

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—202X

坐标测量机计量测试评价规范

Specification for testing and evaluation of coordinate measuring machine

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

坐标测量机
计量测试评价规范

Specification for testing and evaluation of
coordinate measuring machine

JJF XXXX—202X

归口单位：全国几何量长度计量技术委员会

主要起草单位：

本规范由全国几何量长度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

XXX (XXXXXX)

参加起草人：

XXX (XXXXXX)

XXX (XXXXXX)

目 录

引 言	1
1 范围.....	2
2 引用文件.....	2
3 术语和定义.....	2
4 概述.....	3
5 功能要求.....	3
6 计量特性/要求.....	3
7 通用技术要求.....	5
8 计量测试评价项目.....	7
9 提供样机的数量及样机的使用方式.....	7
10 计量测试评价方法、条件和数据处理.....	8
11 结果报告.....	12
12 测试评价及建议.....	13
附录 A 坐标测量机计量测试评价申请书格式.....	14
附录 B.....	16
附录 C.....	20
附录 D.....	21
附录 E.....	23

引 言

本规范以 JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1015《计量器具型式评价通用规范》、JJF 1016《计量器具型式评价大纲编写导则》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行制定。

本规范在 JJF 1064-2024《坐标测量机校准规范》的基础上，参照 GB/T 17421.1 机床检验通则 第 1 部分：在无负荷或准静态条件下机床的几何精度和 GB/T 16857.6 坐标测量机的验收检测和复检检测第 6 部分：计量高斯拟合要素的误差的评定，增加单项几何误差、软件算法误差等测试内容，对坐标测量机产品的准确度和可靠性进行更加全面的评价，为用户的选型和测量不确定度评估提供更多参考信息。

本规范系首次发布。

坐标测量机计量测试评价规范

1 范围

本规范适用于基于互相垂直的三个直线运动导轨构成的坐标测量机或坐标测量系统的测试评价。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF1001 通用计量术语及定义

JJF1071 国家计量校准规范编写规则

JJF1064 坐标测量机校准规范

GB/T 17421.1 机床检验通则 第1部分：在无负荷或准静态条件下机床的几何精度

GB/T 16857.6 坐标测量机的验收检测和复检检测第6部分：计量高斯拟合要素的误差的评定

GB/T 39518 产品几何技术规范（GPS） 使用单探针和多探针接触式探测系统坐标测量机的检测不确定度评估指南

GB/T 34881 产品几何技术规范（GPS） 坐标测量机的检测不确定度评估指南

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 术语和定义

JJF1001 和 JJF 1064 坐标测量机校准规范界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 探测误差 **probing errors**

按照规定的测量方案,利用坐标测量机对圆形、球形或平面标准器进行测量,其形状、位置和尺寸与参考值的差。

注:根据探测系统的配置和误差的不同,用探测系统特点和误差特点命名探测误差的名称,见表2。

3.2 长度示值误差 **length measurement errors**

按照规定的测量方案,利用坐标测量机对长度标准器在坐标测量机测量空间的不同方向和位置进行长度测量,其示值与参考值的偏差。

3.3 长度示值误差重复性 **repeatability of length measurement errors**

探针对主轴偏置 $L=0$ 时,利用坐标测量机得到的相同方向和位置3次长度测量示值误差的最大差值。

3.4 四轴误差 four-axis error

用转台的轴线作为第四轴的坐标测量机在工件坐标系统内测得的检测球中心位置误差的径向分量、切向分量和轴向分量。

3.5 单项几何误差 Single geometric error

坐标测量机运动轴的定位误差、直线度误差、角度误差、垂直度误差。

3.6 几何元素拟合算法误差 Geometric elements fitting error

坐标测量机软件几何元素拟合算法误差。

4 概述

坐标测量机是由机械主机、位移传感器、探测系统、控制系统和测量软件等组成的测量系统。本规范针对的坐标测量机，机械主机采用三个互相垂直的直线导轨构成机器坐标系的三个轴，控制系统操作测头相对物体运动，采集被测几何要素表面的点坐标集，通过计算获得几何要素的参数。根据坐标测量机的配置不同，测量可以手动或自动进行。通过增加不同附件，可以提高测量的灵活性和适用范围。通过人机对话，可以在计算机控制下完成全部测量的数据采集和数据处理工作。

配备三维接触测头的坐标测量机构成基本配置的坐标测量机。在基本配置基础上，坐标测量机配置具有扫描功能的三维接触测头、影像测头、一维或二维测头、旋转工作台，或者配置上述几种或全部附件，构成多轴、多探测系统的坐标测量机，可以满足对多种多样被测对象和被测参数的测量需求。

