



中华人民共和国国家计量技术规范

Calibration Specification for

JJF 1318—2011

影像测量仪校准规范

Calibration Specification for Imaging Probe Measuring Machines

2011-11-14 发布

2012-02-14 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布



影像测量仪校准规范

Calibration Specification for
Imaging Probe Measuring Machines

JJF 1318—2011

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2011 年 11 月 14 日批准，并自 2012 年 2 月 14 日起施行。

归口单位：全国几何量长度计量技术委员会

主要起草单位：深圳市计量质量检测研究院

中国计量科学研究院

浙江省计量科学研究院

参加起草单位：广东省计量科学研究院

深圳赛克数码科技发展有限公司

本规范委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

目 录

1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 尺寸测量误差	(2)
5.2 各截面测量结果一致性 (E_C)	(3)
5.3 探测误差	(3)
5.4 变倍探测误差 (P_Z)	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 操作条件	(3)
6.3 测量系统配置	(3)
6.4 标准器及其他设备	(3)
6.5 其他条件	(3)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准尺寸测量误差 E_Z 、 E_{XY} 和 E_V 的通用要求	(4)
7.2 二维探测误差 P_{2D}	(5)
7.3 (测量平面内的) 尺寸测量误差 E_{XY}	(5)
7.4 垂直尺寸测量误差 E_Z	(6)
7.5 各截面测量结果一致性 E_C	(6)
7.6 影像测头探测误差 P_V	(6)
7.7 影像测头尺寸测量误差 E_V	(6)
7.8 变倍探测误差 P_Z	(6)
8 校准结果表达	(7)
9 复校时间间隔	(7)
附录 A 专用台阶规规格	(8)
附录 B 单、双向逼近和单、双向及对中测量	(10)
附录 C 用二维尺寸掩模板校准 E_{XY} 的方法	(11)
附录 D 测量尺寸示值误差的不确定度评定示例	(12)

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 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1094—2002 测量仪器特性评定

JJF 1130—2005 几何量测量设备校准中的不确定度评定指南

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

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 术语

JJF 1001 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 影像探测系统 imaging probing system

通过影像系统获取测量点的探测系统。

3.2 (影像探测系统的) 测量平面 measuring plane (of the imaging probing system)

由影像探测系统决定的二维平面。

3.3 (测量平面内的) 尺寸测量误差(E_{XY}) length measurement error(in measuring plane)

与探测系统光轴方向垂直的测量平面上尺寸测量的示值误差。

注：

1. 在本规范中，XY平面默认为平行于测量平面，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 。

3.4 垂直尺寸测量误差(E_Z) perpendicular length measurement error

在垂直于测量平面方向上尺寸测量的示值误差。

注：在本规范中，Z轴默认为平行于影像系统光轴且垂直于测量平面，若不然，则须作相应标注（例如 E_X 或 E_Y ）。

3.5 影像测头尺寸测量误差(E_V) imaging probe length measurement error

在影像测量仪运动平台和影像探测系统均不做任何移动的情况下，影像测头视场范围内任意位置尺寸测量的示值误差。

3.6 各截面测量结果一致性(E_C) consistency of measurement result in different measuring plane

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。

3.7 二维探测误差 (P_{2D}) probing error

用影像测量仪测定平面圆形实物标准器的半径变化范围。

3.8 影像测头探测误差 (P_V) probing error of the imaging probe

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。

3.9 变倍探测误差 (P_Z) probing error of the zoom imaging probe

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—光学镜头; 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 尺寸测量误差

5.1.1 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误差:

—— E_{XY} ;

—— E_Z ;

—— E_V 。

注:

1 E_V 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 。

5.1.2 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误差:

—— E_{XY} ;

—— E_V 。

注:

1 E_V 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 各截面测量结果一致性(E_C)

注:对只能在任何二维平面内作测量的影像测量仪不校准此项。

5.3 探测误差

5.3.1 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。

5.3.2 影像测头探测误差(P_V)

