JJF（浙）

浙 江 省 地 方 计 量 技 术 规 范

JJF（浙）1176—2021

齿轮千分尺校准规范

Calibration Specification for Gear Micrometers

2021-03-05 发布　　2021-06-05 实施

浙江省市场监督管理局 发布

齿轮千分尺校准规范

Calibration Specification for Gear Micrometers

JJF(浙)1176-2021

归 口 单 位：浙江省市场监督管理局

主要起草单位：绍兴市质量技术监督检测院

杭州市质量技术监督检测院

参加起草单位：浙江双环传动机械股份有限公司

本规范技术条文由起草单位负责解释

主要起草人：

李　霞（绍兴市质量技术监督检测院）

楼绍基（绍兴市质量技术监督检测院）

胡丽华（杭州市质量技术监督检测院）

陆　益

参加起草人：

叶美平（浙江双环传动机械股份有限公司）

目　　录

引言……（Ⅲ）
1　范围……（1）
2　引用文件……（1）
3　概述……（1）
4　计量特性……（2）
4.1　测力和测力变化……（2）
4.2　微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离 ……（2）
4.3　微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记的相对位置……（2）
4.4　球测头的表面粗糙度……（2）
4.5　测微螺杆和测砧套上的可换球测头安装孔的孔径……（2）
4.6　球测头的直径误差……（3）
4.7　测微螺杆和测砧套上的可换球测头安装孔的同轴度……（3）
4.8　电子数显齿轮千分尺的示值重复性……（3）
4.9　电子数显齿轮千分尺任意位置时数值漂移……（3）
4.10 球测头对示值的影响……（3）
4.11 示值误差……（3）
4.12 电子数显齿轮千分尺的细分误差……（3）
5　校准条件 ……（3）
5.1　环境条件……（3）
5.2　校准项目和校准设备……（4）
6　校准方法 ……（4）
6.1　测力和测力变化……（4）
6.2　微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离 ……（5）
6.3　微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记的相对位置……（5）
6.4　球测头的表面粗糙度……（5）

6.5　测微螺杆和测砧套上的可换球测头安装孔的孔径……（6）
6.6　球测头的直径误差……（6）
6.7　测微螺杆和测砧套上的可换球测头安装孔的同轴度……（6）
6.8　电子数显齿轮千分尺的示值重复性……（7）
6.9　电子数显齿轮千分尺任意位置时数值漂移……（7）
4.10 球测头对示值的影响……（7）
6.11 示值误差……（7）
6.12 电子数显齿轮千分尺的细分误差……（8）
7　校准结果表达……（8）
8　复校时间间隔……（8）
附录A　齿轮千分尺示值误差测量结果的不确定度评定……（9）
附录B　电子数显齿轮千分尺示值误差测量结果的不确定度评定…… (14)
附录C　校准证书内容及内页格式…… (19)

引　　言

JJF1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001《通用计量术语及定义》、JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》、GB/T1216《外径千分尺》、GB/T36175《特殊结构的电子数显外径千分尺》共同构成齿轮千分尺的计量技术法规。

本技术规范首次发布。

齿轮千分尺校准规范

1 范围

本规范适用于分度值/分辨力为0.01mm、0.001mm，测量范围上限至175mm的齿轮千分尺的校准。

2 引用文件

JJF1001-2011 通用计量术语及定义

JJF1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

GB/T1216-2018 外径千分尺

GB/T36175-2018 特殊结构的电子数显外径千分尺

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）适用本规范。

3 概述

齿轮千分尺是利用螺旋副结构，把测微螺杆的旋转角度转换成测微螺杆的轴向位移，对尺架上两测量面间分隔的距离进行读数的计量器具，主要用于测量各种齿轮节圆直径。齿轮千分尺按读数形式分为标尺式和数显式，其外形结构如图1、图2所示。

