



中华人民共和国工业和信息化部 兵工民品计量技术规范

JJF（兵工民品） 0037—2024

单面法双探针导热系数测量仪 校准规范

Calibration Specification for thermal conductivity test devices by double
probe and single side method

（报批稿）

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

单面法双探针导热系数 测量仪校准规范

Calibration Specification for thermal
conductivity test devices by double probe
and single side method

JJF（兵工民品） 0037—2024

归口单位：中国兵器工业标准化研究所

主要起草单位：中国兵器工业第二〇四研究所

本规范技术条文起草单位负责解释

本规范主要起草人：

王晓红（中国兵器工业第二〇四研究所）

何少蓉（中国兵器工业第二〇四研究所）

周 岚（中国兵器工业第二〇四研究所）

参加起草人：

岳 璞（国防科技工业火炸药一级计量站）

郭俊科（国防科技工业火炸药一级计量站）

譙 娟（西安近代化学研究所）

高 敏（西安近代化学研究所）

目 录

引言.....（Ⅱ）

1 范围.....（1）

2 引用文件.....（1）

3 概述.....（1）

4 计量特性.....（2）

4.1 导热系数示值误差.....（2）

4.2 导热系数重复性误差.....（2）

5 校准条件.....（2）

5.1 环境条件.....（2）

5.2 测量标准及其他设备.....（2）

6 校准项目和校准方法.....（3）

6.1 校准项目.....（3）

6.2 校准方法.....（3）

7 校准结果表达.....（4）

8 复校时间间隔.....（5）

附录 A 原始记录格式.....（6）

附录 B 校准证书内页格式.....（7）

附录 C 测量不确定度评定示例.....（8）

引 言

本规范依据 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》编写。

本规范为首次发布。

单面法双探针导热系数测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于基于单面法双探针测量原理的、测量范围为（0.1~2.0）W/（m·K）的导热系数测量仪（以下简称测量仪）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

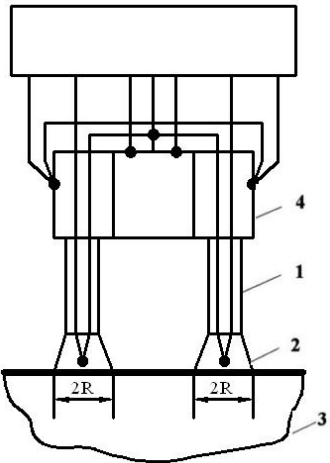
JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

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 概述

3.1 原理

采用热流法原理，温度传感器测试采用波尔贴效应原理，即热电堆由两种不同的金属构成闭合回路，当回路中存在直流电流时，两个探头之间将产生恒定温差。探头两端接触不同的待测材料时，触头两端会产生不同的温度差 ΔT_k 。对于一个固定的待测材料和温度场，待测材料的导热系数仅与探头两端接触待测材料的温度差 ΔT_k 有关，通过测试探头两端的温差，可获得待测试样的导热系数。原理图如下图1所示。



1—热探头；2—等温触头；3—被试验的试样（标准样件）；4—等温板

图1 单面双探针法导热系数测量仪的原理示意图

由一维半球面热传导模型，可推导出待测材料的导热系数与探头参数、探头温差的关系式，如公式（1）所示。

$$\frac{\Delta T_K}{\Delta T_H} = \frac{A_1}{A_2 + \lambda} + A_3 \tag{1}$$

式中：

ΔT_K ——两个探头两端接触待测材料的温度差，K；

ΔT_H ——热电堆通入一定电流后两端的温度差，K；

A_1 ， A_2 ， A_3 ——取决于探头的几何和热物理参数，对于具体物理特性的模型，在受限的温度区间内是常数；

λ ——材料的导热系数，W/（m·K）。

3.2 结构

测量仪主要由温度探测系统、程序控制高低温箱、数据采集和处理系统构成。

4 计量特性

4.1 导热系数示值误差

最大允许误差不大于±6%。

4.2 导热系数重复性

重复性不超过 1.5%。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：10℃～35℃。

5.1.2 相对湿度：≤75%。

5.2 测量标准及其他设备

导热系数标准物质分为有机玻璃、TF-3 玻璃、石英玻璃、硼硅玻璃四种，定值应符合表 1 的要求。标准物质使用的温度范围和特性量值范围能覆盖所校准的导热系数测量仪的工作范围。

