

用弯梁法和 SPSS 标定铁片的杨氏模量

毕长安,王新春,叶青,王昆林,司民真
(楚雄师范学院,云南 楚雄 675000)

摘要:针对杨氏模量测试仪与读数显微镜的实验装置,应用胡克定律,从理论上推导出系统长度和重力的综合量与位移变化量具有线性关系。采用弯梁法,逐步增减负重砝码的测量方案测量数据,引入 SPSS 的线性估计功能分析实验数据,并得到系统长度和重力的综合量与位移变化量的定标曲线,并验证出系统系统长度和重力的综合量与位移变化量之间存在线性关系,由此标定出铁片的杨氏模量,用置信概率为 95% 的不确定度,对实验结果进行分析与评估,最终得到更为可靠的实验结果。

关键词:弯梁法;读数显微镜;SPSS 线性估计;不确定度分析;标定杨氏模量

中图分类号: O4-33

文献标志码: A

文章编号: 1674-9324(2014)31-0121-03

杨氏模量是描述固体材料抵抗形变能力的物理量^[1]。杨氏模量的测定对研究金属材料、光纤材料、半导体、纳米材料、聚合物、陶瓷、橡胶等各种材料的力学性质有着重要意义,还可用于机械零部件设计、生物力学、地质等领域^[2]。测量杨氏模量传统方法^[3,4,5]基础之上,逐步出现了新的测量方法^[6,7,8]。但这些新的实验方法普遍存在着实验系统相对复杂,实验成本较高的情况,或者易受外界环境(温度、湿度、电磁)的影响。因此,高等学校实验教材中普遍采用的还是传统的弯梁法的实验方法,但由于该方法存在着处理实验数据的方法较为陈旧,实验结果使用的不确定的置信概率较低的现象(68.3%)。因此,引入计算机辅助分析^[9]手段(SPSS 曲线分析功能)去分析实验数据,减小人为因素和仪器因素带来的偶然误差和系统误差,用置信率为 95% 的不确定度对实验数据及其结果进行评价,提高了实验数据和结果分析的精度,使实验结果更为可靠。

一、实验仪器

1. 实验装置。

2. 实验安装及调试。用水平器观察底板及三个角上的水平调节螺丝,调节螺丝使底板达到水平位置;将横梁穿入砝码铜刀口内,并安放在两立柱的正中央位置,使砝码盘下的限位杆垂直插入限位器内,

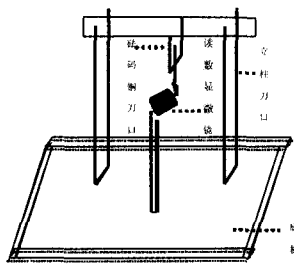


图1 杨氏模量测定仪

防止砝码盘的过度摆动;将读数显微镜安装在显微镜架上,调节读数显微镜目镜,直到眼睛观察镜内的十字线和数字清晰,再转动读数旋钮使刀口的基线与读数显微镜内十字刻线的水平线吻合。但要注意在加减砝码时要轻拿轻放,尽量不要碰到实验仪器,调节好仪器就可以进行测量了。

二、实验原理

1. 测量原理。测量原理如图 2 所示,将横梁厚度为 a , 横梁宽度为 b 的铁片放在相距为 l 的二刀刃上,在梁上 $1/2$ 处系上质量为 m 的砝码,使梁弯曲。若由于外力作用而下降

