圆柱体侧孔相贯线倒角宏程序

■ 德州联合石油机械有限公司 （山东 253034） 侯祖刚 白广辽

摘要： 圆柱体表面分布的侧孔，一般要进行孔口倒角处理，通过实践和摸索，归纳总结了圆柱体侧孔相贯线的几何性质和特征规律，以此为基础，编制了孔口倒角宏程序。利用数控铣床的曲面加工优势，顺利完成相贯线倒角的铣削加工，大幅提高生产效率。

机械加工中，经常会遇到圆柱体表面沿圆周分布的侧孔，孔口呈相贯线形状，为了便于装配和操作安全，一般要进行倒角或圆角过渡处理。圆柱体侧孔相贯线倒角，至今没有成熟的切削加工方法。工人师傅一般采用手工修磨倒钝的方法，效率低，精度也没有保证。本人通过实践和摸索，归纳总结了相贯线的几何性质和特征规律，以此为基础，编制了倒角宏程序，利用数控铣床曲面加工优势，顺利完成相贯线倒角的铣削加工。技术交流，希望对大家有所帮助。

1. 加工方案

国外的一批零件（见图1），圆柱体上分布有两个正交的侧孔。图样要求孔口保留3 mm×45° 倒角和*R*5 mm圆角，用户要求特别苛刻，每一个加工环节，都严格按图样检验。相贯线倒角一度成为制约生产的瓶颈，靠手工打磨抛光的方法明显达不到图样要求。工艺人员第一时间想到的加工方案就是利用数控设备铣削倒角，从理论上讲，圆柱体侧孔相贯线是一圈有规律的空间三维曲线，三轴联动的数控铣床或者加工中心完全可以加工。现实情况是公司现有的数控系统都不具备相贯线插补功能，自动编程需要正版的CAM软件和专用的后处理模块，少则十几万元的费用，企业一次性投资太大。从生产实际出发，充分利用FANUC系统内置的宏程序功能，完成相贯线倒角的描述和定义，是手工编程的关键。

2. 编程思路

由工件三视图（见图2）可以看出，圆柱体侧孔相贯线为前后左右对称的封闭空间曲线，相贯线的投影在*XY*平面是一个完整的内孔圆，在*YZ*平面是一段高低起伏的椭圆弧曲线，两者结合，很难用简捷的数学方程式来表达，即使设计人员绘图时也要采用描点连线的近似画法，相贯线倒角，的确不是一件容易的事。我们可以借助计算机绘图软件。将相贯线转化为不同视角的图形，引导启发编程员的创新思维和破解能力。编程的第一步是寻找突破口，正确定义相贯线的轮廓路径。静下心来，站在数控加工的角度重新审视相贯线的几何特征，逐一分析，各个击破，会发现事情并没有想象中的那么复杂。编程的难点，并不在于相贯线的曲率公式和计算方法，而在于编程者如何对加工路径进行合理的认识和分解。本例中宏程序的编程思路，是以*XY*平面的侧孔圆角度为单位，将相贯线等分成120段三维线段，以变量控制数控机床的三个坐标轴沿三维线段移动，对变量赋值并设置相互之间的参数方程和逻辑关系，这样就完成了宏程序的主题和框架，仔细观察，会发现相贯线上每一点所对应的坐标位置都有着必然的联系，根据相贯线的投影特征，刀具在*XY*平面按圆弧插补编程，以侧



图1 零件立体图

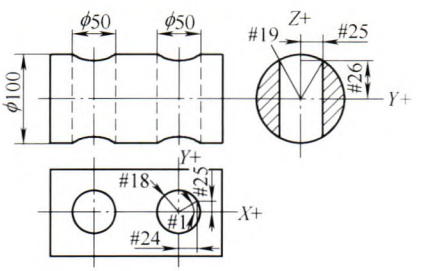


图2 侧孔相贯线编程示意图

孔圆起始角度为自变量，每增加3°，移动一个R25 mm圆弧线段，圆弧终点随着起始角度的递增不断变化，最终描述出一条ϕ50 mm的整圆轨迹。在右侧YZ截面视图中，X轴与圆柱体轴线重合，Z轴与Y轴保持唯一的函数关系，编程中可以根据圆柱体半径和Y轴变量值，运用勾股定理几何公式，计算出相贯线上任意一点的Z向坐标值。XY平面的圆弧进给与Z轴联动，执行标准的螺旋线段插补，120段螺旋线段首尾相连，循序渐进，即可完成相贯线路径的编制。

