

劳动预备制教材 职业培训教材

laodong yubeizhi jiaocai zhiye peixun jiaocai



线切割机床及数控冲床 操作与编程培训教程

XIANQIEGE JICHUANG JI SHUKONG CHONGCHUANG
CAOZUO YU BIANCHENG
PEIXUN JIAOCHENG



中国劳动社会保障出版社

劳动预备制教材
职业培训教材

线切割机床及数控冲床 操作与编程培训教程

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

线切割机床及数控冲床操作与编程培训教程/周晓宏编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2006

劳动预备制教材 职业培训教材

ISBN 7-5045-5108-2

I. 线… II. 周… III. ①数控线切割-机床-操作-技术培训-教材 ②数控线切割-机床-程序设计-技术培训-教材 ③数控机床: 冲压机-操作-技术培训-教材 ④数控机床: 冲压机-程序设计-技术培训-教材 IV. ①TG481 ②TG385.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 091331 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

新华书店经销

国防工业出版社印刷厂印刷 北京顺义河庄装订厂装订

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 8.75 印张 215 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定价: 15.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前 言

数控加工是机械制造业中的先进加工技术，在生产企业中，数控机床的使用越来越广泛。我国的机械制造行业正急需大批熟悉数控机床的编程、操作、故障诊断和维护等技术的应用型人才。本套数控技术劳动预备制、职业培训教材正是为适应这一形势的需要而编写的。

本套数控技术培训教材包括《数控加工技术基础》《数控车床操作与编程培训教程》《数控铣床操作与编程培训教程》《加工中心操作与编程培训教程》《线切割机床及数控冲床操作与编程培训教程》《数控机床维修技术培训教程》六本。这六本教材既相对独立，又保持了相互之间的连续性。

本套培训教材从培养职业技术型人才的目的出发，简述了数控机床的工作原理和结构，介绍了数控编程和数控加工工艺的基础知识，介绍了数控车床、铣床、加工中心、线切割机床及数控冲床的编程方法，详细地介绍了生产实际中常用的数控车床、铣床、加工中心、线切割机床及数控冲床的操作使用方法，涉及的数控系统主要有：日本 FANUC 系统、德国 SIEMENS 系统、西班牙 FAGOR 系统、国产 KENT-18T 系统、国产华中 I 型数控系统等。此外，还介绍了数控机床故障诊断及维修的实用方法。

我们编写本套教材的指导思想是：读者通过学习本套教材，能迅速掌握数控机床的相关技术知识和操作技能，能编制中等难度的数控加工程序，能进行数控机床的一般维护和故障诊断工作。本套教材的编写者多年从事数控加工、编程及数控机床维修方面的教学、科研工作，并具有丰富的生产实践经验。本套教材内容重点突出，图文并茂，浅显易懂，实用性强，可操作性强。书中举例丰富，各章都附有复习题，以便于读者参考。

本套教材由深圳技师学院（深圳高级技工学校）周晓宏编写；湖南工业职业技术学院院长金潇明教授担任主审，并对教材的编审工作给予了许多具体指导。

由于编写时间仓促，这套教材中难免会有一些疏漏之处，我们将在相关职业培训的过程中，积极听取各方面的意见，不断修订和完善。

劳动和社会保障部教材办公室

2003 年 8 月

内 容 简 介

本书共分五章。第一章讲述数控线切割机床程序编制的基础知识及编程方法。第二章讲述数控线切割加工的工艺方法与夹具知识。第三章讲述数控线切割机床的操作与维护方法,介绍了 HCKX250A 型线切割机床和 DK7740 型线切割机床的组成及操作方法。第四章讲述数控线切割自动编程的基础知识,介绍了 CAXA 线切割 V2 系统的使用方法,分析了一些自动编程实例。第五章讲述数控冲床的编程及操作方法,叙述了 GE—FANUC 数控冲床系统的编程指令及编程方法,介绍了 VIPRIS—357Q 型数控冲床的组成及操作方法。

本书所介绍的数控线切割机床和数控冲床在生产实际中应用很广;本书内容丰富,图文并茂,通俗易懂,实用性强,适用面广;各章都附有复习题,供读者参考、练习。

本书为数控技术职业技能培训的教材,可作为机电类本科、高职、中专、技校学生的教材或参考书,也可作为从事数控机床操作、编程、维修等相关工作的技术人员的培训教材或参考书。

