

# 坐标测量机校准规范

Calibration Specification for  
Coordinate Measuring Machine

JJF 1064- -2004  
代替 JJF 1064—2000

本规范经国家质量监督检验检疫总局于2004年06月04日批准，并自2004年12月01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： 中国计量科学研究院

参加起草单位： 青岛前哨测量技术有限公司

中国航空工业第一集团公司北京航空精密机械  
研究所

## 目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语和定义	(1)
4 概述	(4)
5 计量特性	(4)
5.1 通用原则	(4)
5.2 测量尺寸的坐标测量机	(5)
5.3 旋转工作作为第四轴的坐标测量机	(5)
5.4 在扫描模式下使用的坐标测量机	(5)
5.5 使用多探针探测系统的坐标测量机	(5)
6 校准条件	(5)
6.1 环境条件	(5)
6.2 探针系统	(6)
6.3 操作条件	(6)
6.4 标准器	(6)
7 校准项目和校准方法	(6)
7.1 测量尺寸的坐标测量机	(6)
7.2 旋转工作作为第四轴的坐标测量机	(9)
7.3 在扫描模式下使用的坐标测量机	(12)
7.4 使用多探针探测系统的坐标测量机	(14)
8 校准证书	(17)
9 复校时间间隔	(18)
附录 A 中间检查(资料性附录)	(19)
附录 B 大型坐标测量机的补充测量	(20)
附录 C 测量不确定度评估示例	(21)
附录 D 符合性评定	(23)

# 坐标测量机校准规范

## 1 范围

本规范适用于使用接触式探测系统的坐标测量机的校准,存在适当的实物标准器时,也可用于其他形式的坐标测量机。

## 2 引用文献

凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本规范,然而,鼓励根据本规范达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 16857.1—2001 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(ISO 10360-1, IDT)

ISO 10360-2: 2001 Geometrical Product Specifications (GPS) — Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) — Part 2: CMMs used for measuring size (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2部分:测量尺寸的坐标测量机)

ISO 10360-3: 2000 Geometrical Product Specifications (GPS) — Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) — Part 3: CMMs with the axis of a rotary table as the fourth axis (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3部分:配置转台轴线作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(ISO 10360-4, IDT)

ISO 10360-5: 2000 Geometrical Product Specifications (GPS) — Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) — Part 5: CMMs using multiple-stylus probing systems (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5部分:使用多探针探测系统的坐标测量机)

JJC 146—2003 量块检定规程

JJF 1001—1998 通用计量术语及定义

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

GB/T 18779.1—2002 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(ISO 14253-1:1998, IDT)

GB/T 15481 检测和校准实验室能力的通用要求

## 3 术语和定义

本规范采用下列术语和定义及所有 JJF 1001、GB/T 16857.1 中的术语和定义(其中部分术语和定义摘录如下):

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

使用坐标测量机对某工件进行测量时,工件在测量空间的安装位置、坐标测量机的探针配置、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 坐标测量机面向任务的校准 task related calibration of CMM

在规定条件下,根据特定测量任务和采取的特定测量方案对坐标测量机进行的校准。

### 3.3 探测误差( $P$ ) probing error

用坐标测量机测定球形尺寸实物标准器的半径范围。

### 3.4 最大允许探测误差( $MPE_p$ ) maximum permissible probing error

由坐标测量机的规范、规程等所允许的探测误差的极限值。

### 3.5 坐标测量机尺寸测量的示值误差( $E$ ) error of indication of a CMM for size measurement

用坐标测量机从相反两方向接近探测点,测定尺寸实物标准器的两对称平行平面间的法向(与一个面垂直的)两相对点距离的示值误差。

### 3.6 坐标测量机尺寸测量的最大允许示值误差( $MPE_i$ ) maximum permissible error of indication of a CMM for size measurement

由坐标测量机的规范、规程等所允许的坐标测量机尺寸测量的示值误差 $E$ 的极限值。

### 3.7 径向四轴误差(FR) radial four-axis error

用转台的轴线作为第四轴的坐标测量机,在工件坐标系内测得的检测球中心位置的示值误差的径向范围。

### 3.8 切向四轴误差(FT) tangential four-axis error

用转台的轴线作为第四轴的坐标测量机,在工件坐标系内测得的检测球中心位置的示值误差的切向范围。

### 3.9 轴向四轴误差(FA) axial four-axis error

用转台的轴线作为第四轴的坐标测量机,在工作坐标系内测得的检测球中心位置的示值误差的轴向范围。

### 3.10 最大允许径向四轴误差( $MPE_{FR}$ ) maximum permissible radial four-axis error

由转台的轴线作为第四轴的坐标测量机的规范、规程等所允许的径向四轴误差FR的极限值。

### 3.11 最大允许切向四轴误差( $MPE_{FT}$ ) maximum permissible tangential four-axis error

由转台的轴线作为第四轴的坐标测量机的规范、规程等所允许的切向四轴误差FT的极限值。

### 3.12 最大允许轴向四轴误差( $MPE_{FA}$ ) maximum permissible axial four-axis error

由转台的轴线作为第四轴的坐标测量机的规范、规程等所允许的轴向四轴误差FA的极限值。

### 3.13 指示测量点 indicated measured point

探测系统中特定点,在执行探测的瞬间指示该点的坐标值。

3.14 修正测量点 corrected measured point

基于指示测量点工件表面上点的估计值。

3.15 修正扫描线 corrected scan line

由扫描探测得到的修正测量点描述的线。

3.16 扫描探测误差 ( $T_s$ ) scanning probing error

用坐标测量机测定检测球的半径变化范围。

3.17 最大允许扫描探测误差 ( $MPE_{T_s}$ ) maximum permissible scanning probing error

由坐标测量机的规范、规程等所允许的扫描探测误差  $T_s$  的极限值。

3.18 扫描检测时间 ( $\tau_s$ ) time for scanning test

由扫描探测误差  $T_s$  规定的程序,从扫描顺序第 1 步开始到扫描顺序结束所经过的时间。

3.19 最大允许扫描检测时间 ( $MPT_{\tau_s}$ ) maximum permissible time for scanning test

由坐标测量机的规范、规程等所允许的扫描检测时间  $\tau_s$  的极限值。

3.20 固定多探针探测系统形状误差 (MF) fixed multiple - stylus probing system form error

在坐标测量机上用固定多探针以离散点探测方式,在检测球上进行测量,用最小二乘法近似处理各点,测得的球形尺寸实物标准器半径变化的范围。

3.21 固定多探针探测系统尺寸误差 (MS) fixed multiple - stylus probing system size error

在坐标测量机上用固定多探针以离散点探测方式在检测球上进行测量,用最小二乘法近似处理各点,测定球形尺寸实物标准器直径的示值误差。

3.22 固定多探针探测系统位置误差 (ML) fixed multiple - stylus probing system location error

在坐标测量机上用固定多探针以离散点探测方式在检测球上进行测量,用最小二乘法近似处理各点,测定的球形尺寸实物标准器中心坐标变化的范围。

3.23 最大允许固定多探针探测系统形状误差 ( $MPE_{MF}$ ) maximum permissible fixed multiple - stylus probing system form error

