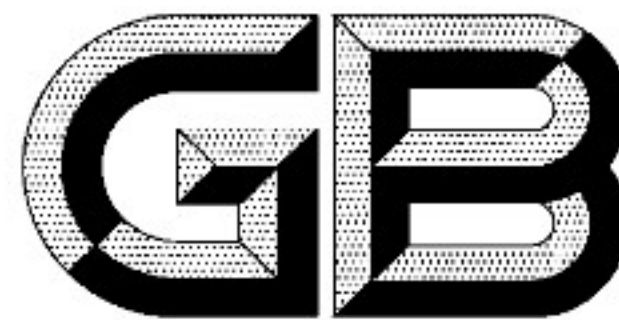




中华人民共和国国家标准

GB/T 10297—2015
代替 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—
Hot-wire method

2015-09-11 发布

2016-08-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

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—2015

*

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.gb168.cn

服务热线: 400-168-0010

010-68522006

2015年9月第一版

*

书号: 155066 • 1-52405

版权专有 侵权必究

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替了 GB/T 10297—1998《非金属固体材料导热系数的测定 热线法》。与 GB/T 10297—1998 相比,除编辑性修改外主要技术变化如下:

- 删除了引言。
- 本版标准中温度使用国际单位制的热力学温度。
- 删除了第 1 章范围中的“尤其是轻质的各向同性均质绝热材料”。
- 将 5.3“测量加热功率的准确度应优于 $\pm 0.5\%$ ”修改为“测量加热功率的误差应小于 0.5% ”。
- 把 GB/T 10297—1998 中的附录 A(提示的附录)修改为附录 A(资料性附录),并补充新增加了泡沫酚醛塑料和玻璃纤维酚醛模塑料等具有安全阻燃特点的建筑材料相关数据。删除不符合环保、低碳排放要求的石棉保温板等产品。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国绝热材料标准化技术委员会(SAC/TC 191)归口。

本标准起草单位:深圳金台纤维有限公司。

本标准主要起草人:郭晓明、叶文进、段利伶。

GB/T 10297—1998 的历次版本发布情况为:

- GB 10297—1988。

非金属固体材料导热系数的测定

热线法

1 范围

本标准适用于导热系数小于 $2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的各向同性均质非金属固体材料导热系数的测定。

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 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 4132 绝热材料及相关术语

