

# 声速法测定气体的比热比

王炳和

(西安武警技术学院物理室 西安·710086)

本文采用一种较简单的声速法得到了气体比热比的计算公式,并依此公式通过实验测定了常见气体的比热比 $\gamma$ 值。所得结果与理论值(准确值)吻合得很好,相对误差的平均值仅为0.64%。

## 1 引言

气体的比热比 $\gamma$ 定义为 $C_p/C_v$ ,它在热力学理论和工程技术的实际应用中起着重要的作用,例如热机的效率和声波在气体中的传播特性研究等,都与气体的比热比 $\gamma$ 有关。目前关于 $\gamma$ 值的测定基本上是采用热量学或力学的方法<sup>[1,2]</sup>。本文根据声波在气体中传播的声速公式、气体状态方程以及一种较简单的声速测量法,导出了气体 $\gamma$ 值的计算公式,并通过实验测定了几种常见气体的 $\gamma$ 值,实验结果与 $\gamma$ 值的理论值具有很好的一致性。

## 2 原理与实验

### 2.1 原理

声速的牛顿公式为

$$c = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}} \quad (1)$$

其中 $\rho$ 为声波传播媒质的质量密度, $P$ 为压力。声波在气体中传播时,压缩与膨胀过程的振幅很小而运动很快,可以认为是绝热过程<sup>[3]</sup>,而气体在绝热过程中遵从泊松方程

$$PV^\gamma = \text{const} \quad (2)$$

对(2)式求微分可得

$$\frac{dP}{d\rho} = \frac{\gamma P}{\rho} \quad (3)$$

将(3)式代入(1)式后平方得

$$c^2 = \frac{\gamma P}{\rho} \quad (4)$$

又由气体状态方程 $PV = \frac{M}{\mu} RT$ 得

$$\frac{P}{\rho} = \frac{RT}{\mu} \quad (5)$$

其中 $R = 8.31 \text{ J/K}\cdot\text{mol}$ ,为普适气体恒量, $\mu$ 为气体的摩尔质量, $T$ 为气体的开氏温度。将(5)式代入(4)式有

$$c^2 = \frac{\gamma RT}{\mu} \quad (6)$$

所以

$$\gamma = \frac{\mu c^2}{RT} \quad (7)$$

由(7)式可以看出,我们只要测出待测气体中的声速 $c$ 和温度 $T$ ,就可计算出该气体的比热比 $\gamma$ 值。可喜的是,我们不涉及热量的测量就可测出声速 $c$ ,而且声速的测量并不复杂。本文采用一种简单的声速测量法——相位比较法获得声速,从而可进一步地导出 $\gamma$ 值的实验计算公式。

如图1所示,我们把一个发射换能器和

收稿日期: 94-3-4

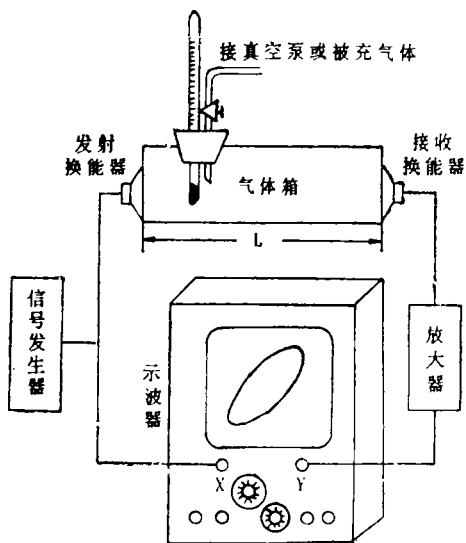


图1 声速测量系统原理框图

一个接收换能器(皆为压电晶体式)安置在特制的气体箱的两侧,用信号发生器激励发射换能器发射超声连续波,此超声波透过被测气体传播到接收换能器,将接收到的信号放大后加到示波器Y轴上,而发射信号被加到示波器的X轴上,这样在示波器屏幕上就可以看到李萨茹图形。由于发射声波与接收声波之间有一定的相位差 $\phi$ ,这个相位差 $\phi$ 和声速 $c$ 、频率 $f$ 、角频率 $\omega$ 、波长 $\lambda$ 、距离 $L$ 、传播时间 $t$ 等之间的相互关系为

$$\phi = \omega t = 2\pi f L / c = 2\pi L / \lambda \quad (8)$$

由(8)式可以看出,如果能读出相位差 $\phi$ ,则可求出声速 $c = 2\pi f L / \phi$ 。在实验中一般可改变两换能器之间的距离 $L$ ,这时相位差也随着改变,当 $L$ 每改变一个波长的距离时,相同的李萨茹图形就重复出现一次,用此方法求出波长,可算出声速 $c = f\lambda$ 。但本实验中两换能器之间的距离(即气体箱的长度)不可改变,这时我们采用改变信号发生器频率 $f$ 的方法, $f$ 变化时, $\phi$ 也随着变化。即当 $\phi$ 每增加 $2\pi$ ,李萨茹图形就重复出现一次,若 $f_n$ 是出现某种李萨茹图形的频率,而 $f_{n+1}$ 和 $f_{n+m}$ 分别是改变 $f_n$ 之后第1次和第 $m$ 次重现相同的李萨茹图形的频率,则由(8)式可得

$$\begin{cases} \phi_n = 2\pi f_n \cdot L / c \\ \phi_{n+1} = 2\pi f_{n+1} \cdot L / c \\ \phi_{n+m} = 2\pi f_{n+m} \cdot L / c \end{cases} \quad (9)$$

