

前 言

本标准是根据 ISO 230-2:1997《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》,对 GB/T 10931—1989《数字控制机床 位置精度的评定方法》进行修订的。本标准等效采用国际标准 ISO 230-2:1997。

本标准与 ISO 230-2:1997 的主要差异:

1. 范围按 GB/T 1.1 的规定进行了改写;
2. 在 4.3.2 中增加了“特殊情况(如重型机床)按附录 A”,以适应重型机床采用、贯彻本标准。

本标准与 GB/T 10931—1989 的主要差异:

1. 用“标准不确定度”代替“标准偏差”,用“覆盖因子 2”代替“覆盖因子 3”;
2. 增加了轴线双向定位系统偏差 E ,并用轴线双向平均位置偏差 M 代替位置系统偏差 P_a ;
3. 取消原标准附录 A“标准偏差近似估算法”;
4. 双向重复定位精度 R_i 考虑到反向差值 B_i 的影响;
5. 按 ISO 230-2:1997 对位置精度的评定参数和检验条件作了相应修改。

本标准是机床检验通则系列标准的一部分,GB/T 17421 在《机床检验通则》的总标题下,包括以下 5 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:热效应的评定

第 4 部分:数控机床的圆检验

第 5 部分:噪声(目前我国有 GB/T 4215—1984《金属切削机床 噪声声功率级的测定》和 GB/T 16769—1997《金属切削机床 噪声声压级测量方法》,准备在国际标准 ISO 230-5 颁布后,制定新的国家标准)。

本标准从实施之日起,同时代替 GB/T 10931—1989。

本标准的附录 A 和附录 B 都是提示的附录。

本标准由国家机械工业局提出。

本标准由全国金属切削机床标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:北京机床研究所、长城机床厂、北京铣床研究所、沈阳自动车床研究所、武汉重型机床研究所。

本标准主要起草人:凌泽润、胡端琳、陈 高、周仁礼、朱胜华、李祥文、李双庆。

本标准 1989 年 3 月首次发布。

ISO 前言

ISO(国际标准化组织)是世界范围内各国标准化组织(ISO 成员)的联合组合。国际标准的制定工作通常由 ISO 的技术委员会完成。对技术委员会设立的某一专题感兴趣的每个 ISO 成员都有权在该技术委员会表达自己的意见。与 ISO 有联系的国际组织、官方或非官方机构也可参与此项工作。ISO 与负责电气标准的国际电工委员会(IEC)合作密切。

经技术委员会接受的国际标准草案,在发往各成员征求意见后表决。国际标准的发布要求至少 75% 的成员投票通过。

国际标准 ISO 230-2 是由 ISO/TC 39 机床技术委员会的 SC2 金属切削机床检验条件分委员会制订的。

ISO 230 总标题为:机床检验通则,它包括如下几部分:

- 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:热效应的评定;
- 第 4 部分:数控机床的圆检验;
- 第 5 部分:噪声。

附录 A 和附录 B 都是提示的附录。

第二版对第一版作了技术性修定,取代第一版(ISO 230-2:1988)。

ISO 引言

由于 ISO 230 的这部分采用测量值统计处理法对与机床特性有关的各种参数进行定义,SC2 分技术委员会就决定沿用《测量不确定度的表达指南》所规定的建议。

首先修订涉及到位置偏差分布形式的假定。由于在本标准中,采用了“标准的不确定度”代替“标准偏差”,所以对分布形式不作假定。用覆盖因子 2 代替覆盖因子 3 的扩展不确定度的新定义同样符合《测量不确定度的表达指南》的建议。

其次为突出机床的系统特性,SC2 分技术委员会在本标准中增加了新定义,即 E (对应于 ANSI B5.54 中的“精度”术语)和 M (与 VDI 3441 中的“位置偏差, Pa ”相符)