本书由周晓宏主编,刘向阳参编;金潇明主审。

目 录

第一章 数控线切割机床的程序编制.....	(1)
§ 1—1 数控线切割机床概述.....	(1)
§ 1—2 数控线切割加工程序的编制.....	(4)
§ 1—3 数控线切割编程及加工综合实例.....	(21)
复习题.....	(26)
第二章 数控线切割加工工艺与夹具.....	(28)
§ 2—1 数控线切割加工步骤及要求.....	(28)
§ 2—2 线切割工艺参数对加工质量的影响及其选择.....	(34)
§ 2—3 电极丝对线切割工艺性能的影响及选择与调整.....	(40)
§ 2—4 线切割工作液的作用及使用方法.....	(45)
§ 2—5 线切割加工中的常用夹具及工件的装夹.....	(47)
§ 2—6 线切割加工的工艺技巧.....	(55)
复习题.....	(57)
第三章 数控线切割机床的操作与维护.....	(58)
§ 3—1 HCKX250A 型线切割机床的组成与操作	(58)
§ 3—2 DK7740 型线切割机床的组成与操作	(66)
§ 3—3 线切割机床的维护保养与故障处理.....	(78)
复习题.....	(84)
第四章 数控线切割自动编程.....	(85)
§ 4—1 CAXA 线切割 V2 系统用户界面与绘图.....	(85)
§ 4—2 数控线切割自动编程基础.....	(93)
§ 4—3 轨迹生成.....	(94)
§ 4—4 代码生成.....	(97)
§ 4—5 机床设置与后置设置.....	(100)
§ 4—6 数控线切割自动编程实例.....	(105)
复习题.....	(111)
第五章 数控冲床的编程及操作.....	(113)
§ 5—1 数控冲床概述.....	(113)
§ 5—2 数控冲床的编程.....	(114)
§ 5—3 数控冲床的操作.....	(128)
复习题.....	(130)
参考文献.....	(131)

第一章 数控线切割机床的程序编制

电火花加工是利用电腐蚀作用原理,对金属工件进行加工的一种工艺方法。它既可以加工一般材料的工件,也可以加工用传统的切削方法难以加工的各种高熔点、高硬度、高强度、高韧性的金属材料及精度要求高的工件,特别适合模具零件的加工,因此电火花加工在模具加工领域得到广泛应用。电火花加工形式很多,其中以电火花成型加工(简称电火花加工)和电火花线切割加工(简称线切割加工)应用最为广泛。电火花成型加工主要用于形状复杂的型腔、凸模、凹模等的加工,电火花线切割加工主要用于冲模、挤压模等加工。

§ 1—1 数控线切割机床概述

一、数控线切割加工原理

在日常生活中,经常会看到电器在开关闭合或断开的瞬间产生火花,火花所产生的高温在触点上熔化出现凹凸不平的斑点,这就是电腐蚀现象。它会造成开关接触不良,最终损坏,这是电腐蚀现象有害的一面。但是随着人们对电腐蚀现象的深入研究,目前不但能够通过科学的方法减小并防止腐蚀,而且已经成功地利用电腐蚀对金属进行各种加工,从而发明了电火花加工方法。

电火花线切割加工简称“线切割”。它是采用电极丝(钼丝、钨钼丝等)作为工具电极,在脉冲电源的作用下,工具电极和加工工件之间形成火花放电,火花通道瞬间产生大量的热,使工件表面熔化甚至汽化。线切割机床通过XY拖板和UV拖板的运动,使电极丝沿着预定的轨迹运动,从而达到加工工件的目的。

二、数控线切割机床的基本组成

数控线切割机床由工作台、走丝机构、供液系统、脉冲电源和控制系统等组成,如图1—1所示。

1. 工作台

工作台又称切割台,由工作台面、中拖板和下拖板组成,工作台面用以安装夹具和被切割工件,中拖板和下拖板分别由步进电动机拖动,通过齿轮变速及滚珠丝杠传动,完成工作台面的纵向和横向运动。工作台面的纵、横向运动既可以手动完成,又可以自动完成。

2. 走丝机构

走丝机构主要由储丝筒、走丝电动机和导轮等部件组成。储丝筒安装在储丝筒拖板上,由走

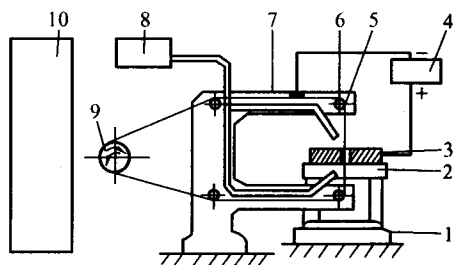


图 1—1 数控线切割机床的组成

- 1—工作台 2—夹具 3—工件 4—脉冲电源
5—电极丝 6—导轮 7—丝架 8—工作液箱
9—储丝筒 10—控制柜

丝电动机通过联轴器带动，正反旋转。储丝筒的正反旋转运动通过齿轮同时传给储丝筒拖板的丝杠，使拖板作往复运动。电极丝安装在导轮和储丝筒上，开动走丝电动机，电极丝以一定的速度作往复运动，即走丝运动。

3. 供液系统

供液系统由工作液箱、液压泵和喷嘴组成，为机床的切割加工提供足够、合适的工作液。工作液主要有矿物油、乳化液和去离子水等。其主要作用有：对电极、工件和加工屑进行冷却，产生放电的爆炸压力，对放电区消电离及对放电产物除垢。

4. 脉冲电源

脉冲电源是产生脉冲电流的能源装置。线切割脉冲电源是影响线切割加工工艺指标最关键的设备之一。为了满足切割加工条件和工艺指标，对脉冲电源的要求为：较大的峰值电流，脉冲宽度要窄，要有较高的脉冲频率，线电极的损耗要小，参数设定方便。

5. 控制系统

对整个切割加工过程和钼丝轨迹作数字程序控制，可以根据 ISO 格式和 3B、4B 格式的加工指令控制切割。机床的功能主要是由控制系统的功能决定的。

三、数控线切割加工的特点和用途

线切割的加工精度可达 $\pm 0.01 \text{ mm}$ ，表面粗糙度 R_a 为 $1.25 \sim 2.5 \mu\text{m}$ 。线切割可以加工用一般切削加工方法难以加工或无法加工的硬质合金和淬火钢等高硬度、复杂轮廓形状的板状金属工件，特别是对冲裁（落料）模具中的凸、凹模尤其适用。数控线切割加工是机械制造中不可缺少的一种先进的加工方法，具有如下特点：

