



中华人民共和国国家标准

GB/T 10297—1998

非金属固体材料导热系数的测定 热 线 法

Test method for thermal conductivity of
nonmetal solid materials by hot-wire method

1998-05-08 发布

1998-12-01 实施

国家质量技术监督局 发布

前 言

热线法测定非金属固体材料导热系数是一种非稳态方法,具有测试装置简单和测量时间短的优点。若配备适当的环境控制设备,可在较宽广的温度范围内使用。国内、外制定了用这种方法测定耐火材料导热系数的标准。但对于绝热材料(尤其是轻质材料)因导热系数低、热容量小,热线法测量误差较大。本标准修正因热线与试材热容量差异引起的误差,使热线法适应测定绝热材料的导热系数的要求。按本标准方法规定测量均质的各向同性材料精确度可达5%~10%。

本标准对 GB 10297—88 作下列修改:

1. 按 GB 1.1—1993 要求重新组织标准文本。
2. 增加修正因热线与试材热容量差异引起的误差。
3. 计算导热系数时,推荐优先采用线性回归方法,提高计算精确度。在用二点法计算时,限定 t_1 应等于 60~90 s。
4. 改变探头热电偶与热丝焊接型式,消除加热电流对热电偶输出热电势的干扰。

本标准的附录 A 为提示的附录。

本标准代替 GB 10297—88,自本标准实施之日起,GB 10297—88 同时作废。

本标准由国家建筑材料工业局提出。

本标准由全国绝热材料标准化技术委员会(CSBTS/TC 191)归口。

本标准由河南建材研究设计院起草。

本标准主要起草人:曹声韶、白召军。

本标准首次发布 1988 年 12 月 30 日。

本标准委托河南建材研究设计院负责解释。

中华人民共和国国家标准

非金属固体材料导热系数的测定 热线法

GB/T 10297—1998

Test method for thermal conductivity of
nonmetal solid materials by hot-wire method

代替 GB 10297—88

1 范围

本标准适用于导热系数小于 $2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的各向同性均质材料导热系数的测定。尤其是轻质的各向同性均质绝热材料。

本标准不适用于导电的非金属材料(如碳化硅)。

本标准方法作为稳态法的补充方法,适用于企业质量控制等场合,不适用于鉴定或仲裁试验。

2 引用标准

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

GB/T 4132—1996 绝热材料及相关术语

3 定义

本标准采用 GB/T 4132 规定的术语。

4 原理

热线法是测定材料导热系数的一种非稳态方法。其原理是在匀温的各向同性均质试样中放置一根电阻丝,即所谓的“热线”,当热线以恒定功率放热时,热线和其附近试样的温度将会随时间升高。根据其温度随时间变化的关系,可确定试样的导热系数。由于热线与试样的热容量不同,以恒定功率对热丝加热时,热丝不是以恒定功率放热,其放热功率亦不等于加热功率,造成测量误差。对于轻质绝热材料这项误差不能忽视,本标准中按假定热线线性升温的简化方法进行修正。

