

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 17421.2—2016/ISO 230-2:2006  
代替 GB/T 17421.2—2000

---

## 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 positioning numerically controlled axes

(ISO 230-2:2006, IDT)

2016-04-25 发布

2016-11-01 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	Ⅲ
引言 .....	V
1 范围 .....	1
2 定义与符号 .....	1
3 检验条件 .....	4
4 检验程序 .....	5
5 结果的评定 .....	7
6 供方/制造厂和用户之间的协商要点 .....	7
7 结果的表达 .....	7
附录 A (资料性附录) 线性定位测量的测量不确定度估算——简易方法 .....	13
附录 B (资料性附录) 阶梯循环 .....	25
参考文献 .....	26

## 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：发射噪声的确定；
- 第 6 部分：体和面对角线定位精度的测定(对角线位移检验)；
- 第 7 部分：回转轴线几何精度；
- 第 8 部分：振动；
- 第 9 部分：ISO230 机床检验系列标准的不确定度估算的基本方程(技术报告)；
- 第 10 部分：数控机床测量性能的确定；
- 第 11 部分：机床几何精度检验用测量仪器(技术报告)。

本部分为 GB/T 17421 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 17421.2—2000《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》。

本部分与 GB/T 17421.2—2000 相比，主要技术变化如下：

- 修改了“范围”，将不确定度等内容纳入进来(见第 1 章，2000 年版第 1 章)；
- 2.1、2.3、2.6 增加了“注”(见 2.1、2.3、2.6，2000 年版 2.1、2.3、2.6)；
- 2.15 中的“单向标准确定度”改为“单向轴线重复定位精度”(见 2.15，2000 年版 2.15)；
- 原 2.18 内容拆分为 2.18 和 2.19(见 2.18 和 2.19，2000 年版 2.18)；
- 原 2.21、2.22、2.23，改为 2.22、2.23、2.24(见 2.22、2.23、2.24，2000 年版 2.21、2.22、2.23)；
- 3.1 第 3 段中增加了“同样需要对相关热膨胀系数进行精确的数学修正。如果被测量机床和检测设备的代表性部位的温度和热膨胀系数值相同的话，则名义差胀修正同样会自动完成”(见 3.1，2000 年版 3.1)；
- 3.3 第 2 段中增加了“升温运转可以采取精度检验“预试车”的方式(不采集数据)或在检验前的运动限于调整仪器的需要。在检验报告中要注明所选择的升温运转的方式”；取消了“则在检验前的运动只限于调整测量仪器的需要”(见 3.3，2000 年版 3.3)；
- 4.2 公式中“ $r$ ”说明进行了修改(见 4.2，2000 年版 4.2)；
- 4.3.1 中“检验单上应说明机床部件上温度传感器的位置和补偿程序的类型”改为“如果进行精确的名义差胀(NDE)修正，检验单上应说明机床部件上温度传感器的位置、对名义差胀(NDE)修正的热膨胀系数以及补偿程序的类型”(见 4.3.1，2000 年版 4.3.1)；
- 4.3.2 中的“注”内容改为“正文”内容(见 4.3.2，2000 年版 4.3.2)；
- 4.3.4 中增加“每个目标位置在每个方向上应测量 5 次”(见 4.3.4，2000 年版 4.3.4)；
- 4.3.5 中“间隔不超过 45°”改为“每转最少 8 个”(见 4.3.5，2000 年版 4.3.5)；
- 5.2 中增加“线性轴线行程超过 2 000 mm 或回转轴线行程超过 360°时，应该按供方/制造厂与用户达成的协议提供 5.1 结果的计算方法”内容(见 5.2，2000 年版 5.2)；
- 7.1 中增加了“如果进行精确的名义差胀(NDE)修正”“对名义差胀(NDE)修正的热膨胀系数”

“对于回转轴线而言,轴线名义方位(位置和方向)的描述”“用于估算测量不确定度的促成因素和参数”;“机床部件上温度传感器的位置及补偿程序的类型”改为“在机床部件和检验设备上对名义差胀(NDE)修正的温度传感器的安装位置”和“补偿程序的类型(例如更新补偿参数的频率)”,“在检验开始和结束时,把温度传感器放在机床有代表性的检测元件和工件的相关件上测量”改为“在检验开始和结束时,分别安装在机床部件(机床检测元件或机床工件/刀具夹持部件)上和检验设备上的、对名义差胀(NDE)修正的传感器的温度”(见 7.1,2000 年版 7.1);

——增加了 7.2.1;

——修改表 2,指标中增加不确定度数值(见表 2,2000 年版表 2);

——增加了附录“线性定位测量的测量不确定度估算——简易方法”(见附录 A);

——原版“附录 A”改为“附录 B”(见附录 B,2000 年版附录 A)。

本部分等同采用 ISO 230-2:2006《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》(英文版)。

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。

本部分主要起草单位:北京机床研究所、国家机床质量监督检验中心、四川长征机床集团有限公司、北京北一机床股份有限公司、北京第二机床厂有限公司、沈阳机床(集团)有限责任公司、上海机床厂有限公司、武汉重型机床集团有限公司、宁夏新瑞长城机床有限公司。

本部分主要起草人:李祥文、张维、王晓慧、胡瑞琳、张秀兰、王兴海、张家贵、伍竞平、凌泽润、李书林、陈妍言。

本部分所替代标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 10931—1989;

——GB/T 17421.2—2000。

## 引 言

制定本标准的目的是为了对机床精度的检验方法(便携式动力工具除外)予以规范。

本部分规定了用于确定数控轴线的定位精度和重复定位精度的检验程序。检验的目的在于测量出夹持刀具的部件和夹持工件的部件之间的相对位移量。

由于需要规定测量结果的测量不确定度,因此在附录 A 中增加了关于估算测量不确定度的内容,其目的是确定定位精度和重复定位精度。

在增补这一内容后,相信检验人员能够更容易地识别出测量不确定度的有关促成因素,并且更有效地减少测量不确定性的影响。

为了使机床在规定精度下实现其性能,供方/制造厂应该提出适宜的温度环境的规定。用户有责任按供方/制造厂提出的有关规定,提供满足要求的检验环境,否则应承担机床性能降低的责任。ISO 230-3:—<sup>[1]</sup>附录 C 中给出了环境温度规定的示例。

如果不能满足供方/制造厂规定的温度条件,环境温度会造成不确定度过大或会使机床性能发生变化,则需要放宽精度的预期值。如果机床没有达到规定的性能要求,通过对机床温度补偿(见 A.2.4)产生的不确定度和由环境温度变化误差(见 A.2.5)产生的不确定度进行分析,能有助于查清问题的根源。

## 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

### 1 范围

GB/T 17421 的本部分规定了通过直接测量机床的单个轴线来检验和评定数控机床的定位精度和重复定位精度的方法。这种方法对线性轴线和回转轴线(直线运动和回转运动)同样适用。

本部分适用于机床的型式检验、验收检验、比较检验、定期检验。也可用于机床的补偿调整检验。

本部分不适用于需同时检验几个轴线的机床。

检验方法涉及每个位置上的重复测量。本部分给出了与检验有关的参数的定义和计算方法。ISO/TR 230-9:2005 的附录 C<sup>[2]</sup>中描述了不确定度的估算方法。

附录 A 提供了估算测量不确定度的方法。

附录 B 叙述了可供选择应用的阶梯循环。这一循环的结果既不用在与本部分有关的技术文献中,也不用于验收,除非供方/制造厂与机床用户之间签订有特殊的书面协议。出于机床验收目的考虑,使用本部分的标准检验循环始终是正确的选择。

### 2 定义与符号

下列定义和符号适用于本文件。

#### 2.1

**轴线行程 axis travel**

在数字控制下运动部件沿轴线移动的最大直线行程或绕轴线回转的最大行程。

注:当运动部件绕轴线回转超过 360°时,可能无法清晰地定义行程最大长度。

#### 2.2

**测量行程 measurement travel**

用于采集数据的部分轴线行程。选择测量行程时应保证可以双向趋近第一个和最后一个目标位置(见图 1)。

#### 2.3

**目标位置 target position**

$P_i (i=1\sim m)$

运动部件编程要达到的位置。

注:下标  $i$  表示沿轴线或绕轴线选择的目标位置中的特定位置。

#### 2.4

**实际位置 actual position**

$P_{ij} (i=1\sim m ; j=1\sim n)$

运动部件第  $j$  次向第  $i$  个目标位置趋近时实际测得的到达位置。

#### 2.5

**位置偏差 deviation of position; positional deviation**

$X_{ij}$

运动部件到达的实际位置减去目标位置之差。

$$X_{ij} = P_{ij} - P_i$$

2.6

**单向 unidirectional**

以相同的方向沿轴线或绕轴线趋近某一目标位置的一系列测量。

注：符号↑表示从正方向趋近所得的参数；符号↓表示从负方向趋近所得的参数。

如  $X_{ij} \uparrow$  或  $X_{ij} \downarrow$ 。

2.7

**双向 bidirectional**

从两个方向沿轴线或绕轴线趋近某一目标位置的一系列测量所测得的参数。

2.8

**扩展不确定度 expanded uncertainty**

定量地确定一个测量结果的区间，该区间期望包含大部分的数值分布。

2.9

**覆盖因子 coverage factor**

为获得扩展不确定度而用做综合标准不确定度倍率的一个数值因子。

2.10

**某一位置的单向平均位置偏差 mean unidirectional positional deviation at a position**

$\bar{X}_i \uparrow$  或  $\bar{X}_i \downarrow$

由  $n$  次单向趋近某一位置  $P_i$  所得的位置偏差的算术平均值。

$$\bar{X}_i \uparrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \uparrow \quad \text{和} \quad \bar{X}_i \downarrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \downarrow$$

