

# 数控编程参数化设计在专用工艺装备制造中的应用

■ 湖北三江航天江河化工科技有限公司 (远安 444299) 鲁华丽 张 雷 李换朝

**摘要:** 通过分析专用工装的制造特点, 提出将专用工装加工工序分散, 对其关键型面加工采用数控程序参数化设计的方法, 以提高生产效率、实现敏捷制造。结合石墨、模具和弧形板的加工实例, 为类似加工提供一种可借鉴的有效途径。



机加分厂非标设计及加工工艺师  
鲁华丽

工艺装备简称工装, 是指为实现工艺规程所需的各种刀具、夹具、量具、模具、辅具及工位器具等的总称, 使用工艺装备的目的, 有的是为了制造产品所必不可少的, 如模具、工艺产品(仿真产品特性结构、用于代替产品测试某一特性来确定产品最终设计参数的工装)、试验装置(用于产品特性测试或最终试车的工装); 有的是为了保证加工质量, 如刀具、夹具、量具; 有的是为了提高劳动生产率, 如工位器具; 有的是为了改善劳动

条件, 如辅具。本文将用于制造产品所必不可少的工装归类为专用工艺装备(以下简称专用工装), 其生产水平直接决定了最终产品的制造质量。

## 1. 专用工装的制造特点

专用工装的种类与数量与企业的生产类型、产品结构以及产品在使用过程中要求的可靠性等因素有关, 这些因素决定了专用工装的如下几个制造特点:

(1) 单件、小批量生产。专用工装在产品整个制造过程中是必不可少的, 考虑到制造成本, 专用工装的需求相对较少, 因此其产量规模多为单件、小批量。

(2) 定制生产。专用工装主要用于产品成形制造、性能测试和工艺测试等, 多应用在产品成形加工和研制阶段, 因此其生产类型为定制生产, 即使是同一性能工装, 针对不同产品、不同的研制阶段, 其结构、尺寸均不相同; 或总体结构大致相仿, 但关键型面或尺寸有变动。

(3) 并行生产。在市场快速

变化的需求下, 产品研制、制造过程不是单一的, 通常会对多种型号同时研制, 批产和研制并行生产。

(4) 敏捷制造。为应对快速变化的市场需求, 缩短产品研制、设计及加工周期以实现敏捷制造。

(5) 特殊要求下专用工装加工配置受限。在产品研制阶段, 针对某些产品特性, 其专用工装加工有特殊的要求。如石墨、酚醛类工装加工, 因其加工时会产生大量粉尘而产生职业危害, 故在其加工设备中配置有除尘系统, 设备数量及系统配置受到限制, 在批量加工中会影响生产效率。

## 2. 数控编程参数化设计思路

针对专用工装的制造特点, 将专用工装加工工序分散, 将其毛坯加工、粗加工与关键型面尺寸加工分开, 对其关键型面尺寸加工采用数控程序参数化设计, 一方面针对并行生产, 可根据批



赛帕埃惜

日本サイバーRC株式会社

日本进口

量提前准备毛坯加工、粗加工，快速应对专用工装需求；另一方面可采用关键型面数控程序成组技术，免去建模、工艺设计步骤，快速响应数控编程及加工，大大提高生产效率。

(1) 对简单路径（如走直线、圆弧等简单指令）采用点值计算数学模型进行参数赋值计算；对复杂路径（如非线性轮廓）可直接进行宏程序参数设计。

(2) 尽量减少输入参数数量，且输入参数应选择设计关键尺寸或运算关键尺寸；

(3) 运算表达式一般最多嵌套5级，为提高运算速度、避免嵌套报错，运算表达式嵌套3级（含3级）以内；

(4) 对变量进行分类规定：  
#1~#9为参数变量，用于输入参数赋值；#10~#50为局部变量，用于坐标点的运算表达式，为坐标点的最终计算值；#51~#99为中间变量，用于减少局部变量的运算嵌套级数，为坐标点的计算过程值。

