

中华人民共和国国家标准

GB/T 17421.2—2023/ISO 230-2:2014

代替 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

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

(ISO 230-2:2014, IDT)

2023-08-06 发布

2024-03-01 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 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 检验条件 5

 4.1 环境 5

 4.2 被检机床 6

 4.3 温升 6

5 检验程序 6

 5.1 操作方法 6

 5.2 目标位置的选择 6

 5.3 测量 7

6 结果的评定 8

 6.1 行程至 2 000 mm 的线性轴线和行程至 360°的回转轴线 8

 6.2 行程超过 2 000 mm 的线性轴线和行程超过 360°的回转轴线 8

7 制造商/供方和用户之间的协商要点 9

8 结果的表达 9

 8.1 表达方法 9

 8.2 参数 10

附录 A (资料性) 线性定位测量的测量不确定度估算 简易方法 17

 A.1 扩展测量不确定度的估算 17

 A.2 测量不确定度的促成因素 17

 A.3 参数 A 、 $A \uparrow$ 、 $A \downarrow$ 、 E 、 $E \uparrow$ 、 $E \downarrow$ 、 R 、 $R \uparrow$ 、 $R \downarrow$ 、 B 扩展不确定度的估算 22

 A.4 估算扩展不确定度的举例 24

附录 B (资料性) 阶梯循环 30

附录 C (资料性) 周期性定位误差 31

 C.1 总则 31

 C.2 已知周期间隔的周期性定位误差 31

附录 D (资料性) 用标准球阵列或步距规进行线性定位误差测量 33

 D.1 总则 33

 D.2 用球阵列和线性位移多传感器装置测量 34

 D.3 用球阵列或步距规和接触式触发测头测量 34

附录 E (资料性) 最小增量步长 35

 E.1 总则 35

 E.2 检验条件 35

参考文献 37

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 17421《机床检验通则》的第 2 部分。GB/T 17421 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：在无负荷或准静态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 10 部分：数控机床探测系统测量性能的测定。

本文件代替 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》。与 GB/T 17421.2—2016 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了“规范性引用文件”一章（见第 2 章）；
- b) “定义与符号”一章修改为“术语和定义”，增加了“3.3 作用点”“3.9 标准不确定度”“3.10 合成标准不确定度”“3.28 采样点”等术语和定义（见第 3 章，2016 年版的第 2 章）；
- c) 更改了“实际位置”和“位置偏差”的定义，将定义中“运动部件”更改为“作用点”（见 3.5、3.6，2016 年版的 2.4、2.5）；
- d) 术语名称增加了“定位偏差”“某一位置的反向误差”“轴线反向误差”“轴线平均反向误差”“轴线单向定位误差”“轴线双向定位误差”（见 3.6、3.15、3.16、3.17、3.26、3.27，2016 年版的 2.5、2.12、2.13、2.14、2.23、2.24）；
- e) 将术语“轴线单向定位系统偏差”“轴线双向定位系统偏差”“轴线双向平均定位系统偏差”分别更改为“轴线单向定位系统误差”“轴线双向定位系统误差”“轴线双向平均定位系统误差”（见 3.23、3.24、3.25，2016 年版的 2.20、2.21、2.22）；
- f) 更改了操作方法中对进给速度的相关规定（见 5.1，2016 年版的 4.1）；
- g) 更改了检验程序目标位置的选择中对“ r ”的有关说明，增加了复检或验收时目标位置选择的要求（见 5.2，2016 年版的 4.2）；
- h) 增加了测量线性轴和回转轴的几种装置和仪器举例，增加了在检验报告中明确仪器和检具位置的相关要求（见 5.3.1）；
- i) 删除了行程至 2 000 mm 的线性轴线的检验中“特殊情况（如重型机床）按附录 B”的要求（见 2016 年版的 4.3.2）；
- j) 增加了轴线行程超过 4 000 mm 时的检验（见 5.3.3）；
- k) 更改了协商要点，增加了“最低和最高环境温度”（见第 7 章，2016 年版的第 6 章）；
- l) 更改了在检验报告上应列明的项目（见 8.1，2016 年版的 7.1）；
- m) 增加了“关于轴线定位误差要素的相关术语的说明”（见 8.2.4）；
- n) 将“测量不确定度的估算”更改为“扩展测量不确定度的估算”，并细化了估算方法（见 A.1，2016 年版的 A.1）；
- o) 更改了温度测量可能误差范围的表示形式，如 0.7 °C 表示为 ± 0.35 °C，并更改了测量装置的

膨胀系数 α 的说明(见 A.2.4.2, 2016 年版的 A.2.4.2);

p) 将“漂移试验”更改为“环境变化误差试验”(见 A.2.5, 2016 年版的 A.2.5)。

本文件等同采用 ISO 230-2:2014《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》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动:

——在第 1 章“范围”中增加了资料性附录 E 的描述信息;

——纳入了 ISO 230-2:2014/Amd.1:2016(E)的修正内容;

——将规范性引用文件 ISO 230-3:2007 移入参考文献中,并在参考文献中增加 ISO 230-10。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国金属切削机床标准化技术委员会(SAC/TC 22)归口。

本文件起草单位:通用技术集团机床工程研究院有限公司、上海机床厂有限公司、武汉重型机床集团有限公司、重庆机床(集团)有限责任公司、沈机集团昆明机床股份有限公司、沈阳机床(集团)有限责任公司、江苏高精机电装备有限公司、四川普什宁江机床有限公司、秦川机床工具集团股份公司、烟台环球机床装备股份有限公司、齐重数控装备股份有限公司、广东科杰技术股份有限公司、杭州蕙勒智能科技有限公司、济南章力机械有限公司、浙江亿洋智能装备科技股份有限公司、浙江永力达数控科技股份有限公司、深圳市蓝蓝科技有限公司、安徽新诺精工股份有限公司、北京广宇大成数控机床有限公司。

本文件主要起草人:张维、黄祖广、于春平、陈妍言、薛瑞娟、赵钦志、芦华、徐皓莉、喻可斌、何春树、谭智、刘正东、杨成兵、文晓妮、李军、王静、李书林、张越东、聂应新、胡巍、李涛、卢艳辉、孙庆海、唐安伟、郑勇、王文韬、李琴、于启军。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

——1989 年首次发布为 GB/T 10931—1989;

——2000 年第一次修订为 GB/T 17421.2—2000;2016 年第二次修订,本次为第三次修订。

引 言

GB/T 17421《机床检验通则》属于机床检验通用标准,确立了机床精度和性能检验的原则和要求。

GB/T 17421 拟由以下部分构成:

- 第 1 部分:在无负荷或准静态条件下机床的几何精度。目的在于规范机床在无负荷或准静态条件下几何精度和工作精度的检验方法。
- 第 2 部分:数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定。目的在于规范检验和评定数控机床轴线的定位精度和重复定位精度的方法。
- 第 3 部分:热效应的确定。目的在于规范机床环境温度、主轴及线性轴热变形的检验方法。
- 第 4 部分:数控机床的圆检验。目的在于规范数控机床轮廓特性的检验和评定方法。
- 第 5 部分:噪声发射的确定。目的在于规范机床及其相关辅助装置的噪声测试方法。
- 第 6 部分:体和面对角线位置精度的确定(对角线位移检验)。目的在于规范机床空间精度的检验方法。
- 第 7 部分:回转轴线的几何精度。目的在于规范机床回转轴线几何精度的检验方法。
- 第 8 部分:振动。目的在于提供机床振动评估的一般程序。
- 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。目的在于提供机床检验的测量不确定度评估的方法。
- 第 10 部分:数控机床探测系统测量性能的测定。目的在于规范检验和评定数控机床探测系统性能的方法。
- 第 11 部分:机床几何精度检验用测量仪器。目的在于提供机床几何精度检验测量仪器特性的信息。
- 第 12 部分:精加工试件。目的在于规范各类机床精加工试件特征的评定。

本文件是 GB/T 17421 的第 2 部分,主要规范了检验和评定数控机床轴线的定位精度和重复定位精度的方法,还提供了估算测量不确定度的方法,可为各类机床产品定位精度和重复定位精度检验提供依据和指导。

本文件涉及数控轴线的定位精度和重复定位精度的检验程序,此项检验是用来测量机床夹持刀具的部件与夹持工件的部件之间的相对运动。

机床制造商/供方负责提供机床按规定精度运行所需要的环境温度条件,用户负责在安装现场提供制造商/供方要求的测试温度环境,否则便要接受机床性能的降低。ISO 230-3:2007 的附录 C 给出了机床环境温度的指南。

如果环境温度不符合制造商/供方提供的环境温度指南并使机床性能产生大的不确定性或者变化,则需要放宽预期精度。如果机床不满足性能规范,分析由机床精度补偿引起的不确定度(见本文件的 A.2.4)以及由环境变化误差引起的不确定度(见本文件的 A.2.5)可以帮助识别问题的来源。

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

本文件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轴线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。

本文件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。

本文件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。本文件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 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 描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文件有关的技术文献中,也不用于验收,除非制造商/供方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,使用本文件的标准检验循环始终是正确的选择。

附录 C 给出了周期性定位误差相关内容。

附录 D 描述了用标准球阵列和步距规进行检验。

附录 E 给出了最小增量步长相关内容。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 17421.1—2023 机床检验通则 第1部分:在无负荷或准静态条件下机床的几何精度 (ISO 230-1:2012, IDT)

ISO/TR 230-9:2005 机床检验通则 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 (Test code for machine tools—Part 9: Estimation of measurement uncertainty for machine tool tests according to series ISO 230, basic equations)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

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最大行程。

3.2

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。

注:见图 1。

3.3

作用点 functional point

切削刀具中心点或机床刀具部件上切削刀具去除工件材料的接触点。

注:本文件中,检验针对的是机床上夹持刀具的部件和夹持工件的部件间相对运动的误差。这些误差的定义和测量是基于作用点的位置或运动轨迹。

[来源:GB/T 17421.1—2023,3.4.2,有修改]

3.4

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。

3.5

实际位置 actual position

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

作用点第 j 次向第 i 个目标位置趋近时实际测得的到达位置。

3.6

定位偏差 positioning deviation

位置偏差 deviation of position

X_{ij}

作用点到达的实际位置减去目标位置之差。

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

注 1:定位偏差由机床上夹持刀具的部件和夹持工件的部件在被测轴运动方向的相对运动确定。

注 2:定位偏差以离散间隔采样,是定位误差运动的有限表示。

[来源:GB/T 17421.1—2023,3.4.6,有修改]

3.7

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。

注:用符号 \uparrow 表示从正方向趋近所得的参数;用符号 \downarrow 表示从负方向趋近所得的参数。如 $X_{ij} \uparrow$ 或 $X_{ij} \downarrow$ 。

3.8

双向 bi-directional

从两个方向沿轴线或绕轴线趋近某目标位置得到一个参数的一系列测量。

3.9

标准不确定度 standard uncertainty

以标准偏差表示的测量不确定度。

[来源:ISO/IEC 指南 98-3:2008,2.3.1]

3.10

合成标准不确定度 combined standard uncertainty

测量结果的标准不确定度,当测量结果是由若干其他量的值获得时,等于各不确定度分量的平方和的正平方根,这些不确定度分量是其他各量的方差或协方差,根据测量结果随这些量变化关系进行

加权。

[来源:ISO/IEC 指南 98-3:2008,2.3.4]

3.11

扩展不确定度 expanded uncertainty

确定测量结果区间的量,合理赋予被测量之值分布的大部分可望含于此区间。

[来源:ISO/IEC 指南 98-3:2008,2.3.5]

3.12

包含因子 coverage factor

为获得扩展不确定度而用作合成标准不确定度倍率的一个数值因子。

[来源:ISO/IEC 指南 98-3:2008,2.3.6]

3.13

某一位置的单向平均定位偏差 mean unidirectional positioning deviation at a position

$\overline{X}_i \uparrow; \overline{X}_i \downarrow$

由 n 次单向趋近某一位置 P_i 所得的定位偏差的算术平均值。

$$\overline{X}_i \uparrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \uparrow$$

和

$$\overline{X}_i \downarrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \downarrow$$

3.14

某一位置的双向平均定位偏差 mean bi-directional positioning deviation at a position

\overline{X}_i

从两个方向趋近某一位置 P_i 所得的单向平均定位偏差 $\overline{X}_i \uparrow$ 或 $\overline{X}_i \downarrow$ 的算术平均值。

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

3.15

某一位置的反向误差 reversal error at a position

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 P_i 时两单向平均定位偏差之差。

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

3.16

轴线反向误差 reversal error of an axis

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。

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

3.17

轴线平均反向误差 mean reversal error of an axis

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

\overline{B}

沿轴线或绕轴线的各目标位置的反向差值 B_i 的算术平均值。

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

3.18

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 positioning repeatability at a position**

$S_i \uparrow ; S_i \downarrow$

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

$$S_i \uparrow = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} \uparrow - \overline{x}_i \uparrow)^2}$$

和

$$S_i \downarrow = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} \downarrow - \overline{x}_i \downarrow)^2}$$

