

# 数控电火花线切割加工工艺与编程

## 第一节 数控电火花线切割加工概述

序号：1

课 题	课题一 数控电火花线切割加工概述	课 时	2
目的要求	了解数控电火花线切割加工的基本原理、特点		
知 识 点	数控电火花线切割机床概况、加工原理、加工的特点、应用范围		
关 键 点	加工原理		
教学进程设计	1. 简述数控电火花线切割机床的工作过程及分类； 2. 说明数控电火花线切割加工的基本原理； 3. 说明数控电火花线切割加工的特点； 4. 说明数控电火花线切割加工的应用。		
教学方法	讲授、演示（多媒体教学）	教具引用	网络资源
课后记述			
参考链接			

主要内容：

### 一、数控线切割加工机床简介

电火花线切割机床组成：机床本体、控制系统、脉冲电源、运丝机构、工作液循环机构和辅助装置（自动编程系统）。

线切割机床可分为高速走丝机床和低速走丝机床。

### 二、数控线切割加工原理及特点

#### 1. 数控电火花线切割加工原理

它是通过电极和工件之间脉冲放电时的电腐作用，对工件进行加工的一种工艺方法。

数控电火花线切割加工的基本原理：利用移动的细金属导线（铜丝或钼丝）作为工具线电极（负电极），被切割的工件为工件电极（作为正电极），在加工中，线电极和工件之间加上脉冲电压，并且工作液包住线电极，使两者之间不断产生火花放电，工件在数控系统控制下（工作台）相对电极丝按预定的轨迹运动，从而使电极丝沿着所要求的切割路线进行电腐蚀，完成工件的加工。

#### 2. 数控线切割加工的特点

- （1）可以加工难切削导电材料的加工。例如淬火钢、硬质合金等；
- （2）可以加工微细异形孔、窄缝和复杂零件，可有效地节省贵重材料；
- （3）工件几乎不受切削力，适宜加工低刚度工件及细小零件；
- （4）有利于加工精度的提高，便于实现加工过程中的自动化。
- （5）依靠数控系统的间隙补偿的偏移功能，使电火花成形机的粗、精电极一次编程加工完成，冲模加工的凹凸模间隙可以任意调节。

### 三、数控线切割加工的应用

1. 形状复杂、带穿孔的、带锥度的电极；
2. 注塑模、挤压模、拉伸模、冲模；
3. 成形刀具、样板、轮廓量规的加工；
4. 试制品、特殊形状、特殊材料、贵重材料的加工。

### 小结

电火花线切割机床组成、电极丝（负电极）、工件（正电极）。

## 第二节 数控线切割加工工艺指标及工艺参数

序号：2

课 题	课题二 数控线切割加工工艺指标及工艺参数	课 时	2
目的要求	了解线切割加工的主要工艺指标，理解影响工艺指标的主要因素及方式，学会合理选择工艺参数。		
知 识 点	线切割加工的主要工艺指标：切割速度 $v$ 、切割精度、表面粗糙度、线电极的磨损量 影响工艺指标的主要因素及其选择：加工参数、线电极丝、工件厚度及材料、工作液		
关 键 点	影响工艺指标的主要因素及其选择		
教学进程设计	1. 叙述线切割加工的主要工艺指标； 2. 详细说明影响工艺指标的主要因素及方式； 3. 介绍合理选择工艺参数的经验。		
教学方法	讲授、实验（多媒体教学、现场家学）	教具引用	线切割机床
课后记述			
参考链接			

主要内容：

### 一、线切割加工的主要工艺指标

1. 切割速度  $v$     2. 切割精度    3. 表面粗糙度    4. 线电极的磨损量

### 二、影响工艺指标的主要因素及其选择

#### 1. 加工参数对工艺指标的影响和选择

- (1) 峰值电流  $i_s$
- (2) 脉冲宽度  $T_{on}$
- (3) 脉冲间隔  $T_{off}$
- (4) 走丝速度
- (5) 进给速度

