

黑龙江省地方计量技术规范

JJF(黑)××—2026

制动盘尺寸量具校准规范

Calibration Specification for Brake Disc Size Measuring Tools

(审定稿)

2026-××-××发布

2026-××-××实施

黑龙江省市场监督管理局 发布

制动盘尺寸量具校准规范

Calibration Specification for Brake Disc Size
Measuring Tools

JJF(黑)××—2026

归口单位：黑龙江省市场监督管理局

主要起草单位：中国铁路哈尔滨局集团有限公司质量技术监督所

黑龙江省计量检定测试研究院

齐齐哈尔市检验检测中心

哈尔滨市计量检定测试院

参加起草单位：哈尔滨东安汽车动力股份有限公司

本规范委托中国铁路哈尔滨局集团有限公司质量技术监督所负责解释

本规范主要起草人：

丁保中（中国铁路哈尔滨局集团有限公司质量技术监督所）

张 娜（中国铁路哈尔滨局集团有限公司质量技术监督所）

李 巍（中国铁路哈尔滨局集团有限公司质量技术监督所）

张 博（黑龙江省计量检定测试研究院）

赵冰旭（中国铁路哈尔滨局集团有限公司质量技术监督所）

薛 超（齐齐哈尔市检验检测中心）

侯成岭（哈尔滨市计量检定测试院）

参加起草人：

潘秀娟（哈尔滨东安汽车动力股份有限公司）

董玉琨（齐齐哈尔市检验检测中心）

李安琪（中国铁路哈尔滨局集团有限公司质量技术监督所）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(3)
4.1 标记宽度和宽度差.....	(3)
4.2 游标对主尺的相对位置.....	(3)
4.3 零值误差.....	(3)
4.4 内距尺.....	(4)
4.5 中心距尺.....	(4)
4.6 厚度尺.....	(5)
5 校准条件.....	(5)
5.1 环境条件.....	(5)
5.2 测量标准及其他设备.....	(5)
6 校准项目和校准方法.....	(6)
6.1 校准前检查.....	(6)
6.2 标记宽度和宽度差.....	(6)
6.3 游标对主尺的相对位置.....	(6)
6.4 零值误差.....	(6)
6.5 表面粗糙度.....	(6)
6.6 内距尺.....	(6)
6.7 中心距尺.....	(8)
6.8 厚度尺.....	(8)
7 校准结果表达.....	(8)
8 复校时间间隔.....	(9)
附录 A 制动盘尺寸量具校准记录格式(推荐性).....	(10)
附录 B 校准证书内页格式(推荐性).....	(13)
附录 C 内距尺示值误差的不确定度评定示例.....	(16)
附录 D 中心距尺示值误差的不确定度评定示例.....	(19)
附录 E 厚度尺示值误差的不确定度评定示例.....	(22)

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》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范参考了 TG/CL206—2013《铁路客车轮轴组装检修及管理规则》的相关内容编制而成。

本规范为首次发布。

制动盘尺寸量具校准规范

1 范围

本规范适用于制动盘尺寸量具【包括测量范围为(615~635)mm、(745~765)mm、(785~805)mm、(810~830)mm和(850~870)mm的制动盘内距尺、测量范围为(0~1000)mm的制动盘中心距尺、测量范围为(0~150)mm的制动盘厚度尺】的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 22—2014 内径千分尺

JJG 30—2012 通用卡尺

JJG 1159—2018 铁路机车车辆轮对内距尺检具

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

制动盘尺寸量具包括制动盘内距尺（以下简称内距尺）、制动盘中心距尺（以下简称中心距尺）、制动盘厚度尺（以下简称厚度尺），主要用于铁路机车制动盘相关外形与位置尺寸的测量。

