

基于宏程序的大螺距圆弧螺纹加工方法探讨

任国柱^{1,2}, 戚厚军¹, 王喆²

¹天津职业技术师范大学机械工程学院; ²北华航天工业学院

摘要: 针对大螺距圆弧螺纹加工难度大、质量难保证的特点,探讨了大螺距圆弧螺纹的数控车削加工方法与编程思路。通过两种加工方法的对比提出采用拟合法(即分层切削深度逐渐减少的粗加工方法),选用较小的圆弧切削刀具,用宏程序编程去除加工余量;精加工采用拟合法(即沿螺纹轮廓线仿形车螺纹的方法)编写了采用单行程螺纹切削 G32 指令的圆弧螺纹加工通用宏程序。在 FANUC 数控车床上进行实践加工,验证了该宏程序加工方案的可靠性,较好地控制了圆弧螺纹的表面加工质量和表面粗糙度。该编程方法通用于梯形螺纹、异形螺纹等大螺距精密螺纹加工,在生产实践中具有一定的实际指导意义。

关键词: 宏程序;大螺距圆弧螺纹;拟合法

中图分类号: TH162;TH164;TG62 文献标志码: A DOI:10.3969/j.issn.1000-7008.2021.10.013

Discussion on Fitting Processing Method of Large Pitch Arc Thread Based on Macro Program

Ren Guozhu, Qi Houjun, Wang Zhe

Abstract: In view of the difficulty in machining and quality assurance of large pitch arc thread, the NC turning method and programming idea of large pitch arc thread are discussed. Through the comparison of two processing methods, a rough machining method of gradually reducing the depth of layered cutting by using fitting method is proposed. The smaller arc cutting tool is selected and the machining allowance is removed by macro programming strategy. The method of copying thread along the thread contour is adopted for finish machining. Finally, the circular arc thread machining tool with one-way thread cutting G32 instruction is compiled. The macro program is applied to FANUC CNC lathe to verify the reliability of the macro program, and the surface machining quality and surface roughness of arc thread are well controlled. This programming method can be used in the machining of trapezoidal thread, special-shaped thread and other large pitch precision thread. It has certain practical guiding significance in production practice.

Keywords: macro program; large pitch arc thread; fitting method

1 引言

圆弧螺纹是指螺纹牙型截面为圆弧形状的螺纹,即在圆柱(或圆锥)面上牙型截面为圆弧形

状^[1],如滚珠丝杠上的螺纹牙型即为圆弧形。因为具备效率高、传动灵活、精度保持性好、摩擦阻力小等特点,滚珠丝杠被广泛应用于各种工业设备和精密仪器中^[2-5]。

在数控车削中,加工螺纹有规则的切削指令,如 G32(单行程螺纹切削)、G92(螺纹切削循环指令)

基金项目: 天津市智能制造科技重大专项:机器人核心零部件开发应用及示范研究(15ZXZ00220)

收稿日期: 2021 年 3 月

度方向的热影响区厚度变大,重铸层厚度变大,沿直径方向的热影响区厚度变大,重铸层厚度变小。

参考文献

- [1] 纪利平,宋梓钰,孙亚萍,等.基于 COMSOL 的皮秒激光单脉冲烧蚀铜片[J].激光与光电子学进展,2018,55(10):192-198.
- [2] 金方圆,陈波,鄂书林,等.皮秒激光烧蚀 Al 膜的理论分析与实验验证[J].发光学报,2014,35(6):754-760.
- [3] 王奕潮,赵万芹,王凌志,等.皮秒超短脉冲激光烧蚀金属的微孔加工[J].机械设计与研究,2019,35(5):70-74.

- [4] 贺龙宇,孙会来,刘泽林.激光烧蚀材料热效应的研究进展[J].学术探讨,2018(19):264.

- [5] 邓宝清,任露泉,苏岩,等.模拟活塞缸套摩擦副的仿生非光滑表面的摩擦学研究[J].吉林大学学报(工学版),2004,34(1):79-84.

- [6] 克拉盖尔斯基著,汪一麟译.摩擦磨损计算原理[M].北京:机械工业出版社,1982.