### 3. 石墨加工

石墨结构如图1所示，内型面为腰鼓结构，两端大、中间小，分别由锥面、圆弧和筒段组成，其主要设计尺寸为小端开口直径

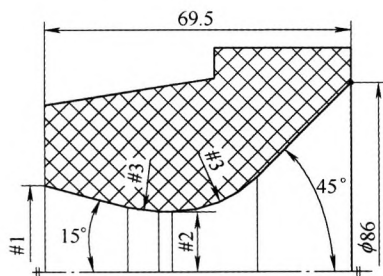


图1 石墨结构示意图

#1、小径#2及圆角#3。

石墨内型面数控加工需从两端分两次车削，如图2所示。通过建立数学模型计算点值，数控车削程序如下。

一次车削：

参数变量赋值

#2=d；（小径）

#3=R；（圆角）

局部变量赋值运算

#10=0.414213562\*#3+43-#2/2；

#11=#2+0.585786436\*#3；

#12=43-0.5\*#2-0.292893218\*#3；

车削路径

G00 X86 Z2；（快速移动

至起点）

G01 X86 Z0；（直线）

G01 X[#11] Z-[#12]；

G02 X[#2] Z-[#10] R[#3]；（顺圆

弧）

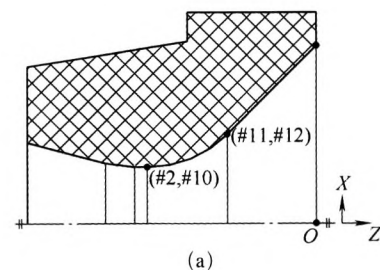
G01 Z-[#12+3.5]；（为保证

两端车削型面拼接良好，筒段加长车削3.5mm）

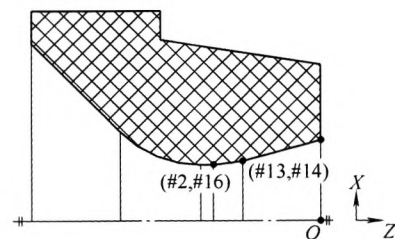
M30；（结束）

二次车削：

参数变量赋值



(a)



(b)

图2 石墨两次采点示意图



Tool Re grind Machine  
五轴全自动刀具磨床



Tool Re grind Machine  
四轴全自动刀具磨床



Automatic Drill-Honing Machine  
自动钻头钝化机

### 对象刀具

|          |                                        |
|----------|----------------------------------------|
| 刀具种类     | 钻头、铣刀、丝锥、铰刀、3刃钻头、侧刃、3刃倒角刀、不等分铣刀、雕刻刀、枪钻 |
| 刀具材质     | 高速钢（HSS）、钨钢/硬质合金（carbide）              |
| 刀具最大把持直径 | φ20（φ26※）※φ26规格为选配                     |
| 刀具长度     | 45 ~ 200mm                             |

### 特征

- 操作简单 自动对刀、自动补正偏心 自动研磨
- 对应多种刀具
- 任意设置刀具参数
- 不需编程、可追加新程序，进行版本升级

地址：苏州吴中区金枫路216号  
东创科技园C幢108

联系人：代女士

手机：13651758961

电话：0512-62695591

QQ：642504730

邮箱：cyberrc\_dll@aliyun.com

◆广告 查询编号：0035

```
#1=d1; (小端开口直径)
#3=R;
局部变量赋值运算
#13= #2+0.068148347*#3;
#14= 1.866025404* [#1-#2]-
0.127166546*#3;
#16= 1.866025404* [#1-
#2]+0.131652497*#3;
车削路径
G00 X[#1] Z2;
G01 X[#1] Z0;
G01 X[#13] Z-[#14];
G02 X[#2] Z-[#16] R[#3];
G01 Z-[#16+3.5];
M30;
```

