



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1064—2024

坐标测量机校准规范

Calibration Specification for Coordinate Measuring Machines

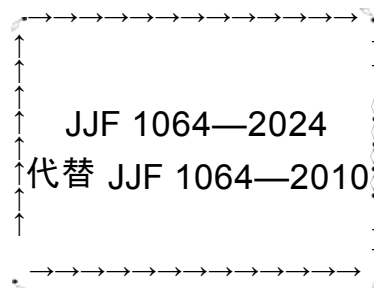
2024-06-14发布

2024-12-14实施

国家市场监督管理总局 发布

坐标测量机校准规范

Calibration Specification for
Coordinate Measuring Machines



归口单位：全国几何量长度计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

广东省计量科学研究院

重庆市计量质量检测研究院

参加起草单位：天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室

本规范委托全国几何量长度计量技术委员会负责解释

主要起草人：

王为农（中国计量科学研究院）

位恒政（中国计量科学研究院）

张 勇（广东省计量科学研究院）

徐 健（重庆市计量质量检测研究院）

参加起草人：

马爱文（天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室）

目 录

引言	(III)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和定义	(1)
4 概述	(3)
5 计量特性	(3)
5.1 探测误差	(3)
5.2 长度示值误差及长度示值误差重复性	(4)
5.3 四轴误差	(5)
5.4 计量特性的选择	(5)
6 校准条件	(7)
6.1 环境条件	(7)
6.2 探测系统配置	(7)
6.3 操作条件	(7)
6.4 标准器	(7)
7 校准方法	(9)
7.1 探测误差	(9)
7.2 长度示值误差及长度示值误差重复性	(21)
7.3 四轴误差	(25)
8 校准结果的处理	(28)
9 复校时间间隔	(29)
附录 A 大型坐标测量机的补充测量	(30)
附录 B 测量不确定度报告示例	(31)
附录 C 原始记录格式	(32)

引 言

JJF1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001—2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成本规范修订工作的基础性系列规范。

本规范采用下列标准中规定的坐标测量机计量特性、符号和校准方法：

GB/T 16857.1—2002《产品几何量技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第1部分：词汇》；

GB/T 16857.2—2017《产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第2部分：用于测量线性尺寸的坐标测量机》；

GB/T 16857.3—2009《产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第3部分：配置转台的轴线为第四轴的坐标测量机》；

GB/T 16857.4—2003《产品几何量技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第4部分：在扫描模式下使用的坐标测量机》；

GB/T 16857.5—2017《产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第5部分：使用单探针或多探针接触式探测系统的坐标测量机》；

ISO 10360-7: 2011《产品几何量技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第7部分：配置影像探测系统的坐标测量机》[Geometrical product specifications (GPS)—Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM)—Part7: CMMs equipped with imaging probing systems]；

ISO 10360-8: 2013《产品几何量技术规范(GPS) 坐标测量系统的验收检测和复检检测 第8部分：配置光学测距测头的坐标测量机》[Geometrical product specifications (GPS)—Acceptance and reverification tests for coordinate measuring systems (CMS)—Part8: CMMs with optical distance sensors]；

ISO 10360-9: 2013《产品几何量技术规范(GPS) 坐标测量系统的验收检测和复检检测 第9部分：配置多种探测系统的坐标测量机》[Geometrical product specifications (GPS)—Acceptance and reverification tests for coordinate measuring systems (CMS)—Part9: CMMs with multiple probing systems]。

但选用计量特性有下列偏离：

—GB/T 16857.4—2003中仅采用了 T_{HP} 。

—未采用 GB/T 16857.5—2017中万向探测系统间接标定条件下的探测误差。

—未采用 ISO 10360-7: 2011 中的垂直度误差和 Z 轴长度示值误差检测。

本规范采用 GB/T 34881—2017《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》和 GB/T 39518—2020《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》中对校准结果的不确定度评定方法，以引用文件的形式作为测量不确定度报告示例。

本规范是对 JJF 1064—2010《坐标测量机校准规范》的修订。除编辑性修改以外，

主要的技术变化如下：

- 根据 ISO 10360-2: 2009《产品几何技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测 第 2 部分：用于测量线性尺寸的坐标测量机》及其后发布的各部分标准中计量特性符号的变化情况，统一采用了现行有效的 ISO 10360各部分标准中计量特性的符号，最大允许误差符号采用了新的形式；
- 调整了计量特性的名称，以便区分；
- 给出了坐标测量机配置及对应的校准项目表；
- 规定了单探针探测误差校准中，探针方向与测头方向一致；
- 删除了配备影像探测系统坐标测量机的变焦探测误差；
- 增加了光学测距测头的计量特性校准；
- 增加了多种探测系统的计量特性校准；
- 删除了期间核查的要求。

