

可分离再现的双脉冲曝光全息图*

赵达尊 梅文辉 杨 坚

(北京理工大学工程光学系, 北京 100081)

提 要

本文提出一种可以分别再现双脉冲曝光粒子场全息图的两幅图像的技术,记录全息图时,利用电光晶体和偏振分光棱镜,使两个光脉冲的物光波或参考光波沿不同的空间路径到达全息底板,从而通过不同的空间滤波在再现全息图时分别获得对应于不同脉冲时刻的粒子场图像.实验证实了该技术的可行性.

关键词 双脉冲曝光全息图, 电光效应, 空间滤波, 假彩色编码.

1 引 言

自从1965年Thompson等人将全息术应用于粒子场参数测量^[1]以来,粒子场全息术已广泛应用于国民经济的多个领域^[2].随着双脉冲和多脉冲曝光全息术^[3]的出现,可测定的粒子场参数从粒子的尺寸、密度分布延展到了速度、加速度分布.当粒子场中各粒子的速度大小和方向分布不很均匀时,例如存在涡旋运动时,不仅不能确定速度场的方向,而且要判断哪两个粒子像是由同一个粒子产生的也相当困难.为此,文献[3]曾提出,用两个不等强的脉冲来记录全息图,使得两幅再现像中的粒子大小有所差别,并以此来解决速度方向和粒子像“配对”问题.然而,由于粒子场中的粒子尺寸本来就有差别,这一方法将带来新的困难.

本文将介绍一种双脉冲曝光全息图,它能分别再现两个脉冲时刻的粒子场图像,进而可以通过某种编码,例如假彩色编码使两幅粒子场图像以不同的颜色同时呈现在监视器屏幕上或彩色底片上,这样,不仅解决了速度方向的确定问题,而且也比较容易进行粒子像的配对.

2 原理和光路示例

可分离再现双脉冲曝光全息图的基本原理是,在记录全息图时使两个脉冲时刻的物光波或参考光波沿不同的空间通道射向全息底板,从而在再现操作中有可能通过对再现光波的空间滤波,或者通过改变再现照明光波的方向,分别获得两个时刻所记录的粒子场图像.在两个脉冲之间的暂短时间间隔(约 $10^2 \mu\text{s}$)内,改变光波路径的可行而又较为简便的方法是利用电光器件或声光器件^[4].

图1给出了可分离再现双脉冲曝光全息图的记录和再现光路的一个示例,下面结合该光路图说明本技术的工作原理.

收稿日期:1992年4月27日;收到修改稿日期:1992年6月12日

* 高等学校博士学科点专项科研基金资助课题

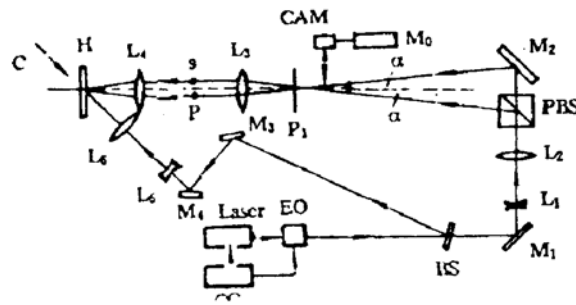


Fig.1 Recording and reconstruction set-up for reconstruction-separable double-pulse exposure holograms

图中双脉冲红宝石激光器 Laser 在控制电路 CC 的控制下,相继发射两个光脉冲,由于激光器内布儒斯特窗的作用,这两个脉冲都是线偏振的,偏振方向与图平面垂直(以下简称为“s 偏振”。图中 EO 为电光晶体。