快速走丝线切割加工参数的选择见表 5-2。

#### 2. 线电极丝对线切割工艺性能的影响及其选择

- (1) 电极丝直径的影响
- (2) 上丝、紧丝对工艺指标的影响
- (3) 电极丝垂直度对工艺指标的影响

#### 3. 工件厚度及材料的影响

- (1) 工件材料对工艺指标的影响
- (2) 材料的厚度对工艺指标的影响

#### 4. 工作液对工艺指标的影响及选择

- (1) 高速走丝选用专用乳化液，低速走丝选用去离子水；
- (2) 切割速度、厚度、流量、流向、加工精度、表面粗糙度、对工作液浓度的影响。
- (3) 含 Cr 的合金材料，工作液的浓度较小，用蒸馏水配制。
- (4) 水类工作液，油类工作液对工作液浓度的影响。
- (5) 工作液的脏污程度对工艺指标的影响。

#### 5. 实验验证工艺指标——粗糙度，实验方法与步骤见实验指导书。

### 小结

填写实验报告单。

### 第三节 数控线切割加工工艺的制定

序号：3

课 题	课题三 数控线切割加工工艺的制定（一）	课 时	2
目的要求	掌握数控线切割加工工艺的细节内容，培养整体考虑工艺方案的思维模式。		
知 识 点	模坯、定位、装夹方式、找正、加工坐标系、切割起始点和加工路线		
关 键 点	定位、找正		
教学进程设计	1. 先介绍数控线切割加工工艺的完整流程，建立整体的观念； 2. 零件分析的细则内容； 3. 正确定位和装夹； 4. 提出注意事项。		
教学方法	讲授（多媒体教学）	教具引用	网络资源
课后记述			
参考链接			

主要内容：

线切割加工的工艺流程图。

#### 一、零件图的工艺分析

1. 明确加工要求；
2. 分析主要定位基准，正确定位、装夹，确定加工坐标系；
3. 采用合理的加工切割起始点和加工路线；
4. 指明不宜或不能用电火花线切割加工的地方。

#### 二、模坯准备

1. 带有穿孔的成型电极或带有顶杆孔的型芯或抽芯孔模坯的准备；
2. 加工型孔部分；
3. 凸模的模坯。

#### 三、常用夹具及工件的正确装夹找正方法

1. 工件装夹的一般要求
  - (1) 工件的装夹基准面应清洁无毛刺；
  - (2) 夹具精度高；
  - (3) 精密、细小的工件应使用不易变形的专用辅助夹具，加工成批零件，应采用专用夹具。

#### 2. 工件的装夹方式

- (1) 悬臂式 (2) 两端支撑 (3) 桥式支撑 (4) 板式支撑 (5) 复式支撑

#### 3. 工件的调整

- (1) 百分表找正
- (2) 划线找正

#### 4. 电极丝垂直度校正

- (1) 专用校正工具法
- (2) 火花校正法

电极丝垂直度校正的注意点（略）

#### 小结

定位基准、装夹、工件的调整、电极丝垂直度校正。

序号：4

课 题	课题四 数控线切割加工工艺的制定（二）	课 时	2
目的要求	掌握数控线切割加工工艺的细节内容，培养整体考虑工艺方案的思维模式。		
知 识 点	电极丝位置确定、自动找正、切割路线、穿丝孔的设置、间隙补偿量		
关 键 点	切割路线、间隙补偿量		
教学进程 设 计	1. 正确找正电极丝位置的方法； 2. 确定切割路线及合理选用穿丝孔； 3. 正确计算间隙补偿量。		
教学方法	讲授、讨论（多媒体教学）	教具引用	网络资源
课后记述			
参考链接			

主要内容：

#### 四、电极丝位置确定

1. 目测法
2. 火花法 单边寻中、四面找正
3. 自动找中心

#### 五、切割路线的选择

在加工中，由于材料存在内应力或工件本身的自重会使工件发生变形。因此，切割起始点和切割路线的合理确定，将直接影响工件变形的大小，从而影响加工精度。因此，在选择加工路线时，应注意以下几个方面：

