

影像测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于平面直角坐标系的影像测量仪，包括在垂直于平面直角坐标系方向上具有定位或测量功能的影像测量仪。

2 引用文献

下列文件对本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有修改单）适用于本文件。

GB/T 24762-2009	产品几何技术规范（GPS） 影像测量仪的验收检测和复检检测
JJF 1001	通用计量术语及定义
JJF 1130	几何量测量设备校准中的不确定度评定指南

3 术语

JJF 1001 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 聚焦平面尺寸测量示值误差 (E_{XY})

在平行于聚焦平面方向上的尺寸测量示值误差。

注：

1. 在本规范中，XY 平面默认为平行于聚焦平面，若不然，则须作相应标注（例如 E_{XZ} 或 E_{YZ} ）
2. 若仅沿平行于 X 轴方向或仅沿平行于 Y 轴方向得到的示值误差，可表示为 E_X 或 E_Y 。

3.2 光轴方向尺寸测量示值误差 (E_Z)

在平行于影像探测系统光轴方向上的尺寸测量示值误差。

注：在本规范中，Z 轴默认为平行于影像系统光轴，若不然，则须作相应标注（例如 E_X 或 E_Y ）

3.3 影像探测系统尺寸测量示值误差 (E_V)

在影像测量仪运动平台和影像探测系统不做任何移动的情况下，影像探测系统视场范围内的尺寸测量示值误差。

3.4 各截面测量结果一致性 (E_S)

影像测量仪在沿光轴方向的不同截面上测量时，各截面坐标原点投影于 XY 平面的一致程度。

3.5 二维探测误差 (P_{2D})

用影像测量仪测定平面圆形实物标准器的半径变化范围。

3.6 影像测头探测误差 (P_V)

用影像测量仪测定影像探测系统视场范围内平面圆形实物标准器的半径变化范围。

3.7 变倍探测误差 (P_f)