本规范的历次版本发布情况为：

- JJF 1064—2010；
- JJF 1064—2004；
- JJF 1064—2000。

坐标测量机校准规范

1 范围

本规范适用于基于互相垂直的 3 个直线运动导轨构成的坐标测量机的校准。

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 1071 国家计量校准规范编写规则

GB/T 16857.1 产品几何量技术规范(GPS) 坐标测量机的验收检测和复检检测
第 1 部分：词汇

GB/T 18779.1 产品几何量技术规范(GPS) 工件与测量设备的测量检验 第 1
部分：按规范检验合格或不合格的判定规则

GB/T 34881—2017 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

GB/T 39518—2020 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

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

JJF 1001、GB/T 16857.1 界定的以及下列术语和定义适用于本规范。

3.1 坐标测量机的测量方案 measurement strategy of CMM

使用坐标测量机进行测量时，被测件在测量空间的安装位置，坐标测量机采用的测头和探针配置、探测点的数目和分布、测量方法（如点位测量、扫描测量、对中测量等）、环境条件、评定方法等的总和。

3.2 操作条件 operating condition

保证生产商规定的性能参数能够实现的额定操作条件。

注：每个探测系统的操作条件可以通过一个缩写词来识别，其相应的性能值可被引用。通常生产商会为每种探测系统规定操作条件，但是生产商可以为一个单一探测系统规定几种操作条件，可以包括：

- 探针和加长杆的长度（如果适用）；
- 安装（万向的或固定的，是否使用探针交换架）；
- 照明（如果适用）；
- 标定程序；
- 滤波设定；
- 允许的表面区域；

— 允许的表面条件（粗糙度、反射率）。

3.3 多测头系统 multi-probe system

具有两个及以上测头的探测系统。

3.4 多探测系统 multiple probing systems; MPS

具有两种及以上具有不同操作条件的不同类型探测系统组成的探测系统。

注：

1 一个探测系统组合可能是同一个探测系统或者是不同的探测系统（如在双工模式中的双主轴坐标测量机的情况）。

2 在一个多探测系统中，进行探测组合的不同测头的技术通常是不同的，例如接触测头和影像测头，或两个具有不同特性的接触测头。如果所有测头是接触式的，并具有相同的特性，该探测系统按照多测头系统进行校准更加合理。

3.5 影像探测系统 imaging probing system

利用影像系统生成测量点的探测系统。（见图 1）

注：

- 1 本术语主要关注可以在垂直于探测系统轴线方向进行测量的影像探测系统。
- 2 视频或视觉探测系统均是影像探测系统。

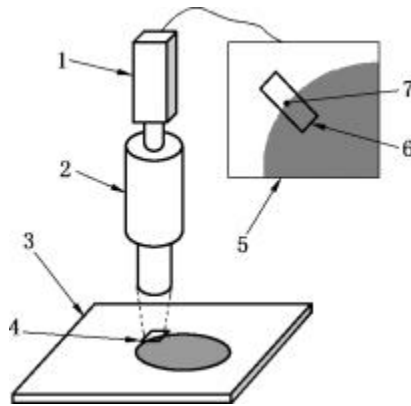


图 1 影像探测系统

- 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

3.6 影像测头坐标测量机 imaging probe CMM

装备了影像探测系统的坐标测量机。

3.7 视场 field of view; FOV

通过影像探测系统看到的区域。（见图 1）

注：视场的测量范围，或尺寸由最终成像的物方范围进行表述。

3.8 测量窗 measuring window

视场中用于确定测量点（集）的区域。（见图 1）

注：根据不同的影像测头坐标测量机或同一台影像测头坐标测量机的不同应用，测量窗的大小和方向可以有許多非常不同的选择。

3.9 (二维探测系统的) 测量平面 measuring plane (of the 2D probing system)
由二维探测系统视场决定的二维平面。

3.10 光学测距测头 optical distance sensors; ODS
利用光学测距原理的非接触测头部件。

注：典型的测量原理是三角法测距和同轴测距。三角法测距包括线结构光法、莫尔条纹法、狭缝光法、点扫描等，同轴测距包括干涉测量和共焦系统。

3.11 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 1。

3.12 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。

3.13 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。

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 3 个互相垂直的直线导轨构成机器坐标系的 3 个轴，控制系统操作测头相对物体的运动，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、机动或自动进行。通过增加不同附件，可以提高测量的灵活性和扩大适用范围。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、配置影像测头、配置其他一维或二维测头、配置旋转工作台，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。