(1) 利用电蚀原理加工，电极丝与工件不直接接触，两者之间的作用力很小，因而工件的变形很小，电极丝、夹具不需要太高的强度。

(2) 直接利用线状的电极丝做电极，不需要制作专用电极，可节约电极设计、制造费用。

(3) 可以加工用传统切削加工方法难以加工或无法加工的形状复杂的工件。由于数控电火花线切割机床是数字控制系统，因此加工不同的工件只需编制不同的控制程序，对不同形状的工件都很容易实现自动化加工。很适合于小批量形状复杂零件、单件和试制品的加工，加工周期短。

(4) 采用四轴联动，可加工锥度、上、下面异形体等零件。

(5) 传统的车、铣、钻加工中，刀具硬度必须比工件硬度大，而数控电火花切割机床的电极丝不必比工件材料硬，可以加工硬度很高或很脆，用一般切割法难以加工或无法加工的材料。在加工中作为刀具的电极丝无须刃磨，可节约辅助时间和刀具费用。

(6) 直接利用电、热能进行加工，可以方便地对影响加工精度的加工参数（如脉冲宽度、间隔、电流）进行调整，有利于加工精度的提高，便于实现加工过程的自动化控制。

(7) 工作液采用水基乳化液，成本低，不会发生火灾。

(8) 电火花切割不能加工非导电材料。

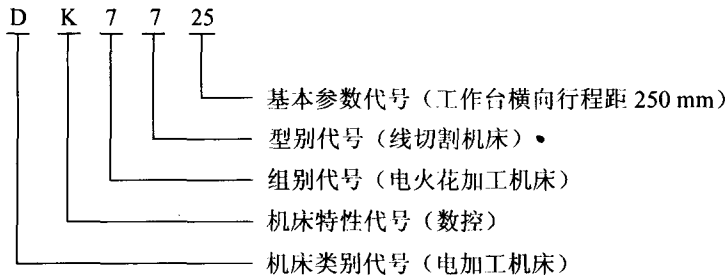
(9) 与一般切削加工相比，线切割加工的金属去除率低，因此加工成本高，不适合形状简单的大批量零件加工。

四、数控线切割机床的型号及参数标准

线切割机床按电极丝运动的速度可分为高速走丝和低速走丝。电极丝运动速度 7~10 m/s 的为高速走丝，低于 0.2 m/s 的为低速走丝，国内现有线切割机床大多为前者，国外的产品和国内近些年开发的线切割机床大多为后者。

我国机床型号的编制是根据 JB 1838—76《金属切削机床型号编制方法》之规定进行的，机床型号由汉语拼音字母和阿拉伯数字组成，它表示机床的类别、特性和基本参数。

数控线切割机型号 DK7725 的含义如下：



五、数控线切割机床的主要技术参数

表 1—1 为国家已颁布的《电火花线切割机床参数》(GB 7925—87) 标准。

数控线切割机床的主要技术参数包括：工作台行程（纵向行程×横向行程）、最大切割厚度、加工表面粗糙度、加工精度、切割速度以及数控系统的控制功能等。表 1—2 为 DK77 系列数控线切割机床的主要型号及技术参数。

表 1—1 线切割机床参数 (GB 7925—87)

工作台	横向行程 (mm)	100		125		160		200		250		320		400		500		630	
	纵向行程 (mm)	125	160	160	200	200	250	250	320	320	400	400	500	500	630	630	800	800	1000
	最大承载质量 (kg)	10	15	20	25	40	50	60	80	120	160	200	250	320	500	500	630	960	1 200
工件尺寸	最大宽度 (mm)	125		160		200		250		320		400		500		630		800	
	最大长度 (mm)	200	250	250	320	320	400	400	500	500	630	630	800	800	1 000	1 000	1 250	1 250	1 600
	最大切割厚度 (mm)	40、60、80、100、120、180、200、250、300、350、400、450、500、550、600																	
最大切割锥度		0°、3°、6°、9°、12°、15°、18° (18°以上，每挡间隔增加 6°)																	

表 1—2 DK77 系列数控线切割机床的主要型号及技术参数

机床型号	DK7716	DK7720	DK7725	DK7732	DK7740	DK7750	DK7763	DK77120
工作台行程 (mm)	200×160	250×200	320×250	500×320	500×400	800×500	800×630	2 000×1 200
最大切割厚度 (mm)	100	200	140	300 (可调)	400 (可调)	300	150	500 (可调)
加工表面粗糙度 R_a (mm)	2.5	2.5	2.5	2.5	6.3~3.2	2.5	2.5	
加工精度 (mm)	0.01	0.015	0.012	0.015	0.025	0.01	0.02	

续表

机床型号	DK7716	DK7720	DK7725	DK7732	DK7740	DK7750	DK7763	DK77120
切割速度 (mm ² /min)	70	80	80	100	120	120	120	
加工锥度	3°~60° (各厂家的型号不同)							
控制方式	各种型号均有单板 (或单片) 机或微机控制							
注: 各厂家生产的机床切割速度有所不同								