#### 4. 模具加工

模具一般由凹凸模组成，实现产品的成形制造或毛坯铸造。对于产品成形制造的模具，其型面加工对尺寸、形位及表面精度要求较为严格。椭圆型面凸模如图3所示。

椭圆为非线性型面，采用宏程序数控编程实现椭圆的拟合加工，针对宏程序的参数设计，将椭圆方程、椭圆段起止点的方程

$X$ 值、椭圆中心距原点 $O$ 的距离设计为输入参数，其数控程序如下。

##### (1) 参数变量赋值

```
#1=a; (椭圆方程对应X轴值)
#2=b; (椭圆方程对应Y轴值)
#3=y1; (椭圆段起点对应方程X
值)
#4=y2; (椭圆段终点对应方程X
值)
#5=L; (椭圆中心距原点O的距
离)
```

##### (2) 宏程序参数设计

```
N10 #51=#3; (椭圆方程X值)
#52= #1*S Q R T[#1*#1-
#51*#51]/#2; (椭圆方程Y值)
#11=#5-#3; (程序坐标Z值)
#12= 2*#52; (程序坐标X值)
G01 X[#12] Z-[#11]; (走到椭圆
段起点)
#3= #3-0.05; (程序坐标Z值拟合
步距0.05mm)
IF [#3 GE #4] GO TO 10; (椭圆
段判断条件)
.....
```

##### (3) 针对凸模，除椭圆型面

外，通常还有直段、圆弧及锥段等多种线形轮廓，可采用将各型面独立设计为子程序，直接调用子程序完成不同组合型面的成形加工；且与凸模配合的凹模内轮廓成形加工，仅需在凸模外轮廓的基础上增加一定偏移量即可，配合公差以刃补形式完成。

#### 5. 弧形板加工

弧形板结构如图4所示。

弧形板采用数控火焰切割一次切割成形加工，其主要设计尺寸为圆弧半径 $R$ 及中心高 $H$ ，其余尺寸为工艺尺寸。建立数学模型计算点值，弧形板数控切割程序如下。

##### (1) 参数变量赋值

```
#1=R; (圆弧半径)
#2=H; (中心高)
#3=d; (宽度半值)
#4=δ; (偏移量)
#5=α; (斜角)
```

##### (2) 中间变量赋值运算

```
#51= #10+5;
#52= [#4+5]/SIN#5;
#53= [#5-#10]/TAN#5
```

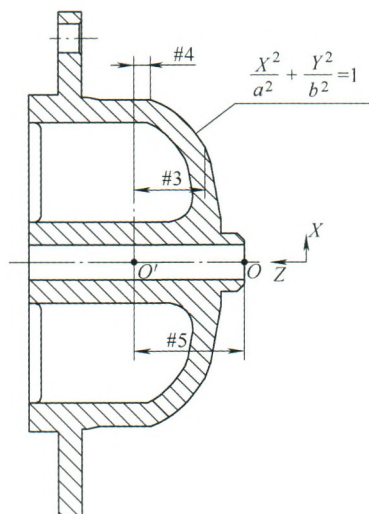


图3 凸模结构示意图

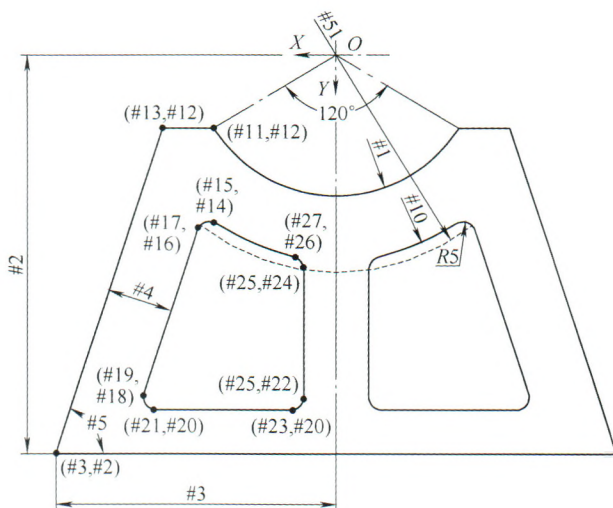


图4 弧形板结构示意图



赛帕埃惜

日本サイバーRC株式会社

日本进口



Tool Re grind Machine  
五轴全自动刀具磨床



Tool Re grind Machine  
四轴全自动刀具磨床



Automatic Drill-Honing Machine  
自动钻头钝化机

### 对象刀具

|          |                                        |
|----------|----------------------------------------|
| 刀具种类     | 钻头、铣刀、丝锥、铰刀、3刃钻头、侧刃、3刃倒角刀、不等分铣刀、雕刻刀、枪钻 |
| 刀具材质     | 高速钢 (HSS)、钨钢/ 硬质合金 (carbide)           |
| 刀具最大把持直径 | φ20 (φ26 ※) ※φ26 规格为选配                 |
| 刀具长度     | 45 ~ 200mm                             |