本规范通过对基本配置及附加配置的特定坐标测量机尺寸要素测量能力的测试，获得必要信息，为用户评定针对特定任务的测量不确定度提供基础数据。

5 计量特性

5.1 探测误差

不同配置下坐标测量机的探测误差见表 1。

表 1 不同配置下探测误差的名称和符号

配置		符号	名称
基本配置		P_{FTU}	单探针形状探测误差
		P_{STU}	单探针尺寸探测误差
		P_{FTM}	固定多探针形状探测误差
		P_{FTN}	固定多测头形状探测误差
		P_{FTE}	直接标定万向探测系统形状探测误差
		P_{STM}	固定多探针尺寸探测误差
		P_{STN}	固定多测头尺寸探测误差
		P_{STE}	直接标定万向探测系统尺寸探测误差
		P_{LTM}	固定多探针位置探测误差
		P_{LTN}	固定多测头位置探测误差
	P_{LTE}	直接标定万向探测系统位置探测误差	
配备接触式扫描测头		T_{HP}	接触式扫描探测误差
二维测头		P_{F2D}	二维测头探测误差
		P_{FV2D}	影像测头探测误差
光学测距测头	点测量式 光学测距测头	$P_{Form.Sph.1 \times 25:Tr:ODS}$	点测量式光学测距测头形状探测误差
		$P_{Size.Sph.1 \times 25:Tr:ODS}$	点测量式光学测距测头尺寸探测误差
	面测量式 光学测距测头	$P_{Form.Sph.1 \times 25:St:ODS}$	面测量式光学测距测头形状探测误差
		$P_{Size.Sph.1 \times 25:St:ODS}$	面测量式光学测距测头尺寸探测误差
		$P_{Form.Sph.D95\%:St:ODS}$	面测量式光学测距测头探测离散差
		$P_{Size.All.Sph.1 \times 25:St:ODS}$	面测量式光学测距测头尺寸全探测误差
		$E_{Form.Pla.D95\%:St:ODS}$	面测量式光学测距测头平面形状探测误差
	配旋转测座的	$L_{Dia.5 \times 25:Art:ODS}$	面测量式光学测距测头万向位置探测

	光学测距测头		误差
多探测系统		$P_{\text{Form.Sph.n}\times 25}:\text{MPS}$	多探测系统形状探测误差
		$P_{\text{Size.Sph.n}\times 25}:\text{MPS}$	多探测系统尺寸探测误差
		$L_{\text{Dia.n}\times 25}:\text{MPS}$	多探测系统位置探测误差

5.2 长度示值误差及长度示值误差重复性

不同配置下坐标测量机的长度示值误差及长度示值误差重复性名称及符号见表 2。

表 2 不同配置下长度示值误差的名称和符号

配置	符号	名称
基本配置	E_0	偏置 $L=0$ 时的长度示值误差
	R_0	偏置 $L=0$ 时的测量重复性
	E_L	偏置 $L=150\text{ mm}$ 条件下的长度示值误差
二维测头	E_B	二维测头双向长度示值误差(E_{BXY} 、 E_{BX} 、 E_{BY})
	R_B	二维测头双向长度示值误差重复性
	E_U	二维测头单向长度示值误差(E_{UXY} 、 E_{UX} 、 E_{UY})
	R_U	二维测头单向长度示值误差重复性
	E_{BV}	影像测头双向长度示值误差
	E_{UV}	影像测头单向长度示值误差
光学测距测头	$E_{Bi:Tr:ODS}$	面测量式光学测距测头双向长度示值误差
	$E_{Uni:Tr:ODS}$	面测量式光学测距测头单向长度示值误差

5.3 四轴误差

配备转台作为第四轴的坐标测量机，相关的误差名称和符号见表 3。

表 3 配备转台作为第四轴的误差名称和符号

配置	符号	名称
配备转台	F_R	径向四轴误差
	F_T	切向四轴误差
	F_A	轴向四轴误差

5.4 计量特性的选择

根据不同的配置，坐标测量机校准的计量特性不同。建议根据用户的配置，在表 4 中进行选择，确定开展校准的计量特性。

说明：根据表 4 中“配置”列的内容，“选择”列标记被校坐标测量机的实际情况。对所标记的配置，开展该配置对应的探测误差和长度示值误差及其重复性的校准，校准方法见相关章节。

表 4 坐标测量机配置及校准项目确认表

序号	配置	选择	探测误差	章节号	长度示值误差及其重复性	章节号
1	基本配置					
1.1	单探针测头	<input type="checkbox"/>	P_{FTU} P_{STU}	7.1.1	E_0 R_0	7.2.1

表 4 坐标测量机配置及校准项目确认表 (续)

