

郭艳玲 / 耿雷 / 姜凯译 等编著

数控高速走丝 电火花线切割加工 实训教程



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



数控高速走丝电火花线切割 加工实训教程

郭艳玲 耿 雷 姜凯译 等编著



机 械 工 业 出 版 社

本书根据目前中、高等职业技术学院、高等工科院校的工程教学和训练要求及相关行业需要编写而成。

数控高速走丝电火花线切割机床是数控机床的一种,为了更好地理解其原理及使用,本书首先介绍了数控技术相关基础知识,介绍了数控高速走丝电火花线切割机床的结构、加工特点、加工原理及相关加工工艺。接着通过实际机床范例介绍了电火花线切割机床的基本操作方法、零件加工步骤、机床操作软件功能及使用。讲述了实际加工编程部分,包括加工前的准备工作, CAXA 线切割 XP 自动编程及相关的操作。通过 6 个典型的实际加工零件,形象深入地介绍数控高速走丝电火花线切割工艺,由零件的特点到工艺分析、加工准备、程序编制再到加工操作,完整地介绍了整个过程。最后论述的是快走丝线切割加工技能的提高,对于易出现的问题、加工技巧、锥度加工及多次切割工艺进行了介绍。

本书体系完整,实例丰富,讲解详尽,紧密结合生产实践,可作为企业技术人员及相关从业人员的培训教材,也可作为各类中高等职业技术学院、高等工科院校的工程训练教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控高速走丝电火花线切割加工实训教程/郭艳玲等编著.
—北京:机械工业出版社,2013.1 (2016.1 重印)

ISBN 978-7-111-40010-3

I. ①数… II. ①郭… III. ①数控线切割—电火花线切割—教材
IV. ①TG484

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 239426 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍 吕德齐

版式设计:霍永明 责任校对:赵蕊

封面设计:路恩中 责任印制:张楠

唐山丰电印务有限公司印刷

2016 年 1 月第 1 版第 3 次印刷

169mm × 239mm · 12.75 印张 · 192 千字

3 801—4600 册

标准书号:ISBN 978-7-111-40010-3

定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

电火花线切割属电加工范畴，是由苏联拉扎连柯夫妇研究开关触点受火花放电腐蚀损坏的现象和原因时，发现电火花的瞬时高温可以使局部的金属熔化、氧化而被腐蚀掉，从而开创和发明的加工方法。线切割机床也于 1960 年发明于苏联，我国是第一个用于工业生产的国家。

电火花线切割按走丝速度可分为高速往复走丝电火花线切割（俗称“快走丝”）、低速单向走丝电火花线切割（俗称“慢走丝”）和立式自旋转电火花线切割三类。又可按工作台形式分成单立柱十字工作台型和双立柱型（俗称“龙门型”）。

数控电火花线切割加工作为一种精密的加工技术，在电加工领域中发展迅速，它具有加工精度高、表面质量好、效率高等特点，在模具制造、成形刀具加工、难加工材料和精密复杂零件的加工等方面表现出了极大的优势，得到了广泛的应用。我国的高速走丝电火花线切割机床的拥有量和应用居世界首位；同时，该领域的从业人员众多，对基础知识的领会和操作技巧的掌握良莠不齐，因此增强高速电火花线切割从业人员的理论知识与提高其操作技法是一项非常重要的工作。本书是在借鉴了国内高等工科院校和高职高专类院校同类讲义的基础上，针对具体的行业要求，结合编著者多年从事数控研究及教学经验编写而成的。

本书共有 5 章，分为入门知识、控制系统、操作加工实训、实例加工、加工技能提高五个部分。第 1 章介绍了数控技术相关知识，以及数控高速走丝电火花线切割机床的结构、加工特点、加工原理及相关加工工艺。第 2 章以实际操作软件为例，介绍了实际机床软件控制系统的操作规程及方法、零件加工步骤、机床操作软件功能及使用。第 3 章进入实际加工编程，介绍了加工前的准备工作，包括开机前后的工作、工件装夹与校正、电极丝安装与校正、CAXA 线切割 XP 自动编程及相关的操作等。第 4 章通过 6 个典型的线切割机床加工实例，形象深入地介绍数控高速走丝电火花线切割技术，从零件的结构分析到工艺分析，从加工准备、程序编制再

到加工操作，完整地介绍了加工过程。第5章讲述提高机床操作技能的方法和技巧，介绍了操作中易出现的问题及解决方法，叙述了线切割加工技巧、锥度加工及多次切割工艺。

本书理论体系完整，实例丰富，讲解详尽，紧密地联系生产实践，不仅可作为各类中高等职业技术学院、高等工科院校的工程训练教材，还可作为企业技术培训及相关从业人员的培训教材。

本书由东北林业大学机电工程学院郭艳玲教授等编著。哈尔滨工业大学刘晋春教授为本书审定提纲，确定了编写的主要内容。其中，第1章由东北林业大学机电工程学院郭艳玲和姜凯译编写；第2章和第5章由东北林业大学工程技术学院王海滨编写；第3章和第4章由黑龙江科技学院耿雷和钟华燕编写。全书由郭艳玲教授负责统稿和定稿。

本书在编写的过程中参考了大量已经出版或未公开出版的书籍及互联网上的有关资料，在此向这些资料的作者致以衷心的感谢。同时感谢哈尔滨工业大学白基成教授在编写过程中给予的大力支持。

由于编者的水平和经验有限，书中难免有欠妥和错误之处，恳请专家、读者指正。

编著者

目 录

前言

第 1 章 数控高速走丝电火花线切割加工快速入门	1
1.1 初步认识数控高速走丝电火花线切割机床	1
1.1.1 数控机床的一些常识	1
1.1.2 数控高速走丝电火花线切割机床的主要组成部分	11
1.2 了解电火花线切割加工	14
1.2.1 电火花线切割加工的特点	14
1.2.2 电火花线切割加工的优势	15
1.2.3 电火花线切割加工的局限性	15
1.2.4 电火花线切割加工的应用范围	16
1.3 电火花加工的基本原理和微观过程	16
1.3.1 电火花加工的基本原理	16
1.3.2 介质击穿和通道形成	17
1.3.3 介质热分解、材料热熔化、汽化热膨胀	18
1.3.4 电蚀产物的抛出	19
1.4 数控高速走丝电火花线切割	20
1.4.1 加工前的准备	20
1.4.2 编程	26
1.4.3 加工操作	37
1.4.4 实际加工	54
1.5 主要工艺指标	60
1.5.1 加工精度和配合间隙	60
1.5.2 切割速度	61
1.5.3 表面质量	61
1.6 电极丝与工作液	61
1.6.1 电极丝	61
1.6.2 工作液	63
1.7 电极丝偏移量	66

1.7.1 偏移的必要性	66
1.7.2 偏移量的计算	67
1.8 数控高速走丝电火花线切割加工的加工路径	67
1.8.1 穿丝孔的确定	67
1.8.2 加工路径的优化	68
1.9 工艺方法	70
1.9.1 单次切割工艺	70
1.9.2 多次切割工艺	70
第2章 数控高速走丝电火花线切割机床系统及操作	72
2.1 HL 线切割控制系统	72
2.1.1 快捷键	73
2.1.2 操作使用	73
2.1.3 数据录入	77
2.1.4 变锥切割	78
2.2 HF 中走丝编程控制系统	79
2.2.1 HF 全绘图方式编程软件简介	79
2.2.2 界面功能	80
2.2.3 加工界面操作说明	82
2.2.4 多次切割工艺参数设置	88
2.2.5 多次切割操作实例	89
第3章 数控高速走丝电火花线切割加工实训项目	100
3.1 数控高速走丝电火花线切割安全操作规程	100
3.1.1 机床安装与使用环境要求	100
3.1.2 安全操作规程	101
3.1.3 机床的保养	102
3.2 数控高速走丝电火花线切割机床开机实训	103
3.2.1 开机前准备	103
3.2.2 启动机床	103
3.2.3 检查机床系统各部位状态	103
3.3 数控高速走丝电火花线切割加工工件装夹、校正实训	104
3.3.1 工件的装夹	104

3.3.2 工件的校正	106
3.4 数控高速走丝电火花线切割加工电极丝安装实训	107
3.4.1 电极丝的安装	108
3.4.2 电极丝垂直度的校正	110
3.5 数控高速走丝电火花线切割加工电极丝定位实训	111
3.5.1 电极丝的定位方式	111
3.5.2 电极丝定位的操作方法	113
3.6 数控高速走丝电火花线切割加工自动编程实训	114
3.6.1 CAXA 线切割 XP 自动编程系统简介	115
3.6.2 CAXA 线切割 XP 系统加工图形的绘制	119
3.6.3 CAXA 线切割 XP 系统自动编程	126
3.7 数控高速走丝电火花线切割加工实训	134
3.7.1 加工程序的准备与检查	134
3.7.2 电加工参数的选择	135
3.7.3 加工中常见的问题及处理方法	136
3.7.4 加工后的相关操作	138
第 4 章 数控高速走丝电火花线切割加工实例	140
4.1 环形片零件的数控高速走丝电火花线切割加工	140
4.1.1 了解环形片零件	140
4.1.2 环形片零件线切割加工工艺分析	140
4.1.3 环形片零件线切割加工准备	141
4.1.4 环形片零件加工程序的编制	142
4.1.5 环形片零件数控高速走丝电火花线切割加工操作	146
4.2 跳步模零件的数控高速走丝电火花线切割加工	147
4.2.1 了解跳步模	147
4.2.2 跳步模零件的加工工艺分析	148
4.2.3 跳步模零件线切割加工准备	149
4.2.4 跳步模零件线切割加工程序的编制	150
4.2.5 跳步模零件数控高速走丝电火花线切割加工操作	153
4.3 齿轮零件的数控高速走丝电火花线切割加工	154
4.3.1 齿轮零件线切割加工工艺分析	155

4.3.2	齿轮零件线切割加工准备	156
4.3.3	齿轮零件线切割加工程序的编制	157
4.3.4	齿轮零件数控高速走丝电火花线切割加工操作	160
4.4	带锥度零件的数控高速走丝电火花线切割加工	162
4.4.1	带锥度零件的线切割加工原理	162
4.4.2	带锥度零件线切割加工的加工工艺分析	163
4.4.3	带锥度零件线切割加工的准备	164
4.4.4	带锥度零件线切割加工	165
4.5	超程零件的数控高速走丝电火花线切割加工	166
4.5.1	超程零件的线切割加工	166
4.5.2	零件的线切割加工工艺分析	166
4.5.3	拨叉零件的线切割加工	167
4.6	成形车刀的数控高速走丝电火花线切割加工	168
4.6.1	成形车刀线切割加工简介	168
4.6.2	成形车刀线切割加工工艺分析	169
4.6.3	成形车刀线切割加工	169
第 5 章	数控高速走丝电火花线切割加工技能提高	171
5.1	数控高速走丝电火花线切割加工断丝原因及解决办法	171
5.1.1	与电参数选择及脉冲电源相关的断丝	171
5.1.2	与运丝机构相关的断丝	172
5.1.3	与电极丝本身相关的断丝	173
5.1.4	与工件相关的断丝	174
5.1.5	与工作液相关的断丝	175
5.1.6	与操作相关的断丝	175
5.2	数控高速走丝电火花线切割加工技巧	176
5.2.1	电火花线切割加工的变形及其预防	176
5.2.2	提高电火花线切割加工模具的使用寿命	177
5.2.3	获得好的表面质量	178
5.2.4	铝材料的高速线切割	179
5.2.5	大厚度、薄壁工件的切割	180
5.3	数控高速走丝电火花线切割加工锥度	182



5.3.1 锥度加工精度问题	182
5.3.2 控制方式	183
5.3.3 切割带锥度工件的控制装置	185
5.3.4 锥度加工中应输入的数据	188
5.4 多次切割工艺要点	189
5.4.1 第一次切割	189
5.4.2 第二次切割	190
5.4.3 第三次切割	191
5.4.4 凹模板型孔小拐角的加工工艺与多次切割加工中 工件余留部位的处理	191
参考文献	193

第 1 章

数控高速走丝电火花线切割加工快速入门

1.1 初步认识数控高速走丝电火花线切割机床

1.1.1 数控机床的一些常识

1. 数控机床的工作原理

数控机床是用数字信息来控制加工运动的机床。机床所有的运动，包括主运动、进给运动及各种辅助运动，都是由数控装置来控制的。数控装置的控制任务需要外界来“告知”，人们把需要数控机床实现的全部任务编制成数控程序，记录在控制介质上，然后输入给数控装置，从而指挥数控机床加工。程序清单上的内容包括：零件的几何形状、工艺过程、工艺参数、刀具位移量与方向以及其他辅助功能（换刀、冷却和夹紧等）。数控机床的工作原理框图如图 1-1 所示。

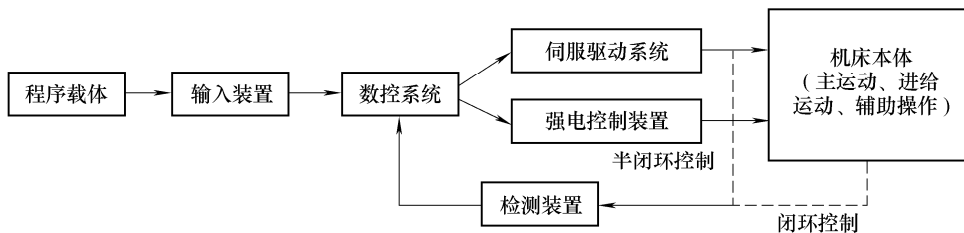


图 1-1 数控机床的工作原理框图

（1）程序载体 程序载体是人与机床之间传递信息的媒介物，也叫控制介质。在程序载体上存储着加工零件所需的全部几何信息和工艺信息。这些信息是在对加工工件进行工艺分析的基础上确定的，并用由字母、数字和符号构成的标准代码，按规定的格式编制成工件的加工程序单，再将程序单存储到多种程序载体中。

（2）输入装置 输入装置的作用是将程序载体上的数控代码信息

转换成相应的电脉冲信号，并传送至数控装置的内存存储器中。根据程序载体的不同，输入装置可以是键盘、光电阅读机、软盘驱动、USB口、网络通信器等。

（3）数控系统 数控系统是数控机床的核心。它根据输入的程序和数据，完成数值计算、逻辑判断、输入输出控制等。数控由软件和硬件两部分组成。

（4）强电控制装置 强电控制装置的主要功能是接受数控装置所控制的内置式可编程序控制器输出的各种辅助操作信号，经功率放大直接驱动相应的执行元件，如接触器、电磁阀等，从而实现数控机床在加工过程中的全部自动操作。例如主轴变速、换向、起动或停止，刀具的选择和更换，分度工作台的转位和锁紧，工件的夹紧或松开，切削液的开或关等。

（5）伺服驱动系统 伺服驱动系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成，它是数控系统的执行部分。它接受数控系统的指令信息，按要求带动机床的移动部件运动或使执行部分动作，以加工出符合要求的零件。指令信息是以脉冲信息来体现的，每一个脉冲使机床移动部件产生的位移量叫做脉冲当量。由于伺服控制装置是数控机床的最后控制环节，它的伺服精度和动态响应特性将直接影响数控机床的生产率、加工精度和表面加工质量。

（6）机床本体 机床本体是数控机床的主体，由机床的基础件（如床身、底座）和各运动部件（如工作台、床鞍、主轴等）所组成，是数控机床的机械结构。

与传统的普通机床相比，数控机床在整体布局、外部造型、主传动系统、进给传动系统、刀具系统、支撑系统和排屑系统等方面有很大的差异。这些差异是为了更好地满足数控技术的要求，并充分适应数控加工的特点。

（7）检测装置 检测装置是闭环数控系统的重要组成部分，它的作用是通过检测元件来检测机床执行机构的位移和速度，发送反馈信号至数控系统，使之与指令信号进行比较，并由数控系统发出指令，纠正所产生的误差，使数控机床按照工件加工程序要求的进给位置和速度完成加工。

检测装置是区别机床控制方式的主要依据。开环控制方式的数控

机床是没有检测装置的。闭环控制方式的数控机床也因检测装置安装位置的不同及获得的反馈信号不同而分为两类：半闭环控制方式和全闭环控制方式。前者的反馈信号为角位移，后者为直线位移。

2. 数控机床的特点

与传统加工相比，数控加工具有如下特点。

1) 适应性强。数控机床的动作是由数控程序控制的，而数控程序是根据零件的要求编制的，当数控加工零件改变时，只需改变数控加工程序，而不需要改变机械结构和控制部分的硬件，就能适应新的工作要求。因此生产准备周期短，有利于机械产品的更新换代。

2) 精度高，质量稳定。数控加工基本采用电控制，同时可以利用软件进行精度校正和补偿，而且数控机床加工零件按数控程序自动进行，可以避免人为的误差，因此加工精度较高。尤其提高了同批零件生产的一致性，产品质量稳定。更为可贵的是，产品质量不受其自身复杂程度的影响。

3) 生产率高。数控设备均采用电气自动化控制，同时可以采用较大的切削用量，有效地节省了运动工时。而且无需工序间的检验与测量，故使辅助时间大为缩短，从而大大提高了生产率。

4) 能完成复杂型面的加工。许多复杂曲线和曲面的加工，普通机床无法实现，而数控加工可以完成。

5) 减轻劳动强度，改善劳动条件。因数控加工是自动完成的，许多动作不需要操作者进行，故劳动条件大为改善，劳动强度大幅降低。

6) 有利于生产管理。采用数控加工，有利于向计算机控制和管理方向发展，从而为实现制造和生产管理现代化创造了条件。

3. 数控机床的分类

数控机床的分类方法多种多样，通常按以下几个方面进行分类。

(1) 按控制方式分类 按控制方式，数控机床可以分为开环、半闭环和闭环控制三种类型。

1) 开环控制。开环控制是指不带位置反馈装置的控制方式，通常由功率步进电动机作为驱动元件。数控装置根据所要求的运动速度和位移量，输出一定频率和数量的脉冲，经驱动电路功率放大后，使相

应坐标轴的步进电动机转过一定的角位移，再经过机械传动链，实现运动部件的直线移动。运动部件的速度与位移量由输入脉冲的频率和脉冲数决定。

2) 半闭环控制。半闭环控制是在控制伺服电动机轴上装有角位移检测装置，通过检测伺服电动机的转角，间接地检测出运动部件的位移，反馈给数控系统的比较器，与输入指令进行比较，用差值控制运动部件。

3) 闭环控制。闭环控制是在机床最终的运动部件的相应位置直接安装直线检测装置，将直接测量到的位移反馈到数控系统的比较器中，与输入指令位移量进行比较，用差值控制运动部件，使运动部件严格按实际需要的位移量运动。

(2) 按工艺用途分类 按工艺用途的不同，数控机床可以分为金属切削类数控机床、金属成形类数控机床和数控特种加工机床等。

1) 金属切削类数控机床包括数控车床、数控钻床、数控铣床、数控磨床、数控镗床以及加工中心等。

2) 金属成形类数控机床包括数控折弯机、数控组合冲床和数控弯管机等。

3) 数控特种加工机床包括数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、数控火焰切割机床和数控激光切割机床等，如图 1-2 所示。

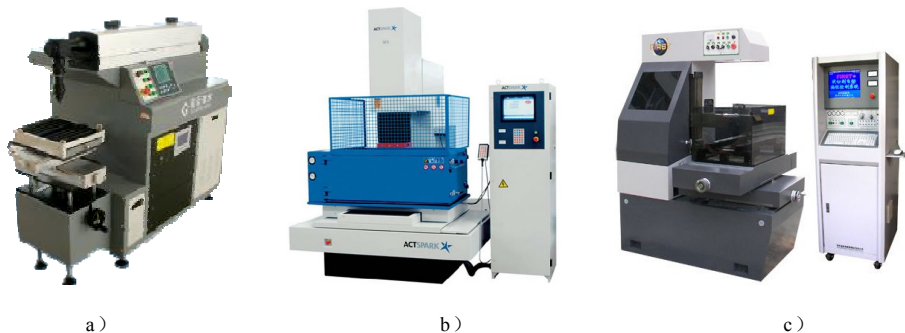


图 1-2 数控特种加工机床

a) 数控电火花线切割机床 b) 数控电火花成形机床 c) 数控激光切割机床

(3) 按运动方式分类 按照运动方式，数控机床可以分为点位控制、直线控制和轮廓控制机床。

1) 点位控制数控机床是指机床的运动部件只能够实现从一个位置到另一个位置的精确运动, 在运动和定位过程中不进行任何加工。数控系统只需要控制行程的起点和终点的坐标值, 而不需控制运动部件的运动轨迹, 因为运动轨迹不影响最终的定位精度。最典型的点位控制数控机床有数控钻床、数控镗床等。点位控制数控钻床的加工示意图如图 1-3 所示。

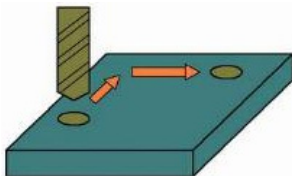


图 1-3 点位控制运动方式

2) 直线控制数控机床是指机床的运动部件不仅要实现一个坐标位置到另一个坐标位置的精确移动和定位, 而且能实现平行于坐标轴的直线进给运动或同时控制两个坐标轴实现 45° 斜线的进给运动。在数控镗床上使用直线控制可以扩大镗床的工艺范围, 有效地提高加工精度和生产率。直线控制还可以应用于加工阶梯轴或盘类零件的数控车床。直线控制数控机床的加工示意图如图 1-4 所示。由于只能作简单的直线运动, 因此不能实现任意的轮廓轨迹加工。

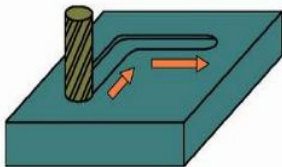


图 1-4 直线控制运动方式

3) 轮廓控制 (又称连续控制) 数控机床是指机床的运动部件能够实现两个坐标轴同时进行联动控制。它不仅要求控制机床运动部件的起点与终点坐标位置, 而且要求控制整个加工过程每一点的速度和位移量, 即要求控制运动轨迹。能加工平面内的直线、曲线表面或空间曲面。很显然, 轮廓控制包含了点位控制和直线控制。数控铣床、数控车床、数控磨床和各类数控切割机床是典型的轮廓控制数控机床。轮廓控制数控机床的加工示意图如图 1-5 所示。

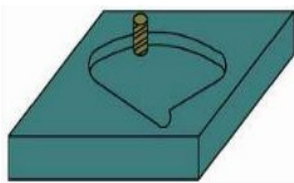


图 1-5 轮廓控制运动方式

4. 数控加工编程基础

(1) 机床坐标系基本概念 机床坐标系是用来确定工件位置和机床运动的基本坐标系。它是机床上固有的坐标系, 并在机床上设有固定的坐标原点, 其坐标和运动方向视机床的种类和结构而定。一般情

况下,坐标系是利用机床机械结构基准线来确定的。对机床的坐标轴和运动方向做出统一的规定,可以简化程序编制的工作,保证数控机床的运行、操作及程序编制的一致性。ISO 84 对坐标系的规定为:

不论机床的具体结构是工件静止、刀具运动,还是工件运动、刀具静止,在确定坐标系时,一律看做工件相对静止、刀具运动。

数控机床直线运动的坐标轴 X 、 Y 和 Z 为右手笛卡儿坐标系,如图 1-6 所示。即右手的大拇指、食指和中指相互垂直时,分别指向 X 、 Y 和 Z 坐标轴的正方向。三个旋转轴 A 、 B 、 C 相应地表示围绕 X 、 Y 、 Z 轴的旋转运动, A 、 B 、 C 的正方向按右手螺旋定则确定。

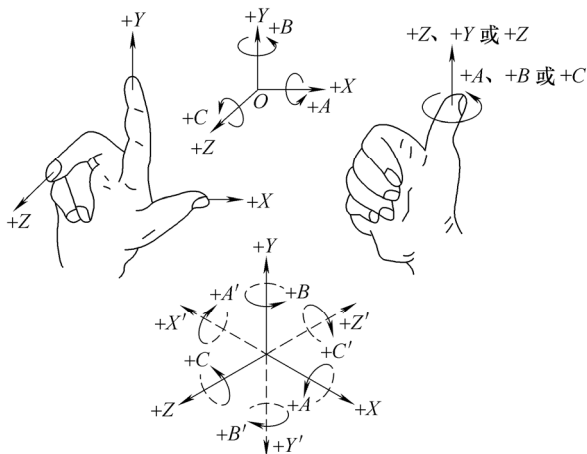


图 1-6 右手笛卡儿坐标系

(2) 工件坐标系

1) 工件坐标系的建立。数控机床坐标系是进行编程和加工的基础。但如果以机床坐标系编程,则编程计算和工件安装就比较繁琐。首先要考虑工件在机床工作台上的装夹位置,然后计算出各点相对机床零点 M 的坐标。如图 1-7a 所示,工件安放的位置不同(位置 1、2 或 3),计算出各点相对机床零点 M 的坐标也不同。用在位置 1 处得到的机床坐标值编制程序,加工时必须保证工件严格与位置 1 重合,这样势必增加操作的难度。

如果选择工件上某一固定点为工件零点,例如图 1-7b 中的 W 点,

以工件零点为原点，并且平行于机床坐标轴 X_M 、 Y_M 和 Z_M ，建立一个新的坐标系 X_W 、 Y_W 和 Z_W ，该坐标系称为工件坐标系。工件坐标系的原点也称为工件原点、编程原点。有了工件坐标系，就大大简化了编程与加工。如图 1-8 所示，编程时以 W 点作为编程原点，可以直接利用图样尺寸进行编程，并且编程时无须考虑工件在机床中的装夹位置，只要在工件装夹好后，测量出工件原点在机床坐标系中的偏置值 $X_{\text{偏移}}$ 、 $Y_{\text{偏移}}$ 和 $Z_{\text{偏移}}$ 即可。

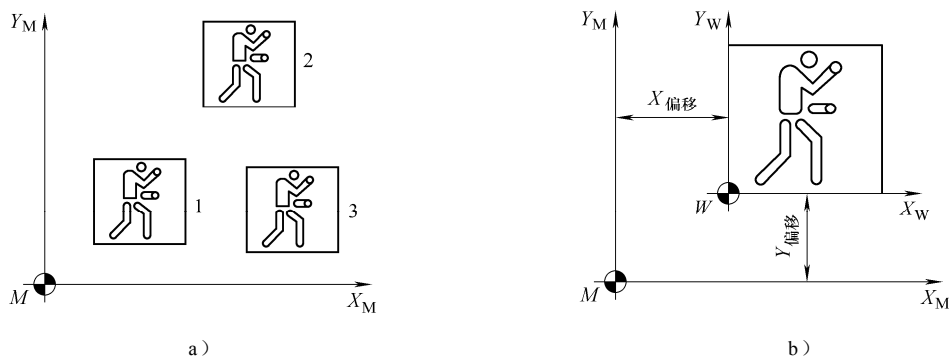


图 1-7 工件坐标系

a) 工件在机床上的不同安放位置 b) 工件原点与机床原点的关系

2) 工件原点的选取原则。

工件原点是可以程序指令设定和改变的。在一个零件的加工程序中，可以根据需要一次或多次设定或改变工件原点。从理论上讲，程序原点可以任意选择，但由于实际机床操作中的限制，只能从加工精度、机床调试和操作的便利性以及工作的安全性等方面综合考虑，选择最佳方案。为计算方便，简化编程，便于测量和检验，程序原点常按如下原则选取。

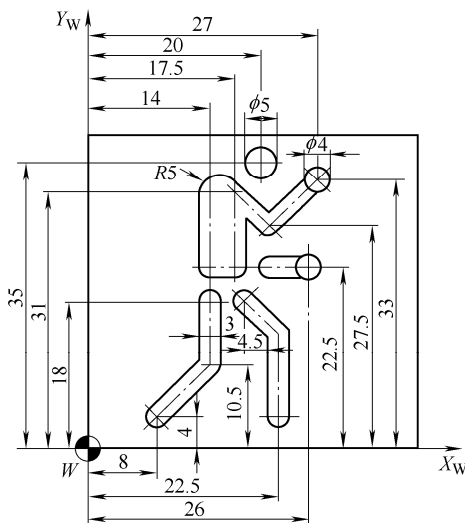


图 1-8 零件尺寸（绝对尺寸标注）

选在工件的设计基准处，铣削时常按此原则选取，工件原点 W 与零件的设计基准重合，这有利于保证加工精度。工件坐标系原点设在零件上表面的左下角，使得加工表面的 X 、 Y 坐标值均为正值， Z 坐标值均为负值，并且便于对刀。

(3) 绝对坐标系统和增量坐标系统 工件坐标系确定后，可根据编程的需要将该坐标系设定为绝对坐标系统或增量坐标系统，以简化编程。

1) 绝对坐标系统指目标点的尺寸是以零件上固定的基准点（如工件坐标系的原点）作为参考进行标注的。程序中的绝对尺寸表示切削刀具相对于原点的目标位置。

图 1-8 的尺寸标注方法即为绝对尺寸标注，各尺寸都是以工件坐标系的原点 W 为基准点进行标注，在 X 、 Y 方向都有共同的尺寸基准（尺寸是“并联”标注的）。

2) 增量坐标系统（又称为相对坐标系统）指目标点的尺寸是以零件上的当前点作为参考进行标注的。程序中的增量尺寸表示切削刀具相对于当前点的实际移动距离和方向。

图 1-9 的尺寸标注方法即为增量尺寸标注，各尺寸都是以当前点为参考进行标注的（尺寸是“串联”标注的）。

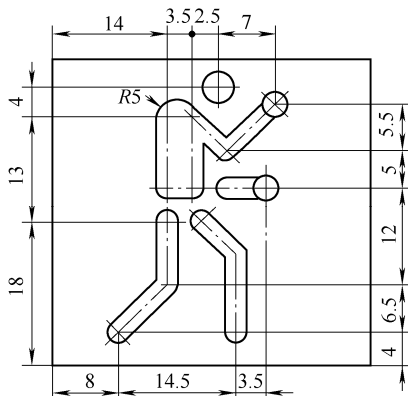


图 1-9 增量尺寸标注

数控系统需要在程序中添加其他说明来区分两种表示方式。如：FANUC 系统以地址字（绝对坐标用 X 、 Y 和 Z 表示，增量坐标用 U 、 V 和 W 表示）来区分。SINUMERIK 系统用 $G90$ （绝对坐标）和 $G91$ （增量坐标）指令来区分。

(4) 常用功能指令 数控机床常用的功能指令有准备功能 G 、辅助功能 M 、主轴转速功能 S 、刀具功能 T 和进给功能 F 。其中，准备功能 G 和辅助功能 M 会因机床和数控系统的不同而有所差异，本节做概括性介绍。

1) 准备功能 G 代码，用来将控制系统预先设置为某种预期的状态，

或者某种加工模式和状态。例如预先设置刀具和工件相对运动的速度和轨迹（即指令插补功能）、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿和坐标偏移等多种操作。准备功能这个术语就表明了它本身的含义。GB/T 8870—1988 规定 G 代码由字母 G 及其后面两位数字组成，从 G00～G99 共有 100 种代码。编程时，紧跟 G 代码后的第一个 0 可以省略不写，例如，G00、G01 和 G02 可以写成 G0、G1 和 G2 等。具体的数控电火花线切割代码功能解释将在 1.4 节详细介绍。

2) 辅助功能 M 指令，简称辅助功能，也叫 M 功能。它是控制机床或系统开、关功能的一种命令。如切削液开、关，主轴正、反转等。GB/T 8870—1988 规定：M 指令由字母 M 和其后的两位数字组成，从 M00～M99 共有 100 种。M 指令也有续效和非续效指令之分。M 指令与控制机床的插补运算无关，而是根据加工时操作的需要予以规定。因为 M 指令与插补运算无直接关系，所以一般书写在程序段的后部，但这类指令在加工程序中是必不可少的，具体的代码功能解释将在 1.4 节详细介绍。

3) F 是控制刀具位移速度的进给速率指令，为模态指令，用字母 F 及其后面的若干位数字表示。在铣削加工中，刀具位移速度的单位一般为 mm/min，如 F150 表示进给速度为 150mm/min。

4) S 功能用以指定主轴转速，为模态指令，用字母 S 及其后的若干位数字来表示。在编程时，除用 S 代码指定主轴转速外，还要用 M 代码指定主轴转向是顺时针还是逆时针。数控线切割机床不用此功能。

5) T 是刀具功能代码，后跟两位数字指示更换刀具的编号，即 T00～T99。因数控线切割机床无自动换刀装置（ATC），所以 T 功能只用于加工中心。

注意：不同厂家、不同系统的加工中心，T 功能格式很可能不同，针对具体机床的换刀操作和编程，要以生产厂家提供的随机说明书为准。

5. 数控加工技术的发展

(1) 数控加工技术的发展历程 1952 年美国帕森斯公司（Parsons Co.）和麻省理工学院伺服机构实验室（Serve Mechanisms Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology）联合研制成功了世界上第一台数控铣床（NC）。该机床实现了简单的数字控制，用于加工直升

机叶片轮廓检查用样板。1955 年进入数控加工实用阶段，在复杂曲面的加工中发挥了作用。50 多年来，随着计算机技术、微电子技术、自动控制技术、精密测量技术及机械制造技术的发展，数控机床及加工技术取得了飞速的发展。随着电子技术与计算机技术的快速发展，数控机床也从简单的数控铣床发展为 1958 年的加工中心（MC），1961 年的计算机直接数控（DNC），1965 年的自适应控制（AC）、1973 年的计算机数控（CNC）。数控机床的灵活性、快速性也越来越高，加工的范围也越来越广。从 1974 年到 1980 年，数控机床作为重要组成部分和最基本单元，先后经历了计算机辅助设计/制造（CAD/CAM）、柔性制造单元/系统（FMC/FMS）、计算机集成制造系统（CIMS）的发展。

我国从 1958 年开始研制数控机床，并于同年研制出三坐标数控铣床，随后在有关院校、研究单位及企业的共同努力下，数控机床逐步应用于实际机械加工，在复杂零件的加工中发挥了一定的作用。自 1980 年以来，我国数控机床制造及加工应用技术发展很快，从初期的引进、仿制，到现在能够自行开发、设计、制造具有自主知识产权的中、高档数控机床及控制系统。目前，主要数控机床产品包括车床、铣床、镗铣床、钻床、磨床、加工中心、线切割机床、齿轮机床、折弯机、柔性制造单元等，品种数量达 300 多种，除满足国内各行业需要外，还实现了部分外销。据有关资料统计，我国 2000 年生产各类数控机床 1.4 万台，而 2010 年产量为 22.39 万台。数控加工在机械制造中发挥越来越大的作用。

（2）数控机床的发展方向

1）高精度。现代机械产品的精度越来越高，零件精度由以前的 0.01mm 数量级提高到 0.001mm 数量级，促使数控加工向高精度发展。

2）高速化。为进一步提高生产率和加工精度，数控加工向高速化方向发展已成为趋势。高速化不仅表现在主轴转速提高，也表现在工作台快速移动和进给速度不断提高，如加工时主轴转速超过 10000r/min，工作台快速移动速度达 40~60m/min。高速切削有利于减小机床振动，减少传入到零件的热量，减小热变形，提高加工质量。同时，还采用快速换刀及其他提高辅助动作自动化程度的措施，如快速自动定位夹紧、缩短托盘交换时间等，进一步提高生产效率。

3）智能化。数控加工智能化趋势体现在三个方面：一方面是采用

自适应控制技术，以提高加工质量和效率；另一方面是在现代数控机床上装备有各种监控和检测装置，对工件、刀具等进行监测，实时监视加工的全部过程，发现工件尺寸超差、刀具磨损或崩刃破损，便立即报警，并给予进给补偿或调换刀具。有些数控机床采用了专家系统，可以根据加工要求自动选取加工参数。

4) 复合化。复合化加工是通过增加机床的功能，减少工件加工过程中的定位装夹次数及对刀等辅助工艺时间，从而提高机床生产率。复合化加工还可减少辅助工序，减少夹具和加工机床数量，对降低整体加工和机床维护费用有利。

复合化加工有两重含义：一是工序和工艺集中，即在一台机床上一次装夹可完成多工序、多工种的任务，如数控车床向车削中心发展，加工中心向功能更多方向发展，五轴联动向五面加工发展等；二是指工艺的成套，即加工企业向复合型方向发展，为用户提供成套服务。

(3) 以数控为基础的现代制造技术 在现代生产中，为了满足多品种、小批量、产品更新换代周期短等要求，原来以单功能机床为主体的生产线，已不能适应机械制造业日益提高的要求，因而具有多功能和一定柔性的设备和生产系统出现，促使数控技术向更高层次发展。现代生产系统主要有柔性制造单元、柔性制造系统和计算机集成制造系统等。

1.1.2 数控高速走丝电火花线切割机床的主要组成部分

数控高速电火花线切割机床主要由床身、坐标工作台、走丝机构、锥度切割装置、工作液循环系统、脉冲电源、附件和夹具等几部分组成。图 1-10 所示为数控快走丝线切割机床。

1. 床身

床身一般为铸件，是坐标工作台、绕丝机构及丝架的支撑和固定基础，通常采用箱式结构，应有足够的强度和刚度。床身内部安



图 1-10 数控快走丝线切割机床

置电源和工作液箱，考虑电源的发热和工作液泵的振动，有些机床将电源和工作液箱移出床身外另行安放。

2. 坐标工作台

电火花线切割机床对零件轮廓的加工是通过坐标工作台与电极丝的相对运动来完成的。坐标工作台是指在水平面上沿着 X 轴和 Y 轴两个坐标方向移动，用于装夹摆放工件的“平台”。坐标工作台由步进电动机、滚珠丝杠和导轨组成。控制系统每发出一个进给信号，步进电动机就转动一定角度，经过减速器，带动丝杠旋转，通过丝杠螺母副，将电动机的旋转运动变为工作台的直线运动，带动工件实现 X 、 Y 两个坐标方向各自的进给运动，这两个运动经合成可实现各种平面图形的曲线轨迹。

3. 走丝机构

电火花线切割走丝机构是能使电极丝具有一定的张力和直线度，以给定的速度稳定运动，并可以传递给定的电能的机构。在快走丝线切割机床上，电极丝张力与排绕在储丝筒上的电极丝的拉紧力有关，储丝筒通过联轴器与驱动电动机相连。为了重复使用电极丝，有专门的换向装置控制电动机做正、反向交替运动。在运动过程中，电极丝由支架支撑，依靠导轮保持电极丝与工作台垂直或切割锥度时倾斜一定的几何角度。数控电火花线切割走丝机构结构示意图如图 1-11 所示。

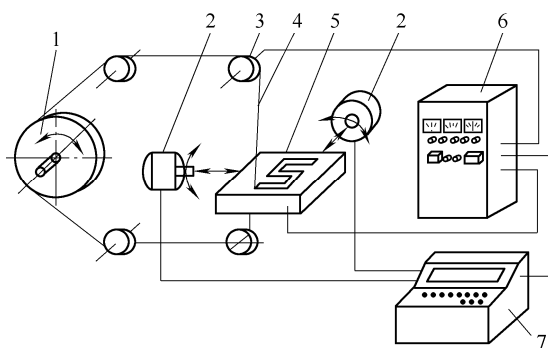


图 1-11 数控电火花线切割走丝机构结构示意图

1—储丝筒 2—工作台驱动电动机 3—导轮 4—钼丝 5—工件

6—数控装置 7—脉冲电源

电极丝是电火花线切割时，用来导电放电的金属丝，是线切割机

床的“刀具”，在快走丝线切割中泛指“钼丝”。电极丝的质量直接影响着切割工件的质量，例如在放电条件一定的情况下，直径尺寸精度直接反映到切割工件的尺寸精度上。

导轮部件是确定电极丝位置的部件，主要由导轮、轴承和调整座组成。导轮和轴承由于长期高速运转很容易因磨损而松动，造成电极丝直线位置的不确定，所以需要经常调整导轮松紧或更换导轮和轴承。

储丝筒在快走丝线切割机中，兼有收、放丝卷筒的功能。储丝筒一般用轻金属材料制成，工作时，将电极丝的一端固定在储丝筒的一端柱面上，然后按一个方向有序地、密排在储丝筒上缠绕一层，将电极丝的另一端穿过整个走丝机构，回到储丝筒，按缠绕方向将电极丝头固定在储丝筒的另一端柱面上。这样缠绕的电极丝，不论储丝筒向哪个方向旋转，电极丝都会有序地一边放一边收。储丝筒通过联轴器与驱动电动机连接，电动机由专门的换向装置控制其正、反交替运转，从而使电极丝往复运动，反复使用该段电极丝。

4. 锥度切割装置

锥度切割装置用来切割有拔模斜度的冲模或工件内、外表面的锥度。大部分数控线切割机床都具有锥度切割装置。实现锥度切割的方法有多种，快走丝线切割机床主要用的是偏移式丝架。一般采用偏移上、下导轮的方法实现电极丝的倾斜，如图 1-12 所示。用此方法加工的锥度一般较小。

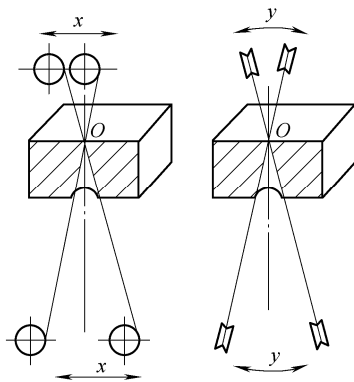


图 1-12 偏移上、下导轮，实现
锥度切割

5. 脉冲电源

脉冲电源是数控线切割机床最重要的组成部分之一，提供工件和电极丝之间的放电加工能量，对加工质量和加工效率有直接的影响。它是决定线切割加工工艺指标的关键装置。数控线切割加工的切割速度、被加工面的表面粗糙度、尺寸精度和形状精度及电极丝的损耗等，都将受到脉冲电源性能的影响。线切割脉冲电源一般是由主振级（脉冲信号发生器）、前置放大级、功率放大级和供给各级的直流电源组成。

受加工表面粗糙度和电极丝允许承载电流的限制，线切割加工脉冲电源的脉宽较窄（ $2\sim 60\mu\text{s}$ ），单个脉冲能量、平均电流一般较小，所以线切割加工总是采用正极性加工。

6. 数控装置

数控装置的主要作用是在电火花线切割加工过程中，按加工要求自动控制电极丝相对工件的运动轨迹和进给速度，从而实现对工件的形状和尺寸加工。

1.2 了解电火花线切割加工

1.2.1 电火花线切割加工的特点

电火花线切割加工的主要特点如下：

1) 电火花线切割是以直径为 $0.03\sim 0.35\text{mm}$ 的金属线为工具电极，它不需要制造特定形状的电极，省去了成形电极的设计和制造，缩短了生产准备时间和加工周期。

2) 虽然加工的对象主要是平面形状，但是除了有金属丝直径决定的内侧拐角处最小圆弧半径的限制外，其他任何复杂的形状都可以加工。

3) 轮廓加工所需加工的余量少，能有效地节约贵重的材料。

4) 可无视电极丝的损耗，快走丝线切割采用低损耗脉冲电源；慢走丝线切割采用单向连续供丝，在加工区总是保持新电极丝加工，加工精度高。

5) 依靠微型计算机控制电极丝轨迹和间隙补偿功能，同时加工凸凹两种模具时，间隙可任意调节。

6) 采用乳化液或去离子水作为工作液，不必担心发生火灾，可以昼夜无人连续加工。

7) 无论被加工工件的硬度如何，只要是导体或半导体的材料都能实现加工。

8) 任何复杂形状的直纹面零件，只要能编制加工程序就可以进行加工，因而很适合小批量零件和试制品的生产加工，应用灵活。

9) 采用四轴联动, 可加工上、下异形体, 形状扭曲曲面体, 变锥度和球形体等零件。

1.2.2 电火花线切割加工的优势

从实用的角度讲, 直接利用电能进行脉冲放电加工, 工具电极和工件不直接接触, 无机械加工中的宏观切削力, 因此无论硬度如何, 只要是导电或半导电的材料及细小零件都能进行加工, 加工范围较宽。同时电火花线切割一般采用水基工作液, 这样可以避免发生火灾, 安全可靠, 可实现昼夜无人值守连续加工。加之该加工方式通常用于加工零件上的直壁曲面, 通过 X - Y - U - V 四轴联动控制, 可进行锥度切割和加工上下截面不同的异形体、形状扭曲的曲面体和球形体等零件, 充分体现电火花线切割加工的实用性。

从经济的角度讲, 数控线切割加工沿轮廓切割加工, 因此不需要设计和制造成形工具电极, 这大大降低了加工费用, 缩短了生产周期。同时, 切缝可窄达 0.005mm , 只对工件材料沿轮廓进行“套料”加工, 材料利用率高, 能有效节约贵重材料, 这也是电火花线切割经济性的一种体现。

1.2.3 电火花线切割加工的局限性

1. 加工精度有限

数控高速走丝电火花线切割加工机床受到电极丝损耗、机械部分的结构与精度、进给系统的开环控制、加工中工作液导电率的变化、加工环境的温度变化及本身加工特点(如运丝速度快、振源比较多、导轮磨损大、电极丝换向)等因素影响, 机床的加工精度被局限起来。

2. 切割过程易断丝

数控高速走丝电火花线切割加工机床的电极丝张力是固定不可调的, 在加工的过程当中, 电极丝的抖动较大, 这使得电极丝容易出现断丝现象, 从而导致加工不连续, 并需要有工人监管, 随时解决断丝现象, 从而降低了人员的利用率。

1.2.4 电火花线切割加工的应用范围

1. 加工模具

电火花线切割加工适用于加工各种形状的冲模，调整不同的间隙补偿量，只需一次编程就可以切割凸模、凸模固定板、凹模及卸料板等，模具配合间隙、加工精度通常都能达到要求。此外，还可以加工挤压模、粉末冶金模、弯曲模、塑压模等带锥度的模具。

2. 加工电火花成形加工用的电极

一般穿孔加工的电极以及带锥度型腔加工的电极，对于铜钨、银钨合金之类的材料，用线切割加工特别经济，同时也适用于加工复杂形状的微细电极。

3. 加工零件

在试制新产品时，用线切割在板料上直接割出零件，例如切割特殊微电动机硅钢片定子、转子铁心。由于不需另行制造模具，可大大缩短制造周期、降低成本。另外修改设计、变更加工程序比较方便，加工薄件时还可以多片叠在一起加工。在零件制造方面，可用于加工品种多、数量少的零件，特殊难加工材料的零件，材料试验样件，各种型孔、凸轮、样板、成形刀具。同时还可以进行微细加工，异形槽的加工等。

4. 贵重金属下料

由于电极丝尺寸远小于传统刀具尺寸，用它切割贵重金属可以大大减少切缝消耗，节省材料。

1.3 电火花加工的基本原理和微观过程

1.3.1 电火花加工的基本原理

电火花线切割加工的基本原理是利用移动的细金属导线（铜丝或钼丝）作电极，利用脉冲电源对工件进行脉冲火花放电，利用数控技术控制电极丝相对工件运动，可切割成形各种二维、三维表面。

图 1-13 为往复高速走丝电火花线切割工艺及机床示意图。利用细钼丝 4 作工具电极进行切割，储丝筒 7 使钼丝做正、反向交替移动，加工能源由脉冲电源 3 供给。在电极丝和工件之间浇注工作液介质，工作台在水平面两个坐标方向各自按预定的控制程序，根据火花间隙状态做伺服进给移动，从而合成各种曲线轨迹，把工件切割成形。

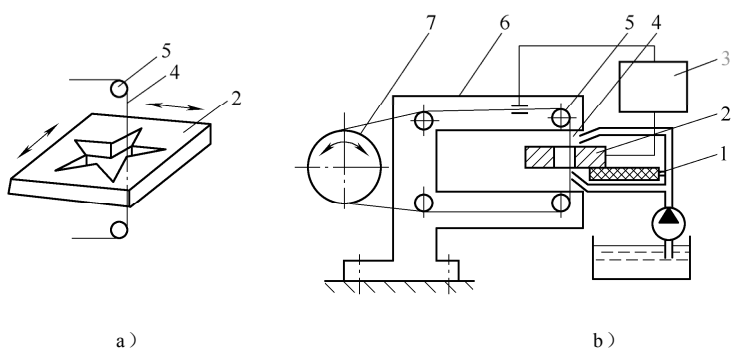


图 1-13 往复高速走丝电火花线切割工艺及机床示意图

1—夹具 2—工件 3—脉冲电源 4—钼丝 5—导轮 6—丝架 7—储丝筒

在液体介质中进行单个脉冲放电时，材料电蚀过程大致可分为介质击穿和通道形成、能量转换和传递、电蚀产物的抛出三个连续的阶段。但实际电火花加工中，必须连续多次进行脉冲放电。为使每次脉冲放电正常进行，一般情况下，相邻两次脉冲放电之间还要有间隙介质消电离的过程。