SC2 分技术委员会相信,增加内容后的 ISO 230 这部分将会得到全体成员国更为一致的接受。

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 的定位精度和重复定位精度的确定

GB/T 17421.2—2000
eqv ISO 230-2:1997

代替 GB/T 10931—1989

Test code for machine tools Part 2:
Determination of accuracy and repeatability of
positioning numerically controlled axes

1 范围

本标准规定了通过直接测量机床的单独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。这种方法对直线运动和回转运动同样适用。

本标准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。

本标准不适用于需同时检验几个轴线的机床。

2 定义和符号

本标准采用以下定义和符号:

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。

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 P_i ($i=1$ 至 m) target position P_i ($i=1$ to m)

运动部件编程要达到的位置。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 P_{ij} ($i=1$ 至 m ; $j=1$ 至 n) actual position P_{ij} ($i=1$ to m ; $j=1$ to 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 X_{ij} 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目标位置的一系列测量。符号 \uparrow 表示从正方向趋近所得的参数;符号 \downarrow 表示从负方向趋近所得的参数。如 $X_{i1}\uparrow$ 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作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 $\bar{X}_i \uparrow$ 或 $\bar{X}_i \downarrow$ mean unidirectional positional deviation at a position, $\bar{X}_i \uparrow$ or $\bar{X}_i \downarrow$ 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。

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

2.11 某一位置的双向平均位置偏差 \bar{X}_i 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 B_i 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 B 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 \bar{B} 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 在某一位置的单向定位标准不确定度的估算值 $S_i \uparrow$ 或 $S_i \downarrow$ estimator of the unidirectional standard uncertainty of positioning at a position, $S_i \uparrow$ or $S_i \downarrow$ 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。

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

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 $R_i \uparrow$ 或 $R_i \downarrow$ unidirectional repeatability of positioning at a position, $R_i \uparrow$ or $R_i \downarrow$ 由某一位置 P_i 的单向位置偏差的扩展不确定度确定的范围, 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 R_i 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 $R \uparrow$ 或 $R \downarrow$ 以及轴线双向重复定位精度 R unidirectional repeatability of positioning $R \uparrow$ or $R \downarrow$ and bidirectional repeatability of positioning R of an axis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。

$$R \uparrow = \max[R_i \uparrow]$$

$$R \downarrow = \max[R_i \downarrow]$$

$$R = \max[R_i]$$

2.19 轴线单向定位系统偏差 $E \uparrow$ 或 $E \downarrow$ unidirectional systematic positional deviation of an axis, $E \uparrow$ or $E \downarrow$

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。

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

和

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

2.20 轴线双向定位系统偏差 E 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。

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

2.21 轴线双向平均位置偏差 M 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。

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

2.22 轴线单向定位精度 $A \uparrow$ 或 $A \downarrow$ unidirectional accuracy of positioning of an axis, $A \uparrow$ or $A \downarrow$

由单向定位系统偏差和单向定位标准不确定度估算值的 2 倍的组合来确定的范围。

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

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

2.23 轴线双向定位精度 A bidirectional accuracy of positioning of an axis, A

由双向定位系统偏差和双向定位标准不确定度估算值的 2 部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

为满足机床按规定精度运转,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℃ 的环境下进行检测。如不在 20℃ 下检测,则必须修正轴线定位系统和检测设备间的名义差胀(NDE),以获得修正到 20℃ 的检测结果。在这种情况下,需要测量机床定位系统和检测设备的代表性部位的温度。

应该注意,任何与 20℃ 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常用值为 $\pm 2 \mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ (见附录 B)。因此在检验报告中应记录实际的温度。供方/制造厂应提供轴线定位系统的有效膨胀系数。

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、外部热源等。

在检验前 12 h 和检验过程中以度每小时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,则在检验前的运动只限于调整测量仪器的需要。

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,一般应按下列公式:

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

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 ——在各目标位置取不同的值,获得全测量行程上目标位置的不均匀间隔,以保证周期误差(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)被充分地采样。