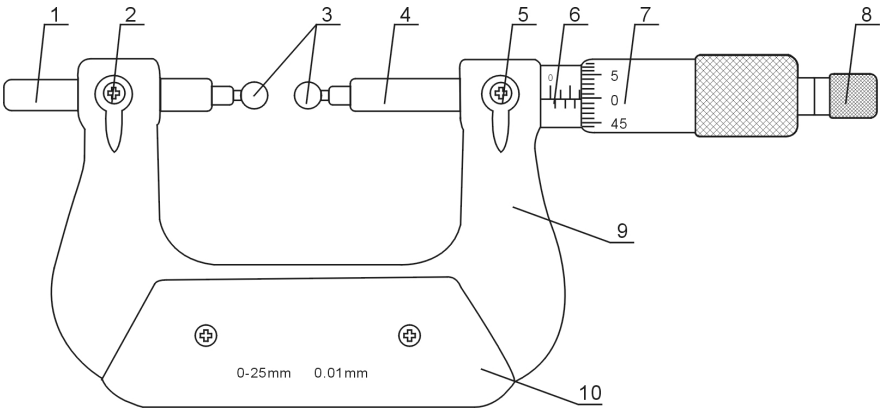


图1 齿轮千分尺

1—测砧套 2—测砧套锁紧装置 3—可换球测头 4—测微螺杆 5—测微螺杆锁紧装置
6—固定套管 7—微分筒 8—测力装置 9—尺架 10—隔热装置

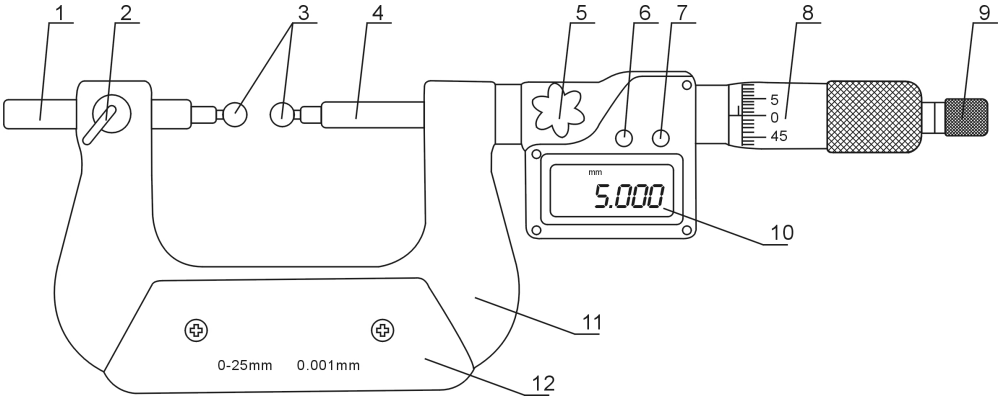


图 2　电子数显齿轮千分尺

1—测砧套 2—测砧套锁紧装置 3—可换球测头 4—测微螺杆 5—测微螺杆锁紧装置
6 电子数显装置 7 功能键 8—微分筒 9—测力装置 10—显示屏 11—尺架 12—隔热装置

4　计量特性

4.1 测力和测力变化

通过测力装置移动测微螺杆，使量仪测力仪的平面测量面与齿轮千分尺球面测量面接触的测力及测力变化应符合表 1 中的规定。

表 1 测力和测力变化

读数形式	测量范围/mm	测力/N	测力变化/N
标尺式	0～175	5～10	2
数显式		3～10	

4.2 微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离

微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离不大于 0.4mm。

4.3 微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记的相对位置

当微分筒上的零标尺标记与固定套管纵标尺标记对准时，微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记右边缘应相切，若不相切，压线不大于 0.05mm，离线不大于 0.10mm。

4.4 球测头的表面粗糙度

球测头工作面的表面粗糙度不超过 R_a 0.40μm。

4.5 测微螺杆和测砧套上的可换球测头安装孔的孔径

测微螺杆和测砧套上的可换球测头安装孔的孔径为 ϕ3.5mm， ϕ5mm，公差为 H7。

4.6 球测头的直径误差

球测头的直径误差不大于 2μm。

4.7 测微螺杆和测砧套上的可换球测头安装孔的同轴度

应不超过 φ0.005mm。

4.8 电子数显齿轮千分尺的示值重复性

电子数显齿轮千分尺的示值重复性不大于 1μm。

4.9 电子数显齿轮千分尺任意位置时数值漂移

电子数显齿轮千分尺在任意位置时的数值漂移应不大于 1μm/h。

4.10 球测头对示值的影响

齿轮千分尺可换球测头对示值的影响应不超过表 2 中的规定。

表 2　可换球测头对示值的影响

可换球测头直径/mm	可换球测头对示值的影响/μm
d≤1	2
1＜d≤5	2
d＞5	1

4.11 示值误差

齿轮千分尺示值最大允许误差应不超过表 3 中的规定。

表 3　示值最大允许误差

测量范围/mm	最大允许误差/μm
0～25，25～50	±4
50～75，75～100	±5
100～125,125-150	±6
150-175	±7

4.12 电子数显齿轮千分尺的细分误差

电子数显齿轮千分尺数显装置的细分误差应不大于±2μm。

注：校准工作不判断合格与否，上述计量特性要求仅供参考。

5 校准条件

5.1　环境条件

测量齿轮千分尺的室内温度和平衡温度的时间一般不超过表 4 中的规定。室内相对湿度不大于 70%RH。

表 4　室内温度和室内平衡温度的时间

读数形式	测量范围/mm	室内温度对 20℃的允许偏差/℃	平衡温度的时间/h
标尺式	0～100	±5	2
	＞100～175	±3	3
数显式	0～100	±3	3
	＞100～175	±2	4

5.2　校准项目和校准设备

齿轮千分尺校准项目和校准设备见表 5。

表 5　校准项目和校准设备

序号	校准项目	主要校准设备
1	测力和测力变化	量仪测力仪：MPE：±2.0%
2	微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离	工具显微镜：MPE：±（1+L/100）μm 塞尺：　MPE：±（5～16）μm
3	微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记的相对位置	—
4	球测头的表面粗糙度	表面粗糙度比较样板： MPE：＋12%～－17%
5	测微螺杆和测砧套上的可换球测头安装孔的孔径	光滑极限量规 H7
6	球测头的直径误差	测长仪 MPE：±（0.5+L/200）μm
7	测微螺杆和测砧套上的可换球测头安装孔的同轴度	同轴度专用量规：MPEV：0.005mm
8	电子数显齿轮千分尺的示值重复性	5 等量块
9	电子数显齿轮千分尺任意位置时数值漂移	—
10	球测头对示值的影响	—
11	示值误差	5 等量块
12	电子数显齿轮千分尺的细分误差	微分筒或 5 等量块

