

# 钻尖刃磨机床定位误差对刃磨精度的影响\*

郭延文 黄祯祥

**【摘要】** 分析了六自由度(六数控轴)的钻尖刃磨机各数控轴的定位误差对钻尖刃磨精度的影响,特别是各坐标轴定位误差对磨后结构参数主刃锋角 $\phi$ 和圆周后角 $\alpha_{fc}$ 影响的规律,为数控刃磨机床的设计提供了参考依据。

**关键词:** 刃磨精度 定位误差 坐标轴

中图分类号: TH161

文献标识码: A

## 引言

在研究钻尖数控刃磨理论,设计钻尖数控刃磨机床时,除考虑从运动关系上能够磨出正确形态的钻尖外,还应重视各种误差因素对钻尖刃磨结果的影响。刃磨质量低的刃磨设备不仅磨出的钻头达不到要求,而且浪费人力、财力和原材料。但是无针对性地提高刃磨设备的精度,既不合理,又不现实。钻尖数控刃磨工艺系统中,每个环节的误差对最终刃磨质量的影响程度是不同的。本文分析系统中影响

刃磨精度的各种误差因素,特别是确定主要影响因素,为合理提高钻尖的刃磨精度提供参考。

## 1 影响刃磨精度的因素分析

钻尖数控刃磨的机械加工工艺系统,由硬件和软件组成。硬件包括控制驱动部分和机械部分;控制驱动部分是指微机及控制接口电路、步进电动机及位置检测元件等;机械部分则包括机床、砂轮、夹头和钻头等。软件包括工艺方案、计算程序和控制程序等。图1表示了在该工艺系统中可能影响刃磨精度的

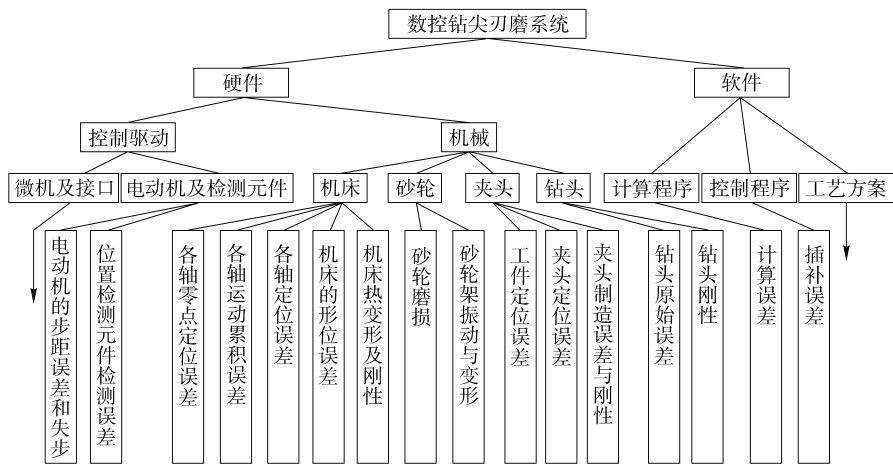


图1 影响刃磨精度的误差及其根源框图

误差及其来源<sup>[1]</sup>。

机床运动的控制脉冲信号来自微机及控制接口电路,只要接口电路设计合理,产生脉冲信号误差的可能性比较小。一旦出现,则是故障,且具有破坏性,它影响加工的稳定性,不属于刃磨精度问题。

步进电动机是机床运动的动力源,它的步距精度和运行中的失步,直接影响各数控轴的运动精度

和定位精度,必须加以控制。可以通过选择高精度大功率步进电动机或细分步距的办法,也可以选用闭环和半闭环控制。

位置检测元件在刃磨中主要用于初始零点定位,它的检测误差会直接影响坐标轴的零点定位精度。

机床作为刃磨的主体,是加工误差的主要来源。

收稿日期: 2006-03-24

\* 湖南省教育厅基金资助项目(项目编号:05C091)和湘潭市科学技术局基金资助项目(项目编号:GY200503)

