



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1088—2002

外 径 千 分 尺 (测量范围 500mm~3000mm) 校 准 规 范

Calibration Specification for Micrometers with
Measuring Range from 500mm to 3000mm

2002-09-13 发布

2003-03-13 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

外径千分尺（测量范围

500 mm~3000mm）校准规范

Calibration Specification for Micrometers with

Measuring Range from 500mm to 3000mm

JJF 1088—2002
代替 JJG 193—1987

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2002 年 09 月 13 日批准，并自 2003 年 03 月 13 日起施行。

归口单位： 全国几何量工程参量计量技术委员会

主要起草单位： 黑龙江省计量检定测试院

哈尔滨市计量检定测试所

哈尔滨电机厂有限责任公司

本规范由归口单位负责解释

本规范主要起草人：

马 荃 （黑龙江省计量检定测试院）

王 利 （哈尔滨市计量检定测试所）

褚云库 （哈尔滨电机厂有限责任公司）

参加起草人：

毛力军 （哈尔滨市计量检定测试所）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(2)
4.1 测微螺杆的轴向窜动和径向摆动	(2)
4.2 测砧工作面与测微螺杆工作面的相对偏移量	(2)
4.3 测力	(3)
4.4 刻线宽度及宽度差	(3)
4.5 微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离	(3)
4.6 微分筒锥面的端面与固定套管上毫米刻线的相对位置	(3)
4.7 工作面的表面粗糙度	(3)
4.8 工作面的平面度	(3)
4.9 两工作面的平行度	(3)
4.10 测微头的示值误差	(4)
4.11 外径千分尺的示值误差	(4)
4.12 测贴为带表式外径千分尺的指示表	(4)
4.13 校对用的量杆	(4)
5 校准条件	(5)
5.1 环境条件	(5)
5.2 校准项目和标准器及其他设备	(5)
6 校准方法	(6)
6.1 测微螺杆的轴向窜动和径向摆动	(6)
6.2 测砧工作面与测微螺杆工作面的相对偏移量	(6)
6.3 测力	(7)
6.4 刻线宽度及宽度差	(7)
6.5 微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离	(7)

6.6 微分筒锥面的端面与固定套管上毫米刻线的相对位置·····	(7)
6.7 工作面的表面粗糙度·····	(7)
6.8 工作面的平面度·····	(7)
6.9 两工作面的平行度·····	(7)
6.10 测微头的示值误差 ·····	(8)
6.11 外径千分尺的示值误差 ·····	(9)
6.12 测砧为带表式外径千分尺的指示表 ·····	(9)
6.13 校对用的量杆 ·····	(9)
7 校准结果表达·····	(9)
8 复校时间间隔·····	(9)
附录 A 校准证书或校准报告内容 ·····	(10)
附录 B 外径千分尺示值误差校准结果的测量不确定度评定 ·····	(11)

