

物理实验



# 浅析一种空气粘度的测量方法

蔡彦 吴德兰 许光扬 杨海燕

(昭通学院物理与信息工程学院 云南 昭通 657000)

(收稿日期:2019-06-22)

**摘要:**基于流体力学原理,设想气垫导轨上的滑块与导轨间分为速度不同的空气层,结合空气粘性系数的求解方法,反向推导空气粘性系数表达式,得出空气粘度的计算式.通过将光杠杆原理测量得到的空气层厚度、滑块与导轨接触面积及空气粘性系数代入空气粘度的计算式,最终算出了实验条件下的空气粘度.

**关键词:**空气粘度 气垫导轨 空气粘性系数

## 1 引言

大学物理实验中,气垫导轨是常用的力学仪器,可利用气垫导轨开设多个实验,例如,用于验证牛顿运动定律,测量重力加速度等.气垫导轨的基本工作原理是利用气泵抽气,再将抽取的气体从气垫导轨空腔上表面的小孔喷出,使导轨与滑块间形成较稳定的空气层,有了空气层的隔离作用,滑块与导轨不会直接接触,所以没有接触性的摩擦,滑块所受阻力非常小<sup>[1,2]</sup>.

## 2 空气粘度的计算

速度为  $v$  的滑块在导轨上运动时,滑块与导轨间的空气层可以设想分为很多层,各层将以不同的速度运动,从滑块至导轨呈梯度递减趋势,紧贴滑块的空气层速度与滑块速度相同,紧贴导轨的空气速度为零.由于流速不同导致的各个空气层的速度不同,故各层间存在空气内摩擦力  $f$ . 由流体力学可知<sup>[2]</sup>

$$f = \eta S \frac{dv}{dh} \quad (1)$$

式(1)中, $S$ 是滑块与导轨的接触面积, $\eta$ 是空气粘度, $\frac{dv}{dh}$ 是空气层的速度梯度,假设空气层厚度为  $h$ ,则有

$$\frac{dv}{dh} \approx \frac{v}{h} \quad (2)$$

$$f = \eta S \frac{v}{h} \quad (3)$$

设空气粘性系数

$$b = \frac{\eta S}{h} \quad (4)$$

则

$$f = bv \quad (5)$$

将式(4)进行变换,可得

$$\eta = \frac{bh}{S} \quad (6)$$

式(6)中,只要通过测量得到空气粘性系数  $b$ 、空气层厚度  $h$  及接触面积  $S$ ,就可以求出空气粘度  $\eta$ .

## 3 空气粘度的测量

为了较方便地测量空气层厚度  $h$ ,需要将气垫导轨进行静态调平,然后调至动态水平,此时,空气粘性系数  $b$  可以表示为

$$b = \frac{m}{s} \frac{\Delta v_{AB} + \Delta v_{BA}}{2} \quad (7)$$

式(7)中, $\Delta v_{AB} = v_A - v_B$ , $\Delta v_{BA} = v'_B - v'_A$ , $v_A$ , $v_B$ , $v'_B$ , $v'_A$ 分别是质量为  $m$  的滑块通过导轨上两个光电门去程和回程的速度, $\Delta v_{AB}$ , $\Delta v_{BA}$ 分别表示滑块去程和回程的运动速度损失量,由于滑块与导轨间空气层内摩擦力的影响,滑块近似做速度减小的匀减速运动.

为了测出空气粘性系数  $b$ ,在室温  $28.5^\circ\text{C}$ ,气垫

导轨两端支撑螺钉间距为 91.70 cm 的情形下,在实验室进行了测量,测量数据及计算结果如表 1 所示.

表 1 气垫导轨水平时的空气粘性系数

测量次数	$v_A/$ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$v_B/$ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$v_B'/$ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$v_A'/$ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$m/\text{g}$	$l/\text{cm}$	$b/$ ( $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$ )
1	25.20	25.01	24.35	24.21	189.20	60.00	0.520
2	23.88	23.69	23.54	23.41	189.20	60.00	0.505
3	22.24	22.10	24.52	24.28	189.20	60.00	0.599
4	18.99	18.81	20.87	20.74	189.20	60.00	0.489
5	24.20	24.05	19.20	19.02	189.20	60.00	0.520
6	25.86	25.70	30.50	30.38	189.20	60.00	0.441
7	28.62	28.49	26.64	26.46	189.20	60.00	0.489
8	24.69	24.54	27.23	27.04	189.20	60.00	0.536

$$\bar{b} = 0.512 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$$

表 1 中,  $m$  为滑块质量,  $l$  为两光电门间的距离. 在上述条件下, 测得滑块与导轨接触面积

$$\bar{S} = 98.360 \text{ cm}^2 \quad (8)$$

气垫导轨调平后, 将光杠杆前足置于滑块上, 后足置于支撑块上, 通过光杠杆原理, 测得空气层厚度<sup>[4]</sup>

$$\bar{h} = 0.0165 \text{ cm} \quad (9)$$

将上述测量结果代入式(6)中, 可得

$$\eta = 8.560 \times 10^{-6} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}) \quad (10)$$

#### 4 结论

本文基于流体力学原理, 对气垫导轨上的滑块运

动进行了分析, 结合空气粘性系数的测量, 反向推导, 得出空气粘度的计算式. 通过光杠杆原理对空气层厚度的测量, 最终计算出了实验条件下的空气粘度.

#### 参考文献

- 1 陶淑芬, 李锐, 晏翠琼. 普通物理实验[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2018
- 2 李相银. 大学物理实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004
- 3 杨述武, 赵立竹. 普通物理实验(第5版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2015
- 4 李纯钢, 胡向南. 气垫导轨实验滑块与导轨间气膜厚度的测定[J]. 科技信息, 2009(5):206

## Brief Analysis on a Method for Measuring Air Viscosity

Cai Yan Wu Delan Xu Guangyang Yang Haiyan

(School of Physics and Information Engineering, Zhaotong University, Zhaotong, Yunnan 657000)

**Abstract:** Based on the principle of fluid mechanics, it is envisaged that the air layer with different speeds is divided between the slider and the guide rail on the air-cushion rail. Combined with the solution method of the air viscosity coefficient, the expression of the air viscosity coefficient is derived in reverse, and the calculation formula of the air viscosity is obtained. The air viscosity under the experimental conditions was finally calculated by calculating the thickness of the air layer measured by the optical lever principle, the contact area between the slider and the guide rail, and the air viscosity coefficient into the air viscosity.

**Key words:** air viscosity; air cushion guide; air viscosity coefficient