由坐标测量机的规范、规程等所允许的固定多探针探测系统形状误差 MF 的极限值。

3.24 最大允许固定多探针探测系统尺寸误差 ( $MPE_{MS}$ ) maximum permissible fixed multiple - stylus probing system size error

由坐标测量机的规范、规程等所允许的固定多探针探测系统形状误差 MS 的极限值。

3.25 最大允许固定多探针探测系统位置误差 ( $MPE_{ML}$ ) maximum permissible fixed multiple - stylus probing system location error

由坐标测量机的规范、规程等所允许的固定多探针探测系统形状误差 ML 的极限值。

3.26 万向探测系统形状误差 (AF) articulated probing system form error

在坐标测量机上用万向探测系统,以离散点探测方式在检测球上进行测量,用最小二乘法近似处理各点,测定的球形尺寸实物标准器半径变化的范围。

### 3.27 万向探测系统尺寸误差 (AS) articulated probing system size error

在坐标测量机上用万向探测系统,以离散点探测方式在检测球上进行测量,用最小二乘法近似处理各点,测定的球形尺寸实物标准器直径变化的范围。

### 3.28 万向探测系统位置误差 (AL) articulated probing system location error

在坐标测量机上用万向探测系统,以离散点探测方式在检测球上进行测量,用最小二乘法近似处理各点,测定的球形尺寸实物标准器中心坐标变化的范围。

### 3.29 最大允许万向探测系统形状误差 (MPE<sub>AF</sub>) maximum permissible articulated probing system form error

由坐标测量机的规范、规程等所允许的万向探测系统形状误差 AF 的极限值。

### 3.30 最大允许万向探测系统尺寸误差 (MPE<sub>AS</sub>) maximum permissible articulated probing system size error

由坐标测量机的规范、规程等所允许的万向探测系统尺寸误差 AS 的极限值。

### 3.31 最大允许万向探测系统位置误差 (MPE<sub>AL</sub>) maximum permissible articulated probing system location error

由坐标测量机的规范、规程等所允许的万向探测系统位置误差 AL 的极限值。

## 4 概述

利用坐标测量机可以对各种复杂形状的三维零件进行手动、机动或自动测量。通过增加不同附件,如旋转工作台、多探针等,可以提高测量的灵活性。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。

坐标测量机的测量对象多种多样,同一个被测参数可以有不同的测量方案。由于不同的测量方案的不确定度来源和叠加方式不同,测量结果的不确定度可能不同,因此,坐标测量机的校准应是面向任务的校准。

本规范使用一些基本的测量任务,对不同配置、不同使用情况下的示值误差或探测误差进行测量,包括:

- 测量尺寸的坐标测量机;
- 旋转工作作为第四轴的坐标测量机;
- 在扫描模式下使用的坐标测量机;
- 使用多探针探测系统的坐标测量机。

测量结果是针对这些测量任务的不确定度,同时为确定其他测量任务不确定度的估计值提供依据。本规范也可以作为验收检测的指南。

对有特殊要求的测量任务,如对溯源要求较高的测量任务,应尽可能采用面向任务的校准。

## 5 计量特性

### 5.1 通用原则

## 最大允许误差在

- 校准时, 按照用户规定的参数和生产商规定的程序执行;
- 验收检测时, 按照合同技术要求和生产商规定的程序执行。

如果没有特别规定, 最大允许误差适用于标准器安装在坐标测量机测量空间的任意位置或任意方向, 各种允许的探针配置, 任意的旋转工作台的位置、方向等。

## 5.2 测量尺寸的坐标测量机

### 5.2.1 探测误差 ( $P$ )

探测误差  $P$  不应超过最大允许探测误差  $MPE_P$ , 其单位为微米。

### 5.2.2 尺寸测量示值误差 ( $E$ )

坐标测量机尺寸测量的示值误差  $E$ , 不应超过坐标测量机尺寸测量的最大允许示值误差  $MPE_E$ , 其单位为微米。

## 5.3 旋转工作台作为第四轴的坐标测量机

### 5.3.1 四轴误差

径向、切向和轴向上的四轴误差  $FR$ ,  $FT$ ,  $FA$  不应超过相应的最大允许四轴误差  $MPE_{FR}$ ,  $MPE_{FT}$ ,  $MPE_{FA}$ , 其单位为微米。

## 5.4 在扫描模式下使用的坐标测量机

### 5.4.1 扫描探测误差

扫描探测误差  $T_{ij}$  不应超过最大允许扫描探测误差  $MPE_{T_{ij}}$ , 其单位为微米。其中扫描参数  $ij$  分别为:

- HP— 在预定路径上扫描, 以采集高点密度;
- LP— 在预定路径上扫描, 以采集低点密度;
- HN— 在非预定路径上扫描, 以采集高点密度;
- LN— 在非预定路径上扫描, 以采集低点密度。

### 5.4.2 扫描检测时间

扫描检测时间  $\tau_{ij}$  不应超过最大允许扫描检测时间  $MPE_{\tau_{ij}}$ , 其单位为秒。其中  $ij$  的选择见 5.4.1。

## 5.5 使用多探针探测系统的坐标测量机

### 5.5.1 固定多探针探测系统误差

固定多探针探测系统形状、尺寸和位置误差  $MF$ ,  $MS$ ,  $ML$  应分别不超过相应的最大允许误差 ( $MPE_{MF}$ ,  $MPE_{MS}$ ,  $MPE_{ML}$ ), 其单位为微米。

### 5.5.2 方向探测系统误差

方向探测系统形状、尺寸和位置误差  $AF$ ,  $AS$ ,  $AL$  应分别不超过相应的最大允许误差 ( $MPE_{AF}$ ,  $MPE_{AS}$ ,  $MPE_{AL}$ ), 其单位为微米。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

#### 6.1.1 环境条件要求

应考虑的环境条件，如安装地点影响测量的温度条件、湿度条件和振动条件，其允许极限在校准时由用户规定，在验收检测中由生产商规定；

校准或验收检测时，用户可在允许极限内随意选择环境条件。

### 6.1.2 环境温度的测量

实验室环境温度需有记录；

测量过程中应测量和记录环境的温度变化和温度梯度情况。测量点应不少于4点，分布在不同方向和高度。

### 6.2 探针系统

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、探针系统的重量等）。这些极限在验收检测中由制造商规定；在校准中由用户规定。