1.3.2 介质击穿和通道形成

通常电火花加工是在液体介质中进行的，电极间介质的击穿是脉冲放电的开始阶段。两极间的液体介质中含有各种杂质，当有电场作用时，这些杂质被吸向电场强度最大区域，并沿电力线形成特殊的接触桥，缩小了实际的极间距离，降低了极间击穿电压，即在相同电压下大大提高了电场强度。另外，两电极的微观表面凹凸不平，不平程度有时甚至可以和极间距离相比拟，使极间电场强度分布很不均匀。电场强度最大的地方发生电子发射，阴极表面逸出电子，在电场作用下，电子高速向阳极运动，并在运动中撞击介质的中性分子和原子，产生碰撞电离，形成正负粒子，导致带电粒子雪崩式增多。当电子到

达阳极时，介质被击穿，产生火花放电，形成导通通道，随后电源中积聚的能量沿放电通道注入两极放电点及间隙中。

介质击穿过程非常迅速，一般为 $10^{-7} \sim 10^{-5} \text{s}$ 。介质一旦被击穿便形成导电通道，间隙电流迅速上升，电流密度可高达 $10^5 \sim 10^6 \text{A/cm}^2$ 。通道是由大体相等的正负粒子以及中性粒子组成的等离子体。带电粒子在高速运动时发生剧烈碰撞，产生大量的热，使通道温度非常高。通道中心高达 10000°C 以上。由于受到放电时磁压缩效应和周围液体介质压缩效应的作用，放电开始阶段，通道截面很小，随后迅速扩展。通道直径随放电能量、放电时间和放电间隙的增加而变大，但并非直线关系。通道截面的气体密度不同，密度从通道中心向边缘增加，通道瞬时压力可达数十或上百个大气压。通道发射的光谱除中性原子的谱线外，还有变成电离气体的各种元素的离子谱线。同时，放电还伴随着一系列派生的现象，其中有热效应、电磁效应、光效应、声效应及波长范围很宽的电磁波辐射和爆炸冲击波等。

1.3.3 介质热分解、材料热熔化、汽化热膨胀

两极间的介质一旦被击穿，电源就通过放电通道瞬时释放能量，把电能大部分转换为热能，用于加热两极放电点和间隙通道，两极放电点被局部熔化和汽化，通道中的介质被汽化或热裂分解，还有一些热量在传导、辐射过程中消耗掉。

热能与电火花加工的关系很大，它在放电间隙中的分布与电位分布有关。加工放电部位可由图 1-14 所示的放电痕剖面示意图清晰可见。中间是等离子体导电通道，叫做放电柱。放电柱中带电粒子由电场加速，电子奔向阳极，正离子奔向阴极。

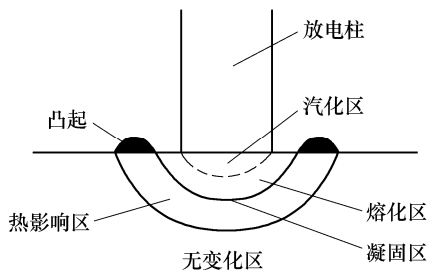


图 1-14 放电痕剖面示意图

放电柱与阳极表面之间的一层为阳极区域，形成阳极压降。同样，放电柱与阴极表面之间极薄的一层为阴极区域，形成阴极压降。

显然，间隙中的总电压等于放电柱压降、阳极压降与阴极压降之

和，因此间隙中的放电能量等于放电柱中的能量、阳极上的能量与阴极上的能量之和。

放电柱中的能量主要消耗在热辐射和热传导上。随着放电柱长度、电位梯度、放电电流和放电时间的增大，放电柱中消耗的能量也增大。放电能量一定时，放电柱中消耗的能量增大，意味着两极上分布的能量减少。

脉冲放电时，在放电柱等离子体中存放着大量电子，这些电子一部分来源于阴极发射，一部分来源于通道中介质的电离。在电场作用下，具有一定动能的电子奔向阳极，轰击阳极表面，动能转化为热能。电子数目越多，或者说，电子流越大，电子传递给阳极的能量就越大。

正离子同样具有一定的动能，在电场作用下奔向阴极表面。这样，传递给阴极的能量主要决定于正离子数目及其动能和复合能的大小。电压越大，电场作用越强。

电极材料蒸气的传能效应是比较复杂的。放电期间，如果电极表面汽化，则电极蒸气从电极表面喷出，当它被对面的电极表面遏止时就实现了能量的传递，其中传递的热量随蒸气密度、蒸气流速度和温度的增加而增多，因此只能在放电能量密度很大、送能速度很高的情况下，电极材料蒸气的传热效应才比较明显。实际上，阴极蒸气传递给阳极的能量取决于蒸气的温度与阳极放电点的温度之差，因此用高沸点的钨类材料作阴极时，会传递给阳极更多的热量。

1.3.4 电蚀产物的抛出

脉冲放电的初期，热源产生的瞬时高温，使电极放电点部分材料汽化。汽化过程中，产生很大的热爆炸力，使加热至熔化状态的材料被挤出或溅出。电极蒸气、介质蒸气以及放电通道的急剧膨胀，也会产生相当大的压力，参与熔化材料的抛出过程。脉冲持续时间较短时，这种热爆炸力抛出效应较显著。

脉冲放电期间，电流的电磁效应产生电磁力，它与电力线成法线方向，其大小取决于电极上电力线的分布。作用在放电熔化区内的电磁力的方向与电极表面成一角度，可分解成两个分力，即轴向力和径

向力，它们的大小随放电时间而变化。当轴向力指向电极内部时，可将熔融材料压出，径向力却阻碍其被压出。随着放电时间的变化，电力线分布也变化。当轴向力减少、径向力增大时，熔化区将处于较高的压力下，提高了熔融材料的沸点。这时，在过热熔融材料内产生汽化中心，引起汽化爆炸，将熔化材料抛出。这种效应在脉冲持续时间较长、电流较大的情况下比较明显。

在放电电流结束后的若干时间内，由于液体动力作用，熔化材料还会大量抛出。因为放电过程产生气泡，随着脉冲电流的增大，气泡内的压力增高。电流经过最大值后，汽化速度降低，气泡内的压力降低，气泡壁上蒸气冷凝以及液体运动的惯性均导致气泡内压力的降低。电流结束后，气泡继续扩展，残余蒸气继续冷凝，致使气泡内压力急剧下降，甚至降到大气压力以下，形成局部真空，使高压下溶解在熔融和过热材料中的气体放出，材料本身沸腾，使熔融的液滴和蒸气从小坑中再一次抛出，至此，放电小坑最后形成。

总之，材料的抛出是热爆炸力、电磁力、流体动力等综合作用的结果。人们对这复杂的抛出机理的认识还在不断深化之中。

1.4 数控高速走丝电火花线切割

1.4.1 加工前的准备

1. 备料

模具工件一般采用锻造毛坯，其线切割加工常在淬火与回火后进行。由于受材料淬透性的影响，当大面积去除金属和切断加工时，会使材料内部残余应力的相对平衡遭到破坏而产生变形，影响加工精度，甚至在加工中造成材料突然开裂。为减少这种影响，应在加工前作好工艺准备：下料—锻造—退火—机加工—画线—加工型孔—淬火—磨—退磁处理。

2. 机床准备

选用单轴数控电火花成形机床，完成开机操作。使机床各部分在稳定的状态下运行。

3. 工艺准备

工艺准备主要包括电极丝准备、工作液准备和加工准备。

(1) 电极丝准备

1) 电极丝材料选择。用于线切割的电极丝材料的种类很多，主要有纯铜丝、黄铜丝、专用黄铜丝、钼丝、钨丝、各种合金丝及镀层金属丝等，其中以钼丝和黄铜丝用得较多。详细内容将在后续章节中进行介绍。常用电极丝材料及其特点见表 1-1。

表 1-1 常用电极丝材料及其特点

材 料	电极丝直径/mm	特 点
纯 铜	0.1~0.25	适用于线切割速度要求不高的加工或精加工，电极丝不易卷曲，抗拉强度低，容易断丝
黄 铜	0.1~0.30	适用于高速加工，加工面的蚀屑附着少，表面粗糙度值小，加工面的平直度较好
专用黄铜	0.05~0.35	适用于高速、高精度和低表面粗糙度值的加工，可自动穿丝，但价格高
钼	0.06~0.25	丝的抗拉强度高，一般用于快速走丝，在进行微细、窄缝加工时，也可用于慢速走丝
钨	0.03~0.01	电极丝的抗拉强度高，可用于各种窄缝的微细加工，但价格昂贵

一般情况下，快走丝机床常用钼丝作电极丝，钨丝或其他昂贵金属丝因成本高而很少使用，其他丝材因抗拉强度低，在快走丝机床上不能使用。慢走丝机床上则可用各种铜丝、钨丝、专用合金丝以及镀层（如镀锌等）的电极丝。

2) 电极丝直径的选择。电极丝直径 d 应根据工件的切缝宽窄、工件厚度及拐角尺寸大小等来选择。如图 1-15 所示，电极丝直径 d 与拐角半径 R 的关系为

$$d \leq 2(R - \delta)$$

在拐角要求小的微细线切割加工中，需要选用直径小的电极丝，但电极丝直径太小，能够加工的工件厚度会受到限制。电极丝直径与拐角极限和工件厚度的关系见表 1-2。

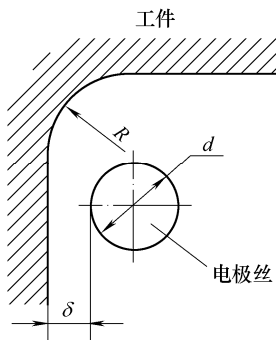


图 1-15 电极丝直径与拐角半径的关系

表 1-2 电极丝直径与拐角极限和工件厚度的关系

电极丝直径 / mm	拐角极限 / mm	切割工件的厚度 / mm
钨 0.05	0.04~0.07	0~10
钨 0.07	0.05~0.07	0~20
钨 0.10	0.07~0.12	0~30
黄铜 0.15	0.10~0.16	0~50
黄铜 0.20	0.12~0.20	0~100
黄铜 0.25	0.15~0.22	0~100

(2) 工作液准备 工作液对切割速度、表面粗糙度、加工精度等影响较大,加工时应合理选配。常用的工作液主要有乳化液和去离子水。

对于快走丝线切割加工,一般采用体积浓度为 10%左右的乳化液。乳化液是由乳化油和工作介质配置(体积浓度为 8%~15%)而成,工作介质可以是水,也可以是蒸馏水、高纯水、磁化水。

如果是慢走丝线切割加工,则普遍采用去离子水,适当添加某些导电液,增加工作液的电导率,有利于提高切割速度。

(3) 加工准备 电火花加工时,电极和工件同时遭到不同程度的电蚀,单位时间内工件的电蚀量称为加工速度,单位时间内电极的电蚀量称为损耗速度。

加工速度一般采用单位时间内工件被蚀除的体积来表示,单位为 mm^3/min 。在实际生产中衡量电极是否耐损耗,不只是看电极损耗速度 $v_{\text{电极}}$,还要看同时达到的加工速度 $v_{\text{工件}}$,因此采用相对损耗 θ 作为衡量电极耐损耗的指标,即

$$\theta = \frac{v_{\text{电极}}}{v_{\text{工件}}} \times 100\%$$

在电火花加工过程中,提高加工速度、降低电极损耗一直是人们努力追求的目标,具有重大的意义。加工准备阶段的任务就是综合考虑加工极性、电规准参数、工作液及其供液方式以及加工过程中的各种效应等因素,以便确定最优化的加工条件,实现高效、低损耗的电火花加工。

4. 线切割机床的加工准备

(1) 装夹 工件加工前首先要装夹,工件正确装夹,即正确定位和夹紧,才能保证加工质量。夹具可采用通用夹具和专用夹具。通用夹具在 3.3 节有详细叙述。专用夹具根据工件要求设计和使用,以压板夹具居多。由于工件的形状和尺寸不同,使用的夹具也不同。一些专业公司能根据加工要求制作不同的夹具,使工件的装夹变得快捷和

方便。设计夹具时要注意支撑点与加力点的位置，图 1-16 为几种正确装夹与不正确装夹的比较。

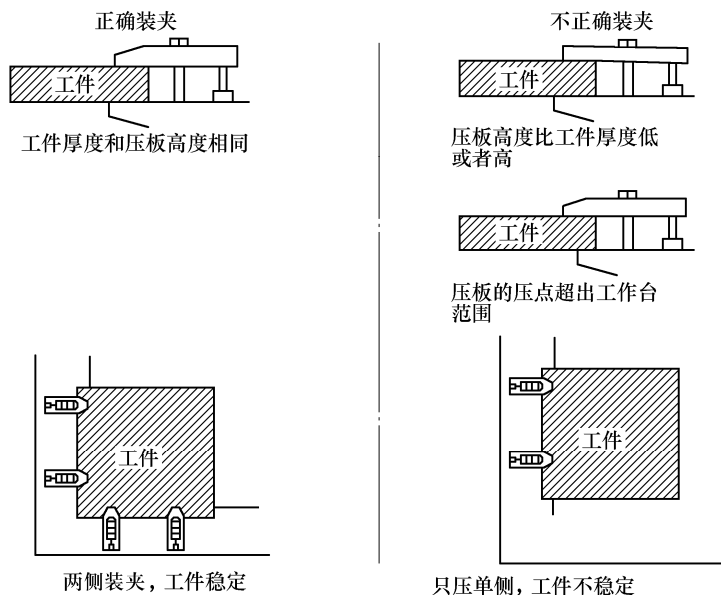


图 1-16 工件在夹具上的正确与不正确装夹比较

线切割加工时夹具位置应对电极丝加工时的运动不产生影响。如果工件余量小或重量大，又需要悬臂安装时，可加一托板，如图 1-17 所示，使加工过程可靠进行。

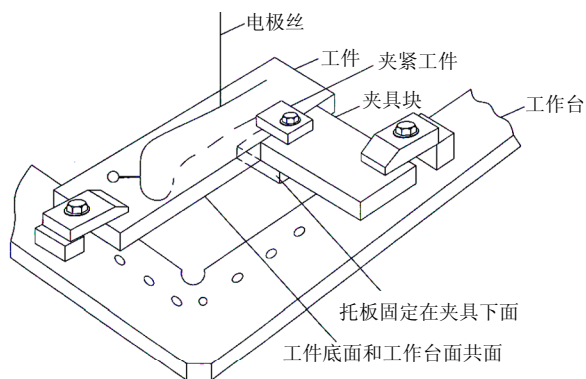


图 1-17 加托板装夹

压板夹紧方式很多，但最常用的还是螺钉夹紧。工件厚度不同，所需夹紧元件的种类和数量也有所差异，如图 1-18 所示。

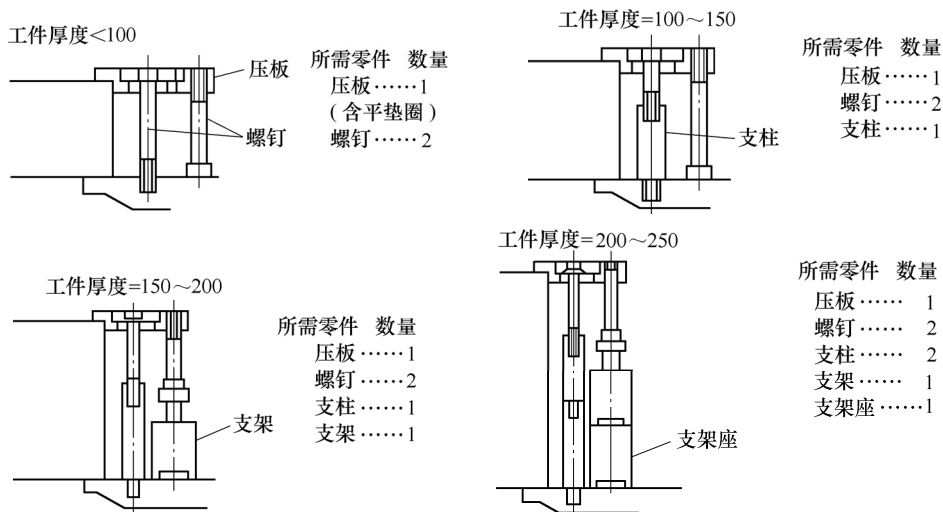


图 1-18 不同厚度工件螺栓压紧示意图

常用的装夹工具除压板夹具外，还有磁性夹具和分度夹具。磁性夹具采用磁性工作台或磁性表座夹持工件，不需压板、螺钉，操作更快速。分度夹具靠机械实现分度，由于装置自动编程软件功能强大，此类夹具已很少应用。

(2) 校表 校表的方法如图 1-19 所示。

为了加工出精度良好的工件，要充分注意工件的安装，做到六面平行。通过机床的坐标旋转功能可以使 X 、 Y 轴的动作配合工件进行坐标旋转加工，省去校表工序。但在平常使用时，都是以 X 、 Y 轴为基准来安装工件，这时就需要校表工作，使工件与 X 、 Y 、 Z 轴平行，前提是校表面必须经过研磨。

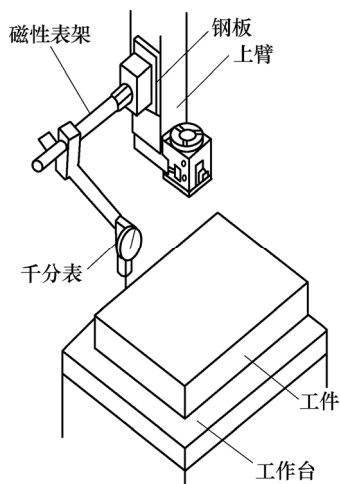


图 1-19 工件的校表方法

校表步骤如下：

- 1) 钢板装在上臂上后，再装千分表。
- 2) 工件平行安装，轻轻拧紧夹紧夹具。
- 3) 让千分表沿 X 或 Y 方向走动，调整工件的位置使指针不再摆动。

工件侧面以及上表面也进行同样的操作。

4) 连接电极丝，在同一表面的几处进行接触感知，如果测得数值无偏差，则校表为正确。

(3) 找边与分中 找边与分中的方法有两种。一种是无代码操作法，另一种是代码操作法。无代码的优点是无需记住代码，只需填入一定的数值就能实现工件的找边或分中，如图 1-20 所示。首先依次单击屏幕右侧工具条中的“手动”按钮与“无代码”按钮，再单击屏幕下方工具条中坐标设置按钮进入坐标设置，通过对工件与安装的实际测量，输入坐标数值和半程坐标数值（若系统无需输入半程坐标数值，可忽略此项），回车确定。此方法适用于生手或对操作速度不做要求的人员使用。代码操作法是在 MDI 中输入代码，实现工件快速地找边与分中，如图 1-21 所示。依次单击屏幕右侧工具条中的手动按钮与 MDI 按钮，再输入对应的代码即可完成找边与分中，此方法适用于熟练工人或专业操作人员，可大大提高找边与分中的速度。

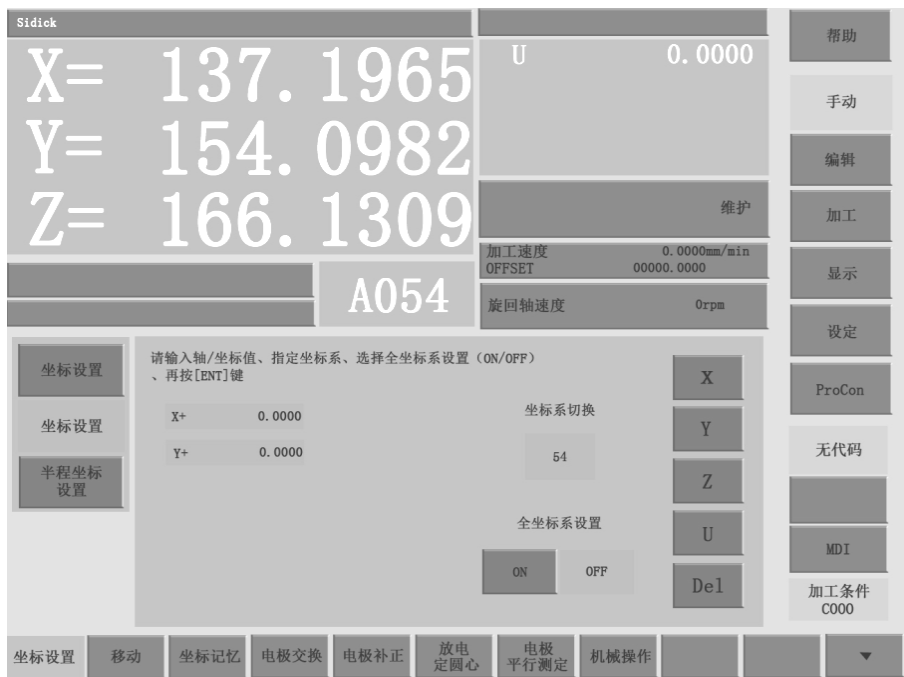


图 1-20 无代码操作法



图 1-21 MDI 操作法

1.4.2 编程

数控电火花线切割加工机床的编程格式主要有两类：3B、4B 格式和 ISO 格式。3B、4B 格式是较早的线切割数控系统的编程格式，而 ISO 代码格式是国际标准代码格式。但由于 3B、4B 代码格式应用仍然比较广泛，目前生产的数控电火花线切割加工机床一般都能够接受这两种格式的程序。

1. 数控电火花线切割加工编程基础

(1) 坐标系建立 数控电火花线切割加工机床的坐标系与其他数控机床一致，遵循右手笛卡儿原则。编程坐标系选择也遵循基准重合原则。为简化计算，尽量选取图形对称轴线为坐标轴。建立工件坐标系时，找正原理与数控铣床类似。ISO 代码程序中一般使用 G92 指令设置加工起点，其含义与数控铣床编程相同。



(2) 间隙补偿计算 线切割加工时，控制台控制的是电极丝中心的移动。为了获得所要求的加工尺寸，电极丝与加工轮廓之间必须保持合理的距离。如图 1-22 所示，图中双点画线表示电极丝中心轨迹，实线表示零件轮廓。由于存在放电间隙，编程时首先要求给出电极丝中心轨迹与图形轮廓之间的距离 ΔR_1 、 ΔR_2 作为放电间隙补偿量，再进行加工编程，这样才能加工出合格的零件。采用 ISO 代码编程时，如果机床具有补偿功能，可通过 G41、G42 指令实现间隙补偿，按照零件轮廓尺寸编程即可。

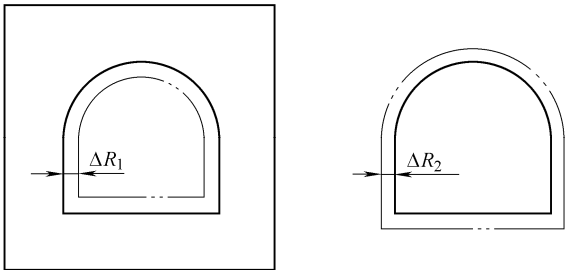


图 1-22 模具凸、凹模加工间隙补偿

一般情况下，线切割加工时，间隙补偿量等于电极丝半径 r 与电极丝放电间隙 δ 之和。加工模具凸、凹模时，应考虑凸、凹模之间的单边配合间隙 $Z/2$ 。当加工冲孔模具时，凸模尺寸由孔的尺寸确定，配合间隙 $Z/2$ 加在凹模上，所以凸模加工的间隙补偿量为 $\Delta R=r+\delta$ ，凹模加工的间隙补偿量为 $\Delta R=r+\delta-Z/2$ 。当加工落料模具时，凹模尺寸由工件的尺寸确定，配合间隙 $Z/2$ 加在凸模上，所以凹模加工的间隙补偿量为 $\Delta R_2=r+\delta$ ，凸模加工的间隙补偿量为 $\Delta R_2=r+\delta+Z/2$ 。

2. 数控电火花线切割加工编程方法

(1) 3B 格式程序编制方法

代码格式：BX BY BJ G Z

各符号含义见表 1-3。

表 1-3 3B 代码含义

代 码	名 称	含 义
B	分隔符号	用于分开 X、Y、J 数值数据，以免混淆
X	X 坐标值	采用绝对坐标编程单位为 μm ，可与 Y 按相同的比例缩放
Y	Y 坐标值	采用绝对坐标编程单位为 μm ，可与 X 按相同的比例缩放
J	计数长度	指工作台在计数方向上进给的总长度，单位为 μm 。计数长度一般应补足六位。加工直线时，计数长度等于该直线在计数方向上的投影长度。加工圆弧时，应将该圆弧以坐标象限分段，计数长度等于各分段圆弧在计数方向上投影长度的总和。此值不随 X、Y 缩放

(续)

代 码	名 称	含 义
G	计数方向	有两种计数方向, 即计 X 和计 Y , 分别写成 GX 和 GY 。加工直线时, 必须以进给距离较大的一个坐标轴作为控制进给的计数方向。圆弧加工时, 计数方向以圆弧的圆心为切割坐标系的原点
Z	加工指令	用来确定切割轨迹的形状、起点或终点, 所在象限和加工方向等信息的指令。数控系统根据这些指令, 控制工作台进给方向, 实现自动加工。加工指令共 12 种, 直线按走向和终点所在象限分为 $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ 、 $L4$ 四种, (如图 1-23 所示)。如果被加工线段与某坐标轴平行时, 根据进给方向, 也可用 $L1$ 、 $L2$ 、 $L3$ 、 $L4$ 。圆弧按起点所在象限及走向(顺时针或逆时针)分为 $SR1$ 、 $SR2$ 、 $SR3$ 、 $SR4$ 及 $NR1$ 、 $NR2$ 、 $NR3$ 、 $NR4$ 八种, 如图 1-23c、d 所示

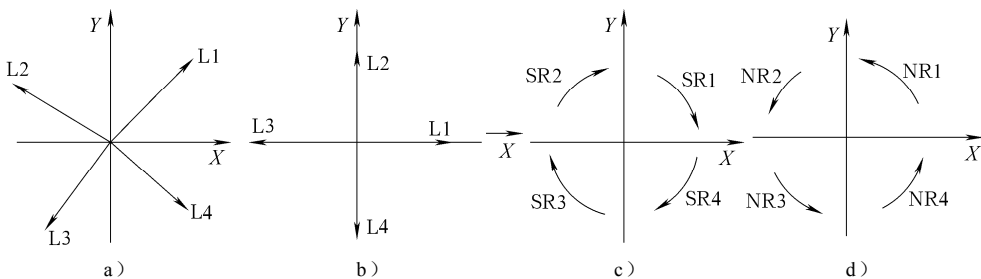


图 1-23 直线和圆弧的加工指令

(2) 4B 格式程序编制方法

1) 代码格式: $\pm BX \quad BY \quad BJ \quad BR \quad D \quad G \quad Z$

2) 4B 指令格式具有间隙补偿功能和锥度补偿功能。

间隙补偿是指电极丝在切割工件时, 电极丝中心运动轨迹能根据要求自动偏离编程轨迹一个补偿量, 此时可直接按工件轮廓编程。显然, 按工件轮廓编程比按电极丝中心运动轨迹编程要简单得多。当电极丝损耗、放电间隙变化后, 无须改变程序, 只需改变补偿量即可。

锥度补偿是指系统根据要求, 同时控制 X 、 Y 、 U 、 V 四轴运动, X 、 Y 为工作台的运动, U 、 V 为上丝架导轮的运动, U 、 V 分别平行于 X 、 Y 。根据走的距离不同, 使电极丝偏离垂直方向一个不同的角度, 形成加工工件的锥度, 从而切割出工件锥度来。

当实际轨迹的线段大于基准轮廓时, 为正补偿, 用“+”表示。当实际轨迹的线段小于基准轮廓时, 为负补偿, 用“-”表示。对于圆弧, 规定以凸模为准, 圆弧增大, 正偏时加“+”号, 圆弧减小, 负偏时加“-”号。进行间隙补偿时, 线与线之间必须是光滑连接, 否则以圆弧过渡。切割锥度时, 必须使电极丝相对于垂直方向倾斜一个

角度，倾斜的方向由第一条 4B 指令决定。若第一条指令之前加“+”号，当引入程序段是直线时，则按直线的法线方向倾斜电极丝，如图 1-24 所示，箭头方向即为电极丝的倾斜方向；而当引入程序是圆弧时，则电极丝的倾斜方向和切割起点的圆弧半径方向一致。若加“-”号，则向相反方向倾斜电极丝。

例如加工图 1-25 所示凹模，未注圆角半径为 1mm，机床脉冲当量为 0.001mm/脉冲，电极丝直径为 0.15mm，放电间隙值 $Z=0.014\text{mm}$ ，补偿值为 $f=0.089\text{mm}$ ，圆弧中心 O_1 为穿丝孔位置， a 点为程序起点，根据编程规则编写加工程序，图中点画线为电极丝中心运动轨迹。3B、4B 的程序对比见表 1-4。

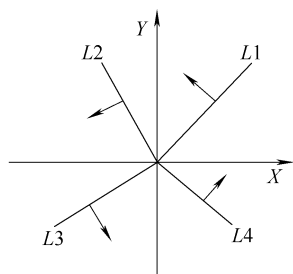


图 1-24 直线引入

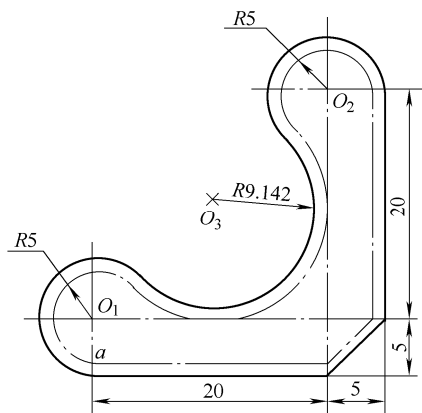


图 1-25 凹模

表 1-4 3B、4B 程序对比

不考虑锥度补偿、间隙补偿的 3B 加工程序	正锥度补偿、间隙补偿功能的 4B 加工程序
N10 B0 B0 B4911 GY L4	N10 +B0 B0 B4911 GX L1
N20 B0 B0 B19586 GX L1	N20 -B0 B0 B19586 GY L4
N30 B0 B911 B644 GX NR4	N30 -B1000 B0 B707 GX SR4
N40 B4414 B4414 B4414 GY L1	N40 -B4414 B4414 B4414 GY L3
N50 B144 B144 B144 GY NR4	N50 -B707 B707 B707 GY SR4
N60 B0 B0 B19586 GY L2	N60 -B0 B0 B19586 GX L3
N70 B4911 B0 B13295 GX NR1	N70 -B0 B5000 B13536 GX SR3
N80 B6527 B6257 B18463 GY SR1	N80 +B6464 B646 B18284 GX NR3
N90 B3473 B3473 B13295 GY L2	N90 -B3536 B3536 B13536 GY SR3
N100 B0 B0 B4911 GY L2	N100 -B0 B0 B5000 GX L3
N110 D	N110 D

(3) ISO 代码格式程序编制方法

1) 功能指令。电火花线切割机床数控系统中,使用的地址及指令见表 1-5 和表 1-6,表中列出了数控线切割系统常用的 ISO 指令代码。这些指令绝大部分与数控铣床编程指令格式相同。

表 1-5 地址字母表

地 址	意 义	地 址	意 义
N, O	顺序号	C	指定加工条件号
G	准备功能	M	辅助功能
X, Y, Z, U, V	坐标轴移动指令	A	指定加工锥度
I, J	指定圆弧中心坐标	RI, RJ	图形旋转的中心坐标
T	机械设备控制	RX, RY	图形或坐标旋转的角度, 角度=arctan (RY/RX)
H	指定补偿偏移量		
P	指定调用的子程序号	RA	图形或坐标旋转的角度
L	指定子程序调用次数	R	转角 R 功能

表 1-6 ISO 指令代码

代码	功 能	属性	代码	功 能	属性
G00	快速定位	模态	G54	加工坐标系 1	模态
G01	直线插补	模态	G55	加工坐标系 2	模态
G02	顺圆插补	模态	G56	加工坐标系 3	模态
G03	逆圆插补	模态	G57	加工坐标系 4	模态
G04	暂停	—	G58	加工坐标系 5	模态
G05	X 轴镜像	模态	G59	加工坐标系 6	模态
G06	Y 轴镜像	模态	G80	移动轴到接触感知	—
G08	X-Y 轴交换	模态	G81	移动轴到机床极限	—
G09	取消镜像和 X-Y 轴交换	模态	G82	移到当前位置坐标的一半处	—
G11	打开跳转 (SKIPON)	模态	G90	绝对坐标指令	—
G12	关闭跳转 (SKIPOFF)	模态	G91	增量坐标指令	—
G20	英制	模态	G92	设置起刀点	—
G21	米制	模态	M00	程序暂停	—
G28	尖角圆弧过渡	模态	M02	程序结束	模态
G29	尖角直线过渡	模态	M05	忽略接触感知	模态
G40	取消电极丝补偿	模态	M98	子程序调用	模态
G41	电极丝左偏	模态	M99	子程序调用结束	—
G42	电极丝右偏	模态	T84	起动液压泵	—
G50	取消锥度	模态	T85	关闭液压泵	—
G51	左锥度	模态	T86	起动走丝机构	—
G52	右锥度	模态	T87	关闭走丝机构	—

G 代码分为模态代码和非模态代码。模态代码表示在程序中一经被应用，直到出现同组的任一 G 代码时才失效；否则，该指令继续有效。模态代码可以在其后的程序段中省略不写。需要注意的是，同一组的模态代码在同一个程序段中不能同时出现，否则只有最后的代码有效。但在同一程序段中出现非同组的几个模态代码时，并不影响 G 代码的续效。非模态代码只在本程序段中有效。

另外，线切割数控系统还可以使用 T、M 功能，实现起动、关闭工作液压泵、走丝机构、切割暂停、结束操作等操作。

2) 编程举例：欲加工图 1-26 所示的冲裁凹模，已知电极丝直径为 0.2mm，放电间隙为 0.01mm，其加工程序为

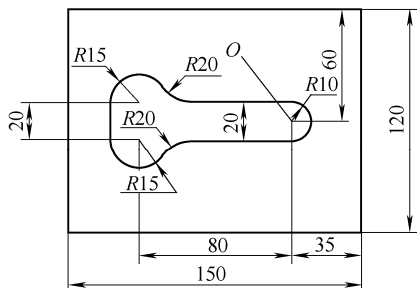


图 1-26 冲裁凹模

P2

N10 G92 X0 Y0

设置坐标系，确定切割起点

N20 G90

绝对坐标编程

N30 T84

打开工作液压泵

N40 T86

起动走丝机构

N50 G41 D110

电极丝左补偿

N60 G01 Y-10000

直线插补

N70 G03 X0 Y10000 I0 J0

逆时针圆弧插补

N80 G01 X-51277

N90 G03 X-67690 Y18571 I0 J20000 逆时针圆弧插补

N100 G01 X-10000

N110 G03 X-67690 Y-18571 I1500 J0

N120 G02 X-51277 Y-10000 I16413 J-11429

N130 G01 X0 Y-10000

N140 G40

取消电极丝左补偿

N150 T85

打开工作液压泵

N160 T87

起动走丝机构

N170 M02

程序结束

(4) 3B、4B、ISO 代码格式之间的关系及相互转换 不同机床有不同的编码格式,低速走丝电火花线切割加工机床采用的是国际上通用的 ISO 格式,亦称 G 代码。我国高速走丝电火花线切割加工机床的控制系统大多采用五指令的 3B 格式,个别也用扩充了的 4B 或 5B 格式,新型快走丝机床有些也采用 ISO 格式。为了便于国际交流和标准化,我国生产的线切割控制系统已逐步采用 ISO 代码。

为使系统有更好的通用性,就要实现代码之间的转换。采用程序过滤转换器,可实现了代码间的双向随意转换。

若系统的内核处理的是 ISO 代码。在自动编程部分,根据图形直接生成的是唯一形式的 ISO 代码,根据用户需要可以通过过滤转换器将其转化为 3B 格式,然后经后置处理,生成不同机床的加工程序,如图 1-27 所示。

对于一种机床来说,程序仿真和加工调用的只是一种代码,这使程序检查、译码及后续处理简单。本系统中,如果加工程序以 3B 格式出现,则通过过滤转换器转换为 ISO 代码。图 1-28 是代码转换和加工过程。

1) 将 3B 格式过滤转换成 ISO 格式。3B 格式能表示二维直线和圆弧,故对应的 ISO 代码是二维的。例如, B2 B1 B100000 GX L2 表示第 II 象限直线,起点为 (0, 0),终点为 (-100, 50),以 X 方向为计数方向。前两个 B 后的数字为 X、Y 方向坐标值的比例数。若直线与坐标轴重合,例如与 X 轴重合,则 B 后数值可省略,可直接写成 B40000 B B40000 GX L1,或 B B B40000 GX L1。

B30000 B40000 B60000 GX NR1 表示圆心在圆点,起点在第 1 象限,起点为 (30, 40),按 X 方向计数,计数长度为 60 的一段逆圆弧。规则是取终点坐标中绝对值较小的方向为计数方向,如果计数长度较长,跨越两个象限或两个象限以上,计数长度为计数方向上各象限投影绝对值的累加。

进行格式过滤转化时，首先应将三个 B 后面的数值取出，存入 b_1 、 b_2 、 b_3 三个变量中。根据后面的 L1~L4、NR1~NR4 和 SR1~SR4 共 12 种加工指令，及计数方向 GX 和 GY，对 b_1 、 b_2 、 b_3 进行处理，变成对应的 G 代码格式。图 1-29 是直线时对三个变量进行处理的过程，处理后 3B 代码转换为 ISO 代码。

圆弧的处理要复杂得多，以 NR1 为例，NR1 指的是圆弧起点在第 I 象限，但根据计数方向和计数长度的不同，终点可能在第 I 象限、第 II 象限、第 III 象限、第 IV 象限或跨越了三个象限后又回到了第 I 象限。以 GX 计数时有这五种情况，以 GY 计数时也有五种情况，所以顺圆和逆圆加起来共有 80 种情况。根据每一种情况计算出圆弧的终点，作为 G02 或 G03 后的 X、Y 坐标值，由于 b_1 和 b_2 是圆弧起点相对于圆心的绝对坐标值，根据起点所在象限，很容易求出 G 代码要求的圆心相对于起点的坐标。取得这些坐标值后，很容易地写出过滤后的 G 代码。

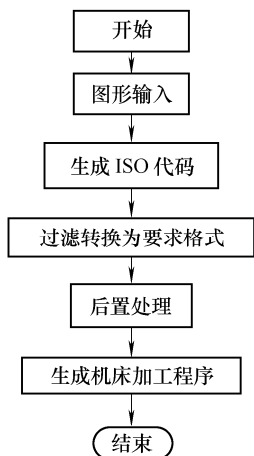


图 1-27 加工程序生成过程

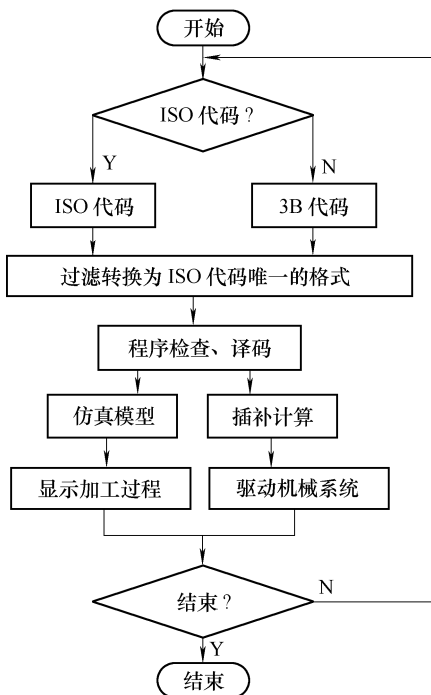


图 1-28 代码转换和加工过程

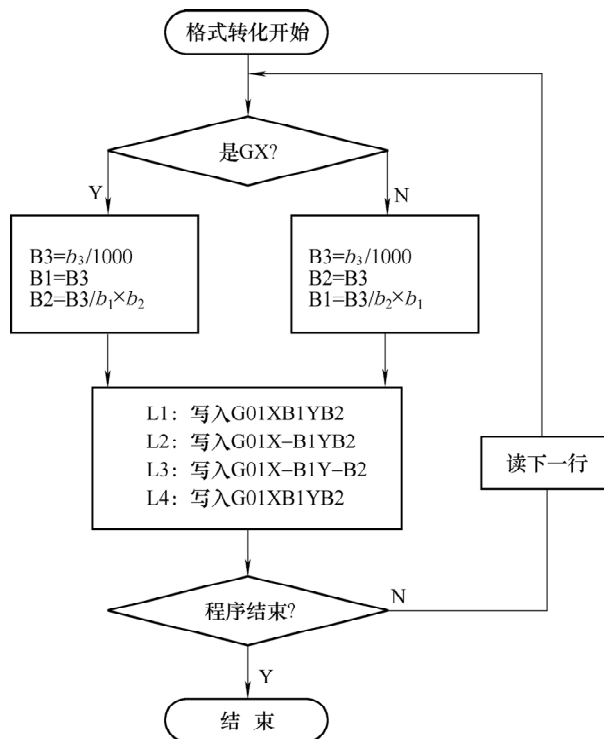


图 1-29 直线 3B 程序转换为 ISO 代码过程

表 1-7 和表 1-8 分别给出了逆圆和顺圆起点在不同象限、以不同计数方向计数的象限判别函数 G 和终点绝对坐标 X、Y 的计算公式。

2) 将 ISO 格式过滤成 3B 格式。直线的过滤转化很简单, 取出 X、Y 轴的坐标值之后, 根据两者符号判断终点所在象限, 再根据两者大小判断计数方向, 写入到目的文件中。圆弧的过滤转化与本小节 1) 中所述思路相同, 也是先根据 I、J 确定圆弧起点, 再根据 X、Y、I、J 的值确定圆弧终点, 进而计算出计数长度。计数方向根据圆弧终点绝对坐标的绝对值大小判定。具体计算公式不再列出。

数控程序过滤转换器的使用, 符合现代数控系统的开放性质, 使数控系统功能更强, 应用面更广, 而且不需改变自动编程、加工仿真及加工控制模块。不论哪种程序, 都通过过滤转换器检查, 合乎要求的代码则通过, 不合要求的则拣出转换, 方便、实用, 扩大了机床的使用范围。

表 1-7 逆圆终点判别及计算

	$G=b_3-b_1$, 计数方向 GX				$G=b_3+b_2$, 计数方向 GY			
	象限判别	终点象限	终点坐标		象限判别	终点象限	终点坐标	
			X	Y			X	Y
NR1 $I=-b_1$, $J=-b_2$	$G<0$	I	-G	$(R^2-X^2)^{1/2}$	$0<G\leq R$	I	$(R^2-Y^2)^{1/2}$	G
	$0<G\leq R$	II	-G	$(R^2-X^2)^{1/2}$	$R<G\leq 2R$	II	$-(R^2-Y^2)^{1/2}$	2R-G
	$R<G\leq 2R$	III	G-2R	$-(R^2-X^2)^{1/2}$	$2R<G\leq 3R$	III	$-(R^2-Y^2)^{1/2}$	2R-G
	$2R<G\leq 3R$	IV	G-2R	$-(R^2-X^2)^{1/2}$	$3R<G\leq 4R$	IV	$(R^2-Y^2)^{1/2}$	G-4R
	$3R<G\leq 4R$	I	4R-G	$(R^2-X^2)^{1/2}$	$4R<G\leq 5R$	I	$(R^2-Y^2)^{1/2}$	G-4R
NR2 $I=b_1$, $J=-b_2$	$G=b_3+b_1$, 计数方向 GX				$G=b_3-b_2$, 计数方向 GY			
	象限判别	终点象限	终点坐标		象限判别	终点象限	终点坐标	
			X	Y			X	Y
	$0<G\leq R$	II	-G	$(R^2-X^2)^{1/2}$	$G<0$	II	$-(R^2-Y^2)^{1/2}$	-G
	$R<G\leq 2R$	III	G-2R	$-(R^2-X^2)^{1/2}$	$0<G\leq R$	III	$-(R^2-Y^2)^{1/2}$	-G
NR3 $I=b_1$, $J=b_2$	$2R<G\leq 3R$	IV	G-2R	$-(R^2-X^2)^{1/2}$	$R<G\leq 2R$	IV	$(R^2-Y^2)^{1/2}$	G-2R
	$3R<G\leq 4R$	I	4R-G	$(R^2-X^2)^{1/2}$	$2R<G\leq 3R$	I	$(R^2-Y^2)^{1/2}$	G-2R
	$4R<G\leq 5R$	II	4R-G	$(R^2-X^2)^{1/2}$	$3R<G\leq 4R$	II	$-(R^2-Y^2)^{1/2}$	4R-G
	$G=b_3-b_1$, 计数方向 GX				$G=b_3+b_2$, 计数方向 GY			
	象限判别	终点象限	终点坐标		象限判别	终点象限	终点坐标	
			X	Y			X	Y
NR4 $I=-b_1$, $J=b_2$	$G<0$	III	G	$-(R^2-X^2)^{1/2}$	$0<G\leq R$	III	$-(R^2-Y^2)^{1/2}$	-G
	$0<G\leq R$	IV	G	$-(R^2-X^2)^{1/2}$	$R<G\leq 2R$	IV	$(R^2-Y^2)^{1/2}$	G-2R
	$R<G\leq 2R$	I	2R-G	$(R^2-X^2)^{1/2}$	$2R<G\leq 3R$	I	$(R^2-Y^2)^{1/2}$	G-2R
	$2R<G\leq 3R$	II	2R-G	$(R^2-X^2)^{1/2}$	$3R<G\leq 4R$	II	$-(R^2-Y^2)^{1/2}$	4R-G
	$3R<G\leq 4R$	III	G-4R	$-(R^2-X^2)^{1/2}$	$4R<G\leq 5R$	III	$-(R^2-Y^2)^{1/2}$	4R-G
NR4 $I=-b_1$, $J=b_2$	$G=b_3+b_1$, 计数方向 GX				$G=b_3-b_2$, 计数方向 GY			
	象限判别	终点象限	终点坐标		象限判别	终点象限	终点坐标	
			X	Y			X	Y
	$0<G\leq R$	IV	G	$-(R^2-X^2)^{1/2}$	$G<0$	IV	$(R^2-Y^2)^{1/2}$	G
	$R<G\leq 2R$	I	2R-G	$(R^2-X^2)^{1/2}$	$0<G\leq R$	I	$(R^2-Y^2)^{1/2}$	G
NR4 $I=b_1$, $J=b_2$	$2R<G\leq 3R$	II	2R-G	$(R^2-X^2)^{1/2}$	$R<G\leq 2R$	II	$-(R^2-Y^2)^{1/2}$	2R-G
	$3R<G\leq 4R$	III	G-4R	$-(R^2-X^2)^{1/2}$	$2R<G\leq 3R$	III	$-(R^2-Y^2)^{1/2}$	2R-G
	$4R<G\leq 5R$	IV	G-4R	$-(R^2-X^2)^{1/2}$	$3R<G\leq 4R$	IV	$(R^2-Y^2)^{1/2}$	G-4R

