

前 言

GB/T 17421《机床检验通则》分为如下几个部分：

- 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：热效应的评定；
- 第 4 部分：数控机床的圆检验；
- 第 5 部分：噪声辐射的评定；
- 第 6 部分：对角线位移检验。

本部分为 GB/T 17421 的第 4 部分，等同 ISO 230-4:1996《机床检验通则 第 4 部分：数控机床的圆检验》(英文版)。

为便于使用，对于 ISO 230-4:1996(英文版)，本部分还做了下列编辑性修改：

- 按照 GB/T 1.1—2000 的规定进行了编写，增加了“目次”和“前言”；
- “规范性引用文件”一章所列国家标准的名称后面标识了相应国际标准编号、一致性程度代号；
- 原国际标准中“参考文献”为资料性附录 D，按照 GB/T 1.1 的规定改为附录 A、附录 B、附录 C 后的一个要素；
- 删除了 ISO 230-4:1996 的前言；
- 将一些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、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：北京机床研究所。

本部分主要起草人：徐光武、李祥文。

机床检验通则

第4部分：数控机床的圆检验

1 范围

GB/T 17421 的本部分规定了两线性轴线联动所产生的圆形轨迹的圆滞后、圆偏差及半径偏差的检验和评定方法。有关的检验工具见 GB/T 17421.1—1998 中的 6.6.3 说明。

本部分的目的是提供一种检验数控机床轮廓特性的方法。

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）

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

名义轨迹 **nominal path**

数控编程的圆形轨迹，它由直径（或半径）、圆心的位置及在机床工作区的方向来定义，既可以是一个整圆也可以是一个不小于 90° 的部分圆。

3.2

实际轨迹 **actual path**

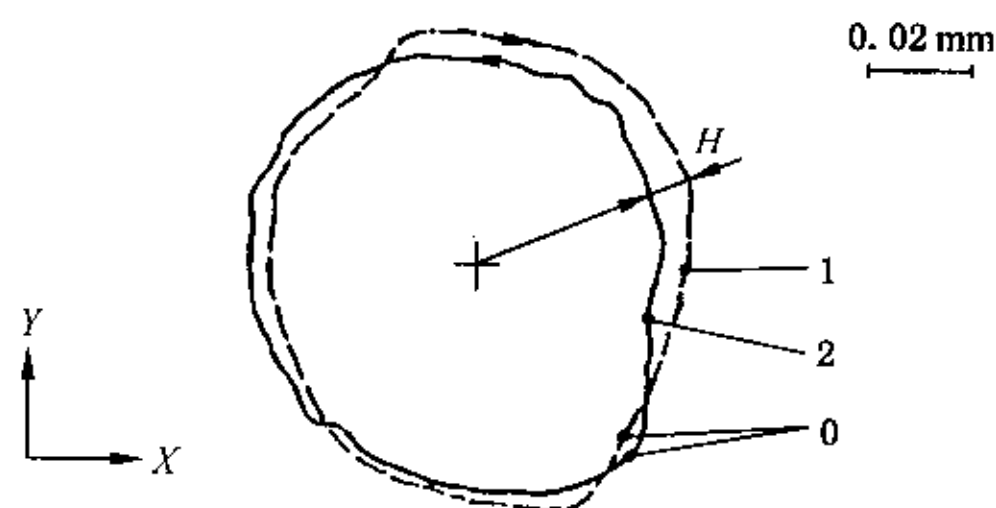
按编程的名义轨迹运动时机床产生的轨迹。

3.3

圆滞后 H **circular hysteresis H**

两实际轨迹的最大半径差，其中一个轨迹是顺时针轮廓运动，另一个是逆时针轮廓运动（见图 1）。

注：评定基准是两个实际轨迹的最小二乘方圆的圆心。



十 两个实际轨迹的最小二乘方圆的圆心；

0 起始点；

1——实际轨迹，顺时针方向；

2——实际轨迹，逆时针方向。

圆滞后， $H_{XY} = 0.008 \text{ mm}$

图 1 圆滞后 H 的评定

3.4

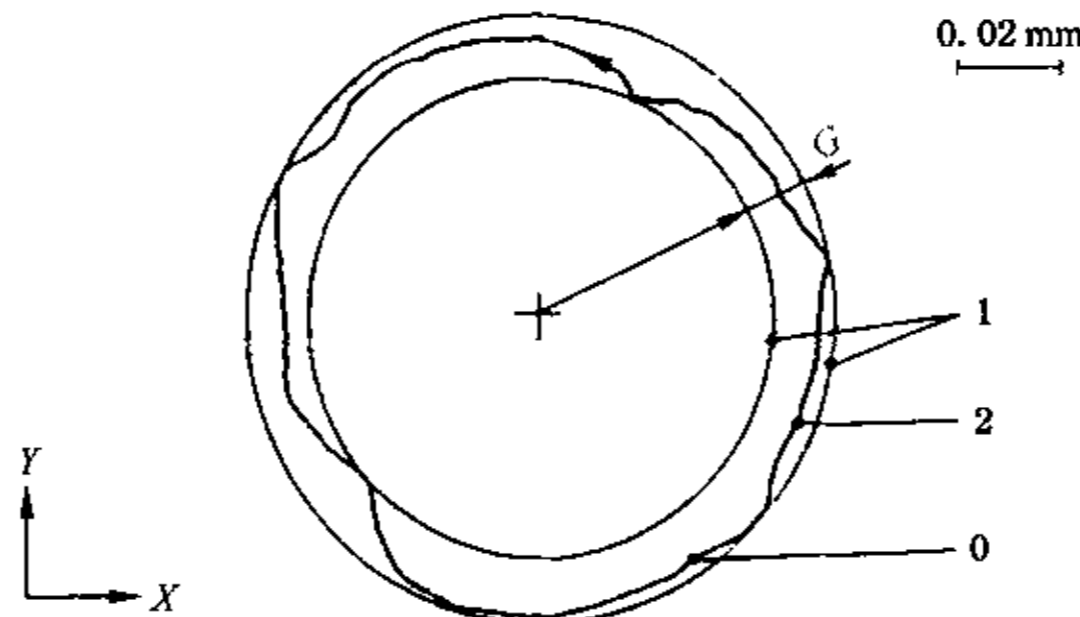
圆偏差 G circular deviation G

包容在实际轨迹上的两个同心圆(最小区域圆)的最小半径差,如图 2 所示,还可用最小二乘方圆的最大半径范围来评定。

注 1: 圆偏差不包括安装误差,即检验工具的定心误差。

注 2: 圆偏差的测量不需要带标定长度的检验装置,而半径偏差需要。圆偏差 G 和半径偏差 F 之间的区别参照附录 A。

注 3: 当一个平面内的一条线上的所有点都包含在半径差不超过给定值的两个同心圆内时,则认为这条线是圆的(见图 2 和 GB/T 17421.1—1998 中的 6.6.1)。



