山 西 省 地 方 计 量 技 术 规 范

JJF（晋） 87—2024

面差规校准规范

Calibration Specification for Surface Difference Gauge

2024-04-25 发布　　2024-06-25 实施

山西省市场监督管理局 发 布

面差规校准规范

Calibration Specification

for Surface Difference Gauge

JJF（晋） 87—2024

归 口 单 位：山西省市场监督管理局

主要起草单位：山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院）

参加起草单位：晋城煤炭高新技术服务有限公司计量检测站

本规范委托山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院）负责解释

本规范主要起草人：

冯香兰（山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院））

韩　剑（山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院））

岩君芳（山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院））

参加起草人：

张伟楠（山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院））

刘　辉（山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院））

杨艳琴（晋城煤炭高新技术服务有限公司计量检测站）

刘　鑫（山西省检验检测中心（山西省标准计量技术研究院））

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
5　校准条件 2
5.1　环境条件 2
5.2　测量标准及设备 3
6　校准项目和校准方法 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　测针与主尺的平行度 4
6.5　零值误差 4
6.6　示值重复性 4
6.7　漂移 4
6.8　示值误差和细分误差 4
7　校准结果的表述 5
8　复校时间间隔 5
附录 A　校准原始记录格式示例 6
附录 B　校准证书内页格式 8
附录 C　游标面差规示值误差测量结果的不确定度评定 9
附录 D　数显面差规示值误差测量结果的不确定度评定 13

引　　言

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》和 JJF 1059.1—2012 《测量不确定度评定与表示》共同构成本规范制定工作的基础性系列技术规范。

本规范在制定中主要参考并引用了国家标准 GB/T 21388—2008 《游标、带表和数显深度卡尺》、GB/T 21389—2008 《游标、带表和数显卡尺》和 GB/T 21390—2008 《游标、带表和数显高度卡尺》。

计量特性和校准方法参照了 JJG 30—2012 《通用卡尺》和 JJG 31—2011 《高度卡尺》中相应条款。

本规范为首次制定。

面差规校准规范

1 范围

本规范适用于分度值或分辨力为 0.01 mm，0.02 mm，0.05 mm 和 0.10 mm，测量范围为（-50 ~ 50） mm 的游标式面差规和数显式面差规的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 30—2012 通用卡尺检定规程

JJG 31—2011 高度卡尺检定规程

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

GB/T 21388—2008 游标、带表和数显深度卡尺

GB/T 21389—2008 游标、带表和数显卡尺

GB/T 21390—2008 游标、带表和数显高度卡尺

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

面差规（又称为面差尺、高低尺、阶差尺），是利用带有测针的尺框在尺身上相对运动，通过游标或数显形式显示主尺基座测量面和尺框上测针之间的高低差值，用于测量两平面、两凸面、两凹面之间的平面差或者阶梯差，主要应用于机械加工、汽车检具，模具制造、电子、灯具等行业。