表 1-8 顺圆终点判别及计算

	$G=b_3+b_1$, 计数方向 GX				$G=b_3-b_2$, 计数方向 GY			
	象限判别	终点	终点坐标		象限判别	终点	终点坐标	
			X	Y			X	Y
SR1 $I=-b_1$, $J=-b_2$	$0 < G \leq R$	I	G	$(R^2 - X^2)^{1/2}$	$G < 0$	I	$(R^2 - Y^2)^{1/2}$	-G
	$R < G \leq 2R$	II	$2R - G$	$(R^2 - X^2)^{1/2}$	$0 < G \leq R$	II	$-(R^2 - Y^2)^{1/2}$	-G
	$2R < G \leq 3R$	III	$2R - G$	$-(R^2 - X^2)^{1/2}$	$R < G \leq 2R$	III	$-(R^2 - Y^2)^{1/2}$	G-2R
	$3R < G \leq 4R$	IV	$G - 4R$	$-(R^2 - X^2)^{1/2}$	$2R < G \leq 3R$	IV	$(R^2 - Y^2)^{1/2}$	G-2R
	$4R < G \leq 5R$	I	$G - 4R$	$(R^2 - X^2)^{1/2}$	$3R < G \leq 4R$	I	$(R^2 - Y^2)^{1/2}$	4R-G
SR2 $I=b_1$, $J=b_2$	$G=b_3-b_1$, 计数方向 GX				$G=b_3+b_2$, 计数方向 GY			
	象限判别	终点	终点坐标		象限判别	终点	终点坐标	
			X	Y			X	Y
	$G < 0$	II	G	$(R^2 - X^2)^{1/2}$	$0 < G \leq R$	II	$-(R^2 - Y^2)^{1/2}$	G
	$0 < G \leq R$	III	G	$-(R^2 - X^2)^{1/2}$	$R < G \leq 2R$	III	$-(R^2 - Y^2)^{1/2}$	2R-G
SR3 $I=b_1$, $J=b_2$	$R < G \leq 2R$	IV	$2R - G$	$-(R^2 - X^2)^{1/2}$	$2R < G \leq 3R$	IV	$(R^2 - Y^2)^{1/2}$	2R-G
	$2R < G \leq 3R$	I	$2R - G$	$(R^2 - X^2)^{1/2}$	$3R < G \leq 4R$	I	$(R^2 - Y^2)^{1/2}$	G-4R
	$3R < G \leq 4R$	II	$G - 4R$	$(R^2 - X^2)^{1/2}$	$4R < G \leq 5R$	II	$-(R^2 - Y^2)^{1/2}$	G-4R
	$G=b_3+b_1$, 计数方向 GX				$G=b_3-b_2$, 计数方向 GY			
	象限判别	终点	终点坐标		象限判别	终点	终点坐标	
			X	Y			X	Y
SR4 $I=-b_1$, $J=b_2$	$0 < G \leq R$	III	-G	$-(R^2 - X^2)^{1/2}$	$G < 0$	III	$-(R^2 - Y^2)^{1/2}$	G
	$R < G \leq 2R$	IV	$G - 2R$	$-(R^2 - X^2)^{1/2}$	$0 < G \leq R$	IV	$(R^2 - Y^2)^{1/2}$	G
	$2R < G \leq 3R$	I	$G - 2R$	$(R^2 - X^2)^{1/2}$	$R < G \leq 2R$	I	$(R^2 - Y^2)^{1/2}$	2R-G
	$3R < G \leq 4R$	II	$4R - G$	$(R^2 - X^2)^{1/2}$	$2R < G \leq 3R$	II	$-(R^2 - Y^2)^{1/2}$	2R-G
	$4R < G \leq 5R$	III	$4R - G$	$-(R^2 - X^2)^{1/2}$	$3R < G \leq 4R$	III	$-(R^2 - Y^2)^{1/2}$	G-4R
SR4 $I=-b_1$, $J=b_2$	$G=b_3-b_1$, 计数方向 GX				$G=b_3+b_2$, 计数方向 GY			
	象限判别	终点	终点坐标		象限判别	终点	终点坐标	
			X	Y			X	Y
	$G < 0$	IV	-G	$-(R^2 - X^2)^{1/2}$	$0 < G \leq R$	IV	$(R^2 - Y^2)^{1/2}$	-G
	$0 < G \leq R$	I	-G	$(R^2 - X^2)^{1/2}$	$R < G \leq 2R$	I	$(R^2 - Y^2)^{1/2}$	G-2R
SR4 $I=-b_1$, $J=b_2$	$R < G \leq 2R$	II	$G - 2R$	$(R^2 - X^2)^{1/2}$	$2R < G \leq 3R$	II	$-(R^2 - Y^2)^{1/2}$	G-2R
	$2R < G \leq 3R$	III	$4R - G$	$-(R^2 - X^2)^{1/2}$	$3R < G \leq 4R$	III	$-(R^2 - Y^2)^{1/2}$	4R-G
	$3R < G \leq 4R$	IV	$4R - G$	$-(R^2 - X^2)^{1/2}$	$4R < G \leq 5R$	IV	$(R^2 - Y^2)^{1/2}$	4R-G

1.4.3 加工操作

有了好的机床、好的控制系统、好的电源及比较合理的程序，不一定就能加工出好的工件，还必须重视线切割加工时的工艺技术和技巧，因此做好加工前的准备工作，合理地安排加工工艺路线，合理地选择加工参数等都是高效率地加工出合格产品的重要环节。

1. 加工流程及步骤

(1) 加工流程 电火花线切割加工通常作为零件的精加工工序，一般放在机加工工序和热处理工序之后，最终使零件达到图样要求的尺寸精度、几何公差和表面粗糙度等工艺指标。电火花线切割加工流程如图 1-30 所示。

(2) 加工步骤 在电火花线切割加工前首先要准备好工件毛坯，如果加工的是凹形类封闭零件，还要在毛坯上按要求加工穿丝孔，然后根据毛坯及零件的批量选择夹具、压板等工具，接下来一般按照下列步骤进行：

1) 合上机床电源开关，按下机床起动按钮，进入操作系统，回到原点；手工或利用 CAD/CAM 完成程序编制及加工中必要的参数设置工作。

2) 手动操作机床，检查机床各部分是否正常。例如工作台移动方向是否正确，限位开关动作是否可靠，储丝筒运行是否正常，工作液供给是否充足通畅等，同时要按要求对机床需要润滑的部位进行润滑处理。

3) 根据机床的功能进行手动上丝或机动上丝操作，根据零件切割要求，选择合适的方法将电极丝找正。

4) 安装好工件，根据工件厚度将 Z 轴调整到合适的位置，对于具有锁紧要求的机床还要将机床锁紧。

5) 根据有关参数，将电极丝移到起点位置。

6) 在正式加工前要校验程序的正确性，以防止在加工中出现错误造成废品。程序无误后再将机床系统设置到加工状态。

7) 运行程序，开始加工，调节上、下喷嘴的喷液流量。观察切割情况，必要时，在合适的位置可以对电参数进行调整，并作好相关记录。

8) 加工后对工件进行检测，根据检测结果及加工中参数的修正情况，对程序进行编辑完善。

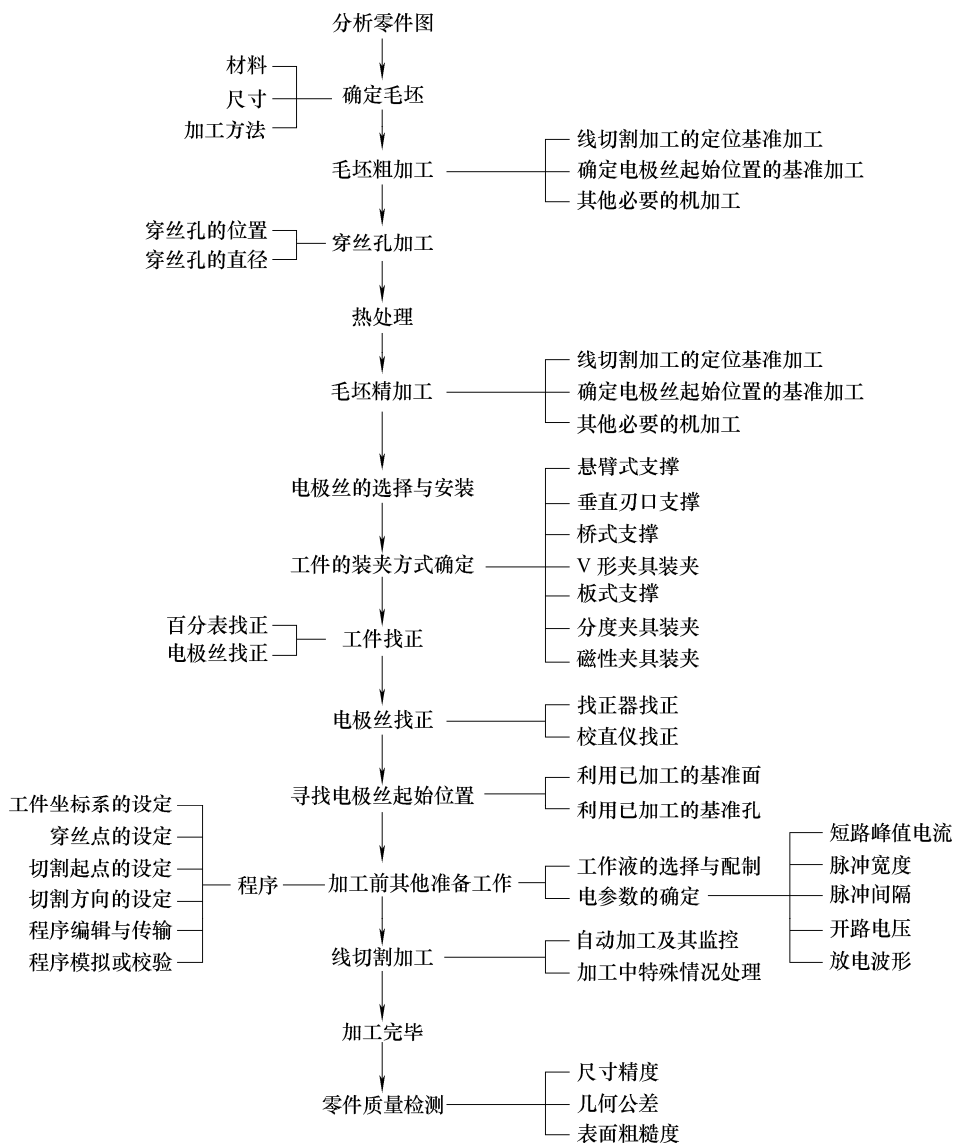


图 1-30 电火花线切割加工流程图

2. 图样分析与毛坯准备

(1) 分析和审核零件图 分析零件图对保证工件加工质量和工件的综合技术指标有决定意义。在分析零件图样时，首先要挑出不能或不宜用电火花线切割加工的零件图样，通常有以下几种：

1) 表面粗糙度或尺寸精度要求很高，使用线切割加工无法达到要

求的工件。

2) 零件中的窄缝小于电火花线切割加工的间隙, 或零件内轮廓拐角处的圆角半径小于电极丝半径与放电间隙之和。

3) 非导电材料。

4) 工件厚度大于丝架的最大跨距。

5) 线切割机床的 X 、 Y 滑板的有效行程长度不能满足工件加工尺寸的要求。

(2) 常用材料及热处理和其切割性能 线切割常用材料及性能如表 1-9 所示。

表 1-9 线切割加工常用材料及性能

材 料		特 点	应 用	切 割 性 能
碳素工具钢 T7、T8、T10A、T12A		淬火硬度高, 淬火后表面约为 62HRC, 有一定的耐磨性, 成本较低。但其淬透性较差, 淬火变形大, 因而在线切割加工前要经热处理预加工, 以消除内应力	碳素工具钢以 T10 应用最为广泛, 一般用于制造尺寸不大、形状简单、受轻负荷的冷冲模零件	碳素工具钢由于含碳量高, 加之淬火后切割易变形, 其切割性能不是很好, 切割速度较之合金工具钢稍慢, 切割表面偏黑, 切割表面的均匀性较差, 易出现短路条纹。如热处理不当, 加工中会发生开裂
合金工具钢	低合金工具钢 9Mn2V、MnCrWV、CrWMn、9CrWMn、GCr15	淬透性、耐磨性、淬火变形均比碳素工具钢好。CrWMn 为典型的低合金钢, 除了其韧性稍差外, 基本具备了低合金工具钢的优点	低合金工具钢常用来制造形状复杂、变形要求小的各种中、小型冲模、型腔模的型腔、型芯	具有良好的切割加工性能, 其加工速度、表面质量均较好
	高合金工具钢 Cr12、Cr12MoV、Cr4W2MoV、W18Cr4V	有高的淬透性、耐磨性, 热处理变形小, 能承受较大的冲击负荷	Cr12、Cr12MoV 广泛用于制造承载大、冲次多、工件形状复杂的模具。Cr4W2MoV、W18Cr4V 用于制造形状复杂的冷冲模、冷挤模	具有良好的线切割加工性能, 切割速度快, 加工表面光亮、均匀, 有较小的表面粗糙度
优质碳素结构钢	20	经表面渗碳淬火, 可获得较高的表面硬度和芯部的韧性	适用于冷挤法制造形状复杂的型腔模	线切割加工性能一般, 淬火件的切割性能比未淬火件好, 加工速度比合金工具钢稍慢, 表面粗糙度值较大
	45	具有较高的强度, 经调质处理有较好的综合力学性能, 可进行表面或整体淬火以提高硬度	常用于制造塑料模和压铸模	
硬质合金 YG 和 YT		硬度高、结构稳定、变形小	常用来制造各种复杂的模具和刀具	线切割加工速度较低, 但表面粗糙度值较小。由于线切割加工时使用水质工作液, 其表面会产生具有显微裂纹的变质层

(续)

材 料	特 点	应 用	切 割 性 能
纯 铜	具有良好的导电性、导热性、耐腐蚀性和塑性	模具制造行业常用纯铜制作电极,这类电极往往形状复杂,精度要求高,需用线切割来加工	高速走丝加工纯铜的线切割速度一般,是合金工具钢的 50%~60%,表面粗糙度值较大,放电间隙也较大,但其线切割加工稳定性比较好。低速走丝时因选用铜的专用切削条件,故加工速度很快,是钢加工速度的 2~3 倍
石 墨	具有导电性和耐腐蚀性	用于制作电极	石墨的线切割加工性能很差,效率只有合金工具钢的 20%~30%,其放电间隙小,不易排屑,加工时易短路,属不易加工材料
铝 合 金	质量轻又具有金属的强度	常用来制作一些结构件,在机械上也可做连接件等	切割速度是合金工具钢的 3~4 倍,加工后表面光亮,表面粗糙度一般

(3) 穿丝孔的加工

1) 加工穿丝孔的目的。在使用线切割加工凹形类封闭零件时,为了保证零件的完整性,在线切割加工前必须加工穿丝孔。对于凸形类零件在线切割加工前一般不需要加工穿丝孔,但当零件的厚度较大或切割的边比较多,尤其对四周都要切割及精度要求较高的零件,在切割前也必须加工穿丝孔,此时加工穿丝孔的目的是减小凸形类零件在切割中的变形。这是因为凸形类零件在线切割加工过程中毛坯材料的内应力会失去平衡而产生变形,影响加工精度,严重时切缝会夹住或拉断电极丝,使加工无法进行,从而造成工件报废。如图 1-31 所示,当采用穿丝孔切割时,由于毛坯料保持完整,不仅有效地防止夹丝和断丝的发生,同时还提高了零件的加工精度。

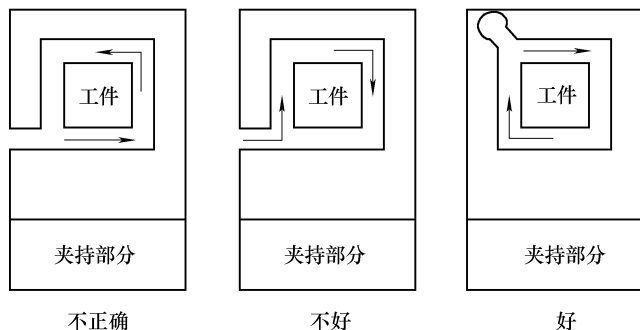


图 1-31 切割凸模有无穿丝孔的比较

2) 穿丝孔的大小与位置选择。穿丝孔作为工件加工的工艺孔,是电极丝相对于工件运动的起点,同时也是程序执行的起始位置。穿丝孔应选择在容易找正和便于编程计算的位置。在采用手工编程中,当切割尺寸较小的凹形零件时,通常将穿丝孔设在凹型的中心。其优点是能较快、较准确地加工出穿丝孔,同时还有利于控制坐标轨迹的计算。但这种方法切割的无用行程较长,因此不适合大尺寸的凹形零件的加工。

在切割凸形零件或大尺寸的凹形类零件时,一般将穿丝孔设在切割的起点附近,同时穿丝孔的位置还应是便于记忆和便于确定坐标的点;对于大尺寸零件,在切割前应沿加工轨迹设置多个穿丝孔,以便发生断丝时能就近重新穿丝,切入断丝点。穿丝孔的直径受到切割轮廓的尺寸限制,一般不宜太大也不宜太小,穿丝孔太大,有可能在加工穿丝孔时孔钻偏或钻斜而损坏工件,穿丝孔过小又会使穿丝不方便。

3) 穿丝孔的加工。穿丝孔的加工一般采用钻孔,也有的采用镗孔。采用钻孔和镗孔时,穿丝孔直径一般在 $3\sim 10\text{mm}$ 。近来较为广泛地使用电火花小孔机床加工穿丝孔,这种方法加工的穿丝孔直径一般在 $0.3\sim 3\text{mm}$,其加工速度可达 $6\sim 60\text{mm/min}$ 。

在线切割加工中,如果利用穿丝孔作为基准,那么该穿丝孔在加工时必须保证其位置精度、尺寸精度和孔的表面粗糙度。如果穿丝孔是线切割加工的位置基准,穿丝孔在加工时可以采用钻、扩或钻、扩、铰等较为精密的机械加工方法;如果穿丝孔不是线切割加工的位置基准,一般采用钻孔或电火花穿孔加工等方法就可以满足要求。

如果在一个工件上要加工多个凹形封闭型腔,那么就需要加工多个穿丝孔,此时要注意各个穿丝孔的相对位置,如果穿丝孔不是线切割加工的位置基准,都采用钻孔的方法就可以满足要求;如果要利用穿丝孔作为基准,其实只是使用第一个要加工的凹形封闭型腔的穿丝孔作为基准,只要加工该孔时选择较为精密的机械加工方法加工,其余的穿丝孔只需使用钻孔的方法即可,其他穿丝点的位置控制由程序来完成。在低速走丝加工中,用穿丝孔找正的比较少,一般均在工件的外端面找正。

3. 工件的装夹

(1) 装夹特点

1) 由于线切割的加工作用力小, 不像金属切削机床要承受很大的切削力, 因而其装夹的夹紧力要求不大, 有的工件加工时还可用磁力夹具来夹紧。

2) 高速走丝线切割机的工作液是靠高速运行的电极丝带入切缝的, 不像低速走丝那样要进行高压冲液。对切缝周围的材料余量没有要求, 因此工件装夹比较方便。

3) 线切割是一种贯通加工方法, 因而工件装夹后被切割区域要悬空于工作台的有效切割区域, 一般采用悬臂支撑或桥式支撑方式装夹。

(2) 装夹的一般要求

1) 工件的定位面要有良好的精度, 一般以磨削加工过的面定位为好, 定位面加工后应保证清洁无毛刺, 通常要对棱边进行倒钝处理、孔口进行倒角处理。

2) 切入点的导电性能要好, 对于热处理工件切入处及扩孔的台阶处都要进行去积盐及氧化皮处理。

3) 热处理工件要进行充分回火以便去除应力, 经过平面磨削加工后的工件要进行充分退磁。

4) 工件装夹的位置应有利于工件找正, 并应与机床的行程相适应。夹紧螺钉高度要合适, 保证在加工的全程范围内, 工件、夹具与丝架不能发生干涉。

5) 对工件的夹紧力要均匀, 不得使工件变形和翘起。

6) 批量生产时, 最好采用专用夹具, 以利于提高生产率。夹具应具有必要的精度, 并将其稳固地固定在工作台上, 拧紧螺钉时用力要均匀。

7) 细小、精密、薄壁的工件应先固定在不易变形的辅助夹具上再进行装夹, 否则将无法加工。

8) 加工精度要求较高时, 工件装夹后, 还必须进行六面拉表找正。

4. 数控快走丝线切割加工机床的操作

下面以苏州长风 DK7725E 型线切割机床为例, 介绍线切割机床的操作。图 1-32 所示为 DK7725E 型线切割机床的操作面板。

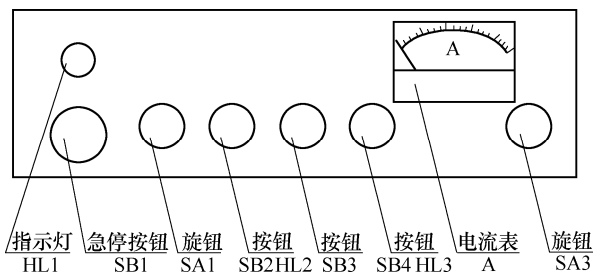


图 1-32 DK7725E 型线切割机床操作面板

(1) 开机与关机程序

1) 开机程序:

- ① 合上机床主机上的电源总开关。
- ② 松开机床电气面板上急停按钮 SB1。
- ③ 合上控制柜上的电源开关, 进入线切割机床控制系统。
- ④ 按要求装上电极丝。
- ⑤ 逆时针旋转 SA1, 选择合适的脉冲宽度。
- ⑥ 按 SB2, 起动运丝电动机。
- ⑦ 按 SB4, 起动冷却泵。
- ⑧ 顺时针旋转 SA3, 接通脉冲电源。

2) 关机程序:

- ① 逆时针旋转 SA3, 切断脉冲电源。
- ② 按下急停按钮 SB1; 运丝电动机和冷却泵将同时停止工作。
- ③ 关闭控制柜电源。
- ④ 关闭机床主机电源。

(2) 脉冲电源 DK7725E 型线切割机床脉冲电源的操作面板如图 1-33 所示。电源参数如下。

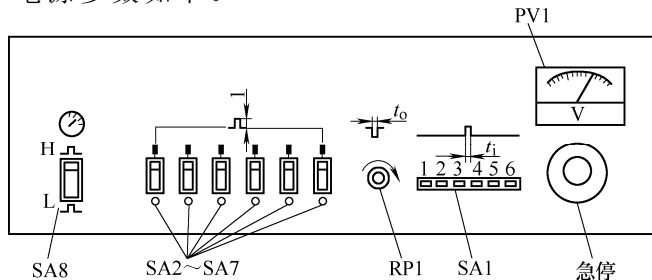


图 1-33 DK7725E 型线切割机床脉冲电源操作面板

SA1—脉冲宽度选择 SA2~SA7—功率管选择 SA8—幅值电压选择
RP1—脉冲间隔调节 PV1—幅值电压指示 急停按钮—按下此按钮,
机床运丝、冷却泵电动机全停, 脉冲电源输出切断

1) 脉冲宽度。脉冲宽度的选择开关 SA1 共分 6 挡, 从左边开始往右边分别为: 第 1 挡: $5\mu\text{s}$, 第 2 挡: $15\mu\text{s}$, 第 3 挡: $30\mu\text{s}$, 第 4 挡: $50\mu\text{s}$, 第 5 挡: $80\mu\text{s}$, 第 6 挡: $120\mu\text{s}$ 。

2) 功率管。功率管选择开关 SA2~SA7 可控制参加工作的功率管个数, 如 6 个开关均接通, 6 个功率管同时工作, 这时峰值电流最大。如 5 个开关全部关闭, 只有一个功率管工作, 此时峰值电流最小。每个开关控制一个功率管。

3) 幅值电压。幅值电压选择开关 SA8 用于选择空载脉冲电压幅值, 开关按至“L”位置, 电压为 75V 左右, 按至“H”位置, 则电压为 100V 左右。

4) 脉冲间隙。调节电位器 RP1 阻值, 可改变输出矩形脉冲波形的脉冲间隔 t_0 , 即能改变加工电流的平均值, 电位器旋置最左, 脉冲间隔最小, 加工电流的平均值最大。

5) 电压表。电压表 PV1, 由 0~150V 直流表指示空载脉冲电压幅值。

(3) 线切割机床控制系统 DK7725E 型线切割机床配有 CNC-10A 自动编程系统和控制系统, 图 1-34 所示为 CNC-10A 控制系统主界面。

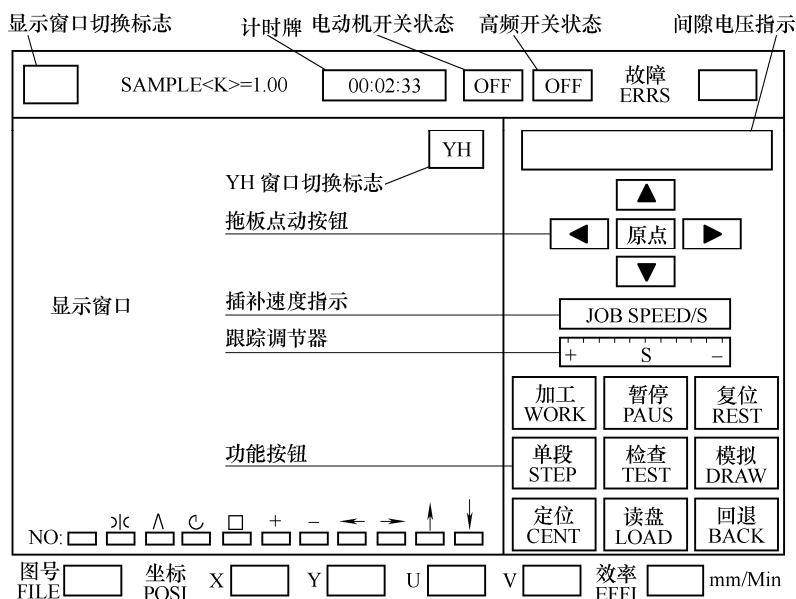


图 1-34 CNC-10A 控制系统主界面

1) 系统的起动与退出。在计算机桌面上双击“YH”图标,即可进入 CNC-10A 控制系统;按“Ctrl+Q”键退出控制系统。

2) CNC-10A 控制系统功能及操作说明。本系统所有的操作按钮、状态、图形显示等全部在屏幕上实现。各种操作命令均可用轨迹球或相应的按钮完成。鼠标操作时,可移动鼠标,使屏幕上显示的箭头状光标指向选定的屏幕按钮或位置,然后用鼠标器左键单击,即可选择相应的功能。如图 1-34 所示,各种控制功能如下所述。

显示窗口:该窗口用来显示加工工件的图形轮廓、加工轨迹或相对坐标、加工代码。

显示窗口切换标志:用轨迹球点取该标志(或按“F10”),可改变显示窗口的内容。系统进入时,首先显示图形,以后每点取一次该标志,依次显示“相对坐标”、“加工代码”、“图形”……其中在相对坐标方式下,以大号字体显示当前加工代码的相对坐标。

间隙电压指示:显示放电间隙的平均电压波形(也可以设定为指针式电压表方式)。在波形显示方式下,指示器两边各有一条 10 等分线段,空载间隙电压定为 100%(即满幅值),等分线段下端的黄色线段指示间隙短路电压的位置。波形显示的上方有两个指示标志:短路回退标志,该标志变红色,表示短路;短路率指示,表示间隙电压在设定短路值以下的百分比。

电动机开关状态:在电动机标志右边有状态指示标志 ON(红色)或 OFF(黄色)。ON 状态,表示电动机上电锁定(进给);OFF 状态为电动机释放。用光标点取该标志可改变电动机状态(或用数字小键盘区的“Home”键)。

高频开关状态:在脉冲波形图符右侧有高频电压指示标志。ON(红色)、OFF(黄色)表示高频的开启与关闭;用光标点取该标志可改变高频状态(或用数字小键盘区的“PgUp”键)。在高频开启状态下,“间隙电压指示”将显示电压波形。

拖板点动按钮:屏幕右中部有上下左右向 4 个箭头按钮,可用来控制机床点动运行。若电动机为 ON 状态,用光标点取这 4 个按钮可以控制机床按设定参数作 X、Y 或 U、V 方向点动或定长走步。在电动机失电状态(OFF)下,点取移动按钮,仅用作坐标计数。

原点:用光标点取该按钮(或按“I”键)进入回原点功能。若电

动机为 ON 状态，系统将控制拖板和丝架回到加工起点（包括 U 、 V 坐标），返回时取最短路径；若电动机为 OFF 状态，光标返回坐标系原点。

功能按钮包括加工、暂停、复位、单段、检查、模拟、定位、读盘和回退等，具体如下所述。

加工：工件安装完毕，程序准备就绪后（已模拟无误），可进入加工。用光标点取该按钮（或按“W”键），系统进入自动加工方式。首先自动打开电动机和高频，然后进行插补加工。此时应注意屏幕上间隙电压指示器的间隙电压波形（平均波形）和加工电流。若加工电流过小且不稳定，可用光标点取跟踪调节器的“+”按钮（或“End”键），加强跟踪效果。反之，若频繁地出现短路等跟踪过快现象，可点取跟踪调节器“-”按钮（或“PageDown”键），直至加工电流、间隙电压波形、加工速度平稳。加工状态下，屏幕下方显示当前插补的 X - Y 、 U - V 绝对坐标值，显示窗口绘出加工工件的插补轨迹。显示窗口下方的显示器调节按钮可调整插补图形的大小和位置，或者开启/关闭局部放大窗口。点取“显示窗口切换标志”，可选择图形/相对坐标显示方式。

暂停：用光标点取该按钮（或按“P”键或数字小键盘区的“Del”键），系统将终止当前的功能（如加工、单段、控制、定位、回退）。

复位：用光标点取该按钮（或按“R”键）将终止当前一切工作，消除数据和图形，关闭高频和电动机。

单段：用光标点取该按钮（或按“S”键），系统自动打开电动机、高频，进入插补工作状态，加工至当前代码段结束时，系统自动关闭高频，停止运行；再按“单段”，继续进行下段加工。

检查：用光标点取该按钮（或按“T”键），系统以插补方式运行一步，若电动机处于 ON 状态，机床拖板将作相应的一步动作，在此方式下可检查系统插补及机床的功能是否正常。

模拟：可检验代码及插补的正确性。在电动机失电状态下（OFF 状态），系统以 2500 步/s 的速度快速插补，并在屏幕上显示其轨迹及坐标。若在电动机锁定状态下（ON 状态），机床空走插补，拖板将随之动作，可检查机床控制联动的精度及正确性。“模拟”操作方法如下：

① 读入加工程序。

② 根据需要选择电动机状态后，按“模拟”按钮（或“D”键），即进入模拟检查状态。

屏幕下方显示当前插补的 X - Y 、 U - V 坐标值（绝对坐标），若需要观察相对坐标，可用光标点取显示窗右上角的“显示窗口切换标志”（或“F10”键），系统将以大号字体显示；再点取“显示窗口切换标志”，将交替地处于图形/相对坐标显示方式；点取图形显示调整按钮最左边的局部放大窗口按钮（或“F1”键），可在显示窗口的左上角打开一局部放大窗口，在局部放大窗口内显示放大 10 倍的插补轨迹。若需中止模拟过程，可按“暂停”按钮。

③ 定位：光标点取电动机状态标志，使其成为“ON”（原为“ON”可省略此步骤）。按“定位”按钮（或“C”键），系统将根据选定的方式自动进行对中心、定端面的操作。在钼丝遇到工件某一端面时，屏幕会在相应位置显示一条亮线。按“暂停”按钮，可中止定位操作。用光标点取屏幕右中处的参数窗标志“OPEN”（或按“O”键），屏幕上将弹出参数设定窗，可见其中有“定位 LOCATION XOY”一项；将光标移至“XOY”处轻点左键，将依次显示为“XOY、XMAX、XMIN、YMAX、YMIN”；选定合适的定位方式后，用光标点取参数设定窗左下角的“CLOSE”标志。

④ 读盘：将存有加工代码文件的盘插入驱动器中，用光标点取该按钮（或按“L”键），屏幕出现磁盘上存储全部代码文件名的数据窗口。用光标指向需读取的文件名，轻点左键，该文件名背景变成黄色；然后用光标点取该数据窗左上角的“口”（撤销）按钮，系统自动读入选定的代码文件，并快速绘出图形。该数据窗的右边有上下两个三角标志“△”按钮，可用来向前或向后翻页，当代码文件不在当前页中显示时，可用翻页来选择。

⑤ 回退：系统具有自动/手动回退功能。在加工或单段加工中，一旦出现高频短路现象，系统即自动停止插补，若在设定的控制时间内（由机床参数设置），短路达到设定的次数，系统将自动回退。若在设定的控制时间内，短路仍不能消除，系统将自动切断高频，停机。

在系统静止状态（“非加工”或“单段”），按下“回退”按钮（或按“B”键），系统做回退运行，回退至当前段结束时，自动停止；若再按该按钮，继续前一段的回退。

⑥ 跟踪调节器：该调节器用来调节跟踪的速度和稳定性，调节器中间红色指针表示调节量的大小；表针向左移动，位跟踪加强（加速）；向右移动，位跟踪减弱（减速）。指针表两侧有两个按钮，“+”按钮（或“PgUp”键）加速，“-”按钮（或“PgDn”键）减速；调节器上方英文字母“JOB SPEED/S”后面的数字量表示加工的瞬时速度。单位为步/s。

⑦ 当前段号显示：此处位于显示窗口左下角，左边有“NO:”，用来显示当前加工的代码段号，也可用光标点取该处，在弹出屏幕小键盘后，键入需要起割的段号（注：锥度切割时，不能任意设置段号）。

⑧ 局部放大窗口按钮：单击该按钮（或“F1”键），可在显示窗口的左上方打开一局部放大窗口，其中将显示放大 10 倍的当前插补轨迹；再按该按钮时，局部放大窗口关闭。

⑨ 图形显示调整按钮：有几个按钮能完成 6 个功能，在图形显示状态时，其功能依次为：

“+”或“F2”键：图形放大 1.2 倍；

“-”或“F3”键：图形缩小 0.8 倍；

“←”或“F4”键：图形向左移动 20 单位；

“→”或“F5”键：图形向右移动 20 单位；

“↑”或“F6”键：图形向上移动 20 单位；

“↓”或“F7”键：图形向下移动 20 单位。

⑩ 坐标显示：屏幕下方“坐标”部分显示 X 、 Y 、 U 、 V 的绝对坐标值。

⑪ 效率：此处显示加工的效率，单位为 mm/min ；系统每加工完一条代码，即自动统计所用的时间，并求出效率。

⑫ YH 窗口切换：光标点取该标志或按“ESC”键，系统转换到绘图式编程屏幕。

⑬ 图形显示的缩放及移动：在图形显示窗下有小按钮，从最左边算起分别为对称加工、平移加工、旋转加工和局部放大窗口开启/关闭（仅在模拟或加工态下有效），其余依次为放大、缩小、左移、右移、上移、下移，可根据需要选用这些功能，调整图形在显示窗口中的大小及位置。

具体操作可用轨迹球点取相应的按钮，或在局部放大窗口直接按

“F1”、“F2”、“F3”、“F4”、“F5”、“F6”、“F7” 键。

⑭ 代码的显示、编辑、存盘和倒置：用光标点取显示窗右上角的显示窗口切换标志（或“F10”键），显示窗依次为图形显示、相对坐标显示、代码显示（模拟、加工、单段工作时不能进入代码显示方式）。

在代码显示状态下用光标点取任一有效代码行，该行即点亮，系统进入编辑状态，显示调节功能按钮上的标记符号变成：S、I、D、Q、↑、↓，各按钮的功能为：

S——代码存盘；

I——代码倒置（倒走代码变换）；

D——删除当前行（点亮行）；

Q——退出编辑状态；

↑——向上翻页；

↓——向下翻页。

在编辑状态下可对当前点亮行用键盘进行输入、删除操作。编辑结束后，按“Q”键退出，返回图形显示状态。

⑮ 计时牌功能：系统在加工、模拟、单段工作时，自动打开计时牌。终止插补运行，计时自动停止。用光标点取计时牌，或按“0”键可将计时牌清零。

⑯ 倒切割处理：读入代码后，点取显示窗口切换标志或按“F10”键，直至显示加工代码。用光标在任一行代码处轻点一下，该行点亮。窗口下面的图形显示调整按钮标志转成 S、I、D、Q 等；按“I”按钮，系统自动将代码倒置（上下异形件代码无此功能）；按“Q”键退出，窗口返回图形显示。在右上角出现倒走标志“V”，表示代码已倒置，加工、单段、模拟以倒置方式工作。

⑰ 断丝处理：加工遇到断丝时，可按“原点”按钮（或按“I”键）拖板将自动返回原点，锥度丝架也将自动回直。要注意的是，断丝后切不可关闭电动机，否则将无法正确返回原点。若工件加工已将近结束，可将代码倒置后，再行切割，即反向切割。

（4）线切割机床绘图式自动编程系统

1) CNC-10A 绘图式自动编程系统界面。在控制屏幕中用光标点取左上角的“YH”窗口切换标志（或按“Esc”键），系统将转入 CNC-10A 编程屏幕。图 1-35 所示为绘图式自动编程系统主界面。

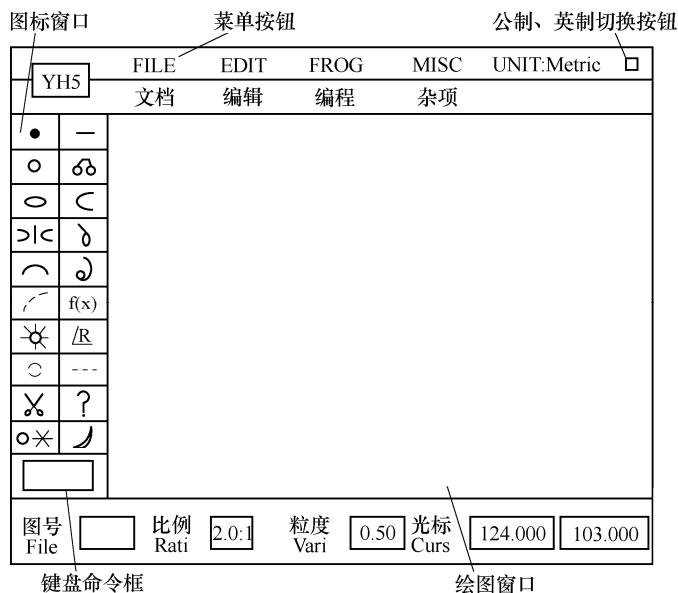


图 1-35 绘图式自动编程系统主界面

2) CNC-10A 绘图式自动编程系统图标命令和菜单命令。CNC-10A 绘图式自动编程系统的操作集中在 20 个命令图标和 4 个弹出式菜单内，它们构成了系统的基本工作平台。在此平台上，可进行绘图和自动编程。表 1-10 为 20 个命令图标功能，图 1-36 为菜单功能。

表 1-10 绘图命令图标功能简介

命令功能	图标	命令功能	图标
点输入	●	直线输入	—
圆输入	○	公切线/公切圆输入	⊙
椭圆输入	⊖	抛物线输入	⌒
双曲线输入	⌢	渐开线输入	⌋
摆线输入	⌒	螺旋线输入	⌚
列表点输入	⋯	任意函数方程输入	f(x)
齿轮输入	⚙	过渡圆输入	⌒
辅助圆输入	⊙	辅助线输入	---
删除线段	✂	询问	?
清理	○✂	重画	↺

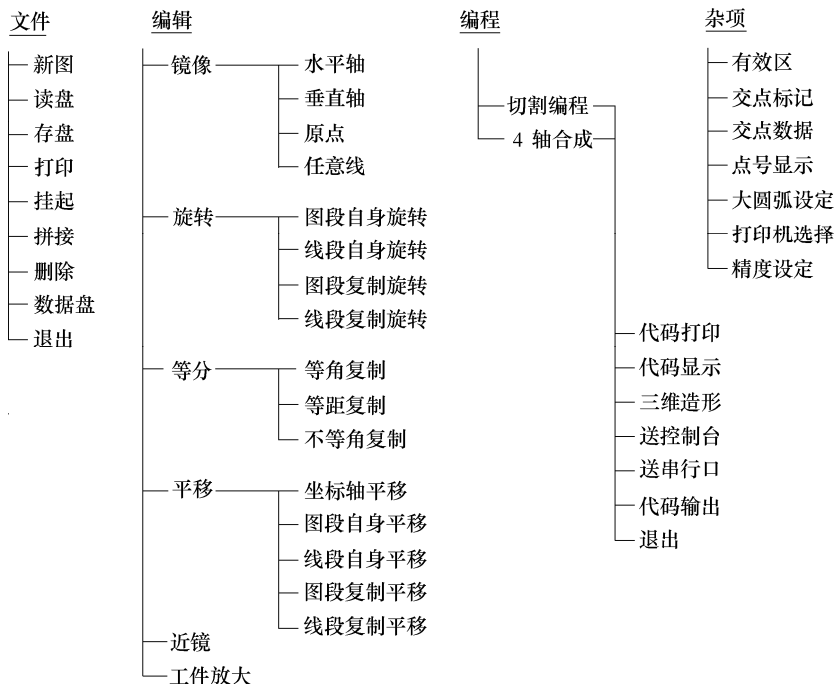


图 1-36 CNC-10A 自动编程系统的菜单功能

(5) 电极丝的绕装 如图 1-37、图 1-38 所示，电极丝的具体绕装过程如下：

- 1) 机床操纵面板 SA1 旋钮左旋。
- 2) 上丝起始位置在储丝筒右侧，用摇柄手动将储丝筒右侧停在丝架中心位置。
- 3) 将右边撞块压住换向行程开关触点，左边撞块尽量拉远。
- 4) 松开上丝器上的螺母，装上钼丝盘后拧紧螺母。
- 5) 旋转调节螺母，将钼丝盘压力调节适中。
- 6) 将钼丝一端通过图中的排丝轮上丝后，固定在储丝筒右侧的螺钉上。
- 7) 空手逆时针转动储丝筒几圈，转动时撞块不能脱开换向行程开关触点。
- 8) 按操纵面板上 SB2 旋钮（运丝开关），储丝筒转动，钼丝自动缠绕在储丝筒上，达到要求后，按操纵面板上 SB1 急停旋钮，即可将

电极丝装在储丝筒上, 如图 1-36 所示。

9) 按图 1-37 所示的方式, 将电极丝绕至丝架上。

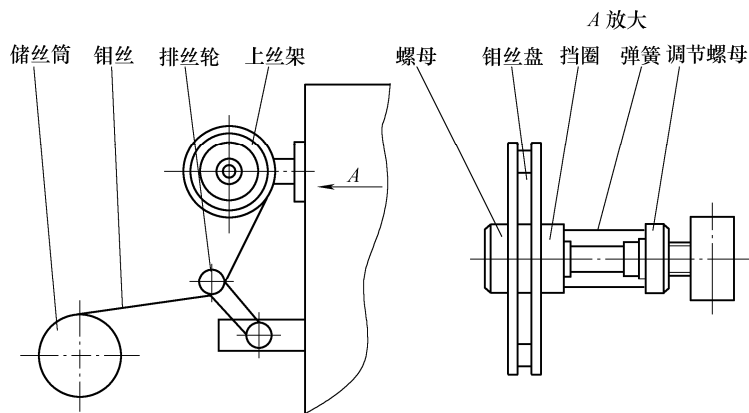


图 1-37 电极丝绕至储丝筒上示意图

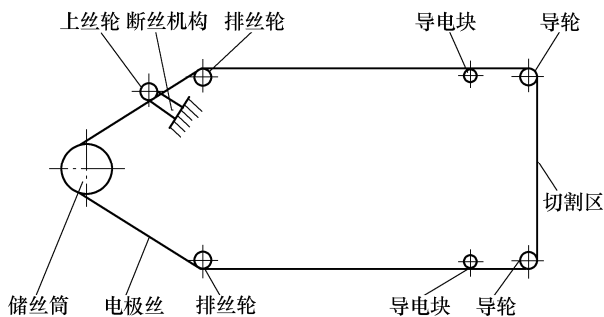


图 1-38 电极丝绕至丝架上示意图

(6) 工件的装夹与找正

- 1) 装夹工件前先校正电极丝与工作台的垂直度。
- 2) 选择合适的夹具将工件固定在工作台上。
- 3) 按工件图样要求用百分表或其他量具找正基准面, 使之与工作台的 X 向或 Y 向平行。
- 4) 工件装夹位置应保证工件切割区在机床行程范围之内。
- 5) 调整好机床丝架高度, 切割时, 保证工件和夹具不会碰到丝架的任何部分。

(7) 机床操作步骤

- 1) 合上机床主机的电源开关。
- 2) 合上机床控制柜上的电源开关, 开启计算机, 双击计算机桌面

上“YH”图标，进入线切割控制系统。

3) 解除机床主机上的急停按钮。

4) 按机床润滑要求加注润滑油。

5) 开启机床空载运行 2min，检查其工作状态是否正常。

6) 按所加工零件的尺寸、精度、工艺等要求，在线切割机床自动编程系统中编制线切割加工程序，并传送至控制台。或手工编制加工程序，并输入控制系统。

7) 在控制台上对程序进行模拟加工，以确认程序准确无误。

8) 在机床上装夹、找正工件。

9) 开启运丝筒。

10) 开启切削液。

11) 选择合理的电加工参数。

12) 手动或自动对刀。

13) 单击控制台上的“加工”按钮，开始自动加工。

14) 加工完毕后，按“Ctrl+Q”键退出控制系统，并关闭控制柜电源。

15) 拆下工件，清理机床。

16) 关闭机床主机电源。

(8) 机床安全操作规程 根据 DK7725E 型线切割机床的操作特点，特制定操作规程如下。

1) 学生初次操作机床，必须仔细阅读本书和机床操作说明书，并在实训教师指导下操作。

2) 手动或自动移动工作台时，必须注意钼丝位置，避免钼丝与工件或工装产生干涉而造成断丝。

3) 用机床控制系统的自动定位功能进行自动找正时，必须关闭高频。

4) 关闭运丝筒时，尽量使运丝筒停在两个极限位置（左或右）。

5) 装夹工件时，必须考虑本机床的工作行程，加工区域必须控制在机床行程范围之内。

6) 工件及装夹工件的夹具高度必须低于机床丝架高度，否则，加工过程中工件或夹具会撞上丝架而损坏机床。

7) 固定工件的工装位置必须在工件加工区域之外，否则，加工时会连同工件一起割掉。

- 8) 工件加工完毕, 必须随时关闭高频。
- 9) 经常检查导轮、排丝轮、轴承、钼丝、工作液等易损、易耗件(品), 发现损坏, 及时更换。

1.4.4 实际加工

1. 手工编程加工实习

(1) 实习目的

- 1) 掌握简单零件的线切割加工程序的手工编制技能。
- 2) 熟悉 ISO 代码编程及 3B 格式编程。
- 3) 熟悉线切割机床的基本操作。

(2) 实习要求 通过实习, 学生能够根据零件的尺寸、精度、工艺等要求, 应用 ISO 码或 3B 格式手工编制出线切割加工程序, 并使用线切割机床加工出符合图样要求的合格零件。

(3) 实习设备 DK7725E 型线切割机床。

(4) ISO 编程代码 常用 ISO 编程代码如下所述:

G92 X__Y__: 以绝对坐标方式设定加工坐标起点。

G27: 设定 XY/UV 平面联动方式。

G01 X__Y__ (U__V__): 直线插补。

其中, X Y——在 XY 平面中以直线起点为坐标原点的终点坐标。

U V——在 UV 平面中以直线起点为坐标原点的终点坐标。

G02 X__Y__I__J__: 顺圆插补指令。

G03 X__Y__I__J__: 逆圆插补指令。

以上 G02、G03 指令是以圆弧起点为坐标原点, X、Y 表示终点坐标, I、J 表示圆心坐标, I、J 的值为圆心相对于起点的坐标值。

M00: 暂停。

M02: 程序结束。

(5) 3B 程序格式 B X B Y B J G Z

其中, B——分隔符号;

X——X 坐标值;

Y——Y 坐标值;

J——计数长度;

G——计数方向；

Z——加工指令。

各符号的详细含义见 1.3.2 节。

(6) 加工实例：加工如图 1-39 所示零件外形，其厚度为 5mm，加工步骤如下所述。

1) 工艺分析：毛坯尺寸为 60mm×60mm，对刀位置必须设在毛坯之外，以图中 G 点坐标 (-20, -10) 作为起刀点，A 点坐标 (-10, -10) 作为起割点。为了便于计算，编程时不考虑钼丝半径补偿值。逆时针方向走刀。

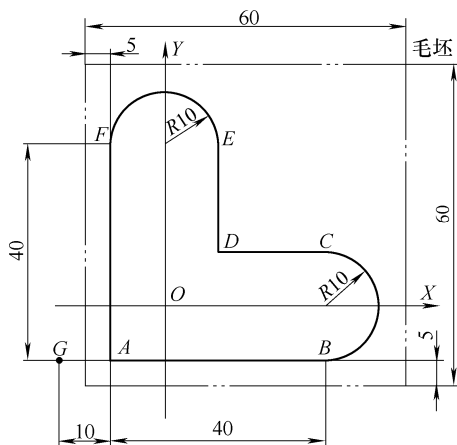


图 1-39 加工实例 A

2) 手动编制程序：因零件形状较简单，可手工编制如下 ISO 或 3B 格式程序，并将程序输入机床控制系统。

① ISO 程序：

程	序
G92	X-20000 Y-10000
G01	X10000 Y0
G01	X40000 Y0
G03	X0 Y20000 I0 J10000
G01	X-20000 Y0
G01	X0 Y20000
G03	X-20000 Y0 I-10000 J0
G01	X0 Y-40000
G01	X-10000 Y0
M02	

说 明

以 O 点为原点建立工件坐标系，起刀点坐标为 (-20, -10)
 从 G 点走到 A 点，A 点为起割点
 从 A 点到 B 点
 从 B 点到 C 点
 从 C 点到 D 点
 从 D 点到 E 点
 从 E 点到 F 点
 从 F 点到 A 点
 从 A 点回到起刀点 G
 程序结束

② 3B 格式程序：

B10000	B0	B10000	GX	L1
B40000	B0	B40000	GX	L1
B0	B10000	B20000	GX	NR4

说 明

从 G 点走到 A 点，A 点为起割点
 从 A 点到 B 点
 从 B 点到 C 点

- 3) 机床准备。开启机床, 装好电极丝, 加注润滑油、切削液等。
- 4) 模拟加工。在控制台上对程序进行模拟加工, 以确认程序准确无误。
- 5) 装夹工件。因毛坯尺寸较小, 可采用磁铁将其固定在机床上, 找正工件, 使其两垂直边分别平行于机床的 X 轴和 Y 轴。
- 6) 确定起刀点。根据程序要求, 移动坐标工作台, 将电极丝定位到图 1-39 中 G 点位置。
- 7) 选择电加工参数。参考零件尺寸、材料及加工要求, 一般可选择如下电加工参数: 电压选择低挡、功率管选择 2 个、脉冲宽度调至第 2 挡, 调节脉冲间隙, 使加工电流平均值控制在 $2A$ 左右。
- 8) 自动加工: 开启运丝筒, 打开高频和切削液, 用鼠标单击控制界面上的“加工”按钮, 即可进行自动加工。
- 9) 后处理工作: 拆下工件、夹具, 检查零件尺寸, 清理、关闭机床。

(1) 实习目的及要求

(3) 加工实例 加工如图 1-40 所示五角星外形, 毛坯尺寸为 $60\text{mm}\times 60\text{mm}\times 5\text{mm}$, 其加工步骤如下所述。

Figure 1 shows a circular blank (毛坯) with a diameter of 60. The blank is centered at the origin O of a Cartesian coordinate system (X, Y). A five-pointed star is inscribed in the circle. The vertices of the star are labeled A, B, C, D, and E. The points where the star's edges intersect are labeled F, G, H, I, and J. A dimension line indicates a radius of R35 from the center O to the outer edge of the star. Another dimension line indicates a distance of 52.573 from the center O to the inner edge of the star. The blank is labeled '毛坯' (blank) in the top right corner.

