数控宏程序与CAM软件综合编程实例

德州联合石油机械有限公司 （山东 253034） 侯祖刚 程功泉 王俊波 赵永帅

摘要：数控加工难在编程，尤其是较为复杂的曲面编程。本文以农业机械中的螺旋式槽轮为例，介绍了宏程序与CAM软件的综合编程。从最简单的截面轮廓和特征曲线做起，结合难度大、无规律地用软件以及难度小、有规律地用宏程序来做，发挥出了数控编程的最大效率。

图1所示为农业播种机械中某种螺旋式槽轮，该槽轮负责将种子均匀分流到多个漏斗。工件的铸造毛坯已接近图样形状，螺旋槽表面需进行切削和光整加工。槽轮的形状虽然和螺旋齿轮相似，却不符合标准的齿形和模数，加工齿槽时很难找到合适的成形刀具，外协厂家也没有好的办法。工厂决定利用现有的四轴加工中心，自己动手铣削螺旋齿槽。由于曲面形状的特殊性，宏程序和CAM软件都存在一定的编程难度。齿槽轮廓是没有规律的非圆曲线，图样采用描点连线的方法，没有明确的曲率公式，宏程序无用武之地。CAM软件需要四轴编程模块，在允许的误差范围内，用等分直线段去逼近曲面，看上去应该没有什么问题，但如果整个程序全部由软件完成，体积将非常庞大，低配置的数控系统难以容纳。应集中宏程序和CAM软件的优点，对螺旋齿槽的加工曲面进行必要的定义和分解，优化程序，分层进给，尽可能地缩短程序长度，做到简单实用。

1. 编程思路

工件外圆已精车至成品尺寸。齿槽轮廓的编程可以借助于三维软件，根据螺旋曲面的扫描特征，将其分解为*YZ*平面的截面曲线和*X*轴方向的引导螺旋线，此时有两种刀具路径可供选择：沿螺旋线铣削或者沿截面轮廓铣削，相比之下沿螺旋线铣削的加工效果要好一些，空刀路径少，执行速度快，程序也更加简练。由截面图（见图2）可以看出，每个槽型轮廓由两条对称的样条曲线组成，很难用简洁的数学公式表达清楚。为此，可以采用传统的曲线分解方法，将其等分为很多条0.2～0.3mm的直线段，等分线段越短，槽型轮廓就越准确（见图3），使用Mastercam软件的2D加工路径，选择R6球头铣刀与合适的加工参数，生成等分线段串联后的刀具中心轨迹（见图4），后处理为机床可以接受的NC程序CAOLUN.MPF，即完成截面轮廓的自动编程。螺旋线有着固定的导程和长度，旋转轴与直线轴之间的运动规律可以用宏程序中的方程式轻松控制。在NC程序中融入螺旋线宏程序，即完



图1 槽轮

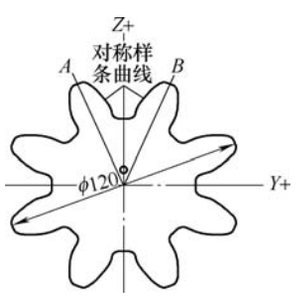


图2 槽型轮廓截面

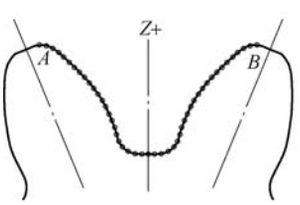


图3 样条曲线分解定义

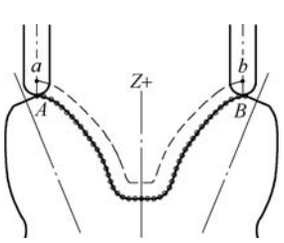


图4 刀具加工轨迹

成单个齿槽的路径编程。

公司现有的四轴加工中心是在立式数控铣床的基础上增加一旋转分度头，设定为*A*轴，轴线与*X*轴重合，工件水平安装于分度头卡盘，调用加工程序完成一条齿槽的铣削后，旋转轴带动工件移动45°，重复加工另外7条，在几乎不改变程序长度的前提下，实现齿槽面的全部精加工，减少编程和调试时间。