外径千分尺（测量范围 500 mm～3 000 mm） 校准规范

1 范围

本规范适用于测量范围为（500～3 000）mm，分度值为 0.01 mm 外径千分尺的校准。

2 引用文献

本规范引用下列文献：

JJF 1001—1998 通用计量术语及定义

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

GB/T 1216—1985 外径千分尺

JB/T 10007—1999 大外径千分尺（测量范围为 1 000 mm 至 3 000 mm）

JJG 34—1996 指示表（百分表和千分表）检定规程

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 概述

外径千分尺是应用螺旋副结构的一种通用长度计量器具。主要用于测量各种外尺寸。它的外形结构示意图见图 1 和图 2，校对用的量杆见图 3。

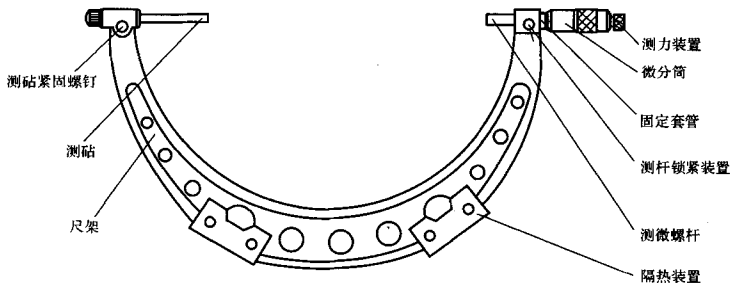


图 1 测砧为可换或可调式外径千分尺

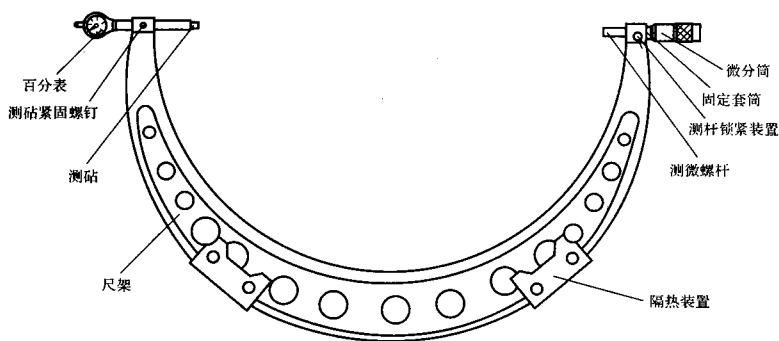


图2 测砧带表式外径千分尺

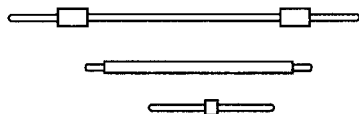


图3 校对用的量杆

4 计量特性

4.1 测微螺杆的轴向窜动和径向摆动

测微螺杆的轴向窜动和径向摆动量均不大于 0.01 mm。

4.2 测砧工作面与测微螺杆工作面的相对偏移量，该偏移量见表 1。

表 1 测砧工作面与测微螺杆工作面的相对偏移量

mm

测量范围	偏移量	测量范围	偏移量
500~600	1	1 000~1 500	2
600~700	1.2	1 500~2 000	2.5
700~800	1.4	2 000~2 500	3
800~900	1.6	2 500~3 000	3.5
900~1 000	1.8	—	—

4.3 测力

外径千分尺平工作面与球面接触时所作用的力为 (8~12) N。

4.4 刻线宽度及宽度差

固定套管上的纵刻线和微分筒上的刻线宽度为 (0.15~0.20) mm, 刻线宽度差应不大于 0.03 mm。

4.5 微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离

微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离应不大于 0.4 mm。

4.6 微分筒锥面的端面与固定套管上毫米刻线的相对位置

当微分筒零刻线与固定套管纵刻线对准时, 微分筒锥面的端面与固定套管毫米刻线的右边缘应相切。若不相切时, 允许压线应不大于 0.05 mm, 离线应不大于 0.1 mm。

4.7 工作面的表面粗糙度

外径千分尺和校对用量杆工作面的表面粗糙度应不大于 $R_a 0.05 \mu\text{m}$ 。

4.8 工作面的平面度

工作面的平面度应不大于 $1 \mu\text{m}$ 。

4.9 两工作面的平行度

两工作面的平行度应在表 2 规定的范围内。

表 2 外径千分尺示值误差和两工作面的平行度

型 式	测量范围/mm	示值误差/ μm	平行度/ μm
测砧为可换式 (或可调式) 的外径千分尺	500~600	± 14	12
	600~700	± 16	14
	700~800	± 18	16
	800~900	± 20	18
	900~1 000	± 22	20
	1 000~1 200	± 24	22
	1 200~1 400	± 28	26
	1 400~1 600	± 32	30
	1 600~1 800	± 36	34
	1 800~2 000	± 40	38
	2 000~2 200	± 44	42
	2 200~2 400	± 48	46
	2 400~2 600	± 52	50
	2 600~2 800	± 56	54
	2 800~3 000	± 60	58

表 2 (续)

