

2025 年度千分尺全省计量 比对总结报告



组织机构：吉林省市场监督管理厅

联系人：王玉平

联系电话：17625999557

联系地址：长春市东南湖大路 1088 号

邮政编码：130021

实施机构：吉林省计量科学研究院

报告签发人：孙俊峰

报告审核人：窦艳红

报告编写人：赵梓朝

联系电话：0431-85375168

联系地址：长春市高新区宜居路 2699 号

邮政编码：130103

目 录

1. 比对概述	1
1.1 任务来源及意义	1
1.2 主导实验室	1
1.3 参比实验室	1
1.4 比对过程	2
1.5 比对路线	3
2. 比对依据	3
3. 传递标准	4
3.1 传递标准的基本信息	4
3.2 传递标准的筛选试验	4
3.3 传递标准的稳定性	7
4. 参考值的确定	9
5. 比对数据的汇总	10
6. 比对结果的评价	10
7. 比对中存在问题及结果分析	12
8. 比对结论及建议	13
附件 1: 千分尺示值误差测量结果不确定度评定	
附件 2: 比对数据及测量不确定度汇总	

1、 概述

1.1 任务来源及意义

为全面掌握省内法定计量检定机构的千分尺检定项目的技术状况和考核检定人员的技术能力，了解各参比实验室对 JJG 21-2008《千分尺》检定规程执行情况，确保各机构千分尺检定项目综合能力保持良好的水平，从而更好地开展量值传递，实现全省千分尺示值误差的准确可靠和统一，吉林省质量技术监督厅于 2025 年度组织“全省千分尺示值误差比对”工作。

1.2 主导实验室

由吉林省计量科学研究院作为主导实验室组织实施，参比实验室为开展千分尺检定项目的全省各市（州）、省直管中依法设置的及由吉林省市场监督管理厅依法授权的法定计量检定机构。

1.3 参比实验室

本次参加比对的单位为全省各市（州）、省直管中依法设置的及由省厅依法授权的法定计量检定机构共计 7 家。主导实验室对上报的资料进行了整理，对各参比实验室的标准器信息如下

	白城市计量检定测试所	吉林市计量测试技术研究院	通化市计量检定测试所	延边朝鲜族自治州计量检定测试所
标准器名称	量块	量块	量块	量块
编号	88-4182	884171	88-643	76248649
生产厂家	哈尔滨量具刀具厂	哈尔滨量具刀具厂	哈尔滨量具刀具厂	哈尔滨量具刀具厂
准确度等级	4 等	4 等	4 等	4 等
检定单位	吉林省计量科学研究院	吉林省计量科学研究院	吉林省计量科学研究院	吉林省计量科学研究院
检定日期	2025.07.28	2025.07.28	2025.07.09	2025.07.23
证书编号	046422500	475552499	008992500	925003840

	四平市计量检定测试所	辽源市计量检定测试所	长春市计量检定测试技术研究所	
标准器名称	量块	量块	量块	
编号	87-8938	31027	172343	
生产厂家	哈尔滨量具刀具厂	成量	哈尔滨量具刀具厂	
准确度等级	4 等	4 等	4 等	
检定单位	吉林省计量科学研究院	吉林省计量科学研究院	吉林省计量科学研究院	
检定日期	2025.07.15	2025.07.23	2025.07.08	
证书编号	637922499	20251L0001	2400147064	

1.4 比对过程

2025 年 4 月主导实验室开始制定比对方案，形成比对方案初稿，确定了传递标准为日本三丰生产的数显千分尺，并开始中对比对样品（千分尺）做稳定性试验。6 月召开比对首次会议，所有参比实验室的比对人员参加了会议，讨论通过了比对实施方案。比对试验工作从 7 月份开始，利用一个月时间完成，主导实验室在接收到所有测量结果后，进行数据处理，9 月中旬完成比对总结报告。

本次比对是针对传递标准千分尺示值误差量值进行比对，比对用计量标准器为量块。参比实验室按照比对实施方案的要求，对样品进行外观检查合格后并将，再对千分尺的 5.12mm, 21.50mm 处示值误差进行测量，并对千分尺的示值误差进行测量不确定度的评定。要求参比实验室在比对试验后的 10 个工作日内，以邮寄方式将需提供的材料寄至主导实验室，包括比对原始记录、比对结果报告（单位盖章）、测量不确定度评定报告、计量标准考核证书复印件和计量标准器本周期溯源证书复印件。

