

# 爆轰驱动高焓激波膨胀管研究

武博 姜宗林 刘云峰 赵伟

(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)

**摘要:** 爆轰驱动高焓膨胀管是进行超高速、高焓流动模拟研究的有效试验平台。利用氢氧爆轰驱动激波管, 通过非定常膨胀加速试验气流, 使用电离探针和压电传感器测量, 获得了6-8km/s的试验气流, 其中试验气流的平稳时间在100-250 $\mu$ s之间。结果表明, 爆轰驱动高焓膨胀管具备超轨道速度的模拟能力, 可以提供满足超高速试验的高焓气流, 且试验气流状态具有良好的重复性及平稳的测试时间, 可用于超高速领域的气动研究。

**关键词:** 膨胀管, 爆轰驱动, 超高速流动, 高焓

## 一、引言

超高速飞行中( $u > 5\text{km/s}$ ), 激波后气体发生复杂的电离、热化学等反应, 为了准确研究这些问题, 模拟试验的气流速度、温度等参数须接近真实飞行状态, 地面开展试验的难度较大。爆轰驱动高焓膨胀管采用氢氧爆轰驱动激波管结合加速段, 利用非定常膨胀加速倍增原理, 获得超高速试验气流。与反射型激波风洞相比, 膨胀管具有更高的总焓和总压及更低的试验气体离解水平, 在超高速流气动试验领域具有明显的优势。

## 二、实验设备及方法

高焓膨胀管主要由爆轰驱动器(简称驱动段)、激波管段和膨胀加速段构成。爆轰驱动器为带扩容腔的新型正向爆轰驱动器, 由主爆轰段、扩容腔和附加爆轰段组成, 全长6m。主爆轰段的内径为105mm; 激波管的内径为68mm; 膨胀加速段是截面为60mm $\times$ 60mm的方管, 以上三段管分别用钢膜和涤纶膜分隔开。为了获得不同状态的流场参数(气流速度和有效试验时间), 激波管和膨胀加速段设计为长度可调。

激波马赫数和压力分别由安装在激波管段和膨胀段的5个电离探针和6个压电传感器来测量, 其结构布置如图1所示。

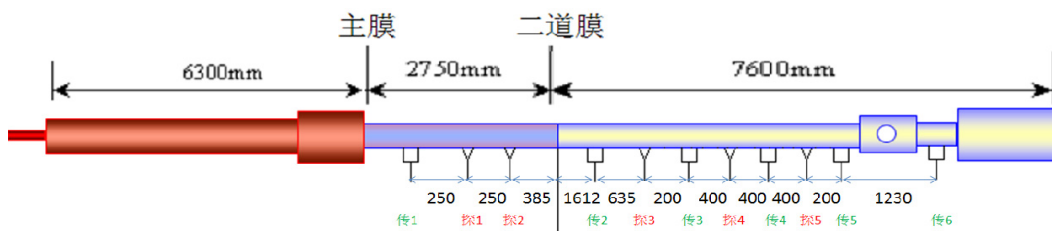


图1 压电传感器和电离探针位置示意图

爆轰驱动高焓膨胀管运行原理如图 2 所示。利用临界喷管控制充气比例，经过流量标定，将氢氧气体以 4:1 比例从同一截面相向充入。标定结果如图 3 所示。

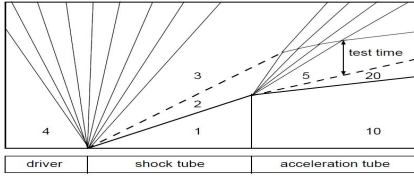


图 2 激波膨胀管运行示意图

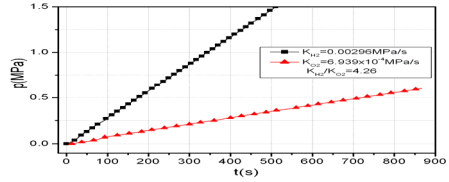


图 3 氢氧对充混合标定

### 三、 实验结果

表 1 不同状态下爆轰驱动高焓膨胀管的实验参数和实验结果

|            | 驱动段初始压力<br>(MPa) | 激波管初始压力<br>(mmHg) | 膨胀段初始压力<br>(mmHg) | 主膜片有效厚<br>度 (mm) | 二道膜片有效<br>厚度 (mm) | 最大激波速度<br>(km/s) | 气流平稳持<br>续时间 ( $\mu$ s) |
|------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------|
| 2011.08.04 | 1.0              | 20                | 0.3               | 0.35             | 0.115             | 7.02             | 100                     |
| 2011.08.18 | 1.5              | 30                | 0.2               | 0.72             | 0.025             | 7.92             | 200                     |
| 2011.08.23 | 1.5              | 30                | 0.1               | 0.72             | 0.025             | 8.12             | 100                     |
| 2011.11.10 | 1.5              | 100               | 0.3               | 0.3              | 0.025             | 6.13             | 220                     |
| 2011.11.12 | 1.5              | 50                | 0.25              | 0.3              | 0.025             | 5.60             | 250                     |

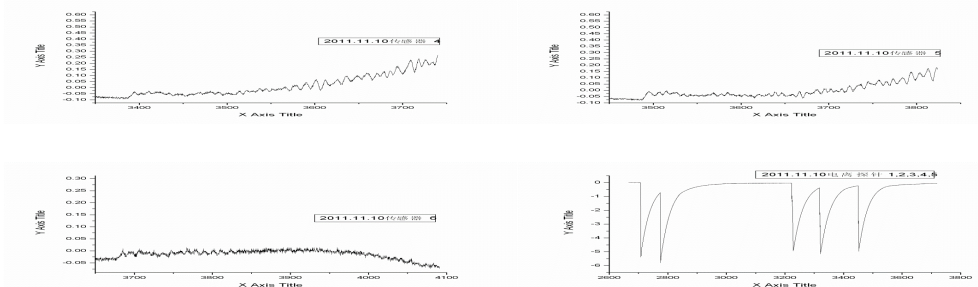


图 4 典型状态下部分压电传感器和电离探针信号

提高驱动段充气压力，提高膨胀段真空度以及选择更薄的二道膜片可以有效提高激波速度，适当提高激波管中试验气体压力可以有效提高平稳气流持续时间。爆轰驱动高焓膨胀管中压力曲线符合理论预测，试验段前后的压力曲线变化趋势说明试验段处于理论预测的最长试验时间段。电离探针信号可以计算出此状态的激波速度。

### 四、 结论

爆轰驱动高焓膨胀管可产生最高速度超过 8km/s 的试验气流，有效试验时间约 100-250 微秒，试验重复性良好，可以开展相关的超高速试验。可为超高速气动试验发挥独有的作用。