第一作者:王义军,高级工程师,中铁隧道集团三处有限公司,518052 广东省深圳市

First Author: Wang Yijun, Senior Engineer, China Railway Tunnel Group Sanchu Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518052, China

和 G76(螺纹切削复合循环指令)等^[6]。这些指令对应的切削方式和编程方法虽然有所不同,但都属于仿形法加工,较适合加工螺距较小、牙深较浅的螺纹。由于大螺距圆弧螺纹深度大,利用数控系统自带的标准螺纹切削指令进行仿形加工时,易产生扎刀现象,影响圆弧螺纹的加工品质,使用 CAD/CAM 软件也不能解决圆弧形大导程螺纹轴类零件的加工,通常在实际生产中采用变量进行宏程序编制^[7-9]。

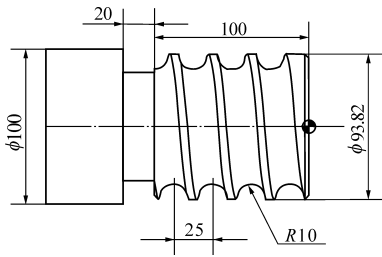


图1 圆弧螺纹零件结构

如图1所示,该零件为单零件加工,工件毛坯为 $\phi 100\text{mm} \times 170\text{mm}$,材料为45钢,圆弧半径为10mm,螺距为25mm,表面粗糙度 $R_a = 1.6\mu\text{m}$,属于大螺距圆弧螺纹,表面粗糙度要求较高,具有一定的加工难度。

2 大螺距圆弧螺纹加工工艺分析

加工圆弧螺纹的方法有很多种,如直进法、斜进法、左右切削法、车直槽法和分层法等^[10]。由于图1中圆弧螺纹比其它普通螺纹螺距和牙型大,使得车削圆弧螺纹时,吃刀深、走刀快、切削余量和切削抗力较大。如果数控车床刚性较差,极易产生“扎刀”现象,使加工无法进行。

针对这种情况,首先应考虑将圆弧螺纹的较大余量去除,即将加工分成粗加工和精加工两部分。先用R4的圆弧车刀(配SRDCN1616刀杆)分层车削作粗加工,后用 35° 车刀(配SVVCN-2020刀杆)沿着螺纹轮廓线仿形车螺纹进行精加工。

2.1 径向均匀分层圆弧螺纹粗加工方法

如图2所示,采用R4的圆弧车刀径向均匀分层进行粗车螺纹加工。使用该方法需要确定刀具的几个位置点,图2中的刀具起刀点距编程原点中心的距离为50mm,刀具结束点距编程原点中心的距离为113mm。由于X向每层都切了1mm,作有规律的递减,可以设置一个变量 $\#15 = 92.82$,让 $\#15$ 变量自减运算: $\#15 = \#15 - 1$ (-1表示每运算一次 $\#15$ 的数值减少1mm,达到更改每层背吃刀量为1mm的

目的)。

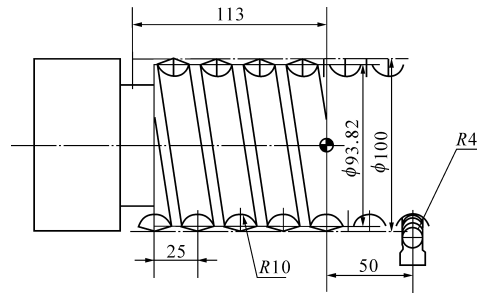


图2 径向均匀分层粗加工方法

使用该方法编写的宏程序为:

```
O1
#15 = 92.82; (#15 为车各层的 X 坐标 92.82, 是车第一刀的初始值)
G54 S300 M03;
T0101;
G00X150Z100;
N5Z50; (Z 向到达车螺纹的起始点)
G00X#15; (X 向到达车螺纹的起始点)
G32Z - 113F25; (G32 指令车第一刀)
G00X100; (X 方向抬刀)
#15 = #15 - 1; (X 方向进刀, 其中 -1 为背吃刀量每次减小 1mm)
IF[#15GT80]GOTO5; (如果#15 大于 80 即跳转 05 行, 车削继续)
G00X150;
Z100M05;
M30;
```

使用该加工方法可较快去除加工余量,但随着切削深度的增加,刀具切削刃接触零件表面会不断增大,切削抗力也会随之增大,如果刀具夹持刚性差,粗加工很难顺利流畅地进行,所以,这种加工方法对于刀具或工件刚性比较差的情况具有一定的局限性。

2.2 采用拟合法的圆弧螺纹粗加工方法

为了避免径向均匀分层圆弧螺纹加工方法的弊端,提出一种加工方法,该方法可使切削深度减少,每层切削量均恒定。选用较小的圆弧切削刀具,用宏程序编程策略均匀去除加工余量,以提高加工精度与效率。使用该编程方法的关键是通过拟合法找出刀具每一层进刀点的位置坐标(即刀具中心轨迹的X和Z向坐标值)。