5.4 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。

上述条件的允许极限,在校准时由用户规定。环境条件在允许极限内,测量结果均有效。

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) 影像探测系统标定;

c) 影像系统放大倍数;

d) 照明条件。

6.3 测量系统配置

校准时应考虑,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。

6.4 标准器及其他设备

推荐使用表1所列仪器,允许使用其他满足不确定度要求的标准器进行校准。

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。

表 1 标准器及其他设备

序号	校准项目	标准器及其他设备
1	探测误差 (P_{2D})	标称直径 (20 ~ 50) mm, 圆度不超过 $\frac{1}{4}MPEP_{2D}$ 的圆形靶标
2	(测量平面内的) 尺寸测量误差 (E_{XY})	不确定度不大于 $\frac{1}{4}MPEE_{XY}$ 的线纹尺或二维掩模板
3	垂直尺寸测量误差 (E_Z)	不确定度不大于 $\frac{1}{4}MPEE_Z$ 的量块或台阶规
4	各截面测量结果一致性 (E_C)	专用台阶规 (技术规格见附录 A)
5	影像测头探测误差 (P_V)	标称直径 (0.1 ~ 1) mm, 圆度 $0.5 \mu\text{m}$ 的圆形靶标
6	影像测头尺寸测量误差 (E_V)	不确定度不大于 $\frac{1}{4}MPEE_V$ 的微刻线尺或掩模板
7	变倍探测误差 (P_Z)	圆度 $0.5 \mu\text{m}$ 且标称直径在视场范围内的圆形靶标

7 校准项目和校准方法

7.1 校准尺寸测量误差 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 二维探测误差 P_{2D}

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°) 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 2 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。

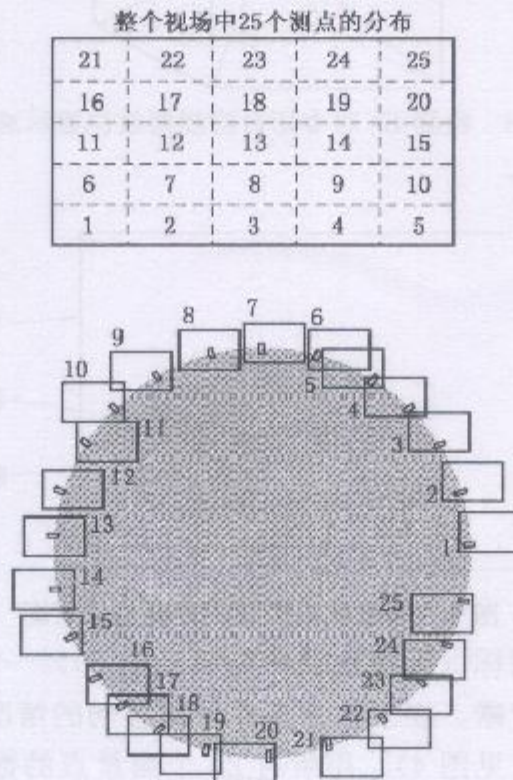


图 2 测量 P_{2D} 的示例

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_i , 范围 $R_{MAX} - R_{MIN}$ 即为探测误差。

7.3 (测量平面内的) 尺寸测量误差 E_{XY}

选择线纹尺作标准器, 按 7.1.2 b) 的要求设置测量位置。在各测量位置上调整影像探测系统, 使线纹尺刻线均成像清晰, 依次对规定的线纹间隔进行测量。测得值与标准器实际值的差值为尺寸测量误差。

7.4 垂直尺寸测量误差 E_z

选择量块或台阶规作标准器，按 7.1.2 a) 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读数。测得值与标准间隔实际值的差值为垂直尺寸测量误差。

7.5 各截面测量结果一致性 E_c

依次将专用台阶规按图 3 所示的四个空间对角线方向放置，测量其两个标记位置的中心距。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。