图 1-40 加工实例 B

点， O 点为起割点，逆时针方向走刀。

2) 机床准备。开启机床，开启 CNC-10A 自动编程系统，装好电极丝，加注润滑油、切削液等。

3) 自动编程。在 CNC-10A 自动编程系统中进行。

首先绘出直线 OC ：在图形绘制界面上，鼠标左键轻点直线图标，该图标呈深色，然后将光标移至绘图界面。此时，屏幕下方提示行内的“光标”位置显示光标当前坐标值。将光标移至坐标原点（注：有些误差无妨，稍后可以修改），按下左键不放，移动光标，即可在屏幕上绘出一条直线，在弹出的参数设置对话框中可对直线参数作进一步修正，如图 1-41 所示。确认无误后按“**Yes**”退出，完成 OC 直线的输入。

起点 From	0.000	0.000
终点 To	15.451	47.553
斜角 Angle	72.0	线长 Long 50.000
Yes		No

图 1-41 OC 直线参数输入对话框

绘制 CA 直线：光标依次点取屏幕上的“编辑”→“旋转”→“线段复制旋转”。屏幕右上角将显示“中心”（提示选取旋转中心），左下角出现工具包，光标从工具包中移出至绘图界面，则马上变成“田”形，将光标移至 C 点上（呈“ $\times$ ”形）轻点左键，选定旋转中心，此时屏幕右上角又出现提示“转体”，将“田”形光标移到 OC 线段上（光标呈手指形），轻点左键，在弹出的参数设置对话框中进行参数设置，如图 1-42 所示，确认无误后按“**Yes**”退出，将光标放回工具包，完成 CA 直线输入。

绘制 DA 直线：其方法与 CA 直线绘制基本相同，旋转中心点为 A 点，旋转体为 CA 直线，参数设置如图 1-43 所示。

旋转参数 Rotate Data		
中心	15.451	47.553
角度	36.000	
Yes		No

图 1-42 CA 直线参数输入对话框

旋转参数 Rotate Data		
中心	30.902	0.000
角度	36.000	
Yes		No

图 1-43 DA 直线参数输入对话框

绘制 DB 直线：方法同上。

绘制 OB 直线：光标点取直线图标，将光标移至 B 点，光标呈“X”形，拖动光标至 O 点，在弹出的直线参数对话框中对参数进行修正，如图 1-44 所示，按“**Yes**”完成直线 OB 的输入。

起点 From	0.000	0.000
终点 To	40.451	29.389
斜角 Angle	36.00	线长 Long 50.000
Yes		No

图 1-44 OB 直线参数输入对话框

图形编辑：光标点取修剪图标，图标呈深色，将剪刀形光标依次移至线段 IH 、 HG 、 GF 、 FJ 、 FI 上，线段呈红色，轻点左键，删除上述 5 条线段，然后将光标放回工具包。

倒 $R5$ 圆角：光标点取圆角图标，用“ $\angle R$ ”形光标分别点取 I 、 H 、 G 、 F 、 J 点（光标呈“ $\times$ ”形），朝倒圆角处拖出光标，在弹出的参数窗中将 R 值设为 5，按回车键退出。

图形清理：由于屏幕显示的误差，图形上可能会有遗留的痕迹而略显模糊。此时，可用光标选择重画图标（图标变深色），并移入绘图界面，系统重新清理、绘制屏幕。

通过以上操作，即完成了完整图形的输入，然后进行图形存储。

自动编程：鼠标左键轻点“编程”→“切割编程”，在屏幕左下角出现一丝架形光标，将光标移至屏幕上的对刀点，按下左键不放，拖动光标至起割点（注：有些误差无妨，稍后可以修改），在弹出的参数设置对话框中可对起割点、孔位（对刀点）、补偿量等参数进行设置。其中补偿量与钼丝半径大小、走丝方向、切割方式（割孔还是割外形）以及放电间隙有关，要根据具体情况合理选择，如图 1-45 所示。参数设置好后，按“**Yes**”确认。

起点 From	0.000	0.000
孔位 Hole	-10.000	-10.000
补偿 Modi	0.100	平滑 SM-R 0.000
Yes		No

图 1-45 编程参数输入对话框

随后屏幕上将出现一路径选择对话框，如图 1-46 所示。路径选择对话框中的箭头指示处是起割点，上下或左右线段表示工件图形上起割点处的上下或左右各一线段，分别在窗边用序号代表（ C 表示圆弧， L 表示直线，数字表示该线段作出时的序号）。图形缩放按钮中的“+”表示放大按钮，“-”表示缩小按钮，根据需要，用光标每点一下就放大或缩小一次。选择路径时，可直接用光标在序号上轻点左键，序号

变黑底白字，光标轻点“认可”即完成路径选择。当无法辨别所列的序号表示哪一线段时，可用光标直接指向窗口中图形的对应线段上，光标呈手指形，同时出现该线段的序号，轻点左键，它所对应线段的序号自动变黑色。路径选定后光标轻点“认可”，路径选择对话框即消失，同时火花沿着所选择的路径方向进行模拟切割，到“OK”结束。如果工件图形上有交叉路径，则火花自动停在交叉处，屏幕上再次弹出路径选择对话框。同前所述，再选择正确的路径直至“OK”。系统自动把没切割到的线段删除，呈一完整的闭合图形。

火花图符走遍全路径后，屏幕右上角出现加工开关设定对话框，如图 1-47 所示。其中有 5 项选择：加工方向、锥度设定、旋转跳步、平移跳步和特殊补偿。

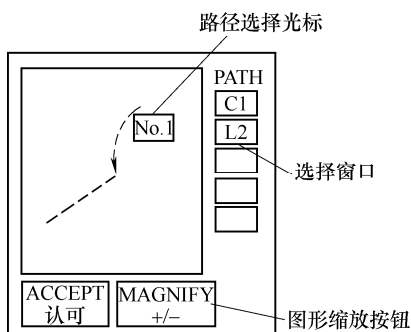


图 1-46 路径选择对话框

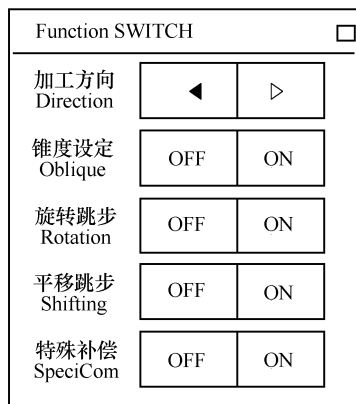


图 1-47 加工开关设定对话框

加工方向：有左右方向的两个三角形，分别代表逆/顺时针方向，红底黄色三角为系统自动判断方向（特别注意：系统自动判断方向一定要和火花模拟的走向一致，否则得到的程序代码上所加的补偿量正负相反）。若系统自动判断方向与火花模拟切割的方向相反，可用鼠标重新设定。将光标移到正确的方向位，点一下左键，使之成为红底黄色三角。

因本例无锥度、跳步和特殊补偿，故不需设置。用光标轻点加工开关设定对话框右上角的小方块“口”按钮，退出对话框。屏幕右上角显示红色丝孔提示，提示用户可对屏幕中的其他图形再次进行穿孔、切割编程。系统将以跳步模的形式对两个以上的图形进行编程。因本例无此要求，可将丝架形光标直接放回屏幕左下角的工具包（用光标

轻点工具包图符)，完成线切割自动编程。

退出切割编程阶段，系统即把生成的输出图形信息通过软件编译成 ISO 数控代码（必要时也可编译成 3B 程序），并在屏幕上用亮白色绘出对应线段。若编码无误，两种绘图的线段应重合（或错开补偿量）。随后屏幕上出现输出菜单，有代码打印、代码显示、代码转换、代码存盘、三维造型和退出。

选择送控制台，将自动生成的程序送到控制台。至此，一个完整的工件编程过程结束，即可进行实际加工。

4) 模拟加工：在控制台上用自动编程系统生成的程序进行模拟加工，以确认程序准确无误。

5) 装夹工件：因毛坯尺寸较小，可采用磁铁将其固定在机床上，找正工件，使其两垂直边分别平行机床的 X 轴和 Y 轴。

6) 确定起刀点：根据程序要求，移动坐标工作台，将电极丝定位到图 1-39 中 E 点位置。

7) 选择电加工参数：参考零件尺寸、材料及加工要求，可选择如下电加工参数：电压选择低挡、功率管选择 2 个、脉冲宽度调至第 2 挡，调节脉冲间隙，使加工电流平均值控制在 2A 左右。

8) 自动加工：开启运丝筒，打开高频和切削液，用鼠标单击控制界面上的“加工”按钮，即可进行自动加工。

9) 后处理：拆下工件、夹具，检查零件尺寸，清理、关闭机床。

1.5 主要工艺指标

1.5.1 加工精度和配合间隙

1. 加工精度

加工精度是指所加工工件的尺寸精度、形状精度（如直线度、平面度、圆度等）和位置精度（如平行度、垂直度、倾斜度等）的总称。快速走丝线切割的可控加工精度可达 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 。

2. 配合间隙

配合间隙是指脉冲放电两极间距，实际效果反映在加工后工件尺

寸的单边扩大量。对电火花成形加工配合间隙的定量认识是确定加工方案的基础。其中包括工具电极形状、尺寸设计、加工工艺步骤设计、加工参数的切换以及相应工艺措施的设计。

1.5.2 切割速度

在保持一定表面粗糙度的切割加工过程中，单位时间内电极丝中心在工件上切过的面积总和称为切割速度，单位为 mm^2/min 。切割速度是反映加工效率的一项重要指标，数值上等于电极丝中心沿图形加工轨迹的进给速度乘以工件厚度。通常高速走丝线切割速度为 $(40\sim 80)\text{mm}^2/\text{min}$ 。

1.5.3 表面质量

表面粗糙度是指加工表面上的微观不平度，是微观几何形状误差。对电加工表面来讲，即是无数个加工表面放电痕——坑穴的聚集，由于坑穴表面会形成一个加工硬化层，而且能存润滑油，其耐磨性比同样表面粗糙度的机加工表面要好，所以加工表面允许比要求的表面粗糙度大些。而且在相同表面粗糙度的情况下，电加工表面比机加工表面亮度低。工件的电火花加工表面粗糙度直接影响其使用性能，如耐磨性、配合性质、接触刚度、疲劳强度和耐蚀性等。尤其对于高速、高洁、高压条件下工作的模具和零件，其表面粗糙度往往是决定其使用性能和使用寿命的关键。

线切割加工中的工件表面粗糙度通常用轮廓算术平均值偏差 Ra 值表示。高速走丝线切割的 Ra 值一般为 $1.25\sim 2.5\mu\text{m}$ ，最低可达 $0.63\sim 1.25\mu\text{m}$ 。

1.6 电极丝与工作液

1.6.1 电极丝

1. 电极丝材料

电极丝不同，线切割加工的速度也不同。到目前为止，比较适合

作电极丝的材料主要有钼丝、钨钼合金丝、纯铜丝、黄铜丝等。为了提高切割性能，也有专用的各种电极丝，如内为黄铜丝，外镀熔点较低的锌或锌合金，允许较大的峰值电流，在火花放电时产生较大的汽化爆炸力，达到较高的切割速度。

数控高速走丝电火花线切割加工的电极丝需要反复使用，它的热物理特性对加工工艺指标有重要的影响作用。电极丝应具有良好的耐腐蚀性，以利于提高加工精度；应具有良好的导电性，以利于提高电路效率；应具有较高的熔点，以利于大电流加工；应具有较高的抗拉强度和良好的直线性，以利于提高使用寿命。

电极材料应根据材料性能、加工对象和加工方法等综合因素来考虑。常用电极材料的性能及选用见表 1-11。

表 1-11 常用电极材料的性能及选用

电极材料		钢	黄铜	纯铜	石墨	铜钨合金	银钨合金
电加工性能	稳定性	较差	好	好	尚好	好	好
	电极损耗	中等	大	较小	小	小	小
机加工性能		好	尚好	较差	尚好	尚好	尚好
加工对象	硬质合金	不用	好	尚好	好	尚好	尚好
	直壁深孔	不用	不用	好	尚好	尚好	尚好
	精密细微孔	不用	好	好	不用	好	好
	螺纹孔	不用	好	好	不用	不用	不用
	小圆孔	好	尚好	尚好	不用	尚好	尚好
加工方法	直接法	好	不用	不用	不用	不用	不用
	间接法	不用	尚好	好	尚好	尚好	尚好
	混合法	不用	好	好	不用	尚好	尚好
适用范围		冲模加工	简易形状的穿透加工	穿透加工型腔加工	大型型腔	精密冲模精密型腔	精密冲模精密型腔

2. 电极丝直径

电极丝直径的选择应根据切缝宽窄、工件厚度和拐角尺寸大小来选择。若加工带尖角、窄缝的小型模具，宜选用较细的电极丝，可以使加工精度相应提高，缺点是在加工中容易发生断丝，不能获得理想的切割速度；若加工大厚度工件或大电流切割时应选较粗的电极丝，

较粗的电极丝抗拉强度大,能承受大的电流,提高了输出的脉冲能量,较宽的切缝使放电产物更容易排出,使加工过程更稳定,提高了加工速度。常用电极丝的直径有 $\phi 0.12\text{mm}$ 、 $\phi 0.14\text{mm}$ 、 $\phi 0.18\text{mm}$ 和 $\phi 0.2\text{mm}$ 。电极丝直径与拐角极限和工件厚度的关系见表 1-2。加工带尖角、窄缝的小型模具零件宜选用较细的电极丝;若加工大厚度工件或大电流切割时应选较粗的电极丝。

3. 电极丝走丝速度

对于高速线切割加工,在一定范围内,提高速度有利于把工作液带入割缝,冲走电蚀物,保持加工的稳定。对于厚件,提高速度有利于减少电极丝在加工区逗留的时间,减少电极丝的损耗。但走丝速度过高将使电极丝的振动加剧,降低切割精度,使表面质量变差,易断丝。高速走丝线切割的走丝速度以小于 10m/s 为宜。相对于快走丝,慢走丝线切割电极丝张力均匀,振动小,加工稳定、表面质量较好。

1.6.2 工作液

1. 工作液的作用和要求

在电火花线切割加工中,工作液是脉冲放电的介质,对加工工艺指标的影响很大。它对切割速度、表面粗糙度、加工精度也有影响。高速走丝电火花线切割机床使用的工作液是专用的乳化液,市场上供应的乳化液有多种,各有特点,有的适于精加工,有的适于大厚度切割,也有的是在原来工作液中添加某些化学成分来提高其切割速度或增加防锈能力等。无论哪种工作液都应具有下列性能:

(1) 一定的绝缘性能 火花放电必须在具有一定绝缘性能的液体介质中进行。普通自来水的绝缘性能较差,其电阻率仅为 $1\times 10^3\sim 1\times 10^4\ \Omega\cdot\text{cm}$,加上电压后容易产生电解作用而不能火花放电。加入矿物油、皂化钾等制成的乳化液,电阻率约为 $1\times 10^4\sim 1\times 10^5\ \Omega\cdot\text{cm}$,适合于电火花线切割加工。煤油的绝缘性能较高,其电阻率大于 $1\times 10^6\ \Omega\cdot\text{cm}$,同样电压之下较难击穿放电,放电间隙偏小,生产率低,只有在特殊精加工时才采用。

工作液的绝缘性能可使击穿后的放电通道压缩,局限在较小的通道半径内火花放电,形成瞬时局部高温,熔化、汽化金属。放电结束

后又迅速恢复放电间隙成为绝缘状态。

(2) 较好的洗涤性能 所谓洗涤性能,是指液体有较小的表面张力、对工件有较大的亲和附着力、能渗透进入窄缝中,且有一定去除油污能力。洗涤性能好的工作液,切割时排屑效果好,切割速度高,切割后表面光亮清洁,割缝中没有油污糊状物。洗涤性能不好的工作液则相反,有时切割下来的料芯被油污糊状物粘住,不易取下来,切割表面也不易清洗干净。

(3) 较好的冷却性能 在放电过程中,放电点局部、瞬时温度极高,尤其是大电流加工时表现更加突出。为防止电极丝烧断和工件表面局部退火,必须充分冷却,要求工作液具有较好的吸热、传热、散热性能。

(4) 对环境无污染,对人体无危害 在加工中不应产生有害气体;不应使操作人员的皮肤、呼吸道等产生刺激,不应锈蚀工件、夹具和机床。

此外,工作液还应配制方便、使用寿命长、乳化充分,冲制后油水不分离,长时间储存也不应有沉淀或变质现象。

2. 工作液的配制

根据线切割机床的类型和加工对象,选择工作液的种类、浓度及导电率等。对快速走丝线切割加工,一般常用质量分数为 10% 左右的乳化液,此时可达到较高的线切割速度。常用的方法是将自来水冲入乳化油,搅拌后使工作液充分乳化成均匀的乳白色。在 0℃ 以下时可用少量开水冲入拌匀,再加冷水搅拌。

使用新配制的工作液,当加工电流约为 2A 时,其切割速度约 $40\text{mm}^2/\text{min}$,若每天工作 8h,使用约 2 天以后效果最好,继续使用 8~10 天后就易断丝,须更换新的工作液。加工时供液一定要充分,且要使工作液包住电极丝,这样才能使工作液顺利进入加工区,达到稳定加工的效果。

3. 工作液参数选择

(1) 工作液的电阻率 工作液的电阻率根据工件材料确定。对于表面在加工时容易形成绝缘膜的铝、钼、结合剂烧结的金刚石,受电腐蚀易使表面氧化的硬质合金和表面容易产生气孔的工件材料,需提高工作液的电阻率。不同工件材料适用的工作液电阻率见表 1-12 所示。

表 1-12 不同工件材料适用的工作液电阻率

工件材料	钢铁	铝、钼、结合剂烧结的金刚石	硬质合金
工作液电阻率/($10^4 \Omega \cdot \text{cm}$)	2~5	5~20	20~40

(2) 工作液喷嘴的流量和压力 工作液喷嘴的流量和压力大, 冷却排屑的条件好, 有利于提高切割速度和加工表面的垂直度, 但是在精加工时, 要减小工作液喷嘴的流量或压力, 以减少电极丝的振动。

4. 工作液的处理

目前国内外常用的处理方法有超滤法、化学破乳+气浮法、电解气浮法等。

(1) 超滤法 超滤法的原理是利用孔隙较大的半透膜, 采用交叉流动的方式, 在一定的压差和紊流流动的情况下, 废水中大部分极性分子能通过半透膜, 而所有非极性分子(如胶体微粒)和相对分子质量较大的物质则不能通过半透膜而被截留, 从而使废水得到净化。超滤法处理乳化液废水, 其优点是操作稳定, 能够保证出水的矿物油浓度低于 10mg/L , 油水分离过程不需要化学药剂, 系统本身不产生污泥, 可回收的废油浓度较高, 设备紧凑, 占地小, 维护管理方便。特别是根据国内很多冷轧厂的实际要求, 在有限的占地情况下, 有效地解决日益产生的乳化液废水污染问题, 而且水量相对较小, 采用超滤法工艺是行之有效的。普遍认为, 超滤法的缺点是一次性投资大。

超滤法也有其一定的适应性, 不是所有的乳化液废水都能用超滤法处理, 特别是皂化度较高、分子链较长的乳化液含油废水, 若采用超滤法工艺, 皂化油或乳化油将会堵塞超滤膜表面, 使超滤无法进行下去。综上所述, 选用超滤法工艺处理冷轧乳化液废水, 必须根据乳化液废水的性质, 选用合适材质和孔隙率的超滤膜, 在实验的基础上合理组合工艺, 才能达到满意的处理效果。

(2) 化学破乳+气浮法 由于乳化液废水中乳化油液滴表面带负电荷, 双电层起稳定作用, 化学破乳法就是在废水中加入化学药剂, 降低双电层的电势, 压缩双电层, 使之聚结, 并加入絮凝剂, 使小油珠凝结成较大的油滴, 然后将其从水中分离。

化学破乳法包括: 投加絮凝剂、投加酸、投加盐类物质并加热乳化液、投加盐类物质并电解、加酸和有机分散剂、投加有机脂类物质

和凝剂。

采用化学破乳+气浮法处理乳化液废水，其优点是一次性投资较省，另外化学破乳+气浮法还可以解决不能被超滤装置处理的高乳化度乳化液废水，只要有合适的破乳药剂，化学破乳法就能适应较广的处理范围。化学破乳+气浮法的主要缺点在于破乳药剂的选择性和适应性。多数破乳药剂对应一种或几种乳化液，当工艺线上更换乳化液时，废水处理选用的破乳药剂也需要更换，这就增加了操作管理的难度和运行的费用。另一方面，化学破乳+气浮法工艺的设备组成较多，运行管理工作量较大。

(3) 电气浮法 电气浮法的实质是将含有电解质的含油或乳化液废水作为可电解的介质，通过正负电极导以电流进行电解，产生三种效应，即电解氧化（或还原）、电解混凝以及电气浮。当以可溶性极板，如可氧化的铁、铝极板作为阳极板时，三种效应会同时出现；而以产气为主要目的的电气浮，则应以不溶性的惰性材料，比如石墨、不锈钢、镀铂钛板及敷以二氧化铅（ PbO_2 ）沉积表面的钛阳极作为阳极板。

电气浮能够有效地利用电解液中的氧化还原反应，以及由此产生的初生态微小气泡的上浮作用来处理含油乳化液废水。这种方法不仅能使废水中的微细悬浮颗粒和乳化油与气泡黏附而浮出，而且可将水中的一些金属离子形成不溶性的氢氧化物从水中分离，以及使某些可溶性有机物附着在这些氢氧化物沉淀上一起分离，从而使污水得到净化。此法在炼油厂进行实验，结果表明，极板采用“碳-碳”材料，原水中含乳化油 300mg/L，投加聚合铝 15mg/L，电压 10V，气浮时间控制在 10~15min，除油效果 98%以上。

1.7 电极丝偏移量

1.7.1 偏移的必要性

在数控线切割加工中，由于数控装置所控制的是电极丝中心的行走轨迹，而实际加工轮廓却是由丝径外围和被切金属间产生电蚀作用而形成的。也就是说，实际加工得到的轮廓轨迹和电极丝中心的轨迹

是有一定偏移的，这一偏移就是编程加工中必须考虑的线径补偿量。也可以称其为电极丝偏移量。

1.7.2 偏移量的计算

电火花线切割加工中偏移量的计算比较简单，偏移量为电极丝半径与单边放电间隙之和，如图 1-48 所示。

$$f = \frac{d}{2} + \Delta$$

式中 f ——偏移量；

d ——电极丝直径；

Δ ——单边放电间隙。

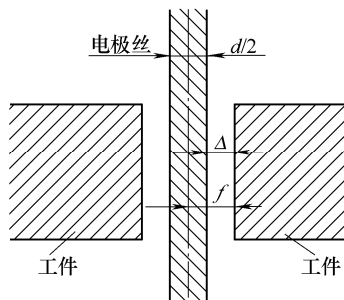


图 1-48 偏移量的计算

电极丝直径的选择应根据工件厚度和拐角尺寸大小来选择。若加工大厚度工件或大电流切割时应选较粗的电极丝，若加工带尖角、窄缝的小零件宜选用较细的电极丝。

放电间隙的大小与加工条件参数有关，可以通过查表（机床生产厂家提供的加工条件参数表）再计算得到。一般快速走丝线切割加工时，取单边放电间隙 $\Delta = 0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$ 。

正式加工前，按照确定的加工条件，切割一个与工件相同材料、相同厚度的正方形，测量尺寸，以确定丝径偏移量。这项工作对第一次进行线切割加工的操作者来说是必须要做的，但是当操作工人积累了很多的工艺数据或者生产厂家提供了有关工艺参数时，只要查数据即可。

进行多次切割时，要考虑工件的尺寸公差，并估计尺寸变化，分配每次切割时的偏移量。偏移的方向按切割凸模或凹模以及切割路线的不同而定。

1.8 数控高速走丝电火花线切割加工的加工路径

1.8.1 穿丝孔的确定

在实际生产加工中，为防止工件毛坯内部的残余应力变形及放电

产生的热应力变形,不管是加工凹模类封闭形工件,还是凸模类工件,都应首先在合适的位置加工好一定直径的穿丝孔进行封闭式切割,避免开放式切割。

当切割带有封闭型孔的凹模工件时,穿丝孔位于凹形的中心位置操作最为方便。因为这既便于穿丝孔加工位置准确,又便于控制坐标轨迹的计算。

当切割凸模外形时,穿丝孔应设置在加工起始点附近,这样可以大大缩短无用切割行程。穿丝孔的位置,最好选在已知坐标点或便于计算的坐标点上,以简化有关轨迹控制的运算。

穿丝孔的直径不宜过小或太大,以钻或镗孔加工简便为宜,一般选在 3~10mm 范围内。孔径最好选取整数,以简化用其作为加工基准的运算。

1.8.2 加工路径的优化

1. 加工起点的确定

切割的起点一般也是切割的终点,但电极丝返回到起点时必然存在的复位误差,造成加工痕迹,影响了切割精度和表面质量。为此,应合理选择加工起点。

1) 应在表面粗糙度要求较小的表面上选择切割起点。

2) 应尽量在切割图形的交点上选择切割起点。

3) 对于无切割交点的工件,切割起点应尽量选择在于便于钳工修复的部位,如外轮廓的平面、半径大的弧面,要避免选择在凹入部分的表面上。

2. 进刀点的确定

在线切割加工中,进刀点通常与工件切割起点不重合,这就需要一段从进刀点切割到切割起点的引入切割段。当切割起点选在切割图形的交点上时,引入切割段通常采用直线方式;当切割起点选在切割图形的表面上时,对于无补偿的切割,引入切割段通常采用圆弧方式,并与切割起始段相切;对于带补偿的切割,一般引入切割段在圆弧方式引入前需增加用于建立补偿的直线段,如图 1-49 所示。

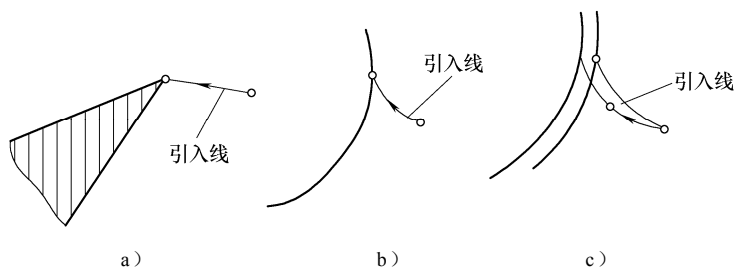


图 1-49 引入方式

a) 直线引入 b) 无补偿切割的圆弧引入 c) 带补偿切割的圆弧引入

3. 加工路径的选择

在加工中，工件内部应力的释放要引起工件的变形，所以在选择加工路线时，必须注意以下几点：

1) 避免从工件端面开始加工，应从穿丝孔开始加工。

2) 加工的路线距离端面（侧面）应大于 5mm。

3) 加工路线应从离开工件夹具的方向开始，最后再转向工件夹具的方向。如图 1-50 所示由 1 段至 2、3、4 段。

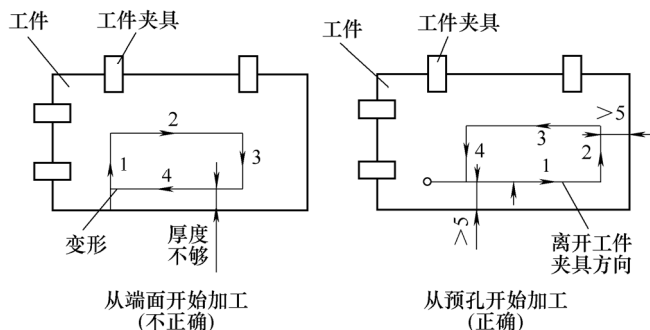


图 1-50 加工路线的决定方法

4) 在一块毛坯上要切出两个以上零件时，不应连续一次切割出来，而应从不同预孔开始加工，如图 1-51 所示。

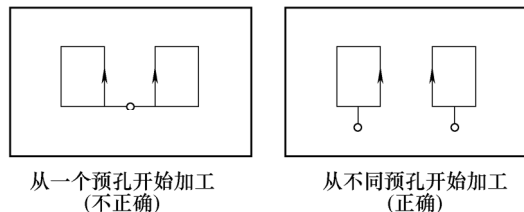


图 1-51 从一块工件上加工两个以上零件的加工路线

1.9 工艺方法

1.9.1 单次切割工艺

单次切割，顾名思义是利用电极丝对原料进行一次切割而获得所需零件的线切割加工工艺方法。这也是线切割加工的最原始的一种加工方式。对于高速走丝线切割机床，由于机床刚性差，工作台的几何精度及运动精度低，电极丝的振动等原因，使得加工精度一直难以提高，再加上无论被加工工件有怎么样的技术要求，人们所采用的都是单次切割工艺。这显然有悖于金属切削加工的规律。因此多次切割工艺应运而生。

1.9.2 多次切割工艺

多次切割就是利用同一电极丝对零件同一表面先后进行两次或两次以上的切割，最多切割次数可达七次，一般情况下采用三次切割工艺。第一次切割的目的是实现高速稳定的切割，第二次切割是修光，第三次切割是用精微加工脉冲参数进行精修。

我国广大科技工作者经过大量的实验研究发现，只要高速走丝电火花线切割机床的制造精度符合国家标准，对其作一定的改造，就可进行多次切割加工。改造措施主要有：

1) 稳定电极丝的空间位置，控制电极丝空间形位变化。例如，增大电极丝张力、采用红宝石挡丝装置和高耐磨性的导向装置，对稳定电极丝的空间位置有明显的作用。

2) 对高频电源进行改造。成倍提高脉冲峰值电流，控制单个脉冲放电能量和脉冲电流的上升率，设置精微加工回路等。其中，保证精微切割的稳定性是进行多次切割的关键技术之一。

多次切割加工可提高线切割精度和表面质量，修整工件的变形和拐角的塌角。一般情况下，采用多次切割能使加工精度达到 $\pm 0.005\text{mm}$ ，圆角和垂直度小于 0.005mm ，表面粗糙度 $Ra < 0.63\mu\text{m}$ 。如果粗加工后工件变形过大，应合理选择材料和热处理方法，正确选择切割路线来

尽可能减小工件的变形，否则，多次切割的效果会不好，甚至比单次切割更差。高速走丝的多次切割工艺完全消除了高速走丝切割后留在工件表面上的换向条纹，实现无条纹切割，能够达到和低速走丝电火花线切割机床一次切割相近的表面粗糙度效果，部分代替了低速走丝加工。所以又将具有多次切割功能的高速走丝电火花切割机床称为中速走丝电火花线切割机床，它是高速走丝电火花切割机重要的更新换代产品。

第2章

数控高速走丝电火花线切割机床系统及操作

本章以 topwedm 系列线切割机床为例介绍数控电火花线切割机床的基本操作。

2.1 HL 线切割控制系统

HL 系统是目前国内广受欢迎的线切割机床控制系统之一，它的强大功能、不需硬盘和软盘也能启动运行、高可靠性和高稳定性已得到业内广泛认同。系统配合 topwedm 线切割编程系统，简单易学。在主界面按“P”键即进入 topwedm 线切割编程系统，如图 2-1 所示。



图 2-1 topwedm 线切割编程系统的主界面

该系统功能强大，在控制方面，可在一部电脑上同时控制多达四部机床切割不同的工件，并可一边加工一边编程。锥度加工采用四轴/五轴联动控制技术以及上下异形和简单输入角度的两种锥度加工方式，使锥度加工变得快捷、容易，同时可作变锥及等圆弧加工。可在加工前进行模拟，并在加工中进行实时显示，大大提高了线切割加工的准确性、可靠性及安全性。如加工过程中突然断电，复电后，可自动恢复各台机床的加工状态。系统内储存的文件可长期保留。同时，该系统还具有对基准面和丝架距离作精确校正计算的功能，可对导轮切点偏移作 U 向和 V 向的补偿，从而提高锥度加工的精度。加工插补半径最大可达 2000m。

对于程序的执行，柔性较高，可从任意段开始加工，到任意段结

束。可正向/逆向加工。可随时设置（或取消）加工完当段指令后暂停。可进行暂停、结束、短路自动回退及长时间短路（1 分钟）报警。

另外还有钼丝偏移补偿（无须加过渡圆）、加工比例调整、坐标变换、循环加工、步进电动机限速、自动短路回退等多种功能。

2.1.1 快捷键

在 topwedm 中所有“1、2、3、4、5、6、7、8、9、0、-”为层叠菜单配置可重复使用的快捷键，只在层叠菜单可见时有效，所有其他快捷键为唯一快捷键，可在选择菜单的所有情况下使用。为方便操作，topwedm 还提供了表 2-1 中的快捷键。

表 2-1 快捷键及功能

名 称	功 能	名 称	功 能
透明快捷键			
Home	加快光标移动速度	Ctrl+←	向左移动图形
End	减慢光标移动速度	Ctrl+→	向右移动图形
PageUp	放大图形	Ctrl+Del	强制退出系统
PageDown	缩小图形	O	选定原点
↑	向上移动光标	X	选定 X 坐标轴
↓	向下移动光标	Y	选定 Y 坐标轴
←	向左移动光标	F4	刷新图形不画点
→	向右移动光标	F5	刷新图形（画点、画辅助线）
Ctrl+↑	向上移动图形	F6	刷新图形不画辅助线
Ctrl+↓	向下移动图形	F10	重画加工路线
文件管理			
F6	按文件名排序	Delete	删除一个文件
F7	按时间排序	Esc/F3	退出文件管理器
Tab	切换要修改的区域：文件夹、文件名等		

2.1.2 操作使用

上电后，电脑即可快速进入系统，选择 1.RUN 运行，按回车键即进入主菜单。在主菜单下，可移动光标或按相应菜单上红色的字母键进行相应的作业。

topwedm 默认将鼠标左键定义“确认键”，右键定义为“取消键”。

在回答“Y/N?”时，按下“确认键”表示“Y”按下“取消键”表示“N”，按下中键表示“Esc”取消。

1. 文件调入

切割工件之前，都必须把该工件的 3B 指令文件调入虚拟盘加工文件区。所谓虚拟盘加工文件区，实际上是加工指令暂时存放区。操作过程如下。

首先，在主菜单下按 F 键，然后再根据调入途径分别作下列操作：

(1) 从图库 WS-C 调入 按回车键，光标移到所需文件，按回车键调入文件、按“Esc”键退出。图库 WS-C 是系统存放文件的地方，最多可存放约 300 个文件。更换集成度更高的存储集成块可扩充至约 1200 个文件。存入图库的文件长期保留，存放在虚拟盘的文件在关机或按复位键后自动清除。

(2) 从硬盘调入 按 F4、再按 D，把光标移到所需文件，按 F3，把光标移到虚拟盘，按回车调入文件，再按“Esc”键退出。

(3) 从移动存储设备调入 按 F4，插入移动存储设备，按 A，把光标移到所需文件，按 F3，把光标移到虚拟盘，按回车键调入文件，再按“Esc”键退出。运用 F3 键可以使文件在图库、硬盘、移动存储设备三者之间互相转存。该系统不用硬盘、移动存储设备，单用图库 WS-C 也能正常工作。

(4) 修改 3B 指令 有时需临时修改某段 3B 指令。操作方法如下：在主菜单下，按 F 键，光标移到需修改的 3B 文件，按回车键，显示 3B 指令，按 INSERT 键后，用上、下、左、右箭头及空格键即可对 3B 指令进行修改，修改完毕，按“Esc”键退出。

(5) 手工输入 3B 指令 有时切割一些简单工件，如一个圆或一个方形等，则不必编程，可直接用手工输入 3B 指令，在主菜单下按 B 键，再按回车键，然后按标准格式输入 3B 指令。

(6) 浏览图库 该系统有浏览图库的功能，可快速查找到所需的文件，在主菜单下按 Tab 键，则自动依次显示图库内的图形及其对应的 3B 指令文件名。按空格键暂停，再按空格键继续。

2. 模拟切割

调入文件后正式切割之前，为保险起见，先进行模拟切割，以便

观察其图形（特别是锥度和上下异形工件）及回零坐标是否正确，避免因编程疏忽或加工参数设置不当而造成工件报废。操作如下：

首先在主菜单下按 **X**，显示虚拟盘加工文件（**3B** 指令文件）。如无文件，需退回主菜单调入文件。接着将光标移到需要模拟切割的 **3B** 指令文件，按回车键，即显示出加工件的图形。如图形的比例太大或太小，不便于观察，可按 **+**、**-** 键进行调整。如图形的位置不正，可按上、下、左、右箭头键调整。如果是一般工件（即非锥度，非上下异形工件）可按 **F4** 键或回车键，即时显示终点 X 、 Y 回零坐标。

锥度或上下异形工件，要观察其上下面的切割轨迹。按 **F3** 键，显示模拟参数设置子菜单，其中限速为模拟切割速度，一般取最大值 4096，用左、右箭头键可调整。按 **G**、回车键，进入锥度参数设置子菜单，设置相关参数。锥度参数设置完毕后，按“**Esc**”键退出，按 **F1** 键、回车键，再按回车键，即可开始进行模拟切割。切割完毕，显示终点坐标值 X' 、 Y' 、 U 、 V 。 $U_{\max}$ 、 $V_{\max}$ 为 UV 轴在切割过程中最大移动距离，此数值不应超过 UV 轴的最大允许行程。模拟切割结束后，按空格键、**E** 或“**Esc**”键返回主菜单。

3. 正式切割

经模拟切割无误后，装夹工件，开启丝筒、水泵、高频，可进行正式切割。

1) 在主菜单下，选择加工#1（只有一块控制卡时只能选加工#1。如同时安装多块控制卡时，可选择加工#2、加工#3、加工#4），按回车键或 **C**，显示加工文件。

2) 光标移到要切割的 **3B** 文件，按回车键，显示出该 **3B** 指令的图形，调整大小比例及适当位置。

3) 按 **F3**，显示加工参数设置子菜单。

4) 各参数设置完毕，按 **ESC** 键退出。按 **F1** 显示起始段 1，表示从第 1 段开始切割（如要从第 N 段开始切割，则按清除键清除 1 字，再输入数字 N ）。再按回车键显示终点段 XX （同样，如果要在第 M 段结束，用清除键清除 XX ，再输入数字 M ），再按回车键。

5) 按 **F12** 锁进给（进给菜单由蓝底变浅绿，再按 **F12**，则由浅绿变蓝，松进给），按 **F10** 选择自动（菜单浅绿底为自动，再按 **F10**，由

浅绿变蓝为手动)，按 F11 开高频，开始切割（再按 F11 为关高频）。

6) 切割过程中各种情况的处理：

① 跟踪不稳定。按 F3 后，用向左、右箭头键调整变频（V.F.）值，直至跟踪稳定为止。当切割工件的厚度大，跟踪难以调整时，可适当调低步进速度值后再进行调整，直到跟踪稳定为止。调整完后按 ESC 键退出。

② 短路回退。发生短路时，如在参数中设置了自动回退，数秒钟后（由设置数字而定），则系统会自动回退，短路排除后自动恢复前进。持续回退 1min 后短路仍未排除，则自动停机报警。如果参数设置为手动回退，则要人工处理：先按空格键，再按 B 进入回退。短路排除后，按空格键，再按 F 恢复前进。如果短路时间持续 1min 后无人处理，则自动停机报警。

③ 临时暂停。按空格键暂停，按 C 键恢复加工。

④ 设置当段切割完暂停，按 F 键即可，再按 F 键则取消。

⑤ 中途停电。切割中途停电时，系统自动保护数据。复电后，系统自动恢复各机床停电前的工作状态。首先自动进入一号机画面，此时按 C、F11 即可恢复加工。然后按 ESC 键退出。再按相应数字键进入该号机床停电前的画面，按 C、F11 恢复加工。以此类推。

⑥ 中途断丝。按空格键，再按 W、Y、F11、F10，拖板即自动返回加工起点。

⑦ 退出加工。加工结束后，按 E、ESC 键即退出加工返回主菜单。加工中途按空格键再按 E、ESC 键也可退出加工。退出后如想恢复，对 1 号机可在主菜单下按“Ctrl+W”，对于 2 号机按“Ctrl+O”，3 号机按“Ctrl+R”，4 号机按“Ctrl+K”。

7) 逆向切割。切割中途断丝后，可采用逆向切割，这样一方面可避免重复切割、节省时间，另一方面可避免因重复切割而引起的粗糙度上升及精度下降。操作方法：在主菜单下选择加工，按回车键、C 键，调入指令后按 F2、回车键，再按回车键，锁进给，选自动，开高频即可进行切割。

8) 自动对中心。在主菜单下，选择加工，按回车键，再按 F、F1 即可自动寻找圆孔或方孔的中心，完成后显示 X、Y 行程和圆孔半径。按“Ctrl”加箭头键，则碰边后停，停止后显示 X、Y 行程。

9) 编程。HL 系统提供编辑编程(会话式编程)和绘图式编程两种自动编程系统, 有两点需注意:

① 编程时数据存盘及程序存盘, 只是把图形文件 XX. DAT 及 3B 指令文件 XX. 3B 存放在虚拟盘里, 而虚拟盘在关机或复位后是不保留的, 所以还需把这些文件存入图库或硬盘里, 方法是: 编程完毕退出, 返回主菜单, 按 F 键, 可看到刚编程的图形文件及 3B 指令文件, 把光标移到该文件, 按 F3, 再选择图库或硬盘, 按回车键即可。

② 编程时, 如果想把已存在于图库或硬盘里的图形文件(XX. DAT)调出来用时, 应先把该图形文件调入虚拟盘。

10) 数据接口。

① 并入 CAD 文件: 将 AutoCAD 的 dxf 格式图形文件并入当前正在编辑的线切割图形文件, 支持点、线、多段线、多边形、圆、圆弧、椭圆的转换, 支持 AutoCAD 的 R14 及 2000 版本。

② CAD 文件输出: 将当前正在编辑的线切割图形文件输出为 AutoCAD 的 dxf 格式图形文件, 数据点也被保存。

③ 并入 YH 文件: 并入 YH2.0 格式的图形文件。

如无指定文件夹, 所有文件只是储存在虚拟盘, 停电后将无法保存, 用户须自行在 HL 系统内, 将文件存入图库。

2.1.3 数据录入

1. 点录入格式

点的录入格式共有 5 种:

1) 普通输入格式: x, y 。

2) 相对坐标输入格式: $@x, y$ (“@”为相对坐标标志, “ x ”是相对的 X 轴坐标, “ y ”是相对的 Y 轴坐标)。

3) 相对极坐标输入格式: $<a, l$ (“<”为相对极坐标标志, “ a ”指角度, “ l ”是长度)。

4) 省略输入: 当 X 坐标与前一数值相同时可省略 x 值, 格式 $(, y)$, 当 Y 坐标与前一数值相同时可省略 y 值, 格式 (x) 或 $(x,)$ 。

5) 代数式输入, 输入格式为: 代数式 1, 代数式 2, 其中, 代数式支持加 (+)、减 (-)、乘 (*), 除 (/)、乘方 (^) 和一些常用数学

函数（Sin 正弦，Cos 余弦，Tan 正切，Cta 余切、Atan 反正切、Asin 反正弦、Acos 反余弦、Sqrt 开平方）。

2. 直径录入格式

当输入半径时在数值前加“D”即将输入数值认为直径。

2.1.4 变锥切割

变锥切割时，需把要切割的 3B 程序调出来，根据实际需要，在相应 3B 程序前输入锥度角。以图 2-2 为例（设已编程存在图库里）：

1) 在主菜单下按 F 键再按回车，把图库 WS-C 的文件调出来，把光标移到要切割的 3B 文件，按回车，即显示 3B 程序。

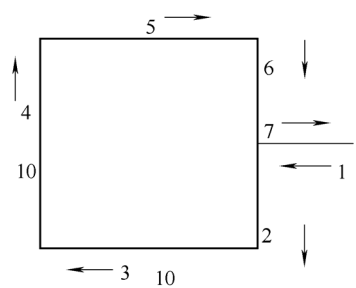


图 2-2 正方形截面切割实例

```
N1: BBB5000GXL3
N2: BBB5000GYL4
N3: BBB10000GXL3
N4: BBB10000GYL2
N5: BBB10000GXL1
N6: BBB5000GYL4
N7: BBB5000GXL1
```

2) 当此例为变锥度切割时，假设②③段的锥度角为 2° 、④段的锥度角为 5° 、⑤段的锥度为 0° 、第⑥段的锥度与第②段的锥度角相同，则原 3B 程度变为

```
N1: BBB5000GXL3
DEG=2
N2: BBB5000GYL4
N3: BBB10000GXL3
DEG=5
N4: BBB10000GYL2
DEG=0
```

N5: BBB10000GXL1

DEG=2

N6: BBB5000GYL4

N7: BBB5000GXL1

3) 完成变锥角度设定后, 按 F3 键, 再按回车键, 储存 3B 指令。按“Esc”键退出, 即可进行变锥切割。通过模拟切割, 显示出变锥图形, 读者可感受变锥切割操作的效果。切割时, 3B 程序中插入的锥度角, 将与 F3 参数里的锥度角相加, 因此变锥切割时 F3 参数里的锥度角一般设为 0° 。

