

凹椭圆轮廓上车三角形螺纹

■ 江苏省江阴中等专业学校 (214433) 黄冬英 彭 正

摘要: 介绍在凹椭圆轮廓上车三角形螺纹宏程序中加工起点坐标、终点坐标的确定方法, 以及编程思路和加工方法。

近十年来, 数控技能大赛的竞赛难度不断加大, 题目图形不断推陈出新, 各类异形螺纹也在不断推出。这类异形螺纹形式多样, 很难用CAD/CAM自动编程来加工, 仅用专门的螺纹加工指令G32、G92和G76也无法实现, 多数只能用宏程序手工编程来实现。本文介绍的是在凹椭圆轮廓上车三角形螺纹, 着重介绍螺纹加工起点、终点坐标的确定, 相关尺寸的计算, 编程思路和宏程序编制加工程序。所选用的数控系统是FANUC 0i-T。

1. 零件图分析

零件材料为45钢, 如图1所示, 主要由 $\phi 35\text{mm}$ 外圆、退刀槽和异形螺纹组成。此异形螺纹

的特征为在凹椭圆轮廓上加工三角形螺纹, 螺距为 4mm , 螺纹牙深为 1.5mm , 螺纹有效长度为 30mm , 由此确定选用三把车刀来加工, 分别是 93° 外圆车刀、 5mm 切槽车刀和 60° 外螺纹车刀。

2. 编程思路

为方便计算, 将图1简化, 如图2所示。

$$\text{椭圆方程为 } \frac{X^2}{40^2} + \frac{Y^2}{30^2} = 1。$$

异形螺纹的编程思路: 沿着凹椭圆轮廓进行螺纹加工, 移动步距等于螺距。每移动一个步距, 依次求出X、Z的节点坐标, 然后用逼近的方法结合G32指令来编程, 至椭圆终点后才能

退刀, 先沿X轴退刀, 再沿Z轴退刀, 异形螺纹完成一个车削循环。

椭圆方程的坐标与工件坐标系中的坐标之间的对应关系非常重要。椭圆方程的原点在椭圆中心, 椭圆中的X值对应工件坐标系中的Z值, 椭圆中的Y值对应工件坐标系中的X值。

椭圆X向的坐标用#1作为变量, 对应点的Y向的坐标用#2作为变量, 代入椭圆方程中, 求出相应的值, 取正值。接着把坐标值与工件坐标系中的值进行转换, $X_1 = 90 - 2 \times \#2$, $Z_1 = \#1 - 15$ 。然后将#1减去1个移动步距 (即1个螺距 4mm), 计算出新的#2值, 再转换到工件坐标系中, 得出新的 X_2 和 Z_2 坐标。把 (X_1, Z_1) 作为螺纹的起点, 把 (X_2, Z_2) 作为螺纹的终点, 执行G32指令。之后将#1再减去1个移动步距, 计算出新的#2值, 再转换到工件坐标系中, 得出新的 X_3 和 Z_3 坐标。把 (X_2, Z_2) 作为螺纹的起点, 把 (X_3, Z_3) 作为螺纹的终点, 执行G32指令。依次循环, 直至椭圆轮廓上的螺纹加工结束, 退出循环, 退刀时先X向、后Z向。

