

# 氢氧混合物爆燃转变为爆轰的时间测量\*

丁玉珍\*\* 胡 栋\*\*\* 王翠莲\*\* 李招宁\*\*\*

(\*\* 西南流体物理研究所)

(\*\*\* 成都科技大学应用物理研究所)

**摘要** 本文用自制的红外探测仪, 测量了氢氧混合物在爆炸激波管中经电火花点火后, 由爆燃转变为爆轰 (DDT) 的时间。为研究可燃物的爆炸特性提供了一种简易的测量方法。

**关键词** 爆燃 爆轰 光敏器件

## 1. 前言

氢氧混合物爆燃转变为爆轰的研究方法有多种<sup>[1]</sup>, 本文给出一种用红外探测仪测量氢氧混合物 DDT 时间的新方法。

一般地说, 当可燃性气体混合物点火后, 通常不立即爆轰, 必须在火焰之前出现冲击波后, 才能从燃烧转变为爆轰 (DDT)。当冲击波与反应波耦合时, 则爆燃波能逐渐发展为爆轰波, 即可实现爆燃到爆轰的转变<sup>[2]</sup>。爆轰过程中物质发生化学变化的速率, 比在燃烧火焰中的大 $10^3 \sim 10^6$ 倍<sup>[3]</sup>。我们根据爆燃和爆轰过程伴随的发光过程中光强的差别, 利用光敏器件, 进行 DDT 时间的测量。

## 2. 实验装置及工作原理

实验是在长4.3 m, 内径0.1 m的钢制柱形爆炸激波管中进行的。实验装置如图1所示。

把在预混容器中以化学当量配比好的氢氧混合物, 按实验要求的初始压力 ( $p_0$ ) 输入爆炸激波管, 用电容器短路放电的电火花引引爆。在激波管终端装上直径为1 mm的光纤。光纤另一端垂直放置于探测仪的红外接收管前面。探测仪输出端与示波器相连。

红外探测仪线路示于图2, CMOS 集成电路具有耗电省、抗干扰性能强、输入阻抗高等

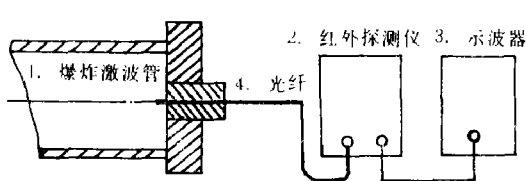


图1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

1. Explosion shock tube 2. Infrared detector  
3. Oscilloscope 4. Optical fibre

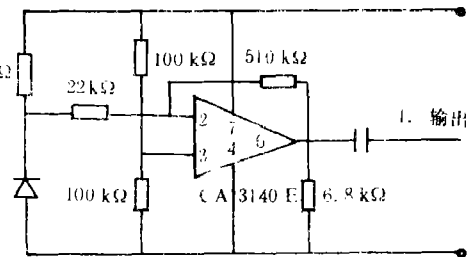


图2 红外探测仪线路

Fig. 2 Infrared detector circuit

1. Output

\*中国工程物理研究院科学基金资助项目。

1989年12月11日收到原稿, 1990年5月21日收到修改稿

优点。CA3140 E 又是一种高增益、内频率补偿、内偏置的功耗运算放大器。红外接收管 3 DU 把通过光纤接收到的光信号变成电信号(本线路将 3 DU 管作为光敏二极管使用,可缩短延迟时间到  $2 \times 10^{-6}$  s 左右<sup>[4]</sup>),经运算放大器放大后,加到示波器予以显示。

### 3. 实验结果和分析

图 3 为示波器记录的测试波形。示波器灵敏度 0.5V/格,扫描速度 0.5 ms/格。信号中的第一个小脉冲是高压放电的电火花信号。根据气体爆轰形成机理的一般观点:由点火源形成的火焰加速,初始层流火焰逐渐发展为湍流火焰。湍流火焰形成,并加强导致了冲击波形成,最后发展为爆轰,这时出现了第二个阶段信号。由于我们所用点火电容器的电容为  $9.15 \mu\text{F}$ ,点火电压均在 kV 以上,点火能量较大,故我们认为点火开始即为爆燃。