面差规主要由主尺基座测量面、测针、测针调零螺钉、距离调节框、调节框紧固螺钉、游标尺框、半圆拉手、尺框紧固螺钉等组成，仪器外形及各部件名称如图 1、图 2 所示。

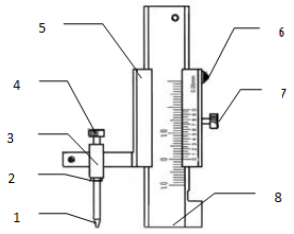

图 1 游标面差规

1—测针；2—测针调零螺钉；3—距离调节框；4—调节框紧固螺钉；

5—游标尺框；6—半圆拉手；7—尺框紧固螺钉；8—主尺基座测量面

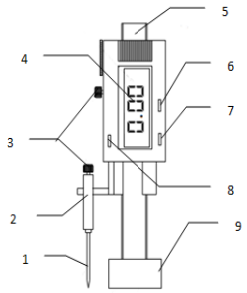

图 2　数显面差规

1—测针；2—距离调节框；3—紧固螺钉；4—液晶显示屏；5—主尺；

6—ZERO 键；7—开关键；8—单位转换键；9—主尺基座测量面

4　计量特性

面差规计量特性见表 1。

表 1　计量特性

校准项目		游标面差规				数显面差规
标尺标记的宽度和宽度差/ mm	宽度	0.08 ～ 0.18				——
	宽度差	≤0.03				——
测量面的表面粗糙度/ μm		*Ra* ≤ 0.4				
测量面的平面度/ μm		≤5				
测针与主尺的平行度/ mm		≤0.01				
零值误差/mm	“零”标尺标记重合度	MPE：±0.010				——
	“尾”标尺标记重合度	MPE：±0.030				
示值重复性/ mm		——				≤0.01
漂移/ mm		——				≤0.01
示值误差/ mm		分度值	0.02	0.05	0.10	MPE：±0.03
		MPE	±0.03	±0.05	±0.10	
细分误差/ mm		——				MPE：±0.03

以上指标仅供参考，不用于合格性判定。

5　校准条件

5.1　环境条件

5.1.1　室内温度：（20±5）℃。

5.1.2　室内相对湿度：不大于 80%。

5.1.3　校准前，应将被校准面差规和校准用设备置于平板上，平衡温度时间不少于 1 h。

5.2 测量标准及设备

校准用标准器及相应设备的推荐计量性能见表 2，也可以采用其它符合测量不确定度要求的标准器。

表 2 测量标准及设备一览表

序号	测量标准及设备	技术要求
1	平板	1 级
2	量块	3 级或 5 等
3	工具显微镜	MPEV：3 μm
4	表面粗糙度比较样块	MPE：＋12％ ～ －17％
5	刀口形直尺	MPEV：2 μm
6	数显内测千分尺	MPEV：5 μm

6 校准项目和校准方法

校准前目力观察或手动试验检查外观和各部件相互作用，确定没有影响校准计量特性的因素后再进行校准。

6.1 标尺标记的宽度和宽度差

用工具显微镜测量。对于游标面差规应分别在主标尺和游标尺上至少各抽检三条标记测量其宽度，所测值即为标记宽度。校准标记中最大与最小宽度之差即为标记宽度差。

6.2 测量面的表面粗糙度

用表面粗糙度比较样块进行比较测量。表面粗糙度样块和被检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校测量面一致。当被校测量面的加工痕迹深浅不超过表面粗糙度比较样块工作面加工痕迹深度时，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。

6.3 测量面的平面度

面差规工作面的平面度用刀口形直尺以光隙法测量。测量时分别在工作面的长边、短边以及对角线位置上进行。

其平面度根据各方位的间隙情况确定，当所有测量方位上出现的间隙均在中间部位或两端部位时，取其中一方位间隙量最大的作为校准结果。当有的方位中间部位有间隙，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为校准结果。

6.4 测针与主尺的平行度

用数显内测千分尺测量。紧固测针与尺框，沿尺身方向，均匀选取三个位置测量主尺与测针之间的距离，最大值与最小值之差即为校准结果。

6.5 零值误差

将游标面差规基准面与平板接触，移动尺框使测针测量面与平板正常接触，分别在尺框紧固和松开的情况下，用目力观察其重合度，必要时用工具显微镜测量。

6.6 示值重复性

将数显面差规基准面与平板接触，移动尺框使测针测量面与平板正常接触，重复测量5 次并读数，最大值与最小值的差值即为校准结果。

6.7 漂移

目力观察。在测量范围内的任意位置紧固尺框，在1h内每隔15 min观察一次，记录实测值，取最大漂移的绝对值作为校准结果。带有自动关机功能的数显面差规可不校此项。

6.8 示值误差和细分误差

6.8.1 示值误差

用 3 级或 5 等量块进行校准，在整个测量范围内均匀选取不少于四个测量点进行校准，如(-10～10) mm 的面差规，其测量点可选取，-10 mm、-3.8 mm、3.4 mm 和 10 mm 点；对于测量范围在(-50～50) mm 的面差规，其测量点可选取-50 mm、-21.8 mm、21.4 mm、50 mm。根据实际使用情况可以选取其他均匀分布的点，也可适当增加测量点。

校准时，将量块放置在平板上，使主尺工作面（或测针）与平板接触，然后使测针（或主尺工作面）与量块接触，读取面差规的示值。每个位置应重复测量三次，取算术平均值。对于可移动测针应在测针不同位置测量。

