

PIV 测速中实时可调同步脉冲光照系统的设计与应用

施 业¹,徐光衍²,顾定安²

(1.河海大学期刊部,江苏 南京 210098;2.河海大学理学院,江苏 南京 210098)

摘要 根据 PIV 测速系统的需要,设计与 CCD 摄像机和半导体激光器同步的实时可调脉冲发生器,结合一体化微光摄像技术,成功地实现了对流场的单帧多次曝光,有效地解决了流动图像获取技术中的光源问题.通过对实际流场的摄取,说明了本文方法的实际意义.

关键词 PIV 测速 同步脉冲光照 流动图像

中图分类号 O43 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2002)01-0054-04

PIV 测速技术是随着现代光电子技术、电子计算机、数字信号和图像处理等科学技术飞速发展以及空气动力学和流体力学等学科流速场的测试需要应运而生的一种新型测速技术,它有效地克服了以往单点测速技术的局限性,实现了对流场的瞬态、全场、定量的测量.经过近 10 年的发展,二维 PIV 测速技术已获得了人们广泛的认可,并逐渐成为研究各种复杂流场的一种基本手段.

PIV 测速是通过对流场两次曝光图像粒子信息的相关分析来获得流速场分布的,因而如何获得一幅理想的流动图像往往是问题的关键,流场的光照和记录系统亦成为该技术值得研究的一个方面,而现有的光照和记录系统普遍有以下特点:(a)若采用连续光源照射流场,用 CCD 摄像机摄取流动图像.运用奇、偶场特性对粒子图像进行处理,最短仅能获取间隔为 $1/50\text{ s}$ 的相邻两幅流动图像^[1],当用以测量高速、复杂流场时,将给粒子图像的识别和匹配带来一定的困难,因此有必要采用脉冲光照.(b)用于产生脉冲光照的装置(如码盘、扫描光屏等)大多为机械结构^①,对工艺要求较高,可操作性和精度都不够理想,难以与 CCD 摄像机同步,且由于普通 CCD 摄像机对光源照度要求较高,必须配以大功率激光光源,无疑使测速系统的成本有所提高,使该技术在实用性方面受到一定的限制.

针对以上问题,本文设计了实时可调数字同步脉冲发生器,在原有工作^[2]的基础上,改变了对激光器的调制方式,以及脉冲信号参数的写入方式,利用与 CCD 同步的脉冲信号控制半导体激光器,同时为解决低功率光照引入了微光像增强器,从而实现了低功率光源、CCD 摄像机及计算机同步的图像采集系统.

1 脉冲光照系统的设计

脉冲光照系统的核心是数字可调同步脉冲发生器,它的硬件主要由同步分离器、计数器、RAM、缓冲器、触发器、数据输入口等几个部分组成,如图 1 所示.

CCD 摄像机在外加时钟脉冲的驱动下具有自扫描功能,能把接收到的图像信息以 PAL 制式的全电视信号输出,本系统利用了 CCD 视频信号的特点,同步分离器从 CCD 视频信号中分离出行同步信号和奇偶场同步信号,计数器从每一帧图像的第一个行同步脉冲开始计数,计数器在计数过程中,对 RAM 进行选址,并将 RAM 数据线上的内容以脉冲的形式输出,RAM 中的脉冲数据可通过软件实时写入.一帧图像采样结束后,奇偶场同步信号的上升沿使触发器翻转,向计数器输出一个帧同步信号,使计数器复位,并转入对下一帧图像信号的计数过程,这样就把一连续的视频信号转化为与 CCD 图像采集过程同步的脉冲信号.

RAM 中的脉冲数据可通过计算机的打印机接口,由软件向可调数字脉冲同步发生器实时写入,根据实验的要求,输入相应的参数,获得需要的脉冲形式.图 2 为数字可调同步脉冲发生器的软件流程.

