



中华人民共和国国家标准

GB/T 17106—1997
idt ISO 8894-2:1990

耐火材料导热系数试验方法 (平行热线法)

Refractory materials—Determination of
thermal conductivity—Hot-wire method(parallel)

1997-11-11 发布

1998-05-01 实施

国家技术监督局 发布

前 言

本标准等同采用 ISO 8894-2:1990《耐火材料导热系数的测定 第二部分:平行热线法》。

本标准第 5 章中的测控仪表-数字万用表的等级为我国标准的 0.2 级。第 8 章中热电偶的电势值按 1990 年国际温标大会确定。第 7.3 中试样的支座为两个。

本标准的附录 A 是提示的附录。

本标准由中华人民共和国冶金工业部提出。

本标准由全国耐火材料标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:洛阳耐火材料研究院。

本标准主要起草人:张亚静、郑祥华。

ISO 前言

ISO(国际标准化组织)是各国家标准化协会组织(ISO 成员机构)组成的全球性联合会。国际标准的制定工作是由 ISO 技术委员会提出的。任何一个成员单位可对某技术委员会提出的课题向其任职委员会说明其意愿。国际协会、政府和非政府的机构等可与 ISO 联系,也可参加其中的工作。

经技术委员会采纳的国际标准草案将轮流传送到各成员单位进行投票。作为国际标准的出版物需要至少 75%投票者的赞成。

国际标准 ISO 8894-2 是由耐火材料技术委员会 ISO/T C33,试验方法分委员会 SC2 提出的。

常用的耐火材料导热系数的测定 ISO 8894 由下列两部分组成。

第一部分:十字热线法

第二部分:平行热线法

ISO 8894 的附录 A 和附录 B 仅供参考。

中华人民共和国国家标准

耐火材料导热系数试验方法 (平行热线法)

GB/T 17106—1997
idt ISO 8894-2:1990

Refractory materials—Determination of thermal
conductivity—Hot-wire method (parallel)

1 范围

- 1.1 本标准规定了平行热线法测定耐火材料的导热系数。
- 1.2 本标准适用于测量温度不大于 1 250℃、导热系数小于 25W/(m·K)的材料,不适用于导电材料。
- 1.3 在 1.2 规定的范围内,本法还适用于粉状料及颗粒料(见 7.2)。

注

- 1) 不烧砖和不定形耐火材料预制件的导热系数由于受硬化或凝固后残留水在加热时脱水的影响,试样须作预处理。预处理的方法、程度和试样在测量温度时的保温时间等细节超出了本标准的范围,应由有关双方协商一致。
- 2) 测量非均质材料一般是困难的,尤其是含有纤维的材料,使用本方法对这类材料的测量也应由有关双方协商一致。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中的引用而构成了本标准的条文。在标准出版时,所示版本均为有效。所有的标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列最新版本的可能性。

GB/T 5990—86 定形隔热耐火制品导热系数试验方法(十字热线法)

GB/T 10325—88 耐火制品堆放、取样、验收、保管和运输规则

3 定义

本标准采用下列定义。

- 3.1 导热系数(λ)热流密度除以温度梯度,单位 W/(m·K)。
- 3.2 热扩散系数(α)导热系数除以单位体积的热容,单位 m²/s。
- 3.3 功率(P)电流与电势差的乘积,单位 W。

4 原理

平行热线法是测量距埋设在两个试块间线热源规定距离和规定位置上的温度升高所进行的一种动态测量法。

试样组件在炉内加热至规定温度并在此温度下保温,再用沿试样长度方向埋设在试样中的线状电导体(热线)进行局部加热,热线载有已知恒定功率的电流,即在时间上和试块长度方向上功率不变。