3 术语和定义

GB/T 4132 界定的术语和定义适用于本文件。

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 仪器

5.1 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 。

5.2 电源

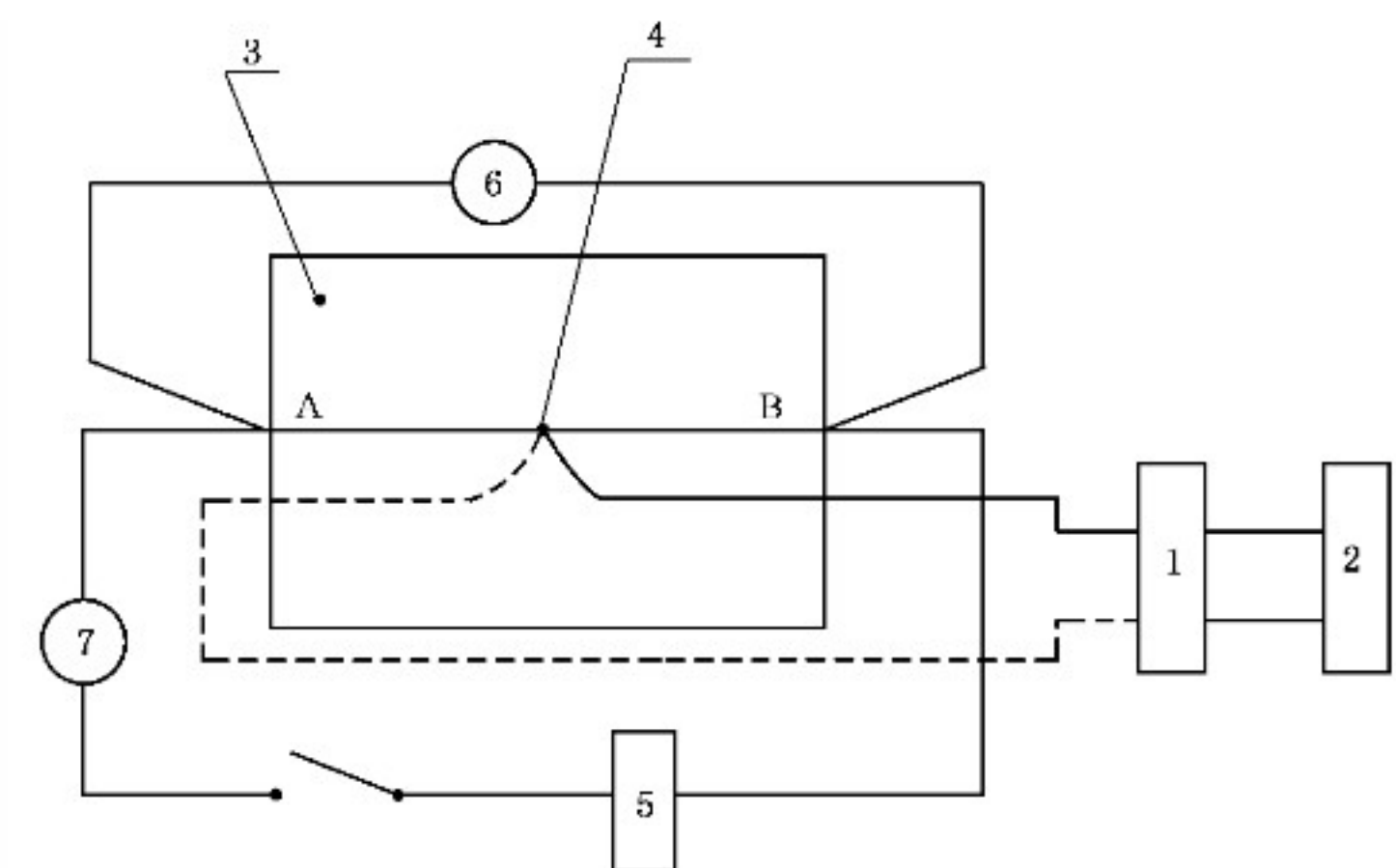
稳定的直流(或交流)稳流(或稳压)电源。其输出值的变化应小于 0.5% 。