内距尺是通过限位钩定位，活动测杆沿尺身方向移动来测量同一轮对制动盘之间内侧安装距离的计量器具，按读数形式分为游标式和数显式，其结构示意图见图1和图2。

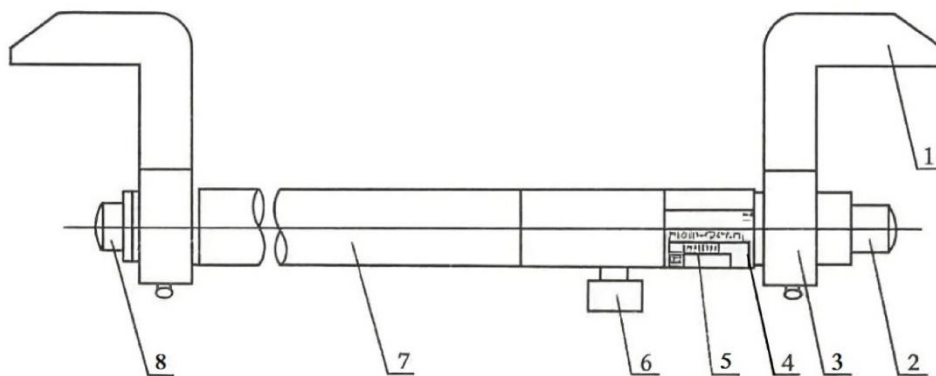


图1 游标式内距尺结构示意图

1—限位钩侧面；2—活动测杆；3—限位钩；4—主尺；5—游标；6—紧固螺钉；
7—尺身；8—固定测杆

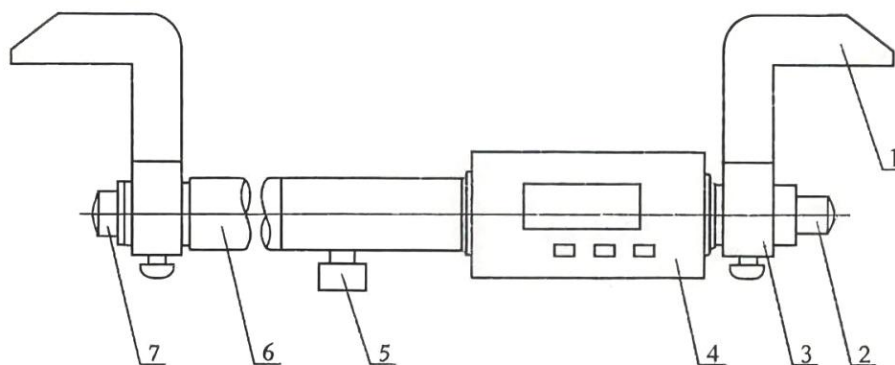


图2 数显式内距尺结构示意图

1—限位钩侧面；2—活动测杆；3—限位钩；4—读数装置；5—紧固螺钉；6—尺身；7—固定测杆

中心距尺是利用内外量爪分别测量两制动盘的厚度和间距，从而实现对两制动盘中心之间距离测量的计量器具，其结构示意图见图3。

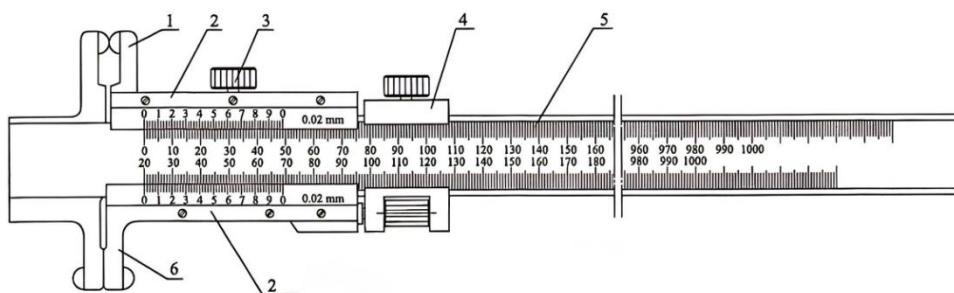


图3 中心距尺结构示意图

1—外尺寸量爪；2—游标；3—尺框锁紧螺钉；4—微调装置；5—主尺；6—内尺寸量爪

厚度尺是用于测量制动盘厚度的计量器具，按读数形式分为游标式和数显式，其结构示意图见图4和图5。

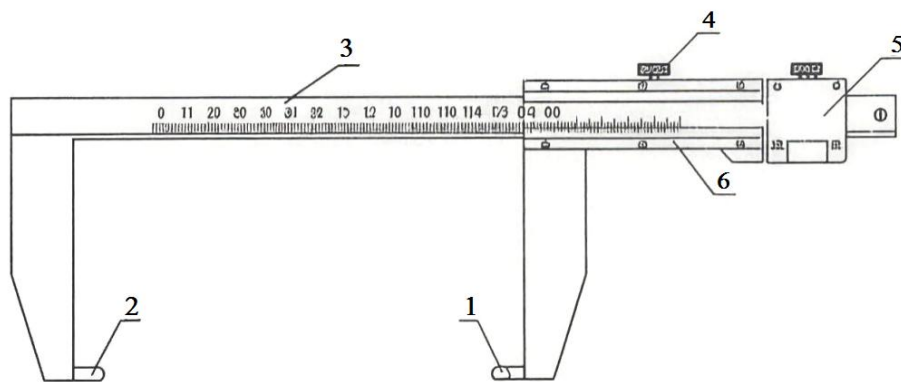


图4 游标式厚度尺结构示意图

1—活动测头；2—固定测头；3—主尺；4—锁紧螺钉；5—微调装置；6—游标

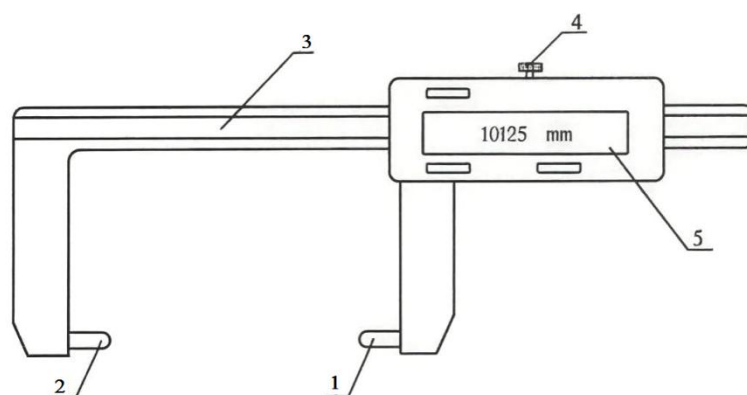


图5 数显式厚度尺结构示意图

1—活动测头；2—固定测头；3—主尺；4—锁紧螺钉；5—读数装置

4 计量特性

4.1 标记宽度和宽度差应符合表1的规定。

表1 标尺标记宽度和标记宽度差

mm

分度值	标尺标记宽度	标尺标记宽度差
0.02	0.08~0.18	0.02
0.05		0.03
0.10		0.05

4.2 游标对主尺的相对位置

游标式尺寸量具其游标标记面棱边至主尺标记面的距离应不大于 0.30 mm。

4.3 零值误差

游标“零”标记和“尾”标记应与主尺上相应标记重合，重合度应不大于 0.03 mm。

4.4 内距尺

4.4.1 表面粗糙度

测头的表面粗糙度 Ra 应不大于 $0.8 \mu\text{m}$ ，限位钩工作面的表面粗糙度 Ra 应不大于 $1.6 \mu\text{m}$ 。

4.4.2 限位钩工作面直线度

两端限位钩工作面直线度应不大于 0.10 mm 。

4.4.3 测杆中心线到限位钩工作面的距离差

固定测杆中心线和活动测杆中心线到限位钩工作面的距离差应不大于 0.5 mm 。

4.4.4 测力

活动测杆压缩至测量范围内任意位置，测力范围不超过 $(2\sim 12) \text{ N}$ 。

4.4.5 示值变动性

数显式内距尺的示值变动性应不大于 0.1 mm 。

4.4.6 示值误差

内距尺的最大允许误差为 $\pm 0.15 \text{ mm}$ 。

4.5 中心距尺

4.5.1 表面粗糙度

工作面的表面粗糙度 Ra 应不大于 $0.8 \mu\text{m}$ 。

