



中华人民共和国国家标准

GB/T 5990—2021

代替 GB/T 5990—2006

耐火材料 导热系数、比热容和 热扩散系数试验方法(热线法)

Refractory materials—Determination of thermal conductivity, specific heat capacity and thermal diffusivity (hot-wire method)

[ISO 8894-1:2010, Refractory materials—Determination of thermal conductivity—Part 1: Hot-wire methods (cross-array and resistance thermometer), MOD;
ISO 8894-2:2007, Refractory materials—Determination of thermal conductivity—Part 2: Hot-wire method (parallel), MOD]

2021-10-11 发布

2022-05-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
耐火材料 导热系数、比热容和
热扩散系数试验方法(热线法)

GB/T 5990—2021

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2021年10月第一版

*

书号: 155066·1-68507

版权专有 侵权必究

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 5990—2006《耐火材料 导热系数试验方法(热线法)》，与 GB/T 5990—2006 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了文件的范围(见第 1 章,2006 年版的第 1 章)；
- b) 更改了“十字热线法”的“设备”“试样”“试验步骤”“结果计算”要求(见 4.2~4.6,2006 年版的 4.2~4.6)；
- c) 更改了试块尺寸(见 4.4.3、5.4.3,2006 年版的 4.4.4、5.4.3)；
- d) 删除了“十字热线法”的“数据处理”(见 2006 年版的 4.7)；增加了“十字热线法”的“精密度”(见 4.7)；
- e) 更改了“平行热线法”的原理表述(见 5.1,2006 年版的 5.1)；
- f) 更改了“平行热线法”的试验温度偏差(见 5.2.1,2006 年版的 5.2.1)；
- g) 更改了“平行热线法”能供给热线的功率要求(见 5.2.3,2006 年版的 5.2.3)；
- h) 更改了“平行热线法”时间分辨率中测温精度的要求(见 5.2.6,2006 年版的 5.2.6)；
- i) 更改了“平行热线法”试样的取样要求(见 5.3.1,2006 年版的 5.3.1)；
- j) 增加了“平行热线法”试样尺寸要求(见 5.3.2.2)；
- k) 更改了“平行热线法”表面平整度的表述(见 5.3.3,2006 年版的 5.3.3)；
- l) 更改了“平行热线法”致密材料刻槽的刻槽位置要求(见 5.3.4,2006 年版的 5.3.4)；
- m) 更改了“平行热线法”试验步骤的部分步骤表述(见 5.4.1、5.4.2、5.4.3,2006 年版的 5.4.1、5.4.2、5.4.3)，删除了时间 t 测量精度(见 5.4.5、表 1,2006 年版的 5.4.5、表 1)，更改了表 1 的推荐功率(见表 1,2006 年版的表 1)；
- n) 增加了“平行热线法”导热系数试验结果的要求(见 5.5.1.2)；
- o) 增加了“平行热线法”热扩散系数、比热容和试验结果修约(见 5.5.2、5.5.3、5.5.4)；
- p) 更改了试验报告的表述[见第 6 章 a),2006 年版的第 6 章 a)]；
- q) 更改了“平行热线法”导热系数举例和各类型热电偶热电动势的查询出处(见附录 D,2006 年版的附录 B)，增加了“平行热线法”比热容和热扩散系数的举例(见附录 D)。

本文件使用重新起草法修改采用 ISO 8894-1:2010《耐火材料 导热系数试验方法 第 1 部分：热线法(十字热线法和铂电阻温度计法)》和 ISO 8894-2:2007《耐火材料 导热系数试验方法 第 2 部分：热线法(平行热线法)》。

本文件与 ISO 8894-1:2010 和 ISO 8894-2:2007 相比在结构上有较多调整，附录 A 中列出了本文件与相应 ISO 文件章条编号对照一览表。

本文件与 ISO 8894-1:2010 和 ISO 8894-2:2007 相比存在技术性差异，这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线(|)进行了标示，附录 B 中给出了相应技术性差异及其原因的一览表。

本文件做了下列编辑性修改：

- 更改了标准的名称；
- 删除了 ISO 8894-1:2010 的附录 A、附录 B。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国耐火材料标准化技术委员会(SAC/TC 193)提出并归口。

本文件起草单位:中钢集团洛阳耐火材料研究院有限公司、宜兴摩根热陶瓷有限公司、阳泉市硅铝质耐火材料质量监督检验中心、上海利尔耐火材料有限公司、河南瑞泰耐火材料科技有限公司、郑州瑞泰耐火科技有限公司、重庆科技学院。

本文件主要起草人:宋艳艳、胡飘、章健、殷波、李向威、吴狄、董殿敏、李洪波、翟鹏涛、李炜、郑益锋、廖佳、张明泽、杨朝芳、马四凯、李冉、李沅锦、高荣礼、邓小玲。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

——1986年首次发布为GB/T 5990—1986;

——2006年第一次修订时,并入了GB/T 17106—1997《耐火材料导热系数试验方法(平行热线法)》;

——本次为第二次修订。

耐火材料 导热系数、比热容和 热扩散系数试验方法(热线法)

1 范围

本文件描述了十字热线法测定耐火材料的导热系数和平行热线法测定耐火材料的导热系数、热扩散系数及比热容的试验方法。

十字热线法适用于测量温度不大于 1 250 °C、导热系数小于 1.5 W/(m·K)、热扩散系数不大于 5×10^{-6} m²/s 的不含碳耐火材料。

平行热线法适用于测量温度不大于 1 250 °C、导热系数小于 25 W/(m·K) 的不导电耐火材料。

本文件也适用于粉状和颗粒状耐火材料。

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, 试样可做预处理。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文件的范围, 由双方协商一致。

注 2: 测量非均质材料一般是困难的, 尤其是含纤维的材料, 使用本方法对这类材料的测量由双方协商一致。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中, 注日期的引用文件, 仅该日期对应的版本适用于本文件; 不注日期的引用文件, 其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 4513.5 不定形耐火材料 第 5 部分: 试样制备和预处理(GB/T 4513.5—2017, ISO 1927-5:2012, MOD)

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 10325 定形耐火制品验收抽样检验规则(GB/T 10325—2012, ISO 5022:1979, NEQ)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

导热系数 thermal conductivity

λ

单位时间内在单位温度梯度下沿热流方向通过材料单位面积传递的热量。

注: 单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)]。

3.2

热扩散系数 thermal diffusivity

α

材料的导热系数与其单位体积热容之比。

注: 单位为平方米每秒(m²/s)。

3.3

比热容 specific heat capacity

c_p

常压下加热 1 kg 物质使之升温 1 K 所需的热量(以 J 计)。

注: 单位为焦耳每千克开尔文[J/(kg·K)]。

4 十字热线法

4.1 原理

试样在炉内加热至规定温度并在此温度下保温,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,即在时间上和试样长度方向上功率不变。从热线的功率和接通电流加热后已知两个时间间隔的温度可以计算导热系数,此温升与时间的函数就是被测试样的导热系数。