5.3 功率测量仪表

测量加热功率的误差应小于 0.5% 。

5.4 测温仪表

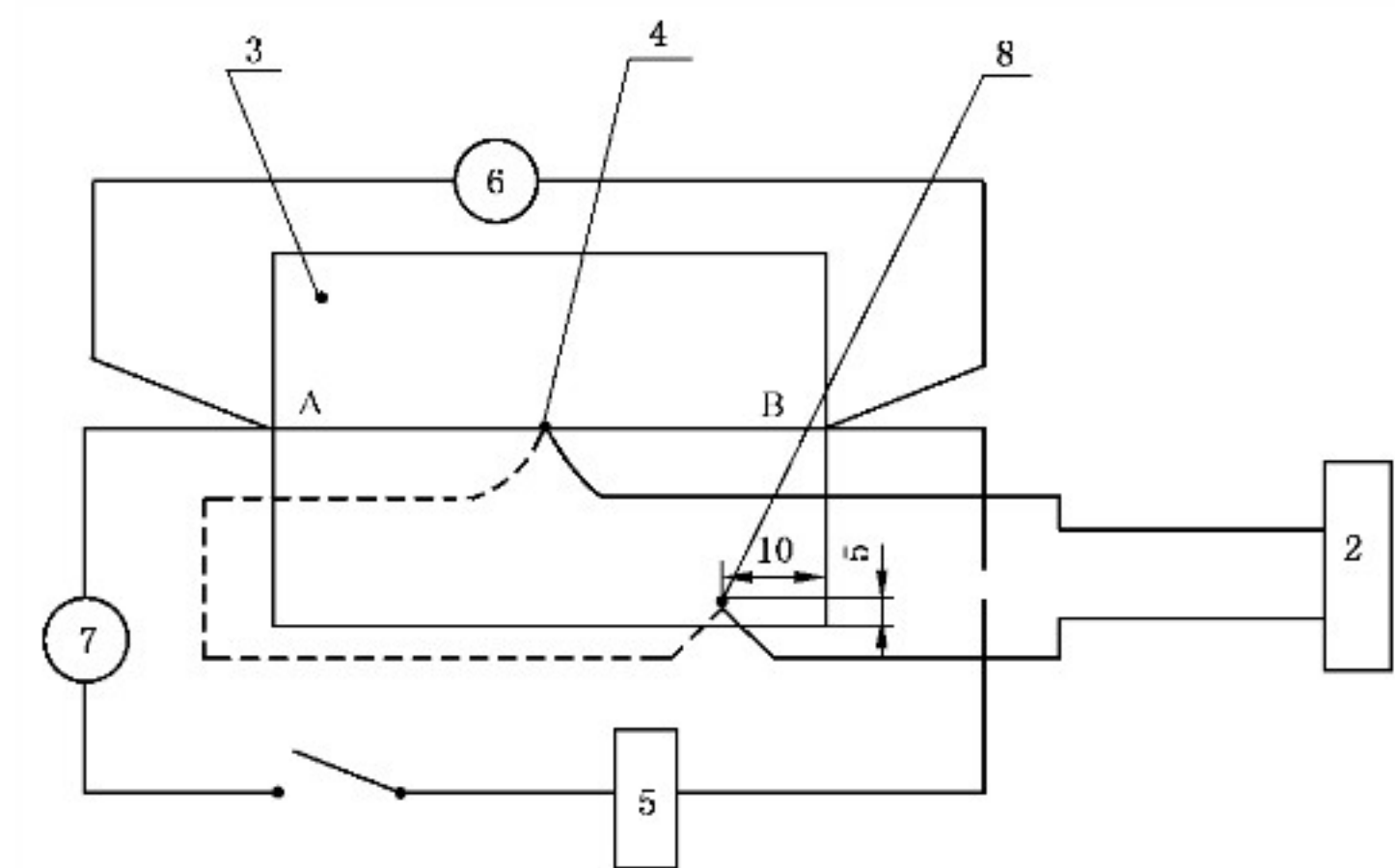
测量热线温升仪表的分辨率不应低于 0.02 K (对于 K 型热电偶相当于 $1 \mu\text{V}$),其时间常数应小于 2 s 。



- 说明：
- 1——补偿器；
 - 2——记录仪；
 - 3——试样；
 - 4——热电偶测量端；
 - 5——电源；
 - 6——电压表；
 - 7——电流表。

