

T/EJCCCSE

团 体 标 准

T/EJCCCSE***—2024

多轴联动机床回转轴几何误差测定 第 1 部分：转摆台几何误差测定

Geometric errors measurement of multi-axis simultaneous centers
—Part 1: Geometric errors measurement of swivel table

2024-XX-XX 发布

2024-XX-XX 实施

中国商业股份制企业经济联合会 发 布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测定前准备	2
5 测定方法	2
6 结果评定与报告编制	4
附 录 A	6
附 录 B	8
附 录 C	9

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》的规则起草。

本文件是 T/XXX—2024《多轴联动机床回转轴几何误差测定》的第 1 部分。T XXX—2024 已经发布了以下部分：

——第 1 部分：转摆台几何误差测定；

本文件由……提出。

本文件由中国商业股份制企业经济联合会归口。

本文件负责起草单位：……。

本文件主要起草人：……。

本文件为首次发布。

转摆台几何误差测定

1 范围

本文件规定了数控机床转摆台几何误差测定装置、测定条件、测定方法和结果评定。

本文件适用于多轴联动数控机床转摆台几何误差测定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 17421.1-1998 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

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

GB/T 17421.7-2016 机床检验通则 第7部分:回转轴线的几何精度

GB/T 34880.2-2017 五轴联动加工中心检验条件 第2部分:立式机床精度检验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 多轴联动数控机床 **multi-axis simultaneous centers**

有多个坐标轴可在计算机数控系统的控制下同时协调运动进行加工的机床。

3.2 回转轴线 **axis of rotation**

绕其进行旋转运动的线段。

[GB/T 17421.7—2016, 定义 3.1.5]

3.3 轴线平均线 **axis average line**

相对于参考轴线固定,表示回转轴线平均位置的线段。

[GB/T 17421.7—2016, 定义 3.1.10]

3.4 径向误差运动 **radial error motion**

在一规定的轴向位置处,其方向垂直于轴线平均线的误差运动。

[GB/T 17421.7—2016, 定义 3.2.10]

3.5 倾斜误差运动 **tilt error motion**

一个与轴线平均线成一定角度的方向上的误差运动。

[GB/T 17421.7—2016, 定义 3.2.12]

3.6 轴向误差运动 **axial error motion**

与轴线平均线平行的误差运动。

[GB/T 17421.7—2016, 定义 3.1.13]

4 测定前准备

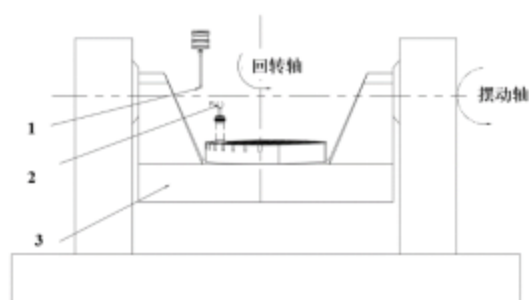
4.1 计量单位

本部分中所有线性尺寸用毫米（mm）表示，线性偏差用微米（ μm ）表示；角度尺寸用度（°）表示，角度偏差用角秒（″）表示。

4.2 测定装置及安装

本规范使用测定装置主要由机床主轴测头和标准球组成，测量精度应 $\leq 1\mu\text{m}$ 。

测头安装在机床主轴上，标准球固定在工作台上，见图 1。



说明：

1—测头；

2—标准球；

3—转摆台。

图 1 转摆台几何误差测定装置图

4.3 测定条件

在进行测定前，应明确以下内容：

- a) 测定前机床应装配、调试完成，所有功能应满足该机床的出厂要求；
- b) 机床应处于检验环境静置足够的时间，不应置于受气流和外部辐射如阳光、高架暖风机直吹影响的地方；
- c) 待检转摆台需装配完毕并经过充分运转。检验应在无负荷条件下进行。

5 测定方法

转摆台几何误差测定包括回转轴几何误差测定和摆动轴几何误差测定。

5.1 回转轴几何误差测定

回转轴几何误差测定流程图见附录 B.1。其具体实施步骤如下：

- a) 在回转轴工作台上取任意一不在回转轴线的点 P_1 ，按规范 4.2 安装标准球于 P_1 点，测头安装于机床主轴上，转摆台回转轴、摆动轴回零，见图 2；

