刀具半径补偿指令的正确使用方法和特点

济宁职业技术学院 （山东 272037） 王申银

1. 刀具半径补偿的目的

在编制轮廓铣削加工的场合，如果按照刀心轨迹进行编程，其数据计算有时相当复杂，尤其当由于刀具磨损、重磨、换新刀而导致刀具直径变化时，必须重新计算刀心轨迹，修改程序，这样既繁琐又不易保证加工精度。为提高编程效率，通常以工件的实际轮廓尺寸为刀具轨迹编程，即假设刀具中心运动轨迹是沿工件轮廓运动的，而实际的刀具运动轨迹要与工件轮廓有一个偏移量（即刀具半径），利用刀具半径补偿功能可以方便地实现这一转变，简化程序编制，机床可以自动判断补偿的方向和补偿值大小，自动计算出实际刀具中心轨迹，并按刀心轨迹运动。

现代数控系统一般都设置若干个可编程刀具半径偏置寄存器，并对其进行编号，专供刀具补偿之用，可将刀具补偿参数（刀具长度、刀具半径等）存入这些寄存器中。在进行数控编程时，只需调用所需刀具半径补偿参数所对应的寄存器编号即可。实际加工时，数控系统将该编号所对应的刀具半径取出，对刀具中心轨迹进行补偿计算，生成实际的刀具中心运动轨迹。

2. 刀具半径补偿的方法

（1）补偿指令 从操作面板输入被补偿刀具的直径（或半径）值，将其存储在刀具参数库里，在程序中采用半径补偿指令。刀具半径补偿的代码有 G40、G41、G42，它们都是模态代码，G40 是取消刀具半径补偿代码，机床的初始状态即为 G40。G41 为刀具半径左补偿（左刀补），G42 为刀具半径右补偿（右刀补）。判断左、右刀具半径补偿的方法是沿着刀具加工路线看，当刀具偏在加工轮廓的左侧时，为左偏补偿，当刀具偏在加工轮廓的右侧时，为右偏补偿，如图 1 所示。

图 1a 中，在相对于刀具前进方向的左侧进行补偿，采用 G41，这时相当于顺铣。图 1b 中在相对于刀具前进方向的右侧进行补偿，采用 G42，这时相当于逆铣。在数控机床加工中，一般采用顺铣，原因是从刀具寿命、加工精度、表面粗糙度而言顺铣的效果较好，因而 G41 使用较多。

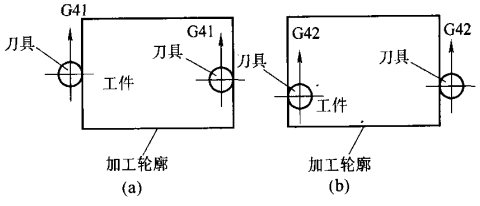


图 1

（2）指令格式 刀具半径补偿的格式：

$$\begin{Bmatrix} G17 \\ G18 \\ G19 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} G00 \\ G01 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} G41 \\ G42 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} X_\ Y_ \\ Z_\ X_ \\ Y_\ Z_ \end{Bmatrix} D_$$

刀具半径补偿取消的格式：

$$\begin{Bmatrix} G00 \\ G01 \end{Bmatrix} G40 \begin{Bmatrix} X_\ Y_ \\ Z_\ X_ \\ Y_\ Z_ \end{Bmatrix}$$

刀具半径补偿操作应选择在一个坐标平面内进行。当 G17 被选择时，则补偿只在 X、Y 方向的运动激活，而 Z 方向不进行补偿；当 G18 被选择时，则补偿只在 Z、X 方向的运动激活，而 Y 方向不进行补偿；当 G19 被选择时，则补偿只在 Y、Z 方向的运动激活，而 X 方向不进行补偿。

G00 和 G01 为刀具运动指令，刀补的建立和取消必须在 G00 或 G01 状态下完成，X、Y、Z 后所跟的值为运动的目标点坐标，与指定平面中的轴相对应。D 与后面的数值是刀补号码，它代表刀具参数库中刀补的数值。如 D01 表示刀具参数库中第 1 号刀具的半径值（或直径值，这一数值预先输入在刀具参数库刀补表中的 01 号位置上）。

