

实验十五 材料导热性能的测定

一、实验目的

材料的导热性能是建筑材料及保温材料应用的关键性能,如大体积建筑为维持其体积稳定性的温控计算和设计,窑炉的热工计算和设计时均需要比较准确清楚所选择材料的导热系数。通过本实验了解并掌握导热系数测定和计算的一些基本方法。

二、实验原理

导热是指直接接触的物体各部分能量交换的现象,其实质是物体内部由于分子间(质点间)相互碰撞引起的内能传递的结果。这种现象只要在物体各部分存在温度差就会产生能量的传递。本实验以非稳态导热原理为基础,即: $T=T(x, y, z, \tau)$ 。在实验材料中短时间加热,使实验材料的温度发生变化,根据其变化的特点,通过导热微分方程的解,计算出实验材料的导热系数、导温系数和比热。

三、实验仪器设备及流程

根据非稳态导热原理建立的导热系数实验装置是由电源、测温仪表及一个面加热器和放置在加热器两侧相同材料的三块试件及测温热电偶组成:

1. 试件部分

包括试件、试件台及夹具。

为便于放置热电偶及加热器,试件分成三块(二块厚、一块薄),试件之间夹以热电偶与加热器,并用夹具固紧。

2. 加热系统

包括加热器、WYJ-45A 型晶体管直流稳压电源、 0.01Ω 标准电阻、UJ31 型电位差计和 AC15/5 型检流计。

加热器是用直径为 0.25mm 的康铜丝绕成三段并联的形式,并用薄的绝缘绸布固定。

通过加热器的电流值是用 UJ31 型电位差计测出与加热器串联的 0.01Ω 标准电阻两端的电压降后换算而确定的。

3. 温度测量系统

温度测量系统是采用直径为 0.1mm 的铜-康铜热电偶。测量温度的仪表采用 UJ31 型电位差计及 AC15/5 型检流计。

四、实验操作步骤

1. 试件的准备

(1)试件三块为一组，二厚一薄。试件的长和宽一般等于或大于薄试件厚度的 8 倍，厚试件与薄试件的厚度比应为 3:1 左右。如：薄试件一块 $20 \times 20 \times (1.5 \sim 3)\text{cm}$ ，厚试件二块 $20 \times 20 \times (6 \sim 10)\text{cm}$ 。若知道材料的导温系数时，薄试件厚度可按下列数值选用：

材料的导温系数 $a(\text{m}^2/\text{h})$	薄试件的厚度 $\delta (\text{mm})$
$\leq 1 \times 10^{-3}$	15~20
$\geq 1 \times 10^{-3}$	20~30

(2)一组试件必须为同一材料，其容重差应小于 5%；

(3)试件两表面应平行，且厚度应均匀。薄试件平面度应小于试件厚度的 1%。各试件的接触面应平整且结合紧密；

(4)粉状材料用围框的方法按上述要求处理；

(5)考虑材料的不均匀性，每种材料应取样 3~5 组。

(6)测量干燥条件下材料的导热系数时，试件应根据材料本身的技术规范在不同温度条件下进行干燥处理至恒重；

(7)测量不同含湿状态下的热特性时，应将干燥试件培养至所需湿度后，放在密闭容器两天以上，再进行测试，要求一组试件的湿度差小于或等于 1%。

2. 测试前的准备：

(1)将冰瓶装入冰水混合物或水；

(2)开启总电源，并将 45V 电源调到所需要的电压值。(见下表)

(3)接通 6V 晶体管稳压电源，输出电压为 6V，并稳定半小时；

(4)称三块试件的重量、测量其尺寸，计算出密度；

(5)将试件放在试件台上，按要求放入热电偶及加热器，热电偶的接点应在试件的中心，然后夹紧试件，对于受压易变形的试件，应采取措施防止试件变形；

(6)试件的初始温度在 10min 内变化小于 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ (即 $\pm 2\mu\text{V}$)，并且薄试件上、下表面温度差小于 0.1°C (即 $4\mu\text{V}$)时，可开始试验。