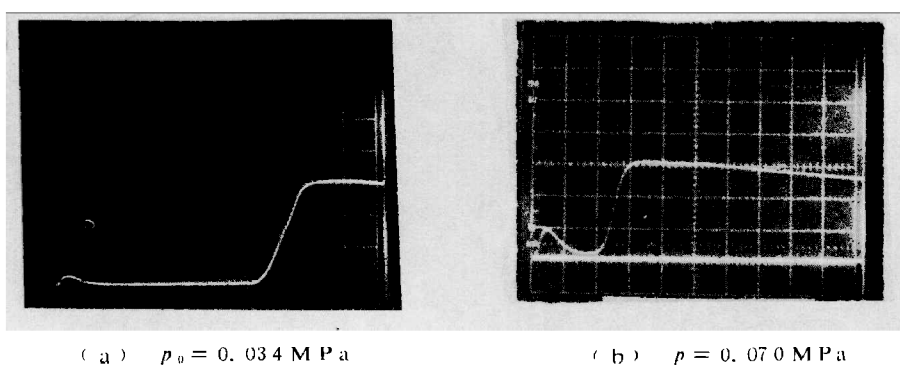


图3 测量波形图

Fig. 3 Oscillograms

#### 1. DDT 时间随 $p_0$ 的变化曲线

我们测量了氢氧混合物(为化学当量比)的 DDT 时间  $t$ ,其初始压力从 0.008 MPa 至 0.07 MPa,所得结果见表 1。

表1 不同初始压力下的 DDT 时间

Tabel 1 Deflagration-detonation transition time  $t$  at different initial pressures

$p_0/\text{MPa}$	0.008	0.010	0.020	0.028	0.034	0.035	0.035	0.045	0.045	0.055	0.070
$t/\text{ms}$	12.86	10.33	4.92	4.24	3.16	2.15	2.60	1.98	1.60	1.51	0.99

用最小二乘法拟合后,得到下述关系式

$$t = 0.05 p_0^{-1.16}$$

其中,  $t$  单位为 ms,  $p_0$  单位为 MPa。利用上式画得拟合曲线为图 4。

#### 2. 为验证所测信号的真实性的,还做了如下工作。

(1) 将光纤移至激波管侧壁,测得的示波图如图 5。示波器灵敏度: 0.5V/格,扫描速度 1 ms/格。

由于激波管轴线与光纤端面未处在同一水平位置上,受最大受光角的限制,只有当爆轰波阵面到达光纤端面处时,才会接收到光的辐射信号,故图 5 中仅显示出一个阶跃信号(即记录不到电容器短路放电的电火花信号)。

#### (2) 只测点火电火花波形

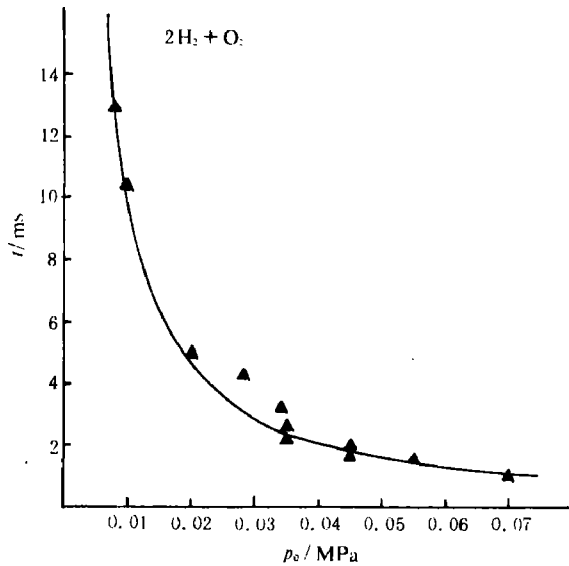
图4 DDT时间  $t$  随  $p_0$  的变化

Fig. 4 Deflagration-detonation transition

(DDT) time  $t$  vs initial pressure  $p_0$ 

在激波管内不充氢氧混合物, 而充空气。初始压力  $p_0 = 0.045$  MPa (光纤装在激波管终端)。高压点火后, 所测示波图如图6, 示波器灵敏度0.1V/格, 扫描速度0.5 ms/格, 测得的信号幅度为0.25 V。

