



中华人民共和国国家标准

GB/T 17421.3—2009/ISO 230-3:2001

机床检验通则 第3部分:热效应的确定

Test code for machine tools—Part 3: Determination of thermal effects

(ISO 230-3:2001, IDT)

2009-04-13 发布

2010-01-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
机床检验通则 第3部分:热效应的确定
GB/T 17421.3—2009/ISO 230-3:2001

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

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 字数 54 千字
2009年8月第一版 2009年8月第一次印刷

*

书号: 155066 · 1-38233 定价 30.00 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)68533533



GB/T 17421.3—2009

前 言

GB/T 17421《机床检验通则》分为以下九个部分:

- 第1部分:在无负荷或精加工条件下机床的几何精度;
- 第2部分:数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定;
- 第3部分:热效应的确定;
- 第4部分:数控机床的圆检验;
- 第5部分:噪声发射的确定;
- 第6部分:对角线位移检验;
- 第7部分:回转轴线的几何精度检验;
- 第8部分:振动级别的确定;
- 第9部分:GB/T 17421 机床检验系列标准的测量不确定性评估的基本方程式。

本部分为 GB/T 17421 的第3部分。

本部分等同采用 ISO 230-3:2001《机床检验通则 第3部分:热效应的确定》(英文版)。

本部分与 ISO 230-3:2001 相比,编辑性修改内容如下:

- 将“国际标准的本部分”改为“本部分”;
- 用小数点符号“.”代替作为小数点的逗号“,”;
- 删除了国际标准的前言和引言;
- 对 ISO 230-3:2001 引用的其他国际标准,有被采用为我国标准的用我国标准代替对应的国际标准,未被采用为我国标准的仍采用国际标准;
- 第2章规范性引用文件中用 ISO 1:2002《产品几何量技术规范(GPS) 产品几何量技术规范的标准基准温度和检验》替换 ISO 230-3:2001 中引用的 ISO 1:1975《工业长度测量的标准基准温度》;
- 将适用于国际标准的表述改为适用于我国标准的表述。

本部分的附录 A、附录 B 和附录 C 为资料性附录。

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分由全国金属切削机床标准化技术委员会(SAC/TC 22)归口。

本部分起草单位:沈阳机床(集团)有限责任公司、北京机床研究所、北京铣床研究所、天水星火机床有限责任公司。

本部分主要起草人:王兴海、李祥文、张维、张连娣、胡瑞琳、李维谦、王惠芳。

本部分为首次发布。

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 简要说明	4
5 环境温度变化误差(ETVE)的检验	7
6 由主轴旋转引起的热变形	10
7 由线性轴线运动引起的热变形	13
附录 A (资料性附录) 位移传感器信息	18
附录 B (资料性附录) 需要的位移传感器数量的指南	21
附录 C (资料性附录) 机床环境温度的指南	25
参考文献	27

机床检验通则 第3部分:热效应的确定

1 范围

GB/T 17421 的本部分规定了三种热变形检验,即:

- 环境温度变化误差(ETVE)检验;
- 由主轴旋转引起的热变形检验;
- 由线性轴移动引起的热变形检验。

由线性轴移动引起的热变形检验(见第7章)仅适用于数控机床,并用来量化轴线的热膨胀及收缩对定位精度和重复定位精度的影响程度。由于实际原因,在第7章描述的检验方法适用于线性轴线行程至2 000 mm的机床,如果用于轴线行程大于2 000 mm的机床,那么在每个轴的正常工作范围内选定一个有代表的2 000 mm长度来进行检验。

应当注意,对于本部分所描述的检验没有给出具体的公差值。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过GB/T 17421的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 17421.1—1998 机床检验通则 第1部分:在无负荷或精加工条件下机床的几何精度(eqv ISO 230-1:1996)

GB/T 17421.2—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(eqv ISO 230-2:1997)

GB/T 17421.4—2003 机床检验通则 第4部分:数控机床的圆检验(ISO 230-4:1996, IDT)

ISO 1:2002 产品几何量技术规范(GPS) 产品几何量技术规范的标准基准温度和检验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于GB/T 17421的本部分。

3.1

机床标尺 machine scale

与机床成为一体用来测量机床线性轴线或旋转轴线位置的测量系统。

3.2

名义热膨胀差值(NDE) nominal differential thermal expansion

由于非20℃的温度所引起的被测物体的估计热膨胀值和检验仪器的估计热膨胀值之差。

3.3

名义热膨胀差值的不确定度(u_{NDE}) uncertainty of nominal differential thermal expansion

由被测物体和检验仪器的热膨胀系数不确定度引起的综合热不确定度。

注:其值由被测物体名义热膨胀不确定度的平方与检验仪器名义热膨胀不确定度的平方两者之和的均方根得出。

3.4

环境温度变化误差[ETVE¹⁾] environmental temperature variation error

指在机床性能测量过程中的任意时间段,只是对由环境温度引起的可能的最大测量不确定度进行

1) 在此条定义中,按国际标准组织术语要求,应使用术语“偏差(deviation)”代替“误差(error)”,然而由于使用ETVE的历史长久,作为对国际标准组织术语的一个例外,委员会同意保留这一术语。

评估。

注：在本部分中，符号 $ETVE_{(Z, 8\text{ }^{\circ}\text{C})}$ 表示 $ETVE$ 值是沿 Z 方向，并且环境温度变化为 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时获得的值。

3.5

环境温度变化误差引起的不确定度(u_{ETVE}) uncertainty due to environmental temperature variation error
指在机床性能测量过程中，由于环境温度的变化而使机床发生变化引起的标准不确定度。

注 1：其值由 $ETVE$ 的平方除以 12 的均方根得出。

注 2：由环境温度变化误差引起的机床不确定度的评估按照第 5 章环境检验进行。

3.6

综合标准热不确定度²⁾(u_{CT}) combined standard thermal uncertainty²⁾

指在长度测量时由于非 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 稳定均匀的环境温度下引起的综合不确定度。

注 1：综合标准热不确定度由环境温度变化误差的不确定度(u_{ETVE})、温度测量的不确定度(u_{TM})和名义热膨胀差值(u_{NDE})的平方和的均方根得出。