电压选择参考表

加热器电阻近 似值 $R(\Omega)$	薄试件厚度 $d(\text{mm})$	试件材料密度 $\rho (\text{kg}/\text{m}^3)$	选用电压 $V(\text{V})$
--------------------------	-------------------------	---	-----------------------

~40	15	100 以下	15 以下
		300~400	15~20
		500~600	25~30
		700~800	30~40
		900 以上	40~45
~40	20	300 以下	25 以下
		400~500	30~35
		600~700	35~40
		800~900	40~45
		1000 以上	45 以上

3. 测试步骤

(1)校正检流计光点指示零位；

(2)将电位差计的量程开关指向“×1”位置，测量选择开关指向“标准”，按下“细”按钮，调节工作电流使检流计光点指零；

(3)电位差计的测量选择开关指向“未知 1”，按电偶开关“1”，测量并记录上表面热电势 E'_0 ，然后按电偶开关“3”，测量并记录下表面热电势 E_0 ，(当冰瓶的水温高于试件时，按电偶开关“2”和“4”，此时测出的 E'_0 和 E_0 为负值)；

(4)按“加热”开关，并同时启动秒表；

(5)测量加热回路的电流：断开“细”按钮，测量选择开关转至“未知 2”，再按下“细”按钮，移动电位差计测量盘，使检流计光点指零，此刻记录电位差计的读数为 $V_{标}$ 。

(6)断开“细”按钮，测量选择开关指向“未知 1”，按下电偶开关“3”，并按下“细”按钮，移动测量盘，使光点在零位附近，当加热时间为 4~5min，并且 $\theta(0, t_1) \geq 10^\circ\text{C}$ 时，使光点指零，记录时间 t_1 及测量盘示数值为 E_1 ；

(7)测量选择开关指向“断”，按下电偶开关“1”，并按下“细”按钮，移动电位差计测量盘比 E_0 高出 0.04~0.08mV(相当于 1~2°C)，将测量选择开关转至“未知 1”，这时，检流计光点随着温度升高，逐渐往零点移动，当回到零点时，记录秒表读数，即时间 t' ，测量盘的示数为 E' ，此时要求： t' 与 t_1 的间隔时间小于或等于 1min；

(8)按“停止”按钮，并同时记录秒表读数，即时间为 t_2 ，时间 t_2 可以等于 t' 也可以大于 t' 。当 $t_2 > t'$ 时，要求 t_2 与 t' 之间的时间间隔不超过 30 秒；

(9)断开“细”按钮，按热偶开关“3”。由于加热停止，热源面上的温度逐渐下降，待 t_3 比 t_2 长 3~5min后，按下“细”按钮，移动电位差计测量盘，使检流计光点回到零

位，记录秒表的读数即时间 t_3 ，而测量盘的示数值为 E_2 。

一次试验结束，拆卸试件，并装入密闭容器中，待4小时后，按上述试验步骤再进行第二次试验。

五、数据处理

1. 试件容重按下式计算：

$$\rho = \frac{g}{v} \quad (\text{kg/m}^3)$$

式中： g —试件重量(kg)

v —试件体积(m^3)

2. 试件的重量含水率：

$$W_2 = \frac{g_2 - g_1}{g_1} (\%)$$

式中： g_1 —干试件重量(kg)

g_2 —湿试件重量(kg)

3. 材料的导温系数、导热系数及比热分别按下列计算：

(a)函数 $B(y)$ 值：

$$B(y) = \frac{\theta'(x, t')\sqrt{t_1}}{\theta(0, t_1)\sqrt{t'}} = \frac{(T' - T_0') \cdot \sqrt{t_1}}{(T_1 - T_0) \cdot \sqrt{t'}}$$

