



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 2221—2025

## 导热系数瞬态测定仪校准规范

Calibration Specification for Apparatus of Transient  
Measurements of Thermal Conductivity

2025-03-27 发布

2025-09-27 实施

国家市场监督管理总局 发布

# 导热系数瞬态测定仪校准规范

Calibration Specification for Apparatus of  
Transient Measurements of Thermal  
Conductivity

JJF 2221—2025

归口单位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：重庆市计量质量检测研究院

常州检验检测标准认证研究院

中国建筑科学研究院

北京西摩斯计量设备有限公司

**本规范主要起草人：**

张金涛（中国计量科学研究院）

邱 萍（中国计量科学研究院）

**参加起草人：**

张 雯（重庆市计量质量检测研究院）

潘永杲（常州检验检测标准认证研究院）

邓高峰（中国建筑科学研究院）

刘 薇（中国计量科学研究院）

孙 毅（北京西摩斯计量设备有限公司）

# 目 录

引言 .....	( II )
1 范围 .....	( 1 )
2 引用文件 .....	( 1 )
3 术语 .....	( 1 )
4 概述 .....	( 1 )
5 计量特性 .....	( 2 )
6 校准条件 .....	( 2 )
6.1 环境条件 .....	( 2 )
6.2 导热系数参考板技术指标 .....	( 2 )
7 校准项目和校准方法 .....	( 2 )
7.1 校准项目 .....	( 2 )
7.2 校准方法 .....	( 2 )
7.3 数据处理 .....	( 3 )
8 校准结果的表达 .....	( 3 )
8.1 校准数据 .....	( 3 )
8.2 校准信息 .....	( 3 )
9 复校时间间隔 .....	( 4 )
附录 A 校准证书（背面）格式 .....	( 5 )
附录 B 不确定度评定示例 .....	( 6 )
附录 C 瞬态导热仪的测量原理 .....	( 7 )

## 引 言

GB/T 32064—2015《建筑用材料导热系数和热扩散系数瞬态平面热源测试法》、GB/T 10297—2015《非金属固体材料导热系数的测定 热线法》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性文件。本规范的制定参考了 ISO 22007-1《塑料 导热系数和热扩散系数的测试法 第1部分：通用要求》(Plastics—Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity—Part 1: General principles)等相关国际标准内容。

国标侧重于导热系数瞬态测定方法的原理、仪器探测单元热丝的结构、尺度、位置分布、电阻或电压的测量方法等，本校准规范侧重于校准瞬态导热仪对导热系数的测量。

本规范为首次发布。

## 导热系数瞬态测定仪校准规范

### 1 范围

本规范适用于热线、热带、平面热源、热桥等类型的导热系数瞬态测定仪的导热系数校准。导热系数测量范围为  $(0.020\sim 0.20)\text{ Wm}^{-1}\text{ K}^{-1}$ ，温度范围为  $(20\sim 60)\text{ }^\circ\text{C}$ 。

### 2 引用文件

本规范引用以下文件。

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1007—2007 温度计量名词术语及定义

JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1071—2010 国家计量校准规范编写规则

GB/T 10297—2015 非金属固体材料导热系数的测定 热线法

GB/T 32064—2015 建筑用材料导热系数和热扩散系数瞬态平面热源测试法

ISO 22007-1 塑料 导热系数和热扩散系数的测试法 第1部分：通用要求 (Plastics—Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity—Part 1: General principles)

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

### 3 术语

#### 3.1 导热系数 thermal conductivity

在单位时间、单位温度梯度、单位面积所通过的热量。单位  $\text{Wm}^{-1}\text{ K}^{-1}$ 。

[来源：JJF 1007—2007，3.38]

#### 3.2 导热系数参考板 thermal conductivity reference material

在一定条件下，物理性质稳定、用于导热系数传递的参考物质。

### 4 概述

导热系数瞬态测定仪（以下简称瞬态导热仪）的工作原理可追溯至热线法测量材料导热系数，即对于各向同性和均匀的被测试样，从某个时刻开始，热源以恒定热流密度加热被测试样，受热试样的温度随时间上升，温度随时间的变化率是热流密度、被测试样的导热系数和热扩散系数的函数。通过测量被测试样内部某个点的温度时间变化曲线，可以获得被测试样的导热系数或热扩散系数。热线和热带这两种典型的瞬态导热仪的原理见附录 C。

瞬态导热仪一般由传感器及显示仪表两部分组成。

瞬态导热仪通常具有比较宽的导热系数测量范围，可以用来测量绝热材料、有机玻

璃以及金属等各类固体或液体材料的导热系数。为了保证校准的准确性，校准瞬态导热仪的参考板的导热系数应该与被校瞬态导热仪的某个测量范围匹配。因此，通常需要采用几个不同量级的导热系数参考板校准瞬态导热仪。

