

THQDC-2X 型 准稳态法比热导热系数测定仪实验指导书

一、实验目的

1. 了解利用准稳态方法测量有机玻璃、橡胶的比热和导热系数的原理；
2. 学习热电偶测量温度的原理和使用方法。

二、实验仪器

THQDC-2X 型 测试仪、THQDC-2X 型 实验对象、保温桶、实验样品各 4 块（橡胶、有机玻璃）、加热器 1、加热器 2、中心面测温热电偶、加热面测温热电偶、三号导线（绿色 2 根、红色 5 根、黑色 5 根）、5 芯航空插座导线

三、实验原理

1. 准稳态测量原理

如图 1 所示的一维无限大导热模型：一无限大不良导体平板厚度为 $2d$ ，初始温度为 t_0 ，现在平板两侧同时施加均匀的指向中心面的热流密度 q_c ，则平板各处的温度 $t(x, \tau)$ 将随加热时间 τ 而变化。

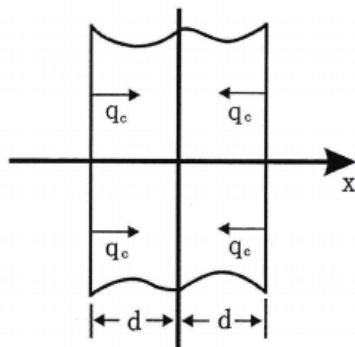


图 1 理想的无限大不良导体平板

以试样中心为坐标原点，上述模型的数学描述可表达如下：

$$\begin{cases} \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} \\ \frac{\partial t(d, \tau)}{\partial x} = \frac{q_c}{\lambda} \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = 0 \end{cases}$$

式中 $a = \lambda / \rho c$ ， λ 为材料的导热系数， ρ 为材料的密度， c 为材料的比热。上述方程的解为

$$t(x, \tau) = t_0 + \frac{q_c}{\lambda} \left(\frac{a}{d} \tau + \frac{1}{2d} x^2 - \frac{d}{6} + \frac{2d}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n^2} \cos \frac{n\pi}{d} x \cdot e^{-\frac{an^2\pi^2}{d^2} \tau} \right) \quad (1)$$

考察 $t(x, \tau)$ 的解析式 (1) 可以看到，随加热时间的增加，样品各处的温度将发生变化，而且我们注意到式中的级数求和项由于指数衰减的原因，会随加热时间的增加而逐渐减小，因而该项对于 (1) 式的结果影响较小。

定量分析表明，当 $\frac{a\tau}{d^2} > 0.5$ 以后，上述级数求和项可以忽略，这时 (1) 式可简写成：

$$t(x, \tau) = t_0 + \frac{q_c}{\lambda} \left[\frac{a\tau}{d} + \frac{x^2}{2d} - \frac{d}{6} \right] \quad (2)$$

这时，在试件中心 $x=0$ 处有：

$$t(x, \tau) = t_0 + \frac{q_c}{\lambda} \left[\frac{a\tau}{d} - \frac{d}{6} \right] \quad (3)$$

在试件加热面处 $x = \pm d$ 有：

$$t(x, \tau) = t_0 + \frac{q_c}{\lambda} \left[\frac{a\tau}{d} + \frac{d}{3} \right] \quad (4)$$

由式 (3) 和式 (4) 可见，在试件中心面和加热面处温度和加热时间成线性关系，温升率都为 $\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{aq_c}{\lambda d}$ ，此值是一个和材料导热性能和实验条件有关的常数，此时加热面和中心面间的温度差为：

$$\Delta t = t(d, \tau) - t(0, \tau) = \frac{1}{2} \frac{q_c d}{\lambda} \quad (5)$$

由式 (5) 可以看出，此时加热面和中心面间的温度差 Δt 和加热时间 τ 没有直接关系，保持恒定。系统各处的温度和时间呈线性关系，温升速率也相同，我们称此种状态为准稳态。