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。

检验单上应记录测量仪器的位置。

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。

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。

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。特殊情况(如重型机床)按附录 A。

注: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)。

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。

在行程超过 2 000 mm 的情况下,需按 4.3.2 的规定进行检验,应按供方/制造厂和用户的约定在正常工作范围内进行。

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。

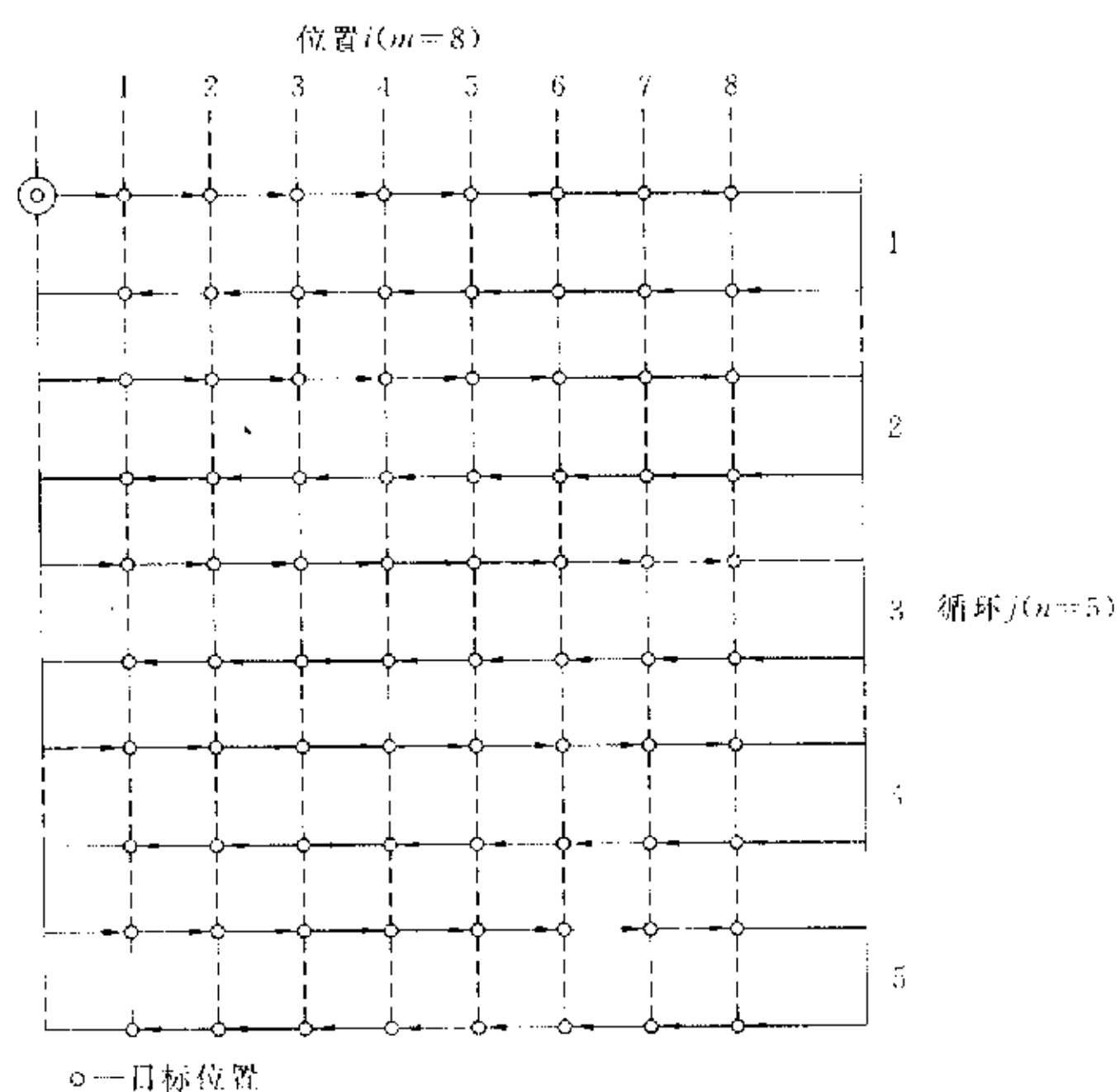


图 1 标准检验循环

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
$> 90^\circ$ 和 $\leq 180^\circ$	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 $1\ 800^\circ (5r)$ 时,在总测量行程上,可通过在每个方向对间隔不超过 45° 的目标位置进行一次单向趋近检验。