§ 1—2 数控线切割加工程序的编制

数控线切割程序编制的方法有手工编程和自动编程。手工编程是线切割工作者的基本功, 一般简单形状的线切割加工可以采用手工编程。本章只介绍手工编程方法。

我国数控线切割机床常用的手工编程的程序格式为 3B、4B 和 ISO 等。

一、3B 格式程序编制

1. 程序格式与编程方法

3B 代码编程格式是数控线切割机床上最常用的程序格式, 在该程序格式中无间隙补偿, 但可通过机床的数控装置或一些自动编程软件, 自动实现间隙补偿, 具体格式见表 1—3。

表 1—3

3B 程序格式

B	X	B	Y	B	J	G	Z
分隔符号	X 坐标值	分隔符号	Y 坐标值	分隔符号	计数长度	计数方向	加工指令

注: B——间隔符, 它的作用是将 X、Y、J 数码区分开来;

X、Y——增量 (相对) 坐标值;

J——加工线段的计数长度;

G——加工线段计数方向;

Z——加工指令。

例如: B1000 B2000 B2000 GY L2。

有的系统要求在整个程序的最后要有停机符 “MJ”, 表示程序结束 (加工完毕)。

(1) 坐标系与坐标 X、Y 值的确定。平面坐标系是这样规定的: 面对机床操作台, 工作平台面为坐标系平面, 左右方向为 X 轴, 且右方向为正; 前后方向为 Y 轴, 前方为正。编程时, 采用相对坐标系, 即坐标系的原点随程序段的不同而变化。加工直线时, 以该直线的起点为坐标系的原点, X、Y 值取该直线终点的坐标值; 加工圆弧时, 以该圆弧的圆心为坐标系的原点, X、Y 值取该圆弧起点的坐标值, 单位为 μm 。坐标值的负号不写。对于与坐标轴重合的线段, 在其程序中的 X 和 Y 值均不必写出。

(2) 计数方向 G 的确定。不管是加工直线还是加工圆弧, 计数方向均按终点的位置来确定。加工直线时, 终点靠近何轴, 则计数方向取该轴, 加工与坐标轴成 45°角的线段时, 计数方向取 X 轴、Y 轴均可, 记作: GX 或 GY, 如图 1—2a 所示; 加工圆弧时, 终点靠近

何轴，则计数方向取另一轴，加工圆弧的终点与坐标轴成 45° 时，计数方向取 X 轴、 Y 轴均可，记作： GX 或 GY ，如图 1—2b 所示。

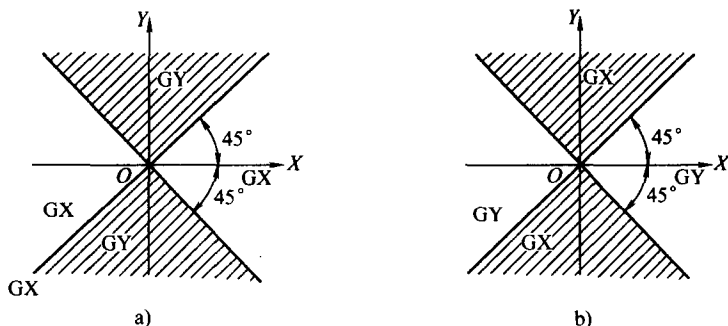


图 1—2 计数方向的确定

a) 加工直线时计数方向的确定 b) 加工圆弧时计数方向的确定

(3) 计数长度 J 的确定。计数长度是在计数方向的基础上确定的。计数长度是被加工的直线或圆弧在计数方向坐标轴上投影的绝对值总和，其单位为 μm 。

例 1—1 切割如图 1—3 所示斜线 OA ，其终点为 $A(X_e, Y_e)$ ，且 $Y_e > X_e$ ，试确定 G 和 J 。

因为 $|Y_e| > |X_e|$ ，计数方向取 GY ，斜线 OA 在 Y 轴上的投影长度为 Y_e ，所以 $J=Y_e$ 。

例 1—2 加工如图 1—4 所示圆弧，加工起点在第四象限，终点 $B(X_e, Y_e)$ 在第一象限，试确定 G 和 J 。

因加工终点靠近 Y 轴， $|Y_e| > |X_e|$ ，计数方向取 GX ；计数长度为各象限中的圆弧段在 X 轴上投影长度的总和，即 $J=J_{X_1}+J_{X_2}$ 。

例 1—3 加工如图 1—5 所示圆弧，加工起点在第四象限，终点 $B(X_e, Y_e)$ 在第一象限，试确定 G 和 J 。

因加工终点靠近 X 轴， $|X_e| > |Y_e|$ ，计数方向取 GY ；计数长度为各象限中的圆弧段在 Y 轴上投影长度的总和，即 $J=J_{Y_1}+J_{Y_2}+J_{Y_3}$ 。