4.2 设备

4.2.1 试验炉

能容纳一个或多个试样组件的电加热炉,能升温至 1 250 °C,试样任意两点间的温差不应大于 10 °C;在测试中(15 min 内)试样周围温度波动不应大于 0.5 °C。试验炉控温精度应为±10 °C。

4.2.2 热线

最好采用铂线、铂/铑合金线,长约 200 mm,直径不大于 0.5 mm,长度的测量精确到±0.5 mm,热线的两端均与电源相连,试样外的引线应由两根或两根以上 0.5 mm 直径的导线连接在一起,炉子外部的电源线应采用大容量电缆。

注: 对 1 000 °C 以下,热线可根据温度选择合适的廉金属线。

4.2.3 热线电源

应采用交流或直流稳压电源,测量期间功率波动不应超过 2%,测试功率应在 1 W/m~20 W/m 之间,这等同于 200 mm 的测阻引线之间的热线功率为 0.2 W~4 W。

4.2.4 测量十字架

由热线和铂/铂铑热电偶组成,热电偶焊接在热线的中心,测量热电偶的引线应垂直于热线,参比热电偶放在上试块的上表面和盖板中间,盖板材质与试样相同,以保持有稳定的输出(见图 1)。测量热电偶的最大直径应不大于热线的直径(为了减少测量点的热损)。

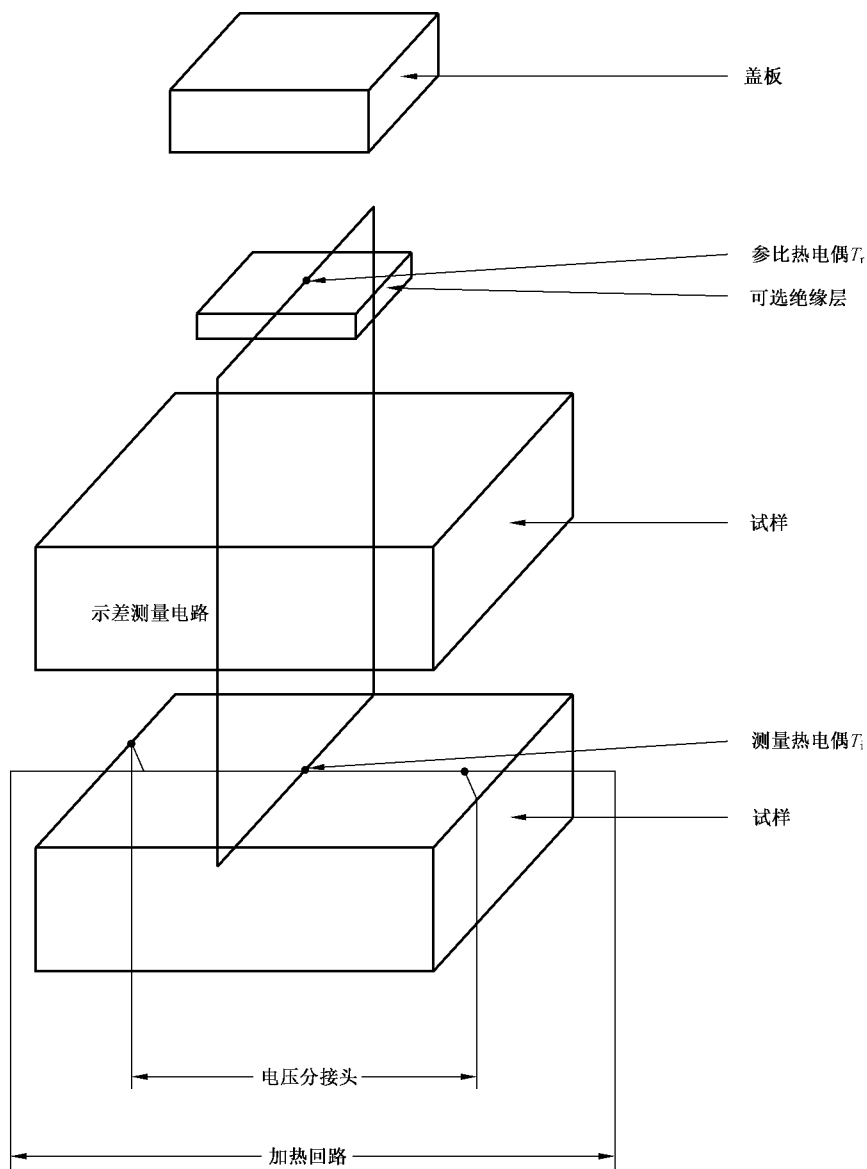


图 1 “十字热线”法中加热电路和测量电路(示差热电偶电路)示意图

4.2.5 测量回路

热线的两端都焊有相同材质的两根线(直径尽可能大于热线的直径)一对供给热流,另一对测量电压降,热电偶焊接在热线的中间(见 4.2.4)并与参比热电偶反接以测量温度变化。引线要能延伸到炉体外与测量设备相连,连线可用其他材质的导线。

注 1: 上试块和参比热电偶之间可设置绝缘层。

注 2: 在 1 000 °C 以下可使用廉金属热电偶。

注 3: 可用足够分辨率的数据采集系统代替参比热电偶。

4.2.6 测量设备

4.2.6.1 热线功率测量单元或相似装置,可与稳定电源连接,用于测量热线的电流和电压,二者的测量精度至少为 $\pm 0.5\%$ 。

4.2.6.2 数字测量系统,温度时间记录装置,灵敏度至少为 $2 \mu\text{V}/\text{cm}$ 或能显示 $0.05 \mu\text{V}$,或时间分辨率

要短于 0.5 s,或测温精度高于 0.01 K。

4.2.7 匣钵

用于试验粉料或颗粒状耐火材料,它的内部尺寸和 4.3.2 中规定的整体试样相同,试验系统应有 4.3.2 规定的 2 个~3 个接触面,下匣钵应是一个无盖的方盒,上匣钵应是一个方框另带一个盖。