型 式	测量范围/mm	示值误差/ μm	平行度/ μm
测砧为带表式 的外径千分尺	1 000~1 500	± 30	28
	1 500~2 000	± 40	38
	2 000~2 500	± 50	48
	2 500~3 000	± 60	58

4.10 测微头的示值误差

测微头示值范围为 (0~25) mm 的示值误差应不大于 $\pm 3 \mu\text{m}$; 示值范围为 (0~50) mm 应不大于 $\pm 5 \mu\text{m}$ 。

4.11 外径千分尺的示值误差

外径千分尺的示值误差应在表 2 规定的范围内。

4.12 测砧为带表式外径千分尺的指示表

测砧为带表式外径千分尺的指示表应符合分度值为 0.01 mm 的 1 级指示表的要求。

4.13 校对用的量杆

尺寸偏差和两测量工作面为平面的平行度在表 3 规定的范围内。另外, 对于球端面的校对用的量杆应附有接套。校对用的量杆应带有隔热套。

表 3 校对用的量杆尺寸偏差和两测量工作面为平面的平行度

标称尺寸/mm	尺寸偏差/ μm	平行度/ μm	标称尺寸/mm	尺寸偏差/ μm	平行度/ μm
525, 575	± 6	3	>1 600~1 800	± 18	9
625, 675	± 7	3.5	>1 800~2 000	± 20	10
725, 775	± 8	4	>2 000~2 200	± 22	11
825, 875	± 9	4.5	>2 200~2 400	± 24	12
925, 975	± 10	5	>2 400~2 600	± 26	13
>1 000~1 200	± 12	6	>2 600~2 800	± 28	14
>1 200~1 400	± 14	7	>2 800~3 000	± 30	15
>1 400~1 600	± 16	8			
注: 作为校准, 不判断合格与否, 上述计量特性的指标仅供参考。					

5 校准条件

5.1 环境条件

校准外径千分尺的室内温度在表4的规定范围内，在室内平衡温度的时间不少于表4的要求。

表4 校准外径千分尺的室内温度和室内平衡温度的时间

测量范围/mm	室内温度对20℃的允许偏差/℃		平衡温度的时间/h
	外径千分尺	校对用的量杆	
500~1 000	±3	±2	4
>1 000~2 000	±2	±1	5
>2 000~3 000	±1	±0.5	6

5.2 校准项目和标准器及其他设备

外径千分尺校准项目和标准器及其他设备见表5。

表5 外径千分尺校准项目和标准器及其他设备

序号	校 准 项 目	主 要 校 准 器 具
1	测微螺杆的轴向窜动和径向摆动	杠杆指示表：分度值为0.002 mm（1级） 量仪测力仪：2.5级
2	测砧工作面与测微螺杆工作面的相对偏移量	3级平板 指示表：分度值为0.01 mm（1级） 可调支撑
3	测力	量仪测力仪：2.5级
4	刻线宽度及宽度差	读数显微镜或工具显微镜： 准确度 $\leq 10\text{ }\mu\text{m}$
5	微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离	2级塞尺 读数显微镜或工具显微镜
6	微分筒锥面的端面与固定套管上毫米刻线的相对位置	—

表 5 (续)

序号	校 准 项 目	主 要 校 准 器 具
7	工作面的表面粗糙度	表面粗糙度比较样块： 误差 +12% ~ -17%
8	工作面的平面度	2 级平面平晶或 1 级刀口尺
9	两工作面的平行度	钢球式专用检具或其他专用检具、设备
10	测微头的示值误差	量块、专用辅助检具
11	外径千分尺示值误差	量块或内径千分尺 测长机：微米刻度尺示值误差 $\pm 0.25 \mu\text{m}$ 毫米刻度尺示值误差 $\pm (0.6 + L/200) \mu\text{m}$ 分米刻度尺示值误差 $\pm (0.5 + L/100) \mu\text{m}$
12	测砧为带表式外径千分尺的指示表	指示表类量具检定仪：示值误差不超过 $4 \mu\text{m}$
13	校对用的量杆	量块和测长机