的位移变化量为 ΔZ 。在梁受力弯曲达到平衡时,根据胡克定律可推演铁片的杨氏模量,由下式^[10]决定

$$E = \frac{mgl^3}{4a^3b(\Delta Z)} \quad (1)$$

式,设 $k = \frac{gl^3}{4a^3bE}$, 令系统各

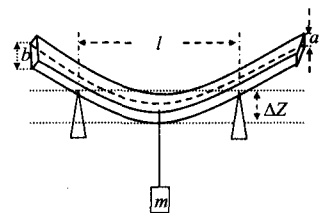


图2 测量原理图

长度和负重的综合量 $C = \frac{mgl^3}{4a^3b}$, 则(1)式可简化为 $\Delta Z = k \cdot m$

(2) $C = E \cdot \Delta Z$ (3)。实验中,用物理天平测定 m_i ,用读数显微镜读取 Z_i ,从而可得系统位移变化量(ΔZ_i)。应用 SPSS 的曲线估计功能,试图去分析系统位移变化量(ΔZ_i)与系统附加质量(m_i)之间的线性相关性,由此给出系统位移变化量(ΔZ_i)与系统附加质量(m_i)线性方程及其定标曲线。最终可以找出系统位移变化量(ΔZ_i)与系统附加质量(m_i)的不确定度传递关系。实验中,用物理天平测定 m_i ;用米尺测得 l ,螺旋测微器测得 a, b ,用读数显微镜读取 Z_i ,从而可得系统各长度与负重的综合量(C_i)。应用 SPSS 的曲线估计功能,试图去分析系统长度与负重的综合量(C_i)与系统的位移变化量(ΔZ_i)之间的线性相关性,由此标定出铁片的杨氏模量,并对其不确定度做出估算。

三、对杨氏模量的不确定度分析^[11]

若直接测量为 q ,其不确定度可由 A、B 类进行评定。测

$$\text{量列平均值的标准偏差为 } u_{A(q)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

对于 A 类分量,若实验中测量次数为 7 次,当 $p=0.95$ 时, $t_p=2.45$, 则 $u_{A(q)} = 2.45u_{(q)}$ (5), (5)式中的 \bar{q} 可以分别表示

$\bar{m}, \bar{l}, \bar{a}, \bar{b}, \bar{\Delta Z}_i$ 。对于 B 类分量,若其误差极限为 Δ , 当 $P=0.95$ 时, $d_p=1.96$, 那么 $u_{B(q)} = 1.96 \frac{\Delta_q}{\sqrt{3}}$ (6), (6)式中的 q 可以

in electrochemistry of nanocrystalline CeO₂ [J].1996,41 (16): 1396-1400.

[4] 钟莹,王成云. 稀土纳米材料研究进展 [J]. 深圳大学学报, 2000,17(4):68-73.

[5] 王世敏,许祖勋,傅晶. 纳米材料制备技术[M]. 北京:化学工业出版社,2002:61-64.

[6] 景昭燕,洪文言,李有漠. 醇盐法制备氢氧化钪氧化钪超微粉末[J]. 中国稀土学报,1989,(2):47-50.

[7] Hirano M, Kato E. Hydrothermal synthesis of nanocrystalline cerium(IV) oxide powders [J]. JACS, 1999, 82(3): 786-790.

[8] 王成云,龚丽雯,陶冶. 燃烧合成法制备稀土氧化物纳米粉[J]. 化学研究与应用, 2002, 14(5): 580-586.

[9] 涂铭旌,刘颖,朱达川. 纳米稀土材料的研究进展[J]. 四川大学学报, 2002, 34(4): 1-4.

[10] 孙家跃,林海盐. 无机材料的制造与应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2002: 481-492.

分别表示 m 、 l 、 a 、 b 、 ΔZ_i 。直接测量为 q 的合成不确定度为 $u_{(q)} = \sqrt{u_{A(q)}^2 + u_{B(q)}^2}$ (7), 对间接测量 $E=f(k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_m)$, 则 E 的相对不确定度 $u_{r(E)}$ 为: $u_{r(E)} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial(\ln E)}{\partial k_i} \right)^2 u^2(k_i)}$ (8), 根据(3)、(8)式, 可得 E 的相对不确定度为 $u_{r(E)} = \frac{u_{(E)}}{E} = \sqrt{\left(\frac{u_{(C)}}{C} \right)^2 + \left(\frac{u_{(\Delta Z)}}{\Delta Z} \right)^2}$ (9)

四、测量数据及线性分析

1. 测量数据及其结果。

表1 对铁片各长度量(l 、 a 、 b)的测量

测量对象	测量结果	不确定度 $u_r/\%$	测量方式	测量工具
$l/10\text{cm}$	2.300 ± 0.011	0.49	单次测量	5m 钢卷尺
b/cm	2.300 ± 0.020	0.10	多次测量	游标卡尺
$a/10^{-1}\text{mm}$	8.86 ± 0.11	1.28	多次测量	千分尺

表2 附加砝码质量(m_i)依次增加 10 克时所对应变化位移 (ΔZ_i)的测量

		$\Delta_m = 0.01\text{g} \quad \Delta_z = 0.01\text{mm}$							
$i/\text{组}$		0	1	2	3	4	5	6	7
$m_i/10\text{g}$		0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000
Z_i/mm		0.652	0.748	0.852	0.952	1.052	1.152	1.251	1.352
$\Delta Z_i/\text{mm}$		—	0.096	0.200	0.300	0.400	0.500	0.599	0.700