5 功能要求

5.1 铭牌

标明产品名称、产品型号、生产商名称等信息。

5.2 安全

具有急停、限位、过载和气压等保护功能，对可能影响人员或设备安全的区域应有警示标记。

5.3 碰撞防护

发生碰撞等意外时，具有自动保护功能，并发出和记录相关信息。

5.4 测量范围

三个运动轴可以达到的。

6 计量特性/要求

坐标测量机的计量特性和要求，根据其配置和环境条件而不同，生产商应根据表 2 选择配置，并给出对应计量特性的要求。

6.1 探测误差

坐标测量机探测系统的误差，其数值不大于规定的最大允许误差。

6.2 长度示值误差和重复性

坐标测量机在空间测量范围内特定方向的长度示值误差和重复性，其数值不大于规定的最大允许误差。

6.3 四轴误差

配备转台作为第四轴的坐标测量机，转台误差不大于规定的最大允许误差。

6.4 单项几何误差

坐标测量机运动轴的单项几何误差，包括定位误差、直线度误差、角度误差和垂直度误差。具体说明见表 1。

表 1. 单项几何误差符号及说明

	符 号	说 明
X 轴	XtX	沿 X 轴运动的定位误差
	XtY	沿 X 轴运动在 Y 轴方向的直线度误差
	XtZ	沿 X 轴运动在 Z 轴方向的直线度误差
	XrX	沿 X 轴运动绕 X 轴的滚摆角度误差
	XrY	沿 X 轴运动绕 Y 轴的俯仰角度误差
	XrZ	沿 X 轴运动绕 Z 轴的偏摆角度误差
Y 轴	YtY	沿 Y 轴运动的定位误差
	YtX	沿 Y 轴运动在 X 轴方向的直线度误差
	YtZ	沿 Y 轴运动在 Z 轴方向的直线度误差
	YrY	沿 Y 轴运动的绕 Y 轴滚摆角度误差
	YrX	沿 Y 轴运动绕 X 轴的俯仰角度误差
	YrZ	沿 Y 轴运动绕 Z 轴的偏摆角度误差
Z 轴	ZtZ	沿 Z 轴运动的定位误差
	ZtX	沿 Z 轴运动在 X 轴方向的直线度误差
	ZtY	沿 Z 轴运动在 Y 轴方向的直线度误差
	ZrZ	沿 Z 轴运动绕 Z 轴的滚摆角度误差
	ZrX	沿 Z 轴运动绕 X 轴的偏摆角度误差
	ZrY	沿 Z 轴运动绕 Y 轴的俯仰角度误差
X 轴与 Y 轴垂直度	XwY	X 轴与 Y 轴之间的垂直度误差
X 轴与 Z 轴垂直度	XwZ	X 轴与 Z 轴之间的垂直度误差
Y 轴与 Z 轴垂直度	YwZ	Y 轴与 Z 轴之间的垂直度误差

6.5 几何元素拟合算法误差

坐标测量机几何元素拟合算法精度。

6.6 稳定性

在额定运行条件和保存条件下，对应表 2 计量要求的最大允许变化量。

表 2. 计量要求表

项 目		计量要求	
		探测误差	长度示值误差和重复性
探 测 系 统	触发测头	$P_{FTU, MPE}$ $P_{STU, MPE}$	$E_{0, MPE}$ $R_{0, MPE}$
	模拟测头	$P_{FTU, MPE}$ $P_{STU, MPE}$ $T_{HP, MPE}$	
	固定多探针	$P_{FTM, MPE}$ $P_{STM, MPE}$ $P_{LTM, MPE}$	$E_{150, MPE}$
	万向	$P_{FTN, MPE}$ $P_{STN, MPE}$ $P_{LTN, MPE}$	$E_{150, MPE}$
	多测头	$P_{STN, MPE}$ $P_{LTN, MPE}$	$E_{0, MPE}$ $R_{0, MPE}$ $E_{150, MPE}$
	二维测头	$P_{F2D, MPE}$	$E_{B, MPE}$ $R_{B, MPE}$ $E_{U, MPE}$ $R_{U, MPE}$
	影像测头	$P_{FV2D, MPE}$	$E_{BV, MPE}$ $E_{UV, MPE}$
	点测量式光学测距测头	$P_{Form.Sph.1 \times 25:Tr:ODS, MPE}$ $P_{Size.Sph.1 \times 25:Tr:ODS, MPE}$	/
	面测量式光学测距测头	$P_{Form.Sph.1 \times 25:St:ODS, MPE}$ $P_{Size.Sph.1 \times 25:St:ODS, MPE}$ $P_{Form.Sph.D95\%:St:ODS, MPE}$ $P_{Size.Sph.All:St:ODS, MPE}$ $E_{Form.Pla.D95\%:Tr:ODS, MPE}$	$E_{Bi:Tr:ODS, MPE}$ $E_{Uni:Tr:ODS, MPE}$
	多探测系统融合	$P_{Form.Sph.n \times 25::MPS, MPE}$ $P_{Size.Sph.n \times 25::MPS, MPE}$ $L_{Dia.n \times 25::MPS, MPE}$	/
转台	F_R, MPE F_T, MPE F_A, MPE	/	

7 通用技术要求

7.1 环境适应性

7.1.1 气源要求

生产商应说明坐标测量机正常工作时的气源气压、流量要求、允许变动范围和气体的质量要求。

7.1.2 温湿度环境

生产商应说明坐标测量机正常工作时允许的环境温湿度及变化范围要求。

7.1.3 机械环境

生产商应说明坐标测量机正常工作时允许的环境振动极限。

7.2 电源环境适应性

生产商应说明坐标测量机正常工作时允许的额定电压及允许的波动范围。

7.3 推荐的计量标准器和仪器

表 3. 推荐使用的标准器

序号	名称	规格	探测误差	长度示值 误差	四轴误差	单项几何 误差
1	量块	最短长度不大于 30mm, 最大长度不小 于空间对角线的 66%		+		
2	步距规			+		+
3	球列	最大长度不小于空间 对角线的 66%		+		+
4	线纹尺	最短长度不大于 30mm, 最大长度不小 于测量平面对角线的 66%		+		+
5	激光干 涉仪			+		+
6	短线 纹尺	刻划间隔不大于 0.1mm	+			
7	扫描检 测球	∅25mm	+			
8	检测球	∅10mm-∅30mm	+			
9	检测 球组	∅10mm-∅30mm			+	
10	检测 平面		+			