郭延文 湘潭大学职业技术学院 讲师, 411100 湖南省湘潭市

黄祯祥 湘潭大学职业技术学院 讲师

各坐标轴的零点定位误差、定位误差和运动累积误差,机床制造时的形位误差,机床加工中的热变形及刚性都会影响刃磨精度。

因为砂轮直接与钻尖接触,所以砂轮的磨损以1:1的比例影响磨削精度。

夹头是工件的重要定位元件,它对刃磨精度的影响主要为:夹头本身制造误差,工件在夹头的定位误差,夹头在工件头架上的定位误差等。夹头本身的制造误差可通过其加工精度来减小;关键是定位误差,数控系列刃磨机采用的是弹性自动定心夹头,工件在夹头上的定位误差是一个常规问题,本文不作分析。

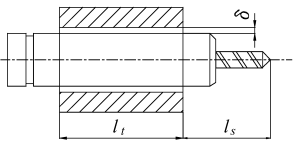


图2 夹头在头架中的定位

配合间隙  $\delta$ ,会引起钻尖位置径向偏差  $\Delta$ ,即

$$\Delta = 2 \left( 1 + \frac{l_s}{l_t} \right) \delta \quad (1)$$

式中  $l_s$ ——钻头伸出长度

$l_t$ ——头架导向长度

磨后钻尖型面产生几何偏心。这种钻头在使用中会产生径向振摆而加大孔径,所以应适当减小间隙  $\delta$  和钻头伸出长度  $l_s$ ,加大导向长度  $l_t$ 。

钻头本身的原始误差和刚性也会影响刃磨精度。如已经弯曲的钻头,刃磨后的对称度偏差就很大,因此刃磨前需对钻头进行筛选,剔除不合格钻头。在装夹钻头时,应尽可能减小钻头伸出长度,以保证刃磨时钻头有足够刚性。

钻尖数控刃磨属一次安装,工艺方案主要体现在软件控制程序中。计算过程产生的计算误差和控制中插补误差对刃磨精度有影响,因此必须减少近似性计算,选择合适的插补方法,以减少由此带来的原理性误差。

综上所述,在诸多的误差因素中,尤以机床误差对刃磨精度的影响最大。

## 2 数控轴定位误差对刃磨精度的影响

机床各数控轴的定位误差对磨后钻尖结构参数精度的影响程度,将因刃磨原理和机床结构的不同而不同。由于存在误差敏感方向,同一台机床的不同坐标轴的影响程度也不同。为了能从误差和精度的角度对数控系列刃磨机的刃磨原理和机床结构的合理性充分认识,以及借此指导今后的刃磨机设计,有必要对机床定位误差的传递规律进行分析研究。

以六自由度(六数控轴)的钻尖刃磨机为例,如

图3所示。六自由度的钻尖刃磨机有6个坐标轴(数控轴),在刃磨锥面钻尖时,C1轴起调整角向位置和刃磨分度作用,C2轴用于锥面成形运动,C3轴用于调整半锥角  $\theta_0$  及锥轴倾斜角  $\sigma_0$ (图4),X、Y轴用于调整水平面内钻尖相对砂轮的位置以及完成进给运动,Z轴用于在垂直平面内钻尖相对于砂轮位置的调整。刃磨的过程实际为6个坐标轴的运动合成。为便于比较,选该机床刃磨锥面钻尖,且以各坐标轴定位误差对磨后结构参数主刃锋角  $\phi$  和圆周后角  $\alpha_{fc}$ <sup>[1~2]</sup>的影响为例,进行分析。

