

西门子 840D 五轴联动刀具补偿及应用

江苏多棱数控机床股份有限公司 (常州 213012) 唐建明 卞进泽

1. 五轴联动的结构形式及其转轴、转台主从关系

五轴联动对叶轮、蜗轮、桁架的加工可以做到一次成形,加工效率高。它改变了以往三轴机床的由点成面、由线成面的加工方法,而且被加工零件的表面质量好、精度高。对复杂曲面只要指定刀具轴与零件曲面表面的位置关系,就可使复杂曲面的加工过渡光滑、不干涉、不过切,满足曲面的要求。

要能够正常使用五轴联动就必须使五轴刀具补偿生效。五轴联动的旋转轴是根据所围绕的线性轴而确定的。绕 X 轴旋转的为 A 轴,绕 Y 轴旋转的为 B 轴,绕 Z 轴旋转的为 C 轴,其旋转方向根据所对应的线性轴的正方向按右手定则确定,当然旋转轴的转向也可不按右手定则而由系统中旋转方向的参数设定。通常根据转轴和转台的组成情况大致可把五轴联动分成三种结构形式:两个旋转轴;两个转台旋转、一个转轴加一个转台旋转。在确定了结构形式后旋转轴的主从关系也随之确立,如表 1 所示。

表 1 五轴联动的三种旋转类型

结构形式	主从关系	旋转形式
1	第一个旋转轴 C (主) 第二个旋转轴 A (从)	刀具轴旋转
2	第二个旋转台 B (从) 第一个旋转台 C (主)	工作台旋转
3	刀具轴旋转 A (主) 工作台面旋转 C (从)	混合旋转

表 1 中 (1)、(2)、(3) 的两个旋转轴 (台) 的上下关系即为实际结构中的上下顺序,如图 1 所示。

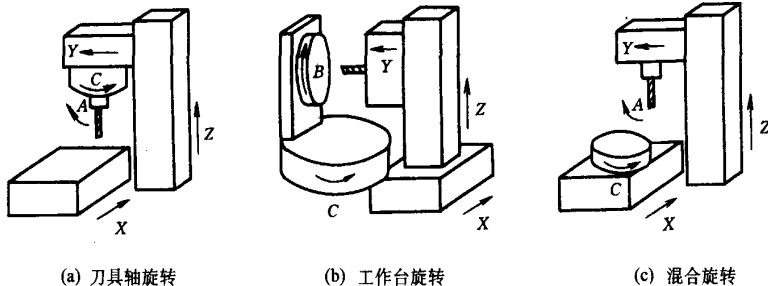


图 1 五轴联动的结构顺序

2. 五轴联动刀具补偿的理论分析

根据 XH2725/5X—10 桥式龙门五轴联动的刀具补偿原理及参数设置进行分析说明。该机床采用的是西门子 840D 系统,如图 1a 所示的 A 、 C 轴万能铣头结构,刀具轴心的起始位置在 Z 轴上。在五轴联动的加工中,保持刀具中心位置不变是可以通过各线性轴的位置调整来实现,如图 2 所示。从而编程时只要考虑刀具中心的运动和刀具轴的方向,解决了编程和实际运行的统一。如何在只有 A 、 C 轴运动的情况下,保持刀具刀尖位置不变,分析如下:设当 A 、 C 轴摆动 α_A 和 α_C 后, X 、 Y 、 Z 产生的移动分别是 N_X 、 N_Y 、 N_Z ,则由图 3 可知

$$N_X = -D \sin \alpha_C, \quad N_Y = D \cos \alpha_C, \quad N_Z = R - R \cos \alpha_A$$

式中 $D = R \sin \alpha_A$ 。(R 为 A 轴旋转中心到刀具端面的距离)

图 3a 为机床坐标系;图 3b 为 C 轴在零位, α_A 轴摆动角度 (A 为 Z 、 Y 轴的变化);图 3c 为 A 、 C 摆动后的 X 、 Y 变化。

可见 A 、 C 轴摆动后 X 、 Y 、 Z 轴产生的移动分别为 N_X 、 N_Y 、 N_Z 。 α_A 、 α_C 为 A 、 C 轴的实际角度,经过上述推算在刀具长度补偿生效时,设 A 、 C 轴移动的角度为 α_A 、 α_C ,则 X 、 Y 、 Z 的移动补偿量为 $-N_X - N_Y - N_Z$ 。