在扫描模式下使用的坐标测量机应使用标称直径3mm的球端探针进行检测。

多探针探测系统的坐标测量机检测中使用的探针应是在许可范围内的，即：应具有相同的材料、相同的探针杆直径和名义长度，相同的探针针头质量。但是，检测中探针长度可能不完全相等，因此，探针长度有6mm或10%的名义长度的变化，甚至更大一点也是可以的。

验收检测或校准时，用户可在限定的范围内随意选择探针系统元件的配置形式。

### 6.3 操作条件

坐标测量机运行应平稳，无部件干涉引起的噪声；运行范围达到要求。

当进行校准和验收检测时，以下程序操作应采用制造商的操作说明书中的规定：

- 坐标测量机启动/预热周期；
- 探针系统的配置和组装；
- 探针针头和标准球的清洁程序；
- 探测系统的标定。

注：在进行探测系统标定前，需先清洗探针针头标准球，消除可能影响测量或检测结果的残留物。

### 6.4 标准器

#### 6.4.1 尺寸实物标准器（量块或步距规）：

最短长度 $\leq 30\text{mm}$ ，最大长度不小于空间对角线的66%的五个不同尺寸实物标准器，其他长度应使测量长度间隔基本均匀；尺寸实物标准器的长度应经过校准；

注：当最大长度无法达到空间对角线的66%时，可以考虑采用附录B的补充测量。

#### 6.4.2 检测球

满足表1要求，根据需要选择。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 测量尺寸的坐标测量机

#### 7.1.1 探测误差

##### 7.1.1.1 原理



表 1 检测球的要求和适用项目

序号	名称	规格	要求	适用于			
				探测误差	多探 针	扫描 探测 误差	旋转 工作 台
1	扫描检测球	φ25mm	钢制；标称直径 25mm；硬度不低于 HV300；表面积随度 R，不大于 0.05μm；直径和形状经校准	-	+	+	-
2	检测球	φ10mm ~ φ30mm	直径和形状经校准	+	+	-	-
3	检测球组 (两个球)	φ10mm ~ φ30mm	形状经校准	-	-	-	+

注：表中“+”表示“适用”，“-”表示“不适用”。

探测误差校准方法的原理，是通过确定测量点到高斯拟合球球心距离的范围，评价坐标测量机是否符合规定的最大允许探测误差  $MPE_P$ 。

#### 7.1.1.2 程序

(1) 根据表 1 选择检测球。

(2) 在允许的极限内，用户可以任意选择探针的方向和检测球的安装位置。建议探针的方向不平行于坐标测量机的任一轴。

注：探针方向和检测球安装位置的选择不可能明显地影响测量结果。

(3) 安装检测球。检测球应安装牢固，以减少晃动引入的误差。

(4) 测量并记录 25 个点。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，建议采用下列探测分布（见图 1）：

——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，计算高斯拟合球。对 25 个测量点分别计算高斯半径距离  $R_i$ 。

探测误差  $P$  为 25 个高斯半径距离的范围：

$$P = R_{\max} - R_{\min}$$

#### 7.1.2 尺寸测量

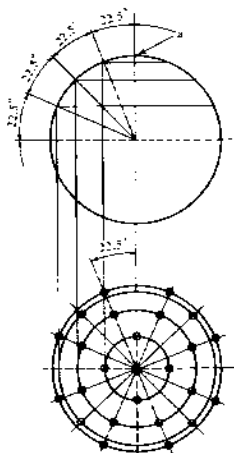


图1 探测误差测量点分布

### 7.1.2.1 原理

尺寸测量校准方法的原理，是通过比较5个不同长度的尺寸实物标准器的校准值和指示值，评价测量尺寸的坐标测量机是否符合规定的最大允许示值误差  $MPE_e$ 。5个尺寸实物标准器放在测量空间的7个不同的方向或位置，各测量3次，共进行105次测量。

### 7.1.2.2 程序

(1) 在允许的极限内，用户可以任意选择五个不同尺寸实物标准器的7个方向和位置。

注：位置和方向的选择可能明显地影响测量结果。

(2) 对所有7个不同的位置或方向重复下列步骤：

在每个不同的方向或位置对5个尺寸实物标准器各测量3次，对外侧或内侧进行双向测量。在标准器的两个工作端面上各测量一个点，尺寸测量值为两点间沿标准器长度方向的距离。

为了准直（确定标准器长度方向）的目的需要进行辅助测量。该辅助测量对每次测量分别进行。

### 7.1.2.3 测量结果的处理

对所有 105 个测量，通过指示值与尺寸实物标准器的约定真值之差，计算每一个尺寸测量的示值误差  $E$ 。

如果坐标测量机具有修正系统误差的附属装置或软件，可以对特定测量（特定的尺寸实物标准器在特定的位置和方向的测量）进行修正。当环境条件在生产商建议的范围之内时，人工对计算机输出的结果进行温度的或其他的修正是不允许的。

实物标准器的约定真值取尺寸实物标准器两个测量表面之间尺寸的校准值。只有在温度修正功能是被测坐标测量机的正常功能时，才允许对这个值进行温度修正。

## 7.2 旋转工作台作为第四轴的坐标测量机

### 7.2.1 原理

校准方法的原理是通过测量安装在旋转工作台上的检测球组两个球心坐标的变化，评价坐标测量机的测量能力是否符合规定的最大允许误差（ $MPE_{FR}$ ， $MPE_{FT}$ ， $MPE_{FA}$ ）。

检测球中心位置在旋转工作台上的工件坐标系中描述。对于一台理想的四轴坐标测量机，在工作台旋转时，检测球的中心位置应保持不变。

每个检测球中心由三个方向确定：径向，切向和轴向。

安装在工作台上的每个检测球中心在工作台的不同角位置处进行一系列测量。分别计算每个检测球在三个方向示值误差（ $FR$ ， $FT$ ， $FA$ ）的最大和最小测量结果的范围。

### 7.2.2 程序

将检测球 A 安装在旋转工作台上半径  $r$  处（ $r$  的取值见表 2），尽量靠近工作台表面。将检测球 B 安装在旋转工作台上，半径与检测球 A 相同，尽量在工作台表面对径位置，高度为  $\Delta h$ ，见表 2 和图 2。