6 校准方法

首先检查外观,确定没有影响计量特性因素后再进行测量。

6.1 测力和测力变化

调整量仪测力仪安装位置，确保量仪测力仪的平面测量面与齿轮千分尺测微螺杆球面测量面的有效接触。在测量上限、测量下限两极限位置上，在

量仪测力仪上分别读取两个测力数值，取最大值作为测力，两测力数值之差作为测力变化。（0～25）mm 齿轮千分尺，测量下限在 10mm 左右。

6.2 微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离

用 0.4mm 塞尺置于固定套管标尺标记表面上以比较法测量，微分筒锥面的棱边上边缘不应高于塞尺的表面，测量应在微分筒任意一周内不小于 3 个位置上进行。也可以用工具显微镜上测量，见图 3。

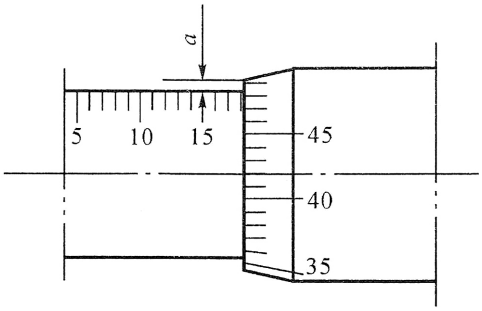
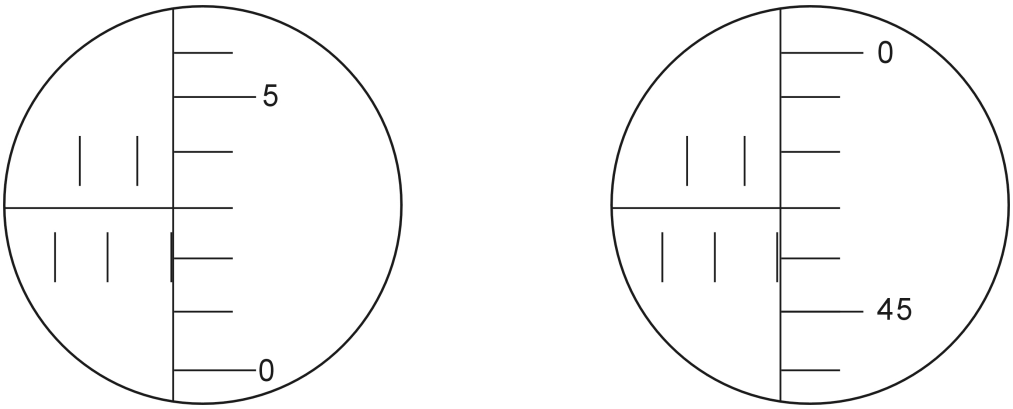


图 3　微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离

6.3 微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记的相对位置

首先将齿轮千分尺测量下限调整正确，转动微分筒使其零标尺标记与固定套管的纵向标尺标记对准，观察微分筒锥面的端面是否与固定套管毫米标尺标记的右边缘相切。若不相切，转动微分筒使其相切，在微分筒上读出其零点标尺标记对固定套管纵向标尺标记的偏移量，该偏移量即为离线或压线的数值的测量结果，见图 4。



（a）压线 0.03mm　　（b）离线 0.03mm

图 4 微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记的相对位置

6.4 球测头的表面粗糙度

用表面粗糙度比较样块比较测量。在进行比较时，所用的表面粗糙度比较样块和被检测量面的加工方法应该相同，表面粗糙度比较样块的材料、形状、表面色泽等也尽可能与被检测量面一致。以相应表面粗糙度比较样块的标称值作为测量结果。

6.5 测微螺杆和测砧套装置上的可换球测头安装孔的孔径

用光滑极限量规进行测量。光滑极限量规应符合 JJG343-2012《光滑极限量规检定规程》中 IT7 的要求。

6.6 球测头的直径误差

将测长仪上安装平面测量头，测量球测头的上下测量面方向和左右测量面方向，每个测量面方向测量二次取平均值；计算各个平均值与标准值之差，取其绝对值的最大值作为测量结果。

6.7 测微螺杆和测砧套上的可换球测头安装孔的同轴度

用同轴度专用量规测量。将同轴度专用量规的两端圆柱应能顺利插入测微螺杆及测砧套上的孔中。 ϕA 应符合 ϕ3.5mm， ϕ5mm 的二种规格，公差为 H7 的要求，见图 5 和表 6 中的规定。

表 6　同轴度专用量规　　mm

测量范围	L	ϕB±0.1
0～25	35	6
25～50	60	6
50～75	85	6
75～100	110	8
100～125	135	8
125～175	165	8