在行程超过 360° 的情况下,需按 4.3.4 的规定进行检验,应按供方/制造厂和用户的约定在正常工作范围内进行。

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 在每一方向上作 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:

$$\begin{aligned} & \bar{X}_{i\uparrow} + 2S_{i\uparrow} \quad \text{和} \quad \bar{X}_{i\uparrow} - 2S_{i\uparrow} \quad \text{和} \\ & \bar{X}_{i\downarrow} + 2S_{i\downarrow} \quad \text{和} \quad \bar{X}_{i\downarrow} - 2S_{i\downarrow} \end{aligned}$$

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作一次趋近 ($n=1$),要计算第二章中定义的适当参数。但对标准不确定度(2.15)、重复定位精度(2.16、2.17 和 2.18)以及定位精度(2.22 与 2.23)均不适用。

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:

- 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);
- 测量仪器的位置和温度传感器的位置(见 4.3.1);

- c) 机床检验前的温升操作(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;
- 机床部件上温度传感器的位置及补偿程序的类型;
- 检验日期;
- 机床型号、名称、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/制造厂名称、元件的型号和编号(如激光头、光学件、温度传感器等);
- 用于轴线定位的检测元件类型及其对名义差胀修正的热膨胀系数(如滚珠丝杠和旋转编码器、玻璃尺、感应同步器和磁尺等);
- 在检轴线名称及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);
- 在每一目标位置的进给速度和停留时间,名义目标位置的编号;
- 机床检验前的升温(循环次数或空运转时间和进给率);
- 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;
- 在检验开始和结束时,测量环境温度;
- 如有必要,标出检验开始和结束时的气压和湿度;
- 检验循环中是否应用了内部补偿程序;
- 当使用气体或油时,其气体或油应具有一定的压力;
- 循环次数($n=5$ 或 $n=1$)。

7.2 参数

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 2a 和图 2b 作了图示。

7.2.1 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 * ; A
- 轴线单向定位精度 * ; A^{\uparrow} 和 A^{\downarrow}
- 轴线双向定位系统位置偏差 * ; 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 * ; M
- 轴线双向重复定位精度 * ; R
- 轴线单向重复定位精度 * ; R^{\uparrow} 和 R^{\downarrow}
- 轴线反向差值 * ; B
- 轴线的平均反向差值 * ; \bar{B}

7.2.2 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 * ; 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 M ; M ——轴线反向差值 B ; B ——轴线平均反向差值 \bar{B}

表2 典型检验结果(轴线长度至2 000 mm的检验)