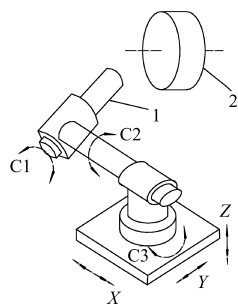


图3 六自由度的钻尖刃磨机模型

1. 钻尖 2. 砂轮

### 2.1 锥面钻尖刃磨参数分析

如图4所示,建立坐标系  $O_1XYZ$ ,坐标原点  $O_1$  在钻芯尖上;选择矢量坐标系  $Oijk$ ,坐标原点  $O$  为钻头轴线与锥轴在面  $Oik$  上投影的交点。两坐标系的Z轴、k轴与钻头轴线重合。 $O_2$  为锥轴与j轴的交点。圆锥顶点为  $P$ 。 $\theta_0$  为锥顶角的半角,决定了圆锥的大小。 $C_x$  和  $C_y$  表示锥顶点  $P$  的  $i$ 、 $j$  坐标值的绝对值,决定了钻尖在锥面上的位置。 $\varphi_0$  为钻头轴线和砂轮面在  $Oik$  面上的交角,决定了钻头轴线相对锥轴的位置。 $\theta_0$ 、 $C_x$ 、 $C_y$ 、 $\varphi_0$  等4个刃磨参数<sup>[1,3~4]</sup>决定了所磨钻尖后刀面的形状。

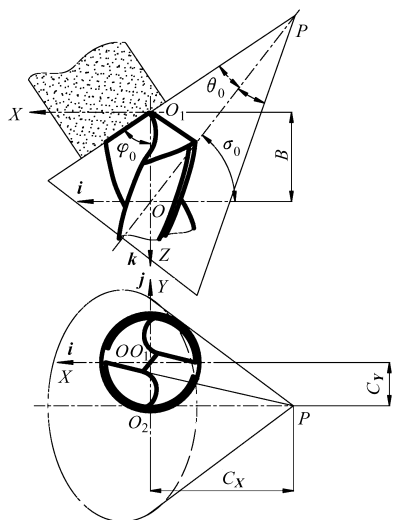


图4 锥面钻尖后刀面刃磨数学模型图

普通麻花钻的刃沟是一螺旋面,在钻尖轧制或磨沟时就已形成,不受钻尖后刀面刃磨方法的影响。但是它的一部分与后刀面相交形成主切削刃,这一部分为前刀面。如图5所示,选择矢量坐标系  $Oijk$ ,坐标原点选在离钻尖  $p_0$  处,图中  $AB$  段即为前刀面

与后刀面相交形成的主切削刃。改变  $p_0$  值时,会影响前刀面在坐标系  $Oijk$  中的初始位置,从而导致主切削刃位置的变化。可见,前刀面影响主切削刃形状。令  $\gamma = B - p_0$ ,因此确定  $\gamma$  为另一刃磨参数。至此,得到了钻尖的 5 个刃磨参数,即:  $C_X, C_Y, \theta_0, \varphi_0, \gamma$ 。

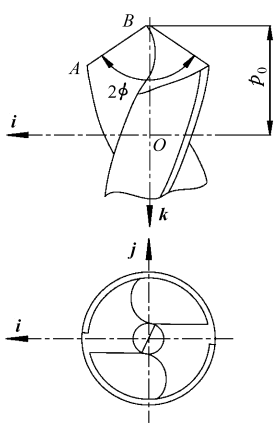


图 5 锥面钻尖主切削刃分析示意图

### 2.2 C1 轴的定位误差 $\Delta_{C1}$

C1 轴无论是起调整角向位置作用,还是分度作用,它产生的  $\Delta_{C1}$  都是通过影响刃磨参数  $\gamma$  来间接影响  $\phi$  和  $\alpha_{fc}$  的。 $\Delta_{C1}$  与  $\gamma$  的误差  $\Delta_\gamma$  的关系为<sup>[5]</sup>

$$\Delta_\gamma = \frac{r_0}{\tan\phi} \Delta_{C1} \quad (2)$$

式中  $r_0$ ——钻芯半径

图 6 表示了定位误差  $\Delta_{C1}$  与钻尖结构参数  $\phi, \alpha_{fc}$  的误差  $\Delta_\phi, \Delta_{\alpha_{fc}}$  的关系曲线(刃磨参数为:  $C_X = 50, C_Y = 3, \theta_0 = 14^\circ, \varphi_0 = 60^\circ, \gamma = 0$ )。

