



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 17421.10—2021/ISO 230-10:2016

---

## 机床检验通则 第10部分:数控机床 探测系统测量性能的测定

Test code for machine tools—Part 10: Determination of the measuring  
performance of probing systems of numerically controlled machine tools

(ISO 230-10:2016, IDT)

2021-03-09 发布

2021-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会



目 次

前言 ..... III

引言 ..... IV

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

    3.1 通用术语 ..... 2

    3.2 关于探测系统的术语 ..... 2

    3.3 与探测相关的术语 ..... 5

    3.4 与扫描测头相关的术语(见附录 B) ..... 6

4 一般要求 ..... 7

    4.1 对探测系统测量性能的影响 ..... 7

    4.2 测量单位 ..... 7

    4.3 执行 ISO 230-1 ..... 7

    4.4 检验工具 ..... 8

    4.5 检测机床必备条件 ..... 8

    4.6 检验顺序 ..... 8

    4.7 检验项目 ..... 8

    4.8 检测不确定性因素 ..... 8

    4.9 检测结果报告 ..... 8

5 热影响 ..... 9

    5.1 总则 ..... 9

    5.2 环境温度变化误差(ETVE)检测 ..... 9

    5.3 其他热变形检测 ..... 9

6 工件探测 ..... 9

    6.1 总则 ..... 9

    6.2 探测的重复性 ..... 10

    6.3 探针触头漂移检测,  $A$  ..... 11

    6.4 探测刀具定位重复性检测,  $R_{PTL,X}$ 、 $R_{PTL,Y}$  和  $R_{PTL,Z}$  ( $R_{\text{Probing-Tool\_Location},X,Y,Z}$ ) ..... 12

    6.5 2D 探测误差检测,  $P_{FTU,2D}$  ( $P_{\text{Form\_Tactile\_Unique},2D}$ ) ..... 12

    6.6 3D 探测误差检测,  $P_{FTU,3D}$  ( $P_{\text{Form\_Tactile\_Unique},3D}$ ) ..... 13

    6.7 工件定位和定向检测,  $E_{PLA,Z}$ 、 $E_{LIN,Y}$ 、 $E_{COR,X}$ 、 $E_{COR,Y}$  与  $E_{COR,Z}$ 、( $E_{PLAne,Z}$ )、  
    ( $E_{LINE,Y}$ )、( $E_{CORner\ coordinates,X,Y,Z}$ ) ..... 15

    6.8 组合工件加工与定位检测,  $E_{CML,X}$ 、 $E_{CML,Y}$ 、 $E_{CML,Z}$ 、 $R_{CML,X}$ 、 $R_{CML,Y}$  与  $R_{CML,Z}$   
    ( $E_{\text{Combined Machining and Location},X,Y,Z}$ )、( $R_{\text{Combined Machining and Location},X,Y,Z}$ ) ..... 19

    6.9 时间延迟变化检测 ..... 20

    6.10 外形尺寸测量性能检测 ..... 24

7 刀具探测 ..... 25

    7.1 总则 ..... 25

    7.2 刀具设置系统标定 ..... 26

    7.3 刀具设定重复性 ..... 26

附录 A (资料性附录) 应用符号的说明 ..... 29

附录 B (资料性附录) 扫描测头测量性能 ..... 31

参考文献 ..... 37



## 前 言

GB/T 17421《机床检验通则》分为以下 11 个部分：

- 第 1 部分：在无负荷或精加工条件下机床的几何精度；
- 第 2 部分：数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定；
- 第 3 部分：热效应的确定；
- 第 4 部分：数控机床的圆检验；
- 第 5 部分：噪声发射的确定；
- 第 6 部分：体和面对角线位置精度的确定（对角线位移检验）；
- 第 7 部分：回转轴线的几何精度；
- 第 8 部分：振动（技术报告）；
- 第 9 部分：ISO 230 机床检验系列标准的不确定度估算的基本方程式（技术报告）；
- 第 10 部分：数控机床探测系统测量性能的测定；
- 第 11 部分：机床几何精度检验用测量仪器（技术报告）。

本部分是 GB/T 17421 的第 10 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用翻译法等同采用 ISO 230-10:2016《机床检验通则 第 10 部分：数控机床探测系统测量性能的测定》。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致对应关系的我国文件如下：

- GB/T 17421.1—1998 机床检验通则 第 1 部分：在无负荷或精加工条件下机床的几何精度（eqv ISO 230-1:1996）
- GB/T 17421.2—2016 机床检验通则 第 2 部分：数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定（ISO 230-2:2006, IDT）
- GB/T 17421.3—2009 机床检验通则 第 3 部分：热效应的确定（ISO 230-3:2001, IDT）

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分由全国金属切削机床标准化技术委员会（SAC/TC 22）归口。

本部分起草单位：沈阳机床（集团）有限责任公司、国家机床质量监督检验中心、沈机集团昆明机床股份有限公司、北京工业大学。

本部分主要起草人：李军、张维、陈妍言、曹文智、何春树、黄祖广、刘志峰、李书林。

## 引 言

GB/T 17421(所有部分)是用来确定机床精度检验的标准化的方法,不包括便携式电动工具。

本部分涉及与数控机床一体的接触式探测系统(离散点探测模式)测量性能评估的检测步骤。检测步骤并不是区分误差的各种原因,而是说明环境、机床、探测系统和探测软件在测量性能方面的综合影响。

这些检测的结果不能反映机床在金属切削状态下的性能。当检测用于验收为目的,在制造商/供应商同意的情况下,用户做出选择,那些机床探测系统性能的检测更值得关注。

这些检测的结果也不反映机床用于坐标测量机(CMM)状态下的性能。这些性能涉及跟踪能力的问题,相应的评定按 GB/T 16857.2 和 GB/T 16857.5。

本部分所应用的符号的说明参见附录 A。

扫描测头测量性能的检测过程参见附录 B。

## 机床检验通则 第10部分:数控机床 探测系统测量性能的测定

### 1 范围

GB/T 17421 的本部分规定了与数控机床装配成一体的接触式探测系统(离散点探测模式)测量性能评估的检测程序。

本部分不含其他型式的探测系统,如那些用于扫描模式或非接触式的探测系统。用于坐标测量机的机床性能评估也不在本部分范围内,这些性能涉及跟踪能力的问题,明显受机床几何精度影响。

本部分规定的机床探测系统检测还可按 GB/T 16857.2 和 GB/T 16857.5 测定。

数控机床的接触式探测系统在加工过程中应用如下:

- 加工前检查工件是否正确安装;
- 工件的定位和/或校准;
- 加工后,工件仍在机床上对其进行测量;
- 机床旋转轴线的定位和定向测量;
- 切削刀具的设定和测量(刀具半径、长度和偏移);
- 刀具磨损的测定。

注1: 本部分主要针对加工中心而言,对于其他类型的机床,如车削和磨削中心,会在本部分以后的版本中涉及。

注2: 本部分不涉及非接触测量(例如:光学测头),但是会在本部分以后的版本中涉及。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于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(包括所有的修改单)适用于本文件。

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 10360-5:2010, IDT)

ISO 230-1 机床检验通则 第1部分:在无负荷或精加工条件下机床的几何精度(Test code for machine tools—Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasi-static conditions)

ISO 230-2 机床检验通则 第2部分:数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定(Test code for machine tools—Part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled axes)

ISO 230-3:2007 机床检验通则 第3部分:热效应的确定(Test code for machine tools—Part 3: Determination of thermal effects)

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

注: 测量模式时,机床类似于坐标测量机。因此,用于坐标测量机测量系统测试性能的定义同样也可用于机床。然而,并不是所有的机床使用者都熟悉坐标测量机的使用,本部分提供的定义主要针对机床,确保不会与坐标测量机定义产生任何混淆。

### 3.1 通用术语

#### 3.1.1

**机床坐标系 machine coordinate system**

**MCS**

相对机床的机械轴或计算轴而确定的坐标系。

注：改写 GB/T 16857.1—2002，定义 2.5。

#### 3.1.2

**工件坐标系 workpiece coordinate system**

**WCS**

相对工件而确定的坐标系。

[GB/T 16857.1—2002，定义 2.4]

#### 3.1.3

**测量空间 measuring volume**

机床上包括全部线性坐标便于测量的 3D 空间。

注：改写 GB/T 16857.1—2002，定义 2.3。

### 3.2 关于探测系统的术语

#### 3.2.1

**测头 probe**

在探测时有感知特性并发出信号的装置。

注 1：改写 GB/T 16857.1—2002，定义 3.1。

注 2：机床上采用几种类型的测头，不同的技术达到同样的目的。

注 3：测头或是“开关”型，或是“比例”型，都可以用“接触式”或“非接触式”的系统。本部分不包括“非接触式”系统。

##### 3.2.1.1

**开关式测头 switching probe**

触及被测量(检测)表面发出二进制信号的测头。

##### 3.2.1.2

**比例测头 proportional probe**

发出的信号(模拟或数字)与探针触点位移成正比的测头。

##### 3.2.1.3

**接触式测头 contacting probe**

需与被测量(检测)表面发生实体接触的测头。例如：电路通断、应变仪。

注 1：改写 GB/T 16857.1—2002，定义 3.2。

注 2：测头接触实体的接触进给速度会影响测头的性能，在制造商/供应商的说明书中规定了适合的接触进给速度。

注 3：为获得最佳性能，测量中接触进给速度按测头标定的速度进行。

##### 3.2.1.4

**非接触式测头 non-contacting probe**

不需与被测量(检测)表面发生实体接触的测头。例如：光学和激光系统、电感和电容系统。

注 1：改写 GB/T 16857.1—2002，定义 3.3。

注 2：非接触式测头不在本部分涵盖范围内。

## 3.2.2

**探测系统 probing system**

由测头(3.2.1)、信号传输系统(例如:光学式、无线电式、硬线连接式)、信号调节硬件、探测硬件和软件及可附加配置的测头加长杆、测头转换系统、探针和探针加长杆组成的系统,与适当的数控机床连接成一体的系统。

注 1: 改写 GB/T 16857.1—2002, 定义 2.6。

注 2: 本部分规定的检测涉及的探测系统是由具有平行于机床主轴平均线的单测头系统的接触式测头组成, 见图 2。对于采用多探针系统见图 3, 及用于相对于工件坐标系主轴平均线的多个方向测量, 附加的检测规定见 GB/T 16857.5。

## 3.2.3

**探测系统的标定 probing system qualification**

建立为后续测量所必需的探测系统参数的操作(根据制造商/供应商规定)。

注 1: 有效的探针触点直径(3.2.5)及探针触点中心相对于机床坐标系的定位是探测系统标定的主要参数。

注 2: 对于探测系统标定, 供应商在技术说明有时用“检测系统校准”表达, 这个表达并不恰当。

## 3.2.4

**失动量 pre-travel**

测头探针触点触及被测量(检测)表面的第一点与测头信号开始发出的点之间的距离。

注 1: 失动量受以下因素影响: 测头结构、探测方向、探测速度、换向力、测头系统长度和刚性, 探测信号与机床位移测头显示之间的延迟。

注 2: 在规定探测条件下失动量变化(通常称为“凸角”)是非常重要的探测系统特性。

注 3: 某些测头标定技术能明显减少探测系统失动量变化的影响。

## 3.2.5

**有效探针触点直径 effective stylus tip diameter****有效探针触点尺寸 effective stylus tip size**

探针触点直径(尺寸)被探测软件用来补偿被测部位的特征尺寸。

注: 有效探针触点直径(尺寸)与探测系统性能有关, 决定于探测系统的标定, 而不是简单地测量探针触点大小。

## 3.2.6

**探针触点 stylus tip**

与被测物体直接接触的机械元件。

注: 改写 GB/T 16857.1—2002, 定义 4.2。

## 3.2.7

**探针系统 stylus system**

由探针及探针元件组成(若有)的系统。

注 1: 改写 GB/T 16857.1—2002, 定义 4.4。

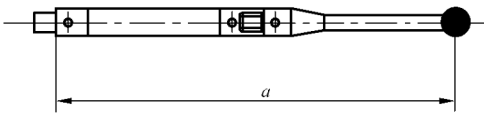
注 2: 探针元件会降低测探针系统的刚性, 对探测系统性能产生不利的影响。因此, 对涉及的探针元件进行性能测试是必要的。

## 3.2.8

**探针系统长度 stylus system length**

〈球形探针触点〉从探针触点中心到探针系统肩部的距离。

注: 见图 1。



说明：  
 $a$ ——探针系统长度。

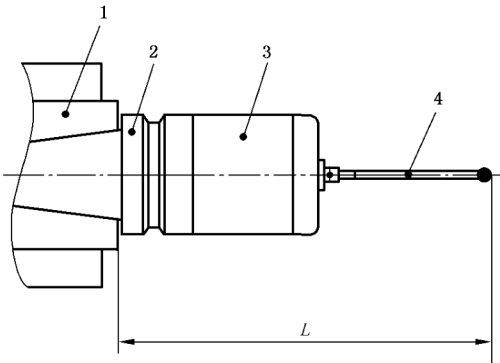
图 1 探测系统长度

3.2.9

探测工具 **probing tool**

由测头及探针系统组成,能连接到刀柄上。

注：见图 2。



说明：  
1——主轴；  
2——刀柄；  
3——测头；  
4——探针；  
 $L$ ——探测工具长度。

图 2 探测工具长度

3.2.10

探测工具长度 **probing-tool length**

从探针触点最突出点到与探测工具连接的机床刀具主轴基准端面或基准线的距离。

注 1：见图 2。

注 2：某些测头系统确定探测工具长度是以探针触点表面中心到与探测工具连接的机床刀具主轴基面的距离。

注 3：对于实心柄刀柄,主轴基准面就是主轴锥面准线;对于其他刀柄(中空柄)主轴基面是主轴端面。

注 4：确定探测工具长度的程序按制造商/供应商说明书进行。

3.2.11

探针触点偏移 **stylus tip offset**

探针触点中心到装有探测工具的主轴轴平均线的距离。

3.3 与探测相关的术语

3.3.1

探测 **probing**

探测 **probe**

测定数值(例如:坐标值、长度值、无效/真实值)的动作。

注 1: 改写 GB/T 16857.1—2002, 定义 2.7。

注 2: 与测试切削刀具相关的探测没必要确定坐标值。

注 3: 与刀具破损探测相关的探测将确定无效/真实的状态。

3.3.1.1

1D 探测 **1D probing**

每一次探测运动只沿平行于一个机床坐标轴或一个工件坐标轴方向。

注: 1D 测量能力不仅与接触式测头的能力有关, 而且与探测系统的性能有关。

3.3.1.2

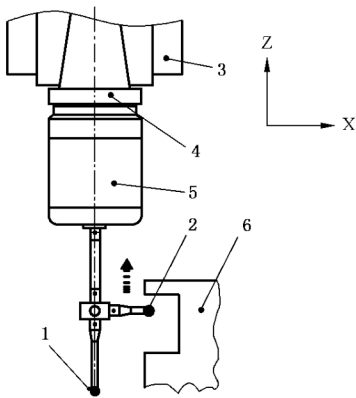
2D 探测 **2D probing**

探测运动在一个平面内沿矢量方向进行。

注 1: 通常接触式测头沿  $-X$ 、 $+X$ 、 $-Y$ 、 $+Y$  和  $-Z$  方向运动, 这些方向的任意合成运动被认为是 2.5D 探测。这些接触式测头不沿  $+Z$  方向(或运行非常受限)运动。