其中： T_0' 为 $E_0' + E_{\text{室温}}$ ，再查“温度-毫伏”对照表而得到的温度值；

T' 为 $E' + E_{\text{室温}}$ ，再查“温度-毫伏”对照表而得到的温度值；

T_1 为 $E_1 + E_{\text{室温}}$ ，再查“温度-毫伏”对照表而得到的温度值；

T_0 为 $E_0 + E_{\text{室温}}$ ，再查“温度-毫伏”对照表而得到的温度值。

(b)导温系数：

根据函数 $B(y)$ 值查附表1得 y^2 值，则： $a = \frac{d^2}{4t' y^2}$ (m^2/h)

(c)导热系数：

$$\lambda = \frac{Q\sqrt{a}(\sqrt{t_3} - \sqrt{t_3 - t_2})}{\theta(0, t_3)\sqrt{\pi}} \quad (\text{w/m} \cdot \text{k})$$

其中 $\theta(0, t_3) = T_3 - T_0$ ， T_3 为 $E_3 + E_{\text{室温}}$ ，再查“温度-毫伏”对照表而得到的温度值。

(d)比热:

$$C = \frac{3.6\lambda}{a \cdot \rho} \quad (\text{kJ/kg} \cdot \text{k})$$

式中: $\theta'(x, t')$, t' —薄试件上表面过余温度 $^{\circ}\text{C}$, 及相对应的时间(小时);

$\theta(0, t_1)$, t_1 —升温过程中热源面上的过余温度 $^{\circ}\text{C}$, 及相对应的时间(小时);

$\theta(0, t_3)$, t_3 —降温过程中热源面上的过余温度 $^{\circ}\text{C}$, 及相对应的时间(小时);

t_2 —关闭热源的时间(小时);

ρ —三块试件的平均容重 kg/m^3 ;

d —薄试件的厚度, m ;

Q —加热器的功率 W/m^2 , 按下式计算:

$$Q = \left(\frac{V_{\text{标}}}{10}\right)^2 \cdot A = I^2 \cdot A$$

式中: $V_{\text{标}}$ —与加热器串联的 0.01Ω 标准电阻两端的电压降 mV ;

$$A = \frac{R}{S} \quad (\Omega/\text{m}^2)$$

式中 R 、 S —分别为加热器的电阻及面积。

六、分析讨论题

1. 请叙述材料导热系数测试的基本原理?
2. 请说出导热系数的概念以及导热系数的大小与材料热性能的关系。
3. 本实验中对试样有什么要求? 实验中要注意哪些问题?

附表 1 温度($^{\circ}\text{C}$)—热电势(mV)对照表

	0°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0.040	0.079	0.119	0.159	0.199	0.238	0.278	0.318	0.338

10	0.397	0.438	0.479	0.520	0.561	0.602	0.643	0.684	0.725	0.766
20	0.807	0.849	0.891	0.933	0.975	1.017	1.060	1.102	1.144	1.186
30	1.228	1.270	1.312	1.355	1.397	1.439	1.481	1.523	1.565	1.608
40	1.605	1.693	1.737	1.780	1.824	1.867	1.911	1.954	1.998	2.041
50	2.085	2.128	2.172	2.215	2.259	2.302	2.346	2.389	2.433	2.476
60	2.520	2.565	2.610	2.655	2.701	2.746	2.791	2.836	2.882	2.927
70	2.972	3.018	3.063	3.108	3.153	3.199	3.244	3.289	3.334	3.380
80	3.425									