各点示值与量块尺寸之差即为该点的示值误差。

6.8.2 细分误差

对于数显面差规除校准相应校准点的示值误差外，还应选择 1mm，2mm，3mm，4mm，5mm 作为细分误差的校准点。细分误差的校准方法与 6.7 相同。

示值误差和细分误差计算公式如公式（1）。

$$\Delta L = L_c - L_b \tag{1}$$

式中:

ΔL——面差规的示值误差，mm；

L_c——面差规的示值，mm；

L_b——量块的长度，mm。

7 校准结果的表述

经校准的面差规出具校准证书，校准证书应至少包括以下信息:

1) 标题：“校准证书”；

2) 实验室名称和地址；

3) 进行校准的地点(如果与实验室的地址不同)；

4) 证书的唯一性标识(如编号)，每页及总页数的标识；

5) 客户的名称和地址；

6) 被校对象的描述和明确标识(如仪器名称、规格型号、出厂编号、制造厂)；

7) 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；

8) 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；

9) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

10) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

11) 校准环境的描述；

12) 校准结果及其测量不确定度的说明；

13) 对校准规范的偏离的说明；

14) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；

15) 校准结果仅对被校对象有效的声明；

16) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

当用户要求时，可以根据用户提供的计量特性最大允许误差进行符合性判定，并将结论列入校准证书。

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、仪器本身质量等诸多因素所决定的，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，建议不超过一年。

附录 A

校准原始记录格式示例

面差规校准原始记录见表 A.1

表 A.1　面差规校准原始记录

<table>
<tr><td colspan="8">证书编号：</td></tr>
<tr><td colspan="8">送校单位名称：</td></tr>
<tr><td colspan="8">送校单位地址：</td></tr>
<tr><td colspan="4">仪 器 名 称：</td><td colspan="4">型　　号：</td></tr>
<tr><td colspan="4">生 产 厂 家：</td><td colspan="4">出厂编号：</td></tr>
<tr><td colspan="5">校准地点：</td><td colspan="2">环境温度：</td><td colspan="1">相对湿度：</td></tr>
<tr><td colspan="8">校准依据：</td></tr>
<tr><td colspan="8">校准所用标准器具</td></tr>
<tr><td>名称</td><td>测量范围</td><td>编号</td><td colspan="2">不确定度/准确度等级/最大允许误差</td><td>证书编号</td><td>证书有效期</td><td>溯源机构</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">校准项目</td><td colspan="5">校准结果</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">标尺标记的宽度和宽度差 / mm</td><td>宽度</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>宽度差</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="3">测量面的表面粗糙度/ μm</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="3">测量面的平面度/ mm</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">测针与主尺的平行度/ mm</td><td>1</td><td colspan="2">2</td><td>3</td><td colspan="2">平均值</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">零值误差 / mm</td><td colspan="2">“零”标尺标记重合度</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="2">“尾”标尺标记重合度</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">示值重复性/ mm</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>示值重复性</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">漂移/ mm</td><td>0 min</td><td>15 min</td><td>30 min</td><td>45 min</td><td>60 min</td><td>漂移</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

表 A.1　面差规校准原始记录(续)

<table>
<tr><td rowspan="5">示值误差/ mm</td><td rowspan="2">标准值</td><td colspan="4">测量值</td><td rowspan="2">示值误差</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>平均值</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="7">细分误差/ mm</td><td rowspan="2">标准值</td><td colspan="4">测量值</td><td rowspan="2">细分误差</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>平均值</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="7">示值误差的扩展不确定度：U=　　mm （k=2）</td></tr>
</table>

校准员：　　核验员：　　校准日期：

附录 B

校准证书内页格式

校准证书内页格式见表 B.1

表 B.1 校准证书内页格式

<table>
<tr><td>序号</td><td colspan="2">校准项目</td><td>校准结果</td></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">标尺标记的宽度和宽度差/ mm</td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">测量面的表面粗糙度/ μm</td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">测量面的平面度/ mm</td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="2">测针与主尺的平行度/ mm</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">零值误差</td><td>“零”标尺标记重合度/ mm</td><td></td></tr>
<tr><td>“尾”标尺标记重合度/ mm</td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td colspan="2">示值重复性/ mm</td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td colspan="2">漂移/ mm</td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td colspan="2">示值误差/ mm</td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td colspan="2">细分误差/ mm</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">示值误差的扩展不确定度：<u>U=　　mm（ k=2）</u></td></tr>
</table>