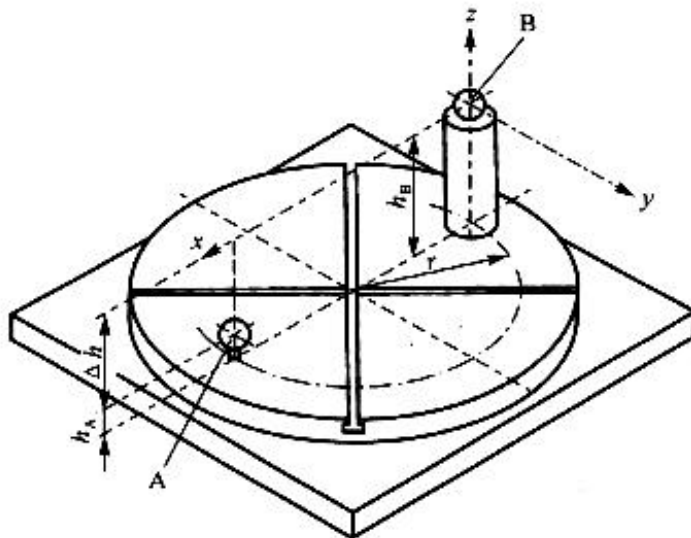


图 2 检测球在旋转工作台上的位置（用于验收检测和校准）

注：图中的  $x$ ， $y$ ， $z$  符号用于说明与旋转工作台的关系，不需要与机器轴符号一致。

检测球的安装必须足够牢固，以避免晃动或弯曲变形引起的误差，特别是旋转工作台轴线为水平时。

在旋转工作台上定义一个直角工件坐标系（见图2），满足下列条件：

- 检测球 B（远离工作台表面）的中心建立坐标系原点；
- 基准轴  $z$  必须平行于旋转工作台的轴线；
- 第 2 轴  $x$  必须在包含基准轴和检测球 A 中心的平面内。

注：第三轴  $y$  定义正切方向。

表 2 检测球在旋转工作台上的位置

组合序号	高度差 $\Delta h/\text{mm}$	半径 $r/\text{mm}$
1	200	200
2	400	200
3	400	400
4	800	400
5	800	800

注 1：生产商必须指定上述组合之一。其他值可以通过生产商和用户的协议规定。  
注 2：表 2 中规定的高度和半径是为了便于比较不同的坐标测量机。

建立工件坐标系后开始测量：在原点（位置 0）测量检测球 B 中心。用户可以选择旋转工作台的任何非零角位置作为表 3 中的位置 0。

旋转工作台顺序旋转到 7 个角位置，在每个位置测量检测球 A 的中心。建议 7 个测量位置包含至少从起始位置起的  $720^\circ$  的位置。然后旋转工作台反方向旋转到 7 个角位置，测量检测球 A 的中心。当旋转工作台回到起始位置，作为位置 14，同时测量两个检测球。

然后旋转工作台在相同方向旋转到 7 个角位置，并从相反的方向旋转到 7 个角位置。在每个位置测量检测球 B。当旋转工作台旋转到初始位置时，作为位置 28，测量两个检测球（见表 3）。

注 1：200mm 数值使  $1^\circ$  的角度误差约等于  $1\mu\text{m}$  线性误差。为了评价不同测量空间的机器，适合不同机器测量大型工件公差要求的能力（例如：工件大于工作台尺寸），上述测量过程引起的误差与使用的高度和距离近似成比例。

注 2：在坐标测量机测量范围内，用户也可以选择生产商规定范围内的任何旋转工作台的设置、位置和方向。如果必要，生产商和用户也可以协商采用不同的检测球位置进行附加的测量。

注 3：有些坐标测量机使用旋转工作台作为扩展测量空间的工具。在这样的坐标测量机上，起始角位置必须保证可以同时测量两个检测球。

### 7.2.3 测量结果的获得

使用位置 0 到位置 28 的测量（检测球 A 的坐标符号为  $x_A, y_A, z_A$ ，检测球 B 的坐标符号为  $x_B, y_B, z_B$ ），计算两个检测球中心的径向、切向和轴向误差的峰-峰值，作为三个四轴误差（FR, FT, FA）（见表 3 和图 3）。

注 1： $x_A$  和  $x_B$  是检测球 A 和 B 的径向分量，用于计算径向四轴误差  $FR_A$  和  $FR_B$ 。

注 2： $y_A$  和  $y_B$  是检测球 A 和 B 的切向分量，用于计算切向四轴误差  $FT_A$  和  $FT_B$ 。

注 3： $z_A$  和  $z_B$  是检测球 A 和 B 的轴向分量，用于计算轴向四轴误差  $FA_A$  和  $FA_B$ 。

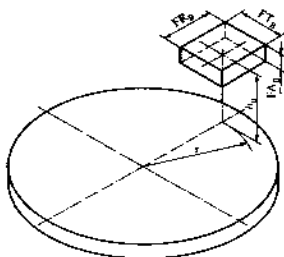


图3 配置转台轴线作为第四轴的坐标轴机床校准和验收检测中三个四轴误差 ( $FE_A$ ,  $FT_A$ ,  $FA_A$ ) 的三维示意图

注1:  $r$  是检测球 B 到旋转工作台轴线的半径。

注2:  $h$  是检测球 B 中心到旋转工作台工件装卡基面的高度。

注3: 为了清晰, 检测球 A 的位置未标出。

表3 旋转工作台缺省名义角位置

位置 序号	角位置 ( $^{\circ}$ )		坐标测量值					
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	检测球 A			检测球 B		
			$x_A$	$y_A$	$z_A$	$x_B$	$y_B$	$z_B$
0	0	0	$x_0$	$y_0 = 0$	$z_0$	$x_B = 0$	$y_B = 0$	$z_B = 0$
1	75	135	$x_1$	$y_{11}$	$z_{11}$	-	-	-
2	125	225	$x_{21}$	$y_{21}$	$z_{21}$	-	-	-
3	175	315	$x_{31}$	$y_{31}$	$z_{31}$	-	-	-
4	385	405	$x_{41}$	$y_{41}$	$z_{41}$	-	-	-
5	410	540	$x_{51}$	$y_{51}$	$z_{51}$	-	-	-
6	510	630	$x_{61}$	$y_{61}$	$z_{61}$	-	-	-
7	820	810	$x_{71}$	$y_{71}$	$z_{71}$	-	-	-
8	510	630	$x_{81}$	$y_{81}$	$z_{81}$	-	-	-
9	410	540	$x_{91}$	$y_{91}$	$z_{91}$	-	-	-
10	385	405	$x_{101}$	$y_{101}$	$z_{101}$	-	-	-
11	175	315	$x_{111}$	$y_{111}$	$z_{111}$	-	-	-
12	125	225	$x_{121}$	$y_{121}$	$z_{121}$	-	-	-

表 3 (续)