1. 切割起始点的位置选择；
2. 预制穿丝孔；
3. 穿丝孔位置及数量；
4. 合理确定加工路线；
5. 多孔穿丝；
6. 多次切割（粗、精二次切割）。

#### 六、间隙补偿量 $f$

1. 间隙补偿量的特点和补偿原理

特点：补偿原理。

2. 间隙补偿量  $f$  的确定

间隙补偿量  $f$  的组成：线电极半径  $r$ 、放电间隙  $\delta_{电}$  和配合间隙  $\delta_{配}$ 。

- (1) 线电极半径的确定；
- (2) 放电间隙  $\delta_{电}$  的确定；
- (3) 配合间隙  $\delta_{配}$  和间隙补偿量  $f$  的确定。

- ① 当加工冲孔模具时：

凸模的间隙补偿量  $f_{凸} = r_{丝} + \delta_{电}$  凹模的间隙补偿量  $f_{凹} = r_{丝} + \delta_{电} - \delta_{配}$

- ② 当加工落料模时：

凸模的间隙补偿量  $f_{凸} = r_{丝} + \delta_{电} - \delta_{配}$  凹模的间隙补偿量  $f_{凹} = r_{丝} + \delta_{电}$

- ③ 凸模固定板：

凸模固定板的间隙补偿量  $f_{固} = r_{丝} + \delta_{电} + \delta_{固}$  卸料板的间隙补偿量  $f_{卸} = r_{丝} + \delta_{电} - \delta_{卸}$

- ④ 型芯和型芯板的加工：间隙补偿量与冲孔模相同。

#### 小结

电极丝位置确定、选择加工路线、线电极半径、放电间隙、和配合间隙。

#### 第四节 线切割机床的程序编制

序号：5

课 题	课题五 3B 格式程序编制	课 时	2
目的要求	掌握 3B 程序格式及各字取值规定，熟悉基本编程方法。		
知 识 点	分隔符、计数方向、计数长度、加工指令、间隙自动补偿		
关 键 点	计数方向、计数长度、加工指令		
教学进程设计	1. 给出 3B 格式程序框架； 2. 对各字含义及取值规定详细说明； 3. 强调计数方向、计数长度、加工指令的取值方法； 4. 总结出 3B 格式编程的一般步骤； 5. 实例详解。		
教学方法	讲授、范例（多媒体教学）	教具引用	网络资源
课后记述			
参考链接			

主要内容：

#### 一、3B 格式程序编制

3B 格式：

<i>B</i>	<i>X</i>	<i>B</i>	<i>Y</i>	<i>B</i>	<i>J</i>	<i>G</i>	<i>Z</i>
分隔符	X 坐标值	分隔符	Y 坐标值	分隔符	计算长度	计算方向	加工指令

##### （一）说明

- B 为分隔符，它的作用是将 X、Y、J 数码区分开；
- X、Y 表示增量（相对）坐标值，无正负号，单位  $\mu\text{m}$ ， $\mu\text{m}$  以下应四舍五入。
  - 对于圆弧或圆，坐标原点移至圆心，X、Y 为圆弧或圆起点对圆心的坐标值；
  - 对于直线（斜线），坐标原点移至其起点，即 X、Y 为终点对起点增量坐标值。  
特例：平行于 X 轴或 Y 轴的直线，即 X 或 Y 为零时，X、Y 值均可不写，保留分隔符。
- 计数方向 G 选取 X 方向进给总长度进行计数，用 GX 表示；否则，用 GY 表示。  
计数方向的确定，不管切割直线还是圆弧，计数方向均按终点的位置来确定。
  - 加工直线时，用进给距离较长的一个方向作为进给长度计算方向。即终点坐标靠近何轴，则进给方向取该轴；
  - 加工圆弧时，圆弧的终点坐标靠近何轴，则计数方向取另一轴。  
特例：斜线或圆弧的终点正好落在  $45^\circ$  线上，计数方向取 GX、GY 均可。
- 计数长度 J 在计数方向上，被加工线段的投影长度。单位  $\mu\text{m}$ 。
  - 对于圆弧或圆 求圆弧在计数方向上投影的绝对值总和；
  - 对于直线 直接求计数方向上投影长。
- 加工指令 Z  
用来传送关于被加工图形的形状、加工象限和加工方向等信息，共有 12 种。
  - 直线段 指令用 L 表示。分别为 L1、L2、L3、L4，L 后面的数字表示该直线段所在的象限，当直线在第 I 象限（包括 X 轴而不包括 Y 轴）时，加工指令记为 L1，L2、L3、L4 依次类推；
  - 圆和圆弧 分顺圆和逆圆。SR 或 NR 后面的数字表示圆或圆弧起始点坐标的象限，当起点在第 I 象限（包括 Y 轴而不包括 X 轴），加工指令记作 SR1（顺圆）或 NR1（逆

