

# 基于西门子840D sl系统的曲轴磨削软件开发

李晓光, 韩秋实, 彭宝营

(北京信息科技大学 机电工程学院, 北京 100192)

**摘要:** 针对曲轴数控加工的工艺特点, 提出了在西门子840D sl系统上开发曲轴磨削软件的方案。运用Sinumerik OPERATE程序包开发软件的原理, 建立了曲轴磨削控制数学模型; 利用Visual Studio2008和QT Designer编程工具结合C++和QT语言开发出曲轴磨削软件并通过Sinumerik Operate编程包将开发的软件嵌入到840D sl数控系统中。最后用Open GL的刀具轨迹仿真模块对连杆颈磨削过程进行仿真验证。

**关键词:** 840Dsl; 曲轴磨削; 软件开发; 磨削仿真

中图分类号: TH 164; TG 506

文献标志码: A

文章编号: 1002-2333(2016)04-0064-05

## Development of Crank-shaft Grinding Software Based on the Siemens 840DSL System

LI Xiaoguang, HAN Qiushi, PENG Baoying

(Electromechanical Academy, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China)

**Abstract:** According to the process characteristics of crankshaft NC machining, this paper puts forward the developing solutions of the crankshaft grinding software solutions with the Siemens 840DSL system. Based on the principle of SINUMERIK OPERATE software package, the crank-shaft grinding control mathematical model is built. By using Visual Studio2008 and QT Designer programming tool with C++ and QT language, the crankshaft grinding software is developed by SINUMERIK OPERATE programming package and embedded in the 840D sl NC system. Open GL the tool path simulation module is used in simulation verification of the rod journal grinding process.

**Key words:** 840Dsl; crank-shaft grinding; software development; grinding process simulation

## 0 引言

曲轴是汽车内燃机中重要的核心零部件之一, 而曲轴的连杆颈与内燃机的连杆连接, 轴颈与轴瓦之间长期处于高速相对运动的状态, 因此曲轴连杆颈的加工精度决定了整个内燃机的性能<sup>[1]</sup>。由于曲轴加工精度要求较高, 现阶段主要采用的对曲轴连杆颈进行机加工的方式主要是磨削<sup>[2]</sup>。随着数控技术的发展, 随动磨削成为一种新型的先进加工理念, 即通过一次装夹完成整个曲轴的加工过程<sup>[3]</sup>。在整个随动磨削过程中, 先进的数控系统是整个加工的控制中枢, 其性能决定了整个磨削加工的效率。德国肖特、美国的兰迪斯以及日本的丰田工机等公司<sup>[4]</sup>都开发出自己的曲轴数控磨床, 搭载了高性能的数控系统, 将现代机械设计技术、计算机控制技术、伺服运动控制技术以及CBN砂轮高速高效磨削技术融为一体, 但是价格太高, 国内的汽车零部件加工企业难以承受。我国数控随动磨削起步较晚, 其中上海机床厂运用840D成功设计制造出轧辊数控磨床<sup>[5]</sup>。

德国西门子公司840Dsl系统集成了Simatic S7-300 PLC系统, 并搭载了机构紧凑、高功率密度的SINAMICS S120驱动系统, 功能强大、开放、灵活, 并且为客户配备了可二次开发的人性化人机接口, 以及全面的通信功能模块<sup>[6]</sup>, 在加工复杂轮廓工件上实现最佳的表面加工质量, 所以基于西门子840D sl系统的磨削控制软件

是曲轴数控磨削加工的理想解决方案。

## 1 840Dsl二次开发方案

### 1.1 开发方案的选择

Sinumerik Operate编程包是西门子公司为了满足特定要求专门为第三方开发者和机床制造商提供的进行二次开发的软件, 在这个过程中采用标准编程语言和接口进行数据传输, 由840D sl数控系统实现控制。将编程包安装于MMC上, 在Windows操作系统下, 利用Sinumerik Operate编程包提供的C++接口与协议, 可以实现与数控系统通讯, 即可访问NC、PLC、MMC变数及文件。因此必须通过Sinumerik Operate编程包将开发的软件嵌入到840D sl数控系统, 才能实现软件的特殊功能。

Sinumerik Operate可支持操作系统平台Windows和嵌入式Linux, 也就是说: Sinumerik Operate源文件是平台通用的源文件, 然后借助Windows和Linux专用的编译程序与链接程序分别转化为各系统可执行的文件。