## 5 计量特性

瞬态导热仪测量材料的导热系数。测量的导热系数范围为 $(0.020\sim 0.20)\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ，温度范围为 $(20\sim 60)\text{℃}$ ，导热系数测量不确定度为 $5\%\sim 10\%$ 。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

温度： $(23\pm 5)\text{℃}$ ，相对湿度： $\leq 80\%$ 。

环境条件应同时满足标准器及被校仪器使用的相关要求。

工作电源应满足被校瞬态导热仪的相关要求。

设备周围应无强烈振动，应避免阳光直射和其他冷、热源影响。

### 6.2 导热系数参考板技术指标

作为瞬态导热仪校准的导热系数参考板应各向同性和均匀，具有稳定的热物理性质（导热系数值稳定），抗拒湿度对导热系数的影响（不吸湿），参考板应具有一定温度范围的导热系数参考值对温度的函数拟合关系式。表1给出了参考板的技术要求。

表1 参考板技术要求

项目	技术要求	
参考板材料	挤塑板	有机玻璃
参考板厚度	20 mm~40 mm	$\geq 20$ mm
截面尺度	300 mm×300 mm	300 mm×300 mm
导热系数	$(0.02\sim 0.04)\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 某个值	$(0.10\sim 0.20)\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 某个值
温度范围	20 ℃~60 ℃	
参考板导热系数赋值的相对不确定度	1.2%~5%， $k=2$ ，取决于参考板自身的性质和定值的瞬态导热仪的技术性能	
参考板导热系数年稳定性	1.0%~2.0%	

注：也可以使用其他满足被校瞬态导热仪测量试样尺寸要求并具有溯源的参考板。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

瞬态导热仪的导热系数示值误差。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 校准前的准备

准备一块或两块参考板。如果采用挤塑板作参考板，在校准前参考板应在温度为 $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\leq 60\%$ 的环境里放置 24 h 以上。

### 7.2.2 导热系数示值测量

根据客户的要求，确定瞬态导热仪被校准的温度点。按照瞬态导热仪的操作程序，安装瞬态导热仪传感器和参考板，正常运行瞬态导热仪，测量完成后，记录瞬态导热仪测量的温度 $t_1$ 和对应的导热系数示值 $\lambda_1$ 。然后取出传感器，待传感器和参考板恢复到初始状态时，重复上述测量步骤，连续测量不少于 3 次，记录测量得到的温度 $t_i$ 和导热系数示值 $\lambda_i$ 。

### 7.3 数据处理

将温度 $t_i$ 代入参考板导热系数与温度函数拟合关系式计算得到对应测量温度的参考板导热系数的标准值 $(\lambda_s)_i$ ， $i=1, \dots, N$  ( $N$ 为校准测量的次数)。

取测量温度的平均值为 $t = \sum t_i / N$ ；导热系数示值的平均值为 $\lambda = \sum \lambda_i / N$ ，以及参考板导热系数标准值的平均值为 $\lambda_s = \sum (\lambda_s)_i / N$ ，计算得到的 $t$ 、 $\lambda$ 和 $\lambda_s$ 作为温度、被校瞬态导热仪导热系数示值以及导热系数标准值的校准结果。

## 8 校准结果的表达

### 8.1 校准数据

校准证书应给出温度、被校瞬态导热仪的导热系数示值及导热系数标准值。有数个校准温度点的情况，可列表给出结果。

温度值保留至小数点后一位，被校瞬态导热仪的导热系数示值及导热系数标准值保留三位有效数字。校准结果的扩展不确定度以相对值表示，保留两位有效数字。

### 8.2 校准信息

校准证书或报告上除校准结果以外，应至少包含以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 实验室名称和地点；
- c) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范偏离的说明；
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准人和核验人签名；

- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

## 9 复校时间间隔

复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议复校时间间隔为1年。

## 附录 A

## 校准证书（背面）格式

校准证书（背面）格式建议修改顺序

温度 ℃	导热系数标准值 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$	瞬态导热仪测量导热 系数示值 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$	导热系数示值误差 <sup>①</sup> %	示值误差的扩展 不确定度 ( $k=2$ ) %

<sup>①</sup> 见附录 B.1。

以下空白

## 附录 B

## 不确定度评定示例

## B.1 导热系数示值误差的测量模型

$$\Delta\lambda = (\lambda - \lambda_s) / \lambda_s$$

上式指明，瞬态导热仪修正示值误差的测量不确定度来源有：参考板导热系数标准值的不确定度  $u_1$ 、参考板导热系数的（年）稳定性  $u_2$ ，被校瞬态导热仪的示值测量重复性  $u_3$ 、被校准瞬态导热仪测量参考板导热系数示值的标准偏差（瞬态导热仪测量示值的重复性）。