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校准。

6.1 测微螺杆的轴向窜动和径向摆动

采用手感法校准。当有异议时，轴向窜动的校准采用杠杆指示表与测微螺杆测量面接触，沿测微螺杆轴向分别往返加力 (3~5) N，杠杆指示表示值的变化量即为轴向窜动量。

径向摆动量测量时，将测微螺杆伸出距尺架内端 10 mm，用杠杆指示表接触测微螺杆径向顶部，分别沿杠杆指示表测力方向和反方向加力 (2~3) N (要求在相互垂直的两个方向测量)，杠杆指示表示值的最大变化量即为径向摆动量。

6.2 测砧工作面与测微螺杆工作面的相对偏移量

在平板上用指示表校准。将外径千分尺平放在平板上的 3 个可调支撑上，在测微螺杆示值处于测量下限时，调整支撑使其测微螺杆轴线与平板工作面平行，然后用指示表测出测砧与测微螺杆在同一方位上至平板间的距离差 ΔX ，再用可调 V 形支撑把外径千分尺尺架转动 90° 后竖立固定于平板上，按上述方法测出 ΔY 。测砧工作面与测微螺杆工作面的相对偏移量 Δ 按下式求得：

$$\Delta = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (1)$$

此项校准也可以用其他专用设备和计算方法。

6.3 测力

用量仪测力仪的球工作面与外径千分尺工作面相接触后进行校准；带表测砧的测力也应进行校准。

6.4 刻线宽度及宽度差

用读数显微镜或工具显微镜校准。微分筒和固定套管的刻线应至少任意各抽查 3 条进行测量。

6.5 微分筒锥面的端面棱边至固定套管刻线面的距离

用 0.4 mm 的塞尺置于固定套管刻线面上用比较法校准，微分筒锥面的棱边上边缘不应高于塞尺表面。测量应在微分筒任意一周内不少于 3 个位置。也可以用读数显微镜或工具显微镜校准。

6.6 微分筒锥面的端面与固定套管上毫米刻线的相对位置

首先将外径千分尺测量下限调整正确，然后使微分筒锥面的端面与固定套管任意毫米刻线的右边缘相切，此时读取微分筒的零刻线与固定套管纵刻线的偏移量即为离、压线数值。见图 4。

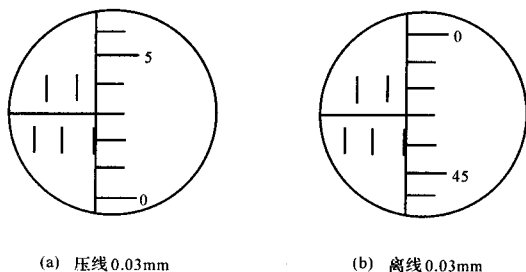


图 4

6.7 工作面的表面粗糙度

用表面粗糙度比较样块校准。

6.8 工作面的平面度

用 2 级平面平晶以技术光波干涉法校准。使用中和修理后的外径千分尺也可以用 1 级刀口尺以光隙法校准。工作面直径为 6.5 mm 的，距离边缘 0.2 mm 范围内不计；工作面直径为 8 mm 的，距离边缘 0.5 mm 范围内不计。

6.9 两工作面的平行度

用钢球式专用检具（见图 5）或相应准确度的其他专用检具及测量仪器进行校准。

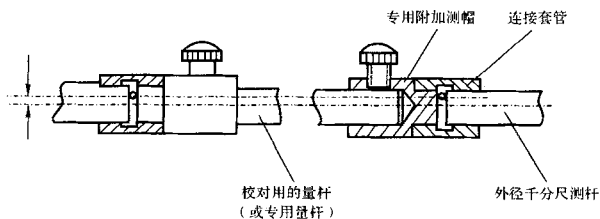


图 5 钢球式专用检具

对于测砧可换的，每个测砧依次安装上以后进行平行度测量。对于测砧可调的，两工作面的平行度应在测量上限和测量下限两个位置上进行测量。外径千分尺两工作面的平行度测量，必须使微分筒每隔 $1/4$ 转测量一次。