以上两种编程框架分别基于840Dsl数控系统硬件的PCU和NCU, 而且都以Visual Studio 2008、Qt Designer为开发工具。图1和图2分别是两种开发框架的过程图。

### 1.2 二次开发方案

本文选择基于PCU编程框架开发, 用Windows编译器执行对源代码的编译执行然后把生成的文件嵌入到PCU中, 从而实现整个开发过程。

由图3可知, 将曲轴磨削的工艺过程以及加工模型转

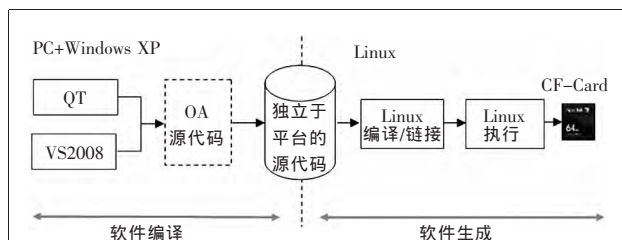


图1 基于PCU编程框架的开发过程图

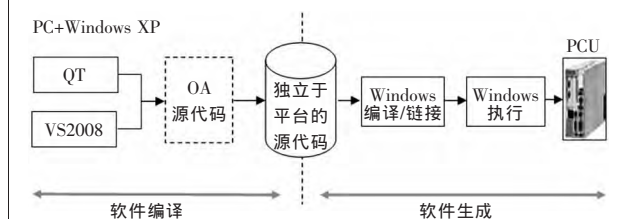


图2 基于TCU编程框架的开发过程图

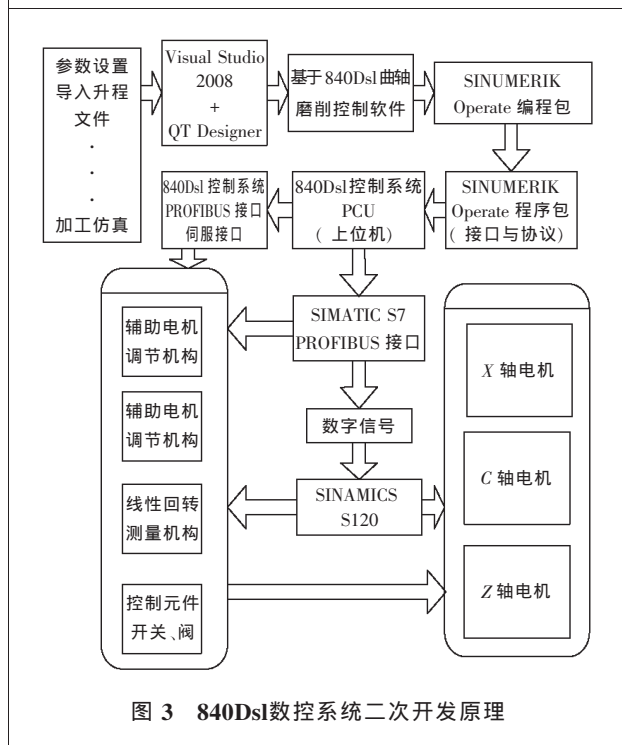


图3 840Dsl数控系统二次开发原理

换成代码用C++语言在Visual Studio2008中编辑出来,利用QT Designer的图形控件搭建控制界面,调试成功生成新的解决方案,把建立的Project文件夹的子文件夹Debug里面新生成的4个文件夹appl、cfg、hlp、lng拷贝到840Dsl系统PCU中的Simumerik Operate程序包的指定文件夹hmi里,运行HMI软件,PCU按照写好的程序通过PROFIBUS接口把控制命令传输到伺服模块,SINAMICS S120伺服系统根据控制命令控制X、C、Z三个轴电机的启、停以及转速从而完成整个控制过程。

