

圆弧插补法在非圆曲线类零件加工中的应用

■ 河南师范大学新联学院（郑州 451400） 赵亚利

■ 郑州工业安全职业学院（河南 451192） 郭慧洁

摘要：近年来，非圆曲线类零件越来越多，精度要求越来越高。以椭圆轴的加工为例，提出了采用三点圆弧插补逼近成非圆曲线轮廓的方法。针对于FANUC 0i没有三点圆弧插补法的数控系统，详细介绍了宏程序的具体算法、编程思路和参考程序，解决了具有一定精度要求的非圆曲线构成的轴类零件加工问题。

机械加工中，大多数零件轮廓是由直线和圆弧轮廓构成的。随着工业产品性能要求的不断提高，非圆曲线轮廓的零件越来越多，常见非圆曲线轮廓有椭圆曲线、抛物线、双曲线和渐开线等。为了满足产品使用性能，非圆曲线轮廓的加工质量成为生产制造的关键。数控机床的系统一般只具有直线插补和圆弧插补功能，对于没有插补指令的非圆类曲线零件轮廓，加工起来有一定难度，目前主要通过两种方法来实现，一是借助于CAD/CAM自动编程软件产生数控程序代码，但是程序冗长、灵活性和可读性比较差；二是利用宏程序建立曲线方程，通过许多直线逼近成曲线的方法进行加工，此方法条理清晰、灵活通用，但是对于一些曲面精度要求较高的非圆曲线类零件，用直线逼近成曲线不如用圆弧逼近成曲线的精度高。本文主要以椭圆轴为例，采用FANUC

0i数控系统，根据宏程序变量、赋值、循环和子程序调用等特点，剖析了用圆弧逼近成非圆曲线的具体算法和编程思路，为提高非圆曲线类零件的曲面度精度提供行之有效的方法。

1. 非圆曲线轮廓加工宏程序设计思路

在加工非圆曲线轮廓时，如果采用直线逼近成曲线的方法，加工后的形状如图1中线段AB所示，如果通过取曲线上的三个点，根据三点定圆弧的方法，采用圆弧逼近成非圆曲线轮廓，加工过后的形状如图1中圆弧ACB所示。

显然，三点圆弧逼近法比直线逼近法误差大为减小。在实际生产中，针对一些精度要求高

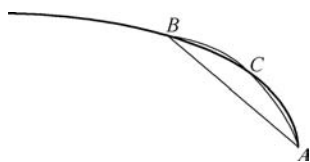


图1 椭圆弧两种逼近方法的比较

的非圆曲线类零件加工，采用三点圆弧插补的方法逼近成非圆曲线。

(1) 三点圆弧插补的数学处理。针对FANUC 0i系统，圆弧插补指令G02/G03，用来指定顺时针或逆时针圆弧插补，使刀具按照指定的进给速度沿着圆弧轨迹切削工件。具体格式如下：

G02 X (U) _ Z (W) R_ F_ ;

顺时针圆弧插补

G03 X (U) _ Z (W) I_ K_ F_ ;

逆时针圆弧插补

由上式可以看出，系统关于圆弧插补需要知道圆弧的起点坐标、终点坐标、圆弧半径或圆心相对起点坐标值，才能进行圆弧加工。而本文是通过取非圆曲线的三点，相当于是圆弧的起点、中间点和终点，在已知曲线上三点的坐标情况下，需求出圆弧半径，然后使用G02/G03实现圆弧插补。

(2) 圆弧半径的求取。如

图2所示, X 、 Y 为圆弧上的任一点, 半径为 R , $A(x_1, y_1)$ 、 $B(x_2, y_2)$ 、 $C(x_3, y_3)$ 为圆弧上已知的三个点。

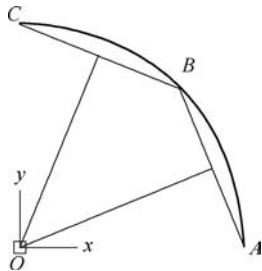


图2 圆弧

已知

$$\begin{aligned}(x_1-X)^2 - (y_1-Y)^2 &= R^2 \\ (x_2-X)^2 - (y_2-Y)^2 &= R^2 \\ (x_3-X)^2 - (y_3-Y)^2 &= R^2\end{aligned}$$

整理得到

$$\begin{aligned}(2x_2-2x_1)X + (2y_1-2y_2)Y &= y_1^2 + x_2^2 - x_1^2 - y_2^2 \\ (2x_3-2x_2)X + (2y_2-2y_3)Y &= y_2^2 + x_3^2 - x_2^2 - y_3^2\end{aligned}$$