当系统达到准稳态时，由式 (5) 得到

$$\lambda = \frac{q_c d}{2\Delta t} \quad (6)$$

根据式 (6)，只要测量进入准稳态后加热面和中心面间的温差 Δt ，并由实验条件确定相关参量 q_c 和 d ，则可以得到待测材料的导热系数 λ 。

另外在进入准稳态后，由比热的定义和能量守恒关系，可以得到下列关系式：

$$q_c = c\rho d \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (7)$$

因此，该物质的比热 c 为：

$$c = \frac{q_c}{\rho d \frac{\partial t}{\partial \tau}} \quad (8)$$

式中 $\frac{\partial t}{\partial \tau}$ 为准稳态条件下试件中心面的温升速率（进入准稳态后各点的温升速率是相同的）。

由以上分析可以得到结论：只要在上述模型中测量出系统进入准稳态后加热面和中心面的温度差和中心面的温升速率，即可由式（6）和式（8）得到待测材料的比热和导热系数。

2. 热电偶温度传感器

热电偶通常是利用两种不同金属材料焊接起来制作而成的热端元件，制作热电偶的材料一般都选取贵金属，即铜、银或金等，它是温度测量仪表中常用的测温元件，它能够把温度信号转换成热电动势信号，通过电气仪表转换成被测介质的温度。

热电偶测温的基本原理是两种不同成分的材质导体组成闭合回路，如图 2（a）所示，由 A（单线表示）和 B（双线表示）两种不同金属材料的导体两端相互紧密的连接在一起，组成一个闭合回路。当两接点温度不等（ $T > T_0$ ）时，回路中就会产生电动势，从而形成电流，这就是所谓的塞贝克效应或热电效应，热电偶就是利用这一效应来工作的，即当电偶两端存在温度梯度时，回路中就会有电流通过，此时两端之间就存在电动势——热电动势。

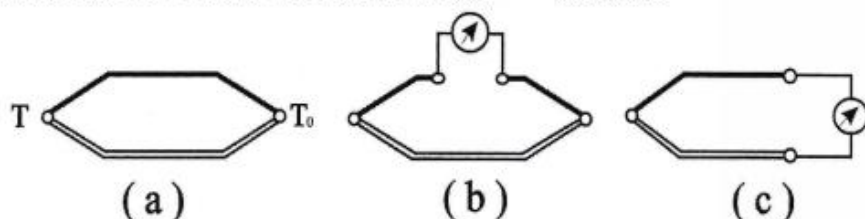


图 2 热电偶原理及接线示意图

上述两种不同导体的组合称为热电偶，A、B 两种导体称为热电极。两个接点，一个称为工作端或热端（T），测量时将它置于被测温度场中，另一个称为自由端或冷端（T₀），一般要求测量过程中恒定在某一温度。根据热电动势与温度的函数关系，可以制成热电偶分度表。分度表是自由端温度在 0℃ 时的条件下得到的，不同的热电偶具有不同的分度表。

热电偶结构简单，具有较高的测量准确度，测温范围一般为 -50℃～1600℃，在温度相关的测量中应用极为广泛。各种热电偶的外形常因需要而极不相同，但是它们的基本结构却大致相同，通常由热电极、绝缘套保护管和接线盒等主要部分组成，并与显示仪表、记录仪表及电子调节器配套使用。

理论分析和实践证明热电偶满足如下的基本定律：

① 热电偶的热电势仅取决于热电偶的材料和两个连接点的温度，而与温度沿热电极的分布以及热电极的尺寸与形状无关（热电极的材质要求均匀）。

② 在 A、B 材料组成的热电偶回路中接入第三导体 C，只要引入第三导体两端温度相同，则对回路的总热电势没有影响。在实际测温过程中，需要在回路接入导线和测量仪表，相当于接入第三导体，常采用图 2 (b) 或图 2 (c) 的接法。

③ 热电偶的输出电压与温度并非线性关系。对于常用的热电偶，其热电势与温度的关系由热电偶特性分度表给出。测量时，若冷端温度为 0°C ，由测得的电压，通过对应分度表，即可查得所测的温度。若冷端温度不为零度，则通过一定的修正，也可得到温度值。在智能式测量仪表中，将有关参数输入计算机程序，则可将测得的热电势转换为温度显示。

四、实验内容与步骤

(一) “有机玻璃样品”的导热系数和比热测量 (必做)

1. 测试样品的安装

(1) 在“保温桶”中加入自来水，水的容量约在保温桶容量的 $3/5$ 即可，然后将“保温桶盖子”盖好。

(2) 将“保温棉”(带凹槽的一面朝向正面)放在实验对象底部，将第 1 块“有机玻璃样品”放在凹槽内，将“加热器 1”放在有机玻璃上方同时用锁紧旋钮固定“加热器 1”。如图 3 所示(注意：将有机玻璃样品卡在加热器 1 的凹槽内，保持平整，加热器 1 的字体朝向正面，否则无法对准螺纹孔，锁紧加热器 1)