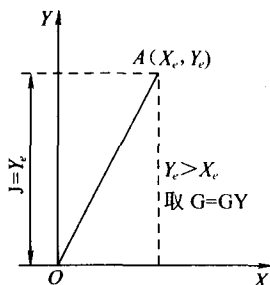


图 1—3 斜线的 G 和 J

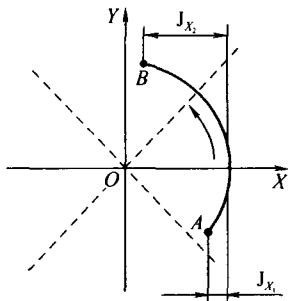


图 1—4 圆弧的 G 和 J

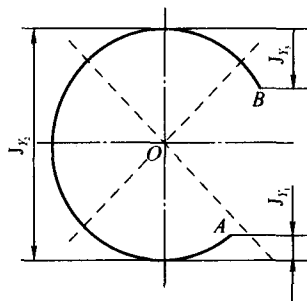


图 1—5 大于半圆的圆弧的 G 和 J

(4) 加工指令 Z 的确定。加工直线时有 4 种加工指令： $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ 、 $L4$ 。如图 1—6a 所示，当直线在第一象限（包括 X 轴而不包括 Y 轴）时，加工指令记作 $L1$ ；当处于第二象限（包括 Y 轴而不包括 X 轴）时，记作 $L2$ ； $L3$ 、 $L4$ 依此类推。

加工顺时针圆弧时有 4 种加工指令：SR1、SR2、SR3、SR4。如图 1—6b 所示，当圆弧的起点在第一象限（包括 Y 轴而不包括 X 轴）时，加工指令记作 SR1；当起点在第二象限（包括 X 轴而不包括 Y 轴）时，加工指令记作 SR2；SR3、SR4 依此类推。

加工逆时针圆弧时有 4 种加工指令：NR1、NR2、NR3、NR4。如图 1—6b 所示，当圆弧的起点在第一象限（包括 X 轴而不包括 Y 轴）时，加工指令记作 NR1；当起点在第二象限（包括 Y 轴而不包括 X 轴）时，加工指令记作 NR2；NR3、NR4 依此类推。

例 1—4 图 1—7 所示为一典型零件图，按 3B 格式编写该零件的线切割加工程序。

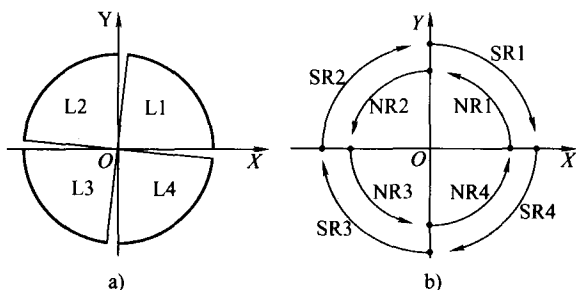


图 1—6 加工指令的确定范围

a) 加工直线时的指令范围 b) 加工圆弧时的指令范围

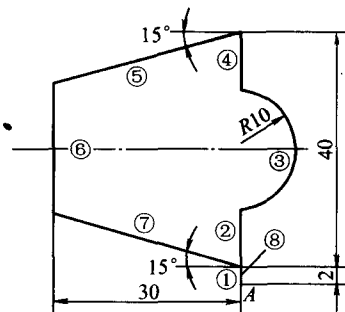


图 1—7 编程零件图

(1) 确定加工路线。起点为 A，加工路线按照图中所示的①→②→……→⑧段的顺序进行。①段为切入，⑧段为切出，②~⑦段为程序零件轮廓。

(2) 分别计算各段曲线的坐标值。

(3) 按 3B 格式编写程序清单，程序如下：

Example. 3b

```
B0 B2000 B2000 GY L2
B0 B10000 B10000 GY L2
B0 B10000 B20000 GX NR4
B0 B10000 B10000 GY L2
B30000 B8040 B30000 GX L3
B0 B23920 B23920 GY L4
B30000 B8040 B30000 GX L4
B0 B2000 B2000 GY L4
```

；扩展名为 .3b 的文件名

；加工程序

；可与上句合并

MJ

；结束语句

2. 间隙补偿问题

在实际加工中，电火花线切割数控机床是通过控制电极丝的中心轨迹来加工的，图 1—8b、c 所示中电极丝中心轨迹用虚线表示。在数控线切割机床上，电极丝的中心轨迹和图样上工件轮廓之间差别的补偿称为间隙补偿，间隙补偿分编程补偿和自动补偿两种形式。

(1) 编程补偿法。加工凸模时，电极丝中心轨迹应在所加工图形的外面，如图 1—8b 所示；加工凹模时，电极丝中心轨迹应在所加工图形的里面，如图 1—8c 所示。所加工工件图形与电极丝中心轨迹间的距离，在圆弧的半径方向和线段垂直方向都等于间隙补偿量 f 。