5 测定装置

常用的热线法测定装置如图 1 和图 2 所示。A、B 点距试样边缘的距离应不小于 5 mm 。距测温热电偶的距离应不小于 60 mm 。

5.1 电源

稳定的直流(或交流)稳流(或稳压)电源。其输出值的变化应小于 0.5% 。

5.2 功率测量仪表

测量加热功率的准确度应优于 $\pm 0.5\%$ 。

5.3 测温仪表

测量热线温升仪表的分辨力不应低于 0.02°C (对于 K 型热电偶相当于 $1 \mu\text{V}$),其时间常数应小于 2 s 。

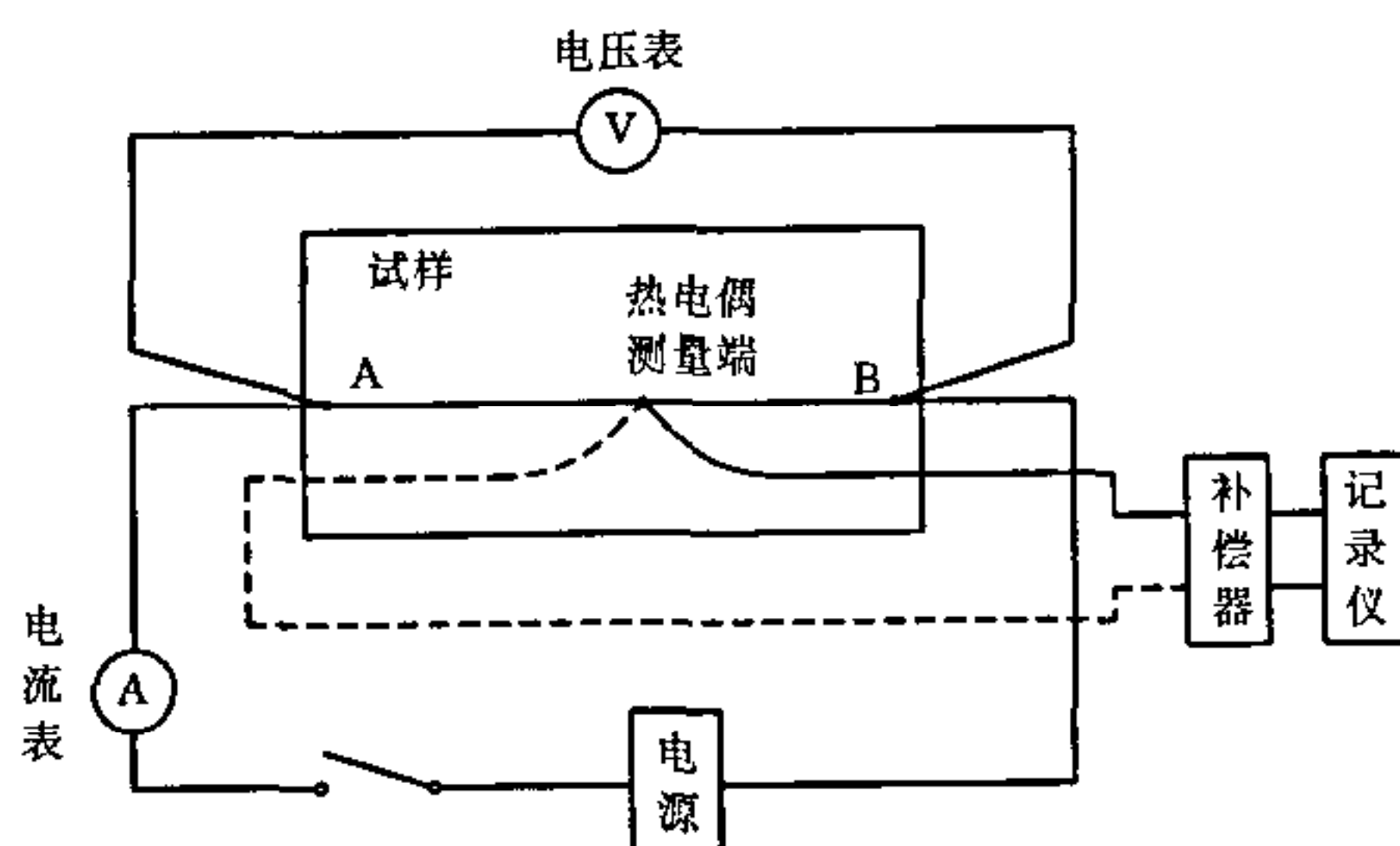


图 1 带补偿器的测定电路示意图

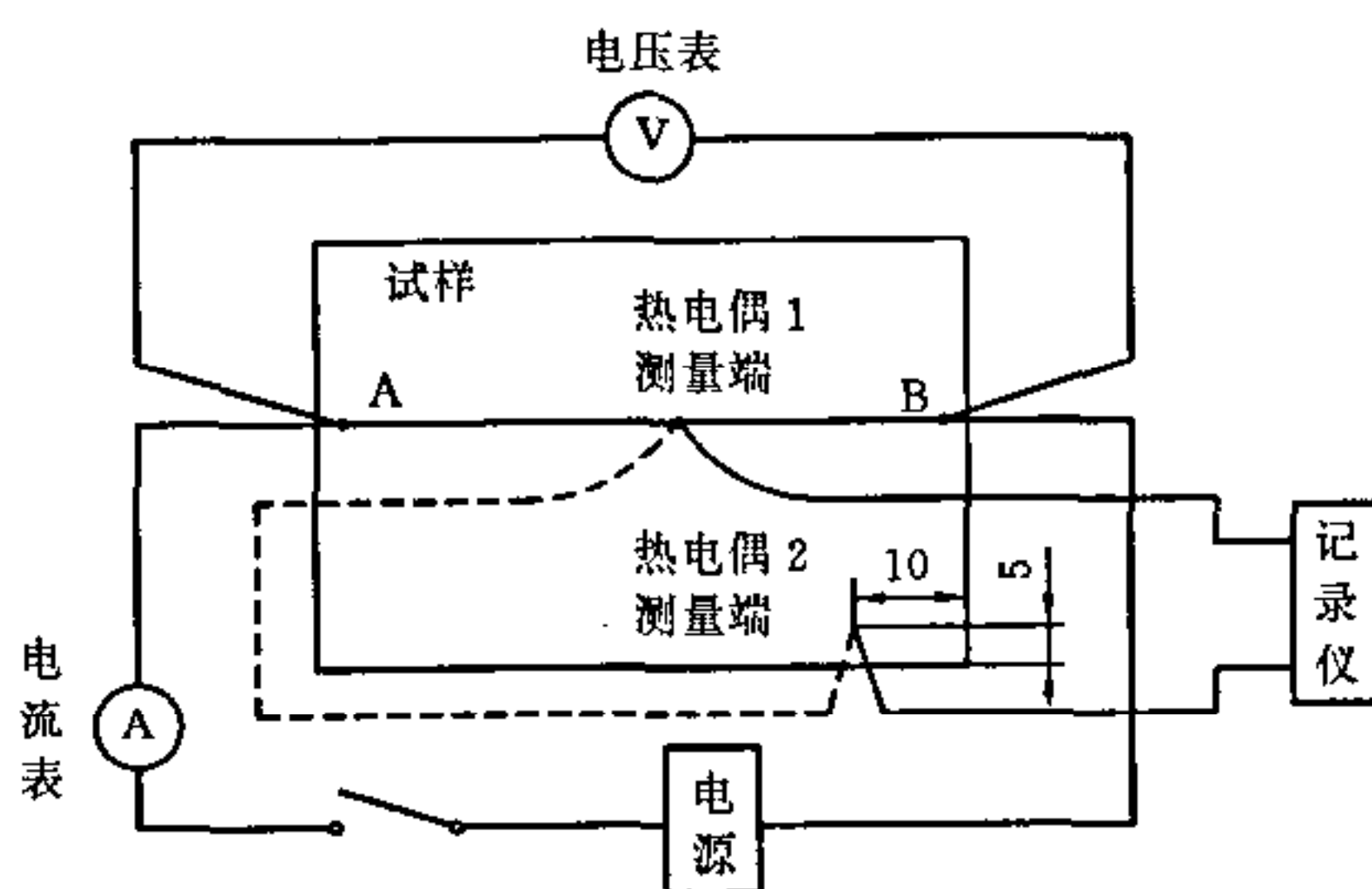


图 2 带差接热电偶的测定电路示意图

5.4 测量探头

测量探头由热线和焊在其上的热电偶组成(见图 3)。为消除加热电流对热电偶输出的干扰,热电偶用单根“+”(或“-”)极线与热线焊接,热电偶接点与热线之间的距离约为 0.3~0.5 mm。