附表 2

函数 B(y)表

y ²	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	1.000	0.8327	0.7693	0.7229	0.6852	0.6253	0.6253	0.6002	0.5777	0.5700
0.1	0.6879	0.5203	0.5037	0.4881	0.4736	0.4599	0.4469	0.4346	0.4229	0.4117
0.2	0.4010	0.3908	0.3810	0.3716	0.3625	0.3539	0.3455	0.3365	0.3298	0.3223
0.3	0.3151	0.3081	0.3014	0.2948	0.2885	0.2824	0.2764	0.2707	0.2651	0.2596
0.4	0.2543	0.2492	0.2442	0.2394	0.2347	0.2301	0.2256	0.2213	0.2170	0.2129
0.5	0.2089	0.2049	0.2010	0.1973	0.1937	0.1902	0.1867	0.1833	0.1800	0.1767
0.6	0.1735	0.1704	0.1674	0.1645	0.1616	0.1588	0.1561	0.1534	0.1507	0.1481
0.7	0.1456	0.1431	0.1407	0.1383	0.1369	0.1337	0.1315	0.1293	0.1271	0.1250
0.8	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170	0.1151	0.1132	0.1114	0.1096	0.1078	0.1061
0.9	0.1044	0.1027	0.1011	0.09949	0.09791	0.09645	0.09491	0.09340	0.09129	0.09048
1.0	0.08908	0.08770	0.08634	0.08501	0.08370	0.08241	0.08115	0.07991	0.07869	0.07749
1.1	0.07631	0.07516	0.07403	0.07292	0.07181	0.07073	0.06967	0.06863	0.06761	0.06660
1.2	0.06562	0.06464	0.06368	0.06274	0.06181	0.06090	0.06000	0.05912	0.05826	0.05741
1.3	0.05657	0.05575	0.05494	0.05414	0.05335	0.05258	0.05182	0.05107	0.05033	0.04961
1.4	0.04890	0.04820	0.04751	0.04684	0.04617	0.04552	0.04487	0.04423	0.04360	0.04298
1.5	0.04238	0.04179	0.04120	0.04062	0.04004	0.03948	0.03893	0.03839	0.03785	0.03732
1.6	0.03680	0.03629	0.03578	0.03528	0.03479	0.03431	0.03384	0.03337	0.03291	0.03246
1.7	0.03201	0.03157	0.03114	0.03072	0.03030	0.02988	0.02947	0.02907	0.02867	0.02828
1.8	0.02790	0.02752	0.02715	0.02678	0.02642	0.02606	0.02570	0.02535	0.02501	0.02468
1.9	0.02435	0.02402	0.02370	0.02338	0.02307	0.02276	0.02246	0.02216	0.02186	0.02157
2.0	0.02128	-	-	-	-	-	-	-	-	-

附表 3 导热系数测定原始记录表

测定原始记录数据

时间	暖瓶温度	E'_0	E_0	E_1	t_1	E'	t'	t_2	E_3	t_3	$V_{\text{标}}$	$I = \frac{V_{\text{标}}}{10}$
材料名称							材料容重		Kg/m^3			
实验室温度		$^{\circ}\text{C}$					实验室湿度		%			
S:		m^2		R:		Ω		d		m		
项目	试件		上		中		下		平均			
$g_{\text{干}}(\text{kg})$												
$V(\text{m})$												
$\rho_{\text{湿}}(\text{kg/m}^2)$												
$g_{\text{湿}}(\text{kg})$												
$W(\%)$												

导热系数测定计算整理记录表

整理记录							
$Q=A \cdot I^2$	$\theta'(x,t')$ $=T'-T_0'$	$\theta(0,t_1)$ $=T_3-T_0$	$\theta(0,t_3)$ $=T_3-T_0$	t_1 (h)	t' (h)	t_2 (h)	t_3 (h)
$\sqrt{t_1}$	$\sqrt{t'}$	$\sqrt{t_3}$	$\sqrt{t_3-t_2}$	$\sqrt{t_3}-\sqrt{t_3-t_2}$		$B(y) = \frac{\theta'(x,t')\sqrt{t_1}}{\theta(0,t)\sqrt{t'}}$	
y^2	$a = \frac{d^2}{4t'y^2}$	\sqrt{a}	$\lambda = \frac{Q\sqrt{a}(\sqrt{t_3}-\sqrt{t_3-t_2})}{\theta(0,t_3)\sqrt{\pi}}$				
$c = \frac{4.1863\lambda}{a\rho}$		平 均 值					
		$\lambda_{c\rho} =$		$a_{c\rho} =$		$c_{c\rho} =$	

附注：