注 2：综合标准热不确定度的评定详述见 ISO/TR 16015。

3.7

$d_{X1,60}$

指在最初 60 min 内检验主轴旋转引起的热变形时，沿 X 轴方向，在距主轴端部 P1 位置处测得的位移范围。

3.8

$d_{X1,t}$

指在整个主轴运转时间(t)内检验主轴旋转引起的热变形时，沿 X 轴方向，在距主轴端部 P1 位置处测得的位移范围。

3.9

$d_{X2,60}$

指在最初 60 min 内检验主轴旋转引起的热变形时，沿 X 轴方向，在距主轴端部 P2 位置处测得的位移范围。

3.10

$d_{X2,t}$

指在整个主轴运转时间(t)内检验主轴旋转引起的热变形时，沿 X 轴方向，在距主轴端部 P2 位置处测得的位移范围。

3.11

$d_{Y1,60}$

指在最初 60 min 内检验主轴旋转引起的热变形时，沿 Y 轴方向，在距主轴端部 P1 位置处测得的位移范围。

3.12

$d_{Y1,t}$

指在整个主轴运转时间(t)内检验主轴旋转引起的热变形时，沿 Y 轴方向，在距主轴端部 P1 位置处测得的位移范围。

3.13

$d_{Y2,60}$

指在最初 60 min 内检验主轴旋转引起的热变形时，沿 Y 轴方向，在距主轴端部 P2 位置处测得的位移范围。

2) 此术语等同于 ISO/TR 16015^[1] 中的定义“由热效应引起的综合标准尺寸不确定度”。

3.14

 $d_{Y2,t}$

指在整个主轴运转时间(t)内检验主轴旋转引起的热变形时,沿 Y 轴方向,在距主轴端部P2位置处测得的位移范围。

3.15

 $d_{Z,60}$

指在最初60 min内检验主轴旋转引起的热变形时,沿 Z 轴方向测得的位移范围。

3.16

 $d_{Z,t}$

指在整个主轴运转时间(t)内检验主轴旋转引起的热变形时,沿 Z 轴方向测得的位移范围。

3.17

 $d_{A,60}$

指在最初60 min内检验主轴旋转引起的热变形时,测得的绕 X 轴转动的角度偏差范围。

3.18

 $d_{A,t}$

指在整个主轴运转时间(t)内检验主轴旋转引起的热变形时,测得的绕 X 轴转动的角度偏差范围。

3.19

 $d_{B,60}$

指在最初60 min内检验主轴旋转引起的热变形时,测得的绕 Y 轴转动的角度偏差范围。

3.20

 $d_{B,t}$

指在整个主轴运转时间(t)内检验主轴旋转引起的热变形时,测得的绕 Y 轴转动的角度偏差范围。

3.21

 $e1_{x,+}$

在检验周期内,沿 $+X$ 轴方向上在目标位置1处测得总的热漂移范围。

3.22

 $e1_{x,-}$

在检验周期内,沿 $-X$ 轴方向上在目标位置1处测得总的热漂移范围。

3.23

 $e2_{x,+}$

在检验周期内,沿 $+X$ 轴方向上在目标位置2处测得总的热漂移范围。

3.24

 $e2_{x,-}$

在检验周期内,沿 $-X$ 轴方向上在目标位置2处测得总的热漂移范围。

3.25

 $e1_{y,+}$

在检验周期内,沿 $+Y$ 轴方向上在目标位置1处测得总的热漂移范围。

3.26

 $e1_{y,-}$

在检验周期内,沿 $-Y$ 轴方向上在目标位置1处测得总的热漂移范围。

3.27

 $e2_{y,+}$

在检验周期内,沿 $+Y$ 轴方向上在目标位置2处测得总的热漂移范围。

3.28

 $e_{2y,-}$

在检验周期内,沿-Y轴方向上在目标位置2处测得总的热漂移范围。

3.29

 $e_{1z,+}$

在检验周期内,沿+Z轴方向上在目标位置1处测得总的热漂移范围。

3.30

 $e_{1z,-}$

在检验周期内,沿-Z轴方向上在目标位置1处测得总的热漂移范围。

3.31

 $e_{2z,+}$

在检验周期内,沿+Z轴方向上在目标位置2处测得总的热漂移范围。

3.32

 $e_{2z,-}$

在检验周期内,沿-Z轴方向上在目标位置2处测得总的热漂移范围。

4 简要说明

4.1 计量单位

在 GB/T 17421 的本部分中,所有的线性尺寸和偏差都以毫米(mm)表示。所有的角度大小都以度(°)表示。角度偏差通常以比值表示,但在有些情况下为了清晰起见,可用微弧度(μrad)或角度秒(")表示,其换算关系见下式:

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

温度以摄氏度(°C)表示。

4.2 参照 GB/T 17421.1—1998 标准说明

使用本部分时应参照 GB/T 17421.1—1998,尤其是机床检验前的安装和检验仪器的推荐精度。

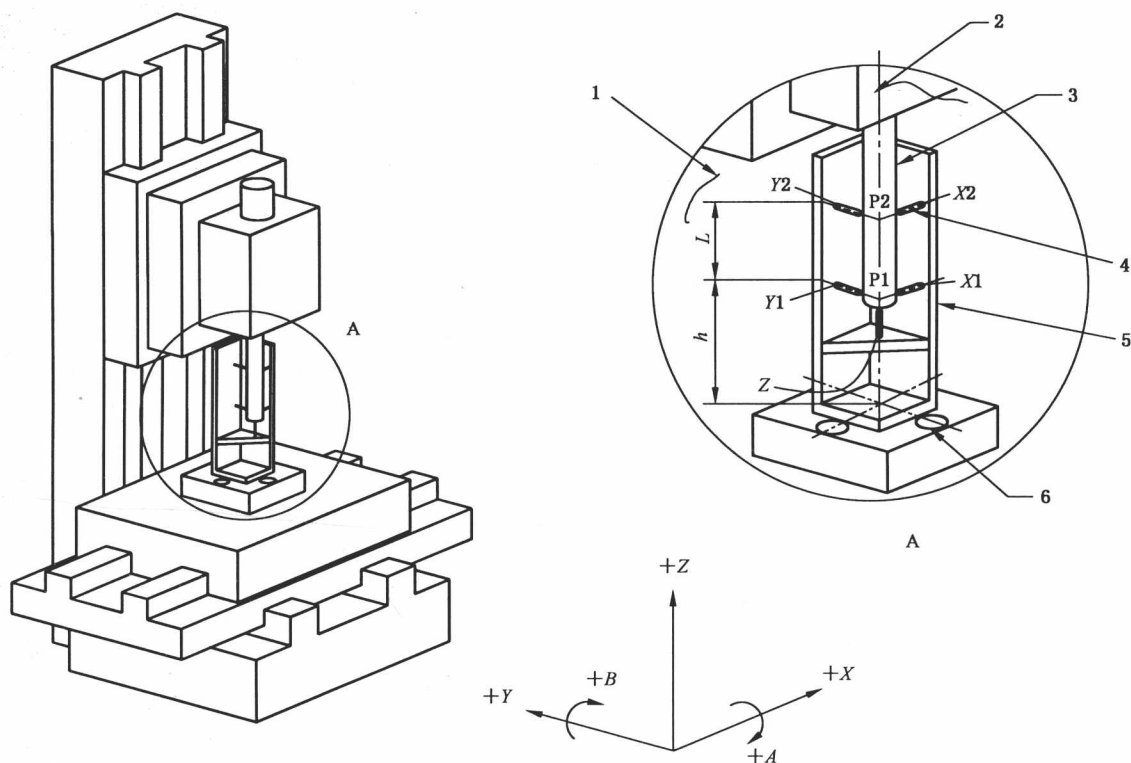
4.3 推荐的检验工具和检验仪器

本部分推荐的检验仪器仅为示例。可以使用相同指示量和具有相同精度的其他检验仪器。为第5章、第6章和第7章检验推荐使用的检验仪器和检验工具如下:

- 具有合适测量范围、分辨率、热稳定性和精度的位移测量系统(如:用于测量由线性轴移动引起热变形的激光干涉仪,测量环境或主轴旋转引起热变形的电容、电感或可伸缩接触式位移传感器)。
- 具有足够分辨率和精度的温度传感器(如:热电偶,电阻式或半导体温度计)。
- 数据采集装置,如:所有通道可连续监视和绘图的多通道图像记录仪,或计算机数据处理系统,在此系统中所有通道至少每5 min采样一次³⁾,并可存储数据,便于以后分析。
注:如果无适用的计算机系统,可用人工进行数据处理。
- 检验棒,最好用钢材制造,并应符合有关标准的规定,或经由供应商/制造商和用户双方协商规定,见 GB/T 17421.1—1998 的 A.3。
- 用来安装位移传感器的夹具,最好用钢材制造,并应符合有关标准的规定,或经由供应商/制造商和用户双方协商规定。夹具的设计应使由温度梯度引起的局部热变形达最小。

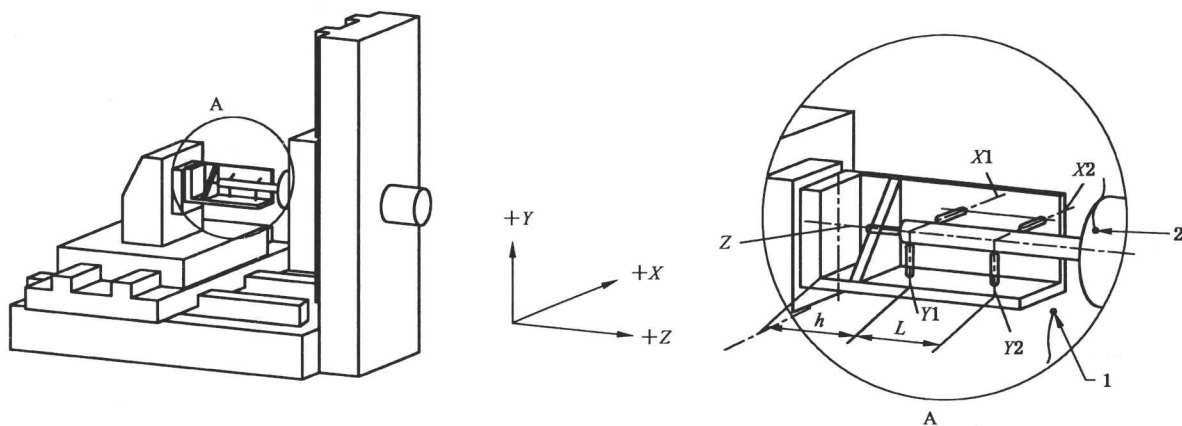
在可能情况下,轴线的位移传感器(见图1、图2和图3)可以直接靠在主轴端部,以减少检验棒热膨胀的影响。

3) 有些温度补偿系统显示的循环时间小于5 min,在这样的场合,监测频率应相应地增加。



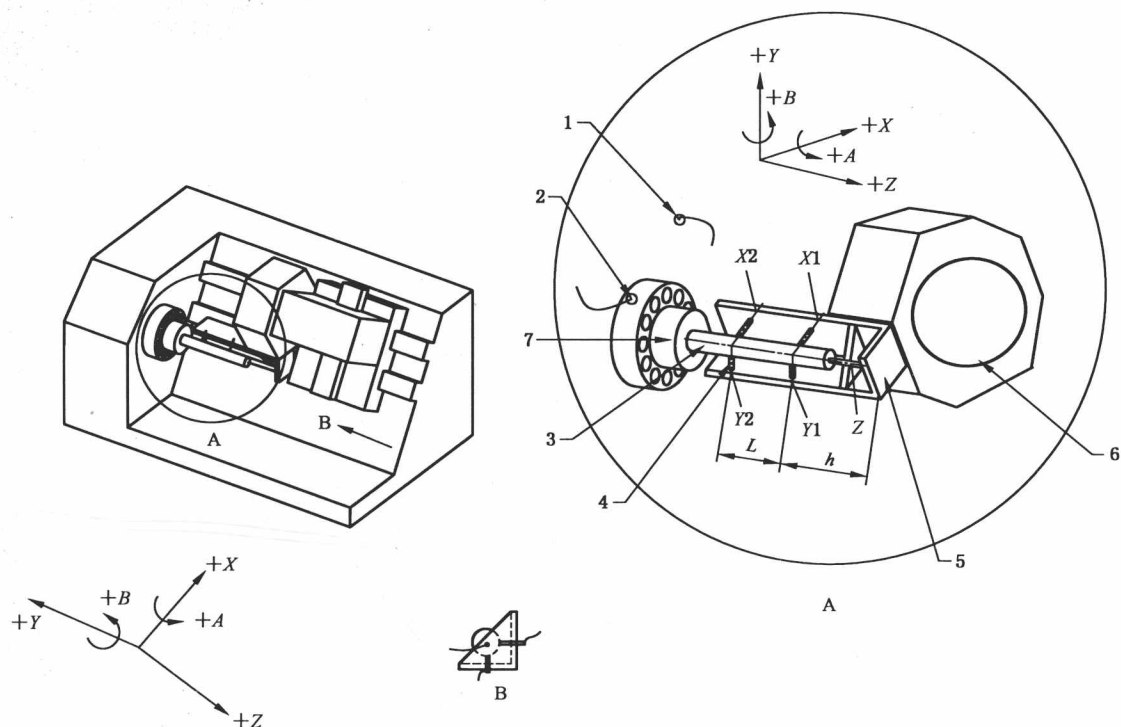
- 1——环境空气温度传感器；
- 2——主轴轴承温度传感器；
- 3——检验棒；
- 4——位移传感器；
- 5——夹具；
- 6——用螺栓固定在工作台上的夹具。

