

空间正弦曲面的数控铣削

山东临沂技术学院 (276005) 马 勇 张立鹏 王金泉

2008 年全国数控技能大赛数控铣和加工中心组决赛题目包含多个配合件的加工, 其中一个配合件上有一个薄壁圆筒, 在其端面上有一个沿着圆周方向分布的正弦曲面 (见图 1), 振幅为 5.0mm, 包括四个周期 ($4 \times 360^\circ = 1440^\circ$), 类似的题目在 2009 年山东省职业院校技能大赛高职组数控竞赛中也有出现 (圆筒的内径 $\phi 40\text{mm}$, 外径 $\phi 50\text{mm}$, 壁厚 5.0mm)。

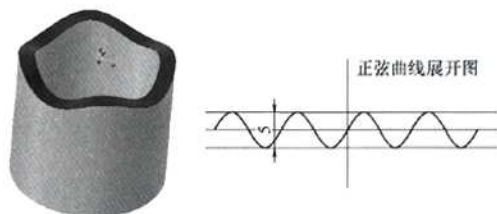


图 1

1. 正弦曲面的自动编程加工及分析

对于曲面的数控铣削加工, 首先想到的是自动编程。此题的重点在于正弦曲面的构造, 使用 CAXA 自动编程软件构造两条空间正弦曲线, 曲线的公式及参数如图 2 所示。



图 2

利用两条曲线构造直纹面, 曲线的定位点在坐标原点 (0, 0, 0)。对直纹面使用参数线精加工方式进行加工, 加工参数设定如图 3 所示。

正弦曲面的铣削有两种走刀方式, 其一是环切方式, 每次沿圆周方向铣削一个环形空间正弦曲线

后, 向内移动一个半径方向的步距, 再铣削第二个环形空间正弦曲线, 依次向内推进, 最后加工出整个正弦曲面。另一种是放射形切削方式, 每次沿半径方向向内铣削一个壁厚距离, 然后在圆周方向移动一个角度步距, 再向外铣削一个壁厚距离, 同时 Z 向的切削深度随角度的不同而变化, 最后加工出整个正弦曲面。

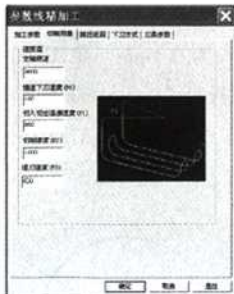
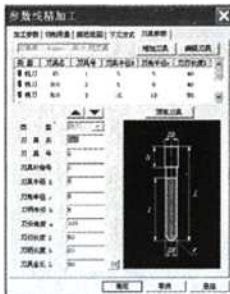


图 3

在自动编程参数相同的情况下, 使用两种不同走刀方式的实际加工时间差异不大, 环切方式为 $8'44''$, 放射形切削方式为 $8'10''$ 。

2. 正弦曲面的宏程序编制与加工分析

从自动编程两条正弦曲线的表达式可以看出, 正弦曲面即可以用许多条正弦曲线逼近拟合而成, 而每一条正弦曲线都有确定的表达式, 这样可以应用宏程序进行编程加工。

与自动编程相似, 正弦曲面用宏程序加工也有两种走刀方式, 即环切方式和放射形切削方式。走

刀方式不同,宏程序的编制也不同。

(1) 环切方式宏程序的编制及分析 环切方式加工,编程相对简单,程序长度比较短(见图4)。宏程序采用双重循环,内层循环控制单条正弦曲线的加工,外层循环控制圆筒半径的变化。从理论上讲,采用沿着曲面切向的环切方式加工,加工表面质量最好。但是实际加工表明,由于采用无数段微小的空间直线切削加工,程序中设定了F1000的进给速度,实际加工进给速度只有设定进给速度的10%左右,限制了加工速度的提高,加工时间比较长,约90min,几乎没有实际使用意义。程序清单略。

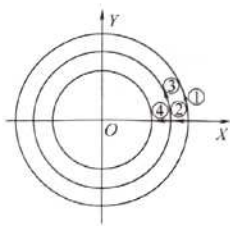


图 4

(2) 放射形切削方式的宏程序编制及分析 采用放射形切削方式编程相对复杂一点(见图5),宏程序的长度长一点,只有一层循环,最主要的特点是在半径方向切削时,没有Z坐标的变化,只有XY平面内的走刀,加工速度比较高。同时由于圆周方向的角度步距比较小,加工质量令人满意。当正弦曲线的角度步距为 1° 时,圆周变化角度为 $1^\circ/4 = 0.25^\circ$,据此算出对应的弦长为0.1mm(见图6),因此在自动编程参数设置中行距设为0.1mm,起对比作用。采用放射形切削方式的实际加工时间为7min 45s,是加工时间最短的一种编程加工方式。