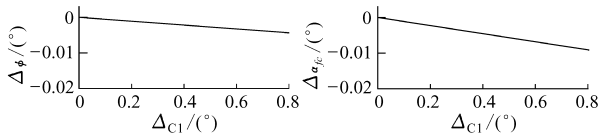


图 6  $\Delta_{C1}$  与  $\Delta_\phi, \Delta_{\alpha_{fc}}$  的关系

从图中可以看出,随着  $\Delta_{C1}$  的增加(从钻尖尾部看,逆时针),主刃锋角和圆周后角误差比例向负向增大。后角误差比主刃锋角误差大。它们的关系为

$$\begin{cases} \Delta_\phi = -\frac{1}{150} \Delta_{C1} \\ \Delta_{\alpha_{fc}} = -\frac{1}{80} \Delta_{C1} \end{cases} \quad (3)$$

从式(3)中可以看出误差传递系数远小于 1,因此 C1 轴方向对于  $\phi, \alpha_{fc}$  属于误差非敏感方向。

### 2.3 C2 轴的定位误差 $\Delta_{C2}$

C2 轴用于锥面成形运动,它所引起的误差  $\Delta_{C2}$  对锥面钻尖的结构参数基本不会产生影响。

### 2.4 C3 轴的定位误差 $\Delta_{C3}$

C3 轴用于调整半锥角  $\theta_0$  及锥轴倾斜角  $\sigma_0$ 。

C3 轴产生的定位误差会对 5 个刃磨参数中的 4 个产生影响,即:  $C_X, \theta_0, \varphi_0$  和  $\gamma$ ,使它们产生  $\Delta_{C_X}, \Delta_{\theta_0}, \Delta_{\varphi_0}$  和  $\Delta_\gamma$  4 个误差,如图 7 所示。 $\Delta_{C3}$  与这些刃磨参数误差的关系为

$$\begin{cases} \Delta_{\theta_0} = \Delta_{\varphi_0} = -\Delta_{C3} \\ \Delta_{C_X} = (C_X + l_2 + l_1 \sin\sigma) \left( \frac{\sin\theta_0}{\sin(\theta_0 - \Delta_{C3})} - 1 \right) \\ \Delta_\gamma = -(C_X + \Delta_{C_X})(\cot\sigma - \cot(\varphi_0 - \Delta_{C3})) + C_X(\cot\sigma - \cot\varphi_0) \end{cases} \quad (4)$$

其中

$$\sigma = 90^\circ - \sigma_0$$

式中  $l_1, l_2$ ——机床结构尺寸

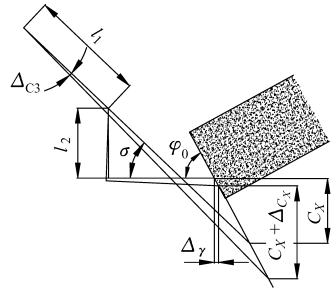


图 7 C3 轴定位误差的影响分析示意图

图 8 表示了定位误差  $\Delta_{C3}$  与钻尖结构参数  $\phi, \alpha_{fc}$  的误差  $\Delta_\phi, \Delta_{\alpha_{fc}}$  的关系曲线。从图中可以看出,随着  $\Delta_{C3}$  的增大,误差  $\Delta_\phi, \Delta_{\alpha_{fc}}$  比例增大,而且  $\Delta_{C3}$  对后角误差影响大,  $\Delta_{C3} = 0.5^\circ$  时,  $\Delta_{\alpha_{fc}}$  达  $2.5^\circ$ 。

