

霍尔位置传感器测量固体材料的杨氏模量

游海洋* 赵在忠 陆申龙

(复旦大学物理系 上海 200433)

摘要 用自制霍尔位置传感器与梁弯曲法测杨氏模量装置相结合, 研制成固体材料杨氏模量测定仪, 简述该仪器结构、原理和实验方法。

关键词 霍尔位置传感器 微小位移 杨氏模量

杨氏模量测定通常采用伸长法和梁弯曲法测定。这两种方法的关键是测准材料在应力作用下的微小位移, 一般采用的光杠杆、移测显微镜或螺旋测微计测量, 方法基本、直观和易于掌握, 但不能与计算机联接进行实时检测。本文采用霍尔位置传感器测量微小位移, 并用于弯曲法测杨氏模量, 改变了传统的测量方法。

1 原理

当霍尔元件置于磁感应强度为 B 的磁场中时, 在垂直于磁场的方向通以电流 I , 则与这二者相垂直的方向上将产生霍尔电势

$$U_H = KIB \quad (1)$$

式中 K 称为元件的霍尔灵敏度。如果保持电流 I 不变, 而使霍尔元件在均匀梯度 dB/dz 的磁场中移动 Δz 时, 则输出的霍尔电势变化为

$$\Delta U_H = KI \frac{dB}{dz} \Delta z \quad (2)$$

为实现均匀梯度的磁场, 可如图 1 所示, 选用两块相同的磁铁 (磁铁截面积及表面磁感应强度相同) 相对而放置 (N 极与 N 极相对), 两磁铁极间留一等距间隙, 霍尔元件平行于极面放在该间隙的中轴上。间隙大小根据测量范围和测量灵敏度确定, 间隙越小, 磁场梯度越大, 灵敏度越高。磁铁截面应远大于霍尔元件尺寸, 以尽可能减小边缘效应, 提高测量准确度。

若磁铁间隙中心截面 A 的磁感应强度为 0, 霍尔元件处于 A 时, 输出的霍尔电势 U_A 为

0。当霍尔元件偏离中心 A 沿 z 轴发生位移 Δz 时, 由于磁感应强度不再为 0, 霍尔元件也就产生相应的电势输出 U , 大小可由数字电压表测量。以下我们以将霍尔电势为 0 的位置作为位移参考零点。

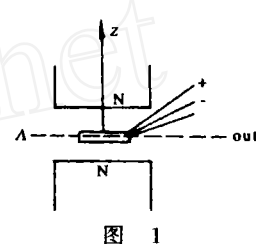


图 1

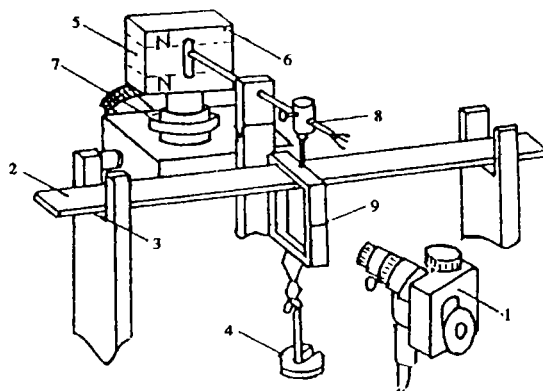


图 2

1. 移测显微镜 2. 横梁 3. 刀口 4. 砝码
5. 有机玻璃盒 (内装磁铁) 6. 磁铁 (两块)
7. 三维调节架 8. 铜杠杆 (杠杆顶端贴有 95A 型集成霍尔传感器) 9. 铜刀口上刻度线

霍尔电势 U 与位移 z 之间存在一一对应关系, 当位移较小 ($< 2\text{mm}$) 时, 具有良好的线性。

用横梁弯曲法测杨氏模量 E 时有

* 复旦大学物理系 97 级本科生

$$E = \frac{d^3 Mg}{4a^3 b \Delta z} \quad (3)$$

其中： d 为两刀口间的距离， a 为梁的厚度， b 为梁的宽度， M 为加挂砝码的质量， Δz 为梁中心在 Mg 作用下而下降的距离， g 为重力加速度。装置如图2所示（数字电压表未画出）。