注：标记可以是便于中心提取的各种形状，如十字形、圆形等。

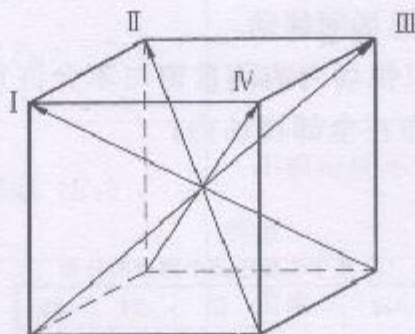


图 3 检测 E_c 时专用台阶规摆放位置示意图

7.6 影像测头探测误差 P_v

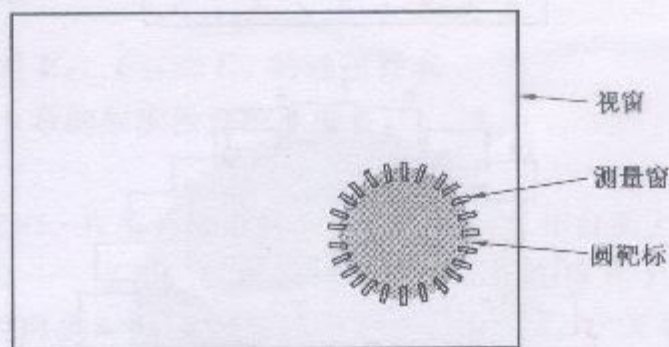


图 4 影像测头探测误差测量示意图

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。在工作台不作任何移动的情况下，利用视场内不同点对圆形靶标的圆周进行测量（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_i ，范围 $R_{MAX} - R_{MIN}$ 即为影像测头探测误差。

7.7 影像测头尺寸测量误差 E_v

选择微刻线尺作标准器，按 7.1.2 c) 的要求设置测量位置。调整影像测头视场大小，使微刻线尺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视场内微刻线尺的线纹间距。测得值与标准器实际值的差值为影像测头尺寸测量误差。

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，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

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

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

复校时间间隔可由用户根据实际使用情况自主决定，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

专用台阶规基体示意图见图 A.1。

单位：mm

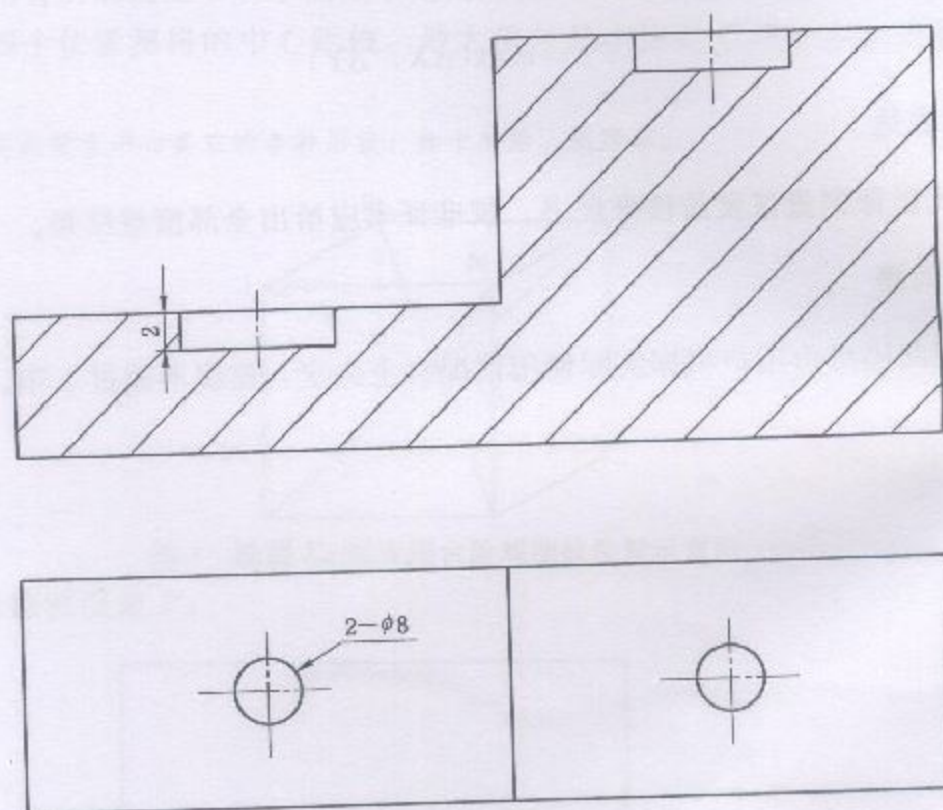


图 A.1 专用台阶规基体示意图

专用台阶规基体技术要求见表 A.1。

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 50 mm
底面平面度	≤ 0.01 mm (凹形)
凹槽处台阶面平面度	≤ 0.005 mm