序号	配置	选择	探测误差	章节号	长度示值误差及其重复性	章节号
1.2	固定多探针探测系统	<input type="checkbox"/>	P_{FTM} P_{STM} P_{LTM}	7.1.2	E_{150}	7.2.2
1.3	固定多测头探测系统	<input type="checkbox"/>	P_{FTN} P_{STN} P_{LTN}	7.1.2	—	—
1.4	探针直接标定的万向探测系统	<input type="checkbox"/>	P_{FTE} P_{STE} P_{LTE}	7.1.3	—	—
2	扫描探测系统	<input type="checkbox"/>	T_{HP}	7.1.4	—	—
3 二维测头						
3.1	影像测头	<input type="checkbox"/>	P_{FV2D}	7.1.5	E_{BV} E_{UV}	7.2.3
3.2	二维测头	<input type="checkbox"/>	P_{F2D}	7.1.6	E_B R_B E_U R_U	7.2.4
4 光学测距测头						
4.1	点测量式光学测距测头	<input type="checkbox"/>	$P_{Form.Sph.1\times 25:Tr:ODS}$ $P_{Size.Sph.1\times 25:Tr:ODS}$	7.1.7	—	—
4.2	面测量式光学测距测头	<input type="checkbox"/>	$P_{Form.Sph.1\times 25:St:ODS}$ $P_{Size.Sph.1\times 25:St:ODS}$ $P_{Form.Sph.D95%:St:ODS}$ $P_{Size.Sph.All:St:ODS}$ $E_{Form.Pla.D95%:Tr:ODS}$	7.1.7	$E_{Bi:Tr:ODS}$ $E_{Uni:Tr:ODS}$	7.2.5
4.3	配置万向测量座	<input type="checkbox"/>	$L_{Dia.5\times 25:Art:ODS}$	7.1.7	—	—
5	多探测系统	<input type="checkbox"/>	$P_{Form.Sph.n\times 25:MPS}$ $P_{Size.Sph.n\times 25:MPS}$ $L_{Dia.n\times 25:MPS}$	7.1.8	—	—

JJF 1064—2024

6	转台	□	F_R F_T F_A	7.3	—	—
---	----	---	-------------------------	-----	---	---

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境条件要求

校准结果的温度参考值为 20℃。环境温度对 20℃ 的偏离及其变化会引入不确定度分量，应在校准结果中的不确定度评定中考虑。

环境条件的允许极限由用户规定。校准时环境条件应控制在允许极限内。

6.1.2 环境温度的测量

校准过程中应测量和记录环境的温度变化情况，包括温度随时间的变化，以及温场的空间分布及其变化。

6.2 探测系统配置

需考虑规定的最大允许误差对应的探测系统配置的极限（探针、探针加长杆、探针方向、探针系统的重量、影像测头物镜放大倍数、照明条件、测量的锥角范围等），由用户规定。

扫描模式探测误差使用探针的标称直径对校准结果有影响，由坐标测量机用户规定。没有特别规定时，采用直径为 3 mm 的探针进行检测。

多探针探测系统误差校准中使用的所有探针均应在许可范围内选择，即应具有相同的材料、相同的探针杆直径和标称针尖偏置长度。当针尖偏置标称长度不相等时，允许标称针尖偏置长度差异不超过 6 mm 或 10%。

6.3 操作条件

坐标测量机运动应平稳，无部件干涉引起的噪声。运动范围达到要求。

应采用制造商的操作说明书中规定的程序对坐标测量机进行必要的准备，包括：

- a) 坐标测量机启动/预热周期；
- b) 探测系统的配置和组装；
- c) 探针针尖和标准球的清洁程序；
- d) 探测系统的标定程序。

6.4 标准器

6.4.1 尺寸实物标准器

校准长度示值误差用的尺寸实物标准器应满足表 5 要求，根据需要选择。

表 5 尺寸实物标准器的要求和适用项目

序号	名称	规格	要求	基本配置	影像测头	面测量式光学测距测头
1	量块	最短长度 30 mm,最大长度不小于空间对角线的 66%	测量面之间的距离经过校准	+	-	-
2	步距规			+	-	-
3	球列	最大长度不小于空间对角线的 66%	球间距不少于 5 个,经过校准	+	-	+

表 5 尺寸实物标准器的要求和适用项目 (续)

序号	名称	规格	要求	基本配置	影像测头	面测量式光学测距测头
4	线纹尺	最短长度 30 mm,最大长度不小于测量平面对角线的 66%	刻线同侧和对侧 间距离经过校准	-	+	-
5	短线纹尺	刻画间隔不大于 0.1 mm		-	+	-