图 1 在立式加工中心上 ETVE 和由主轴旋转引起的结构热变形的典型试验安装图



- 1——环境空气温度传感器；
- 2——主轴轴承温度传感器。

图 2 在卧式加工中心上 ETVE 和由主轴旋转引起的结构热变形的典型试验安装图



- 1——环境空气温度传感器；
- 2——主轴轴承温度传感器；
- 3——检验棒；
- 4——位移传感器；
- 5——夹具；
- 6——刀架；
- 7——卡盘。

图 3 在斜床身车削中心上 ETVE 和由主轴旋转引起的结构热变形的典型试验安装图

测量仪器的精度应定期校验,例如,通过传感器漂移进行检验(见 A.5)。

检验开始前,测量仪器应进行热平衡。

4.4 机床检验前的条件

机床在装配后,应按照机床供应商/制造商说明书的要求充分运行,并且必须作记录。在机床检验前,所有必要的调平、几何调整和功能检验都应完成。

机床及附属装置应处于动力接通状态,轴线处于“保持”位置,主轴不旋转。应按供应商/制造商的规定或按检验仪器的说明通电足够的时间,以便内部热源达到稳定状态。机床与检验仪器应避免受到气流和外部辐射(如上置的加热装置或者光线等)的影响。

所有检验应在机床无负荷下进行。对于工件和刀具各自具有独立运转主轴的机床,应按照第 5 章和第 6 章的检验方法,在机床上一个共用的固定位置分别对每个主轴进行检验。如果机床具有一些靠硬件或软件的补偿能力或设施(如采用气冷或液冷)可使热效应达到最小,则在检验时所使用的补偿手段和设施都应作记录。

4.5 检验顺序

本部分第 5 章、第 6 章、第 7 章中叙述的检验方法既可单个使用,也可组合使用。当组合使用时,应按照在本部分中出现的先后顺序依次进行。

4.6 检验的环境温度

根据 ISO 1:2002 的规定,所有线性测量都应在室温为 20 °C 时进行,并且要求在测量仪器和被测物

体(如:机床)与周围环境达到热平衡时进行测量。如果测量时环境温度没有保持在 20℃,应使用热膨胀差值(NDE)对测量系统和被测物体(机床)之间的测量结果进行修正,以符合 20℃室温的测量条件。如:在使用激光干涉仪进行线性位移的典型测量中,测量时应记录激光束周围的环境温度和机床标尺的温度,并计算激光干涉仪预期的长度变化值(由于环境温度和压力发生变化,激光的波长发生变化)和机床标尺预期的长度变化值(由于环境温度变化造成)。两者长度变化值之差为名义热膨胀差值(NDE),并用名义热膨胀差值修正激光干涉仪原先测得的数据,而得到 20℃的线性位移偏差。然而,本部分的目的是鉴别机床在各种变化环境温度条件下的性能,对 NDE 修正要求不严格。NDE 修正仅用于检验仪器和机床上放置工件的常用部位之间测量。机床正常操作应使用其内置 NDE 的修正,附加的 NDE 仅用于测量的修正,而不对机床标尺的热变形进行校正。

5 环境温度变化误差(ETVE)的检验

5.1 总则

环境温度变化误差(ETVE)的检验目的是揭示环境温度变化对机床的影响和评估对其他性能测量期间的热感应误差。本检验不应用作机床之间的比较。ETVE 应按 GB/T 17421 的本部分中 5.2 叙述的漂移检验方法来测定。如果测量仪器的校正实施需要对环境因素(诸如气温和压力)进行补偿,那么这些补偿应该被使用。如果测量仪器具有 NDE 修正功能,那么这些功能应该被使用。把所提供的监测原材料温度的传感器安放在机床上放置工件的常用部位。这些装置的使用情况应作记录。

为便于机床通过验收(机床达到规定的精度),建议机床供应商/制造商提供有关环境温度的指南。一般性的指南可以包括诸如:平均室温、偏离平均室温变化的最大幅度和频率范围以及环境的温度梯度。用户的责任是:在机床的安装地点提供一个可以进行验收的温度环境,以便在此温度环境下对机床进行操作和性能检验。如果用户按照机床供应商/制造商指南的要求提供了相应的温度环境,而机床达不到规定性能要求,那么责任就由机床的供应商/制造商承担。

在机床测量过程中由热效应引起的总的不确定度被定义为综合标准热不确定度。当性能测量环境条件和 ETVE 检验的环境条件可比较时,综合标准热不确定度(见 3.6)可以通过所描述的检验进行评估。综合标准热不确定度不应超过用户和机床供应商/制造商协商规定的数值。

5.2 检验方法

图 1、图 2 和图 3 分别给出了立式加工中心、卧式加工中心和车削中心典型的测量仪器安装方式的例子。位移传感器牢固地装在夹持工件和夹持刀具区域上的非旋转部位,以便测量:

- a) 机床轴线沿平行于三个相互垂直坐标轴线方向进行运动,测量夹持刀具的部件和夹持工件的部件之间相对位移。安装测量装置的确切位置应同检验结果一起记录下来。
- b) 绕机床 X 轴线和 Y 轴线的倾斜或旋转。

与主轴前轴承相隔最近的机床结构的温度、机床相邻区域的空气温度,以及与主轴端部等高区域的温度应至少每 5 min 采样一次⁴⁾。测量与机床相隔一个适当距离的环境温度也非常必要,以避免由于机床的一些热源(例如:液压元件)引起的对周围空气温度的影响。尽管所测量温度不完全与所测位移有关,但它可预示出在环境温度变化下机床结构的热变形。

