



陕西省地方计量技术规范

JJF(陕) XXX—2019

砖用卡尺校准规范

Calibration Specification for Brick Calipers

(报批稿)

2019—××—××发布

2019—××—××实施

陕西省市场监督管理局发布

砖用卡尺校准规范

Calibration Specification

for Brick Calipers

JJF (陕) XXX-2019

归口单位：陕西省市场监督管理局

主要起草单位：陕西力源仪器设备检测有限公司

本规范由陕西省市场监督管理局负责解释

本规范主要起草人：

张豪（陕西力源仪器设备检测有限公司）

郑飞（陕西力源仪器设备检测有限公司）

参加起草人：

马峰（陕西力源仪器设备检测有限公司）

目录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(1)
4.1 标尺标记宽度和宽度差.....	(1)
4.2 测量面的表面粗糙度.....	(1)
4.3 测量面的平面度.....	(2)
4.4 零值误差.....	(2)
4.5 示值误差.....	(2)
5 校准条件.....	(2)
5.1 环境条件.....	(2)
5.2 校准项目和校准用标准器.....	(2)
6 校准方法.....	(3)
6.1 标尺标记的宽度和宽度差.....	(3)
6.2 测量面的表面粗糙度.....	(3)
6.3 测量面的平面度.....	(3)
6.4 零值误差.....	(3)
6.5 示值误差.....	(4)
7 校准结果表达.....	(6)
8 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 校准证书内容及内页格式.....	(7)
附录 B 砖用卡尺弯曲度尺示值误差校准结果的不确定度评定示例.....	(9)
附录 C 砖用卡尺主尺示值误差校准结果的不确定度评定示例.....	(12)

引言

本规范的制定以 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》为规范制定的基础性系列法规。在技术参数上参考了 JJG 30-2012《通用卡尺》和 GB/T 2542-2012《砌墙砖试验方法》的相关条款。
本规范为首次发布。

砖用卡尺校准规范

1 范围

本规范适用于弯曲度尺分度值为 0.1mm、主尺分度值为 0.5mm，测量上限至 500mm 砖用卡尺的校准。

2 引用文件

JJG 30-2012 通用卡尺

GB/T 2542-2012 砌墙砖试验方法

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

砖用卡尺主要用于对烧结普通砖、烧结多孔砖、空心砖和空心砌块砖、烧结粘土砖、免烧砖、粉煤灰砖、炉渣砖和碳化砖等砌墙砖的外形尺寸和弯曲度的测量。其主要结构型式见图 1。