表3 ΔZ - m 与 C - ΔZ 定标曲线所需的实验数据

$i/\text{组}$	1	2	3	4	5	6	7
$m_i/10\text{g}$	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000
$\Delta Z_i/10^{-3}\text{m}$	0.096	0.200	0.300	0.400	0.500	0.599	0.700
$C_i/10^7 \text{N}\cdot\text{m}^{-1}$	1.86878	3.73757	5.60636	7.45189	9.34394	11.21272	13.08151

2. 用 SPSS 分析 ΔZ - m 、 C - ΔZ 定标曲线。将表 3 实验数据输入 SPSS 软件中, 应用 SPSS 的线性估计功能, 以系统附加质量(m_i)为自变量, 系统移变化量(ΔZ_i)为因变量; 以系统移变化量(ΔZ_i)为自变量, 系统各长度和负重的综合量 (C_i) 为因变量, 可得定标曲线方程分别为 $\Delta Z = 1.003571428571428 \times 10^{-2}m + 0.002142857142857047$ (10), $C = 1.862066749101107 \times 10^{11} \Delta Z + 0.03685776608915309$ (11)

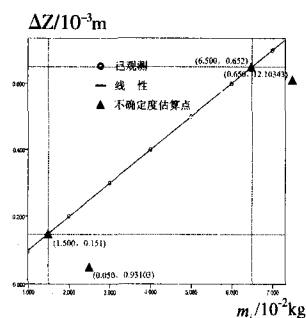


图3 ΔZ - m 定标曲线

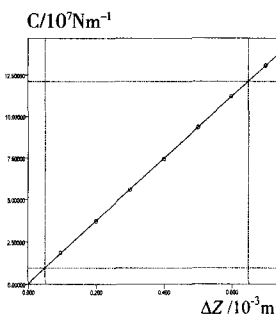


图4 C - ΔZ 定标曲线

所得定标曲线如图 3、图 4 所示。

3. 对杨氏模量不确定度的估算。由(10)、(11)式可得: $u_{(\Delta Z)} = 1.00357 \times 10^{-2} u_{(m)}$ (12), $u_{(C)} = 1.862067 \times 10^{11} u_{(\Delta Z)}$ (13),

在图 4 直线上取 C_1 、 ΔZ_1 ; C_2 、 ΔZ_2 值, 可得 $E = \frac{C_2 - C_1}{\Delta Z_2 - \Delta Z_1}$ (14), 由 (14) 式可得 $u_{r(E)} = \sqrt{\left(\frac{u_{(C_2 - C_1)}}{C_2 - C_1} \right)^2 + \left(\frac{u_{(\Delta Z_2 - \Delta Z_1)}}{\Delta Z_2 - \Delta Z_1} \right)^2}$ (15), 由图 4 取样点, 结合(12)、(13)、(15)式, 可得杨氏模量的实验结果, 如表 4 所示。

表4 铁片杨氏模量的实验结果

$u_{(m)}/10^{-5}\text{kg}$	$u_{(\Delta Z_1)} = u_{(\Delta Z_2)}/10^{-6}\text{m}$	$u_{(C_1)} = u_{(C_2)}/10^8 \cdot \text{N}\cdot\text{m}^{-1}$	$E/10^{11} \text{N}\cdot\text{m}^{-2}$	$u_{r(E)}/\%$
2.3	2.3	4.3	1.862 ± 0.014	0.78