(1) 拟合加工原理

拟合加工方法为:通过不断改变刀具起点位置对螺纹进行赶刀加工,逐点逼近实际螺纹轮廓^[11]。

如图3~图5所示,将被切除的余量分成三层,前两层为粗加工,最后一层为精加工。沿工件径向

分层粗车第一层时工件径向留 4mm,粗车第二层时工件径向留 1.5mm。为方便编程,圆弧螺旋分层加工时每一层的切削轨迹取半径相同的圆弧,但弧长不同。随着切削深度的增加,切削的圆弧弧长逐渐变大,通过不断改变刀具起点位置对螺纹进行赶刀加工,逐点逼近实际螺纹轮廓。

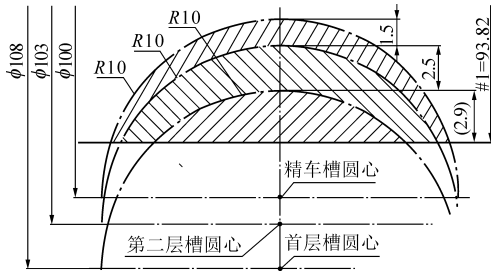


图3 粗精车分层

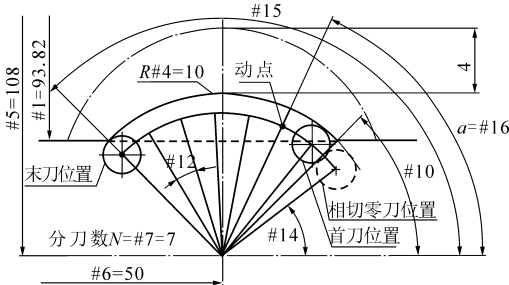


图4 沿工件径向分层粗车第一层(工件径向留4mm)

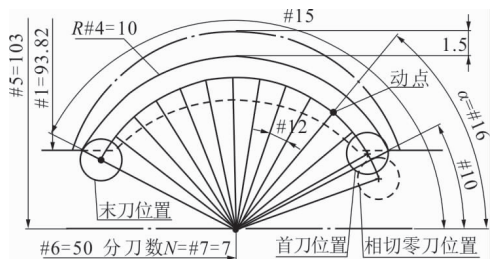


图5 沿工件径向分层粗车第二层(工件径向留1.5mm)

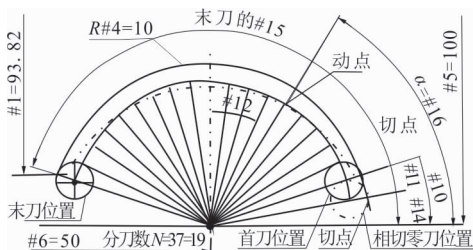


图6 精车

(2) 刀具中心轨迹数学模型

如图4至图6所示,设#4为螺纹圆弧半径,#5为粗车圆弧槽圆心所在的直径,#1为螺纹外径,#18为刀尖圆弧半径,#7为分刀数,#16为刀具中心轨迹动角 α ,根据图4、图5可得出数学关系式为

$$\#10 = \arcsin \left[\frac{(\#5 - \#1)/2}{\#4} \right] \quad (1)$$

$$\#11 = \arcsin \left[\frac{\#18}{(\#4 - \#18)} \right] \quad (2)$$

$$\#12 = (180 - 2 \times \#10 + \#11) / \#7 \quad (3)$$

$$\#14 = \#10 - \#11 \quad (4)$$

$$\#15 = 180 - \#10 \quad (5)$$

$$\#16 = \#14 + N\#12 (N = 1 \sim 7) \quad (6)$$

根据式(1)~式(6),可得出刀具中心的轨迹方程为

$$X = [\#5 - 2 \times (\#4 - \#18) \times \sin(\#16)] \quad (7)$$

$$Z = [\#6 + (\#4 - \#18) \times \cos(\#16)] \quad (8)$$

(3) 拟合加工程序流程

加工时,刀具从首刀起始位置#14开始,通过改变方位角#16,按照式(7)和式(8)的运动轨迹不断改变刀具起始位置,实现同层圆弧螺旋槽的加工。在加工过程中,刀具动角#16与终止角#15(最后一刀圆心所在的角度即为扇形左边线的角度)进行比较,当动角大于终止角时即完成本次加工。根据拟合法建立的宏程序流程见图7。