- + 最小区域圆的圆心;
 - 0 起始点;
 - 1——最小区域圆;
 - 2——实际轨迹。
- 圆偏差, $G_{XY} = 0.012 \text{ mm}$

图 2 圆偏差 G 的评定

3.5

半径偏差 F radial deviation F

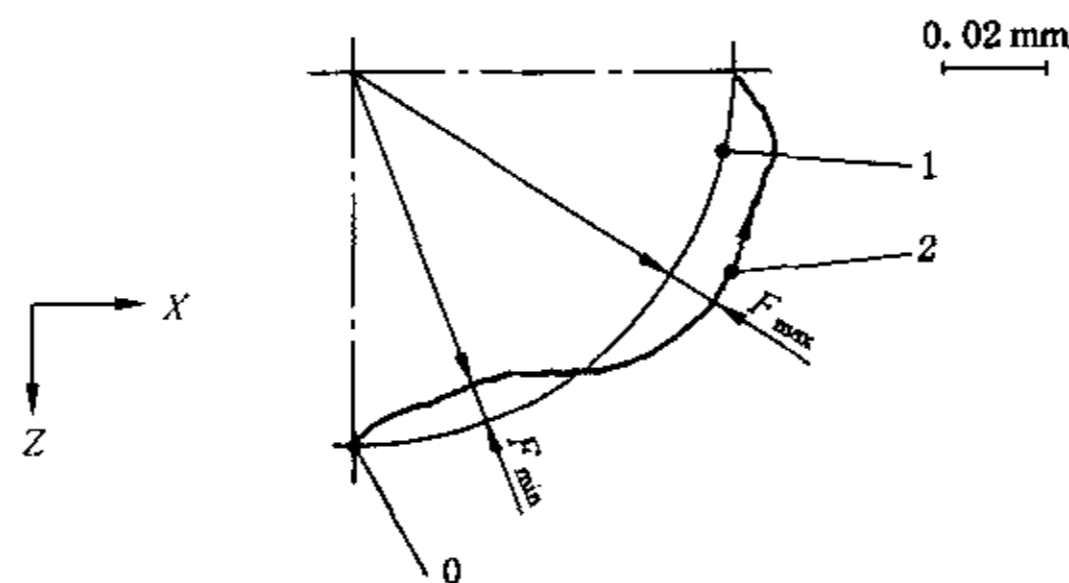
实际轨迹与名义轨迹间的偏差,名义轨迹的圆心有下列两种:

- a) 机床上检验工具的圆心;
- b) 最小二乘方圆的圆心。

注 1: 从圆心向外测量为正偏差,反之为负偏差(见图 3)。半径偏差用最大差值 F_{max} 和最小差值 F_{min} 表示。

注 2: 当适用于上述 a) 的情况时,半径偏差 F 包括安装误差。

注 3: 半径偏差 F 和圆偏差 G 的区别参照附录 A。



- + 名义圆的圆心;
 - 0 起始点;
 - 1——名义轨迹;
 - 2——实际轨迹。
- 半径偏差, $F_{ZX,max} = +0.008 \text{ mm}$
 $F_{ZX,min} = -0.006 \text{ mm}$

图 3 半径偏差 F 的评定

3.6

轴线标志 identification of axes

产生实际轨迹的运动轴线的标示符号。

3.7

轮廓方向 sense of contouring(顺时针或逆时针的轮廓线,适用于圆偏差 G 和半径偏差 F)

以运动轴线标志顺序表示方向,即运动方向是从第一个下标所表示的轴线正向移动到第二个下标的轴线正向;例如: X 轴和 Y 轴顺时针运动所产生的圆偏差 G ,记为 G_{YX} ,逆时针运动时则记为 G_{XY} 。

4 检验条件

4.1 环境

在环境温度可以控制的场所,温度应设定为 20°C 。对其他温度下测定的检验工具和机床标称读数应进行修正,获得在 20°C 时的检测结果(仅适用于半径偏差的测量)。

机床和有关的检验工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。应避免气流以及阳光、上置热源等外部辐射的影响。

4.2 被检机床

被检机床应完成装配并经充分运转。在开始检验圆滞后、圆偏差及半径偏差之前,应完成所有必要的调平和功能检验。

全部圆检验均应在机床无负载,即无工件的条件下进行。

4.3 温升

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。

如未规定其他条件,则检验前的准备工作仅限于必要的检验工具的调整。

4.4 检验参数

检验参数包括:

- a) 名义轨迹的直径(或半径);
- b) 轮廓进给率;
- c) 按3.7表示的轮廓方向(顺时针或逆时针);
- d) 产生实际轨迹的机床运动轴线;
- e) 检验工具在机床工作区的位置;
- f) 温度(环境温度、检验工具的温度、机床的温度),仅用于半径偏差的测量;
- g) 数据获得方法(当不等于 360° 时的数据采集范围,各不同的位置、实际轨迹的起始点和终点、用于数字数据获取的测量点数,是否采用了数据平滑处理);
- h) 在检验循环中机床使用的补偿;
- i) 滑动装置或移动元件在非检验轴上所处的位置。