## 2 曲轴磨削应用软件的开发

### 2.1 曲轴数控磨削原理

曲轴数控磨床运用随动磨削工艺,一次装夹定位即完成整个曲轴的零件的磨削,而曲轴的主轴近似于外圆,

因此本文研究的重点即为连杆颈磨削,图4是曲轴连杆颈非圆磨削的原理图。

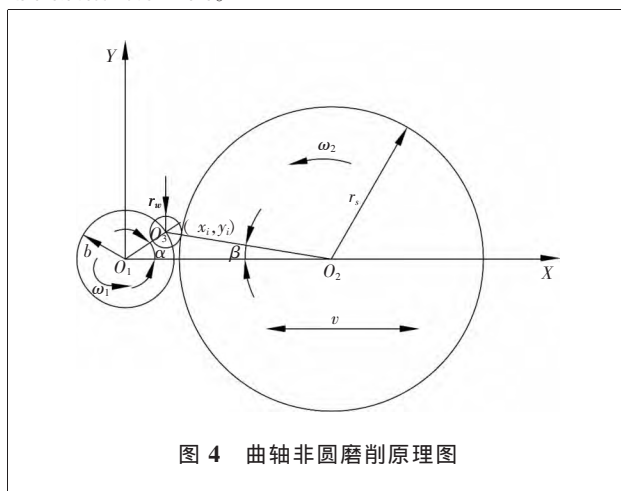


图4 曲轴非圆磨削原理图

由图4可知,砂轮以 $O_2$ 为圆心高速旋转,同时沿着 $X$ 轴根据连杆颈的旋转做往复运动,曲轴以主轴颈圆心 $O_1$ 为圆心旋转,这样就能保证砂轮时刻与连杆颈相切在 $(x_1, y_1)$ 点。这就是随动磨削的基本原理,当磨完一个连杆颈后,砂轮或者头架做径向移动继续磨削下一个连杆颈,直至所有的连杆颈磨削完毕。由此可知,曲轴磨削的主要工艺参数包括:曲轴的偏心距 $b$ 、曲轴的转速 $\omega_1$ 、砂轮的转速 $\omega_2$ 等,因此要想在随动磨削的理念下完成对曲轴磨削的加工控制,应该建立在几何条件约束下,任一磨削位置中头架 $C$ 轴的转角方程和砂轮架在 $X$ 轴的位移方程。

### 2.2 数学模型的建立

如果要用非圆磨削加工曲轴,则需要按照一定的运动模型进行磨削,才能保证曲轴加工精度。

在连杆颈的磨削过程中,必须保持砂轮和连杆颈时刻相切,这就必须要求在连杆颈绕主轴颈中心旋转时,砂轮头架在 $X$ 轴方向做配合连杆颈的往复运动,切点的坐标轨迹方程为:

$$\begin{cases} X_1 = b \cos \alpha + r_w \cos \beta; \\ Y_1 = b \sin \alpha - r_w \sin \beta; \\ b \sin \alpha = (r_s + r_w) \sin \beta. \end{cases} \quad (1)$$

式中: $b$ 为曲轴连杆颈的偏心距, $r_w$ 为连杆颈半径, $(X_1, Y_1)$ 为切点相对曲轴回转中心 $O_1$ 的直角坐标, $O_3$ 为连杆颈中心, $O_2$ 为砂轮中心, $\alpha$ 为 $O_1O_2$ 与 $O_1O_3$ 的夹角, $\beta$ 为 $O_1O_2$ 与 $O_2O_3$ 的夹角。式2)为砂轮中心 $O_2$ 的运动方程( $O_1O_2$ 的距离):

$$X = b \cos \alpha + \sqrt{(r_s + r_w)^2 - (b \sin \alpha)^2}. \quad (2)$$

### 2.3 曲轴磨削软件人机接口开发

Sinumerik Operate程序包具有一种以组件为导向的架构。组件可以分为两大类:GUI组件和HMI服务。其中,GUI组件是图形化的用户接口,是Sinumerik Operate中用于实现系统与用户实时互动的组件(HMI-GUI)。Sinumerik Operate还是一个由事件控制的系统,也就是说:一旦出现特定事件,比如:某个软键被按下,系统便调用GUI组件中的特定函数,然后在主线程中执行这些调用的函数,Sinumerik Operate的GUI组件的开发是通过QT特殊类实现的。

除了功能丰富的类库外,QT还提供一系列可支持GUI应用程序开发的工具,比如:QT Designer<sup>[8]</sup>,它可以用类似于Visual Basic的方式设计出交互式的图形化用户接口。在这个基础上,通过对Softkey(软键)的设置和对用户接口Framework的设计,在XML文件中界定所有接口的逻辑关系和整体软件的框架结构,并采用C++语言完成主体功能程序代码的撰写,实现输入修改加工参数,导入升程文件,加工仿真等功能。图5是用QT Designer编写控制界面的过程。



图5 利用QT Designer编写控制界面

从图5中可以看出QT Designer编程界面左边集中和各种控件,包括功能按键,区域布局等,可以直接用鼠标拖到中间操作区的框体中,右边是属性栏,在这里可以编辑控件的各种属性。