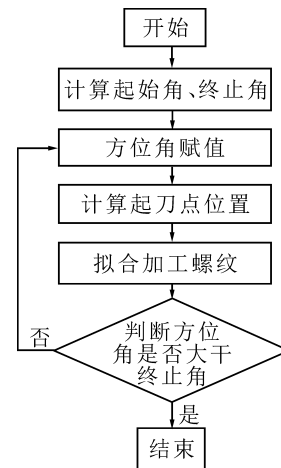


图7 宏程序流程

(4) 刀具选用

所选用的车刀杆型号为SVVCN-2020,配备的刀片为VCMT160412,刀尖圆弧半径为R1.2mm,见图8。



图8 精加工刀具与刀片

根据图 4 和图 5 编写的粗加工通用宏程序主程序为:

```

O2
N1 M98 P3;    (调用沿工件径向分层粗车第一层的子程序)
N2 M98 P4;    (调用沿工件径向分层粗车第二层的子程序)
N3 M05;
N4 M30;
    调用的粗车第一层子程序为:
O3
N01 #1 = 93.82;    (#1 为螺纹外径)
N02 #2 = 113;    (#2 为含降速段  $\delta_2$  在内的螺纹长度)
N03 #3 = 25;    (#3 为螺距)
N04 #4 = 10;    (#4 为粗车第一层圆弧槽的半径)
N05 #5 = 108;    (#5 为粗车第一层圆弧槽圆心所在的直径)
N06 #6 = 50;    (#6 为升速段  $\delta_1$  的长度)
N07 #18 = 1.2;    (#18 为刀尖圆弧半径)
N08 #7 = 7;    (#7 为图中相切零刀的分刀数)
N09 #13 = 3;    (#13 为主轴正反转的 M 代码, 左旋螺纹为 3)
N10 #19 = 300;    (#19 为粗车该层主轴转速)
N11 #20 = 1;    (#20 为刀位号)
N12 #21 = 1;    (#21 为刀补号)
N13 #22 = 140;    (#22 为车螺纹每刀出发点兼退回点的 X 指令值)
N14 #24 = 150;    (#24 为出发点兼退回点的 X 指令值)
N15 #26 = 100;    (#26 为出发点兼退回点的 Z 指令值)
N16 #10 = ASIN[[[#5 - #1]/2]/#4];    (#10 为扇形右边线的角度)
N17 #11 = ASIN[#18/[#4 - #18]];    (#11 为刀圆与扇形右边线相切位置的夹角)
N18 #12 = [180 - 2 * #10 + #11]/#7;    (#12 为相邻两刀间的角度间隔  $\Delta\alpha$ )
N19 #14 = #10 - #11;    (#14 为与扇形右边线相切位置刀圆心的角度)
N20 #15 = 180 - #10;    (#15 为最后一刀圆心所在的角度即扇形左边线的角度)
N21 #16 = #14 + #12;    (#16 为动角  $\alpha$ , 此为赋初始值)
N22 G54 S#19 M#1;    (设定坐标系指定主轴转速和转向)
N23 T[#20 * 100 + #21];    (指令刀位号和刀补

```

号, 仿真 T0101)

```

N24 G00 X#24 Z#26;    (到达总出发点)
N25 G00 Z[#6 + [#4 - #18] * COS[#16]];    (Z 向到达车这刀螺纹的起始点)
N26 X[#5 - 2 * [#4 - #18] * SIN[#16]];    (X 向到达车这刀螺纹的起始点)
N27 G32 Z - #2 F#3;    (车一刀)
N28 G00 X#22;    (抬刀)
N29 #16 = #16 + #12;    (计算下一刀的  $\alpha$  值)
N30 IF [#16LE #15] GOTO25;    (如果  $\alpha$  未超过 #15, 车削继续)
N31 G00 X#24 Z#26;    (回到总退回点)
N32 M99;    (返回主程序)

```

粗车第二层子程序 O4 只需改动参数 #5 = 103 (#5 为粗车第二层圆弧槽圆心所在的直径) 即可, 其余与粗车第一层子程序 O3 相同。

与采用大圆弧刀具径向均匀去除余量的方法相比, 采用拟合法利用小圆弧刀具粗加工分层去除余量的宏程序加工方法时, 刀具每次去除余量均匀, 切削抗力减小, 加工效率提高 80% 以上, 较好地解决了加工过程中切削抗力大、刀具颤动等问题, 提高了加工精度。圆弧螺纹分层车削见图 9。