从测量原理所得的(3)式可知, 只要测量条件允许, 理论上, 系统各位长度和负重的综合量(C_i)与系统位移变化量 (ΔZ_i) 应该具有线性关系, 若能从实验的角度研究出 C_i - ΔZ_i 的关系曲线, 必然可以证明系统各位长度和负重的综合量(C)与系统位移变化量 (ΔZ) 存在线性关系。从而可以较为直观的标定出铁片的杨氏模量, 这在弯梁法的测量原理上具有一定的创新性。由表 3 实验数据, 利用 SPSS 的曲线估计功能, 可得定标方程(10)及其图 3 的 ΔZ - m 定标曲线图; 可得定标方程(11)式图 4 的 C - ΔZ 定标曲线图。从实验的角度验证了: 系统位移变化量 (ΔZ) 与系统附加质量(m) 之间存在线性关系; 系统各位长度和负重的综合量(C)与系统位移变化量 (ΔZ) 之间存在线性关系。实验所得定标方程(10)式及图 3 实验曲线与理论分析的(2)式具有一致性; 实验所得定标方程(11)式及图 4 实验曲线与理论分析的(3)式具有一致性。由表 3 数据, 应用 SPSS 线性估计功能得到定标方程(10)、(11)式, 得到铁片的杨氏模量为 $1.862 \times 10^{11} \text{N}\cdot\text{m}^{-2}$, 对比通过查看手册^[1]所得铁片杨氏模量 $E = 1.850 \times 10^{11} \text{N}\cdot\text{m}^{-2}$, 二者具有较好吻合度, 表明实验所拟合的 ΔZ - m 直线, C - ΔZ 直线是客观的。为了能较好地实现实验数据线性分析的合理性, 应保证铁片尽量平直, 实验选择最小本底的挂钩砝码 10g, 负重砝码(m_i)以每组 10g 为标准递增(或递减), 所对应竖直方向上的位移 Z_i 从 0.652mm 变化到 1.352mm, 可以推算出位移的变化量 ΔZ_i 从 0.096mm 变化到 0.700mm。由图 3、4 可看出表 2 测量的数据可靠性较高, 从而使得测量结果更为可靠, 实验结果更为合理。查手册的钢丝的杨氏模量为 $1.860 \times 10^{11} \text{N}\cdot\text{m}^{-2}$, 对照表 4 所得铁片杨氏模量的实验结果为 $1.850 \times 10^{11} \text{N}\cdot\text{m}^{-2}$, 二者吻合度较高。尤其查看表 4 中杨氏模量的实验结果, 由该实验方案所得杨氏模量的实验值只在千分位上可疑, 而以往采用的实验方案所得杨氏模量的实验值一般为十分位或百分位上可疑。表明应用 SPSS 的曲线分析估计标定的杨氏模量, 是可以显著提高测量数据及实验结果的分析精度, 且数据的处理过程及结果较为直观有效。

参考文献:

[1] 胡益丰, 沈大华, 等. 用拉伸法测钢丝杨氏模量实验中的不确定度分析[J]. 广西物理, 2007, (04).
 [2] 杨海波, 胡明, 等. 基于纳米压痕法的多孔硅硬度及杨氏模量与微观结构关系研究[J]. 物理学报, 2007, (7).
 [3] 吴明阳, 朱祥. 动态法测金属杨氏模量的理论研究[J]. 大学物理, 2009, (3).
 [4] 丁慎训, 傅敏学, 等. 用动力学法测杨氏模量实验及其实验装置的研制[J]. 大学物理, 1999, (7).
 [5] 仲明礼, 王劲松, 等. 伸长法测定杨氏模量实验装置的改进[J]. 大学物理, 2006, (8).
 [6] 李倩, 姚纬尚, 等. 分子动力学模拟叠氮热塑性弹性体的杨氏模量及其与硝酸酯的溶度参数[J]. 火炸药学报, 2007, (8).

基础有机化学合成中增减一个碳原子的方法

邹光龙

(贵州民族大学 化学与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要:我们对基础有机化学合成方法中增加和减少一个碳原子的方法进行了剖析和总结,以期帮助学生掌握有机化学基本反应,提升分析和解决问题的能力。

关键词:有机化学;合成过程;增减碳原子;措施

中图分类号:O621.3

文献标志码:A

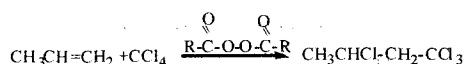
文章编号:1674-9324(2014)31-0123-03

有机化学作为大学化学、生物、医学、环境科学及材料学等专业开设的一门基础课,不仅要求掌握结构、反应、合成等方面的基本知识,而且要学会鉴定、表征有机化合物。但是如何加深学生对有机化学基本概念、基本理论、基本反应的理解,提高学生分析和解决问题的能力?如何建立和培养的逻辑推理思维,找寻出貌似千差万别的各种反应的共同特征和规律?在有机化学的学习中,有机化学合成往往是学生感到头疼的难题,本文对一些典型的增减一个碳原子的合成方法进行了详细的总结,这在一定程度上为学生解开难题提供了一些可用的钥匙。这样不仅能避免学生硬背书本,而且可以增强他们学习的兴趣。

