

燃油喷雾内部构造可视化的激光 CT 技术(2) ——对柴油机喷雾的应用

王德忠 黄震 陈来高* 张连方 童澄教 庄天戈*
(上海交通大学动力机械工程系,* 仪器工程系,上海,200030)

摘要: 本文介绍了作者设计的燃油喷雾的激光 CT 测试系统,其中采用红宝石脉冲激光器作光源, CCD(Charge coupled device) 摄像机作探测器,并配置了 P540 数字图象处理系统。利用红宝石脉冲激光和 CCD 的特性,实时地将燃油喷雾采集到数字图象处理系统上。用 ART 对喷雾图象进行重建,成功地实现了燃油喷雾内部构造的三维可视化。

关键词: 喷雾可视化 激光 CT 数字图象处理系统 红宝石激光 喷雾图象重建

Visualization of internal structure of fuel spray using laser computed tomography technique(2) ——Applied to diesel spray

Wang Dezhong, Huang Zhen, Chen Laigao,
Zhang Lianfang, Tong Chengjiao, Zhuang Tiange
(Shanghai Jiaotong University, Shanghai, 200030)

Abstract: This paper presents LCT(Laser Computed Tomography) measurement system of diesel spray, which includes a pulse ruby laser as the light source, a CCD video camera as the detector and the P540 digital image processing system as image storage device. Using the characteristics of ruby laser and CCD video camera, the fuel spray images were grabbed by the digital image processing system in real time. ART was used to reconstruct the fuel spray images and the three dimensional visualization of internal structure of fuel spray was realized.

Key words: spray visualization laser computed tomography digital image processing system ruby laser spray image reconstruction

一、引 言

随着能源的大量消耗和环境保护要求的日益提高,充分、合理地利用能源、降低大气污染越来越受到世界各国的重视,目前已成为能源研究的重要课题之一。

柴油机在动力装置中占有相当大的比例,对其燃烧过程的研究具有重大的经济效益和社会效益。而柴油机的喷雾特性直接影响其燃烧过程,因此,喷雾特性的研究非常重要。多年来,人们曾采用液浸法、高速摄影法、激光全息、激光阴影等测试技术对柴油机喷雾的贯穿度、雾化锥角和粒径分布进行了研究^[1~4],取得了许多有价值的结果。但由于柴油机喷雾的瞬变性,测量起来十分困难,到目前为止这方面的研究还很不完善^[5],其中一个主要原因是缺乏良好的测试手段,因此,开发新的测试技术研究柴油机喷雾是柴油机研究和开发中的主要任务之一。为此,本文用激光 CT 测量柴油机喷雾,以实现喷雾内部构造的三维可视化,为进一步研

究柴油机喷雾特性提供一种测试技术。

二、测试系统

作者研制、开发的柴油机喷雾激光 CT 测试系统由三部分组成, 包括: 光学系统, 燃油单次喷射系统, 数字图象处理系统, 如图 1 所示。

1. 光路系统

光路系统由一台红宝石激光器、扩束准直透镜组、傅里叶变换透

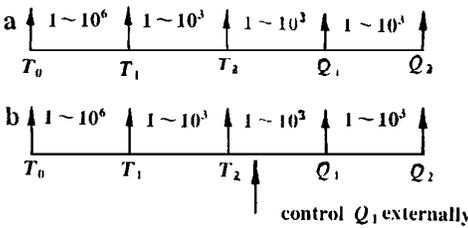


Fig. 2 Time sequence of the ruby laser

首先对储能电容充电, 储能电容提供氙灯的能量, 激光器被同步信号启动后按单指令运行或双指令运行方式工作, 其工作时序如图 2a 和 2b 所示。

从红宝石激光器发出的光经扩束、准直后形成光强均匀的平行光照射被测喷雾场。由于燃油喷雾的浓度在空间分布不同, 因而对入射平行光的衰减量也不同。在喷雾燃烧室的另一侧, 用一凸透镜将衰减后的平行光会聚, 在透镜焦点的后面用一 CCD 摄像机接收透射光信号。为滤掉由于散射产生的杂散光信号, 在会聚透镜的后焦点处要加一光阑, 从而保证 CCD 只探测透射光信号。红宝石激光的强度很高, 直接打在 CCD 靶面上会将其损坏, 所以在光路中要采用衰减技术对脉冲激光进行衰减。