A.2 嵌入式靶标示意图及技术要求

嵌入式靶标示意图见图 A.2。

单位: mm

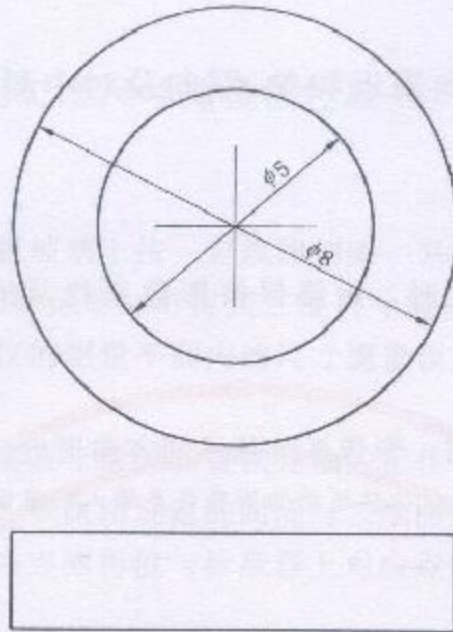


图 A.2 嵌入式靶标示意图

嵌入式靶标技术要求见表 A.2。

表 A.2 嵌入式靶标技术要求

材 料	光 学 玻 璃
底面平面度	≤ 0.005 mm
刻线宽度	≤ 0.005 mm
注: 在 $\phi 8$ mm 光学玻璃上刻画 $\phi 5$ mm 圆形靶标, 圆心处刻画十字线, 线长 3 mm。	

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 适宜作单向测量的标准器

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，见图 B.1。

注：以下图示中，箭头方向为工作台移动方向。



图 B.1 单向测量示意图

B.2.2 双向测量

B.2.2.1 适宜作双向测量的标准器

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，见图 B.2。



图 B.2 双向测量示意图

B.2.2.3 (双向逼近) 对中测量

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，见图 B.3。

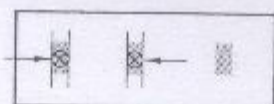


图 B.3 对中测量示意图

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测量平面内的尺寸测量误差（ 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。各网格点测得值与标准器上对应点实际值的差值为测量平面内的尺寸测量误差。

C.3 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，得到各网格点的 (X, Y) 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测量平面内的尺寸测量误差。

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。

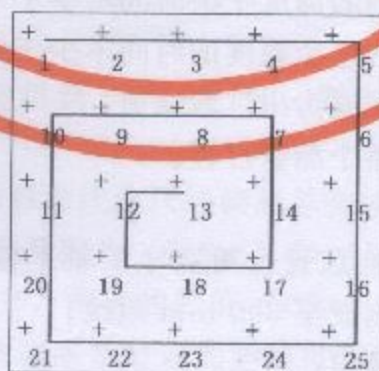


图 C.1 测量线路示意图

附录 D

测量尺寸示值误差的不确定度评定示例

D.1 用标准线纹尺校准尺寸测量示值误差 E_x

D.1.1 测量任务

用二等线纹尺测量影像测量仪 300 mm 尺寸示值误差 E_x 。

D.1.2 目标不确定度

根据 JJF 1094—2002《测量仪器特性评定》中 5.3.1.4 规定,测量结果的扩展不确定度 U ($k=2$) 与其最大允许误差的绝对值 MPEV 之比,应小于或等于 1:3,即

$$U \leq \frac{1}{3} \cdot \text{MPEV} \quad (\text{D.1})$$

依据某影像测量仪生产厂商提供的技术要求,测量平面内的尺寸测量示指误差的最大允许误差为 $E_{XY} = \pm \left(2.0 \mu\text{m} + \frac{1}{3} \times 10^{-5} L \right)$,将其代入式 (D.1),得到与之对应的目标不确定度 U_T 列于表 D.1。

表 D.1 目标不确定度 U_T

测量长度 L/mm	E_x 的 MPEV/ μm	目标不确定度 $U_T/\mu\text{m}$
300	3.0	1.0

D.1.3 测量原理、条件及方法

D.1.3.1 测量原理

光学非接触测量。

D.1.3.2 测量条件

测量室温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$; 温度变化小于 $1^\circ\text{C}/\text{h}$, 湿度不大于 80%;

标准线纹尺放置在测量室内的温度平衡时间不少于 4 h;

被测影像测量仪在测量室内平衡温度的时间不少于 12 h;

被测影像测量仪测量系统配置为出厂默认值;

操作人员经过培训,熟悉整个测量过程。

D.1.3.3 测量方法

标准线纹尺沿仪器 X 轴方向放置且调整与 X 轴平行;

测量间隔为标准线纹尺 0 刻线至 300 mm 刻线;

瞄准方式按本规范 7.1.4 规定;

