基于宏程序的星形沟槽曲面精密加工

■ 中国工程物理研究院化工材料研究所 （四川绵阳 621900） 邓 伟 谢凤英 张中伟

摘要：针对五角星形曲面沟槽采用CAM编程过程繁琐的问题，提出了一种基于宏程序的快速编程方法。在五角星形曲线公式推导的基础上，介绍了五角星形沟槽曲面的宏程序编程方法，并给出了五角星形沟槽曲面加工的宏程序，经过SinuTrain软件模拟，验证了该方法的可用性。

随着计算机软件的快速发展，CAD和CAM软件功能也越来越强大，在数控加工过程中，尤其是复杂结构零件的加工中发挥了重要作用。对于具有一定几何规律的零件，如五角星形沟槽曲面，其星形曲线可以由数学公式描述，采用CAM编程必须先由CAD软件建立模型，再到CAM软件进行软件编程，编程中需要设置刀具规格、毛坯几何体以及编程的几何坐标系等，过程比较繁琐，而且修改程序步骤相对较多，程序检查以及刀具轨迹可控性不高。针对该问题，通过分析

不能有明显刀痕，必须采用往复切削模式，还要注意与上述圆角刀轨的重叠距离。在轮毂半精加工的参数设置中，还要重点考虑刀轴方向的设定，优先选用“插补矢量”方式，既避免了过切，又能够改善刀轴的变化幅度。

（5）叶轮的精加工。在完成了叶轮各部分的半精加工之后，其精加工编程就变得很简单，将半精加工的各道工序中的曲面改成叶轮本身的曲面即可（见图10）。需要注意的是，精加工的切削参数与半精加工不同，每刀

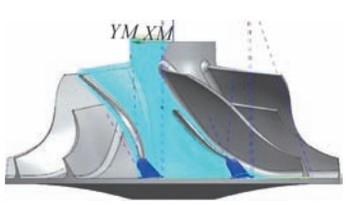


图10 叶轮各部分的精加工

切削深度、步距需要根据零件的工艺要求重新设定。

完成叶轮中相邻两个叶片之间的所有加工工序后，利用刀轨的“变换”功能，将整个叶轮的所用刀路复制出来，最终完成整个叶轮的编程。

3. 结语

本文利用UG软件对典型的叶轮零件进行了五轴编程方案设计，使用圆鼻刀，采用3+2定轴加工模式对叶轮零件进行粗加工，相对于使用叶轮专业编程模块进行开粗，大大的提高了加工效率。此外，使用与叶片圆角等半径的球头刀具，采用叶轮专业编程模块对零件的叶片、圆角、轮毂进行了半精加工和精加工，大大简化了编程难度。因此，这种利用圆鼻刀定轴开粗，再结合叶轮专业编程模块完成后续半精加工及精加工的整体加工方案是行之有效的。

参考文献：

[1] 马真宇，康文利. 浅谈基于UG的复杂曲面叶轮三维造型及五轴数控加工技术[J]. 科技资讯，2013（15）：94-95.

[2] 申通. 浅析离心压气机叶轮高精度五轴数控加工技术[J]. 中小企业管理与科技，2013（18）：287-288.

[3] 余道洋，韩江，赵韩. 基于解析法的整体式叶轮侧铣高精加工技术[J]. 中国机械工程，2015，26（3）：304-307.

[4] 何兆太，刘志峰，刘鹊然. 五轴数控加工碰撞检验[J]. 现代制造工程，2003（5）：86-87.

MW（收稿日期：20160104）

五角星形曲线公式及其R参数的编程方法，给出了五角星形曲面沟槽宏程序，并通过SinuTrain软件模拟实现，为五角星形曲面沟槽的精密加工提供一种快速编程方法。

1. 五角星形曲线公式的推导

图1所示为五角星形沟槽曲面（以下简称星形沟槽曲面）零件，零件顶面由一个环形面和一个星形沟槽曲面组成。该星形沟槽曲面的加工难点主要在于五角星形曲线（以下简称星形曲线）的描述，对于这种复杂曲线，通常采用CAD软件通过多段圆弧拟合的方式创建，但是这种通过拟合获得的星形曲线不够精确。为了得到精确的星形曲线，必须要推导出曲线公式，通过数学公式计算出的值来控制数控机床的加工动作，以得到高精密度的曲线。

星形曲线是由两个相关联的旋转运动形成的，如图2所示，其中a、b为构成运动的两根连杆，且a为逆时针转动，b为顺时针转动，a、b的转动角度比值为：

$$\frac{\omega_a}{\omega_b}=\frac{108}{-72}=\frac{216}{-144}=-\frac{3}{2} \quad (1)$$