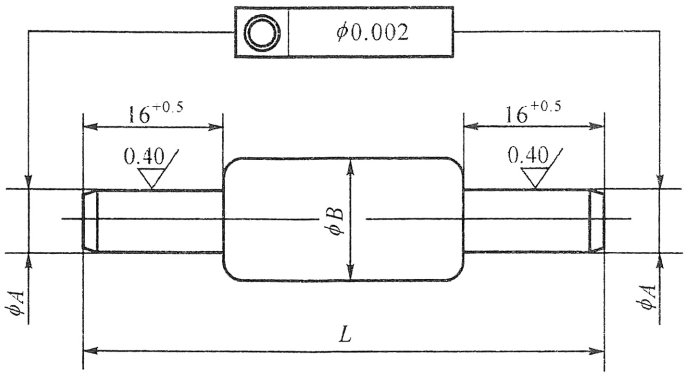


图 5 **同轴度专用量规**

6.8 电子数显齿轮千分尺的示值重复性

在相同测量条件下重复测量五次分别读数，示值重复性以最大读数值与最小读数值的差值确定。

6.9 电子数显齿轮千分尺任意位置时数值漂移

在测量范围内的任意位置锁紧测微螺杆，观察 1h 内显示值的变化不超过规定值。

6.10 球测头对示值的影响

首先旋转测微螺杆使一对可换球测头接触并对好零位，在测砧套上的可换球测头向一个方向旋转 90° 测得一个数据，再将测微螺杆上的可换球测头向反方向旋转 180° 测得一个数据，同样的测量过程还应在测砧套上的可换球测头另外三个 90° 上和测微螺杆上的可换球测头另外三个 180° 上进行，8 次测量结果中的最大值与最小值之差作为球测头对示值的影响。

测量范围大于25mm的齿轮千分尺在相当于测量范围下限的量块和一对可换球测头接触对好零位，再按上述测量方法测量。

6.11 示值误差

6.11.1 齿轮千分尺示值误差用 5 等专用量块进行测量。各种齿轮千分尺受检点应均匀分布测量范围内的 5 点上，如表 7 中所示。读取齿轮千分尺指示值或显示值与各相应量块尺寸的差值，取各受检点中绝对值最大的示值误差为该尺的示值误差，示值误差均不应超过表 3 中的规定。

6.11.2 测量上限大于 100mm 的齿轮千分尺，将专用量块依次研合在相当于齿轮千分尺测量范围下限的 5 等量块上依次进行测量。示值误差均不应超过表 3 中的规定。

齿轮千分尺示值误差 e 可由下式计算：

$$e=L_i-L_s$$

式中：

L_i —齿轮千分尺的示值（20℃条件下），mm；

L_s —量块的实际值（20℃条件下），mm。

表 7　受检点尺寸

测量范围/mm	量块组合体标称尺寸/mm
0～25	5.12　10.24　15.36　21.50　25 或 2.5　5.1　7.7　10.3　12.9　15　17.6　20.2　22.8　25
＞25	A＋5.12　A＋10.24　A＋15.36　A＋21.50　A＋25 或 A＋2.5　A＋5.1　A＋7.7　A＋10.3　A＋12.9　A＋15 A＋17.6　A＋20.2　A＋22.8　A＋25
注：表中 A 为测量下限值	

6.12 电子数显齿轮千分尺的细分误差

在测量范围任一位置上，沿测量方向转动微分筒，每间隔 0.04mm 测量一次，共测量 12 点，分别读出各测量点数显装置上的显示值与微分筒读数值之差。其最大差值应符合规定的要求。

对于没有微分筒的电子数显齿轮千分尺，可用量块测量。

7 校准结果表达

经校准的齿轮千分尺发给校准证书。

校准证书及内页格式见附录 C。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由齿轮千分尺的使用情况、使用者、齿轮千分尺本身质量等诸因素所决定的，因此，送检单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。一般情况下，建议复校时间间隔为一年。

附录 A

齿轮千分尺示值误差测量结果的不确定度评定

A.1 测量方法

依据本规范，测量范围（0～100）mm，检测温度为（20±5）℃，测量范围大于 100mm，检测温度为（20±4）℃。分度值为 0.01mm 齿轮千分尺示值误差的测量是在规定条件下用 5 等量块进行的。下面仅对（0～25）mm、（75～100）mm、（150～175）mm 齿轮千分尺的测量范围上限点的示值误差，进行测量结果的测量不确定度分析。

A.2 测量模型

齿轮千分尺的示值误差 e ：

$$e = L_m - L_b + L_m \cdot \alpha_m \cdot \Delta t_m - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b \qquad (A.1)$$

式中：L_m——齿轮千分尺的示值（20℃条件下）；

L_b——量块的长度值（20℃条件下）；

α_m 和 α_b ——分别是齿轮千分尺和量块的线胀系数；

Δt_m 和 Δt_b——分别是齿轮千分尺和量块偏离参考温度 20℃的数值。

A.3 方差和灵敏度系数

在公式(A.1)中:为简化运算,舍去微小量,并转化相关项影响。

令: $L \approx L_m \approx L_b \quad \alpha \approx \alpha_m \approx \alpha_b \quad \Delta t \approx \Delta t_m \approx \Delta t_b$