位置 序号	角位置 (°)		坐标测量值					
			检测球 A			检测球 B		
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$x_A$	$y_A$	$z_A$	$x_B$	$y_B$	$z_B$
13	75	135	$x_{A13}$	$y_{A13}$	$z_{A13}$	—	—	—
14	0	0	$x_{A14}$	$y_{A14}$	$z_{A14}$	$x_{B14}$	$y_{B14}$	$z_{B14}$
15	-75	-135	—	—	—	$x_{B15}$	$y_{B15}$	$z_{B15}$
16	-125	-225	—	—	—	$x_{B16}$	$y_{B16}$	$z_{B16}$
17	-175	-315	—	—	—	$x_{B17}$	$y_{B17}$	$z_{B17}$
18	-385	-405	—	—	—	$x_{B18}$	$y_{B18}$	$z_{B18}$
19	-410	-540	—	—	—	$x_{B19}$	$y_{B19}$	$z_{B19}$
20	-510	-630	—	—	—	$x_{B20}$	$y_{B20}$	$z_{B20}$
21	-820	-810	—	—	—	$x_{B21}$	$y_{B21}$	$z_{B21}$
22	-510	-630	—	—	—	$x_{B22}$	$y_{B22}$	$z_{B22}$
23	-410	-540	—	—	—	$x_{B23}$	$y_{B23}$	$z_{B23}$
24	-385	-405	—	—	—	$x_{B24}$	$y_{B24}$	$z_{B24}$
25	-175	-315	—	—	—	$x_{B25}$	$y_{B25}$	$z_{B25}$
26	125	-225	—	—	—	$x_{B26}$	$y_{B26}$	$z_{B26}$
27	-75	-135	—	—	—	$x_{B27}$	$y_{B27}$	$z_{B27}$
28	0	0	$x_{A28}$	$y_{A28}$	$z_{A28}$	$x_{B28}$	$y_{B28}$	$z_{B28}$
四轴误差			$FR_A$	$FT_A$	$FA_A$	$FR_B$	$FT_B$	$FA_B$

注：角位置  $\alpha_1$  用于带有部分量程的旋转工作台的坐标测量机，角位置  $\alpha_2$  用于带有全覆盖的旋转工作台的坐标测量机。对转塔的车铣测量机只使用其某一角位置系列。表中横线 (—) 表示对此检测球在此角位置不测量 (见 7.2.2 的注 3 及 7.2.3)。

## 7.3 在扫描模式下使用的坐标测量机

### 7.3.1 原理

校准方法的原理是评估坐标测量机是否能够达到规定的下列测量能力：

- 最大允许扫描探测误差  $MPE_{N_s}$ ，通过测定检测球径向距离  $R$  值的范围；
- 最大允许扫描检测时间  $MPE_{N_t}$ ，通过监控、记录检测所经过的时间。

检测球的中心和半径通过扫描检测球上四个目标扫描平面确定。

扫描探测误差  $T_s$  按测得的中心和全部测定的扫描点间的半径范围计算，即取最大和最小测量结果之差的绝对值。

## 7.3.2 程序

根据表 1 选择扫描检测球。

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

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所

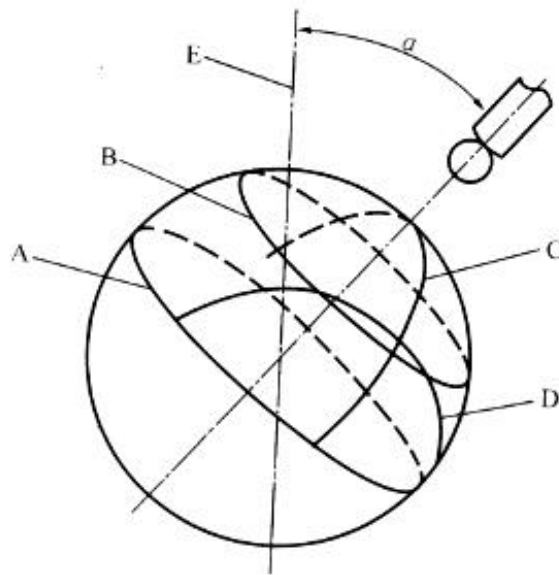


图 4 检测球上四个目标扫描平面

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

规定的四个目标扫描平面内（见图 4）。

注 1：目标扫描平面 1 在平分球体的面的圆上。

注 2：目标扫描平面 1 与目标扫描平面 2 是相距 8mm 的平行平面。

注 3：目标扫描平面 2、3 与 4 相互垂直。

注 4：目标扫描平面 3 通过球体的极点。

注 5：目标扫描平面 4 是距离极点 8mm 的平面。

注 6： $\alpha$  是探针轴偏离探测轴轴线的角。

注 7：由探针轴线确定检测球的极点和平分球体的面。建议  $\alpha$  角约为  $45^\circ$ 。

建议扫描点的间距按表 4 限定。

表 4 扫描点的间距

mm

点密度及路径扫描的组合	连续扫描点的间距	建议离目标扫描平面的最大距离
对 HP 和 HN	0.1	0.2
对 LP 和 LN	1	0.2

四个扫描顺序中的每一个都必须从探针离检测球至少 10mm 处的中间点开始。从该起始点, 探针应在规定的行程速度下沿表面法线方向趋近检测球。四个扫描顺序中的每一个都必须从探针离检测球至少 10mm 处的中间点结束。

记录从第一扫描顺序起始中间点到第四扫描顺序结束中间点之间的扫描检测时间  $T_{10}$ 。

注: 采用与坐标测量机上工件三维测量所采用同一算法和参数, 不应采用附加的滤波或其他优化措施。

### 7.3.3 检测结果计算

按四条修正扫描测得的全部扫描点计算出高斯拟合球的中心。

计算测得的每个扫描点的径向距离  $R$ 。

由计算得到的径向距离  $R$  的范围算出扫描探测误差  $T_2$ 。

计算任一单个计算的径向距离  $R$  与检测球直径检定值的一半之差的绝对值。

## 7.4 使用多探针探测系统的坐标测量机

### 7.4.1 固定多探针探测系统

#### 7.4.1.1 原理

本校准程序的原理是使用 5 根不同的固定探针, 测得检测球的形状、尺寸和位置。每根探针在检测球上测量 25 点, 使用 5 根探针共测量 125 点。

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, 每个探针探测 25 点, 分别拟合出一个最小二乘球; 使用 5 个探针探测的 125 点共同拟合成一个最小二乘球。

计算所有 5 个 25 点球的中心坐标  $(x, y, z)$  范围。三个坐标范围的最大值为位置误差  $ML$ 。另外, 使用 125 点拟合的最小二乘球计算形状和尺寸的示值误差: 尺寸误差  $MS$  和形状误差  $MF$ 。

因为校准结果在很大程度上取决于探针系统, 因此要考虑一组探针长度; 并仅可使用制造商规定允许探针系统使用的长度进行校准。

不同的检测球位置选择也会显著影响校准结果。

#### 7.4.1.2 程序

根据表 1 选择检测球。坐标测量机标准球不应用作检测球。

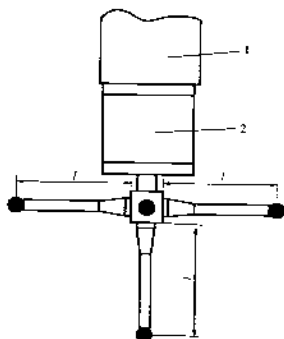
(1) “星形”探针结构应为 4 根探针平行于测头轴线, 4 根探针位于垂直于测头轴线的平面内, 并且相邻探针夹角为  $90^\circ$ 。测头到探针连接点的距离应为正常使用坐标测量机探针部件时可能的最小距离 (见图 5)。

