

圆弧螺纹加工工艺

广东省华侨职业技术学校 (广州 510520) 李国东 封 湃

根据竞赛的要求,学生要达到高级工以上的水平,又因为竞赛区别于普通的生产加工,因此,学生在参加竞赛前必须要对他们进行高级工或更深层次的训练。在训练过程中有针对性地进行宏程序的训练,一般的宏程序就不在此讨论了。下面主要探讨圆弧螺纹的加工问题。圆弧螺纹是一种非标准的螺纹,也可以称其为圆弧螺旋线。在数控车床上加工圆弧螺纹是一项技术要求较高的工作,其在卧式车床上很难加工,需要操作者有高超的技能。但圆弧螺纹的精度还是会受到人为因素的影响。所以,数控车床的高精度性能为圆弧螺纹的车削提供了良好的加工基础,在加工过程中,要制定好合理的加工工艺、加工方法和准确的程序编制,这样才能很好地完成圆弧螺纹的加工。

在历次比赛当中,出现了以下几种类型的圆弧螺纹:凹圆弧螺纹、凸圆弧螺纹以及圆弧面上的圆弧螺纹(见图1~图3)。本文将围绕这3种类型的圆弧螺纹进行分析,并根据加工方法准确地编制加工的宏程序。

1. 凹圆弧螺纹加工方法分析

数控车床一般加工螺纹的方法有3种:直进法、

试验结果为零件加工装夹2次,形位公差控制稳定。结果合格率提高,日平均产量提高到9件。

工艺方案3:制作弹性胀心胀零件孔车削加工,试验结果是零件一次装夹定位,精度稳定,形位公差容易控制,合格率和加工效率提高,日平均产量提高到14件。

综上所述,确定薄壁壳体工艺改进方案为工艺方案3。通过加工200件为样本,经检测后,零件精

斜进法和左右切削法。斜进法又称单面赶刀法,主要用于大螺距螺纹的加工,它本身存在有牙型角不对、长度不对和大小径尺寸不对等缺点。左右切削法又称双面切削法,适合大螺距螺纹的加工,本文要研究的圆弧螺纹属于大螺距螺纹,但由于牙型较为特别,所以斜进法和左右切削法都不合适。

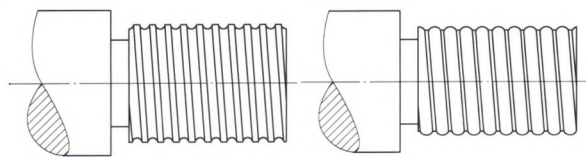


图1 凹圆弧螺纹

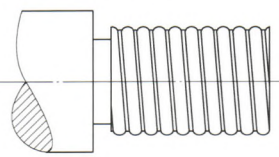


图2 凸圆弧螺纹

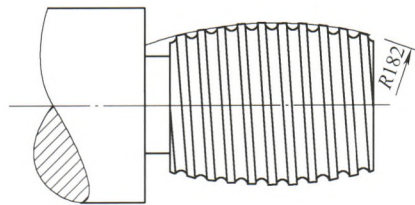


图3 圆弧面上的圆弧螺纹

(1) 加工分析。直进法又称仿形法,在车削螺纹时它的刀刃将全部进行工作,导致加工切削力和切削温度的增加,造成排屑困难。当切削到一定深度时,易出现“扎刀”和“崩刀”现象。但是当刀车加工质量明显改善,加工效率也得到显著提高,实现了预定目标。

3. 结语

通过这次工艺改进,零件加工质量明显改善,加工效率也得到显著提高。试验证明,这种工艺方法是可行的,为以后加工同类零件精加工积累了经验,开拓了思路。**MW** (收稿日期:20140514)

具的材料和质量都较好，且每次切削深度都掌握好时，圆弧螺纹还是能够顺利地进行加工的。

如图4所示凹圆弧螺纹，牙型角为R3 mm的圆弧，牙型高度为3 mm，螺距为10 mm，在竞赛当中，对于螺纹深度不大、加工余量不多的情况，为了能够更快更准确地完成加工任务，笔者选用R3的圆弧螺纹车刀进行仿形法分层加工（见图5）。

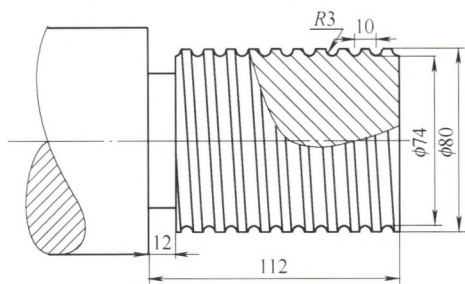


图4 凹圆弧螺纹加工分析

(2) 加工工艺。采用R3 mm的圆弧螺纹车刀直进法加工螺纹，由于工件将受力较大，为避免出现“扎刀”现象，利用宏程序来控制每次分层切削的加工深度为0.1 mm，使用G92螺纹循环指令来进行圆弧螺纹的加工。设工件坐标系的原点在工件右端面与轴线的交点上，对刀时以圆弧螺纹车刀的圆弧顶点为基准。编制加工宏程序如下：