11	圆形 靶标	Ø20mm~Ø50mm	+			
12	圆形 靶标	Ø0.1mm-Ø1mm	+			
13	环规	Ø5mm~Ø25mm	+			

“+”表示适用。

8 计量测试评价项目

根据 5、6、7 中确定的评价项目，总结计量测试评价项目一览表，并对本仪器的特殊项目进行备注，参考格式如下。

表 4. 计量测试评价项目

序号	项目名称	对应要求 条款号	对应要求方 法号	评价方 式	参考 标准	
1	功能 要求	铭牌	5.1	/	观察	JJF1064
		安全	5.2	/	观察	
		碰撞防护	5.3	/	试验	
		测量范围	5.4	/	试验	
2	计量特性/ 要求	探测误差	6.1	10.1	试验	JJF1064
3		长度示值误差 和重复性	6.2	10.2	试验	JJF1064
4		四轴误差	6.3	10.3	试验	JJF1064
5		单项几何误差	6.4	10.4	试验	GB/T 17421.1
6		软件算法误差	6.5	10.5	试验	GB/T 16857.6
7		稳定性	6.6	10.6	试验	
8		通用技术 要求	环境适应性	7.1	10.7	试验
9	电源环境 适应性		7.3	10.9	试验	国标

9 提供样机的数量及样机的使用方式

9.1 技术资料

坐标测量机计量测试评价申请书（见附录 A）一式两份；

产品样本；

使用说明书；

制造单位或技术机构所做的试验报告。

9.2 提供样机的数量

9.2.1 对于单一产品的，提供一台样机。

9.2.2 对于系列产品，按照以下原则确定提供样机的数量：

a) 准确度相同、测量区间不同的系列产品在选取样机时应包括测量区间上下限的产品。每种产品提供一台样机。

b) 准确度不同、测量区间和结构相同的系列产品在选取样机时应包括各准确度等级的产品。每种产品提供一台样机。

9.3 样机的使用方式

所有测试项目在同一台样机上进行，且不得在测试期间或测试中对样机进行调整。

10 计量测试评价方法、条件和数据处理

10.1 探测误差

10.1.1 测试目的

用于评价坐标测量机测头的测量误差。

10.1.2 测试条件

测试在本规范条款 7 规定的参考条件下进行。

10.1.3 测试方法

依据 JJF1064-2024 坐标测量机校准规范的 7.1 进行测试。

10.1.4 数据处理

依据 JJF1064-2024 坐标测量机校准规范的 7.1 进行数据处理。

10.2 长度示值误差和重复性

10.2.1 测试目的

用于评价坐标测量机在空间测量范围内特定方向的长度示值误差。

10.2.2 测试条件

测试在本规范条款 7 规定的参考条件下进行。

10.2.3 测试方法

依据 JJF1064-2024 坐标测量机校准规范的 7.22 进行测试。

10.2.4 数据处理

依据 JJF1064-2024 坐标测量机校准规范的 7.2 进行数据处理。

10.3 四轴误差

10.3.1 测试目的

配备转台作为第四轴的坐标测量机，测试转台的径向、切向、轴向误差。

10.3.2 测试条件

测试在本规范条款 7 规定的参考条件下进行。

10.3.3 测试方法

依据 JJF1064-2024 坐标测量机校准规范的 7.3 进行测试。

10.3.4 数据处理

依据 JJF1064-2024 坐标测量机校准规范的 7.3 进行数据处理。

10.4 单项几何误差

10.4.1 测试目的

测试坐标测量机运动轴的单项几何误差，包括定位误差、直线度误差、角度误差（俯仰、偏摆、滚摆）和垂直度误差。每个运动轴有 6 项几何误差，包括 1 项定位误差、2 项直线度误差、3 项角度误差。三个运动轴相互之间的垂直度误差共有 3 项。几何误差的示意图如图 1 所示。

10.4.2 测试条件

测试在本规范条款 7 规定的参考条件下进行。

10.4.3 测试方法

使用激光干涉仪或步距规、量块、球列、球板等标准器实现。通过比较坐标测量机的示值和激光干涉仪或标准器示值实现单项几何误差的计算。

10.4.3.1 定位误差与数据处理

调整标准器测量线与运动轴方向平行。坐标测量机的示值与标准器数值之差为定位误差。X/Y/Z 三个轴的定位误差分别记为 X_tX 、 Y_tY 和 Z_tZ 。定位误差受测量线位置的影响。因此，需要记录测量线位置。

10.4.3.2 偏摆、俯仰角度误差与数据处理

使用激光干涉仪测量角度误差，调整激光干涉仪测量线与运动轴方向平行，沿两条平行的测量线进行等间隔测量，用两个测量线的示值差除以两条测量线的距离即为角度误差。也可直接采用激光干涉仪配合专用镜组实现。

沿 X 运动轴方向，激光干涉仪在位置 1 和位置 2 测量数值分别为 x_{1n} 和 x_{2n} ，间距为 a，则 X 绕 Z 轴的偏摆角度误差 X_rZ 的计算公式为：

$$X_rZ = \frac{x_{2n} - x_{1n}}{a}$$

沿 X 运动轴方向，激光干涉仪在位置 1 和位置 3 测量数值分别为 x_{1n} 和 x_{3n} ，间距为 b，则 X 绕 Y 轴的俯仰角度误差 X_rY 的计算公式为：