附录 C

游标面差规示值误差测量结果的不确定度评定

C.1 概述

C.1.1 测量依据：依据 JJF（晋） 87—2024《面差规校准规范》。

C.1.2 计量标准：5 等量块，1 级平板。

C.1.3 被测对象：游标面差规。

C.1.4 环境条件：温度（20±5）℃。

C.1.5 测量方法：在规定的环境条件下，用 5 等量块对面差规的示值误差进行校准，首先使主尺基座的测量面及测针测量面同时与检验平板接触对零，然后用 5 等量块进行校准，各点示值的平均值与量块尺寸之差即为该点的示值误差。

C.2 数学模型

$$\Delta L = L_c - L_b + L_c \cdot \alpha_c \cdot \Delta t_c - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b$$

式中：

ΔL——面差规的示值误差；

L_c——面差规的示值（20℃条件下）；

L_b——量块的长度尺寸（20℃条件下）；

α_c、α_b——分别表示面差规和量块的膨胀系数；

$\triangle t_c$，$\triangle t_b$——分别表示面差规和量块偏离标准温度 20℃的值。

由于$\triangle t_c$ 和$\triangle t_b$ 是采用同一只温度计测量，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换为不相关。

令 $$\delta_\alpha = \alpha_c - \alpha_b \quad \delta_t = \Delta t_c - \Delta t_b$$

则 $$\begin{aligned}\Delta L &= L_c - L_b + L_c \cdot \alpha_c \cdot \Delta t_c - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b \\ &= L_c - L_b + L_c \cdot (\delta_\alpha + \alpha_b) \cdot \Delta t_c - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b \\ &= L_c - L_b + L_c \cdot \delta_\alpha \cdot \Delta t_c + L_c \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_c - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b\end{aligned}$$

取 $$L \approx L_c \approx L_b \qquad \alpha \approx \alpha_c \approx \alpha_b \qquad \Delta t \approx \Delta t_c \approx \Delta t_b$$

则 $$\Delta L = L_c - L_b + L \cdot \delta_\alpha \cdot \Delta t + L \cdot \alpha \cdot \delta_t$$

C.3 不确定度传播率

各输入量相互独立，均不相关，灵敏系数

$$c_1 = \partial\Delta L/\partial L_C = 1，c_2 = \partial\Delta L/\partial L_b = -1，c_3 = \partial\Delta L/\partial\delta_\alpha = L\cdot\Delta t，c_4 = \partial\Delta L/\partial\delta_t = L\cdot\alpha$$

$$u_c^2(\Delta L) = c_1^2u^2(L_c) + c_2^2u^2(L_b) + c_3^2u^2(\delta_\alpha) + c_4^2u^2(\delta_t)$$