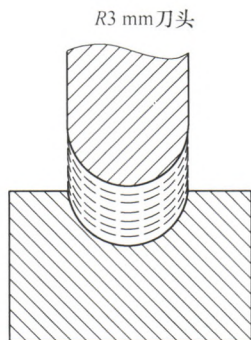


图5

```

O0001;
T0101; (选用1号刀具)
G00 X100 Z50; (刀具快速定位到起刀点)
M03 S300; (主轴正转，转速 300 r/min)
G00 X90 Z10; (刀具移动到螺纹切削循环的循环起点位置)
#1 = 0.1; (切削深度赋初值)
N10 G92 X [80 - 2 * #1] Z - 107 F10; (G92 循环加工螺纹)
#1 = #1 + 0.1; (切削深度增加量)
IF [#1 LE 1.5] GOTO10; (条件判断)
G00 X100 Z50; (返回起刀点)
M05; (主轴停)
M30; (程序结束)
    
```

因为使用的是R3 mm成形圆弧螺纹车刀，采用直进法，所以以上宏程序较为简单，但是加工出来的

工件表面粗糙度不是很理想。所以笔者选用R1.5 mm的圆弧车刀重新进行分析加工。如图6所示，由于R1.5 mm圆弧车刀刚性较差，不能够一次性地加工出R3 mm的圆弧牙型，笔者将圆弧螺纹牙型分为两部分加工，分别为A和B。A部分为粗加工，采用直进法先把A部分的余量去除（见图6），剩下B部分采取轮廓分层加工，以R1.5 mm的圆作为刀具轨迹去除剩下的余量（见图7）。

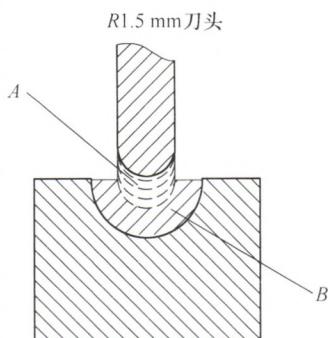


图6

分加工，分别为A和B。A部分为粗加工，采用直进法先把A部分的余量去除（见图6），剩下B部分采取轮廓分层加工，以R1.5 mm的圆作为刀具轨迹去除剩下的余量（见图7）。

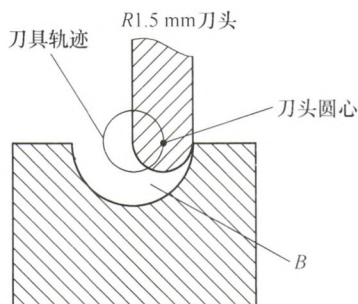


图7

(3) 切削A部分程序。设工件坐标系原点在工件右端面与轴线的交点上，编制加工宏程序如下：

```

O0002;
T0101; (选用1号刀具)
G00 X100 Z50; (刀具快速定位到起刀点)
M03 S300; (主轴正转，转速 300 r/min)
G00 X90 Z10; (刀具移动到螺纹切削循环的循环起点位置)
#1 = 0.1; (切削深度赋初值)
N10 G92 X [80 - 2 * #1] Z - 107 F10; (G92 循环加工螺纹)
#1 = #1 + 0.1; (切削深度增加量)
IF [#1 LE 1.5] GOTO10; (条件判断)
G00 X100 Z50; (返回起刀点)
M05; (主轴停)
M00; (程序暂停)
    
```

(4) 切削B部分程序。采用圆弧半径小于圆弧螺纹牙型半径的圆弧螺纹车刀（R1.5 mm）沿圆弧刀具轨迹逐次进刀点叠加构成圆弧螺纹轮廓，设工件

坐标系原点在工件右端面与轴线的交点上，圆弧螺旋车刀的刀位点为圆的圆心，编制加工宏程序如下：

```

O0003;
T0101; (选用1号刀具)
G00 X100 Z50; (刀具快速定位到起刀点)
M03 S300; (主轴正转, 转速 300 r/min)
G00 X90 Z10; (刀具移动到螺纹切削循环的循环起点位置)

#1 = 3; (圆弧螺旋半径赋值)
#2 = 1.5; (刀具半径赋值)
#3 = 0; (角度赋初始值为 0°)
WHILE [#3LE180] DO1; (如果没有切削完一个半圆弧的牙型, 继续循环1)
#5 = [#1 - #2] * SIN [#3]; (计算 X 坐标值)
#6 = [#1 - #2] * COS [#3]; (计算 X 坐标值)
G00 Z [11.5 + #6] (进刀到螺纹切削循环起点)
G92 X [80 - 2 * #5] Z -107 F10; (G92 循环加工螺纹)
#13 = #1 + 2; (角度每次增加 2°)
END1 (循环1 结束)
G00 X100 Z50; (返回起刀点)
M05; (主轴停)
M30; (程序结束)
    
```