注:匣钵在试验温度下不与试样反应且不导电。

4.2.8 试验装置

“十字热线法”试验装置宜采用的试验装置框图如图 2 所示。

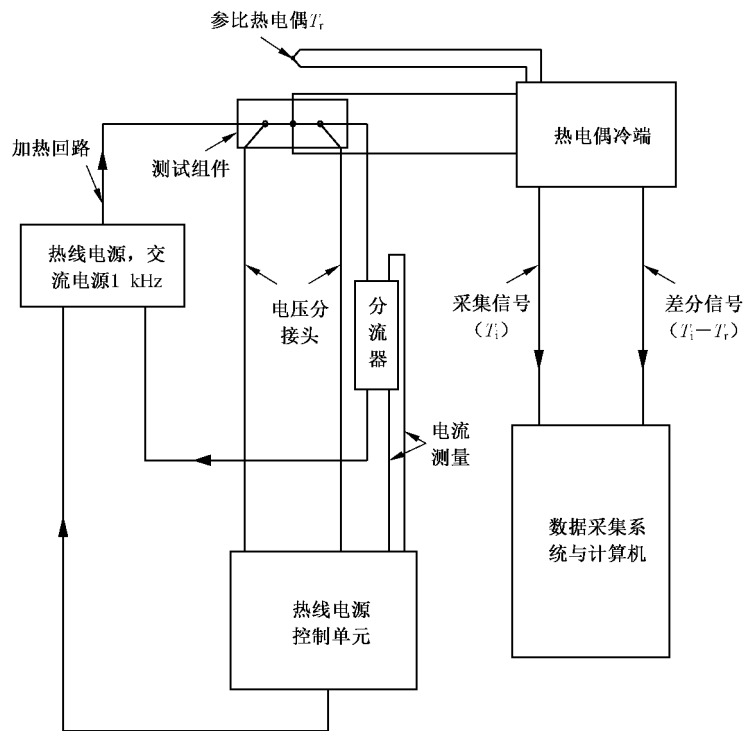


图 2 “十字热线”法建议试验装置框图

4.3 试样

4.3.1 取样

定形制品应按照 GB/T 10325 取样,不定形制品应按照 GB/T 4513.5 取样,两者都可由双方协商取样。

4.3.2 试样尺寸

4.3.2.1 定形制品试样组件应包括 2 个相同的试块,尺寸不小于 200 mm×100 mm×50 mm。

注:在满足 4.3.3 的条件下,可选用 230 mm×114 mm×65 mm 或 230 mm×110 mm×75 mm 的标准砖做试块。

4.3.2.2 不定形耐火材料应按照 4.3.2.1 的规定切成符合尺寸要求的试样,或采用特殊模具直接成型出符合 4.3.2.1 要求的试样。

4.3.3 表面平整度

应将每个试块的接触面磨平,使得在距离至少 100 mm 的两点间平整度的偏差不应超过 0.1 mm,

试块接触面磨平后,将两试块放在一起,确保接触面贴合且没有明显移动。

4.3.4 刻槽

对于致密材料,需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 3 的要求。

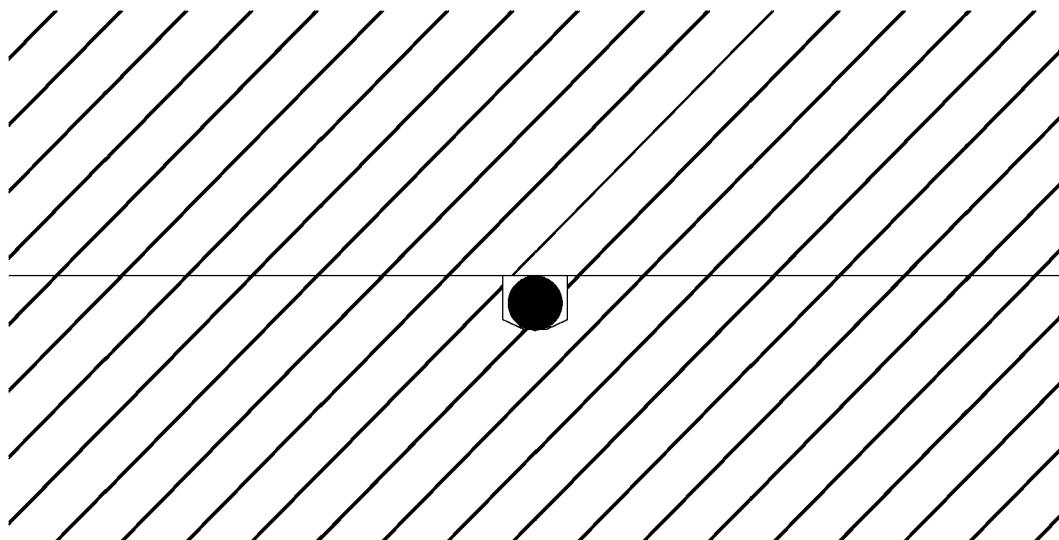


图 3 热线嵌入试样图示

4.4 试验步骤

4.4.1 装样准备试验,在两个试块之间安置热线和示差热电偶,使热线沿着试块长度方向的中心线,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 3)。

4.4.2 如果试样采用粉料或颗粒状耐火材料,先用它们填满下部匣钵(4.2.7),将热线和热电偶放在其上,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。装填试样时,不应敲打、振捣,以保持自然堆积状态,然后测量体积密度。

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密度。

4.4.3 将试样组件装入炉内(4.2.1),要保证受热均匀,将试样组件都放在与试验材料材质类似的两个支座上,支座尺寸为 125 mm×10 mm×20 mm,支承面为 125 mm×10 mm,与试块 114 mm×75 mm(或 100 mm×50 mm)的面平行,试验过程中防止试块变形。

4.4.4 将热线、热电偶连接到测量仪器上(4.2.6.1),断开热线回路。以不大于 10 °C/min 的升温速率将炉温升至第一个试验温度,测试温度可由相关方协商确定并显示在试验报告中,导热系数的试验温度为室温至 1 250 °C,若此温度超过耐火材料的极限使用温度或绝缘温度,最高测试温度可低于 1 250 °C。升温速率应低至保证试样不受热震损坏。

4.4.5 将热线输入功率设置为合适的值,使热线在 t_1 到 t_2 的时间段内的温升为 2 °C~5 °C。

注:在试验过程中,热线温升是被测试样导热系数的函数,最大试验持续时间是其热扩散系数的函数。

热线输入功率的大小因设备和数据采集系统的灵敏度而不同,以 W/m 为单位,每输入约被测试样预期 λ 值的 5 倍的功率时,在对数时间标度(秒)的 1 个阶段内(即 1 s~10 s;10 s~100 s;100 s~1 000 s)热线温度升高 1 °C。

隔热材料的典型试验持续时间在 600 s~900 s 之间。

4.4.6 当炉温达到试验温度后,检查装样区温度是否均匀和稳定,示差热电偶在试验前 15 min 内其波动应不超过 0.05 °C。

4.4.7 当满足 4.4.6 要求后,接通热线回路的同时连续记录热线的温度和对应的时间,或者标记电源输入到热线的确切时刻,接通加热电路后立即测量并记录该输入,并在测试期间每隔一段时间测量并记录一次。