$\delta\alpha = \alpha_m - \alpha_b \qquad \delta t = \Delta t_m - \Delta t_b$

代入公式(A.1)后，经整理得:

$$e = L_m - L_b + L \cdot \Delta t \cdot \delta\alpha + L \cdot \alpha \cdot \delta t \qquad (A.2)$$

灵敏系数 c_i :

$$c_1 = \partial e / \partial L_m = 1 \qquad c_2 = \partial e / \partial L_b = -1$$

$$c_3 = \partial e / \partial \delta\alpha = L \cdot \Delta t \qquad c_4 = \partial e / \partial \delta t = L \cdot \alpha$$

依据不确定度传播律公式,输出量 e 估计值的方差为:

$$u_c{}^2 = u^2(e) = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 + c_3^2 \cdot u_3^2 + c_4^2 \cdot u_4^2 \qquad (A.3)$$

$$= u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 \cdot u_3^2 + (L \cdot \alpha)^2 \cdot u_4^2$$

A.4 不确定度来源分析

A.4.1、测量重复性引入的不确定度u_1；

A.4.2、量块引入的不确定度u_2；

A.4.3、齿轮千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度u_3；

A.4.4、齿轮千分尺和量块的温度差引入不确定度u_4。

A.5 标准不确定度一览表

L=25mm　　表 A.1　不确定度概算汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度（μm）	c_i	$\lvert c_i \rvert \times u(x_i)$（μm）
u_1	测量重复性	0.50	1	0.50
u_2	量块引入的不确定度	0.23	-1	0.23
u_3	齿轮千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度	0.58×10^{-6}℃$^{-1}$	$L\cdot\Delta t$	0.07
u_4	齿轮千分尺和量块的温度差引入不确定度	0.173℃	$L\cdot\alpha$	0.05
u_c=0.56μm				

L=100mm　　表 A.2　不确定度概算汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度（μm）	c_i	$\lvert c_i \rvert \times u(x_i)$（μm）
u_1	测量重复性	0.50	1	0.50
u_2	量块引入的不确定度	0.49	-1	0.49
u_3	齿轮千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度	0.58×10^{-6}℃$^{-1}$	$L\cdot\Delta t$	0.29
u_4	齿轮千分尺和量块的温度差引入不确定度	0.173℃	$L\cdot\alpha$	0.20
u_c=0.78μm				

L=175mm　　表 A.3　不确定度概算汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度（μm）	c_i	$\lvert c_i \rvert \times u(x_i)$（μm）
u_1	测量重复性	0.50	1	0.50
u_2	量块引入的不确定度	0.69	-1	0.69
u_3	齿轮千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度	0.58×10^{-6}℃$^{-1}$	$L\cdot\Delta t$	0.41
u_4	齿轮千分尺和量块的温度差引入不确定度	0.173℃	$L\cdot\alpha$	0.35
u_c=1.0μm				

A 6 标准不确定度计算

A.6.1 齿轮千分尺测量重复性引入的不确定度分量u_1

以25.00mm示值为例，齿轮千分尺用5等量块进行测量，重复测量10次，由贝塞尔公式得实验标准差

$$u_1=s=0.50\mu m$$

A.6.2 由对零位量块引入的不确定度分量u_{21}和受检点量块引入的不确定度分量u_{22}组成不确定度u_2的评定。

A.6.2.1 由对零位量块引入的不确定度为分量u_{21}

5等量块的测量不确定度为：（0.50μm+5×$10^{-6}L_n$），k=2.7。

齿轮千分尺测量上限L=25mm时:

被测量齿轮千分尺下限为零，不用对零量块，则：

$$u_{21}=0.00\mu m;$$

齿轮千分尺测量上限L=100mm时:

以75mm量块对零，不确定度为0.875μm，

$$u_{21}=0.875\mu m/2.7=0.32\mu m;$$

齿轮千分尺测量上限L=175mm时:

以150mm量块对零，不确定度为1.25μm，

$$u_{21}=1.25\mu m/2.7=0.46\mu m;$$

A.6.2.2 受检点量块引入的不确定度为分量u_{22}

5等量块的测量不确定度为（0.50μm+5×$10^{-6}L_n$），k=2.7。

齿轮千分尺测量上限25mm时:

$$u_{22}=(0.50+5\times25\times10^{3}\times10^{-6})\mu m/2.7=0.23\mu m$$

齿轮千分尺测量上限100mm时:

$$u_{22}=(0.50+5\times100\times10^{3}\times10^{-6})\mu m/2.7=0.37\mu m$$

齿轮千分尺测量上限175mm时:

$$u_{22}=(0.50+5\times175\times10^{3}\times10^{-6})\mu m/2.7=0.51\mu m$$

L=25mm时：

$$u_2=\sqrt{u_{21}^2+u_{22}^2}=\sqrt{0.00^2+0.23^2}=0.23\mu m$$

L=100mm时：

$$u_2=\sqrt{u_{21}^2+u_{22}^2}=\sqrt{0.32^2+0.37^2}=0.49\mu m$$

L=175mm 时：

$$u_2=\sqrt{u_{21}^2+u_{22}^2}=\sqrt{0.46^2+0.51^2}=0.69\mu m$$

A.6.3 齿轮千分尺与量块间线胀系数差引入的不确定度u_3

齿轮千分尺与量块间线胀系数均为： a=(11.5±1)×10^{-6}℃$^{-1}$；线胀系δa的界限为±1×10^{-6}℃$^{-1}$，服从均匀分布，$k=\sqrt{3}$，则：