2. 凸圆弧螺旋

(1) 加工方法分析。如图 8 所示，凸圆弧螺旋的螺距是 10 mm，牙顶是圆弧的形状。图形中的牙型由 R2 mm、R1 mm 圆弧和直线组成（见图 9），根据这些特征，笔者利用 R1 mm 圆弧车刀，采取分层切削的方法。每一层都利用宏程序来进行螺纹的切削，保证了牙型角的精度，具体的加工示意图如图 10 所示。

(2) 加工工艺。采用 R1 mm 的圆弧车刀进行分层加工，加工时间取决于每次的加工深度，在竞赛当中，加工时间用得越少对竞赛最有利。基于这一原则，笔者利用 R1 mm 圆弧车刀的刀位点为圆心对牙型

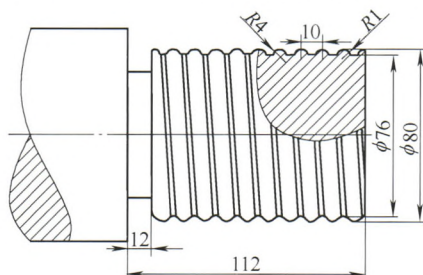


图 8

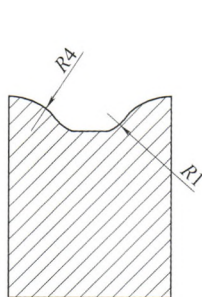


图 9

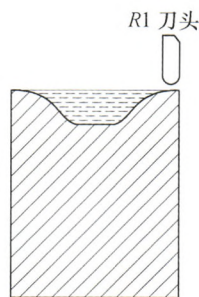


图 10

的尺寸进行分析（见图 11），R4 mm 有两段圆弧的长度都为 4 mm，高度为 2 mm，直线的长度为 2 mm。由于刀具的刀尖圆弧半径为 R1 mm，牙型角上的 R1 mm 圆弧不需要编

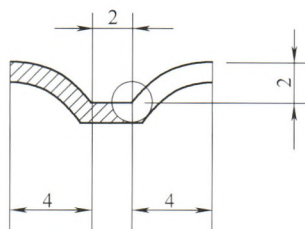


图 11

程，进行直线的轨迹就能够把牙型的特征加工出来。

编制的宏程序如下：

```

O0003;
T0101; (选用1号刀具)
G00 X100 Z50; (刀具快速定位到起刀点)
M03 S300; (主轴正转, 转速 300 r/min)
G00 X90 Z10; (刀具移动到螺纹切削循环的循环起点位置)

#1 = 0; (第一段圆弧 Z 坐标赋初始值)
#3 = 4; (第二段圆弧 Z 坐标赋初始值)
N10 #2 = SQRT [16 - #1 * #1]; (计算第一段圆弧 X 坐标值)
#4 = SQRT [16 - #3 * #3]; (计算第二段圆弧 X 坐标值)
#5 = 2 + #3 + (4 + #1); (两段圆弧和直线在牙型中 Z 余量)

N20 G00 [10 + #5]; (定义螺纹加工起点)
G32 X [80 - 2# * 2] Z -107 F10; (圆弧螺旋切削)
#5 = #5 - 0.3; (每次螺纹切削, 牙型中 Z 的变化量)
G0 X90; (返回螺纹切削 X 坐标)
IF [#5GE0] GOTO 20; (条件判断)
#1 = #1 - 0.1; (第一段圆弧 Z 减小量)
#3 = #3 - 0.1; (第二段圆弧 Z 减小量)
IF [#1GE-4] GOTO 10; (条件判断)
G00 X100 Z50; (返回加工起点)
M05; (主轴停止)
M30; (程序结束)
    
```

3. 圆弧面上的圆弧螺纹

如图 12 所示, $R182\text{ mm}$ 的圆弧面上有着牙型角为 $R3\text{ mm}$ 凹圆弧, 导程为 10 mm 的圆弧螺纹。笔者采用 $R1.5\text{ mm}$ 的圆弧车刀, 该牙型和第一种凹圆弧螺纹的加工方法一致 (见图 6、图 7), 也是分为 A 部分和 B 部分。