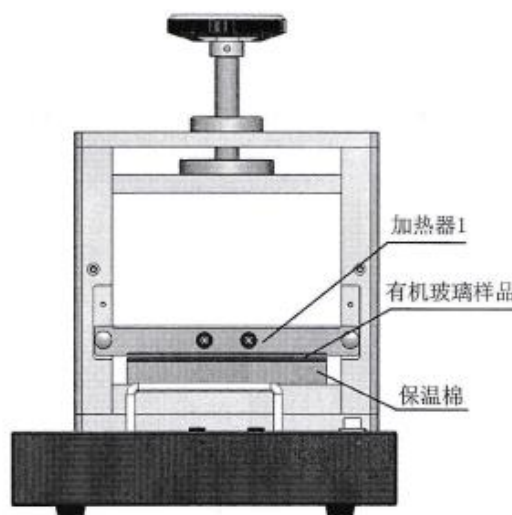


图 3 步骤一示意图 (安装加热器 1)

(3) 放置第 2 块“有机玻璃样品”在“加热器 1”的凹槽内，然后将“中心面测温热电偶”放置在第二块有机玻璃上方且卡在“中心面”的凹槽内同时用锁紧旋钮固定“中心面测温热电偶”，如图 4 所示。(注意：将有机玻璃样品卡在中心面的凹槽内，保持平整，中心面的字体朝向正面，否则无法对准螺纹孔，锁紧中心面)

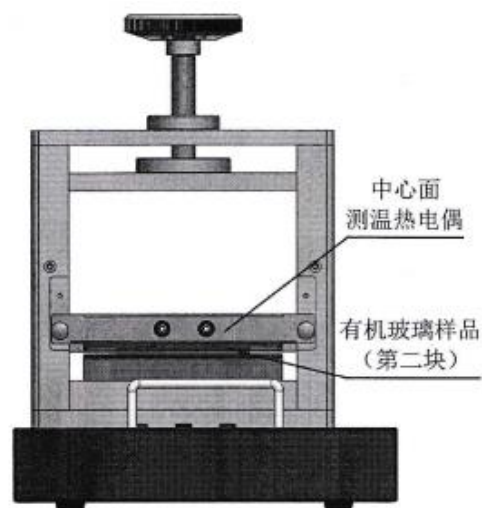


图 4 步骤二示意图（安装中心面测温热电偶）

(4) 放置第 3 块“有机玻璃样品”在“中心面测温热电偶”的上方凹槽内，然后将“加热器 2”放置在第 3 块“有机玻璃”的上方且卡在“加热器 2”的凹槽内同时用锁紧旋钮固定“加热器 2”，如图 5 所示。（注意：将有机玻璃卡样品在加热器 2 的凹槽内，保持平整，加热器 2 的字体朝向正面，否则无法对准螺纹孔，锁紧加热器 2）



图 5 步骤三示意图（安装加热器 2）

(5) 将“加热面测温热电偶”用锁紧旋钮固定支架上，再将“热电偶”放置在加热器 2 的凹槽内；放置第 4 块“有机玻璃样品”在“加热器 2”的上方凹槽内，将第 2 块“保温棉”放置在第 4 块“有机玻璃样品”上方，最后旋转实验对象上方手轮，将整个结构压紧，图 6 所示。（注