这一校准应在尺身处于水平位置状态下进行。

6.10 测微头的示值误差

用量块借助图 6 所示的专用检具校准。测微头示值误差测量点的分布：对于示值范围为 $(0 \sim 25)$ mm 的应均匀分布 5 点，即 5.12, 10.24, 15.36, 21.5, 25 mm；对于示值范围为 $(0 \sim 50)$ mm 的应均匀分布 10 点，即为 5.12, 10.24, 15.36, 21.5, 25, 30.12, 35.24, 40.36, 46.5, 50 mm。

螺旋副螺距为 1 mm 时其分布点为 5, 10.25, 15, 20, 25.5, 30, 35, 40.75, 45, 50 mm。

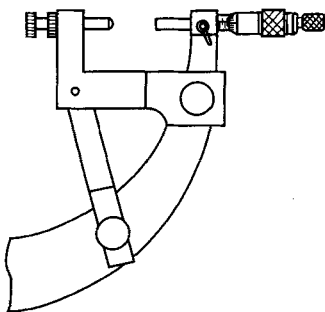


图 6

6.11 外径千分尺的示值误差

在两工作面的平行度和测微头的示值误差符合要求的情况下，外径千分尺的示值误差可以不进行校准。当需要对外径千分尺的示值误差进行校准时，可以根据对测量不确定度的要求，在适当环境条件下采用不同等级的量块进行校准。其分布点为

$$l = A + B \quad (2)$$

式中：A——测量下限，mm；

B——测微头示值误差的被测点尺寸，mm。

测量范围为1 m 以上的外径千分尺，在测量不确定度符合要求的条件下，也可以采用经过测长机校准后有修正值的内径千分尺进行示值校准。

示值误差的校准应在外径千分尺身处于水平位置状态下进行。

6.12 测砧为带表式外径千分尺的指示表

按 JJG 34—1996《指示表（百分表和千分表）检定规程》进行。

6.13 校对用的量杆

校对用的量杆的尺寸可在测长机上采用相应等级的量块以比较法进行校准。

对于球工作面的量杆，采用平面测帽进行测量。对于平工作面的量杆，采用球面测帽在如图 7 所示的 5 点上进行检查。5 点中的最大值与最小值之差即为量杆两工作面的平行度。

也可以用同等准确度的其他测量仪器进行校准。

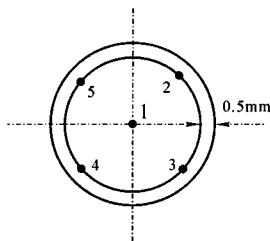


图 7

7 校准结果表达

经校准的外径千分尺发给校准证书，内容见附录 A。

8 复校时间间隔

可根据被校外径千分尺的使用情况，复校时间间隔由用户自行决定。

附录 A

校准证书或校准报告内容

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- 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) 送校单位的名称和地址；
- 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) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 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；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

附录 B

外径千分尺示值误差校准结果的测量不确定度评定

(测量范围 500 mm~3 000 mm)

B.1 测量方法

依据本规范, 外径千分尺的示值误差的校准, 是在所要求的测量不确定度指标下, 选择相应的测量环境和不同准确度的标准器进行校准的。现采用直接测量法, 测量温度选择为 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$, $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ (具体校准时, 一般是在同一温度条件下进行的)。选用测量不确定度为 $(0.50 + 5L) \mu\text{m}$, 包含因子取 $k_p = 2.7$ 的 5 等量块, 对分度值为 0.01 mm , 测量范围为 $(500 \sim 600) \text{ mm}$ 、 $(1\,400 \sim 1\,600) \text{ mm}$ 和 $(2\,500 \sim 3\,000) \text{ mm}$ 的外径千分尺进行校准。用 5 等量块对 575, 1 550 和 2 950 mm 点校对零位, 对 600, 1 600 和 3 000 mm 点分别进行校准为例进行不确定度评定, 仅供参考。