热电偶安放在离热线规定的位置,且平行于热线(见图 1)。从接通加热电流的瞬间开始,热电偶便开始测量温升随时间的变化,此温升与时间的函数就是被测试样的导热系数。

5 设备

5.1 试验炉,电加热炉能容纳一个或多个试样组件(见 6.2),至少能升至 1 250℃,试样任意二点间的温差不大于 10℃;在测试中(约 15min 内)试样外部温度波动不大于±0.5℃。试验温度偏差为±5℃。

5.2 热线,最好采用铂线、铂/铑合金线,长约 200mm,直径不大于 0.5mm。长度的测量精确到 0.5mm,热线的一端与电源的引线连接,也可以不用引线,直接延伸热线本身。在任何情况下,埋在试样内的引线的直径应和热线相同,热线的另一端和测量电压的引线相连,在试样内的引线直径不大于热线直径,试样外的引线应由两根或两根以上 0.5mm 直径的导线绞成,炉子外部的电流引线采用大容量的电缆(20A/2.5mm²)。

注:热线也可以用贱金属线,在此情况下,引线应和热线材质相同,其他注意事项应满足本条要求。

5.3 热线电源,采用交流稳压电源,测量期间功率波动不超过 2%,能供给热线的功率至少是 80W(对于 200mm 长的热线相当于 250W/m),如果可能,最好采用恒定功率电源。

5.4 示差铂/铂~铑热电偶(R 或 S 型),由测量热电偶和一个反接的参比热电偶组成(见图 1)。测量热电偶和热线平行,二者相距 15mm±1mm(见图 2)。参比热电偶放在上试块的上表面和盖板中间,盖板材质和试样相同,以保持有稳定的输出。热电偶的直径应和热线相同,其长度应能延伸到炉外经连线和测量仪器相连,连线可用其它材质的导线,热电偶外部接点应恒温。

注:1)在 1 000℃以下可用贱金属热电偶。

2)在上试块和盖板间可加隔热板。

5.5 数字万用表,用于测量热线电流和电压,二者的测量精度至少为±0.5%。

注:可选用 0.2 级以上的仪器。

5.6 测量系统,温度时间记录装置,灵敏度至少为 2μV/cm 或能显示 0.05μV,时间分辨率要高于 0.5s、测温精度 0.05K。

5.7 匣钵,用于试验粉料或颗粒料,它的内部尺寸和第 6 章中规定的整体试样相同,以便使试验系统有 6.2 规定的两个接触面,下匣钵是一个无盖的方盒,上匣钵是个方框另带一个盖(见图 3)。

6 试样

6.1 取样

应按照 GB/T 10325 或其他标准取样。

6.2 尺寸

试样组件应包括两个相同的试块,尺寸不小于 200mm×100mm×50mm。

注:在满足 6.3 的条件下,建议选用 230mm×114mm×64mm 或 230mm×114mm×76mm 标准砖做试块。

6.3 表面平整度

尽可能将两个试块的接触面磨平,使得在距离 100mm 以内的两点间平整度的偏差不超过 0.2mm。

6.4 致密材料刻槽

对于致密材料,需在试块的两个接触面或仅在下试块的砖面上刻槽以容纳热线和热电偶,其深度和宽度应满足图 4 的要求。

注:高导热材料(如≥5W/(m·K))需在上下两个接触面上刻槽。

7 试验步骤

7.1 装样准备试验,在两个试块之间安置热线(5.2)和示差热电偶(5.4),使热线沿着砖面的中心线,并用泥浆将其粘合在槽内,泥浆由磨细的试样细粉和少量适当的结合剂(如 2%糊精和水)结合而成。应确保热线粘结均匀,使其在上下试块的热量传递相等(见图 4)。

7.2 如果试样采用粉料或颗粒料,先用它们填满下部匣钵(5.7),将热线和热电偶放在其上(见图 3),

再把上匣钵放在下匣钵上,用试验材料填满,用与匣钵同样材质的盖板盖在匣钵上。在不敲动的情况下,测定材料的堆积体密。

注:在有关双方同意的情况下,可用振动或压实的方法充填匣钵使其达到规定的体密。

7.3 将试样组件装入炉内(5.1),为保证受热均匀,使试样组件都放在与被试验材料材质类似的两个支座上,其尺寸为125mm×10mm×20mm、支座的支承面为125mm×10mm,与试块114mm×76mm(或100mm×50mm)的面平行,并距此面约20mm。