$$X_rY = \frac{x_{3n} - x_{1n}}{b}$$

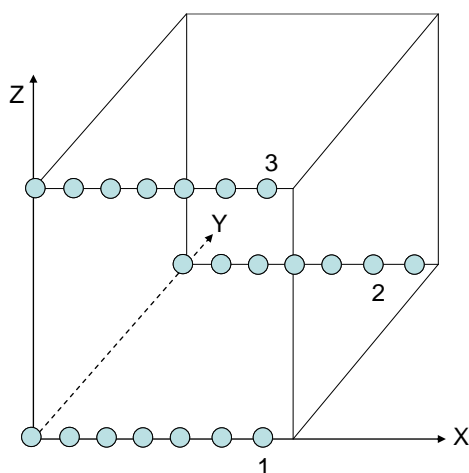


图 1. X 轴角度误差测试示意图

沿 Y 运动轴方向，使用激光干涉仪在三个不同空间位置进行测量，按照 X 轴同样的误差检测方法，可以得到 Y 轴的偏摆角摆误差 YrZ 和俯仰角度误差 YrX 。

沿 Z 运动轴方向，使用激光干涉仪在三个不同空间位置进行测量，按照 X 轴同样的误差检测方法，可以得到 Z 轴的俯仰角摆误差 ZrX 和偏摆角度误差 ZrY 。

10.4.3.3 直线度误差与数据处理

直线度误差通常采用激光干涉仪测量，如图 2 所示，双反射镜中心线规定为测量的参照直线。直线度通过相对参照直线的位置变化的干涉测量得到。沿 X 轴运动在 Y 和 Z 轴方向的直线度误差分别记为 XtY 和 XtZ 。沿 Y 轴运动在 X 和 Z 轴方向的直线度误差分别记为 YtX 和 YtZ 。沿 Z 轴运动在 X 和 Y 轴方向的直线度误差分别记为 ZtX 和 ZtY 。

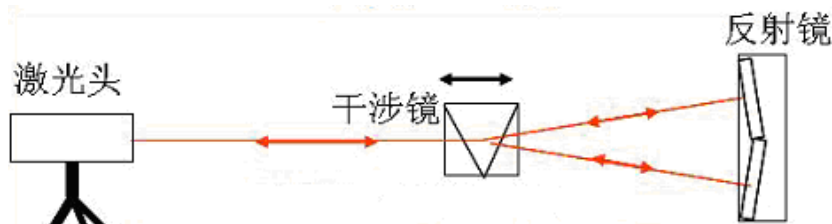


图 2. 使用激光干涉仪测量直线度误差

10.4.3.4 滚摆角度误差与数据处理

采用多光束激光干涉仪或水平仪实现滚摆角度误差的测量。采用水平仪测量时，需在运动部件和固定部件同时放置一个水平仪，将两者的测量结果相减即可得到滚摆误差。采用多光束激光干涉仪时，调整光束与沿运动轴方向平行，可直接得到滚摆误差。X/Y/Z 轴运动的滚摆误差记为 XrX 、 YrY 和 ZrZ 。

10.4.3.5 垂直度误差与数据处理

使用步距规、量块或球列等标准器，在 XY 平面内，首先将标准器与 X 轴成 45° 放置，测量其对角线的长度为 D_+ ；然后将球列与 X 轴成 -45° 放置，测量其对角线的长度

为 D_- ，则 XY 轴的垂直度计算公式为：

$$XwY = \frac{D_+ - D_-}{D} \quad (4)$$

其中 D 为球列校准值。

同理，将球列沿 XZ 平面的两条对角线测量，可以得到 XZ 轴的垂直度误差 XwZ ；将球列沿 YZ 平面的两条对角线测量，可以得到 YZ 轴之间的垂直度误差 YwZ 。

10.5 软件算法误差

10.5.1 测试目的

评价坐标测量机软件几何元素拟合算法误差。

10.5.2 软件要求

1) 送检软件应有一个明确而唯一的识别标准（例如发行号），不允许把测试结果应用于其他版本的送检软件。

2) 送检软件具有读取标准数据集以及拟合参数输出功能。

10.5.3 标准数据输入及拟合要素参数输出

标准数据集是模拟几何要素的尺寸、形状、位置、方向和参数范围设计，根据几何要素的方程表达式生成标准数据，通过旋转平移变换，叠加形位误差获得。形位误差参数范围可根据坐标测量机测量几何参数误差的不确定度，生成均匀分布的随机数获得。

输入到送检软件中的数据集(x,y,z)按照 $n \times 3$ 的格式排列，其中 n 为行数，3 为列数。其中数据点数满足几何要素拟合所需的最少点数。

拟合参数输出如表 5 所示。

表 5. 拟合要素参数

拟合要素	拟合要素的参数				说明	数据集的最少点数
	位置/mm	方向	尺寸/mm	角度/rad		
线	x_0, y_0, z_0	a, b, c	---	---	拟合数据集的质心和线法向方向余弦	2
面	x_0, y_0, z_0	a, b, c	---	---	拟合数据集的质心和面法向方向余弦	3
圆	x_0, y_0, z_0	a, b, c	r	---	拟合圆心、圆半径和圆面法向方向余弦	3
球	x_0, y_0, z_0		r	---	拟合球心和球半径	4
圆柱	x_0, y_0, z_0	a, b, c	r	---	拟合数据集的质心、圆柱轴线方向余弦和圆柱半	6

					径	
圆锥	x_0, y_0, z_0	a, b, c	r	θ	拟合数据集的质心、圆锥轴线的法线方向、质心位置的圆锥半径、圆锥角	6

10.5.4 测试方法

坐标测量机软件对标准输入数据进行计算，得到输出数据；与标准输出数据相比较，得到软件性能评价结果。软件性能评价方法见图3。

标准数据集应采用不同数量和不同分布的数据，对计算软件进行全面测试评价。

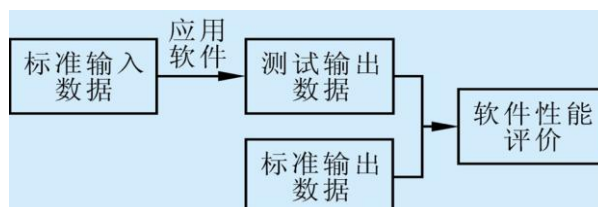


图3. 软件算法评价流程图

10.6 稳定性

每3个月重复测量 E_0 一次。在1年内，对应位置和标准器的测得值最大差值为稳定性测试结果。

10.7 环境适应性

在进行 E_0 测量过程中，在生产商允许的气源气压范围内调整气源气压，在生产商允许的温度环境中调整环境温度，在生产商允许的环境振动极限内施加振动， E_0 测量结果应在允许范围内。