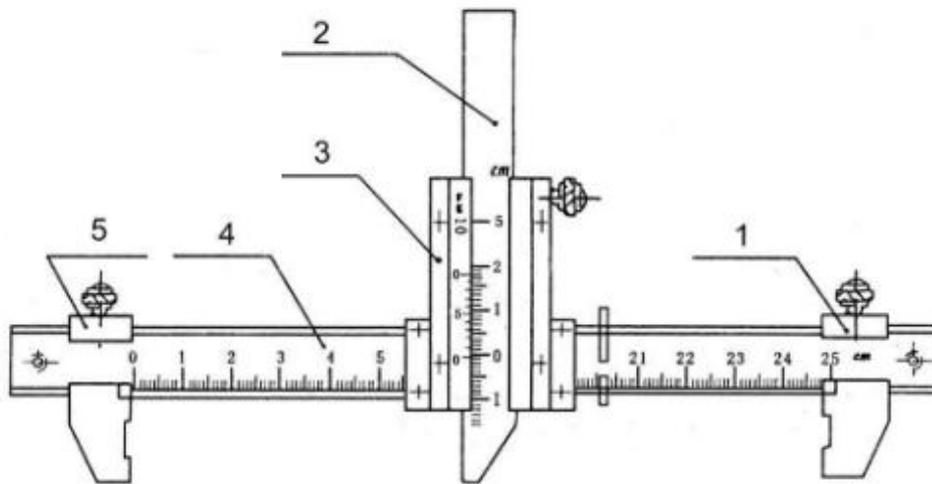


图 1 砖用卡尺示意图

1—右支撑架；2—弯曲度尺；3—游标尺；4—主尺；5—左支撑架

4 计量特性

4.1 标尺标记的宽度和宽度差

砖用卡尺主尺、弯曲度尺和游标尺的标记宽度为 (0.08~0.18) mm，标尺标记宽度差不超过 0.05mm。

4.2 测量面的表面粗糙度

砖用卡尺测量面的表面粗糙度 R_a 值应不超过 $0.8\mu\text{m}$ 。

4.3 测量面的平面度

砖用卡尺弯曲度尺测量面和左、右支撑架侧面测量面以及底部测量面的平面度应不超过 0.005mm 。

4.4 零值误差

砖用卡尺弯曲度尺和主尺的零值误差应符合表 1 的规定。

表 1 零值误差 mm

类别	分度值	“零”标记重合度	“尾”标记重合度
主尺	0.5	± 0.05	/
弯曲度尺	0.1	± 0.01	± 0.03

4.5 示值误差

弯曲度尺示值误差应不超过 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

主尺示值误差应不超过 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

注：以上指标不作为合格与否的判定，计量特性要求仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 砖用卡尺应在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 和相对湿度不超过 80% 的环境条件下进行校准。

5.1.2 校准前，应将被校尺及量块等校准用设备置于平板上平衡温度。测量上限至 250mm 的砖用卡尺平衡温度时间不少于 1 小时，测量上限至 500mm 的砖用卡尺平衡温度时间不少于 1.5 小时。

5.2 校准项目和校准用标准器

校准项目和校准用标准器见表 2。

表 2 校准项目和校准用标准器

序号	校准项目	校准用标准器
1	标尺标记的宽度和宽度差	工具显微镜 MPEV: $3\mu\text{m}$ 或读数显微镜 MPEV: $10\mu\text{m}$
2	测量面的表面粗糙度	表面粗糙度比较样块 MPE: $(+12\% \sim -17\%)$
3	测量面的平面度	刀口形直尺 MPEV: $1\mu\text{m}$
4	零值误差	1 级平板、工具显微镜 MPEV: $3\mu\text{m}$
5	示值误差	3 级或 5 等量块

注：允许使用满足测量不确定度要求的其他测量标准及设备进行校准。

6 校准方法

校准前首先检查外观和各部分相互作用。确定没有影响计量特性因素后再进行校准。

6.1 标尺标记的宽度和宽度差

用读数显微镜或工具显微镜测量。分别在主尺、弯曲度尺和游标尺上各选择3条标记线，测量标记宽度，标记宽度差由被测所有标记中的最大值与最小值之差决定。

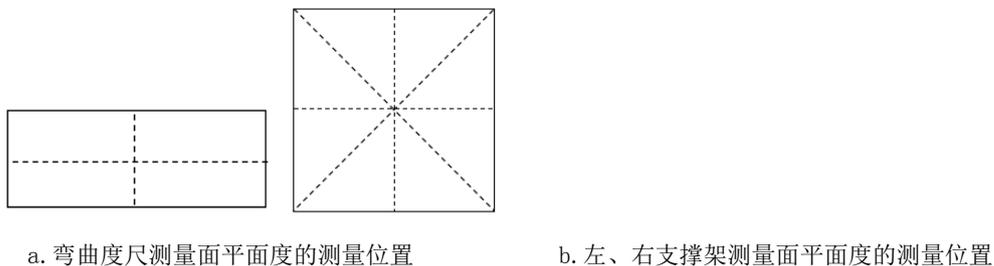
6.2 测量面的表面粗糙度

用表面粗糙度比较样块以比较法测量。进行比较时，所用的表面粗糙度样块和被校测量面的加工方法应相同，表面粗糙度样块的材料、形状、表面色泽等也应尽可能与被测面一致。当被测面的加工痕迹深浅不超过表面粗糙度比较样块工作面的加工痕迹深度时，则被校测量面的表面粗糙度一般不超过表面粗糙度比较样块的标称值。测量应在弯曲度尺测量面、左右支撑架侧边测量面及底边测量面分别进行，取最大值作为校准结果。