3.19

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

$R_i \uparrow ; R_i \downarrow$

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,包含因子 $k=2$ 。

$$R_i \uparrow = 4 S_i \uparrow$$

和

$$R_i \downarrow = 4 S_i \downarrow$$

3.20

某一位置的双向重复定位精度 **bi-directional positioning repeatability at a position**

R_i

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

3.21

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

$R \uparrow ; R \downarrow$

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。

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

和

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

3.22

轴线双向重复定位精度 **bi-directional positioning repeatability 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。

$$R = \max[R_i]$$

3.23

轴线单向定位系统误差 **unidirectional systematic positioning error of an axis**

$E \uparrow ; E \downarrow$

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

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

和

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

3.24

轴线双向定位系统误差 **bi-directional systematic positioning error 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定位偏差 $\overline{X}_i \uparrow$ 和 $\overline{X}_i \downarrow$ 的最大值与最小值的代数差。

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

3.25

轴线双向平均定位系统误差 **mean bi-directional positioning error of an axis**

M

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

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

3.26

轴线单向定位误差 **unidirectional positioning error of an axis**

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

$A \uparrow; A \downarrow$

由轴线单向定位系统误差和单向重复定位精度估算值的组合来确定的范围,包含因子 $k=2$ 。

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

和

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

注:这里采用的概念“定位精度”是定量形式表达,不同于 ISO/IEC 指南 99 中 2.13 所定义的概念“测量精度”。

3.27

轴线双向定位误差 **bi-directional positioning error of an axis**

轴线双向定位精度 **bi-directional positioning accuracy of an axis**

A

由轴线双向平均定位系统误差和双向重复定位精度估算值的组合来确定的范围,包含因子 $k=2$ 。

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

注:这里采用的概念“定位精度”是定量形式表达,不同于 ISO/IEC 指南 99:2007,2.13 所定义的概念“测量精度”。

3.28

采样点 **sampling point**

<数值补偿>离散点,在误差表、补偿表或在空间误差表格中提供的几何误差数值表征。

[来源:ISO/TR 16907:2015,3.16]

4 检验条件

4.1 环境

为了使验收的机床达到规定的精度要求,建议制造商/供方提供适宜的温度环境的规定。

规定中,一般应包括平均室温,平均室温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。当用户遵守机床制造商/供方所提出的规定,则机床制造商/供方应对所检测的机床性能负责。

最为理想的是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,则应修正轴线定位系统或机床工件/刀具夹持部件与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代表性部位的温度,用相关的热膨胀系数进行数学修正。如果机床和检测设备代表性部位的温度相同并且热膨胀系数相同,则 NDE 修正也可以自动完成。

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是 2 μm/(m·°C)(见附录 A)。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 和检验过程中以摄氏度每小时(°C/h)为单位的环境温度变化率应在制造商/供方和用户协议规定的范围内。

4.2 被检机床

被检机床应完成装配并充分运转。如有必要,在开始检验定位精度和重复定位精度之前,机床调平、几何精度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报告中标明。

4.3 温升

为了在正常工作条件下检验机床,检验前应按制造商/供方的规定或制造商/供方与用户的协议进行适当的升温。

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

连续地趋近任一特定的目标位置,若偏差成一有序数列,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。

5 检验程序

5.1 操作方法

机床按编制程序使运动部件沿着或围绕被测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。机床应按程序以制造商/供方与用户协商确定的进给速度在目标位置间移动。

5.2 目标位置的选择

每个目标位置的数值可自由选择,一般应按公式(1):

$$P_i = (i - 1)p + r \dots\dots\dots (1)$$

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* ——预期的周期性定位误差(例如滚珠丝杠导程变化以及直线或回转刻度尺的节距变化所引起的误差)在±一个周期范围内的随机数,以确保周期误差被充分地采样,如没有任何周期误差的相关信息,*r* 应取目标位置的间距 *p* 的±30%范围内。

在验收或复检时,目标位置选择应与相关轴线定位误差数值补偿时的采样点不同。

注:附录 C 提供了关于周期性定位误差的内容。

5.3 测量

5.3.1 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之间产生的相对运动。

线性轴线的定位误差和重复定位精度测量采用的仪器通常为经过校准的激光干涉仪(包括跟踪干涉仪)和经过校准的线性刻度尺,也可以采用标准球阵列(见附录 D)。

行程至 100 mm 的短轴线定位误差和重复定位精度测量时也可使用远程线性位移传感器。

如果进行精确的 NDE 修正,检验报告上应说明机床部件上温度传感器的位置,用于 NDE 修正的热膨胀系数,及补偿程序的类型。

回转轴线的定位误差和重复定位精度测量采用的仪器通常为光学多面体和自准直仪,带激光干涉仪/自准直仪和基准旋转(角度)编码器的基准分度台。

测量仪器和基准检具(若有)的位置,应在检验报告中明确。

5.3.2 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 5.2 规定每米至少选择 5 个目标位置,并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。

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)。

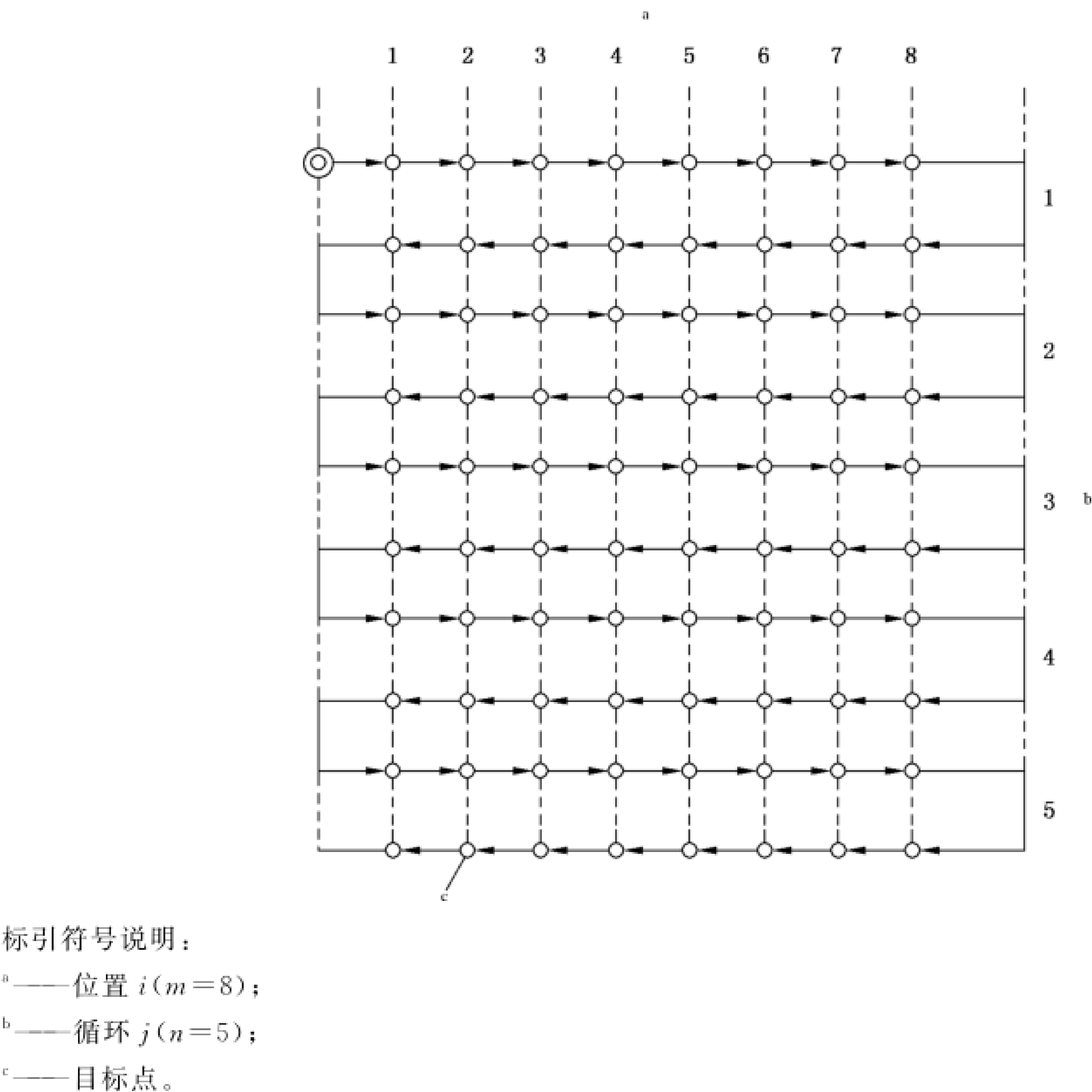


图 1 标准检验循环

5.3.3 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 5.2 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,应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。

当制造商/供方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 5.3.2 的规定进行。

轴线行程超过 4 000 mm 时,5.3.2 规定的试验次数以及在正常工作范围内的位置应按照制造商/供方与用户达成的协议。

5.3.4 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 5.2 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
$> 90^\circ$ 和 $\leq 180^\circ$	5
$> 180^\circ$	8

5.3.5 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°(5 r)时,可通过在每个方向对每转至少 8 个目标位置进行一次单向趋近检验。

当制造商/供方和用户商定在正常工作范围的某一 360°角度内检测时,应按 5.3.4 的规定进行。

6 结果的评定

6.1 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 在每一个方向上作 5 次趋近($n=5$),要计算第 3 章中定义的参数。还要计算极限偏差:

和

$$\overline{X}_i \uparrow + 2S_i \uparrow$$

和

$$\overline{X}_i \uparrow - 2S_i \uparrow$$

和

$$\overline{X}_i \downarrow + 2S_i \downarrow$$

和

$$\overline{X}_i \downarrow - 2S_i \downarrow$$

6.2 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 P_i 在每个方向上作 1 次趋近($n=1$),要计算第 3 章中定义的适当参数。但对轴线单向重复定位精度的估算值(3.18),重复定位精度(3.19,3.20,3.21 和 3.22)以及定位误差(3.26 和

3.27)均不适用。对于轴线行程在某一 2 000 mm 的检验或回转轴线行程在某一 360°的检验,其按 6.1 的结果评定应根据制造商/供方与用户的协商。

7 制造商/供方和用户之间的协商要点

制造商/供方和用户之间的协商要点如下:

- a) 最低和最高环境温度;
- b) 检验前 12 h 和检验期间每小时环境温度的最大变化率(见 4.1);
- c) 如需要,测量仪器的位置和温度传感器的位置(见 5.3.1);
- d) 机床检验前的升温操作(见 4.3);
- e) 目标位置间的进给速度;
- f) 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 5.3.3 或 5.3.5);
- g) 不在检测范围内的滑板和移动部件的位置;
- h) 在每个目标位置的停留时间;
- i) 确定第 1 个和最后 1 个目标位置。

8 结果的表达

8.1 表达方法

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,以确定测量设置:

- 检验员姓名;
- 不在检验中的轴线的位置;
- 刀具基准的偏置(X/Y/Z);
- 工件基准的偏置(X/Y/Z);
- 如果进行精确的 NDE 修正:
 - 用于 NDE 修正的热膨胀系数;
 - 在机床部件和检验设备上用于 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 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,包括制造商名称,元件(如激光头、光学件、温度传感器等)的型号和编号;
- 由机床制造商/供方提供的,用于轴线定位的检测元件类型及其热膨胀系数(如滚珠丝杠/回转分解器系统、线性刻度尺系统);
- 在检轴线名称:
 - 对于线性轴,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,轴线名义位置和方向的描述;
- 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速度);
- 如需要,标出检验开始和结束时激光束附近的气温、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。

8.2 参数

8.2.1 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 给出的结果，在表 3、图 2 和图 3 中作了展示。

给出每个参数的同时应给出带有包含因子为 2 的测量不确定度 U ，即 $U(k=2)$ 。对于测量不确定度 U 至少要考虑：

- 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(如需要)。

对于线性轴线而言，附录 A 描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。

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

——轴线双向定位误差 ^{*)}	A
——轴线单向定位误差 ^{*)}	$A \uparrow$ 和 $A \downarrow$
——轴线双向定位系统误差 ^{*)}	E
——轴线单向定位系统误差	$E \uparrow$ 和 $E \downarrow$
——轴线双向平均定位系统误差范围 ^{*)}	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 $R \downarrow$
——轴线反向误差 ^{*)}	B
——轴线平均反向误差	\overline{B}

^{*)}是机床验收用的参数。

8.2.3 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

——轴线双向定位系统误差 ^{*)}	E
——轴线单向定位系统误差	$E \uparrow$ 和 $E \downarrow$
——轴线双向平均定位系统误差范围 ^{*)}	M
——轴线反向误差 ^{*)}	B
——轴线平均反向误差	\overline{B}

^{*)}是机床验收用的参数。

8.2.4 关于轴线定位误差要素的相关术语的说明

在 GB/T 17421.1—2023 中定义了机床轴线的误差运动。通常，通过在一定测量间隔采集到的偏差值并按规定的方法进行处理来评定误差运动，主要产生与名义运动相关的单个误差参数。GB/T 17421.1—2023 提供了这些误差参数的命名法，如， E_{yx} 表示 X 轴线运动在 Y 轴线方向的直线度