采用变倍影像探测系统的影像测量仪，测量同一个圆形目标，不同倍率下目标圆心

坐标的示值变化范围。

4 概述

影像测量仪是由机械主机、位移传感器、影像探测系统、控制部分和测量软件等组成的测量仪器，可以对各种复杂形状零件的表面坐标点进行测量。影像探测系统示意图见图 1。

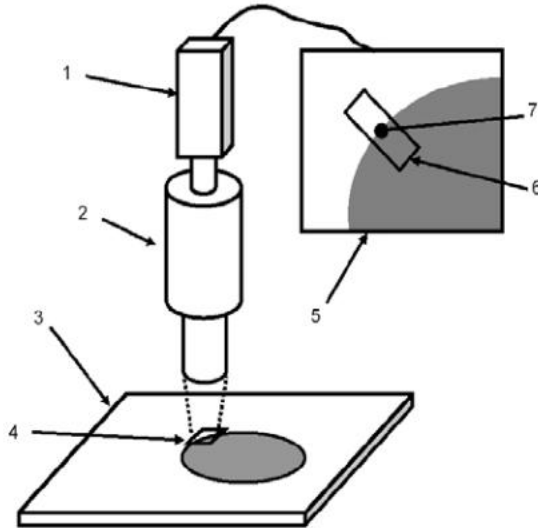


图 1 影像探测系统示意图

1. 照相机或其他捕捉被测物表面影像的系统 2. 影像探测系统的各种光学元件
3. 被测物 4. 视场（物方） 5. 视场（像方） 6. 测量窗 7. 测量点

5 计量特性

5.1 通用原则

5.1.1 本章所述计量特性为影像测量仪应具备的基本计量特性。

5.1.2 本规范认可各种影像测量仪有其自己的功能定义，允许在计量特性的选择上具有灵活性。各项计量特性的技术要求：

- 验收时按合同和（或）制造商的规定；
- 复校时按用户的规定。

5.1.3 当需要做符合性判定时，下述各项计量特性的校准结果均不应超过给定的技术要求。

5.2 尺寸测量示值误差

5.2.1 对沿光轴方向上具有测量功能的影像测量仪，应校准下列尺寸测量示值误差：

- E_{xy} ；
- E_z ；
- E_v ；

注：

1. E_k 只适用于在影像探测系统视场范围内具备测量功能的影像测量仪。

2. 对于工作台不可移动的影像测量仪，只需校准 E_v 。

5.2.2 对沿光轴方向上具有定位功能的影像测量仪和只能在任何二维平面内作测量的影像测量仪，应校准下列尺寸测量示值误差：

—— E_{xy} ；

—— E_v ；

注：

1. E_v 只适用于能在影像探测系统视场范围内具备测量功能的影像测量仪。

2. 对于工作台不可移动的影像测量仪，只需校准 E_v 。

5.3 各截面测量结果一致性 (E_s)

5.4 探测误差

5.4.1 二维探测误差 (P_{2D})

注：对于工作台不可移动的影像测量仪无此要求。

5.4.2 影像测头探测误差 (P_V)

5.5 变倍探测误差 (P_z)

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 校准时至少应对下列影响影像测量仪准确度的环境条件参数加以控制：

——仪器测量室的温度、单位时间内的温度变化；

——仪器在测量室平衡温度的时间；

——仪器与标准器具的温度差等。

上述条件参数：验收时按合同和（或）制造商的规定；复校时按用户规定。用户可在给定的范围内随意选择环境条件。

6.1.2 仪器测量室内应无影响测量的灰尘、噪音、振动、腐蚀性气体和磁场干扰。

6.2 操作条件

当进行本规范第7章规定的校准时，应严格按照制造商所提供的仪器使用说明书操作，以下方面应特别注意：

a) 仪器启动/预热程序；

b) 测量系统标定；

c) 影像系统放大倍数；

d) 照明条件。

6.3 测量系统配置

对于给定的最大允许误差，影像系统配置（放大倍数、照明、物镜等）的限制条件：验收时按合同和（或）制造商规定；复校时按用户规定。用户可在限定的范围内随意选择探测系统的配置。

6.4 标准器及其它设备

推荐使用表1所列仪器，允许使用其它满足不确定度要求的标准器进行校准。

表1 标准器及其它设备

序号	校准项目	标准器及其它设备
1	聚焦平面尺寸测量示值误差 (E_{xy})	不确定度不大于 1/4MPEV 的线纹尺或二维掩模板
2	光轴方向尺寸测量示值误差 (E_z)	不确定度不大于 1/4MPEV 的量块或台阶规
3	影像探测系统尺寸测量示值误差 (E_v)	不确定度不大于 1/4MPEV 的线纹尺或掩模板
4	各截面测量结果一致性 (E_s)	专用台阶规 (技术规格见附录 A)
5	探测误差 (P_{20})	标称直径 (20~50) mm, 圆度不大于 1/4MPE 的圆形靶标
6	影像测头探测误差 (R)	标称直径 (0.1~1) mm, 圆度不大于 0.5 μ m 的圆形靶标
7	变倍探测误差 (P_2)	圆度不大于 0.5 μ m 且标称直径在视场范围内的圆形靶标

6.5 其他条件

校准前应确认仪器的外观及相互作用无影响校准正确实施及校准结果的缺陷。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准尺寸测量示值误差 E_z 、 E_{xy} 和 E_v 的通用要求

7.1.1 校准前应按第6章的要求做好校准准备。

7.1.2 测量位置

a) 测量 E_z 的位置——在垂直于影像测量仪光轴的工作台面上的任意位置；

b) 测量 E_{xy} 的位置——当使用线纹尺作标准器时，在垂直于影像测量仪光轴的工作台面上沿测量范围内两条对角线方向和另两个分别平行于X轴和Y轴的方向，共4个位置；