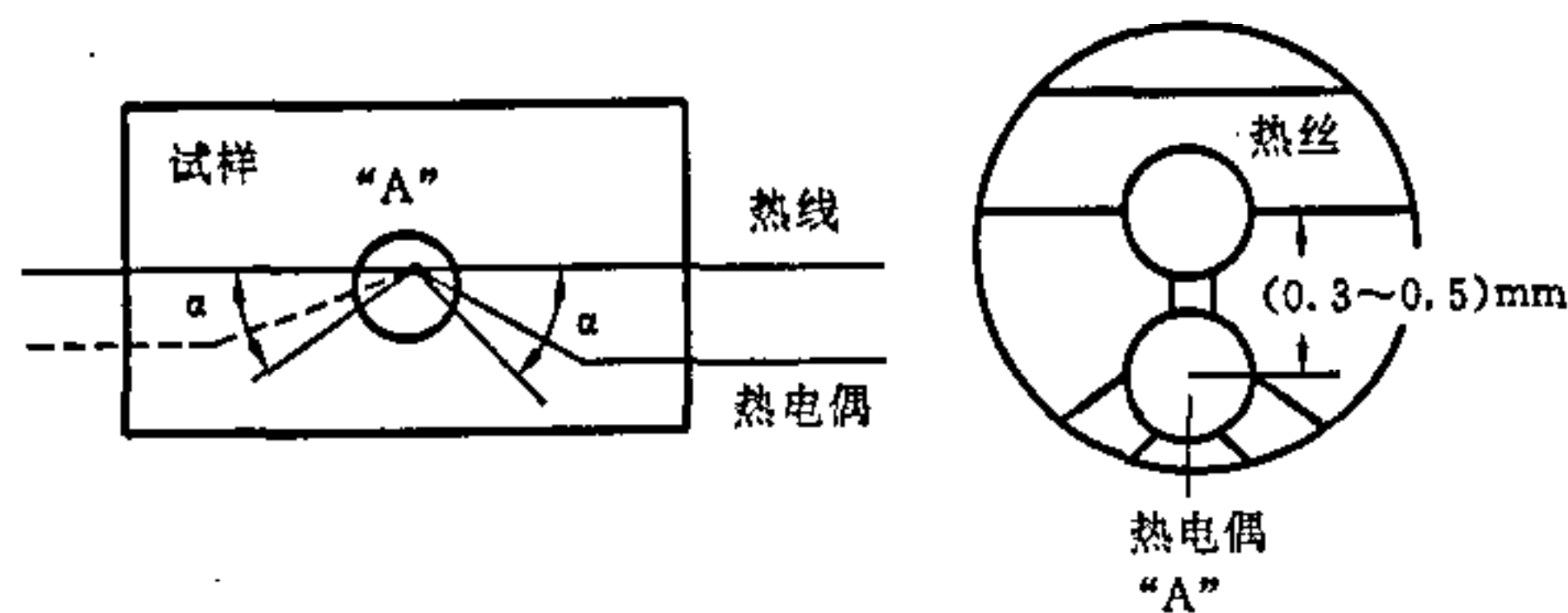


图 3 测量探头及其布置示意图

5.4.1 热线由低电阻温度系数的合金材料(如 NiCr 丝)制成,其直径不得大于 0.35 mm。热线在测量过程中,其电阻值随温度的变化不应大于 0.5%。

5.4.2 热电偶丝的直径尽可能小,不得大于热线直径。热电偶丝与热线之间的夹角 α 不大于 45° ,引出线走向与热线保持平行。热电偶制成后,需经退火处理,否则需重新标定其热电势与温度的关系。

5.4.3 电压引出线应采用与热线相同的材料,其直径应尽可能小。

5.5 热电偶冷端温度补偿器

补偿器的漂移不得大于 $1 \mu\text{V}/(\text{C} \cdot \text{min})$ 。在无补偿器的情况下,可借助热电偶 2 同热电偶 1 的差接起补偿器的作用(见图 2)。

5.6 标定

测定装置组成后,应用经防护热板法测定导热系数的各向同性均质试样进行标定。标定结果应满足第9章要求。

6 试样

6.1 取样

试样取自同批产品。

6.2 试样的制备和尺寸

6.2.1 块状材料

6.2.1.1 试样为两块尺寸不小于 $40\text{ mm} \times 80\text{ mm} \times 114\text{ mm}$ 的互相叠合的长方体(见图4)或为两块横断面直径不小于 80 mm ,长度不小于 114 mm 的半圆柱体叠合成为的圆柱体。

6.2.1.2 试样互相叠合的平面应平整,其不平度应小于 0.2% ,且不大于 0.3 mm 。以保证热线与试样及试样的两平面贴合良好。

6.2.1.3 对于致密、坚硬的试样,需在其叠合面上铣出沟槽,用来安放测量探头。沟槽的宽度与深度必须与测量探头的热线和热电偶丝直径相适应。用从被测量试样上取下的细粉末加少量的水调成粘结剂,将测量探头嵌粘在沟槽内,以保证良好的热接触。粘好测量探头的试样,需经干燥后,方能测试。