4.5 检验工具的标定

为了测量半径偏差,应标定检验工具的基准尺寸。

5 检验方法

为了检验圆滞后 H ,应顺序测量两个实际轨迹:顺时针轮廓方向和逆时针轮廓方向。

所有与实际轨迹相对应的测量数据(包括反向点的峰值)都应在评定时采用。

注:对于部分圆的半径偏差 F ,应使安装误差最小。

6 结果的表达

以下用数字数据确定的检验结果优先采用图解法表示:

- a) 圆滞后 H ;
- b) 圆偏差 G ,用于顺时针或逆时针轮廓;
- c) 半径偏差, F_{\max} 和 F_{\min} ,用于顺时针或逆时针轮廓,修正到 20°C 。

表达检验结果的典型示例见图 4、图 5 和图 6。

检验报告应包括下列项目:

- 检验日期;
- 机床名称;
- 测量装置;
- 检验参数(见 4.4)。

描绘的图形应标出放大比例。

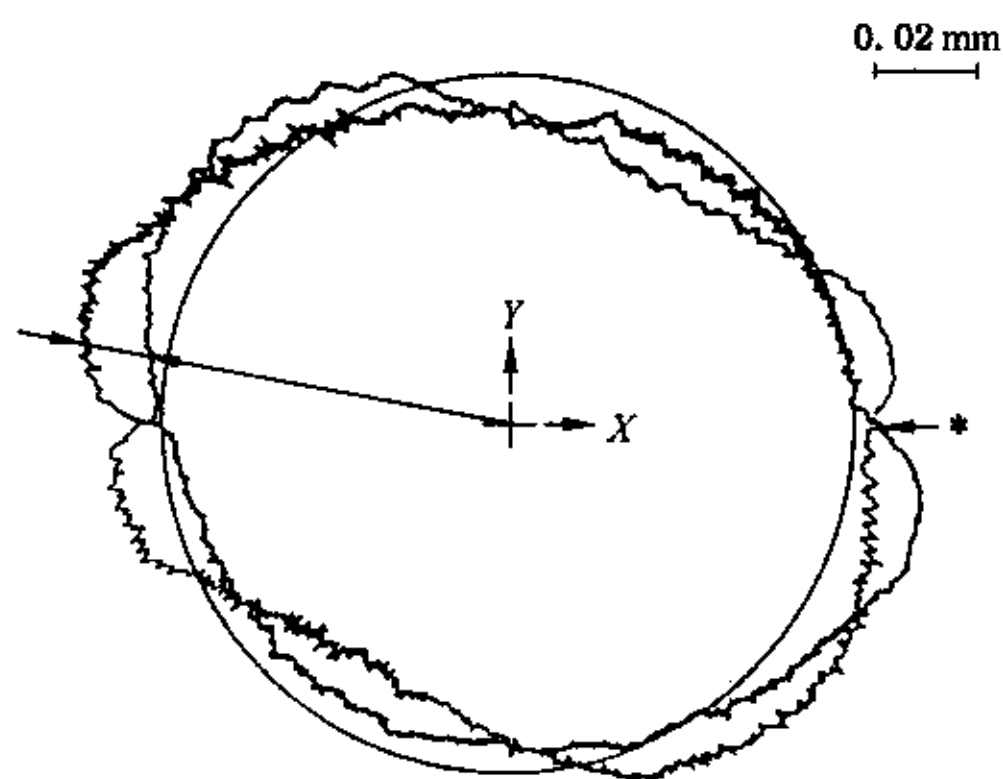
7 供方/制造厂和用户之间的协商要点

供方/制造厂和用户之间的协商要点如下:

- a) 机床检验前的温升(见 4.3);
- b) 检验参数(见 4.4);
- c) 需要提供的圆滞后 H 、圆偏差 G 和/或半径偏差 F [来自 6 a), 6 b), 6c)]的检验结果数据。

示例 1:

检验日期:	年 月 日	机床名称:
检验工具:		
检验参数		
名义轨迹的直径:	40 mm	
轮廓进给率:	500 mm/min	
轮廓方向:	—	
被检机床的轴线(X、Y、Z):	XY	
检验工具的位置		
——圆心(X/Y/Z):	250/250/100 mm	
——对刀具基准的偏置(X/Y/Z):	0/0/—80 mm	
——对工件基准的偏置(X/Y/Z):	0/0/30 mm	
获取数据的方法		
——起始点:	第四象限	
——终点:	第四象限	
——测量点数(仅用于数字数据):	1 500	
——数据平滑处理:	无	
使用的补偿:	无	
非检验轴线位置:	Z=150 mm	



+ 两个实际轨迹的最小二乘方圆的圆心;
 * 起始点;
 粗线——实际轨迹,从+Y到+X;
 细线——实际轨迹,从+X到+Y。
 圆滞后, $H_{XY} = 0.014$ mm

图 4 圆滞后 H 的数据表达示例

示例 2:

检验日期: 年 月 日 机床名称:
 检验工具:

检验参数

名义轨迹的直径: 250 mm
 轮廓进给率: 1 000 mm/min
 轮廓方向: +X 到 +Y
 被检机床的轴线(X、Y、Z): XY

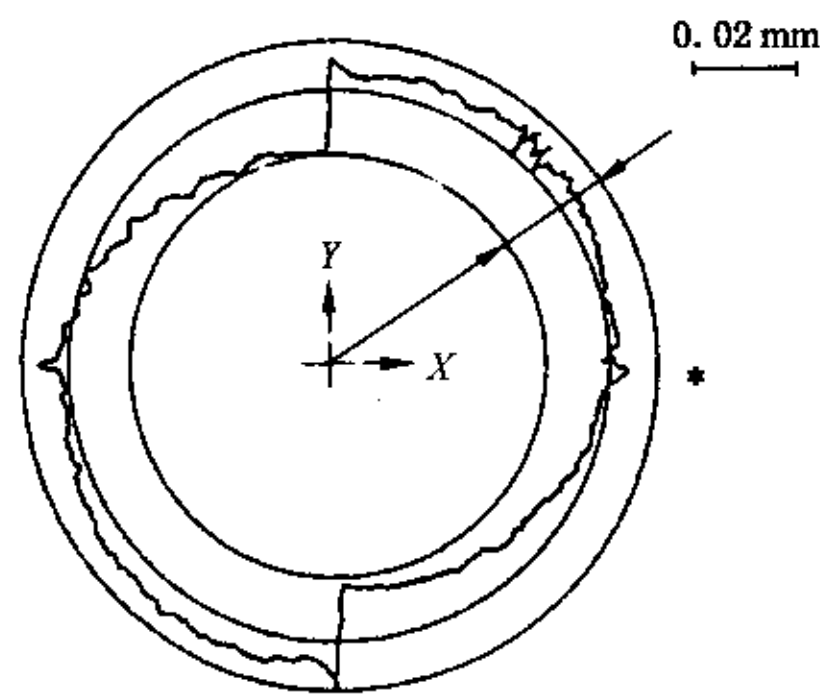
检验工具的位置

——圆心(X/Y/Z): 250/250/300 mm
 ——对刀具基准的偏置(X/Y/Z): 0/0/-80 mm
 ——对工件基准的偏置(X/Y/Z): 0/0/230 mm

获取数据的方法

——起始点: 第四象限
 ——终点: 第四象限
 ——测量点数(仅用于数字数据): 1 800
 ——数据平滑处理: 无

使用的补偿: 无
 非检验轴线位置: Z=350 mm



+ 最小区域圆的圆心;
 * 起始点。
 圆偏差, $G_{XY} = 0.018$ mm

图 5 圆偏差 G 数据表达示例

示例 3:

检验日期: 年 月 日 机床名称:

检验工具:

检验参数

名义轨迹的直径: 150 mm
 轮廓进给率: 300 mm/min
 轮廓方向: +Y 到 +X
 被检机床的轴线(X、Y、Z): XY

检验工具的位置

——圆心(X/Y/Z): 250/250/100 mm
 ——对刀具基准的偏置(X/Y/Z): 0/0/-80 mm
 ——对工件基准的偏置(X/Y/Z): 0/0/30 mm

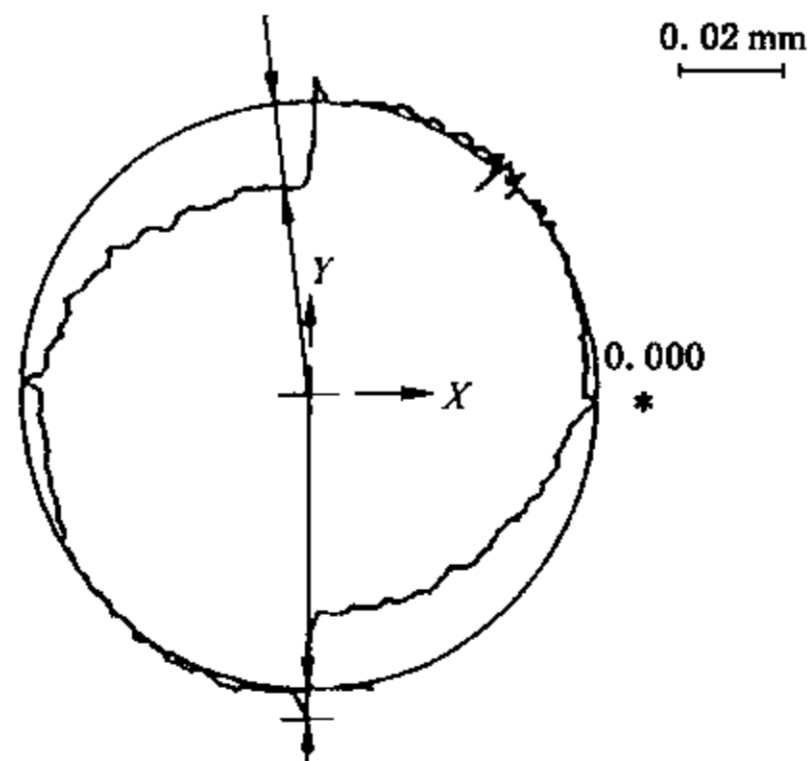
温度

——环境温度: 22°
 ——检验工具的温度: 22°
 ——机床的温度: 22°

获取数据的方法

——起始点: 第四象限
 ——终点: 第四象限
 ——测量点数(仅用于数字数据): 1 800
 ——数据平滑处理: 无

使用的补偿: 温度补偿
 非检验轴线位置: Z=150 mm



+ 最小圆的圆心;

* 起始点;

0.000——名义轨迹。

半径偏差, $F_{YX,max} = +0.005 \text{ mm}$

$F_{YX,min} = -0.013 \text{ mm}$

图 6 半径偏差 F 的数据表达示例

附 录 A
(资料性附录)
圆偏差 G 和半径偏差 F 的区别

表 A.1 指出了圆偏差 G 和半径偏差 F 之间的区别。

表 A.1 圆偏差 G 和半径偏差 F 之间的区别

影 响	圆 偏 差 G	半 径 偏 差 F
形状偏差 ^a	包括	包括
直径偏差 ^b	不包括, 因为不评定最小区域圆的直径	包括
位置偏差 ^c	不包括, 因为最小区域圆的位置由实际轨迹确定	检验部分圆时包括, 用于一个整圆时不包括
<p>^a 圆和实际轨迹形状之间的偏差(例如: 椭圆形状偏差)。</p> <p>^b 名义轨迹和实际轨迹的直径偏差。</p> <p>^c 名义轨迹和实际轨迹的中心位置的偏差(例如: 在 X 轴和 Y 轴上的偏差)。</p>		

附录 B

(资料性附录)