注：可根据用户需要选择任意位置作为测量位置。

c) 测量 E_v 的位置——在影像测量仪视场范围内的任意一个位置。

7.1.3 测量间隔

每个位置测量5个间隔，最小间隔不大于平面对角线的10%，最大间隔不小于平面对角线的66%，其他间隔大致相等。

7.1.4 瞄准方式

采用单点测量，通过测量点到点的距离然后投影到找正方向得到测量值。不允许应用整个窗口的点或用大量的点的平均值的方法。测量窗不得大于视场的10%。

7.1.5 逼近方向

测量时，如说明书未特别说明影像探测系统瞄准点的逼近方向，则默认为双向逼近，即对每一个被测的实物标准器，测量其点到点的距离时，要求影像测量仪的运动方向是相对的。有关瞄准点单向逼近和双向逼近以及单向和双向测量的详细说明参见附录 B。

7.1.6 测量顺序和测量次数

若实物标准器的一端为“A”，另一端为“B”，则测量时按A-B，或B-A为一次，重复测量三次。

注：检测尺寸的测量顺序一经开始，除了要用来测量长度的点外，不允许有附加的测点。

7.2 光轴方向尺寸测量示值误差 E_L

选择量块或台阶规做标准器，按7.1.2 a) 条的要求设置测量位置。可选择工作台面作测量起始位置，也可以选择适当尺寸的量块或台阶规的测量面作测量起始位置，调整影像探测系统，使目标成像清晰并设为“零点”。沿Z轴升降影像探测系统，依次使不同尺寸的标准器上表面成像清晰并进行读数。测量值与标准间隔实际值的差值为示值误差，当需做符合性判定时，15个示值误差均应不超过 E_L 的最大允许误差。

7.3 聚焦平面尺寸测量示值误差 E_{FV}

选择线纹尺作标准器，按7.1.2 b) 条的要求设置测量位置。在各检测位置上调整影像探测系统，使线纹尺刻线成像清晰，依次对规定的线纹间隔进行测量。测量值与标准器实际值的差值为示值误差，当需做符合性判定时，60个示值误差均应不超过 E_{FV} 的最大允许误差。

7.4 影像探测系统尺寸测量示值误差 E

选择线纹尺作标准器，按7.1.2 c) 条的要求设置测量位置。调整影像测量仪视场大小，使标准器的线纹处于视场内的测量位置，在工作台不做任何移动的情况下测量线纹尺的线纹间距。测量值与标准器实际值的差值为示值误差，当需做符合性判定时，15个示值误差均应不超过 E 的最大允许误差。

7.5 各截面测量结果一致性 E_s

依次将专用台阶规按图 2 所示的四个空间对角线方向放置，选取测量范围内可见的距离最大的两个标记位置（标记可以是便于中心提取的各种形状，如十字形、圆形等），对其标记中心距进行测量。

比较四个位置测得的中心距值，最大值与最小值之差即为各截面测量结果一致性，当需做符合性判定时，一致性应不超过 E_s 的最大允许值。

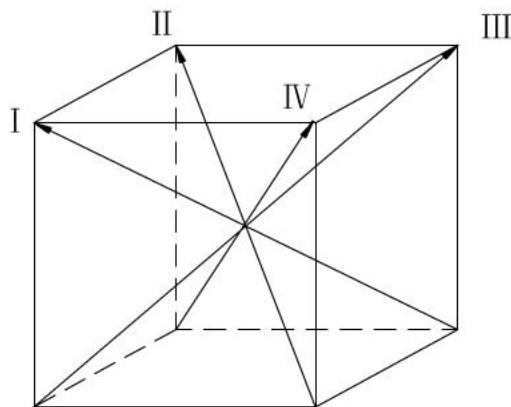


图 2 检测 E_s 时专用台阶规摆放位置示意图

7.6 探测误差 P_{20}

将圆形靶标平行放置于工作台面上，调整影像清晰。对整个圆大致均匀（大约每隔

14.4 度) 的采取 25 个点, 采用单点测量的方法, 不得一次采取测量窗口的所有点, 图 3 给出了测量示例。采点时需要注意:

- 影像测量仪要在 25 个视场间移动;
- 允许某些视场重叠, 但视场内的测量窗口不允许重叠;
- 25 个测量窗口应当分布在全部视场内;
- 允许在点间调节聚焦。

整个视场中 25 个测点的分布

21	22	23	24	25
16	17	18	19	20
11	12	13	14	15
6	7	8	9	10
1	2	3	4	5

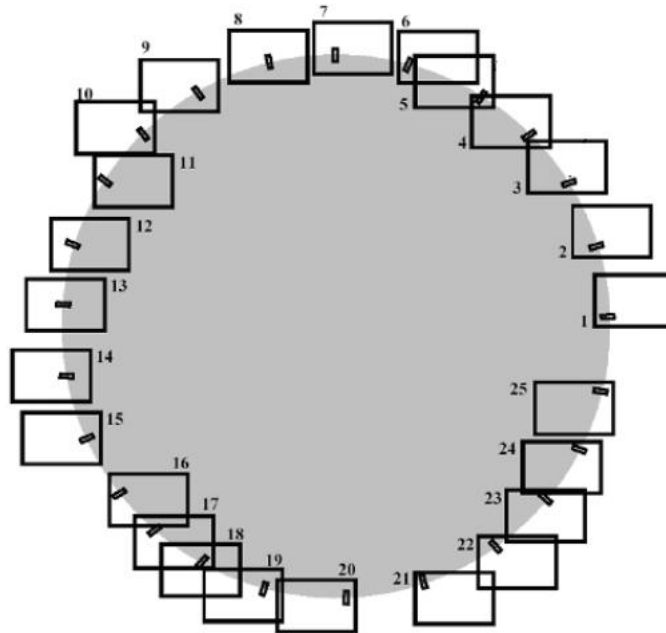


图 3 测量 $R_{\text{测}}$ 的示例

用所有 25 个测量点的数据拟合最小二乘圆, 得到圆心, 25 个测量点到圆心的距离即为半径 R , 范围 $R_{\text{MAX}}-R_{\text{MIN}}$ 即为探测误差。当需做符合性判定时, 其值应不大于探测误差的最大允许值。

7.7 影像测头探测误差 (R_V)

选择适当尺寸的圆形靶标 (影像直径约为视场的 10%~30%), 将其放置在影像测量仪工作台上, 调整影像清晰。在仪器不产生运动的条件下, 利用视场内不同点对标准器圆周进行测量 (见图 4), 用所有 25 个测量点的数据拟合最小二乘圆, 得到圆心, 25 个测量点到圆心的距离即为半径 R , 范围 $R_{\text{MAX}}-R_{\text{MIN}}$ 即为影像测头探测误差。当需做符合性判定时, 其值应不大于影像测头探测误差的最大允许值。

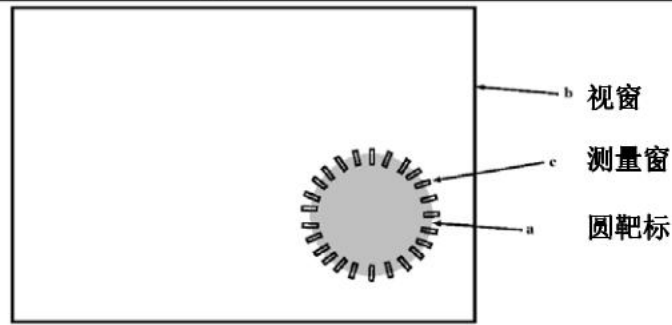


图4 影像测头探测误差测量示意图

7.8 变倍探测误差 P_z

靶标的尺寸应保证最小倍率时靶标直径为视场大小的10%~30%，最大倍率时可以在视场中获得完整的靶标像。将满足要求的靶标置于工作台上，采用透射光照明，测量时工作台不作任何移动。调整视场，使靶标的像在视场中的任意位置。更换不同的定倍镜头，或调整变倍镜头使其倍率为 β_{\min} 、 β_{\max} 及该范围中点，测量靶标的中心坐标，得到坐标点 (X_i, Y_i) 。计算各 X 、 Y 坐标点的最大最小差，即