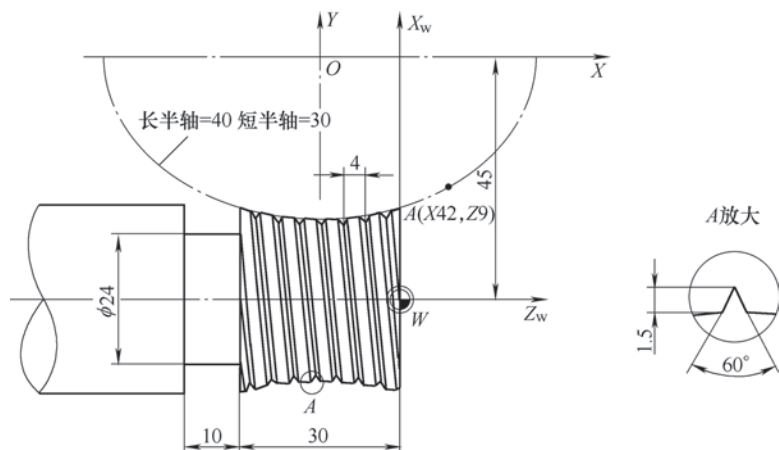


图 1

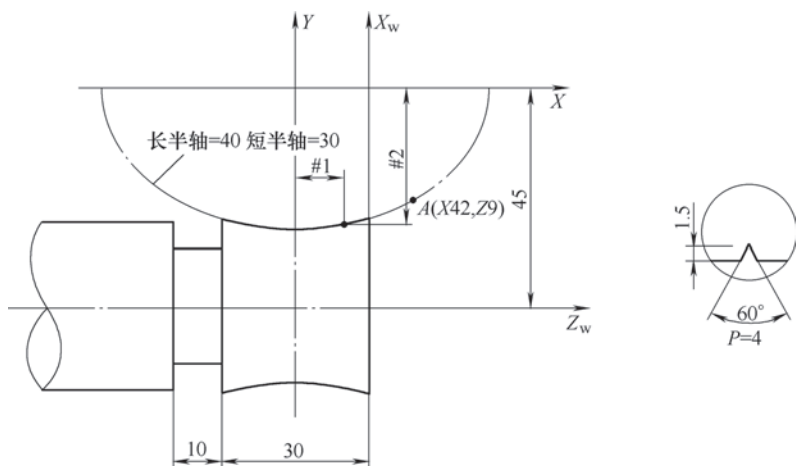


图 2

3. 加工方法

加工过程：①用外圆车刀粗、精车外圆，凹椭圆轮廓。②用切槽刀车削退刀槽。③用60°外螺纹车刀车异形螺纹（通过修改磨损实现粗、精加工）。

在加工过程中，异形螺纹X向总切削深度为3mm（直径量），采用直进法将切削深度递减进行车削，分多次加工完成。第一刀的切削深度可选大些，建议不要超过0.8mm，然后0.6mm、0.4mm、0.3mm，……，最后0.1mm进行精车，使磨损从-0.8mm逐渐改至-3mm，完成整个异形螺纹的加工。

4. 螺纹加工起点坐标的确定方法

（1）Z坐标的确定。螺纹加工起点坐标应在椭圆轮廓上，椭圆起点坐标为（X42，Z9）。确定方法为：在加工螺纹时，为了保证螺纹牙型完整、不乱牙，应有一个升速进刀段，这个距离通常选2个螺距值。本例中椭圆的有效长度为30mm，一半就是15mm，为了达到左右椭圆螺纹对称，从椭圆的原点开始计算，4个螺距等于16mm，正好在螺

的右端1mm处，这个1mm满足不了升速距离的要求，因此再加上2个螺距作为升速进刀段，所以椭圆的起点距离定在X24（#1）处（转换到编程坐标系的Z坐标起点应为9mm处）。

（2）X坐标的确定。把X（#1）=24代入椭圆方程式，求得Y（#2）=24，转换到编程坐标系中的X坐标是直径量，椭圆中心到Z轴的距离为45mm，X向半径量=45-24=21（mm），则直径量=42mm，即为起点的X坐标值。所以最终确定在工件坐标系中的起点坐标为（X42，Z9）。

5. 螺纹加工终点坐标的确定方法

螺纹加工终点坐标也应在椭圆轮廓上，坐标值的确定方法可以参考起点坐标的计算方法，减速退刀段通常选取0.5~1个螺距，本例中Z向走刀总长度应为螺距的整数倍，同时一定要结合退刀槽的位置来确定，因此减速退刀距离取值可以适当灵活些。本例中选工件坐标系中的Z值为-35，从-31到9正好是40mm，恰巧等于10个螺距，又大于螺

有效长度30mm，满足要求。终点的X坐标由宏程序根据变量利用椭圆方程自动求出。

6. 加工程序

椭圆上车三角形螺纹的加工程序如下：

```

O0002                程序名
M03 S600             主轴正转
T0303                选用60°三角螺纹车刀
M08                  切削液打开
#1=24                #1为椭圆中的X值
G00 X42 Z9           定位到加工起始点
N20 #1=#1-4          X值改变一个步距
#2=30*SQRT[1-#1*#1/1600] 计算
椭圆中的Y值
#3=45-#2              计算工件
坐标系中的X半径量
G32X[2*#3] Z[#1-15] F4 车螺纹至
第一点，螺距为4
IF[#1GT-20]GOTO 20   判断
X值是否在范围之内
G00 X150              X向退刀
Z150                  Z向退刀
M05                   主轴停转
M09                   切削液关闭
M30                   程序结束
%
```