圆)，当起点在第 II 象限（包括 X 轴而不包括 Y 轴），加工指令记作 SR2（顺圆）或 NR2（逆圆），其余依次类推。

6. 停机码 D 程序结束指令放在整个程序的最后，D 表示程序结束。

(二) 3B 格式编程步骤

(1) 根据工件的装夹和穿丝孔的位置，选择电极丝切入的位置和切割路线选择，确定统一的直角坐标系。尽量选取图形的对称轴，可以减少计算量；

(2) 确定间隙补偿量，即  $f$ ；

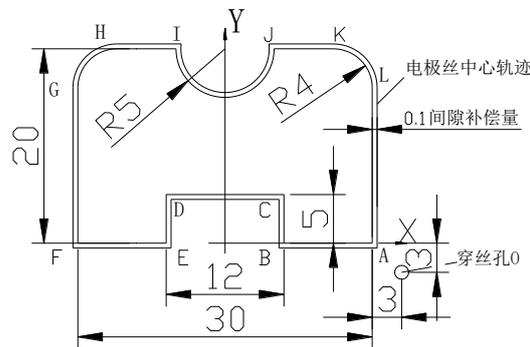
(3) 将电极丝中心轨迹分割成单一的直线和圆弧，按型孔和凸模的中间尺寸值计算各线段的交点坐标值；

(4) 编制程序，根据交点坐标值和切割路线，逐段编制程序。

**应用举例：**见 P204 例 5-3。

**例 5-3：**编制如图所示凸模的数控线切割程序，电极丝为  $\Phi 0.18\text{mm}$  的钼丝，单边放电间隙为  $0.01\text{mm}$ 。

- ①确定计算坐标系 由于图形是左右对称，故选择图示的坐标系为计算坐标系；
- ②切割路线 考虑工件变形，在图中位置预制穿丝孔，路线为穿丝孔 O—A—B—C—D—E—F—G—I—J—K—L—A—穿丝孔 O；
- ③确定线径补偿  $f$   $f=r+=0.09+0.01=0.1$  钼丝的中心轨迹为图中的细实线；
- ④计算交点坐标 即 A~L 的坐标值（略）。



**小结**

	X Y	J	G	Z
直线	终点相对于起点	线段在计数方向上的投影	GXGY	L1L2L3L4
圆弧	起点相对于圆心	各圆弧段在计数方向上投影绝对值之和	GXGY	SR1SR2SR3SR4 NR1NR2NR3NR4

序号：6

课 题	课题六 ISO 程序格式及指令	课 时	2
目的要求	掌握 ISO 程序格式及各字含义、作用，熟悉基本编程方法。		
知 识 点	程序及程序段格式、G 代码指令、M 辅助功能代码		
关 键 点	镜像和交换加工指令、半径和放电间隙补偿指令、锥度加工指令、手动操作指令		

教学进程设计	1. 给出 ISO 程序结构形式及含义、作用； 2. 对照前面各章内容，快速介绍各 G 功能指令，并注意异同点分析； 3. 强调关键点的知识内容； 4. 介绍 M 辅助功能代码。		
教学方法	讲授、范例（多媒体教学）	教具引用	网络资源
课后记述			
参考链接			