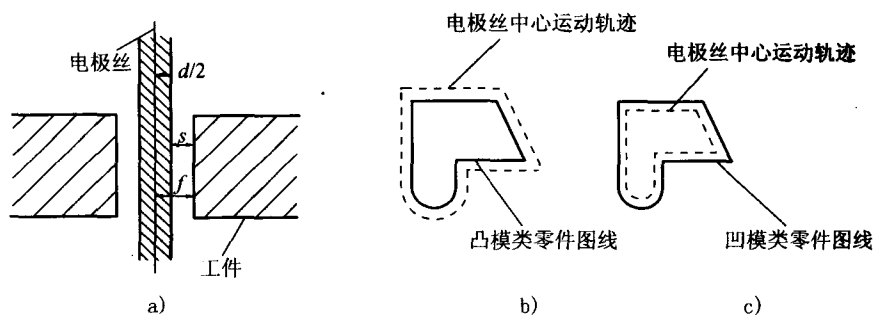


图 1—8 电极丝中心轨迹

a) 电极丝直径与放电间隙 b) 加工凸模类零件时 c) 加工凹模类零件时

确定间隙补偿量正负的方法如图 1—9 所示。间隙补偿量的正负，可根据在电极丝中心轨迹图形中圆弧半径及直线段法线长度的变化情况来确定，对圆弧是用于修正圆弧半径 r ，对直线段是用于修正其法线长度 P 。对于圆弧，当考虑电极丝中心轨迹后，其圆弧半径比原图形半径增大时取 $+f$ ，减小时则取 $-f$ 。

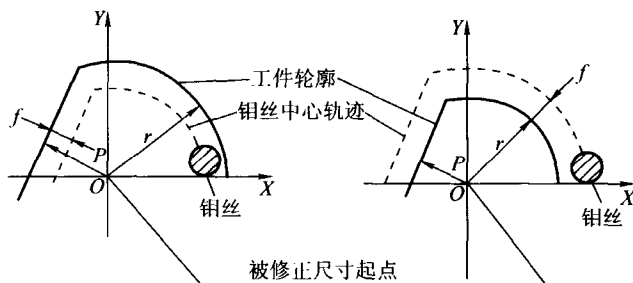


图 1—9 间隙补偿量的符号判别

间隙补偿量的算法：加工冲模的凸、凹模型时，应考虑电极丝半径 $r_{丝}$ 、电极丝和工件之间的单边放电间隙 $\delta_{电}$ 及凸模和凹模间的单边配合间隙 $\delta_{配}$ 。当加工冲孔模具时（即冲后要要求工件保证孔的尺寸），凸模尺寸由孔的尺寸确定。因 $\delta_{配}$ 在凹模上扣除，故凸模的间隙补偿量 $f_{凸} = r_{丝} + \delta_{电}$ ，凹模的间隙补偿量 $f_{凹} = r_{丝} + \delta_{电} - \delta_{配}$ 。当加工落料模时（即冲后要要求保证冲下的工件尺寸），凹模尺寸由工件的尺寸确定。因 $\delta_{配}$ 在凹模上扣除，故凸模的间隙补偿量 $f_{凸} = r_{丝} + \delta_{电} - \delta_{配}$ ，凹模的间隙补偿量 $f_{凹} = r_{丝} + \delta_{电}$ 。

例 1—5 编制加工图 1—10 所示零件的凹模和凸模程序，此模具是落料模，钼丝直径为 0.13 mm。

1) 编凹模程序。因该模具是落料模，冲下零件的尺寸由凹模决定，模具配合间隙在凸模上扣除，故凹模的间隙补偿量为：

$$f_{凹} = r_{丝} + \delta_{电} = 0.065 + 0.01 = 0.075 \text{ mm}$$

图 1—11 所示中虚线表示电极丝中心轨迹，此图对 X 轴上下对称，对 Y 轴左右对称。因此，只要计算一个点，其余 3 个点均可相应的得到。

圆心 O_1 的坐标为 $(0, 7)$ ，虚线交点 a 的坐标为 $X_a = 3 - f_{凹} = 3 - 0.075 = 2.925 \text{ mm}$ ， $Y_a = 7 - \sqrt{(5.8 - 0.075)^2 - X_a^2} = 2.079 \text{ mm}$ 。根据对称原理可得其余各点对 O 点的坐标如下：

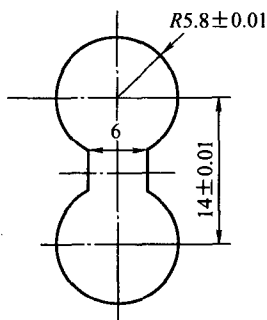


图 1—10 零件图

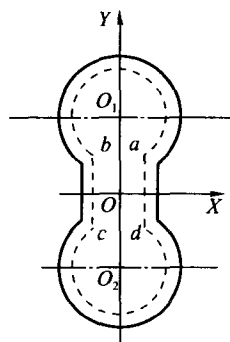


图 1—11 凹模电极丝中心轨迹及坐标

$O_2 (0, -7)$, $b (-2.925, 2.079)$, $c (-2.925, -2.079)$, $d (2.925, -2.079)$ 。

①编 Oa 段程序。前面已求出 a 点对 O 点（穿丝孔中钼丝中心，起割点）的坐标为 $X_a = 2.925$, $Y_a = 2.079$ 。因 $X_a > Y_a$ ，故取 GX 。程序为：

B2925 B2079 B2925 GX L1

②编 ab 段程序。此时应以 O_1 为编程坐标原点。

a 点对 O_1 的坐标为：

$$X_a^{O_1} = X_a = 2.925 \quad Y_a^{O_1} = Y_a - Y_{O_1} = 2.079 - 7 = -4.921$$

b 点对 O_1 的坐标为：

$$X_b^{O_1} = -X_a^{O_1} = -2.925 \quad Y_b^{O_1} = Y_a^{O_1} = -4.921$$

因 $|X_b^{O_1}| < |Y_b^{O_1}|$ ，故取 GX , $J_{ab} = 4(r - f) - 2X_a^{O_1} = 4 \times (5.8 - 0.075) - 2 \times 2.925 = 17.05$ 。 ab 段程序为：