7.4 将热线、热电偶连接到测量仪器上(5.5),断开热线回路。以不大于10K/min的升温速率将炉温升至第一个试验温度。

注:升温速率应低至保证试样不受热震损坏。

7.5 根据最初试验设定输入功率,选择记录仪的灵敏度,至少使仪表读数为满量程的60%,最好80%。表1给出了一定范围内的导热系数和记录仪表的灵敏度所需选择输入功率的参考值。此值是根据在最长测量持续时间($t_{\max}$)内记录仪指针偏转满量程的80%所确定的。同时,该表也列出了对时间测量精度要求(t 的精确度)。

注:热线输入功率大小根据设备的不同而不同,初始试验时可估计一下,最终可根据经验确定。

表1 选用的量程和功率值(0.8×满量程)

导热系数 λ W/(m·K)	最大试验时间 $t_{\max}$ s	时间 t 的 测量精度 s	推荐的功率, W/m			
			0~20 μ V 量程	0~50 μ V 量程	0~100 μ V 量程	0~200 μ V 量程
0.1	2 500	4.0			7.5	15
0.4	1 260	2.0		15	30	60
1.0	900	2.0	15	40	75	150
2.0	450	1.0	30	75	150	
4.0	350	1.0	60	150	300	
8.0	190	0.4	120	300		
16	100	0.2	240			
25	65	0.2	375			

注:此表的数据是根据使用“S”型热电偶(见5.4)制定的,如果使用“R”型热电偶应该加以调整。

7.6 当炉温达到试验温度后,应检查装样区温度是否均匀和稳定,示差热电偶(5.4)在试验前10min内其波动不超过0.05℃。

7.7 当满足7.6要求后,在接通热线回路的同时记录示差热电偶的输出和对应的时间,如果没有采用自控电源,就需在接通热线回路之时起,同时记录通过热线的电压和电流,并在整个测试期间间隔记录几次。

7.8 在加热一段时间之后(见表1),切断热线回路,停止记录示差热电偶的输出。

7.9 在热线和试样达到温度平衡后,按照7.6检查温度的均匀与稳定,重复7.7、7.8操作,在相同条件下再次测量热线升温速率。

7.10 以不大于10K/min的速率将炉温升到下一个试验温度,再按7.5~7.9进行重复测试。

7.11 每个试验温度重复7.10至少测量两次。

8 结果计算

导热系数按公式(1)计算:

$$\lambda = \frac{VI}{4\pi L} \times \frac{-E_t \left(\frac{-r^2}{4at} \right)}{\Delta\theta(t)} \dots\dots\dots (1)$$

式中： λ ——导热系数，W/(m·K)；

I ——电流，A；

V ——电压，V；

L ——见图 2，在热线 P 、 Q 之间的长度，m；

$\Delta\theta(t)$ ——在 t 时刻测量热电偶和示差热电偶之间的温差，K；

t ——在接通和切断热线回路时的时间差，s；

r ——热线和测量热电偶之间的间距，m；

a ——热扩散系数，m²/s；

$-E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right)$ 为 $\int_x^u \frac{e^{-u}}{u} du$ 的指数积分，确定了 $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$ 之后， $-E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right)$ 从表 2 查得：

当 $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$ 在 1.5~2.4 之间， λ 值认为是准确的。

9 试验报告

试验报告包括以下内容：

- 试验单位；
- 试验日期；
- 参照标准；
- 试验材质(厂家、产品、类型、批号等)；
- 材料的预处理(见 1.3 注 1)；
- 粉料和颗粒料用倾倒法测量体密，不得敲动(见 7.2)；
- 炉内气氛；
- 在各个试验温度下导热系数的单值和平均值。