4.5.2 内尺寸量爪基本尺寸偏差

两量爪合并时，内尺寸量爪基本尺寸应为 20 mm ，其偏差应符合表 2 的规定。

表 2 内尺寸量爪的基本尺寸偏差

mm

分度值	内尺寸量爪的基本尺寸偏差
0.02	± 0.01
0.05	± 0.02
0.10	± 0.03

4.5.3 示值误差

使用外尺寸量爪测量最大允许误差为 $\pm 0.05 \text{ mm}$ 【测量范围仅限于 $(0\sim 200) \text{ mm}$ 】，使用内尺寸量爪测量的最大允许误差为 $\pm 0.15 \text{ mm}$ 【测量范围仅限于 $(700\sim 1000) \text{ mm}$ 】。

4.6 厚度尺

4.6.1 表面粗糙度

工作面的表面粗糙度 Ra 应不大于 $0.8 \mu\text{m}$ 。

4.6.2 示值变动性

数显式厚度尺的示值变动性应不大于 0.02 mm 。

4.6.3 示值误差

厚度尺最大允许误差为 $\pm 0.05 \text{ mm}$ 。

注：以上指标要求均不用于合格性判断，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

环境温度： $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ ，温度波动不大于 $1 \text{ }^\circ\text{C/h}$ ；

相对湿度： $\leq 80 \%$ ；

校准前，制动盘尺寸量具和校准设备的平衡温度时间应不少于 2 h 。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备见表 3。

表 3 测量标准及其他设备

序号	测量设备	测量范围	技术要求
1	制动盘内距尺检具	——	见 JJG 1159—2018
2	平板	$(600 \times 1000) \text{ mm}$	1 级
3	工具显微镜或读数显微镜	$(100 \times 200) \text{ mm}$ $(0 \sim 8) \text{ mm}$	MPE: $\pm (1 \mu\text{m} + L/100)$ MPEV: $10 \mu\text{m}$
4	刀口形直尺	125 mm	MPE _s : $1.0 \mu\text{m}$
5	游标卡尺	$(0 \sim 150) \text{ mm}$	MPE: $\pm 0.03 \text{ mm}$
6	测力计	$(0 \sim 14) \text{ N}$	MPE: $\pm 5 \%$
7	量块	83 块组、12 块组、大 8 块组	5 等
8	外径千分尺	$(0 \sim 25) \text{ mm}$	MPE: $\pm 4 \mu\text{m}$
9	表面粗糙度样块	$Ra (0.012 \sim 6.3) \mu\text{m}$	$-17 \% \sim +12 \%$
10	塞尺	$(0.02 \sim 1.00) \text{ mm}$	MPE: $\pm (5 \sim 16) \mu\text{m}$