探针长度  $l$  的可用的值应与坐标测量机制造商规定的等同, 且应从下列数值中选择: 10mm, 20mm, 30mm, 50mm, 100mm, 200mm 和 400mm (见表 5)。只有那些坐标测量机制造商规定可用于探针系统的长度需要校准。除非另有规定, 应使用那些已被认可, 可用于坐标机探测系统的探针。

(2) 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。

(3) 检测球安装时应与探针标定所用标准球的位置不同, 在  $x$  和  $y$  方向的偏移不小于检测时使用的最大测杆长度 (见表 5)。每个探针在检测球上测量 25 点, 总共 125 点。



图5 固定多探针探测系统的探针长度  $l$ 

1—探测头；2—测头

注：为了清晰，5根探针中的4根可见，并且可见3个测头。

各测量点应在检测球上匀称分布，至少覆盖半个球面。对垂直探针，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  $22.5^\circ$ ；八点均布，相对于前者旋转  $22.5^\circ$  且与极点成  $45^\circ$ ；四点均布，相对于前者旋转  $22.5^\circ$  且与极点成  $67.5^\circ$ ；八点均布，相对于前者旋转  $22.5^\circ$  且与极点成  $90^\circ$ 。

对水平探针，应采用类似的采样点分布，同时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个探头或探针库位置，应使用最大的更换次数，某些探针或探头要更换1次以上，以达到更换5次。

表5 固定多探针探测系统参数示例

μm

固定多探针 $l/\text{mm}$	$MPE_{90^\circ}$	$MPE_{45^\circ}$	$MPE_{22.5^\circ}$
10			
20			
30			
50			
100			
200			
400			

### 7.4.1.3 数据分析

(1) 将每个探针测量的 25 点拟合一个最小二乘球，总共拟合 5 个球。计算 5 个球的中心坐标  $(x, y, z)$  范围。这三个坐标范围上的最大值为位置误差 ML。

(2) 用 5 根探针测得的 125 点拟合一个最小二乘球；记录拟合球直径与检测球校准值的偏差，给出固定的多探针系统的尺寸误差 MS；类似的，记录最小二乘球的 125 个半径值的范围，即球的形状误差，给出固定多探针系统的尺寸形状误差 MF。

(3) 对坐标测量机制造商所允许的每一个  $I$  值重复 (1) 至 (2) 步骤。

## 7.4.2 万向探测系统

### 7.4.2.1 原理

校准的原理是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 6）。每个角度位置上，在检测球上测量 25 点，5 个位置共测 125 点。

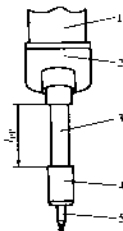


图 6 垂直位置时万向测头系统

1—轴套；2—转向测头头壳体；3—测头加长杆；4—测头；5—探针

如果坐标测量机上备有探针或探头更换系统，应进行 5 次更换，每使用一个角度位置前更换一次。在一个角度位置的一组 25 点拟合一个最小二乘球，共拟合 5 个球。

计算 5 个球的中心坐标  $(x, y, z)$  范围。这三个坐标范围中最大值为位置误差 AL。另外，125 点拟合的最小二乘球用于检测形状和尺寸的示值误差，给出尺寸误差 AS 和形状误差 AF。

因为这些校准结果很大程度上取决于测头加长杆的长度，应考虑不同的测头加长杆长度系列；只校准坐标测量机制造商对适用于万向测头系统规定的测头加长杆长度。

选择不同的检测球位置也会显著影响校准结果。

### 7.4.2.2 程序

检测球的直径应不小于 10mm 并不大于 30mm，检测球的尺寸和形状都应经过校准。坐标测量机的标定球不能作为检测球使用。

(1) 将一个 20mm 直形短探针（特殊规定除外）和一个测头加长杆安装在万向测头系统上。测头加长杆的长度 LPE 应按下列长度值选择：0mm、100mm、200mm、300mm

(见表 6)。除非有特殊规定, 探针和测头加长杆都应选择坐标机测头系统允许使用的附件。

(2) 依据坐标机制造商规定的常规操作程序对方向测头系统的 5 个角度位置分别标定。这 5 个位置应包括 1 个垂直位置和 4 个水平位置, 每个位置与相邻位置成  $90^\circ$ 。

(3) 检测球安装时应与探针标定所用标准球的位置不同, 在  $x$  和  $y$  方向的偏移大于检测时使用的最大加长杆长度 (见表 6); 在每一个角度位置对检测球进行 25 点测量, 总共 125 点。

测点应均布在检测球上, 至少覆盖半球; 对垂直探针建议的采样点方案为: 在检测球极轴上采 1 点, 离极轴  $22.5^\circ$  的平面上均匀采 4 点; 再旋转  $22.5^\circ$ , 即在距极轴  $45^\circ$  的平面内均匀采 8 点; 再旋转  $22.5^\circ$ , 即在距极轴  $67.5^\circ$  的平面上均匀采 4 点; 再旋转  $22.5^\circ$ , 在垂直于极轴的平面上均匀采 8 点。

对于水平探针位置, 应该使用同样的测点分布, 这时的极点是水平探针方向对应的点。

如果坐标机提供探针或测头更换系统, 应对默认探针进行 5 次更换。在测量过程中, 每个角度位置都应从更换系统上拿出和放回探针或测头, 总共进行 5 次。

表 6 万向测头系统参数值示例

万向测头系统测头加长杆长度 LPE/mm	MPE <sub>U</sub>	MPE <sub>V</sub>	MPE <sub>A</sub>
0			
100			
200			
300			

#### 7.4.2.3 数据分析

(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的位置误差 AL。

(2) 检测球 5 个测量角度的所有 125 测点用最小二乘法拟合一个球, 这个球的拟合直径值与校准直径值之间的差值即是万向探测系统的尺寸误差 AS。同样方法, 125 个点拟合最小二乘球中心的半径范围, 即球的形状误差, 是万向探测系统的形状误差 AF。

(3) 对制造商所允许的每一个探头加长杆长度, 重复 (1) 至 (2) 所述的步骤。

## 8 校准证书

经校准的坐标测量机出具校准证书。校准证书中的内容应符合 GB/T 15481 的规定。当被校坐标测量机具有相应功能时, 校准结果应包含下列内容:

- 环境条件;
- 校准项目和校准结果;
- 测量结果的不确定度;