注 2: 装有多测头的测头系统能作沿  $+Z$  方向测量, 如图 3 所示, 探针触点 2(沿  $+Z$  方向移动)接触工件表面, 测头产生如同沿  $-Z$  方向偏转的信号。

注 3: 探针触点 1 和探针触点 2 的单独标定以及附加检测的相关规定, 见 GB/T 16857.5。



说明:

1——探针触点 1;

2——探针触点 2;

3——主轴;

4——刀柄;

5——测头;

6——工件。

图 3 装有两个探针的探测工具

3.3.1.3

3D 探测 **3D probing**

探测运动在空间沿任意矢量方向进行。

### 3.3.2

#### 探测重复性 probing repeatability

探测系统在同一检测条件重复进行同样测量测得坐标值接近的程度。

注 1: 本定义涉及本部分的范围和探测系统;不延伸至其他国际标准定义的计量特性相关的一般定义。

注 2: 探测重复性可以对测量值的分散程度或测量值的带宽进行定量描述。

注 3: 探测重复性涉及全部探测系统,与测头供应商手册定义的“测头重复性”没有可比性。

### 3.3.3

#### 探测误差 probing error

$P_{FTU}$

机床用探测系统测定基准器具半径的范围。

注 1: 符号  $P_{FTU}$ ,来源于 GB/T 16857.5—2017,3.6 和 3.9。字母  $P$  表示探测系统性能相关的误差,字母  $F$  表示形状误差,字母  $T$  指的是接触式(触觉的)探测系统,字母  $U$  表示使用单(唯一的)测头。

注 2: 2D 探测的典型基准器具是校准环形,3D 检测的典型基准器具是校准球形。

注 3: 2D 探测误差详见 6.5,3D 检测误差详见 6.6。

## 3.4 与扫描测头相关的术语(见附录 B)

### 3.4.1

#### 静止位置 rest position

在静止和触及表面未偏转时,测头探针触点中心位置。

注: 静止位置是其标定时名义位置。实际静止位置在任何时候通常都与此值稍有变化。

### 3.4.2

#### 最大扫描偏转 maximum scanning deflection

制造商设定的扫描检测时,测头探针触点中心允许的最大偏转。

注: 最大扫描偏转会随着偏转的方向而变化( $x$ 、 $y$ 、 $z$ )。

### 3.4.3

#### 测头超程极限 probe over-travel limit

测头探针触点中心从静止位置偏转至未引起测头探针整体损坏的最大行程。

### 3.4.4

#### 最小扫描偏转 minimum scanning deflection

在扫描测量时允许探针触点中心相对静止位置的最小偏转。

注: 产生的偏转要足够大确保检测时探针触点与测量表面保持完全接触。

### 3.4.5

#### 扫描测量范围 scanning measurement range

制造商/供应商规定的标定扫描线与实际扫描线之间允许的最大距离。

注 1: 这个范围对不同检测轴线可分别表示,例如,X 轴与 Y 轴:  $\pm 0.3$  mm,Z 轴:  $\pm 0.2$  mm。

注 2: 几个原因造成扫描测量范围小于最大扫描偏转与最小扫描偏转的差值,包括:

- 机床路径跟踪误差导致的预设刀具路径偏差;
- 刀具路径产生的近似(例如,用直线段近似曲线);
- 沿表面移动引起测头附加的偏转(例如,摩擦,局部表面法向偏差,表面粗糙度)。

### 3.4.6

#### 探针触点法向加速度 stylus tip normal acceleration

探针触点中心相对于被测表面加速度,一般垂直于目标表面。

注: 探针触点法向加速度使扫描路径发生明显变化的特点,有时被认为限制扫描进给速度,因此要求机床轴具有高的加速度。垂直于被测表面的加速度大多数情况下影响扫描特性,而在目标扫描线方向的机床定位误差通常不会导致明显的测量误差。



## 3.4.7

**指示触点中心点 indicated tip centre point**

在检测时探针触点中心的指示位置。

注：这也被称为“指示测量点”（见 GB/T 16857.1—2002，定义 2.12）。

## 3.4.8

**扫描球心位置再现性 scanning sphere centre position reproducibility**

多次检测的球心位置与第一次检测的球心位置的最大值。

## 3.4.9

**预定路径扫描 pre-defined path scanning**

在两规定端点之间由目标扫描线控制探测系统引导的一种扫描方法。

注 1：改写 GB/T 16857.1—2002，定义 7.5。

注 2：这种扫描方法，探测系统的反馈并不直接反映探测系统的运动。

## 4 一般要求

## 4.1 对探测系统测量性能的影响

探测系统的测量性能所包含的机床特性很有限，不能简单地从独立的测头规格中推导出来。

对机床探测系统测量性能的主要影响如下：

- a) 机床的重复性；
- b) 机床的几何精度，如：定位精度（含分辨率、反向间隙）、直线度、运动的倾斜、俯仰和偏摆误差、轴线的垂直度等；
- c) 被测表面受到污染（观察）；
- d) 探测误差和探测系统的重复性，包括探测工具改变和重新定位；
- e) 探测系统的标定；
- f) 机床、探测系统、工具和工件/刀具的温度影响，包括轴线和主轴运动的漂移；
- g) 检测中的进给速度和加速度；
- h) 变位及超程距离；
- i) 探测信号与机床位置测头数显之间的延迟及延迟变化；
- j) 工件/刀具探测表面。

工件探测的重复性检测按 6.2 执行；探测刀具定位重复性检测按 6.4 执行；刀具设定的重复性检测按 7.3 执行。

工件探测系统性能和机床（在有限、小范围）几何精度检验见 6.5 和 6.6。

探测信号与机床位置测头数显之间的延迟变化检测见 6.9；外形尺寸检测性能检验见 6.10。

观察温度的影响最好采用 5.2 和 ISO 230-3 给出的方法。

## 4.2 测量单位

本部分所有线性尺寸及偏差均用毫米（mm）表示。角度尺寸用度（°）表示。角度偏差通常用比值表示，但在某些情况下为了表达得更明确，也采用微弧度（ $\mu\text{rad}$ ）或弧度秒（″）。其换算关系见下式：

$$0.010/1\,000 = 10\,\mu\text{rad} \approx 2''.$$

## 4.3 执行 ISO 230-1

在使用本部分时，应按照 ISO 230-1 的规定进行，尤其是机床检验前的安装。

#### 4.4 检验工具

在各项检验项目中所提到的检验工具仅为实例,可以使用相同指示值或至少具有相同精度的其他检验工具。线性位移测头应具有 0.001 mm 或更高分辨率。

#### 4.5 检测机床必备条件

测量前,机床的几何性能应按相关标准评定(如:ISO 230-1、ISO 230-2、ISO 230-3、ISO 10791-1)。

注:也可采用适用的国家标准。

此外,测头配置与标定的程序应按制造商/供应商的规定执行。

#### 4.6 检验顺序

本部分所给出的检验顺序并不表示实际的检验顺序,第 5 章、第 6 章、第 7 章给出的检验可单独进行也可任意组合进行。

#### 4.7 检验项目

检验机床时,不是必须也不可能检验本部分的所有项目。为了验收目的而要求检验时,可由用户取得制造商同意选择一些感兴趣的检验项目,但这些检验项目应在机床订货时明确提出。

如果没有规定检验项目和相关费用的协议,仅仅参照本部分进行验收,对协议任何一方没有约束力。

#### 4.8 检测不确定度因素

本部分描述的检测揭示探测系统作为测量仪器的特征。因此,这些特征与 ISO 230-1 的其他部分描述的检测不同。例如:检测数控机床轴线的重复定位精度时,就是规定在重复测量条件下确定机床某些性能的重复性,可以认为本部分针对具体测量系统的性能:即探测系统自身。因此,考虑评估检测不确定度的要素而不是如 ISO/TR 230-9 的规定测量不确定度的要素。

重要信息收集来自 ISO/TS 23165。

影响探测系统检测性能的检测不确定度的主要因素有:

- 基准量具校准的不确定度,如检验环或检验球(在适合的情况下);
- 采用的基准环的校准(在适合的情况下);
- 采用的基准量具的定位(在适合的情况下);
- 当测量温度超出制造商/供应商规定的温度范围,热感应误差的补偿,按 5.1 执行;

注:如温度符合制造商/供应商的规定或没有明确规定环境温度要求,检测结果反映了被测探测系统的计量特征,此时就不存在检验不确定度因素。

- 环境温度变化误差(ETVE 或漂移)由于实际检测环境温度超出制造商/供应商规定的温度范围,随着检测时间,检测的重复性也在变化。

#### 4.9 检测结果报告

报告中应包括的有关检测参数如下:

- a) 机床铭牌;
- b) 测量软件的名称;
- c) 测头/测头的识别标识;
- d) 测头系统组件和长度;
- e) 采用的测头换向力设定(在适合的情况下);

- f) 机床结构未夹紧时,测头/测头定位与定向;
- g) 检具或测量刀具的型号、尺寸和标识;
- h) 采用的检具在机床测量空间的定位(在适合的情况下);
- i) 测头在标定及检验中的进给速度;
- j) 测头在标定及检验中的探测距离;
- k) 检测点数与分布;
- l) 采用的主轴转速,在适合的情况下;
- m) 相关机床温度和环境温度;
- n) 预热循环。

## 5 热影响

### 5.1 总则

依据 ISO 1,工业上尺寸测量的基准温度为 20 °C;因此,测量仪器和测量目标应在温度为 20 °C 环境下进行测量。如环境温度不是 20 °C,基础系统与被测目标都应修正,补偿热膨胀(NDE)微小差异测量结果修正到 20 °C 时的状况。内置的热膨胀补偿用于机床正常操作时采用;附加的热膨胀补偿,用于测量,而不是用于补偿机床位置测头的热变形。

### 5.2 环境温度变化误差(ETVE)检测

ETVE 检测(见 ISO 230.3:2007 的第 5 章)应先于测头评定检测。检测时间应经制造商/供应商与用户双方确认,并应包括预检时间。

ETVE 检测目的就是揭示温度变化对机床的影响,而不是对机床进行比较。

制造商/供应商(机床或探测系统的)应规定满足探测系统正常工作的环境条件。用户有义务提供满足测探测试系统正常工作的环境条件。如果用户按制造商/供应商(机床/探测系统)规定要求,或没有明确规定,制造商/供应商(机床或探测系统)应使其机床或探测系统满足技术要求。

如在现有的机床上增加探测功能,热环境的技术要求须经制造商/供应商和用户双方同意。

进行 ETVE 检测应探测球/环/平面几次,确定球中心/圆心坐标或平面位置的变化。检测时间应基本与探测系统检测标定时间相同。

结果的表示应符合 ISO 230.3:2007 中 5.3 的规定。

### 5.3 其他热变形检测

如探测系统是在加工后或加工过程中工作,应考虑机床的冷却效果,特别是机床主轴。此种状态下,主轴和/或坐标轴预热后再进行温度变化误差检测,如:测量前先进行通常的加工操作。用于执行温度变化误差检测的机床运动(如主轴转速、运动持续时间、坐标轴运动、进给速度)应经制造商/供应商与用户双方同意,尽量考虑机床典型的运动。

本部分第 6 章和第 7 章中的某些性能检测应在完成加工操作的典型运动后进行,也应经制造商/供应商与用户双方同意。

## 6 工件探测

### 6.1 总则

加工中心上用于探测工件的测头通常安装在主轴上。多数情况下,探针触点中心应位于主轴的轴

平均线上,这样使工件坐标系(WCS)与机床坐标系(MCS)尽可能一致。某些测量(例如:两名义上平行加工面距离的测量,孔或凸台直径的测量等)探针触点中心与主轴轴平均线校准并不是最重要,应注意的是在接下来测量时主轴方位相对于机床坐标系保持不变,以避免探针触点偏移产生明显的探测误差。

检验前,应按制造商/供应商的使用说明书进行探针触点对中心调整。只要探针系统与测头连接发生改变,应重新进行调整。也包括同样的探针触点拆卸和再重装,因为不同的装配力矩会引起探针触点中心位置发生微小的改变。

探测系统标定应按制造商/供应商的使用说明书进行,并且应在探针触点对中心调整后重复进行。

供应商的技术说明有时提及探测系统标定表达为“测量系统校准”;这样表达是不合适的,应避免。

本部分涉及的测试假定探测系统与机床 Z 轴运动已经对准,探针触点中心已经与主轴平均线对准,并与 Z 轴运动名义上平行。对于倾斜头或分度头,任何更新定位,探测系统标定均应重新进行。更多的说明参见 GB/T 16857.5。