将同步脉冲发生器输出的脉冲信号作为开关信号对低功率半导体激光器(100 mW)进行内调制,改变了

收稿日期 2000-12-23

作者简介 施业(1967—),女,上海人,工程师,硕士,光学量测技术专业,现主要从事科技期刊编辑工作.

①盛森芝,许宏庆,徐月亭.新型流动测量仪器评价.第五届全国实验流体力学学会会议论文集,1995.

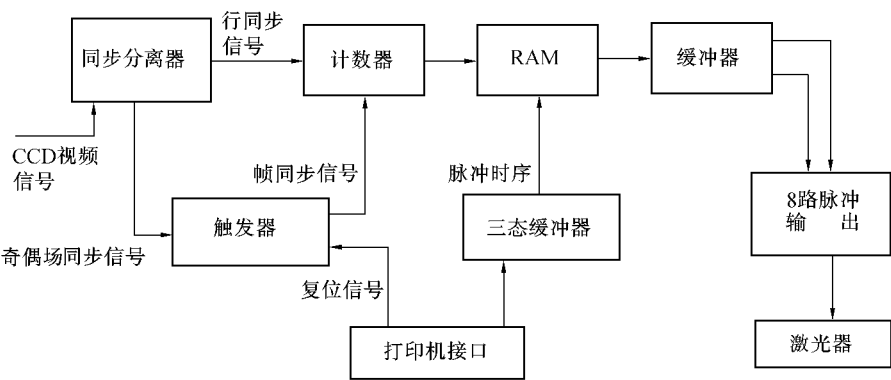


图 1 硬件结构

Fig.1 Hardware structure

文献[2]中对激光器进行外调制的工作方式,在简化光照系统的同时,避免了对激光光源进行声光调制时,经等效‘相位光栅’衍射所造成的光源能量损失.调制后的光束经柱面镜扩束即形成了可以对流场进行间歇式光照的数字可调同步脉冲片光源,亦形成了光源、CCD 摄像机、脉冲发生器及计算机等四位一体的实时数字同步脉冲光照系统.

2 一体化微光 CCD 记录系统

如前所述,本实验采用低功率激光器作为光源,并将光源扩束成片光源,以及仅需对流场进行短时间(毫秒数量级)曝光,对于大面积的流速场测量难免存在光源照度不足的问题,这不但会影响流动图像的清晰度,有时甚至使粒子图像无法摄取,为此本系统采用微光像增强技术来解决这一问题.

微光像增强器是为了适应夜间微弱光照条件而发展起来的一种真空光电器件,由于输入照度低、背景差,使用时往往追求高增益(>10 000),由此产生的输出信号没有足够的分辨力和对比度,且叠加有明显的图像噪音.而本文采用小功率激光器照射流场,其背景照度在 0.1 Lx 以上,仅须选用增益相对较低(3 000 倍)的微光像增强器即可达到普通 CCD 摄像机的要求,使流动图像的信噪比得到明显的改善,亦可避免高增益带来的背景噪音.本文将微光像增强器与 CCD 摄像机以镜头耦合的方式构成了可以在微光下工作的一体化微光摄像机.低增益微光像增强器的引入,可以避免采用大功率的激光器,因而使测速成本大大降低.

3 应用实例

为检验同步脉冲光照系统,笔者对水槽中明渠流场进行了拍摄.模型长 2.5 m,宽 0.4 m,边壁用 0.6 cm 厚的透明有机玻璃制作,两端设置槽口,下方设置一水泵以形成水循环,水面高度和流速可通过阀门开度和平水设施进行调节,在槽中设置一直径为 2 cm 的圆柱形障碍物以形成圆柱绕流流场.实验装置如图 3 所示.

实验时,示踪粒子选用了跟随性良好的白色小塑料球,其参数如表 1 所示.

本系统采用的 CCD 摄像机为韩国产 TP801 型工业摄像机,微光像增强器为国产 1450 型低增益二代近贴式微光像增强器,其技术指标如表 2 所示,两者结合成为一体化微光 CCD.

