

频闪He-Ne激光高速干涉摄影装置*

夏生杰

(中国科学院力学研究所)

【提要】 用光振子调制连续输出的 He-Ne 激光, 配合转鼓相机, 形成了频闪 He-Ne 激光高速干涉摄影装置。摄影频率达每秒 20000 幅。配合超高速转镜相机, 可作为超高速干涉摄影的可控同步单脉冲光源。

一、前言

作者曾报道过脉冲 He-Ne 激光分幅高速干涉摄影装置〔1〕, 如图 1 所示。其中用了平晶激光干涉仪和逆运转的脉冲 He-Ne 激光器以及转镜式高速摄影机。用约 3 mW 的 He-Ne 激光, 得到了每秒 750000 幅, 每幅曝光时间 $1.3\mu\text{s}$ 的高速干涉照片, 如图 2 所示。

为了研究更快速的物理过程, 高速转镜相机的转镜转速高达 400000 转/分左右, 画幅曝光时间在 10^{-7} 秒量级。为此必须匹配方波形、脉宽为 $150\mu\text{s}$ 的高亮度单脉冲光源。

有许多方法能将连续输出的激光调制成脉冲输出〔2〕。例如, 机械、声光、晶体等调制法。但这些方法的光损失都较大, 结构复杂、高电压操作、成本高, 因而不便于广泛应用。

在高速摄影领域内, He-Ne 激光很少被人们利用。这主要是由于 He-Ne 激光器是低功率器件, 难于提供短时曝光所需的亮度。其次是由于 He-Ne 激光运转机理上其上能级是亚稳态, 很少或不可能由于脉冲运转而提高峰值功率, 只能在最佳的连续电流下运转, 无论脉冲还是连续型式的电流增加, 输出功率反而减小。粒子数反转的弛豫时间为毫秒量级。因而很难做到同步脉冲运转, 但是, He-Ne 激光有非常好的相干性, 相干长度大, 操作简单, 成本低和寿命长等优点, 是

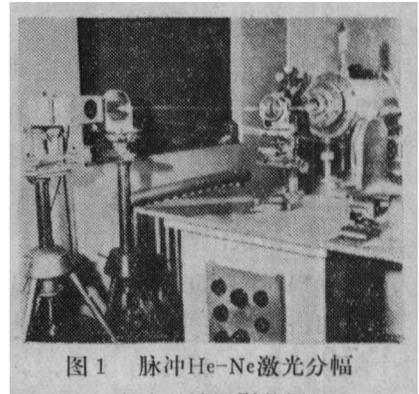


图1 脉冲He-Ne激光分幅
高速干涉摄影装置

* 本文于1983年3月收到。

干涉摄影的理想光源。因此,若能把连续输出的低功率 He-Ne 激光调制成可控同步脉冲运转的激光并用到高速摄影技术中,这将是一件很有意义的工作。

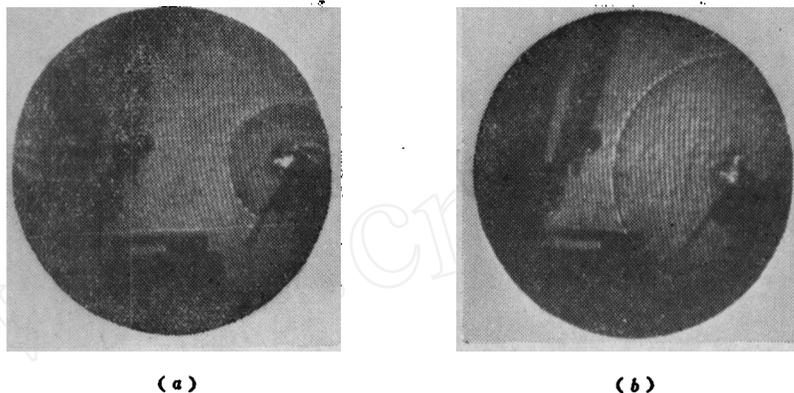


图 2 冲击波传播的高速干涉照片

我们设计了一种新的调制光源,用光振子作调制元件,利用激光易于细聚焦及准直等优点,对 He-Ne 激光进行调制。得到了上升时间小于 $25\mu\text{s}$ 的方波形同步单脉冲 He-Ne 激光源。可以配合超高速转镜相机及干涉仪作超高速干涉摄影。这种调制光源的优点是:光能损失小,只有输入光的百分之五左右;低电压低电流操作,只有几伏和几十毫安量级;结构简单,成本很低;运转稳定可靠;寿命长和对激光器种类有较广泛的选择余地。如果在振子上加交变信号,配合激光双镜干涉仪及转鼓相机,还可以作为频闪高速干涉摄影的光源。

二、单脉冲运转

在用 490000 转/分的超高速转镜相机来研究快速物理过程时,与之配合的脉冲光源宽度必须小于转镜转一周的时间,大于转镜在工作角的转动时间,即大约小于 $150\mu\text{s}$ 大于 $40\mu\text{s}$ 。用光振子调制连续激光很容易达到这个指标。