图7为充有氢氧混合物, 初始压力亦为0.045 MPa的爆轰波形。示波器灵敏度0.5V/格, 扫描速度0.5 ms/格。测到点火源信号幅度为0.16 V。

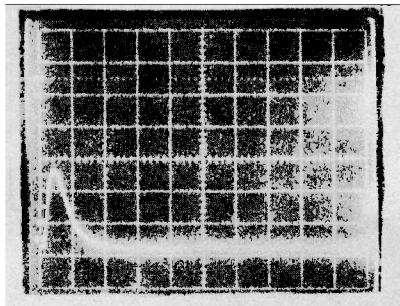
 $p_0 = 0.045$  MPa

图6

Fig. 6

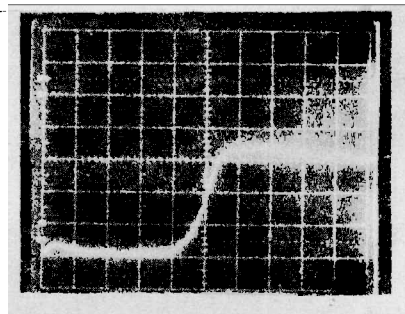
 $p_0 = 0.045$  MPa

图7

Fig. 7

### 3. 低初始压力下的波形信号分析

实验结果发现, 在  $p_0$  为0.008 MPa、0.010 MPa、0.020 MPa 三个实验点上, 虽然光纤均装在激波管终端端面处, 所得测试信号均无第一个小突起(电火花信号), 如图8所示。示波器灵敏度 (a) 0.5V/格, (b) 0.2V/格, 扫描速度 (a) 2 ms/格, (b) 5 ms/格。这是因为: 在本实验的初始压力范围内, 电火花隙两极间的点火电压随氢氧混合物的初始压力的降

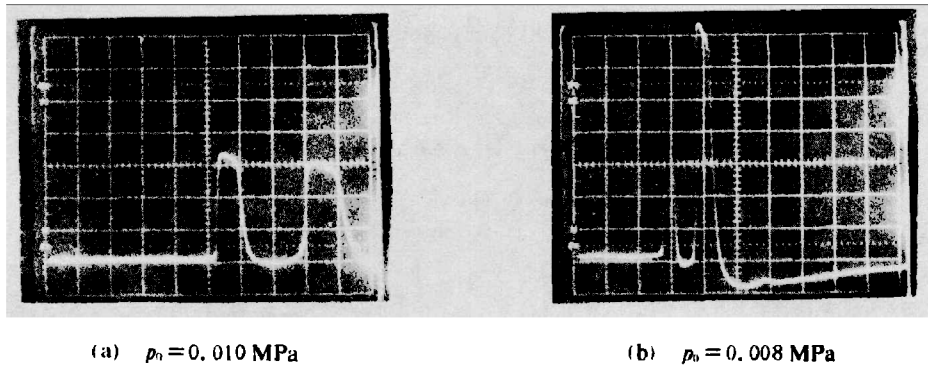


图8 低初始压力下测试信号  
Fig 8 Oscillogram for the experiment at lower initial pressure

低而下降，使引爆点火能量变小，从而使点火源的光强度明显变弱，以致不能使3DU管工作。只有当形成爆轰时，光强增大，才显示出信号阶跃。表2为火花隙点火电压随混合物初始压力  $p_0$  的变化数据。

表2 点火电压  $V$  随  $p_0$  的变化  
Table 2 The variation of firing voltage  $V$  with initial pressure  $p_0$