C.4 标准不确定度评定

以分度值为 0.05mm，测量范围为（-10～10）mm 的面差规，对 3.4mm 点校准为例进行评定。

C.4.1 由输入量L_c引入的标准不确定度分量$u(L_C)$

C.4.1.1 面差规分度值量化误差引入的标准不确定度分量$u_1(L_C)$

面差规的分度值为 0.05mm，量化误差为（0.05 / 2）mm，估计其为均匀分布，包含因子为$\sqrt{3}$，故标准不确定度$u_1(L_C)$为

$$u_1(L_c) = \frac{0.05}{2\sqrt{3}} = 0.0144\,\text{mm} = 14.4\,\mu\text{m}$$

C.4.1.2 游标面差规重复性引入的标准不确定度分量$u_2(L_C)$

游标面差规重复性引入的标准不确定度分量远远小于分度值量化误差引入的标准不确定度分量，二者取较大值，所以不考虑面差规重复性引入的标准不确定度分量。

C.4.1.3 测针与主尺不平行引入的不确定度分量$u_3(L_C)$

测针与主尺的平行度不大于 0.01 mm，推算出，因平行度引起的误差不大于 3×10^{-6}mm，符合均匀分布，则

$$u_3(L_C) = \frac{0.003}{\sqrt{3}} = 0.00173\,\mu\text{m}$$

此项误差远小于分度值量化误差引入的标准不确定度分量，可忽略不计，则

$$u(L_c) = u_1(L_C) = 14.4\ \mu\text{m}$$

C.4.2 由标准量块引入的标准不确定度分量 $u(L_b)$

输入量 L_b 的标准不确定度主要来源于量块长度尺寸的不确定度，根据 JJG 146—2011《量块》，5 等量块的测量不确定度为 0.6 μm，置信概率为 0.99，则标准不确定度 $u(L_b)$为

$$u(L_b) = \frac{0.6}{2.58} = 0.23\,\mu\text{m}$$

C.4.3 由面差规和量块的热膨胀系数引入的的标准不确定度分量$u(\delta_\alpha)$。

由于材料性质的差异，两种材料热膨胀系数界限在 $(11.5\pm1)\times10^{-6}$ / ℃的范围内服从均匀分布，则δ_α区间半宽为 2×10^{-6} / ℃，估计其为三角分布，包含因子为$\sqrt{6}$，故标准不确定度$u(\delta_\alpha)$为

$$u(\delta_\alpha) = 2\times10^{-6}/\sqrt{6} = 0.82\times10^{-6}\ /\ ℃$$

C.4.4　由面差规和量块间的温度差引入的的标准不确定度分量$u(\delta_t)$。

面差规和量块间存在温度差，以等概率落于区间±0.5℃ 内任何处。其区间半宽为 0.5℃，估计其为均匀分布，包含因子为$\sqrt{3}$，故标准不确定度$u(\delta_t)$为

$$u(\delta_t) = 0.5/\sqrt{3}=0.29℃$$

C.5　合成标准不确定度

C.5.1　主要标准不确定度

主要标准不确定度汇总见表 C.1

表 C.1　标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度分量值 $u(i)$	灵敏系数c_i	$\lvert c_i\rvert \times u(i)$
$u(L_C)$	量化误差	14.4 μm	1	14.4 μm
$u(L_b)$	标准量块	0.23 μm	-1	0.23 μm
$u(\delta_\alpha)$	面差规和量块的热膨胀系数	0.82×10^{-6} / ℃	17 mm·℃	0.02 μm
$u(\delta_t)$	面差规和量块间的温度差	0.29℃	0.04 μm / ℃	0.01 μm

C.5.2　合成标准不确定度计算

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，所以合成标准不确定度为

$$u_c(\Delta L) = \sqrt{14.4^2 + 0.23^2 + 0.02^2 + 0.01^2} = 14.4\,\mu m$$

C.6　扩展不确定度计算

取包含因子 k=2，则 U=0.03 mm

C.7　其他测量点及其他分度值面差规不确定评估

C.7.1　其他点的测量不确定度

其他测量点的不确定度评定结果见表 C.2

表 C.2　其他测量点的不确定度

测量点（mm）	不确定度分量（μm）				u_c（μm）	U（k=2）（mm）
	$\lvert c_1\rvert \cdot u(L)$	$\lvert c_2\rvert \cdot u(L_b)$	$\lvert c_3\rvert \cdot u(\delta_\alpha)$	$\lvert c_4\rvert \cdot u(\delta_t)$		
6.8	14.4	0.31	0.03	0.02	14.44	0.03
10	14.4	0.32	0.04	0.03	14.44	0.03

C.7.2　其他分度值的测量不确定度评估（以 10 mm 测量点为例）

其他分度值的不确定度评定结果见表 C.3

表 C.3　其他分度值的不确定度

仪器分度值(mm)	不确定度分量（μm）				u_c（μm）	U（k=2）（mm）
	$\lvert c_1\rvert \cdot u(L)$	$\lvert c_2\rvert \cdot u(L_b)$	$\lvert c_3\rvert \cdot u(\delta_\alpha)$	$\lvert c_4\rvert \cdot u(\delta_t)$		
0.02	5.77	0.32	0.041	0.033	5.78	0.01
0.05	14.43	0.32	0.041	0.033	14.44	0.03
0.10	28.87	0.32	0.041	0.033	28.87	0.06