在西门子系统中将五轴刀具长度补偿称为位置变换 (坐标变换) 即在激活补偿的情况下,使加工面垂直于刀具轴的方向,从而根据矩阵变换方程计算出相应的 X 、 Y 、 Z 轴的补偿分量变换矩阵如下:

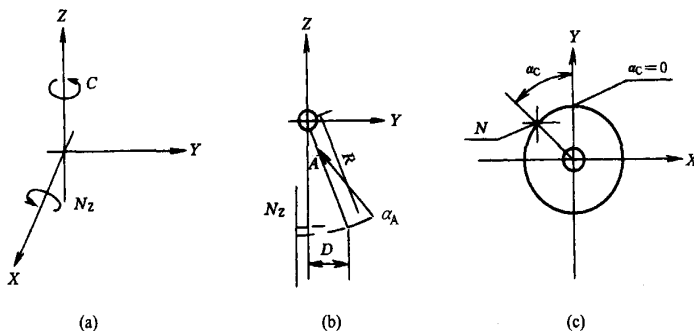


图3 各轴运动的相对变化关系

$$T_X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_A & \sin\alpha_A & 0 \\ 0 & -\sin\alpha_A & \cos\alpha_A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_Z = \begin{bmatrix} \cos\alpha_C & \sin\alpha_C & 0 & 0 \\ -\sin\alpha_C & \cos\alpha_C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

式中 T_X ——绕 X 轴的旋转矩阵

T_Z ——绕 Z 轴的旋转矩阵。

$T_0 = [0 \ 0 \ R \ 1]$ 为刀具补偿在 Z 方向上的初始分量。

$$T_K = T_0 T_X T_Z = \begin{bmatrix} \sin\alpha_A \sin\alpha_C R & -\sin\alpha_A \cos\alpha_C R & \cos\alpha_A R & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_m = T_0 - T_K$$

式中 T_m ——A、C 轴摆动后 X、Y、Z 轴产生的移动量，即 $-T_m$ 即为刀具的补偿量。

3. 实际应用中数控系统的参数设定

根据刀具长度补偿的原理，参考西门子的参数说明进行相关参数设定。首先要选择刀具补偿的类型（如表 2）。

表 2 万能铣头补偿类型选择表

第一旋转轴	第二旋转轴	补偿类型	刀具轴初始位置
A	C'	129	X
A	C'	145	Z
C	A'	132	X
C	A'	148	Z

根据上述的说明结合 XH2725/5X—10 机床的结构可知补偿类型应选择 148（该机床的结构参数大致为：主轴端面至回转中心的距离为 285mm，A 轴旋转中心线与 C 轴旋转中心线正交，A、C 轴的

旋转方向为顺时针）。由上述提供的数据进行相关参数设定，设定如下：

补偿类型：N24100 \$ MC - TRAF0 - TYPE - 1 = 148。

第一旋转轴是 C 轴，C 轴绕 Z 轴旋转，C 轴在 X、Y 轴方向的补偿矢量是为 0，N24570 \$ MC - TRAFOS - AXIS1 - 1 [2] = 1。

第二旋转轴是 A 轴，A 轴绕 X 轴旋转，A 轴在 Y、Z 轴方向的补偿矢量是 0，N24572 \$ MC - TRAFOS - AXIS1 - 1 [0] = 1。

刀具的初始方向在 Z 轴方向，N24574 \$ MC - TRAFOS - BASE - ORIENT - 1 [2] = 1。

其余参数如旋转方向、刀具基体偏置等就不一一详细列出。

4. 五轴刀补在加工中的应用

西门子 840D 系统中激活五轴刀具长度补偿的指令为 TRAORI，取消补偿的指令为 TRAFOOF。

激活刀具补偿后应再调用一次工件坐标系，选择 G54 ~ G57 中的任意一个，否则系统会认为使用的是机床本身的机械坐标从而导致出错。实际使用过程中由于刀具的长度补偿对于加工零件的轮廓精度有较大的影响，分析如下（图 4）：