图 9 圆弧螺纹粗加工实物

2.3 大螺距圆弧螺纹精加工分析

精加工的思路为: 选用与粗加工相同的 35° 车刀, 采用拟合法进行精加工 (见图 8), 采用拟合法沿着螺纹轮廓线进行仿形车螺纹。

如图 10 所示, 为了更清楚地表达刀具每一刀的走刀路线轨迹, 精车时将一个圆弧槽的圆弧分为 19 刀, 划分的刀数越多, 加工出来的螺纹表面粗糙度越好。在图 10 的直角三角形中, 角和边满足三角函数关系式, 从而计算出 $Z = 8.8 \cos\alpha$, $X = 17.6 \sin\alpha$ (X 方向换算成了直径), 式中, 8.8 为圆弧半径, 零件圆弧 $R = 10\text{mm}$, 刀具圆弧 $R = 1.2\text{mm}$, 以刀具圆心为对刀中心。在圆弧上取 19 个点, 有 18 个间隔, 即 144° 的圆弧分为了 18 个间隔, 每个间隔为 8° ($144/18 = 8$), 则可以设一个角度变量如 #16, 让 #16 做自增运算。

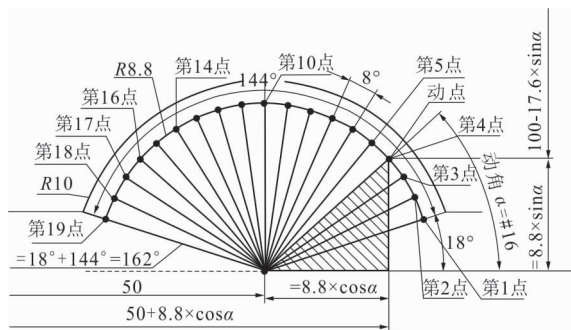


图10 精加工各起刀位置点的指令值与其对应的 α 角度值的关系

最终编写的精加工宏程序如下：

O5

N1 #16 = 18; (#16 为刀圆心的动角 α 的角度,18 为初始值)

N2 G54S400M3; (设定坐标系指定转速指定主轴正转)

N3 T0202; (指令刀位号和刀补号)

N4 G00X150Z100; (到达总出发点)

N5 G00Z[50 + 8.8 * COS[#16]]; (Z 向到达螺纹起始点)

N6 X[100 - 17.6 * SIN[#16]]; (X 向到达螺纹的起始点)

N7 G32Z - 113F25; (螺纹车一刀)

N8 G00X140; (抬刀)

N9 #16 = #16 + 8; (计算下一刀的 α 值,8 为两刀间的角度间隔 $\Delta\alpha$)

N10 IF[#16LE162]GOTO5; (如果 α 未超过 162° ,车削继续)

N11 G00X150Z100M5; (主轴停,回到总退刀点)

N12 M30; (程序结束)

最终圆弧螺纹加工结果见图 11。



图11 圆弧螺纹最终加工实物

3 结语

在 FANUC0i-MATE 数控车床上进行实践验证,利用拟合法选用 35° 小圆弧车刀进行大螺距圆弧螺纹的粗精加工,可以高效、精准地加工出圆弧螺纹,提高了加工精度与表面粗糙度,减少刀具磨损、扎刀和震刀等现象,延长了刀具使用寿命。文中提到的圆弧螺纹编程思路和方法也适用于梯形螺纹、矩形螺纹、三角形螺纹等异形大螺距螺纹的加工,在生产实践中具有一定的参考意义。

参考文献

- [1]胡列樱.大螺距圆弧螺纹数控车削加工[J].机械工程师,2015(12):271-273.
- [2]沈春根.数控车宏程序编程实例精讲[M].北京:机械工业出版社,2014.
- [3]沈羽,王西建.基于宏程序编程的滚珠丝杠双圆弧螺纹数控车削加工[J].中国设备工程,2018(12):209-211.
- [4]王建霞.浅谈圆弧螺纹的加工[J].轻工科技,2012,11(168):47-48.
- [5]甘艳平.数控车床中抛物线轮廓仿形加工的宏程序编制[J].机械研究与应用,2012(3):170-172.
- [6]梁广彪.宏程序加工圆弧螺纹的编程研究[J].电脑与电信,2019(3):58-61.
- [7]严帅,王伶俐.大螺距圆弧螺纹的拟合法加工[J].机械制造,2013,4(9):66-68.
- [8]冯志刚.数控宏程序编程方法、技巧与实例[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [9]栗振.FANUC-0i系统B类宏程序用于椭圆编程的两种方法[J].机械工程师,2010(10):68-69.
- [10]苏亚辉.圆锥曲线数控车削宏程序编程方法研究[J].工具技术,2012,46(12):40-42.
- [11]郝继红,甄雪松.数控车削加工技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008.

第一作者:任国柱,博士研究生,高级实验师,天津职业技术师范大学机械工程学院,300222 天津市

First Author:Ren Guozhu, Ph. D. Candidate, Senior Experimentalist, College of Mechanical & Engineering, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China