



江苏省地方计量技术规范

JJF（苏）98—2024

导热系数测试仪校准规范

Calibration Specification for Thermal Conductivity Testers

2024-03-26发布

2024-05-01 实施

江苏省市场监督管理局 发布

导热系数测试仪校准规范

Calibration Specification for Thermal
Conductivity Testers

JJF (苏) 98-2024
代替 JJF (苏) 98-2010

本规范经江苏省市场监督管理局于 2024 年 03 月 26 日批准, 并自 2024 年 05 月 01 日起施行。

归 口 单 位: 江苏省市场监督管理局

主要起草单位: 苏州市计量测试院

本规范委托江苏省热工计量专业技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

韦 维（苏州市计量测试院）

胡涵星（苏州市计量测试院）

周 霞（张家港市检验检测中心）

目 录

1 范围..... (1)

2 引用文件..... (1)

3 名词术语..... (1)

3.1 平均导热系数..... (1)

3.2 冷面温度..... (1)

3.3 热面温度..... (1)

3.4 试件平均温度..... (1)

4 概述..... (1)

5 计量特性..... (3)

5.1 相对示值误差..... (3)

5.2 温度均匀度..... (3)

5.3 重复性..... (3)

5.4 工作面平面度..... (3)

6 校准条件..... (3)

6.1 环境条件..... (3)

6.2 校准用标准设备..... (3)

7 校准项目和校准方法..... (4)

7.1 校准、检查项目..... (4)

7.2 校准方法..... (4)

8 校准结果表达..... (7)

9 复校时间间隔..... (7)

附录 A 导热系数仪原始记录参考格式..... (8)

附录 B 导热系数仪测量结果不确定度分析..... (9)

引 言

JJF1001《通用计量术语及定义》、JJF1071《国家计量校准规范编写规则》和JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

本规范依据JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》起草，其中测量不确定度的评定按照JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》进行。本规范依据第一版为基础进行了部分内容的修改，代替JJF(苏)98-2010《导热系数测试仪校准规范》，用于导热系数测试仪的校准工作。

本规范所指的导热系数测试仪，是基于防护热板法原理，正文范围里已有说明。

本规范主要技术变化如下：

- 增加了引言
- 修改了引用文件
- 修改“计量面温度”为“热面温度”
- 增加了名词术语的英文表述和来源
- 修改了精密温度计的要求表述
- 修改了导热系数标准板的要求表述
- 修改了绝缘电阻表、刀口尺、塞尺的要求表述
- 修改了压紧装置的要求表述
- 增加了干燥箱作为辅助标准器
- 增加了导热系数标准板预处理方法
- 删除了通用电源要求
- 删除了“线性误差”条款
- 修改了部分不规范术语表述

导热系数测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于基于防护热板法原理的测量范围为 $(0.01\sim 1)\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 的导热系数测试仪（以下简称导热系数仪）计量性能的校准。

2 引用文件

GB/T 10294-2008 《绝热材料稳态热阻及相关特性的测定 防护热板法》

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

3 名词术语

3.1 平均导热系数（Average thermal conductivity）

由均质各向同性的具有稳定传热性质的材料在工作温度下确定的导热系数平均值。

[来源：GB/T 10294-2008，1.3.4]

3.2 冷面温度（Cold surface temperature）

导热系数仪的冷却单元中与试件相接触面的表面温度。

[来源：GB/T 10294-2008，1.4]

3.3 热面温度（Metering surface temperature）

导热系数仪的加热单元中与试件相接触面的表面温度。

[来源：GB/T 10294-2008，1.4]

3.4 试件平均温度（Average temperature of specimen）

测量时，试件的冷面温度和热面温度的算术平均温度值。

[来源：GB/T 10294-2008，1.4]