注：也可选用满足不确定度要求的其他设备。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准前检查

6.1.1 外观

量具表面不应有锈蚀、毛刺、划痕、裂纹等影响外观质量和使用的缺陷；量具的标记和数字均应清晰、完整；量具上应刻有制造厂名（代号或商标）及出厂编号。

6.1.2 各部分相互作用

6.1.2.1 尺框沿尺身移动应手感平稳，不应有阻滞或松动现象。数字显示无黑斑和闪跳现象，各按钮功能稳定、工作可靠。

6.1.2.2 各紧固螺钉和微调装置的作用应可靠。

6.1.2.3 主尺应有足够的长度裕量，以保证在测量范围上限时尺框及微调装置在主尺之内。

6.1.2.4 游标尺刻线与主标尺刻线应平行，无目力可见的倾斜。

6.2 标记宽度和宽度差

用读数显微镜或工具显微镜测量。分别在主尺和游标上各抽 3 条标记测量其宽度，测量结果的最大值与最小值之差即为宽度差。

6.3 游标对主尺的相对位置

用塞尺进行比较测量。

6.4 零值误差

移动尺框，将游标“零”标记对准主尺任一标记，目力观察游标“尾”标记与主尺相应标记的重合程度，应在尺框紧固和松开的情况下分别进行。必要时用读数显微镜进行测量。

6.5 表面粗糙度

用表面粗糙度比较样块比较测量。

6.6 内距尺

6.6.1 限位钩工作面的直线度

用刀口尺和塞尺配合测量。在限位钩工作面的长边方向上，将刀口尺工作棱边与工作面贴合，用塞尺测量二者间隙，其最大值即为测量结果。

6.6.2 测杆中心线到限位钩工作面的距离差

用游标卡尺测量限位钩工作面至固定测杆最近母线的距离及固定测杆直径，则固定测杆中心线到限位钩工作面的距离按公式 (1) 计算。

$$L = L_a + D/2 \quad (1)$$

式中：

L ——固定测杆中心线到限位钩工作面的距离，mm；

L_a ——限位钩工作面至固定测杆最近母线的距离，mm；

D ——固定测杆直径，mm。

活动测杆中心线到限位钩工作面距离的测量方法同上。

两次测得的距离之差即为测杆中心线到限位钩工作面的距离差。

6.6.3 测力

用测力计工作端压缩活动测杆至测量范围的始端和末端，分别读取测力计示值。取其最大值作为测量结果。

6.6.4 示值变动性

用内距尺检具进行测量。将检具锁定在内距尺测量范围内任意值，再将数显式内距尺置于检具上进行测量，在重复性条件下测量 5 次，测量结果的最大值与最小值之差即为示值变动性。

6.6.5 示值误差

用内距尺检具进行测量。在测量范围内均布 3 点进行。先将内距量杆放在内距尺检具上，调整微分筒，使检具测量面接触内距量杆，读取检具示值。然后将检具分别调整至相应校准点并锁定，将内距尺置于检具上进行测量。

内距尺示值误差按公式 (2) 计算。

$$\Delta_i = L_i - (A_i - A_0 + L_0) \quad (2)$$

式中：

Δ_i ——第 i 个测量点示值误差，mm；

L_i ——第 i 个测量点制动盘内距尺示值，mm；

A_i ——第 i 个测量点检具读数，mm；

A_0 ——测量内距量杆时检具读数，mm；

L_0 ——内距量杆的实际值，mm。

6.7 中心距尺

6.7.1 内尺寸量爪的基本尺寸偏差

测量时合并两内尺寸量爪,用外径千分尺测量两内尺寸量爪测头之间的距离,测得值与基本尺寸之差为基本尺寸偏差。

6.7.2 示值误差

用5等量块和量块夹持器配合校准。测量外尺寸时,使用量块直接测量;测量内尺寸时,需要将量块和量块夹持器配合使用。测量时要保证量块轴线与尺身平行。

测量点的分布:对于测量范围为(0~200)mm,不少于均匀分布3点,分别为51.20 mm, 121.50 mm, 191.80 mm;对于测量范围为(700~1000)mm,不少于均匀分布3点,其测量点为751.3 mm, 851.6 mm, 951.9 mm或751.2 mm, 851.5 mm, 951.8 mm。可以根据实际使用情况增加测量点位。

示值误差的校准应在螺钉紧固和松开两种状态下进行。测量结果与量块实际尺寸之差即为该点示值误差。

6.8 厚度尺

6.8.1 示值变动性

测量范围内选取任一点,在相同条件下,用数显式厚度尺对同一量块重复测量5次,最大值与最小值之差即为示值变动性。

6.8.2 示值误差

用5等量块校准。在测量范围内均布不少于5点进行测量,对于(0~150)mm的厚度尺,其测量点为31.1 mm、61.2 mm、91.3 mm、121.4 mm、141.5 mm。测量结果与量块实际尺寸之差即为该点示值误差。取各校准点中绝对值最大的示值误差为该尺的示值误差。

示值误差的校准应在螺钉紧固和松开两种状态下进行。

7 校准结果表达

校准应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息:

- a) 标题:“校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;

- c) 进行校准的地点(如果与实验室地点不同);
- 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) 被校仪器的描述和明确标识(如型号、产品编号等);
- g) 进行校准的日期;
- h) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称和代号;
- 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说明;
- l) 校准员及核验员的签名;
- 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声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

校准原始记录格式见附录 A, 校准证书内页格式见附录 B, 不确定度评定示例见附录 C、附录 D、附录 E。

8 复校时间间隔

复校时间间隔建议为 12 个月。

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。

附录 A

制动盘尺寸量具校准记录格式 (推荐性)

A.1 内距尺校准记录格式

内距尺校准记录

编号:

送校单位		制造厂		出厂编号	
测量范围		环境温度	°C	相对湿度	%
型号规格		校准日期	年	月	日

本次校准使用的主要计量器具:

标准器名称	出厂编号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	溯源机构及证书编号	有效期至

数据记录:

表面粗糙度 R_a	测量头/ μm		限位钩/ μm				
游标对主尺的相对位置/mm			零值误差/mm				
标记宽度/mm			标记宽度差/mm				
限位钩工作面的直线度/mm			测力/N				
测杆中心线到限位钩工作面的距离差/mm							
示值变动性	次数	1	2	3	4	5	结果
	读数/mm						
示值误差/mm	测量点	内距尺读数	检具读数	量杆读数	量杆实际值	测量结果	
	1						
	2						
	3						

校准员:

核验员:

年 月 日

A.2 中心距尺校准记录格式

中心距尺校准记录

编号:

送校单位		制造厂		出厂编号	
测量范围		环境温度	°C	相对湿度	%
型号规格		校准日期		年	月 日

本次校准使用的主要计量器具:

标准器名称	出厂编号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	溯源机构及证书编号	有效期至

数据记录:

序号	校准项目		结果				
1	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$						
2	标记宽度/mm						
3	标记宽度差/mm						
4	游标对主尺的相对位置/mm						
5	零值误差/mm						
6	内尺寸量爪的基本尺寸偏差/mm						
7	示值误差	外量爪	测量点	1	2	3	结果
			测量值/mm				
		内量爪	测量点	1	2	3	结果
			测量值/mm				

校准员:

核验员:

年 月 日

A.3 厚度尺校准记录格式

厚度尺校准记录

编号:

送校单位		制造厂		出厂编号	
测量范围		环境温度	℃	相对湿度	%
型号规格		校准日期	年 月 日		

本次校准使用的主要计量器具:

标准器名称	出厂编号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	溯源机构及证书编号	有效期至

数据记录:

序号	校准项目				结果			
1	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$							
2	标记宽度/mm							
3	标记宽度差/mm							
4	游标尺对主尺的相对位置/mm							
5	零值误差/mm							
7	示值变动性	次数	1	2	3	4	5	结果
		读数/mm						
8	示值误差	测量点	1	2	3	4	5	结果
		测量值/mm						

校准员:

核验员:

年 月 日

附录 B

校准证书内页格式 (推荐性)

B.1 内距尺校准证书内页格式

校准结果

序号	校准项目	结果
1	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	
2	标记宽度/mm	
3	标记宽度差/mm	
4	游标对主尺的相对位置/mm	
5	零值误差/mm	
6	限位钩工作面的直线度/mm	
7	测杆中心线到限位钩工作面的距离差/mm	
8	测力/N	
9	示值变动性/mm	
10	示值误差/mm	

示值误差的扩展不确定度:

B.2 中心距尺校准证书内页格式

校准结果

序号	校准项目	结果
1	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	
2	标记宽度/mm	
3	标记宽度差/mm	
4	游标对主尺的相对位置/mm	
5	零值误差/mm	
6	内尺寸量爪的基本尺寸偏差/mm	
7	示值误差/mm	

示值误差的扩展不确定度：

B.3 厚度尺校准证书内页格式

校准结果

序号	校准项目	结果
1	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	
2	标记宽度/mm	
3	标记宽度差/mm	
4	游标尺对主尺的相对位置/mm	
5	零值误差/mm	
6	示值变动性/mm	
7	示值误差/mm	

示值误差的扩展不确定度：

附录 C

内距尺示值误差的不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 环境条件：环境温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 80%。

C.1.2 校准用标准器：内距尺检具

C.1.3 被校对象：数显式内距尺，分辨力为 0.01 mm，测量范围 (785~805) mm。

C.1.4 校准方法：用内距尺检具进行测量。在测量范围内均布 3 点进行。先将内距量杆放在内距尺检具上，调整微分筒，使检具测量面接触内距量杆，读取检具示值。然后将检具分别固定在相应校准点并锁定，再将内距尺置于检具上进行测量。