注:为了保证 ETVE 的结果一致性,有必要监视 ETVE 的检验过程,这样一旦测量环境发生显著变化,就能够被发现。

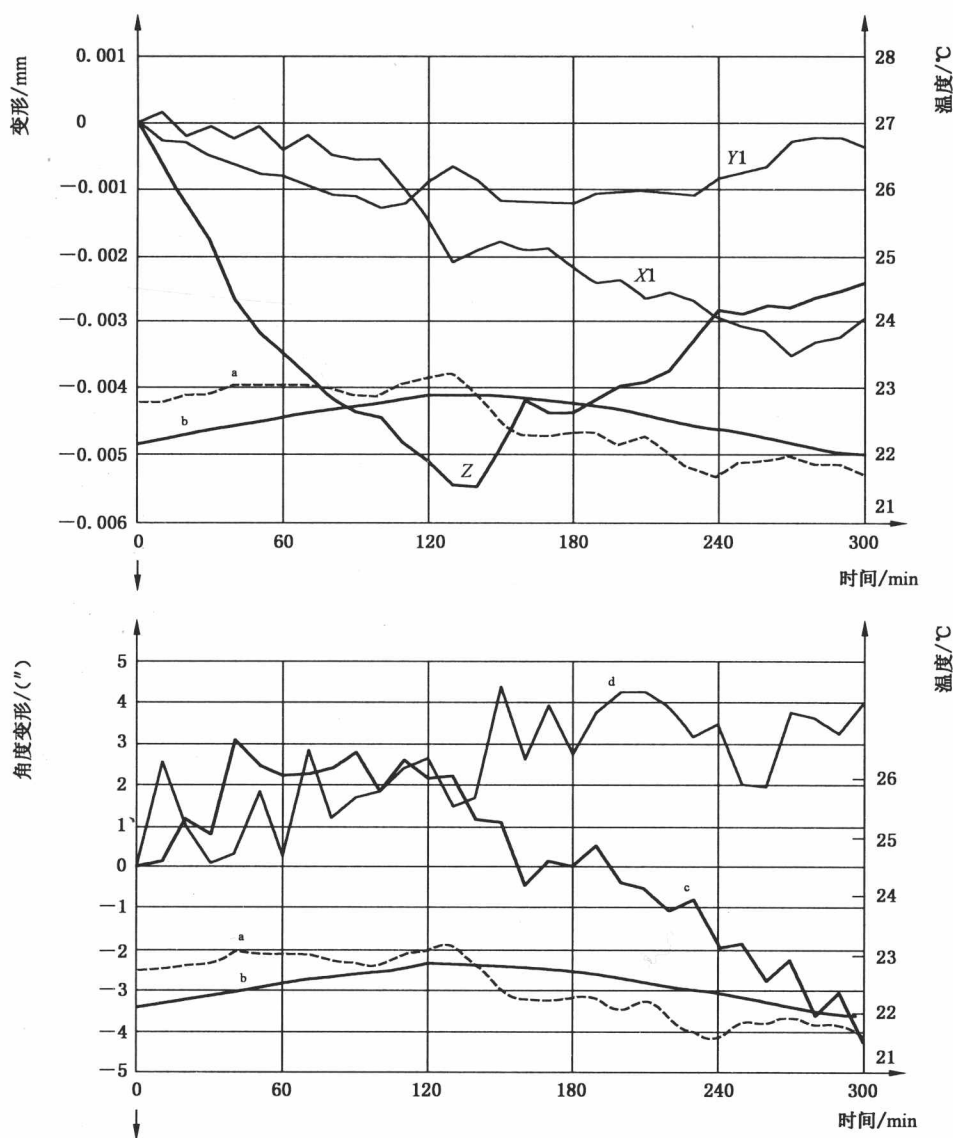
一旦安装完成,应允许在尽可能长的时间内连续进行漂移测量,以使在正常的性能测量条件下偏差最小。当测量工作是阶段性进行(如测量仪器相对一测量基准的定期重新调整)时,持续检验时间应超过一段时间(超过时间为检验时重复调整的时间),或经过机床的供应商/制造商和用户协商规定的时间。

5.3 检验结果的说明

通常以图表的形式将热变形和温度与时间的关系打印出来(示例见图 4)。但这个打印的结果不应

4) 有些温度补偿系统显示的循环时间小于 5 min,在这样的场合,监测频率应相应地增加。

被用来进行机床之间的比较。这样一个打印的 ETVE 值可以认为机床每一轴线的线性位移精度或机床工作空间内三个相互垂直平面内的圆检验的综合标准热不确定度。为了在任一性能测量中使用综合标准热不确定度,在某一特定性能测量过程中应连续记录环境温度。如果记录的值显示的环境温度与获得 ETVE 值时的环境温度相差很大,那么这次测量得到的 ETVE 值就应视为无效。在这种情况下,应对 ETVE 值重新评定,或者将环境温度调整到 ETVE 时的环境温度⁵⁾。另外,测量仪器必须具有热稳定性。



环境温度变化误差(ETVE)

下列 ETVE 值从上面曲线图获得(以检验 1h 的数据为例)

$ETVE_{(X,1.1^{\circ}C)} = 0.0015 \text{ mm}$ (90 min~150 min);

$ETVE_{(A,1.1^{\circ}C)} = 3''$ (110 min~170 min);

$ETVE_{(Y,0.6^{\circ}C)} = 0.0006 \text{ mm}$ (230 min~290 min);

$ETVE_{(B,1.1^{\circ}C)} = 3''$ (110 min~170 min)。

$ETVE_{(Z,1.2^{\circ}C)} = 0.0010 \text{ mm}$ (100 min~160 min)。

a 环境温度。

c 绕 X 轴旋转。

b 主轴温度。

d 绕 Y 轴旋转。

图 4 ETVE 检验的温度和变形对时间曲线

5) 机床性能测量中环境温度的最大变化应小于或等于在 ETVE 检验期间的环境温度变化。

在不同方向测量时,应使用同一图表中不同的 ETVE 值。例如:沿机床 Z 轴方向测量线性位移时,ETVE(Z)值为在进行线性位移测量的一段时间内测取的 Z 轴线上热变形的最大范围。其他方向上的 ETVE(Y)值和 ETVE(X)值可以采取同样方法进行确定。在测量包括不止一个轴线的运动时,如在 XY 平面的圆检验中,通常以 ETVE(X)和 ETVE(Y)的最大值作为 ETVE。