2.11

**某一位置的双向平均位置偏差 mean bidirectional positional deviation at a position**

$\bar{X}_i$

从两个方向趋近某一位置  $P_i$  所得的单向平均位置偏差  $\bar{X}_i \uparrow$  和  $\bar{X}_i \downarrow$  的算术平均值。

$$\bar{X}_i = \frac{\bar{X}_i \uparrow + \bar{X}_i \downarrow}{2}$$

2.12

**某一位置的反向差值 reversal value at a position**

$B_i$

从两个方向趋近某一位置时两单向平均位置偏差之差。

$$B_i = \bar{X}_i \uparrow - \bar{X}_i \downarrow$$

2.13

**轴线反向差值 reversal value of an axis**

$B$

沿轴线或绕轴线的各目标位置的反向差值的绝对值  $|B_i|$  中的最大值。

$$B = \max[ |B_i| ]$$

2.14

**轴线平均反向差值 mean reversal value of an axis**

$\bar{B}$

沿轴线或绕轴线的各个目标位置反向差值  $B_i$  的算术平均值。

$$\bar{B} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m B_i$$

## 2.15

在某一位置的单向轴线重复定位精度的估算值 estimator for the unidirectional axis repeatability of positioning at a position

$S_i \uparrow$  或  $S_i \downarrow$

通过对某一位置  $P_i$  的  $n$  次单向趋近所获得的位置偏差标准不确定度的估算值。

$$S_i \uparrow = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{ij} \uparrow - \bar{x}_i \uparrow)^2} \text{ 和 } S_i \downarrow = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (X_{ij} \downarrow - \bar{x}_i \downarrow)^2}$$

## 2.16

某一位置的单向重复定位精度 unidirectional repeatability of positioning at a position

$R_i \uparrow$  或  $R_i \downarrow$

由某一位置  $P_i$  的单向轴线重复定位精度的估算值确定的范围,覆盖因子为 2。

$$R_i \uparrow = 4S_i \uparrow \text{ 和 } R_i \downarrow = 4S_i \downarrow$$

## 2.17

某一位置的双向重复定位精度 bidirectional repeatability of positioning at a position

$R_i$

$$R_i = \max[2S_i \uparrow + 2S_i \downarrow + |B_i|; R_i \uparrow; R_i \downarrow]$$

## 2.18

轴线单向重复定位精度 unidirectional repeatability of positioning

$R \uparrow$  或  $R \downarrow$

沿轴线或绕轴线的任一位置  $P_i$  的单向重复定位精度的最大值。

$$R \uparrow = \max[R_i \uparrow] \text{ 和 } R \downarrow = \max[R_i \downarrow]$$

## 2.19

轴线双向重复定位精度 bidirectional repeatability of positioning of an axis

$R$

沿轴线或绕轴线的任一位置  $P_i$  的重复定位精度的最大值。

$$R = \max[R_i]$$

## 2.20

轴线单向定位系统偏差 unidirectional systematic positional deviation of an axis

$E \uparrow$  或  $E \downarrow$

沿轴线或绕轴线的任一位置  $P_i$  上单向趋近的单向平均位置偏差  $\bar{X}_i \uparrow$  和  $\bar{X}_i \downarrow$  的最大值与最小值的代数差。

$$E \uparrow = \max[\bar{X}_i \uparrow] - \min[\bar{X}_i \uparrow] \text{ 和 } E \downarrow = \max[\bar{X}_i \downarrow] - \min[\bar{X}_i \downarrow]$$

## 2.21

轴线双向定位系统偏差 bidirectional systematic positional deviation of an axis

$E$

沿轴线或绕轴线的任一位置  $P_i$  上双向趋近的单向平均位置偏差  $\bar{X}_i \uparrow$  和  $\bar{X}_i \downarrow$  的最大值与最小值的代数差。

$$E = \max[\bar{X}_i \uparrow; \bar{X}_i \downarrow] - \min[\bar{X}_i \uparrow; \bar{X}_i \downarrow]$$

## 2.22

轴线双向平均定位系统偏差 mean bidirectional positional deviation of an axis

$M$

沿轴线或绕轴线的任一位置  $P_i$  的双向平均位置偏差  $\bar{X}_i$  的最大值与最小值的代数差。



$$M = \max[\bar{X}_i] - \min[\bar{X}_i]$$

## 2.23

**轴线单向定位精度 unidirectional accuracy of positioning of an axis**

$A \uparrow$  或  $A \downarrow$

由单向定位系统偏差和单向轴线重复定位精度估算值的 2 倍的组合来确定的范围。

$$A \uparrow = \max[\bar{X}_i \uparrow + 2S_i \uparrow] - \min[\bar{X}_i \uparrow - 2S_i \uparrow] \text{ 和}$$

$$A \downarrow = \max[\bar{X}_i \downarrow + 2S_i \downarrow] - \min[\bar{X}_i \downarrow - 2S_i \downarrow]$$

## 2.24

**轴线双向定位精度 bidirectional accuracy of positioning of an axis**

$A$

由双向定位系统偏差和双向轴线重复定位精度估算值的 2 倍的组合来确定的范围。

$$A = \max[\bar{X}_i \uparrow - 2S_i \uparrow; \bar{X}_i \downarrow + 2S_i \downarrow] - \min[\bar{X}_i \uparrow - 2S_i \uparrow; \bar{X}_i \downarrow - 2S_i \downarrow]$$

## 3 检验条件

## 3.1 环境

为了使验收的机床达到规定的精度要求,建议供方/制造厂提出适宜的温度环境的规定。

规定中,一般应包括平均室温、平均温度偏差的最大幅度和频率范围以及环境温度梯度等。由用户负责在安装现场提供机床操作和性能试验的适宜温度环境。当用户遵守供方/制造厂所提出的规定,则供方/制造厂应对所检测的机床性能负责。

最为理想是使测量仪器和被检对象处于 20 °C 的环境下进行检测。如不在 20 °C 下检测,则必须修正轴线定位系统或机床工件/刀具夹持部件和检测设备间的名义差胀(NDE),以获得修正到 20 °C 的检测结果。在这种情况下,需要测量机床和检测设备的代表性部位的温度。同样需要对相关热膨胀系数进行精确的数学修正。如果被测量机床和检测设备的代表性部位的温度和热膨胀系数值相同的话,则名义差胀(NDE)修正同样会自动完成。

应该注意,任何与 20 °C 的温差均可对有效膨胀系数下的不确定度产生一个附加不确定度,而有效膨胀系数是供补偿用的。所产生的不确定度的典型最小范围值为 2  $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ (见附录 A 和附录 C)。因此在检验报告中应记录实际的温度。

机床和检具应在检测环境中放置足够长的时间(最好过夜)以确保在检验前达到热稳定状态。应避免气流和外部辐射,如阳光、高置加热器等。

在检验前 12 h 和检验过程中以  $^\circ\text{C}/\text{h}$  为单位的环境温度变化率应在制造厂和用户协议规定的范围内。

## 3.2 被检机床

被检机床应完成装配并经充分运转。在开始检验定位精度和重复定位精度之前,机床的调平、几何精度和功能检验都应完全符合要求。

检验期间若使用机内补偿程序,应记录在检验报告中。

所有的检验均应在机床无负载,即无工件的条件下进行。

非检验轴线上的滑板或运动部件的位置应在检验单上标明。

## 3.3 温升

为了在正常工作条件下检验机床,检验前应按供方/制造厂的规定或供方/制造厂与用户的协议进

行适当的升温。

如果未规定条件,升温运转可以采取精度检验“预试车”的方式(不采集数据)或在检验前的运动限于调整仪器的需要。在检验报告中要注明所选择的升温运转的方式。

连续地趋近任一特定的目标位置时,若偏差成一有序序列,应考虑到热状态尚不稳定,则应通过升温运转使这些趋势减至最低限度。

## 4 检验程序

### 4.1 操作方法

按机床编制程序使运动部件沿着或围绕轴线运动到一系列的目标位置,并在各目标位置停留足够的时间,以便测量和记录实际位置。机床应按程序以同一的进给速度在目标位置间移动。

### 4.2 目标位置的选择

每个目标位置的数值可自由选择,一般应按下式:

$$P_i = (i-1)P + r$$

式中:

$i$  ——现行目标位置的序号;

$P$  ——目标位置的间距,使测量行程内的目标位置之间有均匀的间距;

$r$  ——周期误差振幅(例如滚珠丝杠导程以及直线或回转感应器的节距所引起的误差)±梯度(变化率)范围内的随机数,以保证周期误差被充分地采样。如果没有提供周期误差的信息,则  $r$  在目标位置间距( $P$ )±30%的范围内。