2.1 全息成像

曝光前预先加上半波电压,于是第一个光脉冲经过 EO 后,偏振方向改变成平行于图平面(以下简称“p 偏振”)。控制电路 CC 在两个光脉冲之间给出一个触发信号,使 EO 上的电压退压,从而第二个光脉冲经过 EO 后仍为 s 偏振。第一个光脉冲通过分束板 BS 后,经过镜面 M_1 反射和透镜 L_1 、 L_2 的扩束准直,成为平行光,由于它是 p 偏振的,该平行光通过偏振分光棱镜 PBS,再由镜面 M_2 反射,以一个向下倾斜的小角度 α 照明位在 P_1 平面附近的粒子场。携带了粒子场信息的光波经过 $4f$ 系统 L_3 和 L_4 后,作为第一个脉冲时刻的物光波以成像方式照明全息底板 H。该光波的频谱出现在 L_3 和 L_4 的公共焦点上,呈现小光斑的形状,光斑直径为 $\lambda f/d$ 量级(λ 为激光波长, f 为 L_3 的焦距, d 为粒子场中最小粒子的直径),光斑中心在 L_3 、 L_4 公共焦点下方 $f \tan \alpha$ 处,如图中 p 点所示。由分束板 BS 反射的光波经过反射镜 M_3 、 M_4 调节光程和扩束系统 L_5 、 L_6 后也成为平行光,它作为参考光照明全息底板,完成第一个光脉冲的全息记录。第二个光脉冲的参考光波光路与第一个光脉冲的相同,其物光波光路在射向偏振分光棱镜 PBS 之前也与第一个光脉冲的相同,由于它是 s 偏振的,所以将被 PBS 的斜面反射,以向上倾斜 α 的角度照明粒子场,最后也射向全息底板 H。这束光的频谱出现在 L_3 、 L_4 公共焦点上方 $f \tan \alpha$ 处,如图中 s 点所示。这样,粒子场在两个时刻的像全息图都被记录在 H 上。

2.2 再现全息图

全息图的再现使用 He-Ne 激光,再现照明光 C 与记录时的参考光共轭,如图 1 左上方的虚线箭头所示。这时将产生两个共轭物光波,它们首先分别在 p 点和 s 点附近形成频谱光斑,然后在 P_1 平面附近给出两个脉冲时刻的粒子场实像。如果不进行空间滤波,则用摄像机 CAM 和监视器 M_0 可以观察到与一般双脉冲曝光全息术相同的、同时存在两个粒子场的图像。假定在拍摄全息图时使两个物光波的频谱光斑互不重叠,也即 $\tan \alpha > \lambda/(2d)$,则在再现时有可能进行频谱面(即 L_3 、 L_4 的公共焦点)上的空间滤波。这是因为尽管再现光波长与记录光波长略有差异,但是频谱光斑的直径和两个光斑的间距基本上按同一个比例,即波长的比例缩放。于是可以利用小孔光阑只让再现的 p 光斑通过,从而单独获得第一个脉冲时刻的图像,类似地,如果只让再现的 s 光斑通过,则可单独获得第二个脉冲时刻的图像。这样,只要在同样的摄像机位置上分别对两幅图像进行采集和存储,然后分别进行图像增强和假彩色编码处理,便可在彩色监视器上同时呈现两幅不同颜色的粒子场图像。图像中各个粒子是属于哪一个脉冲时刻的

将十分明显.

3 实验结果

实验光路如图 1 所示,其中红宝石激光器是中国科学院西安光学精密机械研究所制造的,两个脉冲能量约各为 200 mJ,脉冲宽度约 100 ns,脉冲间隔约 130 μ s. 电光晶体是磷酸二氘钾器件,其控制电路自制. 偏振分光棱镜的通光口径约 50 mm, L_3 、 L_4 为一对傅里叶变换透镜,焦距 170 mm. 摄像机是不加物镜的 CCD 摄像机,装置在三维调节架上. 被测对象是液体喷雾场. 两束物体照明光波的夹角 2α 约为 7° (理论上对应的最小粒子直径约为 6 μ m).

图 2 至图 4 给出了部分实验结果. 它们是同一次拍摄的粒子场全息图在不同再现空间区域的再现图像照片. 图 2 是不加滤波进行再现时,直接对 CCD 摄像机的监视器屏幕进行拍摄得到的,其内容是粒子场中两对较大的粒子. 图 3 和图 4 是再现时经过滤波然后再现像进行增强处理(主要是二值化)和假彩色编码后,在彩色显示屏幕上拍摄得到的,这里所附黑白照片的实际颜色将由下文说明.