表 1 导热系数系列标准物质特性量值表

标准物质名称		有机玻璃		TF-3 玻璃		石英玻璃		硼硅玻璃	
项目类别		导热系数 (W/m·K)	U_{rel} (%)	导热系数 (W/m·K)	U_{rel} (%)	导热系数 (W/m·K)	U_{rel} (%)	导热系数 (W/m·K)	U_{rel} (%)
温度 (K)	223	0.183	3.0	0.559	3.0	0.992	3.0	1.18	3.0
	233	0.188	3.0	0.577	3.0	1.00	3.0	1.22	3.0

表 1（续）

标准物质名称		有机玻璃		TF-3 玻璃		石英玻璃		硼硅玻璃	
项目类别		导热系数 (W/m·K)	U_{rel} (%)	导热系数 (W/m·K)	U_{rel} (%)	导热系数 (W/m·K)	U_{rel} (%)	导热系数 (W/m·K)	U_{rel} (%)
温度 (K)	243	0.190	3.0	0.581	3.0	1.03	3.0	1.23	3.0
	253	0.193	3.0	0.585	3.0	1.03	3.0	1.23	3.0
	263	0.198	3.0	0.595	3.0	1.04	3.0	1.24	3.0
	273	0.199	3.0	0.631	3.0	1.04	3.0	1.25	3.0
	283	0.200	3.0	0.634	3.0	1.07	3.0	1.25	3.0
	293	0.200	3.0	0.651	3.0	1.09	3.0	1.26	3.0
	298	0.201	3.0	0.656	3.0	1.10	3.0	1.28	3.0
	303	0.202	3.0	0.679	3.0	1.10	3.0	1.29	3.0
	313	0.203	3.0	0.692	3.0	1.10	3.0	1.29	3.0
	323	0.204	3.0	0.693	3.0	1.12	3.0	1.33	3.0
	333	0.205	3.0	0.700	3.0	1.12	3.0	1.34	3.0
	343	0.207	3.0	0.714	3.0	1.13	3.0	1.44	3.0

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目包括导热系数示值误差和导热系数重复性。

6.2 校准方法

6.2.1 外观及附件

目视检查，导热仪仪器外观完好，表面无明显划痕和缺陷，各部件完整无缺损，仪器型号、制造厂、编号等标志应齐全清晰。

6.2.2 工作正常性

所用的仪器、设备及装置按键开关、调节旋钮等部件工作正常，开、关机工作正常，显示功能、软件运行正常。

6.2.3 导热系数示值误差

6.2.3.1 打开测量仪，通电预热至少 30 min。根据测量仪的导热系数测量范围，至少选择表 1 中三个标准物质进行校准，使所选导热系数值均匀分布在待测量仪的测量范围；也可根据客户常用的导热系数测量范围至少选择三个标准物质进行校准。根据选定的导热系数值对应的温度，从高温往低温顺序，设定被校测量仪的工作温度，达到设定温度后需稳定至少 30 min。调整温度探测器高度，确保温度探测器与标准物质接触，开始测量，并将测量数据记录下来。完成一次测量后，再次调节温度探测器高度，将标准物质按顺时针任意旋转一个角度，确保温度探测器与标准物质接触，进行测量；重复此步