在一般情况下，我们把刀具的半径补偿量在补偿代码中输入为正值（+），如果把刀具半径补偿量设为负值（-）时，在走刀轨迹方向不变的情况下，则相当于把补偿指令 G41、G42 互换，即加工工件内侧的刀具变为外侧，加工工件外侧的刀具变为内侧。

3. 刀具半径的补偿动作

以加工图 2 所示工件为例，根据加工程序分析刀具半径的补偿动作。

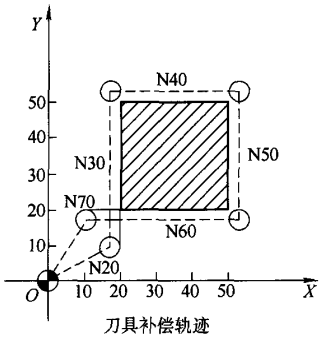


图 2

加工程序如下：

```
O0001;
N10 G54 G90 G17 G00 X0 Y0 S1000 M03;
N20 [G41] X20.0 Y10.0 [D01];
N30 G01 Y50.0 F100;
N40 X50.0;
N50 Y20.0;
N60 X10.0;
N70 G00 [G40] X0 Y0 M05;
N80 M30;
```

程序中的［ ］标记表示与没有刀具半径补偿程序的不同。

上述程序中的刀补动作为：

（1）启动并建立刀具半径补偿阶段　当 N20 程序中编入 G41 和 D01 指令后，运算装置同时先读入 N30、N40 两段，在 N20 段的终点（N30 段的始点）作出一个矢量，该矢量的方向与下一段的前进方向垂直且向左，大小等于刀补值。刀具中心在执行这一段（N20）时移向该矢量终点。在该阶段中动作指令只有用 G00 或 G01，不能用 G02 或 G03。

（2）刀补状态　从 N30 段开始进入刀补状态，在此阶段下 G01、G02、G03、G00 都可使用。这一阶段也是每段都先行读入两段，自动按照启动阶段的矢量法作出每个沿前进方向左侧且加上刀补的矢量路径。

（3）取消刀补　当 N70 程序段中用到 G40 指令时，则在 N60 段的终点（N70 段的始点）作出一个矢量，它的方向与 N60 段前进方向垂直且朝左，大小为刀补值。刀具中心就停止在这个矢量的终点，从这一位置开始刀具中心移向 N70 段的终点。此时也只能用 G01 或 G00，而不能用 G02 或 G03。

如果上面加工程序改变如下，我们来看一下会出现什么现象。

```
O0002;
N10 G54 G90 G17 G00 X0 Y0 S1000 M03;
N20 Z100.0;
N30 G41 X20.0 Y10.0 D01;
N40 Z2.0;
N50 G01 Z-10.0 F100; 连续两句 Z 轴移动
N60 Y50.0;
N70 X50.0;
N80 Y20.0;
N90 X10.0;
N100 G00 Z100.0;
N110 G40 X0 Y0 M05;
N80 M30;
```

上面加工程序当补偿从 N30 开始建立的时候只能预读两句，而 N40、N50 都为 Z 轴移动，机床无法判断下一步补偿的矢量方向，这时机床不会报警，补偿照常进行，只是 N30 目的点发生变化。其位置是 N30 目的点与原点连线垂直方向左偏 D01 值，刀具中心到达 P 点，于是发生过切，如图 3 所示。

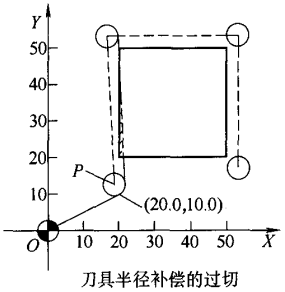


图 3

避免过切的方法是，补偿之前选择一个不与工件干涉的点，让 Z 轴降到所需高度。将 O0002 程序改为：

```
O0002;
N10 G54 G90 G17 S1000 M03;
N20 G00 Z100.0;
N30 X0 Y0;
N40 Z5.0;
N50 G01 Z-10.0 F100;
```

```
N60 G41 X20.0Y10.0 D01;
N60 Y50.0;
N70 X50.0;
N80 Y20.0;
N90 X10.0;
N100 G00 Z100.0;
N110 G40 X0 Y0 M05;
N80 M30;
```