$$\Delta X = \max(X_i) - \min(X_i) \quad (1)$$

$$\Delta Y = \max(Y_i) - \min(Y_i) \quad (2)$$

则

$$P_z = \max(\Delta X, \Delta Y) \quad (3)$$

当需做符合性判定时，其值应不大于变倍探测误差的最大允许值。

8 校准结果表达

经校准的影像测量仪发给校准证书。校准证书应给出全部测量结果。

9 复校时间间隔

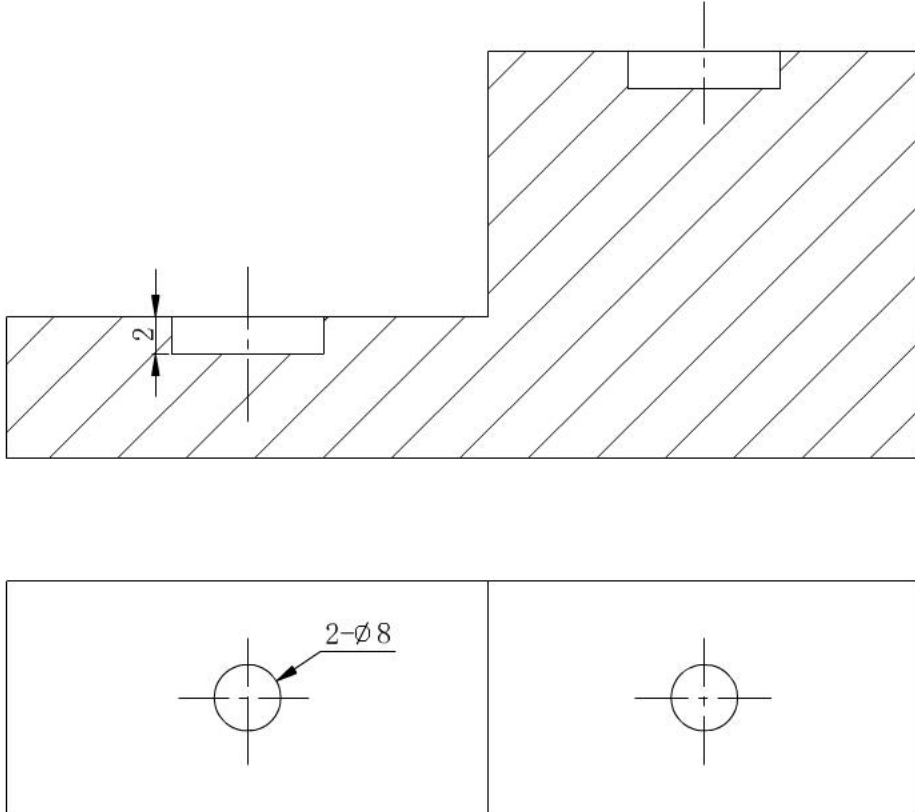
复校时间间隔建议不超过1年。

附录 A

专用台阶规规格

A.1 专用台阶规基体示意图及技术要求

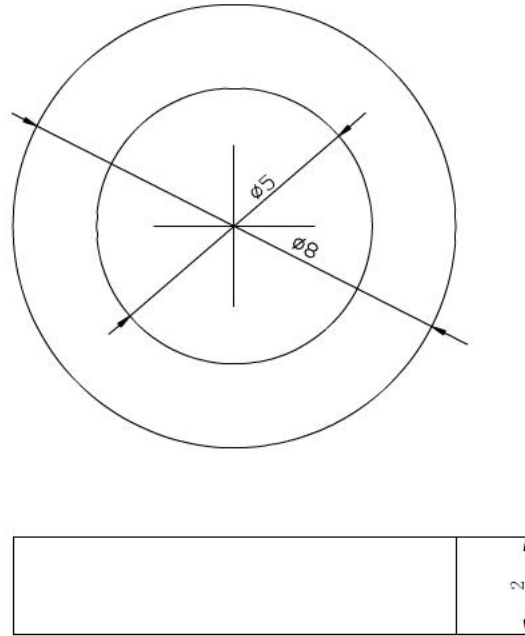
单位：mm



表A.1 专用台阶规基体技术要求

材料	航空铝
总长度	不小于仪器工作行程对角线的4/5
两台阶高度差	不小于Z方向行程的1/2
宽度	不小于50mm
底面平面度	$\leq 0.01\text{mm}$ （凹形）
凹槽处台阶面平面度	$\leq 0.005\text{mm}$

A.2 嵌入式靶标示意图及技术要求



表A.2 靶标技术要求

材料	光学玻璃
底面平面度	$\leq 0.005\text{mm}$
刻线宽度	$\leq 0.005\text{mm}$
注：在 $\phi 8\text{mm}$ 光学玻璃上刻画 $\phi 5\text{mm}$ 圆形靶标，圆心处刻画十字线，线长 3mm 。	

附录 B

单、双向逼近和单、双向及对中测量

B.1 单、双向逼近

B.1.1 单向逼近

用影像测量仪做多点测量时，始终保持影像系统从同一方向逼近、瞄准测量目标。

B.1.2 双向逼近