6.3 测量面的平面度

测量面的平面度用刀口形直尺以光隙法测量。

弯曲度尺测量面平面度应在长边、短边位置上进行，左、右支撑架测量面平面度应在长边、短边和对角线位置上进行（见图2）。其平面度根据各方位的间隙情况确定。当所有方位上出现的间隙均匀分布在中间或两端时，取其中一方位间隙量最大的作为平面度，当其中有的方位在中间部位有间隙，而有的方位两端部位有间隙，则平面度以中间和两端最大间隙量之和确定。分别测量弯曲度尺测量面、左右支撑架侧边及底边测量面的平面度，取最大值作为校准结果。



注：虚线为测量位置

图2 平面度的测量位置

6.4 零值误差

6.4.1 弯曲度尺零值误差

将弯曲度尺测量面与平板接触，目测观察其重合度，必要时，用工具显微镜

测量。弯曲度尺的零值误差应在游标尺位于主尺左、中、右均匀分布的 3 个位置分别进行，其“零”标记重合度和“尾”标记重合度均不应超过表 1 的要求。

6.4.2 主尺零值误差

将左、支撑架移至最左侧，将紧固螺钉紧固，目测其“零”标记重合度，必要时，用工具显微镜测量。

6.5 示值误差

6.5.1 弯曲度尺示值误差

弯曲度尺的校准点应在 (-15~0) mm 和 (0~30) mm 两个测量范围段进行，弯曲度尺校准点如表 3 所示。测量范围在 (-15~0) mm 时，首先使左、右支撑架底座测量面与弯曲度尺测量面同时与平板接触对零，然后按照校准点依次将量块放置在平板上，使弯曲度尺测量面紧贴量块上测量面，左、右支撑架底座测量面紧贴平板，保持垂直；测量范围在 (0~30) mm 时，首先使左、右支撑架底座测量面与弯曲度尺测量面同时与平板接触对零，然后按照校准点依次将两组相同尺寸的量块放置在平板上，使弯曲度尺测量面紧贴平板，左、右支撑架底座测量面紧贴量块上测量面，保持垂直。

