

# 纹影技术在直喷式柴油机燃烧 过程研究中的应用

叶 枫

(天津大学内燃机研究所)

## 提 要

本文叙述了作者所设计建立的高速纹影摄影光路系统,给出了利用该系统所拍摄的纹影照片,并通过照片简单分析了柴油机缸内的喷雾和燃烧过程。结果表明,纹影技术是研究发动机缸内空气运动和喷雾燃烧过程的有效手段。

关键词:纹影技术,燃烧过程。

## 一、前 言

纹影法是研究透明介质中密度不均匀场的有效手段,它被广泛用于研究气体流动、热对流、爆炸等现象。

六十年代末,纹影技术开始用作内燃机研究中,采用纹影技术使得直接观察分析内燃机缸内空气运动、燃油喷射、燃油空气混合以及燃烧火焰传播等过程成为可能。但由于在运用纹影法时,必须保证一定的光束通过燃烧室内空间(即被研究对象),以致给纹影法直接在内燃机上应用带来较大困难,所以此法通常多用于经特殊设计的、结构较简单的燃烧弹的燃烧研究之中,以其模拟实际发动机的工作状况<sup>[1,2]</sup>。

近几年来,国外开始将纹影技术应用于经过适当改装的实际发动机的燃烧研究中<sup>[3,4]</sup>,取得了较好结果。本文介绍了作者用纹影技术研究一实际的单缸直喷式柴油机燃烧过程的结果。

## 二、试验机与纹影光路

图1给出试验单缸机的结构和纹影光路图。

为实现在单缸机上进行纹影摄影,对该机结构作了部分修改,其一是加长了原机的缸套、活塞,同时在加长活塞上开一石英玻璃窗,如图所示。其二是对单缸机缸头部未做任何改动但在其底面镀制一平面反射镜,从而使试验单缸机的进气和燃油喷射状况与原机保持一致。

本试验所用的纹影光路与国外同类试验<sup>[3,4]</sup>的不同点在于:用两块球面反射镜替代通常

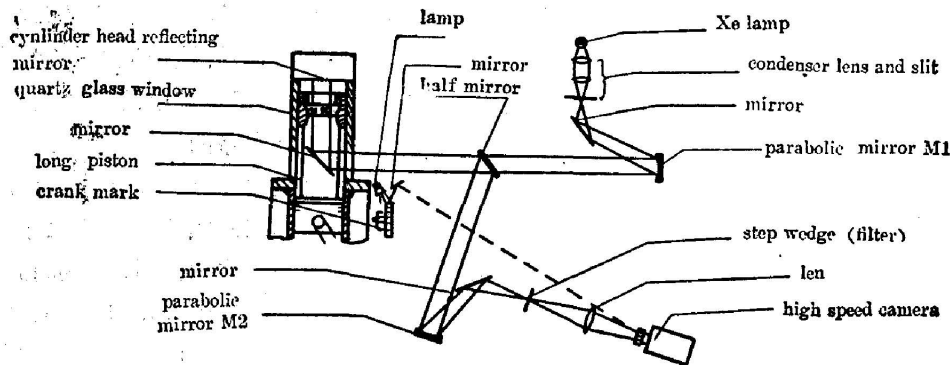


Fig. 1 Schematic layout of the Schlieren-film apparatus

采用的弗朗霍夫纹影透镜,这种设计思想除考虑到制作和购买大口径( $\phi \geq 60 \text{ mm}$ )制版透镜工艺复杂和价格昂贵,而制作球面反射镜通光口径可足以达到设计的要求且价格便宜外,还考虑球面反射镜本身具有消色差性,若对光路精细调整,还可使象散和慧差减到最小。

本光路用球型氙灯为光源。光束经聚光镜组,狭缝机构和球面反射镜( $M_1$ )后,产生平行光束。平行光束再经半透半反射镜、折转反射镜和石英窗,穿过燃烧室物场,最终由缸盖底平面反射镜原路返回。反射回的光束通过球面反射镜( $M_2$ )聚焦,再经一场镜,最后在高速摄影机底片上呈燃烧室物场实像。