C.8　测量不确定度报告

分度值为 0.02 mm 游标面差规示值误差的测量不确定度为 U=0.01 mm，k=2；

分度值为 0.05 mm 游标面差规示值误差的测量不确定度为 U=0.03 mm，k=2；

分度值为 0.1 mm 游标面差规示值误差的测量不确定度为 U=0.06 mm，k=2。

附录 D

数显面差规示值误差测量结果的不确定度评定

D.1 概述

D.1.1 测量依据：依据 JJF（晋） 87—2024 《面差规校准规范》。

D.1.2 计量标准：5 等量块，1 级平板。

D.1.3 被测对象：数显面差规。

D.1.4 环境条件：温度（20 ± 5）℃。

D.1.5 测量方法：在规定的环境条件下，用 5 等量块对面差规的示值误差进行校准，首先使主尺基座的测量面及测针测量面同时与检验平板接触对零，然后用 5 等量块进行校准，各点示值与量块尺寸之差即为该点的示值误差。

D.2 数学模型

$$\Delta L = L_c - L_b + L_c \cdot \alpha_c \cdot \Delta t_c - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b$$

式中：

ΔL——面差规的示值误差；

L_c——面差规的示值（20℃条件下）；

L_b——量块的长度尺寸（20℃条件下）；

α_c、α_b——分别表示面差规和量块的膨胀系数；

Δt_c，Δt_b——分别表示面差规和量块偏离标准温度 20℃的值。

由于$\triangle t_c$ 和$\triangle t_b$ 是采用同一只温度计测量，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换为不相关。

令 $\delta_\alpha = \alpha_c - \alpha_b \qquad \delta_t = \Delta t_c - \Delta t_b$

则
$$\begin{aligned}\Delta L &= L_c - L_b + L_c \cdot \alpha_c \cdot \Delta t_c - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b \\ &= L_c - L_b + L_c \cdot (\delta_\alpha + \alpha_b) \cdot \Delta t_c - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b \\ &= L_c - L_b + L_c \cdot \delta_\alpha \cdot \Delta t_c + L_c \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_c - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b\end{aligned}$$

取 $L \approx L_c \approx L_b \qquad \alpha \approx \alpha_c \approx \alpha_b \qquad \Delta t \approx \Delta t_c \approx \Delta t_b$

则 $\Delta L = L_c - L_b + L \cdot \delta_\alpha \cdot \Delta t + L \cdot \alpha \cdot \delta_t$

D.3 不确定度传播率

各输入量相互独立，均不相关，灵敏系数

$c_1 = \partial\Delta L / \partial L_C = 1$，$c_2 = \partial\Delta L / \partial L_b = -1$，$c_3 = \partial\Delta L / \partial\delta_\alpha = L \cdot \Delta t$，$c_4 = \partial\Delta L / \partial\delta_t = L \cdot \alpha$

$$u_c^2(\Delta L) = c_1^2 u^2(L_c) + c_2^2 u^2(L_b) + c_3^2 u^2(\delta_\alpha) + c_4^2 u^2(\delta_t)$$

D.4 标准不确定度评定

以分辨力为 0.01 mm，测量范围为（-50～50） mm 的面差规，对 50 mm 点校准为例进行评定。

D.4.1 由输入量L_c引入的标准不确定度分量$u(L_C)$

D.4.1.1 分辨力引入的标准不确定度分量$u_1(L_C)$

数显面差规的分辨力为 0.01 mm，半宽为 0.005 mm，估计其为均匀分布，包含因子为$\sqrt{3}$，故标准不确定度$u_1(L_C)$为

$$u_1(L_C) = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029\,\text{mm} = 2.9\,\mu\text{m}$$

