

宏程序在数控车削二次曲线中的应用

□厦门大学机电工程系 杜江 高俊川 孙道恒

数控车编程技术随着CAM软件的应用和普及，自动编程已经成为主要的编程方式。但使用CAM软件的高级编程仍需要手工编程方法的具体知识。在生产实践中，加工一批形状相同而尺寸不同的工件时，作为手工编程高级形式的宏程序编程相比CAM自动编程，其编制的通用宏程序，具有方便修改和检查的特点。在实践教学中，由于二次曲线的宏程序编程具有逻辑性强等特点，有利于加强工科学生逻辑思维能力和开拓创新能力等多方面能力的培养。本文通过二次曲线 $z=-0.1x^2$ 在棒料及仿形两种不同加工方式下的数控车宏程序编程，从提高加工效率及工件表面质量的角度出发，举例说明宏程序编程特点。在编程中，还通过对工件坐标系零点偏移值的系统变量进行赋值，使工件坐标系发生偏移，从而获得精加工余量，增强程序的可读性，同时强调了加工余量在精加工中的作用。

一、编程分析

在数控车床插补指令中，一般只具有直线插补和圆弧插补，无法直接加工出外形轮廓为非圆二次曲线的工件，比如：椭圆、抛物线或渐开线等曲线。这类曲线可以采用直线段逼近或者圆弧段逼近的方法，为简化计算，一般都采用简单的直线逼近法。在实践应用中，还要考虑坯料的具体形状，对加工路线进行优化，以达到提高加工效率和工件表面质量的要求。

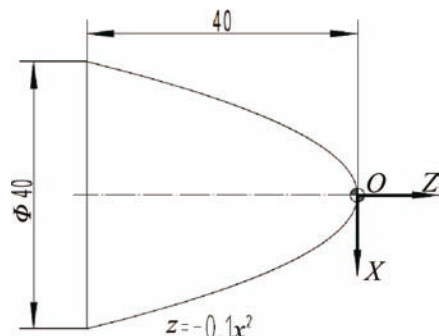


图1 工件尺寸

对于不同的数控系统，其采用的编程方法也不同，比如西门子的SINUMERIK系统采用R参数编程，FAGOR系统采用计算机高级语言编程，FANUC系统采用宏程序编程等。本文数控车系统采用FANUC-Oi Mate-TC系统，即采用FANUC Oi系列的B类型编程。在程序中，X轴

采用直径值编程，所加工工件尺寸及编程坐标系如图1所示，工件外形轮廓为抛物线方程为： $z = -0.1x^2 \rightarrow x = \pm\sqrt{-10z}$ 。在数控车编程中，X轴坐标值取正，并且为直径值编程，其坐标方程为： $X = 2|x| = 2\sqrt{-10z}$ 。

二、棒料加工方式的宏程序编程

1. 工艺分析

假设该工件毛坯材料为45号钢的 $\phi 45$ 棒料，粗加工工艺参数设定为：主轴转速600r/min，进给速度设定为500mm/min，背吃刀量 $\Delta d=1$ mm，加工余量为 $\Delta u=0.2$ mm、 $\Delta w=0.2$ mm。该加工余量是通过在粗加工中，对工件坐标系G54的工件零点系统变量#5221（X轴）及#5222（Z轴）的偏移得到。即把当前工件坐标系分别往X轴、Z轴正方向偏移0.2mm后建立新工件坐标系，然后在新坐标系下按照粗加工路线进行加工。当粗加工完毕后，恢复工件坐标系至原坐标系，即分别往X轴、Z轴负方向再偏移0.2mm后进行精加工。精加工余量的留取也可以利用G52在工件坐标系中设立局部坐标系的方法进行刀具轨迹的偏移。

粗车刀具轨迹路线如图2所示：先车削工件外径至 $\phi 41$ ，刀具停在宏程序加工的起刀点A，然后调用宏程序进行工件坐标系的偏移及工件加工，这时刀具通过移动偏移至点B，即留有加工余量 Δu 和 Δw ，接着刀具在新工件坐标系下按照图2所示的加工路线进行加工。当平行于Z轴循环加工至点C，粗加工的最后一刀是沿着曲线 $z=-0.1x^2$ 留有余量的外形DE加工。由于余量均匀，有利于在精加工中获得好的表面光洁度。

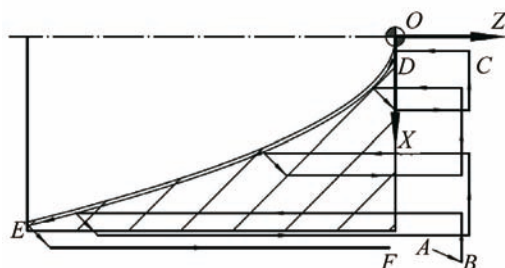


图2 棒料加工路线

2. 程序实例

令2*#1和#2分别为粗加工中X轴直径值变量和Z轴变量；2*#7和#8分别为精加工中X轴直径变量和Z轴变量；#5221

和#5222分别为工件坐标系G54工件零点X、Z轴偏移值的系统变量。由于FANUC Oi Mate-TC系统无法在G71等复合循环加工指令中调用宏程序指令，因此粗加工程序应避免G71指令，具体编辑如下（为编程方便，在粗精加工中使用同一把外圆车刀）。