操作接口首先由若干个操作区域组成。这些操作区域通常是按照其功能划分的。

操作区域又由对话框组成。在最简单的设计中,一个操作区域只有一个对话框。而功能丰富的操作区域可以由多个对话框组成,这些对话框之间通过“浏览”的方式相互嵌套。

对话框又可以继续细分为多个操作画面,即所谓的“屏幕”。屏幕再分为一个或多个用于输入数据的窗体、一条消息栏、多个水平软键和多个垂直软键。软键可用于在一个对话框的多个屏幕之间来回切换、显示/隐藏窗体和选择某项功能。图6是嵌入进Sinumerik Operate程序包的曲轴磨削控制软件的界面。

#### 2.4 曲轴磨床840D sl数控系统功能模块实现

根据凸轮轴磨床加工基本功能区分及用户需求,以



图6 曲轴磨削软件界面

加工工件为主线,按照磨削工艺顺序将凸轮轴磨削软件划分为不同的功能模块,然后对各模块进行独立设计开发。各功能模块如图7。

系统初始化。把所有的设置的

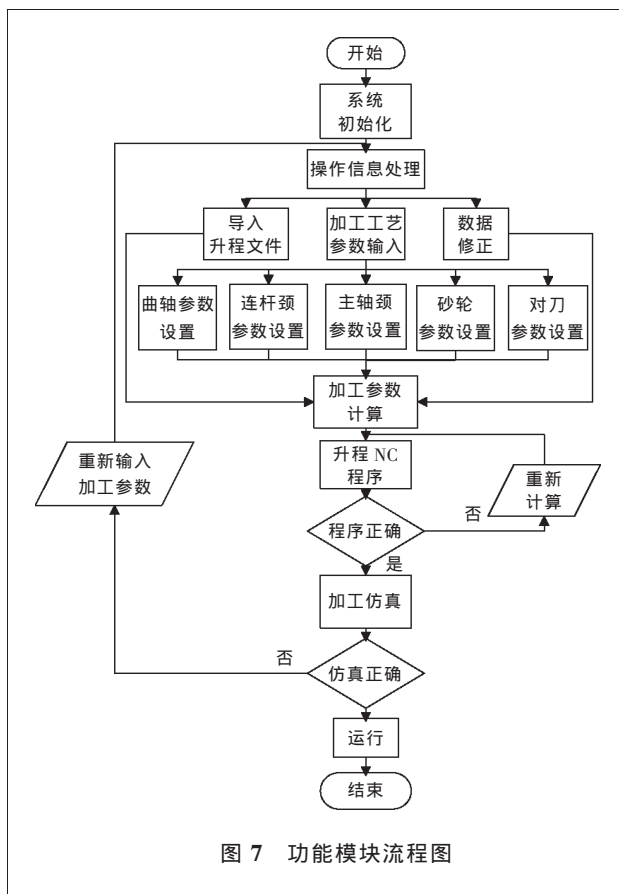


图7 功能模块流程图

参数还原到开始设置,默认所有参数为0。

导入升程文件。将外部储存装置内储存的含有生成序列的文件导入到曲轴磨削软件中。

加工工艺参数的输入。将曲轴磨削加工时需要的参数输入到磨削软件中,具体包含曲轴连杆颈主轴颈半径、连杆颈中心线至主轴中心线的偏心距、砂轮半径、曲轴转速等。只有将这些工艺参数通过人机接口输入到控制系统中,软件才能将参数带入到加工数学模型中计算,从而生成磨削加工的NC代码。

砂轮修整参数。磨床利用砂轮表面的磨粒磨削工件,为了保证加工精度,在砂轮磨削一定数量工件之后,需要对砂轮进行修整,保证砂轮表面磨粒的数量。该模块设置修整相关参数,如一次修整量、砂轮进给速度等。