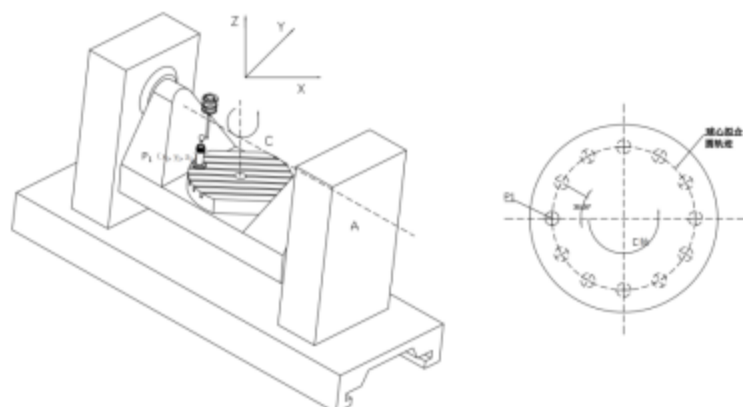


图 2 回转轴 P_1 点测定示意图

- b) 低速启动回转轴旋转，每隔固定角度（推荐 30° ）暂停，采用测头从 $\pm X$ 、 $\pm Y$ 、 $-Z$ 五个方向接近并触碰标准球，获取触碰时测头中心坐标，并计算工作台上标准球的球心坐标；
- c) 分别调整标准球的初始安装位置至 P_2 、 P_3 （选取的 P_1 、 P_2 、 P_3 三点应具有不完全相同的 Z 坐标且远离回转轴回转中心，见图 3），重复操作步骤（b）。

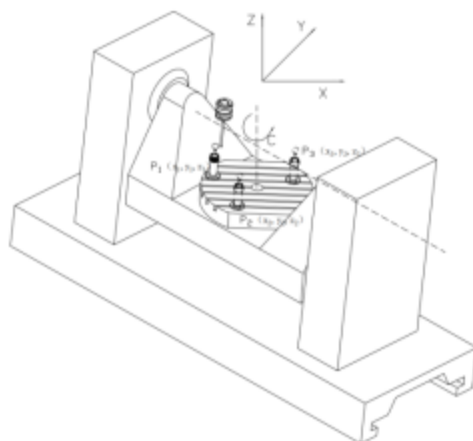


图 3 回转轴 P_1 、 P_2 、 P_3 测定位置示意图

5.2 摆动轴几何误差测定

摆动轴测定流程图见附录 B.2，测定步骤如下：

- a) 在工作台上取任意不在摆动轴轴线的点 P_4 ，按规范 4.2 安装标准球于 P_4 点，测头安装于机床主轴上，机床回转轴、摆动轴回零，见图 4；
- b) 对摆动轴全行程每隔固定角度（推荐 15° ）设置一目标位置，低速启动摆动轴旋转，到目标位置暂停，采用测头从 $\pm X$ 、 $\pm Y$ 、 $-Z$ 五个方向接近并触碰标准球，获取触碰时测头中心坐标，并由此计算工作台上标准球的球心坐标；
- c) 分别调整标准球初始安装位置至 P_5 、 P_6 （选取的 P_4 、 P_5 、 P_6 三点应具有不完全相同的 X 坐