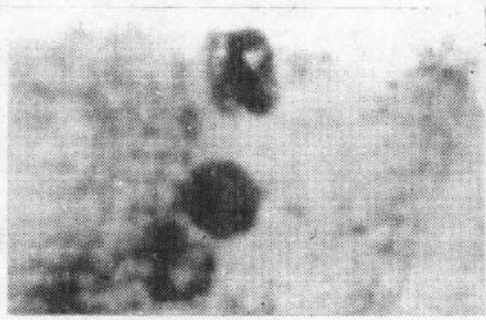


Fig. 2 Photo of two original reconstructed image of large particle pairs in a particle field

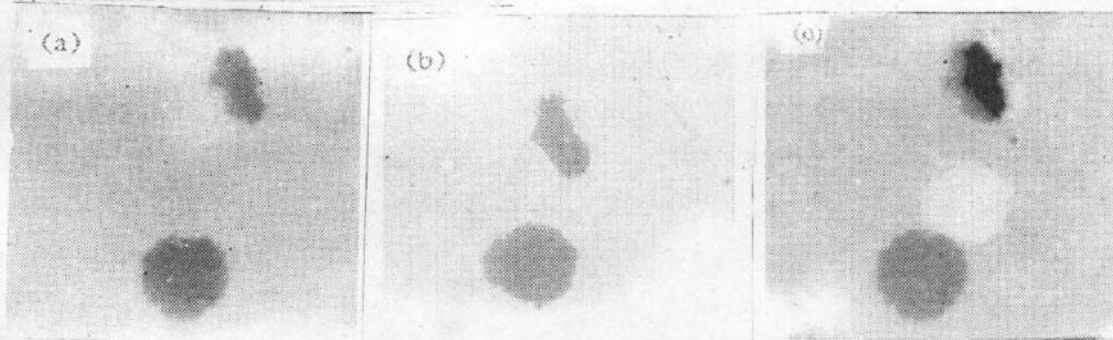


Fig. 3 Photos of filtered and processed reconstruction image of the two large particles shown in Fig. 2

- (a) Image of the first pulse moment particles with red background
- (b) Image of the second pulse moment particles with blue background
- (c) Image with (a) and (b) displayed simultaneously

图 3 的内容同图 2,其中(a),由频谱光斑 p 形成,对应于第一脉冲时刻的粒子像,粒子为黑色,背景为红色;(b)由频谱光斑 s 形成,对应于第二脉冲时刻的粒子像,粒子为黑色,背景为蓝色;(c)是上述两幅像同时显示在彩色屏幕上的情形,“p 粒子”呈现图(b)的背景颜色,即蓝色(图中为深灰色);而“s 粒子”呈现图(a)的背景颜色(图中为白色),即红色. 两种粒子的重叠部分为黑色. 由此可知,粒子运动的方向是由蓝色(深灰色)粒子移向红色(白色)粒子.

图 4 的内容是粒子场另一区域中三个较小的粒子,拍摄条件与图 3(c)类似. 三对粒子像中位在右侧或右上侧的三个粒子是蓝色的,另三个粒子是红色的.

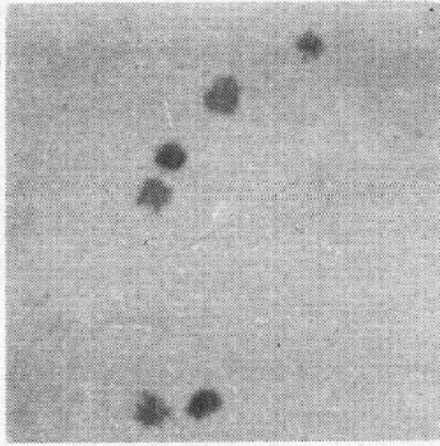


Fig. 4 Photo of filtered and processed reconstruction image of three small particles images of two pulse durations are displayed simultaneously, similar to Fig. 3(c)

4 讨论

1) 上节所示实验结果初步表明了本技术的可行性及其特点:明确显示了粒子的运动方向,有助于粒子像中的粒子“配对”。

在一般双脉冲曝光全息术中,配对的困难不仅在于当粒子密度较大时缺乏配对依据,而且还因为难以控制两个记录脉冲有稳定的强度比例关系.强度比例的不恰当可能造成错误的配对指示,例如图 4 中的蓝色粒子比较小,红色粒子比较大,在没有颜色区别的情形下,有可能把两个蓝色粒子或两个红色粒子配成一对.当然,这里的实验结果还只是初步的,上述本技术的特点,尤其是“有助于粒子配对”这一特点,尚需经过对实际复杂粒子场的应用来考验.