	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11			
目标位置 P_i/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	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow		
位置偏差 μm	$j=1$	2.3	-1.2	3.6	-0.5	3.5	0.2	3.0	-0.6	1.7	-1.9	0.4	-3.0	-0.4	-3.7	0.2	-3.7	0.2	-3.5	0.3	-3.2	-0.1	-3.6	
	2	2.1	-1.7	3.5	-0.9	3.3	-0.6	2.7	-1.2	1.5	-2.3	0.2	-3.5	-0.7	-4.3	-0.6	-4.4	0.2	-4.3	-1.0	-3.8	-0.6	-4.0	
	3	1.9	-1.9	3.1	-1.1	3.0	-0.7	2.4	-1.3	1.0	-2.9	-0.2	-3.7	-1.0	-4.6	-1.0	-5.1	-1.0	-5.0	-0.9	-4.7	-1.2	-4.5	
	4	2.8	-1.3	3.7	-0.2	3.8	0.1	3.2	-0.3	1.9	-1.4	0.9	-2.8	0.0	-3.6	-0.2	-3.6	0.5	-3.2	0.5	-2.8	0.4	-3.2	
	5	2.2	-1.9	3.2	-0.8	3.5	-0.7	2.6	-1.3	1.1	-2.3	-0.1	-3.7	-0.9	-4.5	-1.1	-4.6	-0.5	-4.5	-0.4	-4.1	-0.9	-4.5	
单向平均位置偏差 $\bar{X}_i/\mu\text{m}$	2.3	-1.6	3.4	-0.7	3.4	-0.4	2.8	-0.9	1.4	-2.2	0.2	-3.3	-0.6	-4.1	-0.6	-4.3	-0.2	-4.1	-0.1	-3.7	-0.5	-4.0		
标准不确定度 $S_i/\mu\text{m}$	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.5	0.3	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6		
$2S_i/\mu\text{m}$	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.9	0.6	0.9	0.8	1.1	0.9	0.8	0.9	1.0	0.9	1.3	1.2	1.4	1.1	1.5	1.2	1.2		
$\bar{X}_i-2S_i/\mu\text{m}$	1.6	-2.3	2.8	-1.4	2.8	-1.3	2.2	-1.9	0.6	-3.2	-0.6	-4.2	-1.4	-5.1	-1.5	-5.5	-1.4	-5.5	-1.3	-5.2	-1.7	-5.1		
$\bar{X}_i+2S_i/\mu\text{m}$	2.9	-0.9	4.0	0.0	4.0	0.5	3.4	0.0	2.2	-1.1	1.1	-2.5	0.3	-3.2	0.3	-3.0	1.0	-2.7	1.0	-2.3	0.8	-2.8		
单向重复定位偏差 $R_i-4S_i/\mu\text{m}$	1.3	1.4	1.2	1.5	1.2	1.8	1.2	1.9	1.6	2.2	1.7	1.7	1.7	1.9	1.8	2.5	2.3	2.9	2.3	2.9	2.5	2.3		
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		-3.9		-3.6		-3.5			
双向重复定位精度 $R_i/\mu\text{m}$	5.2		5.4		5.3		5.2		5.5		5.3		5.4		5.8		6.5		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		-1.5		-2.4		-2.5		-2.2		-1.9		-2.2			
轴向偏差	单向 \downarrow								单向 \uparrow								双向							
反向差值 B mm	不适用								不适用								0.0041(当 $i=2$ 时)							
平均反向差值 \bar{B} mm	不适用								不适用								-0.0037							
双向平均位置偏差的范围 M mm	不适用								不适用								0.0040 0.0015-(-0.0025)							
定位系统偏差 E mm	0.0040 0.0034-(-0.0006)								0.0039 -0.0004-(-0.0043)								0.0077 0.0034-(-0.0043)							
重复定位精度 R mm	0.0025(当 $i=11$ 时)								0.0029(当 $i=10$ 时)								0.0065(当 $i=9$ 时)							
定位精度 A/mm	0.0057 0.0040-(-0.0017)								0.0060 0.0005-(-0.0055)								0.0095 0.0040-(-0.0055)							

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		×××,编号:×××××	
检验参数			
检验的轴线:		X	
检测元件的类型:		滚珠丝杠和旋转编码器	
NDE 修正(是或不是):		是	
检测元件的热膨胀系数(用于 NDE 修正):		11 μm/(m·℃)	
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			
——温度传感器	位 置	开始温度/℃	结束温度/℃
材料传感器 #1	工作台 X=50 mm	21.8	22.9
材料传感器 #2	工作台 X=1 700 mm	22.4	23.1
空气传感器	工作区的中间位置	20.6	20.9
——气压:	102.4 kPa		
——空气湿度:	60%		
检验日期		年 月 日	
检验员姓名		×××	