逼近方向为双向逼近;

按本规范 7.3 的方法测量 3 次。

D.1.4 不确定度来源及说明

不确定度来源及其说明见表 D.2。

表 D.2 影像测量仪尺寸测量不确定度来源和说明

序号	符号	不确定度分量名称	说 明
1	u_{xx}	二等标准线纹尺	证书给出的不确定度 $U=0.6 \mu\text{m}$, 包含因子 $k=3$
2	$u_{tb/cl}$	u_{tb}	数显分辨力 仪器数显装置分辨力为 $0.1 \mu\text{m}$
		u_{cl}	测量重复性 重复性条件下多次测量 ($0\sim 300$) mm 距离时, 由于瞄准刻线等因素引起的测量结果分散性
3	u_{xx}	线膨胀系数	标准线纹尺和影像测量仪光栅尺的线膨胀系数差及标准线纹尺线膨胀系数的不确定度对测量结果的影响
4	u_{wd}	温度	标准线纹尺和影像测量仪光栅尺温度差、环境温度与标准温度 20°C 的差对测量结果的影响

D.1.5 不确定度评定——不确定度分量的说明及计算

D.1.5.1 二等标准线纹尺引入的不确定度分量 (B类评定)

根据二等标准线纹尺的检定证书, 二等线纹尺的测量不确定度为 $U=0.6 \mu\text{m}$, 包含因子 $k=3$, 标准线纹尺引入的不确定度分量为:

$$u_{xx} = 0.6 \mu\text{m} / 3 = 0.2 \mu\text{m}$$

D.1.5.2 数显分辨力引入的不确定度分量 (B类评定)

仪器数显装置的分辨力为 $0.1 \mu\text{m}$, 服从均匀分布, 则不确定度分量:

$$u_{tb} = \frac{0.1 \mu\text{m}}{2\sqrt{3}} = 0.03 \mu\text{m}$$

D.1.5.3 测量重复性引入的不确定度分量 (A类评定)

测量重复性引入的不确定度分量即以瞄准、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 300mm 点各进行 10 组测量, 得到如下测量结果 (mm): 300.001 3, 300.001 8, 300.001 7, 300.002 1, 300.001 7, 300.001 5, 300.001 1, 300.001 9, 300.001 4, 300.001 9。

采用贝塞尔公式计算标准差得到 $s=0.31 \mu\text{m}$, 即

$$u_{cl} = 0.31 \mu\text{m}$$

D.1.5.4 影像测量仪光栅尺与标准线纹尺线膨胀系数差 (B类评定)

影像测量仪光栅尺的线膨胀系数为 $(7.6 \pm 1.0) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 证书给出的标准线纹尺线膨胀系数为 $11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 两者的差值 $\Delta\alpha$ 为 $3.9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。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。

标准线纹尺线膨胀系数的不确定度会给测量结果带来影响, 但证书未给出线膨胀系数的不确定度。标准线纹尺是钢制的, 通常线膨胀系数为 $(11.5 \pm 1.0) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 假定线膨胀系数的测量结果不确定度满足式 (D.1) 的要求, 估计其 U_{bcx} 为 $0.3 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ($k=2$), 由此估算在 $L=0.3\text{m}$, 温度偏离 $\Delta t=2^\circ\text{C}$ 的条件下:

$$u_{xx} = L \cdot \Delta t \cdot u_{bcx} = 0.3 \text{ m} \times 2^\circ\text{C} \times 0.15 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 0.09 \mu\text{m}$$

D.1.5.5 温度误差引入的不确定度分量 (B类评定)

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

$$u_{\text{wd}} = L_i \cdot \Delta\alpha \cdot u(\delta t)$$

其中 $u(\delta t) = 0.3^\circ\text{C} \times 0.6 = 0.18^\circ\text{C}$, $\Delta\alpha = 4.0 \times 10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$, 当 $L_i = 300\text{ mm}$ 时:

$$u_{\text{wd}} = 0.22\ \mu\text{m}$$

由于被测影像测量仪有温度自动补偿功能,故环境温度与标准温度 20°C 的差对测量结果的影响可忽略不计。

D.1.6 合成标准不确定度和扩展不确定度

由于各分量之间不具有值得考虑的相关性,合成标准不确定度 u_c 为:

$$u_c = \sqrt{u_{\text{sw}}^2 + u_{\text{wd}}^2 + u_{\text{xx}}^2 + u_{\text{ct}}^2} = 0.44\ \mu\text{m}$$