误差, E_{CX} 表示 X 轴线运动在 C 轴线方向(绕 Z 轴旋转)的角度误差, 及 E_{XX} 表示 X 轴线运动的定位误差。

对于数控机床轴线的定位误差运动, 本文件提供了多个参数作为这种误差的组成部分(如, 单向定位误差运动的重复性, 双向平均定位误差运动等)。这样的多个参数为特定定位误差评定提供了附加标定。因此, 在应用 GB/T 17421.1—2023 中新的特征符号时, 本文件中的参数可以表示为相关轴线定位误差符号的下标。如 X 轴线的单向定位误差, $A \uparrow$ 或 $A \downarrow$ 可表示为 $E_{XX,A \uparrow}$ 或 $E_{XX,A \downarrow}$, C 轴的反向误差可表示为 $E_{CC,B}$ 。

本文件中使用的轴线定位误差各组成部分的符号, 已是工业应用中广为人知的综合术语, 用于通过专用测量仪器自动报告结果。因此, 应用 GB/T 17421.1—2023 中新的特征符号表示法可能要经过一段时间才能实现。

表 2 典型检验结果(轴线长度至 2 000 mm 的检验)

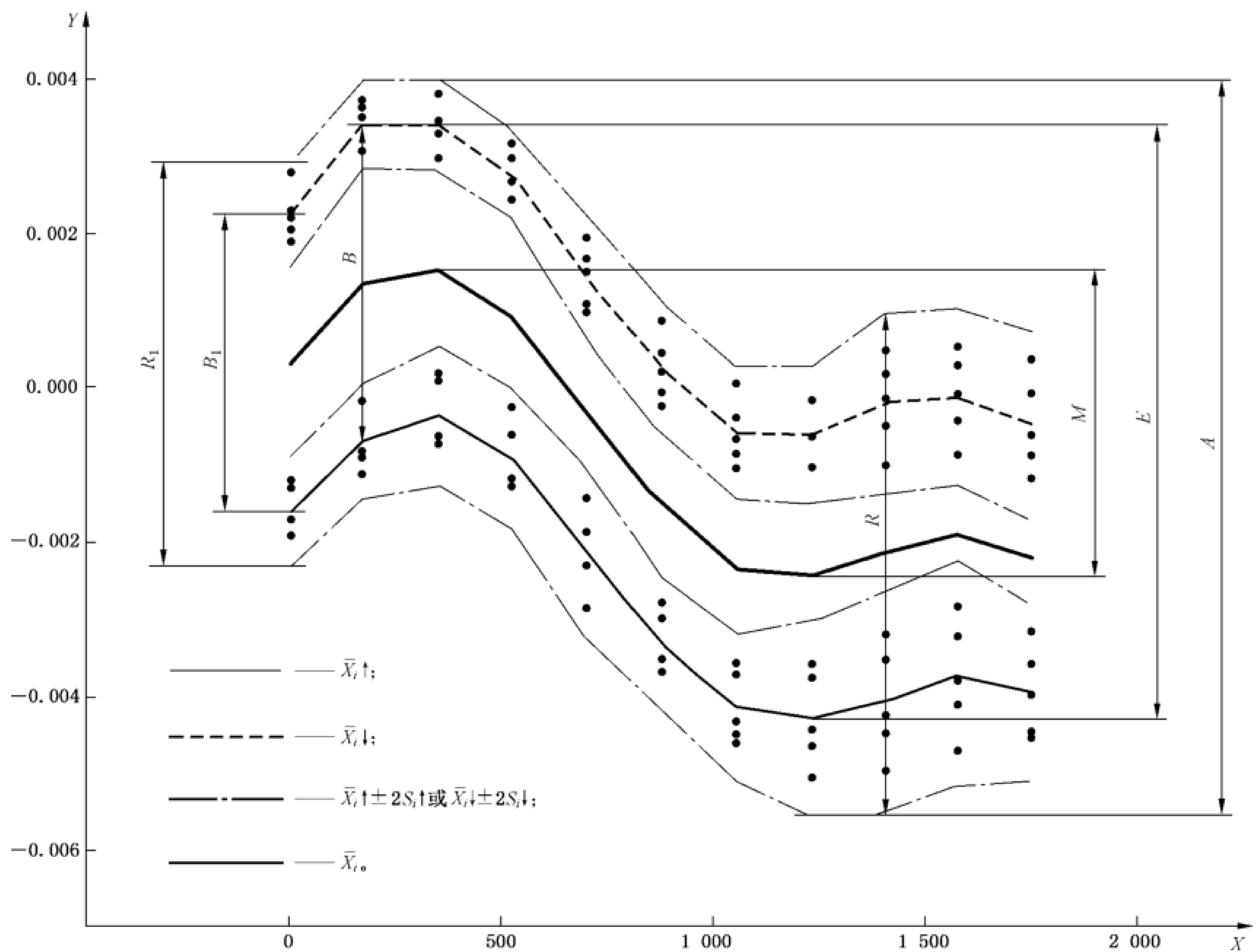
i		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11							
目标位置(P_i) mm		6.711		175.077		353.834		525.668		704.175		881.868		1 055.890		1 234.304		1 408.462		1 580.269		1 750.920							
趋近方向		↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑						
定位偏差 μm	$j=1$	2.3	-1.2	3.6	-0.5	3.5	0.2	3.0	-0.6	1.7	-1.9	0.4	-3.0	-0.4	-3.7	-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	-0.1	-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						
单向平均定位偏差(\overline{X}_i) μm		2.3		3.4		3.4		2.8		1.4		0.2		-0.6		-4.3		-0.2		-4.1		-0.1		-3.7		-0.5		-4.0	
标准不确定度估算值(S_i) μm		0.3		0.3		0.3		0.3		0.4		0.3		0.4		0.4		0.5		0.6		0.6		0.7		0.6		0.6	
$2S_i$ μm		0.7		0.5		0.6		0.6		0.8		0.9		0.8		0.9		1.2		1.5		1.1		1.5		1.3		1.1	
\overline{X}_i-2S_i μm		1.6		2.9		2.8		2.1		0.7		-0.6		-1.4		-1.5		-1.4		-5.6		-1.2		-5.2		-1.8		-5.1	
\overline{X}_i+2S_i μm		2.9		3.9		4.0		3.4		2.2		1.1		0.2		0.2		1.0		-2.6		1.0		-2.2		0.8		-2.8	
单向重复定位精度($R_i=4S_i$) μm		1.3		1.0		1.2		1.3		1.5		1.8		1.6		1.7		2.3		3.0		2.2		3.0		2.6		2.3	
反向误差(B_i) μm		-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) μm		5.2		5.3		5.3		5.2		5.5		5.3		5.3		5.8		6.6		6.2		5.9							

表 2 典型检验结果(轴线长度至 2 000 mm 的检验) (续)

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
双向平均定位偏差(\overline{X}_i) μm	0.3	1.4	1.5	0.9	−0.4	−1.6	−2.4	−2.5	−2.2	−1.9	−2.2
参数 mm	单向 ↓			单向 ↑			双向				
反向误差(B)	不适用			不适用			0.004±0.001 (在 $i=2$)($k=2$)				
平均反向误差(\overline{B})	不适用			不适用			−0.004				
双向平均定位系统误差范围 (M)	不适用			不适用			0.004±0.004 ($k=2$) [0.001 5−(−0.002 5)]				
定位系统误差(E)	0.004[0.003 4−(−0.000 6)]			0.004 [0.000 3−(−0.004 3)]			0.008±0.004 ($k=2$) [0.003 4−(−0.004 3)]				
重复定位精度(R)	0.003(在 $i=11$)			0.003(在 $i=10$)			0.007±0.002 ($k=2$)				
定位误差(A)	0.006[0.004 0−(−0.001 8)]			0.006[0.000 6−(−0.005 5)]			0.010±0.004 ($k=2$) [0.004 0−(−0.005 6)]				
注 1: 不确定度数值根据表 A.5;包含因子, k ,根据 3.9。											
注 2: 表中给出的数值均为四舍五入数值。											

表 3 补充图 2 和图 3 以图形表示的检验结果的检验报告信息示例

检验日期：	年/月/日		
检验员姓名：	×××		
机床名称、型号和编号：	××× 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	放置位置	开始温度 /℃	结束温度 /℃
用于 NDE 修正的材料传感器	工作台，中心	21.8	22.9
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		
在每一个目标位置停留时间：	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		
用于激光干涉仪补偿的空气条件，每 20 s 更新一次			
	放置位置	开始温度 /℃	结束温度 /℃
气温：	工作区域的中间位置	20.6	20.9
气压：	102.4 kPa		
空气湿度：	60%		



标引符号说明：

X ——位置，单位为毫米(mm)；

Y ——偏差，单位为毫米(mm)；

R_1 ——位置1处双向重复定位精度；

B_1 ——位置1处反向误差；

B ——轴线反向误差；

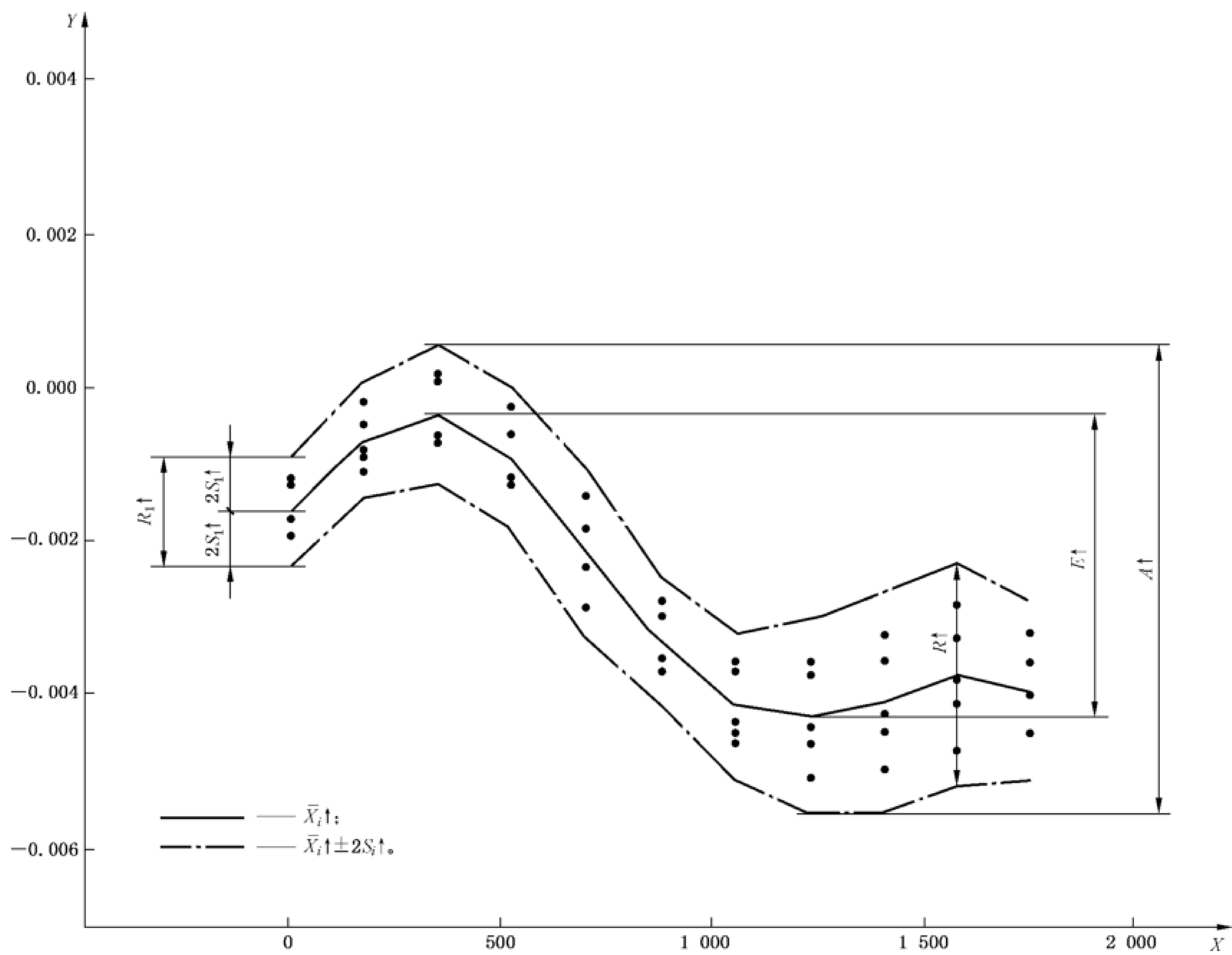
R ——轴线双向重复定位精度；

M ——轴线双向平均定位系统误差；

E ——轴线双向定位系统误差；

A ——轴线双向定位误差。

图2 双向定位误差和重复定位精度



标引符号说明：

- | | |
|--|-----------------------------|
| X —— 位置,单位为毫米(mm); | $R \uparrow$ —— 轴线单向重复定位精度; |
| Y —— 偏差,单位为毫米(mm); | $E \uparrow$ —— 轴线单向定位系统误差; |
| $R_1 \uparrow$ —— 位置 1 处单向重复定位精度; | $A \uparrow$ —— 轴线单向定位误差。 |
| $2S_i \uparrow$ —— 位置 1 处单向重复定位精度估算值的 2 倍; | |