2 实验方法

1) 霍尔位置传感器正常工作状态的调节。先调节仪器的水平和磁铁的水平，调节起始零点：将探头接通电源，使其远离磁铁，即远离磁场。将数字电压表的电压调至 $U=2.500V$ 。最后调节负载零点：将探头插入磁铁，使探头棒位于磁场中心（利用磁铁盒下的三维调节架进行前后左右上下的调节），直至数字电压表电压再次出现 $U=2.500V$ 为止。

2) 调节移测显微镜，使其聚焦在铜刀口槽上的“刻度线”。

3) 从移测显微镜上确定起始点，然后加砝码 M_i ，从移测显微镜读出相应梁弯曲位移（下垂量） z_i ，同时读出数字电压表相应的读数值 U_i ，

即对霍尔位置传感器进行定标。其数据如表1所示。

4) 用米尺测横梁两刀口间的长度 d ，用游标卡尺测横梁宽度 b ，用千分尺测横梁厚度 a 。最后用逐差法进行计算，得出 E 。其数据如表2所示。

3 实验结果

1) 霍尔位置传感器的定标

把表1中数据 $U-z$ 关系用Casio fx-3600计算器进行直线拟合可得相关系数 $r=0.9993$ ，说明在 0 增加至120g砝码作用下，位移量 $\Delta z=(4.696-2.863)\text{mm}=1.833\text{mm}$ ， U 和 z 之间满足良好的线性关系。

2) 杨氏模量的测量

用米尺测量长度 d ，游标卡尺测宽度 b ，千分尺测厚度 a ，测量数据分别为： $d=23.00\text{cm}$ ， $b=2.282\text{cm}$ ， $a=0.946\text{mm}$ ，利用已定标的电压值，测出黄铜样品在重物作用下的位移，测量数据见表2。

表1 霍尔位置传感器特性测量

| | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| M/g | 0.00 | 20.00 | 40.00 | 60.00 | 80.00 | 100.00 | 120.00 |
| z/mm | 2.863 | 3.186 | 3.498 | 3.798 | 4.073 | 4.398 | 4.696 |
| U/V | 2.500 | 2.523 | 2.547 | 2.570 | 2.590 | 2.610 | 2.630 |

表2 样品在重物作用下位置变化的测量

| | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| M/g | 0.00 | 20.00 | 40.00 | 60.00 | 80.00 | 100.00 | 120.00 |
| z/mm | 2.856 | 3.171 | 3.469 | 3.778 | 4.107 | 4.396 | 4.725 |

用逐差法对表2数据算出样品在 $M=60.00\text{g}$ ， $g=9.794\text{m/s}^2$ 的作用下产生的位移 $\Delta z=0.933\text{mm}$ ，将其值代入式(3)，可得

$$E_{\text{黄铜}} = 9.92 \times 10^{10} \text{N/m}^2$$

对照该黄铜材料特性的标准数据 $E_0=10.03 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ ，百分误差为1.0%，测量结果很好。

在此基础上，作者还测了可锻铸铁的弹性模量 E 。用上述相同的方法，测得 $E_{\text{铁}}=15.09 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ 。查得该材料的标准数据 $E_0=15.18 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ ，百分误差为0.6%，测量结

果符合要求。

4 参考文献

- 林抒，龚镇雄. 普通物理实验. 北京：人民教育出版社，1982. 86~88
- 方佩敏. 新编传感器原理、应用、电路详解. 北京：电子工业出版社，1994. 171~172
- 〔日〕自动化技术编辑部. 传感器应用. 北京：中国计量出版社，1992. 230~240
- 郭俊杰等. 霍尔元件测螺线管磁场分布实验的改进. 物理实验，2000，20(3):46~48

(2000-01-10 收稿，2000-05-08 收修改稿)