图 1 带补偿器的测定电路示意图

单位为毫米

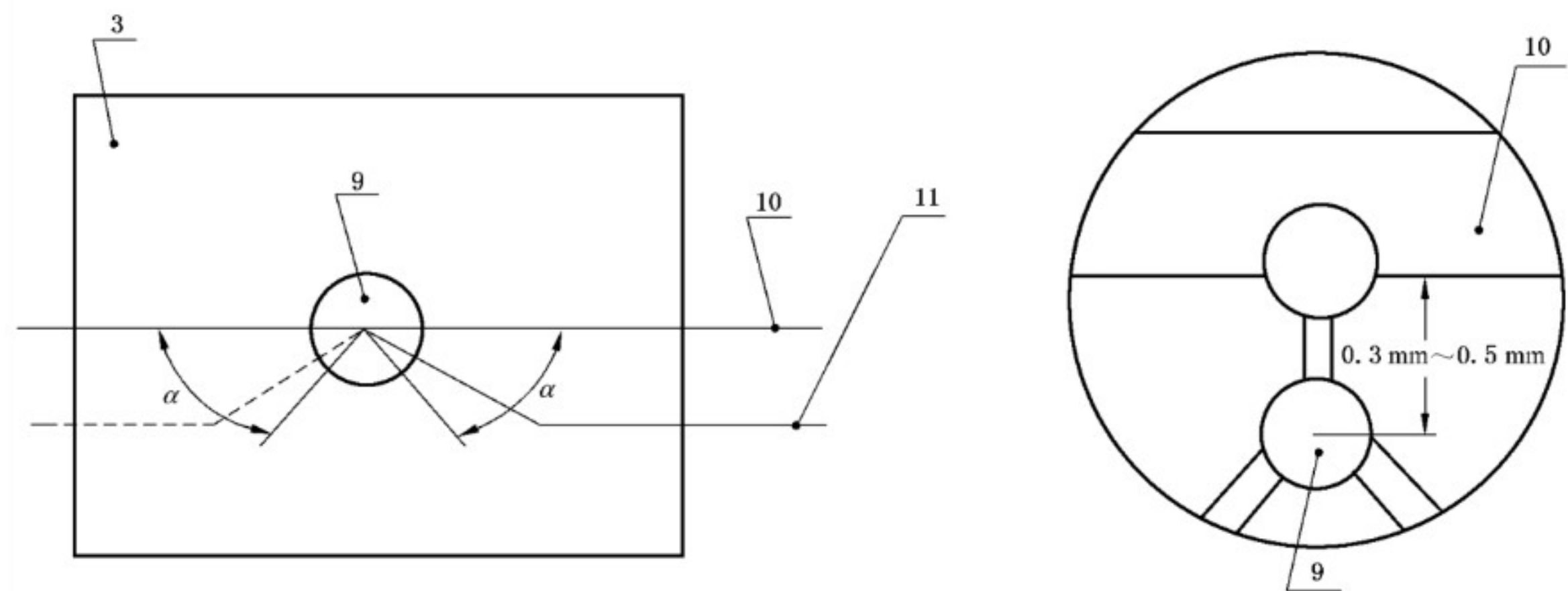


- 说明：
- 2——记录仪；
 - 3——试样；
 - 4——热电偶测量端 1；
 - 5——电源；
 - 6——电压表；
 - 7——电流表；
 - 8——热电偶测量端 2。

图 2 带差接热电偶的测定电路示意图

5.5 测量探头

5.5.1 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 mm~0.5 mm。



说明:
3 —— 试样;
9 —— 热电偶“A”;
10—— 热丝;
11—— 热电偶。

图 3 测量探头及其布置

5.5.2 热线由低电阻温度系数的合金材料(如 NiCr 丝)制成,其直径不应大于 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 %。

5.5.3 热电偶丝的材质为 NiCr-NiSi,其直径宜尽可能小,不应大于热线直径。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,需应经退火处理,否则需应重新标定其热电势与温度的关系。

5.5.4 电压引出线应采用与热线相同的材料,其直径应宜尽可能小。

5.6 热电偶冷端温度补偿器

补偿器的漂移不应大于 $1 \mu\text{V}/(\text{K} \cdot \text{min})$ 。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)。