图 3 单向定位精度和重复定位精度(正向趋近)

附录 A

(资料性)

线性定位测量的测量不确定度估算 简易方法

A.1 扩展测量不确定度的估算

测量不确定度的估算按 ISO/TR 230-9:2005 中附录 C 的程序和公式进行。在 ISO/TR 230-9:2005 中,估算按 ISO/IEC 指南 98-3:2008,即测量不确定度的促成因素用它们的标准不确定度 u 表示。合成标准不确定度 u_c 由标准不确定度组合而成,合成标准不确定度用于计算扩展测量不确定度 U 。

在本附录中,相关促成因素对测量不确定度的影响,如:测量装置的校正,用扩展测量不确定度 $U_{\text{校正}}$ 表示,尤其是借助表格,可直观展示它对扩展测量不确定度 U 的影响。相关促成因素对检验参数的影响,如:轴线双向定位系统误差 E ,用扩展测量不确定度 U_E 表示,结合相关扩展测量不确定度 U_X 进行评估。计算测量不确定度 U 时,取包含因子 $k=2$ 。

A.2 测量不确定度的促成因素

A.2.1 总则

测量不确定度的主要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})。

除了测量装置设置的重复性误差之外,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 10 mm 的范围内。

A.2.2 由测量装置产生的扩展不确定度 $U_{\text{装置}}$

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

建议使用经过校准的测量装置。如果校准证书上标明最大不确定度以微米(μm)为单位,则使用公式(A.1),如果校准证书上标明不确定度以微米每米($\mu\text{m}/\text{m}$)为单位,则使用公式(A.2)。

如果没有提供校准证书,而制造商注明的误差范围以微米每米为单位,则应使用公式(A.3)。一般而言,测量装置分辨力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 和公式(C.3)、公式(C.4)做出检测。

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

式中:

$U_{\text{装置}}$ ——由测量装置产生的扩展不确定度,单位为微米(μm);

$U_{\text{校准}}$ ——校准的不确定度,依据校准证书,单位为微米(μm),包含因子 $k=2$ 。

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

式中:

$U_{\text{装置}}$ ——由测量装置产生的扩展不确定度,单位为微米(μm);

$U_{\text{校准}}$ ——校准的不确定度,依据校准证书,单位为微米每米($\mu\text{m}/\text{m}$),包含因子 $k=2$;

L ——测量长度,单位为米(m)。

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

式中:

$U_{\text{装置}}$ ——由测量装置产生的扩展不确定度,单位为微米(μm);

$R_{\text{装置}}$ ——装置制造商提供的误差范围,单位为微米每米($\mu\text{m}/\text{m}$);

L ——测量长度,单位为米(m)。

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

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.2.3 和公式(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。这种影响是二阶的,然而如移位(失准)量大于 1 mm,并且如果机床被检轴线小于 300 mm,则会产生严重影响。公式(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准的话(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。

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

式中:

$U_{\text{移位}}$ ——由移位产生的扩展测量不确定度,单位为微米(μm);

$R_{\text{移位}}$ ——移位量,单位为毫米(mm);

L ——测量长度,单位为米(m)。

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

测量长度 mm	$U_{\text{移位}}$ μm					
	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扩展不确定度

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 ℃ 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。这项工作通常是在不易察觉下,由测量装置自动进行补偿。

对于本文件而言,补偿所需要的温度测量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,还需要机床(或工件)与测量装置的热膨胀系数。它们的不确定度是长度测量的不确定度的进一步促成因素。

A.2.4.2 和 A.2.4.3 是有关这些不确定度的估算。

A.2.4.2 由于温度测量产生的扩展不确定度

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

对温度测量而言,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。根据 8.1 的规定,需要在检验报告中注明温度测量点。

其他影响因素包括温度传感器的安装(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,这些影响表示为温度测量的可能误差范围。

注: 1 °C 的误差范围相应表示为 ±0.5 °C。

根据传感器制造商提供的操作说明,将温度传感器安装固定在代表性测量点上。传感器的可能误差范围可以用作估算测量不确定度。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,测量误差可能超过 4 °C。表 A.2 列出了温度传感器测量误差在不同测量长度上产生的影响情况。

表 A.2 温度测量误差的影响 U_M

测量长度 mm	$U_{M,装置}$ 和 $U_{M,机床}$ μm							
	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扩展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扩展测量不确定度 $U_{M,装置}$ 。由于机床温度测量产生的扩展测量不确定度仍然是长度测量不确定度的一个促成因素[见公式(A.5)]。

使用线性刻度尺时,如果刻度尺的热膨胀系数与机床(或工件)的系数值相同,由于线性刻度尺的热膨胀,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线性刻度尺之间的

温差。在将线性刻度尺安装到机床上之后的几分钟时间里,这个温差会显著地小于 0.1 ℃。对于由机床温度测量产生的扩展测量不确定度 $U_{M,机床}$ 而言,可以将这种可能温差用作公式(A.5)的温度范围。由于不用测量线性刻度尺的温度,因此可以将由测量装置温度测量产生的扩展测量不确定度 $U_{M,装置}$ 设为零值[见公式(A.6)]。

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

式中:

- $U_{M,机床}$

——由于机床温度测量产生的扩展测量不确定度,单位为微米(μm);
- α

——机床的膨胀系数,与在检轴线有关,单位为微米每米摄氏度[$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$];
- L

——测量长度,单位为米(m);
- $R(\theta)$

——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,单位为摄氏度($^\circ\text{C}$)。

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

式中:

- $U_{M,装置}$

——由于测量装置温度测量产生的扩展测量不确定度,单位为微米(μm)。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 ℃ 温度下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)的温度,则可以将 $U_{M,装置}$ 设为零值;
- α

——测量装置的膨胀系数,单位为微米每米摄氏度[$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$];
- L

——测量长度,单位为米(m);
- $R(\theta)$

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

A.2.4.3 由于膨胀系数产生的扩展不确定度

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

在实际中,机床和测量装置的膨胀系数来自手册或指南。实际的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,单位是微米每米摄氏度[$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]。通常,对于机床轴线的线性刻度尺而言,这个差别范围是 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: 2 $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 的误差范围相应表示为 $\pm 1 \mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

表 A.3 表示了 在轴线长度为 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。在 20 ℃ 测量时没有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。

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

表 A.3 由于热膨胀系数不确定度产生的测量不确定度（续）

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)
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
<p>注 1: $U_E = \text{系数} \times L$;</p> <p>注 2: U_E 的单位为微米(μm);</p> <p>注 3: L 的单位为米(m)。</p>					

应估算由于机床(或工件)的膨胀系数的可能误差而产生的扩展不确定度 $U_{E, \text{机床}}$ [见公式(A.7)], 以及由于测量装置的膨胀系数的可能误差而产生的扩展不确定度 $U_{E, \text{装置}}$ [见公式(A.8)]。如果测量装置的不确定度表达式中包括了不在 20 °C 温度测量的补偿不确定度, 则可将 $U_{E, \text{装置}}$ 设为零值。

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

式中:

$U_{E, \text{机床}}$ ——由于机床(或工件)热膨胀系数的可能误差产生的扩展测量不确定度, 单位为微米(μm);

ΔT ——与 20 °C 的差值, 单位为摄氏度(°C) $\Delta T = (T - 20)^\circ\text{C}$;

T ——机床或工件的温度, 单位为摄氏度(°C);

L ——测量长度, 单位为米(m);

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

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

式中:

$U_{E, \text{装置}}$ ——由于长度测量装置热膨胀系数的可能误差产生的扩展测量不确定度, 单位为微米(μm), 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 °C 温度测量的补偿不确定度), 则可以将 $U_{E, \text{装置}}$ 设为零值;

ΔT ——与 20 °C 的差值, 单位为摄氏度(°C), $\Delta T = (T - 20)^\circ\text{C}$;

T ——测量装置的温度, 单位为摄氏度(°C);

L ——测量长度, 单位为米(m);

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

A.2.5 由于环境变化误差 E_{VE} 产生的扩展不确定度 U_{EVE}

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.2.5 和公式(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。按 4.1 和 4.3 的要求,应该将这些变化的影响控制在最小范围内。

剩余影响可通过一个简单的试验得到检查。在开始长度测量之前,长度测量装置应先进行设置确保能观测到被测轴线最大距离,而设置应不受机床任何环境变化误差的影响,如,所有装置部件均直接固定在机床床身上或附近。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} ,为剩余环境变化误差,根据公式(A.9),它可以用作估算相应的不确定度。

在长度测量方向上和所需的大致测量时间里,如果已知机床工作台不受环境变化影响,可以将测量装置固定在工作台上进行检验。在这种情况下,长度测量装置用于测量机床夹持刀具部件与夹持工件部件之间的相对运动,移动至极限位置(最大距离),并在该位置进行环境变化误差测量。

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

式中:

U_{EVE} ——由于环境变化产生的扩展测量不确定度,单位为微米(μm);

E_{VE} ——环境变化误差试验的范围,单位为微米(μm)。

A.2.6 由于环境变化误差产生的重复定位精度值的修正

本条仅适用于 2 000 mm 行程及以下的测量。本条所使用的公式以第 4 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}),都将增加轴线重复测量的标准偏差,因而增加重复定位精度值 $R, R \uparrow$ 和 $R \downarrow$ 。如进行了环境变化误差试验,并且如果重复定位精度值在被检轴线较长测量长度上有效的話,那么重复定位精度值可按公式(A.10)进行修正:

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

式中:

- $S_{i, \text{修正后}} \uparrow, \downarrow$ ——单向轴线重复定位精度标准偏差 S_i 的修正估算值,由于环境影响进行修正;
- $S_i \uparrow, \downarrow$ ——单向轴线重复定位精度标准偏差的估算值(见 3.18);
- U_{EVE} ——由于环境变化产生的扩展测量不确定度;
- $R_{i, \text{修正后}} \uparrow, \downarrow$ ——在位置 i 的修正单向重复定位精度,由于环境影响进行修正;
- $R_{i, \text{修正后}}$ ——在位置 i 的修正双向重复定位精度,由于环境影响进行修正;
- $R_{\text{修正后}} \uparrow, \downarrow$ ——修正单向重复定位精度,由于环境影响进行修正;
- $R_{\text{修正后}}$ ——修正双向重复定位精度,由于环境影响进行修正。

A.3 参数 $A, A \uparrow, A \downarrow, E, E \uparrow, E \downarrow, R, R \uparrow, R \downarrow, B$ 扩展不确定度的估算

A.3.1 总则

A.3.2~A.3.6 所使用的公式以第 3 章和 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.4 为基础。对于线性轴线行程至 2 000 mm 时,假设正向运行 5 次和负向运行 5 次;对于线性轴线行程超过 2 000 mm 时,仅在正向

运行 1 次和负向运行 1 次。

考虑测量不确定度的下列主要促成因素：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_{VE})。

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

本条仅适用于 2 000 mm 行程及以下的测量。本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.4.2 和公式(C.13)为基础，见公式(A.11)。

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

式中：

$U(R \uparrow, R \downarrow)$ ——单向重复定位精度的扩展不确定度， $k=2,5$ 次测量，单位为微米(μm)。

A.3.3 反向误差扩展不确定度 $U(B)$ 的估算

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.4.3 和公式(C.14)为基础，见公式(A.12)和公式(A.13)。

a) 当轴线行程至 2 000 mm 时

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

式中：

$U(B)$ ——反向误差的扩展测量不确定度， $k=2,5$ 次测量，单位为微米(μm)。

b) 当轴线行程超过 2 000 mm 时

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

式中：

$U(B)$ ——反向误差的扩展测量不确定度， $k=2,1$ 次测量，单位为微米(μm)。

A.3.4 双向重复定位精度的扩展不确定度 $U(R)$

本条仅适用于 2 000 mm 行程及以下的测量。本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.4.4 和公式(C.15)为基础，见公式(A.14)。

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

式中：

$U(R)$ ——双向重复定位精度的扩展测量不确定度， $k=2,5$ 次测量，单位为微米(μm)。

A.3.5 定位系统误差的扩展不确定度 $U(M, E, E \uparrow, E \downarrow)$

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.4.5 和公式(C.16)为基础，见公式(A.15)至公式(A.18)。

a) 当轴线行程至 2 000 mm 时：

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

式中：

$U(E, E \uparrow, E \downarrow)$ ——定位系统误差的扩展测量不确定度， $k=2,5$ 次测量，单位为微米(μm)。

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

式中:

$U(M)$ ——双向平均定位系统误差 M 的扩展测量不确定度, $k=2,5$ 次测量, 单位为微米(μm)。

b) 当轴线行程超过 2 000 mm 时:

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

式中:

$U(E, E \uparrow, E \downarrow)$ ——定位系统误差的扩展测量不确定度, $k=2,1$ 次测量, 单位为微米(μm)。

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

式中:

$U(M)$ ——双向平均定位系统误差 M 的扩展测量不确定度, $k=2,1$ 次测量, 单位为微米(μm)。

A.3.6 定位误差的扩展不确定度 $U(A, A \uparrow, A \downarrow)$

本条所使用的公式以 ISO/TR 230-9:2005 中的 C.4.6 和公式(C.17)为基础, 见公式(A.19)。

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

式中:

$U(A, A \uparrow, A \downarrow)$ ——定位误差的扩展测量不确定度, $k=2,5$ 次测量, 单位为微米(μm)。

A.4 估算扩展不确定度的举例

本章给出了 4 个估算扩展测量不确定度的示例; 其中 2 个用于激光干涉仪测量, 其余 2 个用于线性刻度尺测量。对于上述两种测量装置, 都要分别在平均工业条件和改善工业条件下完成估算。

平均工业条件的定义如下(见表 A.4 和表 A.6):

- 测量装置未校准;
- 校正:
 - 对于激光干涉仪, 返回的光束要有足够的强度(不推荐);
 - 对于线性刻度尺, 通过一个侧面校正至 0.5 mm 之内;
- 车间温度在 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内;
- 温度测量:
 - 对于激光干涉仪, 机床温度测量的误差范围是 $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - 对于线性刻度尺, 与机床温度的差值是 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (通常在几分钟后达到此温度);
- 热膨胀系数的可能误差是 $2\text{ }\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$;
- 环境变化误差 E_{VE} 是 $1.7\text{ }\mu\text{m}$ 。

改善工业条件的定义如下(见表 A.5 和表 A.7):

- 测量装置已被校准;
- 校正:
 - 对于激光干涉仪, 返回的光束要校正至 1 mm 之内(推荐程序);
 - 对于线性刻度尺, 通过一个侧面校正至 0.5 mm 之内;
- 车间温度在 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内;
- 温度测量:
 - 对于激光干涉仪, 机床温度测量的误差范围是 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - 对于线性刻度尺, 与机床温度的差值是 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ (通常在 10 min 以内达到此温度);

- 热膨胀系数的可能误差是 $2\text{ }\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$;
- 环境变化误差 E_{VE} 是 $1.7\text{ }\mu\text{m}$, 尽管改善工业条件会显示更小的 E_{VE} 值。

在平均工业条件下,在轴线长度为 $1\,750\text{ mm}$ 和表 A.4、表 A.6 列明的条件下,使用激光干涉仪或线性刻度尺进行测量,得到定位误差的扩展测量不确定度 $U(A)$ 是 $15\text{ }\mu\text{m}$,定位误差 A 的表达式应是 $A=6\text{ }\mu\text{m}\pm 15\text{ }\mu\text{m}\text{ (}k=2\text{)}$ 。

在改善工业条件下,在轴线长度为 $1\,750\text{ mm}$ 和表 A.5、表 A.7 列明的条件下,使用激光干涉仪或线性刻度尺进行测量,得到定位误差的扩展测量不确定度 $U(A)$ 是 $4\text{ }\mu\text{m}$,定位误差 A 的表达式应是 $A=6\text{ }\mu\text{m}\pm 4\text{ }\mu\text{m}\text{ (}k=2\text{)}$ 。

表 A.8 举出了由于环境变化误差产生的不确定度而修正重复定位精度值的示例。

表 A.4 估算扩展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					
扩展测量不确定度估算,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	$\mu\text{m}/\text{m}$			
$U_{\text{装置}}$			3.6	μm	(A.3)
校正					
光束校正					
校正值,假设的	4.000	mm			
测量长度	1 751.000	mm			
$U_{\text{移位}}$			2.7	μm	(A.4)
工件温度补偿					
测量长度	1 751.000	mm			
热膨胀系数	12.000	$\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$			
与 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温差,最大值	5.000	$^{\circ}\text{C}$			
温度测量					
偏差,最大值	0.700	$^{\circ}\text{C}$			
$U_{\text{M,机床}}$			8.8	μm	(A.5)
$U_{\text{M,装置}}$	0,包含在 $U_{\text{装置}}$ 中				
膨胀系数的误差范围 $R(a)$	2.000	$\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$			
$U_{\text{E,机床}}$			10.5	μm	(A.7)
$U_{\text{E,装置}}$	0,包含在 $U_{\text{装置}}$ 中				
E_{VE} ,环境变化					
E_{VE}	1.700	μm			

表 A.4 估算扩展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)(续)

促成因素	参数	单位	U	单位	公式
U_{EVE}			1.0	μm	(A.9)
$U_{\text{R+},\text{R-}}$			2	μm	(A.11)
U_{B}			1	μm	(A.12)
U_{R}			2	μm	(A.14)
$U_{\text{E},\text{E+},\text{E-}}$			14	μm	(A.15)
U_{M}			14	μm	(A.16)
U_{A}			15	μm	(A.19)

表 A.5 估算扩展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					
扩展测量不确定度估算,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			
校准不确定度			1.0	$\mu\text{m}/\text{m}$	
$U_{\text{装置}}$			1.8	μm	(A.2)
校正					
光束校正					
校正值,假设的	1.000	mm			
测量长度	1 751.000	mm			
$U_{\text{移位}}$			0.2	μm	(A.4)
工件温度补偿					
测量长度	1 751.000	mm			
热膨胀系数	12.000	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$			
与 20 °C 的温差,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	μm	(A.5)
$U_{\text{M,装置}}$	0,包含在 $U_{\text{装置}}$ 中				
膨胀系数的误差范围 $R(a)$	2.000	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$			
$U_{\text{E,机床}}$			2.1	μm	(A.7)

表 A.5 估算扩展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)(续)

促成因素	参数	单位	U	单位	公式
$U_{E, \text{装置}}$	0, 包含在 $U_{\text{装置}}$ 中				
E_{VE} , 环境变化					
E_{VE}	1.700	μm			
U_{EVE}			1.0	μm	(A.9)
$U_{R+, R-}$			2.0	μm	(A.11)
U_B			0.9	μm	(A.12)
U_R			2.2	μm	(A.14)
$U_{E, E+, E-}$			3.7	μm	(A.15)
U_M			3.7	μm	(A.16)
U_A			4.2	μm	(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线性刻度尺进行线性定位测量)

定位测量					
扩展测量不确定度估算, 线性刻度尺测量					
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	μm	(A.3)
校正					
光束校正					
校正值, 假设的	0.500	mm			
测量长度	1 751.000	mm			
$U_{\text{移位}}$			0.0	μm	(A.2)
工件温度补偿					
测量长度	1 751.000	mm			
热膨胀系数	12.000	$\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$			
与 20 °C 的温差, 最大值	5.000	$^\circ\text{C}$			
温度测量					
偏差, 最大值	0.100	$^\circ\text{C}$			
$U_{M, \text{机床}}$			1.3	μm	(A.5)

表 A.6 估算测量不确定度的样例(平均工业条件下使用线性刻度尺进行线性定位测量)(续)

促成因素	参数	单位	<i>U</i>	单位	公式
<i>U</i> _{M,装置}	0,装置采用机床温度				
膨胀系数的误差范围 <i>R</i> (a)	2.000	μm/(m·℃)			
<i>U</i> _{E,机床}	2.000	μm/(m·℃)			
<i>U</i> _{E,装置}			10.5	μm	(A.7)
<i>E</i> _{VE} ,环境变化			10.5	μm	(A.8)
<i>E</i> _{VE}	1.700	μm			
<i>U</i> _{EVE}			1.0	μm	(A.9)
<i>U</i> _{R+,R-}			2	μm	(A.11)
<i>U</i> _B			1	μm	(A.12)
<i>U</i> _R			2	μm	(A.14)
<i>U</i> _{E,E+,E-}			15	μm	(A.15)
<i>U</i> _M			15	μm	(A.16)
<i>U</i> _A			15	μm	(A.19)

表 A.7 估算扩展测量不确定度的样例(改善工业条件下使用线性刻度尺进行线性定位测量)

定位测量					
扩展测量不确定度估算,线性刻度尺测量					
简易方法					
改善工业条件					
促成因素	参数	单位	<i>U</i>	单位	公式
装置					
测量长度	1 751.000	mm			
校准不确定度			1.0	μm/m	
<i>U</i> _{装置}			1.8	μm	(A.1)
校正					
光束校正					
校正值,假设的	0.500	mm			
测量长度	1 751.000	mm			
<i>U</i> _{移位}			0.0	μm	(A.4)
工件温度补偿					
测量长度	1 751.000	mm			
热膨胀系数	12.000	μm/(m·℃)			
与 20℃的温差,最大值	1.000	℃			
温度测量					

表 A.7 估算扩展测量不确定度的样例(改善工业条件下使用线性刻度尺进行线性定位测量)(续)

促成因素	参数	单位	U	单位	公式
偏差,最大值	0.050	℃			
$U_{M,机床}$			0.6	μm	(A.5)
$U_{M,装置}$	0,装置采用机床温度				
膨胀系数的误差范围 $R(a)$	2.000	μm/(m·℃)			
$U_{E,机床}$	2.000	℃			
$U_{E,装置}$			2.1	μm	(A.7)
E_{VE} ,环境变化			2.1	μm	(A.8)
E_{VE}	1.700	μm			
U_{EVE}			1.0	μm	(A.9)
$U_{R+,R-}$			2.0	μm	(A.11)
U_B			0.9	μm	(A.12)
U_R			2.2	μm	(A.14)
$U_{E,E+,E-}$			3.5	μm	(A.15)
U_M			3.5	μm	(A.16)
U_A			4.1	μm	(A.19)

表 A.8 由于环境变化误差产生的不确定度而修正重复定位精度值的样例

定位测量					
由 U_{EVE} 产生的 R 值的修正					
	参数	单位	U	单位	公式
E_{VE} ,环境变化					
E_{VE}	1.700	μm			
U_{EVE}			1.0	μm	(A.9)
重复定位精度值的修正	未修正	修正后			
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 典型结果得到的与 R 值相关的 $S+$ 值(在目标 9)	0.746	0.544	μm		(A.10)
根据表 2 典型结果得到的与 R 值相关的 $S-$ 值(在目标 9)	0.638	0.383	μm		(A.10)
根据表 2 典型结果得到与 R 值所相关的 B 值(在目标 9)	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)
阶梯循环

本附录描述了可供选择应用的阶梯循环(见图 B.1)。

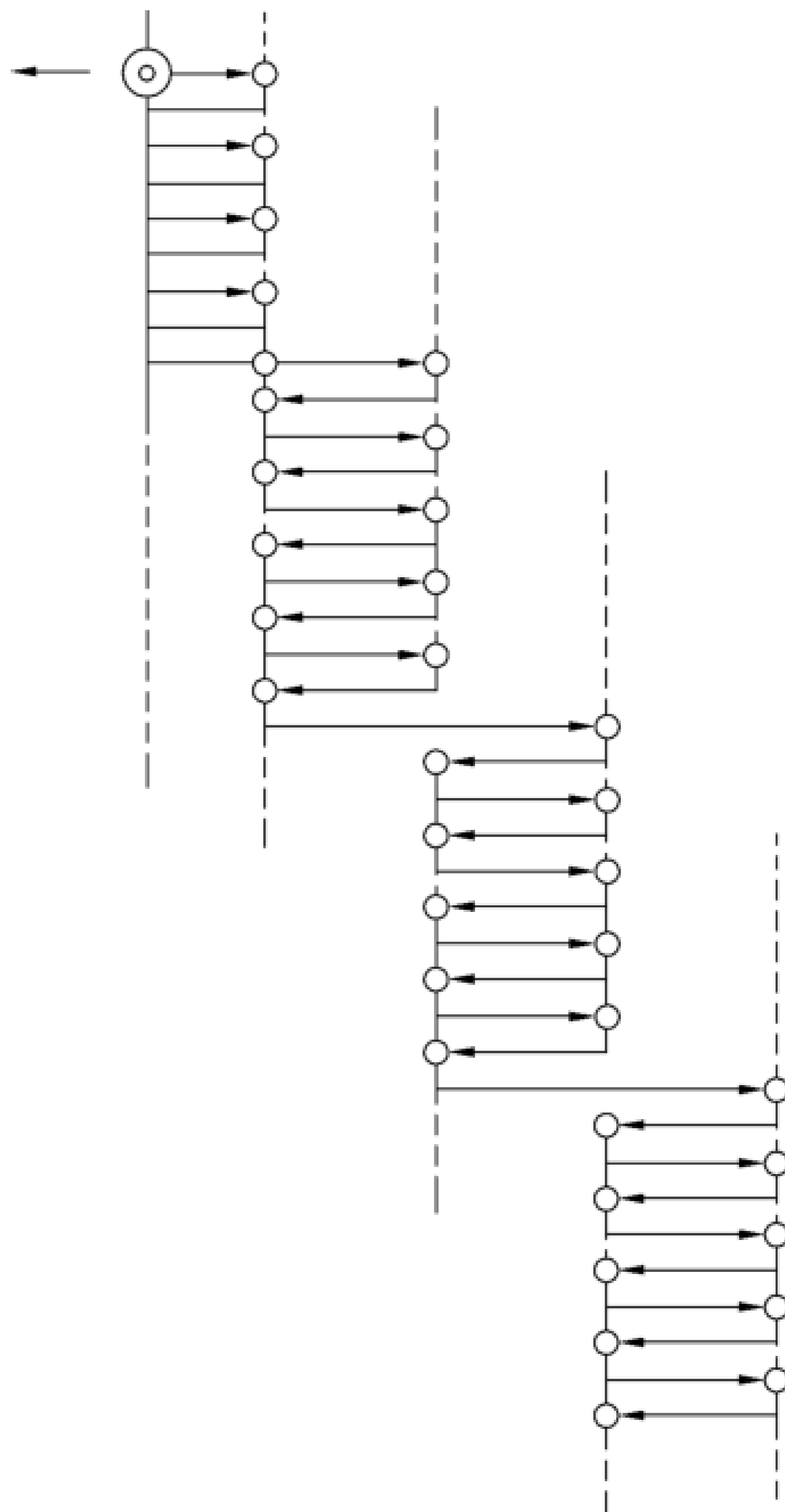


图 B.1 阶梯循环

在检验中使用阶梯循环与使用图 1(见 5.3.2)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映热影响,在检验期间,沿轴线的各个目标位置的热影响不同。测量中热影响在反向误差 B 和重复定位精度 R 上可能是明显的。