本次比对严格按照比对实施方案的规定时间进行，所有参比实验室都按规定时间节点完成了比对试验，没有发生超时现象，也没有发生传递标准的损坏现象。

1.5 比对路线

本次比对采用的是各比对实验室到主导实验室进行比对试验的方式，试验结束后将试验数据传回主导实验室。

本次比对采取固定地点的比对方式，参比实验室携带标准装置在主导实验室开展比对试验。时间要求如下：

表 1 比对顺序和时间安排

编号	第一组（76248650）	第二组（76248649）	比对时间
1	通化市计量检定测试所	长春市计量检定测试技术研究院	7.7~7.11
2	四平市计量检定测试所	吉林市计量测试技术研究院	7.14~7.18
3	辽源市计量检定测试所	延边朝鲜族自治州计量检定测试所	7.21~7.25
4	白城市计量检定测试所		7.28~7.31

2. 比对依据

本次比对依据 JJG579-2005 《千分尺》检定规程

JJF1117-2010 《计量比对》计量技术规范

JJF1059.1-2012 《测量结果不确定度评定与表示》计量技术规范

3. 传递标准

3.1 传递标准的基本信息

本次比对的传递标准由主导实验室提供。主导实验室选取了日本三丰生产的数显千分尺，从 2025 年 4 月开始进行稳定性试验。传递标准的详细参数见表 2。

表 2 比对样品参数

名称	准确度等级	规格	出厂编号
数显千分尺	$U=1\mu\text{m}, k=2$	(0~25)mm	76248650
		(0~25)mm	76248649

3.2 传递标准的稳定性及比对测量点的筛选试验

数显千分尺 76248650 样品筛选试验记录

试验时间	2025 年 2 月 8 日		2025 年 3 月 8 日		2024 年 4 月 8 日		2024 年 4 月 28 日	
被测对象	名称	测量点	名称	测量点	名称	测量点	名称	测量点
	数显千分尺	5.12	数显千分尺	10.24	数显千分尺	15.36	数显千分尺	21.50
测量条件	温度：20.1℃ 相对湿度：40%		温度：20.3℃ 相对湿度：43%		温度：20.3℃ 相对湿度：43%		温度：20.3℃ 相对湿度：43%	
测量次数	测得值（mm）		测得值（mm）		测得值（mm）		测得值（mm）	
1	5.119		10.239		15.359		21.499	
2	5.118		10.238		15.358		21.499	
3	5.118		10.234		15.357		21.498	
4	5.119		10.235		15.359		21.499	
5	5.119		10.238		15.358		21.498	
6	5.118		10.237		15.357		21.499	
7	5.119		10.236		15.359		21.499	
8	5.120		10.235		15.356		21.500	
9	5.120		10.237		15.352		21.498	
10	5.119		10.236		15.355		21.499	
$\bar{y}$	5.119		10.236		15.357		5.119	

$s(y_i)$ $= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}$	0.001	0.002	0.002	0.001
结 论	选取重复性最小的测量点作为比对测量点，符合要求的是 5.12mm，21.50mm			
试验人员	赵梓朝	赵梓朝	赵梓朝	赵梓朝

数显千分尺 76248649 样品筛选试验记录

试验时间	2024 年 6 月 8 日		2024 年 6 月 8 日		2024 年 6 月 8 日		2024 年 6 月 8 日	
被测对象	名称	测量点	名称	测量点	名称	测量点	名称	测量点
	数显千分尺	5.12	数显千分尺	10.24	数显千分尺	15.36	数显千分尺	21.50
测量条件	温度：20.1℃ 湿度：40%RH		温度：20.3℃ 湿度：43%RH		温度：20.3℃ 湿度：43%RH		温度：20.3℃ 湿度：43%RH	
测量次数	测得值（mm）		测得值（mm）		测得值（mm）		测得值（mm）	
1	5.119		10.238		15.358		21.497	
2	5.118		10.237		15.358		21.499	
3	5.118		10.234		15.357		21.498	
4	5.119		10.235		15.359		21.499	
5	5.119		10.237		15.355		21.498	
6	5.118		10.235		15.357		21.499	
7	5.119		10.236		15.359		21.498	
8	5.119		10.235		15.356		21.500	
9	5.119		10.237		15.352		21.498	
10	5.118		10.236		15.355		21.498	
$\bar{y}$	5.119		10.236		15.357		5.119	