B.2 数学模型

外径千分尺的示值误差 e :

$$e = l_m - l_b + l_m \alpha_m \Delta t_m - l_b \alpha_b \Delta t_b$$

式中: l_m ——外径千分尺的示值 (20°C 条件下);

l_b ——校准用量块的长度值 (20°C 条件下);

α_m 和 α_b ——分别是外径千分尺和量块的线胀系数;

Δt_m 和 Δt_b ——分别是外径千分尺和量块偏离参考温度 20°C 数值。

B.3 方差和灵敏系数

在示值误差 e 的公式中, 舍去后两项微小量, 令 $l \approx l_m \approx l_b$,

$$e = l_m - l_b + l(\alpha_m \Delta t_m - \alpha_b \Delta t_m + \alpha_b \Delta t_m - \alpha_b \Delta t_b)$$

消去相关项, 同时简化括号内运算, 令

$$\delta_a = \alpha_m - \alpha_b, \quad \delta_t = \Delta t_m - \Delta t_b$$

$$\alpha \approx \alpha_b, \quad \Delta t \approx \Delta t_m$$

则

$$e = l_m - l_b + l \Delta t \delta_a + l \cdot \alpha \cdot \delta_t$$

灵敏系数 c_i 为

$$c_1 = \frac{\partial e}{\partial l_m} = 1; c_2 = \frac{\partial e}{\partial l_b} = -1; c_3 = \frac{\partial e}{\partial \delta_a} = l \Delta t; c_4 = \frac{\partial e}{\partial \delta_t} = l \cdot \alpha$$

u_1, u_2, u_3, u_4 分别表示 l_m, l_b, δ_a 和 δ_t 的标准不确定度。由于 l_m, l_b, δ_a 和 δ_t 各分量互不相关, 按不确定度传播率, 输出量 e 的估计值方差为

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

B.4 标准不确定度汇总表

 $l_m = 600 \text{ mm}$

表 B.1

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i \times u(x_i) / \mu\text{m}$	自由度
u_1	测量读数	$1 \mu\text{m}$	1	1	9
u_2	5 等量块	$1.69 \mu\text{m}$	-1	1.69	110
u_{21}	对零位 5 等量块	$1.08 \mu\text{m}$			81
u_{22}	校准用 5 等量块	$1.30 \mu\text{m}$			50
u_3	外径千分尺和量块 线胀系数差	$0.82 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$l \Delta t$	1.48	50
u_4	外径千分尺和量块 间的温差	$0.17 \text{ } ^\circ\text{C}$	$l \cdot \alpha$	1.17	8
$u_c = 2.72 \mu\text{m}$ $\nu_{\text{eff}} = 129$					

 $l_m = 1\,600 \text{ mm}$

表 B.2

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i \times u(x_i) / \mu\text{m}$	自由度
u_1	测量读数	$1 \mu\text{m}$	1	1	9
u_2	5 等量块	$3.32 \mu\text{m}$	-1	3.32	290
u_{21}	对零位 5 等量块	$2.28 \mu\text{m}$			143
u_{22}	校准用 5 等量块	$2.41 \mu\text{m}$			147
u_3	外径千分尺和量块 线胀系数差	$0.82 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$l \Delta t$	2.62	50
u_4	外径千分尺和量块 间的温差	$0.17 \text{ } ^\circ\text{C}$	$l \cdot \alpha$	3.13	8
$u_c = 5.36 \mu\text{m}$ $\nu_{\text{eff}} = 61$					