主程序如下。

```
O0001;
G54 G98 G21 G40; (设置每分钟进给, 取消刀具半径补偿)
S600 M03; (以600r/min正转启动车削主轴)
T0101; (使用1号车刀, 并调用1号刀补)
G00 X45 Z2; (快速靠近工件)
G90 X43 Z-40 F50;
X41; (外圆粗车至φ41)
G00 X41.5 Z1; (宏程序起刀点A)
G65 P0003 A20 B0; (调用粗加工宏程序, 变量赋值#1=20和#2=0)
S800; (提高精加工主轴转速)
G00 X41 Z1;
G01 Z0 F30; (退刀到安全点位置)
G65 P0005 D0 E0 F0.01; (调用精加工宏程序, 变量赋值#7=0、#8=0)
G00 X100;
Z100; (退刀)
M05; (主轴停止)
M30; (程序结束)
```

粗加工宏程序如下。

```
O0003;
#5221=#5221+0.2; (通过改变工件坐标系X轴的偏移量, 获得X轴方向的加工余量为0.2mm)
#5222=#5222+0.2; (通过改变工件坐标系Z轴的偏移量, 获得Z轴方向的加工余量为0.2mm)
G01 X41.5 Z1; (在偏移后的新工件坐标系下, 刀具移动至X41.5、Z1, 即点B)
WHILE [#1 GE 0] DO1; (设置条件转移)
#2=-0.1*#1*#1; (进行公式曲线 $z=-0.1x^2$ 的点位置计算)
G01 X[2*#1]; (进刀)
Z#2; (平行Z轴车削)
#1=#1-1; (每次切深1mm的变量计算)
G00 U2 W1;
Z1; (退刀, 进行下次循环条件判断)
END1;
G01 XO ZO; (从点C至点D)
G65 P0005 D0 E0 F0.1; (调用宏程序, 变量赋值#7=0和#8=0, 沿曲线DE粗车最后一刀)
#5221=#5221-0.2; (通过改变当前工件坐标系X轴的偏移量, 还原工件坐标系X轴)
```

#5222=#5222-0.2; (通过改变当前工件坐标系Z轴的偏移量, 还原工件坐标系Z轴)

M99;

三、仿形加工方式的宏程序编程

1. 工艺分析

毛坯的外形尺寸如图3所示，则粗加工工艺参数设定为：主轴转速600r/min，进给速度设定为500mm/min，背吃刀量 $\Delta d=1\text{mm}$ ，加工余量为 $\Delta u=0.2\text{mm}$ 、 $\Delta w=0.2\text{mm}$ 。

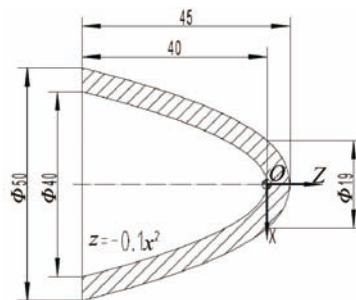


图3 仿形工件尺寸

粗车刀具轨迹路线如图4所示：先车削端面至工件坐标系 Z_0 处后，刀具停在宏程序加工的起刀点A，然后调用宏程序00004，刀具先进至X16处，即点B处（如果坯料为铸件，要确保第一刀去掉氧化层，这样能够有效提高刀具寿命及加工效率）。然后，沿公式曲线外形轮廓的拟合轨迹加工，形状如曲线CD。在加工中，如果采用毛坯为棒料的车削方式，即在粗加工中刀具轨迹平行Z轴，将产生大量的空走刀，不利于生产效率的提高。在进给速度、循环启动时起刀点位置和切深等相同的情况下，系统运行00004所需时间为12m36s，运行00002时间为12m3s，可以看出：即使在工件外形尺寸较大的情况下，仿形加工的效率还是比较高的。