在发动机工作时,由于燃烧室内剧烈的空气、燃油喷射和火焰的运动,使得穿过燃烧室的那部分光束部分被遮挡吸收,部分在透明密度梯度流体区发生偏折,偏折的光线在纹影刀口处被切割,最终在摄影底片上得到燃烧室内流场的纹影图像。

值得指出的是,本文建立的纹影系统,光束两次通过燃烧室物场即光线两次产生偏折,通常认为这会影响到照片的清晰度。这是纹影技术应用在实际发动机上的一个不可避免的问题,同时由于纹影光路环节多,势必也给像质和灵敏度带来不利。

纹影摄影系统各部件的型号和技术指标:光源为 XQ-500-1 型高压球氙灯,500 W,球面反射镜的  $\phi = 100 \text{ mm}$ ,  $f = 500 \text{ mm}$ ,平面内反射镜的尺寸:  $100 \times 62 \times 10 \text{ (mm)}$ ,  $N = 0.5$ ,场镜的  $\phi = 50 \text{ mm}$ ,  $f = 150 \text{ mm}$ ,半透半反射镜的  $\phi = 100 \text{ mm}$ ,  $\delta = 12 \text{ mm}$ ,  $N = 0.5$ ,石英玻璃窗的材料为 TGS(远红外),  $N = 0.5$ ,缸盖底平面反射镜的材料为铜合金-硬铬,用研磨、抛光加工,高速摄影机系民主德国产的 Pentazet 35 型,聚光镜组、狭缝机构和刀口机构采用 640-A 纹影仪原机构。

国产高压球型氙灯具有色温高、发光面积小等优点,是较理想的点光源,尤其应用在高速摄影的纹影系统中。本试验采用 CFFHC-100/30 型直流电源为氙灯电源,该电源波纹系数小( $\leq 3\%$ ),工作可靠,保证了氙灯工作稳定,照明均匀的要求。

用 TGS 远红外石英玻璃作为燃烧室玻璃窗材料基本满足了耐高温、高压和抗温度激变等一系列要求。但在试验前期,试验单缸机的高速运转和燃烧冲击高压的作用使得石英玻璃多次发生炸碎现象,经应力仪测定发现石英窗与金属环接触周边存在严重接触应力区,故断定是由于接触机械应力造成石英玻璃破碎。经过特殊加工、配研石英与金属环接触面,使得石英窗在工作中完好无损。

对汽缸盖底面铸铁基体上采取铜锡合金-硬铬镀层工艺进行研磨、抛光制作底面反射镜

属于一种新尝试。实际试验结果表明：镀层金属反射镜具有很好的抗氧化、抗高温性，经过

多次的运转，镜面完好无损，光亮如镜，满足了本试验的摄影要求。

对光路的调整使得燃烧室在底片上呈约  $\phi 5 \sim 6 \text{ mm}$  的实像，这样便在标准画幅 135 底片上布置 3 张实像。正式拍摄时，将镜轮速度定为 2000 fram/sec，则名义摄影频率为 6000 fram/sec，这样的分幅频率足以对燃烧过程分析研究。

光路的另一支是将飞轮角标同时在底片上成像，形成拍摄照片与角标的一一对应。参见图 1。

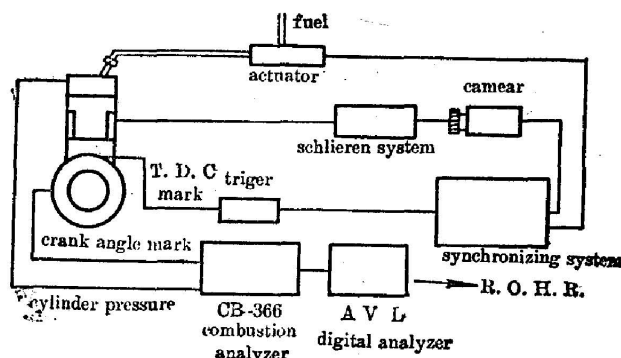


Fig. 2 Schematic diagram of synchronizing device for high speed photography and combustion data analyzing system