表 2 $-E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right)$ 与 $\frac{\theta(2t)}{\theta(t)}$ 的函数关系

$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.1	6.928 7	6.296 6	5.768 9	5.321 3	4.936 6	4.602 1	4.308 5	4.048 3	3.816 2	3.607 7
1.2	3.419 2	3.248 0	3.091 8	2.948 5	2.816 6	2.694 9	2.582 0	2.477 2	2.379 5	2.288 3
1.3	2.202 8	2.122 7	2.047 3	1.976 4	1.909 4	1.846 1	1.786 3	1.729 5	1.675 7	1.624 5
1.4	1.575 8	1.529 5	1.485 2	1.443 1	1.402 8	1.364 2	1.327 4	1.292 0	1.258 2	1.225 7
1.5	1.194 5	1.164 6	1.135 8	1.108 1	1.081 4	1.055 7	1.031 0	1.007 1	0.984 1	0.961 9
1.6	0.940 5	0.919 7	0.899 7	0.880 3	0.861 6	0.843 4	0.825 9	0.808 9	0.792 4	0.776 4
1.7	0.760 9	0.745 9	0.731 3	0.717 1	0.703 4	0.690 0	0.677 0	0.664 4	0.652 1	0.640 2
1.8	0.628 6	0.617 3	0.606 3	0.595 6	0.585 2	0.575 0	0.565 2	0.555 5	0.546 1	0.537 0
1.9	0.528 0	0.519 3	0.510 8	0.502 5	0.494 4	0.486 5	0.478 8	0.471 2	0.463 9	0.456 7
2.0	0.449 6	0.442 8	0.436 0	0.429 5	0.423 0	0.416 8	0.410 6	0.404 6	0.398 7	0.392 9
2.1	0.387 3	0.381 8	0.376 4	0.371 1	0.365 9	0.360 8	0.355 8	0.351 0	0.346 2	0.341 5
2.2	0.336 9	0.332 4	0.328 0	0.323 7	0.319 4	0.315 2	0.311 2	0.307 2	0.303 2	0.299 4
2.3	0.295 6	0.291 9	0.288 2	0.284 6	0.281 1	0.277 6	0.274 2	0.270 9	0.267 6	0.264 4
2.4	0.261 3	0.258 2	0.255 1	0.252 1	0.249 1	0.246 2	0.243 4	0.240 6	0.237 8	0.235 1
2.5	0.232 5	0.229 8	0.227 3	0.224 7	0.222 2	0.219 8	0.217 4	0.215 0	0.212 6	0.210 3
2.6	0.208 1	0.205 8	0.203 6	0.201 5	0.199 3	0.197 2	0.195 2	0.193 1	0.191 1	0.189 2
2.7	0.187 2	0.185 3	0.183 4	0.181 6	0.179 7	0.177 9	0.176 1	0.174 4	0.172 7	0.171 0
2.8	0.169 3	0.167 6	0.166 0	0.164 4	0.162 8	0.161 2	0.159 7	0.158 2	0.156 7	0.155 2
2.9	0.153 7	0.152 3	0.150 9	0.149 5	0.148 1	0.146 7	0.145 4	0.144 1	0.142 7	0.141 4

表 2(完)