式中，ω_a、ω_b分别为a、b连杆的转动角度。

由此，可得出星形曲线方程为：



图1　五角星形沟槽曲面零件

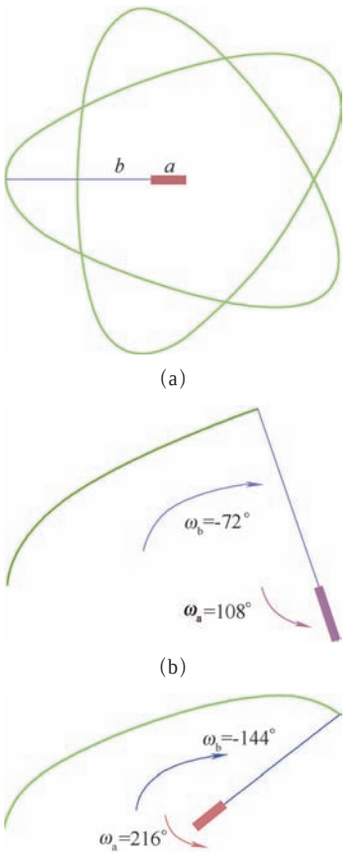


图2　五角星形曲线绘制原理示意图

$$\begin{aligned}&x=l_a\cos(3\theta)-l_b\cos(2\theta)\\&y=l_a\sin(3\theta)+l_b\sin(2\theta)\\&l_a=\frac{d_1-d_2}{2}=\frac{d_2-d_3}{2}\qquad \theta\in[0,360]\\&l_b=\frac{d_2}{2}\end{aligned} \quad (2)$$

式中，l_a为连杆a的长度，l_b为连杆b的长度，d_1、d_2、d_3分别为星形曲线的顶径、基圆和小径，零件端面的星形曲线测绘如图3所示，其d_1、d_2、d_3值分别为ϕ25mm、ϕ20mm、ϕ15mm，由公式（2）可计算得到l_a=2.5mm、l_b=10mm。

2. 五角星形曲面沟槽数控编程

（1）基于宏程序的编程分析。星形沟槽曲面的编程分析如图4所示。在R参数编程中，合成运动的连杆变为3根，即a、b和变化量连杆c，沟槽圆弧半径R=0.5mm，则变化量连杆的编程点坐标为Δx=0.5cos（θ_1）、Δy=0.5sin（θ_1）。由此，可以得出编程坐标值方程组如下：

$$\begin{aligned}&X=2.5\cos(3\theta)-[0.5\cos(180-\theta_1)\\&\quad+10]\times\cos(2\theta)\\&Y=2.5\sin(3\theta)+[0.5\cos(180-\theta_1)\\&\quad+10]\times\sin(2\theta)\\&Z=-0.5\sin(180-\theta_1)\\&\theta\in[0,360]\\&\theta_1\in[0,180]\end{aligned} \quad (3)$$

由于该星形沟槽曲面存在平面内（X，Y）以及空间Z轴的编程，编程首先确定层切削起点，定位到Z值，再通过连续的切削层（X，Y）点连接成的星形曲线，完成一层的加工；再通过程序定位到第二层的Z值，然后切削第二层的（X，Y）点，完成第二层的加工，以此为循环，直

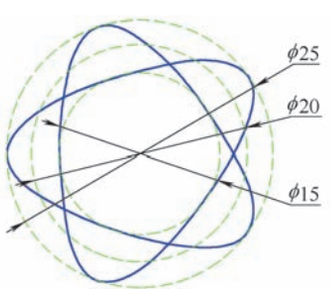


图3　五角星形曲线

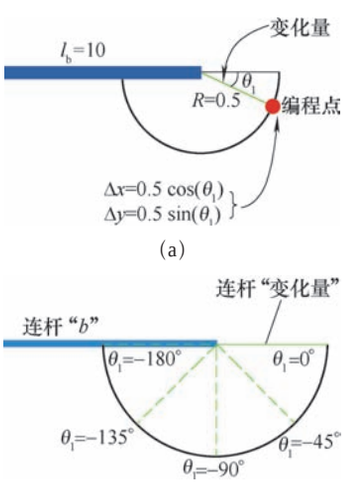


图4　五角星形沟槽曲面的编程示意图

到层定位结束，完成加工。在编程中，层（*X*，*Y*）值及层*Z*值是互相关联的，同时由一个方程组计算出来，因此，在编程结构上要做到“层定位*Z*”与“层切削（*X*，*Y*）”分开，采用在“层定位*Z*”之后添加“REPEAT AA BB”（区间重复）以读取“层切削（*X*，*Y*）”，排除层切削时*Z*值的影响，编程结构解析如图5所示。