骤, 测量 6 次, 取平均值, 记录, 作为一个温度条件下一个导热系数值的基准值。将每个温度条件下测定的不同标准物质导热系数数值记录, 作为测量的校准基数。

6.2.3.2 按公式 (2) 和 (3) 导热系数示值误差计算。

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

λ ——导热系数测量平均值, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

λ_i ——导热系数第 i 次测量值, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

δ ——导热系数示值误差, %;

λ_0 ——导热系数标准物质标准值, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

6.2.3.3 取三个导热系数值中示值误差最大的, 作为导热系数示值误差。

6.2.4 导热系数重复性

6.2.4.1 按 6.2.3.1 测量, 一个温度条件下独立测量 6 次。

6.2.4.2 按公式 (4) 计算导热系数的实验标准偏差 $s(\lambda_s)$, 导热系数重复性按公式 (4) 计算。

$$s(\lambda_s) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \lambda)^2}{n-1}} \quad (4)$$

$$R = \frac{s(\lambda_s)}{\lambda} \quad (5)$$

式中:

$s(\lambda_s)$ ——导热系数的实验标准偏差, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

R ——导热系数重复性, %。

6.2.4.3 取三个导热系数值中重复性最大的, 作为导热系数重复性。

7 校准结果表达

校准结束后应出具校准证书。推荐原始记录格式见附录 A, 校准证书内页格式见附录 B。校准证书应准确、客观的报告校准结果。校准结果用校准数据的形式给出, 并根据 JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示给出测量不确定度, 不确定度评定实例见附录 C。校准证书应包括委托方要求的、说明校准结果所必需的和所用方法要求的全部信息, 具体包括:

a) 标题: “校准证书”;

- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- 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) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等因素所决定，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，建议不超过 12 个月。

附录 A

原始记录格式

记录编号：

送校单位：		仪器名称：
型号/规格：	设备编号：	制造单位：
出厂编号：	分度值：	校准所使用的技术依据

校准所使用的主要计量器具：

名称	型号/规格	准确度	仪器编号	证书号	有效期

校准地点、环境条件：

地点：	温度：℃	相对湿度：%
-----	------	--------

设定温度				
导热系数标准物质标准值 λ_0				
导热系数测量值 λ_i	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
导热系数测量平均值 λ				
导热系数示值误差 δ				
重复性 R				
导热系数示值误差 uncertainty				

校准人员：

核验人员：

校准日期： 年 月 日

附录 B

校准证书内页格式

证书编号：共 页 第 页

客户名称		送校日期	
单位地址		校准日期	
联系电话		室内温度	
仪器型号		相对湿度	
仪器编号		生产厂家	

校准使用的标准器					
名称	型号/规格	不确定度/准确度	证书编号	溯源机构	有效期至

- 1、导热系数示值误差 δ ：
- 2、导热系数重复性 R ：
- 3、导热系数示值误差测量不确定度：

校准员：

核验员：

校准日期： 年 月 日

附录 C

导热系数示值误差测量不确定度评定示例

C.1 测量模型

导热系数测量仪的示值误差计算公式见（C.1）。

$$\delta = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \times 100\% \quad (\text{C.1})$$

式中：

δ ——导热系数示值误差，%

λ ——导热系数测量平均值，W/(m·K)；

λ_0 ——导热系数标准物质标准值，W/(m·K)。

C.2 方差与灵敏系数

式（C.1）中 λ_0 、 λ 相互独立，因而得

$$c_1 = \frac{\partial \delta}{\partial \lambda} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \delta}{\partial \lambda_0} = -1$$

$$u_c^2 = u^2(\lambda) + u^2(\lambda_0)$$

C.3 不确定度来源及分析

C.3.1 由输入量 λ 引入的标准不确定度

由输入量 λ 引入的标准不确定度主要源于稳流电流的准确性、热电堆两端温差准确测量、探测器温度测量、探测探头的面积、恒温箱的温度漂移和导热系数测量仪测量的重复性，具体如下：