对刀参数。在X轴基圆处对刀,输入此时X轴坐标,C轴起始磨削角度。

加工程序生成。此模块读取凸轮原始升程表数据、凸轮参数、砂轮参数等必要的相关计算参数后,根据X-C联动坐标数学模型进行计算,最终生成X-C加工程序。

加工仿真。用图形方式显示加工过程,供用户和操作者观察。

以下是部分加工程序:

```
rb=r.toDouble();
for (int g=0;g<15;g++)
{
    int i=0;
```

```

for(int i=0;i<360;i++)
{
    liff[i]=right[i].toDouble();
    anglē[i]=left[i].toDouble();
    ctā[i]=anglē[i]*pi/180;
}

liff[360]=right[360].toDouble();
for(int i=0;i<360;i++)
{
    if i==359
    {
        ctā[360]=0;
    }
    dē[i]=liff[i+1]-liff[i];
    dctā[i]=ctā[i+1]-ctā[i];
}

for(int i=0;i<360;i++)
{
    double
    Btā[i]=asin(b*sin(Ctā[i])/(rw+rs));
    double
    x=(rb+liff[i])*cos(ctā[i])+rw*cos(Btā[i]);
    X[i]=x;
    double
    y=(rb+liff[i])*sin(ctā[i])-rw*sin(Btā[i]);
    Y[i]=y;
    double m=sqrt(x*x+y*y);
    M[i]=m;

    double n;
    if(x>0,y>=0)
        n=atan(y/x);
    else if(x<0)
        n=pi+atan(y/x);
    else if(x>0,y<=0)
        n=2*pi+atan(y/x);
    else if(x=0,y>0)
        n=pi/2;
    else if(x=0,y<0)
        n=3*pi/2;
    N[i]=n;
}

for(int i=0;i<358;i++)
{
    double s;
    s=b*cos(Ctā[i])+sqrt((rw+rs)*(rw+rs)-b
    *sin(Ctā[i])*b*sin(Ctā[i]));

    double c;
    c=N[i];
    out<<"C"<<QString("%1").arg(c)<<"X"<<QString

```

```

("%1").arg(s)<<endl;
}
file.write("M300");
}
}

```

## 2.5 曲轴连杆颈磨削加工仿真模块

Sinumerik operate程序包以QT为基础,运用OpenGL作为二维绘图的标准应用编程接口,将生成的NC代码产生加工轨迹以及砂轮和连杆颈几何轮廓形状以直观的可视曲线显示出来,仿真过程中砂轮和工件的尺寸均为实际尺寸的等比例缩小。在仿真图像上可以更容易地对加工过程进行检验,并通过仿真参数的设置改变仿真的快慢效果。

QGLWidget提供一系列的函数来在一个QT应用程序里面绘制OpenGL。通过initializeGL()、paintGL()和resizeGL()三个回调函数实现二维图像的绘制,采用不同宽度颜色的曲线表示砂轮和连杆颈轮廓,采用反走样处理,让图像更清晰。图8~图10是 $\alpha$ 值不同时连杆颈磨削时的运动轨迹仿真。

在生成的仿真图像中,原点即为曲轴的回转中心,大圆即为砂轮的廓形轨迹,大圆中心即为砂轮中心轨迹,而小圆是曲轴的连杆颈的运动轨迹,可以看出在整个随动磨削过程中,曲轴的连杆颈和砂轮是始终相切的,说明磨削模型是正确的。

## 3 结 论

充分利用西门子840D sl数控系统的开放性,运用C++及QT语言在Sinumerik operate程序包中二次开发曲轴磨削软件,建立了曲轴连杆颈磨削的数学模型,并创建了曲轴磨削的人机界面,实现了曲轴随动数控磨削过程中数

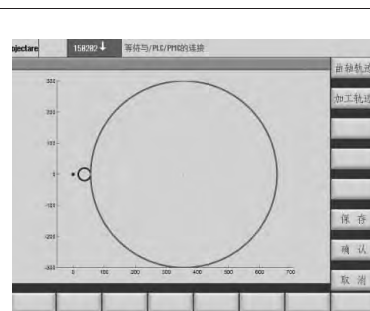


图8  $\alpha=0^\circ$ 时连杆颈磨削仿真

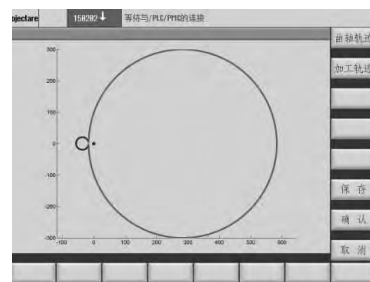


图9  $\alpha=180^\circ$ 时连杆颈磨削仿真

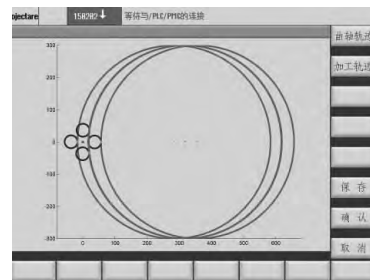


图10  $\alpha=0^\circ, \alpha=90^\circ, \alpha=180^\circ, \alpha=270^\circ, \alpha=360^\circ$ 时连杆颈磨削仿真