用影像测量仪做多点测量时，影像系统从不同方向逼近、瞄准测量目标。

注：双向逼近可能会将影像测量仪导轨运动的回程误差带入示值误差。

B.2 单、双向及对中测量

B.2.1 单向测量

B.2.1.1 适宜做单向测量的标准器

步距规、台阶规、孔板等。

B.2.1.2 （双向逼近）单向测量

对单向标准器或与单向标准器类似的被测物进行的测量。如对步距规的同侧步距、台阶规、孔板的同侧边缘等的测量。

注：以下图示中，箭头方向为工作台移动方向。



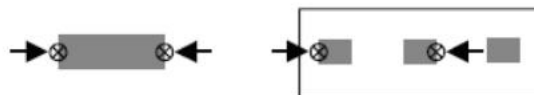
B.2.2 双向测量

B.2.2.1 适宜做双向测量的标准器

量块、步距规、球棒等。

B.2.2.2 （双向逼近）双向测量

对双向标准器或与双向标准器类似的被测物进行的测量。如对量块、步距规的异侧步距的测量。



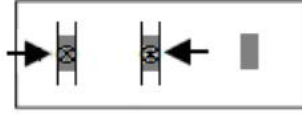
B.2.3 对中测量

B.2.3.1 适宜做对中测量的标准器

线纹尺等。

B.2.3.2 （双向逼近）刻线测量

影像测量仪通常采用双标线进行刻线测量。如对线纹尺的测量。



附录 C

用二维尺寸掩模板校准 E_{xy} 的方法

C.1 概述

通过在特定材质的平板玻璃上按一定规律刻画一系列具有二维尺寸坐标的图形标记（如网格、十字标记、圆形标记等）可得到二维尺寸掩模板，校准后可作为二维尺寸标准器，用于校准影像测量仪的聚焦平面尺寸测量示值误差（ E_{xy} ）。

C.2 校准方法

将二维掩模板放置在垂直于影像测量仪光轴的工作台面上，调整影像探测系统，使二维掩模板刻线成像清晰，依次按规定的间隔对二维图形标记的坐标进行测量，得到各标记点的二维坐标。测量值与标准器实际值的差值为示值误差。