系统的图像卡是基于 PCI 总线的图像采集卡,它能实时传送数字视频信号到系统存储器,并可通过软件实现单场(奇、偶场),单帧,连续场,连续帧,间隔场、帧等多种方式的流动图像采集.

试验在固定水深下进行,在水槽中释放示踪粒子,采用与 CCD 同步的脉冲片光源照射流场某一测速断面,在与片光源垂直的方向上设置了一体化微光 CCD 以获取该断面的流动图像.在计算机图像采集程序的控制下,CCD 摄像机的图像信号经图像卡亮度、对比度调节和噪声抑制等,送入 A/D 转换器成为数字图像,

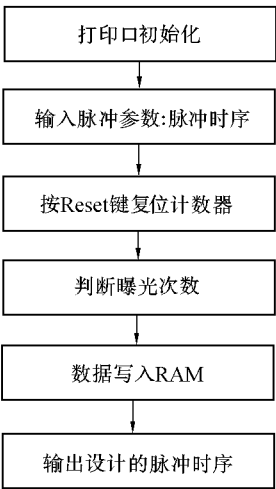


图 2 同步脉冲发生器软件设计流程

Fig.2 Flow chart of software design for synchronous pulse generator

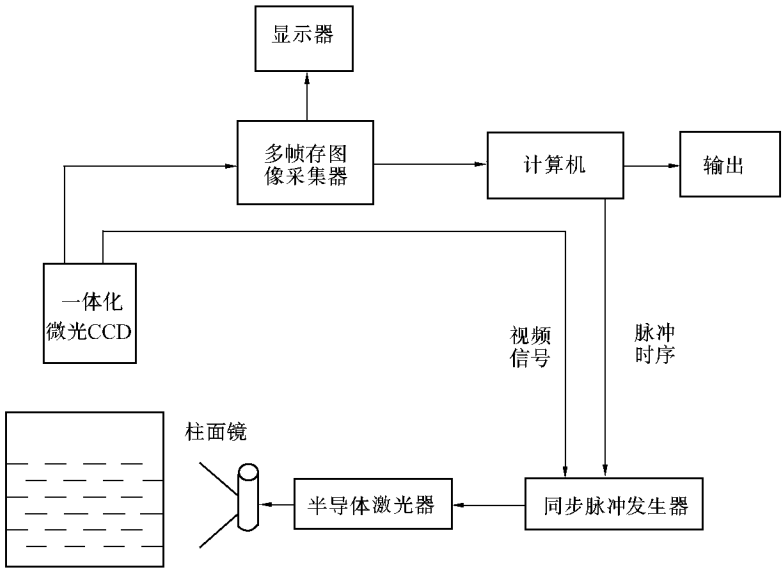


图 3 实验装置

Fig.3 Schematic diagram of experiment installation

表 1 示踪粒子特征参数

Table 1 Characteristic parameters of tracer particles

粒子材料	密度 ρ_p /($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	粒径 d_p / μm	光学性能	沉降速度 u_p /($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$)	响应时间 t / μs
塑料小球	1.02	100	良好	约 0.1	约 5.3

表 2 微光像增强器技术指标

Table 2 Technical indexes of low light intensifier

亮度增益	成像面积 / mm^2	暗背景照度 / μLx	阴极灵敏度 /($\mu\text{A}\cdot\text{流明}^{-1}$)	分辨率 /(线 $\cdot\text{mm}^{-1}$)	信噪比
3 000	18×18	0.2	300	32	4.5

进入图像板帧存,帧存中的数字图像通过查找表送往 D/A 转换器,变成模拟信号,与时序发生器产生的同步信号合成为视频信号,在监视器上实时显示,同时时序发生器产生的电视时序亦用于同步 CCD 摄像机,从而实现了流动图像的实时同步采集.