2.2 HF 中走丝编程控制系统

2.2.1 HF 全绘图方式编程软件简介

HF 线切割数控自动编程软件系统, 是一个高智能化的图形交互式软件系统。通过简单、直观的绘图工具, 将所要进行切割的零件形状描绘出来; 按照工艺的要求, 将描绘出来的图形进行编排等处理。再通过系统处理成一定格式的加工程序。其中, 辅助点、辅助直线、辅助圆统称为辅助线; 轨迹线、轨迹圆弧(包含圆)统称为轨迹线。图 2-3 为 HF 系统启动界面。



图 2-3 HF 系统启动界面

全绘图方式编程是为生成加工所需的轨迹线。形成轨迹线的方式有两种: 一是通过作辅助线形成轨迹线, 一般步骤为: [作点]或[作直线]或[作圆]→取交点→再用“取轨迹”将两节点间的辅助线变成轨迹线; 二是直接用[绘直线]、[绘圆弧]、[常用曲线]等模块作出轨迹线。

形成轨迹线后，一般需加引入线、引出线。如加引线后，图形作了修改，必须对图形进行[排序]。

为了更好地了解软件，先来了解一下该软件中的一些基本术语和它的一些约定。

1) 辅助线：用于求解和产生轨迹线（也称切割线）几何元素。它包括点、直线、圆。在软件中将点用红色表示，直线用白色表示，圆用高亮度白色表示。

2) 轨迹线：是具有起点和终点的曲线段。软件中轨迹线是直线段的用淡蓝色表示，是圆弧段的用绿色表示。

3) 切割线方向：切割线的起点到终点的方向。

4) 引入线和引出线：是一种特殊的切割线，用黄色表示。它们应该是成对出现的。

为了更好地使用该系统，做如下约定：

1) 在全绘图方式编程中，用鼠标确定了一个点或一条线后，可使用鼠标或键盘再输入一个点的参数或一条线的参数；但使用键盘输入一个点的参数或一条线的参数后，就不能用鼠标来确定下一个点或下一条线。

2) 为了在以后的绘图中能精确地指定一个点、一条线、一个圆或某一个确定的值，软件中可对这些点、线、圆、数值作上标记。

另外，此软件还规定： Pn (point) 表示点，并默认 $P0$ 为坐标系的原点。 Ln (line) 表示线，并默认 $L1$ 、 $L2$ 分别为坐标系的 X 轴、 Y 轴。 Cn (cycle) 表示圆。 Vn (value) 表示某一确定的值。软件中用 PI 表示圆周率 ($\pi=3.1415926\cdots$)； $V2=\pi/180$ ， $V3=180/\pi$ 。

2.2.2 界面功能

在主菜单下，单击“全绘编程”按钮，出现如图 2-4 所示界面。

“图形显示框”是所画图形显示的区域，在整个“全绘编程”过程中这个区域始终存在。“功能选择框”是功能选择区域，一共有两个。在整个“全绘编程”过程中这两个区域随着功能的选择而变化，其中“功能选择框 1”变成了该功能的说明框，“功能选择框 2”变成了对话提示框和热键提示框，如图 2-5 所示。

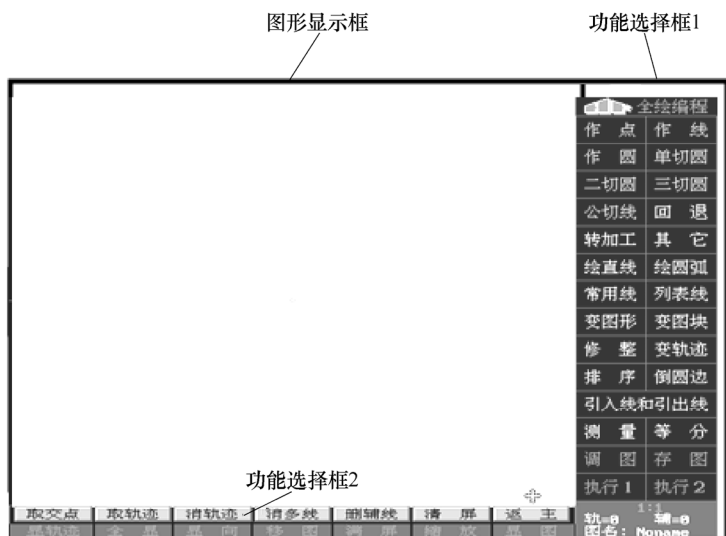


图 2-4 全绘编程界面

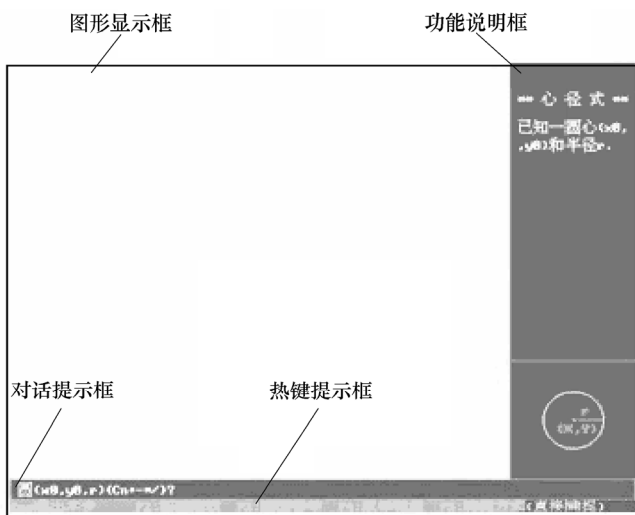


图 2-5 子功能界面

选择“作圆”功能中“心径圆”子功能后出现如图 2-5 所示的子功能界面，此界面中“图形显示框”与图 2-4 一样；“功能说明框”将功能的说明和图例显示出来，以提供作参考；“对话提示框”提示输入“圆心和半径”，当操作者根据要求输入并按“回车”键后，一个按照要求的圆就显示在“图形显示框”内；“热键提示框”提示了该子功能

中可以使用的热键内容。

以上两个界面是全绘编程中常常出现的界面，图 2-5 的界面随着子功能的不同所显示的内容不同。

2.2.3 加工界面操作说明

在编控系统的主菜单中选择“加工”，或在全绘编程环境下选择“转向加工”菜单便进入加工界面，如图 2-6 所示。

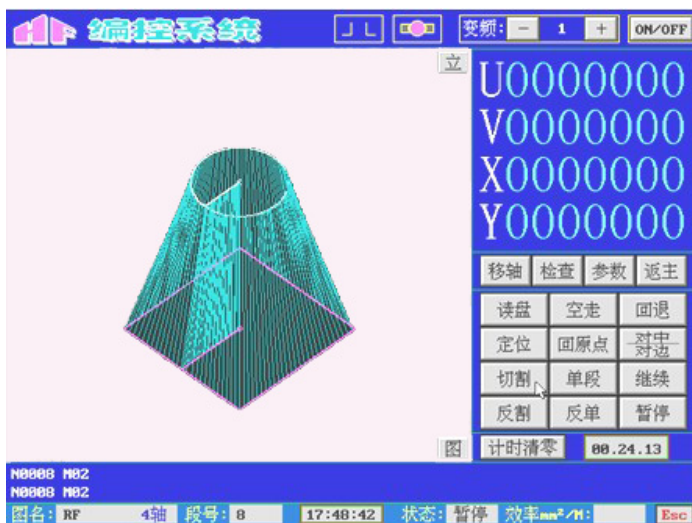


图 2-6 加工界面

在加工前，需要准备好相应的加工文件。本系统所生成的加工文件，均为绝对式 G 代码（无锥式也可生成 3B 加工文件）。

加工文件的准备，主要有两种方法：

1) 在“全绘编程”环境下，绘好图形后选择“执行 1”或“执行 2”，便会进入“后置”，从而生成无锥式 G 代码加工文件，或锥度式 G 代码加工文件，或变锥式 G 代码加工文件，其文件的扩展名分别为“2NC”，“3NC”，“4NC”。

2) 在主菜单中选“异面合成”，则生成上下异面体 G 代码加工文件，其文件的扩展名为“5NC”。当然，在“异面合成”前，必须准备好相应的 HGT 类图形文件。这些 HGT 图形文件都是在“全绘编程”环境下完成的。

加工文件准备好后，就可以进行加工了。加工部分的菜单如下：

1. 参数设置

当单击“参数”按钮时，则进入加工参数设置界面，如图 2-7 所示。



图 2-7 加工参数设置界面

进行锥度加工和异面体加工时（即四轴联动时），需要对“上下导轮间距离”、“下导轮到工作台面距离”、“导轮半径”这三个参数进行设置。四轴联动时（包括小锥度）均采用精确计算，即考虑到了导轮半径对 X、Y、U、V 四轴运动所产生的轨迹偏差。平面加工时，用不到这三个参数，任意值都可。各参数设置选项的含义见表 2-2。

表 2-2 参数设置选项含义

选项名称	类型	含义
短路测等时间	必选	判断加工有否短路现象，通常设定为 5~10s
清角延时时间	可选	为段与段间过渡延时用的，目的是为了改善拐角处由于电极丝弯曲造成的轨迹偏差，系统默认值为 0
回退步数	可选	加工过程中产生短路现象，则自动进行回退。回退的步数则由此项决定。手动回退时也采用此步数
回退速度	可选	适用于自动回退和手动回退
空走速度	可选	空走时、回原点时、对中心或对边时，由此项决定
移轴最快速度	可选	移轴时的速度
切割结束停机报警延时	必选	工件加工完时报警提示时间，可自行设置
最快切割速度	可选	在加工高厚度和超薄工件时，由于采样频率的不稳定，往往会出现不必要的短路现象提示。对于这一问题，可通过设置最快速度来解决

(续)

选项名称	类型	含义
加工厚度	可选	计算加工效率需设置加工零件的厚度
导轮参数	可选	此项有导轮类型、导轮半径、上下导轮间距离、下导轮到工作台距离四个参数,需操作者根据机床的情况来设置
X、Y、U、V轴类型	必选	只需设置一次(一般由机床厂家设置)
XY轴齿补量	选择项	针对由机床的丝杠齿隙发生变化的情况下,作为弥补误差用的。选用此项必须对齿隙进行测量,否则将会影响到加工精度
X拖板的取向	可选项	如果某轴的正反方向与所需要的相反,则选择此项(一般由机床厂家设置)
Y拖板的取向		
U拖板的取向		
V拖板的取向		

在加工过程中,有些参数是不能随意改变的。因为在[读盘]生成加工数据时,已将当前的参数考虑进去。比如,加工异面体时,已用到“两导轮间距离”等参数,如果在自动加工时,改变这些参数,将会产生矛盾。在自动加工时,要修改这些参数,系统将不予响应。

2. 移轴

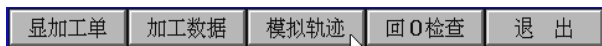
可手动移动XY轴和UV轴,移动距离有自动设定和手工设定。设置界面如图2-8所示。要自动设定,则选“移动距离”,其距离为1.00mm、0.100mm、0.010mm、0.001mm。若要手动设定,则选“自定移动距离”,其距离需按键盘输入。可用HF无绳遥控盒移轴。



图 2-8 移轴设置界面

3. 检查

检查是整个加工操作中较为关键的一步,它关系到后续操作能否顺利进行,分为两轴加工检查和四轴加工检查,界面如图2-9所示。



a)



b)

图 2-9 检查操作界面

a) 两轴加工检查操作界面 b) 四轴加工检查操作界面

1) 显加工单: 可显示 G 代码加工单 (两轴加工时也可显示 3B 加工单)。

2) 加工数据: 在四轴加工时, 显示的是上表面和下表面的图形数据, 同时还显示“读盘”时用到的参数和当前参数表里的参数, 看其是否一致, 以免误操作。

3) 模拟轨迹: 模拟轨迹时, 拖板不动作。

4) 回 0 检查: 按照习惯, 我们总是将加工起点定义为原点 (0, 0), 而不管实际图形的起点是否为原点。这便于对封闭图形的回零检校。

5) 极值检查: 在四轴加工时可检查 X , Y , U , V 四轴的最大值和最小值。显示极值的目的是, 了解四轴的实际加工范围是否能满足该工件的加工。

由此可见, 在四轴加工时, “加工数据”和“极值检查”所显示的内容是有区别的。还应当知道, UV 拖板总是相对于 XY 拖板动作, 因此 UV 值也是相对于 XY 的相对值。

6) 计算导轮: 系统对导轮参数有反计算功能, 如图 2-10 所示。

(1)	通过一个锥体计算导轮距离
(2)	通过二个锥体计算导轮距离
(3)	计算上导轮和下导轮间距离
(4)	计算下导轮到工作台面距离
(5)	计算导轮半径
(0)	退出

图 2-10 导轮计算操作界面

导轮的几个参数 (即上下导轮距离、下导轮到工作台面距离、导轮半径) 对四轴加工, 特别对大锥度加工的影响十分显著。这些参数不是事先能测量准确的, 因此可通过反计算功能来计算修正这些参数。

此外, 根据理论推导和实验检验, 还可以通过对一个上小下大的圆锥体形状的判别来修正导轮距离, 一般规则, 若圆锥体的上圆呈现“右大左尖”的形状, 则应改大上下导轮距离; 反之, 若上圆呈现“左大右尖”的形状, 则应改小上下导轮距离。若圆锥体的上圆偏大, 则应改小下导轮到工作台面距离; 反之, 则改大下导轮到工作台面距离。

4. 读盘

前面提到, 要进行切割加工, 必须在全绘图编程环境下或“异面合成”下, 生成加工文件。文件的扩展名为“2NC”、“3NC”、“4NC”、“5NC”。对 2NC 文件“读盘”时, 速度较快, 对 3NC、4NC、5NC

文件“读盘”时，时间要稍长一些。具体时间可通过屏幕下的进度指示了解。有了这些文件，就可以选择“读盘”这一项，将要加工的文件进行相应的数据处理，然后就可以加工了。

对某一加工文件“读盘”后，只要不改动参数表里的参数，那么，下次加工时，就不需要第二次“读盘”。

该系统读盘时也可以处理 3B 指令加工单。3B 指令加工单可以在“后置”的“其他”中生成，也可直接在主菜单“其他”的“编辑文本文件”中编辑。当然也可以读取其他编程软件所生成的 3B 指令加工单。

5. 空走

空走，分正向空走，反向空走，正向单段空走和反向单段空走。空走时，可按“Esc”键中断空走。

6. 回退

即上面提到的手工回退，手工回退时，可按“Esc”键中断手工回退。手工回退的方向与自动切割的方向是相反的，即：如果在回退之前是正向切割，那么回退时则沿着反方向走。

7. 定位

(1) 确定加工起点 对某一文件“读盘”后，将自动定位到加工起点。但是如果已将工件加工完毕，又要从头再加工，那么就必须用“定位”功能定位到起点。用“定位”还可定位到终点，或某一段的起点。

必须说明，如果在加工的中途停下，又要继续加工，不必用“定位”。可用“切割”、“反割”、“继续”等选项继续进行未完的过程。“定位”对空走也适用。

(2) 确定加工结束点 在正向切割时，加工的结束点一般为报警点或整个轨迹的结束点。在反向切割时，加工的结束点一般为报警点或整个轨迹的开始点。加工的结束点可通过定位的方法予以改变。

(3) 确定是否保留报警点 加工起点、结束点、报警点在屏幕上均有显示。

8. 回原点

将 X、Y 拖板和 U、V（如果是四轴）拖板自动复位到起点，即（0，0）。按“Esc”键可中断复位。

9. 对中和对边

控制器中设计了对中和对边的，在夹具绝缘良好的情况下，可实现此功能。对中和对边时有拖板移动指示。可按“Esc”键中断对边和对中。采用此项功能时，钼丝的初始位置到要碰撞的工件边沿距离不得小于1mm。

10. 自动切割

自动切割有六栏，分别是：切割、单段、反割、反单、继续、暂停。

“切割”即正向切割；“单段”即正向单段切割；“反割”即反向切割；“反单”即反向单段切割；“继续”是按上次自动切割的方向继续切割。“暂停”是中止自动切割，在自动切割方式下，“Esc”键不起作用。

自动切割时，“切割”和“反单”，“反割”和“反向”可相互转换。其速度是由变频数来决定的，变频数大，速度慢。变频数小，速度快。变频数变化范围为1~255。在自动切割前或自动切割过程中均可更改变频数。按“-”键变频数变小，按“+”键变频数变大。改变变频数，均用鼠标操作，按鼠标左键，按1递增或递减变化，按鼠标右键则按10递增或递减变化。

在自动切割时，如遇到短路而自动回退，可按F5键中断自动回退。可同时进行“全绘编程”或其他操作，只要选“返主”便回到系统主菜单，便可选择“全绘编程”或其他选项。

在“全绘编程”环境下，也可随时进入加工菜单。如仍是自动加工状态，那么屏幕上将继续显示加工轨迹和有关数据。

11. 显示图形

在自动切割、空走、模拟时均跟踪显示轨迹。还可同时对显示的图形进行放大、缩小、移动等操作。在四轴加工时，还可进行平面显图和立体显示图切换。

另外，该系统加工界面一般用鼠标操作，如需用键盘热键操作，可参看“系统信息”的有关提示。该系统具有螺距修正功能。并且对加工数据有自动保护功能。如中途断电或意外停机，重新启动计算机后，系统将自动恢复加工数据。系统对编程数据同样也有自动保护功能。

2.2.4 多次切割工艺参数设置

1. 电规准的选择与转换

电规准是指电火花加工过程中一组电参数，如电压、电流、脉宽、脉间等。电规准选择正确与否，将直接影响型腔的加工工艺指标。应根据工件的要求、电极和工件的材料、加工工艺指标和经济效果等因素来确定电规准，并在加工过程中及时地转换。

在粗加工时，要求较高的生产率和低电极损耗，这时可选用宽脉冲、高峰值电流的粗规准进行加工，电流要根据工件而定。刚开始加工时，接触面积小，电流不宜过大，随着加工面积的增大，可逐步加大电流。当粗加工进行到接近要求的尺寸时，应逐步减小电流，改善表面质量，以尽量减少中加工的修整量。

在单电极加工の場合，从中规准起就要利用平动运动来补偿前后两个加工规准间放电间隙差和表面粗糙度差。中规准为粗、精之间的过渡，与粗规准之间并没有明显界限，选用的脉冲宽度、电流比粗规准应小些。

精加工时，采用窄脉宽、小电流的精规准，将表面粗糙度改善到优于 $Ra2.5\mu m$ 的范围。这种规准下的电极相对损耗相当大，可达 10%~25%，但因加工量很少，所以绝对损耗并不大。

在中、精规准加工时，有时还要根据工件尺寸和复杂性适当转换几档参数。

为了得到最高的加工速度和尽可能低的电极损耗，要求每挡规准加工的凹坑底部刚能达到（或稍深，以去除上次加工的表层）上挡加工的凹坑底部，达到既能修光，又使中、精加工的去除量最少。

2. 第一次切割的任务是高速稳定切割，保证切割效率

（1）脉冲参数 选用高峰值电流，较长脉宽的参数进行大电流切割，以获得较高的切割速度。

（2）电极丝中心轨迹的补偿量 $f=1/2d+\delta+A+S$

式中 f ——补偿量（mm）；

δ ——第一次切割时的放电间隙（mm）；

d ——电极丝直径（mm）；

Δ ——留给第二次切割的加工余量 (mm);

S ——精修余量 (mm)。

在高峰值电流粗规准切割时, 单边放电间隙大约为 0.02mm; 精修余量甚微, 一般只有 0.003mm; 而加工余量 Δ 则取决于第一次切割后的加工表面粗糙度及机床精度, 大约在 0.03~0.04mm 范围内。这样, 第一次切割的补偿量应在 0.05~0.06mm 之间, 选大了会影响第二次切割的速度, 选小了又难于消除第一次切割的痕迹。

(3) 走丝方式 采用高速走丝, 走丝速度为 8~12m/s, 达到最大加工效率。

3. 第二次切割的任务是精修, 保证加工尺寸精度

(1) 脉冲参数 选用中等规准, 使第二次切割后的表面粗糙度 Ra 在 1.4~1.7 μ m 之间。

(2) 补偿量 f 由于第二次切割是精修, 此时放电间隙较小, δ 不到 0.01mm, 而第三次切割所需的加工质量甚微, 只有几微米, 二者加起来约为 0.01mm。所以第二次切割的补偿量 f 约为 $1/2d+0.01$ mm。

(3) 走丝方式 为了达到精修的目的, 通常采用低速走丝方式, 走丝速度为 1~3m/s, 并对跟踪进给速度限制在一定范围内, 以消除往返切割条纹, 并获得所需的加工尺寸精度。

4. 第三次切割的任务是抛磨修光, 获得较高表面质量

(1) 脉冲参数 用最小脉宽进行修光, 而峰值电流随加工表面质量要求而异。

(2) 补偿量 f 理论上补偿量是电极丝的半径加上 0.003mm 的放电间隙, 实际上精修过程是一种电火花磨削, 加工量甚微, 不会改变工件的尺寸大小, 所以仅用电极的半径作补偿量也能获得理想效果。

(3) 走丝方式 像第二次切割那样采用低速走丝限速进给即可。

2.2.5 多次切割操作实例

为使读者实际理解和操作多次切割数控系统, 下面以三次切割一个如图 2-11 所示的图形, 从而说明该软件的基本应用。首先进入软件系统的主菜单, 单击“全绘编程”按钮进入全绘图编程环境。

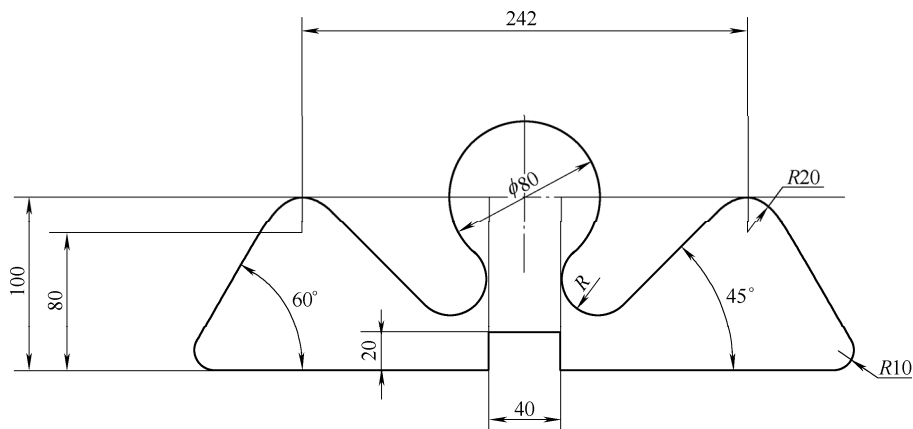


图 2-11 多次切割加工实例

第一步：单击“功能选择框”中的“作线”按钮，再在“定义辅助直线”对话框中单击“平行线”按钮，定义一系列平行线。平行于 X 轴、距离分别为 20mm、80mm、100mm 的三条平行线和平行于 Y 轴、距离分别为 20mm、121mm 的两条平行线；图中“对话提示框”中显示“已知直线 (x3, y3, x4, y4) {Ln+-*/}?” 此时可用鼠标直接选取 X 轴或 Y 轴；也可在此框中输入 L1 或 L2 来选取 X 轴或 Y 轴，如图 2-12 所示。

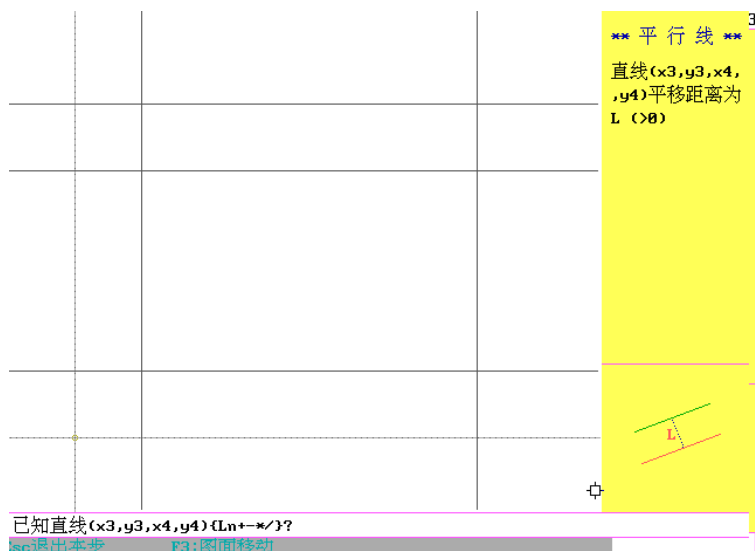


图 2-12 平行线绘制界面

图中的“对话提示框”中显示“平移距 $L=\{Vn+-*/\}$ ”，此时输入平行线间的距离值（如 20）后回车；图中“对话提示框”中显示“取

平行线所处的一侧”，用鼠标点一下平行线所在的一侧，这样第一条平行线就形成了。此时画面回到继续定义平行线的画面，可接着再定义其他平行线。当以上几条线都定义完后，按一下键盘上的“Esc”键退出平行线的定义，画面回到“定义辅助直线”。单击“退出”按钮可退出定义直线功能模块。此时可能有一条直线在“图形显示区”中看不到，可通过“热键提示框”中的“满屏”子功能将它显示出来。也可通过“显图”功能中的“图形渐缩”子功能来完成。

第二步：绘制两个圆 $\phi 80\text{mm}$ 、 $\phi 40\text{mm}$ 和 45° 、 -60° 的两条斜线。从图中可以知道这两个圆的参数，可直接输入这些参数来定义这两个圆。这里将用另外一种方式来确定这两个圆。

确定两个圆的圆心，单击“取交点”按钮，此时画面变成了取交点的画面。将鼠标移到平行于 X 轴的第三条线与 Y 轴相交处点一下，这就是 $\phi 80\text{mm}$ 的圆心。用同样的方法来确定另一圆的圆心。此时两个圆心处均有一个红点。按“Esc”键退出。圆的绘制界面如图2-13所示。

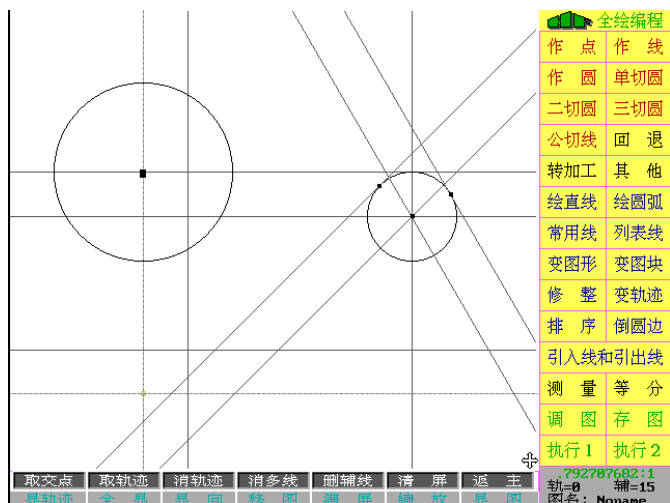


图 2-13 圆的绘制界面

单击“作圆”按钮，进入“定义辅助圆”功能，再单击“心径圆”按钮，进入“心径式”子功能。按照提示选取一圆心点，此时可拖动鼠标来确定一个圆，也可在对话提示框中输入一确定的半径值来确定一个准确的圆。

图中 $\phi 80\text{mm}$ 、 $\phi 40\text{mm}$ 两个圆，用取交点的方法来确定圆心的另一

个目的是为作 45° 、 -60° 两条直线做准备。退回到“全绘编程”界面。

单击“作线”按钮，进入“定义辅助直线”功能，单击“点角线”按钮，进入“点角式”子功能。此时在对话提示框中显示“已知直线 (x3, y3, x4, y4) {Ln+*/}?”您可用鼠标去选择一条水平线，也可在此提示框中输入 L1 表示已知直线为 X 轴所在直线。对话提示框中显示的是“过点 (x1, y1) {Pn+*/}?”此时可输入点的坐标，也可用鼠标去选取图中右边的圆心点；再下一个画面的对话提示框中显示的是“角(度) w={Vn+*/}”，此时输入一个角度值如 45° 回车。屏幕中就产生一条过小圆圆心且与水平线成 45° 的直线。用同样的方法去定义与 X 轴成 -60° 的直线，退出“点角式”。再进入定义“平行线”子功能，去定义分别与这两条线平行且距离为 20 的另外两条线。退出“作线”功能。用“取交点”功能来定义这两条线与圆的相切点并退出此功能界面，如图 2-13 所示。

下面将通过“三切圆”功能来定义图样中标注为 R 的圆。单击“三切圆”按钮后进入“三切圆”功能。按图中三个椭圆标示的位置分别选取三个几何元素，此时“图形显示框”中就有满足与这三个几何元素相切的，并且不断闪动的虚线圆出现，可通过鼠标来确定任意一个圆，如图 2-14 所示。

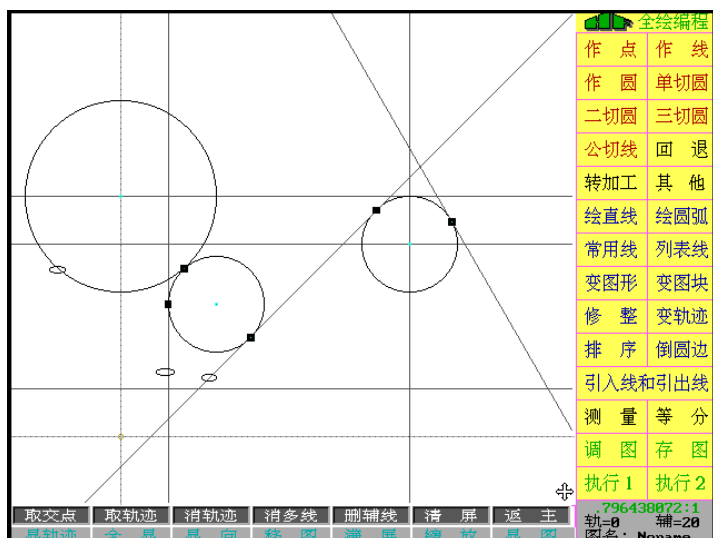


图 2-14 绘制切线与相切圆界面

第三步：通过“作线”、“作圆”功能中的“轴对称”子功能来定义 Y 轴左边的图形部分。

单击“作线”按钮，进入“作线”功能；点击“轴对称”按钮，进入“轴对称”子功能。按照“对话提示框”中所提示内容进行操作，将所要对称的直线对称地定义到 Y 轴左边。退回“全绘编程”界面。

单击“作圆”按钮，进入“作圆”功能；点击“轴对称”按钮，进入“轴对称”子功能。按照“对话提示框”中所提示内容进行操作，将所要对称的圆对称地定义到 Y 轴左边。退回“全绘编程”界面。

再用[取交点]的功能来定义下一步[取轨迹]所需要的点。图形绘制界面如图 2-15 所示。

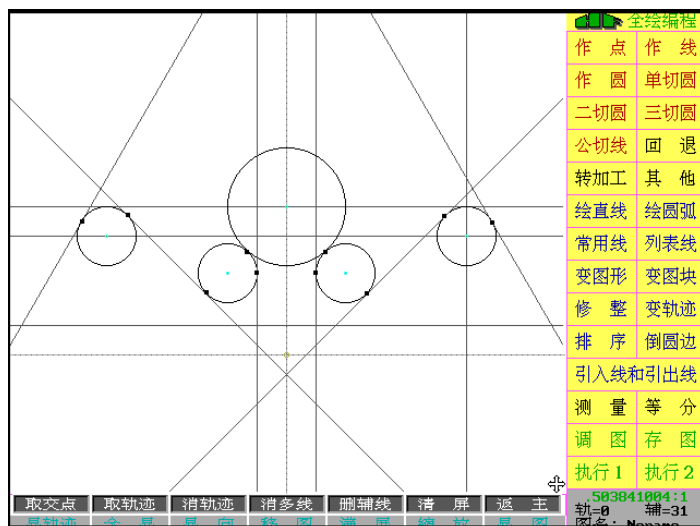


图 2-15 图形绘制界面

此时图中仍有两个 $R10$ 的圆弧还没有定义，这两个圆弧将采用“倒圆边”功能来解决。需要注意的是“倒圆边”只对轨迹线起作用。

第四步：按照图形的轮廓形状，在图 2-15 中每两个交点间的连线上进行取轨迹操作，得到轨迹线。

退出“取轨迹”功能。单击“倒圆边”按钮，进入“倒圆”或“倒边”功能，用鼠标点取需要倒圆或倒边的尖点，按提示输入半径或边长的值，就完成了倒圆和倒边的操作如图 2-16 所示。退回到“全绘编程”界面。

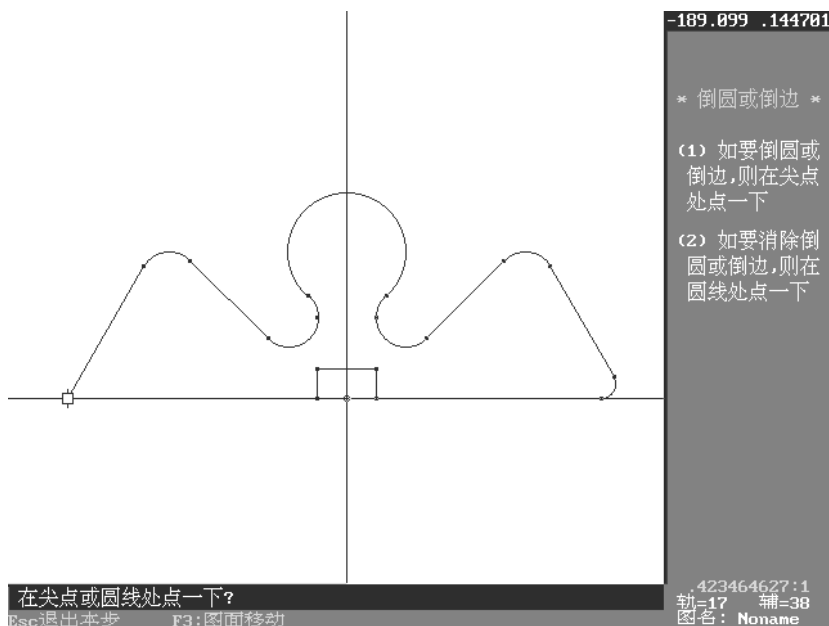


图 2-16 倒圆或倒边后的轨迹线

到此这一例子的作图过程就完成了。当然这个例子的作图方法并不只这一种。在读者熟悉了各种功能后，可灵活应用这些功能来作图，也可达到同样的效果。

在进行下一步操作之前，我们再对上图作一个合并轨迹线操作，以便了解合并轨迹线的应用。图 2-16 中 Y 轴右边、图 2-11 中标注为 R 的圆弧，是由两段圆弧轨迹线所组成。此两段圆弧是同心、同半径的，可通过排序中“合并轨迹线”功能将它们合并为一条轨迹线。

单击“排序”按钮，进入排序功能，再单击“合并轨迹线”按钮，进入合并轨迹线子功能，此时对话提示框中显示“要合并吗？(y)/(n)”，当按一下“Y”键并回车后，系统自己进行合并处理。单击“回车...退出”按钮，回到“全绘编程”界面。再单击“显向”按钮，这时可看出那两条轨迹线已合并为一条轨迹线，如图 2-17 所示。

第五步：当完成了上步操作后，零件的理论轮廓线的切割轨迹线就已形成。在实际加工中，还需要考虑钼丝的补偿值以及切入点的位置。关于这些问题，系统应用引入线引出线功能来实现。系统所提供的引入线引出线功能比较齐全，如图 2-18 所示。

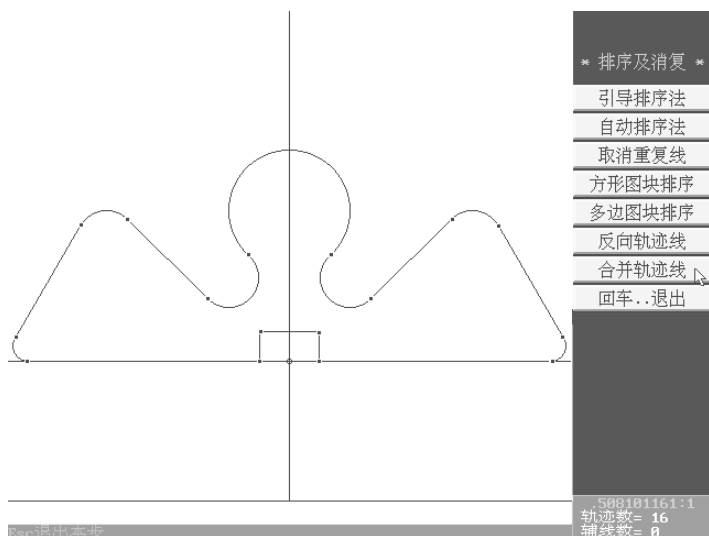


图 2-17 排序操作界面



图 2-18 引入线引出线设置界面

作一般引线可以通过三种方式完成：

- 1) 用端点来确定引线的位置、方向。
- 2) 用长度加上系统的判断来确定引线的位置、方向。
- 3) 用长度加上与 X 轴的夹角来确定引线的位置、方向。

另外，可以将直线变成引线，即选择某直线轨迹线作为引线。

“自动消引线”可自动将所设定的一般引线删除；“修改补偿方向”为任意修改引线方向。“修改补偿系数”可调整不同的补偿系数以满足不同封闭图形需要有不同的补偿值的要求。

在“全绘编程”界面中，单击“引入线引出线”按钮，进入引入线引出线功能；再单击“作引线（端点法）”按钮，进入此功能；对话提示框中显示“引入线的起点（ A_x, A_y ）？”，此时可直接输入一点的坐标或用鼠标拾取一点，例如在“显向画面”图中的小椭圆处点一下；对话提示框中显示“引入线的终点（ B_x, B_y ）？”，此时可直接输入点的坐标（0，20）或用鼠标去选取这一点；对话提示框中显示“引线括号内自动进行尖角修圆的半径 $sr=?$ （不修圆回车）”，这一功能对于一个图形中没有尖角且有很多相同半径的圆角时非常有用；此时输入 5 作为修圆半径，回车后，对话提示框中显示“指定补偿方向：确定该方向（鼠右键）/另换方向（鼠左键）”，如图 2-19 所示。



图 2-19 引线绘制界面

图中箭头是希望的方向，点鼠标右键完成引线的操作（注意：在作引入线时会自动排序）。图中有一白色移动的图标，表明钼丝的行走方向和钼丝偏离理论轨迹线的方向。单击“退回”按钮，回到“全绘编程”界面。

第六步：存图操作。在完成以上操作后，将所做的工作进行保存，以便以后调用。此系统的存图功能包括“存轨迹线图”、“存辅助线图”、“存 DXF 文件”、“存 AUTOP 文件”子功能。按照这些子功能的提示进行存图操作即可。

第七步：执行和后置处理：该系统的执行部分有两个，即“执行 1”和“执行 2”。这两个执行的区别是：“执行 1”是对所作的所有轨迹线进行执行和后置处理；而“执行 2”只对含有引入线和引出线的轨迹线进行执行和后置处理。对于本例来说，采用任何一种执行处理都可。现单击“执行 1”，屏幕显示为：

（执行全部轨迹）

（Esc：退出本步）

文件名：Noname

间隙补偿值 f = (单边, 通常 ≥ 0 , 也可 < 0)

输入 f 值, 回车确认后, 出现如图 2-20 所示的界面。

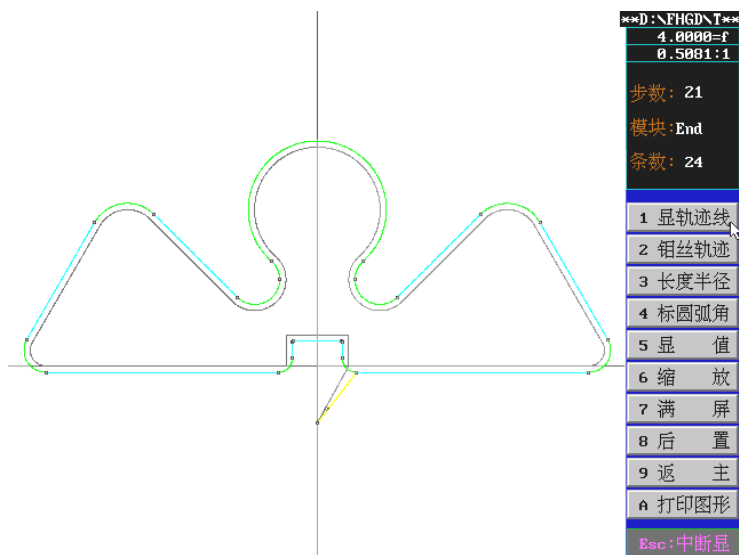


图 2-20 执行和后处理显示界面

图 2-21 所示为产生加工程序前的检测界面, 在这一界面中我们可以对零件图形作最后的确认操作。

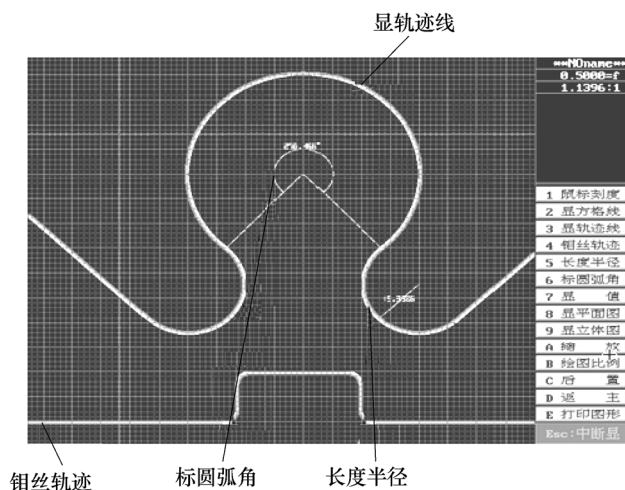


图 2-21 检测界面

确认图形完全正确后, 通过“后置”按钮进入“后置处理”。其中:

1) 返回主菜单：退回到最开始的界面，则可转到加工界面。

2) 生成平面 G 代码加工单：生成两轴 G 代码加工程序单，数据文件扩展名为“2NC”。

3) 生成 3B 代码加工单：生成两轴 3B 代码加工程序单，数据文件扩展名为“2NC”。

4) 生成一般锥度加工程序单：数据文件扩展名为“3NC”。如图 2-22 所示，确定基准面、正锥或倒锥、填入锥体的角度和厚度。

5) 生成变锥锥度加工程序单：数据文件扩展名为“4NC”，如图 2-22 所示。选择基准图形的位置，输入锥体工件的厚度，标出锥度。必须在引线上标出通用锥度，在某一线段上标出的则为该段锥度。最后加工程序单存盘，数据文件扩展名为“4NC”。

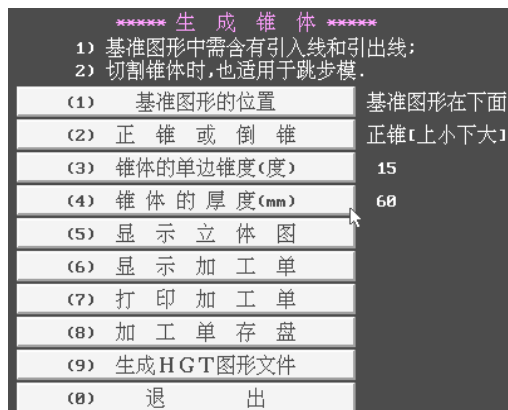


图 2-22 生成锥体设置界面

6) 切割次数：快走丝切割次数通常为 1 次，如为了降低粗糙度，中走丝设置多次切割。

要注意的是，必须将 G 代码加工程序单存盘或 3B 加工程序单存盘，为加工做好准备。建议用 G 代码，因为 G 代码精度高。选择“执行 2”切割次数输入“3”，进入切割次数设置界面，如图 2-23 所示。输入参数值后，单击“确定”结束设置。



图 2-23 切割次数设置界面

完成上述工作后，设置间隙补偿值 f 输入“0.08”（钼丝直径 0.18mm）；后置、G 代码加工程序单存盘（无锥），给出存盘的文件名为“FANG”；返回主菜单后，进入加工界面，读盘，读 G 代码程序，选择文件“FANG”，屏幕显示待加工轨迹图；调节好高频电源各组参数，按下“锁定”键，打开运丝、水泵、高频，然后按“切割”进行

加工。

另外需要注意：

通常情况下，高频组号（0-2）用于第一次切割，高频组号（3-5）用于第二次切割，高频组号（6-7）用于第三次切割。如切割次数为3次，厚度在20mm以下，一般用2-4-6组高频参数；切割厚度为20~40mm，用1-3-5组高频参数；切割厚度为40~60mm，用1-3-4组高频参数。

以 $\phi 0.18\text{mm}$ 钼丝计，补偿值可选为0.08mm，则第一刀的补偿量为0.16mm（即第一次偏离量+补偿值），第二刀的补偿量为0.1mm（即第二次偏离量+补偿值），第三刀的补偿量为0.08mm（即补偿值），如尺寸偏小（凸模），则补偿值加大，如尺寸偏大（凹模），则补偿值减小。

第3章

数控高速走丝电火花线切割加工实训项目

3.1 数控高速走丝电火花线切割安全操作规程

在使用数控高速走丝电火花线切割机床进行加工的过程中，应该从操作者安全和设备安全等两个方面来考虑机床的安全操作规程。

3.1.1 机床安装与使用环境要求

数控高速走丝电火花线切割机床属于精密机床，正确选择安装与使用位置和环境非常重要，不良的安装位置和环境将会影响机床的使用寿命以及零件的加工精度。

1) 机床的安装位置应远离锻压、冲压等产生强烈振动的设备，以防止振动影响机床本身的精度和加工精度。机床四周设置防振沟、安装调整机床使用减振垫铁等都是用于减少周围环境对机床精度影响的方法。

2) 机床应该安装在没有灰尘污染、没有腐蚀性气体或液体的环境中，以防止灰尘、粉尘以及腐蚀性气体或液体等导致的滚珠丝杠、导轨和工作台的磨损，以及其对电器元件造成的损坏。

3) 机床应远离大功率电气设备，以免引起对加工电源、控制装置等的干扰。

4) 机床工作的环境温度与湿度对机床的使用寿命和加工性能有一定的影响。一般地，线切割机床工作的环境温度应保持在 $15\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，对加工精度有较高要求时，环境温度应严格控制在 $(20\pm 3)^{\circ}\text{C}$ 。环境的湿度一般不宜大于 70%，如果环境的湿度过大，容易使机床的工作台和加工后的工件产生锈蚀，容易使机床的电器元件损坏。

5) 在数控高速走丝电火花线切割机床加工过程中，由于大量使用线切割工作液，会产生一些有害气体，所以机床安装场所应保证空气流畅。

3.1.2 安全操作规程

为了保证操作者的人身安全和设备的安全，操作人员必须遵守以下安全操作规程：

1) 操作者必须熟悉数控高速走丝线切割机床的操作技术，能按照规定的操作步骤操作机床。

2) 操作者必须熟悉数控高速走丝电火花线切割加工工艺，能根据加工要求恰当地选取加工参数。

3) 开机前应按照设备润滑要求，对机床的相关部位进行注油润滑。一般地，对机床高速运动的部位，如储丝筒拖板导轨、储丝筒丝杠副、导轮轴承等处，应每班注油一次；对于工作台导轨、工作台滚珠丝杠副等处，每半年或根据实际情况进行加注润滑脂。

4) 在手动安装电极丝时，应保持电极丝不打折，以免电极丝断丝。电极丝安装完成后，及时将摇柄取出，以免摇柄甩出伤人。

5) 在机动安装电极丝的时候，应将储丝筒的护罩、导轮护罩等安装好，以免在电极丝运转的过程中将物体（如工具、棉纱等）卷入，以及断丝时发生缠绕和飞射伤人等事故。

6) 用过的废丝要放在规定的容器里，防止混入系统中引起短路、触电等事故。

7) 在切割加工之前，要对工件进行必要的热处理，尽量消除工件的残余应力，防止切割过程中工件爆炸伤人，加工之前，应安装好防护罩。

8) 正式加工工件之前，应确认工件已安装正确，防止碰撞丝架和因超程撞坏丝杠、螺母等传动部件。

9) 手动或自动移动工作台时，必须注意电极丝的位置，避免电极丝与工件或工装产生干涉造成断丝。

10) 在切割加工过程中会产生一些有害物质（如废弃的工作液、气体和烟雾），还会产生电磁波辐射，为避免以上因素对操作者产生伤害，必须对有害物质进行必要的处理，不得随意丢弃，另外，在加工过程中，操作者应与机床保持一定距离。