典型的机床偏差对圆轨迹的影响

B.1 概述

本附录指出了典型的机床偏差对圆形运动的主要影响。这些独立的偏差表示了对实际被检圆轨迹的综合影响,因而仅用本附录中的资料不足以对圆测量进行详细分析。

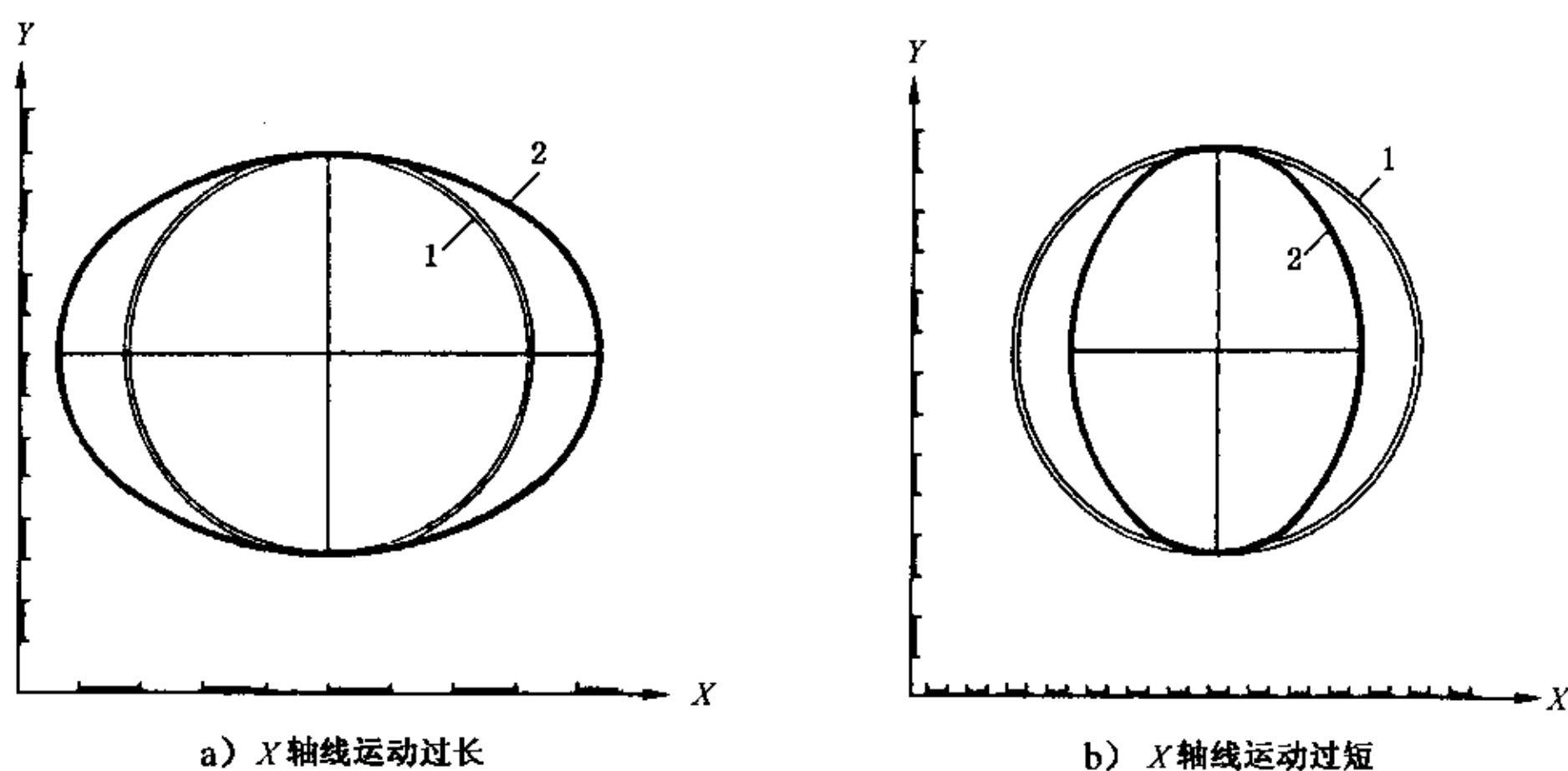
数控机床的两线性轴线联动产生的圆形轨迹,受两轴线的几何偏差和数控及其驱动装置偏差的影响。

B.2 几何偏差的影响

B.2.1 累积直线定位偏差的影响

当 X 轴线运动过长时,如由于比例的偏差,圆形轨迹变成了椭圆,其长轴平行于 X 轴线。如果假定 Y 轴线没有偏差,平行于 Y 轴线的轨迹直径不变,即该直径等于名义直径[见图 B.1a)]。