C.2 测量模型

$$\Delta_i = L_i - (A_i - A_0 + L_0) \quad (\text{C.1})$$

式中：

Δ_i ——第 i 个测量点示值误差，mm；

L_i ——第 i 个测量点制动盘内距尺示值，mm；

A_i ——第 i 个测量点检具读数，mm；

A_0 ——测量内距量杆时检具读数，mm；

L_0 ——内距量杆的实际值，mm。

C.3 方差和灵敏系数

$$u_c^2 = c_1^2 u_{L_i}^2 + c_2^2 u_{A_i}^2 + c_3^2 u_{A_0}^2 + c_4^2 u_{L_0}^2 \quad (\text{C.2})$$

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta_i}{\partial L_i} = 1; \quad c_2 = \frac{\partial \Delta_i}{\partial A_i} = -1; \quad c_3 = \frac{\partial \Delta_i}{\partial A_0} = 1; \quad c_4 = \frac{\partial \Delta_i}{\partial L_0} = -1$$

u_{L_i} 、 u_{A_i} 、 u_{A_0} 、 u_{L_0} 分别表示 L_i 、 A_i 、 A_0 、 L_0 的标准不确定度。

C.4 标准不确定度评定

C.4.1 内距尺测量值 L_i 的标准不确定度分量 u_{L_i}

内距尺测量值 L_i 的标准不确定度主要来源是分辨力、测量重复性引入的标准不确定度分量、测杆中心线到限位钩工作面的距离差引入的标准不确定度分量。

C.4.1.1 内距尺分辨力、测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

C.4.1.1.1 内距尺分辨力引入的标准不确定度分量 u_{11}

内距尺的分辨力为 0.01 mm，区间半宽为 5 μm ，服从均匀分布，则

$$u_{11} = \frac{5 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 2.9 \mu\text{m}$$

C.4.1.1.2 内距尺测量重复性引入的标准不确定度分量 u_{12}

将内距尺检具锁定在 $L=800 \text{ mm}$ ，再将内距尺置于检具上进行测量。在重复条件下测量 10 次。测量数据见表 C.1:

表 C.1 测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
偏差值/mm	0.01	0.03	0.02	-0.02	0.01	0.02	-0.01	0.03	-0.02	0.02

经计算得到标准偏差

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 19 \mu\text{m}$$

则 $u_{12} = s = 19 \mu\text{m}$ 。

分辨力和测量重复性引入的标准不确定度分量，取两者之中的最大值，故 $u_1 = 19 \mu\text{m}$ 。

C.4.1.3 测杆中心线到限位钩工作面的距离差引入的标准不确定度分量 u_2

测杆中心线到限位钩工作面的距离差应不大于 0.5 mm。根据试验数据得到其对轴线方向的影响为 0.02 mm，区间半宽为 10 μm ，服从均匀分布，则引入的不确定度分量:

$$u_2 = \frac{10 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 5.8 \mu\text{m}$$

以上各分量相互独立，则其引入的合成不确定度

$$u_{L_i} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{19^2 + 5.8^2} = 20.7 \mu\text{m}$$

C.4.2 内距尺检具示值误差引入的不确定度分量 u_{A_i}

内距尺检具的示值误差 MPE: $\pm 4 \mu\text{m}$ ，区间半宽为 4 μm ，服从均匀分布，则

$$u_{A_i} = \frac{4 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 2.3 \mu\text{m}$$

C.4.3 内距尺检具读数引入的不确定度分量 u_{A_0}

内距尺检具的分辨力为 0.01 mm，区间半宽为 5 μm ，按均匀分布计算：

$$u_{A_0} = \frac{5 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 2.9 \mu\text{m}$$

C.4.4 内距量杆引入的不确定度分量 u_{L_0}

内距量杆的扩展不确定度为 $U = 0.02 \text{ mm}$ ($k=2$)，则

$$u_{L_0} = \frac{20 \mu\text{m}}{2} = 10 \mu\text{m}$$

C.5 标准不确定度汇总表

表 C.2 不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度值 u_i (μm)	灵敏系数 c_i	不确定度分量 $ c_i u_i$ (μm)
u_{L_i}	u_1	19	1	20.7
	u_2	5.8		
u_{A_i}	内距尺检具示值误差	2.3	-1	2.3
u_{A_0}	内距尺检具读数	2.9	1	2.9
u_{L_0}	内距量杆	10	-1	10

C.6 合成不确定度 u_c

$$u_c^2 = c_1^2 u_{L_i}^2 + c_2^2 u_{A_i}^2 + c_3^2 u_{A_0}^2 + c_4^2 u_{L_0}^2$$

$$u_c = \sqrt{1^2 \times 20.7^2 + (-1)^2 \times 2.3^2 + 1^2 \times 2.9^2 + (-1)^2 \times 10^2} = 23.3 \mu\text{m}$$

C.7 扩展不确定度 U

取 $k = 2$ ， $U = k \times u_c = 2 \times 23.3 \mu\text{m} = 46.6 \mu\text{m} \approx 0.047 \text{ mm}$

则扩展不确定度为， $U = 0.047 \text{ mm}$ ， $k = 2$

附录 D

中心距尺示值误差的不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 环境条件：环境温度 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 80 %。