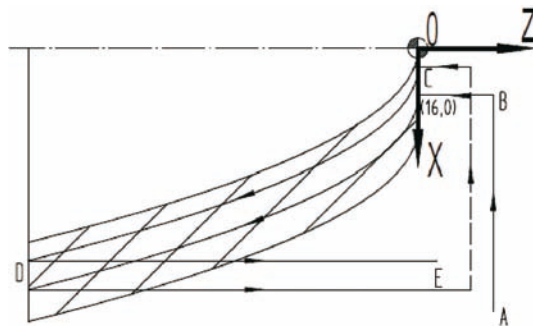


图4 仿形加工路线

2. 程序实例

令 $2*#3$ 和 $#4$ 分别为粗加工的X轴直径值变量和Z轴变量； $#5$ 为避开氧化层第一刀需进刀至某点的X轴变量（直径值），程序编辑如下。

主程序如下。

O0002;

```
G54 G98 G21 G40; ( 设置每分钟进给, 取消刀具半径补偿 )  
S600 M03; ( 以600r/min启动车削主轴 )  
T0101; ( 使用1号车刀, 并调用1号刀补 )  
G00 X21 Z6; ( 快速靠近工件 )  
G94 X-1 Z2 F50;  
Z0; ( 端面车削至Z0处 )  
G00 X20 Z1; ( 宏程序起刀点A )  
G65 P0004 C0 I0 J16; ( 调用粗加工宏程序, 变量赋值#3=0、#4=0、#5=16 )  
S800; ( 提高精加工主轴转速 )  
G00 X41 Z0;  
G01 X40 F30; ( 退刀至安全点 )  
G65 P0005 D0 E0 F0.01; ( 调用精加工宏程序, 变量赋值#7=0、#8=0 )  
G00 X100;  
Z100; ( 退刀 )  
M05; ( 主轴停止 )  
M30; ( 程序结束 )
```

粗加工宏程序如下。

```
O0004;  
#5221=#5221+0.2; ( 通过改变工件坐标系X轴的偏移量, 获得X轴方向的加工余量为0.2mm )  
#5222=#5222+0.2; ( 通过改变工件坐标系Z轴的偏移量, 获得Z轴方向的加工余量为0.2mm )  
G01 X20 Z1; ( 在偏移后的新工件坐标系下, 刀具移动至X20、Z1 )  
WHILE[#5 GE 0]DO1; ( 设置条件转移1, 初始赋值#5=16 )  
G00 X#5; ( 进刀, 第一刀进刀至X16即点B )  
G01 Z0; ( 再进刀 )  
WHILE[#4 GE -40] DO 2; ( 设置条件转移2, 初始赋值#4=0 )  
#3=SQRT[-10*#4]; ( 公式曲线  $x = \sqrt{-10z}$  的点计算, 初始赋值#3=0 )  
G01 X[2*#3+#5] Z#4; ( 沿偏移Z轴#5的拟合曲线如曲线CD的点加工 )  
#4=#4-0.2; ( 0.2mm为拟合曲线步率 )  
END2; ( 转移2 )  
#5=#5-2*1; ( X轴每次切深1mm )  
#4=0; ( 变量#4归零 )  
G00 Z1; ( 退刀 )  
END1; ( 转移1 )  
#5221=#5221-0.2; ( 通过改变当前工件坐标系X轴的偏移量, 还原工件坐标系X轴 )  
#5222=#5222-0.2; ( 通过改变当前工件坐标系Z轴的偏移量, 还原工件坐标系Z轴 )
```

M99;

3. 精加工程序

精加工的工艺参数设为: 主轴转速800r/min, 进给速度30mm/min, 加工路线采用直线段拟合逼近曲线轮廓, 调整曲线的拟合步率为#9, 可以控制精加工的表面粗糙度。程序实例如下。

```
O0005;  
WHILE[#8 GE -40]DO1; ( 设置转移条件, 初始赋值#8=0 )  
#7=SQRT[-10*#8]; ( 曲线  $x = \sqrt{-10z}$ , 初始赋值#7=0 )  
G01 X[2*#7] Z#8;  
#8 = #8 - #9; ( #9为拟合曲线步率 )  
END1;  
M99;
```

四、车削样品及结语

车削样品如图5所示, 图6为使用工件坐标系零点偏移值的系统变量获得加工余量后, 进行精加工的工件表面与未使用系统变量的工件表面放大20倍对比图, 从图中可明显发现前者表面质量的提高。

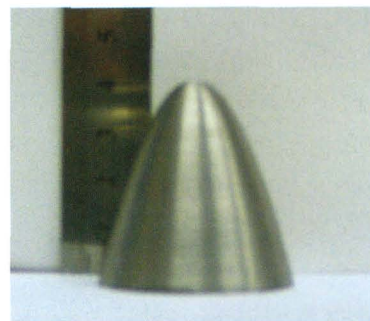
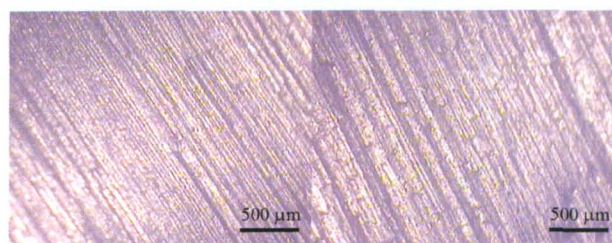


图5 车削样品



a) 留有余量加工表面 b) 未留有余量加工表面

图6 表面质量对比

本文通过棒料及仿形两种不同加工方式的数控车削二次曲线 $z = -0.1x^2$ 的宏程序编程, 举例说明了宏程序编程的特点。从实例中可看出, 安排合理的加工路线有利于加工效率的提高。在编程中还通过对工件坐标系零点偏移值的系统变量进行赋值, 使工件坐标系发生偏移, 从而获得精加工余量, 有利于工件表面质量的提高。✎