5.7 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。

单位为毫米

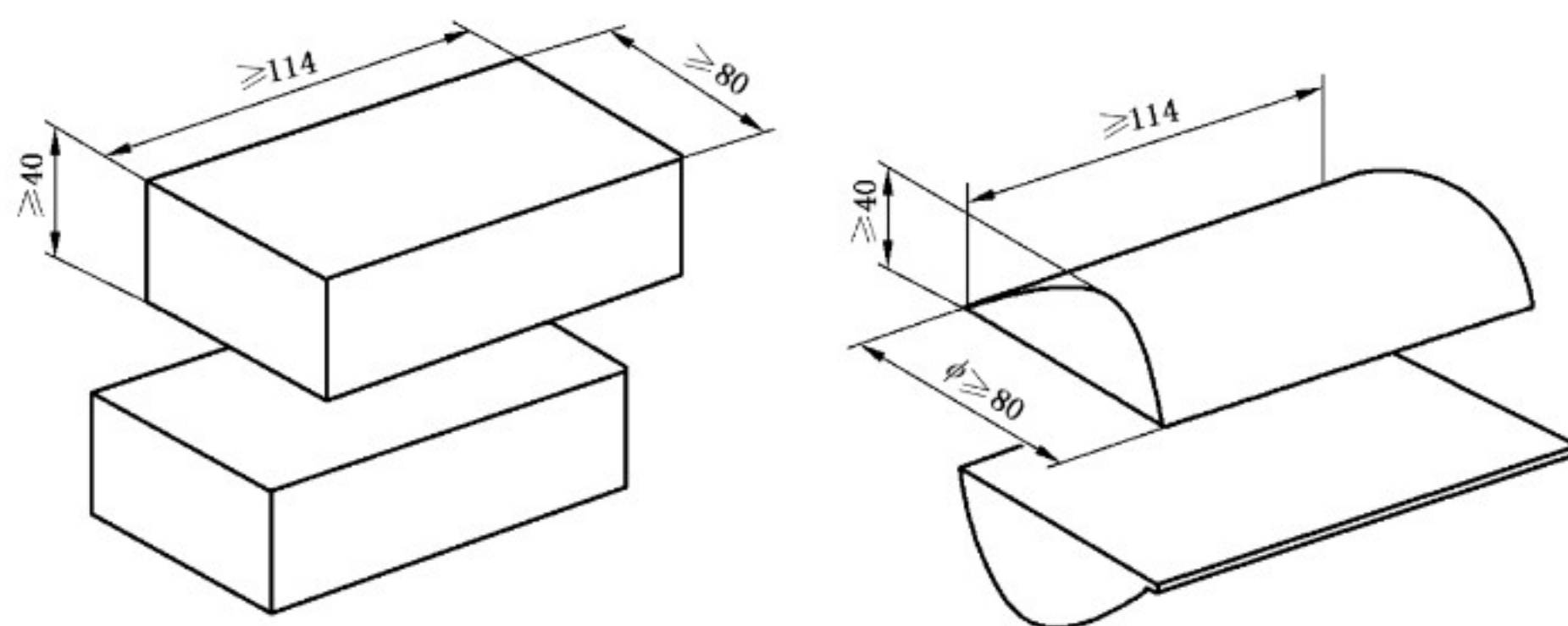


图 4 试样尺寸示意图

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。

单位为毫米

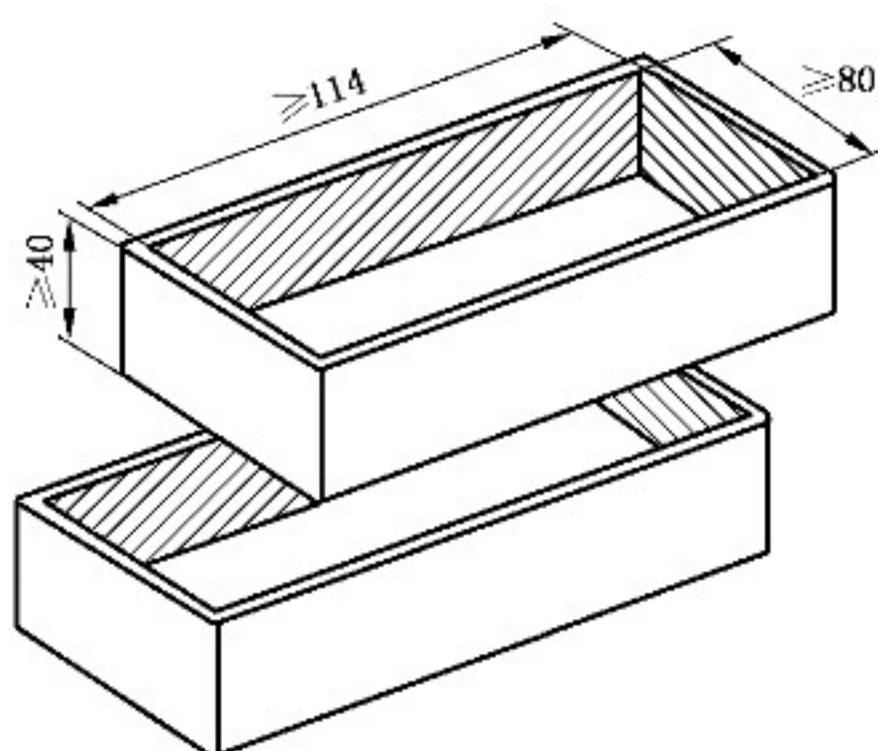


图 5 试样盒示意图

6.2.2.2 通常粉末状或颗粒材料要松散充填。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 试样干燥处理