设定槽轮右端面与轴线交点为G54工件坐标系原点，调整*A*轴零点至齿槽轮廓中心，选用R6球头铣刀，以球心为刀位点，沿螺旋线精铣齿槽，在自动编程的基础上，修改程序如下：

```
CAOLUN.MPF （主程序）
T1 M6
S1000 M03
R1=0 （A轴起始角度值）
G17 G54 G90 G0 X0 Y0;
MA: G0 A=R1 Z70 （旋转轴定位）
MCALL CHI; （模态调用CHI.SPF子程序）
G01 Y21.86 Z61.25 F300（刀具中心从b点出发）
Y21.50 Z61.15; (沿槽型曲线梯田式进给)
… （自动编程）
Y0 Z40.; （刀具中心至Y轴零点结束）
MCALL （取消模态子程序调用）
G0 Z100 （抬刀至安全高度）
R1=R1+45; (角度递增45° 加工另外7个螺旋槽)
IF R1 <360 GOTOB MA;（结束条件比较）
G74 Z0; （返回参考点）
M5 M30; （程序结束）
```

```
CHI.SPF; (子程序)
R9=1200 （螺旋槽导程）
R24=120 （螺旋槽编程长度）
R11= R24/R9*360 （A轴沿螺旋线移动角度值）
G91 G01 X=-R24 A=-R11 F300 （沿螺旋线铣削）
R25=$AA_MW [Y] （储存当前Y轴坐标值）
G90 G0 Y=-R25 （刀具快进至左侧对称点）
G91 G01 X=R24 A=R11 F300 （沿螺旋线返回铣削）
G90 （恢复绝对坐标编程）
RET; （子程序结束）
```

编程技巧：上述程序中，球头铣刀沿螺旋线往复铣削，加工路径沿齿槽轮廓曲线梯次进给。优点是刀路清晰流畅，*X*轴和*A*轴联动即可完成整条螺旋线加工轨迹，没有逼近误差和中途停顿，直到槽底中心结束。为简化程序，将沿螺旋线铣削程序段编辑为子程序CHI.SPF。主程序中加入MCALL CHI模态调用子程序功能，后面的程序段由CAM软件自动生成，逐段写入沿槽型轮廓梯次进给的*Y*轴、*Z*轴坐标值。启动主程序，MCALL CHI之后的每一个移动程序段，系统将自动调用CHI.SPF子程序，直到后面的MCALL取消模态调用。在CAM软件的往复铣削路径中，多采用沿轮廓线单方向进给的方法，刀具顺铣与逆铣交替进行，在加工表面上留下明显的刀痕，上述程序从实际出发，根据截面轮廓的对称特征，采用左右铣削的编程方法，刀具从右侧*b*点出发，沿螺旋线加工至*X*轴终点，系统自动记录下当前工件坐标系中*Y*轴的位置，赋值给R25变量，*Y*轴快速移动至截面轮廓左侧的对称位置*a*点（－R25），沿螺旋线反方向切削至*X*轴起点，往返刀路均保持顺铣切削。程序的巧妙之处在于MCALL模态子程序调用与G01直线程序段的完美结合，刀具在*YZ*平面移动一个直线段距离，系统自动调用一次宏程序。首件试切或中途换刀后，需要从中间点启动程序时，必须从MCALL CHI程序段开始，模态调用子程序生效后方可跳转到后面的移动程序段，继续执行沿螺旋线铣削运动。

2. 加工结果

经实际加工和现场检验，铣削后的齿槽表面基本上达到图样的技术要求，不足之处是沿轮廓线方向留有轻微的鱼鳞状刀痕，软件编程中适当增加槽型曲线的等分段数，可明显改善表面质量，在兼顾生产效率的前提下，也可采用砂带抛光的方法，快速去除加工刀痕，获得光滑过渡的螺旋曲面。

3. 结语

模具以外的机械加工中，大多数工件都是有规律的二次曲面，用软件编程，程序太长；用宏程序编程，难度太大。综合编程，既可降低编程难度，又可提高编程效率。一些看似复杂的曲面并不可怕，只要我们掌握了其基本图素和生成规律，从最简单的截面轮廓和特征曲线做起，难度大、无规律的用软件来做，难度小、有规律的用宏程序来做，两者合一，就可以发挥出数控编程的最大效率。MW

（收稿日期：20151022）