4 概述

导热系数表征材料的导热能力。导热系数仪用于测量材料的导热系数，是一种广泛用于物理学、化学、材料科学、能源科学技术领域的分析仪器。

本规程涉及导热系数仪的工作原理是基于稳态平板法，在两端为平行平面的试件内建立一维稳态导热过程，测量通过试件的热流密度、两表面温差和厚度而得到试件平均

导热系数，适用于导热系数在低到中等范围内的材料，如保温材料、聚合物、陶瓷以及玻璃等。

导热系数仪的典型结构如图 1 所示，通常由加热单元、冷却单元、防护部分、功率测量部分和电源控制部分组成，用于对样品材料的导热性能进行测量。根据其基本结构可以分为双试件式导热系数测试仪和单试件式导热系数测试仪。

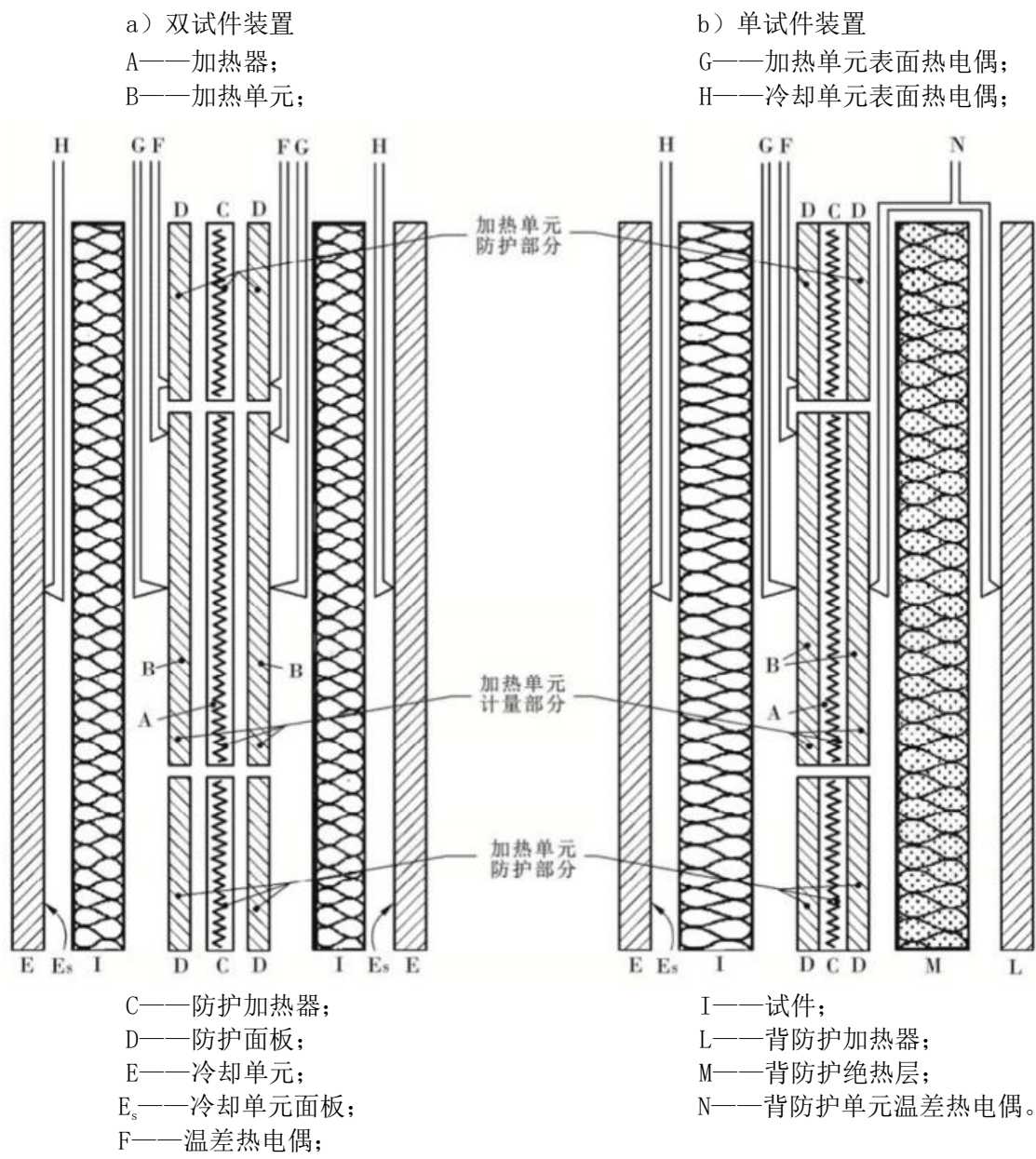


图 1 导热系数测试仪典型结构图

5 计量特性

5.1 相对示值误差

导热系数仪的相对示值误差应不超过 $\pm 5\%$ 。

5.2 温度均匀度

导热系数仪的温度均匀度应不超过 0.8°C 。

5.3 重复性

导热系数仪的重复性应不超过 1%。

5.4 工作面平面度

导热系数仪的工作面平面度应不超过 0.025mm 。

以上校准项目的计量性能一般技术要求见表 1。

表 1 导热系数仪计量性能一般技术要求

项目	技术要求
相对示值误差	$\leq \pm 5\%$
温度均匀度	$\leq 0.8^{\circ}\text{C}$
重复性	$\leq 1\%$
工作面平面度	$\leq 0.025\text{mm}$

注：此技术要求不作为符合性判定最终依据，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度与相对湿度应符合以下条件：

环境温度： $(10\sim 30)^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度： $\leq 60\%$

6.2 校准用标准设备

6.2.1 导热系数测量标准

导热系数标准板 2 块，使用温度范围能覆盖所校准的导热系数仪工作温度范围，有证明其溯源性的标准样品证书，其测量不确定度应优于被校导热系数仪最大允许误差的三分之一。

6.2.2 温度测量标准

采用精密温度计或精密温度测量系统，测量范围 $(0\sim 100)^{\circ}\text{C}$ ，传感器可选用电阻类温度计或表面热电偶，其测量不确定度应优于被校导热系数仪最大允许误差的三分之一。