（2）五角星形沟槽曲面数控编程实现。通过上文的分析推导，编写的星形沟槽曲面加工宏程序为：

```
WJXXQM.MPF
N0000 G90 G54；
N0005 M03 S1000；
N0010 G00 X-7.5 Y0 Z0.5；
N0015 R1=0；
N0020 MA1:；
N0025 R2=0；
N0030 R3=180-R1；
N0035 R4=-0.5*SIN（R3）；
N0040 AA:；
N0045 R5=360*R2；
N0050 R6=0.5*COS（R3）；
N0055 R7=2.5；
N0060 R8=10；
N0065 R9=R7*COS（3*R5）-（R6+R8）*COS（2*R5）；
N0070 R10=R7*SIN（3*R5）+（R6+R8）*SIN（2*R5）；
N0075 R2=R2+0.01；
N0080 BB:；
N0085 G02 X=R9 Y=R10 Z=R4 CR=1 F0.1；
N0090 MA2:；
N0095 REPEAT AA BB P=1；
N0100 G01 X=R9 Y=R10；
N0105 IF R2<=1 GOTOB MA2；
N0110 R1=R1+5；
N0115 IF R1<=180 GOTOB MA1；
N0120 G00 Z5；
N0125 X50 Y50；
N0130 M30；
```

将该*R*参数宏程序导入SINUMERIK 840D系统（SinuTrain软件）中进行模拟，如图6所示，程序轨迹验证了数控程序的正确性，同时说明了基于宏程序的星形曲面沟槽编程方法的实用性。

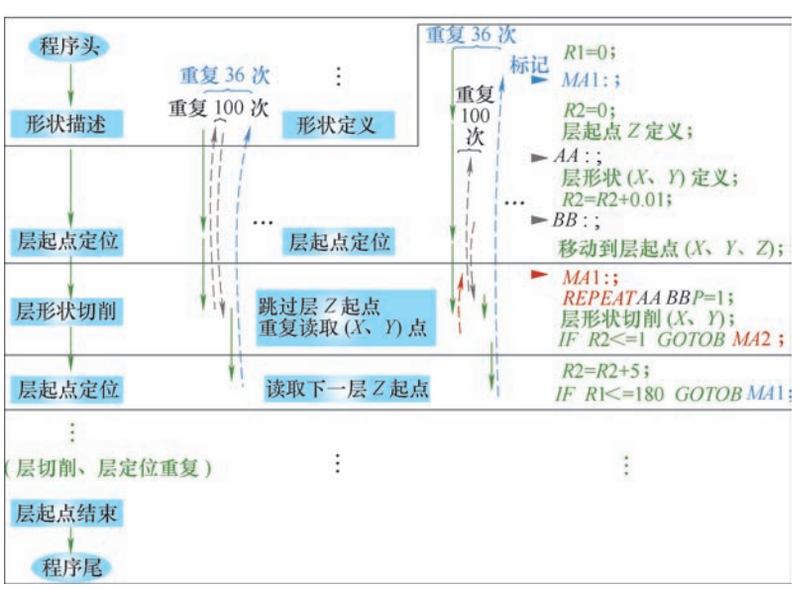
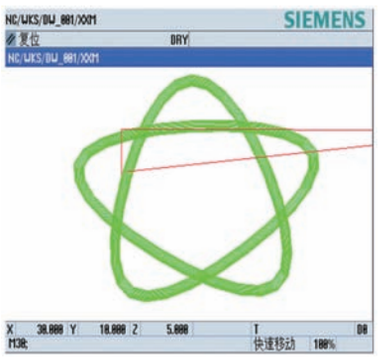
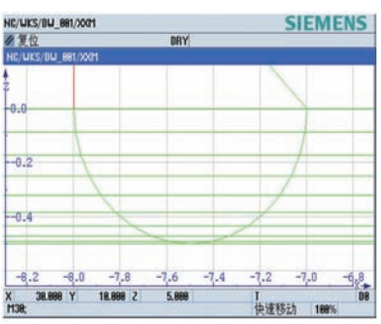


图5　五角星形沟槽曲面数控编程结构解析



（a）



（b）

图6　五角星形沟槽曲面数控编程

3. 结语

（1）推导了五角星形曲线公式，相较于CAD软件的多段圆弧拟合方法，这种方法获得星形曲面更为精细。

（2）实现了基于宏程序的五角星形曲面沟槽编程，在SinuTrain软件模拟验证了该方法的有效性，相较于CAM编程，程序编制与修改更加方便和快捷。

MW

（收稿日期：20160107）

温馨提示：关于五角星的加工视频。微信扫描二维码，关注“机工机床世界”即可观看！