光振子是一块很小的反射镜,由细丝悬挂在磁场中。它有动圈式及铁芯式两种。由低电流驱动,有较高的灵敏度。例如 10kHz 的振子,对阶跃函数的响应时间,在达到最大线性振幅时约 $25\mu\text{s}$ 。振子中小镜子的偏转角随外加信号线性变化,利用这一原理,当一个单脉冲信号加到振子上时,就可得到一个与信号等宽度的光脉冲。图 3 所示为装在干涉仪光源中的光振子调制光路。

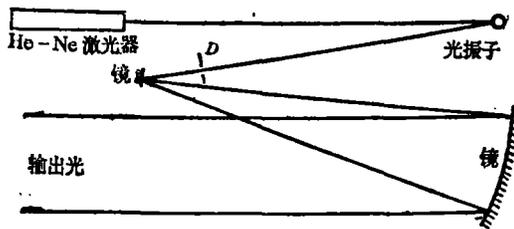


图 3 光振子调制激光的原理图

用光振子调制 He-Ne 激光的程序如下:首先在外信号输入之前,将光束偏离光轴一个小角度,并由光栏挡住。一定幅度的脉冲方波输入到振子上时,小镜子旋转,将光束很快地转到光轴上并停留一段时间。这一时间由输入脉冲宽度决定,也就是输出光脉冲的时间。这一光脉冲可与研究现象和转镜相机准确同步,能很方便地实现扫描或分幅高速摄影。

三、频闪光源

在振子上加上频率稳定的交变信号，并在干涉仪的光轴上安装一狭缝，如图 1 中 D 位置。当光束从光振子上反射并来回扫过狭缝而通过光轴时就输出一个光脉冲。振子每振动一周，光束扫过狭缝两次，即 $f_0 = 2f_s$ 。 f_0 为输出光脉冲频率， f_s 为外加电信号频率。每个光脉冲的宽度 T_0 可由下式算出：

$$T_0 = \frac{s}{2\pi A f_0}$$

式中 s 为狭缝宽度， A 为光束在 D 平面上的振幅。由此，可以调节 s ， A 和 f_0 来改变不同脉宽的频闪光。

这种频闪光源能简单地作为激光测频仪，用以测量高速旋转体的转速及振动体的振频。例如，用 10kHz 振子，输出光频率为 20kHz，它可以测量高达 1200000 转/分的转子。由于频闪光是激光，相干性准直性都很好，对于一些处于特殊环境中的转动体，象发光环境下的喷气发动机涡轮等，可以从远距离去照明，并可通过干涉滤光片去观察，这是普通测频仪不可能做到的，特别是这种光源还能作为频闪高速摄影的光源。

四、频闪高速干涉摄影

上述光源已用作频闪高速摄影光源。

用转鼓相机来记录快速现象时，相机中胶片是连续运动的，由于胶片的变形及抗拉强度的限制，其线速度通常不超过 100m/s [3][4]，如果考虑到模糊圆尺寸 b 不超过 0.05mm，当胶片线速度 $v = 100\text{m/s}$ 时，则曝光时间 T 至少应为：

$$T = \frac{b}{v} = 0.5 \mu\text{s}$$

才能保证底片的清晰度。如果摄影画幅高 $h = 10\text{mm}$ (或 20mm)，画幅不重迭的光脉冲频率 f_0 应为

$$f_0 = \frac{v}{h} = 10\text{kHz} \text{ (或 } 5\text{kHz)}$$

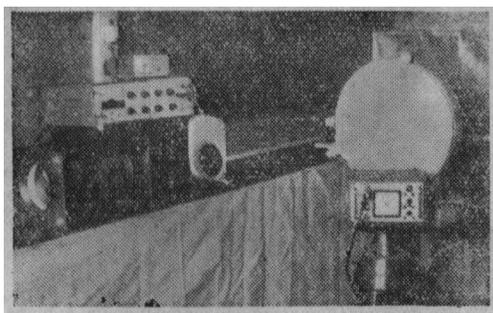


图 4 频闪He-Ne激光高速干涉摄影装置

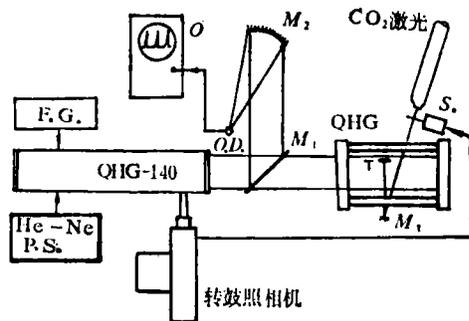


图 5 CO₂激光照射靶材的试验方块图

这样,画幅曝光时间和画幅间隔时间之比应为 1/200 或 1/100。这是频闪高速摄影光源的重要参数。从式 $T = \frac{s}{2\pi Af_s} = 0.5\mu\text{s}$ 来看,如果 $f_s = 5\text{kHz}$, $s = 1\text{mm}$, 则只要 $A \geq 63.6\text{mm}^2$ 就能满足频闪高速摄影的要求。此外,从曝光量的估算公式

$$T = \frac{sa}{P} \times 10^{-7} \text{ 秒}$$

来看,如果照明光斑面积 $a = 1\text{cm}^2$; 胶片灵敏度 $s = 0.01$ 尔格/ cm^2 , 则只要激光功率 $P > 2\text{mW}$ 就能获得正常曝光。在此未计及光路中其它元件引起的损耗。