$s(y_i)$ $= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$	0.001	0.002	0.002	0.001
结 论	选取重复性最小的测量点作为比对测量点，符合要求的是 5.12mm，21.50mm			
试验人员	赵梓朝	赵梓朝	赵梓朝	赵梓朝

数显千分尺 的稳定性试验

考核时间	2025 年 6 月 10 日	2025 年 6 月 15 日	2025 年 6 月 20 日	2025 年 6 月 30 日
核查标准	名称：数显千分尺 型号：5.12mm 编号：76248650			
测量条件	温度：19.8℃ 相对湿度：41%	温度：19.9℃ 相对湿度：42%	温度：19.9℃ 相对湿度：41%	温度：19.9℃ 相对湿度：41%
测量次数	测得值 (mm)	测得值 (mm)	测得值 (mm)	测得值 (mm)
1	5.119	5.118	5.120	5.119
2	5.118	5.118	5.120	5.119
3	5.118	5.118	5.119	5.119
4	5.119	5.118	5.119	5.118
5	5.119	5.118	5.120	5.119
6	5.118	5.118	5.120	5.119
7	5.119	5.119	5.119	5.119
8	5.119	5.118	5.120	5.119
9	5.119	5.118	5.120	5.119
10	5.118	5.118	5.120	5.119
$\bar{y}_i$	5.119	5.118	5.120	5.119
变化量 $ \bar{y}_i - \bar{y}_{i-1} $	/	0.001	0.002	0.001
结 论	测量点 5.12mm 稳定性符合要求			
考核人员	赵梓朝	赵梓朝	赵梓朝	赵梓朝

该计量标准的稳定性小于该计量标准的扩展不确定度。

数显千分尺 的稳定性试验

考核时间	2025 年 6 月 10 日	2025 年 6 月 15 日	2025 年 6 月 20 日	2025 年 6 月 30 日
核查标准	名称：数显千分尺 型号：5.12mm 编号：76248649			
测量条件	温度：19.8℃ 湿度：41%RH	温度：19.9℃ 湿度：42%RH	温度：19.9℃ 湿度：41%RH	温度：19.9℃ 湿度：41%RH
测量次数	测得值（mm）	测得值（mm）	测得值（mm）	测得值（mm）
1	5.119	5.119	5.120	5.120
2	5.118	5.119	5.120	5.120
3	5.118	5.119	5.119	5.120
4	5.119	5.119	5.119	5.120
5	5.119	5.119	5.120	5.120
6	5.118	5.118	5.120	5.119
7	5.119	5.119	5.119	5.119
8	5.119	5.119	5.120	5.120
9	5.119	5.118	5.120	5.120
10	5.118	5.119	5.120	5.119
$\bar{y}_i$	5.119	5.119	5.120	5.120
变化量 $ \bar{y}_i - \bar{y}_{i-1} $	/	0.000	0.001	0.000
结 论	测量点 5.12mm 稳定性符合要求			
考核人员	赵梓朝	赵梓朝	赵梓朝	赵梓朝