使用者可以根据实际情况,在规定的测量范围内选择某一位置安装测量基准检具。但是测量基准检具不应放置在用于探测系统标定的位置。

测量基准检具安装与夹紧应确保其具有足够的刚性,使在承受探测系统换向力时,避免基准检具产生变形,机床探测换向力变化从用于应变仪测头的很小的 0.2 N 到用于通常的转换测头的几牛顿。Z 轴方向的换向力一般明显大于 X 轴和 Y 轴方向的换向力。

## 6.2 探测的重复性

### 6.2.1 总则

加工中心配置的工件探测系统能使工件在机床上完成快速、简单的在线测量及工件加工后测量。这样的探测系统通常提供工件的大小和位置信息,如孔、凸台、筋、槽、棱和单点表面测量,但通常不提供评估测量工件形状误差的特性。

功能更强的机床探测系统,应具有更复杂测量能力,如根据数学模型测量工件轮廓偏差。其他探测系统允许此类测量通常仅在坐标测量机上完成。

探测的重复性一般与特定的探测系统的每一次单独测量相关联。这种方法检测起来既费力结果又不准确。

工件探测系统通常用于在工件坐标系内相对于机床坐标系测量工件位置和方向,简单外形测定及尺寸测量。探测重复性检测主要指的是:平面位置测量,圆柱和球的中心位置测量。

尺寸测量的探测重复性见 6.10。

### 6.2.2 单点表面测量的探测重复性检测, $R_{SPT,X}$ 、 $R_{SPT,Y}$ 与 $R_{SPT,Z}$ ( $R_{Single\_Point,X,Y,Z}$ )

#### 6.2.2.1 总则

要说明的是单点表面测量是一种极为简便的测量方式。假设所在表面的方向和位置相对于相关坐标系为已知的情况下,(平)面的单点坐标才可以代表所在(平)面。

#### 6.2.2.2 检测设置和步骤

准备一个至少 3 个平面之间互相垂直检验工具(检验块)。通常情况采用标准块规,侧表面平面度在 0.08 mm 以内即满足检测要求。

注: 6.7.2 中提及的检具同样适用于本检测。

将检验块放于机床上,并使其 3 个平面分别垂直于 X 轴、Y 轴和 Z 轴。

测头沿 X 轴方向趋近并接触检验块表面,读取并记录接触点 X 轴坐标值,重复这个过程 9 次,共进行 10 次测量。

同样的程序分别在 Y 轴和 Z 轴方向进行。

#### 6.2.2.3 结果分析

按 X 轴坐标检测值的范围计算  $R_{SPT,X}$ 。

按 Y 轴坐标检测值的范围计算  $R_{SPT,Y}$ 。

按 Z 轴坐标检测值的范围计算  $R_{SPT,Z}$ 。

#### 6.2.3 圆心位置的探测重复性检测, $R_{CIR,X}$ 及 $R_{CIR,Y}$ ( $R_{CIRle,X,Y}$ )

##### 6.2.3.1 检测设置和步骤

将一孔径约 25 mm 的基准圆环放于机床上,并使圆环孔轴线平行于机床 Z 轴。

探测圆环上的 4 点确定圆环孔中心坐标。确立工件坐标系基准点在测量中心位置。

重复 10 次测量,记录孔中心 X 轴、Y 轴坐标值。

##### 6.2.3.2 结果分析

按中心 X 轴坐标检测值的范围计算  $R_{CIR,X}$ 。

按中心 Y 轴坐标检测值的范围计算  $R_{CIR,Y}$ 。

#### 6.2.4 球心位置的探测重复性检测, $R_{SPH,X}$ 、 $R_{SPH,Y}$ 与 $R_{SPH,Z}$ ( $R_{SPHle,X,Y,Z}$ )

##### 6.2.4.1 检测设置和步骤

选择一公称直径约 25 mm 的基准球。

按制造商/供应商使用说明书探测基准球上 5 点确定其中心坐标。确立工件坐标系基准点在基准球测量中心位置。

重复 10 次测量,记录球中心 X 轴、Y 轴和 Z 轴坐标值。

##### 6.2.4.2 结果分析

按球中心 X 轴坐标检测值的范围计算  $R_{SPH,X}$ 。

按球中心 Y 轴坐标检测值的范围计算  $R_{SPH,Y}$ 。

按球中心 Z 轴坐标检测值的范围计算  $R_{SPH,Z}$ 。

#### 6.3 探针触点漂移检测, A

##### 6.3.1 总则

检测前,探针触点应按制造商/供应商使用说明书要求与主轴平均线对中。

某些功能改进型的探测系统能自动检测并补偿探针触点漂移。如具备这样的功能,应按制造商/供应商的程序执行后再进行检测。

##### 6.3.2 检测设置和步骤

在机床检测区域内放一基准圆环(或基准球)。如使用基准圆环,并调整圆环使其孔轴线平行于机床 Z 轴。

通过使用线性位移测头将基准圆环(或球)与主轴平均线对中,确立工件坐标系基准点在对中位置。

探测基准圆环上的 4 点测量基准圆环孔中心(或基准球最大圆中心)坐标。重复测量 10 次,记录中心 X 轴、Y 轴坐标值。

### 6.3.3 结果分析

10 次测量 X 轴坐标值取平均值  $X_0$ ，同样 10 次测量 Y 轴坐标值取平均值  $Y_0$ 。

探针触点相对于主轴平均线漂移值 A 按公式(1)给出：

$$A = \sqrt{X_0^2 + Y_0^2} \dots\dots\dots (1)$$

计算值 A 应尽可能作为后续检测测量不确定性的一个潜在的要素。

注：本部分确定的探针触点漂移包括探测误差  $P_{FTU,2D}$  (见 6.5)。

## 6.4 探测刀具定位重复性检测, $R_{PTL,X}$ 、 $R_{PTL,Y}$ 和 $R_{PTL,Z}$ ( $R_{\text{Probing-Tool-Location},X,Y,Z}$ )

### 6.4.1 总则

本检测目的在于评定手动或自动换刀后探测刀具相对于机床坐标系再定位的重复性。

### 6.4.2 检测设置和步骤

将一孔径约 25 mm 的基准圆环放于机床上,并调整圆环使其孔轴线平行于机床 Z 轴。

- 探测基准圆环上的 4 点测量基准圆环孔中心坐标并通过“单点探测”检测基准圆环顶面。确立工件坐标系基准点在基准圆环测量中心位置,基准圆环顶面作为测量参考。
- 重复测量,记录孔中心 X 轴、Y 轴和 Z 轴坐标值。
- 移开并重新定位探测刀具。为包含换刀重复性在测头装入主轴前如果预计使用自动刀具交换,刀库上的刀具至少转换一个刀位然后返回。
- 从 b) 开始,重复以上步骤 9 次,完成 10 次测量。

某些高速铣床,刀座内没有驱动爪,这种情况下主轴与探测刀具之间的相对角度位置就无法控制。因此建议补充项目 c) 后,增加的相对角位置大约  $15^\circ$ 。

基准球一定程度上可以代替基准环,除非制造商/供应商另有说明。使用基准球时,球上探测 5 点,确立工件坐标系基准点在球的测量中心。

### 6.4.3 结果分析

按孔中心 X 轴坐标检测值的范围计算  $R_{PTL,X}$ ,按孔中心 Y 轴坐标检测值的范围计算  $R_{PTL,Y}$ ,按顶面 Z 轴坐标检测值的范围计算  $R_{PTL,Z}$ 。

如采用基准球, $R_{PTL,X}$ 、 $R_{PTL,Y}$  和  $R_{PTL,Z}$  应按球中心 X 轴、Y 轴、Z 轴坐标检测值的范围计算。

## 6.5 2D 探测误差检测, $P_{FTU,2D}$ ( $P_{\text{Form-Tactile-Unique},2D}$ )

### 6.5.1 总则

本检测的目的在于评估一个通过测量参考校准环形式具体的 2D 探测误差。这个误差很大程度受探测系统先期移动变化的影响。它本身的影响如下：

- 探测系统与机床的重复性；
- 测头换向力；
- 测头系统长度和结构；
- 检测进给速度；
- 趋近测点的距离；
- 测头标定；
- 探测信号与机床位置测头显示读数之间时间延迟的变化；
- 振动；

i) 热漂移。

注：某些功能改进型的探测系统能用软件补偿探测系统先期移动变化，使之最小化。

图 4 显示了典型探测系统 2D 测量误差的表示。

相关参数，如测头换向力、测头系统长度及材质构成（例如：钢、陶瓷、碳纤维）、检测进给速度及趋近测点的距离，应满足制造商/供应商的规定。如某些参数未提出具体要求，用户只能根据预期用途选择。

测点数应由制造商/供应商与用户协商确定，探测系统的能力与预期用途两者兼顾。但建议沿着圆环等距的周长获得 36 个测点的坐标。

6.5.2 检测设置和步骤

将一孔径约 25 mm 的基准圆环放于机床上，并调整圆环使其孔轴线平行于机床 Z 轴。

探测基准圆环上的 4 点检测基准圆环孔中心坐标。确立工件坐标系基准点在基准圆环测量中心。

在圆环圆周等距上选取一定的测点沿着圆环径向测量，记录每一个测点的 X 轴和 Y 轴的坐标。

6.5.3 结果分析

测量圆环的中心按制造商/供应商推荐的方法来计算（如最适宜的最小二乘法）。这个中心的坐标应减去每一点的 X 轴、Y 轴坐标。对每一个测点到中心的径向距离  $r$ ，是坐标差值平方和的平方根。

计算探测误差  $P_{FTU,2D}$  是所测的径向距离之差  $r_{max} - r_{min}$ 。

探测误差  $P_{FTU,2D}$  如极坐标图所示，见图 4。

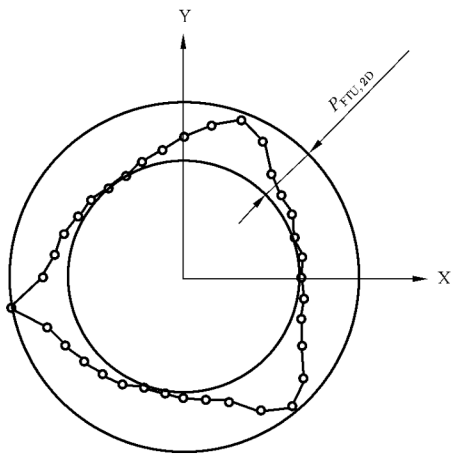


图 4 36 点检测  $P_{FTU,2D}$  值的极坐标图所示

6.6 3D 探测误差检测,  $P_{FTU,3D}$  ( $P_{Form\_Tactile\_Unique,3D}$ )

6.6.1 总则

检测与 6.5 描述的检测类似，但是它的目的在于测试 3D 探测系统的性能。6.5.1 叙述的一般说明同样适用于此，区别在于基准检具为经过校准的球。

典型的探测系统用数量非常有限的测点（通常 4 个或 5 个测点）进行球面测量。尽管应适当考虑预期用途，但是本条款对测试执行的描述，可为更好的理解、掌握探测系统的性能提供有价值的信息。

测点数应由制造商/供应商与用户协商确定，探测系统的能力与预期用途两者兼顾。但建议至少在测试球的半球测试范围获得近似均匀分布的 25 个测点的坐标。

6.6.2 检测设置和步骤

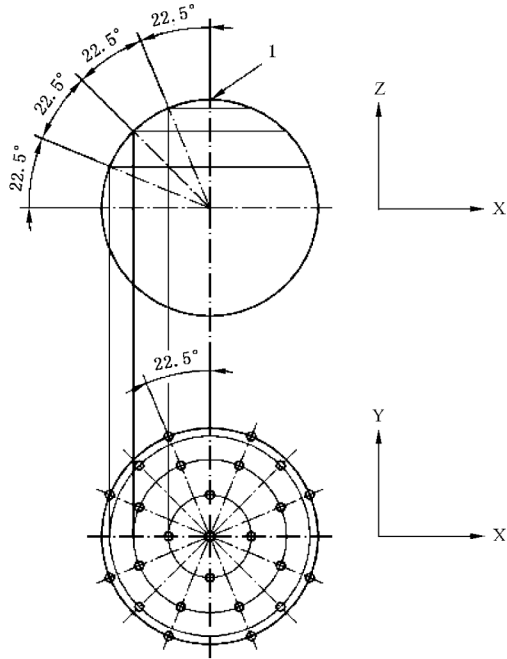
将一公称直径约 25 mm 的基准球放于机床上。基准球的形状应校准,形状的误差将影响检测结果,并应考虑验证是否符合规定要求。

探测基准球上的 5 个测点检测基准球中心坐标。确立工件坐标系基准点在基准球测量中心。

根据采集选择的测点沿 3D 径向向量方向探测基准球,测点应近似均匀分布在至少基准球的半球上。测点位置由用户酌情考虑,如无明确规定,建议遵循以下准则,见图 5:

- a) 其中一测点在基准球的顶点(由主轴方向规定);
- b) 顶点下 22.5°4 个测点(等间距);
- c) 顶点下 45°,相对上组测点旋转 22.5°8 个测点(等间距);
- d) 顶点下 67.5°,相对上组测点旋转 22.5°4 个测点(等间距);
- e) 顶点下 90°(即在最大直径上),相对上组测点旋转 22.5°8 个测点(等间距)。

测点数及建议的目标位置应符合 GB/T 16857.5—2017 中 6.2 的规定。对于某些情况,完成检测可选 48 个测点,近似均匀分布在至少基准球的半球上的测试范围。



说明:

1——顶点。

图 5 3D 目标测点的 3D 探测误差  $P_{FTU,3D}$  的检测

6.6.3 结果分析

使用所有可用数据,按制造商/供应商推荐的方法来计算(如最适宜的最小二乘法)测量球的中心。这个中心的坐标应减去每一测点的 X 轴、Y 轴、Z 轴坐标。对每一个测点到中心的径向距离  $r$ ,是坐标差值平方和的平方根。