当 X 轴线运动过短时,并假定 Y 轴线没有偏差,圆形轨迹变成了椭圆,其长轴平行于 Y 轴线。长轴的直径等于名义直径[见图 B.1 b)]。



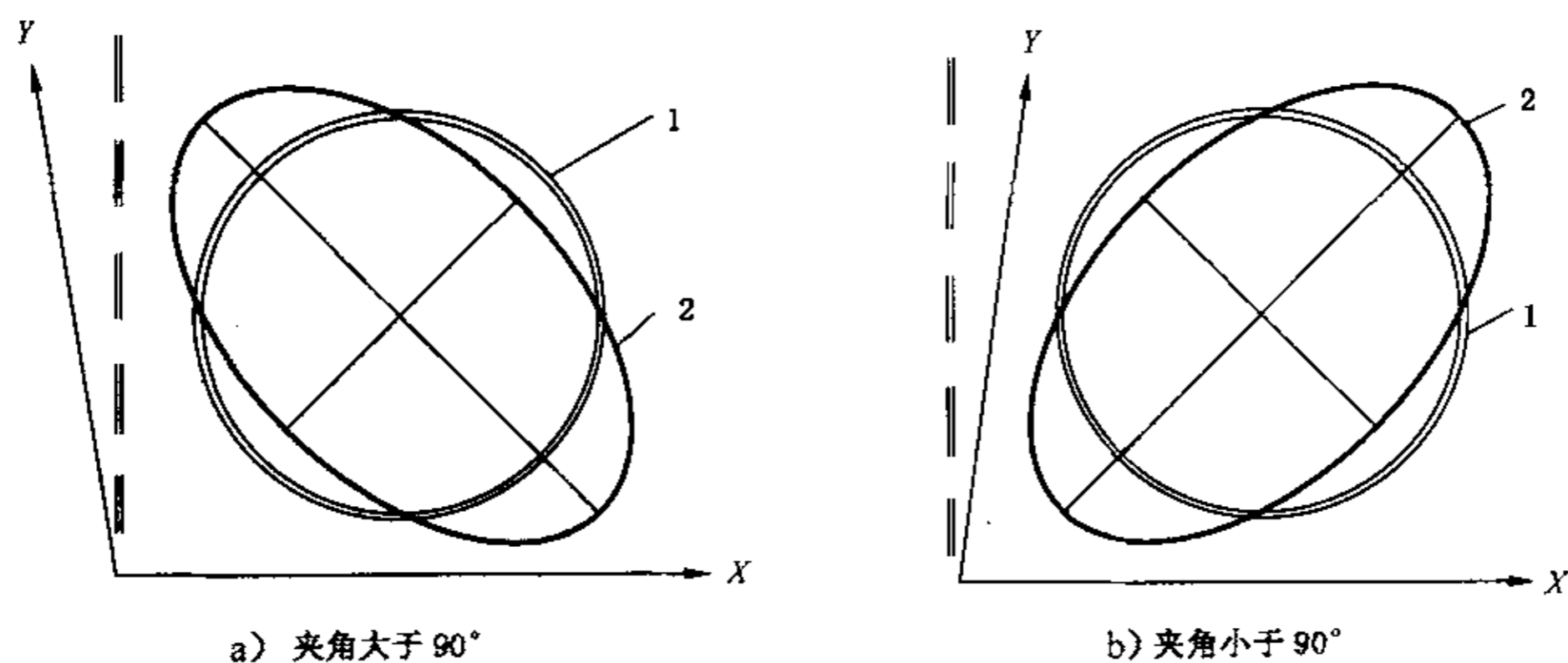
- 1——名义轨迹;
2——实际轨迹。

图 B.1 轴线运动过短和过长时对圆形轨迹的影响

B.2.2 轴线不垂直的影响

假定在 XY 平面上具有垂直度偏差时, X 轴线和 Y 轴线互不垂直且两轴线间的夹角大于 90° , 圆形轨迹在长短轴方向分别为 $\pm 45^\circ$ 时变成为一个椭圆。长轴方向为 -45° [见图 B.2 a)]。

当两轴线间的夹角小于 90° , 圆形轨迹在长短轴方向分别为 $\pm 45^\circ$ 时同样变成为一个椭圆, 但长轴方向是 $+45^\circ$ [见图 B.2 b)]。