4.4.8 在测量一段时间后,一般 10 min~15 min,切断热线回路,试验炉保温一段时间,使热线和试样达到温度平衡。

4.4.9 在热线和试样达到温度平衡后,按照 4.4.7 检查温度的均匀性和稳定性,重复 4.4.7、4.4.8 操作,在相同条件下再次测量热线温升速率。

4.4.10 以不大于 10 °C/min 的速率将炉温升到下一个试验温度,再按 4.4.6~4.4.9 进行重复测试,在该温度下至少测量两次热线温升速率。

4.5 结果处理

4.5.1 如果热线的电流在测量期间波动超过 2%,测试结果舍弃。需采用较小的电流再次测量。

4.5.2 热线的温升与时间遵从对数定律,记录的温升与时间在半对数坐标中呈直线。如果不是这样,或是待测材料没有满足试验必须条件,测试结果没有意义,或试验有错误,重新进行试验。

4.5.3 如果温度与时间在低端是非线性(4.5.2),这可能是热线周围埋设材料的影响,可采用选择另一个 t_1 得到有用的结果。

4.5.4 如果温度与时间在高端非线性(4.5.2),这可能是由于材料的热扩散率过高,可采用选择另一个 t_2 得到有用的结果。十字热线法一元线性回归分析实例见附录 C。

4.6 结果计算

4.6.1 导热系数按式(1)计算:

$$\lambda = \frac{P_i}{4\pi} \times \frac{\ln(t_2/t_1)}{\Delta\theta_2 - \Delta\theta_1} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

P_i ——单位长度热线输入功率,单位为瓦每米(W/m);

t_1, t_2 ——接通热线回路后的测量时间,单位为分(min);

$\Delta\theta_1, \Delta\theta_2$ ——接通热线回路后在 t_1, t_2 时间测量时热线的温升,单位为开尔文(K)。

注:对于隔热材料, t_1 的典型时间为 100 s, t_2 的典型时间为 600 s~900 s。

4.6.2 记录每个测试温度下测试结果的平均值。同一测试温度下,每次单独测试的结果与平均值的偏差在 5%以内。

耐火材料的热物性随保温时间的延长而变化。

4.7 精密度

目前没有可用的精密度数据。虽然可以评估仪器引起的偏差,但最严重的偏差是由样品制备引起的,这不是可以量化的统计偏差。

5 平行热线法

5.1 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的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4)。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,通过温升与时间的函数可得出被测试样的导热系数和热扩散系数,根据已知试样的体积密度,可计算出试样的比热容。

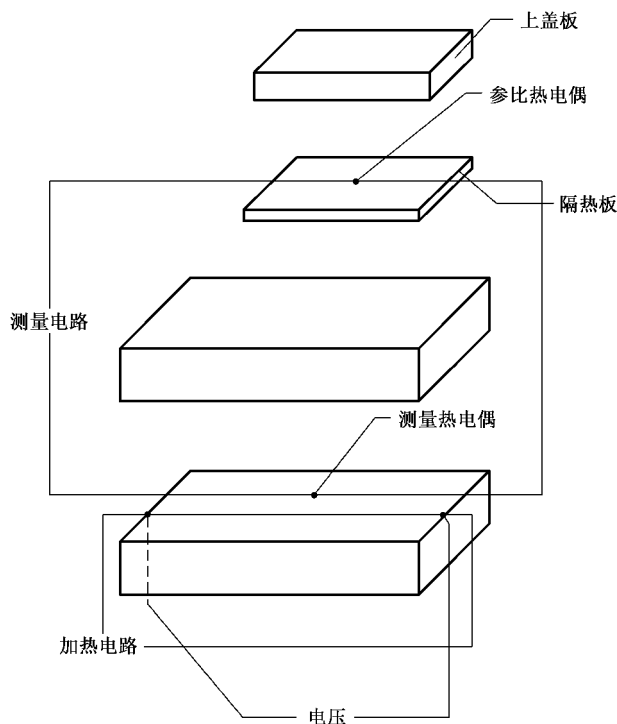


图4 加热和测量电路装配示意图(平行热线法)

5.2 设备

5.2.1 试验炉,电加热炉能容纳一个或多个试样组件,至少能升至 $1\ 250\ ^\circ\text{C}$,试样任意两点间的温差不应大于 $10\ ^\circ\text{C}$,在测试中(约 $15\ \text{min}$ 内)试样外部温度波动不应大于 $\pm 0.5\ ^\circ\text{C}$ 。试验温度偏差应为 $\pm 10\ ^\circ\text{C}$ 。

5.2.2 热线,最好采用铂线、铂/铑合金线,长 $(200\pm 0.5)\ \text{mm}$,直径不大于 $0.5\ \text{mm}$ 。热线的一端与电线电流的引线连接,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应不大于热线直径,试样外的引线应由两根或两根以上 $0.5\ \text{mm}$ 直径的导线连接在一起,炉子外部的电源线采用大容量的电缆。

5.2.3 热线电源,采用交流稳压电源,测量期间功率波动不应超过 2% ,能供给热线的功率至少是 $50\ \text{W}$ (对于 $200\ \text{mm}$ 长的热线相当于 $250\ \text{W/m}$),如果可能,最好采用恒定功率电源。

5.2.4 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4)。测量热电偶应和热线平行,二者相距 $(15\pm 1)\ \text{mm}$ (见图5)。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,应保持有稳定的输出。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,连线应用其他材质的导线,热电偶外部接点应恒温。

注1:在 $1\ 000\ ^\circ\text{C}$ 以下可用廉金属热电偶。

注2:在上试块和盖板间可加隔热板。

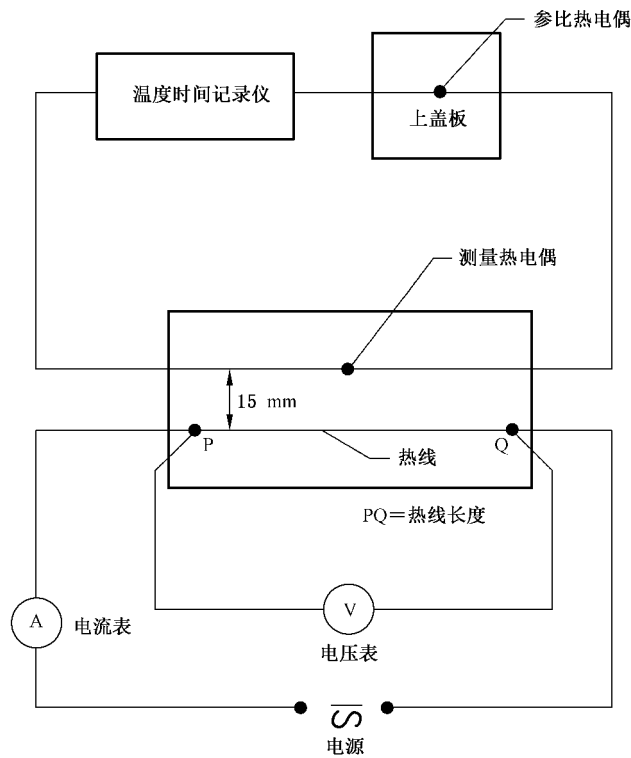


图 5 测量仪器电路装配示意图(平行热线法)