### 特征

- 操作简单 自动对刀、自动修正偏心 自动研磨
- 对应多种刀具
- 任意设置刀具参数
- 不需编程、可追加新程序、进行版本升级

地址：苏州吴中区金枫路216号  
东创科技园C幢108

联系人：代女士

手机：13651758961

电话：0512-62695591

QQ：642504730

邮箱：cyberc\_dll@aliyun.com

◆广告 查询编号：0035

#54= #53\*#53+#51\*#51;

#55= #2-[#3-#52]\*TAN#5;

### (3) 局部变量赋值运算

#10= #1+#4;

#11= #1\*SIN60;

#12= #1\*COS60;

#13= #3-[#2-#12]\*TAN#5;

#14= [#10\*#51\*SQRT[#54-

#55\*#55]-#10\*#55\*#53]/#55;

#15= SQRT[#10\*#10-#14\*#14];

#16= #15\*#51/#10 -5\*COS#5;

#17= #14\*#51/#10 +5\*SIN#5;

#18= #2-#4-5-5\*COS#9;

#19= [#18-#16]/TAN#5+#17;

#20= #2- #4;

#21= #19-5\*SIN#5;

#22= #2-#4-5;

#23= #4/2+5;

#24= SQRT[#10\*#10-#23\*#23];

#25= #4/2;

#27= #23\*#51/#10;

#26= #24\*#27/#23;

### (4) 切割路径

G00 X[#11] Y[#12-5]; (快速  
移动至起点, 为保证切割质量, 起点距  
离图形5mm)

M07; (切割开始)

G41; (左补偿)

G01 X[#11] Y[#12]; (直线切

割)

G01 X[#13] Y[#12];

G01 X[#3] Y[#2];

G01 X- [#3] Y[#2];

G01 X- [#13] Y[#12];

G01 X- [#11] Y[#12];

G02 X[#11] Y[#12] R[#1]; (顺

圆弧切割)

G40; (补偿结束)

M08; (切割结束)

G00 X[#15] Y[#14];

M07;

G42; (右补偿)

G03 X[#17] Y[#16] R5;

G01 X[#19] Y[#18];

G03 X[#21] Y[#20] R5; (逆圆

弧切割)

G01 X[#23] Y[#20];

G03 X[#25] Y[#22];

G01 X[#25] Y[#24];

G03 X[#27] Y[#26];

G02 X[#15] Y[#14] R[#10];

G40;

M08;

(5) 针对右边减重图形的  
切割程序, 可采用数控火焰切割  
机自动方式中的[F5]镜像加工功  
能, 选择Y轴镜像, 使程序沿Y轴  
对称方向执行。

### 6. 结语

采用数控编程参数化设计,  
针对专用工装的制造特点, 可简  
化工艺流程, 优化、标准化工艺  
文件, 将专用工装根据功能、类  
型或结构特点进行零部件的成组  
划分, 针对同类或同族零件制定  
通用工艺规程, 下发工艺卡片时  
仅提供对应参数设计输入表、三  
检卡片, 且数控程序设计时仅需  
输入设计参数即可, 实现了专用  
工装的敏捷制造, 并为类似加工  
提供一种可借鉴的有效途径。

### 参考文献:

- [1] 王卉, 张彤. G代码B类宏程序在  
数控切割参数化图形库中的应  
用[J]. 生产应用, 2015 (9) :  
56-58.

- [2] 黄伟志. 关于典型零件数控加工  
工艺的研究[J]. 工业及工程技  
术, 2011 (14) : 320.

MW (收稿日期: 20170210)