当 $P = 120\text{mW}$ 时,  $\Delta L_H \Rightarrow 28\text{cm}$  (采用定义 $|\nu(\Delta l_c)| = \frac{1}{2}$ ),与腔长为1.5m的He-Ne激光器相比,相干长度相当,输出功率约高二倍,波长减小约一点四倍(这有利相干噪声的抑制)。因此,我们认为,未经选模的Ar<sup>+</sup>激光器低功率输出时,也可用于大场景全息照相。

对于特大场景或景深的全息照相,除采用上述光程补偿法和程差 $2KL$ 法,并选用大功率单频He-Ne激光器或Ar<sup>+</sup>激光器,或大能量脉冲红宝石激光器<sup>[1]</sup>作光源外,也可采用多台多纵模He-Ne激光器联合使用的方案,其光学系统如图1所示。图中每台激光器输出的激光束(物光 $O_i$ ,参考光 $R_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ )可按光程补偿法或程差 $2KL$ 法分成若干束物光,分区照明各自相干的大块场景。如果每台1m腔长He-Ne激光器覆盖的相干面积为 $2.5\text{m}^2$ ,则四台激光器联合使用即可获得面积为 $10\text{m}^2$ 的大场景全息图。

此法虽然给参考光的调节增加了一定的难度,但它不仅光路简单,经济实用,为一般实验室条件许可,而且可使场景面积或景深扩大很多,可望达到实验室全息台几何尺寸的容限。显然,采用其他方法时,被摄物体的场景面积或景深最终还将受到激光器输出功率的限制。

## 二、能量的充分利用与合理分配

由于相干长度较长的多纵模He-Ne激光器和低增益工作的多纵模Ar<sup>+</sup>激光器<sup>[6]</sup>输出功率较低,分别为20~60mW与100~200mW,因而如何充分提高能

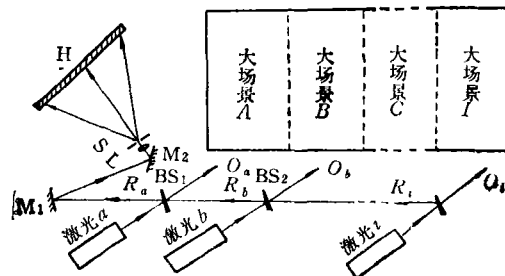


图1 特大场景全息照相的一种方法(联合法)

量的利用率也即成为大场景全息照相中的一大特殊问题。实验表明,采用合适的分光元件和反射镜对能量的利用率影响很大。如选用一定空间频率的全息反射光栅作为分光元件,不仅分得光束的数目可任意选择(采用不同空间频率的光栅),各光束间的相对能量可以通过转动光栅来适当调节,而且光路简化,能量利用率高,可达80%以上。本实验中采用600l/mm的全息反射光栅,在斜入射的条件下,获得六束物光,能量利用率比一般市售分束器提高五倍以上。此外,减少光学元件,选取合适的反射镜也是至关重要的。实验结果表明,一般镀铝反射镜因其表面被氧化,在入射角 $\theta$ 小于 $60^\circ$ 的条件下,反射率 $R$ 较低,约为70~80%。如果每束物光经两块这样的反射镜反射,则其能量损失将近一半。然而,He-Ne激光器谐振腔的腔镜镀有632.8nm的高反膜,其反射率在98%以上。因此,我们在本实验中尽可能采用报废的He-Ne激光器的腔镜作为反射元件,以减小光能的损失。为获得高效率、高信噪比和衍射象亮度各处均匀的高质量大场景全息图,在实验中还须根据场景中各景物的景深及其对光波的漫射能力合理分配能量,使每束物光波经各自照明物体漫射后到达全息干版的平均照度尽可能相近,且与参考光强度相匹配,以满足参、物比 $B=0.5\sim 5$ 的要求。此外,还须谨慎选取各物光束的照明方向,或采取适当措施,避免只该照明相干区域A的物光束射到区域B上,以提高全息图的信噪比。