### 4.3 测量

#### 4.3.1 装置和仪器

测量装置用于测量轴线运动方向上夹持刀具的部件和夹持工件的部件间产生的相对位移。

检验单应记录测量仪器的位置。

如果进行精确的名义差胀(NDE)修正,检验单上应说明机床部件上温度传感器的位置、对名义差胀(NDE)修正的热膨胀系数以及补偿程序的类型。

#### 4.3.2 行程至 2 000 mm 的线性轴线的检验

在行程至 2 000 mm 的线性轴线上,应按 4.2 的规定每米至少选择 5 个目标位置,并且在全程上至少也应有 5 个目标位置。特殊情况(如重型机床)按附录 B。

应按标准检验循环(见图 1)在所有目标位置上进行测量。每个目标位置在每个方向上应测量 5 次。

选择改变方向的位置时应考虑机床的正常运行(达到规定的进给速度)。

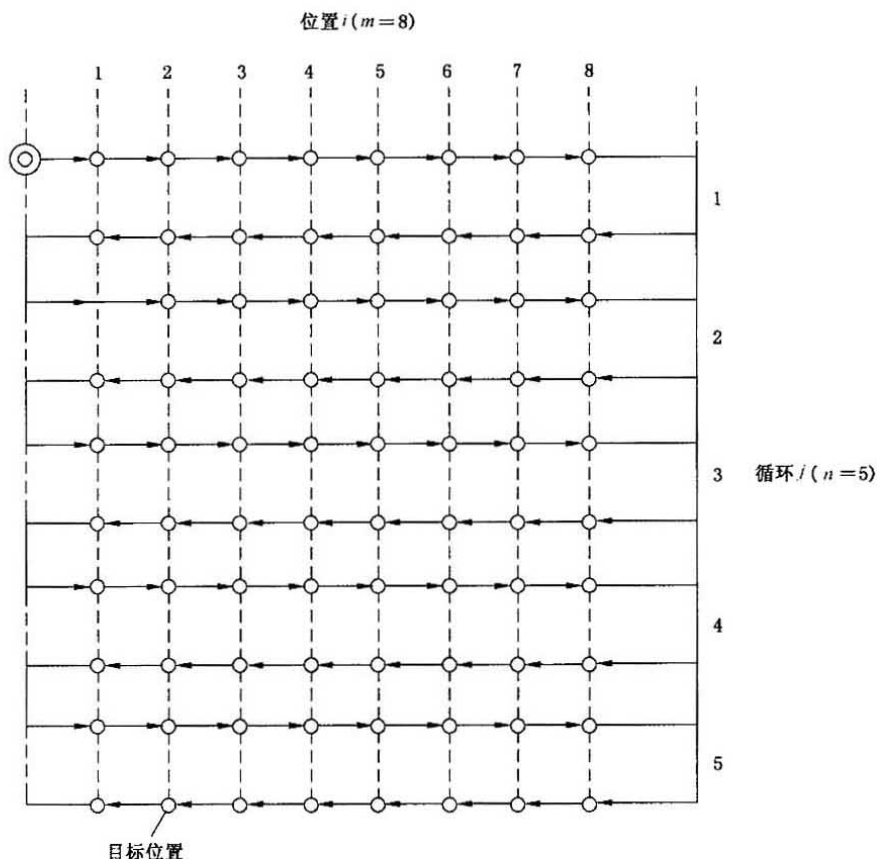


图 1 标准检验循环

#### 4.3.3 行程超过 2 000 mm 的线性轴线的检验

轴线行程超过 2 000 mm 时,可通过在每个方向对目标位置进行一次单向趋近对整个轴线测量行程进行检验,按 4.2 的规定选择目标位置,平均间隔长度  $P$  取 250 mm。在测量传感器是由几个元件构成的情况下,必须选择附加的目标位置来确保每个元件至少有一个目标位置。

当供方/制造厂和用户商定在正常工作范围的某一 2 000 mm 长度内检测时,应按 4.3.2 的规定进行。

#### 4.3.4 行程至 360° 的回转轴线的检验

检验应在表 1 给定的目标位置进行。应按 4.2 的规定确定目标位置,主要位置 0°、90°、180° 和 270° 应包括在内。每个目标位置在每个方向上应测量 5 次。

表 1 回转轴线的目标位置

测量行程	最少目标位置数
$\leq 90^\circ$	3
$> 90^\circ$ 且 $\leq 180^\circ$	5
$> 180^\circ$	8

#### 4.3.5 行程超过 360°的回转轴线的检验

回转轴线行程超过 360°至 1 800°(5r)时,在总测量行程上,可通过在每个方向对每转最少 8 个目标位置进行一次单向趋近检验。

当供方/制造厂和用户商定在正常工作范围的某一 360°角度内检测时,应按 4.3.4 的规定进行。

### 5 结果的评定

#### 5.1 行程至 2 000 mm 的线性轴线和行程至 360°的回转轴线

对每个目标位置  $P_i$  在每一方向上做 5 次趋近( $n=5$ ),要计算第 2 章中定义的参数。还要计算极限偏差:

$$\begin{aligned} & \bar{X}_i \uparrow + 2S_i \uparrow \text{ 和 } \bar{X}_i \uparrow - 2S_i \uparrow \text{ 和} \\ & \bar{X}_i \downarrow + 2S_i \downarrow \text{ 和 } \bar{X}_i \downarrow - 2S_i \downarrow \end{aligned}$$

#### 5.2 行程超过 2 000 mm 的线性轴线和行程超过 360°的回转轴线

对每一目标位置在每个方向上做 1 次趋近( $n=1$ ),要计算第 2 章中定义的适当参数。但对轴线单向重复定位精度估算值(2.15)、重复定位精度(2.16、2.17、2.18 和 2.19)以及定位精度(2.23 和 2.24)均不适用。线性轴线行程超过 2 000 mm 或回转轴线行程超过 360°时,应该按供方/制造厂与用户达成的协议提供 5.1 结果的计算方法。

### 6 供方/制造厂和用户之间的协商要点

供方/制造厂和用户之间的协商要点如下:

- a) 检验前 12 h 和检验期间每小时环境温度的最大变化率(见 3.1);
- b) 测量仪器的位置和温度传感器的位置(见 4.3.1);
- c) 机床检验前的升温操作(见 3.3);
- d) 目标位置间的进给速度;
- e) 如需要,应明确用于正常工作范围的 2 000 mm 或 360°测量行程的位置(见 4.3.3 或 4.3.5);
- f) 不在检验范围内的滑板和移动部件的位置;
- g) 在每个目标位置的停留时间;
- h) 确定第 1 个和最后 1 个目标位置。

### 7 结果的表达

#### 7.1 表达方法

为了与测量方案相一致,结果表示的优先方法是采用图解法,并将下述项目附在检验报告上:

——测量仪器的位置;

——如果进行精确的名义差胀(NDE)修正:

——对名义差胀(NDE)修正的热膨胀系数;

——在机床部件和检验设备上对名义差胀(NDE)修正的温度传感器的安装位置;

——在检验开始和结束时,分别安装在机床部件(机床检测元件或机床工件/刀具夹持部件)上和检验设备上的、对名义差胀(NDE)修正的传感器的温度;

- 补偿程序的类型(例如更新补偿参数的频率);
- 检验日期;
- 机床名称、型号、型式(水平主轴或垂直主轴)和坐标轴行程;
- 使用的检验设备清单,包括供方/制造厂的名称、元件的型号和编号(如激光头、光学件、温度传感器等);
- 由机床供方/制造厂提供的、用于轴线定位的检测元件类型及其(对名义)热膨胀系数(例如滚珠丝杠/回转分解器系统、直线感应器系统);
- 在检轴线名称:
  - 对于线性轴线而言,其测量线相对于非在检轴线的位置(该位置通过刀具基准、工件基准的偏置及非在检轴线的位置来确定,上述两项偏置根据机床不同结构确定);
  - 对于回转轴线而言,轴线名义方位(位置和方向)的描述;
- 在每一目标位置的进给速度和停留时间,名义目标位置的列表;
- 机床检验前的升温(循环次数或空运转时间和进给率);
- 如有必要,标出检验开始和结束时激光光束附近的气温、气压和湿度;
- 检验循环中是否应用了内部补偿程序;
- 当应用时,使用油冷或气冷;
- 循环次数( $n=5$  或  $n=1$ );
- 用于估算测量不确定度的促成因素和参数。

## 7.2 参数

### 7.2.1 总则

以下参数均以数字给定,选取带(\*)参数的检验结果可为机床验收提供依据。对表2中所给的结果,图2和图3作了图示。

应该在给出每个参数的同时给出覆盖因子为2,即 $U(k=2)$ 的测量不确定度 $U$ 。对于测量不确定度 $U$ 至少要提供:

- 由测量装置产生的不确定度的参数;
- 由机床温度补偿产生的不确定度的参数;
- 由环境温度变化误差产生的不确定度的参数;
- 由测量装置移位产生的不确定度的参数(如果有必要)。