该计量标准的稳定性小于该计量标准的扩展不确定度。

数显千分尺 的稳定性试验

考核时间	2025 年 6 月 10 日	2025 年 6 月 15 日	2025 年 6 月 20 日	2025 年 6 月 30 日
核查标准	名称：数显千分尺 型号：21.50mm 编号：76248650			
测量条件	温度：19.8℃ 相对湿度：41%	温度：19.9℃ 相对湿度：42%	温度：19.9℃ 相对湿度：41%	温度：19.9℃ 相对湿度：41%
测量次数	测得值 (mm)	测得值 (mm)	测得值 (mm)	测得值 (mm)
1	21.498	21.498	21.500	21.499
2	21.499	21.499	21.501	21.499
3	21.498	21.498	21.500	21.498
4	21.499	21.498	21.499	21.499
5	21.499	21.499	21.500	21.499
6	21.499	21.498	21.501	21.499
7	21.498	21.498	21.499	21.499
8	21.499	21.498	21.499	21.499
9	21.499	21.498	21.500	21.499
10	21.499	21.498	21.501	21.499
$\bar{y}_i$	21.499	21.498	21.500	21.499
变化量 $ \bar{y}_i - \bar{y}_{i-1} $	/	0.001	0.002	0.001
结 论	测量点 21.50mm 稳定性符合要求			

数显千分尺 的稳定性试验

考核时间	2025 年 6 月 10 日	2025 年 6 月 15 日	2025 年 6 月 20 日	2025 年 6 月 30 日
核查标准	名称：数显千分尺 型号：21.50mm 编号：76248650			
测量条件	温度：19.8℃ 相对湿度：41%	温度：19.9℃ 相对湿度：42%	温度：19.9℃ 相对湿度：41%	温度：19.9℃ 相对湿度：41%
测量次数	测得值 (mm)	测得值 (mm)	测得值 (mm)	测得值 (mm)
1	21.498	21.499	21.500	21.498
2	21.499	21.499	21.501	21.498

3	21.498	21.499	21.500	21.498
4	21.498	21.499	21.499	21.499
5	21.498	21.499	21.500	21.499
6	21.498	21.498	21.501	21.499
7	21.498	21.498	21.499	21.498
8	21.498	21.499	21.499	21.499
9	21.498	21.499	21.500	21.499
10	21.498	21.499	21.501	21.499
$\bar{y}_i$	21.498	21.499	21.500	21.499
变化量 $ \bar{y}_i - \bar{y}_{i-1} $	/	0.001	0.001	0.001
结 论	测量点 21.50mm 稳定性符合要求			

4. 参考值的确定

主导实验室在比对开始前及所有参比实验室比对结束后分别对传递标准进行示值误差的测量，得到试验数据；以主导实验室比对开始前数据、比对结束后数据的平均值为传递标准的参考值，参考值的测量不确定度评定见附表。

数显千分尺 76248650						
	5.12mm			21.50mm		
	平均值/mm	示值误差/mm	扩展不确定度/mm	平均值/mm	示值误差/mm	扩展不确定度/mm
比对开始前	5.1199	-0.0001	0.0006	21.4998	-0.0002	0.0008
比对结束后	5.1200	0.0000	0.0006	21.4998	-0.0002	0.0008
参考值	5.1199	-0.0001	0.0006	21.4998	-0.0002	0.0008

数显千分尺 76248649						
	5.12mm			21.50mm		
	平均值/mm	示值误差/mm	扩展不确定度/mm	平均值/mm	示值误差/mm	扩展不确定度/mm
比对开始前	5.1199	-0.0001	0.0006	21.4999	0.0000	0.0008
比对结束后	5.1200	0.0000	0.0006	21.4998	-0.0002	0.0008
参考值	5.1199	-0.0001	0.0006	21.4998	-0.0002	0.0008

5. 比对数据的汇总

实验室	数显千分尺					
	5.12mm			21.50mm		
	平均值/mm	示值误差值/mm	扩展不确定度/ μm	平均值/mm	示值误差值/mm	扩展不确定度/ μm
长春市院	5.1200	0.0000	1.0	21.4999	-0.0001	1.4
吉林市院	5.1203	+0.0003	1.7	21.5009	+0.0009	1.2
白城市所	5.1210	+0.0010	1.3	21.5010	+0.0010	1.2
辽源市所	5.1203	+0.0002	1.6	21.5003	+0.0003	1.6
四平市	5.1199	-0.0001	1.3	21.5007	+0.0007	1.4
通化市所	5.1195	-0.0005	1.1	21.4993	-0.0006	1.3
延边所	5.1212	+0.0012	1.3	21.5012	+0.0012	1.4