3.3 mm×45°倒角宏程序

45°倒角有专用的成形铣刀，倒角时利用刀具的45°侧刃，以“线接触”的切削方式铣削倒角，编程员只需定义倒角深度和相贯线的轮廓路径，输出一圈的加工轨迹即可。实际加工时操作者以靠近相贯线的刀尖为对刀基准，视情况调整刀具的补偿值即可控制倒角尺寸的大小。下面程序以圆柱体轴线和侧孔中心为G54加工坐标系零点，选用ϕ20 mm倒角立铣刀，以轴向刀尖为刀位点，沿相贯线轮廓加工倒角（见图3）。

变量设置：#1=0（侧孔圆起始角度值），#2=3（角度步进值），#3=3（倒角尺寸），#18=25（侧孔半径值），#19=50（圆柱体半径值）。

```
T01 M06;
M03 S1000;
G54 G90 G40 G49 G0 X0 Y0;
G43 G0 Z[#19-#3] H01;（刀具定位至倒角深度）
G41 X[#18-5] Y-5 D01;（启动刀具半径补偿）
G03 X#18 Y0 R5 F300;（90°圆弧进刀）
N10 #1=#1+#2;（起始角度递增）
#24=#18×COS#1;（X轴坐标值计算）
#25=#18×SIN#1;（Y轴坐标值计算）
#26=SQRT [#19×#19-#25×#25];（Z轴坐标值计算）
G03 X#24 Y#25 Z[#26-#3] R25 F300;（螺旋线段铣削）
IF [#1 LT 360] GOTO 10;（相贯线终止条件比较）
G03 X[#18-5] Y5 R5 F300;（90°圆弧退刀）
G40 G0 X0 Y0;（取消刀具半径补偿）
G91 G28 Z0;
M5 M30;
```

4. R5mm圆角宏程序

与45°倒角相比，倒圆角的难度更大，很难找到专用的刀具。只能借用合适的球头铣刀进行三维铣削，编程思路是将YZ平面的R5mm圆角，按圆心角度等分为45份，按照球刀切削刃与圆角保持“切点接触”的加工方式，自下而上分层铣削，每层以切削点的起始角度为自变量，控制球刀中心编程轨迹，偏离相贯线轮廓一定的距离。随着起始角度的增加，球刀沿不同的相贯线轮廓逐层铣削，用曲线编织曲面的原理拟合圆角，编程时必须将圆角过渡和相贯线轮廓联系在一起综合分析，叠加相关的变量，重新确定变量之间的函数关系和数学方程式。下面程序以圆柱体轴线和侧孔中心为G55加工坐标系零点，选用ϕ10 mm球头立铣刀，以球心为刀位点，直接按刀具中心轨迹编程，沿相贯线轮廓铣削R5mm圆角（见图4）。

变量设置：#1=0（XY平面相贯线起始角度值），#2=3（相贯线角度步进值），#3=5（孔口圆角半径值），#7=5（球头铣刀半径值），#11=0（YZ平面R5mm圆角起始角度值），#12=2（R5mm圆角分层铣削角度步进值），#18=25（侧孔半径值）#19=50（圆柱体半径值）。

```
T02 M06;
M03 S1000;
G55 G90 G40 G49 G0 X0 Y0;
G0 G43 Z[#19-#3] H01;（球刀定位至倒圆角起始深度）
N5 #8= [#7+#3]×COS#11-#3;（XY平面侧孔编程半径偏移量）
#6= #3-[#7+#3]×SIN#11;（YZ平面球刀深度偏移量）
G01 X[#18-#8-5] Y-5 Z[#19-#6] F300;（定义每层起始位置）
```

