

## 玻璃膨胀系数测定

### 一、实验目的意义

通常情况下物体伴随温度的变化其体积会发生改变。绝大多数材料呈现热胀冷缩现象，当然也有特例如在特定的温度区间某些材料呈现零膨胀或者负膨胀。在硅酸盐领域，材料的研制和生产都离不开膨胀系数( $\alpha$ )这一重要的物理技术参数。该参数对材料的耐热性能、成型工艺、材料的复合性能……，都有重要的参考价值 and 依据。

**本实验的目的：**

了解和掌握膨胀系数( $\alpha$ )的基本概念和原理。

了解和掌握膨胀系数( $\alpha$ )的测定方法和应用。

### 二、实验基本原理

材料的膨胀以一维为基准被称为线膨胀，以三维为基准被称为体膨胀。相对应的膨胀系数分别为 $\alpha$ 、 $\beta$ 。线膨胀系数的基本定义为单位长度下温度升高  $1^{\circ}\text{C}$  度时其长度的相对变化。

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \cdot \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

式中： $\alpha$  线膨胀系数( $1/^{\circ}\text{C}$ )。

$L_0$  材料的原始线长度(在原始温度下，单位：mm)

$L$   $L_1 - L_0$ (单位：mm)

$t$   $t_1 - t_0$ (单位： $^{\circ}\text{C}$ )

$$\beta = \frac{V_1 - V_0}{V_0(t_1 - t_0)}$$

式中： $\beta$  体膨胀系数( $1/^{\circ}\text{C}$ )。

$V_0$ 、 $V_1$  材料的原始温度下的体积、温度为  $t_1$  时的体积

$\alpha$ 与 $\beta$ 之间的关系为：

$$\beta = 3\alpha + 3\alpha^2 \times \Delta t^2 + \alpha^3 + \Delta t^3$$

所以体膨胀系数 $\beta$ 大约是线膨胀系数 $\alpha$ 的三倍。

玻璃的线膨胀曲线为图 10.1。

在玻璃的线膨胀曲线图中有两个拐点： $T_g$ ；

$T_f$ 。其中：

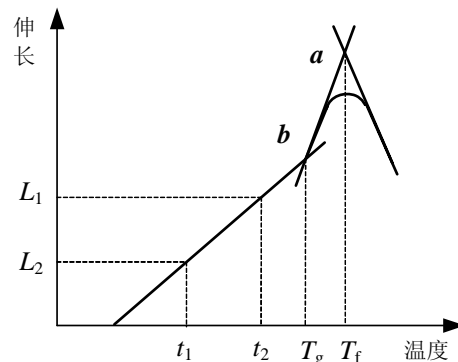


图10.1 玻璃线膨胀曲线

$T_g$  为玻璃的转变温度；  
 $T_f$  为玻璃的软化温度。  
 $T_g - T_f$  为玻璃的转变范围。  
 $T_m$  为玻璃的熔点。

$$\frac{T_g}{T_m} \approx \frac{2}{3} \approx 0.667 \text{ (常用的普通玻璃, 个例除外)}.$$

表：常用材料的平均热膨胀系数表：

材 料	$\alpha: (0 \rightarrow 1000^\circ\text{C}), (1/^\circ\text{C}) \times 10^{-6}$	材 料	$\alpha: (0 \rightarrow 1000^\circ\text{C}), (1/^\circ\text{C}) \times 10^{-6}$
金刚石	~ 3.106	TiC	7.4
BeO	9.0	粘土耐火材料	5.5
MgO	13.5	石英玻璃	0.5
ZrO <sub>2</sub>	10.0(稳定化)	窗玻璃	9.0
尖晶石	7.6	ZrO <sub>2</sub>	4.2
莫来石	5.3	刚玉瓷	5 ~ 5.5
SiC	4.7	SiO <sub>2</sub>	12 (在 0°C)

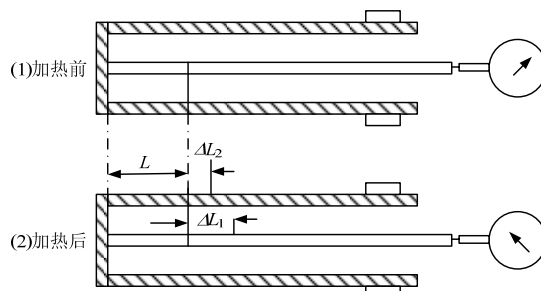


图10.2 比较法热膨胀仪的结构分析

材料(含玻璃、陶瓷)的热膨胀系数测定方法通常采用石英玻璃比较法，其基本的原理是利用被测定物体和石英玻璃的膨胀系数不同，从而测定两者在加热过程中的相对伸长。如上图 10.2 为比较法热膨胀仪的结构分析图。