注:对于线性轴线而言,附录A叙述了估算测量不确定度的简易方法,其中还包括了举例。更详细的信息和公式参见ISO/TR 230-9:2005的附录C。

### 7.2.2 行程至2 000 mm的线性轴线和行程至360°的回转轴线的检验

——轴线双向定位精度 <sup>*)</sup>	$A$
——轴线单向定位精度 <sup>*)</sup>	$A \uparrow$ 和 $A \downarrow$
——轴线双向定位系统位置偏差 <sup>*)</sup>	$E$
——轴线单向定位系统位置偏差	$E \uparrow$ 和 $E \downarrow$
——轴线双向平均位置偏差的范围 <sup>*)</sup>	$M$
——轴线双向重复定位精度	$R$
——轴线单向重复定位精度 <sup>*)</sup>	$R \uparrow$ 和 $R \downarrow$
——轴线反向差值 <sup>*)</sup>	$B$
——轴线的平均反向差值	$\overline{B}$

表 2 典型检验结果(轴线长度至 2 000 mm 的检验)

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
目标位置 $P_i/\text{mm}$	6.711	175.077	353.834	525.668	704.175	881.868	1055.890	1234.304	1408.462	1580.269	1750.920	
趋近方向	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	
$j=1$	2.3	-1.2	3.6	-0.5	3.5	0.2	3.0	-0.6	1.7	-1.9	0.4	
2	2.1	-1.7	3.5	-0.9	3.3	-0.6	2.7	-1.2	1.5	-2.3	0.2	
3	1.9	-1.9	3.1	-1.1	3.0	-0.7	2.4	-1.3	1.0	-2.9	-0.2	
4	2.8	-1.3	3.7	-0.2	3.8	0.1	3.2	-0.3	1.9	-1.4	0.9	
5	2.2	-1.9	3.2	-0.8	3.5	-0.7	2.6	-1.3	1.1	-2.3	-0.1	
单向平均位置偏差 $\bar{X}_i/\mu\text{m}$	2.3	-1.6	3.4	-0.7	3.4	-0.3	2.8	-0.9	1.4	-2.2	0.2	
标准不确定度 $S_i/\mu\text{m}$	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.5	0.3	0.5	0.4	0.6	0.4	
$2S_i$ ( $\mu\text{m}$ )	0.7	0.7	0.5	0.7	0.6	0.9	0.6	0.9	0.8	1.1	0.9	
$\bar{X}_i - 2S_i$ ( $\mu\text{m}$ )	1.6	-2.3	2.9	-1.4	2.8	-1.2	2.1	-1.9	0.7	-3.3	-0.6	
$\bar{X}_i + 2S_i$ ( $\mu\text{m}$ )	2.9	-0.9	3.9	0.0	4.0	0.6	3.4	0.0	2.2	-1.1	1.1	
单向重复定位精度 $R_i = 4S_i/\mu\text{m}$	1.3	1.3	1.0	1.4	1.2	1.8	1.3	1.8	1.5	2.2	1.8	
反向差值 $B_i/\mu\text{m}$	-3.9	-4.1	-3.8	-3.7	-3.6	-3.6	-3.6	-3.7	-3.6	-3.6	-3.5	
双向重复定位精度 $R_i/\mu\text{m}$	5.2	5.3	5.3	5.2	5.5	5.3	5.3	5.8	6.6	6.2	5.9	
双向平均位置偏差 $\bar{X}_i/\mu\text{m}$	0.3	1.4	1.5	0.9	-0.4	-1.6	-2.4	-2.5	-2.2	-1.9	-2.2	
轴向偏差/mm	单向 ↓						双向 ↑					
反向差值 $B$	不适用						0.004 ± 0.001 mm (当 $i=2$ 时) ( $k=2$ )					
平均反向差值 $\bar{B}$	不适用						-0.004					
双向平均位置偏差的范围 $M$	不适用						0.004 ± 0.004 mm ( $k=2$ ) 0.001 5 - (-0.002 5)					
定位系统偏差 $E$	0.004 0 0.003 4 - (-0.000 6)						0.008 ± 0.004 mm ( $k=2$ ) 0.003 4 - (-0.004 3)					
重复定位精度 $R$	0.003 (当 $i=11$ 时)						0.007 ± 0.002 mm ( $k=2$ )					
定位精度 $A$	0.006 0 0.004 0 - (-0.001 8)						0.010 ± 0.004 mm ( $k=2$ ) 0.004 0 - (-0.005 6)					

注 1: 不确定度数值根据表 A.5; 覆盖因子  $k$  根据 2.9。

注 2: 上表给定数值为四舍五入数值。

检验日期	年 月 日
检验员姓名	×××
机床型号、名称和出厂编号	×××,立式加工中心,编号:×××××
测量仪器名称和编号	激光干涉仪×××,编号:×××××

检验参数	
— 检验的轴线	X 轴
— 检测元件的类型	滚珠丝杠和旋转编码器
— NDE 修正	位置 开始温度(°C) 结束温度(°C)
用于 NDE 修正的材料传感器	工作台,中心 21.8 22.9
检测元件的热膨胀系数(用于 NDE 修正)	11 μm/(m·°C)
补偿程序	每 20 s 更新一次
— 进给速度	1 000 mm/min
— 在每一目标位置停留时间	5 s
— 使用补偿	反向和丝杠

检验位置	
— 不在检验中的轴线位置	Y=300 mm; Z=350 mm; C=0°
— 刀具基准偏置(X/Y/Z)	0/0/120 mm
— 工件基准偏置(X/Y/Z)	0/0/30 mm

检验条件(用于激光干涉仪补偿,补偿程序每 20 s 更新一次)			
	位置	开始温度(°C)	结束温度(°C)
— 气温:	工作区的中间位置	20.6	20.9
— 气压:	102.4 kPa		
— 空气湿度:	60%		

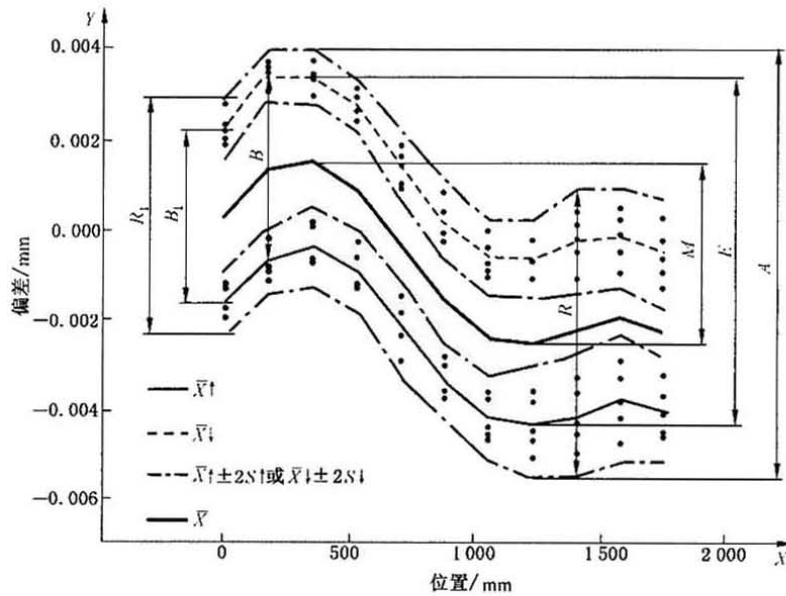


图 2 双向定位精度和重复定位精度

检验日期	年 月 日
检验员姓名	×××
机床型号、名称和出厂编号	×××,立式加工中心,编号:×××××
测量仪器名称和编号	激光干涉仪×××,编号:×××××

检验参数

——检验的轴线	X 轴
——检测元件的类型	滚珠丝杠和旋转编码器
——NDE 修正	位置 开始温度(°C) 结束温度(°C)
用于 NDE 修正的材料传感器	工作台,中心 21.8 22.9
检测元件的热膨胀系数(用于 NDE 修正)	11 μm/(m·°C)
补偿程序	每 20 s 更新一次
——进给速度	1 000 mm/min
——在每一目标位置停留时间	5 s
——使用补偿	反向和丝杠

检验位置

——不在检验中的轴线位置	Y=300 mm; Z=350 mm; C=0°
——刀具基准偏置(X/Y/Z)	0/0/120 mm
——工件基准偏置(X/Y/Z)	0/0/30 mm

检验条件(用于激光干涉仪补偿,补偿程序每 20 s 更新一次)

