

气相爆轰高速弹丸速度测量

王爱峰 赵伟 姜宗林

(中国科学院力学研究所高温气体动力学重点实验室, 北京, 100190)

摘要 本文介绍了气相爆轰的方式来推动弹丸高速运动的实验。利用已有一级轻气炮理论公式进行初步设计, 并通过近红外激光测量技术对高速弹丸的速度进行测量, 结果表明: 实际测量值与理论值相差4%左右, 符合设计要求。

关键词: 爆轰; 弹丸; 近红外激光, 速度

一、引言

为了研究高速弹丸在可燃气体产生的斜爆轰波结构^[1], 弹丸的模型和速度有一定的要求。本文首先利用轻气炮理论公式^[2]对弹丸进行初步设计, 最后以氢氧和乙炔氧气产生爆轰来推动弹丸, 从而产生高速运动, 利用两个近红外测速装置^[3]对弹丸速度进行测量, 并与设计值进行比对。

二、轻气炮速度理论推导

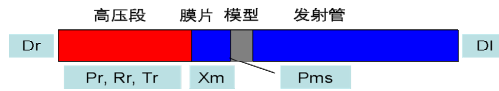


图1 一级轻气炮模型

可燃气体在燃烧室内产生高压气体, 膜片破裂, 模型在高压气体推动下, 在发射管内做高速运动。为了简化分析, 假定气体的膨胀过程是一维非定常等熵流动, 则模型底压 P_{ms} 与高压室气体初始压力 P_r 之比为:

$$\frac{P_{ms}}{P_r} = \left(1 - \frac{\gamma - 1}{2} \frac{u_m}{a_r} \right)^{\frac{2\gamma}{\gamma - 1}} \quad (1)$$

其中 u_m 为模型速度 (等于底部的气流速度), γ 和 a_r 分别为高压段气体的比热比和声速。由牛顿第二定律, 并进行积分, 最后得到:

$$u \left(1 - \frac{\gamma - 1}{2} \frac{u}{a_r} \right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}} - a_r \left(1 - \frac{\gamma - 1}{2} \frac{u}{a_r} \right)^{\frac{2}{\gamma - 1}} = \frac{P_r A_l}{m} X_m \frac{\gamma + 1}{2 a_r} - a_r \quad (2)$$

三 实验设备

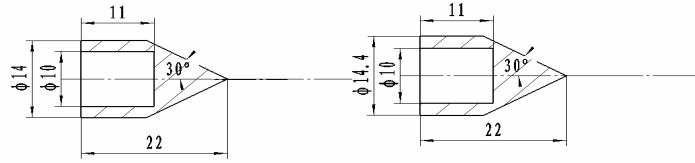


图2 弹丸模型

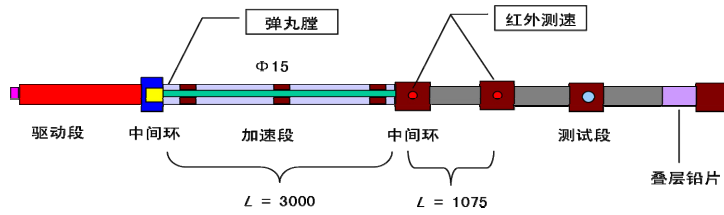


图3 弹丸速度测量实验设备

为了取得较高的弹丸速度并保证弹丸质量不超过 5 克的情况下，本文设计了两种弹丸，半锥角分别为 25 和 30 度，模型见图 2，端部掏空为了保证强度的基础上减轻质量。

实验设备如图 3 所示，驱动段采用的气体分别为当量比的氢氧和乙炔氧气，加速段直径为 15mm，加速段后为两个近红外测速装置，最后通过叠层铅片缓冲并接受弹丸。

四、实验结果

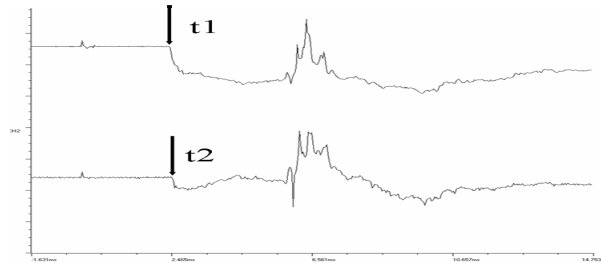


图4 红外输出曲线

图 4 显示的红外输出曲线，两个通道分别对应着近红外测速设备 1 和 2，通过公式 $u = L / (t_2 - t_1)$ 即可得到弹丸的速度。

弹丸的速度测试结果如表 1 所示，在不同压力爆轰气体状态下，弹丸速度已经能够达到 1401.9m/s，同时与理论速度进行比对，误差为 4%左右，符合之前的设计要求。

表 1. 弹丸速度测试结果

序号	弹丸直径 (mm)	半锥角 (°)	质量 (g)	爆轰气体参数 压力	理论速度 (m/s)	实验速度 (m/s)	误差
1	14	30	3.45	2C ₂ H ₂ +5O ₂ 0.5MPa	1291.1	1229.5	4.77%
2	14	30	3.45	2H ₂ +O ₂ 1.0MPa	1393.3	1339.3	3.88%
3	14.4	30	3.69	2C ₂ H ₂ +5O ₂ 0.75MPa	1463.7	1401.9	4.22%

五、结论

通过理论速度与实验速度比较，可以看出本文所设计的实验还是可靠的，并且在 0.75MPa 压力的当量比乙炔与氧气混合气体爆轰已经可以使弹丸能够达到 1401.9m/s 的速度，因此弹丸的速度还有上升的空间。

参 考 文 献

- 1 H.F.Lehr. Experiments in shock induced combustion [J]. *Astronautica Acta*, 1972; 17(4&5): 589~597
- 2 陈强. 激波管流动的理论和实验技术. 合肥: 中国科技大学出版社, 1979; 278~279
- 3 赵新艳, 胡志云, 赵军卫等. 二级氢气炮弹速激光测量系统. *红外与激光*, 2008; 37(1): 223~226