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度:

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.44\ \mu\text{m} \approx 0.9\ \mu\text{m}$$

D.1.7 不确定度概算汇总表

不确定度概算汇总见表 D.3。

表 D.3 不确定度概算汇总表

分量名称	评定类型	分布类型	测量次数	变化限 a^* 影响量单位	变化限 $a/\mu\text{m}$	相关系数	分布因子 b	不确定度分量 $u_{\text{xx}}/\mu\text{m}$
u_{sw} 2 等线纹尺	B	正态		$0.6\ \mu\text{m}$	0.6	0	1/3	0.2
$u_{\text{th/ct}}$ 重复性	A		10			0		0.31
u_{xx} 线膨胀系数	B	正态		2°C	0.18	0	0.5	0.09
u_{wd} 温度	B	均匀		0.3°C	0.36	0	0.6	0.22
合成标准不确定度 u_c								0.44
扩展不确定度 U (包含因子 $k=2$)								0.9

D.1.8 不确定度概算讨论

通过上述不确定度概算表明, $U = 0.9\ \mu\text{m} \leq U_T$ ($1.0\ \mu\text{m}$), 目标不确定度合格判据 $U \leq U_T$ 得到满足。

D.2 用量块校准垂直尺寸测量示值误差 E_z

D.2.1 测量任务

用 4 等量块测量影像测量仪 100 mm 垂直尺寸示值误差 E_z 。

D.2.2 目标不确定度

根据 JJF 1094—2002《测量仪器特性评定》中 5.3.1.4 规定,测量结果的扩展不确定度 U ($k=2$) 与其最大允许误差的绝对值 MPEV 之比,应小于或等于 $1:3$,即满足式 D.1 的要求。

依据某影像测量仪生产厂商提供的技术要求,测量垂直尺寸测量示指误差的最大允

许误差为 $E_z = \pm(5.0 \mu\text{m} + 5 \times 10^{-6} L)$ ，将其代入式 (D.1)，得到与之对应的目标不确定度 U_T 列于表 D.4。

表 D.4 目标不确定度 U_T

测量长度 L/mm	E_z 的 MPEV/ μm	目标不确定度 $U_T/\mu\text{m}$
100	5.5	1.8

D.2.3 测量原理、条件及方法

D.2.3.1 测量原理

光学非接触测量

D.2.3.2 测量条件

测量室温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ；每小时温度变化小于 1°C ，湿度不大于 80%；

标准量块放置在测量室内的温度平衡时间不少于 2 h；

被测影像测量仪在测量室内平衡温度的时间不少于 12 h；

被测影像测量仪测量系统配置为出厂默认值；

操作人员经过培训，熟悉整个测量过程。

D.2.3.3 测量方法

标准量块 (100 mm) 垂直放置在工作台面上；

测量工作台面到量块上工作面的距离；

瞄准方式按本规范 7.1.4 规定；

逼近方向为单向逼近；

按本规范 7.2 的方法测量 3 次。

D.2.4 不确定度来源及说明

不确定度来源及其说明见表 D.5。

表 D.5 影像测量仪尺寸测量不确定度来源和说明

序号	符号	不确定度分量名称	说 明	
1	u_{1k}	4 等量块	证书给出的不确定度 $U=0.4 \mu\text{m}$ ，包含因子 $k=3$	
2	$u_{fb/ct}$	u_{fb} 数显分辨力	仪器数显装置分辨力为 $0.1 \mu\text{m}$	取两者的大值
		u_{ct} 测量重复性	重复性条件下多次测量 (0~100) mm 距离时，由于瞄准刻线等因素引起的测量结果分散性	
3	u_{sz}	线膨胀系数	标准量块和影像测量仪光栅尺的线膨胀系数差及标准量块线膨胀系数的不确定度对测量结果的影响	
4	u_{wd}	温度	标准量块和影像测量仪光栅尺温度差、环境温度与标准温度 20°C 的差对测量结果的影响	

D.2.5 不确定度评估——不确定度分量的说明及计算

D.2.5.1 4 等量块引入的不确定度分量 (B 类评定)

根据 4 等量块的检定证书，其不确定度为 $U=0.4 \mu\text{m}$ ，包含因子 $k=3$ ，量块引入的

不确定度分量为:

$$u_{ik} = 0.4 \mu\text{m}/3 = 0.13 \mu\text{m}$$

D.2.5.2 数显分辨力引入的不确定度分量 (B类评定)