6. 比对结果的评价

按比对方案的要求进行 E_n 值评价

比对结果用 E_n 值进行评价

$$E_n = \frac{Y_{ji} - Y_{ri}}{k \cdot u_i}$$

式中： Y_{ji} —第 j 个实验室在第 i 个测量点上的测量结果；

Y_{ri} —比对实验第 i 个测量点的参考值；

k —包含因子, 取 $k = 2$;

u_i —第 i 个测量点上 $Y_{ji}-Y_{ri}$ 的标准不确定度;

当 u_{ri} 、 u_{ji} 相互无关时

$$u_i = \sqrt{u_{ji}^2 + u_{ei}^2 + u_{ri}^2}$$

式中: u_{ji} —第 j 个实验室在第 i 个测量点上测量结果的标准不确定度;

u_{ei} —传递标准第 i 个测量点在比对过程中引入的标准不确定度;

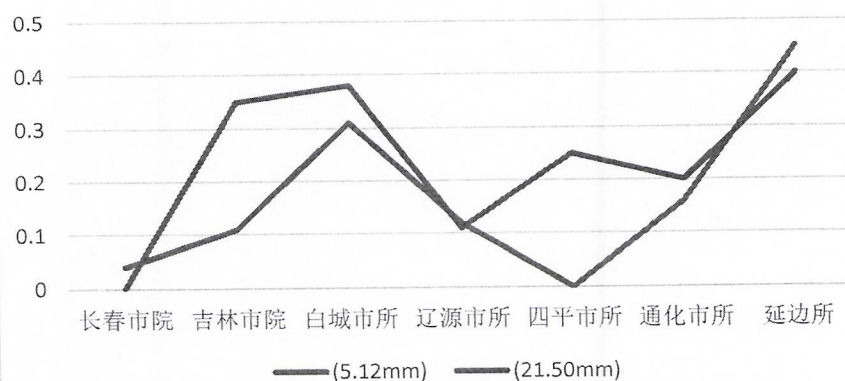
u_{ri} —第 i 个测量点上参考值的标准不确定度;

能力评价: $|E_n| \leq 1$ 比对结果为满意; $|E_n| > 1$ 为比对结果为不满意。

比对结束后, 主导实验室对传递标准进行了再测量, 传递标准在比对前、后示值的变化量最大值均为 0.0002mm, 区间半宽为 0.0001mm, 由此引入的标准不确定度按照均匀分布处理, 取 $k = \sqrt{3}$, 则 $u_{ei} = 0.00005 \text{ mm}$ 。

实验室	E_n 值 千分尺	
	E_n (5.12mm)	E_n (21.50mm)
长春市院	0.04	0.00
吉林市院	0.11	0.35
白城市所	0.31	0.38
辽源市所	0.12	0.11
四平市所	0.00	0.25
通化市所	0.16	0.20
延边所	0.45	0.40

图表标题



7. 比对中存在问题及结果分析

此次比对工作中发现的问题主要有以下两方面：

7.1 试验数据不稳定或波动较大，具体分析如下：

- a) 确保在进行测量之前千分尺达到恒定的工作状态。未对被测样品进行足够的时间等温，导致测量结果偏差；
- b) 注意操作的一致性和准确性，避免人为因素对测量结果的影响，导致测量结果偏差过大；
- c) 不确定度分析影响测量结果评价。

7.2 比对过程需要注意的方面：

- a) 在示值误差计算时，误将误差值当作修正值进行计算。
- b) 测量时测量力的控制不稳定或在接触到标准量块时造成冲击，导致读数不准；

8. 比对结论及建议

8.1 从汇总数据来看，所有参比实验室的各测量点的 E_n 值结果均为满意。

8.2 针对比对过程中出现的问题，提出以下建议：

1) 各参比实验室应对本次比对工作进行全面总结，从以上情况，找到本单位存在的问题，加以改进和提高。

2) 加强计量检定人员的培训工作，对检定人员进行千分尺检定规程、数据修约、测量结果不确定度评定等计量知识的培训和宣贯，提高技术人员对标准装置的操作水平和对仪器设备的使用维护水平。