1——名义轨迹；
2——实际轨迹。

图 B.2 轴线不垂直对圆形轨迹的影响

B.2.3 周期偏差的影响

周期偏差也影响圆形轨迹。圆形轨迹的偏差是非椭圆形的。假定 Z 轴线存在周期定位偏差,图 B.3显示了轨迹的变化。

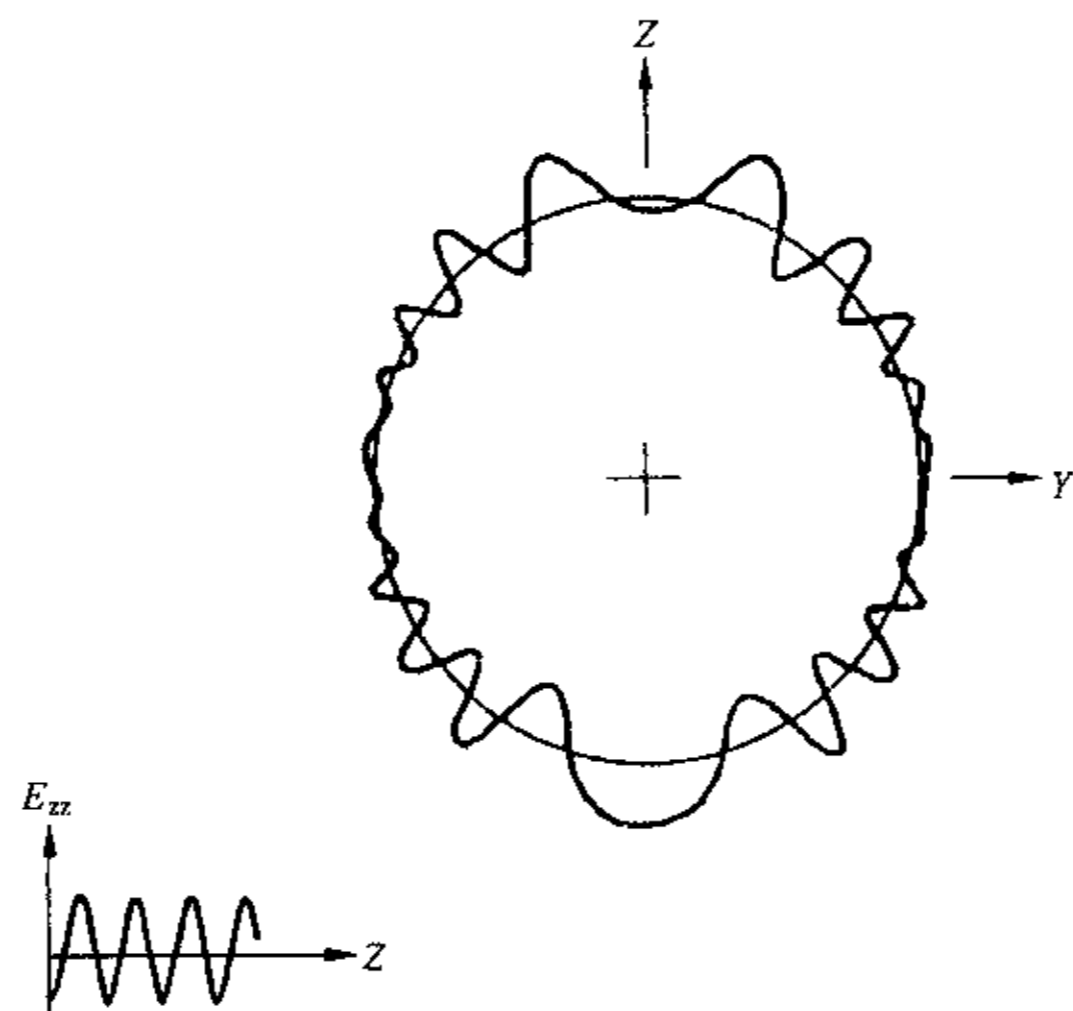


图 B.3 Z 轴线周期偏差的影响

B.3 数控及其驱动装置的影响

由两个线性数控轴线联动产生的圆形轨迹给出了数控系统及其驱动装置的动作信息。每个轴线的运动都很复杂,当圆形轨迹的进给率保持不变时,轴线的行程、速度及加速度呈正弦或余弦变化。

B.3.1 反向误差及其补偿的影响

当两驱动装置中存在任意反向误差时,则名义轨迹变成了中心点不同的四个 1/4 圆组成的圆形(见图 B.4)。

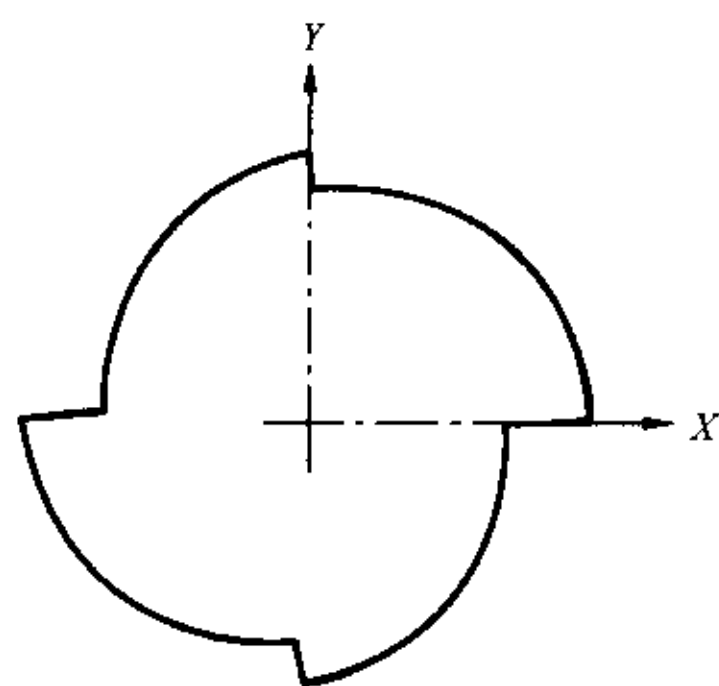


图 B.4 未被补偿的反向误差

当机床安装了反馈元件,可以使用数控系统对任意反向误差进行检测和修正。修正需要一段时间,致使反向点产生峰值(见图 B.5)。机械的反向间隙越大或数控响应越慢(例如:位置环增益小),这些峰值越高。

机加工圆在反向点出现峰值,在线性轴线定位精度和重复定位精度检验标准中未体现(例如:GB/T 17421.2),因为按照这些标准的规定,检验仅在机床停止运动后进行。

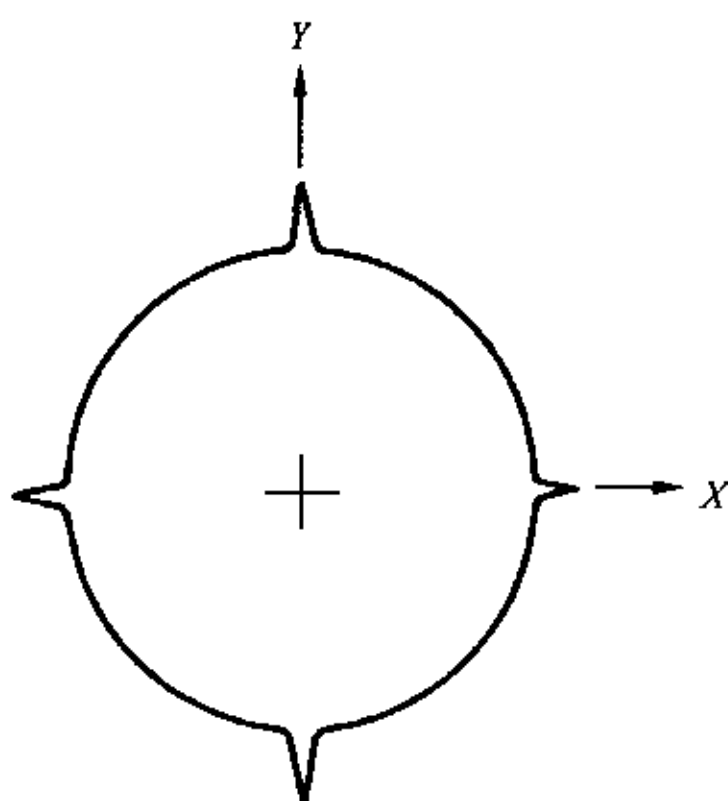
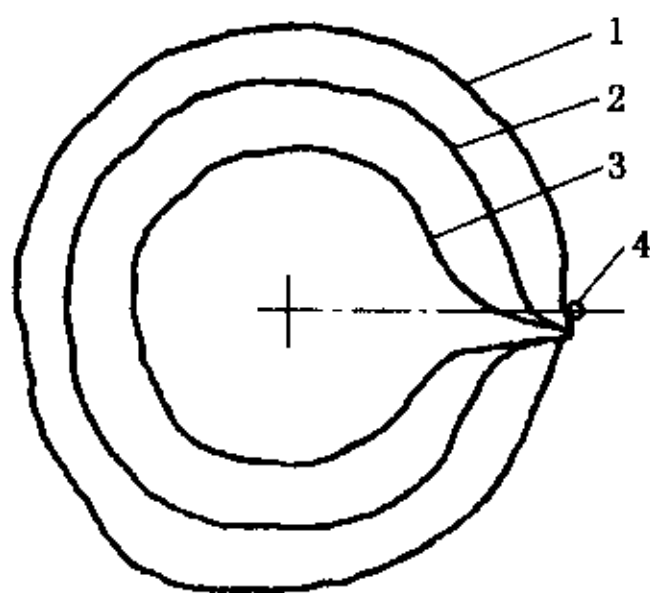