5.2.5 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 $\pm 0.5\%$ 。

注:可选用 0.2 级以上的仪器。

5.2.6 测量系统,温度时间记录装置,灵敏度至少为 $2 \mu\text{V}/\text{cm}$ 或能显示 $0.05 \mu\text{V}$,或时间分辨率要短于 0.5 s ,或测温精度高于 0.01 K 。

5.2.7 匣钵,用于试验粉状或颗粒状耐火材料,它的内部尺寸和 5.3 中规定的整体试样相同,试验系统应有 5.3.2 规定的两个接触面,下匣钵应是一个无盖的方盒,上匣钵应是一个方框另带一个盖(见图 6)。

注:匣钵在试验温度下不与试样反应且不导电。

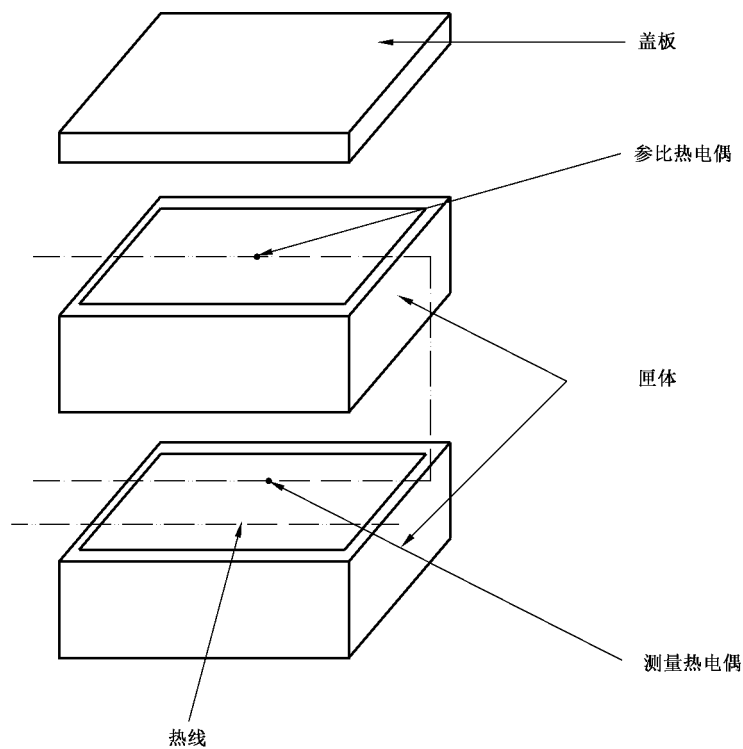


图 6 装有热线和热电偶的试样匣钵(平行热线法)

5.3 试样

5.3.1 取样

定形制品应按照 GB/T 10325 取样,不定形制品按照 GB/T 4513.5 取样,两者都可由双方协商取样。

5.3.2 试样尺寸

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

注 1: 在满足 5.3.3 的条件下,建议选用 230 mm×114 mm×65 mm 或 230 mm×114 mm×75 mm 的标准砖做试块。

注 2: 对于高导热系数的材料,可采用较大尺寸的试块,热线和热电偶之间的距离可延长到与试样相同的比例。如,使用 230 mm×180 mm×95 mm 的试块,可以测量到约 40 W/(m·K)的导热系数。

5.3.2.2 不定形耐火材料应按照 5.3.2.1 的规定切成符合尺寸要求的试样,或采用特殊模具直接成型出符合 5.3.2.1 要求的试样。

5.3.3 表面平整度

应尽可能将两个试块的表面磨平,使得在距离至少 100 mm 的两点间平整度的偏差不超过 0.2 mm。

5.3.4 致密材料刻槽

对于致密材料,应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 7 的要求。

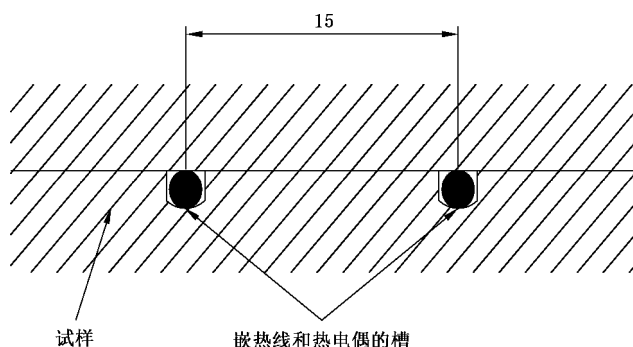


图7 对称埋入试块中的热线和热电偶(平行热线法)

5.4 试验步骤

5.4.1 装样准备试验,在两个试块之间安置热线(5.2.2)和示差热电偶(5.2.4),使热线沿着试块长度方向的中心线,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。确保热线粘结均匀,使其在上下试块的热量传递相等(见图7)。

5.4.2 如果试样采用粉状或颗粒状耐火材料,先用它们填满下部匣钵(5.2.7),将热线和热电偶放在其上(见图6),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。装填试样时,不敲打、振捣,以保持自然堆积状态,然后测量体积密度。试验过程中确保热线和热电偶的距离稳定。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积密度。

5.4.3 将试样组件装入炉内(5.2.1),要保证受热均匀,将试样组件放在与被试验材料材质相似的两个支座上,支座尺寸为125 mm×10 mm×20 mm,支承面应为125 mm×10 mm,应与试块114 mm×75 mm(或100 mm×50 mm)的面平行,并距此面约20 mm。

5.4.4 将热线、热电偶连接到测量仪器上(5.2.5),断开热线回路。以不大于10 K/min的升温速率将炉温升至第一个试验温度。升温速率应低至保证试样不受热震损坏。

5.4.5 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给出了一定范围的导热系数和记录仪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延续时间(t_{\max})内记录仪指针偏转满量程的80%所确定的。

注:热线输入功率的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 W/(m·K)	最大测试时间 t_{\max} s	推荐功率(0 μV~50 μV 量程) W/m
0.1	1 200	3
0.4	1 200	6
1.0	900	15
2.0	450	30
4.0	350	60
8.0	190	120
16	100	240
25	65	375

注:此表的数据是根据使用“S”型热电偶(见5.2.4)制定的,如果使用“R”型热电偶可加以调整。

5.4.6 当炉温到达试验温度后,应检查装样区温度是否均匀,示差热电偶(5.2.4)在试验前 10 min 内其波动不应超过 0.05 °C。

5.4.7 当满足 5.4.6 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时间。如果没有采用自控电源供给装置,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。