$l_m = 3\,000\text{ mm}$

表 B.3

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	$c_i = \partial f / \partial x_i$	$ c_i \times u(x_i) / \mu\text{m}$	自由度
u_1	测量读数	$1\text{ }\mu\text{m}$	1	1	9
u_2	5 等量块	$4.87\text{ }\mu\text{m}$	-1	4.87	597
u_{21}	对零位 5 等量块	$3.36\text{ }\mu\text{m}$			301
u_{22}	校准用 5 等量块	$3.53\text{ }\mu\text{m}$			300
u_3	外径千分尺和量块线胀系数差	$0.82 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	$l \Delta t$	2.46	50
u_4	外径千分尺和量块间的温差	$0.17\text{ }^\circ\text{C}$	$l \cdot \alpha$	5.86	8
$u_c = 8.07\text{ }\mu\text{m}$ $\nu_{\text{eff}} = 28$					

B.5 输入量标准不确定度的评定

B.5.1 测量读数引起的不确定度分量 u_1

此项不确定度分量主要来源于测量重复性。选一把外径千分尺，在重复性条件下用 5 等量块对测量范围上限的一点连续测量 10 次后，求得实验标准差 $s = 1\text{ }\mu\text{m}$ ，则

$$u_1 = 1\text{ }\mu\text{m} \quad \nu_1 = 9$$

B.5.2 校准用 5 等量块的测量不确定度分量 u_2 B.5.2.1 对零位用 5 等量块的不确定度分量 u_{21}

当 $l = 575\text{ mm}$ 时，组合量块 400 mm 和 175 mm 查资料取 $k_p = 2.7$ ， $\nu = 50$ (800 mm 以下取 $\nu = 50$)，则

$$u_{21} = \sqrt{\left(\frac{2.5}{2.7}\right)^2 + \left(\frac{1.5}{2.7}\right)^2} = \sqrt{0.93^2 + 0.56^2} = 1.08\text{ }\mu\text{m}$$

$$\nu_{21} = 1.08^4 \div \left(\frac{0.93^4}{50} + \frac{0.56^4}{50}\right) = 81$$

当 $l = 1\,550\text{ mm}$ 时，组合量块 1 000，400 和 150 mm (800 mm 以上取 $\nu = 100$)，则

$$u_{21} = 2.28\text{ }\mu\text{m}, \quad \nu_{21} = 143$$

当 $l = 2\,950\text{ mm}$ 时, 组合量块 $1\,000$, $1\,000$, 800 和 150 mm , 则

$$u_{21} = 3.36\text{ }\mu\text{m}, \quad \nu_{21} = 301$$

B.5.2.2 校准用 5 等量块的不确定度分量 u_{22}

当 $l_m = 600\text{ mm}$ 时,

$$u_{22} = \frac{3.5}{2.7} = 1.30\text{ }\mu\text{m}, \quad \nu_{22} = 50$$

当 $l_m = 1\,600\text{ mm}$ 时, 组合量块 $1\,000$ 和 600 mm ,

$$u_{22} = \sqrt{\left(\frac{5.5}{2.7}\right)^2 + \left(\frac{3.5}{2.7}\right)^2} = 2.41\text{ }\mu\text{m}, \quad \nu_{22} = 147$$

当 $l_m = 3\,000\text{ mm}$ 时, 组合量块 $1\,000\text{ mm}$ 3 块,

$$u_{22} = \sqrt{\left(\frac{5.5}{2.7}\right)^2 \times 3} = 3.53\text{ }\mu\text{m}, \quad \nu_{22} = 300$$

以上两项合成得 u_2 :

当 $l_m = 600\text{ mm}$ 时,

$$u_2 = \sqrt{(1.08)^2 + (1.30)^2} = 1.69\text{ }\mu\text{m}$$

$$\nu_2 = 110$$

当 $l_m = 1\,600\text{ mm}$ 时,

$$u_2 = \sqrt{(2.28)^2 + (2.41)^2} = 3.32\text{ }\mu\text{m}$$

$$\nu_2 = 290$$

当 $l_m = 3\,000\text{ mm}$ 时,

$$u_2 = \sqrt{(3.36)^2 + (3.53)^2} = 4.87\text{ }\mu\text{m}$$

$$\nu_2 = 597$$

B.5.3 由于温度偏离 $20\text{ }^\circ\text{C}$, 外径千分尺和量块的线胀系数差 δ_a 引起的不确定度分量 u_3

外径千分尺与量块线胀系数均为 $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, 在其范围内为等概率分布。两者线胀系数差 δ_a 应在 $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 范围内服从三角分布, 其半宽 a 为 $2 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, 包含因子 k 取 $\sqrt{6}$, 其相对不确定度估计为 10% , 则

$$u_3 = 2 \times 10^{-6} / \sqrt{6} = 0.82 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\nu_3 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{10}{100}\right)^2 = 50$$