标且远离摆动轴回转中心，见图5），重复操作步骤（b）。

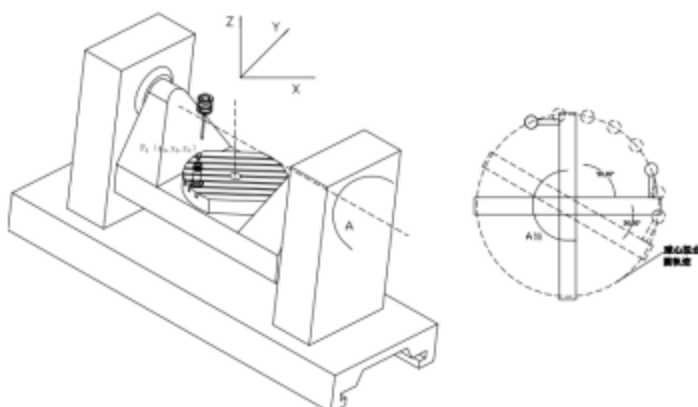


图4 摆动轴 P4 点测定示意图

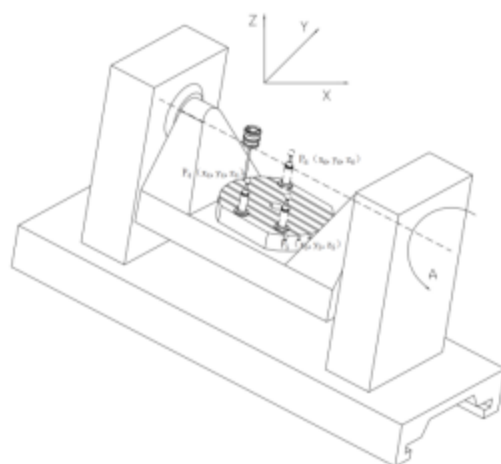


图5 摆动轴 P4、P5、P6 点测定示意图

6 结果评定与报告编制

6.1 位置无关几何误差

按照规范 4.4.1 操作步骤对回转轴进行测定，通过标准球在 P1 位置处试验数据，拟合运动轨迹。计算回转轴轴线平均线 4 项与位置无关误差，映射关系见附录 C 中图 C.1。

6.2 位置相关几何误差

通过标准球在 P1、P2、P3 处试验数据，建立回转轴位置相关几何误差运动方程（见附录 C.1），计算回转轴位置相关误差。

按照规范 4.4.2 操作步骤对摆动轴进行测定，摆动轴误差分析见附录 C.2。

6.3 报告编制要求

为与测量方案一致，测定结果需包含以下内容。

- a) 使用检测设备清单及测量精度；
- b) 测量仪器的位置：测头、标准球安装位置；
- c) 机床名称、型号、型式和坐标轴行程；

- d) 测量日期、轴线名称、环境温度、湿度；
- e) 检测时是否应用内部补偿系统、是否使用油冷或气冷；
- f) 其他影响测量结果的不确定因素说明。

附录 A

(资料性附录)

转摆台几何误差定义

A.1 回转轴线的误差定义

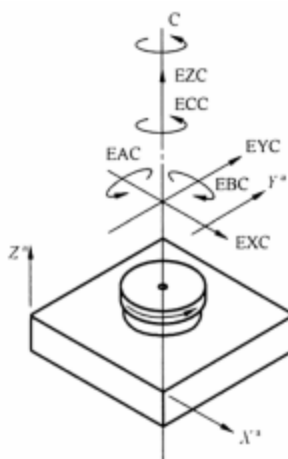


图 A.1 回转轴线的误差示意图

A.2 回转轴轴线平均线的误差定义

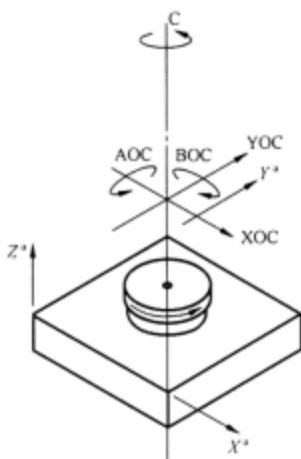


图 A.2 轴线平均线的误差示意图

表A.1 转摆台几何误差定义

	误差	含义
回转轴	EXC	在 X 方向的径向运动误差
	EYC	在 Y 方向的径向运动误差
	EZC	轴向运动误差
	EAC	围绕 X 轴的倾斜运动误差
	EBC	围绕 Y 轴的倾斜运动误差
	ECC	角定位误差
	XOC	回转轴轴心的 X 方向误差
	YOC	回转轴轴心的 Y 方向误差
	AOC	回转轴对 Y 轴的垂直度
	BOC	回转轴对 X 轴的垂直度
摆动轴	EXA	轴向运动误差
	EYA	在 Y 方向的径向运动误差
	EZA	在 Z 方向的径向运动误差
	EAA	角定位误差
	EBA	围绕 Y 轴的倾斜运动误差
	ECA	围绕 Z 轴的倾斜运动误差
	YOA	摆动轴轴心的 Y 方向误差
	ZOA	摆动轴轴心的 Z 方向误差
	BOA	摆动轴对 Z 轴的垂直度
	COA	摆动轴对 Y 轴的垂直度

附录 B
(资料性附录)