注：当上述实物标准器最大长度无法达到空间对角线的 66%时，可以考虑采用附录 A 进行补充测量。

6.4.2 形状实物标准器

校准探测误差用的形状实物标准器应满足表 6 要求，根据需要选择。

表 6 三维形状实物标准器的要求和适用项目

序号	名称	规格	要求	探测误差					四轴 误差
				基础配置	光学测距测头	二维测头	扫描测头	多探测系统	
1	扫描检测球	$\phi 25$ mm	标称直径 25 mm;表面粗糙度 R_a 不大于 $0.05 \mu\text{m}$;直径和形状经校准	+	+	+	+	-	-
2	检测球	$\phi 10$ mm~ $\phi 30$ mm	直径和形状经校准	+	+	+	-	+	-
3	检测球组	$\phi 10$ mm~ $\phi 30$ mm	形状经校准	-	-	-	-	-	+
4	检测平板	长度见注 1 宽度见注 2	平面度经校准	-	+	-	-	-	-

“+”表示适用，“-”表示不适用。

注：

1 平板长边的长度，应大于线扫描测头扫描线长度，或者面测量式光学测距测头物方视场宽度的两倍以上。

2 平板短边的长度（宽度）：

a) 当采用线扫描或点扫描测头时，应不小于探测用的标准球的直径；

b) 当采用面测量式光学测距测头时，应不小于下列两个尺寸的较小值：探测用的标准球的直径或面测量式光学测距测头物方视场的宽度。

6.4.3 二维形状实物标准器

二维形状实物标准器应满足表 7 要求，根据需要选择。

表 7 二维形状实物标准器的要求和适用项目

序号	名称	规格	要求	探测误差		
				二维测头 P_{F2D}	影像测头 P_{FV}	多探测 系统
1	圆形靶标	$\varphi 20\text{ mm} \sim \varphi 50\text{ mm}$	形状经校准	+	-	-
2	圆形靶标	$\varphi 0.1\text{ mm} \sim \varphi 1\text{ mm}$	形状经校准	-	+	-
3	环规	$\varphi 5\text{ mm} \sim \varphi 25\text{ mm}$	形状/直径经校准	+	-	+

“+”表示适用，“-”表示不适用。

7 校准方法

7.1 探测误差

7.1.1 单探针形状探测误差 P_{FTU} 、单探针尺寸探测误差 P_{STU}

7.1.1.1 配置

采用平行于测头轴线的探针进行的测试。可以是固定多探针探测系统或万向探测系统中的对应配置。探针针尖偏置长度 l_0 与校准结果密切相关，建议至少选取一个包含坐标测量机生产商建议的长度，也可以在用户常用的范围内，按照表 8 建议选取长度 l_0 ，进行校准。

表 8 单探针探测误差校准建议探针针尖偏置长度

单探针针尖偏置长度 l_0
20 mm
30 mm
50 mm
100 mm

7.1.1.2 程序

- 1) 选择符合表 6 要求的检测球，安装在坐标测量机测量空间的任意位置。
- 2) 安装探针针尖，偏置长度 l_0 。

3) 测量并记录 25 个点的坐标。这些点应尽量均匀分布在检测球至少半个球上。点的分布位置应由用户规定，如果用户没有规定，建议下列探测分布（见图 2）：

- 在检测球的极点（探针方向所定义）一点；
- 极点下 22.5° 四点（均匀分布）；
- 极点下 45° 八点（均匀分布），相对于前一组点旋转 22.5° ；
- 极点下 67.5° 四点（均匀分布），相对于前一组点旋转 22.5° ；
- 极点下 90° （即在赤道上）八点（均匀分布），相对于前一组点旋转 22.5° 。

7.1.1.3 测量结果的处理

使用所有 25 个测量点，计算最小二乘拟合球的球心和半径 r 。分别计算 25 个测量

点到最小二乘拟合球球心的距离 r_i 。

单探针形状探测误差 P_{FTU} ：

$$P_{FTU} = \max(r_i) - \min(r_i) \quad (1)$$

单探针尺寸探测误差 P_{STU} ：

$$P_{STU} = r - r_0 \quad (2)$$

式中：

i — 测量点序号 $i=1, 2, \dots, 25$ ；
 r — 对检测球测量 25 个点获得的半径测得值；

r_0 — 检测球半径的参考值；

$\max(r_i)$ 、 $\min(r_i)$ — 25 个测量点到最小二乘拟合球球心距离的最大值和最小值。

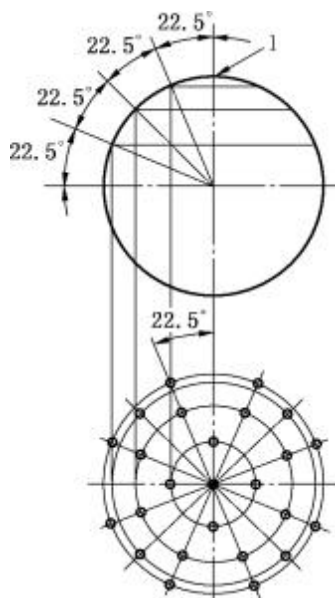


图 2 探测误差测量点分布
1—顶点

7.1.2 固定多探针/多测头探测系统的探测误差 (P_{FTM} 、 P_{STM} 、 P_{LTM} 、 P_{FTN} 、 P_{STN} 、 P_{LTN})