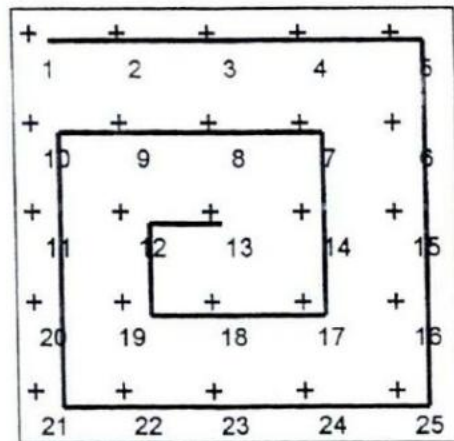
C.2 校准示例

如用一块25个标记点的掩模板校准示值误差，可按图C.1的线路用影像测量仪对掩模板进行测量，得到各点的二维坐标数据后，（通过测量程序）分别计算以下四组距离：

- 11-12, 11-13, 11-14, 11-15;
- 3-8, 3-13, 3-18, 3-23;
- 5-7, 5-13, 5-19, 5-21;
- 1-9, 1-13, 1-17, 1-25.

各测得距离与掩模板实际值的差值即为示指误差。

以上测量过程重复3次。如需做符合性判定，则所有结果均不应超过 E_{xy} 的最大允许误差。



图C.1 测量线路示意图

附录 D

测量尺寸示值误差的不确定度评估示例

D.1 用标准线纹尺校准尺寸测量示值误差 E_k

D.1.1 测量方法

用二等玻璃线纹尺对影像测量仪聚焦平面尺寸示值误差 E_k 进行校准。

D.1.2 数学模型

$$\delta_i = (L_i - L_0) - L_{si} \quad (1)$$

式中：

δ_i —— 各校准点示值误差；

L_i —— 各校准点仪器读数值，

L_0 —— 起始点仪器读数值；

L_{si} —— 标准玻璃线纹尺各刻线间实际尺寸，单位：mm。

D.1.3 A 类标准不确定度分量 u_1 的评估

A 类标准不确定度分量 u_1 来自测量重复性，也就是模型中的输入量 $(L_i - L_0)$ 。将瞄准、读取 L_0 ——瞄准、读取 L_i ——计算 $(L_i - L_0)$ 作为一个测量循环，对标准线纹尺 50mm 点进行 10 组测量，得到如下测量结果（单位：mm）：50.0001，50.0002，49.9999，50.0008，50.0003，49.9998，49.9997，50.0010，49.9998，50.0004。用白塞尔公式计算标准差，得到 $s=0.42\mu\text{m}$ 。

D.1.4 B 类标准不确定度分量 u_2 的评估

B 类标准不确定度分量 u_2 主要来自标准玻璃线纹尺的不确定度分量 u_{21} ，标准玻璃线纹尺和影像测量仪的刻度尺线膨胀系数差的不确定度分量 u_{22} ，以及标准玻璃线纹尺和影像测量仪刻度尺温度差的不确定度分量 u_{23} 等。

D.1.4.1 标准玻璃线纹尺的不确定度分量 u_{21}

200mm 二等玻璃线纹尺的扩展不确定度为 $U=0.5\mu\text{m}$ ， $k=3$ 。估算其标准不确定度

$$u_{21}=0.5/3=0.17\mu\text{m} \quad (2)$$

D.1.4.2 影像测量仪光栅尺与标准玻璃线纹尺线膨胀系数差的标准不确定度分量 u_{22}

影像测量仪光栅尺的线膨胀系数为 $(7.6 \pm 1.0) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，标准玻璃线纹尺线膨胀系数为 $(10.2 \pm 1.0) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，两者的差值 $\Delta\alpha$ 为 $3.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。由于被测影像测量仪有温度自动补偿功能，故线膨胀系数差的影响可忽略不计。

D.1.4.3 影像测量仪与标准玻璃线纹尺温度差的标准不确定度分量 u_{23}

经充分等温后，标准玻璃线纹尺与影像测量仪光栅尺的温度差 δt 估计落在 $(-0.3^\circ\text{C} \sim +0.3^\circ\text{C})$ 范围内，服从均匀分布。该分量可按下式计算：

$$u_{23}=L_i \delta t \cdot \Delta\alpha \quad (3)$$

当 $L_i=200\text{mm}$, $u(\delta t)=0.17^\circ\text{C}$, $\Delta\alpha=3.6\times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ 时, 计算得到 $u_{23}=0.12\mu\text{m}$ 。