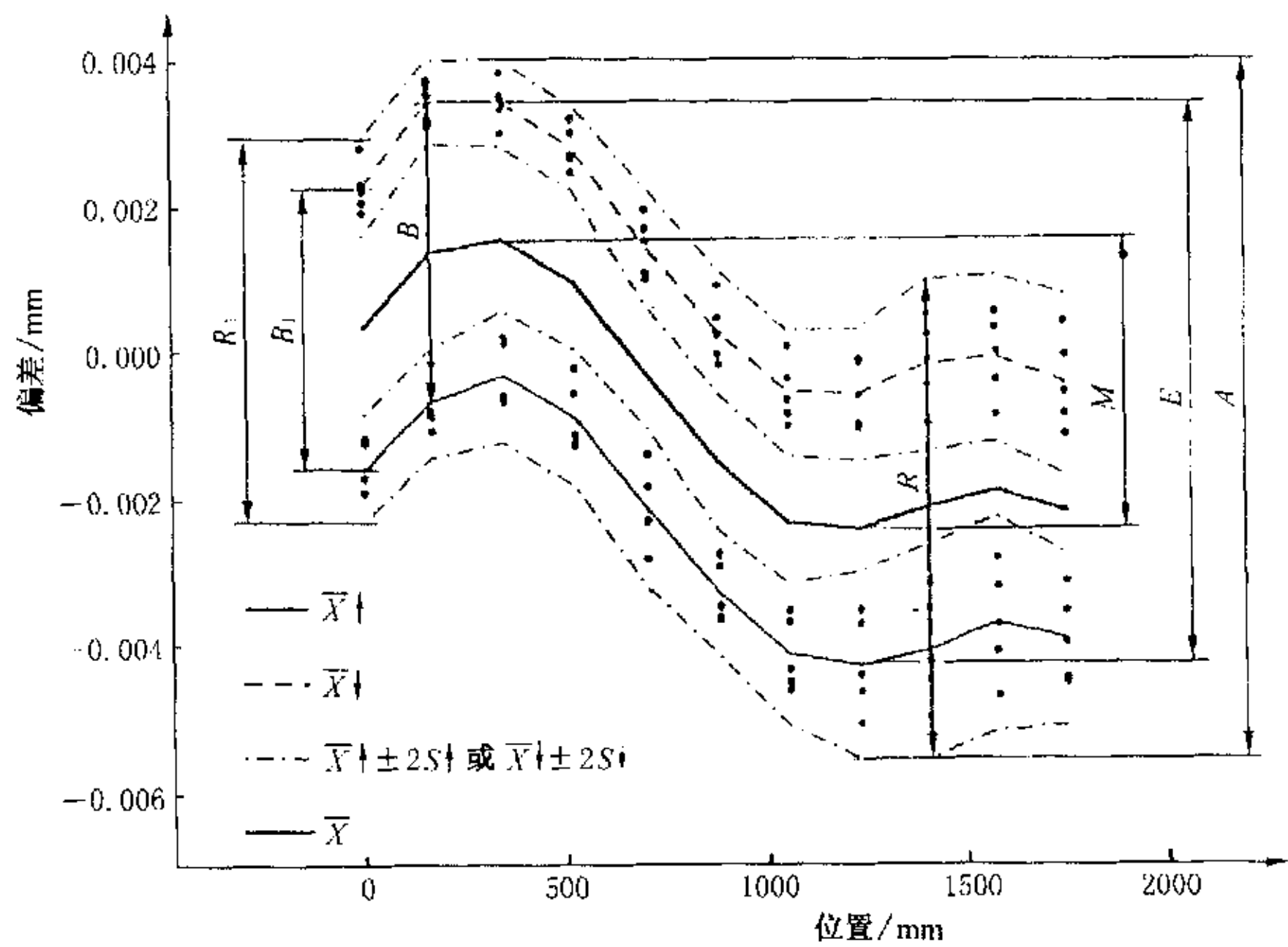


图 2a 双向定位精度和重复定位精度

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		×××,编号:×××××	
检验参数			
—— 检验的轴线:		X	
—— 检测元件的类型:		滚珠丝杠和旋转编码器	
—— NDE 修正(是或不是):		是	
—— 检测元件的热膨胀系数(用于 NDE 修正):		11 μm/(m · C)	
—— 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			
温度传感器	位 置	开始温度/℃	结束温度/℃
材料传感器 #1	工作台 X=50 mm	21.8	22.9
材料传感器 #2	工作台 X=1 700 mm	22.4	23.1
空气传感器	工作区的中间位置	20.6	20.9
—— 气压:	102.4 kPa		
—— 空气湿度:	60%		
检验日期		年 月 日	
检验员姓名		×××	