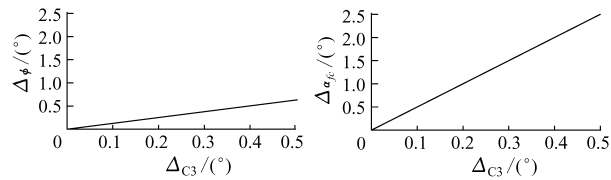


图 8  $\Delta_{C3}$  与  $\Delta_\phi, \Delta_{\alpha_{fc}}$  的关系

它们的关系式为

$$\begin{cases} \Delta_\phi = 1.67 \Delta_{C3} \\ \Delta_{\alpha_{fc}} = 5 \Delta_{C3} \end{cases} \quad (5)$$

同样道理,C3 轴用于调整锥轴倾斜角  $\sigma_0$  时,  $\Delta_{C3}$  与钻尖结构参数  $\phi, \alpha_{fc}$  的误差  $\Delta_\phi, \Delta_{\alpha_{fc}}$  的关系为

$$\begin{cases} \Delta_\phi = 1.33 \Delta_{C3} \\ \Delta_{\alpha_{fc}} = 4.5 \Delta_{C3} \end{cases} \quad (6)$$

它们的误差传递系数都大于 1,尤其对于  $\alpha_{fc}$  来说,误差放大倍数高达 5 倍。因此应严格控制使 C3 轴产生误差的因素。

### 2.5 X 轴的定位误差 $\Delta_X$

X 轴产生的定位误差会导致刃磨参数  $C_X, \gamma$  出现误差  $\Delta_{C_X}$  和  $\Delta_\gamma$ ,如图 9 所示。 $\Delta_X$  与它们关系为

$$\begin{cases} \Delta_{C_X} = \left( \cos(\varphi_0 - \theta_0) \frac{\sin\varphi_0}{\sin\theta_0} - 1 \right) \Delta_X \\ \Delta_\gamma = \Delta_X \tan\varphi_0 \end{cases} \quad (7)$$

图 10 为  $\Delta_X$  与钻尖结构参数  $\phi, \alpha_{fc}$  的误差  $\Delta_\phi, \Delta_{\alpha_{fc}}$  的关系曲线。从图中可以看出,随着  $\Delta_X$  的增大,误差  $\Delta_\phi, \Delta_{\alpha_{fc}}$  也成比例增大,它们的关系为

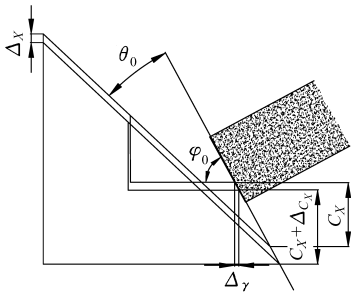


图9 X轴定位误差的影响分析示意图

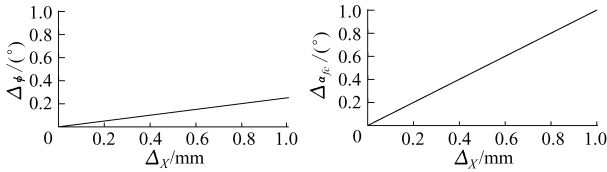


图10  $\Delta_X$ 与 $\Delta_\phi$ 、 $\Delta_{\alpha_{fc}}$ 的关系

$$\begin{cases} \Delta_\phi = 0.5\Delta_X \\ \Delta_{\alpha_{fc}} = 0.87\Delta_X \end{cases} \quad (8)$$

它们的误差传递系数比C2、C3轴的小,均小于1,但比C1大得多。

### 2.6 Y轴的定位误差 $\Delta_Y$

Y轴产生的定位误差会导致刃磨参数 $C_X$ 、 $\gamma$ 出现误差 $\Delta_{C_X}$ 和 $\Delta_\gamma$ ,如图11所示, $\Delta_Y$ 与它们的关系为

$$\begin{cases} \Delta_{C_X} = \left( \sin(\varphi_0 - \theta_0) \frac{\sin \varphi_0}{\sin \theta_0} \right) \Delta_Y \\ \Delta_\gamma = \Delta_Y \end{cases} \quad (9)$$