对于角度偏差测量,ETVE 值是通过计算在一段时间内测取的绕 X 轴线和 Y 轴线倾斜的偏差的最大值得到的。在任意规定时间内,倾斜角 A 和 B 是通过沿一轴线的两个位移传感器读数之差除以两个面向同一个方向的传感器之间的距离 L 获得的。计算公式如下:

$$A = (Y1 - Y2)/L$$

$$B = (X1 - X2)/L$$

$$\text{ETVE}(A) = A \text{ 的最大值}$$

$$\text{ETVE}(B) = B \text{ 的最大值}$$

为了确定机床某一性能检验(例如:对于一个指定方向的测量)中的 ETVE 值,应在 ETVE 图表中选取一个合适的间隔,这个间隔的时间正好与性能检验的时间是一样长,并且曲线具有最大斜率。在这个时间间隔内的最大变化量,就作为这次检验中有效的 ETVE 值。例如:机床线性定位精度检验中的 ETVE(X)值是持续大约 1 小时,在时间刻度上 90 min~150 min 时间段内确定的。从图表中的这个时间间隔内得到的这次检验的 ETVE 值为 0.001 5 mm(见图 4)。

5.4 检验结果的表达

通常测量数据以温度和热变形对时间的变化曲线的形式打印出来(见图 4)。为表示温度的变化量,测量期间每一个方向的 ETVE 值都应记录下来,例如:ETVE_(Z,1.2℃)=0.001 0 mm。

下面的信息应与检验结果一同记录(见图 5):

- 设置的测量位置(位置 P1 的坐标,见图 1);
- 温度传感器的位置;
- 传感器的类型;
- 检验棒和夹具的简图和材料;
- 使用的热补偿程序/装置;
- 协商规定的任何特殊检验过程;
- 检验的时间和日期;
- 检验前机床的准备过程(包括检验前辅助设施的操作时间);
- 如果与图 1、图 2、图 3 和图 5 中所示的坐标体系不同时,用 X、Y、Z、A、B 表示偏差的正向。

检验日期:	年/月/日	
机床:	AAA,立式加工中心/X=1 000 mm,Y=600 mm,Z=800 mm	
温度传感器/位置(环绕空间):	热电偶/距主轴前端 Y=300 mm(前),X=200 mm(右)	
检验棒:	钢,11 μm/(m·℃),直径 60 mm,长度 200 mm,40 号锥度	
夹具:	钢,11 μm/(m·℃),200 mm×100 mm×50 mm,装夹在工作台中心	
使用的热补偿:	带有温度传感器的油冷却器	
温升过程:	冷启动	
滑板位置:	X=500 mm,Y=300 mm,Z=400 mm,C=0	
测量位置 P1:	X=500 mm,Y=300 mm,Z=220 mm(距工作台面的高度)	
传感器距离 L(P1,P2):	150 mm	
	(针对 ETVE)	(针对主轴旋转)
——主轴转速范围:	—	4 000 r/min,恒速
——在每一转速停留的时间:	—	无
——特别说明:	—	无

图 5 ETVE 检验和由主轴旋转引起的热变形典型补偿试验安装信息

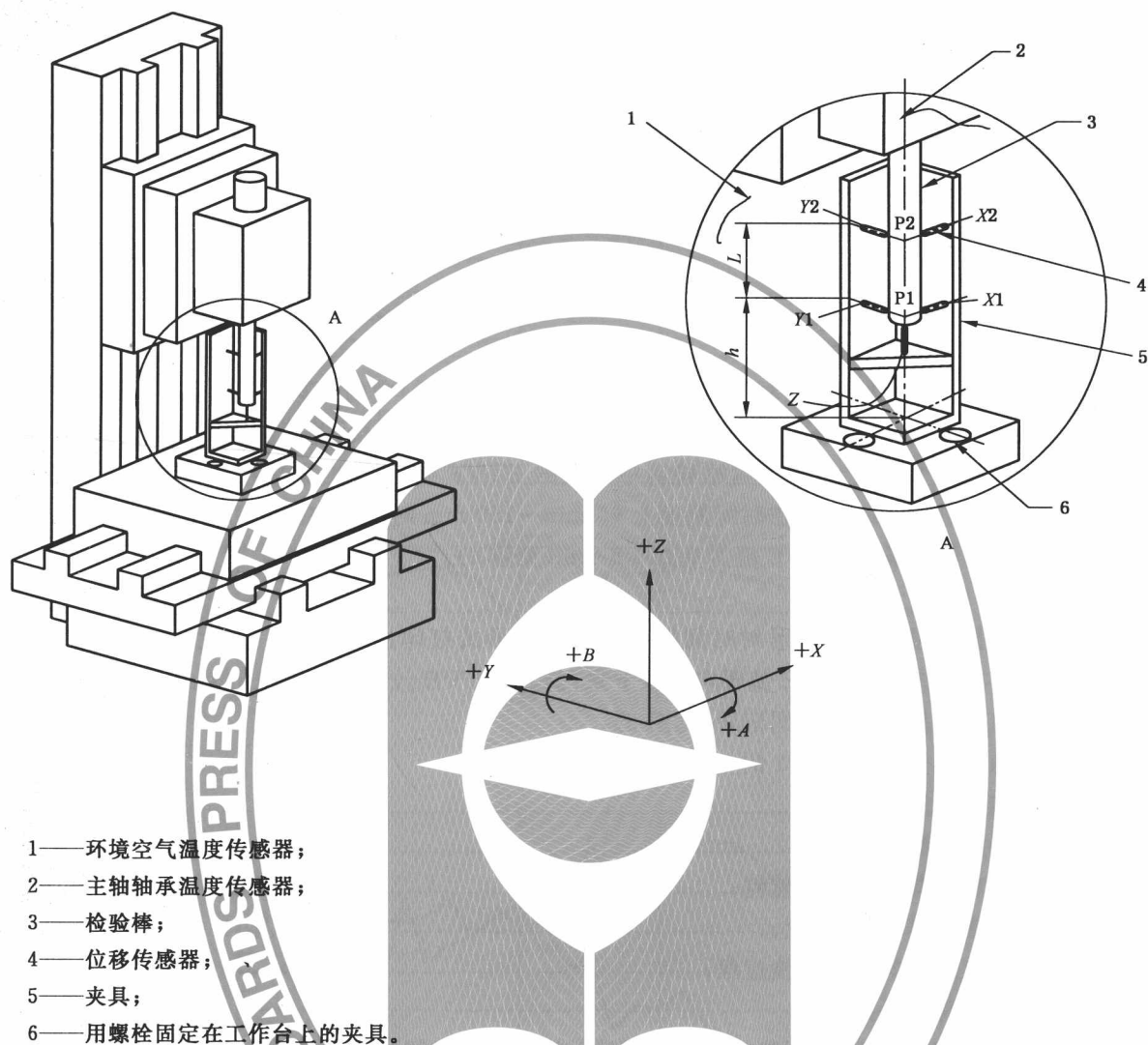


图 5 (续)