6.2.3 绝缘电阻表

额定电压为 500V ，10 级。

6.2.4 游标卡尺

测量范围 (0~300) mm, 最大允许误差不超过 $\pm 0.04\text{mm}$ 。

6.2.5 刀口尺和塞尺

刀口尺: 工作棱边长 300mm, 最大允许误差不超过 $\pm 3\mu\text{m}$;

塞尺: 厚度 (0.02~0.05) mm, 最大允许误差不超过 $\pm 5\mu\text{m}$ 。

6.2.6 干燥箱

测量范围 (室温~150) °C, 偏差不超过 $\pm 2^\circ\text{C}$, 波动度不超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}$, 均匀度不超过 2°C 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准、检查项目

a) 检查项目: 外观、压紧装置、绝缘电阻;

b) 校准项目: 相对示值误差、温度均匀度、重复性、工作面平面度

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

目测检查, 导热系数仪应符合以下要求:

a) 产品名称及型号、制造厂名称、制造日期、电源电压、出厂编号、最大试样尺寸等标识和符号齐全;

b) 开关、按钮、旋钮应灵活可靠。

7.2.2 压紧装置检查

手动检查, 导热系数仪的压紧装置应符合: 功能正常, 压强保持恒定、均匀, 一般不超过 2.5kPa (可观测设备显示部分进行确认)。

7.2.3 绝缘电阻检查

用满足要求的绝缘电阻表, 测量导热系数仪电源输入端对机箱外壳之间的绝缘电阻值, 结果应不小于 $20\text{M}\Omega$ 。

7.2.4 工作面平面度的校准

将刀口尺放置在导热系数仪各加热单元面板和冷却单元面板上, 用塞尺往刀口尺和工作面之间试塞, 则塞尺刚刚塞入时的尺寸即为该工作面的平面度, 取其最大值作为被检导热系数仪的工作面平面度。

7.2.5 示值误差的校准

7.2.5.1 标准板预处理

校准前先将导热系数标准板在（100~105）℃的烘箱中恒温若干小时（一般为8小时及以上，根据所用标准板溯源证书要求进行恒温），待烘干取出后放置在干燥处备用，保持质量恒定，有条件的可存放在密封袋或干燥器皿中。