转摆台几何误差测定流程

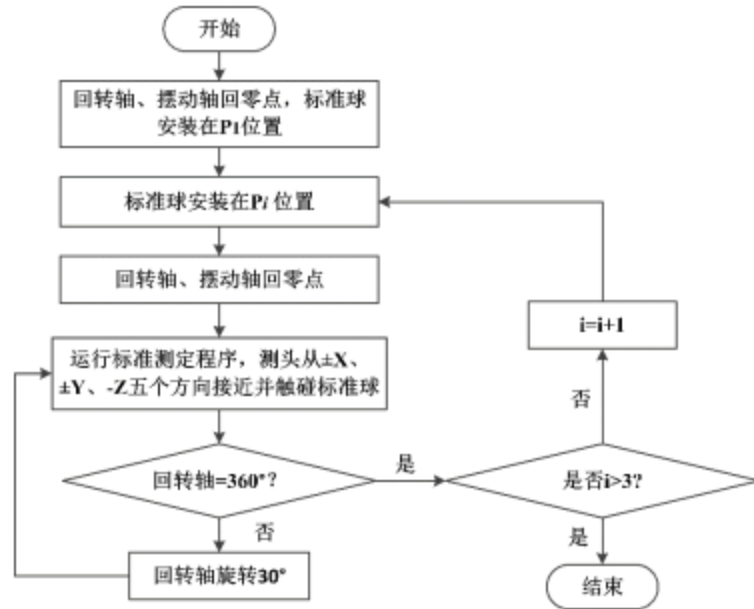


图 B. 1 回转轴几何误差测定流程图

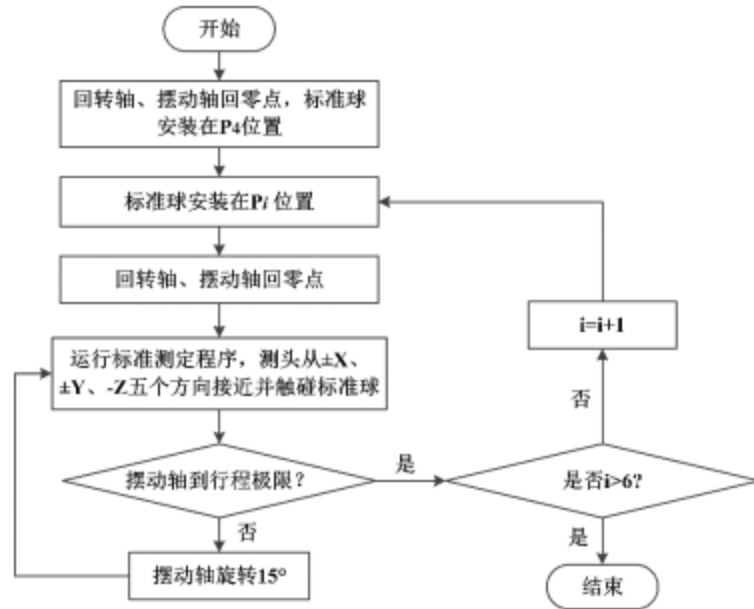


图 B. 2 摆动轴几何误差测定流程图

附录 C

(资料性附录)

转摆台几何误差模型

C.1 回转轴几何误差计算

回转轴位置无关的几何误差由下述方法确定。通过记录每个回转轴转角下测头触碰标准球时的中心坐标,计算标准球球心坐标,并通过不同回转轴转角下计算得到的球心坐标拟合标准球运动轨迹。回转轴轴线平均线的 4 项位置误差与标准球球心运动轨迹的关系见图 C.1。

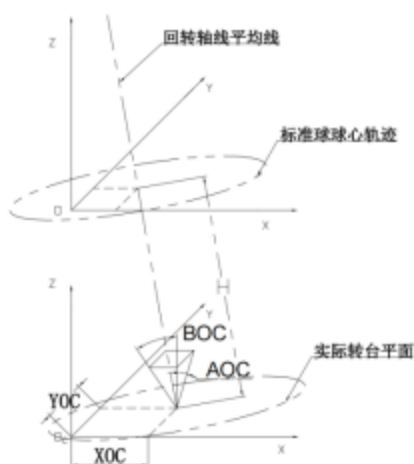


图 C.1 回转轴位置无关几何误差

通过本规范回转轴测定试验结果,得到在三个初始安装位置 P1、P2、P3 标准球球心坐标的理想值与实际值的差值,记为:

$$B = [\Delta x_1 \quad \Delta y_1 \quad \Delta z_1 \quad \Delta x_2 \quad \Delta y_2 \quad \Delta z_2 \quad \Delta x_3 \quad \Delta y_3 \quad \Delta z_3]^T$$

误差矩阵为:

$$X = [E_{xc} + X_{oc} \quad E_{yc} + Y_{oc} \quad E_{zc} \quad E_{ac} + A_{oc} \quad E_{bc} + B_{oc} \quad E_{cc}]^T$$