就阶梯循环来说,热影响在双向平均定位系统误差的范围 M 上也许是明显的,而机床的热性能对反向误差和重复定位精度影响很小。

附 录 C

(资料性)

周期性定位误差

C.1 总则

数控轴线的定位可能会受到周期性误差的影响,如与滚珠丝杠的螺距和线性或旋转传感器的节距相关的误差。

按 5.2,数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定是在选定目标位置上进行的,目标位置的选择是一个随机数 r 加上均匀的间隔,这样可确保由可能的周期性误差引起的周期性定位误差被充分采样。

本附录描述的试验(根据制造商/供方和用户之间的具体协议)将进一步研究与不同类型的线性或角度驱动器和位置反馈系统相关的可能出现的周期性误差的大小。

对于位置反馈系统,位置传感器直接测量移动部件之间的相对运动,周期性定位误差随着传感器的节距(例如,角度或线性编码器刻线间距或激光干涉仪标定的波长)在一定间隔周期性地产生,可通过在 C.2 中所述的方法进行充分采样。

对于直接连接滚珠丝杠和角度编码器的线性位置反馈系统,可能存在两个周期性误差:一个与滚珠丝杠的螺距相关,另一个与角度编码器刻线间距相关。在这种情况下,可按 C.2 分别进行研究,每一个都与已知的可能周期性误差间隔有关。

对于位置反馈环(例如,角度编码器位于电机轴,轴通过齿轮或皮带传动到滚珠丝杠驱动线性运动)中涉及两个或以上元件的其他线性(或角度)位置反馈系统,可能存在额外的周期性误差源,原则上应分别研究(见图 C.2)。然而,此类系统的规定性能通常并不严格,对周期性误差的广泛调查可能是不合理的。

对于使用不带整体轴承的角度编码器的角度位置反馈系统,测量刻度尺与被控回转轴之间的径向偏摆将导致一个周期性测量误差,其计算按公式(C.1):

$$\Delta\phi = \pm 412 \cdot \frac{r}{D} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

$\Delta\phi$ ——测量误差,单位为角秒(");

r ——刻度尺与回转轴之间的径向偏摆,单位为微米(μm);

D ——测量刻度尺的平均直径,单位为毫米(mm)。

测量误差 $\Delta\phi$,在整个回转轴回转周期内是周期性的,通常按 5.2 规定的试验进行检测。

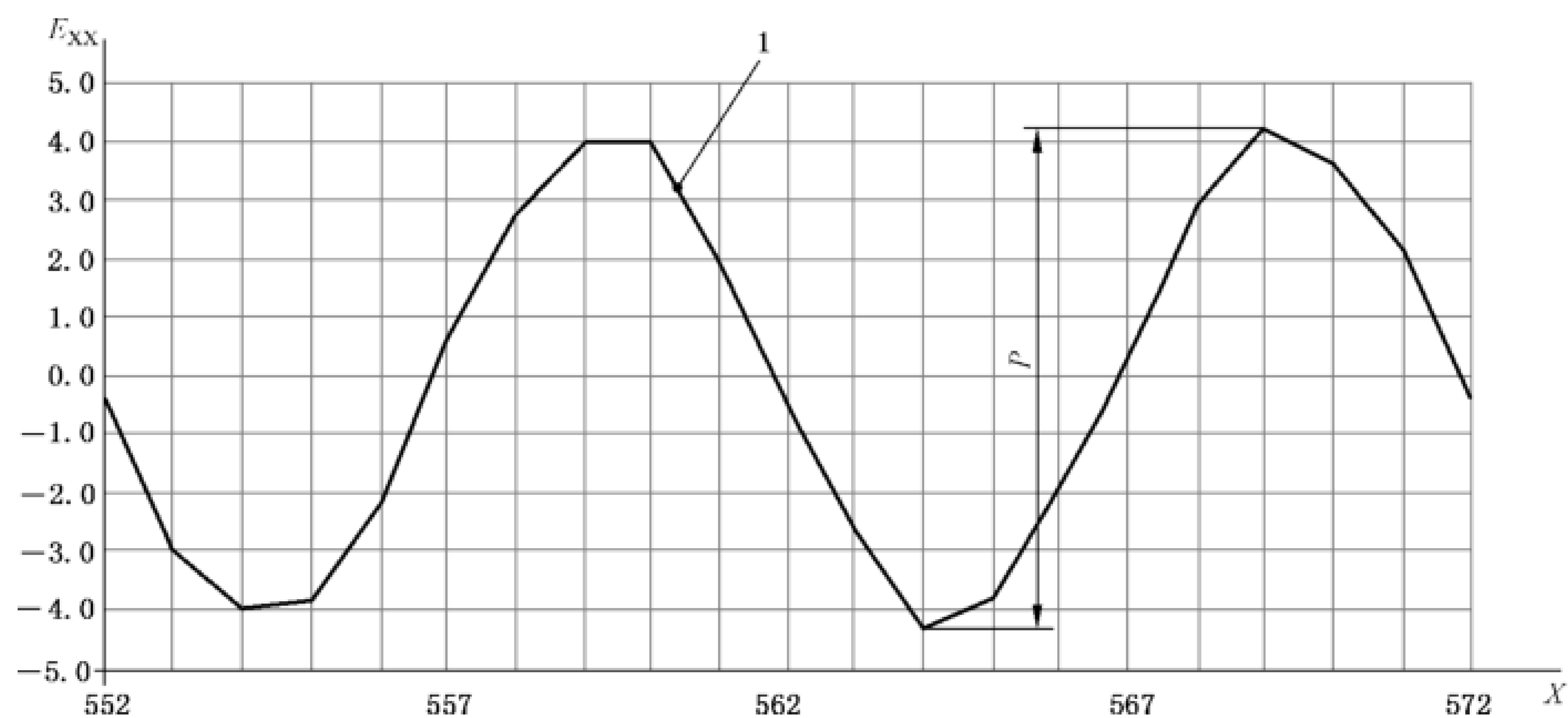
C.2 已知周期间隔的周期性定位误差

在有些情况下,用已知周期性误差分量间隔的约数来代替在 5.2 中规定的随机数 r 显得更为方便。

用于本试验的装置和仪器可与在 5.3.1 中所述的用于确定定位误差和重复定位精度的装置和仪器相同。

在预期周期性误差的两个周期内选择至少 21 个均匀分布的目标位置。在全部目标位置进行 1 次单向测量。

周期性线性定位误差 P (线性或角度误差)为测量的定位偏差的总范围,如图 C.1 所示,提供了一个带有间接测量系统和螺距为 10 mm 的滚珠丝杠的机床的周期性误差测量结果示例。

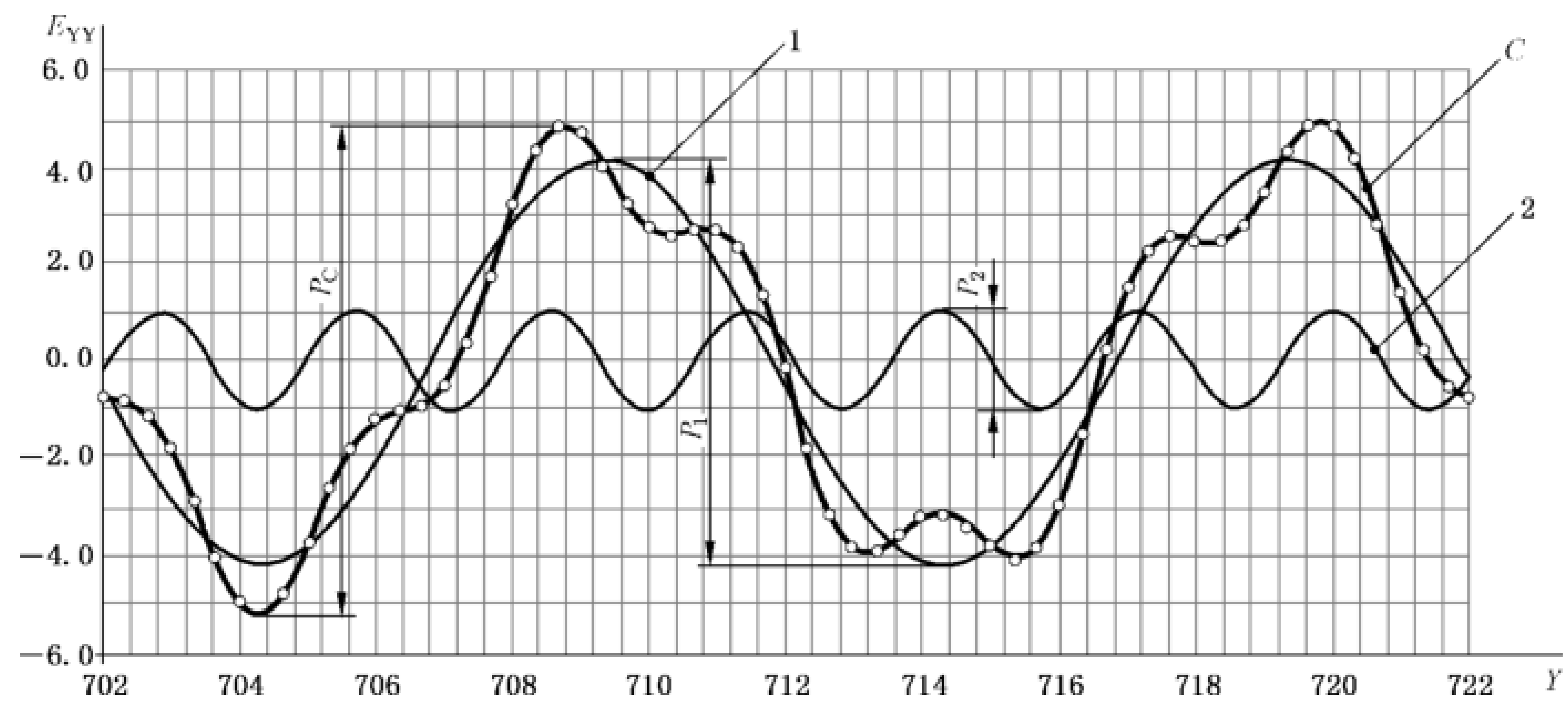


标引说明：
X —— X 轴位置，单位为毫米(mm)；
 E_{XX} —— 线性定位误差，单位为微米(μm)；
1 —— 实测偏差曲线图；
P —— 周期性线性定位误差。

图 C.1 配有螺距为 10 mm 的滚珠丝杠，电机直接驱动，角度编码器安装在电机轴上的 X 轴周期性线性定位误差示例

如果位置反馈环包括电机轴上的角度编码器和从轴到驱动线性运动的滚珠丝杠之间的齿轮或皮带传动，则存在额外的周期性误差源。

图 C.2 显示了由传动比 3.5 : 1 的齿轮或皮带的传动缺陷以及螺距为 10 mm 的滚珠丝杠周期误差相结合所引起的周期性误差。



标引说明：
Y —— Y 轴位置，单位为毫米(mm)；
 E_{YY} —— 线性定位误差，单位为微米(μm)；
1 —— 滚珠丝杠周期误差；
2 —— 与 3.5 : 1 传动比相关的周期误差；
C —— 综合实测偏差曲线图；
 P_1 —— 滚珠丝杠周期性线性定位误差；
 P_2 —— 齿轮周期性线性定位误差；
 P_C —— 综合周期性线性定位误差。

图 C.2 配有螺距为 10 mm 的滚珠丝杠，电机通过传动比 3.5 : 1 驱动，角度编码器安装在电机轴上的 Y 轴周期性线性定位误差示例

附录 D
(资料性)