计算探测误差  $P_{FTU,3D}$  是所测的径向距离之差  $r_{max} - r_{min}$ 。



## 6.7 工件定位和定向检测, $E_{PLA,Z}$ 、 $E_{LIN,Y}$ 、 $E_{COR,X}$ 、 $E_{COR,Y}$ 与 $E_{COR,Z}$ , $(E_{PLAn,Z})$ 、 $(E_{LIN,Y})$ 、 $(E_{CORner\ coordinates,X,Y,Z})$

### 6.7.1 总则

多数情况下,在机床上探测时,工件应定位于机床坐标系内,并尽可能靠近主轴平均线。本检测主要用于评定探测系统的识别能力。

工件坐标系相对于机床坐标系正确识别的最佳选择如下:

- a) 确定工件坐标系基准面;
- b) 确定工件坐标系在基准面的方位角;
- c) 确定工件坐标系基准原点。

因为时间的关系或因条件所限未完成上述推荐的步骤,将会导致工件坐标系不能正确识别。

#### 6.7.1.1 工件坐标系基准面识别

在加工中心上,工件与机床工作台连接(或工件支承与机床工作台连接)。

如存在下述情况,可不必识别工件坐标系基准面(假设平行于 XY 面):

- a) 机床工作台(或工件支承)是平面并平行于 X 轴、Y 轴运动(定义为机床 XY 坐标面);
- b) 工件底面平行于它的基准面;
- c) 没有外界因素(如划痕,污垢、残屑等)影响工件与工作台(或工件支承)连接的。

当某些条件未满足时,对工件本身进行调整,作为确定测量工件基准面的一种替代方法。

一般探测系统采用测三点法确定工件基准平面(名义上的平面),某些精密的探测系统通过多重测量(已知)面,将被测面上的点与面的数学模型进行比较来确定工件基准平面为最优拟合方式。

#### 6.7.1.2 工件坐标系在基准面方位的识别

一般探测系统通过确定在(名义)面上通过两被测点的直线或通过两圆柱中心坐标或通过球形工件外廓来确定工件坐标系在基准面方位。

应注意,如工件基准平面经调整未与机床 XY 坐标面平行(或测量及补偿),测量一条线不会正确识别工件坐标系在基准面方位。

#### 6.7.1.3 工件坐标系基准点定位

一般探测系统考虑到,基准点定位至少综合采取以下措施:

- a) 探测平面上一点来设定某一轴基准点;
- b) 设定 X 轴、Y 轴基准点在两平面交点处或在孔或凸台中心;
- c) 设定 X 轴、Y 轴、Z 轴基准点在球中心坐标或三平面交点处。

#### 6.7.1.4 探测系统特性对工件坐标系(WCS)识别的影响

##### 6.7.1.4.1 影响工件坐标系识别的主要探测系统特性:

- a) 探测系统重复性(见 6.2);
- b) 探针触点相对于主轴中心线偏移误差(见 6.3);
- c) 探测刀具定位重复性(见 6.4);
- d) 探测误差(见 6.5 和 6.6);
- e) 有效探针触点直径(见 6.10);
- f) 探测信号与机床位移测头显示时间延迟的变化(见 6.9);
- g) 测头标定;

h) 热漂移。

表 1 给出一些常见的测量任务中主要特性的影响简化表示,有助于确定探测方案。

注 1: 探测重复性,延迟变化,测头标定和热偏移未列在表 1 中,因为在实际中,会对所有检测任务有影响。

注 2: 空格表示某一特性对检测任务的影响很小或者可以忽略不计。

注 3: 假设在工件坐标系识别过程中没有探测刀具交换。

表 1 检测任务中探测系统特性影响的简化表示

检测任务	探针触点偏移 <sup>a</sup>	探测刀具定位重复性 <sup>b</sup>	探测误差 <sup>c</sup>	有效测头触点直径 <sup>d</sup>
单点表面检测	对 X、Y 影响大	影响大	对 X、Y 影响大	影响大
XY 基准面角度				
两点连线的角度				
两中心连线的角度				
两点连线的定位	对 X、Y 影响大	影响大	影响大	影响大
平面棱角的定位	对 X、Y 影响大	对 X、Y 影响大	影响大	影响大
三平面交线棱角的定位	对 X、Y 影响大	影响大	影响大	影响大
孔或凸台中心定位	对 X、Y 影响大	影响大	影响中等	
球中心定位	对 X、Y 影响大	影响大	影响中等	
<sup>a</sup> 见 6.3。 <sup>b</sup> 见 6.4。 <sup>c</sup> 见 6.5 和 6.6。 <sup>d</sup> 见 6.10。				

6.7.1.4.2 表 1 分析与建议推荐如下:

- a) 探测工件平面至少 3 个点来确定工件坐标系基准面;
- b) 探测 2 点(可能的话或更多)连线或两圆心连线确定工件坐标系在基准面的方位;
- c) 将孔或凸台的中心坐标设定为工件坐标系 X 轴、Y 轴原点;
- d) 单轴重复测量的平均值设定为工件坐标系 Z 轴原点(因此,最小化探针触点校准的影响,探测刀具定位重复性及预行程变化几乎对 Z 方向没什么影响)。

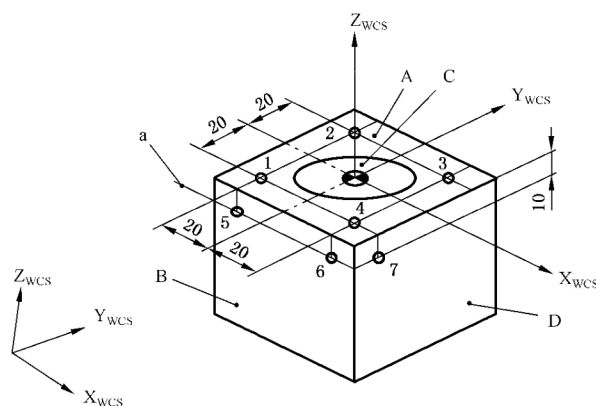
工件坐标系 Z 轴原点也可用工件坐标系基准面设定。如此,Z 轴原点的附加检测就不需进行了。

6.7.2 检测设置

选择如图 6 所示的检具。所推荐的检具为每边长约 50 mm 的立方。孔径约  $\phi 25$  mm。A、B 和 D 面最好是磨削面,其几何特性应预先检测过,如在坐标测量机。

所推荐的检具也可用于对探测系统性能进行周期性验证。

将检具放于工件通常放置位置,并在机床检测范围内,相对于机床坐标系三个方向倾斜大约 1°。



说明：

A ——平面 A；

B ——平面 B；

C ——孔 C；

D ——平面 D；

a ——直线 L；

1~7 ——确定工件坐标系方位与角度测点。

图 6 工件坐标系方位与角度检具样件

有些探测系统仅能在 XY 面内进行校准。在此情况下,检具放置应使其顶面 A 平行于机床 XY 面,它的一侧相对于机床坐标系偏离角度大约 1°。在此情况下,应不执行在 6.7.3 给出的步骤 a) 的 1)。

### 6.7.3 检测步骤

根据探测系统预期的用途确定一定数量测点探测,并按下列步骤来评定工件的特征。

- a) 阶段 1:工件坐标系定向与定位确定:
- 1) 通过探测检具 A 面确定工件坐标系基准面(见图 6);
  - 2) 通过探测检具 B 面上的线 L 确定工件坐标系在基准面的方向(见图 6);
  - 注 1: 最优推荐探测 B 面为一平面,B 面与 A 面相交,交线作为工件坐标系在基准面 A 的方向;
  - 3) 通过探测孔 C 确定工件坐标系 X 轴、Y 轴原点(见图 6);
  - 4) 复检孔 C 确定工件坐标系 X 轴、Y 轴原点;
  - 注 2: 重复检测目的在于尽量使探测信号与机床位置测头显示时间延迟的影响最小化(见 6.9)。
  - 注 3: 最优推荐探测孔 C 作为一圆柱,圆柱轴线与 A 面相交,将交点确定为 X 轴、Y 轴原点。
  - 5) 用 A 面设定工件坐标系 Z 轴原点。
- b) 阶段 2:工件坐标系定位与定向验证:
- 1) 在检具 A 面沿 Z 轴方向在下列坐标探测: $X-20, Y-20$ ;  $X-20, Y20$ ;  $X20, Y20$ ;  $X20, Y-20$ (图 6 中测点 1 至测点 4)获取并记录 Z 轴坐标( $Z_{PLA}$ );
  - 2) 在检具 B 面沿 Y 轴方向在下列坐标探测: $X-20, Z-10$ ;  $X20, Z-10$ (图 6 中测点 5 和测点 6)获取并记录 Y 轴坐标( $Y_{LIN}$ );
  - 3) 按探测系统制造商/供应商使用说明书测量并记录孔 C 中心 X 轴、Y 轴坐标( $X_{BOR}, Y_{BOR}$ );
  - 4) 分别探测 D 面、B 面、A 面上的单点(图 6 中测点 7、测点 6 和测点 4)检测并记录顶点 X 轴、Y 轴和 Z 轴坐标( $X_{COR}, Y_{COR}, Z_{COR}$ )。

#### 6.7.4 结果分析

计算工件坐标系基准面识别误差  $E_{PLA,Z}$ , 作为记录的  $Z_{PLA}$  取值范围。

注:  $E_{PLA,Z}$  包括基准面平面度误差。

计算工件坐标系在基准面的定位识别误差  $E_{LIN,Y}$ , 取测得  $Y_{LIN}$  坐标值的差值。

计算顶点定位误差  $E_{COR,X}$ 、 $E_{COR,Y}$  与  $E_{COR,Z}$ , 取测得的顶点坐标  $X_{COR}$ 、 $Y_{COR}$ 、 $Z_{COR}$  与先前其他测量获得顶点坐标的差值, 如坐标测量机所测结果。

#### 6.7.5 可供选择的工件定位和定向检测

##### 6.7.5.1 检测设置和步骤

做工件定位和定向检测可用校准长度约 50 mm 的标准块规, 见图 7。这种可供选择的检测将工件坐标系原点设置在块规的一个顶点。因此, 不评价这个顶点的定位误差  $E_{COR,X}$ 、 $E_{COR,Y}$  与  $E_{COR,Z}$ 。此外, 将工件坐标系 X 轴、Y 轴原点设置在块规的一个顶点对比以前检测将工件坐标系原点设置在孔中心 (见 6.7.2) 识别误差可能有所不同, 是由于探针触点实际直径误差影响到将工件坐标系原点设置在块规顶点的识别误差, 而误差在将工件坐标系原点设置在孔中心情况下使误差最小化, 因为测点选择应围绕孔中心并成对。但探针触点实际直径误差源于块规校准长度测量, 在工件坐标系原点设置误差确定时予以考虑 (见 6.7.5.2)。

将块规放于工件通常放置的位置, 并在机床测量范围内, 相对于机床坐标系三个方向倾斜大约  $1^\circ$ 。

有些探测系统仅能在 XY 面内进行校准。在此情况下, 块规放置应使其顶面 A 平行于机床 XY 面, 它的一侧相对于机床坐标系偏离角度大约  $1^\circ$ 。因此在下列检测程序给出的步骤 a) 中的 1) 应不执行。

根据探测系统预期的用途确定一定数量测点探测并按下列步骤来评定工件的特征。

a) 阶段 1: 工件坐标系定向与定位确定:

- 1) 通过探测块规 A 面确定工件坐标系基准面 (见图 7);
- 2) 通过探测块规 B 面上的线 L 确定工件坐标系在基准面的角度, 它也是研磨面之一 (见图 7);
- 3) 分别探测 D 面、B 面、A 面上的单点设定块规前右顶点 (见图 7) 作为工件坐标系 X 轴、Y 轴和 Z 轴坐标原点;
- 4) 复检设定块规前右顶点的工件坐标系 X 轴、Y 和 Z 轴坐标原点。

注 2: 重复检测目的在于尽量使探测信号与机床位置测头显示时间延迟的影响最小化 (见 6.9)。

注 3: 最优推荐通过 n 个测点探测 B 面和 D 面, A 面、B 面和 D 面相交, 将交点确定为工件坐标系 X 轴、Y 轴和 Z 轴原点。

单位为毫米

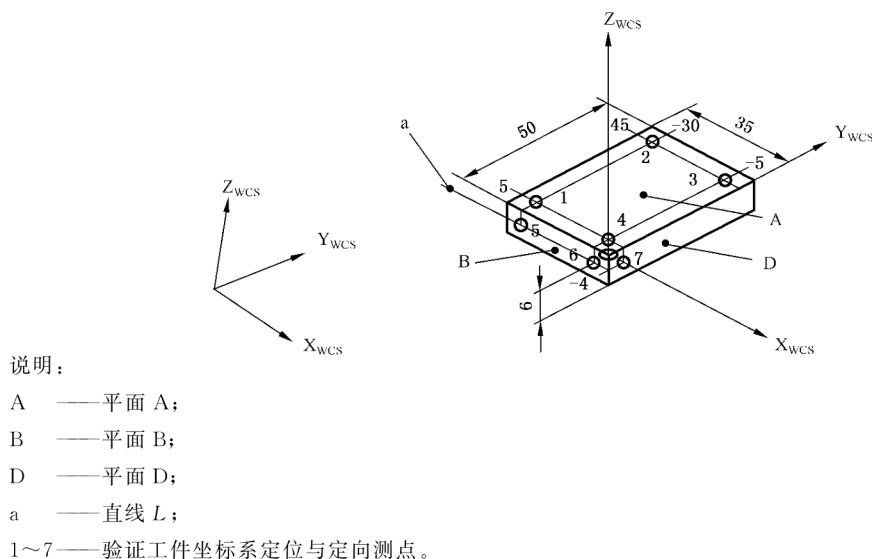


图 7 使用块规确定工件坐标系定位和定向可供选择的检测

b) 阶段 2: 工件坐标系定位与定向验证:

- 1) 在面 A 沿 Z 轴方向在下列坐标探测:  $X-5, Y5; X-30, Y5; X-30, Y45; X-5, Y45$  (图 7 中测点 1 至测点 4) 获取并记录 Z 轴坐标  $Z_{PLA}$ ;
- 2) 在块规 B 面沿 Y 轴方向, 在下列坐标探测:  $X-30, Z-4; X-5, Z-4$  (图 7 中测点 5 和测点 6) 获取并记录 Y 轴坐标  $Y_{LIN}$ ;
- 3) 分别探测 A 面、B 面、D 面上的单点 (图 7 中测点 4, 测点 6 和测点 7) 检测并记录前右顶点 X 轴、Y 轴和 Z 轴坐标,  $X_{COR}, Y_{COR}, Z_{COR}$ ;
- 4) 用探测系统内置循环, 测量块规校准长度  $S_Y$ 。

## 6.7.5.2 结果分析

计算工件坐标系基准面识别误差  $E_{PLA,Z}$ , 作为记录的  $Z_{PLA}$  取值范围。

注:  $E_{PLA,Z}$  包括基准面平面度误差。

计算工件坐标系在基准面的定向识别误差  $E_{LIN,Y}$ , 作为记录的  $Y_{LIN}$  坐标值之间的差值。

计算有效探针触点直径误差  $E_{EST,Y}$ , 作为记录的  $S_Y$  值与块规校准长度值之差。

$E_{EST,Y}$  值的一半可评估为工件坐标系 X 轴、Y 轴原点识别误差的附加因素。

顶点定位误差  $E_{COR,X}, E_{COR,Y}$  与  $E_{COR,Z}$ , 被记录为  $X_{COR}, Y_{COR}$  与  $Z_{COR}$  顶点坐标。

## 6.8 组合工件加工与定位检测, $E_{CML,X}, E_{CML,Y}, E_{CML,Z}, R_{CML,X}, R_{CML,Y}$ 与 $R_{CML,Z}$ ( $E_{Combined\ Machining\ and\ Location, X, Y, Z}$ )、 ( $R_{Combined\ Machining\ and\ Location, X, Y, Z}$ )

## 6.8.1 总则

对于某些应用, 工件定位与定向测量在于评定先前的加工工序, 为后续工序提供帮助。

在一试件上加工一个孔和上表面, 并用探测系统进行测量, 将加工情况与测量情况对比: 测量孔中心 X 轴、Y 轴坐标应与编程孔中心坐标相符合, 测量上表面 Z 轴坐标应与编程 Z 轴坐标相符合。

下列因素将影响这样的测试:

——加工表面粗糙度;

- 铣刀长度设定；
- 探测刀具长度设定；
- 机床热偏移(如主轴热偏移)。

### 6.8.2 检测设置和步骤

#### a) 阶段 1:加工:

- 1) 在机床工作台上放置厚度至少为 25 mm 的试件,加工备用。试件材料应由制造商/供应商与用户协商确定,或与机床通常加工材料相当。
- 2) 加工一个直径大约  $\phi 25$  mm 高精度孔,孔的表面粗糙度应保证检测系统的重复性要求。推荐预钻孔径小于 1.25 mm 的孔,然后再预铣表面小于 0.2 mm 的面。
- 3) 试件表面用端面加工刀具进行加工,整个表面或局部的表面粗糙度应保证检测探测系统的重复性要求。

#### b) 阶段 2:检测:

- 1) 将经过认定的探测刀具装到主轴上。
- 2) 用制造商/供应商推荐的检测程序测量孔中心,记录孔中心 X 轴、Y 轴坐标  $X_{BOR}$  与  $Y_{BOR}$ 。
- 3) 用制造商/供应商推荐的检测程序测量加工过的表面,记录铣加工表面 Z 轴坐标  $Z_{PLA}$ 。
- 4) 完成正常换刀程序,从 b)2)开始重复检测 9 次,共得到 10 组  $X_{BOR}$ 、 $Y_{BOR}$  与  $Z_{PLA}$  测量坐标。

如采用机械手自动换刀模式,在测头返回主轴前,自动换刀应至少转一个刀位并返回,这样考虑了系统的重复性。

在一些高速铣应用中,刀座没有配备传动夹头。主轴与探测刀具之间的相互角度关系不受控制。建议探测刀具位置增加约  $15^\circ$  来作为对本项目的补充。

### 6.8.3 结果分析

计算 X 轴加工与定位综合误差  $E_{CML,X}$ ,取记录 X 轴坐标值  $X_{BOR}$  平均值与编程孔坐标值之差。

计算 X 轴加工与定位综合重复性  $R_{CML,X}$ ,取记录 X 轴坐标值  $X_{BOR}$  范围。

计算 Y 轴加工与定位综合误差  $E_{CML,Y}$ ,取记录 Y 轴坐标值  $Y_{BOR}$  平均值与编程孔坐标值之差。

计算 Y 轴加工与定位综合重复性  $R_{CML,Y}$ ,取记录 Y 轴坐标值  $Y_{BOR}$  范围。

计算 Z 轴加工与定位综合误差  $E_{CML,Z}$ ,取记录 Z 轴坐标值  $Y_{PLA}$  平均值与编程坐标值之差。

计算 Z 轴加工与定位综合重复性  $R_{CML,Z}$ ,取记录 Z 轴坐标值  $Z_{PLA}$  范围。

## 6.9 时间延迟变化检测

### 6.9.1 总则

机床探测系统应对探针触点与表面接触后偏转反应灵敏,但由于机床振动使探针触点反应不灵敏。处理这些干扰因素取决于不同探测转换开关技术(电路通断、应变仪等)与针对性探测系统设计。降低对振动的敏感度,有时采取对探测信号电子调节部分衰减和/或通过数控机床对探测信号进行逻辑处理。一些 CNC 结构上采用快速硬件寄存器来存储机床位置测头读出的信号,而其他 CNC 结构上采用可编程处理器循环周期内获取这些的信号。

**注 1:** 对于均匀进给探测速度 480 mm/min,如,探针触点以速度 0.008 mm/ms 移动,5 ms 的延迟意味着 0.040 mm 的变化,延迟效应在检定探测系统探针触点直径时是不得不考虑的问题,而延迟变化效应并未考虑进去。

**注 2:** 尽管最关注的是延迟变化,但还要注意如下情况:在测量时探测进给速度不同于标定时采用的进给速度,即使延迟不变,也会引起探测误差。

一般来说,被测工件位置未知,在探测时实际运行路径也未知。由于探针触点位置由 CNC 控制,但时间延迟是一个未知的变量,所以,时间延迟是随着趋近路径变化而变化。

CNC、PLC 与探测系统之间不同的相互作用可能会导致不同的时间延迟,反之,会大大降低探测系统的总体性能。

注 3: 由于被测工件的位置未知,在圆及球测量趋近方向不完全垂直于被测表面(探测);因此时间延迟变化检测也包含可能的残余误差,由探测系统软件对探针触点直径补偿技术导致。

本条款只对探测系统特定性能进行描述,在探测系统复检时,除非检测速度改变,无需重复检验。

### 6.9.2 单一轴线的时间延迟变化检测, $E_{\text{SPT,TD,X}}$ 、 $E_{\text{SPT,TD,Y}}$ 、 $E_{\text{SPT,TD,Z}}$ ( $E_{\text{Single-Point, Time Delay variation, X, Y, Z}}$ )

#### 6.9.2.1 检测设置和步骤

步骤如下:

- 放块规如 6.7.5 的图 7 所示并校准方向使块规三个面分别与机床坐标系 X 轴、Y 轴、Z 轴垂直;
- 分别探测面 D、面 B、面 A 上的单点(见图 7)设定工件坐标系 X 轴、Y 轴、Z 轴原点在块规前右顶点;
- 顺次将主轴移动到 X5、Y5、Z-4 处(图 7 中测点 7 前面);
- 沿 X 轴负向单点探测,采集并记录  $X_{\text{SPT,TD}}$  坐标值;
- 将主轴移动到先前位置 X 轴方向增加 0.010 mm 处(如:对比前次循环,X 轴坐标值应为 X5.010);
- 重复从 d) 项开始的步骤,采集并记录  $X_{\text{SPT,TD}}$  坐标值共 10 次;
- 顺次将主轴移动到 Y-5、Z-4、X-5 处(图 7 中测点 6 前面);
- 沿 Y 轴正向单点探测,采集并记录  $Y_{\text{SPT,TD}}$  坐标值;
- 将主轴移动到先前位置 Y 轴方向减少 0.010 mm 处(如:对比前次循环,Y 轴坐标值应为 Y-5.010);
- 重复从 h) 项开始的步骤,采集并记录  $Y_{\text{SPT,TD}}$  坐标值共 10 次;
- 顺次将主轴移动到 Z5、X-5、Y5 处(图 7 中测点 4 前面);
- 沿 Z 轴负向单点探测,采集并记录  $Z_{\text{SPT,TD}}$  坐标值;
- 将主轴移动到先前位置 Z 轴方向增加 0.010 mm 处(如:对比前次循环,Z 轴坐标值应为 Z5.010);
- 重复从 l) 项开始的步骤,采集并记录  $Z_{\text{SPT,TD}}$  坐标值共 10 次。

#### 6.9.2.2 结果分析

计算单轴延迟变化误差  $E_{\text{SPT,TD,X}}$ ,取记录的实测值  $X_{\text{SPT,TD}}$  范围。

注 1:  $E_{\text{SPT,TD,X}}$  值包含 6.2.2 中单点表面测量重复性  $R_{\text{SPT,X}}$ 。

计算单轴延迟变化误差  $E_{\text{SPT,TD,Y}}$ ,取记录的实测值  $Y_{\text{SPT,TD}}$  范围。

注 2:  $E_{\text{SPT,TD,Y}}$  值包含 6.2.2 中单点表面测量重复性  $R_{\text{SPT,Y}}$ 。

计算单轴延迟变化误差  $E_{\text{SPT,TD,Z}}$ ,取记录的实测值  $Z_{\text{SPT,TD}}$  范围。

注 3:  $E_{\text{SPT,TD,Z}}$  值包含 6.2.2 中单点表面测量重复性  $R_{\text{SPT,Z}}$ 。

### 6.9.3 XY 平面圆测量的时间延迟变化检测, $E_{\text{CIR,TD,X}}$ 、 $E_{\text{CIR,TD,Y}}$ 、 $E_{\text{CIR,TD,D}}$ 与 $E_{\text{CIR,TD,F}}$ ( $E_{\text{Circle, Time Delay variation, X, Y}}$ )、( $E_{\text{Circle, Time Delay variation, Diameter}}$ )与( $E_{\text{Circle, Time Delay variation, Form}}$ )

#### 6.9.3.1 总则

本检测在于确定测量工具路径并非准确随动真圆时,探测系统正确测量圆的直径和位置的能力。本检测适用于能在 XY 平面测量完整圆的通用探测系统。

某些功能改进型的探测系统能通过检测 36 个测点确定圆的属性,如直径、圆心和形状误差  $F$ ,推荐采用 36 个测点进行本检测如同 2D 探测误差检测  $P_{\text{FTU,2D}}$ (见 6.5)。本检测尤其适用于在外形定位未知情况下确定系统的 2D 性能(如部分定位)。

6.9.3.2 检测设置和步骤

步骤如下：

- a) 将一孔径约 25 mm 的基准圆环放于机床,校准直径和外形,与机床坐标系进行对正,使孔轴线平行于机床 Z 轴；
- b) 通过探测 4 个测点测量基准圆环孔中心坐标,建立工件坐标系原点即测量中心；
- c) 测量并记录基准圆环中心坐标  $X_{\text{CIR,TD}}$  与  $Y_{\text{CIR,TD}}$ ,直径  $D$  及(检测采用 36 个测点探测)形状误差  $F$ ；
- d) 重复 c)项 9 次,按表 2 调整基准圆环的名义位置。圆环本身不动,但是生成的孔测量新探测路径是假设圆环已经偏移到新位置。

6.9.3.3 结果分析

所有计算应包括基准测量结果。

计算 X 轴时间延迟变化误差  $E_{\text{CIR,TD,X}}$ ,对于圆中心定位取测得的  $X_{\text{CIR,TD}}$  坐标值范围。

注 1:  $E_{\text{CIR,TD,X}}$  值包含 6.2.3 中圆中心定位重复性  $R_{\text{CIR,X}}$ 。

计算 Y 轴时间延迟变化误差  $E_{\text{CIR,TD,Y}}$ ,对于圆中心定位取测得的  $Y_{\text{CIR,TD}}$  坐标值范围。

注 2:  $E_{\text{CIR,TD,Y}}$  值包含 6.2.3 中圆中心定位重复性  $R_{\text{CIR,Y}}$ 。

计算直径延迟变化误差  $E_{\text{CIR,TD,D}}$ ,取测得的直径  $D$  值范围。

注 3:  $E_{\text{CIR,TD,D}}$  值包含 6.10.3 中圆直径重复性  $R_{\text{CIR,D}}$ 。

对于采用 36 个测点的检测,计算时间延迟变化误差,  $E_{\text{CIR,TD,F}}$ ,取测得圆形状误差值  $F$  范围,同时注明最大值  $E_{\text{CIR,TD,F,MAX}}$  作为报告中  $F$  实测值。

注 4:  $E_{\text{CIR,TD,F,MAX}}$  值包含 6.5.3 中 2D 检测误差  $P_{\text{FTU,2D}}$ 。

表 2 XY 平面圆测量时间延迟变化检测 X 轴与 Y 轴漂移

单位为毫米

测量次数	名义中心坐标相对于基准位置坐标的偏移		
	X	Y	Z
1	0,000	0,300	0,000
2	0,193	0,230	0,000
3	0,295	0,052	0,000
4	0,260	−0,150	0,000
5	0,103	−0,282	0,000
6	−0,103	−0,282	0,000
7	−0,260	−0,150	0,000
8	−0,295	0,052	0,000
9	−0,193	0,230	0,000
注：本表中名义中心位置采用隔一定间距布置模式,在 XY 面,半径 0.3 mm 圆内,相隔 40°。			