令 $a=2(x_2-x_1)$; $b=2(y_2-y_1)$; $c=x_2^2+y_2^2-x_1^2-y_1^2$; $d=2(x_3-x_2)$; $e=2(y_3-y_2)$; $f=x_3^2+y_3^2-x_2^2-y_2^2$, 则圆弧半径 $r = ((x-x_1)^2 + (y-y_1)^2)^{0.5}$, 其中 $x = (bf-ec) / (bd-ea)$; $y = (dc-af) / (bd-ea)$ 。

(3) 非圆曲线轮廓加工宏程序设计流程。本文以椭圆轴加工为例, 构建椭圆轴加工时三点圆弧插补法逼近椭圆的加工程序流程如图3所示。

2. 三点圆弧插补非圆曲线轮廓加工宏程序的应用

三点圆弧插补非圆曲线轮廓加工宏程序的编制具有一定规律性, 如图4所示为例说明。

(1) 加工要求及方法。在数控车床加工该椭圆过度零件, 长半轴为20mm, 短半

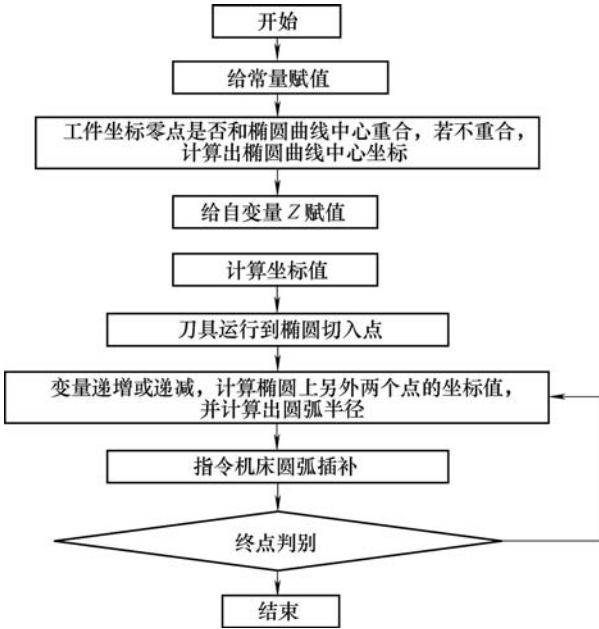


图3 椭圆加工流程图

轴为10mm, 零件毛坯尺寸为 $\phi 45\text{mm} \times 80\text{mm}$ 。椭圆轴加工的基本工艺路线为: 粗车 $\phi 42\text{mm}$ 外圆、 $\phi 30\text{mm}$ 外圆及椭圆部分, 精车椭圆, 椭圆用圆弧替代。

(2) 数学处理。根据图4所示, 将工件坐标零点偏置到椭圆曲线对称中心, Z 坐标确定为自变量, 由于编程时仍然采用图示的

工件原点为编程原点, 所以有 $X=a(1-Z^2/b^2)^{0.5}$ 式中, $a=10$, $b=20$, Z 的取值范围为 $[-18.3, 0]$ 。

(3) 确定因变量相对于自变量的宏表达式, 即进行函数变换。宏程序中部分变量的含义及宏表达式如附表所示。

(4) 编写程序及仿真验证。依据加工工艺路线编制加工程序, 完成后在机床上或相应仿真软件上试运行正确后, 方可投入试生产, 然后进入正常使用。主要包含一个主程序, 一个椭圆轴粗加工子程序, 一个椭圆加工精加工子程序。该程序在斯沃仿真软件上进行验证, 得到了良好的效果。

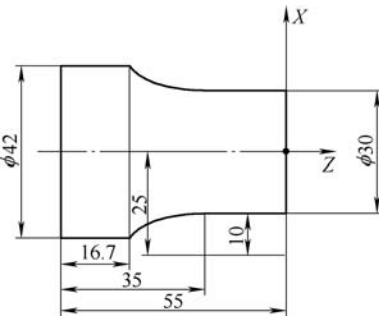


图4 椭圆轴

变量及部分宏程序表达式

变量	宏程序表达
自变量Z	#20, 初始值为0
自变量取值范围	[-18.3,0]
用自变量Z表达因变量X的表达式	#19=10*SQRT[1-[#20*#20]/400]
圆心Z的坐标	#21=[#13*#17-#14*#16]/[#13*#15-#12*#16]
圆心X的坐标计算	#22=[#15*#14-#12*#17]/[#13*#15-#12*#16]
过三点圆弧半径值R	#18=SQRT[(#21-#20)*[#21-#20]+[#22-#19]*[#22-#19]]