意：将有机玻璃卡样品在加热器 2 的凹槽内，保持平整，加热面的字体朝向正面，否则无法对准螺纹孔，锁紧加热面）

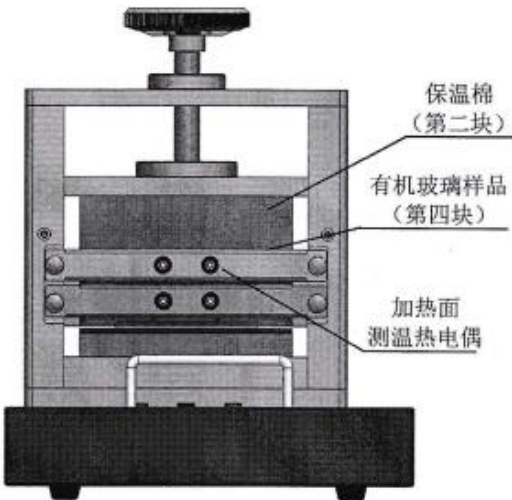


图 6 步骤 4 示意图（安装加热面热电偶）

2. 测量样品加热面与中心面的温度差和中心面的升温速率

(1) 如图 7、8 所示连接实验导线。检查各部分接线是否有误，同时确认前面板的“加热控制开关”已经关闭。

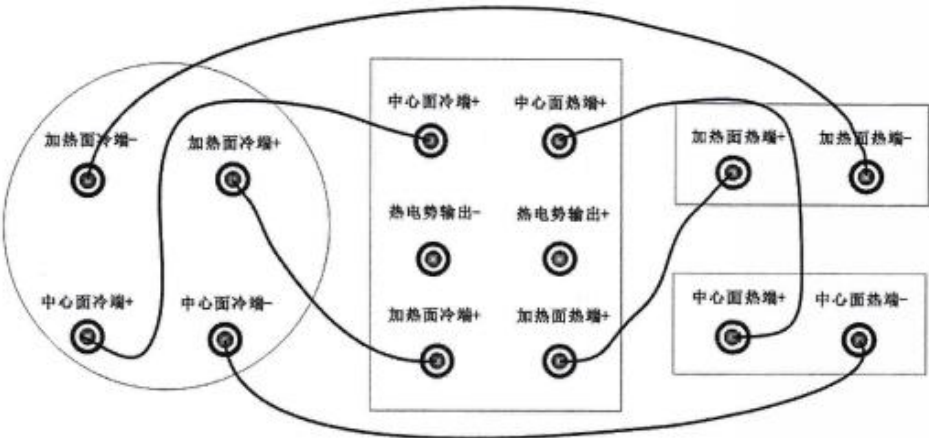


图 7 保温桶与实验对象接线图

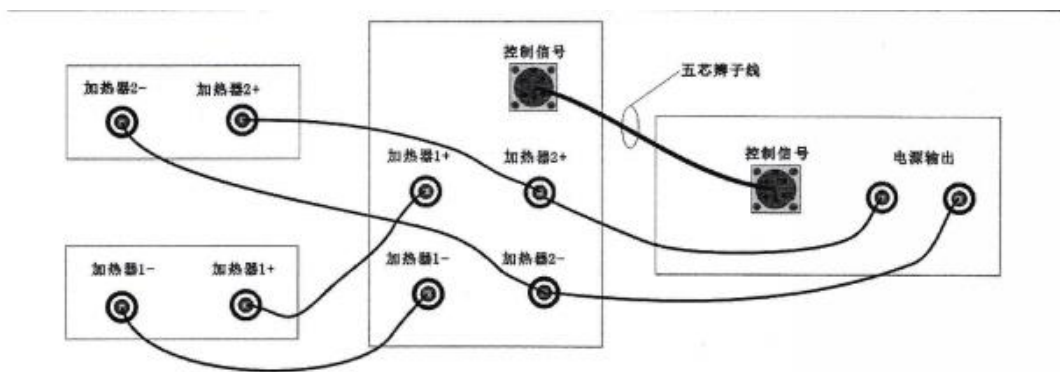


图8 测试仪与实验对象接线图

- (2) 打开主机电源，预热仪器 10 分钟左右。
- (3) 按下“电压切换”按钮，切换到“加热电压”显示状态，旋转“加热电压调节”旋钮使电压显示为 18.00V。
- (4) 弹出“电压切换”按钮，切换到“热电势”档位，弹出“热电势切换”按钮，切换到“温差”档位，将此时“温差”的数值记录在表 1 中（实验数据处理时进行补偿）。
- (5) 按下机箱正面的“加热开关”按钮，同时计时器开始计时，按表 1 的时间要求读取数据并记录在表 1 中（**读数技巧**：读数时要来回“按下”或“弹出”“热电势切换”按钮，可以读到温差热电势 V_t 和中心面热电势 V 。读数时，要先读 V_t ，30 秒后再读 V ，依次循环直到 25 分钟后实验结束，要保证 V_t 的读数间隔是 1 分钟， V 的读数间隔也是 1 分钟）。
- (6) 测量结束，弹开机箱正面的“加热开关”按钮，同时计时器停止计时。