$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.0	0.140 2	0.138 9	0.137 7	0.136 4	0.135 2	0.134 0	0.132 9	0.131 7	0.130 5	0.129 4
3.1	0.128 3	0.127 2	0.126 1	0.125 0	0.123 9	0.122 9	0.121 8	0.120 8	0.119 8	0.118 8
3.2	0.117 8	0.116 8	0.115 8	0.114 9	0.113 9	0.113 0	0.112 1	0.111 2	0.110 3	0.109 4
3.3	0.108 5	0.107 6	0.106 8	0.105 9	0.105 1	0.104 3	0.103 4	0.102 6	0.101 8	0.101 0
3.4	0.100 2	0.099 5	0.098 7	0.097 9	0.097 2	0.096 4	0.095 7	0.095 0	0.094 3	0.093 6
3.5	0.092 8	0.092 2	0.091 5	0.090 8	0.090 1	0.089 5	0.088 8	0.088 1	0.087 5	0.086 9
3.6	0.086 2	0.085 6	0.085 0	0.084 4	0.083 3	0.083 2	0.032 6	0.082 0	0.081 4	0.080 8
3.7	0.080 3	0.079 7	0.079 1	0.078 6	0.078 0	0.077 5	0.077 0	0.076 4	0.075 9	0.075 4
3.8	0.074 9	0.074 4	0.073 9	0.073 4	0.072 9	0.072 4	0.071 9	0.071 4	0.070 9	0.070 5
3.9	0.070 0	0.069 5	0.069 1	0.068 6	0.068 2	0.057 7	0.067 3	0.066 9	0.066 4	0.066 0
4.0	0.065 6	0.065 2	0.064 7	0.064 3	0.063 9	0.063 5	0.063 1	0.062 7	0.062 3	0.061 9
4.1	0.061 5	0.061 2	0.060 8	0.060 4	0.060 0	0.059 7	0.059 3	0.058 9	0.058 6	0.058 2
4.2	0.057 9	0.057 5	0.057 2	0.056 8	0.056 5	0.056 1	0.055 8	0.055 5	0.055 1	0.054 8
4.3	0.054 5	0.054 2	0.053 8	0.053 5	0.053 2	0.052 9	0.052 6	0.052 3	0.052 0	0.051 7
4.4	0.051 4	0.051 1	0.050 8	0.050 5	0.050 2	0.049 9	0.049 6	0.049 4	0.049 1	0.048 8
4.5	0.048 5	0.048 2	0.048 0	0.047 7	0.047 5	0.047 2	0.046 9	0.046 7	0.046 4	0.046 2
4.6	0.045 9	0.045 6	0.045 4	0.045 2	0.044 9	0.044 7	0.044 4	0.044 2	0.043 9	0.043 7
4.7	0.043 5	0.043 2	0.043 0	0.042 8	0.042 5	0.042 3	0.042 1	0.041 9	0.041 7	0.041 4
4.8	0.041 2	0.041 0	0.040 8	0.040 6	0.040 4	0.040 2	0.040 0	0.039 8	0.039 6	0.039 3
4.9	0.039 1	0.038 9	0.038 7	0.038 6	0.038 4	0.038 2	0.038 0	0.037 8	0.037 6	0.037 4
5.0	0.037 2	0.037 0	0.036 8	0.036 7	0.036 5	0.036 3	0.036 1	0.035 9	0.035 8	0.035 6
5.1	0.035 4	0.035 2	0.035 1	0.034 9	0.034 7	0.034 6	0.034 4	0.034 2	0.034 1	0.033 9
5.2	0.033 7	0.033 6	0.033 4	0.033 3	0.033 1	0.032 9	0.032 8	0.032 6	0.032 5	0.032 3
5.3	0.032 2	0.032 0	0.031 9	0.031 7	0.031 6	0.031 4	0.031 3	0.031 1	0.031 0	0.030 9
5.4	0.030 7	0.030 6	0.030 4	0.030 3	0.030 2	0.030 0	0.029 9	0.029 7	0.029 6	0.029 5
5.5	0.029 3	0.029 2	0.029 1	0.029 0	0.028 8	0.028 7	0.028 6	0.028 4	0.028 3	0.028 2
5.6	0.028 1	0.027 9	0.027 8	0.027 7	0.027 6	0.027 5	0.027 3	0.027 2	0.027 1	0.027 0
5.7	0.026 9	0.026 8	0.026 6	0.026 5	0.026 4	0.026 3	0.026 2	0.026 1	0.026 0	0.025 8
5.8	0.025 7	0.025 6	0.025 5	0.025 4	0.025 3	0.025 2	0.025 1	0.025 0	0.024 9	0.024 8
5.9	0.024 7	0.024 6	0.024 5	0.024 4	0.024 3	0.024 2	0.024 1	0.024 0	0.023 9	0.023 8
6.0	0.023 7									