5.4.8 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。

5.4.9 在热线和试样达到温度平衡后,按照 5.4.6 检查温度的均匀与稳定,重复 5.4.7、5.4.8 操作,在相同条件下再次测量热线温升速率。

5.4.10 以不大于 10 K/min 的速率将炉温升到下一个试验温度,再按 5.4.5~5.4.9 进行重复测试。每个测试温度重复测试至少 2 次。

5.5 结果计算

5.5.1 导热系数计算

5.5.1.1 导热系数按式(2)计算:

$$\lambda = \frac{VI}{4\pi l} \times \frac{-E_i[-r^2/(4\alpha t)]}{\Delta\theta(t)} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- λ ——导热系数,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];
- V ——电压,单位为伏(V);
- I ——电流,单位为安(A);
- l ——在热线 P、Q 之间的长度(见图 5),单位为米(m);
- r ——热线和测量热电偶的间距,单位为米(m);
- α ——热扩散系数,单位为平方米每秒(m²/s);
- t ——在接通热线加热回路的时间,单位为秒(s);
- $\Delta\theta(t)$ ——在 t 时间测量热电偶和参比热电偶之间的温差,单位为开尔文(K)。

5.5.1.2 当 $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$ 在 1.5~2.4 时, λ 值认为是准确的;试验过程中,如果热线的电流输入变化超过 2%,应忽略试验结果并重新测试;同一测试温度下,每次单独测试的结果与平均值的偏差在 5% 以内。

5.5.2 热扩散系数计算

$-E_i\left(-\frac{r^2}{4\alpha t}\right)$ 为 $\int_x^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$ 的指数积分,热扩散系数按公式(3)计算:

$$-E_i(x) = \int_x^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \dots\dots\dots(3)$$

确定了 $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$ 之后, $-E_i\left(-\frac{r^2}{4\alpha t}\right)$ 可从表 2 查得,根据查得的数据,结合式(3),借助计算机,可计算出材料的热扩散系数 α 。

5.5.3 比热容计算

比热容按式(4)计算:

$$c_p = \frac{\lambda}{\alpha \cdot \rho} \dots\dots\dots(4)$$

式中：

- c_p ——比热容,单位为焦耳每千克开尔文[J/(kg·K)];
- λ ——导热系数,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];
- α ——热扩散系数,单位为平方米每秒(m²/s);
- ρ ——试样体积密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

5.5.4 试验结果处理

试验结果应按 GB/T 8170 修约,导热系数保留 3 位小数,热扩散系数保留 4 位小数,比热容修约为整数。

5.5.5 试验计算实例

平行热线法测定导热系数、热扩散系数和比热容的示例参见附录 D。

6 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 检测机构名称；
- b) 试验日期；
- c) 使用标准(注明方法)；
- d) 试样信息(厂家、产品、类型、批号等)；
- e) 对不烧砖或不定形材料的预处理；
- f) 对粉状和颗粒状耐火材料,试样的制备和体积密度；
- g) 炉内气氛；
- h) 试验温度和在各个试验温度下测试项目的单值和平均值。

表 2 $-E_i\left(-\frac{r^2}{4\alpha t}\right)$ 与 $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$ 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	0.964 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

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

$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.2	0.336 9	0.332 4	0.328 0	0.323 7	0.319 4	0.316 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
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	0.106 1	0.104 3	0.103 4	0.102 5	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 8	0.083 2	0.082 5	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	0.067 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 4	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

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

$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	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									

附 录 A

(资料性)

本文件与 ISO 8894 相比的结构变化情况

本文件与 ISO 8894-1:2010、ISO 8894-2:2007 相比在结构上有较多的调整,具体章条编号对照情况见表 A.1。

表 A.1 本文件与 ISO 8894-1:2010、ISO 8894-2:2007 的章条编号对照

本文件章条编号	ISO 8894-1:2010	ISO 8894-2:2007
1	1	1
2	—	—
3	3	3
3.1	2.1	2.1
3.2	2.2	2.2
3.3	—	—
—	2.3	2.3
4	—	—
4.1	3	—
4.2	4	—
4.2.1	4.1	—
4.2.2	4.2	—
—	4.3	—
—	4.4	—
4.2.3	4.4.1	—
—	4.4.2	—
—	4.5	—
4.2.4,4.2.5	4.5.1	—
—	4.5.2	—
4.2.6.1	4.6	—
4.2.6.2	4.7	—
4.2.7	4.8	—
4.2.8	4	—
4.3	5	—
4.3.1	—	—
4.3.2	—	—
4.3.2.1	5.1	—
4.3.2.2	—	—

表 A.1 本文件与 ISO 8894-1:2010、ISO 8894-2:2007 的章条编号对照 (续)

本文件章条编号	ISO 8894-1:2010	ISO 8894-2:2007
4.3.3	5.2	—
4.3.4	5.3	—
4.4	6	—
4.4.1	6.1	—
4.4.2	6.2	—
4.4.3	6.3	—
4.4.4	6.4	—
4.4.5	6.5	—
4.4.6	6.6	—
4.4.7	6.7	—
4.4.8	6.8	—
4.4.9	6.9	—
4.4.10	6.10, 6.11	—
4.5	7	—
4.6	8	—
4.7	9	—
5	—	—
5.1	—	3
5.2	—	4
5.2.1	—	4.1
5.2.2	—	4.2
5.2.3	—	4.3
5.2.4	—	4.4
5.2.5	—	4.5
5.2.6	—	4.6
5.2.7	—	4.7
5.3	—	5
5.3.1	—	—
5.3.2	—	—
5.3.2.1	—	5.1
5.3.2.2	—	—
5.3.3	—	5.2
5.3.4	—	5.3
5.4	—	6

表 A.1 本文件与 ISO 8894-1:2010、ISO 8894-2:2007 的章条编号对照 (续)

本文件章条编号	ISO 8894-1:2010	ISO 8894-2:2007
5.4.1	—	6.1
5.4.2	—	6.2
5.4.3	—	6.3
5.4.4	—	6.4
5.4.5	—	6.5
5.4.6	—	6.6
5.4.7	—	6.7
5.4.8	—	6.8
5.4.9	—	6.9
5.4.10	—	6.10,6.11
5.5	—	7,8
5.5.1	—	8
5.5.1.1	—	8
5.5.1.2	—	7
5.5.2	—	—
5.5.3	—	—
5.5.4	—	—
5.5.5	—	附录 A
—	—	9
6	10	10
附录 A	—	—
附录 B	—	—
附录 C	—	—
附录 D	—	附录 A
—	附录 A	—
—	附录 B	—

附录 B

(资料性)