6.9.4 球测量的时间延迟变化检测,  $E_{\text{SPH,TD,X}}$ 、 $E_{\text{SPH,TD,Y}}$ 、 $E_{\text{SPH,TD,Z}}$ 、 $E_{\text{SPH,TD,D}}$  和  $E_{\text{SPH,TD,F}}$  ( $E_{\text{SPH,TD,F}}$  ( $E_{\text{SPH,TD,F}}$  (Time Delay variation, X, Y, Z) )、 $(E_{\text{SPH,TD,F}}$  (Time Delay variation, Diameter) )和  $(E_{\text{SPH,TD,F}}$  (Time Delay variation, Form) )

6.9.4.1 总则

本检测在于确定测量工具路径并非准确随动外廓时,探测系统正确测量球的直径和位置的能力。本检测适用于能测量球的通用探测系统。



某些功能改进型的测试系统能通过检测 25 个测点确定球的属性,如直径、球心和形状误差  $F$ ,推荐采用 25 个测点进行本检测如同 3D 检测误差检测  $P_{FTU,3D}$ (见 6.6)。本检测尤其适用于在外廓定位未知情况下确定系统的 3D 性能(如部分定位)。

#### 6.9.4.2 检测设置和步骤

步骤如下:

- 将一直径约 25 mm 的基准球放于机床,校对直径和外形。在机床测量范围内,将工件置于典型常用位置处;
- 通过探测 5 个测点测量基准球中心坐标,建立工件坐标系原点即测量中心;
- 测量并记录基准球中心坐标  $X_{SPH,TD}$ 、 $Y_{SPH,TD}$  与  $Z_{SPH,TD}$ 、直径  $D$ 、及(检测采用 25 个测点检测)形状误差  $F$ ;
- 重复 c)项 9 次,按表 3 调整基准球的名义位置。球本身不动,但是生成的外廓测量新探测路径是假设球已经偏移到新位置。

#### 6.9.4.3 结果分析

所有计算应包括基准测量结果。

计算 X 轴时间延迟变化误差  $E_{SPH,TD,X}$ ,对于球中心定位取测得的  $X_{SPH,TD}$  坐标值范围。

注 1:  $E_{SPH,TD,X}$  值包含 6.2.4 中球中心定位重复性  $R_{SPH,X}$ 。

计算 Y 轴时间延迟变化误差  $E_{SPH,TD,Y}$ ,对于球中心定位取测得的  $Y_{SPH,TD}$  坐标值范围。

注 2:  $E_{SPH,TD,Y}$  值包含 6.2.4 中球中心定位重复性  $R_{SPH,Y}$ 。

计算 Z 轴时间延迟变化误差  $E_{SPH,TD,Z}$ ,对于球中心定位取测得的  $Z_{SPH,TD}$  坐标值范围。

注 3:  $E_{SPH,TD,Z}$  值包含 6.2.4 中球中心定位重复性  $R_{SPH,Z}$ 。

对于球直径测量计算时间延迟变化误差  $E_{SPH,TD,D}$ ,取测得的直径  $D$  值范围。

注 4:  $E_{SPH,TD,D}$  值包含 6.10.4 中球直径测量重复性  $R_{SPH,D}$ 。

对于采用 25 个测点的球形状误差测量,计算时间延迟变化误差  $E_{SPH,TD,F}$ ,取测得球形状误差值  $F$  范围,同时注明最大值  $E_{SPH,TD,F,MAX}$  作为报告中  $F$  实测值。

注 5:  $E_{SPH,TD,F,MAX}$  值包含 6.6.3 中 3D 检测误差  $P_{FTU,3D}$ 。

表 3 球测量延迟变化检测 X 轴、Y 轴与 Z 轴漂移

单位为毫米

测量次数	名义中心坐标相对于基准位置坐标的偏移		
	X	Y	Z
1	0.000	0.300	-0.150
2	0.260	-0.150	-0.150
3	-0.260	-0.150	-0.150
4	0.193	0.230	0.000
5	0.103	-0.282	0.000
6	-0.295	0.052	0.000
7	0.295	0.052	0.150
8	0.103	-0.282	0.150
9	-0.193	0.230	0.150
注: 本表中名义中心位置用 3D 表示,在 XY 面,半径 0.3 mm 圆内,相隔 40°。按不同 Z 坐标值分为 3 组每组 3 点,在 XY 面内每组 3 点之间相隔 120°。			

## 6.10 外形尺寸测量性能检测

### 6.10.1 总则

通用的探测系统能完成两(平和平行的)面(如筋、槽和台阶)之间距离、圆直径(如孔和凸台)及球直径简单测量。检测结果与标准检具校准尺寸比较,选择的尺寸小于 60 mm,以适应小机床有限空间探测系统性能的测试。通过比较提供了有限尺寸测量可追溯性,不应推断设定不同尺寸工件特征尺寸测量的可追溯性。

注 1: 计量后探测系统探针触点有效直径对两平面和平行面、圆和球直径测量影响较大。

注 2: 在机床测量空间内不同位置检测会产生不同的结果,如,由于机床的几何误差。

### 6.10.2 薄板(筋)尺寸检测性能检测, $E_{WEB,X}$ 、 $E_{WEB,Y}$ 、 $R_{WEB,X}$ 和 $R_{WEB,Y}$

#### 6.10.2.1 总则

通过探测相对表面上的两个点来测量薄板(筋)或凹槽的尺寸是一种极其简单的操作,(严格地)只确定两个探测点之间的距离。

#### 6.10.2.2 检测设置和步骤

步骤如下:

- 放置一块约 50 mm 标准块规在机床测量范围内,并使其基准面与机床坐标系 YZ 面对正;
- 用探测系统自带的测量程序测量和记录块规长度  $S_X$  共 10 次;
- 校准块规基准面与机床坐标系  $Z_X$  面对正;
- 用探测系统自带的测量程序测量和记录块规长度  $S_Y$  共 10 次。

#### 6.10.2.3 结果分析

计算薄板沿 X 轴测量误差  $E_{WEB,X}$ ,取测得的不同  $S_X$  值与块规标准尺寸差值的平均值。

计算薄板沿 X 轴测量重复性  $R_{WEB,X}$ 取测得的  $S_X$  值范围。

计算薄板沿 Y 轴测量误差  $E_{WEB,Y}$ ,取测得的不同  $S_Y$  值与块规标准尺寸的差值的平均值。

计算薄板沿 Y 轴测量重复性  $R_{WEB,Y}$ 取测得的  $S_Y$  值范围。

### 6.10.3 圆直径测量性能检测, $E_{CIR,D}$ 和 $R_{CIR,D}$ ( $E_{CIRcle,Diameter}$ ) 和 ( $R_{CIRcle,Diameter}$ )

#### 6.10.3.1 总则

通用的探测系统可通过 3 个测点或 4 个测点完成圆的测量。由于测量表面(可能)存在的杂质污物会严重影响中心的定位及直径测量,所以通过 3 个测点测量并非首选。

本检测的测点数量的选择应符合制造商/供应商说明书规定,同时兼顾加工需求。

#### 6.10.3.2 检测设置和步骤

步骤如下:

- 将一孔径约 25 mm 的基准圆环放于机床,校正直径和外形,与机床坐标系进行对正,使孔轴线平行于机床 Z 轴;
- 测量基准圆环孔中心坐标一次,建立工件坐标系原点即基准圆环测量中心;
- 按所选测点数量测量,并记录圆环直径  $D$ ,共 10 次。

### 6.10.3.3 结果分析

计算圆直径测量误差  $E_{\text{CIR},D}$ , 取测得的不同  $D$  值与基准圆环直径标准尺寸的差值的平均值。

计算圆直径测量重复性  $R_{\text{CIR},D}$ , 取测得的  $D$  值范围。

### 6.10.4 球直径测量性能检测, $E_{\text{SPH},D}$ 和 $R_{\text{SPH},D}$ ( $E_{\text{SPHERE, Diameter}}$ ) 和 ( $R_{\text{SPHERE, Diameter}}$ )

#### 6.10.4.1 总则

通用的探测系统可通过 4 个测点或 5 个测点完成球的测量。由于测量表面(可能)存在的杂质污物会严重影响中心的定位及直径测量, 所以通过 4 个测点测量并非首选。

本检测测点数量的选择应符合制造商/供应商说明书规定, 同时兼顾加工需求。

#### 6.10.4.2 检测设置和步骤

步骤如下:

- 将一直径约 25 mm 的基准球放于机床, 校对直径和外形, 放于工件通常就位的位置, 并在机床测量范围内;
- 测量基准球中心坐标一次, 建立工件坐标系原点即基准球测量中心;
- 按所选点数测量并记录球直径  $D$ , 共测 10 次。

#### 6.10.4.3 结果分析

计算球直径测量误差  $E_{\text{SPH},D}$ , 取测得的不同  $D$  值与基准球直径标准尺寸的差值的平均值。

计算球直径测量重复性  $R_{\text{SPH},D}$ , 取测得的  $D$  值范围。

## 7 刀具探测

### 7.1 总则

有些机床装有测头/测头系统用于在机床控制下测量各类旋转刀具的长度和/或直径。这些刀具设置系统有时也用于非旋转、几何精度校准刀具(如立体圆柱)的 X 轴、Y 轴、Z 轴位置确定或检测损坏的刀具。

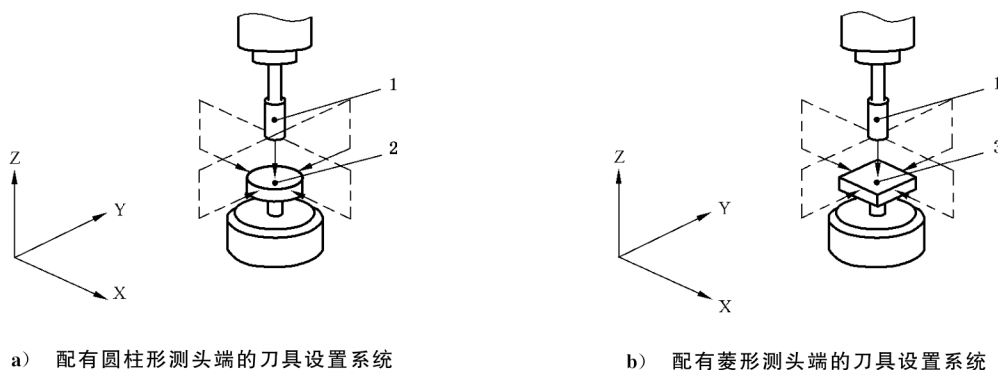
从加工中心的情况看刀具设置系统通常位于机床工作区的边缘处(或机械手附近), 为防止由于承受微小转换力产生的影响刀具设置系统与机床应刚性连接。

**注:** 某些专用的刀具设置系统用于非常小直径刀具长度测定要求很小的转换力。

通常刀具设置系统测头端是圆柱形或菱形(见图 8)表面非常耐磨。

测头端校正意味着测头端基准面与机床坐标系相一致, 并应符合制造商/供应商说明书规定。

刀具设置系统操作应严格按照制造商/供应商说明书规定。另外在刀具旋转状态下检测时, 应确保安全。



说明:

- 1——标准刀具;
- 2——圆柱形测头端;
- 3——菱形测头端;
- 机床运动。

图8 采用标准刀具的刀具设置系统标定实例

## 7.2 刀具设置系统标定

标定刀具设置系统一般用一个与切削刀具类似的标准检具(如直径与长度均经标定的立体圆柱)并在规定的内置程序自动运行。

- a) 探针触点有效尺寸;
- b) 探针触点相对于机床坐标系的点位。

尤其注意刀具设置系统触点与主轴基准面的实际距离,应符合制造商/供应商说明书规定。

为确定此距离,首先单独标定标准刀具的长度。这一操作对于保证刀具设置长度性能是必不可少的,或者用外部刀具设置设备或者借助线性位移测头直接测量(直接在机床上)主轴基准面与标准刀具最凸出部位之间距离,以Z轴位移显示数据为参考。

## 7.3 刀具设定重复性

### 7.3.1 总则

有些刀具设置系统只能在主轴停转的情况下测量刀具的长度。其他的能够在主轴转动的情况下测量刀具的长度和直径。

有些机床配有手动或自动系统,可移动刀具测头进入机床加工区域。机床检测时,每完成一次刀具测量,刀具测头应退出后,再进入机床加工区域。

刀具设置系统标定的典型应用通常是相对测量,因此,只进行重复性检测。

### 7.3.2 非旋转刀具长度设定重复性, $R_{SET-L,N}$ ( $R_{SETting, Length, Non-rotating}$ )

#### 7.3.2.1 总则

非旋转刀具长度设定通常用于钻头或直径小于探针直径的刀具,因此确保检测到最长的刀齿。

有些系统也允许对直径较大的非旋转刀具长度设定,借助主轴轴线定向功能,检测到最凸出切削长度。见制造商/供应商说明书。

#### 7.3.2.2 检测设置和步骤

主轴轴线置于传感器/测头上方,设计(有条件的话)出一定的偏置量,见图9。

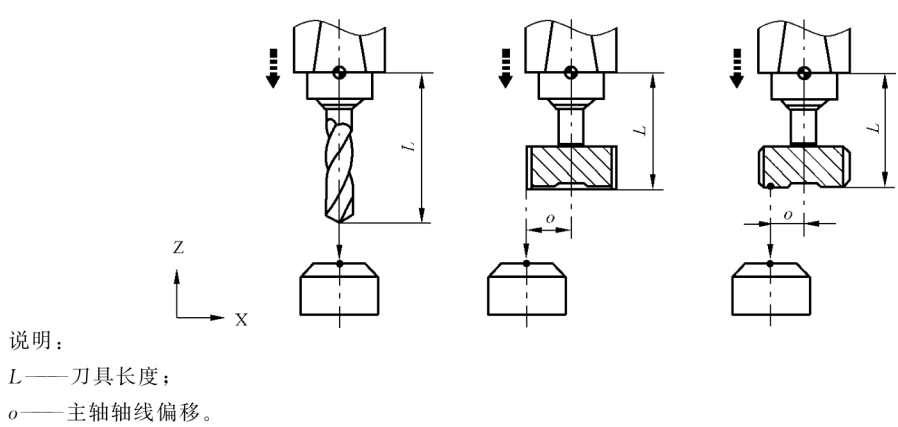


图 9 非旋转刀具长度设定重复性的测量

采用制造商/供应商提供的程序测量与记录刀具长度  $L$ ，共 10 次。主轴应不旋转。  
计算刀具长度设定重复性  $R_{SET,L,N}$ ，取测得的  $L$  值差值。