根据试验要求，在标准板压紧后，测量标准板厚度 d ，保持标准板压缩前后厚度变化小于 10%，并输入导热系数仪的人机界面中。

7.2.5.2 相对示值误差的校准

导热系数仪接入稳压电源，开启电源预热。根据导热系数仪的结构，将相应数量的导热系数标准板分别放入导热系数仪的测试腔中。将 10 支精密温度计分别放入标准板和冷却单元面板、加热单元面板之间，温度计的测量端分别放置在冷板和热板的几何中心点和距标准板边缘 30mm 的四个点。如图 2 所示：

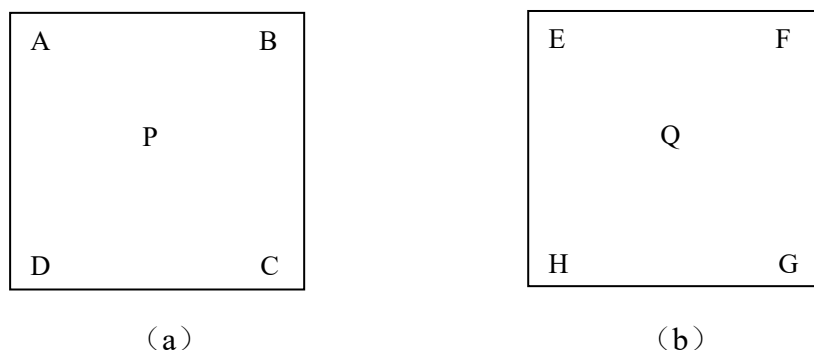


图 2 温度计放置图 （a）为加热单元计量面 （b）为冷却单元面板

启动相关测量软件，设置冷板和热板的温度，使其温差为 20℃，试件平均温度为 298K，输入标准板的厚度 d 等参数，开始进行测量。待被测仪器达到稳定，经过 30 分钟之后，分别读取精密温度计上的示值，10 分钟后再读取一次示值，并计算两次读数的算术平均值： $t_{0A}, t_{0B}, \dots, t_{0H}, t_{0Q}$ 。测量结束后，从人机界面上读取导热系数仪的试件平均导热系数测量值 λ 。

待测量结束后，关闭电源；等仪器恢复到室温，取出导热系数标准板。

导热系数标准板的平均温度按下式计算：

$$T_m = \frac{t_{0Q} + \Delta t_{0Q} + t_{0P} + \Delta t_{0P}}{2} + 273.15 \quad (1)$$

式中， T_m ——导热系数标准板的平均温度，K；

t_{0Q} ——标准板冷面中心点测得温度值, °C;

t_{0P} ——标准板热面中心点测得温度值, °C;

Δt_{0Q} ——放置于标准板冷面中心点温度计修正值, °C;

Δt_{0P} ——放置于标准板热面中心点温度计修正值, °C。

根据导热系数标准板证书上的导热系数计算公式, 可以得到标准导热系数值 λ_0 。如果是双试件导热系数仪, 则标准导热系数值 λ_0 为两块标准板得到的标准导热系数值的平均值。

导热系数仪的相对示值误差用以下公式计算:

$$\delta = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: δ ——导热系数仪的示值误差, %;

λ ——导热系数仪测得的试件平均导热系数示值, W/(m·K);

λ_0 ——参考标准得到的试件平均导热系数值, W/(m·K)。

7.2.6 温度均匀度的校准

根据冷面温度的各温度计读数平均值 t_{0A} , ..., t_{0D} , t_{0P} 和热面温度的各温度计读数平均值 t_{0E} , ..., t_{0H} , t_{0Q} , 用以下公式分别计算冷面和热面温度均匀度。

$$\begin{aligned} t_{uc} &= t_{\max} - t_{\min} \\ t_{uh} &= t_{\max} - t_{\min} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: t_{uc} ——导热系数仪的冷面温度均匀度, °C;

t_{uh} ——导热系数仪的热面温度均匀度, °C;

t_{\max} ——导热系数仪的冷面温度 (或热面温度) 经修正后的最大值, °C;

t_{\min} ——导热系数仪的冷面温度 (或热面温度) 经修正后的最小值, °C;