根据比较法热膨胀仪中的被测定物体和石英玻璃的膨胀系数不同，两者之间的关系为：

$$\Delta L = \Delta L_1 - \Delta L_2 \text{ (1. 被测物体; 2. 石英玻璃)}$$

$$\Delta L_1 = \Delta L + \Delta L_2$$

则被测定物体的线膨胀系数为：

$$\alpha = \frac{\Delta L + \Delta L_2}{L}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta L}{L} \Delta t + \frac{\Delta L_2}{L} \Delta t$$

$$\alpha = \alpha_{\text{石}} + \frac{\Delta L}{L} \Delta t$$

固体(含晶体)受热体积膨胀表明固体中的相邻原子之间的平衡距离在受热过程中发生变化, 原子之间在受热过程中除了简谐力(原子热运动理论)的相互作用外还存在非简谐力。根据热力学的基本理论, 原子之间的相互作用力、势能、原子间距三者之间存在一定的联系, 格留乃森\*由此导出热膨胀系数:

$$\alpha = \gamma \cdot \frac{C_V X_T}{V}$$

其中 $\gamma$ 为格留乃森常数,  $C_V$ 为热容量,  $X_T = -\frac{1}{L} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$  被称为等温压缩率,  $V$ 为固体

的体积,  $P$ 为压力,  $T$ 为温度。格留乃森常数反映了在绝热条件下, 温度对体积的影响。格留乃森常数:

$$\gamma = - \left( \frac{\ln T}{\ln V} \right) s$$

固体(含晶体)热膨胀系数的大小和固体的结构密切相关(有关固体的结构请参阅其他资料), 主要涉及晶系的类型、原子间的键强、电荷大小、离子间距、配位数、电价。

### 三、实验仪器及装置

实验用比较法测定材料的热膨胀系数, 比较法热膨胀仪如图 10.3:

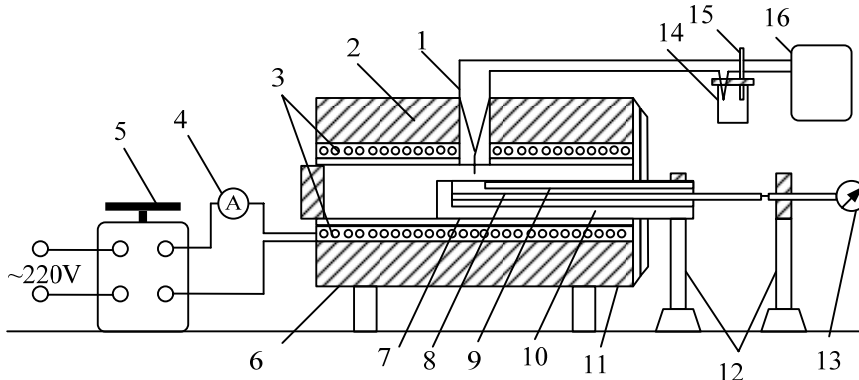


图10.3 比较法热膨胀仪

图示相关配套仪器与附件为:

1. 测温元件(热电偶); 2. 热膨胀电炉; 3. 电热丝; 4. 5. 电炉温度控制器; 6. 电炉外罩;
7. 电炉内芯; 8. 待测样品; 9. 参照样品(石英玻璃); 10. 石英玻璃管; 11. 隔热板; 12. 支架;
13. 千分表; 14. 冰水瓶; 15. 电位差计。

#### 四、实验样品的要求及制备

1. 参照样品(石英玻璃)和被测样品的制作(L: 50mm,  $\Phi$ : 5mm)。
2. 选择合格的玻璃坯体进行样品的加工。
3. 检查参照样品(石英玻璃)和被测样品的外观和尺寸(样品表面不能有开裂, 均匀, 表面光洁度相同, 精确计量样品的尺寸)。
4. 参照样品(石英玻璃)和被测样品的外观和尺寸应尽可能一致(所得尺寸为平均尺寸, 重复计量 3~5 次)。

#### 五、实验步骤

1. 检查热膨胀仪的工作状态(电子线路、加热系统、样品支架和导轨、显示屏)。
2. 确保热电偶在加热系统的中间(减少温度误差)。
3. 按照样品放置要求将参照样品(石英玻璃)和被测样品放入样品支架(在实验教师指导下进行)。
4. 将样品支架随导轨轻轻推入加热炉(使样品处于加热炉的中间)。
5. 启动电源, 记录显示屏中的初始读数。
6. 控制、设定升温曲线(升温速度:  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ),
7. 设定升温曲线在实验教师指导下进行, 根据需要分别设定低温曲线(室温~300 $^{\circ}\text{C}$ )和高温曲线(测定  $T_g$  和  $T_f$ )。
8. 按照操作程序及时对热膨胀仪进行观察和数据的记录。
9. 在操作过程中发现问题及时通知实验教师, 注意安全。

#### 六、实验结果与数据处理

1. 根据以知的  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $\Delta L_x$  和升温速度制作表格和低温曲线(室温~300 $^{\circ}\text{C}$ )及高温曲线(测定  $T_g$  和  $T_f$ )。
2. 按照已有的线膨胀系数计算公式计算被测样品的平均热膨胀系数。

#### 七、实验结果与讨论

1. 材料的线膨胀系数和哪些因素有关?
2. 指出材料的  $T_g$  与  $T_f$  转变范围、 $T_m$  对应的物理、化学性能指标。
3. 材料的零膨胀和负膨胀与哪些因素有关?