O0002 (主程序名)	O8003 (子程序-椭圆宏程序0)	IF[#20GE-18.3]GOTO20;
M03S600T0101; (选择一号刀	#20=0; (变量赋值)	M99; (子程序结束并返回主程
具, 主轴正转, 转速600r/min)	#6=0.5; (变量赋值)	序)
G00X50.0Z50.0; (刀具起点)	2 0 # 1 9 = 1 0 * S Q R T [1 -	
M98P8002; (调用轮廓粗加工	[#20*#20]/400]; (椭圆上第一点X坐标	
循环子程序)	值计算)	
G00X50.0Z50.0; (刀具退到起	#10=#20-#6/2; (中间点Z点坐标	
刀点)	值)	
M03S800T0202; (选择2号精车	#11=10*SQRT[1-[#10*#10]/400];	
刀, 主轴转速800r/min)	(中间点X点坐标值)	
G00X30.0Z2.0; (刀具快速移到	#5=#20-#6; (终点Z坐标值)	
精加工准备点)	#4=10*SQRT[1-[#5*#5]/400];	
G01Z-20.0F0.1; (精车φ30mm的	(终点X坐标值计算)	
外圆)	#12=2*[#10-#20];	
G65P8003K0.3F0.1; (调用椭圆	#13=2*[#11-#19];	
加工宏程序加工椭圆)	#14=#10*#10+#11*#11-#20*#20-	
G01Z-55.0; (精车φ42mm的外	#19*#19;	
圆)	#15=2*[#5-#10];	
X46.0; (刀具退离工件)	#16=2*[#4-#11];	
G00X50.0Z50.0M05; (刀具退到	#17=#5*#5+#4*#4-#10*#10-	
起刀点, 主轴停止)	#11*#11;	
M30; (程序结束)	#21=[#13*#17-#14*#16]/[#13*#15-	
O8002 (粗加工子程序)	#12*#16]; (圆心Z的坐标计算)	
G00X50.0Z2.0;	#22=[#15*#14-#12*#17]/[#13*#15-	
G71U2.0R1.0;	#12*#16]; (圆心X的坐标计算)	
G71P40Q60U1.0W0.5F0.3;	#18=SQRT[[(#21-#20)*[#21-	
N40G00X30.0;	#20]+[#22-#19]*[#22-#19]]; (过三点	
G01Z-20.0;	圆弧半径值R)	
X42.0Z-38.3;	G02X[50.0-2*#4]Z[#5-20.0]	
N60Z-55.0;	R#18F#9; (圆弧插补椭圆)	
M99	#20=#20-#6; (步距轴向递减)	

3. 结语

综上所述, 通过加工实例, 说明针对于一些非圆曲线类零件的加工, 采用圆弧插补逼近的方法比用直线插补逼近的方法精度更高。对于一些没有三点圆弧插补命令的数控系统来说, 本文提供了对精度要求较高的非圆曲线类零件加工进行宏程序编制的一种方法。

参考文献:

- [1] 余娟, 肖凤森. 宏程序在非圆曲线数控车削中的应用研究[J]. 煤矿机械, 2014, 35 (4): 118-120.
- [2] 关颖. 基于FANUC系统的双曲线宏程序编制与加工解析[J]. 机床与液压, 2012, 40 (8): 59-60.
- [3] 李柯, 胡自化, 杨世平, 等. 基于FANUC-0TF数控系统的三点圆弧插补指令开发[J]. 新技术新工艺, 2003 (6): 6-9.
- [4] 李体仁, 孙建功. 数控手工编程技术及实例详解[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.

MW (收稿日期: 20170405)

《金属加工(热加工)》2017年第14期要目

永磁直驱风力发电机转子机座焊接变形控制
纯铜与奥氏体不锈钢接头的中频感应钎焊及检测
M3RSF70型减速机箱体轴承孔磨损修复工艺
优化钣金件结构的多种方法
新型车架焊接工艺装备方案设计及应用
一种焊接Z向撕裂修补工艺研究与应用
全位置焊接小车的研究与应用

平台用EQ70钢的焊接工艺
海上风力发电塔项目塔架焊接工艺研究
LNG低温储罐用9%Ni钢不同焊接工艺对比研究
激光-MIG复合焊接四种表面处理方式对比分析
高强碳钢钢结构平度控制办法
浅析城轨铝合金车体扭曲变形
不锈钢地铁车辆底架制造工艺