用标准球阵列或步距规进行线性定位误差测量

D.1 总则

本附录所述的试验取决于机床工作空间内多个距离的测量。测量采用在已知位置定位的球构成 1 维和 2 维球阵列(见图 D.1 和图 D.2)的基准检具或步距规。

检具球在机床坐标系的位置由位移测量系统或表面探测系统确定,简称“探测系统”,配合机床位置传感器使用。将检具球中心实测位置与校准的位置进行对比就得出机床误差运动所产生的偏差。

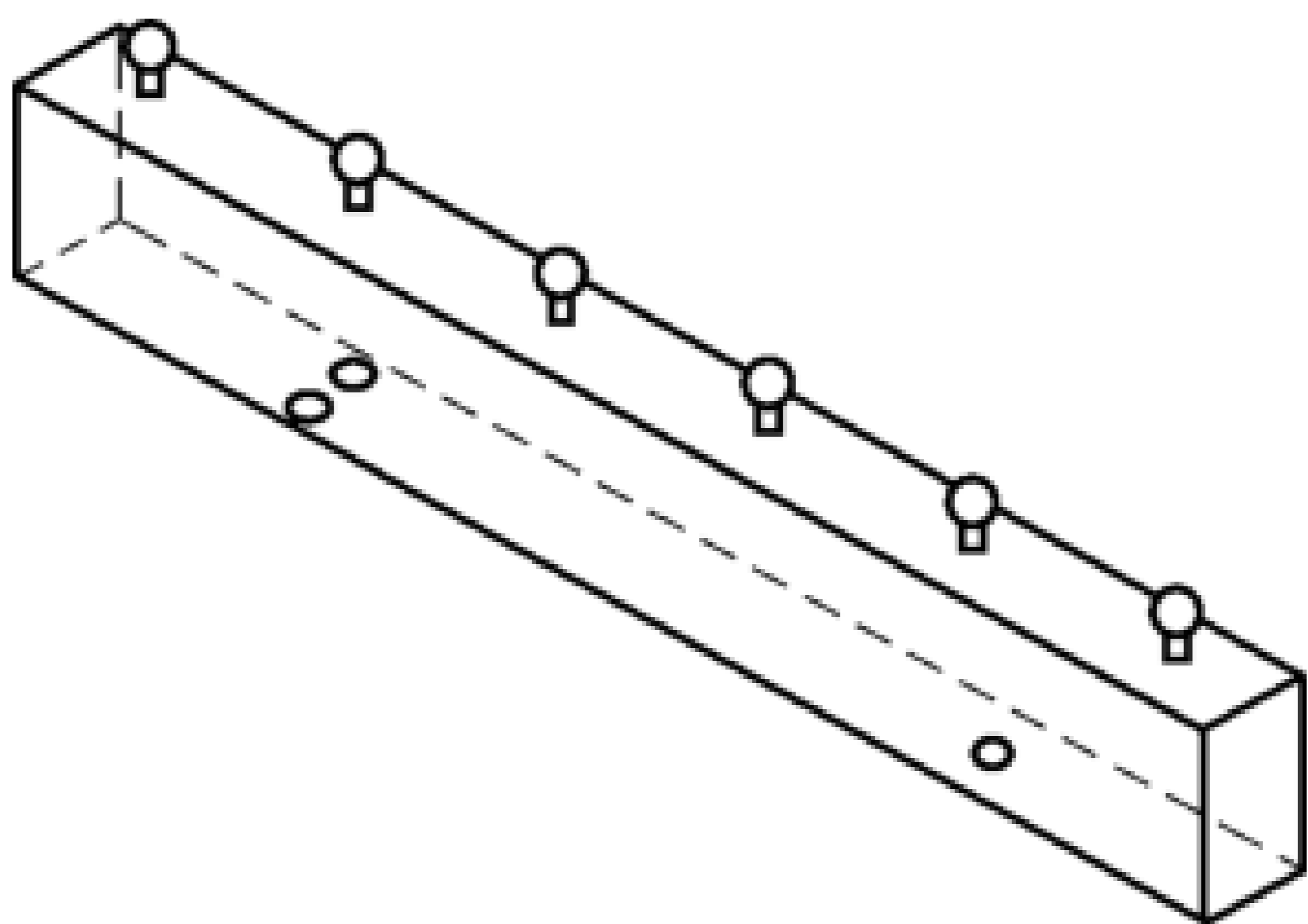


图 D.1 1 维球阵列

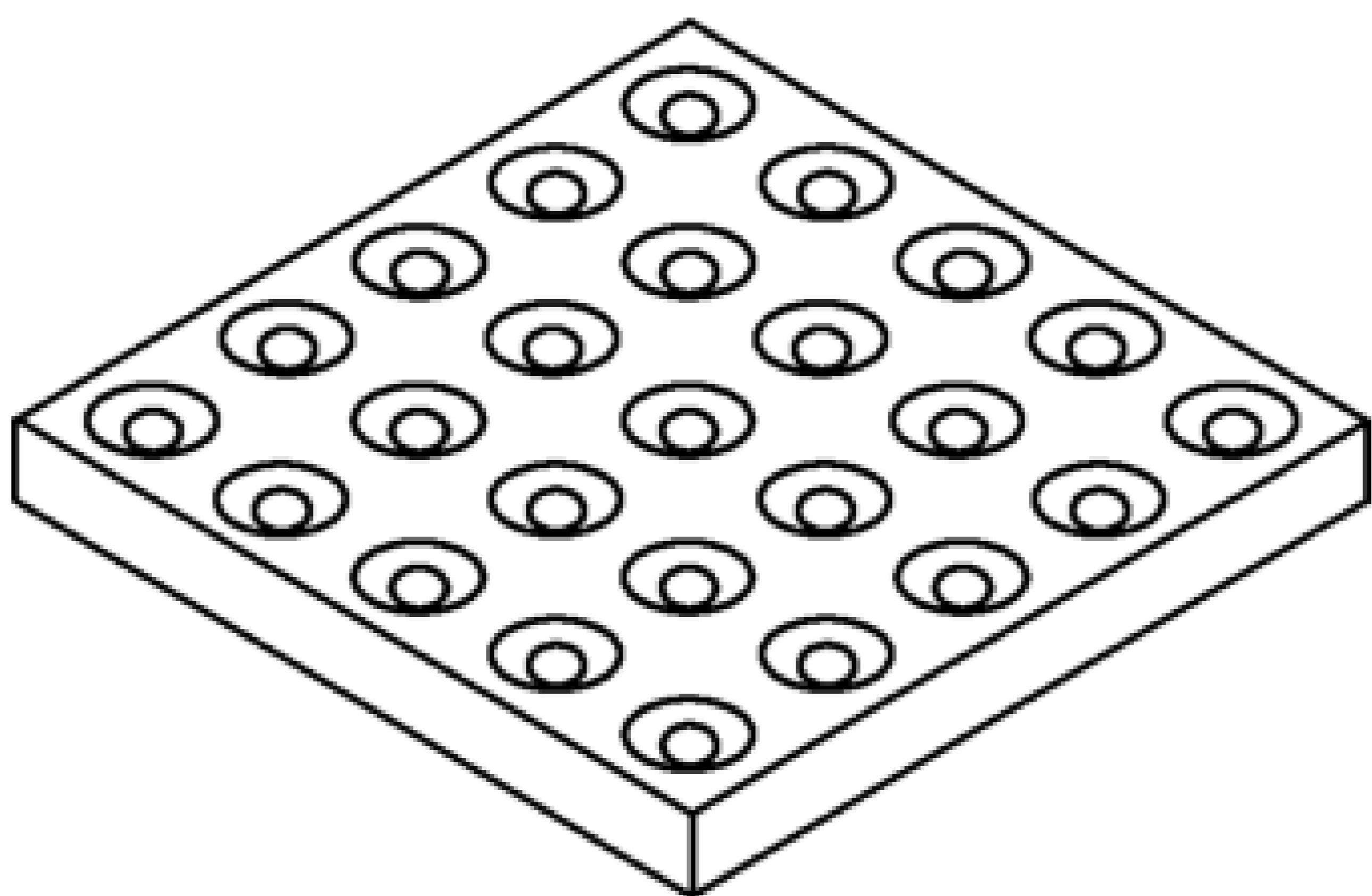


图 D.2 2 维球阵列

1 维和 2 维球阵列检具已经商用。它们的校准文件中通常包含下列数据:

- 每个球的中心位置,及相关的测量不确定度;
- 球的尺寸和形状的测量不确定度;
- 检具的热膨胀系数和(如有)相关的不确定度评估。

每个球的校准中心位置通常并不是等间距,因此部分满足 5.2 规定的随机分量 r 的要求。

基准距离也可通过校准的步距规提供。

经校准的步距通常被认为是完全等距的,因此不一定满足 5.2 规定的随机分量 r 的要求。

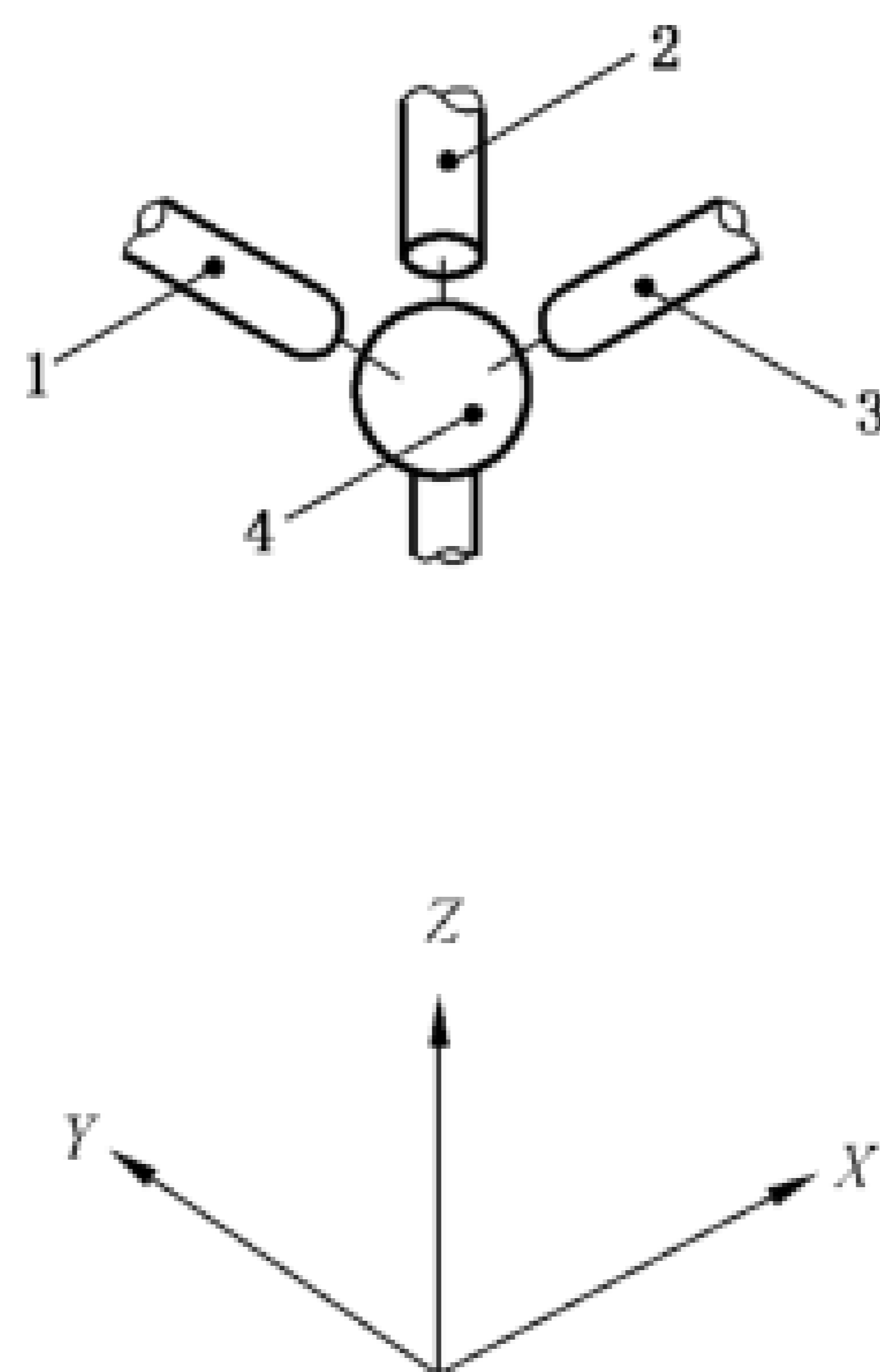
基准检具安装到机床夹持刀具的部件上,并按制造商/供方的使用说明书将其与被测运动轴线对齐。