红宝石激光器的触发方式分为内触发和外触发, 在柴油机喷雾的研究中通常采用外触发方式。

2. 单次喷射燃油装置

柴油机喷雾是一个周期性循环过程, 每次喷射持续时间只有几个毫秒, 因此测量柴油机喷雾时, 精确地探测燃油喷射的初始信号非常重要。为此本文采用切光方式。在垂直主光路的水平方向上, 用一 He-Ne 激光对准喷嘴的出口照射, 在喷嘴的另一侧用一光敏管接收激光, 燃油一开始喷射即切断此光信号, 光敏管同时产生一响应脉冲, 以此作为喷射燃油的初始信号启动同步装置工作, 如图 3 所示。

为避免燃油在燃烧室中喷射而污染测试环境, 作者还设计了一套单次喷射和同步控制装

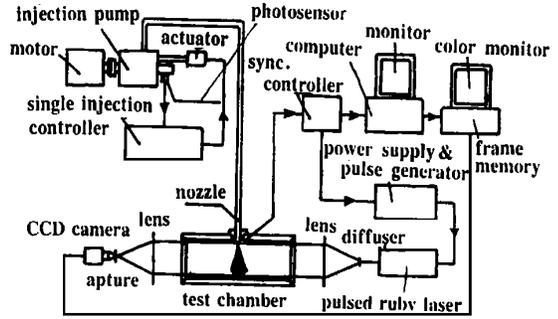


Fig. 1 The laser CT measurement system of diesel spray

镜和防震光学实验平台组成。系统中采用的光源是北京光电技术研究所生产的 JQ-700 型脉冲红宝石激光器。该激光器发出激光的脉宽为 30ns, 有放大级和振荡级。放大级和振荡级的氙灯触发及两次 Q 开关的时间均由电源控制, 电源依照电控系统按给定时序指令执行, 其工作过程是:

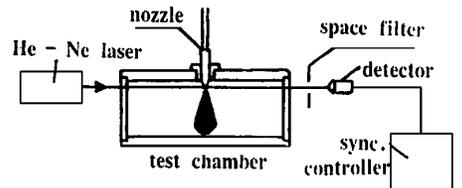


Fig. 3 Detecting the spray signal at the nozzle exit

置。主喷嘴和副喷嘴分别由一个三通阀和油泵连接,柴油泵启动时燃油从副喷嘴喷出,只有开始测量时副喷嘴关闭,燃油从主喷嘴喷射。

3. 数字图象处理系统

柴油机喷雾图象的采集和处理是在 P540 图象处理系统上进行的,该系统包括: PC 机、P540 图象板、彩色监视器、CCD 摄象机以及打印机等设备。其中 CCD 摄象机和图象板连接,主要用于探测喷雾对激光的衰减信号,通过不断对雾场扫描来实现图象的灰度量变化,结果可直接在监视器上显示。

图象板是该系统的关键部分,它通过不断对摄象机的靶面场扫描,来实现图象的灰度量与存储。图象板在工作时,可以通过内同步或外同步方式采集图象,即由自身或摄象机提供的同步信号对摄象机靶面扫描,经 A/D, D/A 转换将图象存储于图象卡的帧存中,并实时显示在监视器上,如图 4 所示。

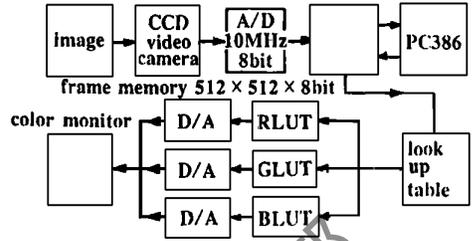


Fig. 4 Schematic diagram of the digital image processing system

P540 主要技术参数为:

图象采集速度: 25 帧/s

存储容量: $512 \times 512 \times 8\text{bit}$ 图象一帧

A/D, D/A 转换: 100MHz, 8bit

输出查找表: $3 \times 256 \times 8\text{bit}$

扫描制式: 625 行/50Hz 或 525 行/10Hz 同步方式: 内同步或外同步

为满足拍摄要求,我们在试验中采用外同步工作方式。

三、实际喷雾图象的重建

喷雾试验是在定容容器中进行的,测试对象为 135 柴油机喷嘴的喷雾,喷孔直径为 0.35mm,油泵的转速为 750r/min,环境为常温、常压。

为提高测试结果的精确性和可靠性,在试验中,每个角度下至少需拍摄 3 次,用 3 次测量结果的平均值做为该方向的投影数据^[6]。每隔 3° 旋转一次喷油嘴,共在 60 个方向拍摄 180 幅图象,以此做为重建喷雾图象的基本数据。

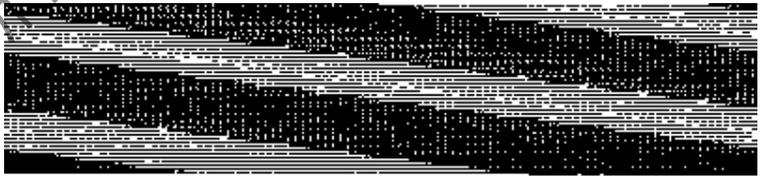


Fig. 5 The reconstructed cross sections of diesel spray

Fig. 6 The reconstructed vertical sections of diesel spray

本文报导的研究结果表明,对燃油喷雾图象用迭代技术进行重建比医学中常用的卷积反投影法重建结果好,综合考虑重建图象的质量和效率,本文采用 ART 对喷雾图象进行重建。图 5 表示喷射燃油开始后 0.9ms 时刻用计算机图象处理系统采集的柴油机喷雾图象以及重建出的离喷嘴不同距离喷雾的横断面图象。图 6 表示重建出燃油喷雾三个不同纵断面的图象。

由重建结果可以看出,燃油喷雾的密度随着与喷孔轴向距离的增加而减小,在喷雾中心轴

附近密度较大,随着径向距离的增加,密度逐渐减小。

四、结 论

1. 研究表明,综合考虑重建喷雾图象的质量和计算效率,采用ART对喷雾图象重建是正确的。

2. 激光CT技术具有非接触测量的特点,对被测雾场毫无干扰,可以实现喷雾内部构造的三维可视化。它不仅适用于轴对称雾场,而且也适用于非轴对称雾场的测量。

3. 该技术利用红宝石激光和CCD摄像机的特点,实时地将喷雾图象采集到数字图象处理系统上,突破了传统上只能将喷雾图象记录到感光底片上的限制,这不仅为柴油机喷雾的研究提供了一个强有力的测试手段,而且在工程研究的许多领域将会得到进一步的应用。

参 考 文 献

- 1 Tanasawa Y, Hiroyasu H. Technology Reports of the Tohoku University, 1962; 27(1): 67~ 89
- 2 Nishida K. SAE Paper, 1986: 861181
- 3 何万祥,李志雄,马士宁. 内燃机学报, 1984; 2(3): 215~ 230
- 4 黄震,张连方,李渤仲. 内燃机工程, 1991; 12(4): 58~ 63
- 5 史绍熙,苏万华. 内燃机学报, 1990; 8(2): 95~ 104
- 6 王德忠. 应用激光CT技术测量柴油机喷雾的研究. 上海交通大学博士学位论文, 1994

*

*

*

作者简介:王德忠,男,1962年10月出生,工学博士。现从事流场的激光和计算机图象处理测试技术研究。

收稿日期:1995-10-09 收到修改稿日期:1996-03-15



· 产品简讯 ·

紫外光电二极管

美国马萨诸塞州的波士顿电子公司推出一种紫外光电二极管,有效面积 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。光电探测器的快速响应时间快,带宽10MHz,有效波长为 $200\text{nm} \sim 380\text{nm}$,与硅探测器不同,碳化硅光电二极管很容易配用抑制吸收可见光的滤光片。

於祖兰 巩马理 供稿

激光安全防护罩

美国Kentek公司推出的激光安全防护罩给工业环保、从事医学和激光研究的人员提供对人眼安全的操作系统。该系统对大多数激光的波长和功率都适用。手持式或固定式的隔板,折叠式隔板、卷帘式屏障系统和可拆卸的窗口隔板,适用于各种规格和配置。该激光防护系统可防止直射和反射激光的幅射。

育明 巩马理 供稿