	位置	开始温度(°C)	结束温度(°C)
——气温:	工作区的中间位置	20.6	20.9
——气压:	102.4 kPa		
——空气湿度:	60%		

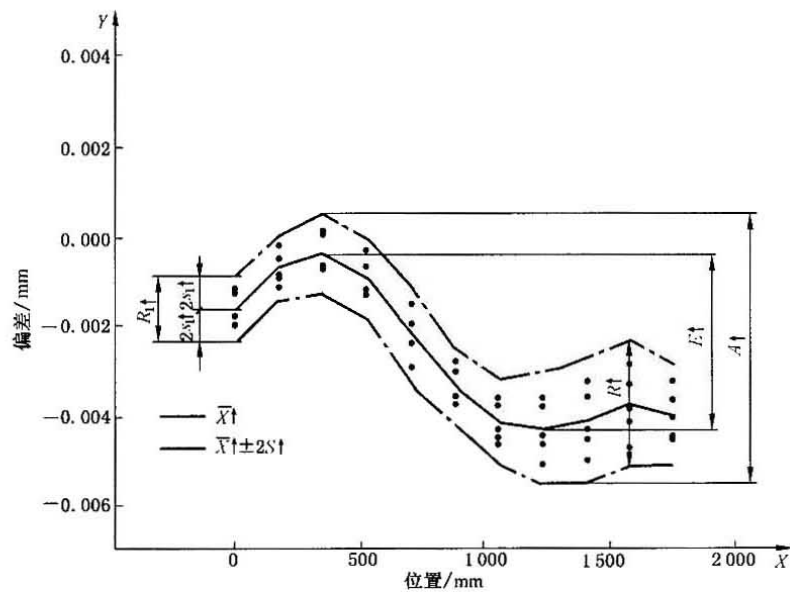


图 3 单向定位精度和重复定位精度



7.2.3 行程超过 2 000 mm 的线性轴线和行程超过 360° 的回转轴线的检验

——轴线双向定位系统偏差 <sup>*)</sup>	$E$
——轴线单向定位系统偏差	$E \uparrow$ 和 $E \downarrow$
——轴线双向平均位置偏差的范围 <sup>*)</sup>	$M$
——轴线反向差值 <sup>*)</sup>	$B$
——轴线平均反向差值	$\overline{B}$

附 录 A  
(资料性附录)

线性定位测量的测量不确定度估算——简易方法

### A.1 测量不确定度的估算

测量不确定度的估算沿用 ISO/TR 230-9:2005 中附录 C 的步骤和公式。计算测量不确定度  $U$  得出覆盖因子  $k=2$ 。

### A.2 测量不确定度的促成因素

#### A.2.1 总则

测量不确定度的促成因素包括测量装置、测量装置对机床在检轴线的移位、不在 20 °C 测量时由于机床温度补偿产生的不确定度以及环境变化误差 ( $E_{VE}$ )。

除了装置误差之外,促成因素和假设条件都依据 ISO/TR 230-9:2005 中附录 C 的内容,原因是假设装置位于检验报告中被记录位置 10mm 以内的范围内。

#### A.2.2 由测量装置产生的不确定度 $U_{\text{装置}}$

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.2.2 和式(C.1)、式(C.2)为基础。

建议使用校准测量装置。如果校准证书上写明最大不确定度以微米( $\mu\text{m}$ )计,则使用式(A.1)。如果校准证书上写明不确定度以微米每米( $\mu\text{m}/\text{m}$ )或以百万分率(ppm)计,则使用式(A.2)。

如果没有提供校准证书,而制造商注明误差范围以微米每米或百万分率计,那么应该使用式(A.3)。一般而言,测量装置分辨率的影响可以忽略不计,并且可以依据 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.2.2和式(C.3)、式(C.4)做出检测。

$$U_{\text{装置}} = U_{\text{校准}} \quad \dots\dots\dots(\text{A.1})$$

式中:

$U_{\text{装置}}$ ——由测量装置产生的不确定度,以微米( $\mu\text{m}$ )计;

$U_{\text{校准}}$ ——校准的不确定度。依据校准证书,以微米( $\mu\text{m}$ )计,覆盖因子  $k=2$ 。

$$U_{\text{装置}} = U_{\text{校准}} \cdot L \quad \dots\dots\dots(\text{A.2})$$

式中:

$U_{\text{装置}}$ ——由测量装置产生的不确定度,以微米( $\mu\text{m}$ )计;

$U_{\text{校准}}$ ——校准的不确定度。依据校准证书,以微米每米( $\mu\text{m}/\text{m}$ )或百万分率(ppm)计,覆盖因子  $k=2$ ;

$L$ ——测量长度,以米(m)计。

$$U_{\text{装置}} = 0.6 \cdot R_{\text{装置}} \cdot L \quad \dots\dots\dots(\text{A.3})$$

式中:

$U_{\text{装置}}$ ——由测量装置产生的不确定度,以微米( $\mu\text{m}$ )计;

$R_{\text{装置}}$ ——装置制造商提供的误差范围,以百万分率(ppm)或微米每米( $\mu\text{m}/\text{m}$ )计;

$L$ ——测量长度,以米(m)计。

#### A.2.3 由于测量装置对机床在检轴线的移位而产生的不确定度 $U_{\text{移位}}$

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.2.3 和式(C.5)为基础。

测量装置应对准并平行于机床被检轴线放置,否则会产生测量误差。但是,如果移位(失准)量大于 1 mm 的话,将产生二阶影响。并且,如果机床被检轴线小于 300 mm 的话,则会产生严重影响。式(A.4)和表 A.1 呈现了移位的影响效果。

在使用光学测量设备,例如激光干涉仪的情况下,如果反射光束的运动正如设备制造商所推荐的那样,移位量将在 1 mm 范围内。如果仅仅是出于获得足够的返回光束强度的目的而进行校直的话(这是不提倡的做法),那么移位量可能会达到 4 mm。

在使用机械测量装置,例如线性刻度尺的情况下,由一个侧面辅助进行校准将会产生小于 0.5 mm 的移位量。

$$U_{\text{移位}} = 0.3 \times \frac{R_{\text{移位}}^2}{L} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

$U_{\text{移位}}$  ——由移位产生的测量不确定度,以微米( $\mu\text{m}$ )计;

$R_{\text{移位}}$  ——移位量,以毫米(mm)计;

$L$  ——测量长度,以米(m)计。

表 A.1 由测量设备的移位产生的测量不确定度  $U_{\text{移位}}$

测量长度/mm	$U_{\text{移位}}/\mu\text{m}$					
	移位量/mm					
	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
200	0	1	3	6	13	23
300	0	1	2	4	9	15
500	0	1	1	2	5	9
800	0	0	1	1	3	6
1 000	0	0	1	1	3	5
1 500	0	0	0	1	2	3
2 000	0	0	0	1	1	2
4 000	0	0	0	0	1	1

#### A.2.4 由于机床温度补偿产生的不确定度

##### A.2.4.1 总则

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.2.4 为基础。

如果不在 20 °C 进行测量,就要对机床(或工件)与测量装置之间的相对膨胀进行补偿。这项工作通常是在隐性状态下,由测量装置自动完成的。

对于本标准而言,温度测量所需要的补偿会产生一个测量不确定度,并将它增添到长度测量的总测量不确定度中。

对于补偿而言,同样需要机床(或工件)的热膨胀系数和测量装置。它们的不确定度是长度测量不确定度的进一步促成因素。

A.2.4.2 和 A.2.4.3 与这些不确定度的估算有关。

##### A.2.4.2 由于温度测量产生的不确定度

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的式(C.6)为基础。

对于温度测量而言,最重要的影响因素是能代表机床(或工件)温度的测量点选择。建议将工件夹持装置选做具有代表性的测量点。但是,根据 7.1 的规定,需要在检验报告中注明温度测量点。

其他影响因素包括安装温度传感器(应该将其牢固地固定在机床部件上)和温度传感器的测量不确定度。

在实际应用中,上述这些影响因素以温度测量的可能误差范围的形式表现出来。

注:误差范围的 1 °C 等于 ±0.5 °C。

根据制造商提供的操作说明将温度传感器安装固定在测量点上,传感器的可能误差范围可以用做估算测量不确定度。常用的温度传感器偏差范围大约在 0.7 °C ±0.35 °C。如果温度传感器安装不正确或置于非代表性测量点上,测量误差也许会大于 4 °C。表 A.2 列出了温度传感器测量误差和测量长度产生的影响情况。

表 A.2 温度测量误差  $U_M$  的影响

测量长度 /mm	$U_{M,装置}$ 和 $U_{M,机床}/\mu m$							
	测量误差/°C							
	0.1±0.05	0.2±0.1	0.5±0.25	0.7±0.35	1.0±0.5	2.0±1.0	3.0±1.5	4.0±2.0
200	0	0	1	1	1	3	4	6
300	0	0	1	1	2	4	6	8
500	0	1	2	2	3	7	10	14
800	1	1	3	4	6	11	17	22
1 000	1	1	3	5	7	14	21	28
1 500	1	2	5	7	10	21	31	42
2 000	1	3	7	10	14	28	42	55
4 000	3	6	14	19	28	55	83	111
膨胀系数	12.0 $\mu m/(m \cdot ^\circ C)$							

估算由于温度测量产生的测量不确定度可以得到机床的  $U_{M,机床}$  和测量装置的  $U_{M,装置}$ 。

大多数激光干涉仪系统会对装置的膨胀(如气温的影响)自动做出补偿,并且在规定的装置测量不确定度中,包括了这种补偿的不确定度。在这些情形下,不用计算由于装置温度测量产生的测量不确定度  $U_{M,装置}$ 。由于机床温度测量产生的测量不确定度仍然是长度测量不确定度的一个促成因素[见式(A.5)]。

使用直线感应器时,如果感应器的热膨胀系数与机床的(或工件)的系数值相同,由于感应器的膨胀,不在 20°C 的温度补偿同样也会自动完成。唯一的误差是机床工件夹持装置与直线感应器之间的温差。在将直线感应器安装到机床上之后的几分钟时间里,这种误差会显著地小于 0.1 °C。对于由机床温度测量产生的测量不确定度  $U_{M,机床}$  而言,可以将这种可能温差用做式(A.5)的温度范围。由于不用测量直线感应器的温度,因此可以将由测量装置温度测量产生的测量不确定度  $U_{M,装置}$  设为零值[见式(A.6)]。

$$U_{M,机床} = 0.6 \cdot \alpha \cdot L \cdot R(\theta) \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