6.2.1.4 有面层或表皮层的材料,应取芯料进行测量。

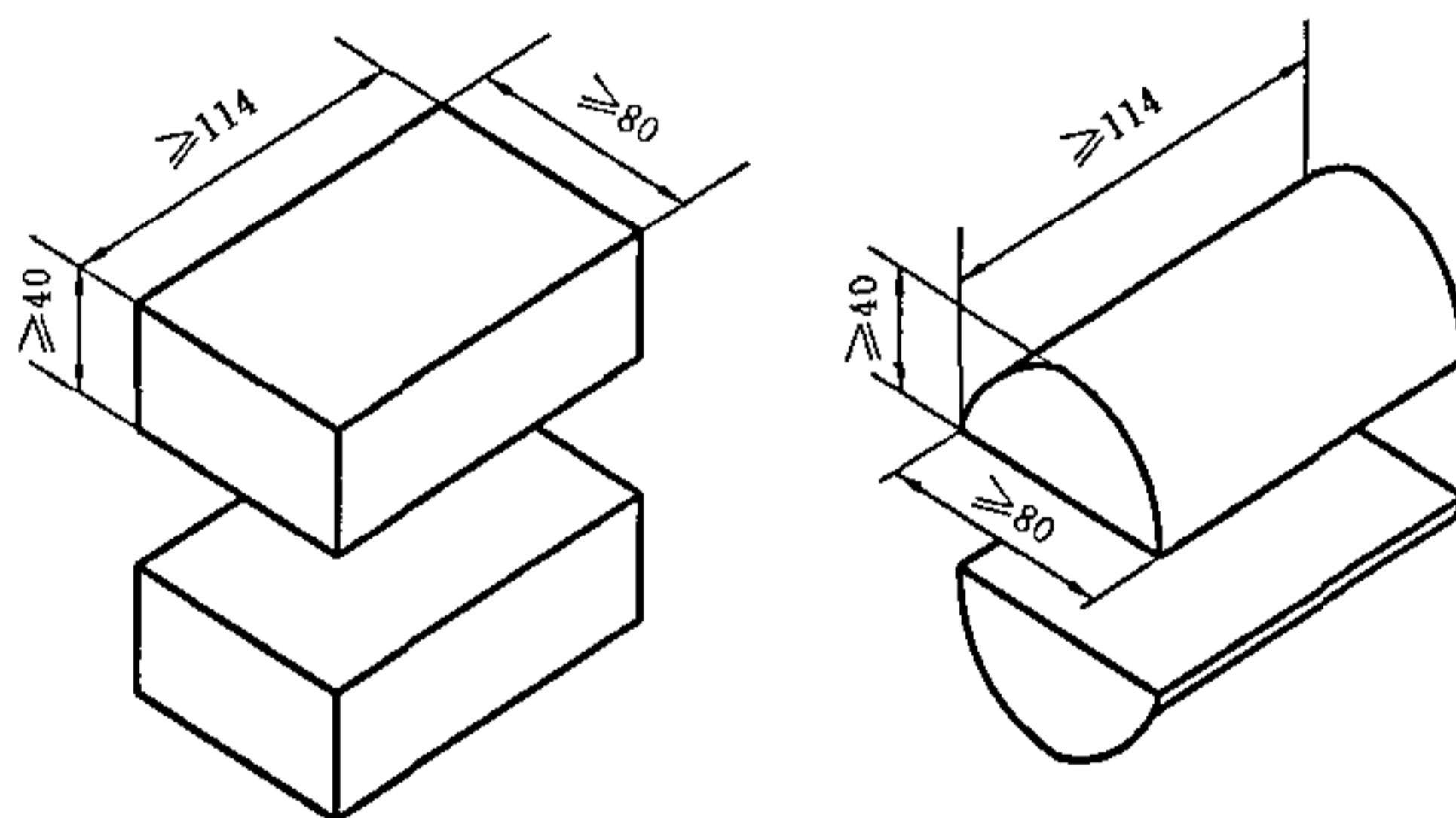


图4 试样尺寸示意图

6.2.2 粉末状和颗粒材料

6.2.2.1 对粉末状和颗粒材料的测定,使用两个内部尺寸不小于 $80\text{ mm} \times 114\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 的盒子(见图5)。其下层是一个带底的盒子,将待测材料装填到盒中,并与其上边沿平齐,然后将测量探头放在试样上。上层的盒子与下层的内部尺寸相同,但无底。将上层盒子安放在下层盒子上,将待测材料装填至与其上边沿平齐。用与盒子相同材料的盖板盖上盒子,但不允许盖板对试样施加压力。