与之配套的测量仪器有:接触式触发测头,线性位移传感器,线性位移多传感器装置(见图 D.3)。

D.2 用球阵列和线性位移多传感器装置测量

线性位移多传感器装置(如图 D.3)已经商用。它们通常能够确定已知尺寸球体相对于多传感器装置预先设定的参考点的中心位置。

按制造商/供方的使用说明书将多传感器装置固定在机床夹持刀具部件上并校正。在规定的测量范围内,球体中心点与多传感器装置参考点可充分相对运动(3 个正交方向上)。



- 标引序号说明：
- 1、2、3——安装的线性位移传感器(刀具侧)；
 - 4 ——基准检具上的检验球(工件侧)。

图 D.3 使用线性位移多传感器装置测量

测量时,根据图 1 所述的检验程序(见 5.3.2),将机床轴线被程控移动至每一个球的校准中心位置。定位偏差由多传感器装置系统计算并记录,检验结果表达按第 8 章的规定。

用球阵列和线性位移多传感器装置测量也可提供有关直线度偏差的有用信息。然而,鉴于本附录所述的试验目的,仅考虑沿被测轴线的定位偏差。

在估算整体测量不确定度时,应考虑装置内传感器的测量不确定度,以及基准检具相关的测量不确定度。

D.3 用球阵列或步距规和接触式触发测头测量

用接触式触发探测系统结合标准球阵列或步距规也能对线性轴线定位精度和重复定位精度进行测量。

参照 ISO 230-10 的规定确定探测系统的性能。

通过将实测位置与校准的基准检具的相关位置进行比较来评定测量结果。

采用接触式触发测头进行测量不能提供双向定位误差和双向重复定位精度的相关信息。

虽然通过本章所述的试验能得到定位误差方面有价值的信息,但其结果仍不能与按第 5 章和第 6 章的要求得到的结果进行直接比较。

当采用步距规时,也可使用带有球形触点的线性位移测量仪连接至机床主轴端。

附 录 E
(资料性)
最小增量步长

E.1 总则

机床被设计为可在各种进给速度下,沿各个运动轴的行程范围内运行。沿单个运动轴定位的一个重要方面是定位的分辨力,被称为最小增量步长或最小定位增量。该性能限制了机床在位置上进行微小修正的能力。这些小的修正对各种因素产生的定位误差的数值补偿是必要的,例如滚珠丝杠螺距、反向误差、热变形、几何误差(如轴线的直线度、垂直度、平行度以及同轴度)。

通常,最小增量步长可取决于定位反馈装置的分辨力、数控算法,以及机床结构(例如摩擦力、预加载荷等)和机床状况。

通过最小增量步长检验确定机床能在一定时间段内定位的最小增量。该项检验通常不包括在验收检验中。

E.2 检验条件

下述检验设备和程序适用于所有线性运动轴线。类似的程序也可用于回转运动轴线。

任何具有较小的机械或电气滞后(小于等于预期最小增量步长的 20%)和较短的测量范围的仪器均可以用来测量轴线的最小定位增量。

例如:

- 带有定位误差光学元件的激光干涉仪;
- 非接触位移传感器,例如涡流式或电容式;
- 高分辨力线性差动变压器(LVDT)接触式测量装置。

检验工具安装在可测量刀具与工件之间位移的位置。如果适用,任何刀具和工件主轴都通过伺服控制或外部机构(支架,磁铁等)锁紧。

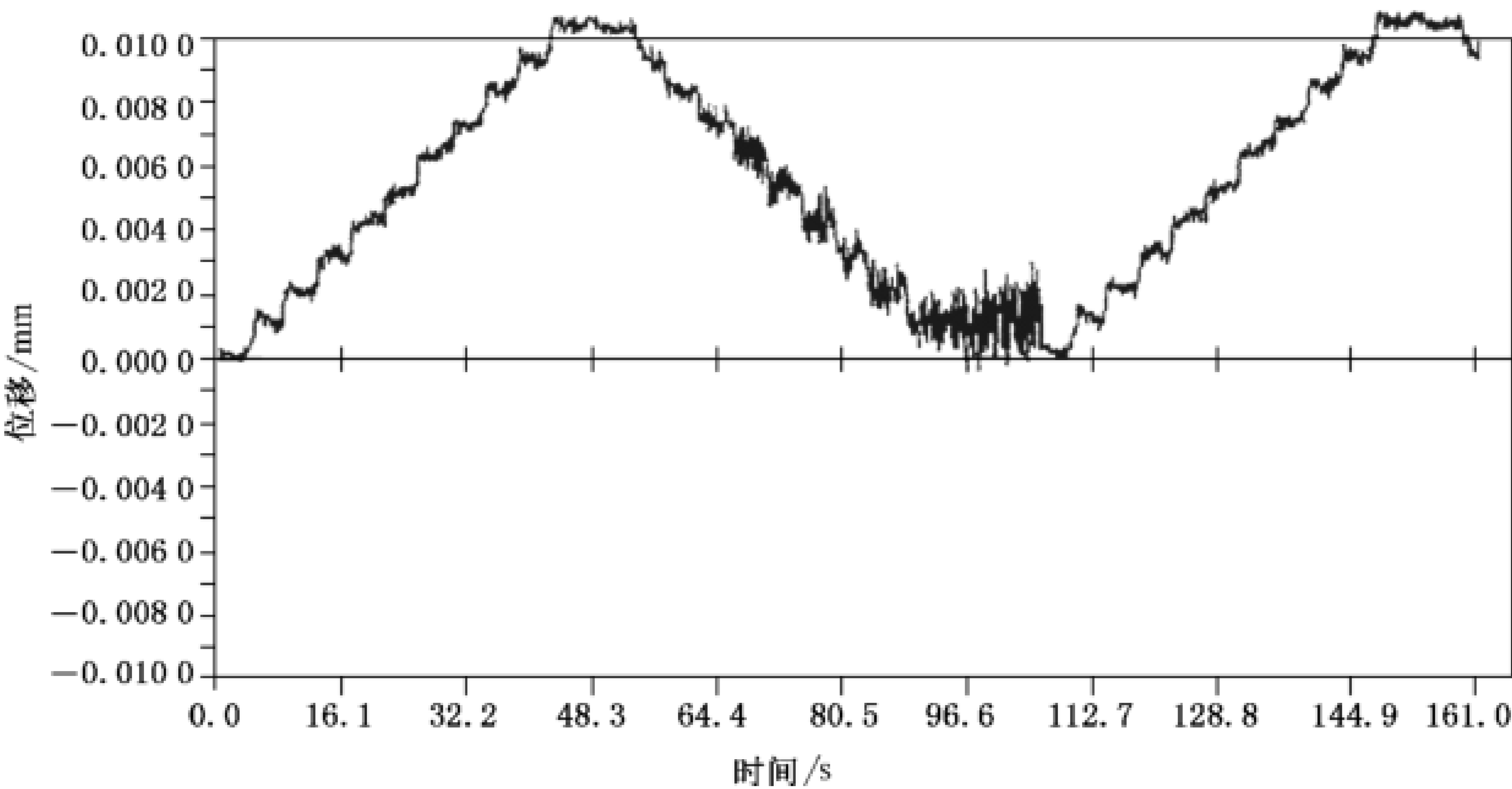
机床轴线编程为沿正方向以特定定位分辨力移动 10 步,到达每个目标后停留 5 s。同样地沿负方向重复移动 10 步,然后再次沿正方向移动。

如果在 10 步以后没有检测到任何移动,则增大步长并重复整个测试。

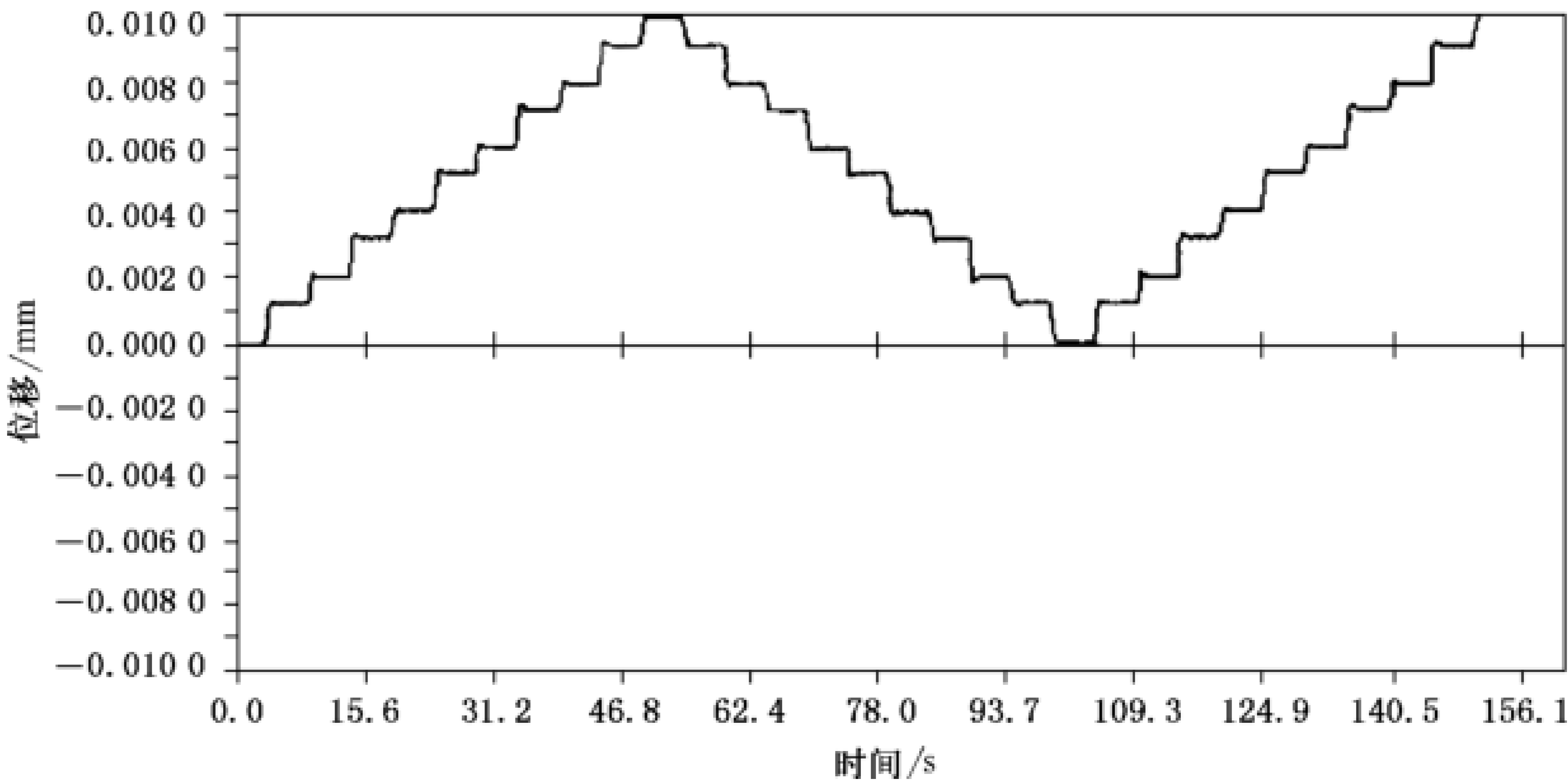
最小增量步长是指令位置与实际位置之差的最大绝对值加上定位分辨力(即本次检验中使用的步长)。

众所周知,趋近第一个目标的距离大小和方向会影响检验结果。为实现检验的可重复性,应约定并报告趋近的距离大小和方向。

或者,可采用动态采集的方式进行测试,例如使用激光干涉仪。在这种情况下,在步长逐渐增加的过程中重复整个测试(30 步)直到机床轴的位置具有清晰可辨(可计数的)的步长,并且由于超调、稳定、反向误差和振动造成的无关的机床运动不会超过指令步长。最先满足这些要求的步长大小为最小增量步长,图 E.1 给出了最小增量步长检验结果的示例。



a) 不满足 0.001 mm 最小增量步长的轴线—没有可明确分辨(可计数的)的步长



b) 满足 0.001 mm 最小增量步长的轴线—可明确分辨(可计数的)的步长

图 E.1 最小增量步长检验结果示例

参 考 文 献

- [1] ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement—Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement(GUM:1995)
 - [2] ISO/IEC Guide 99:2007, International vocabulary of metrology—Basic and general concepts and associated terms(VIM)
 - [3] ISO 230-3:2007, Test code for machine tools—Part 3: Determination of thermal effects
 - [4] ISO 230-10, Test code for machine tools—Part 10: Determination of the measuring performance of probing systems of numerically controlled machine tools
 - [5] ISO/TR 16015, Geometrical product specifications (GPS)—Systematic errors and contributions to measurement uncertainty of length measurement due to thermal influences
 - [6] ISO/TR 16907:2015, Numerical compensation of machine tool geometric errors
 - [7] ANSI B89.6.2, Temperature and Humidity Environment for Dimensional Measurement
 - [8] ASME B5.54, Methods for Performance Evaluation of Computer Numerically Controlled Machining Centers
 - [9] VDI/DGQ 3441:1982, Statistical Testing of the Operational and Positional Accuracy of Machine Tools—Basis
-

www.bzxz.net

免费标准下载网