10.8 电源适应性

在进行 E_0 测量过程中，在生产商允许的额定电压波动范围内改变电源电压， E_0 测量结果应在允许范围内。

11 结果报告

计量测试评价结果应在计量测试报告中反映，计量测试报告应至少包括样机基本信息、评价依据、测试记录、评价结果及建议。

评价报告应至少包含的信息如下：

- 标题：“计量测试评价报告”；
- 实验室名称和地址；
- 进行测试的地点（如果与实验室的地址不同）；
- 报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校样机的描述和明确标识;
- g) 进行测试的日期, 如果与测试结果的有效性和应用有关时, 应说明被测试样机的接收日期;
- h) 如果与测试结果的有效性应用有关时, 应对测试样品的抽样程序进行说明;
- i) 测试所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- j) 本次测试所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 测试环境的描述;
- l) 测试结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对测试规范的偏离的说明;
- n) 测试报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 测试结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制报告的声明。

12 测试评价及建议

测试完成后, 结合测试数据和测试环境条件进行分析, 应对测试仪器进行技术状态、稳定性、可靠性、适用性进行评价, 给出相应建议。

附录 A 坐标测量机计量测试评价申请书格式

申请机构信息：

申请计量测试评价设备信息：	
系列名称/系列名：	
系列包含规格及参数：	
样机规格	

设备配置及计量要求：

项目(示例)		配置	计量要求	
			探测误差	长度示值误差
探测系统	触发测头	<input type="checkbox"/>	$P_{FTU, MPE} =$ $P_{STU, MPE} =$	$E_{0, MPE} =$ $R_{0, MPE} =$
	模拟测头	<input type="checkbox"/>	$P_{FTU, MPE} =$ $P_{STU, MPE} =$ $T_{HP, MPE} =$	
	固定多探针	<input type="checkbox"/>	$P_{FTM, MPE} =$ $P_{STM, MPE} =$ $P_{LTM, MPE} =$	$E_{150, MPE} =$
	万向	<input type="checkbox"/>	$P_{FTN, MPE} =$ $P_{STN, MPE} =$ $P_{LTN, MPE} =$	$E_{150, MPE} =$
	多测头	<input type="checkbox"/>	$P_{STN, MPE} =$ $P_{LTN, MPE} =$	$E_{0, MPE} =$ $R_{0, MPE} =$ $E_{150, MPE} =$
	二维测头	<input type="checkbox"/>	$P_{F2D, MPE} =$	$E_B, MPE =$ $R_B, MPE =$ $E_U, MPE =$ $R_U, MPE =$
	影像测头	<input type="checkbox"/>	$P_{FV2D, MPE} =$	$E_{BV, MPE} =$ $E_{UV, MPE} =$
	点测量式光学测距测头	<input type="checkbox"/>	$P_{Form.Sph.1 \times 25:Tr:ODS, MPE} =$ $P_{Size.Sph.1 \times 25:Tr:ODS, MPE} =$	/

项目(示例)	配置	计量要求	
		探测误差	长度示值误差
面测量式光学测距测头	<input type="checkbox"/>	$P_{\text{Form.Sph.1}\times 25:\text{St:ODS}}$, MPE = $P_{\text{Size.Sph.1}\times 25:\text{St:ODS}}$, MPE = $P_{\text{Form.Sph.D95\%:\text{St:ODS}}$, MPE = $P_{\text{Size.Sph.All:St:ODS}}$, MPE = $E_{\text{Form.Pla.D95\%:Tr:ODS}}$, MPE =	$E_{\text{Bi:Tr:ODS}}$, MPE = $E_{\text{Uni:Tr:ODS}}$, MPE =
多探测系统融合	<input type="checkbox"/>	$P_{\text{Form.Sph.n}\times 25::\text{MPS}}$, MPE = $P_{\text{Size.Sph.n}\times 25::\text{MPS}}$, MPE = $L_{\text{Dia.n}\times 25::\text{MPS}}$, MPE =	/
转台	<input type="checkbox"/>	F_{R} , MPE = F_{T} , MPE = F_{A} , MPE =	/

稳定性:

环境要求:

气源气压:

环境温度:

机械振动:

保存条件:

电压要求:

附件清单:

- 产品样本:
- 使用说明书:
- 制造单位或技术机构所做的试验报告:

附录 B

坐标测量机计量测试评价原始记录

数据记录格式

一、 基本信息

仪器名称:				
型号规格:				
测量范围:				
设备编号:				
客户名称:				
客户地址:				
联系人及联系方式:				
日期:				
地点:				
人员:		核验人员:		
所依据的技术文件(代号、名称)				
环境条件:				
温度: °C 湿度: % RH				
使用的计量(基)标准装置或主要标准器				
名称	测量范围	不确定度/准确度	证书编号	证书有效期至