7.2.7 重复性的校准

将导热系数标准板取出重新装夹, 按照 7.2.5.2 的步骤重复进行一次测量, 记录被检导热系数仪的第二次平均导热系数测量值。重复性按下式计算:

$$\delta_s = \frac{2|\lambda_1 - \lambda_2|}{\lambda_1 + \lambda_2} \times 100\% \quad (4)$$

式中: δ_s ——导热系数仪的重复性, %;

λ_1 ——导热系数仪第一次测得的平均导热系数示值, $W/(m \cdot K)$;

λ_2 ——导热系数仪第二次测得的平均导热系数示值, $W/(m \cdot K)$ 。

8 校准结果表达

校准后, 出具校准证书。校准证书由封面和校准数据组成。封面由校准机构确定统一格式, 校准数据按附录所列数据表格, 并可根据被测仪表的情况进行填写。证书上的信息应满足以下信息要求。

- 1) 标题, 如“校准证书”;
- 2) 实验室名称和地址;
- 3) 证书或报告的唯一性标识 (如编号), 每页及总页数的标识;
- 4) 送校单位的名称和地址;
- 5) 被校对象的描述和明确标识;
- 6) 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;
- 7) 对校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- 8) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- 9) 校准环境的描述;
- 10) 校准结果及其测量不确定度;
- 11) 校准证书或校准报告签发人的签名或等效标识。

9 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定, 建议为 1 年。

附录 A：

导热系数仪原始记录参考格式

记录编号：

送校单位：																					
仪器名称：				型号/规格：																	
出厂编号：				制造单位：																	
设备编号：				分度值：																	
校准所使用的技术依据：																					
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		溯源单位		有效期									
校准地点、环境条件																					
地点：				温度：				℃		相对湿度：				%							
观测结果、数据及计算处理：																					
外观及标志						试样厚度 d		mm													
绝缘电阻		MΩ				设定温差		℃													
位置		冷却面板				加热面板															
温度设定值		℃				℃															
温度测量点		P		A		B		C		D		Q		E		F		G		H	
一 试 件	温度测量	1																			
	值/℃	2																			
	平均值/℃																				
	修正值/℃																				
	实际值/℃																				
	温度均匀度/℃																				
平均温度/K																					
标准导热系数值						W/(m·K)				工作面平面度		mm									
二 试 件	温度测量	1																			
	值/℃	2																			
	平均值/℃																				
	修正值/℃																				
	实际值/℃																				
	温度均匀度/℃																				
平均温度/K																					
标准导热系数值						W/(m·K)				工作面平面度		mm									
标准导热系数平均值						W/(m·K)				被检工作面平面度		mm									
仪器导热系数测量值						W/(m·K)				示值误差		%									
仪器导热系数再次测量值						W/(m·K)				重复性		%									

附录 B:

导热系数仪测量结果不确定度分析

B.1. 测量模型

导热系数仪示值误差的计算公式为:

$$\delta_a = \lambda - \lambda_0 \quad (1)$$

式中: δ_a ——导热系数仪的示值误差, W/(m·K);

λ ——导热系数仪测得的试件平均导热系数示值, W/(m·K);

λ_0 ——参考标准得到的试件平均导热系数值, W/(m·K)。

按照试件平均温度 298K, 温差 20℃ 为例做导热系数测量结果不确定度分析。

B.2. 方差与灵敏度系数

式 (1) 中 λ , λ_0 相互独立, 因而得

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

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

B.3. 不确定度来源及分析

B.3.1 由输入量 λ 引入的标准不确定度 $u(\lambda)$

由输入量 λ 引入的标准不确定度主要来源于导热系数仪测量的重复性和试样的面积及厚度测量。

对导热系数标准板作 3 次独立重复测量, 3 次读数分别为 0.03352 W/(m·K)、0.03336 W/(m·K) 和 0.03371 W/(m·K), 取其中一次读数作为测量结果, 按极差法得到其重复性引入的标准不确定度 $u_1(\lambda)$ 。

$$u_1(\lambda) = \frac{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}}{c_3} = \frac{0.03371 - 0.03336}{1.69} = 2.07 \times 10^{-4} \text{ W/(m·K)}$$