- $U_{M,机床}$  —— 由于机床温度测量产生的测量不确定度,以微米( $\mu m$ )计;
- $\alpha$  —— 机床的膨胀系数,与在检轴线有关,以微米每米摄氏度 [ $\mu m/(m \cdot ^\circ C)$ ] 计;
- $L$  —— 测量长度,以米(m)计;

$R(\theta)$  ——由于测量不确定度产生的可能温度范围或是机床工件夹持装置与(机械)测量装置之间的温差,以摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )计。

$$U_{M,装置} = 0.6 \cdot \alpha \cdot L \cdot R(\theta) \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

$U_{M,装置}$  ——由于测量装置温度测量产生的测量不确定度,以微米( $\mu\text{m}$ )计。如果测量装置的不确定度表达式包括了由装置温度测量产生的不确定度(或不在  $20^{\circ}\text{C}$  测量的补偿不确定度)或者如果测量装置采用了机床(或工件)温度的话,则可以将  $U_{M,装置}$  设为零值;

$\alpha$  ——测量装置的膨胀系数,与检验时的轴线相关,以微米每米摄氏度 [ $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ] 计;

$L$  ——测量长度,以米(m)计;

$R(\theta)$  ——由于测量不确定度产生的可能温度范围,以摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )计。

#### A.2.4.3 由于膨胀系数产生的不确定度

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的式(C.7)为基础。

在实际中,机床和测量装置的膨胀系数来自于手册或指南。实际膨胀系数可能会与这些资料数据有所不同。这个差别用一个范围值来表示,以微米每米摄氏度 [ $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ] 计。事实上,对于机床轴线的直线感应器而言,这个差别范围值是  $2 \mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;与标称值相比,复合材料会显示出更大的偏差值。

注:差别范围值  $2 \mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$  与  $\pm 1 \mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$  的表示相同。

表 A.3 表示了轴线长度为 1 m 的条件下,热膨胀系数不确定度与长度测量温度两者之间的关系。很清楚的是,在  $20^{\circ}\text{C}$  测量时没有出现由膨胀系数产生的不确定度,原因是在这种情况下不需要进行补偿。

需要求出由在机床(或工件)膨胀系数中的可能误差产生的不确定度数值  $U_{E,机床}$  [见式(A.7)]以及由测量装置膨胀系数的可能误差产生的不确定度数值  $U_{E,装置}$  [见式(A.8)]。

如果测量装置的不确定度表达式包括了不在  $20^{\circ}\text{C}$  测量的补偿不确定度,则可将  $U_{E,装置}$  设为零值。

$$U_{E,机床} = 0.6 \cdot \Delta T \cdot L \cdot R(\alpha) \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

$U_{E,机床}$  ——由于机床(或工件)热膨胀系数中的可能误差产生的测量不确定度,以微米( $\mu\text{m}$ )计;

$\Delta T$  ——不在  $20^{\circ}\text{C}$  的差值,以摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )计,  $\Delta T = T - 20^{\circ}\text{C}$ ;

$T$  ——机床(或工件)的温度,以摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )计;

$L$  ——测量长度,以米(m)计;

$R(\alpha)$  ——机床(或工件)膨胀系数的误差范围,以微米每米摄氏度 [ $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ] 计。

$$U_{E,装置} = 0.6 \cdot \Delta T \cdot L \cdot R(\alpha) \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

$U_{E,装置}$  ——由于长度测量装置热膨胀系数中的可能误差产生的测量不确定度,以微米( $\mu\text{m}$ )计;如果测量装置的不确定度表达式包括了由装置温度测量产生的不确定度(或不在  $20^{\circ}\text{C}$  测量的补偿不确定度),则可以将  $U_{E,装置}$  设为零值;

$\Delta T$  ——不在  $20^{\circ}\text{C}$  的差值,以摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )计,  $\Delta T = T - 20^{\circ}\text{C}$ ;

$T$  ——测量装置的温度,以摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )计;

$L$  ——测量长度,以米(m)计;

$R(\alpha)$  ——测量装置膨胀系数的误差范围,以微米每米摄氏度 [ $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ] 计。

表 A.3 由于热膨胀系数不确定度产生的测量不确定度

温度/℃	$U_E$ 的系数/( $\mu\text{m}/\text{m}$ )				
	膨胀系数的误差范围/[ $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ]				
	1±0.5	2±1.0	3±1.5	4±2.0	6±3.0
5	9	17	26	35	52
10	6	12	17	23	35
15	3	6	9	12	17
18	1	2	3	5	7
19	1	1	2	2	3
20	0	0	0	0	0
21	1	1	2	2	3
22	1	2	3	5	7
25	3	6	9	12	17
30	6	12	17	23	35
35	9	17	26	35	52
$U_E = \text{系数} \times L$					
$U_E$ $\mu\text{m}$					
$L$ $\text{m}$					

A.2.5 由于环境变化误差  $E_{VE}$  或热漂移  $U_{EVE}$  产生的不确定度

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.2.5 和式(C.9)为基础。

在大多数测量过程中,发现温度变化可能会对机床和测量装置造成影响。根据 3.1 和 3.3 的要求,应该将这些影响,尤其是任何漂移,控制在最小范围内。

剩余影响可以通过一个简单的试验——漂移试验得到检验。在开始长度测量之前,将机床轴线移动到极限位置(最大距离)。在长度测量所需的大致时间内,记录测量装置的读数。读数的范围  $E_{VE}$  就是剩余环境变化误差。根据式(A.9),它可以用做估算相应的不确定度。

$$U_{EVE} = 0.6E_{VE} \quad \dots\dots\dots(\text{A.9})$$

式中:

$U_{EVE}$  —— 由于环境变化产生的测量不确定度,以微米( $\mu\text{m}$ )计;

$E_{VE}$  —— 漂移试验的范围,以微米( $\mu\text{m}$ )计。

## A.2.6 由于环境变化误差产生的重复定位精度值的修正

本条内容仅适用于轴线行程至 2 000 mm 的情况。本条所使用的公式以第 2 章、A.2.4 和 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.2.5 为基础。

任何环境变化误差  $E_{VE}$  将会增加从轴线重复测量中得出的标准偏差值,因而增加重复定位精度值  $R$ 、 $R_{\uparrow}$  和  $R_{\downarrow}$ 。如果要进行漂移试验的话,如果重复定位精度值在被检轴线更长距离测量长度上有效的話,那么可将重复定位精度值做出如下修正:

$$S_{i, \text{修正后} \uparrow} = \sqrt{S_{i \uparrow}^2 - \left(\frac{U_{EVE}}{2}\right)^2}$$

$$\begin{aligned}
 S_{i, \text{修正后} \downarrow} &= \sqrt{S_{i \downarrow}^2 - \left(\frac{U_{\text{EVE}}}{2}\right)^2} \\
 R_{i, \text{修正后} \uparrow} &= 4 \cdot S_{i, \text{修正后} \uparrow} \\
 R_{i, \text{修正后} \downarrow} &= 4 \cdot S_{i, \text{修正后} \downarrow} \\
 R_{i, \text{修正后}} &= \max[2 \cdot S_{i, \text{修正后} \uparrow} + 2 \cdot S_{i, \text{修正后} \downarrow} + |B_i|; R_{i, \text{修正后} \uparrow}; R_{i, \text{修正后} \downarrow}] \\
 R_{\text{修正后} \uparrow} &= \max[R_{i, \text{修正后} \uparrow}] \\
 R_{\text{修正后} \downarrow} &= \max[R_{i, \text{修正后} \downarrow}] \\
 R_{\text{修正后}} &= \max[R_{i, \text{修正后}}] \dots\dots\dots (A.10)
 \end{aligned}$$

式中：

- $S_{i, \text{修正后} \uparrow, \downarrow}$  —— 单向轴线重复定位精度  $S_i$  的修正估算值, 修正是由环境影响引起的;
- $S_i$  —— 单向轴线重复定位精度的估算值, 见 2.15;
- $U_{\text{EVE}}$  —— 由于环境变化产生的测量不确定度;
- $R_{i, \text{修正后} \uparrow, \downarrow}$  —— 在位置  $i$  的修正单向重复定位精度, 修正是由环境影响引起的;
- $R_{i, \text{修正后}}$  —— 在位置  $i$  的修正双向重复定位精度, 修正是由环境影响引起的;
- $R_{\text{修正后} \uparrow, \downarrow}$  —— 修正单向重复定位精度, 修正是由环境影响引起的;
- $R_{\text{修正后}}$  —— 修正双向重复定位精度, 修正是由环境影响引起的。

### A.3 参数 $A$ 、 $A \uparrow$ 、 $A \downarrow$ 、 $E$ 、 $E \uparrow$ 、 $E \downarrow$ 、 $R$ 、 $R \uparrow$ 、 $R \downarrow$ 、 $B$ 不确定度的估算

#### A.3.1 总则

本条所使用的公式(从 A.3.2 到 A.3.6)以第 2 章和 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.4 为基础。当直线轴线行程至 2 000 mm 时, 假设 5 分别向上和向下运动; 当直线轴线行程超过 2 000 mm 时, 只有 1 分别向上和向下运动。