D.1.2 校准用标准器：5 等量块

D.1.3 被校对象：中心距尺，分辨力为 0.02 mm，测量范围 (0~1000) mm。

D.1.4 校准方法：以中心距尺外尺寸量爪示值误差校准为例。在 (0~200) mm 测量范围内均布 3 点，分别为 51.30 mm，131.60 mm，191.90 mm。用中心距尺外尺寸量爪对三组量块分别测量，读取相应示值。

D.2 测量模型

$$\Delta_i = L_i - l_i \quad (\text{D.1})$$

式中：

Δ_i ——第 i 个测量点示值误差，mm；

L_i ——第 i 个测量点中心距尺示值，mm；

l_i ——第 i 个测量点量块示值，mm。

D.3 方差和灵敏系数

$$u_c^2 = c_1^2 u_{L_i}^2 + c_2^2 u_{l_i}^2 \quad (\text{D.2})$$

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta_i}{\partial L_i} = 1; \quad c_2 = \frac{\partial \Delta_i}{\partial l_i} = -1$$

u_{L_i} 、 u_{l_i} 表示 L_i 、 l_i 的标准不确定度。

D.4 标准不确定度评定

D.4.1 中心距尺测量值 L_i 的标准不确定度分量 u_{L_i}

中心距尺测量值 L_i 的标准不确定度主要来源是分辨力、测量重复性引入的标准不确定度分量，中心距尺和量块间的线膨胀系数差引入的标准不确定度分量，中心距尺和量块间的温度差引入的标准不确定度分量。

D.4.1.1 中心距尺分辨力、测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

D. 4. 1. 1. 1 中心距尺分辨力引入的标准不确定度分量 u_{11}

中心距尺的分辨力为 0.02 mm，区间半宽为 10 μm ，服从均匀分布，则

$$u_{11} = \frac{10 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 5.8 \mu\text{m}$$

D. 4. 1. 1. 2 中心距尺测量重复性引入的标准不确定度分量 u_2

取一组 $L = 131.60 \text{ mm}$ 的量块，在重复条件下用中心距尺对其测量 10 次。
测量数据见表 D. 1:

表 D.1 测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 mm	131.62	131.60	131.62	131.62	131.60	131.62	131.62	131.60	131.60	131.62

经计算得到标准偏差

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 10 \mu\text{m}$$

在实际测量中，以 3 次测量值的算术平均值作为测量结果，因此：

$$u_{12} = \frac{s}{\sqrt{3}} = 5.8 \mu\text{m}$$

分辨力和测量重复性引入的标准不确定度分量，取两者之中的最大值，

故 $u_{L_i} = 5.8 \mu\text{m}$ 。

D. 4. 1. 2 中心距尺和量块间的线膨胀系数差引入的标准不确定度分量 u_2

中心距尺与量块的材质基本相同，两者膨胀系数差在 $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内服从三角分布，当 $L = 131.60 \text{ mm}$ 时，引入的不确定度分量：

$$u_2 = \frac{2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \times 0.13 \times 10^6 \times 5 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{6}} = 0.6 \mu\text{m}$$

D. 4. 1. 3 中心距尺和量块间的温度差引入的标准不确定度分量 u_3

中心距尺和量块经过恒温后，两者温度差在 $\pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ 范围内服从均匀分布，当 $L = 131.60 \text{ mm}$ 时，引入的不确定度分量：

$$u_3 = \frac{11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \times 0.13 \times 10^6 \times 1 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.9 \mu\text{m}$$

以上各分量相互独立, 则其引入的合成不确定度

$$u_{L_i} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{5.8^2 + 0.6^2 + 0.9^2} = 5.9 \mu\text{m}$$

D.4.2 量块引入的不确定度分量 u_{L_i}

取 $L=131.60 \text{ mm}$ 时, 5等量块的最大允许误差 MPE: $\pm 0.65 \mu\text{m}$, 区间半宽为 $0.65 \mu\text{m}$, 按均匀分布计算:

$$u_{L_i} = \frac{0.65 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.4 \mu\text{m}$$

D.5 标准不确定度汇总表

表 D.2 不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度值 $u_i (\mu\text{m})$		灵敏系数 c_i	不确定度分量 $ c_i u_i(\mu\text{m})$
u_{L_i}	测量重复性	5.8	5.9	1	5.9
	中心距尺和量块间的线膨胀系数差	0.6			
	中心距尺和量块间的温度差	0.9			
u_{L_i}	量块	0.4		-1	0.4

D.6 合成不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_{L_i}^2 + c_2^2 u_{L_i}^2} = \sqrt{1^2 \times 5.9^2 + (-1)^2 \times 0.4^2} = 5.9 \mu\text{m}$$