B2925 B4921 B17050 GX NR4

③编 bc 段程序。 $J_{bc} = Y_b + |Y_c| = 2.079 + 2.079 = 4.158$ ， bc 段程序为：

B B B4158 GY L4

用与上述类同的方法可编出 cd 、 da 和 aO 各程序段。

此凹模的全部程序见表 1—4。

表 1—4

凹模的全部程序

序号	B	X	B	Y	B	J	G	Z
1	B	2925	B	2079	B	2925	GX	L1
2	B	2925	B	4921	B	17050	GX	NR4
3	B		B		B	4158	GY	L4
4	B	2925	B	4921	B	17050	GX	NR2
5	B		B		B	4158	GY	L2
6	B	2925	B	2079	B	2925	GX	L3
7			D					

2) 编凸模程序 (见图 1—12)。凸模的间隙补偿量 $f_{\text{凸}} = 0.065 + 0.01 - 0.01 = 0.065 \text{ mm}$ 。圆心 O_1 的坐标为 $(0, 7)$ ，计算虚线上圆线相交的交点 a 的坐标为 $X_a = 3 + f_{\text{凸}} = 3.065 \text{ mm}$ ， $Y_a = 7 - \sqrt{(5.8 + 0.065) - X_a^2} = 2 \text{ mm}$ 。按对称原理可得到其余各点的坐标如下：

$O_2(0, -7)$ ， $b(-3.065, 2)$ ， $c(-3.065, -2)$ ， $d(-3.065, -2)$ 。

加工时先用 L1 切进去 5 mm 至 b 点，沿凸模按逆时针方向切割回 b 点，再沿 L3 退回 5 mm 至起点，其程序见表 1—5。

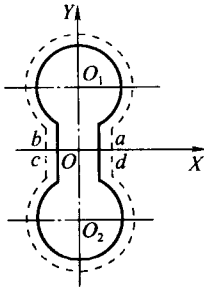


图 1—12 凸模电极丝中心轨迹及坐标

表 1—5

凸模程序

序号	B	X	B	Y	B	J	G	Z
1	B		B		B	5 000	GX	L1
2	B		B		B	4 000	GY	L4
3	B	3 065	B	5 000	B	17 330	GX	NR2
4	B		B		B	4 000	GY	L2
5	B	3 065	B	5 000	B	17 330	GX	NR4
6	B		B		B	5 000	GX	L3
	D							

(2) 自动补偿法。加工前，将间隙补偿量 f 输入到机床的数控装置。编程时，按图样的名义尺寸编制线切割程序，间隙补偿量 f 不在程序段尺寸中，图形上所有非光滑连接处应加过渡圆弧修饰，使图形中不出现尖角，过渡圆弧的半径必须大于补偿量。这样在加工时，数控装置能自动将过渡圆弧处增大或减小一个 f 的距离实行补偿，而直线段保持不变。

例 1—6 编制图 1—13 所示中凸凹模 (图中尺寸为计算后的平均尺寸) 的电火花线切割加工程序。电极丝之间为 0.18 mm，单边放电间隙为 0.01 mm。

1) 建立坐标系，确定穿丝孔位置。切割凸凹模时，不仅要切割外表面还要切割内表面，因此，加工顺序应先内后外，选取 $\phi 20 \text{ mm}$ 的圆心 O 为凹模穿丝孔的位置，选取 B 点为凸模穿丝孔的位置。

2) 确定间隙补偿量。

$$\Delta R = \frac{0.18}{2} + 0.01 = 0.10 \text{ mm}$$

3) 计算交点坐标。将图形分成单一的直线段或圆弧，求 F 点的坐标值。 F 点是直线段 FE 与圆的切点，其坐标值可通过图 1—14 所示求得：

$$\alpha = \arctan \frac{5}{60} = 4^\circ 46'$$

$$\beta = \alpha + \arccos \frac{R}{\sqrt{X_E^2 + Y_E^2}} = \alpha + \arccos \frac{25}{\sqrt{60^2 + 5^2}} = 70^\circ 14'$$

$$X_F = R \cos \beta = 8.4561 \text{ mm}$$

$$Y_F = R \sin \beta = 23.5255 \text{ mm}$$

其余交点坐标可直接由图形尺寸得到。

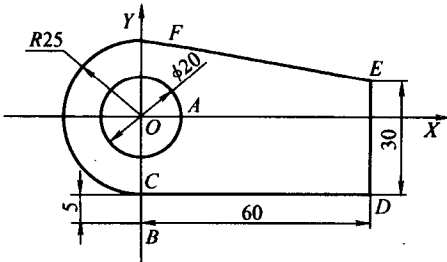


图 1—13 凸凹模

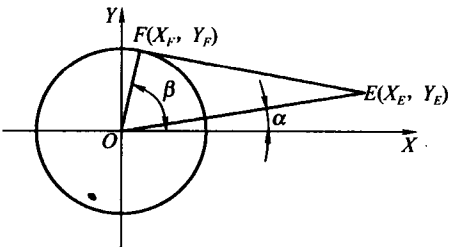


图 1—14 F 点坐标 (X_F, Y_F)