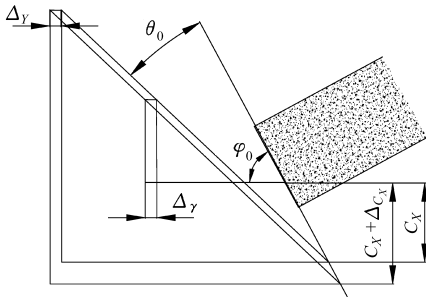


图11 Y轴定位误差的影响分析示意图

图12为 $\Delta_Y$ 与钻尖结构参数 $\phi$ 、 $\alpha_{fc}$ 的误差 $\Delta_\phi$ 、 $\Delta_{\alpha_{fc}}$ 的关系曲线,从图中可以看出,随着 $\Delta_Y$ 的增大,

$\Delta_\phi$ 、 $\Delta_{\alpha_{fc}}$ 成比例增大,但 $\Delta_{\alpha_{fc}}$ 增大的比例小,它们的关系为

$$\begin{cases} \Delta_\phi = 0.8\Delta_Y \\ \Delta_{\alpha_{fc}} = 0.25\Delta_Y \end{cases} \quad (10)$$

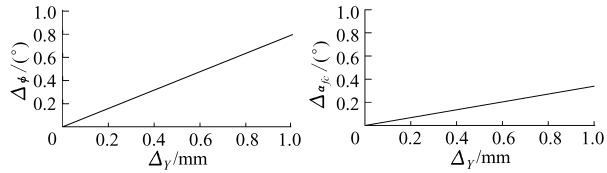


图12  $\Delta_Y$ 与 $\Delta_\phi$ 、 $\Delta_{\alpha_{fc}}$ 的关系

与X轴的定位误差影响相反, $\Delta_Y$ 对 $\Delta_\phi$ 影响大,误差传递系数也大。

### 2.7 Z轴的定位 $\Delta_Z$

如图13所示,Z轴方向产生 $\Delta_Z$ 的偏差,引起的砂轮径向钻尖相对砂轮位置的变动量 $\Delta_{pr}$ 。 $\Delta_Z$ 与 $\Delta_{pr}$ 的关系为

$$\Delta_{pr} = \Delta_Z \sin\left(\frac{\Delta_Z}{R_S}\right) \quad (11)$$

式中  $R_S$ ——砂轮半径

由于砂轮半径很大

( $R_S = 150 \text{ mm}$ ),  $\sin\left(\frac{\Delta_Z}{R_S}\right)$

很小,所以 $\Delta_{pr}$ 很小。因此沿轴方向产生的误差对锥面钻尖刃磨精度的影响很小。这个方向为误差非敏感方向。

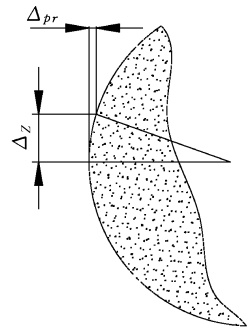


图13 Z轴定位误差的影响分析示意图

## 3 结束语

从刃磨锥面钻尖时的误差传递规律来看,6个数控轴定位误差对刃磨精度的影响程度从大到小的排序是:C3轴、Y轴、X轴、C1轴、Z轴和C2轴。C3轴是该机床刃磨精度的最薄弱环节,在机床设计时,应尽量减小它的定位误差传递系数,以确保钻尖刃磨精度。

## 参考文献

- 1 郭延文. 麻花钻钻尖刃磨理论的研究[D]. 上海: 同济大学, 2004.
- 2 王勇, 柴苍修, 陈新强. 锥面麻花钻的重刃磨及相关参数设计计算[J]. 汽车工艺与材料, 2002(7): 16~19.
- 3 王勇. 麻花钻钻尖的重刃磨技术及计算机仿真[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2002.
- 4 周志雄. 一种新型钻头及其刃磨技术的研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2001.
- 5 张伟. 钻尖数控刃磨技术研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 1990.