## B.2 不确定度分量

B.2.1 参考板导热系数标准值的不确定度  $u_1$ 

以挤塑材料的参考板为例，其具有各向同性和各向均匀的性质，平均温度 25 °C 时，参考板导热系数标准值为  $\lambda_s = 0.032\ 10\ \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ ，其相对不确定度为 1.5% ( $k=2$ )，对应的标准不确定度为：

$$u_1 = 0.032\ 10\ \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1} \times 0.75\% = 0.000\ 24\ \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$$

B.2.2 参考板导热系数的年稳定性  $u_2$ 

参考板导热系数的年稳定性好于 1.0%，假设年稳定性符合均匀分布，即由参考板导热系数的年稳定性引入的标准不确定度为：

$$u_2 = 0.032\ 10\ \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1} \times 0.58\% = 0.000\ 19\ \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$$

B.2.3 被校瞬态导热仪测量参考板示值的重复性  $u_3$ 

被校瞬态导热仪分别对参考板进行了 3 次导热系数测量，示值记为  $\lambda_i$ ，一般情况下，实际测量的平均温度与设定平均温度有微小差异，该差异引起的导热系数的差异可忽略。结果见表 B.1。

表 B.1 导热系数测量示值

实验	温度 $t_1$ °C	$\lambda_i$ $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
1	25.9	0.032 8
2	25.9	0.031 8
3	25.8	0.032 6
标准偏差 $u_3/\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$		0.000 53

B.3 合成标准不确定度  $u_c$ 

被校瞬态导热仪测量导热系数的示值误差的合成标准不确定度  $u_c$  为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.000\ 61\ \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$$

B.4 相对扩展不确定度  $U_r$ 

$$U_r = 2u_c / \lambda_s = 3.8\%,\ k=2$$

## 附录 C

## 瞬态导热仪的测量原理

## C.1 瞬态导热仪的测量原理

瞬态导热仪的工作原理都可追溯至热线法测量材料导热系数，即对于各向同性和均匀的被测试样，从某个时刻开始，热源以恒定热流密度加热被测试样，受热试样的温度随时间上升，温度随时间的变化率是热流密度、被测试样的导热系数和热扩散系数的函数。通过测量被测试样内部某个点的温度时间变化曲线，可以获得被测试样的导热系数或热扩散系数。

采用直接温度探测的热线法测量导热系数的数学模型如式 (C.1) 所示：

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{q}{4\pi\lambda} \ln\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right) \quad (\text{C.1})$$

式中：

$\tau_1, \tau_2$ ——热线加热时间，s（通常  $\tau_1 - \tau_2 \geq 30$  s）；

$T_1$ ——热线加热  $\tau_1$  时的温度，K；

$T_2$ ——热线加热  $\tau_2$  时的温度，K；

$\Delta T$ ——热线加热  $\tau_1$  时与  $\tau_2$  时的温差，K；

$q$ ——热线单位长度上的热流密度，W/m；

$\lambda$ ——被测试样的导热系数， $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 。

除了上述方法外，还可以通过热线或热带自身的阻值随温升变化的关系来进行有效加热的同时获得热丝或热带上的温度，发展为恒定电流、恒定电压或恒定功率的加热模式。在恒定功率模式下加热的热带通过测量两端电压来获得导热系数的数学模型如式 (C.2) 所示：

$$\Delta U(\tau) = U(\tau) - U_0 = \frac{\alpha_T U_0 P_0}{4\pi L \lambda} \left[ \ln \tau + \ln\left(\frac{4a e^{3-\gamma}}{D^2}\right) \right] \quad (\text{C.2})$$

式中：

$\alpha_T$ ——热带的电阻温度系数，1/K；

$P_0$ ——加载在热带上的恒定电功率，W；

$U_0$ ——加热开始时热带两端的电势差，V；

$U(\tau)$ ——热带两端的电势差随时间的变化情况，V；

$L$ ——热带长度，m；

$\gamma$ ——欧拉常数，0.577 215 665；

$D$ ——热带宽度，m；

$a$ ——被测试样的热扩散系数， $\text{m}^2/\text{s}$ 。

根据式 (C.2)，对热带两端电势差  $\Delta U(\tau)$  与  $\ln \tau$  进行数据拟合，通过斜率计算获

得导热系数。在上述的瞬态导热仪的基本工作方程式 (C.1) 和式 (C.2) 的基础上, 发展出双线、双热带、单热桥和双热桥等热源结构, 并获得了较为广泛的应用。