为定量分析燃烧过程，高速摄影同时记录缸内压力信号，以计算燃烧放热率。记录仪是 CB-366 型燃烧分析仪。高速摄影机的启动、离合、记录仪的触发等动作按照预定的程序由同步控制系统完成。见图 2。

### 三、拍摄结果与数据分析喷油压力和空气涡流

喷油压力和空气涡流对燃烧过程影响起重要作用。

图 3 是在一个给定喷油压力下，无涡流和强涡流情况下的纹影照片。图中清楚展现涡流空气运动，油束扩展、燃油空气混合以及火焰传播等过程。

从拍摄到的纹影照片上可清楚地看到，在有空气涡流作用下，油束被吹拂偏转，形成一明显的扇形状，而在无涡流情况下，则无上述情况发生。

涡流对油束的吹散作用大大改善了油气混合速率，扩展的油气混合空间，以致使随后的燃烧火焰传播迅速，整个火团随旋流一起旋转，充分利用了燃烧室内的空气，而无涡流作用下的燃烧状况与前者相反，显然燃烧状况恶劣，空气利用率低。参见图 3。

通过对纹影照片的信息数据处理，我们得到油束的贯穿距离，油束扩展锥角和扩展面积与时间的关系，从而研究油束的运动特性、油束碰壁飞溅以及其对燃烧过程的影响。

图 4 给出涡流对油束扩展面积的影响。

### 四、结束语

试验结果表明，用作实际柴油机燃烧工作过程研究的高速纹影光学系统的设计合理，是深入研究发动机燃烧过程的一种手段。

拍摄的纹影照片清晰、真实再现了燃烧室内空气运动和油束发展以及油气混合气形成过程，为柴油机燃烧研究提供一些资料。

光路复杂，环节多以及光束两次通过研究物场给纹影系统的灵敏度，图像质量带来不利

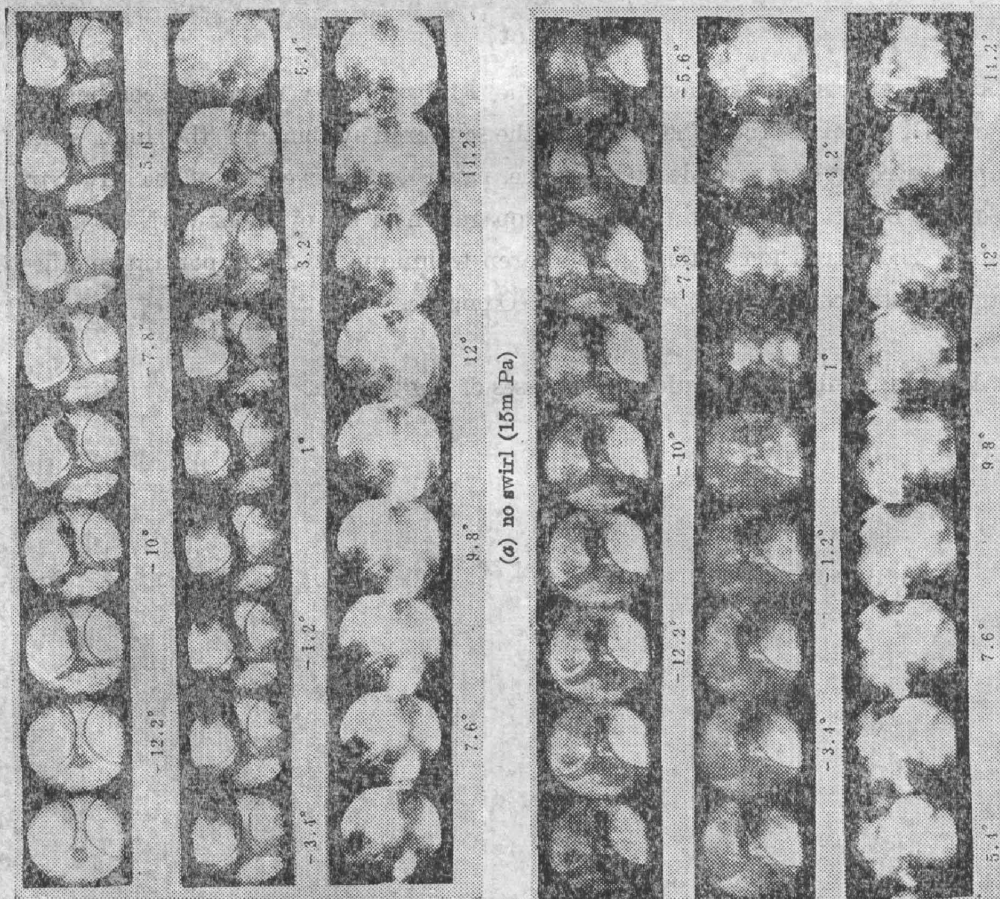


Fig. 3 Photographs of the high speed photography of the engine under typical working conditions

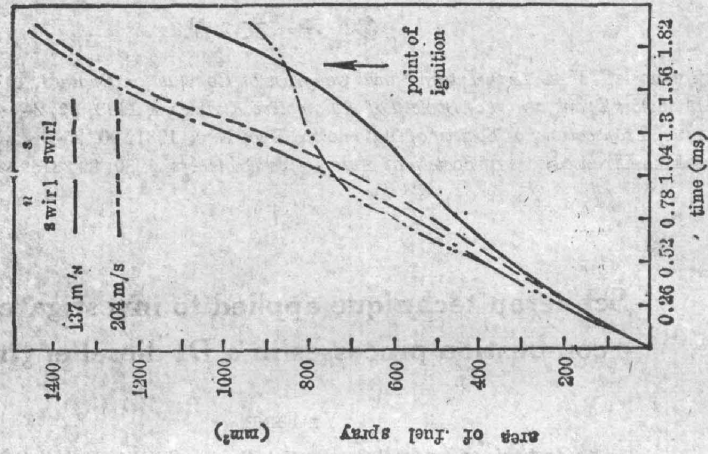


Fig. 4 Effects of injection pressure and air swirl intensity on the area of the fuel spray

影响,故本试验所得纹影照片与理想的纹影照片质量有一定差距。一般来讲,纹影照片还只限于对研究物场的定性分析。

### 参 考 文 献

- [1] H. Fujimoto; *CIMAC 12 th International Congress on Combustion Engines*, 1977.
- [2] Shin Matsuka; *Transcations of Society of Automotive Engineers*, 1983, **92**, 249~264.
- [3] K. Bender; *Transcations of Society of Automotive Engineers*, 1981, **90**, 2540~2555.
- [4] H. Masakiko; *Transcations of Society of Automotive Engineers*, 1980, **89**, 3139~3152.

## Schlieren technique applied to investigate the combustion processes in a DI diesel engine

YE FENG

(*Institute of Internal Combustion Engine, Tianjin University*)

(Received 3 September 1986; revised 29 December 1986)

### Abstract

The paper reports the schlieren technique apply in investigating combustion processes in a DI diesel engine. The design of the schlieren system and the high speed photo-graph control system are described. The paper analyses effects of the air swirl intensity on the injection fuel and the flame propagation in the cylinder with the aid of photo-graphs. The conclusion is that the schlieren technique is an important method for investigating the combustion processes in I.C engines.

**Key Words:** Schlieren technique; Processes of combustion.