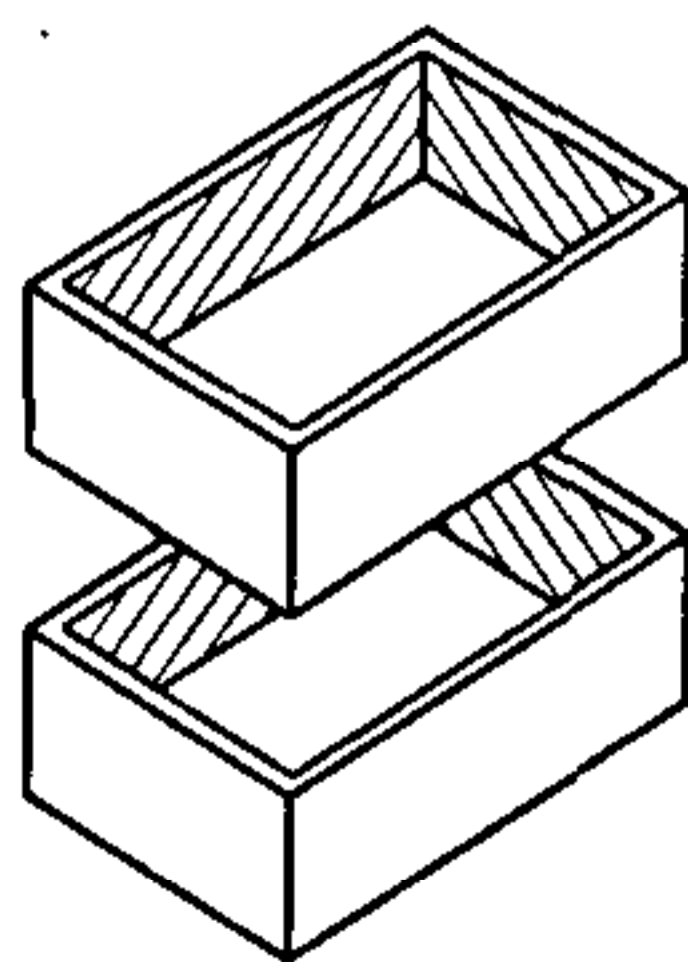


图5 试样盒示意图

6.2.2.2 通常粉末状或颗粒状材料要松散充填。需要在不同密度下测量时,允许以一定的加压或振动的方式使粉末或颗粒状材料达到要求的密度。上、下两个盒子中的试样装填密度应各处均匀一致。测定和记录试样的装填密度和松散密度。

6.3 欲测定干燥状态的导热系数,应将试件在烘箱中烘至恒重,然后用塑料袋密封放入干燥器内降至室温(一般需 8 h)。待试件中内外温度均匀一致后,迅速取出,安装测定探头,在 2 h 内完成测定工作。

6.4 由平均粒径不小于 3 mm 颗粒组成的颗粒材料(或块状材料)和纤维材料(或制品)需经与防护热板法进行成功对比后,才能确定本方法的适用性。

7 测定过程

7.1 环境控制

在室温下测定时,用隔热罩将试样与周围空间隔离,减少周围空气温度变化对试件的影响。在高于或低于室温条件下测定时,试样与测量探头的组合体应放在加热炉或低温箱中。

7.1.1 加热炉(或低温箱)应进行恒温控制。恒温控制的感温元件应安放在发热元件的近旁。

7.1.2 试样应放置在加热炉(或低温箱)中的均温带内。

7.1.3 应防止加热炉发热元件对试样的直接热辐射。

7.1.4 置于低温箱内的试样及测量探头的表面不得有结霜现象。

7.2 测量

7.2.1 将试样与测量探头的组合体置于加热炉(低温箱)内,把加热炉(低温箱)内温度调至测定温度,当焊在热线中部的热电偶输出随时间的变化小于每 5 min 变化 0.1 °C,且试样表面的温度与焊在热丝上的热电偶的指示温度的差值在热线最大温升的 1% 以内,即认为试样达到了测定温度。

7.2.2 接通热线加热电源,同时开始记录热线温升。测定过程中,热线的总温升宜控制在 20 °C 左右,最高不应超过 50 °C。如热线的总温升超过 50 °C,则必须考虑热线电阻变化对测定的影响。测定含湿材料时,热线的总温升不得大于 15 °C。