需要将下列有关测量不确定度的促成因素考虑进去: 测量装置、测量装置对机床在检轴线的移位、机床和测量装置的温度测量、机床和测量装置的热膨胀系数以及环境变化误差( $E_{\text{VE}}$ )。

#### A.3.2 单向重复定位精度不确定度 $U(R \uparrow, R \downarrow)$ 的估算

本条内容只适用于轴线行程至 2 000 mm 的情况。本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.4.3 和式(C.14)为基础。

$$U(R \uparrow, R \downarrow) = 2 \cdot U_{\text{EVE}} \dots\dots\dots (A.11)$$

式中：

$U(R \uparrow, R \downarrow)$  —— 单向重复定位精度的不确定度,  $k=2, 5$  个测量值运动, 以微米( $\mu\text{m}$ )计。

#### A.3.3 反向差值不确定度 $U(B)$ 的估算

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.4.2 和式(C.14)为基础。

a) 当轴线行程至 2 000 mm 时

$$U(B) = 0.9 \cdot U_{\text{EVE}} \dots\dots\dots (A.12)$$

式中：

$U(B)$  —— 反向差值的测量不确定度,  $k=2, 5$  个测量值运动, 以微米( $\mu\text{m}$ )计。

b) 当轴线行程超过 2 000 mm 时

$$U(B) = 2 \cdot U_{\text{EVE}} \dots\dots\dots (A.13)$$

式中:

$U(B)$ ——反向差值的测量不确定度,  $k=2$ , 1 个测量值运动, 以微米( $\mu\text{m}$ )计。

#### A.3.4 双向重复定位精度的不确定度 $U(R)$

本条内容只适用于轴线行程至 2 000 mm 的情况。本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.4.4 和式(C.15)为基础。

$$U(R) = 2.2 \cdot U_{EVE} \quad \dots\dots\dots(\text{A.14})$$

式中:

$U(R)$ ——双向重复定位精度的测量不确定度,  $k=2$ , 5 个测量值运动, 以微米( $\mu\text{m}$ )计。

#### A.3.5 定位系统偏差的不确定度 $U(M, E, E \uparrow, E \downarrow)$

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.4.5 和式(C.16)为基础。

a) 当轴线行程至 2 000 mm 时

$$U(E, E \uparrow, E \downarrow) = \sqrt{U_{\text{装置}}^2 + U_{\text{移位}}^2 + U_{M, \text{机床}}^2 + U_{M, \text{装置}}^2 + U_{E, \text{机床}}^2 + U_{E, \text{装置}}^2 + \frac{1}{5} \cdot U_{EVE}^2} \quad \dots\dots(\text{A.15})$$

式中:

$U(E, E \uparrow, E \downarrow)$ ——系统偏差的测量不确定度,  $k=2$ , 5 个测量值运动, 以微米( $\mu\text{m}$ )计。

$$U(M) = \sqrt{U_{\text{装置}}^2 + U_{\text{移位}}^2 + U_{M, \text{机床}}^2 + U_{M, \text{装置}}^2 + U_{E, \text{机床}}^2 + U_{E, \text{装置}}^2 + \frac{1}{10} \cdot U_{EVE}^2} \quad \dots\dots(\text{A.16})$$

式中:

$U(M)$ ——平均位置误差  $M$  的测量不确定度,  $k=2$ , 5 个测量值运动, 以微米( $\mu\text{m}$ )计。

b) 当轴线行程超过 2 000 mm 时

$$U(E, E \uparrow, E \downarrow) = \sqrt{U_{\text{装置}}^2 + U_{\text{移位}}^2 + U_{M, \text{机床}}^2 + U_{M, \text{装置}}^2 + U_{E, \text{机床}}^2 + U_{E, \text{装置}}^2 + U_{EVE}^2} \quad \dots\dots(\text{A.17})$$

式中:

$U(E, E \uparrow, E \downarrow)$ ——系统偏差的测量不确定度,  $k=2$ , 1 个测量值运动, 以微米( $\mu\text{m}$ )计。

$$U(M) = \sqrt{U_{\text{装置}}^2 + U_{\text{移位}}^2 + U_{M, \text{机床}}^2 + U_{M, \text{装置}}^2 + U_{E, \text{机床}}^2 + U_{E, \text{装置}}^2 + \frac{1}{2} \cdot U_{EVE}^2} \quad \dots\dots(\text{A.18})$$

式中:

$U(M)$ ——平均位置误差  $M$  的测量不确定度,  $k=2$ , 1 个测量值运动, 以微米( $\mu\text{m}$ )计。

#### A.3.6 定位精度的不确定度 $U(A, A \uparrow, A \downarrow)$

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.4.6 和式(C.17)为基础。

$$U(A, A \uparrow, A \downarrow) = \sqrt{U(E)^2 + U(R \uparrow, R \downarrow)^2} \quad \dots\dots\dots(\text{A.19})$$

式中:

$U(A, A \uparrow, A \downarrow)$ ——定位精度的测量不确定度,  $k=2$ , 5 个测量值运动, 以微米( $\mu\text{m}$ )计。

#### A.4 估算不确定度的举例

本章给出了 4 个估算测量不确定度的例子: 其中两个用于激光干涉仪测量, 其余两个用于直线感应器测量。对于上述两种测量装置而言, 都要在平均工业条件和改善工业条件下完成估算工作。

平均工业条件的定义如下(或者见表 A.4 和表 A.6):

a) 测量装置未被校准。



b) 校正:对于激光干涉仪,返回光束要有足够的强度(不推荐);对于直线感应器,要通过一个侧面在 0.5 mm 范围内调正。

表 A.4 估算测量不确定度的样例(平均工业条件下使用激光干涉仪进行激光定位测量)

定位测量					
测量不确定度估算,激光干涉仪测量					
简易方法					
平均工业条件					
促成因素	参数	单位	$U$	单位	公式
装置					
测量长度	1 751.000	mm			
误差范围	3.400	ppm			
$U_{\text{装置}}$			3.6	$\mu\text{m}$	A.3
调正					
光束调正					
调正值,假设	4.000	mm			
测量长度	1 751.000	mm			
$U_{\text{移位}}$			2.7	$\mu\text{m}$	A.4
工件温度补偿					
测量长度	1 751.000	mm			
热膨胀系数	12.000	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$			
不在 20 °C 的差值,最大值	5.000	$^\circ\text{C}$			
温度测量					
偏差值,最大值	0.700	$^\circ\text{C}$			
$U_{\text{M,机床}}$			8.8	$\mu\text{m}$	A.5
$U_{\text{M,装置}}$	0,包括在 $U_{\text{装置}}$ 中				
膨胀系数的不确定度	2.000	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$			
$U_{\text{E,机床}}$			10.5	$\mu\text{m}$	A.7
$U_{\text{E,装置}}$	0,包括在 $U_{\text{装置}}$ 中				
EVE,环境变化					
EVE	1.700	$\mu\text{m}$			
$U_{\text{EVE}}$			1.0	$\mu\text{m}$	A.9
$U(R+,R-)$			2	$\mu\text{m}$	A.11
$U(B)$			1	$\mu\text{m}$	A.12
$U(R)$			2	$\mu\text{m}$	A.14
$U(E,E+,E-)$			14	$\mu\text{m}$	A.15
$U(M)$			14	$\mu\text{m}$	A.16
$U(A)$			15	$\mu\text{m}$	A.19

表 A.5 估算测量不确定度的样例(改善工业条件下使用激光干涉仪进行激光定位测量)

定位测量					
测量不确定度估算,激光干涉仪测量					
简易方法					
改善工业条件					
促成因素	参数	单位	$U$	单位	公式
装置					
测量长度	1 751.000	mm			
误差范围			1.7	$\mu\text{m}$	
$U_{\text{装置}}$			1.7	$\mu\text{m}$	A.1
调正					
光束调正					
调正值,假设	1.000	mm			
测量长度	1 751.000	mm			
$U_{\text{移位}}$			0.2	$\mu\text{m}$	A.4
工件温度补偿					
测量长度	1 751.000	mm			
热膨胀系数	12.000	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$			
不在 20 °C 的差值,最大值	1.000	$^\circ\text{C}$			
温度测量					
偏差,最大值	0.200	$^\circ\text{C}$			
$U_{\text{M,机床}}$			2.5	$\mu\text{m}$	A.5
$U_{\text{M,装置}}$	0,包括在 $U_{\text{装置}}$ 中				
膨胀系数的不确定度	2.000	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$			
$U_{\text{E,机床}}$			2.1	$\mu\text{m}$	A.7
$U_{\text{E,装置}}$	0,包括在 $U_{\text{装置}}$ 中				
EVE,环境变化					
EVE	1.700	$\mu\text{m}$			
$U_{\text{EVE}}$			1.0	$\mu\text{m}$	A.9
$U(R+,R-)$			2.0	$\mu\text{m}$	A.11
$U(B)$			0.9	$\mu\text{m}$	A.12
$U(R)$			2.2	$\mu\text{m}$	A.14
$U(E,E+,E-)$			3.7	$\mu\text{m}$	A.15
$U(M)$			3.7	$\mu\text{m}$	A.16
$U(A)$			4.2	$\mu\text{m}$	A.19