以下就是用上述装置获得的部分实验结果。

图 4 是频闪 He-Ne 激光高速干涉摄影装置, 左边是双镜干涉仪, 中间是频闪干涉光源, 右边是转鼓相机。

图 5 是 CO_2 激光照射靶材时的试验方块图。

图 6 是两组高速干涉摄影照片。摄影频率为 800 幅/秒和 1400 幅/秒, 每幅曝光时间分别为 7.9 和 3.6 μs , 只用了 1.5mW 的 He-Ne 激光器。用 5 毫瓦的激光器已作到摄影频率 4000 幅/秒, 曝光时间 1 微秒的频闪阴影摄影。图 6 a 是冷气流过热体的干涉照片。图 6 b 可看出相机快门叶片打开的过程。从数十幅摄影底片上, 可以容易地测出研究对象的运动速度和姿态变化, 特别是对象周围流场中密度随时间的变化。

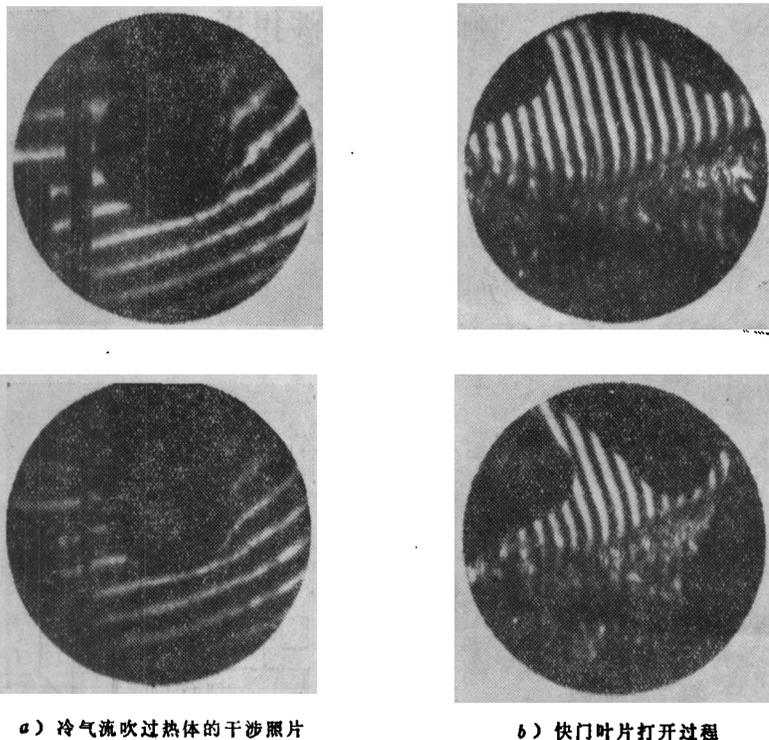


图 6

五、结 论

上述频闪激光源是一种新形式运转的 He-Ne 激光源, 小巧而便于推广使用, 是一种多用途激光源。

国外已有 50kHz 振子, 输出光频率可达 100kHz[5], 这在高速摄影领域中无疑是很有价值的。

目前国内用于流场显示测量的干涉光源及干涉仪已有商品, 装上振子即可作频闪光源, 并已配合国产 505 型及 640 型纹影仪做了风洞中的频闪阴影试验。

参 考 文 献

- [1] Hsia Sheng-jie, Wang Chung-kui, Fu Yu-shou & Wu Bao-gen, Proceedings of International Conference on Laser, Beijing, (1980)
- [2] G. V. Sklizkov, Translation Series, AEC-tr-7166, U. S. ATOMIC ENERGY COMMISSION
- [3] W. G. Hyzer, Engineering and Scientific High Speed Photography, New York, (1962)
- [4] A. S. Dubovik, Photographic Recording of Rapid Processes, (1964)
- [5] Stan Reich, Proceedings of SPIE 84, Laser Scanning Components and Techniques, San Diego, (1976)

He-Ne Laser Stroboscopic High Speed Interferography

Hsia, Sheng-jie

(Institute of Mechanics Chinese Academia Sinica)

ABSTRACT: A cw He-Ne laser is modulated by an optical vibrator to form the He-Ne laser stroboscopic light source for stroboscopic high speed interferography in cooperation with a rotating drum camera, its framing rate can reach to 20000 pps., and to form a time-controllable single pulse light source for ultra-high-speed interferography in cooperation with a rotating mirror ultra-high-speed camera.