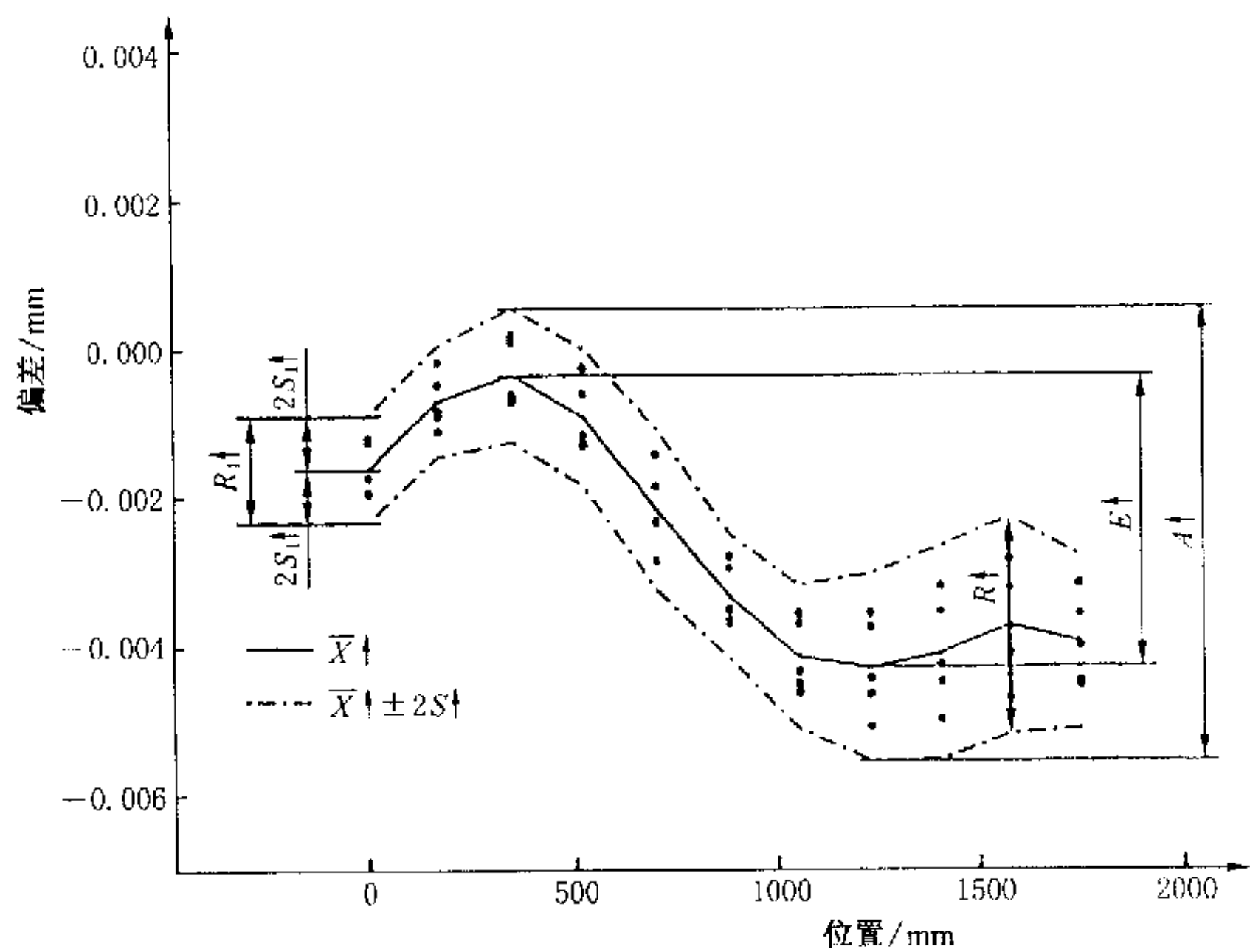


图 2b 单向定位精度和重复定位精度

附录 A
(提示的附录)
阶梯循环

本附录叙述了可供选择应用的阶梯循环(见图 A1)。

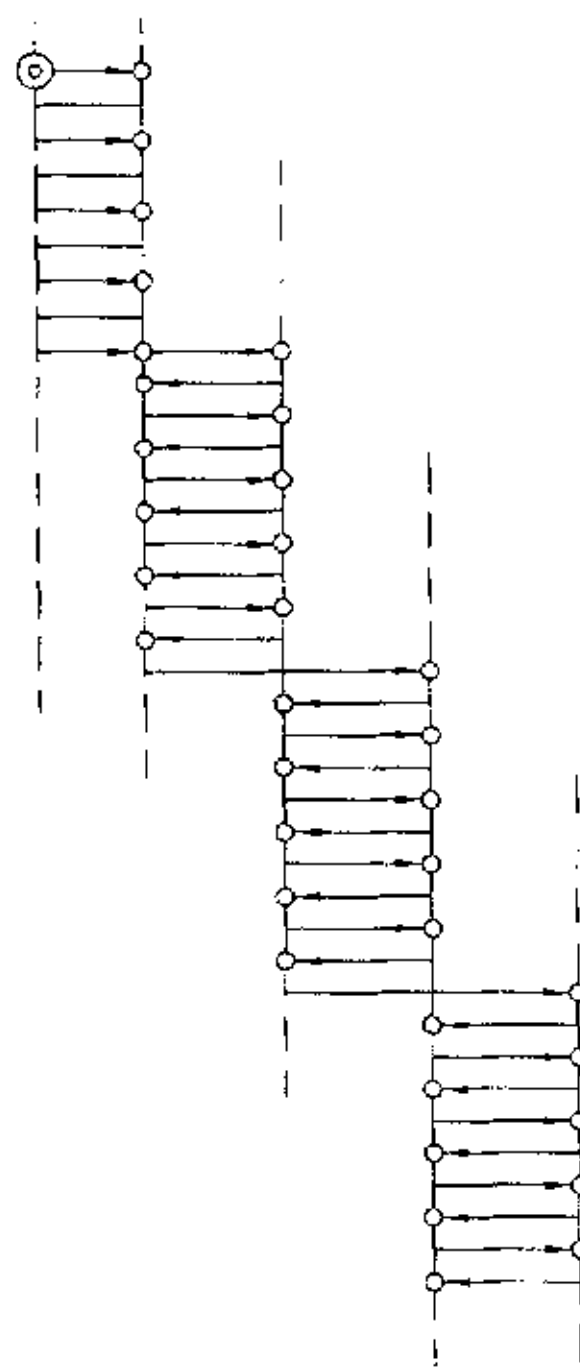


图 A1 阶梯循环

在检验中使用阶梯循环与使用图 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。

附 录 B
(提示的附录)
文 献 目 录

- 1 《测量不确定度的表达指南》,国际计量局/国际电工委员会/国际临床化学联合会/国际标准化组织/国际法制计量组织/国际理论化学和应用化学联合会/国际物理和应用物理协会(BIPM/IEC/FICC/ISO/OIML/IUPAC/IUPAP),2.3.5、2.3.6和附录G,1993,ISBN 92-97-10188 9。
 - 2 ANSI B89.6.2:1988,《用于尺寸测量的环境温度和湿度》。
-