本文件与 ISO 8894 技术性差异及其原因

表 B.1 给出了本文件与 ISO 8894-1:2010 的技术性差异及其原因。

表 B.1 本文件与 ISO 8894-1:2010 的技术性差异及其原因

本文件的章条号	技术性差异	原因
1	删除了“电阻温度计法”的相关内容；	适应我国技术条件
2	关于规范性引用文件,本文件做了具有技术性差异的调整,调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中,具体调整如下: ——增加引用了 GB/T 4513.5(见 4.3.1)和 GB/T 10325(见 4.3.1)	适应我国技术条件
3	删除 ISO 8894-1:2010 中的术语和定义 2.3,增加了术语和定义“比热容”	ISO 8894-1:2010 中的术语和定义 2.3 “功率”不需要在标准中特别定义;增加“比热容”术语和定义与“5.5.3 比热容计算”相对应
4.1	删除了 ISO 8894-1:2010 原理中关于电阻温度计法的描述	适应我国技术条件
4.2.2	增加了关于热线长度和测量精度的描述:“长约 200 mm”,“长度的测量精确到±0.5 mm”;删除了关于热线长度的描述:“最小长度等于试样长度”	将热线长度和测量精度具体化,便于具体操作实施
4.2.3	删除了 ISO 8894-1:2010 中 4.4.1“最好采用交流电源”和“电阻温度计法”的相关内容	适应我国的技术条件
4.2.4,4.2.5	对 ISO 8894-1:2010 中 4.5.1“十字热线法”的表述内容和顺序进行了调整	适应我国的技术条件
4.2.8	将 ISO 8894-1:2010 中“4 装置”“注:图 1 为十字热线法建议采用的试验装置框图”转为正文内容;删除了“电阻温度计法”的相关内容	调整位置使文本描述更加顺畅;删除部分内容以适应我国的技术条件
4.3.2.2	增加了不定形耐火材料制样的规定	适应我国技术条件
4.3.3	删除了 ISO 8894-1:2010 中 5.2 用钢直尺检查试样表面平整度的相关内容	适应我国技术条件
4.3.4	删除了 ISO 8894-1:2010 中 5.3“电阻温度计法”的相关内容	适应我国技术条件
4.4.1	删除了 ISO 8894-1:2010 中 6.1“电阻温度计法”的相关内容	适应我国技术条件

表 B.1 本文件与 ISO 8894-1:2010 的技术性差异及其原因 (续)

本文件的章条号	技术性差异	原因
4.4.2	删除了 ISO 8894-1:2010 中 6.2“电阻温度计法”的相关内容	适应我国技术条件
4.4.6	删除了 ISO 8894-1:2010 中 6.6“电阻温度计法”的相关内容	适应我国技术条件
4.4.8	删除了 ISO 8894-1:2010 中 6.8“电阻温度计法”的相关内容	适应我国技术条件
6	删除了 ISO 8894-1:2010 第 10 章中 c)“电阻温度计法”的相关内容、“d)实验室名称”、“e)测试过程的偏离现象”和“f)测试过程中的异常现象”;增加了本文件第 6 章中的“a)检测机构名称”	适应我国技术条件
附录 C	增加了“十字热线法一元线性回归分析”	适应我国技术条件

表 B.2 给出了本文件与 ISO 8894-2:2007 的技术性差异及其原因。

表 B.2 本文件与 ISO 8894-2:2007 的技术性差异及其原因

本文件的章条号	技术性差异	原因
1	增加了“热扩散系数”和“比热容”的描述	与本文件“5.5.2 热扩散系数计算”和“5.5.3 比热容计算”项对应
2	关于规范性引用文件,本文件做了具有技术性差异的调整,调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中,具体调整如下: ——增加了引用 GB/T 4513.5(见 5.3.1)、GB/T 8170(见 5.5.4)和 GB/T 10325(见 5.3.1)	适应我国技术条件
3	删除了 ISO 8894-2:2007 中的术语和定义 2.3,增加了术语和定义“比热容”	ISO 8894-2:2007 中的术语和定义 2.3“功率”不需要在标准中特别定义;增加“比热容”术语和定义与“5.5.3 比热容计算”相对应
5.2.3	将 ISO 8894.2:2007 中 4.3 中“采用稳定的交流或直流电源,最好是交流电源”修改为“采用交流稳压电源”,增加“如果可能,最好采用恒定功率电源”	适应我国技术条件
5.3.2.2	增加了不定形耐火材料制样的规定	适应我国技术条件
5.4.3	将 ISO 8894.2:2007 中 6.3 中试样支座由“三个”修改为“两个”	两个支座稳定性更好
5.5.2	增加“热扩散系数计算”	适应我国技术条件
5.5.3	增加“比热容的计算”	适应我国技术条件

表 B.2 本文件与 ISO 8894-2:2007 的技术性差异及其原因 (续)

本文件的章条号	技术性差异	原因
5.5.4	增加了结果修约的规定	适应我国技术条件
6	删除了 ISO 8894-2:2007 中第 10 章中的 e)“电阻温度计法”的相关内容、“d)实验室名称”、“e)测试过程的偏离现象”和“f)测试过程中的异常现象”;增加了本文件第 6 章中的“a)检测机构名称”	适应我国技术条件
附录 D	增加了热扩散系数和比热容的计算; 将 ISO 8894-2:2007 中“1990 年国际温标大会上确定的表”修改为“GB/T 16839.1—1997” 删除了 ISO 8894-2:2007 中附录 A 中的图 A.1	增加热扩散系数和比热容的示例与标准要求相适应;图 A.1 中所示为表中内容,不需重复性显示

附录 C

(资料性)

十字热线法一元线性回归分析

设随机变量 y 随自变量 x 变化。给定 n 组观测数据 $(x_i, y_i), i=0, 1, 2, \dots, n-1$, 用直线 $y=ax+b$ 做回归分析。其中 a, b 为回归系数。

为确定回归系数 a, b 采用最小二乘法, 即使

$$Q = \sum_{i=0}^{n-1} [y_i - (ax_i + b)]^2$$

达到最小。根据极值原理, a 与 b 满足下列方程

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = 2 \sum_{i=0}^{n-1} [y_i - (ax_i + b)] (-x_i) = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial b} = 2 \sum_{i=0}^{n-1} [y_i - (ax_i + b)] (-1) = 0$$

从而解得

$$a = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=0}^{n-1} (x_i - \bar{x})^2}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

$$\text{其中: } \bar{x} = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{x_i}{n}, \bar{y} = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{y_i}{n}$$

最后可以计算出以下几个量:

$$\text{偏差平方和 } q = \sum_{i=0}^{n-1} [y_i - (ax_i + b)]^2$$

$$\text{平均标准偏差 } s = \sqrt{q/n}$$

$$\text{回归平方和 } p = \sum_{i=0}^{n-1} [(ax_i + b) - \bar{y}]^2$$

附录 D

(资料性)

平行热线法测定导热系数、比热容和热扩散系数举例

试样:高铝砖

体积密度: $\rho = 3.13 \text{ g/cm}^3$

试验温度:500 °C

热线功率:128 W/m;热电偶:S型

500 °C时热电偶电动势:9.9 $\mu\text{V/K}$ 表 D.1 的第 2 列和第 3 列是 t 周期内的温升。

在换算温度时使用正确的电动势,各类型热电偶的热电势值可在 GB/T 16839.1—2018 中查得。

表 D.1 第 5 列给出了 $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$ 值,使用 $2t$ 周期内温差除以 t 周期温差计算此表达式。