7.1.2.1 配置

使用 5 根不同方向的固定探针测头，见图 3。

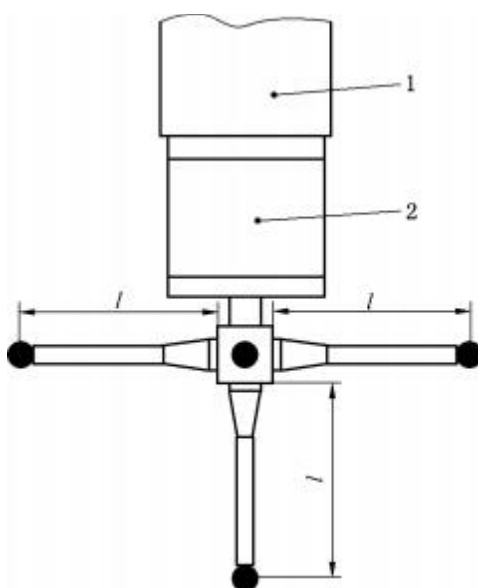
校准结果与探针针尖偏置长度密切相关。

对多探针探测系统，建议至少选取一个包含坐标测量机生产商建议的一个探针针尖偏置长度 l ，也可以在用户常用的范围内，按照表 9 建议选取长度 l ，进行测试。

对多测头探测系统，建议至少选取一个包含坐标测量机生产商建议的探针针尖偏置长度 l_0 ，也可以在用户常用的范围内，按照表 9 建议选取长度 l_0 ，进行校准。

表 9 多探针/多测头探测系统探测误差校准建议探针针尖偏置长度

多探针针尖偏置长度 l	多测头探测系统针尖偏置长度 l_0
20 mm	—
30 mm	—
50 mm	50 mm
100 mm	100 mm
200 mm	200 mm
400 mm	400 mm



注：为了清晰，5根探针中的4根可见，并仅可见3个测杆。

图 3 固定多探针探测系统的探针针尖偏置长度 l

1—探测轴；2—测头

7.1.2.2 程序

1) 选择符合表 6 要求的检测球，安装在坐标测量机测量空间的任意位置，但必须保证所有探针可以正确探测。

2) 多探针组合结构应有一根探针平行于测头轴线，4 根探针位于垂直于测头轴线的平面内，并且相邻探针夹角为 90° 。测头到探针联接点的距离应为正常使用坐标测量机探针部件时可能的最小距离（见图 3）。

- 3) 应按坐标测量机制造商规定的正常操作程序分别对 5 根探针进行标定。
- 4) 检测球安装时应与探针标定所用标准球的位置不同。
- 5) 每个探针在检测球上测量 25 点，总共 125 点。

各测量点应在检测球上匀称分布，至少覆盖半个球面。对所有探针，推荐测量点分布为：一点位于检测球极点；四点均布且与极点成 22.5° ；八点均布，相对于前者旋转 22.5° 且与极点成 45° ；四点均布，相对于前者旋转 22.5° 且与极点成 67.5° ；八点均布，

相对于前者旋转 22.5° 且与极点成 90° (见图 2)。对于各个不同方向的探针, 其极点由探针方向确定。

如果坐标测量机配有探针或测头更换系统, 应进行 5 次探针或测头更换, 每根探针测量前更换一次。但是, 如果更换系统少于 5 个测头或探针库位置, 某些测头或探针库位置要更换 1 次以上, 以实现更换 5 次。

7.1.2.3 测量结果的处理

1) 将每个探针测量的 25 点计算一个最小二乘拟合球, 共获得 5 个球。计算 5 个球的中心坐标 x 、 y 、 z 的范围。这三个坐标范围上的最大值为位置误差 P_{LTM}/P_{LTN} 。

固定多探针探测系统位置误差 P_{LTM} :

$$P_{LTM} = \max[\max(x_i) - \min(x_i), \max(y_i) - \min(y_i), \max(z_i) - \min(z_i)] \quad (3)$$

固定多测头探测系统位置误差 P_{LTN} :

$$P_{LTN} = \max[\max(x_i) - \min(x_i), \max(y_i) - \min(y_i), \max(z_i) - \min(z_i)] \quad (4)$$

其中 :

$\max(x_i)$ 、 $\max(y_i)$ 、 $\max(z_i)$ 为各点坐标值 x 、 y 、 z 的最大值 ;