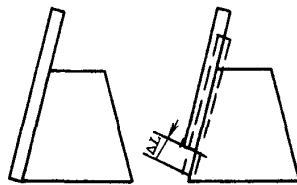


图 4 刀具补偿对加工的影响

注：图 4 中左图表示刀具理论加工状态；右图实线表示刀具的测量值比左图短去部分为 ΔL ，虚线表示刀具的实际加工状态。

若将刀具的实际长度缩短 ΔL ，A 轴的摆动角度为 α_A ，则知零件外形将变小，变化值为 $\Delta L \sin\alpha_A$ 。故实际应用时应尽量保证刀具具有精确的长度值。测量刀具长度一般有两种方法：用对刀仪测量；用百分表测刀尖与主轴端面的距离。

对应于长度补偿，西门子 840D 还提供了五轴刀具半径补偿，由于大多数五轴加工程序是由 CAD/CAM 软件制作生成的，因而五轴刀具半径补偿较少使用，仅举一例以作说明。例：

关于 SINUMERIK802S/802S base line 回参考点的调试

宝鸡机床厂 (陕西 721004) 雷欣君

参考点是数控机床的基准点。数控系统的很多功能都是建立在参考点的基础上的,数控机床一般都要求开机首先进行回参考点操作。

SINUMERIK802S/802S base line 是步进驱动的经济型数控系统,回参考点是通过安装接近开关检测零位脉冲实现的。在实际应用中,有许多因为接近开关的质量、安装位置、参数调整等多方面的问题,致使 802S 系统不能正常的回零,如有时出现二次回零,错圈或回参考点夭折现象,直接影响到用户机床的正常使用。

下面是几家用户使用 802S 的情况。

青岛有一家用户 2000 年购置 1 台 802S 系统的数控机床,每次开机后回参考点,参考点位置都有偏差,多次调整效果不是很理想。由于加工零件价值高,用户怕零件加工报废,只好每天开机后先回参考点,再重新对刀,后才开始加工生产。直接影响到生产效率的发挥,用户对 802S 系统彻底失去信心。后经更换采用巴鲁夫接近开关,调整接近开关安装位置,平齐式接近开关前端与检测块的距离在 0.6mm 左右,调整回参考点时寻找零脉冲速度数 34040 为 1000,回参考点时的定位速度参数

参 34070 为 200 解决。之后用户统计解决回参考点问题,减少重复对刀次数,这台机床的班产量由原 180 件提高到 200 件,效率提高了 10% 左右。2001 年这家用户又添置了几台 802S 系统机床。

青岛还有一家用户,802S 系统机床一直正常使用,突然有一天回参考点时,按 +Z 方向键,床鞍不向 +Z 方向移动,而向 -Z 方向移动,检查为回参考点减速开关压下堵死,复不了位导致。相当于回参考点时没有按寻找减速挡块速度 V_C 运行,一开始就按寻找接近开关信号速度 V_M 运行。

烟台有位用户,802S 系统机床回参考点有时出现参考点位置偏差一个丝杠螺距现象,后调整回参考点减速挡块位置,设置脉冲监控解决。

根据多年售后服务经验,总结 802S 参考点调试应注意以下几方面问题。

(1) 接近开关,减速开关型号要选择正确,选择质量较好的接近开关。减速开关接在 PLC 的输入口,由用户 PLC 定义,PLC 参数可选择输入信号的正负逻辑,减速开关可用接近开关或普通行程开关。BERO-脉冲用接近开关接在 X20 高速输入接口,接近开关选用 PNP 型,常开,有效电平为 $24V_{DC}$ 。

(2) 接近开关距离要调整好,因接近开关型号不同有差异,一般开关离检测块的距离为 0.5 ~ 0.8mm 左右。

(3) 参数 MD34020、MD34040、MD34070 设置要匹配。

(4) 进给倍率开关对回零有影响,建议打到 100% 倍率。

(5) 设置参数 MD14512,打开脉冲监控,设置 MD34060 使寻找零脉冲的最大距离不大于丝杠螺距,解决错圈问题。

G00 G54 X0 Y0 Z0

T1 D1 ISD=20 //调用刀具,在 1 号刀具的 1 号刀沿下设定刀具长度和刀具半径。

TRAORI

CUT3DC

G1 G54 G42 X10 Y10 F2000

X60

A30 C10

Y150

G1 G40 X- Y- //撤消半径补偿

TRAFOOF //撤消五轴长度补偿

(收稿日期: 20040620)

(收稿日期: 20040620)