此表达式可以通过测量数据计算(见表 D.1 第 3 列和第 4 列)。

示例:

$$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)} = \frac{\Delta\theta(120)}{\Delta\theta(60)} = \frac{1.683 \text{ K}}{0.874 \text{ K}} = 1.926$$

$$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)} = \frac{\Delta\theta(240)}{\Delta\theta(120)} = \frac{2.665 \text{ K}}{1.683 \text{ K}} = 1.583$$

 $-E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right)$ 与 $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$ 对应值取之表 2,见表 D.1 第 6 列。

将 $-E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right)$ 、 $\Delta\theta(t)$ 、输入功率和热线长度代入 5.5 中的公式(2),计算结果 λ 列于表 D.1 的第 7 列。

随着测量时间的变化, λ 值几乎不变,仅取决于材料。 λ 的实际测量结果是几次测量结果的平均值。通过第 6 列 $-E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right)$ 的值通过计算机解出热扩散系数 α 的值,列于表 D.1 的第 8 列,通过 $c_p =$

$\frac{\lambda}{\alpha\rho}$ 计算出比热容 c_p ,列于表 D.1 的第 9 列。

表 D.1 平行热线法测定导热系数、热扩散系数和比热容举例

时间 t s	时间 $2t$ s	$\Delta\theta(t)$ K	$\Delta\theta(2t)$ K	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$-E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right)$	导热系数 W/(m·K)	热扩散系数 $\times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	比热容 J/(kg·K)
4	8	0	0.010	—	—	—	—	—
8	16	0.01	0.081	8.1	0.111 43	11.912 ^a	13.999 1	272
12	24	0.034	0.214	6.294	0.210 25	6.410 ^a	10.302 1	199
16	32	0.081	0.365	4.506	0.048 36	6.051 ^a	6.571 7	294
20	40	0.147	0.519	3.531	0.090 72	6.336 ^a	5.484 9	369
24	48	0.214	0.66	3.112	0.126 95	6.052 ^a	4.739 4	408
28	56	0.291	0.805	2.766	0.175 09	6.121 ^a	4.262 6	459

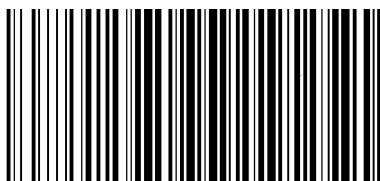
表 D.1 平行热线法测定导热系数、热扩散系数和比热容举例 (续)

时间 t s	时间 $2t$ s	$\Delta\theta(t)$ K	$\Delta\theta(2t)$ K	$\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$	$-E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right)$	导热系数 W/(m·K)	热扩散系数 $\times 10^{-7}$ m ² /s	比热容 J/(kg·K)
32	64	0.365	0.936	2.564	0.216 39	6.051 ^a	3.887 1	497
36	72	0.442	1.065	2.41	0.258 15	5.956 ^a	3.602 5	528
40	80	0.519	1.176	2.266	0.308 74	6.058	3.410 5	567
44	88	0.593	1.289	2.174	0.349 03	6.010	3.227 9	595
48	96	0.666	1.394	2.093	0.391 23	5.989	3.086 5	620
52	104	0.734	1.495	2.037	0.424 95	5.917	2.946 8	641
56	112	0.805	1.59	1.975	0.467 52	5.928	2.855 3	663
60	120	0.874	1.683	1.926	0.505 9	5.908	2.769 2	682
64	128	0.936	1.767	1.888	0.538 76	5.875	2.682 9	700
68	136	1.003	1.852	1.846	0.579 07	5.883	2.628 9	715
72	144	1.065	1.927	1.809	0.618 42	5.928	2.582 5	733
76	152	1.124	2.001	1.78	0.652 14	5.912	2.530 5	747
80	160	1.176	2.072	1.762	0.674 47	5.857	2.458 2	761
84	168	1.237	2.141	1.731	0.715 72	5.909	2.439 8	774
88	176	1.289	2.201	1.708	0.748 84	5.936	2.407 3	788
92	184	1.342	2.266	1.689	0.777 98	5.922	2.370 7	798
96	192	1.394	2.328	1.67	0.808 87	5.921	2.343 2	807
100	200	1.447	2.391	1.652	0.839 89	5.917	2.320 4	815
104	208	1.495	2.449	1.638	0.865 28	5.903	2.288 5	824
108	216	1.546	2.506	1.621	0.897 73	5.924	2.276 4	832
112	224	1.59	2.56	1.61	0.919 73	5.899	2.243 9	840
116	232	1.638	2.615	1.596	0.948 95	5.911	2.230 8	846
120	240	1.683	2.665	1.583	0.977 38	5.916	2.218 6	852
124	248	1.723	2.714	1.575	0.995 53	5.898	2.186 4	862
128	256	1.767	2.762	1.563	1.023 75	5.915	2.178 7	867
132	264	1.808	2.813	1.556	1.040 78	5.897	2.148 9	877
136	272	1.852	2.859	1.544	1.071 03	5.908	2.149 8	878
140	280	1.889	2.901	1.536	1.091 96	5.897	2.132 6	883
144	288	1.927	2.942	1.527	1.116 27	5.918	2.124 3	890
148	296	1.963	2.98	1.518	1.141 44	5.935	2.119 6	894
150	300	1.979	3.002	1.517	1.144 3	5.904	2.097 3	900

^a 数值对应的 $\frac{\Delta\theta(2t)}{\Delta\theta(t)}$ 的值不在 1.5 和 2.4 之间。

参 考 文 献

- [1] GB/T 16839.1—2018 热电偶 第1部分:电动势规范和允差
 - [2] CARLSLAW, A. S. and JAEGER, I. C. Conduction of heat in solids, 2nd ed., 1959, Clarendon press, Oxford
 - [3] Handbook of mathematical tables, edited by Abramowitz, M. and Stegun, I. A., 1972, New York, AMS 55
 - [4] GROSSKOPF, B. and KILIAN, B. Tabellenbuch mit $Ei(-x)$ und $\Delta\theta(2t)/\Delta\theta(t)$ Werten, [Table book with $Ei(-x)$ and $\Delta\theta(2t)/\Delta\theta(t)$ values], 1980, Kübel-Druck, Wiesbaden, FRG
 - [5] Monograph 125 (Thermo-electromotive force values for a range of thermocouple types), US National Bureau of Standards
 - [6] EN 993-15, Methods of test for dense shaped refractory products—Determination of thermal conductivity by the hot-wire (parallel) method
-



GB/T 5990-2021



码上扫一扫 正版服务到

版权专有 侵权必究

*

书号:155066·1-68507