

# 袖珍台式标定激波管\*

曹重华 范良藻

(中国科学院力学研究所)

## 一、前言

本文所介绍的标定激波管,专用于压力传感器作动态性能标定。由标定激波管试验可以得到压力传感器的上升时间、过冲比、自振频率、阻尼比和动态灵敏度等参数。测压管道和二次仪表的动态参数,也可由标定激波管试验获得。

国内现有的一些标定激波管多数是7~8米长的大设备。最近我们研制了一台袖珍台式标定激波管,总长仅2米,具有占地小、投资少、用气省、操作方便和实验周期短等优点。

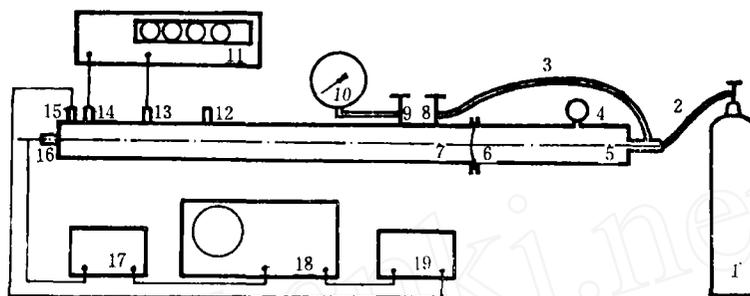
## 二、设备、性能及原理

激波管采用内径为 $\phi 24$ 毫米、壁厚8毫米的不锈钢管制成,高压段长0.5米、低压段长1.5米,管内壁光洁度约为 $\nabla 5$ 。

标定激波管主要技术参数如下:标定压力范围:1~100公斤/厘米<sup>2</sup>;"压力平台"时间:2.4毫秒(加接1米长的"加长段"可延长到7毫秒);"压力平台"不平度:小于2%;"动态灵敏度"标定误差:小于5%。

激波管的原理和技术已有专著[1]。图1给出了本设备的示意图。激波管实验是单次性过程,实验前低压段7一般为室温、常压,夹上隔膜6后,将压缩空气充入高压段5,充到一定压力后膜片6被冲破,高压空气骤然冲入低压段,迅速形成平面激波以超音速向前(图上向左)运动,为入射激波。沿管壁安装的测速传感器12、13、14、15与计时器配合记下入射激波到达各传感器的时差,如计时器计得激波到达13与14两点之间的时差为 $t$ ,则入射激波掠过13、14两点间的平均速度 $V = l / t$  ( $l$ 为两点间的距离)。入射激波被反射回来产生向右

\* 本文于1982年3月收到。



1—压缩空气瓶；2、3—高压软管（耐压150公斤/厘米<sup>2</sup>）；4—压力表（3.5级）；5—高压段；6—膜片；7—低压段；8、9—阀门；10—标准压力表（0.4级）；11—微秒计时器（如E323频率计）；12、13、14、15—压电式陶瓷压力传感器；16—待标压力传感器；17—二次仪表（如电荷放大器）；18—示波器；19—触发器。

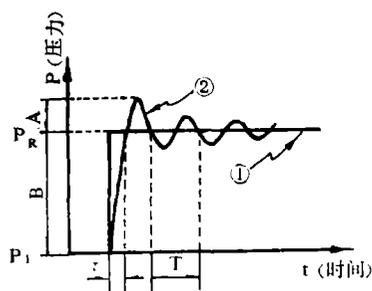
图1 标定激波管装置示意图

运动的反射激波，其压力为  $P_R$ ：

$$P_R = \frac{P_1}{6} (7M_s^2 - 1) \left( \frac{8M_s^2 - 2}{M_s^2 + 1} \right) \quad (1)$$