仪器数显装置的分辨力为 $0.1 \mu\text{m}$, 服从均匀分布, 则不确定度分量:

$$u_{rh} = \frac{0.1 \mu\text{m}}{2\sqrt{3}} = 0.03 \mu\text{m}$$

D.2.5.3 测量重复性引入的不确定度分量 (A类评定)

测量重复性引入的不确定度分量即以瞄准工作台、读取 L_0 ——瞄准量块上表面、读取 L_i ——计算 $(L_i - L_0)$ 作为一个测量循环, 对 100 mm 量块进行 10 组测量, 得到如下测量结果 (mm): 99.997 7, 99.999 3, 99.999 3, 99.997 7, 99.996 9, 99.998 9, 99.997 7, 99.998 5, 99.998 9, 99.998 1, 99.997 3, 99.998 1, 99.998 9, 99.998 9, 99.999 1。

采用贝塞尔公式计算标准差, 得到 $s = 0.77 \mu\text{m}$, 即

$$u_{cf} = 0.77 \mu\text{m}$$

D.2.5.4 影像测量仪光栅尺与标准量块线膨胀系数差 (B类评定)

影像测量仪光栅尺的线膨胀系数为 $(7.6 \pm 1.0) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 证书给出的量块线膨胀系数为 $11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 两者的差值 $\Delta\alpha$ 为 $3.9 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。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。

标准量块线膨胀系数的不确定度会给测量结果带来影响, 但证书未给出线膨胀系数的不确定度。钢量块通常线膨胀系数为 $(11.5 \pm 1.0) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 假定线膨胀系数的测量结果不确定度满足式 (D.1) 的要求, 估计其 U_{bcxz} 为 $0.3 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ($k=2$), 由此估算在 $L=0.1 \text{ m}$, 温度偏离 $\Delta t=2 \text{ } ^\circ\text{C}$ 的条件下:

$$u_{xz} = L \cdot \Delta t \cdot u_{bcxz} = 0.1 \text{ m} \times 2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 0.15 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} = 0.03 \mu\text{m}$$

D.2.5.5 温度误差引入的不确定度分量 (B类评定)

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

$$u_{wd} = L_i \cdot \Delta\alpha \cdot u(\delta t)$$

其中 $u(\delta t) = 0.3 \text{ } ^\circ\text{C} \times 0.6 = 0.18 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Delta\alpha = 4.0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, 当 $L_i = 100 \text{ mm}$ 时:

$$u_{wd} = 0.07 \mu\text{m}$$

由于被测影像测量仪有温度自动补偿功能, 故环境温度与标准温度 $20 \text{ } ^\circ\text{C}$ 的差对测量结果的影响可忽略不计。

D.2.6 合成标准不确定度和扩展不确定度

由于各分量之间不具有值得考虑的相关性, 合成标准不确定度 u_c 为:

$$u_c = \sqrt{u_{yw}^2 + u_{wd}^2 + u_{xz}^2 + u_{cf}^2} = 0.78 \mu\text{m}$$

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度:

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.78 \mu\text{m} \approx 1.6 \mu\text{m}$$

D.2.7 不确定度概算汇总表

不确定度概算汇总见表 D.6。

表 D.6 不确定度概算汇总表

分量名称	评定类型	分布类型	测量次数	变化限 a^* 影响量单位	变化限 $a/\mu\text{m}$	相关系数	分布因子 b	不确定度分量 $u_{xx}/\mu\text{m}$
u_{xw} 4 等量块	B	正态		0.4 μm	0.4	0	1/3	0.13
$u_{\text{Re}/cl}$ 重复性	A		10			0		0.77
u_{xL} 线膨胀系数	B	正态		2 $^{\circ}\text{C}$	0.06	0	0.5	0.03
u_{wt} 温度	B	均匀		0.3 $^{\circ}\text{C}$	0.12	0	0.6	0.07
合成标准不确定度 u_c								0.78
扩展不确定度 U (包含因子 $k=2$)								1.6

D.2.8 不确定度概算讨论

通过上述不确定度概算表明, $U=1.6 \mu\text{m} \leq U_T (1.8 \mu\text{m})$, 目标不确定度合格判据 $U \leq U_T$ 得到满足。