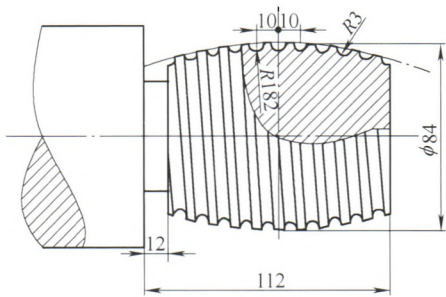


图 12

(1) 加工工艺分析。圆弧面上的圆弧螺纹, 应采用相互变量为插补加工出合格的圆弧螺纹。加工此工件时, 要分别求出螺纹起点和终点的坐标。已知圆弧面的半径是 $R182\text{ mm}$, 因此圆的方程为: $x^2 + z^2 = 182^2$, 圆弧螺纹的导程为 10 mm , 加工时延长加工起点一个螺距 10 mm 和加工螺纹终点延长 6 mm 。由公式可得出加工起点 x 的坐标、起点的直径坐标和终点坐标。

(2) 切削 A 部分程序如下。

```

O0004;
T0101; (选用 1 号刀具)
G00 X100 Z50; (刀具快速定位到起刀点)
M03 S300; (主轴正转, 转速 300 r/min)
G00 X63.65 Z10; (刀具移动到螺纹切削循环的循环起点位置)
#1 = 182; (圆弧面半径变化初值)
N10 #2 = 60; (圆弧面 Z 变量初值)
N20 #3 = SQRT [#1 * #1 - 60 * 60]; (加工起点 X 变化量)
#4 = SQRT [#1 * #1 - #2 * #2]; (计算圆弧面 X 坐标)
G00 X [#3 - 140] * 2; (圆弧螺纹加工起点)
G32 X [#4 - 140] * 2 Z [#2 - 50] F10; (圆弧螺纹加工)
G00 X90; (返回加工起始位置)
Z10; (返回加工起始位置)
#2 = #2 - 0.5; (圆弧面 Z 变化量)
IF [#2GE - 56] GOTO 20; (条件判断)

```

```

#1 = #1 - 0.2; (切削深度增加量)
IF [#1GE179] GOTO10; (条件判断)
G00 X100 Z50; (返回起刀点)
M05; (主轴停)
M30; (程序结束)

```

(3) 切削 B 部分程序。由于圆弧螺纹分为两部分切削, 为了避免产生乱牙现象, 使圆弧螺纹牙型更加完整。根据以上方法可以计算出改变后的加工起点坐标: $(62.685, 11.5)$ 。编制的宏程序如下:

```

T0101;
M03 S300; (主轴正转, 转速为 300 r/min)
G00 X100 Z100; (刀具快速定位起刀点)
X90 Z11.5; (螺纹切削循环起点)
#1 = 1.5; (定义牙型圆弧 Z 坐标值)
WHILE [#1GE - 1.5] DO1; (条件判断)
#2 = -SQRT [1.5 * 1.5 - #1 * #1]; (计算圆弧螺纹牙型 X 坐标)
G01 X62.589 Z11.5; (定位到螺纹循环起点)
#3 = 61.5; (圆弧面 Z 坐标赋初值)
WHILE [#3GE - 55] DO2; (条件判断)
#4 = SQRT [182 * 182 - #3 * #3]; (计算圆弧面 X 坐标)
#5 = (#4 - 140 + #2) * 2; (计算加工 X 的坐标)
#6 = #3 + #1; (计算加工 Z 的坐标)
G32 X#5 Z [#6 - 50] F10; (圆弧螺纹加工)
#3 = #3 - 0.5; (圆弧面 Z 的变化量)
END2; (循环 2 结束)
G0X90; (返回循环点)
Z10; (返回循环点)
#1 = #1 - 0.1; (圆弧牙型 Z 坐标的变量)
END1; (循环 1 结束)
G0X200; (返回起刀点)
Z100; (返回起刀点)
M30; (程序结束)

```

4. 结语

本文所编制的宏程序都是基于 FANUC 0i 系统的数控车床, 笔者运用了 WHILE 语句和 IF 语句, 效果相当理想, 程序编制合理, 对研究数控车宏程序的读者有一定的指导作用。由于笔者是数控车竞赛的指导老师, 指导学生进行数控宏程序的学习, 有着丰富的经验, 利用宏程序编制的技巧解决了很多异型螺纹难加工的诸多问题。MW

(收稿日期: 20140512)