图 4(a)为由同步脉冲发生器输出的对流场进行单帧 4 次曝光的脉冲时序,图 4(b)为在该脉冲片光照射下跨场记录的粒子图像,图中清晰显示出每个粒子的 4 个像点(分别对奇、偶场进行了两次曝光),由于脉冲时序赋予了每个粒子特定的信息,因此对粒子的预先编码将为后续粒子图像的识别提供便利.

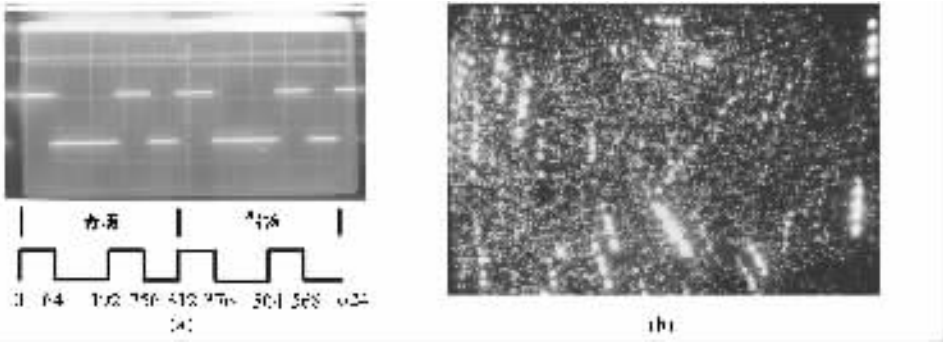


图 4 脉冲光照时序和流动图像

Fig.4 Time sequence of pulse illumination and flow image

4 结 论

- a. 本文是 PIV 测速中对脉冲光照系统的一种新的尝试,通过计算机软件控制计数器对 CCD 视频信号的行同步脉冲计数,产生了与 CCD 同步的脉冲时序.该脉冲时序通过软件实时可调,并利用该信号对激光光源实施内调制,有效地克服了以往脉冲光照系统结构复杂、通用性差、难以与摄像机同步等缺点,使脉冲光的产生更为简便易行,且精度有所提高.该系统在低功率激光光源照明的前提下,首次采用了一体化微光像增强技术,亦使测速系统的成本大为降低,从而使 PIV 测速技术具有更强的推广和使用价值.
- b. 由于视频信号中行同步脉冲的周期为 $64\mu\text{s}$,使脉冲光照的曝光时间和间隔均为 $64\mu\text{s}$ 的整数倍,即曝光间隔可减少到 10^{-2}ms 量级,为在高速复杂水流中获得单帧多次曝光的流动图像提供了一个极为有效的脉冲光照.
- c. 通过对 RAM 写入不等间距的脉冲时序,对流场进行不等间隔的多次曝光,给图像中的粒子赋予了特定的编码信息,有益于粒子像对的匹配.通过对粒子轨迹起始点、终止点编码信息的识别,亦可方便地判别出流速的方向.

参考文献：

[1] Xiong W,Hilgers S,Merzkirch W.A video-based PIV system with reduced time interval between exposes[J]. J of Flow Visualization and Image Processing,1995,2 343 ~ 350.
[2] 施业.流动图像测速若干技术问题的研究[D].南京 河海大学,1997.

Design of Adjustable, Synchronous Pulse Illumination System and Its Application to Particle Image Velocimetry

SHI Ye¹, XU Guang-yan², GU Ding-an²
(1. Department of Periodicals of Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;
2. College of Science, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract :Designed is a real-time, adjustable pulse generator synchronized with CCD camera and semiconductor laser. In combination with the integrated low light photographic technology, multi-exposure pictures of 2-D flow fields are obtained, effectively solving the illumination problem in Particle Image Velocimetry. Application shows that the method is of practical significance.

Key words :Particle Image Velocimetry ;synchronous pulse illumination ;flow image