编写人：赵辉朝

审核人：郭松仁

批准人：孙俊峰

附件 4：数显千分尺的示值误差测量结果不确定度评定（参考）

1 测量方法（依据 JJG21—2008《千分尺》检定规程）——修改字号

依据本规程，分度值为 0.001mm 的数显千分尺示值误差的检定是在规定的检定条件下用 4 等量块进行的，下面仅对规格为(0~25)mm 的数显千分尺的测量上限点示值误差进行检定结果的测量扩展不确定度分析。

2 数学模型

数显千分尺的示值误差：

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

式中： L_m ——数显千分尺的示值（标准条件下）。

L_b ——量块的长度（标准条件下）。

α_m 和 α_b ——分别是数显千分尺的和量块的热膨胀系数。

Δt_m 和 Δt_b ——分别是数显千分尺和量块偏离参考温度 20℃ 的数值。

3 方差和灵敏度系数

在公式（1）中：

为简化运算，舍去后两项中微小量。令： $L \approx L_m \approx L_b$ $\alpha \approx \alpha_m \approx \alpha_b$ $\Delta t \approx \Delta t_m \approx \Delta t_b$

为简化运算，转化相关项，令 $\delta\alpha = \alpha_m - \alpha_b$ $\delta t = \Delta t_m - \Delta t_b$

代入公式（1）后，经整理得：

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

灵敏系数 c_i

得： $c_1 = \partial e / \partial L_m = 1$ ； $c_2 = \partial e / \partial L_b = -1$ ；

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

依据不确定度传播律公式，输出量 e 的估计值方差为：

$$u_c^2 = u^2(e) = c_1^2 \cdot u_1^2 + c_2^2 \cdot u_2^2 + c_3^2 \cdot u_3^2 + c_4^2 \cdot u_4^2$$

4 标准不确定度一览表

$L = 5.12\text{mm}$ ：

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)$	$c_1 = \partial f / \partial x_1$	$ c_1 \times u(x_i)$ (μm)
u_1	量化误差	$0.29 \mu\text{m}$	1	0.29
u_2	量块的不确定度	$0.096 \mu\text{m}$	1	0.096
u_{21}	对零量块	0		
u_{22}	读数量块	$0.096 \mu\text{m}$		

u_3	数显千分尺和量块的热膨胀系数差	$0.82 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t$	0.02
u_4	数显千分尺和量块的温度差	$0.17 \text{ } ^\circ\text{C}$	$L \cdot \alpha = 0.287$	0.049
$u_c = 0.31 \text{ } \mu\text{m}$				

$$L = 21.5 \text{ mm}$$

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)$	$c_1 = \partial f / \partial x_1$	$ c_1 \times u(x_i)$ (μm)
u_1	测量重复性	$0.29 \mu\text{m}$	1	0.29
u_2 u_{21} u_{22}	量块的不确定度 对零量块 读数量块	$0.20 \mu\text{m}$ $0.135 \mu\text{m}$ $0.154 \mu\text{m}$	1	0.20
u_3	数显千分尺和量块的热膨胀系数差	$0.82 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$L \cdot \Delta t$	0.08
u_4	数显千分尺和量块的温度差	$0.17 \text{ } ^\circ\text{C}$	$L \cdot \alpha = 1.15$	0.196
$u_c = 0.42 \text{ } \mu\text{m}$				

5 标准不确定度分量的计算

5.1 量化误差引入的测量不确定度分量 u_1

数显千分尺的分度值为 $1 \mu\text{m}$ ，量化误差为 $(1/2) \mu\text{m}$ ，估计其为均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，故标准不确定度 $u(L)$ 为