7.3.3 旋转刀具长度设定重复性,  $R_{SET,L,R}$  ( $R_{SETting, Length, Rotating}$ )

对于钻头及球头铣刀进行旋转刀具长度测定,其与测头/传感器接触的旋转刀具刀尖线速度非常小,对于其他类型的刀具,应严格按照制造商/供应商的说明书规定来限制转速和进给速度,见图 10。

刀具旋转方向应与正常切削旋转方向相反。

安全警示:旋转刀具测量涉及安全问题,应注意相关的安全标准。

采用制造商/供应商提供的程序测量与记录刀具长度  $L$ ，共 10 次。

计算刀具长度设定重复性,  $R_{SET,L,R}$  取测得的  $L$  值差值。

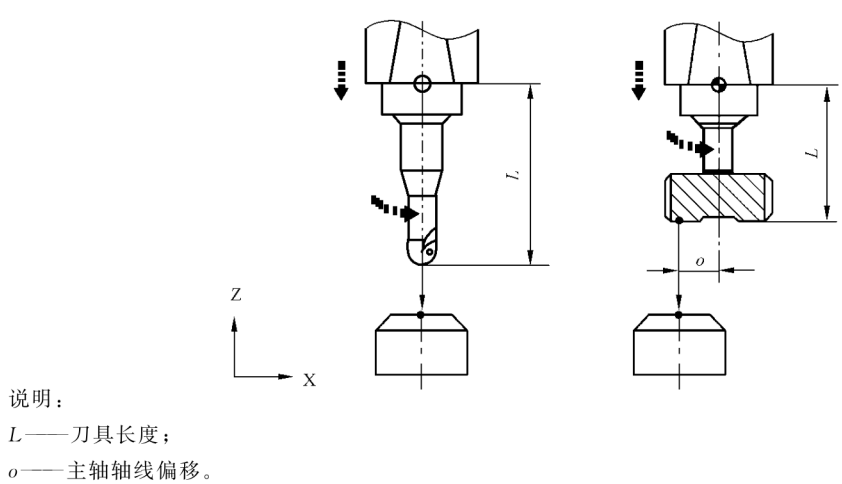
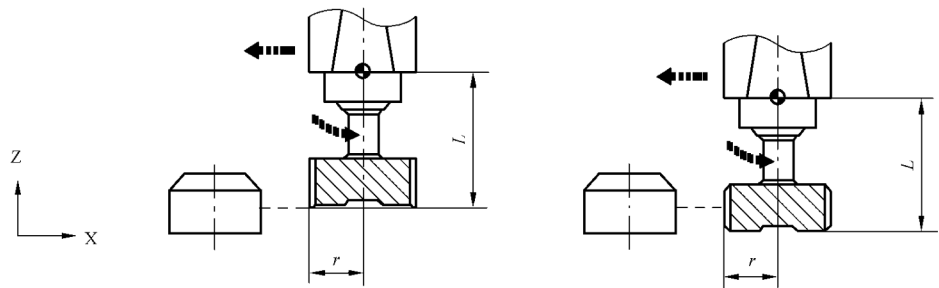


图 10 旋转刀具长度设定重复性测量

7.3.4 刀具直径设定重复性,  $R_{SET,D,R}$  ( $R_{SETting, Diameter, Rotating}$ )

刀具旋转方向应与正常切削旋转方向相反。测量应按制造商/供应商说明书规定进行,见图 11。

安全警示:旋转刀具测量涉及安全问题,应注意相关的安全标准。



说明：  
 $L$  —— 刀具长度；  
 $r$  —— 刀具半径。

图 11 旋转刀具直径设定重复性测量

有些刀具设定系统不能自动控制主轴转速及测量进给速度与刀具的半径和刀片数进行匹配。出于安全方面的考虑,下列要点应特别引起注意:

- a) 制造商/供应商应规定最大线速度;过大的线速度将降低测头/传感器的性能;
- b) 按 a)项,主轴转速与给定刀具半径应自动匹配(或规划)。
- c) 测量进给速度应自动匹配(或仔细选择),因为刀片的角位置相对于测头/传感器接触点,趋近距离和进给速度的不同步,将产生很大的测量不确定性。

对于给定的最大线速度  $S$ ,按公式(2)和公式(3)完成计算:

$$n = S / (2\pi \cdot r \cdot 0.001)$$
$$F = n \cdot \Delta$$

.....( 2 )

.....( 3 )

式中:

- $S$  —— 线速度,单位为米每分(m/min);
- $r$  —— 刀具半径,单位为毫米(mm);
- $n$  —— 计算的主轴转速,单位为转每分(r/min);
- $F$  —— 测量进给速度,单位为毫米每分(mm/min);
- $\Delta$  —— 最大评估测量误差,单位为毫米(mm)。

此公式涉及单刀片刀具。对于多刀片刀具应考虑最凸出的刀片首先接触测头/测头可能性最高;因此增加计算进给速度成正比的刀具数量,可能低估了最大预期的测量误差。

**示例:** 对于最高线速度 40 m/min,单刀片刀具半径 40 mm,最高主轴转速约 160 r/min 进行计算,最大评估测量误差 0.005 mm,进给速度应为 0.8 mm/min。

根据刀具类型应按制造商/供应商说明书规定,确定 Z 轴位置。  
采用制造商/供应商提供的程序,测量与记录刀具直径 10 次。  
计算刀具直径设定重复性, $R_{SET,D,R}$ 取测得值范围。

附 录 A  
(资料性附录)  
应用符号的说明

表 A.1 应用符号的说明

符号	说明	条款
$A$	探针触点漂移	6.3
$E_{\text{CIR},D}$	圆直径测量误差	6.10.3
$E_{\text{CIR},TD,F}$	圆形时间延迟变化误差	6.9.3
$E_{\text{CIR},TD,F,\text{MAX}}$	圆形时间延迟变化误差最大值	6.9.3
$E_{\text{CIR},TD,D}$	直径时间延迟变化误差	6.9.3
$E_{\text{CIR},TD,X}$	X 轴时间延迟变化误差	6.9.3
$E_{\text{CIR},TD,Y}$	Y 轴时间延迟变化误差	6.9.3
$E_{\text{CML},X}$	X 轴加工与定位综合误差	6.8
$E_{\text{CML},Y}$	Y 轴加工与定位综合误差	6.8
$E_{\text{CML},Z}$	Z 轴加工与定位综合误差	6.8
$E_{\text{COR},X}$	X 轴顶点定位误差	6.7
$E_{\text{COR},Y}$	Y 轴顶点定位误差	6.7
$E_{\text{COR},Z}$	Z 轴顶点定位误差	6.7
$E_{\text{LIN},Y}$	工件坐标系在基准面的定位识别误差	6.7
$E_{\text{SC},2D,DIA}$	2D 扫描直径误差	B.6
$E_{\text{SC},2D,FORM}$	2D 扫描形状误差	B.6
$E_{\text{SC},2D,POS}$	2D 扫描位置再现性	B.6
$E_{\text{SC},3D,DIA}$	3D 扫描直径误差	B.5
$E_{\text{SC},3D,POS}$	3D 扫描位置再现性	B.5
$E_{\text{SC},3D,FORM}$	3D 扫描形状误差	B.5
$E_{\text{SPH},D}$	球直径测量误差	6.10.4
$E_{\text{SPH},TD,F}$	球形时间延迟变化误差	6.9.4
$E_{\text{SPH},TD,F,\text{MAX}}$	球形时间延迟变化误差最大值	6.9.4
$E_{\text{SPH},TD,D}$	直径时间延迟变化误差	6.9.4
$E_{\text{SPH},TD,X}$	X 轴时间延迟变化误差	6.9.4
$E_{\text{SPH},TD,Y}$	Y 轴时间延迟变化误差	6.9.4
$E_{\text{SPH},TD,Z}$	Z 轴时间延迟变化误差	6.9.4
$E_{\text{SPT},TD,X}$	X 轴单轴延迟变化误差	6.9.2
$E_{\text{SPT},TD,Y}$	Y 轴单轴延迟变化误差	6.9.2
$E_{\text{SPT},TD,Z}$	Z 轴单轴延迟变化误差	6.9.2

表 A.1 (续)

符号	说明	条款
$E_{PLA,Z}$	工件坐标系在基准面的识别误差	6.7
$E_{WEB,X}$	薄板沿 X 轴测量误差	6.10.2
$E_{WEB,Y}$	薄板沿 Y 轴测量误差	6.10.2
$P_{FTU}$	探测误差	3.3.3
$P_{FTU,2D}$	2D 探测误差	6.5
$P_{FTU,3D}$	3D 探测误差	6.6
$R_{CIR,D}$	圆直径测量重复性	6.10.3
$R_{CIR,X}$	圆心位置在 X 轴方向的重复性	6.2.3
$R_{CIR,Y}$	圆心位置在 Y 轴方向的重复性	6.2.3
$R_{CML,X}$	X 轴组合加工与定位重复性	6.8
$R_{CML,Y}$	Y 轴组合加工与定位重复性	6.8
$R_{CML,Z}$	Z 轴组合加工与定位重复性	6.8
$R_{PTL,X}$	探测刀具在 X 轴方向的定位重复性	6.4
$R_{PTL,Y}$	探测刀具在 Y 轴方向的定位重复性	6.4
$R_{PTL,Z}$	探测刀具在 Z 轴方向的定位重复性	6.4
$R_{SPH,X}$	球心位置在 X 轴方向的重复性	6.2.4
$R_{SPH,Y}$	球心位置在 Y 轴方向的重复性	6.2.4
$R_{SPH,Z}$	球心位置在 Z 轴方向的重复性	6.2.4
$R_{SET,L,N}$	非旋转刀具长度设定的重复性	7.3.2
$R_{SET,L,R}$	旋转刀具长度设定的重复性	7.3.3
$R_{SET,D,R}$	刀具直径设定的重复性	7.3.4
$R_{SPH,D}$	球直径测量的重复性	6.10.4
$R_{SPT,X}$	在 X 轴方向单点探测的重复性	6.2.2
$R_{SPT,Y}$	在 Y 轴方向单点探测的重复性	6.2.2
$R_{SPT,Z}$	在 Z 轴方向单点探测的重复性	6.2.2
$R_{WEB,X}$	在 X 轴方向薄板测量的重复性	6.10.2
$R_{WEB,Y}$	在 Y 轴方向薄板测量的重复性	6.10.2
$T_{SC,2D}$	2D 扫描检测时间	B.6
$T_{SC,3D}$	3D 扫描检测时间	B.5



**附 录 B**  
(资料性附录)  
**扫描测头测量性能**

### B.1 引言

本附录提供了评估接触式探测系统的扫描性能的检测步骤,与数控机床集成在一起,并以预定路径扫描模式使用(见 3.4.9)。

本检验是本部分第 6 章和第 7 章规定的分散点检测的补充。接触式探测系统不支持分散点测量的不在本附录涵盖之内。

本部分的第 1 章至第 5 章适用于本附录。

检验过程目的不在于揭示造成误差的各种原因。而在于显示环境、机床、探测系统及探测软件对测量性能的综合影响。

本附录提到的检测适用于验收检测、复检,并在测头或机床磕碰后,或者以下任何探测条件发生变化时均应再定期进行检测:

- 测量中的进给速度;
- 测头系统(尤其测头系统长度);
- 检定中的进给速度;
- 测量中的探测系统的方位角(例如:测头的垂直或水平方位角);
- 测头;
- 标定偏转;
- 测量范围。

### B.2 术语和定义

本部分 3.4 给出的术语和定义适用于本附录。

### B.3 注意事项

在机床上的连续扫描系统测量误差源与那些在坐标测量机时的不同。主要区别如下:

- 机床通常在扫描时不控制测头偏转,这意味着在机床上工件的位置不确定性很可能影响测量的不确定性。
- 机床设计目的在于切削而不是测量。在检定和后续的测量所记录的机床位置误差通常在内部和外部特征不同,造成测量精度之间的差异,如孔和凸台。

采用进给速度和探测系统规定,或制造商/供应商与用户协商的测量范围完成下列检测。

本附录提到的检测对测头系统配置敏感,尤其是测头长度和探针触点直径。对于验收检验,测头配置应经制造商/供应商与用户协商认可。对于验收检验,只要新的测头配置启用,检测就应进行。

对于采用实时反馈以调整测量路径来控制测头偏转的探测系统,适用范围受限,但对于 GB/T 16857.4 规定的较短路径测量还可实际应用。对于这类系统,如制造商/供应商与用户达成一致,3D 性能扫描检测(见 B.5)可以被 GB/T 16857.4 规定的检测替代。尽管这样仍建议做 2D 性能扫描检测(见 B.6)。

注: 3D 性能扫描检测包含了 GB/T 16857.4 要求的测量。如要求的话,可以分析 3D 性能扫描检测数据,按

GB/T 16857.4要求评定。

3D 性能扫描检测一般在外表面进行,而 2D 性能扫描检测一般在内表面进行。扫描系统安装在机床上,扫描内表面和外表面产生较大的不确定性差异时,两项检测可以互为补充。推荐两项检测都进行。