11) 机床附近不得放置易燃、易爆物品，防止因工作液一时供应

不足产生放电火花而引起火灾事故。

12) 禁止用湿手按动开关或接触电器部分, 防止工作液等导电物进入机床电器部分。当机床因电器短路造成火灾时, 首先应切断电源, 并立即用四氯化碳灭火器灭火, 禁止用水灭火。

13) 定期检查机床的保护接地是否可靠, 注意各部位是否漏电, 在电路中尽量采用防触电开关。

14) 在对机床电器、脉冲电源、控制系统、机械系统等部分进行维修前, 必须切断电源, 防止损坏电器元件以及触电事故的发生。

15) 加工完成后应及时清理工作台、工装等表面的工作液, 并涂上适量的润滑油, 防止工作台、工装等部位的锈蚀。

16) 在机床运行过程中, 不要将身体靠在机床上, 不要将工具、量具放在移动的工件或部位上。

17) 在机床运行过程中发生紧急情况时, 应立即按红色急停按钮来停止机床的运行。

3.1.3 机床的保养

数控高速走丝电火花线切割机床保养的目的是为了保证机床能正常运行可靠地运行, 保持其加工精度, 延长机床的使用寿命。数控高速走丝电火花线切割机床的保养应从以下几个方面进行:

1. 定期润滑

数控高速走丝电火花线切割机床的运动部件, 如机床导轨、丝杠副、传动齿轮、导轮轴承等应进行定期润滑, 通常使用规定的润滑油进行润滑。如果轴承、丝杠副等是保护套形式, 应在使用半年或一年后拆开清洗换油。

2. 定期调整

对于丝杠副、导轨等运动部件, 要根据使用的时间、磨损情况、间隙大小等状况进行调整, 以使机床在最好的状态下工作。

3. 定期更换

定期检查导轮“V”形槽的磨损情况, 如果磨损严重应及时更换。经常检查导电块与电极丝接触是否良好, 导电块磨损到一定程度, 要及时更换。更换的时候要采用正确的方法, 使更换后的部件达到规定

的运动精度。工作液在使用一段时间后会很脏，将会影响加工的正常进行，要定期更换。定期检查上下喷嘴的损伤和脏污程度，应及时清洗和更换。定期更换控制电柜上的空气过滤器，以免过滤器太脏引起电柜过热而使电器元件损坏。

4. 定期检查

定期检查机床的电源线、行程开关、换向开关、急停按钮等是否安全可靠。经常检查工作液是否足够，管路是否通畅。

3.2 数控高速走丝电火花线切割机床开机实训

操作者在启动数控高速走丝电火花线切割机床之前，必须仔细阅读所使用机床的《机床使用说明书》和与之配套的《电柜使用说明书》，熟悉机床的机械、电气、传动原理，熟悉机床主要部分的结构，熟悉各操作开关的位置及其作用。

3.2.1 开机前准备

1. 开机前检查

包括外接动力电源连接是否可靠，电柜与机床本体的控制及动力电源的接线是否牢固，电柜外观是否正常等。

2. 机械部位准备

将工作台移动到中间部位，摇动储丝筒，检查拖板往复运动是否灵活，调整左右撞块，控制拖板合理行程。

3.2.2 启动机床

合上总电源开关，按下电柜控制面板上的机床电源开关，启动数控系统及机床，具体操作如前所述。

3.2.3 检查机床系统各部位状态

启动机床后，应对机床系统各部位的状态进行检查，以保证机床能在正常的状态下进行工作。一般地，机床系统的检查包括以下内容：

- 1) 显示屏幕是否有数控系统的错误提示信息, 如有, 应及时进行处理。
- 2) 起动走丝电动机, 检查运转是否正常, 检查拖板换向动作是否可靠, 换向时高频电源是否自行切断; 并检查限位开关是否起到停止走丝电动机的作用。
- 3) 进行手控盒、控制面板按钮的操作, 检查是否有按键失灵、失效等情况。
- 4) 工作作纵横向移动, 检查输入信号与移动动作是否一致。
- 5) 检查断丝保护开关是否可靠。

3.3 数控高速走丝电火花线切割加工工件装夹、校正实训

与其他加工方式一样, 数控高速走丝电火花线切割加工工件时, 需要使工件准确、可靠地安装在机床工作台上, 以保证加工出合格的工件。应该注意的是, 在装夹工件时, 应保证工件的切割部位位于机床工作台纵向、横向进给的允许范围内, 不可以超出极限。同时, 应考虑好切割时电极丝的运动空间, 工作台移动时, 不得与丝架相干涉。工装(夹具)应尽可能选用通用工装, 所选工装应便于装夹和调整, 便于协调工件与机床之间的关系。另外, 工件的夹紧力要适当, 夹紧力不能太小, 以免工件的装夹不可靠。同时, 夹紧力也不可太大, 以免产生变形, 影响加工精度。

3.3.1 工件的装夹

1. 悬臂式装夹

悬臂式装夹是将工件直接装夹在工作台面上或桥板式夹具的刃口上, 如图 3-1 所示。这种装夹方式通用性强、使用方便。但由于工件单端固定, 另一端呈悬梁状, 因而工件平面不易平行于工作台面, 易出现上仰或下斜, 致使切割表面与其上下平面不垂直或不能达到预定的精度。另外, 加工中工件受力时, 位置容易变化, 一般当工件的技术要求不高的情况下才能使用。

2. 两端支撑装夹

两端支撑装夹是将工件两端固定在工作台面或夹具上，如图 3-2 所示。这种方法通用性也较强，夹持方便，夹紧力控制均匀，定位简单，精度较高，一般不适用于较小工件的装夹。

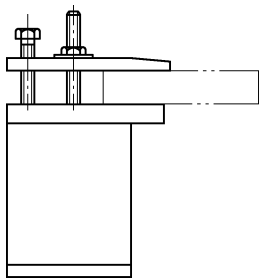


图 3-1 悬臂式装夹

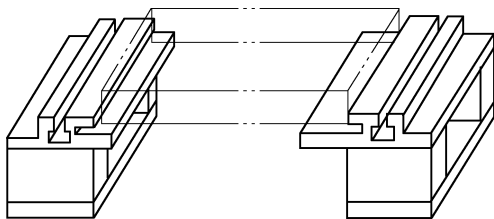


图 3-2 两端支撑装夹

3. 桥式支撑装夹

桥式支撑装夹是将线切割专用桥板，采用两端支撑方式架在双端支撑夹具上，如图 3-3 所示。

其特点是通用性强，装夹方便，对大、中、小工件都可方便地进行装夹，特别是带有相互垂直的定位基准面的夹具，可节省使侧面具有平面基准的工件的找正等工序。

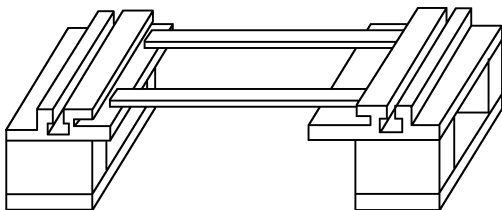


图 3-3 桥式支撑装夹

4. 板式支撑装夹

板式支撑装夹是根据常用的工件形状和尺寸，采用有通孔的支撑板装夹工件，如图 3-4 所示。这种装夹方式定位精度高，安装使用方便，装夹效率高，适用于常规生产和批量生产。

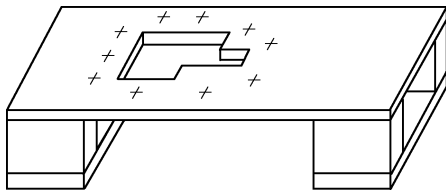


图 3-4 板式支撑装夹

5. 复式支撑装夹

复式支撑装夹是在桥式夹具上再固定专用夹具而成，如图 3-5 所示。这种装夹方式可以很方便地实现工件的成批加工，能快速地装夹工件，因而可以节省装夹工件的辅助时间。

6. 磁性夹具装夹

采用磁性工作台或磁性表座夹持工件，如图 3-6 所示。这种装夹方式是依靠磁性力来装夹工件的，不需要压板和螺栓进行压紧，操作调整迅速简便、通用性强，应用范围广。

另外，对于特殊形式的工件的加工，如轴类工件、需精确分度类工件、螺旋回转类工件的加工，可根据加工要求采用 V 形块夹具、分度头夹具以及专用夹具进行加工，这里不一一详述。

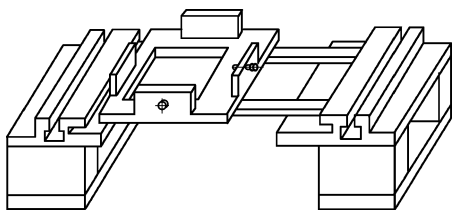


图 3-5 复式支撑装夹

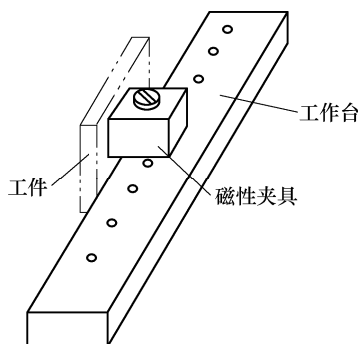


图 3-6 磁性夹具装夹

3.3.2 工件的校正

装夹工件时，在夹紧工件之前，应先对工件的位置进行校正（找正），使工件的定位基准面分别与机床工作台的进给方向保持平行，以保证所切割的表面与基准面之间的相对位置精度。常用的校正方法有拉表法、画线法和固定基面靠定法。

1. 拉表法

所谓拉表法即使用百分表或千分表进行校正，校正时，用磁力表座将百分表或千分表固定在丝架或其他相对于工作台不动的位置上，并保证固定可靠。使表的测头与工件需校正的表面接触，往复移动工作台，按表的示数（指示值）调整工件的位置，直到工件被调整到准确的位置，满足加工要求为止。一般地，校正应该在纵向、横向和垂直方向等三个方向来进行。

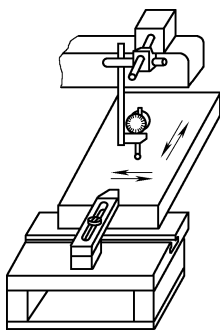


图 3-7 拉表法校正

应该注意的是，所选择的校正面应准确可靠，不精确的校正面会影响校正精度。另外，在夹紧工件后，还应重新拉表检查，以免在夹紧的过程中，因施加夹紧力而使校正好的工件的位置发生改变。拉表法校正如图 3-7 所示。

2. 画线法

当工件需切割的形状与定位基准之间的相互位置精度要求不高时，可采用划针代替百分表或千分表进行校正，这种方法方便快捷，容易上手。具体操作过程为：利用固定在丝架上的划针对准工件上画出的基准线，往复拉动工作台，目测基准线与划针之间的偏离情况，将工件调整到合理的位置。使用画线法进行校正的时候，应该注意以下几个方面：工件的基准面应尽可能清洁、无毛刺；所画的基准应尽可能准确、清晰；所打的样冲孔用力不能太大，且用力要均匀。画线法校正如图 3-8 所示。

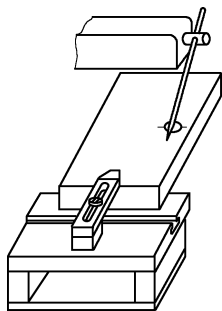


图 3-8 画线法校正

3. 固定基准面靠定法

固定基准面靠定法是利用通用或专用夹具纵横方向的基准面，经过一次校正后，保证基准面与机床相应坐标方向一致，并稳定可靠地装夹于机床上。此时，具有相同加工基准面的工件可以直接安装定位，进行加工。应该注意的是，该方法在使用一段时间后，应及时检查，如果定位基准面定位误差超过规定值，必须及时调整，以保证其定位精度。这种方法适用于批量工件的加工，固定基准面靠定法校正如图 3-9 所示。

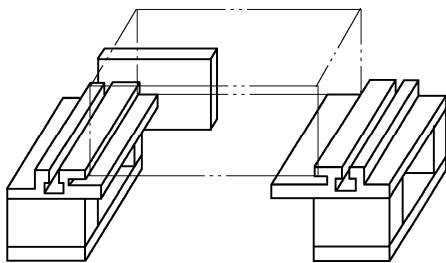


图 3-9 固定基准面靠定法校正

3.4 数控高速走丝电火花线切割加工电极丝安装实训

前面已经对电极丝的材料、规格与选用做过介绍。在工作中，机

床的走丝机构带动电极丝以一定的速度进行运动，完成对工件的加工。电极丝的上丝、穿丝以及调整是数控高速走丝线切割机床操作的一个重要环节，它直接影响到工件加工的效率和加工质量，所以对线切割机床的上丝、穿丝以及电极丝的调整应熟练掌握。不同厂家生产的电火花线切割机床的型号、结构形式不同，上丝、穿丝等方法会有所不同，但操作方法大同小异，需要大家在实践过程中掌握其要领。

3.4.1 电极丝的安装

电极丝的安装过程实际上就是将电极丝从丝盘缠绕到储丝筒上（上丝），然后，按照要求再将电极丝正确安装（缠绕）到走丝系统（穿丝）并调整储丝筒行程的过程。也就是说，电极丝的安装包括上丝、穿丝和调节等三个步骤。

1. 上丝

在上丝前，先将储丝筒用摇柄转动，使其移动到右端，根据需上丝的多少，目测使上丝的位置对准过丝槽中心，然后将丝通过上丝导轮引到储丝筒右端紧固螺钉处压紧。如图 3-10 所示。打开储丝筒控制面板上的“上丝电动机开关”，调节“上丝电动机电压调节钮”，使其电压表的指示值在 60V 左右，检查电极丝位置是否正确，开始用摇柄顺时针摇动，此时，电极丝便以一定的张力缠绕在储丝筒上，直到所上的电极丝达到需要的位置。关闭上丝电动机开关，剪断电极丝，整理好丝盘，上丝工作完成。

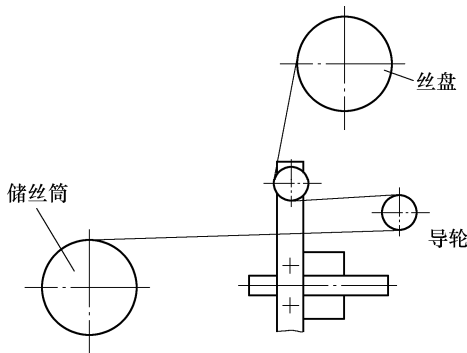


图 3-10 上丝示意图

在上丝过程中，上丝所对准的位置越靠近储丝筒上右端的螺钉，电极丝就可以上得越满（多）。一般来说，根据实际加工需要，决定上丝的多少。上丝越多，加工过程中反复换向的次数就越少，加工稳定性也好，效率就高，但是一旦断丝，浪费的电极丝就越多；上丝越少，

加工过程中反复换向的次数就越多，电动机及其相关零件加速损坏，加工稳定性不高。对于熟练操作者来说，选择的电极丝排列在储丝筒上的长度为 20mm 左右。另外，在上丝过程中，用手摇动摇柄的力和摇动速度要均匀，这样，电极丝缠绕在储丝筒上的力就均匀，电极丝排列也均匀，否则，电极丝易产生重叠现象，带来不便。

2. 穿丝

在穿丝时，首先将配重滑块移动到最前端并固定，将电极丝依次绕过走丝机构各导轮及导电块，最后，绕回储丝筒端，用螺钉固定。取下配重块固定销钉，反绕储丝筒几圈，穿丝完成。注意，电极丝经过导轮后要从储丝筒下方绕回，电极丝要与途经的导电块良好接触，不可卡入里面的螺钉上。

3. 调节

安装电极丝的调节步骤主要是换向块位置的调节和电极丝张力的调节，如图 3-11 所示。调节换向块时，首先松动换向块，将储丝筒往回摇动 5mm（轴向）左右，将左边的换向块移动对准左面的无触点感应开关，拧紧换向块。启动储丝筒，使其移动到右端，距离右端丝位置 5mm 左右时停止，再将右端换向块移动到无触点感应开关处对准，拧紧换向块。由于无触点感应开关位置不便由目测确定，可通过走丝观察左右换向位置处电极丝的多少，微调一下换向位置，保证换向时不冲出储丝筒的限位即可，这样可以最大限度地利用电极丝。

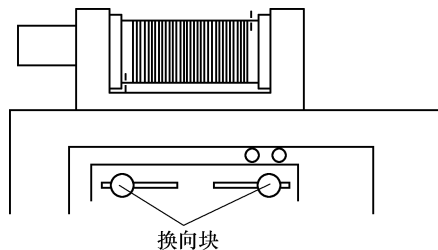


图 3-11 调节换向块

电极丝张力的调节可在调整换向位置后进行，调节过程最好用手动的方式。左手从储丝筒一段开始转动摇柄，同时右手拉动配重滑块，拉动的力稍大于配重力。绕到电极丝的另一端，此时，电极丝在拉力的作用下伸长（软丝的延伸率可达到 20%，而硬丝则小于 2%），达到最好的张力状态，使得电极丝在运动时不产生振动和变形。然后，将电极丝绕到紧固的端头，拉紧电极丝，使配重滑块尽量向前，重新固定电极丝，剪掉多余的部分，

绕回到正常工作位置，电极丝张力调节完成。此调节过程应该注意的是，拉动力不可太大，以免拉断电极丝，拉力的大小需在实践上去体会。另外，在新电极丝工作一段时间后，由于电极丝塑性逐渐释放，工作长度不断伸长，需要随时观察并调节其张力，以使电极丝达到最佳的张力工作状态。

3.4.2 电极丝垂直度的校正

在工作中，电极丝是否与工作台垂直将直接影响着电火花线切割加工的精度。在新机床投入使用时以及线切割机床工作一段时间后，需定期对电极丝相对于工作台的垂直度进行校正。常用校正的方法有两种，即校正块校正和校直仪校正。

1. 校正块校正

用校正块校正是实际生产中常用的方法，这种方法操作简单，效率高，容易掌握。缺点是校正的精度不高。所采用的校正块有六方体校正块、圆柱体校正块等，一般由机床生产厂家提供。在校正之前，先目测电极丝的垂直度，如果明显不垂直，调节 U 、 V 轴，使电极丝与工作台尽量垂直。然后把校正块稳定地安装在工作台面上，启动储丝筒并加上脉冲电压，移动工作台，使电极丝慢慢沿 X 方向或 Y 方向靠近校正块，直到开始产生火花。用肉眼观察产生的火花，如果沿垂直方向产生的火花均匀，说明电极丝垂直度良好。如果上下火花不均匀，则需要调整。 X 轴方向的垂直度通过 U 轴进行调整， Y 轴方向的垂直度通过 V 轴调整，直到上下火花均匀为止。应该注意的是，在调整过程中，电极丝一定要运动起来，否则电极丝将因长时间局部放电引起断丝。另外，电极丝不可以长时间接触校正块，以免损伤校正块表面，使其失去校正功能。校正过程如图 3-12 所示。

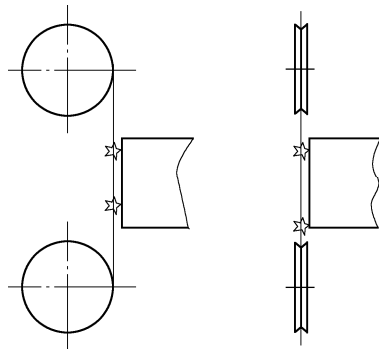


图 3-12 校正块校正电极丝垂直度

2. 校直仪校正

校直仪校正精度较高，操作也较方便快捷。校直仪是由测量头和指示灯构成的仪器，当电极丝与测量头接触时，指示灯就会亮。它的灵敏度较高，支座一般由大理石或者花岗岩制成。与校正块校正过程类似，在校正时，使电极丝缓慢靠近测量头，如果电极丝垂直度好，则上下指示灯同时亮。如果不垂直，则上下指示灯不能同时亮，此时需要调整，调整方法与上述校正块调整方法相同。校直仪如图 3-13 所示。

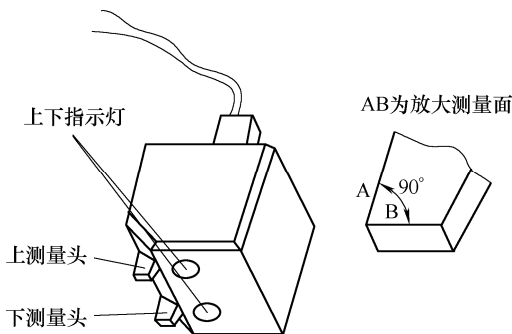


图 3-13 校直仪

3.5 数控高速走丝电火花线切割加工电极丝定位实训

数控高速走丝电火花线切割加工中，在程序启动之前，数控系统并不知道电极丝位于被加工工件的什么位置。只要程序一启动，数控系统将驱动电极丝从其所在位置按照程序规定的路线进行加工，而不管加工的位置是否符合规定的要求。也就是说，数控系统与工件之间的正确位置关系在加工之前必须建立起来，这就是电极丝的定位，或称为加工起始点确定。电极丝的定位非常重要，目的在于保证所切割的部分与工件总体有一个符合要求的、正确的位置关系。

3.5.1 电极丝的定位方式

确定电极丝位置的方法有目测法、火花法和自动找正法（接触感知法）。

1. 目测法

所谓目测法就是对于加工要求较低的工件，在确定电极丝与工件基准的相互位置时，可以直接用肉眼观测或借助放大镜来确定电极丝相对于工件的位置，并根据所观测的实际情况，移动工作台使电

极丝处于加工最佳位置。如图 3-14 所示, 利用穿丝孔划出的十字基准线, 在 X 、 Y 两个方向对准孔的中心, 此时的坐标值即为电极丝中心的位置。

2. 火花法

火花法是依据电极丝与工件直接轻微接触(一定间隙)时产生的电火花来确定电极丝的位置。如图 3-15 所示, 移动工作台使电极丝接近工件的基准面, 当开始出现火花时, 记下工作台相对应的坐标值, 从而确定电极丝中心的坐标位置。利用火花法确定电极丝位置时, 由于开始产生的放电间隙与正常切割条件下的放电间隙不同, 会产生定位误差。另外, 定位基准面由于存在污渍、毛刺等, 也会降低定位精度。

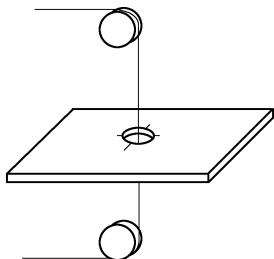


图 3-14 目测法定位电极丝的位置

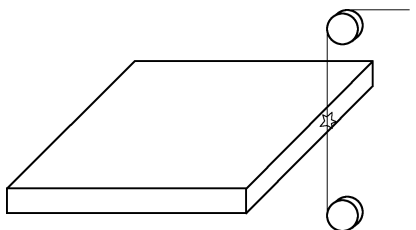


图 3-15 火花法定位电极丝的位置

3. 自动找正法

自动找正法也称接触感知法, 是利用机床自带的接触感知功能, 根据电极丝与工件之间的短路信号, 来确定电极丝的中心位置。操作时, 使电极丝在系统的控制下沿某一方向(找某一向位置时)或者自动沿 X 、 Y 两个方向接触工件(找穿丝孔中心时), 当电极丝接触到工件的时候, 机床自动停止移动, 并记录下当前的坐标值, 从而确定电极丝中心的坐标位置。机床自带找中心控制程序, 首先让电极丝在 X 或 Y 方向与孔壁接触, 然后在另一方向重复上述动作, 从而确定孔的中心位置, 其动作过程如图 3-16 所示。这种方法简便易行, 找正精度较高,

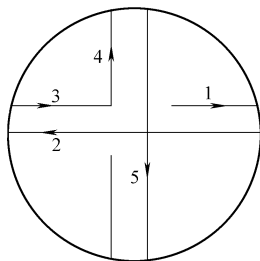


图 3-16 自动找孔中心

效率高。使用接触感知法要注意的是，穿丝孔或找正的基准面一定要清洁，不能有污渍或毛刺等存在，以免影响找正精度。另外，在加工穿丝孔时，一定要保证穿丝孔规则，圆度、与基准面的垂直度要高。

3.5.2 电极丝定位的操作方法

1. 通过工件边缘确定电极丝的位置

如图 3-17 所示，当加工工件有预先加工好的部位，且该部位与拟用数控高速走丝线切割机床加工的部分有较高的位置要求，预先加工好的部位是以边缘定位加工的。图中，双点画线表达的是需线切割加工的轮廓，框内的实线部分是预先加工好的部分， A 点为加工起始点。此时，可以用工件的边缘来找准电极丝的位置。如确定的电极丝起始点的位置距离左边为 a ，距下边为 b ，电极丝定位的过程可以按照如下方法确定。首先用接触感知功能找好左边，并将 X 坐标清零，然后再用同样的方法接触感知下边，将 Y 坐标清零。然后抽出电极丝，使用机床机动移动功能，将电极丝的位置移动到 $(a+d/2, -b+d/2)$ 的位置上去，这里， d 为电极丝的直径，此时电极丝的位置即是规定的起始点的位置。

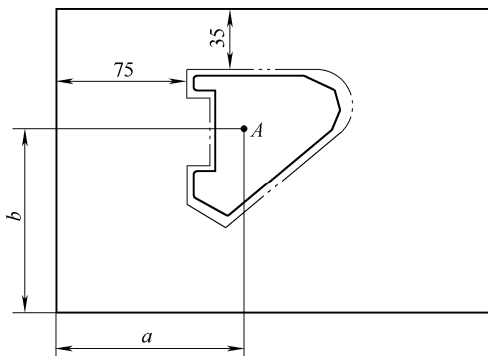


图 3-17 通过工件边缘确定电极丝的位置

此方法对于型腔与工件边缘有较高精度的位置要求，且预留的加工部分不规则情况尤为实用。对于加工坯料余量不大，或者在一块坯料上加工多个工件，且需节约材料的情况下，应用本方法可以得到较好的效果。

2. 通过找穿丝孔中心确定电极丝的位置

当加工工件为型腔，且与工件的其他部位有较高位置精度要求时，或者完成内部型腔与外形的加工只通过一次装夹时，可以通过精确预

加工穿丝孔，并以穿丝孔为基准，确定电极丝的位置。此时可以应用自动找正方法，确定电极丝的位置，并作为起始点进行编程加工，这样可以较好地确定电极丝的位置。如图 3-18 所示工件的加工，先用自动找中心，确定加工 *A* 部分的起始点。*A* 部分加工完成后，将电极丝抽出，按照预定的 *B* 部分起始点的位置，应用机床机动移动功能，将电极丝移动到 *B* 起始点的位置进行加工，这样就能较好地保证所加工的两部分或多部分的位置精度。

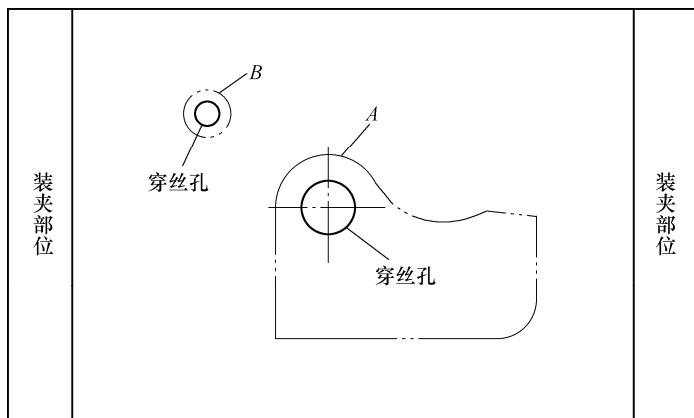


图 3-18 通过找穿丝孔中心确定电极丝的位置

3. 通过间接找正的方法确定电极丝的位置

所谓间接找正即电极丝不直接找正工件，而是通过找正工件工装（夹具、胎具）的位置确定电极丝的位置。这种方法是在安装好工装之后，找正工装的 *X*、*Y* 方向的位置，根据工装与工件的位置关系，确定电极丝起始位置，也就是说，通过一次找正，可以加工多个相同的工件，所以此方法适用于批量加工情况。

3.6 数控高速走丝电火花线切割加工自动编程实训

数控高速走丝电火花线切割机床的控制系统是按照指令去控制机床进行加工的，前面已经介绍了数控高速走丝线切割机床加工程序的格式、规定以及手工编程方法。在实际工作中，许多工件的形状复杂，编程计算量较大，而计算的精度直接影响着加工精度，操作者的工作

量较大，效率低，线切割自动编程软件为解决这一问题提供了有效手段。线切割自动编程软件是以人机交互的方式，先绘制出工件的图形，再根据加工条件的设定（加工起始点、加工路径、偏移量确定等），由自动编程软件自动运算特征点，生成加工程序。由于线切割自动编程软件具有编程速度快、运算精度高、使用简便、易于检验和修改等特点，大大简化了操作者的工作，在线切割界得到了广泛的应用。

一般来说，当前的电火花线切割机床生产厂家出产的数控高速走丝电火花线切割机床都带有自己的自动编程软件，且针对性较强，也较容易上手。除此之外，近年来市场上也涌现出大量的、通用性较强的、针对电火花线切割机床的自动编程软件，如国外的 Cimatron 线切割自动编程系统 Fikus、Mastercam Wire 线切割自动编程系统、Esprit 线切割自动编程系统等。国内较著名的有北航海尔的 CAXA 线切割自动编程系统、YH 线切割自动编程系统、统达 TwinCAD/CAM 线切割自动编程系统等。

北航海尔的 CAXA 线切割自动编程系统是北航海尔公司在 CAXA 电子图板基础上开发的，针对线切割机床加工的自动编程软件。在绘图功能、操作便捷性等方面都符合国人习惯，在国内线切割自动编程软件市场上有着较好的表现。为了方便读者认识和使用线切割自动编程软件，这里以 CAXA 线切割 XP 自动编程系统为代表，介绍数控高速走丝电火花线切割自动编程。

3.6.1 CAXA 线切割 XP 自动编程系统简介

CAXA 线切割 XP 自动编程系统由绘图模块和线切割模块两个部分组成。该系统提供了功能强大、使用简洁的图形绘制、轨迹生成手段，可方便快捷地绘制出所需的工件图形，并按加工要求生成各种复杂图形的加工轨迹，可实现跳步及锥度加工。通用的后置处理模块使 CAXA 线切割可以满足各种机床的代码格式，可输出 G 代码及 3B、4B/R3B 代码，并可对生成的代码进行校验及加工仿真。

如图 3-19 所示，CAXA 线切割 XP 用户界面由绘图功能区、菜单系统区和状态栏三个部分组成。

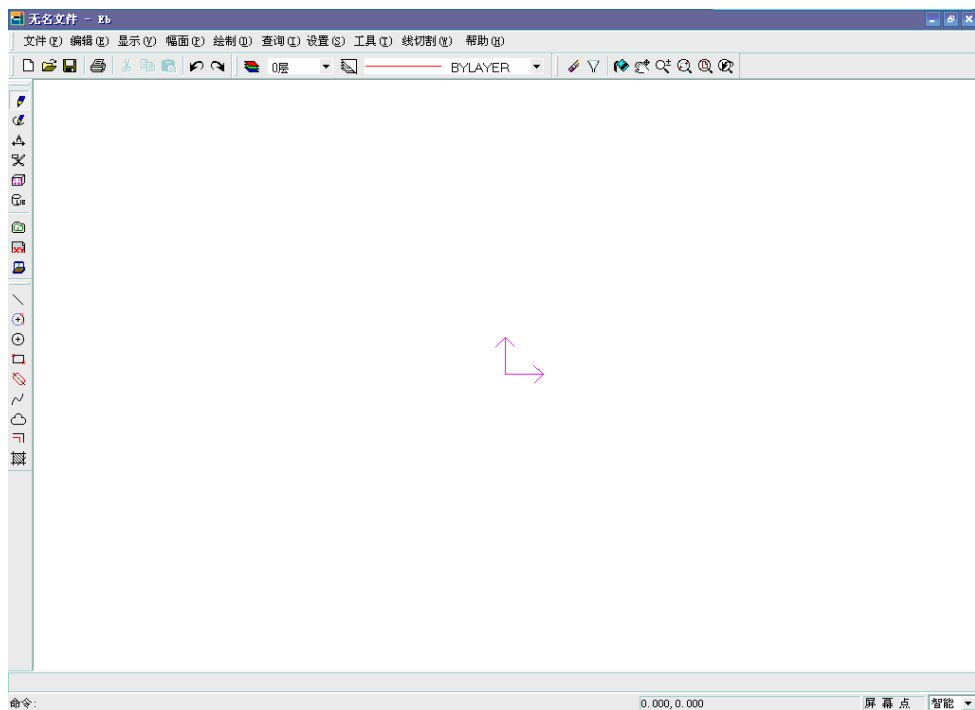


图 3-19 CAXA 线切割 XP 用户界面

1. 绘图功能区

CAXA 线切割 XP 绘图功能区是用户进行绘图设计的区域，区域中央给出一个二维直角坐标系，是系统默认坐标系。当然，根据作图方便或者个人习惯，用户可以自己设置坐标系，CAXA 线切割 XP 最多允许设置 16 个坐标系，这 16 个坐标可以相互切换，可以设置为可见或不可见。绘图功能区窗口默认情况下为黑色，用户可以根据个人的喜好或习惯，在系统设置菜单中设置光标的形式、绘图区窗口颜色、坐标系的可见与隐藏等。

2. 菜单系统区

CAXA 线切割 XP 菜单系统区是所有命令的所在区域，主要分为下拉菜单、图标菜单、立即菜单和工具菜单等四个部分。

(1) 下拉菜单 下拉菜单位于屏幕的顶部，由一行主菜单和下拉子菜单组成。CAXA 线切割 XP 有 10 个主菜单，分别为文件、编辑、显示、幅面、绘制、查询、设置、工具、线切割、帮助等。

1) 文件主菜单所包含的主要功能是对文件进行相应的管理,其下拉子菜单包括:新建文件、打开文件、存储文件、另存文件、部分存储、绘图输出、数据接口、应用程序管理、退出等。

2) 编辑主菜单所包含的主要功能是对具体图形的宏观操作,其下拉子菜单包括:取消操作、重复操作、图形剪切、图形复制、图形粘贴、选择性粘贴、插入对象、删除对象、链接、OLE 对象、对象属性、拾取删除、删除所有、改变颜色、改变线型、改变层等。

3) 显示主菜单所包含的主要功能是完成对所设计图形的显示和观察,其下拉子菜单包括:重画、鹰眼、显示窗口、显示全部、显示复原、显示比例、显示回溯、显示向后、显示放大、显示缩小、动态平移、全屏显示等。

4) 幅面主菜单主要是完成图纸的相关设置,其下拉子菜单包括:图纸幅面、图框设置、标题栏、零件序号、明细表等。

5) 绘图主菜单主要完成图形的绘制,其下拉子菜单包括:基本曲线、高级曲线、工程标注、曲线编辑、块操作、库操作等。

6) 查询主菜单主要用于查看图形的各个特征,其下拉子菜单包括:点坐标、两点距离、角度、元素属性、周长、面积、重心、惯性矩、系统状态等。

7) 设置主菜单主要完成图形的微观操作,其下拉子菜单包括:线型、颜色、层控制、屏幕点设置、拾取设置、文字参数、标注参数、剖面图案、用户坐标系、三视导航图、系统配重、恢复老面孔、自定义等。

8) 工具主菜单包含相关的辅助功能,其下拉子菜单包括:图纸管理系统、打印排版工具、Exb 文件浏览器、记事本、计算器、画笔等。

9) 线切割主菜单主要完成所设计图形的相关加工后处理,其下拉子菜单包括:轨迹生成、轨迹跳步、取消跳步、轨迹仿真、查询切割面积、生成 3B 代码、4B/R3B 代码、校核 B 代码、G 代码/HPGL、查看/打印代码、粘贴代码、代码传输、R3B 后置设置等。

10) 帮助主菜单的下拉子菜单包括:日积月累、帮助索引、命令列表、服务信息、关于 CAXA 线切割等。

(2) 图标菜单 如图 3-20 所示,CAXA 线切割 XP 系统的图标菜单是以图标按钮的形式直观地表达了各个图标的功能,图标菜单包括

标准工具栏、常用工具栏、属性工具栏、绘制工具栏和当前绘制工具栏，用于完成所需图形的绘制。图标菜单中的所有命令均可在位于屏幕上方的下拉菜单中找到。一般地，安装好 CAXA 线切割 XP 软件后，标准工具栏、常用工具栏、属性工具栏位于主菜单下方，绘制工具栏和当前绘制工具栏位于屏幕的左侧，是系统默认的设置，如图 3-19 所示。可以通过将光标移动到菜单空白区，点击鼠标右键来选择显示或隐藏某个图标菜单。如图 3-21 所示。

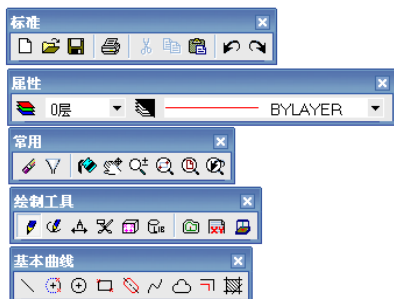


图 3-20 图标菜单

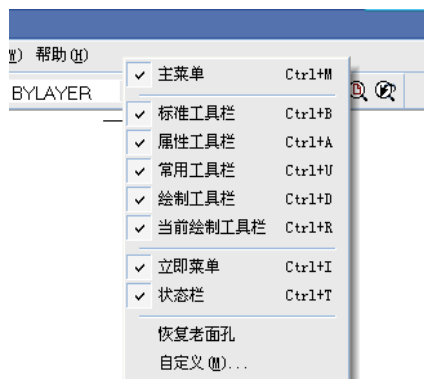


图 3-21 显示或隐藏图标菜单

(3) 立即菜单 当命令被执行时，在绘图区左下角将弹出一个菜单，它描述了该命令执行的各种情况和使用条件，并且可以根据当前的作图要求，正确选择各项参数，这种菜单叫做立即菜单。如图 3-22 所示。对立即菜单进行操作时，可以用鼠标直接单击需要改变的选项，如果是下拉菜单的，可以在弹出的菜单中选择一个选项；如果是文本框格式的，则在文本框内输入所需的参数值即可。

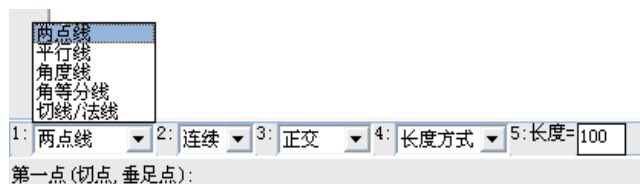


图 3-22 绘制直线时的立即菜单

(4) 工具菜单 工具菜单包括工具点菜单和拾取元素菜单，如图 3-23 和图 3-24 所示。工具菜单用于辅助点或物体选择的操作。

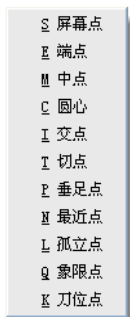


图 3-23 工具点菜单

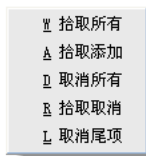


图 3-24 拾取元素菜单

3. 状态栏

状态栏位于屏幕的底部，为用户显示当前的命令、当前坐标值以及用户的操作信息等。包括当前点坐标的显示、操作信息提示、工具菜单状态提示、点捕捉状态提示和命令与数据的输入等内容，如图 3-25 所示。

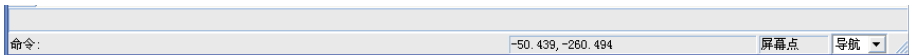


图 3-25 状态栏

3.6.2 CAXA 线切割 XP 系统加工图形的绘制

在机械零件的形状图形中，大多数零件是由直线、圆弧构成的，部分零件还由公式曲线（如阿基米德螺旋线、渐开线等）构成。CAXA 线切割 XP 系统提供了强大的绘图功能，能满足绘制各种零件图形的要求。系统提供了基本曲线（直线、圆弧等）、高级曲线（正多边形、齿轮、花键、公式曲线等）的绘制功能，方便的曲线编辑功能（打断、裁剪等）和绘图工具（缩放、动态平移等）可以帮助操作者高效地完成零件图形的绘制。

1. 基本曲线的绘制

基本曲线是指那些构成图形基本元素的点、线、圆。主要包括直线、圆、圆弧、矩形、中心线、样条、轮廓线、等距线和剖面线等，可以通过选择下拉菜单或者通过单击基本曲线的图标按钮进行基本曲线的绘制。这里主要介绍直线、圆弧、圆的绘制方法。

(1) 直线的绘制 直线是构成图形的最常见、最简单的图形元素，CAXA 线切割 XP 系统提供了满足各种需求的绘制直线的方式，包括两点线、平行线、角度线、角等分线、切线/法线等 5 种方式，其中，两点线和平行线是最常用的绘制直线方式。

1) 两点线：执行“基本曲线”→选择“直线”命令，此时，菜单中立即出现系统默认的“两点线”方式，如图 3-26 所示。然后设置两点线的绘制参数，根据系统提示，应用键盘和鼠标依次给出第一点和第二点，完成两点线的绘制。绘制参数说明见表 3-1。

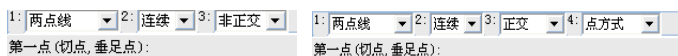


图 3-26 绘制两点线立即菜单

表 3-1 设置两点线的绘制参数说明

参 数 名 称	说 明
单个	每次绘制的直线段相互独立
连续	每段直线依次连接，前一线段的终点是后一线段的起点
非正交	所绘制的线段是任意方向，决定于鼠标移动的方向
正交	所绘制的线段与坐标轴平行，水平或垂直，决定于鼠标移动的方向
点方式	通过指定方式绘制正交直线段
长度方式	通过指定点和长度的数值正交直线段

2) 平行线：执行“基本曲线”→选择“直线”命令，此时，在立即菜单中单击菜单 1，选择“平行线”。根据系统提示，用鼠标选取一条被平行的直线，设置平行线的绘制参数。如图 3-27 所示。如果是“偏移方式”，在屏幕上移动鼠标，将会有一条预显的与所拾取的直线平行且长度相等的直线段跟随鼠标移动，将鼠标移动到所需位置，单击鼠标右键，一条平行线即被画出。如果是“两点方式”，在拾取直线后，系统则提示“指定平行线起点”，用鼠标在屏幕上指定一点或通过键盘输入一个坐标点，屏幕上将出现与拾取直线相平行的直线，此时系统将提示“指定平行线终点”，将鼠标移动到合适位置并单击鼠标右键，一条平行线被画出。绘制参数说明见表 3-2。

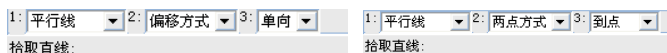


图 3-27 绘制平行线立即菜单

表 3-2 设置平行线的绘制参数说明

参 数 名 称	说 明
偏移方向	按照给定距离绘制与已知直线平行且长度相等的直线段
两点方式	绘制以指定点为起点，与已知直线相平行的直线
单向	在光标所在直线的那一侧绘制平行线
双向	在直线的两侧分别绘制平行线
到点	平行线的终点为光标位置平行线的垂足
到线上	平行线的终点为平行线与指定直线的交点

(2) 圆弧的绘制 圆弧的绘制有三点圆弧、圆心-起点-圆心角、圆心-半径、圆心-半径-起终角、起点-终点-圆心角、起点-半径-起终角等 6 种绘制方式，这里主要介绍三点圆弧和圆心-半径-起终角的绘制方式，其余方式留给读者自学练习。

1) 三点圆弧：通过给定的三点绘制圆弧，执行“基本曲线”→选择“圆弧”命令，弹出立即菜单，系统默认的即为“三点圆弧”绘制方式。根据系统提示，依次在屏幕上选取三点，或者用键盘输入第一点、第二点、第三点的坐标值，即可画出所需圆弧。

2) 圆心-半径-起终角：通过给定圆心位置、半径大小以及起始角和终止角绘制圆弧，执行基本曲线——选择圆弧命令，在弹出的立即菜单中选择“圆心-半径-起终角”方式，并在系统提示下依次输入所需数据，即可画出所需圆弧。如图 3-28 所示。

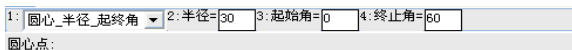


图 3-28 圆心-半径-起终角绘制圆弧立即菜单

(3) 圆的绘制 圆的绘制有圆心-半径、两点、三点、两点-半径 4 种方式，绘制的方法与圆弧的绘制类似，这里不再介绍。

2. 高级曲线的绘制

高级曲线是指那些由基本元素组成的特定的图形曲线，主要包括正多边形、椭圆、孔/轴、波浪线、双折线、公式曲线、填充曲线、点、齿轮、花键、圆弧拟合样条、位图矢量化、轮廓文字等 14 种类型。可以通过选择下拉菜单或者通过单击高级曲线的图标按钮进行高级曲线的绘制。这里主要介绍公式曲线和齿轮的绘制方法。

(1) 公式曲线绘制 单击高级曲线工具栏中“公式曲线”按钮，或依次单击主菜单中“绘制”→“高级曲线”→“公式曲线”，系统弹

出公式曲线对话框,如图3-29所示,就可进行公式曲线的绘制。公式曲线即是数学表达式的曲线图形,也就是根据数学公式(或参数表达式)绘制出相应的数学曲线。给出的公式,既可以是直角坐标形式的,也可以是极坐标形式的。根据需要,可直观地修改对话框内容,然后单击“确定”

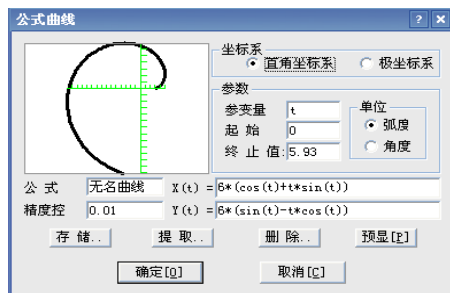


图 3-29 公式曲线的绘制

按钮,屏幕上生成符合条件的公式曲线,指定一点,从而完成公式曲线的设计。

(2) 齿轮的绘制 单击高级曲线工具栏中“齿轮”按钮,或依次单击主菜单中“绘制”→“高级曲线”→“齿轮”,系统将弹出“渐开线齿轮齿形参数”对话框,就可以开始齿轮的设计与绘制了。如图3-30所示。“渐开线齿轮齿形参数”对话框分为基本参数区、参数一区、参数二区等3个区域。用户在绘制齿轮时,基本参数区的参数必须确定,参数一区、参数二区可根据实际情况,选择一种进行确定。然后单击“下一步”按钮,弹出齿轮预显框,如图3-31所示。此时用户可设置齿轮的齿顶过渡圆角半径、齿根过渡圆角半径以及齿轮的精度等,然后单击“完成”按钮结束齿轮的生成。结束齿轮生成后,在屏幕上给定齿轮的定位点即可完成齿轮的绘制。



图 3-30 渐开线齿轮齿形参数

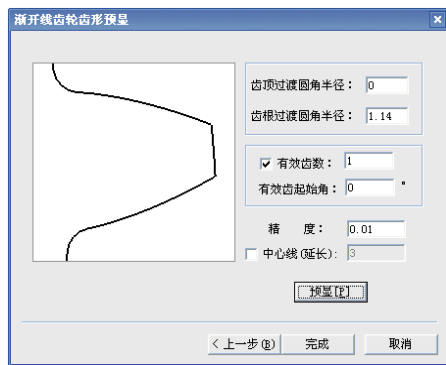


图 3-31 渐开线齿轮齿形预显

3. 曲线编辑

为了使用户更好地完成零件的设计和图形的绘制，CAXA 线切割 XP 系统提供了较完备的曲线编辑功能，这些功能包括裁剪、过渡、齐边、打断、拉伸、平移、旋转、镜像、比例缩放、阵列以及局部放大等 11 项。这里将介绍较常用的裁剪和过渡曲线编辑功能。

(1) 裁剪 单击曲线编辑工具栏中“裁剪”按钮，或依次单击主菜单“绘制”→“曲线编辑”→“裁剪”，就可进行裁剪的操作。CAXA 线切割 XP 系统提供了 3 种裁剪曲线的方法：快速裁剪、拾取边界、批量裁剪。