注: 瞬态导热仪中平面热源类型的热源结构相对特殊, 详细的热源结构和测量原理见 GB/T 32064—2015 相关部分。

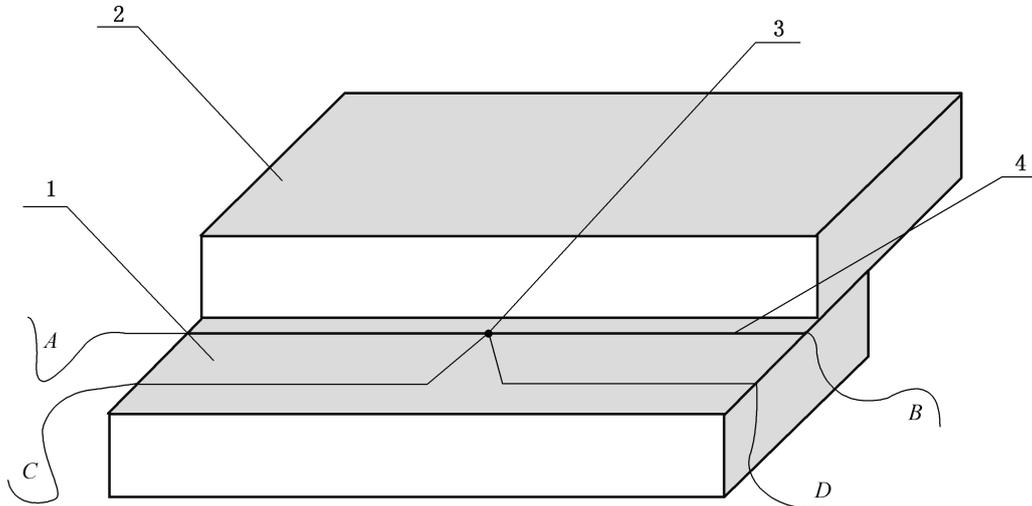


图 C.1 直接测温热线法测量试样示意图

1—绝热衬底或被测试样 1; 2—被测试样 2; 3—热电偶测温端点; 4—热线; A、B—热线连接电源两端;  
C、D—热电偶测量读数端

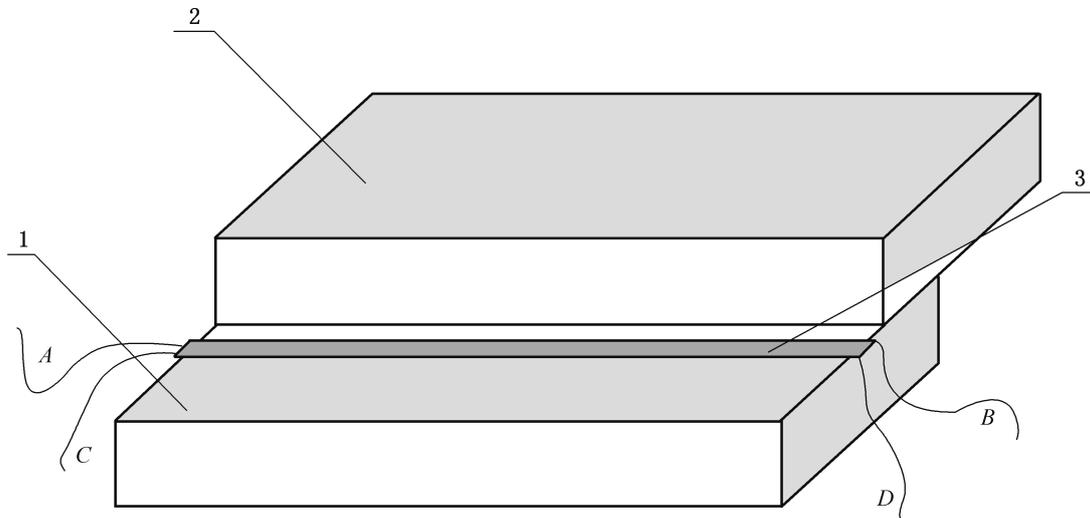


图 C.2 测电势差热带法测量试样示意图

1—绝热衬底或被测试样 1; 2—被测试样 2; 3—热带; A、B—两端连接电源; C、D—两端连接电压表

## C.2 单、双热源面

瞬态导热仪热源通常存在两种加热方式, 一种是单热源面加热, 即热源被安置在某个绝热衬垫上, 近似绝热边界, 向单面传热, 如图 C.1 和图 C.2 中所示 1 为绝热衬底, 2 为被测试样, 如此可以对单块试样进行导热系数的测量。另一种是双热源面加热, 即图 C.1 和图 C.2 中, 试样 1 和试样 2 是相同材质的被测试样, 热源向两块试样同时产生热传导, 双热源面加热方式下需要两块相同材质的试样才能进行有效测量。

为了使用方便, 瞬态导热仪热源通常被安置在某个绝热衬垫上, 衬垫材料导热系数

的稳定性对瞬态导热仪的测量结果有明显的影响。因此，需要采用已知导热系数的参考板，定期地检查校准瞬态导热仪测量值的漂移。应用瞬态导热仪测量参考板的导热系数，并且与该参考板导热系数的标准值进行比较，校准瞬态导热仪。

---