B.5.4 外径千分尺和量块间的温度差引起的不确定度分量 u_4

按要求等温后, 两者间仍存在一定的温差, 并以等概率落于估计区间 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内, 服从均匀分布, 其相对不确定度估计为 25%, 则

$$u_4 = \frac{0.3}{\sqrt{3}} = 0.17\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\nu_4 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{25}{100} \right)^{-2} = 8$$

B.6 合成标准不确定度 u_c

$$u_c(e) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + (l\Delta tu_3)^2 + (l \cdot \alpha u_4)^2}$$

$$l_m = 600\text{ mm 时, } \Delta t = \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C} \quad u_c(e) = 2.72\text{ }\mu\text{m}$$

$$l_m = 1\text{ }600\text{ mm 时, } \Delta t = \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C} \quad u_c(e) = 5.36\text{ }\mu\text{m}$$

$$l_m = 3\text{ }000\text{ mm 时, } \Delta t = \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C} \quad u_c(e) = 8.07\text{ }\mu\text{m}$$

B.7 合成标准不确定度的有效自由度 ν_{eff}

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(e)}{\frac{u_1^4}{\nu_1} + \frac{u_2^4}{\nu_2} + \frac{(l\Delta tu_3)^4}{\nu_3} + \frac{(l \cdot \alpha u_4)^4}{\nu_4}}$$

$$l_m = 600\text{ mm 时, } \Delta t = \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \nu_{\text{eff}} = 129$$

$$l_m = 1\text{ }600\text{ mm 时, } \Delta t = \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \nu_{\text{eff}} = 61$$

$$l_m = 3\text{ }000\text{ mm 时, } \Delta t = \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \nu_{\text{eff}} = 28$$

B.8 扩展不确定度 U_p

取置信概率 $p = 95\%$, 按有效自由度 ν_{eff} 查 t 分布表, 确定 k_p 为

$$k_p = t_{95}(129) = 1.984$$

$$k_p = t_{95}(61) = 2.01$$

$$k_p = t_{95}(28) = 2.06$$

扩展不确定度 U_{95} 为:

当 $l_m = 600\text{ mm}$ 时,

$$U_{95} = t_{95}(129) \times u_c(e) = 1.984 \times 2.72 = 5.4\text{ }\mu\text{m}$$

当 $l_m = 1\text{ }600\text{ mm}$ 时,

$$U_{95} = t_{95}(61) \times u_c(e) = 2.01 \times 5.36 = 10.77 \approx 11\text{ }\mu\text{m}$$

当 $l_m = 3\text{ }000\text{ mm}$ 时,

$$U_{95} = t_{95}(28) \times u_c(e) = 2.06 \times 8.07 = 16.62 \approx 17\text{ }\mu\text{m}$$

B.9 测量结果不确定度报告与表示

外径千分尺示值误差，用 5 等量块校对零位，用 5 等量块校准测量上限为 600，1 600 和 3 000 mm 点的测量不确定度为：

当 $l_m = 600$ mm 时， $U_{95} = 5.4 \mu\text{m}$ $\nu_{\text{eff}} = 129$

当 $l_m = 1\ 600$ mm 时， $U_{95} = 11 \mu\text{m}$ $\nu_{\text{eff}} = 61$

当 $l_m = 3\ 000$ mm 时， $U_{95} = 17 \mu\text{m}$ $\nu_{\text{eff}} = 28$