1) 快速裁剪：在立即菜单中单击“1:”，选择“快速裁剪”，按状态栏的提示，用鼠标直接点取被裁剪的曲线，系统自动判断边界并执行裁剪命令。快速裁剪指令，一般用于比较简单的边界情况，以便于提高绘图效率。

2) 拾取边界：在立即菜单中单击“1:”，选择“拾取边界”，按状态栏的提示，拾取一条或多条边界，拾取完后右击确定。再根据提示，选择被裁剪的曲线段，点取的曲线段至边界部分被裁剪掉，边界另一侧的曲线被保留。

3) 批量裁剪：在立即菜单中单击“1:”，选择“批量裁剪”，按状态栏的提示，拾取一条或多条边界链，再根据提示，选择被裁剪的曲线，单击鼠标右键，提示选择要裁剪的方向，方向一侧的曲线被裁剪，边界另一侧的曲线被保留，可根据需要进行选择。

(2) 过渡 单击曲线编辑工具栏中“过渡”按钮，或依次单击主菜单“绘制”→“曲线编辑”→“过渡”，就可进行过渡的操作。CAXA 线切割 XP 系统提供了 7 种过渡的方法：圆角过渡、多圆角过渡、倒角过渡、外倒角过渡、内倒角过渡、多倒角过渡、尖角过渡。这里介绍圆角过渡和倒角过渡。

1) 圆角过渡 在立即菜单中单击“1:”，选择“圆角”，出现如图 3-32 所示的立即菜单，单击“2”，选择“裁剪”，裁剪方式如图 3-33 所示。单击“3”，输入圆角半径，然后按照状态栏提示，用鼠标分别拾取需过渡的两条线，注意，拾取的顺序不同，裁剪方式所得到的结果则有所差异。



图 3-32 圆角过渡立即菜单

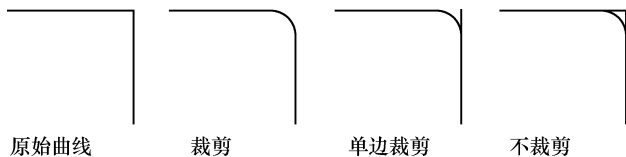


图 3-33 裁剪方式

2) 倒角过渡 在立即菜单中单击“1:”，选择“倒角”，出现如图 3-34 所示的立即菜单，单击“2”，选择裁剪方式：裁剪、裁剪始边、不裁剪，单击“3”，输入长度，单击“4”，输入角度，然后按照状态栏提示，用鼠标分别拾取需过渡的两条线，注意，拾取的顺序不同，裁剪方式所得到的结果则有所差异。

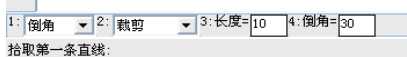


图 3-34 倒角过渡立即菜单

4. 工件绘制

下面以图 3-35 所示的零件轮廓图为例，介绍应用 CAXA 线切割 XP 系统绘制零件图的过程。

分析：通过研究该零件图，不难看出，该零件是由直线和圆弧两种线型构成的，曲线之间的关系为相交和相切两种，绘图的重点在于圆弧 $R10\text{mm}$ 与圆弧 $R15\text{mm}$ 的相切以及 6° 斜线点的确定。另外，各曲线的位置是以 $\phi 10\text{mm}$ 孔为基准

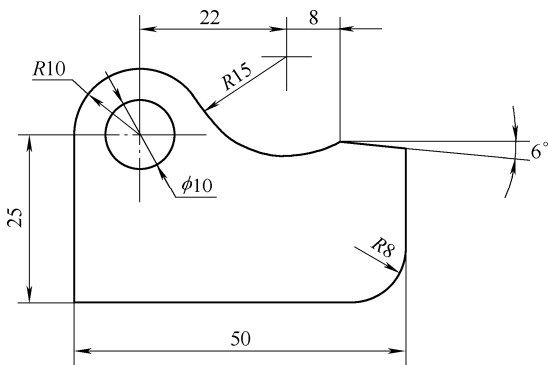


图 3-35 凸模零件图的绘制

确定的。通过分析，我们按照以下步骤进行零件图的绘制。

1) 确定坐标系。启动 CAXA 线切割 XP 系统，确定坐标系，以系统坐标系为基准（为后续的编程方便，操作者可以根据自己的习惯来确定）。

2) 绘制基准圆。单击“基本曲线”图标，选择“圆”命令，此时在立即菜单中选择“1: 圆心-半径”，选择“2: 半径”，按照状态栏提示输入圆心点坐标“0, 0”，然后回车，此时，状态栏提示“输入半径或另外一点”，按照提示输入半径 5，回车，则系统画出 $\phi 10\text{mm}$ 圆，

再输入 10，系统画出 $\phi 20\text{mm}$ 的圆，单击右键结束画圆。圆心点的输入还可以用鼠标拾取点的方式，将鼠标移动到坐标原点附近，屏幕出现圆心提示，单击鼠标左键确定拾取。

3) 绘制线段。单击“基本曲线”图标，选择“直线”命令，依次选择“1：两点线”、“2：连续”“3：正交”、“4：长度方式”，在“5：”处单击，输入 25，绘制 25mm 的直线段，根据状态栏提示输入第一点坐标为“-10，0”，然后移动鼠标向屏幕下方，单击左键完成 25mm 直线段的绘制，单击“5：”输入 50，然后使鼠标向屏幕右侧移动，单击左键，完成 50mm 直线段的绘制，再向屏幕上方移动鼠标，完成右侧直线段的绘制。注意，此时由于右侧的直线段长度不能确定，暂时画出 50mm 直线段，再后续的编辑中再进行修改。完成的图形如图 3-36 所示。

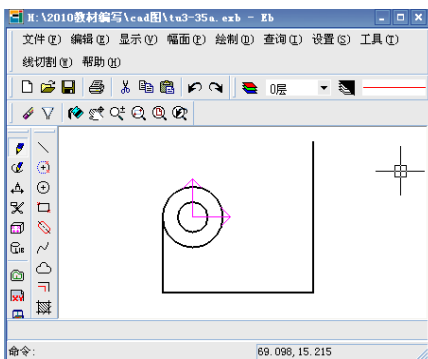


图 3-36 圆和直线段的绘制

4) $R15\text{mm}$ 圆心的确定与绘制。从 $\phi 10\text{mm}$ 圆心出发，画出平行于 X 轴方向的 22mm 直线段，再向屏幕上方移动鼠标，画出垂直于 X 轴的 25mm 直线段，此条线段的长度可任意选取，只需与接下来绘制的圆相交即可。单击“圆”命令图标，以坐标原点为中心，画出 $R25\text{mm}$ 的圆，与垂直的 25mm 直线段相交点即为与 $R10\text{mm}$ 相切的 $R15\text{mm}$ 的圆心。并以此圆心，画出 $R15\text{mm}$ 圆。完成的图形如图 3-37 所示。

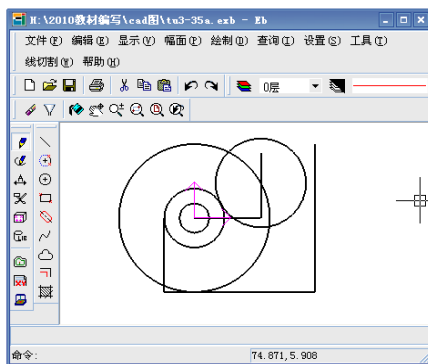


图 3-37 $R15\text{mm}$ 圆心确定与绘制

5) 斜线起始点的确定与绘制。用“两点线”的方式，从 $R15\text{mm}$ 的圆心出发，画出平行于 X 轴方向的直线段 8mm，再向屏幕下方移动鼠标，画出垂直于 X 轴的直线段，此条线段的长度可任意选取，只需与圆 $R15\text{mm}$ 相交即可，与圆 $R15\text{mm}$ 相交的点即为斜线的起始点。以该交点为起始点，绘制与 X 轴夹角为

6° 的斜线段, 选择“3: 到线上”, 与垂直的 50mm 直线段相交。如图 3-38 所示。

6) 修改。利用曲线编辑菜单中的“裁剪”和擦除功能, 将多余的线段剪切掉。利用曲线编辑菜单中圆角过渡功能“1: 倒圆角”、选择“2: 裁剪”、“3: 半径”输入 8, 将圆弧 R8mm 过渡圆弧画出。如图 3-39 所示, 零件图图形绘制完毕。

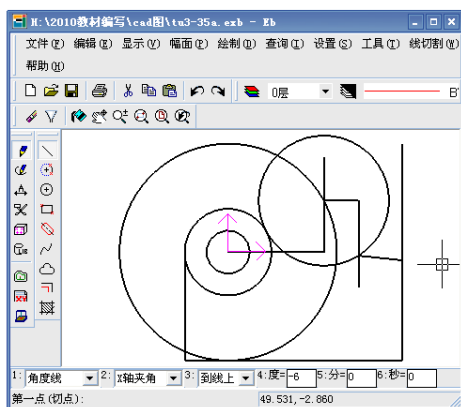


图 3-38 斜线段的绘制

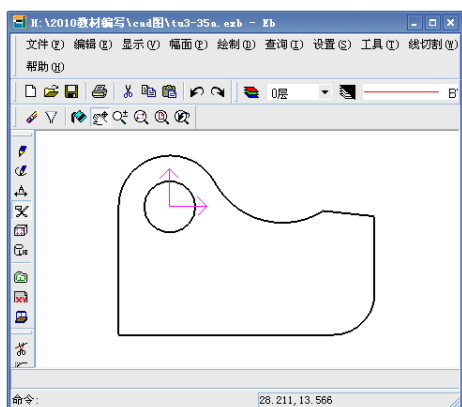


图 3-39 绘制完成的零件图形

3.6.3 CAXA 线切割 XP 系统自动编程

CAXA 线切割 XP 系统自动编程包括加工轨迹的生成、加工代码的生成以及加工代码的传输等三个主要模块, 操作者根据所设计加工零件的图形, 选择加工方式, 包括切入方式的选择、加工参数的设定、补偿方式的选择、加工代码的生成以及代码的传输等过程, 完成工件加工程序的编制。

1. 加工轨迹的生成

数控高速走丝线切割加工轨迹是在电火花线切割加工过程中, 电极丝中心切割的实际路径, 是产生数控加工程序的基础。CAXA 线切割 XP 的轨迹生成功能是在已有 CAD 轮廓的基础上, 结合工件加工的实际要求以及确定的各项工艺参数, 由计算机自动计算而得到加工轨迹。

CAXA 线切割 XP 系统自动编程的加工轨迹生成模块由轨迹生成、轨迹跳步、取消跳步、轨迹仿真、查询切割面积 5 项功能组成, 这里主要介绍轨迹生成功能。

轨迹生成是进行线切割自动编程的重要步骤。单击主菜单的“线切割”→“轨迹生成”，或单击图标菜单的“轨迹操作”按钮，选择“二轴轨迹生成”，则出现如图 3-40 所示的“线切割轨迹生成参数表”对话框。该对话框有两页选项，分别是“切割参数”与“偏移量/补偿值”。“切割参数”有 6 个选项，分别为切入方式、圆弧进退刀、加工参数、补偿实现方式、拐角过渡方式、样条拟合方式。

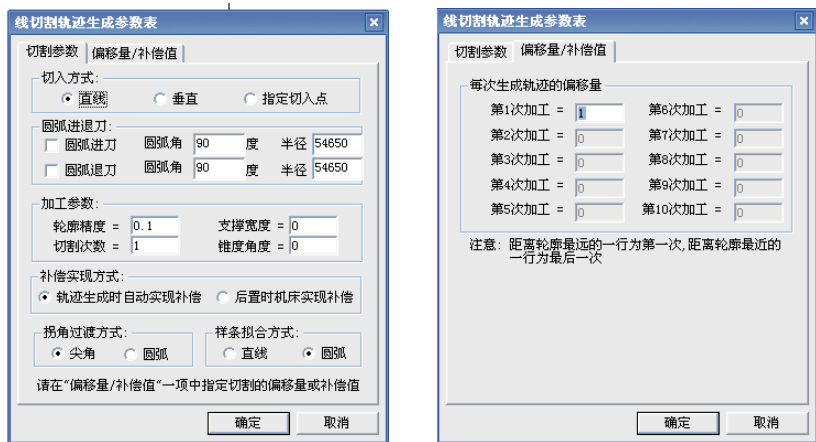


图 3-40 “线切割轨迹生成参数表”对话框

(1) 切入方式 切入方式是指电极丝由穿丝点到加工起始段起始点间的运动方式，系统提供了 3 种切入方式，分别为直线、垂直和指定点切入，如图 3-41 所示，操作者可根据工件加工需要以及实际情况来选择。

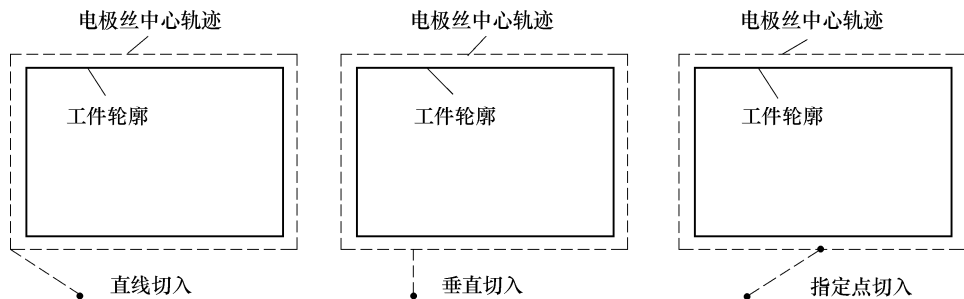


图 3-41 电极丝切入方式

(2) 圆弧进退刀 选择“圆弧进刀”或“圆弧退刀”复选框，可实现电极丝以圆弧切割方式切入或切出工件，这样，能较好地保证工

件的加工质量。通过修改“圆弧角度”、“半径”，可以改变圆弧进刀、圆弧退刀的圆弧大小。

(3) 加工参数 加工参数包括轮廓精度、切割次数、支撑宽度以及锥度角度 4 个参数。其中轮廓精度主要是针对样条曲线而言的，是指加工轨迹和理想加工轮廓的偏差，系统根据给定的精度，将样条曲线分成多条折线段，精度越低，折线段的步长就越大，折线段段数越少。一般地，数控高速走丝电火花线切割加工常采用一次加工完成，近年来，在实践操作中，也有人将多次切割应用到高速走丝线切割机床的加工中。支撑宽度主要是针对多次加工进行选择的，即为每次切割的加工轨迹始末点之间的宽度，以保证多次加工的完成。锥度角度参数的设置是在锥度加工时电极丝的倾斜角度。采用左锥度加工时，锥度角度为正值，采用右锥度加工时，锥度角度为负值。

(4) 补偿实现方式 系统提供了两种补偿实现方式：轨迹生成时自动实现补偿、后置时机床实现补偿。

(5) 拐角补偿方式 在线切割加工中经常碰到如图 3-42 所示的两种情况，此时必须采用尖角过渡或圆角过渡。

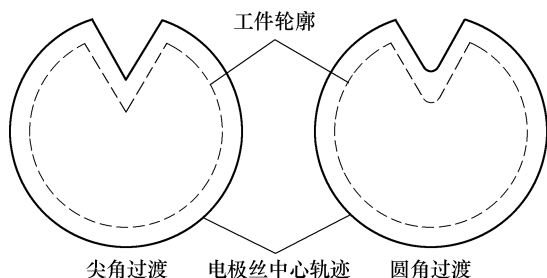


图 3-42 拐角补偿方式

1) 加工凹形零件时，相邻两直线或圆弧的夹角大于 180° 。

2) 加工凸形零件时，相邻两直线或圆弧的夹角小于 180° 。

(6) 样条拟合方式 样条拟合方式包括直线拟合和圆弧拟合。直线拟合是将样条曲线拆分成多段直线段进行拟合，圆弧拟合是将样条曲线拆分成圆弧段与直线段进行拟合。与直线拟合相比，圆弧拟合后的图形更光滑、精度更高。

2. 代码生成

所谓代码生成就是通过 CAXA 线切割 XP 系统利用所设计的加工工件图形文件，生成加工轨迹，再把加工轨迹转化为程序代码，即加

工程序。单击绘制工具栏中“代码生成按钮”，或者依次单击主菜单中的“线切割”→“生成 3B 代码”等，就能实现加工代码的生成。CAXA 代码生成包括 7 项功能：生成 3B 加工代码、生成 4D/R3B 加工代码、校核 B 代码、生成 G 代码、校核 G 加工代码、查看/打印加工代码、粘贴加工代码等。这里主要介绍生成 3B 加工代码。

单击“代码生成”图标按钮，再单击“生成 3B 加工代码”，此时，系统将弹出如图 3-43 所示的对话框，根据提示，输入拟保存加工代码的名称，并根据要求，选择存储路径，单击“保存”按钮，系统出现如图 3-44 所示的立即菜单。

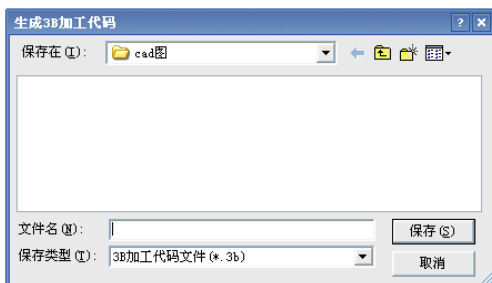


图 3-43 生成 3B 加工代码对话框

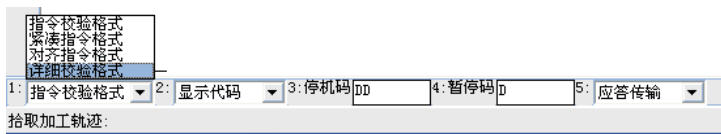


图 3-44 生成 3B 代码立即菜单

1) 单击立即菜单中的“1:”，选择指令输出格式。CAXA 线切割 XP 系统提供了 4 种指令的输出格式，分别为：指令校验格式、紧凑指令格式、对齐指令格式、详细校验格式。

① 指令校验格式：在生成数控程序的同时，每一段轨迹终点坐标一同输出，如图 3-45 所示。

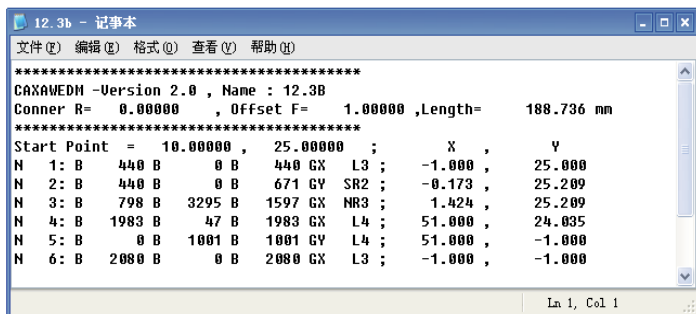


图 3-45 指令校验格式

② 紧凑指令格式：只输出数控程序，各指令字符紧密排列，如图 3-46 所示。

③ 对齐指令格式：各程序段相应的代码一一对齐，每一指令代码用空格隔开，如图 3-47 所示。

④ 详细校验格式：不仅输出完整程序，而且还提供各轨迹段特征点的坐标，如图 3-48 所示。



图 3-46 紧凑指令格式

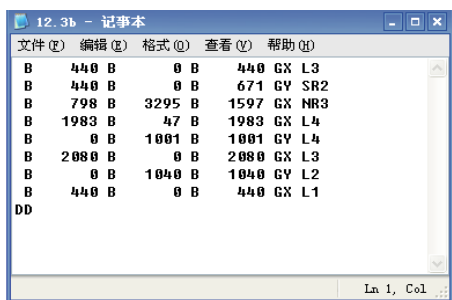


图 3-47 对齐指令格式

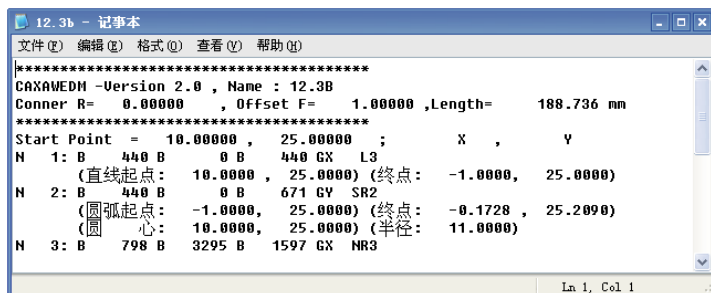


图 3-48 详细校验格式

2) 单击“2:”，选择是否显示代码。如果选择“显示代码”，则系统在程序生成后，以记事本的形式打开并显示加工代码；如果选择“不显示代码”，则系统只生成程序文件，不显示加工代码。

3) 单击“3:”，可修改机床的停机码字符串，系统默认为“DD”。

4) 单击“4:”，可修改机床的暂停码字符串，系统默认为“D”。

5) 单击“5:”，选择程序输出方式、可选择“不传输代码”、“应答传输”、“同步传输”、“纸带穿孔”、“串口传输”。

通过以上的选择与操作，工件的加工代码就可以生成并储存。4D/R3B 加工代码、G 代码等可以按照相同的方式生成，读者可按

照上述方法在 CAXA 线切割 XP 系统中自行操作学习，这里不一一赘述。

3. 自动编程实训

下面，以图 3-35 所给出的零件的凹模加工为例，介绍应用 CAXA 线切割 XP 系统自动编程的操作过程。该凹模工件外形尺寸以及凹模图形在工件上的位置如图 3-49 所示，工件的高度尺寸（厚度）为 50mm。

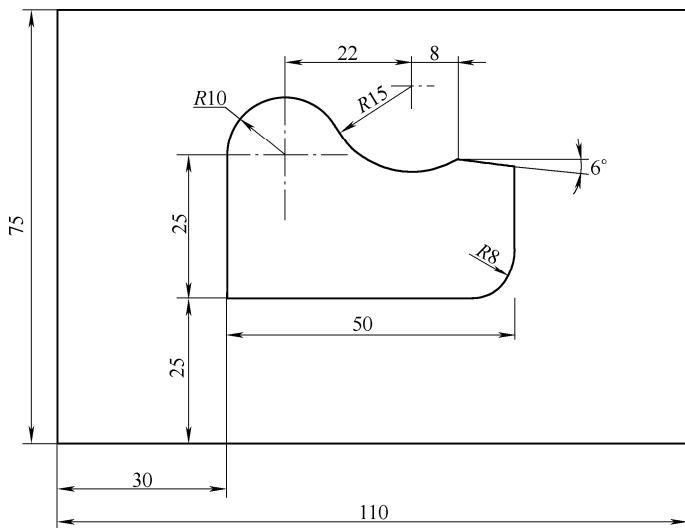


图 3-49 凹模工件图

分析：由于是凹模零件，刃口的精度要求较高，加工时所采用的钼丝（电极丝）直径为 0.18mm，精度选择为 0.02mm；另外，电极丝的进给方式应从坯料的内部出发，也就是说必须事先加工出穿丝孔，为了方便作图、编程与实际操作，这里选择在编程坐标系中的（10，25）点为穿丝孔中心点，该点为圆弧 R10mm 的圆心点；由于欲采用桥式支撑方式装夹，若切割方向没有特殊要求，则选择顺时针方向进给。

（1）加工图形的绘制或打开已绘制的图形 启动 CAXA 线切割 XP 系统，绘制工件图。可以按照 3.6.2 所提供的方法进行零件图的绘制，这里不再重复。选择打开文件的方式，选择已绘制的零件。单击主菜单中的“打开文件”命令，选择文件“凹模 1”，如图 3-50

所示。此时，已绘制好的工件图出现在 CAXA 线切割 XP 系统的绘图功能区。

(2) 加工轨迹的生成

1) 加工参数确定：单击主菜单中的“线切割”下拉菜单，选择“轨迹生成”，此时出现“线切割轨迹生成参数表”，根据加工要求，选择加工参数。“切入方式”中选择“指定切入点”；“加工参数”中，“轮廓精度”输入“0.02”，“切割次数”输入“1”，由于是一次垂直加工，“支撑宽度”输入“0”，“锥度角度”输入“0”；“补偿实现方式”选择“轨迹生成时自动实现补偿”；“拐角过渡方式”选择“尖角”，“样条拟合方式”选择“圆弧”，如图 3-51 所示。



图 3-50 打开文件

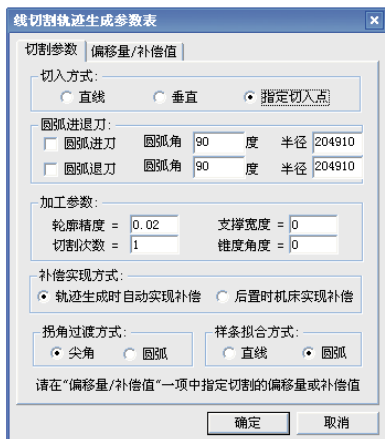


图 3-51 轨迹生成参数选择

2) 拾取轮廓：按照状态栏中的提示，选择工件的轮廓，注意，此时系统要求的是选择工件的第一段加工曲线，操作者应该按照加工的要求选择相应的第一段加工曲线，这里选择 25mm 的直线段。

3) 加工方向的确定：拾取轮廓后，此时绘图区提示操作者选择加工方向，单击粉红色箭头，选择顺时针方向，如图 3-52 所示。

4) 补偿方向的选择：加工方向确定后，绘图区将提示操作者选择电极丝补偿方向。由于是凹模加工，考虑到钼丝（电极丝）的直径以及放电间隙的存在，将影响到加工精度，这里选择向内部补偿（偏移），如图 3-53 所示。

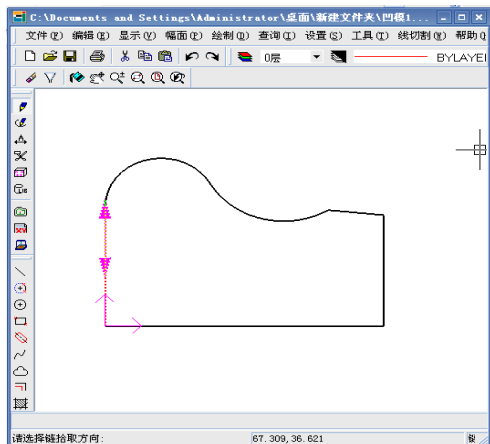


图 3-52 加工方向的选择

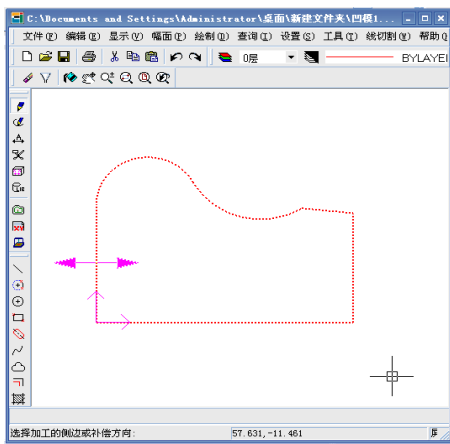


图 3-53 补偿方向的选择

5) 确定加工起始点: 即确定穿丝点的位置, 按照状态栏提示, 输入穿丝点位置。本例穿丝点的位置选择在 $R10\text{mm}$ 圆弧的圆心点, 输入“10, 25”, 回车确定。

6) 确定退出点: 加工起始点确定后, 状态栏提示“确定退出点”。一般地, 在高速走丝电火花线切割加工中, 对于一次加工退出路径与进刀路径相同, 这里回车确定退出点与穿丝点重合。

7) 切入点的确定: 退出点确定后, 状态栏则提示输入切入点, 本例选择 (0, 25) 点为切入点, 键盘输入“0, 25”, 回车, 此时, 绘图功能区则出现生成好的加工轨迹, 如图 3-54 所示。

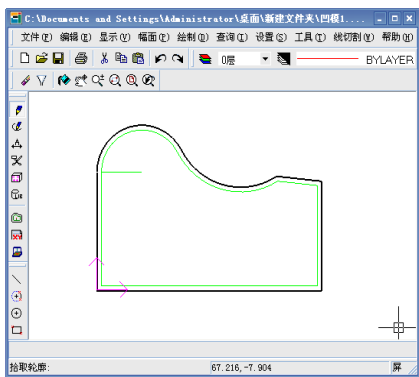


图 3-54 系统生成的加工轨迹

(3) 加工代码的生成

1) 加工文件命名及选择存储路径: 单击“线切割主菜单”下拉菜单, 选择“生成 3B 代码”, 此时系统生成 3B 代码对话框, 按照要求选择存储路径, 并为加工代码文件命名, 这里加工文件命名为“凹模.3b”, 单击“保存”, 如图 3-55 所示。

2) 确定代码格式并输出加工代码文件: 系统此时出现确定加工代

码立即菜单，按照要求，选择适合的代码文件格式。本例选择“代码格式”为“对齐指令格式”，在“2:”中选择“显示代码”，单击已生成的加工轨迹图形，并回车确定，此时，系统则给出生成好的、按照要求格式编制的工件加工代码，并存储在规定的存储位置，加工代码生成完毕，如图 3-56 所示。

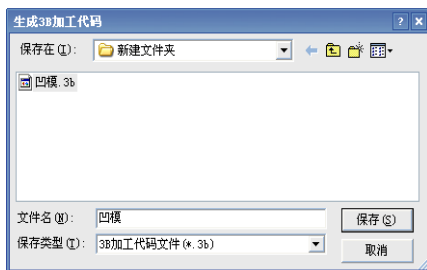


图 3-55 加工文件命名及存储路径选择



图 3-56 生成的加工代码

3.7 数控高速走丝电火花线切割加工实训

通过分析工件的加工要求与工艺特点，确定工件在高速走丝电火花线切割机床上的装夹方式、电极丝进给方式以及运动轨迹，通过手工编程或者自动编程的方法编制工件的加工程序，接下来的就是工件的切割工作即加工运行。本部分主要介绍加工运行中，加工程序的准备、加工程序的检查、加工参数的选择、加工中常见的问题与解决方法、加工完成后停、关机的操作方法等。

3.7.1 加工程序的准备与检查

我们知道，数控高速走丝电火花线切割是通过加工程序来控制机床进行加工的，在加工之前必须编制好加工程序。前面已经介绍了手工编程与自动编程的方法，只需将编制好的加工程序通过存储设备复制到机床硬盘（机外编程）或者直接从机床的硬盘中调入（用机床自带的自动编程软件编程）到当前控制系统中。调入的加工程序一般需经过适当的修改后成为最终加工程序，这些修改包括设置偏移方向及偏移量、锥度加工的设置等。

一般地，在执行加工命令之前，需对调入的加工程序进行检查。检查的目的有以下三个方面：一是检查所编制的程序是否有错误指令；二是检查所编制的程序是否符合工件的加工要求；三是检查在实际运行中工件坯料的安装位置是否在机床有效加工范围内等。检查的方法一般有两种：一种是屏幕模拟，也称为加工预演，即屏幕显示图形的加工过程，系统不输出任何控制信号；另外一种实际模拟，也称为仿真运行，即在不安装电极丝，不开高频，不走丝，不开水泵，不发脉冲的情况下，根据程序实际的行走轨迹模拟运行。这种运行方式常用来判断装卡工件的位置是否合理，是否碰撞限位等。此时，机床不带任何负载，进给速度较快，在很短的时间里就能完成整个加工过程模拟。

3.7.2 电加工参数的选择

电加工参数的选择实际上是对机床的脉冲电源进行加工配重，脉冲电源的电参数选择是否得当，对加工工件的表面粗糙度、精度及切割速度等工艺指标起着决定性的作用。电参数与加工工件技术工艺指标的关系是：脉冲宽度增加、脉冲间隔减小、脉冲电压幅值增大（电源电压升高），峰值电流增大（功放管增多）都会使切割速度提高，但表面的粗糙度和精度则会下降。反之则可改善表面的粗糙度和提高加工精度。随着峰值电流的增大，脉冲间隔减少、频率提高、脉冲宽度增大，电极丝损耗增大。

一般情况下，数控高速走丝电火花线切割机床在加工时，脉冲电源的单个脉冲放电能量较小。单个脉冲放电能量的大小除受工件表面粗糙度要求等工艺指标的限制外，还受电极丝允许承载放电电流的限制。欲获得好的表面粗糙度，每次放电的能量不能太大。表面粗糙度要求不高时，单个脉冲放电能量可以取大些，以便得到较高的切割速度。

电火花线切割机床的生产厂家一般都会随机床系统提供一份电加工参数，供操作者参考，在实际工作中，更多的是由操作者根据自己的经验以及机床电源的实际情况，选择合适的加工参数。

（1）要求切割速度高时 当脉冲电源的空载电压高、短路电流大、脉冲宽度大时，则切割速度高。但切割速度和表面粗糙度的要求

是互相矛盾的两个指标，所以必须在满足表面粗糙度的前提下才能追求较高的切割速度。

(2) 要求表面粗糙度好时 要求加工出的工件表面粗糙度小，就要使单个脉冲能量小，也就是说，要脉冲宽度小、脉冲间隔适当、峰值电压低、峰值电流小。

(3) 要求切割薄工件时 如厚度在 $20\sim 60\text{mm}$ ，表面粗糙度为 $1.6\sim 3.2$ ，脉冲电源的电参数可在如下范围内选择：

脉冲宽度为 $4\sim 20\mu\text{s}$ 。

脉冲间隔为 $60\sim 80\mu\text{s}$ 。

功率管数为 $3\sim 6$ 个。

加工电流为 $0.8\sim 2\text{A}$ 。

切割速度约为 $15\sim 40\text{mm}^2/\text{min}$ 。

随着参数的改变，表面粗糙度值将改变。

(4) 要求切割厚工件时

1) 脉冲宽度 (ON) 和脉冲间隔 (OFF) 的比值一般为 $1:10$ 。例如 $\text{ON}=25$ ， $\text{OFF}=250$ 。

2) 功率管数 (IP) 的选择：开始加工时，管数 (IP) 要小，一般为 $4\sim 6$ 只，电流为 $2\sim 2.5\text{A}$ ，待电极丝与工件完全放电后，管数 (IP) 可以增加至 $7\sim 9$ 只，电流可达 $3\sim 3.5\text{A}$ 。加工完后到退刀线时，管数又改为 $4\sim 6$ 只，以免断丝。

3) 伺服电压 (SV)、进给速度 (SP) 的选择：一般情况下，伺服电压 (SV) 为 $0\sim 2$ ，进给速度 (SP) 为 $1\sim 3$ 。开始加工，若跟踪不稳定，可将 SP 设为 1。导管数增加时，可将 SP 适当增加，以提高加工效率。

4) 乳化液的选择：一般配比为 $1:10$ (或根据乳化液使用说明)。用 DX-1 的乳化液切割时，表面质量相对较差，但不容易断丝；用 DX-4 的乳化液切割时，表面质量好，但电极丝损耗较大，相对而言较易断丝。

3.7.3 加工中常见的问题及处理方法

1. 加工中电极丝断丝的原因与处理方法

在电火花线切割加工中，断丝是最常见的问题之一，断丝的原因

有以下几个方面：高频参数选择不当，峰值电流过大产生断丝；导轮松动或破碎，轴承损坏等导致电极丝在运丝系统中运转不畅而产生断丝；导电块损耗过大，电极丝切入导电块内部引起夹丝而产生断丝；加工中由于工件应力释放，导致夹丝而产生断丝等。

断丝后需处理的问题包括三个方面：一方面是及时查找造成断丝的原因并消除；另一方面是储丝筒上剩余丝的处理，如果断丝点在储丝筒接近两端位置，则将剩余少的那部分从储丝筒上移除，并按照正确的安装电极丝的方式重新绕丝，启用机床的断点加工功能继续加工；第三方面是穿丝的问题，如果工件上断丝的位置加工的缝隙不是很小，可以原地进行穿丝，如果原地穿丝不易实现，则可以用机床移动的方式将工作台移动到加工起始点进行穿丝，注意退回加工起点时一定要用“快速定位”功能，不要用手控盒移回零位。然后再进行原轨迹加工，或者根据实际情况选择反向切割对接。

2. 加工中短路产生的原因与处理方法

在电火花线切割加工中，由于短路的出现而使加工不能正常进行也是经常出现的情况。在这种情况下，机床一般都有“短路回退”功能自行解决短路问题，但是有些情况下，“短路回退”功能解决不了由于工件应力变形夹丝产生的短路等问题，而使得长时间的回退引起停机，加工不能继续进行。引起短路的原因有：电蚀产物不能及时排出加工区域、工作液太脏、工件变形夹丝、工件材料内部杂质等。

解决由于短路引起的不能继续进行加工的方法有以下几个方面：一方面，使用煤油或者洗涤剂冲洗短路部位，排出电蚀产物；如果工作液太脏，及时更换工作液。另一方面，如果由于工件变形夹丝而引起的短路，可以在加工的过程中，在已加工的缝隙中塞入合适的薄片，以防止切割缝隙变小而夹丝。

3. 机床找中心时出现问题的原因与处理方法

在工作中，找中心的功能是经常被用到的。在找中心过程中经常出现：“找中心”不准确、误差太大、“找中心”不能完成或将电极丝拉断等问题，使得加工起始点的定位不准确。产生这些问题的原因是：由于电极丝上、孔内有脏物，毛刺等，或者由于脏东西太

多，机床在接触感知时，在电极丝还没有完全离开工件时就已经再次记录了接触次数，计算机认为次数已到而停止移动。或由于与电极丝接触的导轮、导电块太脏，对中信号受到干扰，发出的信号错误，或不能接收信号，都会导致无法实现找中心，或一直移动不能停机而将电极丝拉断。

为了避免找中心时出现问题，在使用“找中心”功能时要注意：

- 1) 在“找中心”前要找正电极丝，保证电极丝与工件内孔母线平行。
 - 2) 保证工件内孔无毛刺、脏物，若工件内孔太粗糙也会影响找中心。
 - 3) 电极丝上无脏物，导电块要擦洗干净，保证绝缘。
 - 4) 保证电极丝有足够的张力，不能太松。
 - 5) 检查上、下支撑导轮是否支撑可靠，导轮有无松动、轴向窜动等。
 - 6) “找中心”的移动速度要适当，不能发生“闷车”、“丢步”等不正常现象。
- 另外，机床要常清洗，保持干净。

3.7.4 加工后的相关操作

1. 清理

当机床完成工件的加工后，要及时对机床进行清理。清理工作包括：拆除用过的工装并擦拭干净，按指定地点存放；清理、擦干工作台面，擦拭机床外表面；工作液的清理。

有关电火花线切割工作液的清理尤为重要，线切割机床工作时因其工作特性，产生的电蚀物和工作液会有一部分黏附在机床运丝系统的导轮、导电块上和机床工作台面内，应注意及时将导轮、导电块和工作台面内电蚀物清除，尤其是导轮和导电块应保持清洁，否则加工时会引起电极丝的振动，如果电蚀物沉积过多，还会造成电极丝与机床短接，不能正常切割。加工一段时间后，会有电蚀物沉积在液箱内，应注意每次更换工作液时，需清洗工作液箱的内腔，方法如下：先拆去工作液箱下侧的堵头（注意不要弄丢上边的铜垫，

否则影响其防漏效果),放掉已经脏了的工作液,然后将一定浓度的清洗剂(餐具清洁用)用干净棉丝浸泡后擦洗工作液箱内腔及各过滤网,最后用清水冲洗一遍,然后就可拧紧堵头,注入干净的工作液。

2. 关机

数控高速走丝电火花线切割机床的关机方式一般有两种,硬关机和软关机。所谓硬关机即直接按下关机按钮或者按下急停按钮,直接切断机床电源,这种方法一般在加工中出现异常情况或者危险情况下使用。软关机是通过控制系统实现的关机,在操作面板中按照屏幕提示,进行相关的操作进入关机状态,经确认后,系统自动关机。

第 4 章

数控高速走丝电火花线切割加工实例

4.1 环形片零件的数控高速走丝电火花线切割加工

4.1.1 了解环形片零件

数控电火花线切割机床因其适合于模具加工、复杂工件加工、贵重金属的下料以及新产品的试制等，得到了广泛的应用。特别是在新产品试制的过程中，一些关键零件需通过模具制造而获得，而模具加工本身周期长且成本高，如果试制中需要经过多次修改，将增加试制成本、延长试制时间、延误产品上市时机。而采用电火花线切割机床直接切制零件，可以缩短试制周期、降低试制成本。

如在研制或试制某种电机产品时，电机的硅钢片定子或转子铁心的加工就属于上述情况。如图 4-1 所示为某型号电机定子铁心，铁心材料为硅钢，厚度一般为 $0.2\sim 0.5\text{mm}$ ，正常加工方式为冲压加工，这种形式的工件一般称为环形片零件。在试制阶段可以采用线切割加工方式进行加工。一般地，薄片零件在高速走丝线切割加工时存在抖动、变形等问题，使得加工中容易断丝，加工后工件的精度和表面质量也不能满足要求，所以这类零件需采用一些特殊的线切割工艺方法进行加工。这里，以电机定子铁心环形片零件为例，介绍这类工件的电火花线切割加工。

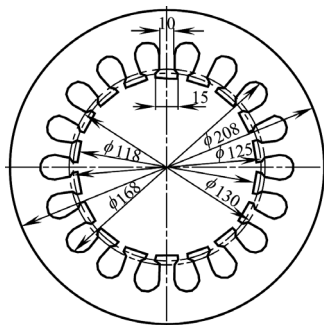


图 4-1 电机定子铁心

4.1.2 环形片零件线切割加工工艺分析

从图 4-1 可以看出，环形片零件一般由内、外两个部分图形构成，

且有一定的同心度要求，在加工内外形状的时候，应事先加工好穿丝孔，起始点位置需要满足一定的精度要求。另外，应首先加工内部形状，以免先加工好的外形给装夹带来麻烦。

由于薄片零件在高速走丝线切割加工时易产生变形、断丝等问题，在装夹工件的时候，一定要保证装夹的强度和稳定性，可以考虑将多个坯料重叠，用合适的方式将它们固定在一起，既可以增加强度，也可以一次加工多个工件，提高加工效率。根据加工经验，一般情况下，用高速电火花线切割加工工件的厚度在 40~60mm 之间的时候，能取得较高的加工速度和较好的加工表面质量。

在内部或外部形状即将加工完成的时候，注意最后一段曲线切割完成之前，应采用合适的措施避免切割的落料直接落下，砸伤丝架或者引起断丝。另外，在加工过程中需采取适当措施，避免工件变形引起夹丝、断丝和短路等状况的出现。

一般环形片零件的内部或外部形状较复杂，应采用合适的自动编程软件进行编程。

4.1.3 环形片零件线切割加工准备

1. 工件准备

根据以上分析，按照工件加工要求剪裁数片 3~5mm 的硅钢片坯料用的平直钢板并夹紧，下面夹板的两侧应比铁心坯料长 30~50mm，以便装夹。夹板的上下平面一般需经过磨削加工，以保证装夹可靠。夹紧的位置根据环形片形状而定，既要可靠装夹，又不能影响切割加工。由于硅钢片之间有绝缘层，在准备工件的时候应使得硅钢片孔与夹紧螺栓接触良好，或者在夹紧的硅钢片侧面用锡焊焊一根铜丝，以保证加工时导电良好。然后，根据加工穿丝孔的位置要求，画线加工出穿丝孔，并清理毛刺及污物。准备好的工件坯料如图 4-2 所示。

2. 工件装夹

将准备好的工件坯料以桥式支撑方式装夹，如图 4-3 所示。由于工件为环形（不存在内外图形方位要求），所以机床坐标系与编程坐标系的一致性要求不高，工件安装在工作台面的中间位置用一对压板压紧，采用画线法对工件进行校正，校正后，再用压板压紧工件。

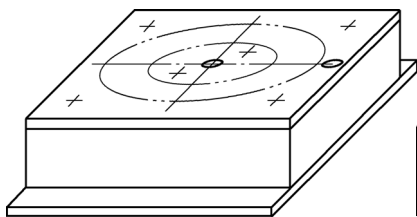


图 4-2 准备好的工件坯料

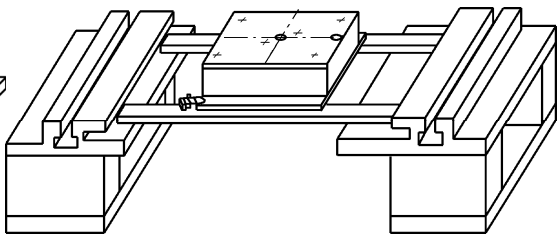


图 4-3 工件坯料的安装

3. 安装电极丝

按照前面介绍的方法安装电极丝，因为先加工内部的图形，电极丝应从工件坯料的中心的穿丝孔进行安装，检查电极丝是否在导轮槽中，与导电块接触是否良好，松紧度（电极丝张力）是否合适。应该注意的是，在安装电极丝前先要校正电极丝的垂直度。

4.1.4 环形片零件加工程序的编制

对于简单的加工图形，可以采用手工编程方法进行加工程序的编制，但对于像环形片这类复杂图形加工程序，最好采用自动编程的方法进行编制。这里应用 CAXA 线切割 XP 系统进行编程。

1. 绘制图形

1) 打开 CAXA 线切割 XP 系统。

2) 新建文件，选择“EB”，单击“确定”，系统进入到线切割加工绘图界面。

3) 绘制圆。选择基本曲线，单击“圆”命令，圆心输入“0, 0”，分别绘制外圆 $\phi 208\text{mm}$ ，同心辅助圆 $\phi 168\text{mm}$ 、 $\phi 130\text{mm}$ 、 $\phi 125\text{mm}$ 、 $\phi 118\text{mm}$ 。

4) 绘制中心线。单击“中心线”命令，选择 $\phi 208\text{mm}$ 圆弧，屏幕出现圆的中心线。绘制圆及中心线如图 4-4 所示。

5) 单击“直线”命令，绘制直线段，采用“两点线”，输入第一点“0, 0”，第

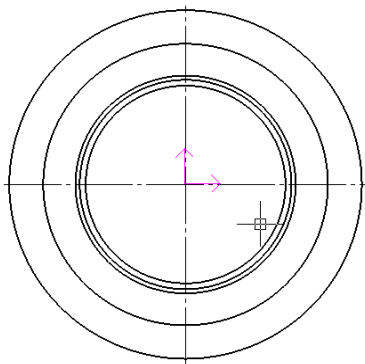


图 4-4 绘制圆及中心线

二点“-5, 0”回车。然后在立即菜单中依次选择“连续”、“正交”、“点

方式”，移动鼠标向 Y 轴正方向移动，超过 $\phi 168\text{mm}$ 后，单击左键。

6) 单击“直线”命令，绘制直线段，采用“两点线”方式，第一点在屏幕选择 $\phi 118\text{mm}$ 圆弧与中心线 Y 轴正方向的交点，单击左键确定，然后在立即菜单中依次选择“连续”、“正交”、“长度方式”并输入长度“7.5”回车，移动鼠标向 X 轴负方向，单击左键确定。移动鼠标向 Y 轴正方向，超过 $\phi 125\text{mm}$ 后，单击左键确定。

7) 单击“直线”命令，绘制直线段，采用“两点线”方式，第一点在屏幕上选择刚才的直线段与 $\phi 125\text{mm}$ 圆的交点，第二点选择距离 Y 轴为 5mm 的直线段与 $\phi 130\text{mm}$ 圆的交点，单击鼠标左键确定。注意，这里在立即菜单中选择“非正交”方式。绘制基本图形线段如图 4-5 所示。

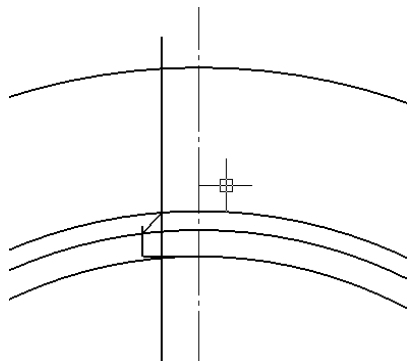


图 4-5 绘制基本图形线段

8) 为了作图清晰，擦除 $\phi 130\text{mm}$ 、 $\phi 125\text{mm}$ 、 $\phi 118\text{mm}$ 辅助圆和在 X 坐标轴上的 5mm 线段。

9) 单击“曲线编辑”命令，修剪多余的线段，如图 4-6 所示。

10) 单击“曲线编辑”命令，选择“镜像”命令，按照状态栏提示，拾取添加所有的直线段，单击鼠标右键选择结束，按照提示选择 Y 轴为镜像轴线，镜像完成，如图 4-7 所示。