图 B.5 补偿过的反向误差

B.3.2 轴线加速度的影响

如果圆形轨迹的进给率增大,则轴线的加速度相应地增大。轴线以下列方式运转:当进给率较高、频率较快时,运动的幅度减小。由此导致实际轨迹的直径比名义轨迹的直径小(见图 B.6)。



在下列情况下的圆形运动的实际轨迹:

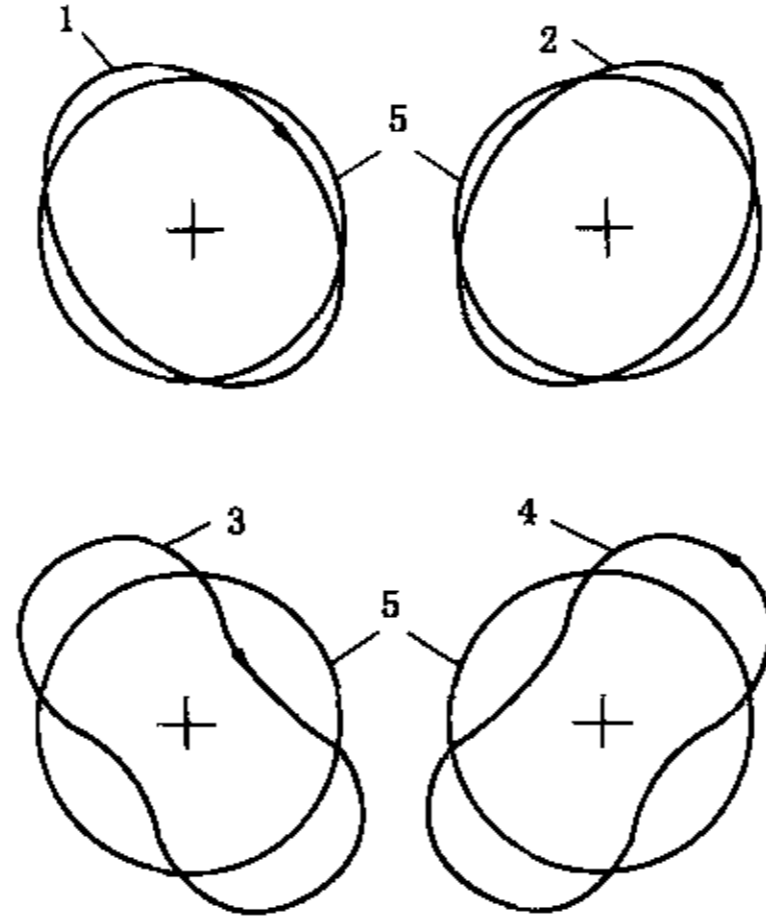
- 1——低速轮廓进给率;
- 2——中速轮廓进给率;
- 3——高速轮廓进给率;
- 4——起始点和终点。

图 B.6 轴线加速度的影响

在机床的数字控制中有专门的控制方法(例如:比例—积分控制环)可使产生的圆形轨迹比标准圆形轨迹大,从而补偿相应轴线加速度的影响。

B.3.3 不同跟踪误差的影响(位置环增益误差)

如果两轴线跟踪误差不同,圆形轨迹就变成一个椭圆。椭圆的长短轴方向分别为 $\pm 45^\circ$ 。随轮廓方向(顺时针或逆时针)的不同,长轴的方向分别是 $+45^\circ$ 或 -45° (见图 B.7)。进给率增大时,圆形的椭圆偏差也相应地增大。



在下列情况下的圆形运动实际轨迹:

- 1——顺时针低速轮廓进给率;
- 2——逆时针低速轮廓进给率;
- 3——顺时针高速轮廓进给率;
- 4——逆时针高速轮廓进给率;
- 5——名义轨迹。

图 B.7 不同跟踪误差的影响

附 录 C
(资料性附录)
直径和轮廓进给率的修正

根据供方与用户间的协议或根据有关的机床标准确定名义轨迹的直径和轮廓进给率。
当选择的直径或轮廓进给率与给定值不同时,为了保持轴线的加速度恒定,应按下列公式修正:

$$V_1 = V_2 \sqrt{D_1/D_2}$$

式中:

V_1 ——轮廓进给率的计算值;

V_2 ——轮廓进给率的给定值;

D_1 ——名义轨迹的检验直径;

D_2 ——名义轨迹的给定直径。

因为下列影响,直径变化应尽量小:

——机床几何偏差随名义轨迹直径的增加而增加;

——不同跟踪误差随轮廓进给率的增加而增加。

示例:

给定直径, $D_2 = 100 \text{ mm};$

给定轮廓进给率, $V_2 = 500 \text{ mm/min};$

检验直径, $D_1 = 125 \text{ mm};$

计算出的轮廓进给率为, $V_1 = 500 \sqrt{125/100} = 559 \text{ mm/min}。$

参 考 文 献

- [1] GB/T 14721.2—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
 - [2] ANSI/ASME B5.54—1992 加工中心的性能评定方法
 - [3] BRYNA, J. B. 测量机和机床的简易检验法
 - [4] BURDEKIN, M. 和 PARK, J. Contisure 用于数控(NC)机床轮廓精度评定的计算机辅助系统
 - [5] KAKINO, Y., IHARA, Y. 和 SHINOHARA, A. 用于数控机床精度检验的双球杆法
 - [6] KNAPP, W. 和 HROVAT, S. 数控机床的圆检验
 - [7] NAKAZAWA, H. 和 ITO, K. 数控机床轮廓精度的测量系统
-