二、功能要求

铭牌	
铭牌安全标记	
碰撞防护	
运动范围	

三、设备配置及校准项目，测得值汇总：

序号	配置	选择	符号	最大允许误差	测得值			
					1	2	3	结果
1	基本配置							
1.1	单探针探头	<input type="checkbox"/>	P_{FTU}					
			P_{STU}					
			E_0		见二、测量示值误差测得值 E_0 图			
			R_0		见二、测量示值误差测得值 R_0 数据表			
1.2	固定多探针探测系统	<input type="checkbox"/>	P_{FTM}					
			P_{STM}					
			P_{LTM}					
			E_{150}		见三、测量示值误差测得值 E_{150} 图			
1.3	固定多探头探测系统	<input type="checkbox"/>	P_{FTN}					
			P_{STN}					
			P_{LTN}					
1.4	探针直接标定的万向探测系统	<input type="checkbox"/>	P_{FTE}					
			P_{STE}					
			P_{LTE}					
			E_{150}		见三、测量示值误差测得值 E_{150} 图			
2	扫描探测系统							
2.1	扫描探测误差	<input type="checkbox"/>	T_{HP}					
		<input type="checkbox"/>	τ_{HP}					
3.	二维探头							
3.1	影像探头 (影像探头做二维探头使用)	<input type="checkbox"/>	P_{FV2D}					
			P_{F2D}					
			E_{BV}					
			E_{UV}					
3.2	二维探头	<input type="checkbox"/>	P_{F2D}					
			E_B					
			R_B					
			E_U					
			R_U					
4.	光学测距探头							
4.1	点测量式光学测距探头	<input type="checkbox"/>	$P_{Form.Sph.1\times 25:Tr:ODS}$					
			$P_{Size.Sph.1\times 25:Tr:ODS}$					

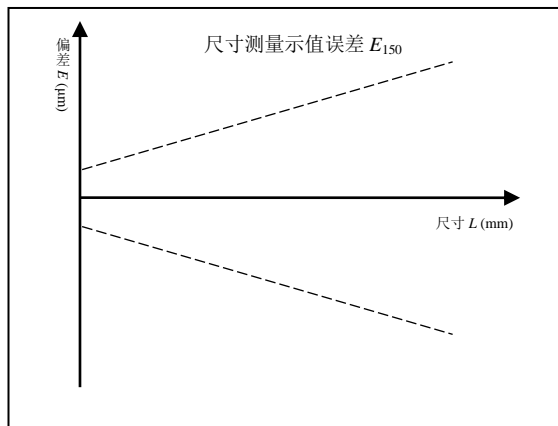
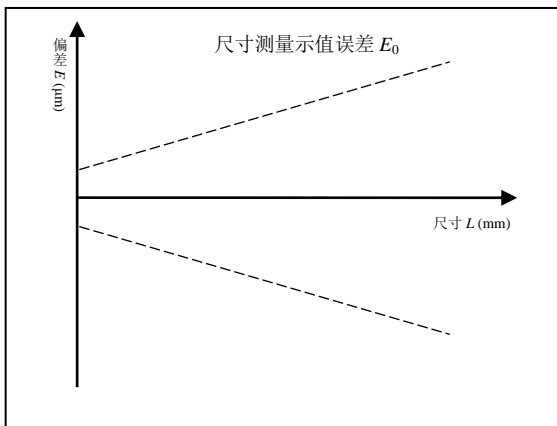
4.2	面测量式光学测距探头	<input type="checkbox"/>	$P_{\text{Form.Sph.1}\times 25:\text{St:ODS}}$					
			$P_{\text{Size.Sph.1}\times 25:\text{St:ODS}}$					
			$P_{\text{Form.Sph.D95\%:\text{St:ODS}}$					
			$P_{\text{Size.Sph.All:\text{St:ODS}}$					
			$E_{\text{Form.Pla.D95\%:\text{Tr:ODS}}$					
			$E_{\text{Bi:\text{Tr:ODS}}$					
			$E_{\text{Uni:\text{Tr:ODS}}$					
4.3	配置万向测量座	<input type="checkbox"/>	$L_{\text{Dia.5}\times 25:\text{Art:ODS}}$					
5	多探测系统							
5.1	多探测系统误差	<input type="checkbox"/>	$P_{\text{Form.Sph.n}\times 25::\text{MPS}}$					
			$P_{\text{Size.Sph.n}\times 25::\text{MPS}}$					
			$L_{\text{Dia.n}\times 25::\text{MPS}}$					
序号	配置	选择	符号	最大允许误差	测得值			
6	转台							
6.1	四轴误差	<input type="checkbox"/>	F_R					
			F_T					
			F_A					

四、长度示值误差和重复性

方向	参考尺寸	偏差 D_1	偏差 D_2	偏差 D_3	最大允许误差	R
X						
Y						
Z						
S1						

S2						
S3						
S4						

$$R_0 = \max(D_i) - \min(D_i), \quad i=1, 2, 3$$



附录 C

坐标测量机计量测试评价报告（示例）

一、样机基本信息

- （一）委托单位
- （二）仪器生产单位
- （三）仪器名称、型号、编号
- （四）工作原理、用途、应用场景
- （五）测量参数、计量性能指标
- （六）外观照片，铭牌照片，关键部位照片等可追溯性信息

二、人员签字

- （一）测试评价人员签字 批准人签字
- （二）复核人员签字

三、测试条件

- （一）测试时间
- （二）测试依据
- （三）测试环境（开始温度、结束温度、振动、相对湿度、其他等）
- （四）测试用设备（仪器证书号、标准有效期、测试范围等）
- （五）测量参数、计量性能指标

附录 D

探测误差测量不确定度评价示例

使用陶瓷检测球对一台坐标测量机进行验收检测。坐标测量机和所用设备的技术参数均列于表 1，数据取自坐标测量机规格及量块的校准证书。推荐的热膨胀系数值由量块生产制造商提供。