4) 编写程序。采用自动补偿时, 图形中直线段 OA 和 BC 为引入线段, 需减去间隙补偿量 0.10 mm , 其余线段和圆弧不需考虑间隙补偿。切割时, 由数控装置根据补偿特征自动进行补偿, 但在 D 点和 E 点需加过渡圆弧, 取 $R=0.15 \text{ mm}$ 。

加工顺序为: 先切割内孔, 然后空走到外形 B 处, 再按 $B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow C$ 的顺序切割, 其加工程序清单见表 1—6。

表 1—6 凸凹模加工程序清单 (3B 程序格式)

序号	B	X	B	Y	B	J	G	Z	备 注
1	B		B		B	9900	GX	L1	穿丝切割, OA 段引入程序段
2	B	10000	B		B	40000	GY	NR1	内孔加工
3	B		B		B	9900	GX	L3	AO 段
4								D	拆卸钼丝
5	B		B		B	30000	GY	L2	空走
6								D	重新装丝
7	B		B		B	4900	GY	L2	BC 段
8	B	59850	B	0	B	59850	GX	L1	CD 段
9	B	0	B	150	B	150	GY	NR4	D 点过渡圆弧
10	B	0	B	29745	B	29745	GY	L2	DE 段
11	B	150	B	0	B	150	GX	NR1	E 点过渡圆弧
12	B	51445	B	18491	B	51445	GX	L2	EF 段
13	B	84561	B	23526	B	58456	GX	NR1	FC 圆弧
14	B		B		B	4900	GY	L4	CB 段为引出程序段
15								D	加工结束

二、4B 格式程序编制

为了减少线切割加工编程工作量，目前已广泛应用带有间隙补偿功能的数控系统；这种数控系统根据工件图形的基本尺寸编制程序，能使电极丝相对于编程的图形自动向内或向外偏移一个补偿距离完成切割加工。只要编制一个程序，便可加工出有配合关系的两个零件。例如，用同一程序加工冲压模具的凸、凹模，不仅减少了编程工作量，而且能很好的实现凸、凹模之间的间隙均匀。

1. 间隙补偿原理

数控装置自动将圆弧半径增大或减少 ΔR 的插补运算称偏移运算，下面以向外偏移为例，说明间隙补偿原理。如图 1—15 所示工件轮廓为圆弧 DE ，其半径为 R 。在加工时要使圆弧 DE 向外偏移一补偿值 ΔR ，电极丝中心实际轨迹为圆弧 $D'E'$ 。根据几何关系可得：

$$\Delta X/X_0 = DD'/OD = \Delta R/R$$

$$\Delta Y/Y_0 = \Delta R/R$$

$$\Delta J/J_0 = \Delta R/R$$

式中增量 $\Delta X = X_c - X_0$ $\Delta Y = Y_c - Y_0$ $\Delta J = J_j - J_0$ 。

根据以上公式，可逐点求出偏移后圆弧的起点坐标 X_c 、 Y_c 和投影长度的增量 J_j 。如果从 D 点起逐点加入到工作台的进给中去，并逐点进行偏差计算、偏差判别、进给和终点判别，到终点 D' 时偏差为零。此时 ΔX 、 ΔY 就是所要求的偏移量 ΔR 在 X 、 Y 轴上的增量，点 D' 的坐标值就是要求的偏移后的起点坐标。

同理，内偏移的原理与外偏移类似。

2. 间隙补偿切割加工程序格式

间隙补偿的程序格式比 3B 型格式多一个圆弧半径 R （数值码）和图形曲线形式的信息符号，需增加一个分隔符号，其程序格式为：

BX BY BJ BR G D(DD) Z

式中 R 值为所要加工的圆弧半径，对于加工图形的尖角，一般取 $R=0.1$ mm 的过渡圆弧编程。 D 代表凸圆弧， DD 代表凹圆弧。半径增大时为正补偿，减少时为负补偿。数控装置接收补偿信息后，能自动区别是正补偿偏移还是负补偿偏移计算。

3. 编程实例

例 1—7 图 1—16a 所示为型孔，编写型孔线切割程序。电极丝直径为 0.12 mm，单边放电间隙为 0.01 mm。

建立图 1—16b 所示坐标系并计算出平均尺寸，穿丝孔选在 O 点，加工顺序为： $O \rightarrow H \rightarrow I \rightarrow J \rightarrow K \rightarrow L \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow O$ 。

补偿距离 $\Delta R = 0.12/2 + 0.01 = 0.07$ mm，由面板开关或计算机按键输入数控系统。

计算直线、圆弧转接点直角坐标值并转换成编程坐标值，填写线切割程序单，见表 1—7。

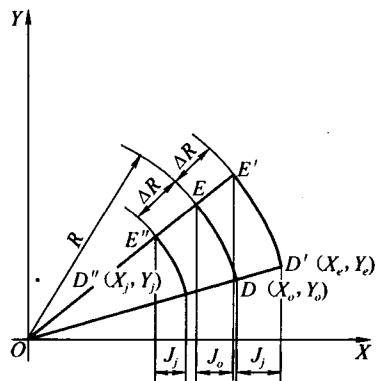


图 1—15 间隙自动补偿偏移原理