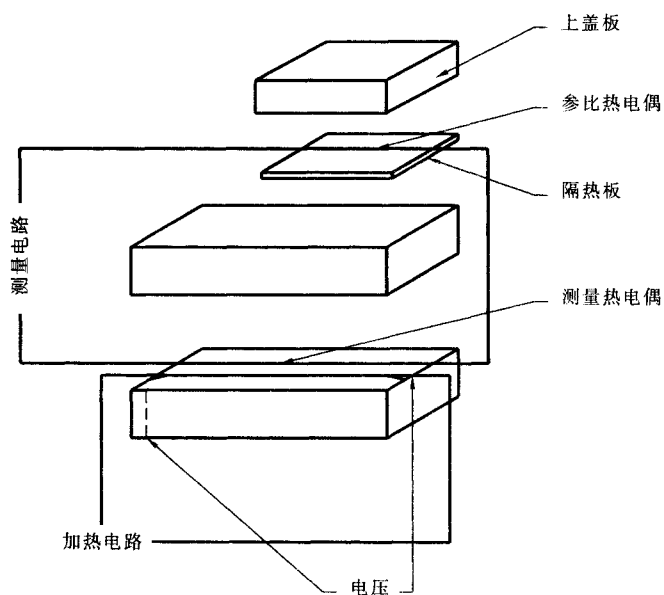


图 1 加热电路和测量电路装配示意图(示差热电偶电路)