表 A.6 估算测量不确定度的样例(平均工业条件下使用直线感应器进行直线定位测量)

定位测量					
测量不确定度估算,直线感应器测量					
简易方法					
平均工业条件					
促成因素	参数	单位	$U$	单位	公式
装置					
测量长度	1 751.000	mm			
误差范围	2.000	$\mu\text{m}/\text{m}$			
$U_{\text{装置}}$			2.1	$\mu\text{m}$	A.3
调正					
光束调正					
调正值,假设	0.500	mm			
测量长度	1 751.000	mm			
$U_{\text{移位}}$			0.0	$\mu\text{m}$	A.2
工件温度补偿					
测量长度	1 751.000	mm			
热膨胀系数	12.000	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$			
不在 20 °C 的差值,最大值	5.000	$^\circ\text{C}$			
温度测量					
偏差,最大值	0.100	$^\circ\text{C}$			
$U_{\text{M,机床}}$			1.3	$\mu\text{m}$	A.5
$U_{\text{M,装置}}$	0,装置采用机床温度				
膨胀系数的不确定度	2.000	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$			
$U_{\text{E,机床}}$	2.000	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$			
$U_{\text{E,装置}}$			10.5	$\mu\text{m}$	A.7
EVE,环境变化			10.5	$\mu\text{m}$	A.8
EVE	1.700	$\mu\text{m}$			
$U_{\text{EVE}}$			1.0	$\mu\text{m}$	A.9
$U(R+,R-)$			2	$\mu\text{m}$	A.11
$U(B)$			1	$\mu\text{m}$	A.12
$U(R)$			2	$\mu\text{m}$	A.14
$U(E,E+,E-)$			15	$\mu\text{m}$	A.15
$U(M)$			15	$\mu\text{m}$	A.16
$U(A)$			15	$\mu\text{m}$	A.19

表 A.7 估算测量不确定度的样例(改善工业条件下使用直线感应器进行直线定位测量)

定位测量					
测量不确定度估算, 直线感应器测量					
简易方法					
改善工业条件					
促成因素	参数	单位	$U$	单位	公式
装置					
测量长度	1 751,000	mm			
误差范围			1.0	$\mu\text{m}/\text{m}$	
$U_{\text{装置}}$			1.8	$\mu\text{m}$	A.2
调正					
光束调正					
调正值, 假设	0.500	mm			
测量长度	1 751,000	mm			
$U_{\text{移位}}$			0.0	$\mu\text{m}$	A.4
工件温度补偿					
测量长度	1 751,000	mm			
热膨胀系数	12,000	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$			
不在 20 °C 的差值, 最大值	1,000	°C			
温度测量					
偏差, 最大值	0.050	°C			
$U_{\text{M, 机床}}$			0.6	$\mu\text{m}$	A.5
$U_{\text{M, 装置}}$	0, 装置采用机床温度				
膨胀系数的不确定度	2,000	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$			
$U_{\text{E, 机床}}$	2,000	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$			
$U_{\text{E, 装置}}$			2.1	$\mu\text{m}$	A.7
EVE, 环境变化			2.1	$\mu\text{m}$	A.8
EVE	1,700	$\mu\text{m}$			
$U_{\text{EVE}}$			1.0	$\mu\text{m}$	A.9
$U(R+, R-)$			2.0	$\mu\text{m}$	A.11
$U(B)$			0.9	$\mu\text{m}$	A.12
$U(R)$			2.2	$\mu\text{m}$	A.14
$U(E, E+, E-)$			3.5	$\mu\text{m}$	A.15
$U(M)$			3.5	$\mu\text{m}$	A.16
$U(A)$			4.1	$\mu\text{m}$	A.19

- c) 车间温度在 20 °C ± 5 °C 之间。
- d) 温度测量:对于激光干涉仪,机床温度测量的误差范围是 0.7 °C;对于直线感应器,与机床温度的差值是 0.1 °C(通常在几分钟后达到此温度)。
- e) 热膨胀系数的可能误差是 2 μm/(m · °C)。
- f) 环境变化误差( $E_{VE}$ )是 1.7 μm。

改善工业条件的定义如下(或者见表 A.5 和表 A.7):

- a) 测量装置已被校准。
- b) 校正:对于激光干涉仪,返回光束要在 1 mm 范围内调正(推荐程序);对于直线感应器,要通过一个侧面在 0.5 mm 范围内调正。
- c) 车间温度在 20 °C ± 1 °C 之间。
- d) 温度测量:对于激光干涉仪,机床温度测量的误差范围是 0.2 °C;对于直线感应器,与机床温度的差值是 0.05 °C(通常在 10 min 以内达到此温度)。
- e) 热膨胀系数的可能误差是 2 μm/(m · °C)。
- f) 环境变化误差( $E_{VE}$ )是 1.7 μm,虽然改善工业条件会显示出更小的  $E_{VE}$  数值。

在平均工业条件下,在轴线长度为 1 750 mm 和表 A.4、表 A.6 列明的条件下,使用激光干涉仪或直线感应器进行测量,得到定位精度的测量不确定度  $U(A)$  是 15 μm。定位精度  $A$  的表达式应该是  $A = 6 \mu\text{m} \pm 15 \mu\text{m} (k=2)$ 。

在改善工业条件下,在轴线长度为 1 750 mm 和表 A.5、表 A.7 列明的条件下,使用激光干涉仪或直线感应器进行测量,得到定位精度的测量不确定度  $U(A)$  是 4 μm。定位精度  $A$  的表达式应该是  $A = 6 \mu\text{m} \pm 4 \mu\text{m} (k=2)$ 。

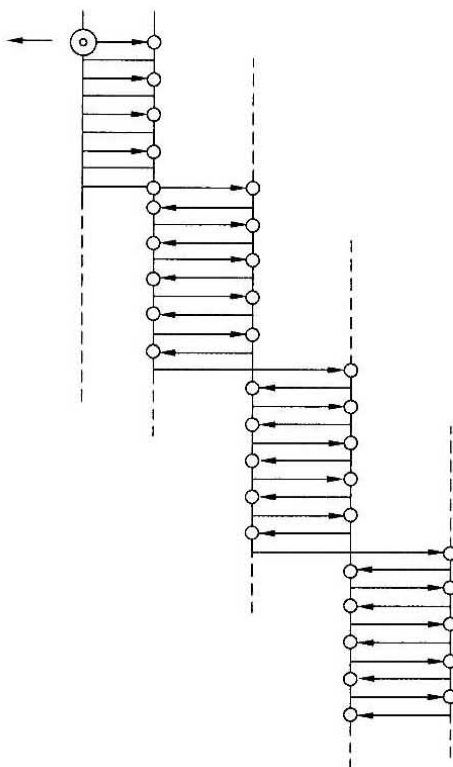
表 A.8 举出了修正重复定位精度值的例子(该精度值是由于环境变化误差和不确定度产生的)。

表 A.8 修正重复定位精度值的样例(该精度值是由不确定度和环境变化误差产生的)

定位测量					
由 $U_{EVE}$ 产生的 $R$ 值的修正					
	参数	单位	$U$	单位	公式
EVE, 环境变化					
EVE	1.700	μm			
$U_{EVE}$			1.0	μm	A.9
重复定位精度值的修正	未修正	已修正			
根据表 2 典型结果得到的 $R+$ 值	2.98	2.18	μm		A.10
根据表 2 典型结果得到的 $R-$ 值	2.55	1.53	μm		A.10
根据表 2 典型结果、 $S+$ (在目标 9)得到的 $R$ 值	0.746	0.544	μm		A.10
根据表 2 典型结果、 $S-$ (在目标 9)得到的 $R$ 值	0.638	0.383	μm		A.10
根据表 2 典型结果、 $B$ (在目标 9)得到的 $R$ 值	3.9		μm		
根据表 2 典型结果得到的 $R$ 值	6.7	5.8	μm		A.10

**附录 B**  
(资料性附录)  
**阶梯循环**

本附录叙述了可供选择应用的阶梯循环(见图 B.1)。



**图 B.1 阶梯循环**

在检验中使用阶梯循环与使用图 B.1 所示的标准检验循环得到的结果可能不同。

标准检验循环中,从相反方向趋近两端点目标位置的时间间隔相差很大。而阶梯循环中从任一方向趋近每个目标位置的时间间隔较短,但第一和终点目标位置的测量时间间隔较长。

按照标准检验循环的测量可反应热效应。在检验期间,沿轴线的各个目标位置的热效应不同。测量中热效应在反向差值  $B$  和重复定位精度  $R$  上可能是明显的。

就阶梯循环来说,热效应在双向平均位置偏差的范围  $M$  上也许是明显的,而机床的热性能对反向差值和重复定位精度影响很小。

参 考 文 献

- [1] ISO 230-3:2007 机床检验通则 第3部分:热效应的评定
- [2] ISO/TR 230-9:2005 机床检验通则 第9部分:根据ISO 230族基本公式进行的机床检验测量不确定度的估算
-

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
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  
GB/T 17421.2—2016/ISO 230-2:2006

\*

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.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 56 千字  
2016年9月第一版 2016年9月第一次印刷

\*

书号: 155066·1-54559 定价 33.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



GB/T 17421.2-2016