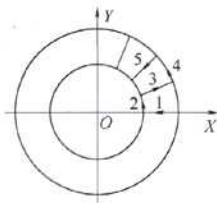


图 5

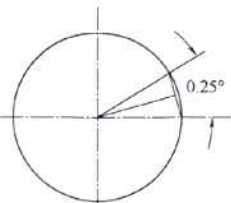


图 6

程序清单及注释如下:

```
G40 G49 G50 G69 G80 G90; (程序保护语句)
G54 G00 X25.0 Y0; (G54 坐标系快速定位)
S3000 M03; (主轴 3 000r/min 正转起动)
Z5.0; (快速定位 Z 轴点)
G1 Z0 F100; (工进至工件表面)
#2 = 1440.0; (正弦曲线的角度变量的终点)
```

```
#3 = 25.0; (圆筒的外半径)
#4 = 20.0; (圆筒的内半径)
#1 = 0; (正弦曲线角度变量的起点)
N10 #21 = #4 * COS [#1/4.0]; (内正弦曲线上点的 X 坐标计算)
#22 = #4 * SIN [#1/4.0]; (内正弦曲线上点的 Y 坐标计算)
#24 = #3 * COS [#1/4.0]; (外正弦曲线上点的 X 坐标计算)
#25 = #3 * SIN [#1/4.0]; (外正弦曲线上点的 Y 坐标计算)
#26 = 2.5 * SIN [#1] - 2.5; (正弦曲线上点的 Z 坐标计算)
```

算)

```
G01 X#24 Y#25 Z#26 F1000; (切削加工)
```

```
X#21 Y#22 Z#26; (切削加工)
```

```
#1 = #1 + 1.0; (角度变量循环增加)
```

```
#21 = #4 * COS [#1/4.0]; (内正弦曲线上点的 X 坐标计算)
```

```
#22 = #4 * SIN [#1/4.0]; (内正弦曲线上点的 Y 坐标计算)
```

```
#24 = #3 * COS [#1/4.0]; (外正弦曲线上点的 X 坐标计算)
```

```
#25 = #3 * SIN [#1/4.0]; (外正弦曲线上点的 Y 坐标计算)
```

```
#26 = 2.5 * SIN [#1] - 2.5; (正弦曲线上点的 Z 坐标计算)
```

算)

```
G01 X#21 Y#22 Z#26 F1000; (切削加工)
```

```
X#24 Y#25 Z#26; (切削加工)
```

```
#1 = #1 + 1.0; (角度变量循环增加)
```

```
IF [#1 LE #2] GOTO10; (循环判断)
```

```
G00 Z100.0; (抬刀至安全高度)
```

```
M30; (程序结束)
```

3. 正弦曲面的第四轴宏程序编制与加工分析

正弦曲面如果采用第四轴结合宏程序加工,程序会更简单,加工时间更短(见图7)。一般立式加

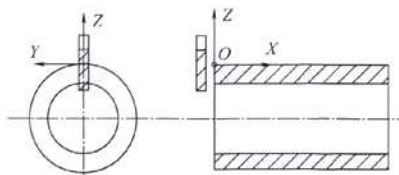


图 7

工中心的第四轴为A轴(绕X轴旋转),加工刀具选用 $\phi 10\text{mm}$ 的铣刀,工件坐标系的原点设在端面与上母线的交点处。当A轴旋转时,X坐标按照正弦曲线的公式变化,加工出正弦曲面。

程序清单及注释如下:(铣刀中心对刀)

```
G40 G49 G50 G69 G80 G90; (程序保护语句)
G54 G00 X -10.0 Y0; (G54 坐标系快速定位)
S3000 M03; (主轴 3 000r/min 正转起动)
Z5.0; (快速定位 Z 轴点)
```

```
G1 Z-8.0 F100; (工进至工件端面下)
A0; (A轴角度回零)
X-2.5; (切入工件)
#2=1440.0; (正弦曲线的角度变量的终点)
#1=0; (正弦曲线角度变量的起点)
N10 #24=-2.5*SIN[#1]-2.5; (正弦曲线上点的X
坐标计算)
#25=#1/4.0; (A轴角度坐标的计算)
G01 X#24 A#25 F100; (切削加工)
#1=#1+1.0; (角度变量循环增加)
IF[#1 LE #2] GOTO10; (循环判断)
G00 Z100.0; (抬刀至安全高度)
M30; (程序结束)
```