C.3.1.1 稳流电流引入的标准不确定度分量 u_1

稳流电流的测不准量最大为1mA，在电流范围（0.01~2.000）A内，测量相对误差

$$\Delta = \frac{1}{2000} = 0.05\%$$

按均匀分布考虑，取 $k = \sqrt{3}$ ，则稳流电流引入的标准不确定度分量为：

$$u_1 = \frac{0.05\%}{\sqrt{3}} = 0.03\%$$

C.3.1.2 热电堆两端温差测量引入的标准不确定度分量 u_2

热电堆两端的温差测量精度为0.1K，两端最大温差为128K，测量相对误差

$$\Delta = \frac{0.1}{128} = 0.08\%$$

按均匀分布考虑, 取 $k = \sqrt{3}$, 则热电堆两端温差测量引入的标准不确定度分量为:

$$u_2 = \frac{0.08\%}{\sqrt{3}} = 0.04\%$$

C. 3. 1. 3 温度探测器测量试样两端温差引入的标准不确定度分量 u_3

温度探测器的测量温度精度为0.1K, 探测器两端最大温差约为20K, 测量相对误差

$$\Delta = \frac{0.1}{20} = 0.5\%$$

按均匀分布考虑, 取 $k = \sqrt{3}$, 则温度探测器测量试样两端温差引入的标准不确定度分量为:

$$u_3 = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.29\%$$

C. 3. 1. 4 探头面积引入的标准不确定分量 u_4

探头面积的加工精度为 0.1mm, 探头面积拟加工为 3mm^2 , 探头面积引起的不确定分量 u_4 可由测量误差估算为

$$\Delta = \frac{\pi \times 0.1^2}{3 \times 4} = 0.26\%$$

按均匀分布考虑, 取 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_4 = \frac{0.26\%}{\sqrt{3}} = 0.15\%$$

C. 3. 1. 5 恒温箱温度测量引入的标准不确定度分量 u_5

在工作温度范围 (223~343) K内, 恒温箱测量温度的精度为0.1K, 但是由于低温和高温的温度漂移, 温度漂移可达到 $\pm 0.5\text{K}$, 测量相对误差为:

$$\Delta = \frac{0.5}{120} = 0.42\%$$

按均匀分布考虑, 取 $k = \sqrt{3}$, 则恒温箱温度测量引入的标准不确定度分量为:

$$u_5 = \frac{0.42\%}{\sqrt{3}} = 0.24\%$$

C. 3. 1. 6 测量重复性引入的 A 类标准不确定度 u_6

在相同测量条件下 (298K) 用同一双探针单面导热系数测量装置测量有机玻璃标准物质, 重复测量6次, 6次读数分别为0.2032 W/(m·K)、0.2035W/(m·K)、0.2043 W/(m·K)、0.2039W/(m·K)、0.2038 W/(m·K)、0.2027 W/(m·K)。用贝塞尔公式得到其标准偏差 $s = 6.0 \times 10^{-3}$, 重复性引入的标准不确定度 u_6 ,

$$u_6 = \frac{s(\lambda_s)}{\lambda} = 0.29\%$$

由于以上各分量间不相关, 则输入量 λ 引入的标准不确定度:

$$u(\lambda) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} = 0.50\%$$

C.3.2 由输入量 λ_0 引入的标准不确定度

由输入量 λ_0 引入的标准不确定度主要来源于导热系数标准物质证书上的数值。根据导热系数标准物质证书可以得到, 输入量 λ_0 引入的标准不确定度为:

$$u_{(\lambda_0)} = \frac{3\%}{2} = 1.5\%$$

C.4 合成标准不确定

由于各分量互不相关, 则合成标准不确定为:

$$u_c = \sqrt{u^2(\lambda) + u^2(\lambda_0)} = 1.6\%$$

C.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = ku_c = 3.2\%$$

中华人民共和国工业和信息化部
兵工民品计量技术规范
单面法双探针导热系数测量仪校准规范
JJF(兵工民品)0037—2024
版权所有 不得翻印