D.4.1.2 由被检数显面差规测量重复性引入的标准不确定度分量$u_2(L_C)$。

对被检面差规 50 mm 测量点进行 10 次重复测量，测得值为 50、50、50、50.01、50、50、50.01、50、50、50，单位 mm，由贝塞尔公式得实验标准差 s=0.004 mm，实际测量中测 3 次取平均值,则

$$u_2(L_C) = \frac{\text{s}}{\sqrt{3}} = 2.31\,\mu\text{m}$$

D.4.1.3 测针与主尺不平行引入的不确定度分量$u_3(L_C)$

测针与主尺的平行度不大于 0.01 mm，推算出，因平行度引起的误差不大于 3×10^{-6} mm，符合均匀分布，则

$$u_3(L_C) = \frac{0.003}{\sqrt{3}} = 0.00173\,\mu\text{m}$$

此项误差远小于分辨力引入的标准不确定度分量，可忽略不计。

$u_1(L_C)$和$u_2(L_C)$取较大值，则

$$u(L_c) = u_1(L_C) = 2.9\,\mu\text{m}$$

D.4.2 由标准量块引入的标准不确定度分量 $u(L_b)$

输入量 L_b 的标准不确定度主要来源于量块长度尺寸的不确定度，根据 JJG 146—2011《量块》，5 等量块的测量不确定度不大于 0.6 μm，置信概率为 0.99，则标准不确定度 $u(L_b)$ 为

$$u(L_b) = \frac{0.6}{2.58} = 0.23\,\mu\text{m}$$

D.4.3 由面差规和量块的热膨胀系数引入的的标准不确定度分量$u(\delta_\alpha)$。

由于材料性质的差异，两种材料热膨胀系数界限在 $(11.5\pm1)\times10^{-6}$ / ℃的范围内服从均

匀分布，则δ_α区间半宽为 2×10^{-6} / ℃，估计其为三角分布，包含因子为$\sqrt{6}$，故标准不确定度$u(\delta_\alpha)$为

$$u(\delta_\alpha) = 2 \times 10^{-6}/\sqrt{6} = 0.82 \times 10^{-6}\ /\ ℃$$

D.4.4　由面差规和量块间的温度差引入的的标准不确定度分量$\mathrm{u}(\delta_\mathrm{t})$。

面差规和量块间存在温度差，估计以等概率落于区间±0.5℃内，其区间半宽为 0.5℃，估计其为均匀分布，包含因子为$\sqrt{3}$，故标准不确定度$u(\delta_t)$为

$$u(\delta_t) = 0.5/\sqrt{3} = 0.29℃$$

D.5　合成标准不确定度

D.5.1　主要标准不确定度汇总表

主要标准不确定度汇总见表 D.1

表 D.1　主要标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度分量值	灵敏系数	$\lvert c_i \rvert \times u(i)$
$u(L_C)$	量化误差	2.9 μm	1	2.9 μm
$u(L_b)$	标准量块	0.23 μm	-1	0.23 μm
$u(\delta_\alpha)$	面差规和量块的热膨胀系数	0.82×10^{-6} / ℃	250 mm·℃	0.2 μm
$u(\delta_t)$	面差规和量块间的温度差	0.29℃	0.58 μm / ℃	0.17 μm

D.5.2　合成标准不确定度计算

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，所以合成标准不确定度为

$$u_\mathrm{c}(\Delta L) = \sqrt{2.9^2 + 0.23^2 + 0.2^2 + 0.17^2} = 3\mu\mathrm{m}$$

D.6　扩展不确定度计算

取包含因子 k=2，U = 6 μm = 0.01 mm，则

测量点为 50mm 时，扩展不确定度 U 为 0.01mm。

D.7　其他测量点示值误差的测量不确定度评估

参照 50mm 点测量不确定度的评定方法，其他测量点示值误差的测量不确定度评定结果见表 D.2。

表 D.2　其他测量点示值误差的不确定度计算表

测量点（mm）	不确定度分量(μm)				u_c（μm）	U（k=2）（mm）
	$\lvert c_1\rvert \cdot u(L)$	$\lvert c_2\rvert \cdot u(L_b)$	$\lvert c_3\rvert \cdot u(\delta_\alpha)$	$\lvert c_4\rvert \cdot u(\delta_t)$		
10	4	0.32	0.04	0.04	4.01	0.01
20	4	0.35	0.08	0.07	4.02	0.01
30	4	0.38	0.12	0.10	4.02	0.01
40	4	0.41	0.16	0.13	4.03	0.01
50	4	0.44	0.21	0.17	4.03	0.01

D.8　测量不确定度报告

数显面差规示值误差的测量不确定度为 U=0.01mm，k=2。