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 大颗粒材料

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

7.1.1 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。

7.1.2 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。

7.1.3 试样应放置在加热炉(或低温箱)中的均温带内。

7.1.4 应防止加热炉发热元件对试样的直接热辐射。

7.1.5 置于低温箱内的试样及测量探头的表面不应有结霜现象。

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 K,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 K 左右,最高不应超过 50 K。如热线的总温升超过 50 K,则必须考虑热线电阻变化对测定的影响。测定含湿材料时,热线的总温升不应大于 15 K。

7.2.3 测量热线的加热功率(电流 I 和电压 U)。

7.2.4 加热时间达预订测量时间为 5 min 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 30 s 时间间隔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 。

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

式中:

θ'_i ——热线修正后温升,单位为开尔文(K);

θ_i ——热线的测量温升,单位为开尔文(K);

- t_i ——测 θ_i 时的加热时间,单位为秒(s);
 D ——热线的直径,单位为米(m);
 L ——热线 A、B 间的长度,单位为米(m);
 P ——热线 A、B 段的加热功率,单位为瓦特(W);
 ρ_h ——热线的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);
 ρ_s ——试样的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);
 c_{ph} ——热线的比热容,焦耳每千克开尔文[$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$];
 c_{ps} ——试样的比热容,焦耳每千克开尔文[$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$].

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

注 2: 导热系数大于 $1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 的材料可不进行修正。

热线 A、B 段的加热功率按式(2)计算:

$$P = IU \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- P ——热线 A、B 段的加热功率,单位为瓦特(W);
 I ——热线加热电流,单位为安培(A);
 U ——热线 A、B 段的加热电压,单位为伏特(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 $\ln t$ - θ 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,按式(3)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 $60 \text{ s} \sim 90 \text{ s}$ 。

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

式中:

- A —— $\ln t$ - θ 在曲线线性区域的斜率,单位为开尔文(K);
 θ'_1 ——热线修正后的温升 1,单位为开尔文(K);
 θ'_2 ——热线修正后的温升 2,单位为开尔文(K);
 t_1 ——测 θ_1 时的加热时间,单位为秒(s);
 t_2 ——测 θ_2 时的加热时间,单位为秒(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 ——试件导热系数,单位为瓦每米开[$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$];
 A —— $\ln t$ - θ 曲线线性区域的斜率,单位为开尔文(K);
 P ——热线 A、B 段的加热功率,单位为瓦特(W);
 L ——热线 A、B 间的长度,单位为米(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应大于 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 $\pm 5\%$,重现性(不同的测定人员,不同仪器)约 $\pm 10\%$ 。

10 测定报告

测定报告应包括如下内容：

- a) 说明按本标准进行试验；
- b) 试样来源(委托单位,生产厂等)；
- c) 试样概况(名称、种类、规格、密度和含湿率等)；
- d) 试样尺寸；
- e) 测量温度及在此温度下的导热系数；
- f) 测定地点和日期；
- g) 测定单位的名称；
- h) 测定报告批准人的姓名,职务,签字或等效的标识及测定单位的签章；
- i) 必要时,应当做出测量结果仅与试样相关的声明；
- j) 注明测定报告的页码和总页数；
- k) 未经测定单位批准,不得复制(全文复制除外)测定报告。

附 录 A
(资料性附录)
比热容和密度值

有关材料的比热容和密度值见表 A.1。

表 A.1

材 料	比热容/[kJ/(kg·K)]	密度/(kg/m³)
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	1.00	180~350
挤出型聚苯乙烯泡沫塑料	1.40	25~40
模制型聚苯乙烯泡沫塑料	1.30	20~50
硬质聚氨酯泡沫塑料	1.50	20~50
石膏板	1.10	800~1 200
加气混凝土	1.10	300~800
粉煤灰加气混凝土	1.30	300~800
泡沫玻璃	0.80	150~250
硅酸钙绝热制品	0.92	170~270
玻璃纤维酚醛模塑料	2.00	1.9×10^3
泡沫酚醛塑料	1.88	40~120