表 3 弯曲度尺校准点 mm

分度值	测量范围	校准点
0.1	-15~0	2.2、7.5、12.8
	0~30	9.2、18.5、29.8

6.5.2 主尺示值误差

主尺测量时，校准点应大致均匀分布在主尺上的三个位置进行，校准点见表 4 所示。量块工作面和左、右支撑架底座测量面应垂直。

表 4 主尺校准点 mm

分度值	测量上限	校准点
0.5	250	80、161.5、240
	500	100、200、291.5、375、490

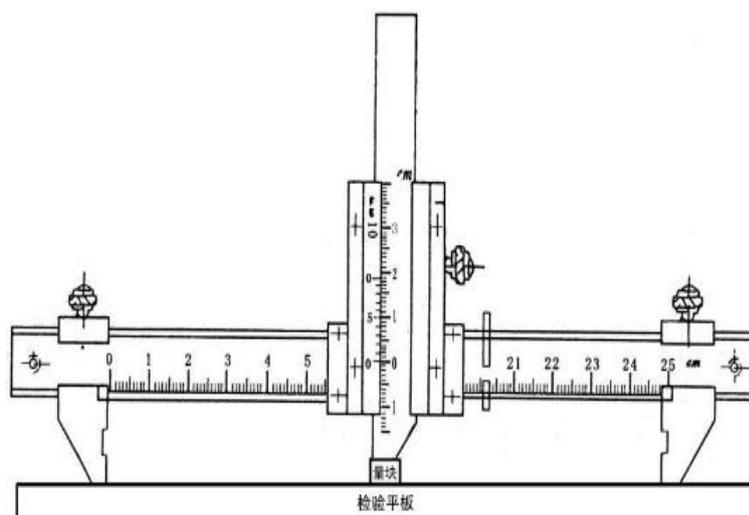


图3 弯曲度尺测量范围 (-15~0) mm 示值误差的位置示意图

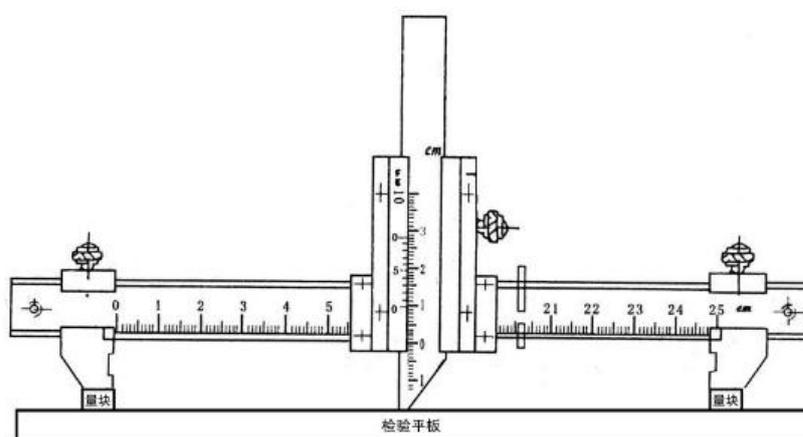


图4 弯曲度尺测量范围 (0~30) mm 示值误差的位置示意图

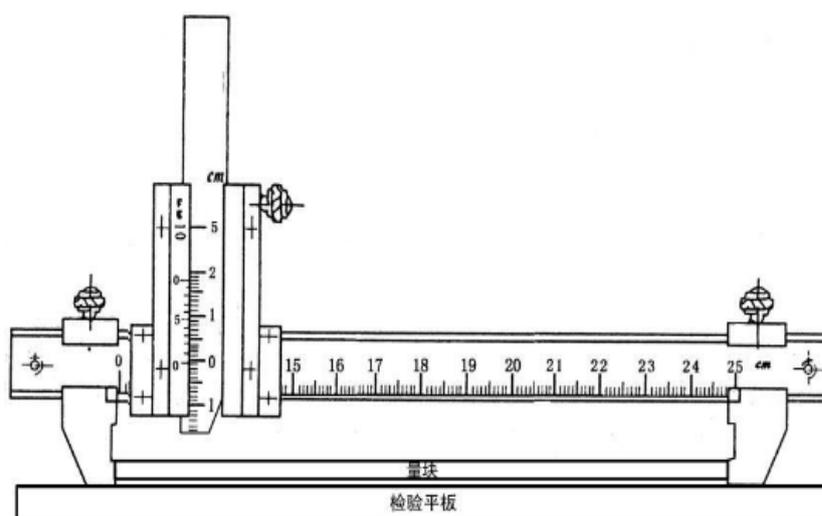


图5 主尺示值误差的测量位置示意图

6.5.3 弯曲度尺和主尺各点的示值误差以该点读数值与量块长度之差确定。计算见公式 (1)：

$$e = L - L_0 \quad (1)$$

式中：

e —砖用卡尺的示值误差，mm；

L —砖用卡尺的读数值，mm；

L_0 —量块长度，mm。

7 校准结果

校准后的砖用卡尺出具校准证书。校准证书内容及内页格式见附录 A。

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，一般建议为 1 年。

附录 A

校准证书内容及内页格式

A.1 校准证书至少包括以下信息：

- 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) 进行校准日期，如果与校准结果的有效性应用有关时，应说明被校对象的接受日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用计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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

A.2 校准证书内页格式见表 A.1。

表 A.1 校准证书内页格式

序号	校准项目	校准结果	
1	标尺标记的宽度和宽度差/mm	主尺	
		弯曲度尺	
		游标尺	
		宽度差	
2	测量面的表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$		
3	测量面的平面度/mm		
4	弯曲度尺零值误差/mm	“零”标记	
		“尾”标记	
5	主尺零值误差/mm	“零”标记	
6	示值误差/mm	弯曲度尺	
		主尺	