D.7 扩展不确定度 U

取 $k=2$, $U=k \times u_c=2 \times 5.9 \mu\text{m}=11.8 \mu\text{m}$

则扩展不确定度为, $U=11.8 \mu\text{m}$, $k=2$

附录 E

厚度尺示值误差的不确定度评定示例

E.1 概述

E.1.1 环境条件：环境温度 $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 80 %。

E.1.2 校准用标准器：5 等量块

E.1.3 被校对象：数显厚度尺，分辨力为 0.01 mm，测量范围 (0~150) mm。

E.1.4 校准方法：用 5 等量块校准。对于 (0~150) mm 的厚度尺，其测量点为 31.1 mm、61.2 mm、91.3 mm、121.4 mm、141.5 mm。用厚度尺对 5 组量块分别测量，读取相应示值。

E.2 测量模型

$$\Delta_i = l_i - L_i \quad (\text{E.1})$$

式中：

Δ_i ——第 i 个测量点示值误差，mm；

l_i ——第 i 个测量点厚度尺示值，mm；

L_i ——第 i 个测量点量块长度，mm；

E.3 方差和灵敏系数

$$u_c^2 = c_1^2 u_{l_i}^2 + c_2^2 u_{L_i}^2 \quad (\text{E.2})$$

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta_i}{\partial l_i} = 1; \quad c_2 = \frac{\partial \Delta_i}{\partial L_i} = -1$$

u_{l_i} 、 u_{L_i} 表示 l_i 、 L_i 的标准不确定度。

E.4 标准不确定度评定

E.4.1 厚度尺测量值 l_i 的标准不确定度分量 u_{l_i}

厚度尺测量值 L_i 的标准不确定度主要来源是分辨力、测量重复性引入的标准不确定度分量，厚度尺和量块间的线膨胀系数差引入的标准不确定度分量，厚度尺和量块间的温度差引入的标准不确定度分量。

E.4.1.1 厚度尺分辨力、测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1 E.4.1.1.1 厚度尺分辨力引入的标准不确定度分量 u_{11}

厚度尺的分辨力为 0.01 mm，区间半宽为 5 μm，服从均匀分布，则

$$u_{11} = \frac{5 \mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 2.9 \mu\text{m}$$

E. 4. 1. 1. 2 厚度尺测量重复性引入的标准不确定度分量 u_{12}

取一组 $L = 91.3 \text{ mm}$ 的量块，在重复条件下用厚度尺对其测量 10 次。测量数据见表 E. 1:

表 E.1 测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值/mm	91.31	91.29	91.30	91.31	91.30	91.30	91.29	91.29	91.30	91.31

经计算得到标准偏差

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = 8.2 \mu\text{m}$$

则 $u_{12} = s = 8.2 \mu\text{m}$ 。

分辨力和测量重复性引入的标准不确定度分量，取两者之中的最大值，

故 $u_1 = 8.2 \mu\text{m}$ 。

E. 4. 1. 2 厚度尺和量块间的线膨胀系数差引入的标准不确定度分量 u_2

厚度尺与量块的材质基本相同，两者膨胀系数差在 $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内服从三角分布，当 $L = 91.3 \text{ mm}$ 时，引入的不确定度分量：

$$u_2 = \frac{2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \times 0.09 \times 10^6 \times 5 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{6}} = 0.4 \mu\text{m}$$

E. 4. 1. 3 厚度尺和量块间的温度差引入的标准不确定度分量 u_3

厚度尺和量块经过恒温后，两者温度差在 $\pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ 范围内服从均匀分布，当 $L = 91.3 \text{ mm}$ 时，引入的不确定度分量：

$$u_3 = \frac{11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \times 0.09 \times 10^6 \times 1 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.6 \mu\text{m}$$

以上各分量相互独立，则其引入的合成不确定度

$$u_{L_i} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{8.2^2 + 0.4^2 + 0.6^2} = 8.2 \mu\text{m}$$

E. 4. 2 量块引入的不确定度分量 u_{L_i}

取 $L=91.3\text{ mm}$ 时, 5等量块的最大允许误差MPE: $\pm 0.6\text{ }\mu\text{m}$, 区间半宽为 $0.6\text{ }\mu\text{m}$, 按均匀分布计算:

$$u_{L_i} = \frac{0.6\text{ }\mu\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.3\text{ }\mu\text{m}$$

E.5 标准不确定度汇总表

表 E.2 不确定度汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度值 u_i (μm)		灵敏系数 c_i	不确定度分量 $ c_i u_i$ (μm)
u_i	测量重复性	8.2	8.2	1	8.2
	厚度尺和量块间的线膨胀系数差	0.4			
	厚度尺和量块间的温度差	0.6			
u_{L_i}	量块	0.3		-1	0.3

E.6 合成不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_i^2 + c_2^2 u_{L_i}^2} = \sqrt{1^2 \times 8.2^2 + (-1)^2 \times 0.3^2} = 8.2\text{ }\mu\text{m}$$

E.7 扩展不确定度 U

取 $k=2$, $U=k \times u_c=2 \times 8.2\text{ }\mu\text{m}=16.4\text{ }\mu\text{m}$

则扩展不确定度为, $U=16.4\text{ }\mu\text{m}$, $k=2$