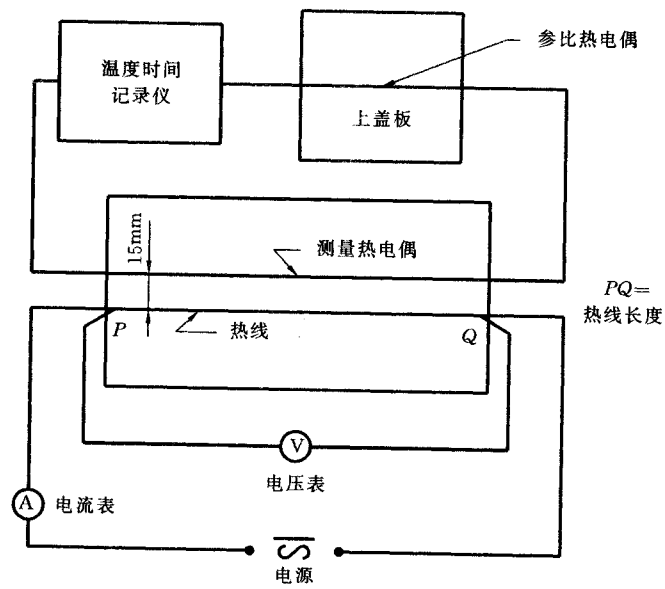


图 2 测量电路装配示意图

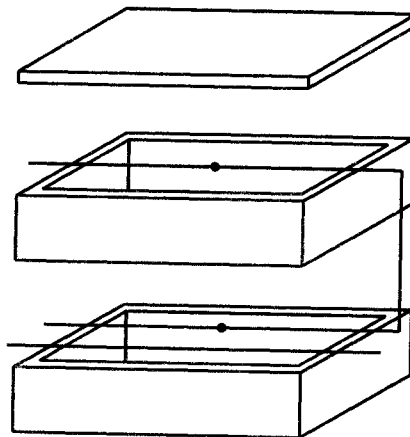


图 3 装有热线和热电偶的试样匣钵

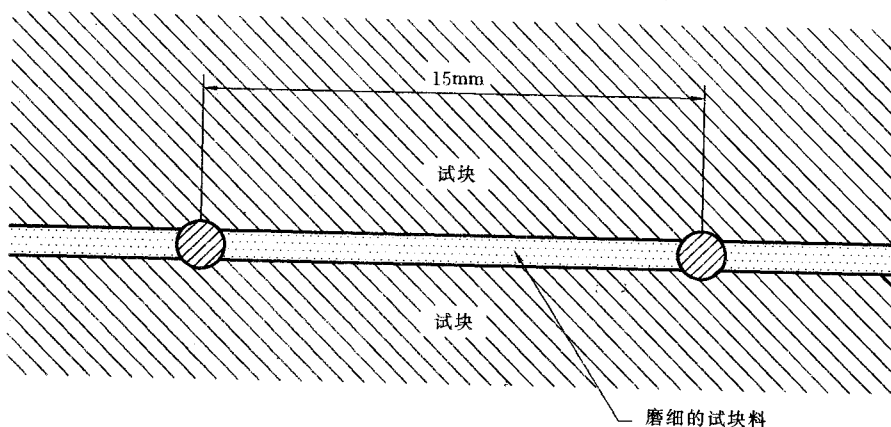


图 4 对称埋入试块中的热线和热电偶

附录 A

(提示的附录)

测定导热系数的例子

表 A1 平行热线法测定导热系数测量结果举例

时间 t s	$\Delta\theta(t)$		$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$-E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right)$	导热系数 λ W/(m·K)	导热系数平均值 W/(m·K)
	μV	K				
6	0.55	0.054	4.46	0.049 6	13.2*	15.5
12	2.47	0.241	2.46	0.243 4	14.5*	
18	4.45	0.434	1.96	0.478 8	15.8	
24	6.08	0.593	1.78	0.652 1	15.7	
30	7.47	0.729	1.69	0.776 4	15.3	
36	8.72	0.851	1.61	0.919 7	15.5	
48	10.82	1.056	1.52	1.135 8	15.4	
60	12.60	1.229	1.46	1.327 4	15.5*	
72	14.05	1.371				
96	16.47	1.607				
120	18.40	1.795				
* : $\Delta\theta(2t)/\Delta\theta(t)$ 的测试值在 1.5~2.4 之外,未用于计算平均值。						

$$\frac{VI}{4\pi L} = 14.32 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

表 A1 中,第 2 列列出了在时间间隔 t 时示差热电偶的电动势(μV)。第 3 列将电动势转换成温度值 K。

在换算温度时,必须使用正确的热电偶电势值,各种类型的热电偶电势值可以在 1990 年国际温标大会确定的温度-热电势对照表中查得。

第 4 列列出了 $\Delta\theta(2t)/\Delta\theta(t)$ 的比值,此表达式可以通过测量数据计算。

$$\text{例: } \frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)} = \frac{\Delta\theta(60)}{\Delta\theta(30)} = \frac{1.229\text{K}}{0.729\text{K}} = 1.69$$

$$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)} = \frac{\Delta\theta(96)}{\Delta\theta(48)} = \frac{1.607\text{K}}{1.056\text{K}} = 1.52$$

与 $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$ 对应的 $-E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right)$ 见表 2,必要时列入表中第 5 列。把 $-E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right)\Delta\theta(t)$,输入功率和热线长度代入第 8 章公式中,通过计算求得 λ ,列于表中第 6 列。

测量 λ 值接近恒定的时间取决于材料,有效的测量结果是几次实测结果(表 A1 第 6 列)的平均值。应该报告任一温度下的两次实测结果的平均值,每次实测 λ 单值与平均值的偏差不得大于 5%。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
耐火材料导热系数试验方法
(平行热线法)

GB/T 17106—1997

*

中国标准出版社出版
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045
电 话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 3/4 字数 16千字
1998年6月第一版 1998年6月第一次印刷
印数 1—1500

*

书号: 155066·1-14800 定价 10.00元

*

标 目 336—30



GB/T 17106-1997