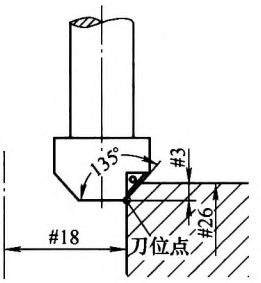


图3 倒角编程示意图

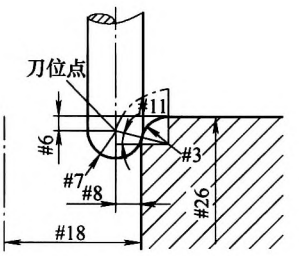


图4 圆角编程示意图

```
G03 X[#18-#8] Y0 R5 F300；(90° 圆弧进刀)
N10 #1=#1+#2；          (相贯线起始角度递增)
#24=[#18-#8]×COS#1；  (X轴坐标值计算)
#25=[#18-#8]×SIN#1；  (Y轴坐标值计算)
#26=SQRT[#19×#19-#25×#25]；  (Z轴坐标值计算)
G03 X#24 Y#25 Z[#26-#6] R25 F300；  (螺旋线段铣削)
IF [#1 LT 360] GOTO 10；  (相贯线终止条件比较)
G03 X[#18-#8-5] Y5 R5 F300；  (90° 圆弧退刀)
#1=0；          (相贯线起始角度值清零)
#11=#11+#12；          (R5mm起始角度递增)
IF [#11 LE 90] GOTO 5；  (R5mm圆角终止条件比较)
G0 X0 Y0；
G91 G28 Z0；
M5 M30；
```

5. 加工误差分析

本例中宏程序以120份螺旋线段定义圆柱体侧孔相贯线轨迹，刀具在*XY*平面以*R*25 mm圆弧拟合ϕ50 mm整圆，不存在轮廓误差，在*YZ*平面以正余弦曲线拟合椭圆曲线，误差均布在等分线段内，对倒角尺寸的影响很小，完全可以满足加工要求。圆角曲面加工中，球头铣刀最大的特点就是圆滑过渡，根据曲线拟合曲面的经验，使用和圆角半径相近的球头铣刀，可以最大限度地减小刀痕，铣削过程中选择合适的切削用量和进退刀方式，兼顾加工效率，即可以获得很好的表面粗糙度值。

6. 结语

通过程序模拟和加工验证，圆柱体侧孔相贯线倒角取得了很好的加工效果，形状精度和倒角尺寸基本上符合图样要求，得到了用户的认可。与软件编程相比，本例中宏程序的最大优势在于随机应变，打破直线段拟合曲线的传统观念，灵活运用螺旋线段拟合相贯线轮廓，将误差控制在最小的范围内，具有很高的实用价值。当工件尺寸和刀具规格改变时，只需更改相应的变量值，即可达到通用的目的。内孔相贯线倒角方法与之大体相同，需要专用的T形刀具，编程难度更大一些，以后再做详述。

参考文献：

[1] 黄道业.数控铣床（加工中心）编程、操作及实训[M].安徽：合肥工业大学出版社，2005.
[2] 王爱玲，等.现代数控机床实用操作技术[M].北京：国防工业出版社，2005.
[3] 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.
[4] 陈海舟.数控铣削宏程序及应用实例[M].北京：机械工业出版社，2011.

MW（收稿日期：20140718）

GC4325和GC4315钢件车削材质在汽车变速器生产中的应用



汽车行业新技术的发展层出不穷，制造商也正面临着质量、安全性和生产效率方面极高的考验。山特维克可乐满采用Inveio™技术的新材质GC4315和GC4325专为支持汽车行业而设计，两种材质均具有非常出色的可靠性和加工安全性。

变速器生产批量大，单个零件成本低。因此，为了获得更短的交货时间和更低的生产成本，诸如高加工安全性、短生产周期和质量一致性的需求就显得至关重要。在淬火硬化之前需执行软加工阶段车削。钢件车削材质GC4315与GC4325展示出显著的性能提升，能够提供高耐磨性和非凡的刀具寿命。

稳定工况下，软加工阶段车削的首选材质是GC4315，该材质专为高速钢件车削而设计，可提供更长且可预测的刀具寿命。GC4325是一种更坚韧的钢件车削材质，适合断续切削和切深不均匀的高速应用。两种材质均可应用更高的切削参数，而零件质量丝毫不会降低。如果主轴速度限制阻碍了充分利用其能力，那么通过应用更高的进给率可获得最大的生产效率。这两种材质都是外径车削、仿形车削和仿形加工的理想选择，在确保变速器制造安全的同时能够保证可预测的性能。