D.1.5 合成标准不确定度的评估

上述各量彼此独立, 故合成标准不确定度可按下式得出:

$$u_c(\delta_i) = \sqrt{u_1^2 + u_{21}^2 + u_{23}^2} = 0.47\mu\text{m} \quad (4)$$

D.1.5 扩展不确定度的评估

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度

$$U=ku_c=2\times 0.47\approx 1.0\mu\text{m} \quad (5)$$

D.2 用量块校准尺寸测量示值误差 E_z

D.2.1 测量方法

用四等量块对影像测量仪光轴方向尺寸测量示值误差 E_z 进行校准。

D.1.2 数学模型

$$\delta_i = (L_i - L_0) - L_{si} \quad (6)$$

式中:

- δ_i —— 各校准点示值误差;
- L_i —— 各校准点仪器读数值,
- L_0 —— 起始点仪器读数值;
- L_{si} —— 标准量块实际长度, 单位: mm。

D.1.3 A类标准不确定度分量 u_1 的评估

A类标准不确定度分量 u_1 来自测量重复性, 也就是模型中的输入量 (L_i-L_0) 。将瞄准、读取 L_0 ——瞄准、读取 L_i ——计算 (L_i-L_0) 作为一个测量循环, 对 100mm 量块共进行 15 组测量, 得到如下测量结果 (单位: mm): 99.9977, 99.9993, 99.9993, 99.9977, 99.9969, 99.9989, 99.9977, 99.9985, 99.9989, 99.9981, 99.9973, 99.9981, 99.9989, 99.9989, 99.9991。用白塞尔公式计算标准差, 得到 $s=0.77\mu\text{m}$ 。

D.1.4 B类标准不确定度分量 u_2 的评估

B类标准不确定度分量 u_2 主要来自标准量块的不确定度分量 u_{21} , 标准量块和影像测量仪的刻度尺线膨胀系数差的不确定度分量 u_{22} , 以及标准量块和影像测量仪刻度尺温度差的不确定度分量 u_{23} 等。

D.1.4.1 标准玻璃线纹尺的不确定度分量 u_{21}

100mm 四等量块的扩展不确定度为 $U=0.4\mu\text{m}$, $k=3$ 。估算其标准不确定度

$$u_{21}=0.4/3=0.13\mu\text{m} \quad (7)$$

D.1.4.2 影像测量仪光栅尺与标准量块线膨胀系数差的标准不确定度分量 u_{22}

影像测量仪光栅尺的线膨胀系数为 $(7.6\pm 1.0)\times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 标准量块线膨胀系数为 $(11.6\pm 1.0)\times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 两者的差值 $\Delta\alpha$ 为 $4.0\times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$ 。由于被测影像测量仪有温度自动补偿功能, 故线膨胀系数差的影响可忽略不计。

D.1.4.3 影像测量仪与标准量块温度差的标准不确定度分量 u_{23}

经充分等温后,标准玻璃线纹尺与影像测量仪光栅尺的温度差 δt 估计落在 $(-0.5^{\circ}\text{C} \sim +0.5^{\circ}\text{C})$ 范围内,服从均匀分布。该分量可按式计算:

$$u_{23} = L_r \cdot \delta t \cdot \Delta\alpha \quad (8)$$

当 $L_r = 100\text{mm}$, $\delta t = 0.29^{\circ}\text{C}$, $\Delta\alpha = 4.0 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 时,计算得到 $u_{23} = 0.12\mu\text{m}$ 。

D.1.5 合成标准不确定度的评估

上述各量彼此独立,故合成标准不确定度可按式得出:

$$u_c(\delta_i) = \sqrt{u_1^2 + u_{21}^2 + u_{23}^2} = 0.79\mu\text{m} \quad (9)$$

D.1.5 扩展不确定度的评估

取包含因子 $k=2$,则扩展不确定度

$$U = k u_c = 2 \times 0.79 \approx 1.6\mu\text{m} \quad (10)$$