$\min(x_i)$ 、 $\min(y_i)$ 、 $\min(z_i)$ 为各点坐标值 x 、 y 、 z 的最小值 ;

$i=1, 2, \dots, 5$ 用 5 根探针测得的 125 点计算一个最小二乘拟合球。计算最小二乘球的 125 个

半径值的范围, 即球的形状误差, 给出固定多探针/固定多测头形状探测误差 P_{FTM}/P_{FTN} 。类似地, 计算拟合球直径与检测球参考值的偏差, 为固定多探针/固定多测头尺寸探测误差 P_{STM}/P_{STN} 。

固定多探针/固定多测头形状探测误差 P_{FTM}/P_{FTN} :

$$P_{FTM} = \max[\max(r_i) - \min(r_i)] \quad (5)$$

固定多探针/固定多测头尺寸探测误差 P_{STM}/P_{STN} :

$$P_{STM} = r - r_0 \quad (6)$$

$$P_{STN} = r - r_0 \quad (7)$$

式中 :

$i=1, 2, \dots, 125$;
测量点序号 ;
对检测球测量 125 个点获得的半径测得值 ;

r_0 —— 检测球半径的参考值 ;

$\max(r_i)$ 、 $\min(r_i)$ —— 125 个测量点到最小二乘拟合球球心距离的最大值和最小值。

7.1.3 万向探测系统 (P_{FTE} 、 P_{STE} 、 P_{LTE})

7.1.3.1 配置

使用万向探测系统的 5 个不同的角度位置, 测量检测球形状、尺寸和位置 (见图 4)。每个角度位置上, 在检测球上测量 25 点, 5 个位置共测 125 点。

对多探针探测系统, 建议至少选取一个包含坐标测量机生产商建议的一个探针针尖偏置长度 l , 也可以在用户常用的范围内, 按照表 9 建议选取长度 l , 进行测试。

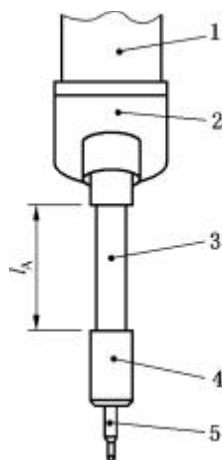


图 4 垂直位置时万向探测系统

1—轴端；2—转向测头夹持器；3—测头加长杆；4—测头；5—探针

7.1.3.2 程序

1) 选择符合表 6 要求的检测球，安装在坐标测量机测量空间的任意位置，但必须保证所有万向探测系统的探针可以正确探测。

2) 将一个 20 mm 直形短探针（特殊规定除外）和一个测头加长杆安装在万向探测系统上。测头加长杆的长度 l_A 应按下列长度值选择：50 mm、100 mm、200 mm、400 mm。除非有特殊规定，探针和测头加长杆都应选择坐标测量机测头系统允许使用的附件。

3) 依据坐标测量机制造商规定的常规操作程序对万向测头系统的 5 个角度位置分别标定。这 5 个位置应包括 1 个与主轴平行的位置和 4 个与主轴垂直的位置，每个位置与相邻位置成 90° 。

4) 检测球安装时应与探针标定所用标准球的位置不同。在每一个角度位置对检测球进行 25 点测量，总共 125 点。

5) 测点应均布在检测球上，至少覆盖半球。对所有位置建议的采样点方案为：一点位于检测球极点；四点均布且与极点成 22.5° ；八点均布，相对于前者旋转 22.5° 且与极点成 45° ；四点均布，相对于前者旋转 22.5° 且与极点成 67.5° ；八点均布，相对于前者旋转 22.5° 且与极点成 90° （见图 2）。对于各个方向位置，其极点由探针方向确定。

6) 如果坐标测量机提供探针或测头更换系统，应对探针进行 5 次更换。在测量过程中，每个角度位置，都应重新在更换系统上取出和放回探针或测头，总共进行 5 次。

7.1.3.3 测量结果的处理

1) 每个测量角度的一组 25 个测点用最小二乘法拟合一个球，共拟合 5 个球。计算 5 个球球心坐标 x 、 y 、 z 的范围，其中最大值即是万向探测系统位置探测误差 P_{LTE} 。

万向探测系统位置探测误差 P_{LTE} ：

$$P_{LTE} = \max \left[\max(x_i - x_i), \max(y_i - y_i), \max(z_i - z_i) \right] \quad (9)$$

2) 检测球 5 个测量角度的所有 125 测点计算最小二乘拟合球，这个拟合球的直径测得值与其参考值之间的差值即是万向探测系统尺寸探测误差 P_{STE} 。计算 125 个点到最