$$u(L) = \frac{(1/2)}{\sqrt{3}} = 2.9 \mu\text{m}$$

5.2 检定用 4 等量块的测量不确定度分量 u_2

4 等量块的测量不确定度为 $U_{99} = (0.2 + 2L) \mu\text{m}$ $k_{99} = 2.6$

5.2.1 对零量块的不确定度分量 u_{21}

数显千分尺测量上限 $L = 5.12 \text{ mm}$ 时：

被检数显千分尺下限为零，不用对零量块。故：

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

数显千分尺测量上限 $L = 21.5 \text{ mm}$ 时：

以 75 mm 量块对零，不确定度为 $0.35 \mu\text{m}$ ， $k_{99} = 2.6$ 。

$$u_{21} = 0.35 / 2.6 = 0.135 \text{ } \mu\text{m}$$

5.2.2 校准用量块的不确定度分量 u_{22}

数显千分尺测量上限 $L = 5.12 \text{ mm}$ 时：

检定该点用 5.12 mm 量块的不确定度为 $0.25 \text{ } \mu\text{m}$ ， $k_{99} = 2.6$ 。

$$u_{22} = 0.25 / 2.6 = 0.096 \text{ } \mu\text{m}$$

数显千分尺测量上限 $L = 21.5 \text{ mm}$ 时：

检定该点用 21.5mm 量块的不确定度为 $0.4 \mu\text{m}$ ， $k_{99} = 2.6$ 。

$$u_{22} = 0.4/2.6 = 0.154 \mu\text{m}$$

以上两项合成，得：

$L = 5.12\text{mm}$ 时：

$$\begin{aligned} u_2 &= \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} \\ &= \sqrt{0.00^2 + 0.096^2} \\ &= 0.096 \mu\text{m} \end{aligned}$$

$L = 21.5\text{mm}$ 时：

$$\begin{aligned} u_2 &= \sqrt{u_{21}^2 + u_{22}^2} \\ &= \sqrt{0.135^2 + 0.154^2} \\ &= 0.20 \mu\text{m} \end{aligned}$$

5.3 数显千分尺和量块间热膨胀系数差给出的不确定度分量 u_3

$\sigma\alpha$ 的界限为 $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，为均匀分布 故： $k = \sqrt{6}$

有：

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

5.4 数显千分尺和量块间的温度差给出的不确定度分量 u_4

数显千分尺和量块间有一定的温度差存在，并以等概率落于估计区间 $(-0.3 \sim +0.3) \text{ } ^\circ\text{C}$ 内任何处，故： $k = \sqrt{3}$

因此有：

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

6 合成标准不确定度

$L = 5.12\text{mm}$ 时，本实验室温度为 $(20 \pm 1) \text{ } ^\circ\text{C}$ ， $\Delta t = \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ 且线膨胀系数为 $\alpha = 11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ：

$$\begin{aligned} L &= 5.12\text{mm} = 5120 \mu\text{m} \\ u_c^2 &= u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 \cdot u_3^2 + (L \cdot \alpha)^2 \cdot u_4^2 \\ &= 0.29^2 + 0.096^2 + (5120 \times 1 \times 0.82 \times 10^{-6})^2 \\ &\quad + (5120 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 0.17)^2 \\ &= 0.29^2 + 0.096^2 + (0.02)^2 + (0.049)^2 \\ &= 0.096 \mu\text{m}^2 \\ u_c &= 0.31 \mu\text{m} \end{aligned}$$

$L = 21.5\text{mm}$ 时, 规程要求的温度允许偏差 $\Delta t = \pm 5^\circ\text{C}$ 且线膨胀系数为 $\alpha = 11.5 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$:

$$\begin{aligned}
 L &= 21.5\text{mm} = 21500\mu\text{m} \\
 u_c^2 &= u_1^2 + u_2^2 + (L \cdot \Delta t)^2 \cdot u_3^2 + (L \cdot \alpha)^2 \cdot u_4^2 \\
 &= 0.29^2 + 0.20^2 + (21500 \times 1 \times 0.82 \times 10^{-6})^2 \\
 &\quad + (100000 \times 11.5 \times 10^{-6} \times 0.17)^2 \\
 &= 0.29 + 0.20^2 + (0.08)^2 + (0.196)^2 \\
 &= 0.18\mu\text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$u_c = 0.42\mu\text{m}$$

7 扩展不确定度

取置信因子 $k=2$

$L = 5.12\text{mm}$ 时:

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.31 = 0.6\mu\text{m}$$

$L = 21.5\text{mm}$ 时:

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.42 = 0.8\mu\text{m}$$

8 报 告

千分尺示值误差的测量结果不确定

$$L=5.12\text{mm 时: } U=0.6\mu\text{m} \quad k=2$$

$$L=21.50\text{mm 时: } U=0.8\mu\text{m} \quad k=2$$