### 三、全息图几何尺寸的选取

为了便于观察大场景全息图的再现现象,或将全息象成功地拍摄成普通照片,在记录全息图前应首先估计一下全息图的几何尺寸。如果场景在 $x$ 方向的视角为 $\theta_M$ , $y$ 方向的最大张角为 $\beta_M$ ,则由图2所示的几何关系求得全息图的宽和高为

$$X \geq \frac{2a_1 b}{a_1 + b} \operatorname{tg}(\theta_M/2) = \frac{lb}{a_1 + b}, \quad (2)$$

$$Y \geq \frac{2a_2 b}{a_2 + b} \operatorname{tg}(\beta_M/2) = \frac{hb}{a_2 + b}, \quad (3)$$

式中 $a_1$ 为场景到全息图H的最短距离, $a_2$ 为场景中与最大张角 $\beta_M$ 相应的物体到全息图的距离, $b$ 为观察点P至全息图H的距离。通常取 $b \geq 20\text{cm}$ 为宜。当然,对于全息象的拍摄,为了兼顾物体的景深和视角, $b$ 值应当适当取大一些,一般视实验条件或要求而定。

此外,考虑到全息干涉的程差条件,由上述(2)和(3)式所给出的 $X$ 、 $Y$ 值还须同时满足

$$|\Delta_O \pm \Delta_R| \leq \Delta L_H, \quad (4)$$

式中 $\Delta_O$ 、 $\Delta_R$ 分别为物光束、参考光束投射至全息图中心之光线与全息图边缘之光线的光程差, $\Delta L_H$ 为光源相干长度。例如,对于同轴全息图(见图3),其几何

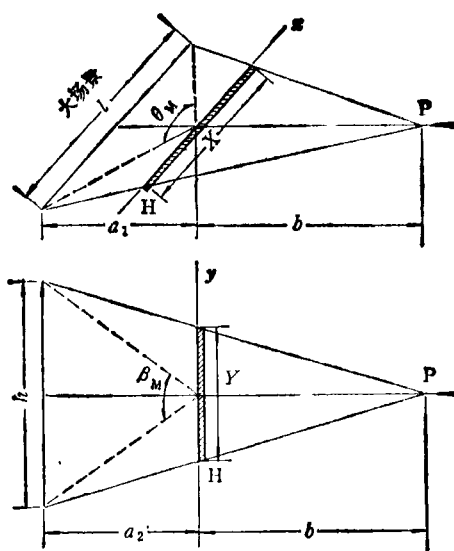


图2 全息图尺寸与场景大小、观察点P位置的关系  
尺寸应同时满足下式(设 $r_R, r_{OM} \gg X, Y$ ;且 $r_R > r_{OM}$ ):

$$X, Y \leq 2\sqrt{2r_{OM}r_R \Delta L_H / (r_R - r_{OM})}, \quad (5)$$

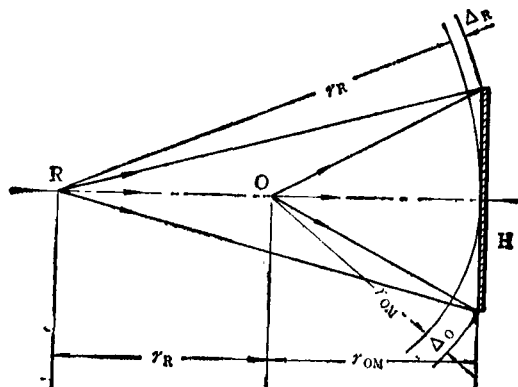


图3 同轴全息图的记录光路

式中 $r_{OM}$ 为场景中最近物体至全息中心的距离。

有关大场景全息照相中场景面积与景深、视角的定义,光源有效相干长度的现场测定以及广角大场景全息图的拍摄与记录参数( $\alpha_R^*, \theta$ )的合理选取等问题,由于篇幅关系,这里不再讨论。

本工作承蒙姜亚光教授的热心指导,在此谨致谢意。

### 参 考 文 献

- [1] J. W. Gates, *J. Scient Instrm*, 1-10 (1968), 889.
- [2] 葛万福、熊秉衡, *光学学报*, 5-7(1985), 600.
- [3] 幸良架、印建平, *光学学报*, 6-5(1986), 433.
- [4] H. M. Smith, *全息学原理*, 科学出版社, (1972), 140.
- [5] 印建平、包仁等, *中国激光*, 14-3(1987), 200.