表 1 “有机玻璃样品”实验数据

样品参数				
长度: <u>90</u> mm 宽度: <u>90</u> mm 厚度 (δ): <u>10</u> mm 密度 (ρ): <u>1160</u> kg/m ³				
加热电压 (U): _____ V; 加热器电阻值 (r): <u>110</u> Ω				
时间 τ (分: 秒)	温差热电势 V_t (mV)	时间 (分: 秒)	中心面热电势 V (mV)	中心面上每分钟 上升的热电势 $\Delta V = V_{n+1} - V_n$
00:00		00:00		
00:30		01:00		
01:30		02:00		
02:30		03:00		
03:30		04:00		
04:30		05:00		

05:30		06:00		
06:30		07:00		
07:30		08:00		
08:30		09:00		
09:30		10:00		
10:30		11:00		
11:30		12:00		
12:30		13:00		
13:30		14:00		
14:30		15:00		
15:30		16:00		
16:30		17:00		
17:30		18:00		
18:30		19:00		
19:30		20:00		
20:30		21:00		
21:30		22:00		
22:30		23:00		
23:30		24:00		
24:30		25:00		

(二)“橡胶样品”的导热系数和比热测量(选做)

将“有机玻璃样品”更换为“橡胶样品”，重复上述操作，将实验数据记录在表2中。

表2 “橡胶样品”实验数据

样品参数				
长度: <u>90</u> mm 宽度: <u>90</u> mm 厚度 (\bar{d}): <u>10</u> mm 密度 (ρ): <u>1200</u> kg/m ³				
加热电压 (U): <u> </u> V; 加热器电阻值 (r): <u>110</u> Ω				
时间 τ (分: 秒)	温差热电势 V_t (mV)	时间 (分: 秒)	中心面热电势 V (mV)	中心面上每分钟上升的 热电势 $\Delta V = V_{n+1} - V_n$
00:00		00:00		
00:30		01:00		
01:30		02:00		
02:30		03:00		

03:30		04:00		
04:30		05:00		
05:30		06:00		
06:30		07:00		
07:30		08:00		
08:30		09:00		
09:30		10:00		
10:30		11:00		
11:30		12:00		
12:30		13:00		
13:30		14:00		
14:30		15:00		
15:30		16:00		
16:30		17:00		
17:30		18:00		
18:30		19:00		
19:30		20:00		
20:30		21:00		
21:30		22:00		
22:30		23:00		
23:30		24:00		
24:30		25:00		

五、数据处理

1.根据表 1 中的数据，绘制 $\tau - V_t$ 曲线和 $\tau - V$ 曲线。

2.根据表 1 种的数据，找出加热面与中心面之间的温差热电势 V_t 在第__分钟到第__分钟较稳定，选择这段时间内的 5 个数据为对象，计算平均值 $\overline{V_t} - V_{t0} = \underline{\hspace{2cm}}$

其中： V_{t0} 是未加热时的温差热电势

3. 根据表 1 种的数据，找出中心面上每分钟上升的热电势 ΔV 在第__分钟到第__分钟时间段较为稳定，选这时间段内的 5 个数据为对象，计算平均值 $\overline{\Delta V} + B_2 = \underline{\hspace{2cm}}$

其中： B_2 是散热修正电压

4.将 $\overline{V_t} - V_{t0}$ 和 $\overline{\Delta V} + B_2$ 换算为“加热面与中心面”之间的温度差 Δt 和中心面的升温速率 $\frac{\partial t}{\partial \tau}$

铜—康铜热电偶的热电常数为 0.04mV/K。即每差 1 度，温差热电势为 0.04mV。将温度差和

升温速率的电压值换算为温度值:

$$\text{温度差 } \Delta t = \frac{\bar{V}_t + V_{t0}}{0.04} = \text{---} \text{ (K)}, \text{ 升温速率 } \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\Delta \bar{V} + B_2}{60 \times 0.04} = \text{---} \text{ (K/s)}$$

5.根据式(6)和式(8)计算有机玻璃的导热系数和比热容,从进行修正。

6.相关参量

$$\text{热流密度 } q_c = \frac{V^2}{2Fr}$$

式中: V 为两并联加热器的加热电压; F 为加热面积; r 为每个加热器的电阻

修正

$$\lambda' = A \times \lambda$$

$$c' = A \times B_1 \times c$$

(1) 修正系数 A=0.818, 计算过程如下:

样品长 90mm, 宽 90mm, 厚度 10mm

上表面面积 $S_{\text{上}} = 90 \times 90 = 8100 \text{mm}^2$

下表面面积 $S_{\text{下}} = 90 \times 90 = 8100 \text{mm}^2$

侧面积 $S_{\text{侧}} = 90 \times 10 \times 4 = 3600 \text{mm}^2$

$$A = (S_{\text{上}} + S_{\text{下}}) / (S_{\text{上}} + S_{\text{下}} + S_{\text{侧}}) = 16200 / 19800 = 0.818$$

(2) 比热修正系数 B_1

为了确保导热的均匀性和稳定性, 测试样品中增加了铜板, 因此需要引入一个比热修正系数 B_1 , 计算过程如下:

铜板的质量为 270g, 比热为 390J/Kg/K

测试样品的质量为 94g, 比热为 1400J/Kg/K

$$B_1 = (94 \times 1400) / (94 \times 1400 + 270 \times 390) = 131600 / (131600 + 105300) = 0.556$$

(3) 散热修正电压 B_2

当系统温度高于环境温度时, 系统会向外界散热, 因此引入一个散热修正电压 B_2 , 经过多次测量 $B_2 = 0.002 \text{mV}$ (即当样品处于准稳态时, 系统每分钟的散热产生的温差电势为 0.002mV)。

THQDC-2X 型 准稳态法比热导热系数测定仪使用说明书

一、实验仪器

THQDC-2X 型 准稳态法比热导热系数测定仪分为两部分：

（一）测试仪部分

测试仪主要由前面板和后面板两部分组成，如图 11 和图 12 所示。

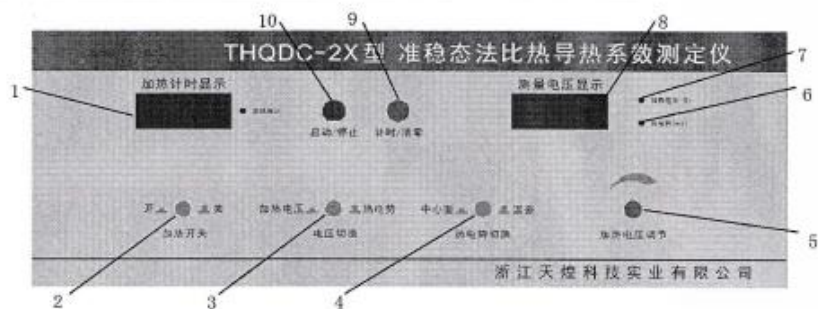


图 11 测试仪前面板图

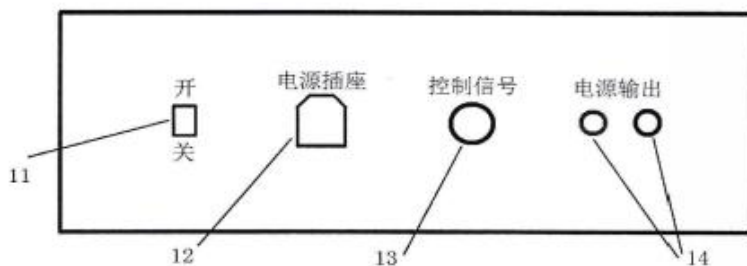


图 12 测试仪后面板图

1. 加热计时显示（计时器）：显示加热时间，前两位表示分钟，后两位表示秒，最大显示 99 分 59 秒。

2. 加热开关：控制加热器的电源输出，按下开关同时计时器开始计时，此时按“启动/停止”和“计时/清零”无作用。

3. 电压切换：在“加热电压”和“热电势”之间切换，同时“电压表”显示对应的电压。

4. 热电势切换：处于“热电势”显示状态，在“中心面-室温”的温差热电势和“中心面-

加热面”的温差热电势切换，同时“电压表”显示对应的电压。

5. 加热电压调节：调节加热电压的大小，电压范围为 16.00~19.99V。
6. 热电势指示灯：当处于“热电势”显示状态时，指示灯亮。
7. 加热电压指示灯：当处于“加热电压”显示状态时，指示灯亮。
8. 测量电压显示（电压表）：显示“加热电压”和“热电势”的电压。
9. 计时/清零：弹出加热开关，当计时器停止计时时，清除当前显示时间。
10. 启动/停止：弹出加热开关，按下该按键计时器开始计时，再按一次计时器停止计时。
11. 电源总开关：控制测试仪的打开和关闭。
12. 电源插座：接入 AC220V 电压。
13. 控制信号：提供放大器电源和传输热电势信号。
14. 电源输出：为加热器提供电压。