采用这个程序加工，就可以避免过切的产生。

4. 使用刀具半径补偿时应注意的问题

（1）G41 和 G42 为模态指令。

（2）G41（或 G42）必须与 G40 成对使用。

（3）编入 G41（或 G42）、G40 程序段，必须在 G01 或 G00 状态下使用。

（4）G41（或 G42）与 G40 之间的程序段不得出现任何转移加工，如镜像、子程序加工等。

（5）改变补偿号一般情况下刀具半径补偿号要在刀补取消后才能变换，如果在补偿方式下变换补偿号，则前句的目的点的补偿量将按照新的给定值，而前句开始点补偿量则不变。

（6）半径补偿时的过切现象

①加工半径小于刀具半径的内圆弧　当程序给定的圆弧半径小于刀具半径时，向圆弧圆心方向的半径补偿将导致过切，这时机床报警并停止在将要过切语句的起始点上。所以，只有“过渡圆角 $R \geqslant$ 刀具半径 r + 精加工余量”情况下才可正常切削。

②被铣削槽底宽小于刀具直径　如果刀具半径补偿使刀具中心向编程路径反方向运动，将会导致过切。在这种情况下，机床将会报警并停留在该程序的起始点。

③连续两个程序段无刀具半径补偿平面内的坐标轴移动，可能会出现过切现象。

④无移动指令在补偿模式下使用无坐标轴移动类指令有可能导致两个或两个以上语句没有坐标移动，出现过切的危险。无坐标移动语句大致有以下几种：

M05；G04 X1000；G90；G91 X0；（G17）Z100.0；S1000。

5. 刀具半径补偿的特点

刀具半径补偿具有以下一些特点：

（1）为避免计算刀具轨迹，可直接用零件轮廓尺寸编程。

（2）刀具因磨损、重磨、换新刀而引起直径改变后不需修改程序，只需更改刀具参数的直径值。如图 4 所示 R_1 为未磨损刀具半径，R_2 为磨损后的刀具半径，将刀具参数库的刀具半径值 R_1 改为 R_2，即可采用同一程序进行加工。

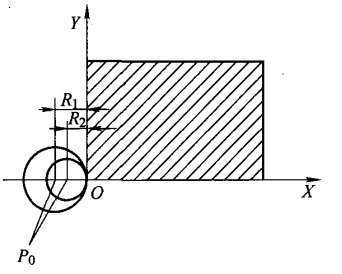


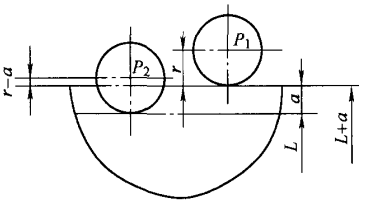
图　4

（3）应用同一程序，使用同一尺寸的刀具，可以用改变刀补值大小的方法实现粗、精加工。

粗加工刀补 = 刀具半径 + 精加工余量

精加工刀补 = 刀具半径 + 修正量

（4）利用刀补值控制轮廓的尺寸精度。因刀具直径的输入值有小数点后 2 ~ 4 位（0.01 ~ 0.0001）的精度，故可控制轮廓的尺寸精度。如图 5 所示，单面加工，若测得尺寸 L 偏大了 a 值（实线轮廓），则可将原来的刀补值 $D = 2r$ 改为 $D = 2(r - a)$，即可获得尺寸 L（虚线轮廓）。图中 P_1 为原来的刀心位置，P_2 为修改刀补后的刀心位置。



用刀补值控制尺寸精度

图　5

6. 小结

从以上的介绍可以看出，刀具半径补偿指令的正确使用，在生产中可以收到事半功倍的效果。因此，对每一个数控机床操作者来说都应该熟练掌握，这样可以简化编程，提高编程效率。

（收稿日期：20050514）