$$u_3=1\times10^{-6}℃^{-1}/\sqrt{3}=0.58\times10^{-6}℃^{-1}$$

A.6.4 齿轮千分尺和量块间的温度差引入的不确定度u_4

齿轮千分尺和量块间的温度差存在，并以等概率落于估计区间(-0.2～+0.2)℃范围内，$k=\sqrt{3}$，则：

$$u_4=0.2℃/\sqrt{3}=0.173℃$$

A.7 合成标准不确定度u_c

检测测量范围不超过 100mm 的齿轮千分尺时，规范要求的温度允许偏差为Δt=±5℃；检测测量范围大于 100mm 的齿轮千分尺时，规范要求的温度允许偏差为Δt=±4℃，量块的线胀系数 a =11.5×10^{-6}℃$^{-1}$。

齿轮千分尺 L=25mm=0.025×10^6μm 时：

$$u_c^2=u_1^2+u_2^2+(L\cdot\Delta t)^2u_3^2+(L\cdot a)^2\cdot u_4^2$$

$$=(0.50)^2+(0.23)^2+(0.025\times10^6\mu m\times5℃\times0.58\times10^{-6}℃^{-1})^2+(0.025\times10^6\mu m\times11.5\times10^{-6}℃^{-1}\times0.173℃)^2$$

$$=0.31\mu m$$

$$u_c=0.56\mu m$$

齿轮千分尺 L=100mm=0.10×10^6μm 时：

$$u_c^2=u_1^2+u_2^2+(L\cdot\Delta t)^2u_3^2+(L\cdot a)^2\cdot u_4^2$$

$$=(0.50)^2+(0.49)^2+(0.10\times10^6\mu m\times5℃\times0.58\times10^{-6}℃^{-1})^2+(0.10\times10^6\mu m\times11.5\times10^{-6}℃^{-1}\times0.173℃)^2$$

$$=0.61\mu m$$

$$u_c=0.78\mu m$$

齿轮千分尺 L=175mm=0.175×10^6μm 时：

$$u_c^2=u_1^2+u_2^2+(L\cdot\Delta t)^2u_3^2+(L\cdot a)^2\cdot u_4^2$$

$$=(0.50)^2+(0.69)^2+(0.175\times10^6\mu m\times4℃$$

$\times 0.58\times 10^{-6}℃^{-1})^2+(0.175\times 10^6\mu m$

$\times 11.5\times 10^{-6}℃^{-1}\times 0.173℃)^2$

$=1.0\mu m$

$u_c=1.0\mu m$

A.8 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$

齿轮千分尺：

$L=25mm$ 时： $U=k\times u_c=2\times 0.56\mu m\approx 1.1\mu m$

$L=100mm$ 时： $U=k\times u_c=2\times 0.78\mu m\approx 1.6\mu m$

$L=175mm$ 时： $U=k\times u_c=2\times 1.00\mu m\approx 2.0\mu m$

经分析，检测齿轮千分尺示值误差的扩展不确定度与其最大允许误差的绝对值之比基本满足三分之一关系，可以开展测量。

附录 B

电子数显齿轮千分尺示值误差测量结果的不确定度评定

B.1 测量方法

依据本规范，测量范围（0～100）mm，检测温度为（20±3）℃，测量测范围大于 100mm，检测温度为（20±2）℃。分辨率为 0.001mm 电子数显齿轮千分尺示值误差的测量是在规定条件下用 5 等量块进行的。下面仅对（0～25）mm、（75～100）mm、（150～175）mm 电子数显齿轮千分尺的测量范围上限点的示值误差，进行测量结果的测量不确定度分析。

B.2 测量模型

电子数显齿轮千分尺的示值误差 e ：

$$e = L_m - L_b + L_m \cdot \alpha_m \cdot \Delta t_m - L_b \cdot \alpha_b \cdot \Delta t_b \qquad \text{（B.1）}$$

式中：L_m—电子数显齿轮千分尺的示值（标准条件下）；

L_b—量块的长度（标准条件下）；

α_m 和 α_b—分别是电子数显齿轮千分尺和量块的线胀系数；

Δt_m 和 Δt_b—分别是电子数显齿轮千分尺和量块偏离参考温度 20℃的数值。

B.3 方差和灵敏度系数

在公式(B.1)中:为简化运算,舍去微小量，转化相关项影响。

令: $L \approx L_m \approx L_b \quad \alpha \approx \alpha_m \approx \alpha_b \quad \Delta t \approx \Delta t_m \approx \Delta t_b$

$\delta\alpha = \alpha_m - \alpha_b \qquad \delta t = \Delta t_m - \Delta t_b$

代入公式(B.1)后，经整理得:

$$e = L_m - L_b + L \cdot \Delta t \cdot \delta\alpha + L \cdot \alpha \cdot \delta t \qquad \text{(B.2)}$$