7.2.3 测量热线的加热功率(电流 I 和电压 V)。

7.2.4 加热时间达预定测量时间(一般为 5 min 左右)时,切断加热电源。

7.2.5 每一测量温度下,应重装测定探头测定三次。

8 结果计算

8.1 从测得的热线温升曲线上,按一定时间间隔(如 30 s)依次读取热线的温升 θ_i 。按式(1)计算修正热线与试料热容量差异后的热线温升 θ'_i 。

$$\theta'_i = \frac{\theta_i}{1 - \frac{\pi D^2 L (\rho_h \times c_{ph} - \rho_s \times c_{ps})}{4 \times P} \times \frac{\theta_i}{t_i}} \dots\dots\dots (1)$$

式中: θ_i, θ'_i ——热线的测量温升和修正后温升, °C;

t_i ——测 θ_i 时的加热时间, s;

D ——热线的直径, m;

L ——热线 A、B 间的长度, m;

P ——热线 A、B 段的加热功率, W;

ρ_h, ρ_s ——热线和试样的密度, kg/m³;

c_{ph}, c_{ps} ——热线和试样的比热容, J/(kg · K)。

注

1 ρ_h, c_{ph}, c_{ps} 可采用材料手册中的常用值(参见附录 A)。

2 导热系数大于 1 W/(m · K) 的材料可不进行修正。

热线 A、B 段的加热功率

$$P = I \cdot V \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中: P ——热线 A、B 段的加热功率, W;

I ——热线加热电流, A;

V ——热线 A、B 段的加热电压, V。

8.2 以时间的对数 $\ln t$ 为横坐标, 以温升 θ 为纵坐标, 绘出 $\ln t_i$ 和 θ'_i 的曲线, 确定其线性区域。

8.3 推荐在 $\ln t \sim \theta$ 曲线的线性区域内, 等距选取 4~5 个测点数据拟合直线方程, 求出其斜率 A 。亦可取直线区域二端测点的数据计算 A , 但 t_1 应等于 60~90 s。

$$A = \frac{\Delta Q'}{\Delta \ln t} = \frac{\theta'_2 - \theta'_1}{\ln(t_2/t_1)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中: A —— $\ln t \sim \theta$ 曲线线性区域的斜率, K;

θ'_1, θ'_2 ——热线修正后的温升, °C;

t_1, t_2 ——测 θ_1, θ_2 时的加热时间, s。

8.4 按式(4)计算试件导热系数:

$$\lambda = \frac{P}{4\pi L} \times \frac{1}{A} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中: λ ——导热系数, W/(m·K);

A —— $\ln t \sim \theta$ 曲线线性区域的斜率, K;

P ——热线 A、B 段的加热功率, W;

L ——热线 A、B 间的长度, m。

8.5 测定结果为三次重新安装测定探头测量的算术平均值。单一测量值与平均值的偏差不得大于 5%, 否则重新进行测定。

9 测量误差

遵守本标准规定, 测量值的置信度为 95% 时的重复性(同一测定人员, 同一仪器), 约 ±5%, 重现性(不同的测定人员, 不同仪器), 约 ±10%。

10 测定报告

测定报告应包括如下内容:

- a) 试样来源(委托单位, 生产厂等);
- b) 试样概况(名称、种类、规格、密度、含湿率等);
- c) 试样尺寸;
- d) 测定温度及在此温度下的导热系数;
- e) 测定地点和日期。

附 录 A
(提示的附录)
有关材料的比热和密度值

材 料	比热容, kJ/(kg · K)	密度, kg/m ³
镍铬丝	0.44	8.2×10 ³
康铜丝	0.42	8.8×10 ³
镍铬铁丝	0.45	8.1×10 ³
膨胀珍珠岩	0.80	40~120
膨胀蛭石	0.88	80~350
水泥珍珠岩制品	1.0	180~350
石棉保温板	0.84	200~300
挤出型聚苯乙烯泡沫塑料	1.4	25~40
模制型聚苯乙烯泡沫塑料	1.3	20~50
硬质聚氨酯泡沫塑料	1.5	20~50
石膏板	1.1	800~1 200
加气混凝土	1.1	300~800
粉煤灰加气混凝土	1.3	300~800
泡沫玻璃	0.80	150~250
硅酸钙绝热制品	0.92	170~270

中华人民共和国
国家标准
非金属固体材料导热系数的测定
热线法
GB/T 10297—1998

*

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 13 千字
1998年9月第一版 1998年9月第一次印刷
印数 1—1 500

*

书号: 155066·1-15152

*

标目 347—35