需要符合性评定时, 给出符合性评定结果。

## 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。

## 附录 A

## 中间检查 (资料性附录)

## A.1 坐标测量机的中间检查

强烈建议在定期的校准期间对坐标测量机进行中间检查。

坐标测量机在发生可能影响性能的事件后,应立即进行中间检查。

## A.2 尺寸测量示值的中间检查

建议测量与尺寸实物标准器不同的特征参数实物标准器。测量应在校准后立即进行;标准器的位置,或位置 and 方向,或方向必须纪录,并在以后的中间检查中复现。

根据坐标测量机的测量任务,应从下列标准器中选择最接近的进行测量:

——特殊制造的标准件,其复现的典型几何形状应该是有稳定的尺寸、合理的结构、粗糙度不会对测量不确定度产生明显影响的表面;

——球板;

——孔板;

——球棒;

——孔棒;

——可在一个固定的标准球和坐标测量机球形探针之间动态安装的棒;

——环形标准器(例如环规)。

强烈推荐标准器的材料应具有与坐标测量机所测量的工件相近的热膨胀系数。

7.1.2 中描述的仪器、程序和计算均适用于中间检查。

## A.3 探测系统的中间检查

执行 7.1.1 中规定的程序和计算。

建议在检查探测系统时使用日常使用的探针组合。每次中间检查应执行相同的过程。在校准完成后立即做一次中间检查。探针的组合方式、参考球的位置以及其他参数都应记录下来,在以后的检查中重复使用这些参数。

强烈建议:评估实际使用中不同探针配置引起的探测误差变化。例如,多探针和带探针加长杆的配置。

## A.4 配备旋转工作台作为第四轴的坐标测量机的中间检查

如果坐标测量机上固定有旋转工作台,7.2 描述的测量对评价各线性轴的所有误差已经足够。如果 ER、FT 和 FA 满足指标要求,所有线性轴必须工作正常。因此,进行 7.2 描述的测量作为中间检查后,不需要再进行 A.2 的检查。

## A.5 扫描模式下使用的坐标测量机的中间检查

测量与检测球不同的某种实物标准器的表征尺寸经常是非常有用的。测量应在校准后立即进行。记下这些标准器的位置和方向,并在以后重复进行。

## 附录 B

## 大型坐标测量机的补充测量

B.1 当尺寸实物标准器的规格无法满足 7.1.2.2 (1) 的要求时, 建议增加测量位置或使用激光干涉仪进行位置示值误差测量。

B.2 增加测量位置时, 方向和(或)位置总数一般不应超过 12 个。尺寸实物标准器的方向和(或)位置摆放应使测量覆盖范围不小于坐标测量机测量范围的 66%。

B.3 当 B.2 条件不能满足时, 建议使用激光干涉仪进行位置示值误差测量。

测量可以只在使用尺寸实物标准器不能满足要求的轴向进行。

每条测量线在全长上均匀测量 20 个间隔, 在往返行程上分别测量三次。测量的零点设置在测量线的一端, 每次测量过程中不得重新设置激光干涉仪或坐标测量机的示值。

坐标测量机显示的位置坐标与激光干涉仪的示值之差为其位置示值误差。坐标测量机定位时对目标点在测量方向的偏离应作为修正值对激光干涉仪的示值进行修正。当坐标测量机采用计算机误差修正技术, 坐标测量机的示值应采用修正后的值。

任何一点偏差相对参考点偏差之差的绝对值应小于生产商规定的最大允许位置示值误差, 或小于最大允许尺寸测量示值误差。

在该轴向的任意位置测量均应满足要求。

## 附录 C

## 测量不确定度评估示例

## C.1 长度测量示值误差测量结果的不确定度计算

## C.1.1 测量模型

对标准器进行测量，得到的测量长度值为

$$L = l_0 + L_0 \alpha_s \Delta t - \Delta L_1 - \Delta L_2 - \Delta L_3 + E$$

其中  $l_0$  为标准器的校准长度， $\Delta L_1$  为标准器形状误差等因素引起的误差， $\Delta L_2$  为长度稳定性引起的误差， $\Delta L_3$  为测量重复性引起的误差， $\alpha_s$  为标准器的热膨胀系数， $\Delta t$  为标准器温度对 20℃ 的偏离， $E$  为坐标测量机的示值  $L$  的误差。

## C.1.2 灵敏度系数

$$c_1 = \partial L / \partial l_0 = 1 + \alpha_s \Delta t \approx 1$$

$$c_2 = \partial L / \partial \alpha_s = L_0 \Delta t$$

$$c_3 = \partial L / \partial (\Delta t) = L_0 \alpha_s$$

$$c_4 = \partial L / \partial (\Delta L_1) = -1$$

$$c_5 = \partial L / \partial (\Delta L_2) = -1$$

$$c_6 = \partial L / \partial (\Delta L_3) = -1$$

$$c_7 = \partial L / \partial E = 1$$

## C.1.3 标准不确定度

$u_1$  为标准器校准值  $l_0$  的标准不确定度， $u_2$  为标准器热膨胀系数  $\alpha_s$  的标准不确定度，根据标准器的校准证书确定标准不确定度值。

$u_3$  为标准器温度测量的标准不确定度，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。

$u_4$  为标准器的长度变动量引入的标准不确定度。

$u_5$  为标准器的长度稳定度引入的标准不确定度。

$u_6$  为测量重复性引入的标准不确定度。

$u_7$  为坐标测量机示值误差的标准不确定度，也是坐标测量机的测量示值误差的组成部分，与校准方法无关，不予单独考虑。

## C.1.4 合成标准不确定度

$$u_c = [u_1^2 + (L_0 \Delta t u_2)^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2]^{1/2}$$

取两个长度，确定不确定度的系数，以  $u_c = a + bL$  的形式给出。

## C.1.5 扩展不确定度

$$U = k u_c, \text{ 取 } k = 2.$$

## C.1.6 计算示例

设使用 3 等量块对坐标测量机进行校准，被校准的坐标测量机最大允许示值误差为

$MPE_L = 5 + 5.5L/1000$  ( $\mu\text{m}$ ), 其中  $L$  单位为  $\text{mm}$ , 量块温度  $20.8^\circ\text{C}$ 。

根据量块校准证书,  $U_1 = (0.10 + 1.0L) \mu\text{m}$ ,  $k_1 = 2.62$ ,  $L$  单位为  $\text{m}$ ;  $U_2 = 1 \times 10^{-6}$  ( $1/^\circ\text{C}$ ), 服从三角分布,  $k_2 = \sqrt{6}$ ;