2) 对于图 1 所示的光路,由于各光学元件对 p 偏振光和 s 偏振光有不同的反射率和透过率,使得光路系统在两次曝光时造成不同的光能损失;加上第一次曝光时虽然物、参光波都是 p 偏振的,但由于这两个光波之间有一定的夹角.因此它们的 P 振动方向并不一致,从而会降低全息图干涉条纹的反衬度和再现衍射效率,增加了使再现像中同一粒子两个像的大小不一致的因素.克服这一缺点的方法有两个.其一是考虑到上述两种因素在一定的光路布置下都是固定的,所以原则上可以通过调节两个记录脉冲的相对强度,使得两个“子全息图”有相同的再现衍射效率.其二是参考光保持为 s 偏振的,不受电光晶体控制(例如把图 1 中的 EO 移到 L_1 和 M_1 之间),同时用一个半波片把透过偏振分光棱镜的 p 偏振转变为 s 偏振,从而使两次曝光的物参光波都是 s 偏振的(参见图 5).

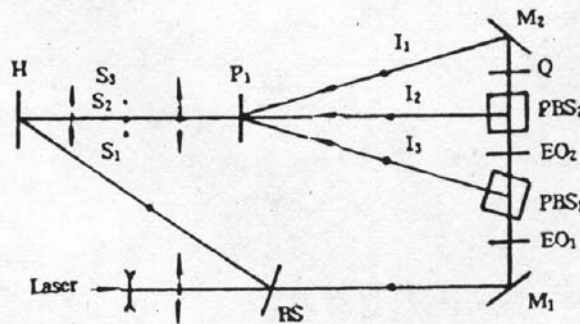


Fig. 5 Schematic set-up for recording a 3-pulse exposure hologram

3) 使用多脉冲激光器和多对电光晶体/偏振分光棱镜组合,原则上可以把本技术扩展成为可分离再现的多脉冲曝光全息术,用来获得快速现象变化过程中的一系列全息图像.图 5 给出了

一个三脉冲曝光全息术的记录光路示意图,多脉冲情形不难由此导出.图中H、P₁、BS、M₁、M₂及扩束、傅里叶变换等元件的含义同图1,EO₁、EO₂是两个晶体,PBS₁和PBS₂是两个偏振分光棱镜,Q是半波片.自三脉冲激光器Laser发出的光波仍是s偏振的(图中用黑点表示).第一次曝光前,EO₁加半波电压,EO₂不加电压,于是第一脉冲被EO₁转变为p偏振,它将相继透过PBS₁和PBS₂,然后被Q回复为s偏振,形成物体的照明光I₁,并在S₁处形成谱斑.第二次曝光前,EO₁电压不变,但对EO₂施加半波电压,于是脉冲光透过PBS₁后被EO₂回复成s偏振,进而被PBS₂反射,形成照明光I₂,并在S₂处产生谱斑.第三次曝光前,令EO₁退压,脉冲光维持s偏振,被PBS₁反射,形成照明光I₃,并在S₃处产生谱斑.这样,三次曝光的物、参光均为s偏振,且在再现时可以通过对S₁、S₂、S₃处的空间滤波单独获得任一脉冲时刻的再现像.

参 考 文 献

- [1] B. J. Thompson, J. Ward, W. Zinky, Application of hologram Technique for Particle size Analysis. *J. O. S. A.*, 1965, **55**(11):1566
- [2] J. D. Trolinger, Particle and Flow Field Holography. *Proc. SPIE*, 1985, **532**:40
- [3] J. D. Trolinger, Holographic Technique for the Study of Dynamic Particle Fields. *Appl. Opt.*, 1969, **8**(5):957
- [4] G. Lai, T. Yatagai, Dual-Reference Holographic Interferometry with a Double Pulsed Laser. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(8):3855

Reconstruction-separable double-pulse exposure holograms

ZHAO Dazun MEI Wenhui YANG Jian

(Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology,
Beijing 100081)

(Received 27 April 1992; revised 12 June 1992)

Abstract

A technique for recording and reconstructing a double-pulse exposed hologram of particle field is proposed. The feature of this technique is that the image of particle field at different pulse duration can be reconstructed separately. Thus they can be A/D converted, stored, processed and pseudo-color encoded separately but shown on a monitor simultaneously. The key of the technique is to make the object waves or reference waves of two light pulses propagate in different paths during hologram recording, by using an electrooptic crystal and a polarization beam splitter, and to perform spatial filtering during reconstruction. Experiments have demonstrated the feasibility of this technique.

Key words double-pulse exposed hologram, electro optic effect, spatial filtering, pseudo-color encoding