主尺示值误差校准结果的不确定度:

弯曲度尺示值误差校准结果的不确定度:

附录 B 砖用卡尺弯曲度尺示值误差校准结果的不确定度评定示例

B.1 测量方法

砖用卡尺的弯曲度尺示值误差校准采用 3 级或 5 等量块进行。下面以 29.8mm 校准点为例，对弯曲度尺示值误差测量结果不确定度进行评定，量块采用 3 级量块。

B.2 数学模型

弯曲度尺示值误差计算公式如下：

$$e = L - L_0 \quad (\text{B.1})$$

式中：

e ——弯曲度尺的示值误差，mm；

L ——弯曲度尺的读数值，mm；

L_0 ——量块的长度，mm。

考虑到温度偏离 20℃ 时，线膨胀系数及温度差的影响，上述公式转换为如下形式：

$$e = L_c - L_b + L_c \cdot \alpha_c \cdot \Delta t_c - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b \quad (\text{B.2})$$

式中： e ——弯曲度尺的示值误差，mm；

L_c ——弯曲度尺的读数值（20℃ 条件下），mm；

L_b ——量块的长度（20℃ 条件下），mm；

α_c, α_b ——分别为砖用卡尺和量块的线膨胀系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

$\Delta t_c, \Delta t_b$ ——分别为砖用卡尺和量块偏离标准温度 20℃ 的值， $^{\circ}\text{C}$ 。

B.3 方差和灵敏系数

由于 Δt_c 和 Δt_b 基本是采用同一支温度计测量而具有相关性，其数学处理过程比较复杂，为了简化数学处理过程，需要通过如下方法将相关转化为不相关。

$$\text{令 } \delta\alpha = \alpha_c - \alpha_b; \quad \delta t = \Delta t_c - \Delta t_b$$

$$\text{取 } L \approx L_c \approx L_b; \quad \alpha = \alpha_c = \alpha_b; \quad \Delta t = \Delta t_c = \Delta t_b$$

由公式 (B.2) 就得到如下弯曲度尺示值误差的计算公式：

$$e = L_c - L_b + L \cdot \Delta t \cdot \delta\alpha + L \cdot \alpha \cdot \delta t \quad (\text{B.3})$$

由公式 (B.3) 可以看出, 各变量之间彼此不相关, 由公式 $u_c^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i)$

得:

$$u_c^2 = u^2(e) = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 + c_3^2 \cdot u_3^2 + c_4^2 \cdot u_4^2 \quad (\text{B.4})$$

$$\text{式中: } c_1 = \frac{\partial e}{\partial L_c} = 1; \quad c_2 = \frac{\partial e}{\partial L_b} = -1; \quad c_3 = \frac{\partial e}{\partial \delta \alpha} = L \cdot \Delta t; \quad c_4 = \frac{\partial e}{\partial \delta t} = L \cdot \alpha$$

B.4 标准不确定度的来源和评定

B.4.1 标准不确定度一览表

表 B.1 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$	$ c_i \times u(x_i)$ (μm)
u_1	卡尺对线误差	$\frac{0.05\text{mm}}{2 \times \sqrt{3}} = 14.4\mu\text{m}$	1	14.4
u_2	标准量块偏差	$\frac{1.60\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 1.0\mu\text{m}$	-1	1.0
u_3	卡尺和量块的热膨胀系数差	$\frac{10^{-6}\text{C}^{-1}}{\sqrt{6}} = 0.408 \times 10^{-6}\text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t = 149\text{mmC}$	0.1
u_4	卡尺和量块的温度差	$\frac{1.0\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.578\text{C}$	$L \cdot \alpha = 3427 \times 10^{-6}\text{mmC}^{-1}$	0.2