如有可能测头应为可交换型,检定后和每次检测之间,工具交换分度盘至少转一个分度位。

#### B.4 滤出系数

当检测影响检测结果时,应经制造商/供应商与用户同意,进行滤出系数操作。在检测报告中予以说明。

**B.5 3D 性能扫描检测**,  $E_{SC,3D,POS}$ 、 $E_{SC,3D,DIA}$ 、 $E_{SC,3D,FORM}$ ,  $T_{SC,3D}$ 、( $Error_{SCanning,3D,POSITION}$ 、 $Error_{SCanning,3D,Diameter}$ 、 $Error_{SCanning,3D,FORM}$  和  $Time_{SCanning,3D}$ )

##### B.5.1 总则

检测目的在于确定当测量工具路径并不是准确对准检测球时,探测系统测量检测球的能力。检测适用于具有连续扫描模式的探测系统,在线测量模拟工件位置偏差。

在检测时,测头能在完全 3D 测量范围内操作运行。检测不包括温度变化对位置不确定性的影响。接触扫描系统的使用者应考虑在测量范围内,温度变化对测量结果的影响。

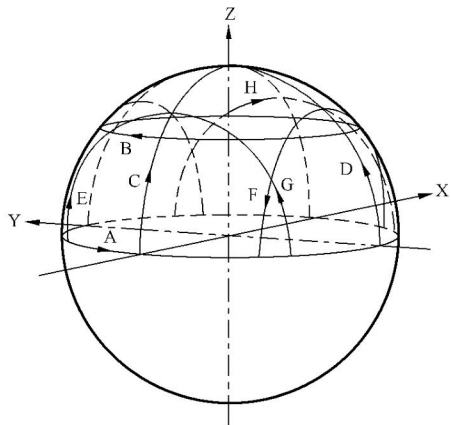
在三轴机床上进行检测,包括机床能在 XY、YZ 和 ZX 面进行插补。检测假设测头的 Z 轴与机床的 Z 轴已经校准,这样适用范围更大。

记录检测时间相当于显示出系统速度,它有可能影响精度。

##### B.5.2 球测量过程

见图 B.1。步骤如下:

- 坐标系原点设在球中心,并与测头的 X 轴、Y 轴和 Z 轴校准。球的顶点坐标是  $X=0$ 、 $Y=0$ 、 $Z=r$ (球的半径);
- 图中的箭头显示沿目标进行扫描路径实际扫描方向。  
沿目标路径进行扫描的进给速度与方向应按照制造商/供应商的推荐。



说明：

A ——在 XY 平面上最大圆目标扫描线 A(逆时针方向)；

B ——平行于 XY 平面,在最大圆上方 8 mm 的目标扫描线 B(顺时针方向)(球直径 25 mm)；

C、D ——分别在 ZX 平面和 ZY 平面的目标扫描线 C(逆时针方向)和目标扫描线 D(顺时针方向),均通过顶点；

E、F ——平行于 ZX 平面,分别在  $Y=+8\text{ mm}$  和  $Y=-8\text{ mm}$  的目标扫描线 E(逆时针方向)和目标扫描线 F(顺时针方向)；

G、H ——平行于 ZY 平面,分别在  $X=-8\text{ mm}$  和  $X=+8\text{ mm}$  的目标扫描线 G(顺时针方向)和目标扫描线 H(逆时针方向)。

图 B.1 目标扫描线和 3D 性能扫描检测要求的扫描方向

B.5.3 检测设置和步骤

- 步骤如下：
- a) 在机床测量范围内,工件通常放置的位置处,将一个形状和大小均校准的直径约 25 mm 的检测球放置于适当的位置。
  - b) 在规定的测量范围,用户可以任意选择检测球安装位置。但不要将检测球放置在用于探测系统标定的地方。
  - c) 在探测系统标定前探针触点和基准/检测球应清洗干净,确保不会留有影响测量或检验结果的残余污物。
  - d) 确保探测系统按制造商/供应商使用说明书进行标定。
  - e) 通过测量 5 个或更多个分散点确定检测球的中心坐标。确立工件坐标系的原点在检测球的测量中心。
  - f) 采用 B5.2 规定的球测量程序扫描球。按表 B.1 中的值设定球的标定位置,应扫描球 10 次。
  - g) 记录检测  $T_{SC,3D}$  所需时间,从第一次测量的第一步扫描开始(在中间点)至最后一次测量的最后一步扫描结束(在中间点)算起。
- 注：在检测过程中检测球本身不动;球测量时生成的扫描路径线是假设检测球位于规定的标定位置。

表 B.1 3D 性能扫描检测 X 轴、Y 轴和 Z 轴漂移 单位为毫米

测量次数	相对于基准位置标定的中心位置		
	X	Y	Z
1	0	0	0
2	0	$R_{xy}$	0

表 B.1 (续)

单位为毫米

测量次数	相对于基准位置标定的中心位置		
	X	Y	Z
3	$R_{XY}$	0	0
4	$-R_{XY}$	0	0
5	0	$-R_{XY}$	0
6	0	0	$-R_{ZPOS}$
7	0	0	$-R_{ZNEG}$
8	$R \times 0.683$	$R \times 0.183$	$R \times 0.707$
9	$R \times (-0.500)$	$R \times 0.500$	$R \times 0.707$
10	$R \times (-0.183)$	$R \times (-0.683)$	$R \times 0.707$
$R_{XY}$ 是制造商/供应商规定的 XY 平面扫描测量范围。 $R_{ZPOS}$ 和 $R_{ZNEG}$ 是制造商/供应商规定的 Z 轴测量范围(分别是正和负部分情况)。 $R$ 是 $R_{XY}$ 、 $R_{ZPOS}$ 和 $R_{ZNEG}$ 中最小者。			

## B.5.4 结果分析

在经制造商/供应商与用户同意情况下 3D 性能扫描检测可以使用滤出系数。如使用滤出系数应在检测报告中予以说明(见 B.4)。

对于每一个球测量,过程如下:

- 用全部 8 次扫描端点中心点用高斯(最小二乘法)计算球(相关特征)的中心位置和直径。记录这些值作为中心坐标  $X_{SC,3D}$ 、 $Y_{SC,3D}$ 、 $Z_{SC,3D}$  和球的直径  $D_{SC,3D}$ 。
- 对于每一个扫描测量点,计算到球心坐标的半径距离  $r$ [按照项 a)]。
- 计算扫描探测误差  $F_{SC,3D}$ ,为计算的半径距离  $r$  的极差。

用上述数据,处理如下:

- a) 计算 3D 扫描位置再现性  $E_{SC,3D,POS}$ ,为从测量点 1 记录的球心位置开始在测量点 2 至测量点 10 所有记录的球心位置  $X_{SC,3D}$ 、 $Y_{SC,3D}$ 、 $Z_{SC,3D}$  的最大距离。
- b) 计算 3D 扫描直径误差  $E_{SC,3D,DIA}$ ,为从探针触点直径与校准过的球直径之和,任何 10 次  $D_{SC,3D}$  测量的最大偏差。如扫描系统能提供探针触点直径的检定数据,这个数据可作为参考使用,否则应使用探针触点公称直径。
- c) 计算 3D 扫描形状误差  $E_{SC,3D,FORM}$  为任何 10 次  $F_{SC,3D}$  形状值的最大值。  
注:在 3D 扫描形状误差  $E_{SC,3D,FORM}$  包括检测球的形状误差。
- d) 记录 3D 扫描时间  $T_{SC,3D}$ 。

## B.6 2D 性能扫描检测, $E_{SC,2D,POS}$ 、 $E_{SC,2D,DIA}$ 、 $E_{SC,2D,FORM}$ 、 $T_{SC,2D}$ ( $Error_{SCanning,2D,POSITION}$ 、 $Error_{SCanning,2D,DIAMETER}$ 、 $Error_{SCanning,2D,FORM}$ 和 $Time_{SC,2D}$ )

## B.6.1 总则

本检测目的在于确定当测量工具路径并不是准确对准外廓时探测系统计算基准环的直径,位置和形状的能力。本检测适用于那些能测量基准环,并在线测量时模拟工件位置偏差的探测系统。

在检测中,测头运行在其全部 2D 测量范围内。

**B.6.2 基准环测量过程**

扫描基准环应采用顺时针方向和逆时针方向圆交替测量的方式,例如,第一次扫描按顺时针方向,第二次扫描按逆时针方向,第三次扫描按顺时针方向等。

沿目标路径进行扫描的进给速度与方向,应按制造商/供应商的规定。

**B.6.3 检测设置和步骤**

步骤如下:

- a) 选定一个基准环,其形状和大小均校准,孔径约 30 mm 与机床坐标系对准,使圆环孔轴线平行于机床的 Z 轴。
- b) 在规定的测量范围用户可以任意选择基准环安装位置。但不要将基准环放置在用于探测系统标定的位置。
- c) 在探测系统标定前探针触点,基准球和基准环应清洗干净,确保不会留有影响测量或检验结果的残余污物。
- d) 确保探测系统按制造商/供应商使用说明书进行标定。
- e) 通过测量 4 个或更多个分散点确定基准环的中心坐标。确立工件坐标系的原点在基准环的测量中心。
- f) 采用表 B.2 设定目标的标定位置,采用连续扫描方式,测量基准环 9 次。
- g) 对每一次测量,用扫描系统内置的数据分析圆测量,记录中心坐标  $X_{SC,2D}$ 、 $Y_{SC,2D}$ 、直径  $D_{SC,2D}$  和它的形状  $F_{SC,2D}$ 。
- h) 记录检测  $T_{SC,2D}$  所需时间,从第一次测量的第一步扫描开始(在中间点)至最后一次测量的最后一步扫描结束(在中间点)算起。

**表 B.2 2D 性能扫描检测 X 轴、Y 轴和 Z 轴漂移** 单位为毫米

测量次数	相对于基准位置标定的中心位置		
	X	Y	Z
1	0,000	0,000	0
2	$R_{XY} \times 0,000$	$R_{XY} \times 1,000$	0
3	$R_{XY} \times 0,707$	$R_{XY} \times 0,707$	0
4	$R_{XY} \times 1,000$	$R_{XY} \times 0,000$	0
5	$R_{XY} \times 0,707$	$R_{XY} \times (-0,707)$	0
6	$R_{XY} \times 0,000$	$R_{XY} \times (-1,000)$	0
7	$R_{XY} \times (-0,707)$	$R_{XY} \times (-0,707)$	0
8	$R_{XY} \times (-1,000)$	$R_{XY} \times 0,000$	0
9	$R_{XY} \times (-0,707)$	$R_{XY} \times 0,707$	0
$R_{XY}$ 是制造商/供应商规定的 XY 平面扫描测量范围。			

注: 在检测过程中基准环本身不动;基准环测量时生成的扫描路径线是假设基准环外廓位于规定的标定位置。

**B.6.4 结果分析**

步骤如下:

- a) 计算 2D 扫描位置再现性  $E_{SC,2D,POS}$ , 为从测量点 1 记录的基准环中心位置开始在测量点 2 至测量点 9 所有记录的中心位置的最大距离;
- b) 计算 2D 扫描直径误差  $E_{SC,2D,DIA}$ , 为与校准过的基准环直径任何 9 次测量的最大偏差;
- c) 计算 2D 扫描形状误差  $E_{SC,2D,FORM}$  为任何 9 次  $F_{SC,2D}$  形状值的最大值;  
注: 在 2D 扫描形状误差  $E_{SC,2D,FORM}$  包括基准环的形状误差。
- d) 记录 2D 扫描时间  $T_{SC,2D}$ 。

## 参 考 文 献

- [1] 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(eqv ISO 10360-1:2000)
- [2] GB/T 16857.2 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:用于测量线性尺寸的坐标测量机(GB/T 16857.2—2017,ISO 10360-2:2009,IDT)
- [3] GB/T 16857.4 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 16857.4—2003,ISO 10360-4:2000,IDT)
- [4] ISO 1 Geometrical Product Specifications (GPS)—Standard reference temperature for geometrical product specification and verification
- [5] ISO 1101 Geometrical product specifications (GPS)—Geometrical tolerancing—Tolerances of form,orientation,location and run-out
- [6] ISO 10791-1 Test conditions for machining centres—Part 1:Geometric tests for machines with horizontal spindle (horizontal Z-axis)
- [7] ISO 14253-1 Geometrical product specifications (GPS)—Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment—Part 1: Decision rules for proving conformity or nonconformity with specifications
- [8] ISO 14253-2 Geometrical product specifications (GPS)—Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment—Part 2: Guidance for the estimation of uncertainty in GPS measurement,in calibration of measuring equipment and in product verification
- [9] ISO/TS 23165 Geometrical product specifications (GPS)—Guidelines for the evaluation of coordinate measuring machine (CMM) test uncertainty
- [10] ASME B89.4.1—1997 Methods for performance evaluation of Coordinate Measuring Machines
- [11] ASME B89.7.3.1—2001 Guidelines for decision rules—Considering measurement uncertainty indetermining conformance to specifications
- [12] ASME B5.54—2005 Methods for Performance evaluation of Computer Numerically Controlled Machining Centers
- [13] VDI/VDE 2617-1 Accuracy of Coordinate Measuring Machines—Characteristics and their Checking—Generalities
- [14] VDI/VDE 2617-3 Accuracy of Coordinate Measuring Machines—Characteristics and their Checking—Characteristic Parameters and their Checking—Components of Measurement Deviation on the Machine
- [15] ISO/TR 230-9 Test code for machine tools—Part 9: Estimation of measurement uncertainty for machine tool tests according to series ISO 230,basic equations

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
机床检验通则 第 10 部分:数控机床  
探测系统测量性能的测定

GB/T 17421.10—2021/ISO 230-10:2016

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)  
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www.spc.org.cn

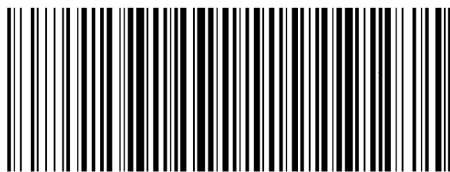
服务热线:400-168-0010

2021 年 3 月第一版

\*

书号:155066·1-67120

版权专有 侵权必究



GB/T 17421.10-2021



码上扫一扫 正版服务到