表 1. 坐标测量机和标准器的技术参数

坐标测量机	测量空间	$(1000 \times 900 \times 650)mm$
	MPE_P	$0.6\mu m$
	MPE_E	$\pm(0.5 + L/750)\mu m$
标准球	校准的形状误差 F	$(0.07 \pm 0.1)\mu m$
量块	尺寸的校准不确定度	$0.1\mu m + 0.25 \times 10^{-6} \times L$
	热膨胀系数	$(10.9 \pm 0.35) \times 10^{-6} K^{-1}$

D.1 探测误差测量不确定度的数学模型

探测误差标准不确定度 $u(P_{FTU})$ 的公式：

$$u(P_{FTU}) = \sqrt{\left(\frac{F_{SPHERE}}{2}\right)^2 + u^2(F_{SPHERE})} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

F_{SPHERE} ——标准球的形状误差；

$u(F_{SPHERE})$ ——校准证书提供的标准球形状误差的标准不确定度；

D.2 标准不确定度来源分析

D.2.1 标准球形状误差校准引入的标准不确定度 $u(F_{SPHERE})$

$$u(F_{SPHERE}) = \frac{U(F)}{k} = \frac{0.1\mu m}{2} = 0.05\mu m \dots\dots\dots (D.2)$$

D.2.2 标准球的形状误差 F_{SPHERE} 引入的标准不确定度

$$\frac{F_{\text{SPHERE}}}{2} = \frac{0.07 \mu\text{m}}{2} = 0.035 \mu\text{m} \dots\dots\dots (\text{D. 3})$$

D.3 合成标准不确定度

$$u(P_{\text{FTU}}) = \sqrt{\left(\frac{F_{\text{SPHERE}}}{2}\right)^2 + u^2(F_{\text{SPHERE}})} = 0.06 \mu\text{m} \dots\dots\dots (\text{D. 4})$$

D.4 扩展不确定度

取包含因子 $k = 2$ ，则探测误差的扩展不确定度为：

$$U(P_{\text{FTU}}) = k \times u(P_{\text{FTU}}) = 0.12 \mu\text{m} \dots\dots\dots (\text{D. 5})$$

附录 E

尺寸示值误差测量不确定度评估示例

使用量块对一台坐标测量机进行验收检测。坐标测量机和所用设备的技术参数均列于表 E.1，数据取自坐标测量机规格及量块的校准证书。推荐的热膨胀系数值由量块生产制造商提供。

表 E.1. 坐标测量机和标准器的技术参数

坐标测量机	测量空间	$(1000 \times 900 \times 650)mm$
	MPE_P	$0.6\mu m$
	MPE_E	$\pm(0.5 + L/750)\mu m$
量块	尺寸的校准不确定度	$0.1\mu m + 0.25 \times 10^{-6} \times L$
	热膨胀系数	$(10.9 \pm 0.35) \times 10^{-6}K^{-1}$

E.1 测量模型

对标准器进行测量，得到的测量尺寸示值 E 的标准不确定度为：

$$u^2(E) = u^2(\varepsilon_{cal}) + u^2(\varepsilon_a) + u^2(\varepsilon_t) + u^2(\varepsilon_{align}) + u^2(\varepsilon_{fixt}) \quad (E.1)$$

其中

ε_{cal} 为标准器的校准误差；

ε_a 为标准器的热膨胀系数引起的 E 误差；

ε_t 为输入的标准器温度引起的 E 误差；

ε_{align} 为标准器定向引起的 E 误差；

ε_{fixt} 为标准器装卡稳定性引起的 E 误差；

E.2 不确定度因素分析

E.2.1 标准器校准值的标准不确定度 $u(\varepsilon_{cal})$

该不确定度分量由标准器的校准证书给出，计算值见表 E.2 ($k=2$)

表 B 1 选用尺寸与其标准不确定度值 $u(\varepsilon_{cal})$

L (mm)	30	125	250	500	600	700	1000
$u(\varepsilon_{cal})$ (μm)	0.05	0.07	0.08	0.11	0.13	0.14	0.18

E.2.2 标准器热膨胀系数的标准不确定度 $u(\varepsilon_\alpha)$

由于坐标测量机具有材料温度补偿功能, 该分量需要考虑, 校准者需要输入标准器的材料热膨胀系数, 本例 $\text{CTE}=10.9 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 。标准不确定度 $u(\varepsilon_\alpha)$ 按下式评估:

$$u(\varepsilon_\alpha) = L \times (|t - 20 \text{ }^\circ\text{C}|) \times u(\alpha) \quad (\text{E.2})$$

校准过程中, 量块温度的变化范围为 $20.31^\circ\text{C} \sim 20.78^\circ\text{C}$, 取范围的上限代入上式, $|t - 20 \text{ }^\circ\text{C}| = 0.78 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

注: 一般说来, 该数据只有在测量进行时才有效, 标准器热膨胀系数的不确定度通常比其他分量小。为简化起见, 按本项估算的方法该不确定度分量将偏大, 如果最后的 $U(E)$ 太大, 可以按 JJF 1130 中的 PUMA 方法反复逼近, 重新评估得到合理值。

$u(\alpha)$ 取自量块的生产商, 由膨胀系数变化量的半宽除以包含因子 $k=2$, 对不同尺寸的量块, $u(\varepsilon_\alpha)$ 估算于表 E.3。

表 E.3 选用尺寸与热膨胀系数的标准不确定度 $u(\varepsilon_\alpha)$

L (mm)	30	125	250	500	600	700	1000
$u(\varepsilon_\alpha)$ (μm)	0.00	0.02	0.03	0.07	0.08	0.10	0.14