试样的面积测量允差为 $\pm 9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, 按均匀分布考虑其标准不确定度为 $5.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2$,

根据傅立叶传热公式转换为导热系数量纲,则得到导热系数标准板面积测量引入的标准不确定度。

$$u_2(\lambda) = 1.91 \times 10^{-6} \quad \text{W/(m} \cdot \text{K)}$$

试样的厚度测量允差为 $\pm 0.04\text{mm}$,按均匀分布考虑其标准不确定度为 $2.3 \times 10^{-5}\text{m}$,根据傅立叶传热公式转换为导热系数量纲,则得到导热系数标准板厚度测量引入的标准不确定度 $u_3(\lambda)$ 。

$$u_3(\lambda) = 3.05 \times 10^{-5} \quad \text{W/(m} \cdot \text{K)}$$

由于以上各不确定度分量互不相关,所以:

$$u(\lambda) = \sqrt{u_1^2(\lambda) + u_2^2(\lambda) + u_3^2(\lambda)} = 2.10 \times 10^{-4} \quad \text{W/(m} \cdot \text{K)}$$

B.3.2 由输入量 λ_0 引入的标准不确定度 $u(\lambda_0)$

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板证书上导热系数公式和冷面温度及热面温度的测量。计算得到的标准导热系数值 λ_0 为 $0.03315 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 。

根据导热系数标准板证书可以得到导热系数计算公式的不确定度在 298K 时为 $8 \times 10^{-4} \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ($k=2$),则得到由其引入的标准不确定度 $u_1(\lambda_0)$ 。

$$u_1(\lambda_0) = 4 \times 10^{-4} \quad \text{W/(m} \cdot \text{K)}$$

导热系数仪冷面温度和热面温度测量允差为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,按均匀分布考虑其标准不确定度为 0.29°C ,根据证书上导热系数计算公式转换为导热系数量纲,则得到导热系数仪温度测量引入的标准不确定度 $u_2(\lambda_0)$,B类不确定度。

$$u_2(\lambda_0) = 0.34 \times 10^{-4} \quad \text{W/(m} \cdot \text{K)}$$

由于以上各不确定度分量互不相关,所以:

$$u(\lambda_0) = \sqrt{u_1^2(\lambda_0) + u_2^2(\lambda_0)} = 4.02 \times 10^{-4} \quad \text{W/(m} \cdot \text{K)}$$

B.4. 不确定度分量一览表

不确定度分量如表 2 所示

表 2

序号	来源	符号	灵敏系数 c_i	u_i W/(m·K)
1	导热系数测量值输入	$u(\lambda)$	1	2.10×10^{-4}
	导热系数测量重复性	$u_1(\lambda)$		2.07×10^{-4}
	导热系数标准板面积测量	$u_2(\lambda)$		1.91×10^{-4}
	导热系数标准板厚度测量	$u_3(\lambda)$		3.05×10^{-4}
2	标准导热系数值测量输入	$u(\lambda_0)$	-1	4.02×10^{-4}
	标准导热系数计算公式	$u_1(\lambda_0)$		4.00×10^{-4}
	导热系数仪温度测量	$u_2(\lambda_0)$		0.34×10^{-4}

B.5. 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u^2(\lambda) + u^2(\lambda_0)} = 4.5 \times 10^{-4} \quad \text{W/(m·K)}$$

B.6. 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则

$$U = ku_c = 9 \times 10^{-4} \quad \text{W/(m·K)}$$

B.7. 相对不确定度

$$U_{\text{rel}} = \frac{U}{\lambda_0} \times 100\% = 2.7\%, \quad k=2$$

江苏省地方计量技术规范
导热系数测试仪校准规范

JJF(苏) 98—2024

江苏省市场监督管理局发布

*

江苏省计量协会印刷

版权所有不得翻印

*

开本 880 mm×1230 mm 16 开本

2024 年 04 月 印刷