小二乘球球心的半径范围，即球的形状误差，是万向探测系统形状探测误差 P_{FTE} 。

万向探测系统形状探测误差 P_{FTE} ：

$$P_{FTE} = \max(r_i) - \min(r_i) \quad (10)$$

万向探测系统尺寸探测误差 P_{STE} ：

$$P_{STE} = r - r_0 \quad (11)$$

式中：

i —— 测量点序号 $i=1, 2, \dots, 125$ ；
 r —— 对检测球测量 125 个点获得的半径测得值；

$\max(r_i)$ 、 $\min(r_i)$ —125 个测量点到最小二乘拟合球球心距离的最大值和最小值。

7.1.4 接触式扫描探测误差 (T_{HP})

7.1.4.1 原理

在规定的时间内，扫描检测球上 4 个目标扫描平面，利用所有扫描点的测量数据计算最小二乘拟合球，计算球心到各扫描点的距离的变化范围，即形状误差，确定扫描探测误差 T_{HP} 。

7.1.4.2 配置

采用 3 mm 直径球形探针。

7.1.4.3 程序

选择符合表 6 规定扫描检测球。

检测球应不同于探测系统标定的标准球。用户可随意将其放在与标定球不同的任何位置。

仔细清洁检测球和夹具，清除可能会影响测量或检测结果的残留物。牢固安装检测球，使因偏移而产生的误差减至最小。

用户可在限定的范围内随意选择检测球安装的方向和位置。

采集并记录检测球的修正扫描线上扫描点的测量结果。修正扫描线在检测球表面上所规定的 4 个目标扫描平面内（见图 5）。

注：

- 1 目标扫描平面 1 平分球体。
- 2 目标扫描平面 2 与目标扫描平面 1 是相距 8 mm 的平行平面。

- 3 目标扫描平面 2、目标扫描平面 3 与目标扫描平面 4 相互垂直。
- 4 目标扫描平面 3 通过球体的极点。
- 5 目标扫描平面 4 是距离极点 8 mm 的平面。
- 6 α 是探针轴偏离探测轴轴线的角，建议 α 约为 45° 。
- 7 由探针轴线确定检测球的极点和平分球体的面。

建议扫描点的间距为 0.1 mm~0.2 mm。

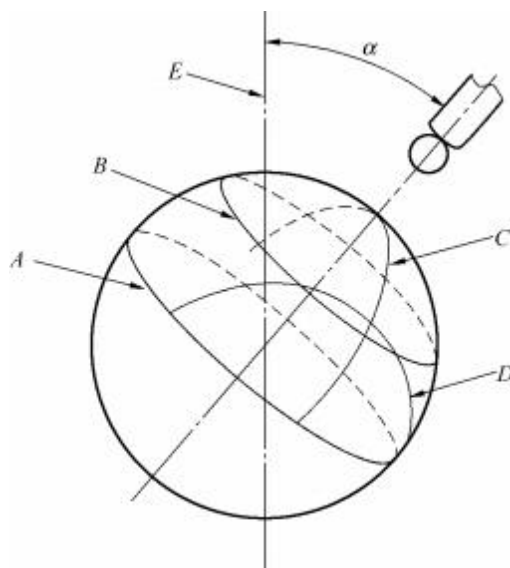


图 5 检测球上四个目标扫描平面
 α —探针轴与探测轴间的夹角

A—目标扫描平面 1; B—目标扫描平面 2; C—目标扫描平面 3;
 D—目标扫描平面 4; E—探测轴的轴线

4条线扫描的每一个过程都必须从探针离检测球至少 10 mm 处的中间点开始, 在规定的速度下沿表面法线方向趋近检测球, 沿规定路径进行线扫描, 至探针离检测球至少 10 mm 处的中间点结束。

记录从第一条扫描线起始点到第四条扫描线结束点之间的扫描检测时间 τ_{HP} , τ_{HP} 应不大于 $\tau_{HP,MPE}$, 必要时应调整扫描速度。

注: 数据处理应采用与坐标测量机正常测量所采用的同一算法和参数, 不应采用附加的滤波或其他优化措施。

7.1.4.4 测量结果的处理

按 4条修正扫描线测得的全部扫描点计算出最小二乘拟合球的中心。

计算测得的每个扫描点的径向距离 r_i 。

由计算得到的径向距离 r_i 的变化范围, 即形状误差, 作为出扫描探测误差 T_{HP} :

$$T_{HP} = \max(r_i) - \min(r_i) \quad (12)$$

式中:

i —— 测量点序号, $i=1, 2, \dots$;
 $\max(r_i)$ 、 $\min(r_i)$ 所有测量点到最小二乘拟合球球心距离的最大值和最小值。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要
下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/547160004003006134>