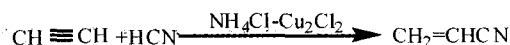
一、有机化学反应种类繁多、反应机理复杂,内容庞杂

因此本文对有机化学合成中增加和减少一个碳原子的合成方法进行了剖析。常见的用于增加一个碳原子的试剂有: CO_2 , CO , HCN , NaCN , CH_2I_2 , CHCl_3 , CH_2Cl_2 , CH_3OH , $(\text{CH}_3)_2\text{CuLi}$, HCHO , CH_3MgI , $\text{Ph}_3\text{P}=\text{CH}_2$, $(\text{CH}_3)_2\text{SO}_4$, CuCN , $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, 氨基脲等。下面我们具体举例说明如下:

1. 丙烯与四氯化碳在过氧化物存在下进行自由基加成反应生成比原料多一个碳原子的产物:



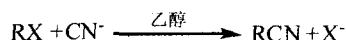
2. 乙炔在氯化铵-氯化亚铜水溶液中可与氢氰酸加成得到丙烯腈。



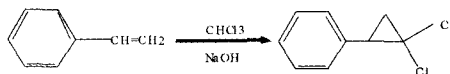
3. 西蒙斯-斯密斯(Simons-Smith)于1959年提出了一个合成环丙烷的好方法,即在锌-铜合金存在下,二碘甲烷与烯作用生成环丙烷及衍生物,且其加成立体化学为顺式加成。例如:



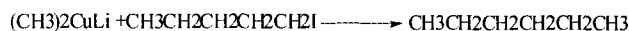
4. 卤代烃的氰解,即卤代烃与氰化钠在乙醇溶液中反应,卤原子被氰基取代而生成腈。



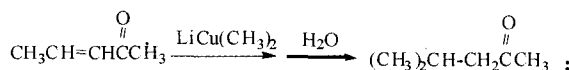
5. 卡宾(CCl_2 :和 CH_2)作为一种重要的活泼中间体,对烯烃的插入反应,生成三元环化合物。例如:



6. 二烷基铜锂与卤代烷反应生成烷烃,常用来合成各种结构的高级烷烃、烯烃和芳烃。例如:

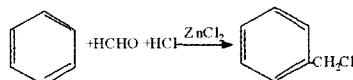


二甲基铜锂与 α , β 不饱和醛、酮的反应以1,4-加成为主。例如:

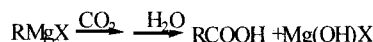
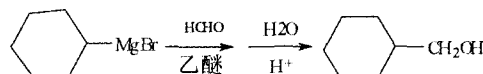


二甲基铜锂与酰氯在低温反应生成甲基酮。

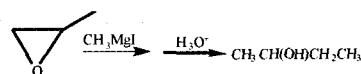
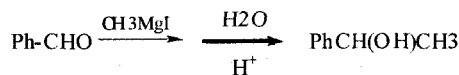
7. 氯甲基化,即向芳环直接导入一个 $-\text{CH}_2\text{Cl}$ 基团的反应。该反应可以看成是一个特殊的傅-克反应。



8. 格氏试剂 RMgX 、吡咯钾盐与甲醛、 CO_2 反应分别生成伯醇、羧酸,如:



9. 格氏试剂 CH_3MgI 与醛(环氧化合物)或者酮反应生成仲醇或者叔醇,如:



10. 瑞穆-梯曼(Reimer-Tiemann)反应,即苯酚(吡咯或苯胺;吡咯钾盐)和氯仿在氢氧化钠溶液中反应,可以在芳环上的邻位导入一个醛基,经酸化后,生成邻羟基苯甲醛

[7]彭涛,王新春,等.电桥法测杨氏模量的实验研究[J].大学物理实验,2011,(2).

[8]吴明阳,朱祥.动态法测金属杨氏模量的理论研究[J].楚雄师范学院学报,2012,(6):31-35.

[9]余建英,何旭宏.数据统计分析与SPSS应用[M].人民邮电出版社,2003:10-11.

[10]张春梅.用弯曲法测杨氏模量实验中的不确定度评定[J].大学

物理实验,2003,(12):8-10.

[11]黄仕华,陈永安,等.杨氏模量实验测量结果的不确定度评定[J].昆明理工大学学报,2001,(4).

资助项目:国家特色专业项目资助(编号:12467)。

作者简介:毕长安(1990-),云南禄丰县人,大学本科,主要研究方向为普通物理实验。