（二）实验仪（测试架）部分

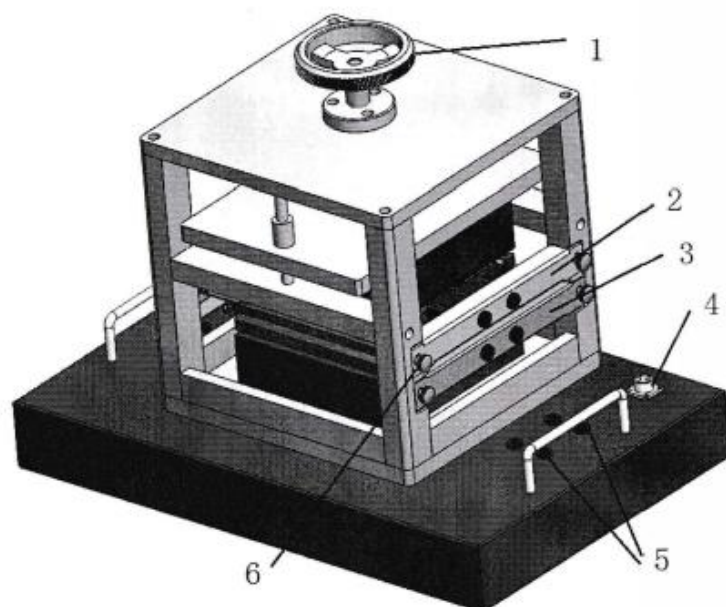


图 11 测试架结构图（右侧）

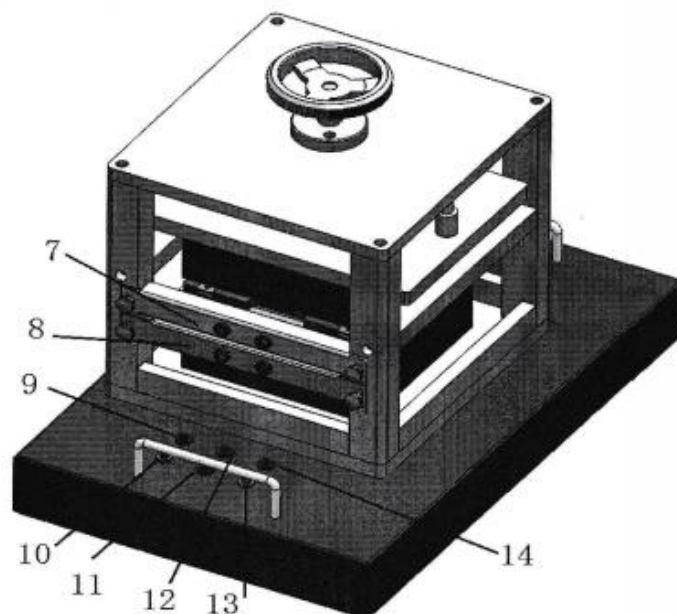


图 12 测试架结构图（左侧）

- | | | | |
|-----------|-----------|------------|------------|
| 1.手轮 | 2.加热器 2 | 3.加热器 1 | 4.五芯航空插座 |
| 5.加热器转接座 | 6.锁紧旋钮 | 7.加热面测温热电偶 | 8.中心面测温热电偶 |
| 9.中心面冷端+ | 10.中心面热端+ | 11.热电势输出 - | 12.热电势输出+ |
| 13.加热面冷端+ | 14.加热面热端+ | | |

二、注意事项

- 1.放置有机玻璃样品要保持平整，否则会对实验结果造成影响。
- 2.热电偶的导线很细，切勿拉拽导线，损坏热电偶。
- 3.实验过程中不要触碰已经连接好的实验导线，会对实验结果造成影响。
- 4.仔细阅读实验步骤，避免操作失误，实验加热超过 5 分钟后，要重新做实验需将实验样品和实验器材凉到室温才可以重新开始实验。