

# 脉冲爆轰发动机外流场实验研究

喻江<sup>1,2</sup>, 王春<sup>1</sup>, 姜宗林<sup>1</sup>, 陈琪<sup>2</sup>

(1. 中国科学院力学研究所高温气体动力学国家重点实验室, 100190, 北京)

(2. 北京交通大学机械与电子控制工程学院, 100044, 北京)

**摘要:** 在脉冲爆轰发动机 (PDE) 的爆轰管内充满氢气-氧气的混合气体, 采用底部高能点火, 通过高速纹影照相技术研究 PDE 单次爆轰的外流场特点, 并分析在其出口爆轰波的纹影图像, 得出发动机外流场爆轰波传播及爆轰波解耦的过程。实验结果表明, 爆轰波的传播是化学反应和激波的强耦合, 爆轰排气过程伴随着爆轰波的衰减以及爆轰波中激波与燃烧化学反应的解耦现象。

**关键词:** 爆轰推进; 爆轰波; 纹影仪; 激波

## 一、引言

爆轰推进具有较高的推进效率以及适应较宽的飞行马赫数范围, 是吸气式推进技术的新研究方向之一。由于脉冲爆轰发动机结构简单, 具有较高的比冲和较高的推重比, 且具有低速自启动能力, 在高超声速推进及组合式推进中也引起了广泛的关注。本文采用纹影系统对 PDE 出口的爆轰波排气过程进行流动图像显示, 旨在得出爆轰管排气过程中爆轰波传播以及激波和燃烧化学反应相互解耦的变化过程。

## 二、实验装置与结果

### 2.1 实验装置及条件

实验采用了火箭模式的氢氧脉冲爆轰发动机模型, 试验装置如图 1 所示。氢气和氧气的充气压力都是 0.5MPa, 氢气/氧气当量比  $\Phi \approx 1.0$ , 氢氧气体充气时间  $T_2$  均为 100ms, 充气及点火的工作时序图如 2。点火器采用高能点火, 发动机出口处的环境为标准大气压, 实验纹影仪采用 Photron 高速摄影系统, 其中高速相机的参数设置是帧率为 10000fps, 分辨率为  $768 \times 512$ 。

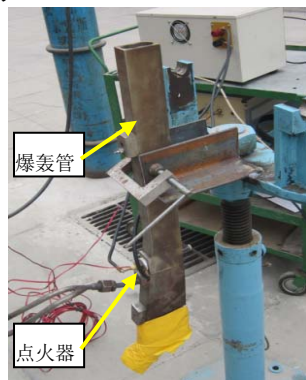


图 1 PDE 模型实物图

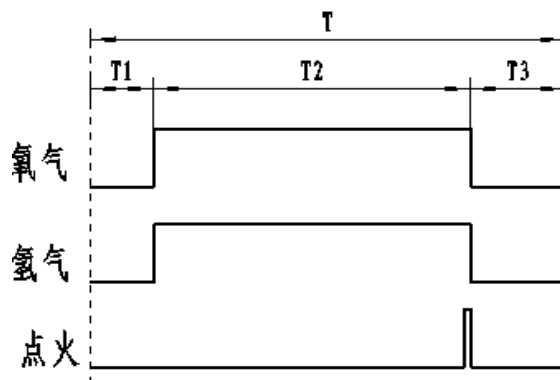


图 2 脉冲爆轰发动机工作时序图

## 2.2 实验图像与结果

图3为充气时间T2为100ms时,在发动机出口得出的流场随时间演化的历史过程,从图3.1到3.6每幅图时间间隔为0.1ms。实验结果显示了从混合气充入到爆轰波完全解耦的非定常过程的流动图像。

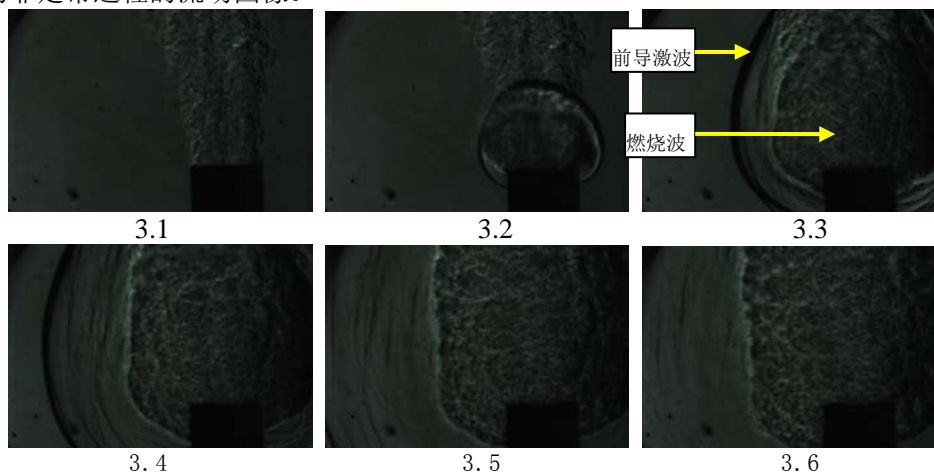


图3 PDE出口爆轰波的演变过程

## 2.3 实验图片分析

图3.1为爆轰波在爆轰管内部而氢氧混合气传播到爆轰管出口时的图像,外流场比较稳定;图3.2时,由于起始阶段爆轰管内的氢氧混合气体比较充足,爆轰波传播到爆轰管出口时爆轰波还比较强烈,在可燃混合气体区域未发生激波和燃烧的解耦;图3.3至图3.6可以看出,随着爆轰波在管外三维空间中传播并进入无可燃混合气体的空气区域,在展向方向上发生了激波与燃烧的解耦,爆轰波退化为空气介质中传播的激波和波后诱导的燃烧流场。冲击波在空气中逐步减弱。在流向方向上由于仍存在可燃混合气体,激波和燃烧解耦较慢,燃烧放热仍支撑前导激波的高速传播。在空气介质中,爆轰产生的激波很高的速度继续向四周传播,爆轰波的反应产物则以非常缓慢的速度传播。

## 三、结论

本文利用高速纹影照相技术得到脉冲爆轰发动机外流场爆轰波的传播过程,得出爆轰波减弱后的解耦过程,验证了爆轰波为化学反应和冲击波的强耦合,爆轰排气过程伴随着爆轰波中激波与燃烧化学反应的解耦等现象。研究表明利用纹影系统可以直接描述流场的变化,有助于对流场规律的理解和把握。

## 参 考 文 献

- 1 于陆军,范宝春,叶经方.多循环脉冲爆轰发动机外流场实验研究.南京理工大学瞬态物理实验室,1672-9897(2008)04-0001-04
- 2 李旭东.脉冲爆轰推进技术新概念研究.中国科学院研究生院博士学位论文,2011
- 3 王超,牟乾辉,赵伟,姜宗林.脉冲爆轰推进装置的实验研究与分析.第十一届全国激波与激波管学术讨论会文集.108-110,2001