灵敏系数 c_i :

$$c_1 = \partial e / \partial L_m = 1 \qquad c_2 = \partial e / \partial L_b = -1$$

$$c_3 = \partial e / \partial \delta\alpha = L \cdot \Delta t \qquad c_4 = \partial e / \partial \delta t = L \cdot \alpha$$

依据不确定度传播律公式,输出量 e 的估计值方差为:

$$\begin{aligned} u_c{}^2 &= u^2(e) = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 + c_3^2 \cdot u_3^2 + c_4^2 \cdot u_4^2 \qquad \text{（B.3）} \\ &= u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 \cdot u_3^2 + (L \cdot \alpha)^2 \cdot u_4^2 \end{aligned}$$

B.4 不确定度来源分析

B.4.1 测量重复性引入的不确定度u_1；

B.4.2 量块引入的不确定度u_2；

B.4.3 电子数显齿轮千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度u_3；

B.4.4 电子数显齿轮千分尺和量块的温度差引入不确定度u_4。

B.5 标准不确定度一览表

L=25mm 表 B.1 不确定度概算汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度（μm）	c_i	$\lvert c_i \rvert \times u(x_i)$（μm）
u_1	测量重复性	0.30	1	0.30
u_2	量块引入的不确定度	0.23	-1	0.23
u_3	电子数显齿轮千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度	0.58×10^{-6}℃$^{-1}$	$L\cdot\Delta t$	0.04
u_4	电子数显齿轮千分尺和量块的温度差引入不确定度	0.115℃	$L\cdot\alpha$	0.03
u_c=0.38μm				

L=100mm 表 B.2 不确定度概算汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度（μm）	c_i	$\lvert c_i \rvert \times u(x_i)$（μm）
u_1	测量重复性	0.30	1	0.30
u_2	量块引入的不确定度	0.49	-1	0.49
u_3	电子数显齿轮千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度	0.58×10^{-6}℃$^{-1}$	$L\cdot\Delta t$	0.17
u_4	电子数显齿轮千分尺和量块的温度差引入不确定度	0.115℃	$L\cdot\alpha$	0.13
u_c=0.61μm				

L=175mm 表 B.3 不确定度概算汇总表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度（μm）	c_i	$\lvert c_i \rvert \times u(x_i)$（μm）
u_1	测量重复性	0.30	1	0.30
u_2	量块引入的不确定度	0.69	-1	0.69
u_3	电子数显齿轮千分尺与量块的线胀系数差引入的不确定度	0.58×10^{-6}℃$^{-1}$	$L\cdot\Delta t$	0.20
u_4	电子数显齿轮千分尺和量块的温度差引入不确定度	0.115℃	$L\cdot\alpha$	0.23
u_c=0.81μm				

B.6 标准不确定度计算

B.6.1 电子数显齿轮千分尺测量重复性引入的不确定度分量u_1

以 25.00.mm 示值为例，电子数显齿轮千分尺用 5 等量块进行测量，重复测量 10 次，由贝塞尔公式得实验标准差

$$u_1=s=0.30\mu m$$

电子数显齿轮千分尺分辨力为 0.001mm，等概率分布在区间半宽 0.5μm 内，则由电子数显分辨力引入的不确定度为：$\frac{0.5}{\sqrt{3}}$ μm =0.29μm

由此可见，电子数显齿轮千分尺分辨力引入的不确定度分量小于电子数显齿轮千分尺测量重复性引入的不确定度分量，因此电子数显齿轮千分尺测量重复性引入的不确定度分量作为u_1。

B.6.2 由对零位量块引入的不确定度分量u_{21}和受检点量块引入的不确定度分量u_{22}组成不确定度u_2的评定。

B.6.2.1 由对零位量块引入的不确定度为分量u_{21}

5 等量块的测量不确定度为：（0.50μm+5×$10^{-6}L_n$），k=2.7。

电子数显齿轮千分尺测量上限 L=25mm 时:

被测量电子数显齿轮千分尺下限为零，不用对零量块，则：

$$u_{21}=0.00\mu m;$$

电子数显齿轮千分尺测量上限 L=100mm 时:

以 75mm 量块对零，不确定度为 0.875μm，

$$u_{21}=0.875\mu m\ /2.7=0.32\mu m;$$

电子数显齿轮千分尺测量上限 L=175mm 时:

以 150mm 量块对零，不确定度为 1.25μm，

$$u_{21}=1.25\mu m/2.7=0.46\mu m;$$

B.6.2.2 受检点量块引入的不确定度为分量u_{22}

5 等量块的测量不确定度为（0.5μm+5×$10^{-6}L_n$），k=2.7。

电子数显齿轮千分尺测量上限 25mm 时:

$$u_{22}=(0.50+5\times25\times10^{3}\times10^{-6})\ \mu m\ /2.7=0.23\mu m$$

电子数显齿轮千分尺测量上限 100mm 时:

$$u_{22}=(0.50+5\times100\times10^{3}\times10^{-6})\ \mu m\ /2.7=0.37\mu m$$

电子数显齿轮千分尺测量上限175mm时:

$$u_{22}=(0.50+5\times175\times10^{3}\times10^{-6})\ \mu m/2.7=0.51\mu m$$

L=25mm时：

$$u_2=\sqrt{u_{21}^2+u_{22}^2}=\sqrt{0.00^2+0.23^2}=0.23\mu m$$

L=100mm时：

$$u_2=\sqrt{u_{21}^2+u_{22}^2}=\sqrt{0.32^2+0.37^2}=0.49\mu m$$

L=175mm时：

$$u_2=\sqrt{u_{21}^2+u_{22}^2}=\sqrt{0.46^2+0.51^2}=0.69\mu m$$

B.6.3 电子数显齿轮千分尺与量块间线胀系数差引入的不确定度u_3

电子数显齿轮千分尺与量块间线胀系数均为： $a=(11.5\pm1)\times10^{-6}℃^{-1}$；线胀系数$\delta a$的界限为$\pm1\times10^{-6}℃^{-1}$,服从均匀分布,$k=\sqrt{3}$,则：

$$u_3=1\times10^{-6}℃^{-1}/\sqrt{3}=0.58\times10^{-6}℃^{-1}$$

B.6.4 电子数显齿轮千分尺和量块间的温度差引入的不确定度u_4

电子数显齿轮千分尺和量块间的温度差存在,并以等概率落于估计区间为(-0.2～+0.2)℃范围内,$k=\sqrt{3}$,则：

$$u_4=0.2℃/\sqrt{3}=0.115℃$$

B.7 合成标准不确定度u_c

检测测量范围不超过 100mm 的电子数显齿轮千分尺时，校准规范要求的温度允许偏差为$\Delta t=\pm3℃$；检测测量范围大于100mm的电子数显齿轮千分尺时，校准规范要求的温度允许偏差为$\Delta t=\pm2℃$，线胀系数$a=11.5\times10^{-6}℃^{-1}$。电子数显齿轮千分尺$L$=25mm=$0.025\times10^{6}\mu m$时：

$$\begin{aligned}u_c^2&=u_1^2+u_2^2+(L\cdot\Delta t)^2u_3^2+(L\cdot a)^2\cdot u_4^2\\&=(0.30)^2+(0.23)^2+(0.025\times10^{6}\mu m\times3℃\\&\times0.58\times10^{-6}℃^{-1})^2+(0.025\times10^{6}\mu m\\&\times11.5\times10^{-6}℃^{-1}\times0.115℃)^2\\&=0.14\mu m\\u_c&=0.38\mu m\end{aligned}$$

电子数显齿轮千分尺L=100mm=$0.10\times10^{6}\mu m$时：

$$\begin{aligned}u_c^2&=u_1^2+u_2^2+(L\cdot\Delta t)^2u_3^2+(L\cdot a)^2\cdot u_4^2\\&=(0.30)^2+(0.49)^2+(0.10\times10^{6}\mu m\times3℃\\&\times0.58\times10^{-6}℃^{-1})^2+(0.10\times10^{6}\mu m\times\end{aligned}$$

$11.5\times10^{-6}℃^{-1}\times0.115℃)^2$

$=0.38\mu m$

$u_c=0.61\mu m$

电子数显齿轮千分尺 L=175mm=$0.175\times10^6\mu m$ 时：

$$u_c^2=u_1^2+u_2^2+(L\cdot\Delta t)^2u_3^2+(L\cdot a)^2\cdot u_4^2$$

$=(0.30)^2+(0.69)^2+(0.175\times10^6\mu m\times2℃$

$\times0.58\times10^{-6}℃^{-1})^2+(0.175\times10^6\mu m$

$\times11.5\times10^{-6}℃^{-1}\times0.115℃)^2$

$=0.66\mu m$

$u_c=0.81\mu m$

B.8 扩展不确定度 U

取包含因子 k=2

电子数显齿轮千分尺：

L=25mm 时：　　$U=k\times u_c=2\times0.38\mu m\approx0.8\mu m$

L=100mm 时：　　$U=k\times u_c=2\times0.61\mu m\approx1.2\mu m$

L=175mm 时：　　$U=k\times u_c=2\times0.81\mu m\approx1.6\mu m$

经分析，检测电子数显齿轮千分尺示值误差的扩展不确定度与其最大误差的绝对值之比基本满足三分之一关系，可以开展测量。

附录C

校准证书内容及内页格式

C．1 校准证书应至少包括以下信息：

a）标题，如“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的应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h）如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校抽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，以及签发日期；

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。

C．2 校准证书内页格式

校准证书内页格式见表C.1

表 C.1　校准证书内页格式

温度：　　℃　　相对湿度：　　%

序号	校准项目	校准结果
1	测力和测力变化	
2	微分筒锥面的端面棱边至固定套管标尺标记面的距离	
3	微分筒锥面的端面与固定套管毫米标尺标记的相对位置	
4	球测头的表面粗糙度	
5	测微螺杆和测砧套上的可换球测头安装孔的孔径	
6	球测头的直径误差	
7	测微螺杆和测砧套上的可换球测头安装孔的同轴度	
8	电子数显齿轮千分尺的示值重复性	
9	电子数显齿轮千分尺任意位置时数值漂移	
10	球测头对示值的影响	
11	示值误差	
12	电子数显齿轮千分尺的细分误差	