$p_0$ / MPa	0.020	0.027	0.040	0.053
$V$ / kV	5.5	6.0	7.2	9.0

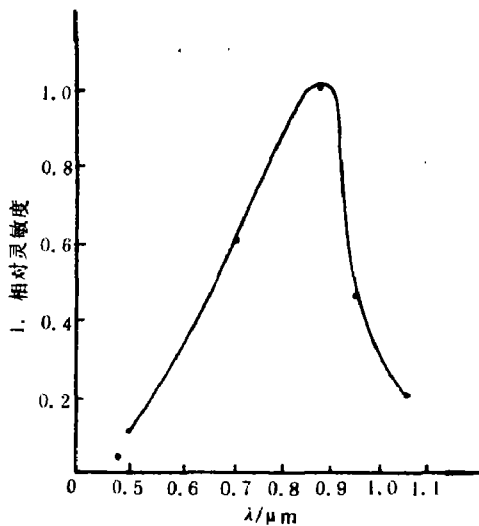


图9 3DU光敏管的波长灵敏度的相对变化  
Fig 9 The relative variation of 3DU photodiode with the wave length  
1. Relative sensitivity.

#### 4. 对爆轰波阵面的辐射光谱分析

由于冲击波阵面的辐射基本可看作黑体辐射<sup>[5]</sup>。根据维恩定律：绝对温度为  $T$  的黑体在波长  $\lambda_m$  处的光谱辐射度为最大值时， $\lambda_m$  与  $T$  的关系式为

$$\lambda_m = 2898 / T$$

取资料[6]的数据： $H_2 : O_2 = 2 : 1$ ， $p_0 = 0.053$  MPa， $T_{max}$  (实验值) = 4000 K，则有  $\lambda_m = 0.7245 \mu m T_{c1}$  (计算值) = 3538 K，则有  $\lambda_m = 0.8191 \mu m$ ，图9为文献[4]给出的3DU管的光谱响应范围，其最高灵敏度所对应的入射光波长为  $0.8800 \mu m$ 。可见， $0.7245 \mu m$ 、 $0.8191 \mu m$  均在3DU管的光谱响应范围之内。由此可认为：我们用3DU光敏管做成的红外探测仪所测到的光强跃变信号，是爆轰波阵面所致。

#### 4. 结论

综上所述，我们用红外探测仪在爆炸激

波管内成功地测量了 DDT 时间。由于用光纤做传输光路, 用光敏管做接收元件, 使得测量技术简便, 可靠, 且成本经济。为研究可燃混合物的爆炸特性增加了一种测量方法。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Abraham, H., et al. *Combustion and Flame* 49 (1983), 13.
- [ 2 ] 孙珠妹等, 高压物理学报, 3 ( 1 ) (1989), 82.
- [ 3 ] 薛鸿陆, 爆炸与冲击, 3 ( 1 ) (1983), 91.
- [ 4 ] 沈鸿根, 半导体敏感器件, (1985), 3, 43.
- [ 5 ] 谭显祥, 爆炸与冲击, 7 ( 1 ) (1987), 285.
- [ 6 ] Takao, T., et al. in Proceedings of the 13 th Symp (Inter) on Shock Tubes and Waves, ed. by Charles E. T et al. (State University of New York Press, Albany), (1982), 145.

## MEASUREMENTS OF THE TIME INTERVAL OF DEFLAGRATION TO DETONATION TRANSITION IN HYDROGEN AND OXYGEN MIXTURE

Ding Yuzhen\* Hu Dong\*\* Wang Chouliang\* Li Zhaoning\*\*

(\*Southwest Institute of Fluid Physics)

(\*\*Institute of Applied Physics, Chengdu University of Science and Technology)

**ABSTRACT** The mixture of hydrogen and oxygen was initiated in a shock tube by the controlled electric spark. The transition time from deflagration to detonation (DDT) was measured by means of the infrared detector. A simple method is proposed in this paper for measuring the explosion of combustibles.

**KEY WORDS** deflagration, detonation, photosensor.