结合运动学模型,回转轴误差可得:

$$X = A^T B$$

式中:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & z_1 & -x_1 \sin(C_1) - y_1 \cos(C_1) \\ 0 & 1 & 0 & -z_1 & 0 & x_1 \cos(C_1) - y_1 \sin(C_1) \\ 0 & 0 & 1 & y_1 \cos(C_1) + x_1 \sin(C_1) & y_1 \sin(C_1) - x_1 \cos(C_1) & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & z_2 & -x_2 \sin(C_1) - y_2 \cos(C_1) \\ 0 & 1 & 0 & -z_2 & 0 & x_2 \cos(C_1) - y_2 \sin(C_1) \\ 0 & 0 & 1 & y_2 \cos(C_1) + x_2 \sin(C_1) & y_2 \sin(C_1) - x_2 \cos(C_1) & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & z_3 & -x_3 \sin(C_1) - y_3 \cos(C_1) \\ 0 & 1 & 0 & -z_3 & 0 & x_3 \cos(C_1) - y_3 \sin(C_1) \\ 0 & 0 & 1 & y_3 \cos(C_1) + x_3 \sin(C_1) & y_3 \sin(C_1) - x_3 \cos(C_1) & 0 \end{bmatrix}$$

C.2 摆动轴几何误差计算

摆动轴位置无关的几何误差由下述方法确定。通过记录每个摆动轴转角位置测头触碰标准球时的中心坐标，可以计算出标准球球心坐标。不同摆动轴转角位置计算得到的球心坐标可以拟合标准球运动轨迹。摆动轴轴线平均线的4项位置误差与标准球球心运动轨迹的关系见C.2。

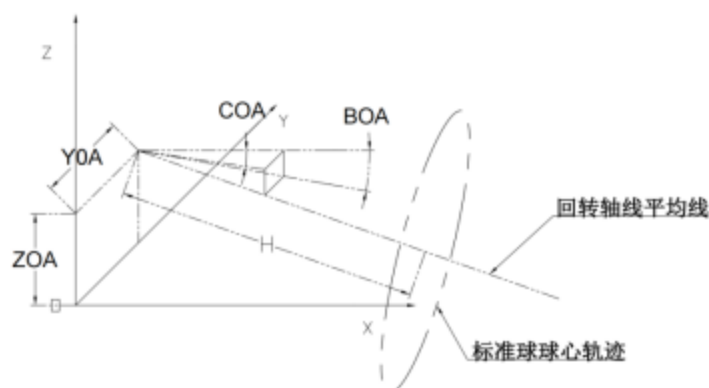


图 C.2 摆动轴位置无关几何误差

通过本规范摆动轴程序测定，得到在三个初始安装位置标准球球心坐标的理想值与实际值的差值，记为：

$$D = [\Delta x_4 \quad \Delta y_4 \quad \Delta z_4 \quad \Delta x_5 \quad \Delta y_5 \quad \Delta z_5 \quad \Delta x_6 \quad \Delta y_6 \quad \Delta z_6]^T$$

误差矩阵：

$$Y = [E_{xA} \quad E_{yA} + Y_{OA} \quad E_{zA} + Z_{OA} \quad E_{AA} \quad E_{BA} + B_{OA} \quad E_{CA} + C_{OA}]^T$$

结合运动学模型，摆动轴误差可得：

$$Y = C^T D$$

式中：

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & y_4 \sin(A_j) + z_4 \cos(A_j) & -y_4 \cos(A_j) + z_4 \sin(A_j) \\ 0 & 1 & 0 & -y_4 \sin(A_j) - z_4 \cos(A_j) & 0 & x_4 \\ 0 & 0 & 1 & y_4 \cos(A_j) - z_4 \sin(A_j) & -x_4 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & y_5 \sin(A_i) + z_5 \cos(A_i) & -y_5 \cos(A_j) + z_5 \sin(A_j) \\ 0 & 1 & 0 & -y_5 \sin(A_j) - z_5 \cos(A_j) & 0 & x_5 \\ 0 & 0 & 1 & y_5 \cos(A_j) - z_5 \sin(A_j) & -x_5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & y_6 \sin(A_j) + z_6 \cos(A_j) & -y_6 \cos(A_j) + z_6 \sin(A_j) \\ 0 & 1 & 0 & -y_6 \sin(A_j) - z_6 \cos(A_j) & 0 & x_6 \\ 0 & 0 & 1 & y_6 \cos(A_j) - z_6 \sin(A_j) & -x_6 & 0 \end{bmatrix}$$