B.4.2 弯曲度尺读数的对线误差估算的标准不确定度分量 u_1

弯曲度尺读数时与游标尺配合采用对线的方式读数, 分度值为 0.10mm, 对线误差分布区间为 0.05mm, 按均匀分布估计, 由公式得:

$$u_1 = \frac{0.05\text{mm}}{2 \times \sqrt{3}} = 14.4\mu\text{m}$$

B.4.3 校准用 3 级量块估算的标准不确定度分量 u_2

3 级量块的制造偏差是该标准不确定度分量的主要影响因素, 量块按级使用时, 其测量不确定度用其制造偏差的最大允许误差, 按均匀分布处理, 其标准不

$$\text{确定度为: } u_2 = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}} = \frac{1.60\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 1.0\mu\text{m}$$

B.4.4 卡尺和量块的热膨胀系数差估算的标准不确定度分量 u_3

由于材料性质差异，两种材料热膨胀系数界限在 $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，范围内服从均匀分布，则 $\delta\alpha$ 的区间宽度为 $2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，服从三角分布，测量尺寸为 $L=29.8\text{mm}$ ，偏离标准温度的范围是 $\pm 5^\circ\text{C}$ ，其标准不确定度计算如下：

$$u_3 = \frac{29.8\text{mm} \times 5^\circ\text{C} \times 10^{-6}\text{C}^{-1}}{\sqrt{6}} = 0.1\mu\text{m}$$

B.4.5 卡尺和量块间的温度差估算的标准不确定度分量 u_4

卡尺和量块间存在温度差，以等概率落在区间 $\pm 1.0^\circ\text{C}$ 内任何处。其区间半宽为 1.0°C ，测量尺寸为 $L=29.8\text{mm}$ ，线膨胀系数 $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}\text{C}^{-1}$ ，其标准不确定度计算如下：

$$u_4 = \frac{29.8\text{mm} \times 11.5 \times 10^{-6}\text{C}^{-1} \times 1.0^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.2\mu\text{m}$$

B.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 14.5\mu\text{m}$$

B.6 扩展不确定度

取 $k=2$ ，扩展不确定度如下：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 14.5\mu\text{m} = 29\mu\text{m} = 0.03\text{mm}$$

评定结果表明：砖用卡尺弯曲度尺示值误差测量结果不确定度评定满足

$U \leq \frac{1}{3} \cdot \text{MPEV} = 0.033\text{mm}$ 判断准则的要求。校准方法可行。

附录 C 砖用卡尺主尺示值误差校准结果的不确定度评定示例

C.1 测量方法

砖用卡尺主尺的示值误差采用 3 级或 5 等量块进行校准。下面以 490mm 校准点为例,对砖用卡尺主尺示值误差测量结果不确定度进行评定,采用 3 级量块。

C.2 数学模型

主尺示值误差计算公式如下:

$$e = L - L_0 \quad (\text{C.1})$$

式中: e ——主尺的示值误差, mm;

L ——主尺的读数值, mm;

L_0 ——量块的长度, mm。

考虑到温度偏离 20℃时,线膨胀系数及温度差的影响,上述公式转换为如下形式:

$$e = L_c - L_b + L_c \cdot \alpha_c \cdot \Delta t_c - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b \quad (\text{C.2})$$

式中: e ——主尺的示值误差, mm;

L_c ——主尺的读数值 (20℃条件下), mm;

L_b ——量块的长度 (20℃条件下), mm;

α_c, α_b ——分别为砖用卡尺和量块的线膨胀系数, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

$\Delta t_c, \Delta t_b$ ——分别为砖用卡尺和量块偏离标准温度 20℃的值, $^{\circ}\text{C}$ 。

C.3 方差和灵敏系数

由于 Δt_c 和 Δt_b 基本是采用同一支温度计测量而具有相关性,其数学处理过程比较复杂,为了简化数学处理过程,需要通过如下方法将相关转化为不相关。

$$\text{令 } \delta\alpha = \alpha_c - \alpha_b; \quad \delta t = \Delta t_c - \Delta t_b$$

$$\text{取 } L \approx L_c \approx L_b; \quad \alpha = \alpha_c = \alpha_b; \quad \Delta t = \Delta t_c = \Delta t_b$$