主要内容：

### 三、ISO 程序编程

#### 1. 程序及程序段格式

程序分主程序和子程序。

(1) 程序的构成：程序名、程序主体和程序结束指令三部分。

①程序名 程序文件名，用数字、字母组合表示，最多 8 个字符，扩展名 3 个字符，不能重复。

②程序主体 整个程序的核心部分，程序主体由若干程序段组成。

③程序结束指令 以 M02 结束，单独一段。

(2) 程序段格式

程序段由若干个字组成，每个字是控制系统的具体指令，它是由表示地址的字母、特殊文字和数字集合组成。

①程序段号 程序段首，由地址符 N 和数字组成。

②准备功能字 准备功能字地址符 G，分模态 G 代码和非模态 G 代码。

③尺寸指令 指定电极丝运动的坐标位置。用地址符 X、Y、U、V、I、J 等。

④辅助功能字 称为 M 功能代码或 M 指令，由地址符 M 和随后的两位数字组成。

#### 2. G 代码指令

(1) 移动指令 (G00 G01 G02 G03)

(2) 坐标形式指令 (G90 G91 G92)

(3) 镜像、交换加工指令 (G05~G12)

(4) 半径和放电间隙补偿指令 (G40、G41、G42)

1) 刀补的建立

2) 间隙补偿进行

3) 刀补的取消

(5) 加工坐标系指令 (G54~G59)

(6) 锥度加工指令 (G50、G51、G52)

(7) 手动操作指令 (G80、G82、G84)

#### 3. M 辅助功能代码 M00、M02、M20、M21

### 小结

G05~G12、G50、G51、G52、G80、G82、G84

序号：7

课 题	课题七 自动编程及应用实例精解	课 时	2
目的要求	通过实例精解熟练掌握基本指令的使用，并学会基本编程方法。		
知 识 点	自动编程、图形输入、单边放电间隙、半径和放电间隙补偿指令的使用		
关 键 点	半径和放电间隙补偿指令的使用		

教学进程设计	1. 先补充介绍自动编程的相关知识; 2. 详细介绍应用实例; 3. 重点强调编程的方法、步骤; 4. 与学生共同编写参考程序。		
教学方法	讲授、范例 (多媒体教学)	教具引用	网络资源
课后记述			
参考链接			

主要内容:

#### 四、自动编程

自动编程即计算机辅助编程,分为语言输入方式和图形输入方式。

WAP2000 系统功能简介:

图形输入方式自动编程,在计算机中建立零件的完整图形信息,通过系统软件的 CAM 功能自动生成数控加工程序。

WAP2000 绘图式线切割自动编程系统具有的功能:

(1) 它可通过鼠标器轻松绘制点、线、圆弧等组成的切割图形,复杂零件的图形可用 CAD 绘制,通过软盘将 CAD 绘制的图形以 DXF 文件格式转入 WAP2000 编程系统;

(2) 当设定了线径偏移后,在转角处可采用不同的电极丝切割路径。切割路径生成后可在微机上进行轨迹模拟;

(3) 生成数控程序时,选用不同的后处理器可分别生成 ISO 代码或 3B 程序;

(4) 对于多孔的工件,为保证孔距,可用跳步功能。通过线径补偿量的输入,可精确加工出零件,调整冲模的间隙,通过改变线径补偿的方向可加工出凸件或凹件。

WAP2000 系统的使用简单,整个过程分为三步:

零件图的绘制;

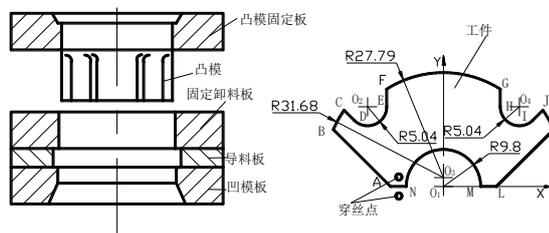
工艺参数设置和电极丝轨迹生成;

生成 ISO 或 3B 数控程序。

**应用举例一:** 见 P212 例 5-5

**例 5-5:** 如图所示,工件的基本尺寸为图上所标,钼丝的直径为 0.12,单边放电间隙为  $\delta_{电}=0.01\text{mm}$ ,  $\delta_{配}=0.015\text{mm}$ ,试编制凸凹模程序。

根据零件的形状(左右对称),建立如图所示的直角坐标系,凸模的穿丝孔的位置(-11, -2),凹模的穿丝孔的位置(11, 2),切割路线为穿丝孔—N—A—B—C—D—E—F—G—H—I—J—K—L—M—N—穿丝孔