因为有

$$\phi_{n+1} - \phi_n = 2\pi = 2\pi(f_{n+1} - f_n) \cdot L / c \quad (10)$$

或

$$\phi_{n+m} - \phi_n = 2\pi \cdot m = 2\pi(f_{n+m} - f_n) \cdot L / c \quad (11)$$

所以

$$c = (f_{n+1} - f_n) \cdot L \quad (12)$$

或

$$c = (f_{n+m} - f_n) \cdot L / m \quad (13)$$

将(13)式代入(7)式得

$$\gamma = \frac{\mu L^2 (f_{n+m} - f_n)^2}{RT m^2} \quad (14)$$

故(14)式就是我们用声速法导出的气体比热比 $\gamma$ 的实验计算公式。

## 2.2 实验

材料及仪器:被测气体(氧气、氮气、空气、二氧化碳、氢气、氦气、氩气),XFD-7A型低频信号发生器,气体箱(附装有发射换能器和接收换能器),SBS-2A型示波器,真空泵系统。

测试:①先将气体箱接真空泵抽成真空,同时检漏,然后将被测气体充入气体箱。②检查整个实验线路无故障之后,打开各仪器的电源开关,调节示波器上的相应旋钮使图形的辉度、大小、位置等适中。③调节信号发生器的频率 $f$ ,使示波器上出现某一特定的李萨茹图形(如直线或正椭圆),记下此时的频率盘读数 $f_n$ ,然后再旋转信号发生器上的频率盘,可以看到李萨茹图形开始变化,随着频率不断增大,图形将不断地重复出现,记下李萨茹图形重复出现的次数 $m$ 和变化以后的频率 $f_{n+m}$ 。④将频率盘旋转回原来的读数 $f_n$ ,重复步骤③几次,并从温度计上读下气体箱内的温度 $t$ 。求出 $f_{n+m}$ 的平均值 $\bar{f}_{n+m}$ 及 $(\bar{f}_{n+m} - f_n)$ ,代入(14)式计算此

气体的比热比  $\gamma$ 。实验中应注意，在每次将真空泵抽成真空并同时检漏，然后才可充入被测气体充入气体箱之前，先要将气体箱接被测气体。

表 1 几种常见气体的  $\gamma$  值实验测量数据表

气体	符号	$\mu$ (g/mol)	$t$ (°C)	$T$ (°K)	$f_n$ (Hz)	$\bar{f}_{n+m}$ (Hz)	$m$	$\bar{f}_{n+m} - f_n$ (Hz)	$\gamma$ 实验	$\gamma$ 理论	$\gamma$ 其它	相对误差 (%)
空气	—	29	24.7	297.85	2843.0	7170.0	4	4327.0	1.404	—	1.403	—
氧气	O <sub>2</sub>	32	25.0	298.15	2470.5	5558.2	3	3087.7	1.401	1.40	1.401	0.071
氨	NH <sub>3</sub>	17	24.0	297.15	2139.2	7620.9	4	5481.7	1.324	1.33	1.310	0.451
二氧化碳	CO <sub>2</sub>	44	24.2	297.35	1904.6	5298.8	4	3394.2	1.313	1.33	1.304	1.278
氢气	H <sub>2</sub>	2	25.5	298.65	1250.6	9509.0	2	8258.4	1.407	1.40	1.410	0.500
氖气	Ne	20	27.1	300.25	2058.3	9134.4	5	7076.1	1.648	1.67	1.640	1.317
氮气	N <sub>2</sub>	28	24.5	297.65	1537.1	5937.7	4	4400.6	1.403	1.40	1.404	0.214

体的  $\gamma$  值。

感谢陕西师范大学物理系力热室许启明副教授和声学所董彦武教授为本文提供了许多帮助和指导。

### 参考文献

- 1 R·M·惠特利, J·亚伍德著, 蔡峰怡等译. 200个物理实验. 科学技术文献出版社, 1984
- 2 林杼等. 普通物理实验. 人民教育出版社, 1981. 205
- 3 汪志诚. 热力学与统计物理. 高等教育出版社, 1980
- 4 马大猷, 沈赓. 声学手册. 科学出版社, 1987. 106

### 3 实验结果及讨论

表 1 是实验测量的数据和数据处理所得的结果, 其中  $\gamma_{理论}$  是  $\gamma$  值的正确值,  $\gamma_{其它}$  是指用其它方法所获得的  $\gamma$  值<sup>[4]</sup>。从表 1 中可以看出, 声速法所获得的结果与  $\gamma$  的正确值  $\gamma_{理论}$  以及与其它方法所获得的  $\gamma$  值具有良好的一致性, 经统计处理,  $\gamma$  值相对误差的平均值为 0.64%。与其它方法相比, 声速法准确可靠, 它不涉及热量的测量, 而热学量或力学量常常是容易带来较大实验误差的因素。此外, 声速法可方便地用来测定各种气