7. 宏程序嵌套优化加工程序

以上程序的不足之处是只能完成车一刀螺纹，然后要通过手动修改磨损值的方法，使车刀以递减的切削量往里车削多次，才能完成整个螺纹的加工，效率较低。

基于宏程序有嵌套功能，结合对G76螺纹切削循环的加工轨迹的研究，对程序进行优化，将切削深度放到宏程序中，仍采用递减直进法进刀。第一刀切削循环时的背吃刀量为 Δd ，第二刀的背吃刀量为 $(\sqrt{2}-1) \cdot \Delta d$ ，第n刀

的背吃刀量为 $(\sqrt{n}-\sqrt{n-1})\cdot\Delta d$ ，并设置一个最小切深 $\Delta d_{\min}$ ，当加工几刀后，会出现背吃刀量小于最小切深的情况，此后每刀进给0.05mm（#30），直至总切深满足图样要求。本例中第一刀切削深度 Δd （#10）选0.4mm，设置一个计数器#11，最小切深 $\Delta d_{\min}$ （#25）为0.08mm，利用公式求出背吃刀量，设为#15；实际切削深度为#20。然后把#20叠加到第二层宏程序的X值中。

螺纹的粗加工用递减直进法，粗加工切深超过给定值（此处为2.6mm）时，判断语句会跳出循环，执行N25后面的精加工。留0.4mm作为精加工余量，每刀切深为0.1mm（直径量）。粗加工次数根据设定的 Δd 值和判断条件能自动求出。增加判断条件的目的是为了避免在粗加工时，当第一刀切深 Δd 取值（如0.8mm）较大时，背吃刀量#15要满足小于最小背吃刀量#25的时候，实际的切削深度早已超过图样的切深，仍在执行宏程序的循环，导致螺纹报废的现象。

优化后加工程序如下：

O0002	程序名
M03 S600	主轴正转
T0303	选用60° 三角螺纹车刀
M08	切削液打开
G00 X42 Z9	定位到加工起始点
#10=0.4	第一刀背吃刀量
#11=1	粗加工次数赋初值
#25=0.08	最小背吃刀量
N10 #15=[SQRT[#11]-SQRT[#11-1]]*#10	背吃刀量计算
#20=2*SQRT[#11]*#10	计

算切削深度	
IF [#20GT2.6]GOTO25	切深到2.6mm时退出循环，执行N25后的精加工
#1=24	#1为椭圆中的X值
G00 X[42-#20] Z9	定位
螺纹加工起点	
N20 #1=#1-4	X值改变1个步距
#2=30*SQRT[1-#1*#1/1600]	
计算椭圆中的Y值	
#3=45- #2	计算工件坐标系中的X半径量
#4=2*#3-#20	螺纹的X直径坐标
G32X[#4] Z[#1-15] F4	车螺纹，螺距为4mm
IF[#1GE-20]GOTO 20	判断X值是否在范围之内
G00 X45	X向退刀
G00 Z9	Z向退刀
#11=#11+1	加工次数加1
IF [#15GT#25]GOTO 10	判断背吃刀量的值
N25 #30=0.05	每刀精加工背吃刀量
N30 #20=#20+#30*2	计算切削深度
#1=24	以下为精加工，程序与粗加工类似
G00 X[42-#20] Z9	
N40 #1=#1-4	
#2=30*SQRT[1-#1*#1/1600]	
#3=45- #2	
#4=2*#3-#20	
G32X[#4] Z[#1-15] F4	
IF[#1GE-20]GOTO 40	
G00 X45	
G00 Z9	
IF[#20LE3] GOTO 30	判断切深是否到3mm，满足则车螺纹结束

G00 X150	X向退刀
Z150	Z向退刀
M05	主轴停转
M09	切削液关闭
M30	程序结束
%	

8. 结语

实践证明，若将该宏程序中的IF语句改用WHILE、ENDW语句来进行变换，也适用于华中数控系统。对于其他类型的异形螺纹也有一定的参考价值，如果将图中椭圆的基本尺寸进行参数化，多设几个变量，通用性将大大增强。

参考文献：

- [1] 黄冬英. 凸椭圆上车三角异型螺纹[J]. 机械工程师, 2014(11): 171-172.
- [2] 朱明松. 数控车床编程与操作项目教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.

MW (收稿日期: 20170406)

专家点评

本例中的凹椭圆异形螺纹很难用CAD/CAM编程软件和数控车床自带的螺纹加工指令来实现，在技能大赛中最便捷的方法就是宏程序手工编程。

作者着重介绍了异形螺纹的编程思路，在工件的凹椭圆轮廓上，控制螺纹加工的起点和终点坐标，以螺距递增的方法，将多圆锥螺旋路径拟合成一条完整的椭圆包络线。为类似异形螺纹提供了实用的加工方法。