根据检定规程 JJG 146—2003,  $U_3(100) = 0.20 \mu\text{m}$ ,  $U_3(1000) = 0.60 \mu\text{m}$ , 设服从均匀分布,  $k = \sqrt{3}$ ;  $U_5 = (0.05 + 1.0L) \mu\text{m}$ ,  $L$  单位为  $\text{m}$ , 设服从均匀分布,  $k = \sqrt{3}$ 。

35 组测量中, 每块量块上 3 次测量的极差最大为  $1.0 \mu\text{m}$ , 极差系数  $1.69$ ,  $s = 0.59$ 。考虑到此值从 35 组测量中得到, 各组测量的标准偏差均取  $s = 0.59$ , 利用合并样本标准偏差方法:

$$u_6 = s_p = \frac{\sqrt{35 \times 0.59^2}}{35} = 0.08 \mu\text{m}$$

重复性误差包含了为确定方向进行的辅助测量的误差引入的不确定度分量。

$u_c = [u_1^2 + (L \Delta t u_7)^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_6^2]^{1/2}$ , 取值见表 C.1。

表 C.1

测量长度 $L/\text{mm}$	100	1000
$u_1/\mu\text{m}$	0.08	0.42
$u_2/^\circ\text{C}^{-1}$	$4.1 \times 10^{-7}$	$4.1 \times 10^{-7}$
$L \Delta t u_3/\mu\text{m}$	0.03	0.33
$u_4/\mu\text{m}$	0.12	0.35
$u_5/\mu\text{m}$	0.09	0.61
$u_6/\mu\text{m}$	0.08	0.08
$u_c/\mu\text{m}$	0.27	1.25

$$u_c = (0.27 + 1.3L/1000) \mu\text{m}$$

$$U = (0.5 + 3L/1000) \mu\text{m} \quad k = 2$$

### C.2 探测误差 $P$ 、扫描探测误差 $T_p$ 和多探针测量误差校准结果的不确定度计算

探测误差  $P$ 、扫描探测误差  $T_p$  和多探针测量误差校准结果的不确定度取决于检测球的形状误差。当多个截面的圆度最大值为  $R_1$  时, 取  $U = \frac{2}{3} R_1$ ,  $k = 2$ 。

使用坐标测量机自带探针时, 探针针头的形状是坐标测量机的特性, 引入的不确定度不予考虑。

### C.3 四轴误差校准结果的不确定度计算

四轴误差校准结果的不确定度取决于检测球的形状误差和测量球心坐标的重复性。

对球 A 使用校准中的测量方案, 重复测量 15 次, 利用贝塞尔公式计算标准偏差  $s$ 。

当多个截面的圆度最大值分别为  $R_{1i}$  和  $R_{1j}$  时, 取  $U = 2 \sqrt{\frac{R_{1i}^2}{9} + \frac{R_{1j}^2}{9} + s^2}$ ,  $k = 2$ 。

探针针头的形状影响是坐标测量机的特性造成的, 不予考虑。



## 附录 D

## 符合性评定

如果需要符合性评定，应根据 GB/T 18779.1 考虑不确定度影响。一般而言，坐标测量机至少应考虑对下列参数的符合性：最大允许示值误差  $MPE_V$ ，最大允许探测误差  $MPE_P$  和多探针探测系统的最大允许误差（ $MPE_{ms}$ 、 $MPE_{ms}$  和  $MPE_{ms}$ ）或/和（ $MPE_{AT}$ 、 $MPE_{AT}$  和  $MPE_{AT}$ ）。在配备旋转工作台和/或扫描功能时，还应考虑对相应的最大允许误差的符合性。

## D.1 测量尺寸的坐标测量机

满足下列条件时，测量尺寸的坐标测量机的性能符合要求：考虑了测量不确定度后。

- 示值误差  $E$  不大于最大允许示值误差  $MPE_V$ 。
- 探测误差  $P$  不大于规定的最大允许探测误差  $MPE_P$ 。

每个尺寸测量的 3 个值中只允许有一个值超出合格区，在 35 个尺寸测量（7.1.2 条中所述，5 个尺寸实物标准器放在测量空间的 7 个不同的方向或位置）中最多允许出现五次。每一个超出合格区的尺寸测量必须在相应的方向和位置重测 10 遍。

当所有重复测量的数据满足示值误差  $E$  不大于规定的最大允许示值误差  $MPE_V$ ，测量尺寸的坐标测量机的性能合格。

## D.2 旋转工作台作为第四轴的坐标测量机

考虑了测量不确定度后，如果所有四轴误差（ $FR_x$ 、 $FT_x$ 、 $TA_x$ 、 $TR_y$ 、 $FT_y$ 、 $EA_y$ ）小于规定的最大允许四轴误差（ $MPE_{FR}$ 、 $MPE_{FT}$ 、 $MPE_{TA}$ ），配备旋转工作台作为第四轴的坐标测量机性能符合要求。

## D.3 在扫描模式下使用的坐标测量机

如果满足下列条件，在扫描模式下使用的坐标测量机的性能符合要求：考虑了测量不确定度后。

- 扫描探测误差  $T_s$  不大于规定的最大允许扫描探测误差  $MPE_{T_s}$ 。
- 任一个计算得到的半径与检测球直径检定值的一半之差的绝对值不大于规定的最大允许扫描探测误差  $MPE_{T_s}$ 。
- 扫描检测所用时间  $t_s$  不大于规定的最大允许扫描检测时间  $MPE_{t_s}$ 。

注：由于大多数的球形标准器是检定直径而不是半径的零件，因此 b) 款中不用给出坐标测量机尺寸测量的示值误差  $E$  的补充测定。但是，由新由计算得到的半径和直径检定值的一半，提供了判断尺寸测量中是否具不可忽略的系统误差的有效界限。

如在扫描模式下使用的坐标测量机的性能不符合要求，则应彻底检查探针针头和检测球有无影响测量结果的灰尘或污垢。在这种情况下，对它们作严格的清洁后，从探测系统标定开始再重复检测一次。

## D.4 使用多探针探测系统的坐标测量机

考虑了测量不确定度后,对每一个允许的探针长度 $l$ ,当满足规定的最大允许误差,即 $MF \leq MPE_{MF}$ ,  $MS \leq MPE_{MS}$ 和 $ML \leq MPE_{ML}$ ,带有固定多探针探测系统的坐标机性能符合要求。

考虑了测量不确定度后,对每一个允许的探针长度 $l_{Tz}$ ,当满足规定的最大允许误差,即 $AF \leq MPE_{AF}$ ,  $AS \leq MPE_{AS}$ 和 $AL \leq MPE_{AL}$ ,带有转向探测系统的坐标机性能符合要求。

如果多探针坐标机的性能不符合要求,应彻底检查探测设备各种可能影响测量结果的因素,如灰尘、污染和任何操作者组合探针的失误,包括全部探测系统的部件的温度是否平衡。纠正全部问题后,从探测系统标定开始再重复检测一次。