# MasterCAM在数控车削编程中的应用研究

黄俊, 蔡贇宇, 肖诗韵, 沈守国

(上海工程技术大学 数控制造技术实验室, 上海 201620)

**摘要:**文中分析了MasterCAM软件2D零件加工优点,确定了其自动编程实现流程,以一种门机壳零件数控加工为实例,研究制定了数控车削加工工艺,运用MasterCAM软件车削编程功能进行了零件的数控加工编程,确定了合理的刀具轨迹生成策略,生成了数控加工程序,零件实际生产结果表明数控加工程序正确合理,对MasterCAM在车削加工编程中的应用具有指导意义。

**关键词:** 数控编程; MasterCAM; 刀具轨迹; 车削加工

中图分类号: TG 659

文献标志码: B

文章编号: 1002-2333(2016)04-0068-02

## Research on Application of MasterCAM in NC Turning Programming

HUANG Jun, CAI Yunyu, XIAO Shiyun, SHEN Shouguo

(Advanced Manufacturing Technology Laboratory, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** This paper analyzes the advantages of 2D parts processing of MasterCAM software. Taking the automatic programming process of a door casing parts NC machining for instance, NC turning processing technology is formulated. Turning programming functions of MasterCAM software are used in NC programming of parts. Reasonable tool path generation strategy is determined. NC program is generated. Actual production results show that the NC program is reasonable and has reference for application in MasterCAM turning programming.

**Keywords:** CNC programming; MasterCAM; toolpath; turning

### 0 引言

数控技术是现代制造技术的基础,数控技术的水准、拥有和普及程度已经成为衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要标志之一<sup>[1-2]</sup>。据统计,数控车削加工的CAM技术使用不到40%。MasterCAM是一款CAD/CAM软件,其CAM功能被广泛使用,特别在2D加工编程领域具有无可比拟的优势,MasterCAM在2D铣削编程中的应用十分普遍,但其2D车削加工编程却长期被忽视,因此很有必要对MasterCAM的车削编程进行应用研究,对提高编程效率、编程准确度和企业信息化都大有裨益<sup>[3-4]</sup>。

### 1 MasterCAM数控车削编程实现过程

进入MasterCAM车削模块中进行车削编程前,首先应对要加工零件的图样做必要的分析,同时对零件的图

样进行适当处理,使其更符合随后的自动编程要求。

进入MasterCAM车削编程环境后,要对其加工环境进行必要的设置后,将经过处理后的零件CAD图样导入到MasterCAM中,设定合适的编程原点。然后,根据加工工艺过程卡中选定的加工刀具在MasterCAM中建立与其对应的刀具并对其进行编码。对每一工序及其工步确定合理的加工策略,在加工策略中输入切削次数、进给率和转速等工艺参数后生成刀具轨迹,并模拟其加工路径,所有工序刀具轨迹模拟无误后对其进行后置处理,最后自动输出加工程序。

### 2 基于MasterCAM的门机壳零件自动编程

#### 2.1 零件结构分析

门机壳零件图如图1所示,零件结构上属盘类零件,由外圆柱面、外圆槽、内圆窄槽和孔等特征组成,是典型

据的输入,加工NC代码的自动生成,而且还完成了根据加工程序仿真模块的开发,提高了曲轴磨削的精度和效率,为其它非圆轮廓的零件磨削控制软件的开发提供了借鉴。

#### [参考文献]

- [1] 王照亮,于会龙,刑雨.基于840Dsl OEM开发组件的数控系统电气调试方法[J].制造技术与机床,2012(5):161-165.
- [2] 郭力,李东超.国内外曲轴磨削加工工艺发展趋势[J].精密制造与自动化,2013(1):48-51.
- [3] 吴钢华.曲轴非圆磨削轨迹控制关键技术研究[D].上海:上海大学,2006.
- [4] Sinumerik Operate 编程手册[Z].

- [5] 西门子840Dsl 数控系统调试手册[Z].
- [6] SINUMERIK OPERATE OA TRAINING 简介[Z].
- [7] 韩秋实,王红军.PC控制的现代数控凸轮轴磨床设计方法[J].制造技术与机床,1999(2):17-18.
- [8] OLIVEIRA J F G. Analysis of Grinding Strategies Applied to Crankshaft Manufacturing [J]. Germany: CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2003(4): 69-74. (编辑 昊天)

作者简介: 李晓光(1990—),男,硕士研究生,研究方向为智能化与数字化控制;  
韩秋实(1956—),男,教授,博士生导师,研究方向为数字化制造和智能化制造。

收稿日期: 2015-11-19