E.2.3 标准器温度测量的标准不确定度 $u(\varepsilon_t)$

由于标准器的温度测量是坐标测量机上的功能, 测量误差是坐标测量机示值误差的一部分, 与校准方法无关, 不予单独考虑, $u(\varepsilon_t) = 0$ 。

E.2.4 标准器定向误差引入的标准不确定度 $u(\varepsilon_{align})$

标准器定向的方法应与其尺寸校准一致, 即保证坐标测量机的测量长度方向与量块中心长度的方向一致。建立工件坐标系, 坐标系的一条轴线与量块工作面垂直。沿该坐标轴的坐标差值作为点到点的距离, 取点时应尽量探测工作面的中心位置。有时为了方便已将量块组合在一起装夹, 需要对每个量块单独定向。

注: 实际工作中, 要建立完整的坐标系, 坐标测量机软件定义第一条轴线时, 还需要确定其方向和在工作面上的原点位置, 通常以量块的侧面为测量基准。这种情况与不确定度无关, 在此不做讨论。

$u(\varepsilon_{align})$ 的评估如下式:

$$u(\varepsilon_{align}) = \sqrt{u^2(e_{\cos}) + u^2(e_{\text{parall}})} \quad (\text{E.3})$$

其中 $u(e_{\cos})$ 的计算考虑如下方面：

——工作面宽为 9mm，避开倒角后，在工作面在宽度方向的定向距离 $L_{\text{align}}=6\text{ mm}$ ；

——实际的探测误差 $P=0.45\text{ }\mu\text{m}$ ，则 $u(P)=P/\sqrt{12}=0.13\text{ }\mu\text{m}$ ；

——考虑到实际定向方法与量块尺寸的校准一致，则 $u(p_{\text{geo}})=0$ 。

不确定度 $u(e_{\cos})$ 按下式计算：

$$u(e_{\cos}) = 2\sqrt{2} \times \frac{u^2(P) + u^2(p_{\text{geo}})}{L_{\text{align}}^2} L = 2\sqrt{2} \times \frac{0.13^2}{6^2} L \approx 0 \quad (\text{E.4})$$

高准确探测系统探测误差很小，不确定度 $u(e_{\cos})$ 可以忽略。

对于 0 级量块，长度变动量 t_v 为 $0.1\text{ }\mu\text{m} \sim 0.4\text{ }\mu\text{m}$ ，平行度影响量的不确定度分量 $u(e_{\text{parall}})$ 按下式计算： $u(e_{\text{parall}})=t_v/\sqrt{12}$ ，见表 E.4。

表 E.4 选用尺寸与不确定度分量 $u(e_{\text{parall}})$

L (mm)	30	125	250	500	600	700	1000
t_v (μm)	0.10	0.14	0.16	0.25	0.25	0.30	0.40
$u(e_{\text{parall}})$ (μm)	0.03	0.04	0.05	0.07	0.07	0.09	0.12

注： P 是由多方向测量获得，长度变动量 t_v 也是针对量块全工作面，超过了实际使用区域。为简化起见，按上面的公式评估，将会使不确定度 $u(P)$ 和 $u(e_{\text{parall}})$ 估大。如果估算得到的 $u(E)$ 偏大，可以按 JJF 1130 中的 PUMA 方法反复逼近，得到合理值。

E.2.5 标准器装卡稳定性引入的标准不确定度 $u(\varepsilon_{\text{fixt}})$

每个量块都按艾利点支撑（标记于侧面），并采用只施加横向力的平衡装夹装置，装夹没有变形，检测时避免任何晃动。为减少热变形，在充分等温后再锁紧。实际探测系统施加的探测力几乎为零，将指示计对准量块的一端，探测量块另一端，得到的读数 $\Delta L_{p1}=0.04\mu\text{m}$ ， $\Delta L_{p2}=0.03\mu\text{m}$ 。标准器装卡稳定性引入的标准不确定度为：

$$u(\varepsilon_{\text{fixt}}) = \left| \Delta L_b - (|\Delta L_{p1}| + |\Delta L_{p2}|) \right| = 0.07\text{ }\mu\text{m} \quad (\text{E.5})$$

E. 3. 不确定度一览表

$$u(E) = \sqrt{u^2(\varepsilon_{cal}) + u^2(\varepsilon_{\alpha}) + u^2(\varepsilon_t) + u^2(\varepsilon_{align}) + u^2(\varepsilon_{fixt})} \quad (E.6)$$

表 E.5 坐标测量机不确定度一览表 (单位: μm)

测量长度 (mm)	30	125	250	500	600	700	1000
$u(\varepsilon_{cal})$	0.05	0.07	0.08	0.11	0.13	0.14	0.18
$u(\varepsilon_{\alpha})$	0.00	0.02	0.03	0.07	0.08	0.10	0.14
$u(\varepsilon_t)$	----	----	----	----	----	----	----
$u(\varepsilon_{align})$	0.03	0.04	0.05	0.07	0.07	0.09	0.12
$u(\varepsilon_{fixt})$	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
$u(E)$	0.09	0.11	0.12	0.16	0.18	0.21	0.27
$U(E)$	0.19	0.22	0.25	0.33	0.37	0.41	0.54

对于最短的量块, 长度测量结果的扩展不确定度 $U(E)$ 与 MPE_E 的比值为 35% , 对于最长的量块, 该值为 29% 时, 可以认为测量能力足够。当然这些值并不最理想, 特别是对短量块来说, 有待提高测量能力。可以进一步评估, 将评估偏大的不确定度分量减小。例如: 量块工作面的实际使用区域并没有达到其全部工作面, 考虑其比例关系, 可以减少标准器定向误差引入的标准不确定度 $u(\varepsilon_{align})$ 。