式中  $P_1$  为实验前低压室的压力， $M_s$  为入射激波的马赫数  $M_s = V/C$  ( $V$  为入射激波速度， $C$  为音速)。

待标定的压力传感器16被安装在激波管的尾端盖上。实验过程中，它所感受到的压力是从  $P_1$  到  $P_R$  的阶跃压力，见图2中的曲线①。这个阶跃压力  $P_R$  的上升时间  $\ll 1$  微秒，压力保持时间约几毫秒。从这个高、低频频率分量丰富的已知波形、已知幅值的阶跃压力，可以获得压力传感器的许多动态参数（见图2）。亦可得到传感器的整个频谱曲线[2]。



① 激波管的阶跃压力波形；② 被标定传感器的输出波形； $\tau$ —传感器的上升时间； $T$ —传感器的自振周期； $A/B$ —传感器的过冲比。

图2 压力传感器安装在激波管的尾端盖上所得到的激波压力波形

### 三、动态灵敏度的标定

标定激波管可以标定传感器的动态灵敏度。动态灵敏度标定的精度主要取决于激波速度测量的精度和激波速度的均匀程度。本激波管很细，“流阻”大，边界层效应较严重，然而管径细了，破膜时间短，激波形成距离也短，激波管可以改短，边界层效应就小些，激波速度的衰减可减小。也就是激波管的“短”补偿了“细”的不足，得到基本均匀的激波速度。本激波管激波速度实测的结果证明激波无明显衰减，下面括弧中前一个数据是传感器12与14测得的激波马赫数，后一个是同一次实验中传感器13与15所测得的马赫数：(1.110, 1.110)；

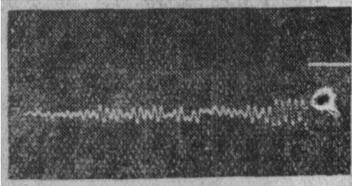
(1.205, 1.205); (1.305, 1.305); (1.340, 1.340); (1.410, 1.410); (1.515, 1.515);  
(1.525, 1.520); (1.685, 1.680); (1.725, 1.725); (1.845, 1.840); (1.980, 1.975)。

我们曾对一支 Kistler603 B 型压力传感器连续做了五次标定, 得到的动态灵敏度为 5.23~5.38 微微库仑/公斤力/厘米<sup>2</sup>, 与该传感器的出厂灵敏度 5.39 的最大偏差 < 3%。

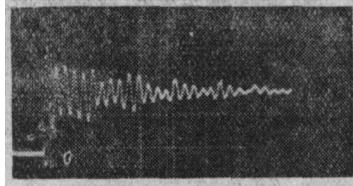
#### 四、阶跃压力波形的质量

图 2 中的曲线①是理想的阶跃曲线; 上升时间短, 平台部分平坦、无明显波动。管径细的激波管, 侧壁安装测速传感器对管内壁的平整度影响较大, 当激波经过这些传感器时, 会产生一些干扰波影响标定。我们自行设计的测速传感器的端面专门加工成  $\phi 24$  的圆柱面与激波管内壁完全吻合, 解决了这个问题。

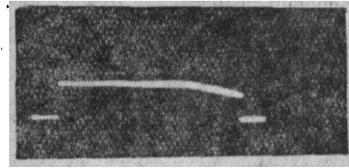
附照一、二、三给出了三种不同型号传感器的激波管波形。附照一的上升时间是 0.6 微秒, 自振频率 400kC 左右, 完全符合出厂证上的数据。Kistler7005 型传感器的自振频率是 45kC, 我们对它的激波压力波形作了 10kC 以上的高频滤波处理后, 就得到了如附照三的平台光滑的阶跃压力波形。国内研制了一种自振频率高达 1 MC 的压阻式传感器, 用标定激波管取得合理的波形, 进行了标定。



附照一: Kistler603 B 传感器  
采样速率 0.1 微秒/点



附照二 Kistler6031 传感器  
采样速度 0.2 微秒/点



附照三 Kistler7005 传感器  
(滤去 10kC 以上的高频)

#### 参 考 文 献

- [1] X. A. 拉赫马杜林, C. C. 谢苗诺夫编, 激波管, 上、中册, 魏中磊译, 国防工业出版社, (1965)
- [2] 火箭导弹技术, 8, (1963), 91