由公式 (C.2) 就得到如下主尺示值误差的计算公式:

$$e = L_c - L_b + L \cdot \Delta t \cdot \delta\alpha + L \cdot \alpha \cdot \delta t \quad (\text{C.3})$$

由公式 (C.3) 可以看出,各变量之间彼此不相关,由公式 $u_c^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i)$

得:

$$u_c^2 = u^2(e) = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 + c_3^2 \cdot u_3^2 + c_4^2 \cdot u_4^2 \quad (\text{C.4})$$

$$\text{式中: } c_1 = \frac{\partial e}{\partial L_c} = 1; \quad c_2 = \frac{\partial e}{\partial L_b} = -1; \quad c_3 = \frac{\partial e}{\partial \delta \alpha} = L \cdot \Delta t; \quad c_4 = \frac{\partial e}{\partial \delta t} = L \cdot \alpha$$

C.4 标准不确定度的来源和评定

C.4.1 标准不确定度一览表

表 C.1 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$	$ c_i \times u(x_i)$ (μm)
u_1	主尺读数估读	$\frac{0.25\text{mm}}{2 \times \sqrt{3}} = 72.2\mu\text{m}$	1	72.2
u_2	标准量块偏差	$\frac{9.00\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 5.2\mu\text{m}$	-1	5.2
u_3	卡尺和量块的热膨胀系数差	$\frac{10^{-6}\text{C}^{-1}}{\sqrt{6}} = 0.408 \times 10^{-6}\text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t = 2450\text{mmC}$	1.0
u_4	卡尺和量块的温度差	$\frac{1.0\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.578\text{C}$	$L \cdot \alpha = 5635 \times 10^{-6}\text{mmC}^{-1}$	3.3

C.4.2 主尺读数估读引入的标准不确定度分量 u_1

主尺读数采用估读的方式读数, 分度值为 0.5mm, 按照 1/2 估读, 分辨力为 0.25mm, 按均匀分布估计, 由公式得:

$$u_1 = \frac{0.25\text{mm}}{2 \times \sqrt{3}} = 72.2\mu\text{m}$$

C.4.3 校准用 3 级量块估算的标准不确定度分量 u_2

3 级量块的制造偏差是该标准不确定度分量的主要影响因素, 量块按级使用时, 其测量不确定度用其制造偏差的最大允许误差, 按均匀分布处理, 其标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}} = \frac{9.00\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 5.2\mu\text{m}$$

C.4.4 卡尺和量块的热膨胀系数差估算的标准不确定度分量 u_3

由于材料性质差异,两种材料热膨胀系数界限在 $(11.5\pm 1)\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,范围内服从均匀分布,则 $\delta\alpha$ 的区间宽度为 $2\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,服从三角分布,测量尺寸为 $L=490\text{mm}$,偏离标准温度的范围是 $\pm 5^{\circ}\text{C}$,其标准不确定度计算如下:

$$u_3 = \frac{490\text{mm} \times 5^{\circ}\text{C} \times 10^{-6}\text{C}^{-1}}{\sqrt{6}} = 1.0\mu\text{m}$$

C.4.5 卡尺和量块间的温度差估算的标准不确定度分量 u_4

卡尺和量块间存在温度差,以等概率落在区间 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 内任何处。其区间半宽为 1.0°C ,测量尺寸为 $L=490\text{mm}$,线膨胀系数 $(11.5\pm 1)\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$,其标准不确定度计算如下:

$$u_4 = \frac{490\text{mm} \times 11.5 \times 10^{-6}\text{C}^{-1} \times 1.0^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 3.3\mu\text{m}$$

C.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 73\mu\text{m}$$

C.6 扩展不确定度

取 $k=2$,扩展不确定度如下:

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 73\mu\text{m} = 146\mu\text{m} = 0.15\text{mm}$$

评定结果表明:砖用卡尺主尺示值误差测量结果不确定度评定满足

$U \leq \frac{1}{3} \cdot \text{MPE} \forall 0.167\text{m}$ 判断准则的要求。校准方法可行。