确定间隙补偿量,由于是为落料模,根据上一节所讲的间隙补偿量确定方法:

$$f_{凸} = r_{丝} + \delta_{电} = 0.12/2 + 0.01 = 0.07 \text{ mm}$$

$$f_{凹} = r_{丝} + \delta_{电} - \delta_{配} = 0.12/2 + 0.01 - 0.015 = 0.055 \text{ mm}$$

各交点和圆心的坐标见下表。

**交点及圆心坐标**

交点、圆心	X	Y	交点、圆心	X	Y

A	-13.935	0	J	26.185	20.310
B	-29.015	15.080	K	29.015	15.080
C	-26.185	20.310	L	13.935	0
D	-23.550	17.550	M	9800	0
E	-14.945	21.120	N	-9800	0
F	-14.945	25.800	O1	0	0
G	14.945	25.800	O2	-19.980	21.120
H	14.945	21.120	O3	0	2.360
I	23.550	17.550	O4	19.980	21.120

**应用举例二：**见 P209 例 5-4

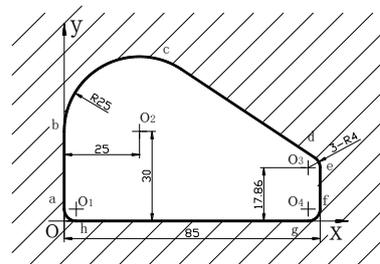
**例 5-4：**编制如图所示的凹模程序，电极丝直径为 0.13mm，放电间隙为 0.01mm，试编制程序。

建立如图所示的编程坐标系，穿丝孔的位置选择在 O1，切割路线为：

O1—a—b—c—d—e—f—g—h—a—O1

确定间隙补偿量： $f = r_{丝} + \delta_{电} = 0.13/2 + 0.01 = 0.075\text{mm}$

交点和圆心坐标见下表：



**交点及圆心坐标**

交点及圆心	X	Y	交点及圆心	X	Y
a	0	4.00	g	81.00	0
b	0	30.00	h	4.00	0
c	38.88	50.79	O1	4.00	4.00
d	83.22	21.19	O2	25.00	30.00
e	85.00	17.86	O3	81.00	17.86
f	85.00	4.00	O4	81.00	4.00

### 小结

建立直角坐标系、切割路线、确定间隙补偿量、计算交点和圆心坐标、编写程序清单。

## 第五节 典型零件的加工实训

序号：8

课 题	课题八 综合应用实例精解	课 时	2
目的要求	通过实例，综合应用指令，并锻炼全面考虑加工工艺的能力。		

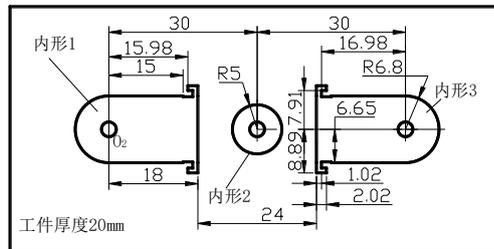
知识点	工艺方案、加工路线		
关键点	加工路线		
教学进程设计	1. 确立题目； 2. 帮助学生全面分析工艺问题； 3. 共同编程； 4. 加工，并观察效果； 5. 分析存在的问题。		
教学方法	讨论、探究（现场教学）	教具引用	数控线切割机床
课后记述			
参考链接			

主要内容：

加工如图所示的工件，根据图纸要求的尺寸，试编制 ISO 程序，以及写出加工的工艺和步骤。

### 一、准备工作

1. 根据图纸分析，要求加工的工件为低压骨架下型腔（图中的顶杆孔未画出），而且是一模两穴。工件的材料为模具材料，并且在线切割加工之前进行热处理，硬度达到 52~58HRC。



2. 材料准备 在切割加工前，型腔的外形加工结束并保证尺寸精度和位置精度。考虑到工件在加工

前淬火，所以穿孔孔应在未热处理前预制，可用  $\Phi 4$  的钻头完成；如有条件可在热处理完成后在电火花穿孔机上完成。（小的顶杆孔只能在电火花穿孔机上加工）。