6 由主轴旋转引起的热变形

6.1 总则

本项检验是为了识别由主轴旋转产生的内部热源和沿着机床结构形成的温度梯度对机床结构变形的影响,这种变形通过检测工件和刀具之间的变形得到的。因为这项检验与主轴的发热程度相关,所以这项检验仅适用于具有主轴旋转的机床。

6.2 检验方法

图 1、图 2 和图 3 分别给出了立式加工中心、卧式加工中心和车削中心典型的测量仪器安装方式的例子。位移传感器的固定装置应牢固可靠地安放在机床夹持工件或夹持刀具区域上的非旋转部位,以便测量:

- 沿平行于机床行程运动方向的三个相互垂直轴线上,测量夹持刀具的部件和夹持工件的部件之间相对位移,安装测量装置的确切位置应同检验结果一起记录下来;
- 绕机床 X 轴线和 Y 轴线的倾斜或旋转。

与主轴前轴承相隔最近的机床结构的温度、机床相邻区域的空气温度,以及与主轴端部等高的温度

区域应至少 5 min 采样一次⁶⁾。测量与机床相隔一个合适距离的环境温度也非常必要,这可以避免任何由于机床的热源(例如:液压元件)引起的对周围空气温度的影响。尽管所测量温度不完全与所测位移有关,它们却可以预示出环境和机床的温度变化。

检验程序应按以下两种规定的主轴转速范围之一进行:

- 主轴转速变化图谱,见图 6 示例;
- 与最大转速成某一比例的恒定转速。

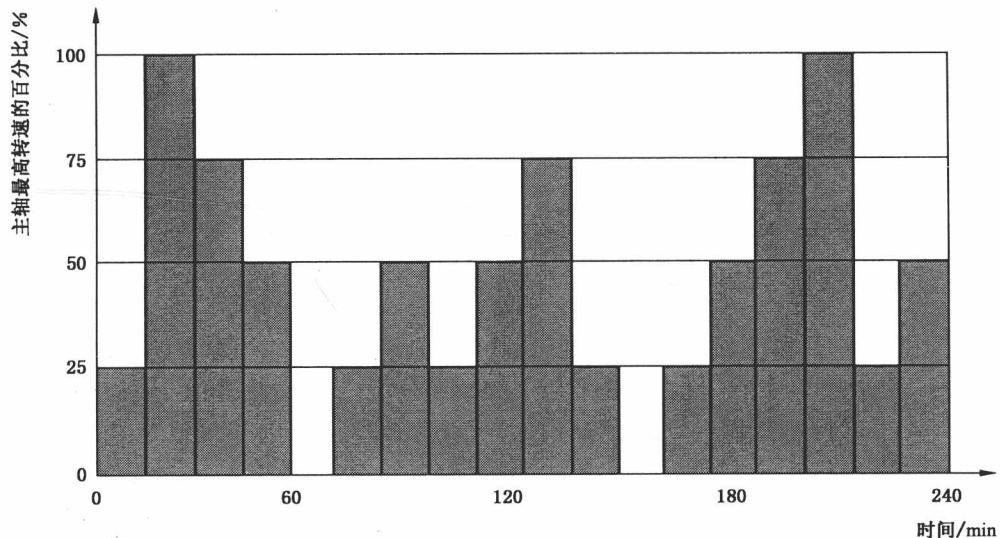


图 6 热变形试验主轴速度图谱示例

在检验中选择主轴转速图谱还是选择同最大转速成某一比例的恒定转速,应在各类机床标准给予规定。必要时,对于特殊的检验过程(例如:检验前进行一定的温升循环)可经机床供应商/制造商和用户协商,按照他们自定的特殊要求进行检验。选择的主轴转速图谱应为机床实际使用的转速范围。例如:对于加工中心,主轴的转速图谱由不同的主轴转速构成,可以选择每种主轴转速做 2 min~15 min 的运行,在运行中间做 1 min~15 min 的间歇停车来代表典型的加工条件。