4. 自动编程和宏程序的对比分析

(1) 编程方法的适应性 自动编程具有无可比拟的优势,无论是简单的曲面,还是复杂的曲面都能适应。而宏程序只能适用于那些有规则的、能用公式表示的曲面,对于那些非公式化的自由曲面,宏程序是无能为力的。

(2) 程序的质量和加工质量 打开自动编程生成的加工程序清单,大部分由G00和G01指令组成,谈不上程序质量,程序的分析、判读是很困难的事情,对于重要尺寸和非重要尺寸不容易进行区分加工,零件加工的精度在很大程度上依靠机床本身的精度,个别尺寸出现超差现象将很难修正。

宏程序的每一个程序语句都有其固定的含义与作用,分析、判读程序相对很容易,并且宏程序中可以结合固定循环指令,简化程序编制,提高加工程序的质量。加工后个别尺寸出现超差时,可以通过宏程序中的参数进行调整,单独修正不合格的尺寸。单就程序质量和加工质量上分析,宏程序要比自动编程好得多。

(3) 使用的便捷性 无论哪种编程方式,加工参数的初次设置都不能做到完善,都需要根据具体实际的加工效果作出必要的调整。自动编程加工参数的调整意味着整个加工程序的重新生成,然后再传输加工,而宏程序加工参数的调整只是程序中某个参数的改变。

在本例中,如果要加大角度的步距为2.0mm,缩短加工时间,自动编程必须在电脑上修改参数设置,重新生成加工程序。而宏程序增大步距只是把#1=#1+1.0语句中的1.0改为2.0即可。对于形状

相似、尺寸不同的同一类工件,可以使用同一个程序进行加工。例如本例当中,正弦曲线的振幅为5.0mm,如果改为8.0mm,自动编程需要重新作图并设定参数生成程序,宏程序当中把2.5mm改为4.0mm就可以进行新工件的加工。如果工件的尺寸种类比较多,那么可以把宏程序做成子程序,像调用普通G代码(如G90)一样调用宏程序。

(4) 加工效率的对比 自动编程生成的加工程序一般比较长,占用存储空间大,中间还有许多抬刀路线和非切削加工的路线,从前面的对比分析来看,一般要比宏程序加工慢。宏程序的优点就是简洁、准确,只加工要求的部分,没有多余的走刀路线,加工参数可以方便地修改,而加工时间相对较短,单件加工时还显现不出优势,但在批量加工时,节省的时间是比较可观的。

(5) 编程的要求条件 就编程的难度来说,自动编程要比宏程序低。自动编程软件加工的基本过程:分析图形→造型→加工参数设置→加工轨迹生成→后置处理生成加工程序→加工。不同的自动编程软件虽然操作有所差异,但是过程大体相似。

相比较而言,宏程序编制的难度则要大得多。其应用范围得不到扩展的原因主要是:编写程序困难,找出并改正错误困难,分析判读程序更困难,编写高质量的宏程序更是难上加难。宏程序的语句比较枯燥难懂,语法要求严格,逻辑思维性强,要求编制程序的人员熟悉数控系统及加工指令应用。

自动编程的应用必须借助于计算机及软件。大部分工厂在车间内还没有配备计算机,部分配备计算机的车间由于恶劣的使用环境,故障的频率也比较高。宏程序编程使用的只是人的知识和头脑,并且由于人脑的智能性,甚至可以补偿由于机床本身原因造成的加工误差,这更是自动编程所不能比拟的。

5. 结语

随着计算机技术的发展,自动编程的应用越来越广泛。有些人会认为宏程序会逐渐失去其作用,其实无论在过去、现在还是将来,手工编程都是自动编程的基础,许多自动编程中加工的理念、手段都是从手工编程中移植过去(或者变化而来),作为手工编程的高级部分——宏程序,始终是编程手段中不可或缺的一部分。自动编程和宏程序都有其适用范围和生存的理由。MW (收稿日期:20101216)