3. 工件装夹和调整 采用桥式支撑装夹方式，压板夹具固定。在装夹时，两块垫铁各自斜放，使工件和垫铁留有间隙，方便电极丝位置的确定。用百分表找正调整工件，使工件的底平面和工作台平行，工件的直角侧面和工作台 X、Y 互相平行。

4. 上丝、紧丝 和调垂直度 电极丝的松紧适宜，用火花法调整电极丝的垂直度，即电极丝与工件的底平面（装夹面）垂直

5. 电极丝位置的调整 为了保证工件内形相对于外形的的位置精度和下型腔的装配精度，我们必须使电极丝的起始切割点位于下型腔的中心位置。电极丝位置的调整采用火花四面找正。

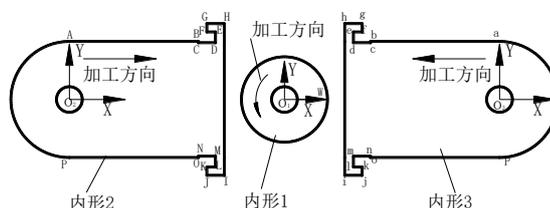
### 二、ISO 编程

1. 确定工艺基准和编程零点，选择工件底平面作为定位基准面，考虑确定电极丝位置方便，加工基准和设计基准统一，选择直角坐标系 O1 为工艺基准。编程零点的选择有两种：

(1) 选择 O1 为整个切割图形的编程零点，但是这种编程零点的缺点是尺寸标注基准和编程基准不统一，导致编程繁琐，计算量大，编程容易出错。

(2) 分别选择 O1、O2、O3 为三个封闭内形的编程零点。优点是尺寸标注基准和编程基准统一，编程方便简单。

2. 确定穿丝点和加工顺序，为方



便预制穿丝孔和程序编制，选择 01、02、03 为三个切割图样的穿丝孔。加工顺序为首先切割内形 1，然后切割内形 2，最后切割内形 3。

### 3. 确定加工路线

- (1) 内形 1: 01—W—W—01
- (2) 内形 2: 02—A—B—C—D—E—F—G—H—I—J—K—L—M—N—O—P—A—02
- (3) 内形 3: 03—a—b—c—d—e—f—g—h—i—j—k—l—m—n—o—p—a—03

### 4. 间隙补偿量的确定

- (1) 根据技术要求，钼丝的直径选为 0.13mm。单边放电间隙为 0.01，配合间隙为 0.01mm。
- (2) 间隙补偿量  $f_{凹} = r_{丝} + \delta_{电} - \delta_{配} = 0.13/2 + 0.01 - 0.01 = 0.065\text{mm}$ 。

### 5. 程序编制如下：

## 三、加工

1. 选择加工电参数 根据工件的厚度（20mm），表面粗糙度 Ra 值为 1.6~3.2  $\mu\text{m}$  选择电参数见下表。

**加工电参数**

峰值电流 $i_s/\text{A}$	脉冲宽度 $T_{on}/\mu\text{s}$	脉冲间隔 $T_{off}/\mu\text{s}$	加工速度 $\text{mm}/\text{min}^{-1}$
1~4	$\leq 4$	$T_{on}/T_{off}=3\sim 4$	2~5

2. 切割 准备工作都结束后可按下该键进行切割。切割有两种方向，正向和反向，正向切割和编程的切割方向一致，反向切割正好和编程的切割方向相反。

切割过程中，可调节工作液的流量大小，使工作液始终包住电极丝，切割稳定。

切割过程中，可随时调整电参数，在保证尺寸精度和表面粗糙度的前提下，提高加工效率。

### 3. 加工的注意事项

(1) 在加工过程中，发生短路时，控制系统会自动发出回退指令，开始作原切割路线回退运动，直到脱离短路状态，重新进入正常切割加工。

(2) 加工过程中，若发生断丝，此时控制系统立即停止运丝和工作液，控制系统发出两种执行方法的指令：一是回到切割起始点，重新穿丝，这时可选择反向切割；二是在断丝位置穿丝，继续切割。

(3) 跳步切割过程中，穿丝时一定要注意电极丝是否在导轮的中间，否则会发生断路，引起不必要的麻烦。

## 小结

回顾准备工作、编程、加工各环节的内容。