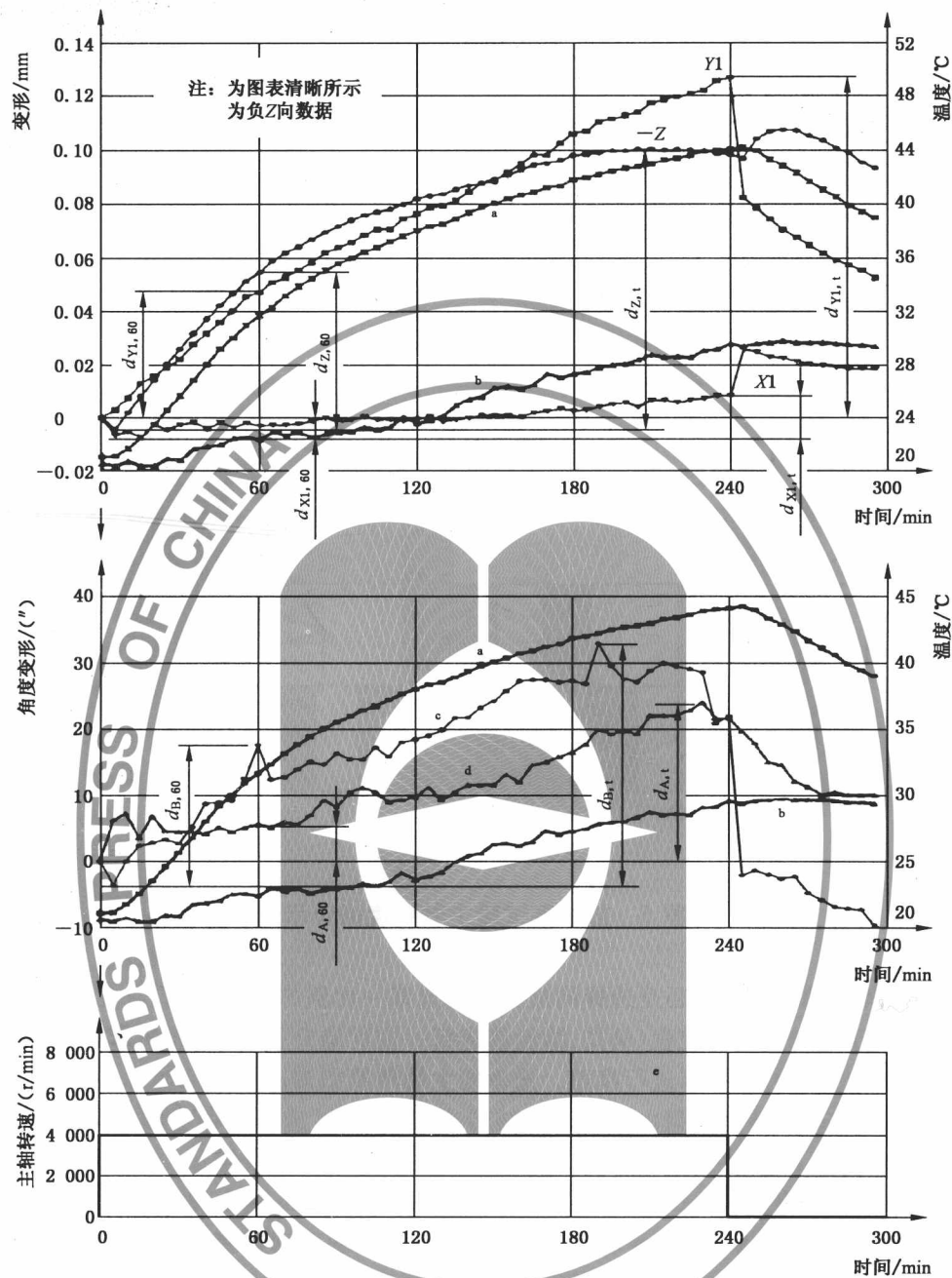
对所有的传感器输出应以 4 h 为一个采样周期。当最后 60 min 测出的变形量小于最初 60 min 内最大变形的 15% 时,可以结束采样;或者满足用户和供应商/制造商同意的其他条件,也可结束采样。二者任选其一。采样结束主轴停止后,传感器应继续监测至少 1 h 的周期(时间)。在主轴旋转时的检验过程中,应消除检验棒的径向跳动的影响⁷⁾。

6.3 检验结果的说明

检验结果应该以图表的形式将热变形和温度(环境温度和主轴轴承的温度)对时间的曲线打印出来,见图 7。

6) 有些温度补偿系统显示的循环时间小于 5 min,在这样的场合,监测频率应相应地增加。

7) 消除检验棒径向跳动的影响,可采用低通滤波器、平均法或与主轴定向同步采集数据。



- a 机床结构温度。
- b 环境温度。
- c 绕 Y 轴旋转。
- d 绕 X 轴旋转。
- e 主轴最高转速=6 000 r/min。

检验内容	X1/mm	Y1/mm	Z/mm	A/(°)	B/(°)
在最初 60 min 期间	0.008	0.048	-0.061	6	22
在主轴运转周期时间, $t=240$ min	0.020	0.124	-0.108	24	38
距离(L)	150 mm				

图 7 在加工中心上由主轴旋转引起的热变形的温度和变形对时间图表

从曲线图中可以评估机床结构的温升对机床保持刀具与工件的相对位置能力的影响程度。应当指出,主轴的启动和停止可能会引起图形的偏移,这是由于检验棒跳动引起的。在评定热变形时这种影响应忽略不计。

角度变形曲线图(见图 7)是通过计算倾斜角 A 和 B 得出的(见 5.3)。

6.4 检验结果的表示

在最初 60 min 内,沿机床每一轴线的位移($d_{X1,60}$ 、 $d_{Y1,60}$ 、 $d_{Z,60}$ 、 $d_{A,60}$ 、 $d_{B,60}$)和在主轴整个运转期间沿机床每一轴线的位移($d_{X1,t}$ 、 $d_{Y1,t}$ 、 $d_{Z,t}$ 、 $d_{A,t}$ 、 $d_{B,t}$,其中 t 为主轴整个运转时间),应和朝同一方向的两个传感器之间距离 L (见图 1、图 2 和图 3)一同记录下来。应按图 7 给出的示例将表 1 中所示值与温度和变形对时间的曲线图一同来表示,下面这些参数应和检验结果一同记录(见图 5):

- 设置的测量位置(位置 P1 的坐标,见图 1);
- 温度传感器的位置;
- 传感器的类型;
- 检验棒和夹具的简图和材料;
- 使用的热补偿程序/装置;
- 主轴转速范围;
- 协商规定的任何特殊检验程序;
- 检验的时间和日期;
- 检验前机床的准备过程(包括检验前操作时间周期)。

表 1 由主轴旋转引起的热变形检验结果的表示

检验内容	X1	Y1	Z	A	B
在最初 60 min 内	$d_{X1,60}$	$d_{Y1,60}$	$d_{Z,60}$	$d_{A,60}$	$d_{B,60}$
在主轴运转的整个周期(t)	$d_{X1,t}$	$d_{Y1,t}$	$d_{Z,t}$	$d_{A,t}$	$d_{B,t}$
距离(L)					

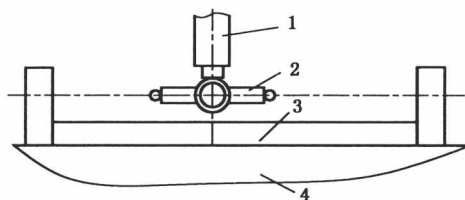
7 由线性轴线运动引起的热变形

7.1 总则

本检验是为了识别机床定位系统内的热源对机床结构变形的影响,这种变形通过在行程方向上检测工件和刀具之间的变形得到。本检验简要说明了在机床升温过程中机床轴线在两个位置上的漂移量和机床标尺的伸长量。本检验仅适用于数控机床。

7.2 检验方法

位移测量仪器应放置在两个目标位置之间,以便测量检验轴线(对应于刀具和机床工作面之间的相对运动)移动的距离。目标位置的选择应尽可能靠近机床的行程最大点。通常,两个附加的反向位置被选择在测量范围外侧,以便双向测量。典型的测量仪器安装方式如图 8 和图 9 所示。



a) 使用一个指示器的安装方式

图 8 加工中心的 X 轴移动引起的热变形测量典型安装方式