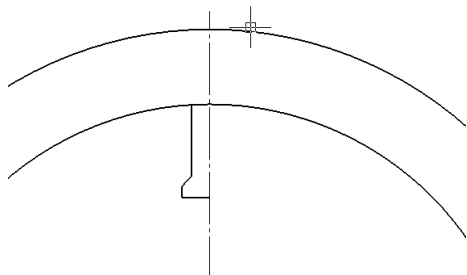


图 4-6 修剪后的图形

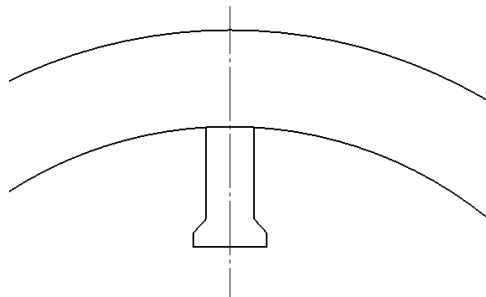


图 4-7 镜像直线段

11) 选择“旋转”命令，按照状态栏提示，选择欲旋转的元素，这里单击 Y 轴左侧距离 Y 轴 5mm 的直线段，单击鼠标右键选择结束，按照提示输入基点“0, 0”，回车，然后再按照提示，输入旋转角度

“-360/18”，回车确定。

12) 绘制连接圆弧。选择基本曲线，单击“圆弧”命令，在立即菜单中选择“三点圆弧”，分别选择三点作与两端直线段及 $\phi 168\text{mm}$ 圆相切的圆。选择的方法是，使用键盘“空格键”启动工具点菜单选项，选择“相切”，或者直接键盘输入“t”，也是选择相切的快捷方式。此时连接圆弧绘制完毕，如图4-8所示。

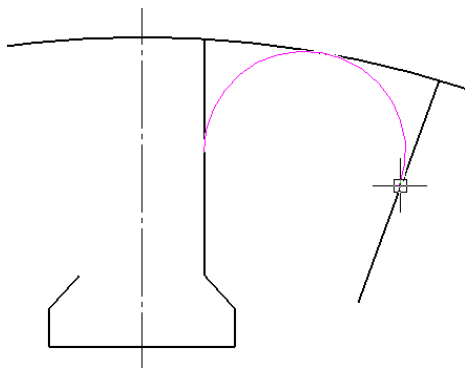


图 4-8 绘制连接圆弧

13) 擦除 $\phi 168\text{mm}$ 辅助圆，单击“曲线编辑”命令，选择“裁剪”，修剪掉多余的线段。单击“选择”命令，将前面旋转的直线段转回。方法是：根据提示选择旋转目标，基点选择“0，0”，旋转角度输入“360/18”，回车确定。

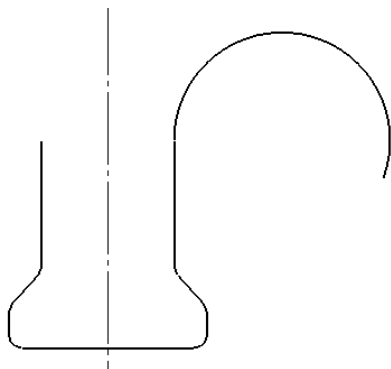


图 4-9 基本图形

14) 选择“过渡”命令，将各个线段交点处用半径为 $R1\text{mm}$ 的圆弧进行裁剪，此时基本图形绘制完毕，如图4-9所示。

15) 选择“阵列”命令，按照提示将所绘制基本图形全部拾取添加，单击右键结束选择，在立即菜单中依次选择“圆形阵列”、“旋转”、“均布”，输入份数“18”，中心点输入“0，0”回车，工件图形绘制完毕，如前图4-1所示。

2. 自动编程

本工件的加工分为两个部分，即内部图形的加工和外部图形的加工，也就是说加工程序分为两个部分，而且两部分图形有较高的位置要求，加工时必须保证两段加工程序起始点的位置准确。加工时可以采用人工控制或者跳步模方式实现，这里采用人工控制的方式编程和加工。

下面分别进行两个部分的自动编程。

(1) 内部图形加工程序的编制

1) 单击绘制工具栏中“轨迹操作”按钮,或者单击主菜单栏中“线切割”下拉菜单,选择“轨迹生成”,弹出“线切割轨迹生成参数表”对话框,在对话框中,“切入方式”栏选择“垂直”,“轮廓精度=”输入“0.02”,“补偿实现方式”栏选择“轨迹生成时自动实现补偿”,“样条拟合方式”栏选择“圆弧”,“拐角过渡方式”栏选择“尖角”,如图 4-10 所示。



图 4-10 轨迹生成参数选择

2) 单击“确定”,按照状态栏提示拾取加工轮廓,选择加工方向,这里选择顺时针方向。补偿方向选择向内的方向,穿丝点位置输入“0,0”,退出点选择与穿丝点重合(回车确认),如图 4-11 所示。此时,自动编程系统将加工轮廓显示在绘图区,如图 4-12 所示。

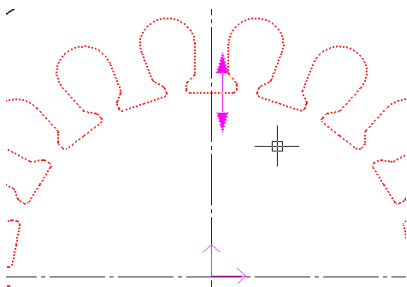


图 4-11 基本图形

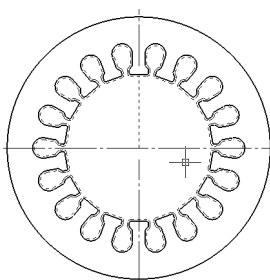


图 4-12 生成的加工轨迹

3) 单击主菜单栏中“线切割”下拉菜单,选择“生成 3B 代码”,弹出“生成 3B 加工代码”对话框,如图 4-13 所示。在对话框中输入加工程序的文件名称,选择好存储路径,回车确认,此时,将弹出加工程序文件清单,内部图形加工程序编制完毕。

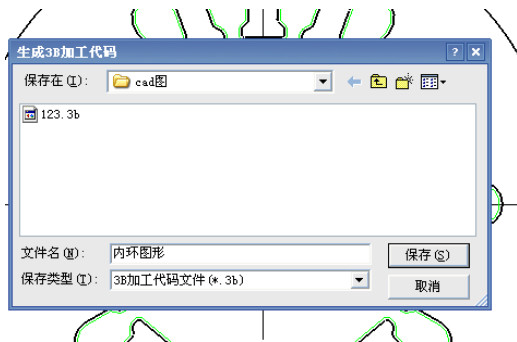


图 4-13 生成 3B 加工代码对话框

(2) 外部图形加工程序的编制 外部图形加工程序的编制过程与内部图形加工程序的编程完全一样, 这里不再详细说明, 读者可自行练习。

4.1.5 环形片零件数控高速走丝电火花线切割加工操作

1. 加工程序的准备与检查

将编制好的加工程序通过存储设备复制到机床硬盘或者直接从机床的硬盘中调入到当前控制系统中。应用机床控制系统中的“加工预演”或者“校验画图”等功能对所调用的加工程序进行检查, 如有必要, 在不安装电极丝、不开脉冲电源、不开储丝筒的动作和不打开工作液泵的条件下, 可进行“模拟运行”, 以检查工件的安装位置是否合适, 加工是否超过机床的极限。

2. 确定加工起始点的位置

使用机床“接触感知”功能, 用自动“找中心”方法, 确定电极丝的起始位置。由于与坯料的相对位置要求不高, 也可以采用“目测法”确定电极丝的起始位置。

3. 设定脉冲电源的电加工参数

根据机床电源的特点, 设定脉冲电源加工参数。不同厂家、不同型号的脉冲电源加工参数的选择有所不同, 这里设定的加工参数仅供参考。

脉冲宽度 $T_{on}=12\mu s$, 脉间隔 $T_{off}=48\mu s$, 功率管数 $I_p=3$ 个。

4. 切割加工

(1) 内部图形的加工 打开高频脉冲电源启动开关, 将断丝保护等置于开启状态。先打开运丝开关, 再打开工作液泵, 检查正常无误时, 启动运行程序, 加工开始, 加工过程状态控制图如图 4-14 所示。注意, 不同型号的机床启动切割加工可能略有不同, 请参阅所操作机床的《使用说明书》。

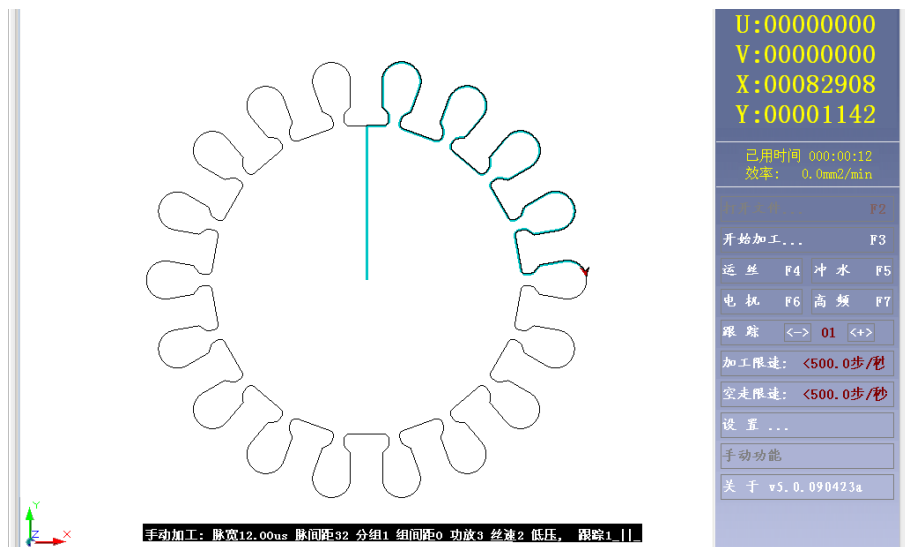


图 4-14 圆片零件加工过程状态控制图

加工时应注意加工状态的监控，当控制面板上的电流表摆动不定时，说明加工过程不稳定。引起不稳定的原因有：加工参数设置不当、工作液供应不足、工件材料存在问题等。根据加工情况找到问题所在，进行适当调整，使加工在稳定的状态下进行。

(2) 外部图形的加工 由于该工件的内部图形与外部图形有较高的位置要求，所以当内部图形加工完成之后，将电极丝抽出，并用机床移动的方式，将机床工作台准确地移动到外部图形的起始点的位置上去，并重新安装电极丝，调整好各个部位并进行加工。由于是一个工件坯料，所以加工参数不需重新设定。只需注意，在最后一段曲线切割完成之前，应采用合适的措施避免切割的落料直接落下，砸伤丝架或者引起断丝。

4.2 跳步模零件的数控高速走丝电火花线切割加工

4.2.1 了解跳步模

按照工步组合形式和动作特点，冲压模具可以分为单冲模、连续模与复合模等三类，连续模也称为级进模或顺序模，俗称“跳步模”。

该种模具有两个或两个以上工位，使原料经过两个或两个以上工位的连续冲压而冲制出成品或半成品制件。在跳步模的凹模板上，有两个或两个以上的形状和位置精度要求很高的通孔，如图 4-15 所示，高速走丝电火花线切割机床适合加工此类工件。

在跳步模凹加工过程中，需要注意以下几个方面问题：各孔尺寸形状精度的保证、各孔之间的位置以及孔与其他要素之间的位置精度的保证、孔与上下平面垂直精度的保证等。这里以图 4-15 所示的跳步模凹模为例，介绍数控高速走丝电火花线切割机床跳步模加工方法。

4.2.2 跳步模零件的加工工艺分析

（1）结构特点 图 4-15 所示为跳步模凹模板，零件的长度为 280mm，宽度为 148mm，厚度为 35mm，该工件成形部分由 5 个不规则的型腔孔和 $4 \times \phi 18\text{mm}$ 导向孔构成，各个型孔之间有严格的位置要求，另有 $4 \times \phi 24\text{mm}$ 安装定位孔。

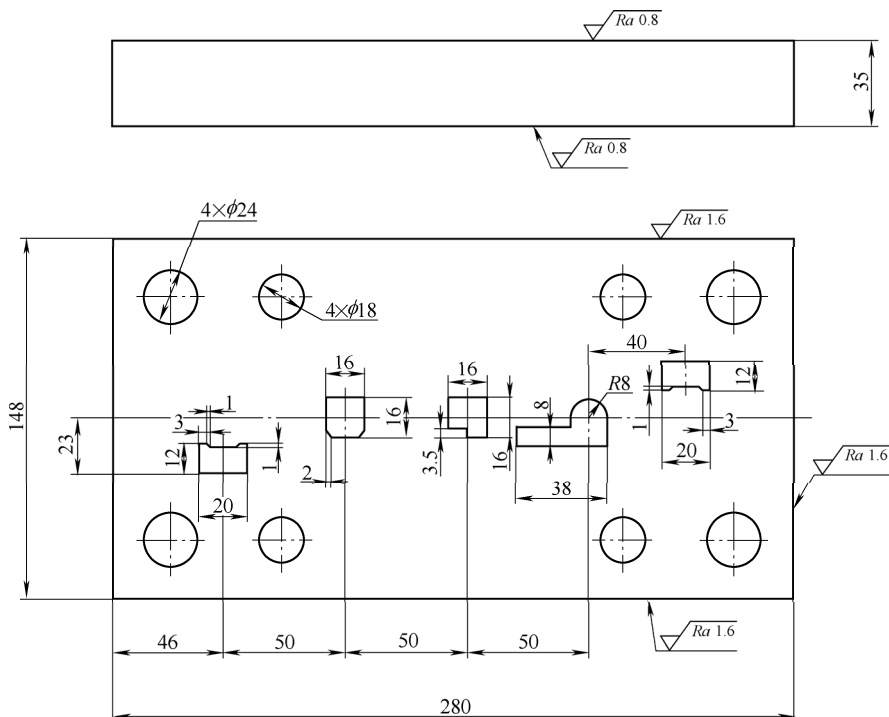


图 4-15 凹模零件图

(2) 工件坯料形式选择 根据工件的使用要求和结构特点, 确定坯料的供应形式为锻造件, 锻造后应进行退火处理, 以消除锻造应力, 改善加工性能。

(3) 材料与热处理分析 工件材料选择为 Cr12MoV, 该种材料的可锻性、淬硬性良好, 热处理变形小, 是制造冲压模具的典型材料。

(4) 坯料制造工艺方案 根据工件的结构特点与使用要求, 在制造坯料的时候, 可以采用以下工艺方案。下料→锻造→退火→铣削外形→粗磨各表面→画线、 $4\times\phi 24\text{mm}$ 孔钻好、其余型腔钻好穿丝孔 $\phi 4\text{mm}$ 、去飞边→热处理(淬火、回火)→精磨(精磨上、下面和基准面)→线切割坯料。注意, 在精磨的时候一定要保证上下平面的平行度, 保证两个定位基准面的垂直度及其与上下平面的垂直度, 为线切割加工找正时提供基准。

(5) 线切割工艺分析 由于 5 个不规则的型腔孔和 $4\times\phi 18\text{mm}$ 导向孔尺寸精度与位置精度要求较高, 必须要保证其位置关系以及与上下两平面的垂直度。因此穿丝孔位置关系必须准确, 以免影响后续加工; 安装工件的时候, 必须保证工件坯料的定位基准面与机床的 X 轴和 Y 轴有准确的关系; 在加工之前应对电极丝的垂直度进行校正; 在型腔孔即将加工完成的时候, 注意最后一段曲线切割完成之前, 应采用合适的措施避免切割的落料直接落下, 引起断丝(由于型腔孔尺寸不大, 可以用强力磁铁吸住已加工部分); 在加工过程中采取适当措施, 避免工件变形引起夹丝、断丝和短路等状况的出现。

4.2.3 跳步模零件线切割加工准备

1. 工件准备

根据以上加工工艺分析, 工件坯料经过锻造、去应力退火、坯料的粗加工(铣削、磨削、画线、钻孔)、热处理、坯料的精加工(精磨)后, 由钳工进行最后的研磨。注意, 在操作的过程中, 不得损伤加工定位基准。另外, 要将各穿丝孔内的氧化皮等渣滓清除干净, 以免在线切割加工过程中由于氧化皮的绝缘使电极丝找正以及切割加工不能正常进行。

2. 工件装夹

安装工件坯料之前，应将电极丝抽掉，以方便安装和工件的校正。将加工好的坯料以桥式支撑方式装夹到数控高速走丝电火花线切割机床的工作台上，工件安装在工作台面的中间位置，以免在加工过程中，加工的范围超过机床的极限位置或者切割到工作台。由于拟加工型腔孔的尺寸精度与位置精度要求很高，对安装及找正的要求也就高。采用拉表法进行校正，校正需要在两个定位基准面以及工件的上平面等三个方向进行。用磁力表座将千分表固定在丝架或其他相对于床身不动的部件上，并保证固定可靠。使表的测头与工件需校正的表面接触，往复移动工作台，按表的指示值调整工件的位置，直到工件被调整到准确的位置，满足加工要求为止。然后，用压板压紧工件，如图 4-16 所示。

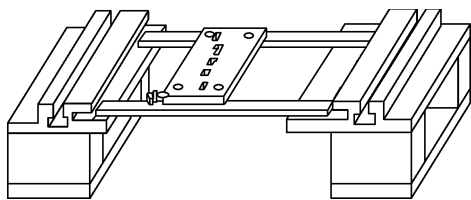


图 4-16 工件坯料的安装

3. 安装电极丝

按照前面介绍的方法安装电极丝，型腔各孔加工的顺序为 1→2→3→4→5→6→7→8→9，如图 4-17 所示，电极丝应首先从工件坯料型腔 1 的穿丝孔进行安装。安装电极丝的时候，需检查电极丝是否在导轮槽中，与导电块接触是否良好，松紧度（电极丝张力）是否合适。应该注意的是，在安装电极丝前先要校正电极丝的垂直度。

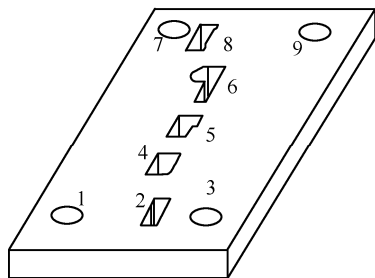


图 4-17 各型腔跳步加工顺序

4.2.4 跳步模零件线切割加工程序的编制

分析零件的工作图可知，拟加工的各个型腔图形都不复杂，只是各个型腔图形相对位置关系需准确。加工程序编制的时候可以采用手工编程编制各图形的加工程序，只是在加工的时候，需要逐次调用加工程序，并且需要采用机床移动的方式移动机床工作台到指定的加工位置并穿丝，比较麻烦，而且容易出错。采用自动编程的“跳步加工”

方式编制加工程序，能够保证跳步加工过程中的各图形位置关系，并且能够保证程序的正确，提高效率。

1. 绘制图形

由于图形构成简单，这里以其中 6 号型腔为例，介绍其编制。

设定编程坐标系在工件坯料左下角两直线的交点，各型腔图形的位置关系可以通过零件工作图来确定。

1) 打开 CAXA 线切割 XP 系统。

2) 新建文件，选择“EB”，单击“确定”，系统进入到线切割加工绘图界面。

3) 绘制圆形。选择基本曲线，单击“圆”命令，圆心坐标输入“196，74”，绘制圆 $\phi 16\text{mm}$ ，回车确认。

4) 绘制直线。单击“直线”命令，在立即菜单中依次选择“两点线”、“连续”、“正交”、“点方式”，键盘输入“188，70”、“166，70”、“166，62”、“204，62”，回车确认。绘制图形如图 4-18 所示。

5) 绘制两切线。单击“直线”命令，在立即菜单中依次选择“两点线”、“连续”、“正交”、“点方式”，智能选择与圆相切的线段的端点，利用屏幕的格局点菜单选择“相切”方式，完成基本图形的绘制。

6) 图形编辑。单击“曲线编辑”命令，修剪掉多余的线段，型腔 6 图形绘制完毕，如图 4-19 所示。

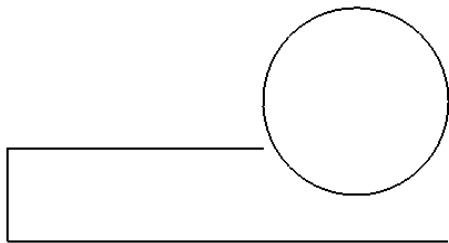


图 4-18 圆及直线段的绘制

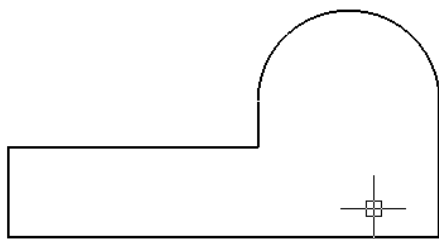


图 4-19 绘制完成的型腔 6 图形

将拟加工的所有图形按照要求的相对应关系全部画好，绘制方法如上面所述，这里不再一一赘述，完成的工件加工图如图 4-20 所示。

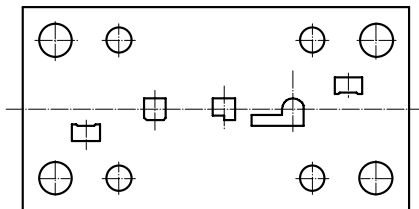


图 4-20 绘制完成的完整型腔图形

2. 自动编程

本工件的加工为跳步加工，各部分图形有较高的位置要求，加工时必须保证各图形加工程序起始点的相对位置准确。加工程序编制的时候，应首先生成各个图形的加工轨迹，然后应用 CAXA 线切割 XP 系统的“轨迹跳步”功能生成工件的跳步加工程序。

(1) 图形加工轨迹的生成 由于拟加工的型腔多，各图形的加工轨迹生成的方法相似，这里还是以图形 6 为例，说明加工轨迹的生成方法。

1) 单击绘制工具栏中“轨迹操作”按钮，或者单击主菜单栏中“线切割”下拉菜单，选择“轨迹生成”，弹出“线切割轨迹生成参数表”对话框，如图 4-21 所示。在对话框中，“切入方式”栏选择“垂直切入”，“轮廓精度=”输入“0.02”，“补偿方式”栏选择“轨迹生成时自动实现补偿”，“样条拟合方式”栏选择“圆弧”，“拐角过渡”栏选择“尖角”。

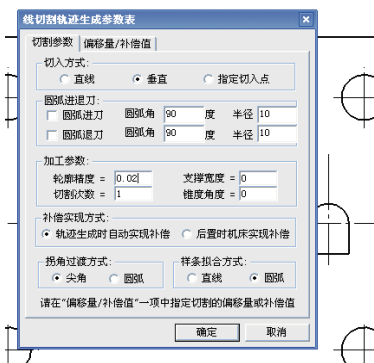


图 4-21 轨迹生成参数选择

2) 单击“确定”，按照状态栏提示拾取加工轮廓，选择加工方向，这里选择顺时针方向。由于是型腔加工，补偿方向选择向内的方向，穿丝点位置输入“196, 74”，退出点选择与穿丝点重合（回车确认），如图 4-22 所示。此时，自动编程系统将加工轮廓显示在绘图区，如图 4-23 所示。

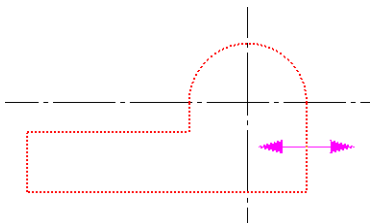


图 4-22 轨迹生成方向选择

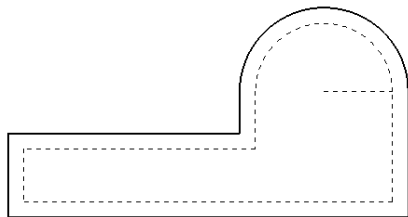


图 4-23 生成的加工轨迹

按照上述方法，依次生成 9 个图形的加工轨迹。

(2) 跳步加工程序的编制

1) 单击主菜单栏中“线切割”下拉菜单，选择“轨迹跳步”，此时

状态栏提示“拾取加工轨迹”，按照提示，依次选取已生成的加工轨迹，即从图形 1 至图形 9，依次选择 9 个加工图形，选取完成后，单击鼠标右键确定，或者键盘回车确定，跳步加工轨迹生成结束，如图 4-24 所示。

2) 单击主菜单栏中“线切割”下拉菜单，选择“生成 3B 代码”，弹出“生成 3B 加工代码”对话框，如图 4-25 所示。在对话框中输入加工程序的文件名称，选择好存储路径，回车确认，此时，将弹出加工程序文件清单，图形加工程序编制完毕。

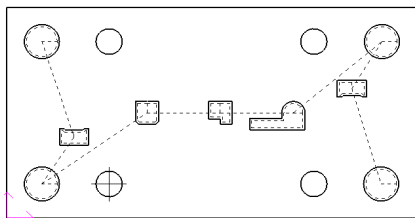


图 4-24 生成的跳步加工轨迹

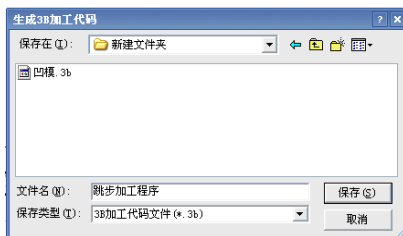


图 4-25 生成 3B 加工代码对话框

4.2.5 跳步模零件数控高速走丝电火花线切割加工操作

1. 加工程序的准备与检查

将编制好的加工程序通过存储设备复制到机床硬盘或者直接从机床的硬盘中调入到当前控制系统中，加工之前，应用机床控制系统总的“加工预演”或者“校验画图”等功能对调用的加工程序进行检查。由于工件线切割加工过程较复杂，在正式加工之前需准确确定加工位置，以免在加工中出现問題。在不安装电极丝、不开启脉冲电源、不开启储丝筒的动作和不打开工作液泵的条件下，进行“模拟运行”，以检查工件的安装位置是否合适，加工是否超过机床的极限。

2. 确定加工起始点的位置

在本工件的加工中，先加工图形 1，所以图形 1 的起始加工点位置的准确定位非常重要。先前的工件准备工作中已经将工件的位置找正，将丝架的电极丝安装位置移动到工件上图形 1 穿丝孔相应的位置，安装电极丝，使用机床“接触感知”功能，用自动“找中心”方法，确定电极丝的起始位置。

3. 设定脉冲电源的电加工参数

根据机床电源的特点、拟加工工件的材料特征以及工件的厚度，

设定脉冲电源加工参数，这里设定的加工参数仅供参考。

脉冲宽度 $T_{on}=8\mu s$ ，脉冲间隔 $T_{off}=42\mu s$ ，功率管数 $I_p=3$ 个。

4. 切割加工

打开高频脉冲电源启动开关，将断丝保护等置于开启状态。先打开运丝开关，再打开工作液泵，检查正常无误后，启动运行程序，加工开始。当第一个图形加工完成后，根据加工程序的指令，机床将暂时停下，此时应拆下电极丝，再键盘键入回车，机床将快速移动到下一个图形切割的穿丝孔的位置。将电极丝从该穿丝孔穿过，重新固定在储丝筒上，调整好储丝筒换向位置，以及各防护装置，在键盘上按回车键，开始第二个图形的切割加工。按照同样的方法依次加工各个图形，直至工件线切割加工工序结束。

4.3 齿轮零件的数控高速走丝电火花线切割加工

齿轮传动是机械传动中最主要的一类传动方式，由于齿轮传动效率高、结构紧凑、工作可靠以及传动比稳定等特点，因而得到了广泛的应用。齿轮传动的制造精度要求较高，加工时一般需要专用机床、刀具和夹具，加工过程复杂，影响加工精度的因素较多，影响关系复杂多样。另外，对于非标模数齿轮、特种材料齿轮、非圆齿轮（如图 4-26 所示）等的加工，除需要专用机床外，刀具需特别定制。这样，不但增加了



图 4-26 非圆齿轮

了制造成本，还增加了制造周期，尤其是当需要制造的齿轮数量很少时，刀具、夹具的制造将使成本大大增加。应用数控电火花线切割加工该类齿轮是很好的解决方案，一方面用线切割加工齿轮无需使用专门刀具，而使用线状电极丝即可完成加工；另一方面，无需专用夹具装夹，可以

大大减少齿轮的制造费用。这里以某非标齿轮零件加工为例，介绍这类齿轮的数控高速电火花线切割加工。

4.3.1 齿轮零件线切割加工工艺分析

拟加工齿轮为外齿轮，参数为：模数 $m=3.25\text{mm}$ ，齿数 $z=42$ ，齿形角 $\alpha=20^\circ$ ，齿厚为 45mm ，齿轮精度要求为 7 级精度，齿轮材料为 40Cr，齿轮零件图如图 4-27 所示。

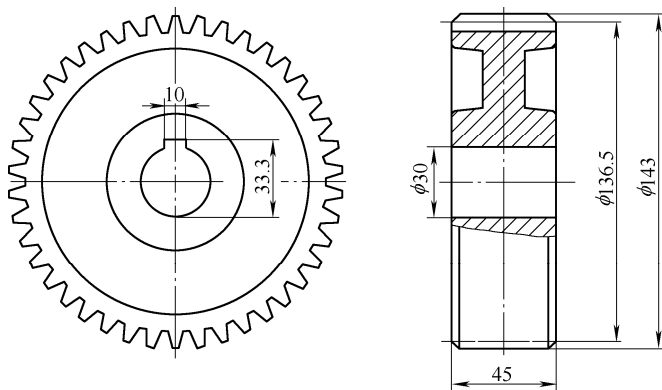


图 4-27 齿轮零件图

1) 结构特点：从图 4-27 可以看出，齿轮为腹板式结构，外圆为 $\phi 143\text{mm}$ ，内孔为 $\phi 30\text{mm}$ ，采用单键，键槽宽度为 10mm ，这里齿形、内孔及键槽采用数控高速电火花线切割进行加工。

2) 工件坯料形式选择：根据工件的使用要求，确定坯料的供应形式为锻造件。锻造的齿轮毛坯使材料纤维不被切断，金属流线的走向合理，可以有效地提高齿坯的强度等力学性能。锻造后应进行退火处理，以消除锻造应力，改善加工性能。

3) 坯料制造工艺方案：一般地，将电火花线切割加工作为最后一道工序，所以在线切割加工之前齿轮两个断面及腹板等部分应事先加工好，这里拟定采用以下工艺方案。下料→锻造→退火→铣削外形→粗磨各表面→画加工腹板找正线、线切割齿形穿丝孔线、钻好外穿丝孔→车削加工腹板（内孔加工到 $\phi 20\text{mm}$ ）→热处理（调质）→精磨（精磨上、下基准面）→坯料成品。注意，在精磨的时候一定要保证上下平面的平行度，为线切割加工找正时提供基准。

4) 线切割加工工艺方案: 该齿轮零件的线切割加工包括内孔、键槽以及齿形的加工, 重要的是要保证内孔与齿形(齿圈)的同心要求, 以及它们与端面的垂直度要求。为了保证内孔与齿形的同心要求, 应采用跳步加工方式。在加工之前, 必须对电极丝进行校正。齿形加工过程中, 应避免应力变形引起夹丝、断丝, 从而影响加工的正常进行。在加工过程中, 可在已加工的切缝部位塞入合适的薄片阻止变形的发生, 还可以避免加工完成的时候, 工件坠落引起断丝和损伤工件、机床。另外, 在编制加工程序的时候, 要注意内孔与齿形加工程序的偏移补偿方向, 保证加工精度的要求。

4.3.2 齿轮零件线切割加工准备

1. 工件准备

根据以上加工工艺分析, 工件坯料要经过锻造、去应力退火、坯料的粗加工热处理、坯料的精加工(精磨)等过程。在操作的过程中, 不得损伤加工定位基准。另外, 要将穿丝孔内的氧化皮等渣滓清理干净, 以免在线切割加工过程中由于氧化皮的绝缘使电极丝找正以及切割加工不能正常进行。准备好的坯料如图 4-28 所示。

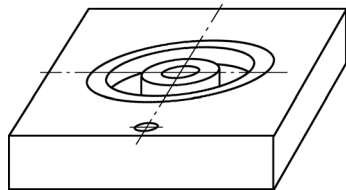


图 4-28 齿轮坯料

2. 工件装夹

如上例, 安装工件坯料之前, 应将电极丝抽掉, 以方便工件的安装和校正。将加工好的工件坯料以桥式支撑方式装夹, 由于工件为齿轮, 内孔与齿形的方向无特殊要求, 机床坐标系与编程坐标系的一致性要求也不高。工件安装在工作台面的中间位置, 用一对压板压紧, 可采用画线法对工件进行校正, 校正后, 再用压板压紧工件, 如图 4-29 所示。

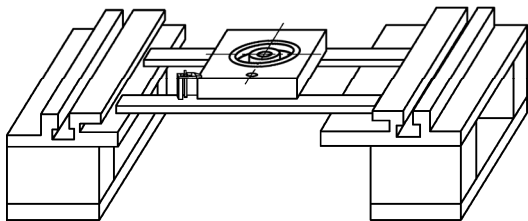


图 4-29 齿轮坯料的安装

3. 安装电极丝

按照前面介绍的方法安装电极丝，线切割加工的顺序为先加工内孔及键槽，再加工齿形。电极丝应从工件坯料中心的穿丝孔进行穿丝安装，待内孔和键槽加工完成后，将电极丝抽出，将机床移动到齿形加工穿丝孔的位置。安装电极丝的时候，需检查电极丝是否在导轮槽中，与导电块接触是否良好，松紧度（电极丝张力）是否合适等。

4.3.3 齿轮零件线切割加工程序的编制

分析齿轮零件的工作图可知，每个齿形都是由若干圆弧及直线段构成，绘制起来较复杂。CAXA 线切割 XP 系统提供了“高级曲线”绘制功能，其中就有齿轮的绘制，方便实用。对于整个零件的加工程序的编制，可以采用自动编程的“跳步加工”方式来完成，这样能够保证跳步加工过程中的内孔、键槽以及齿形的位置关系。

1. 绘制图形

1) 打开 CAXA 线切割 XP 系统。

2) 新建文件，选择“EB”，单击“确定”，系统进入到线切割加工绘图界面。

3) 绘制圆形。选择基本曲线，单击“圆”命令，圆心输入“0, 0”，绘制内孔圆 $\phi 30\text{mm}$ 。

4) 绘制中心线。单击“中心线”命令，选择 $\phi 30\text{mm}$ 圆弧，屏幕出现圆的中心线。

5) 单击“直线”命令，绘制直线段，采用“两点线”，输入第一点“0, 0”，第二点“-5, 0”回车。然后在立即菜单中依次选择“连续”、“正交”、“长度方式”，单击“长度”选项，输入“18.3”回车，向右移动鼠标，在立即菜单中的“长度”选择中输入“10”回车，然后再向下移动鼠标，单击鼠标左键确认。然后单击鼠标右键结束直线段的绘制，此时，键槽轮廓被画出。如图 4-30 所示。

6) 单击“曲线编辑”命令，删除和修剪多余的线段，如图 4-31 所示。

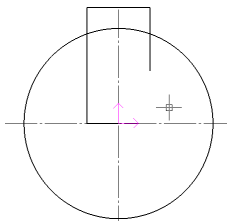


图 4-30 绘制内孔及键槽

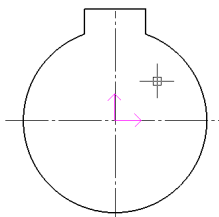


图 4-31 修剪后的图形

7) 绘制齿轮。单击“高级曲线”命令，选择“齿轮”命令，此时，系统将弹出“渐开线齿轮齿形参数”对话框，选项其中包括“基本参数”、“参数一”和“参数二”等选项。在“基本参数”中，依次输入“齿数 42”、“模数 3.25”、“压力角 20”、“变位系数 0”并选择“外齿轮”。这里选择“参数一”选项，并在选项卡中选择“齿顶高系数 1”、“齿顶隙系数 0.25”，如图 4-32 所示。单击“下一步”按钮进入“渐开线齿轮齿形预显”对话框，在此对话框中，在“有效齿数”输入“42”，在“精度”中输入“0.01”，其余参数不变，如图 4-33 所示。然后单击“完成”按钮，此时屏幕出现粉红色齿形图形，按照状态栏的提示，输入“0, 0”，在键盘按回车键，齿轮齿形绘制完成。如图 4-34 所示。



图 4-32 齿轮参数对话框

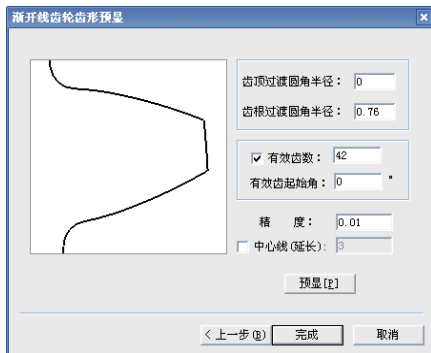


图 4-33 齿轮齿形对话框

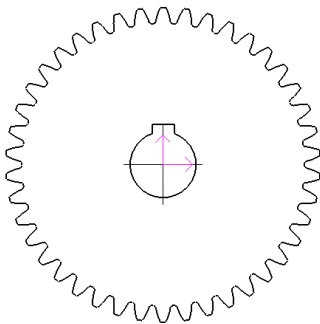


图 4-34 绘制完成的工件图形

2. 自动编程

本工件的加工为跳步加工，加工程序编制的时候，应首先生成各个图形的加工轨迹，然后应用 CAXA 线切割 XP 系统的“轨迹跳步”功能生成工件的跳步加工程序。

(1) 图形加工轨迹的生成 首先生成内孔及键槽的加工轨迹

1) 单击绘制工具栏中“轨迹操作”按钮，或者单击主菜单栏中“线切割”下拉菜单，选择“轨迹生成”，弹出“线切割轨迹生成参数表”对话框，在对话框中依次选择“垂直切入”、“轮廓精度 0.02”、“补偿方式”选择“轨迹生成时自动实现补偿”、“样条拟合方式”选择“圆弧”，如图 4-35 所示。

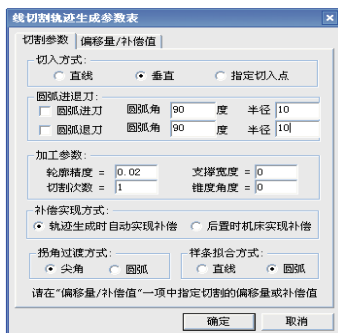


图 4-35 轨迹生成参数选择

2) 单击“确定”，按照状态栏提示拾取加工轮廓，选择加工方向，这里选择顺时针方向。由于是型腔加工，补偿方向选择向内的方向，穿丝点位置输入“0, 0”，退出点选择与穿丝点重合并回车确认，如图 4-36 所示。此时，自动编程系统将加工轮廓显示在绘图区。如图 4-37 所示。

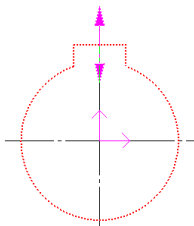


图 4-36 轨迹生成方向选择

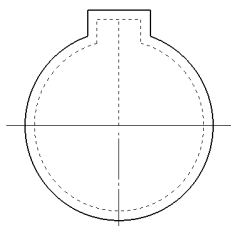


图 4-37 生成的加工轨迹

按照同样的方法生成齿形的加工轨迹，需要注意的是，在 CAXA 线切割 XP 系统中，齿形是作为“块”的形式生成的，需要使用“块操作”命令中的“打散”功能将其打散，才可以进行轨迹生成操作。另外，由于是在“0, -80”点穿丝进行加工，加工的起始点选择“0, -80”，补偿方向选择向图形外侧。生成的加工轨迹如图 4-38 所示。

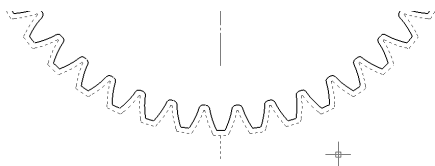


图 4-38 生成的齿形加工轨迹

（2）齿轮零件加工程序的编制

1) 单击主菜单栏中“线切割”下拉菜单，选择“轨迹跳步”，此时状态栏提示“拾取加工轨迹”，按照提示，依次选取已生成的内孔及齿形加工轨迹，选取完成后，单击鼠标右键确定，或者按键盘的回车键确定，跳步加工轨迹生成结束，如图 4-39 所示。

2) 单击主菜单栏中“线切割”下拉菜单，选择“生成 3B 代码”，弹出“生成 3B 加工代码”对话框，在对话框中输入加工程序的文件名称，选择好存储路径，回车确认，此时，将弹出加工程序文件清单，图形加工程序编制完毕。如图 4-40 所示。

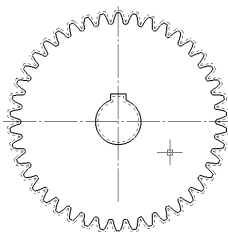


图 4-39 生成的跳步加工轨迹

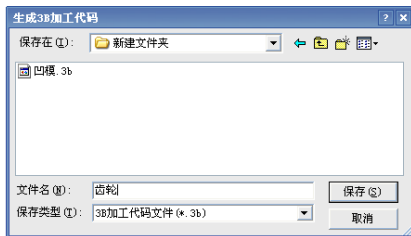


图 4-40 生成 3B 加工代码对话框

4.3.4 齿轮零件数控高速走丝电火花线切割加工操作

1. 加工程序的准备与检查

将编制好的加工程序通过存储设备复制到机床硬盘或者直接从机床的硬盘中调入到当前控制系统中，加工之前，应用机床控制系统总的“加工预演”或者“校验画图”等功能对调用的加工程序进行检查。由于工件线切割加工过程较复杂，在正式加工之前需准确确定加工位置，以免在加工中出现問題。在不安装电极丝、不开启脉冲电源、不开启储丝筒的运动和不打开工作液泵的条件下，进行“模拟运行”，以检查工件的安装位置是否合适，加工是否超过机床的极限等。

2. 确定加工起始点的位置

在本工件的加工中，应先加工内孔与键槽，所以内孔加工的起始加工点位置的准确定位非常重要。先前的工件准备工作中已经将工件

的位置找正，将丝架的电极丝安装位置移动到工件上内孔加工的穿丝孔相应的位置上，安装电极丝，使用机床“接触感知”功能，用自动“找中心”方法，确定电极丝的起始位置。

3. 设定脉冲电源的电加工参数

根据机床电源的特点、工件的材料特征以及工件的厚度，设定脉冲电源加工参数，这里设定的加工参数仅供参考。

脉冲宽度 $T_{on}=8\mu s$ ，脉冲间隔 $T_{off}=42\mu s$ ，功率管数 $I_p=3$ 个。

4. 切割加工

打开高频脉冲电源启动开关，将断丝保护等置于开启状态。先打开运丝开关，再打开工作液泵，检查正常无误后，启动运行程序，加工开始。当内孔与键槽加工完成后，根据加工程序的指令，机床将暂时停下，操作工应拆下电极丝，按键盘的回车键，机床将快速移动到齿轮切割的穿丝孔的位置。将电极丝从该穿丝孔穿过，重新固定在储丝筒上，调整好储丝筒换向位置以及各防护装置，再键盘输入回车，机床开始齿轮的切割加工。如前所述，在加工过程中，可采用在已加工的切缝部位塞入合适的薄片阻止变形的发生，还可以起到避免加工完成的时候，工件坠落引起断丝和损伤工件、机床。加工过程控制状态如图 4-41 所示。

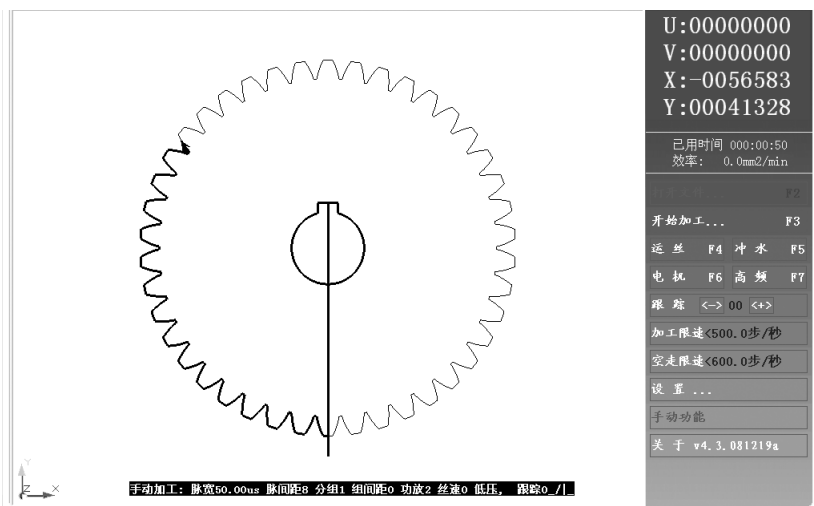


图 4-41 齿轮零件在某机床上加工过程控制状态图

4.4 带锥度零件的数控高速走丝电火花线切割加工

4.4.1 带锥度零件的线切割加工原理

在零件加工过程中，经常遇到带锥度面、刃口或者上下异形（如天方地圆）等结构的加工，传统的加工方法很难精确、高质量地完成加工，数控电火花线切割加工机床能很好地完成此类零件的加工。带锥度切割加工的高速走丝电火花线切割机床，可用于锥度的切削加工。

锥度的切割加工是基于 XY 平面和 UV 平面联动来完成的。 XY 平面是指大拖板带动工件作平动， UV 平面是上线架端点 A' 绕下线架端点 A 作倾斜运动，如图 4-42 所示，以下导轮中心点 A 为原点、 A' 为动点，电极丝 AA' 作半径为 l 的倾斜旋转运动，可以得到一个倒圆锥体，它在 h 高度平面（即下导轮中心到支撑平台）产生一个半径 L 的圆周轨迹，与此同时，电极丝作以 L 为半径，方向与 l 相反的圆周运动（平动）。

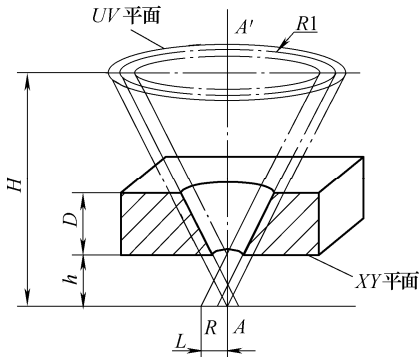


图 4-42 锥度切割示意图

如果要得到一个以基面中心 O 为原点，半锥角为 α ，上大下小，小端半径为 R 的倒圆锥体，只要 XY 平面作半径 $R+L$ 的平动圆周运动， AA' 作倾斜圆周运动，把倾斜运动和平动叠加，就能获得这个倒圆锥体。在 UV 平面上有半径为 $R+L+l$ 的圆周运动，这里 L 是用以抵消作锥度倾斜运动而在 h 基面高度上产生的偏移量，因而方向与这个偏移量相反。用户只要设定 H 、 h 、 α 三个量，正确地编制切割程序，由计算机实现联动切割，就可以准确地完成锥度结构的切割加工。

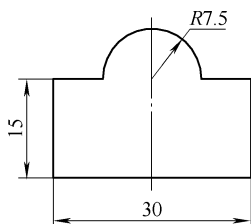
由上述分析可知，要切割出结构尺寸合格的锥度工件，重要的是加工程序的正确，以使 XY 轴与 UV 轴能准确地联动。国内的机床一般都默认以工作台为基准进行编程，根据对图 4-42 的分析，必须对丝架上下支点间的跨距及其基面的距离作准确的测定和设定。由于大多数的线切割机床的下丝架是固定的，所以只要测定和设定好上丝架的

尺寸，锥度的切割就能在程序的控制下准确地完成。

需要注意的是，多数快走丝线切割机床最大允许切割的锥度为 6° ，所以在进行锥度切割的时候，尤其是上下异形结构工件的切割时，结构的各个部分形成的锥度不可以超过 6° ，否则，由于结构的限制不可能切割出符合要求的结构。

4.4.2 带锥度零件线切割加工的加工工艺分析

如图 4-43 所示，拟加工一个锥度为 2.5° ，底面尺寸如图示的带锥度零件，要求上小下大，工件的厚度为 40mm。由图中形状分析可知，在本工件进行线切割加工的时候，切割方向为顺时针的时候，电极丝倾斜的方向是向右的；切割方向为逆时针的时候，电极丝倾斜的方向是向左的，在进行程序编制的时候，图 4-43 锥度零件底面尺寸图一定注意程序代码的选择。一般来说，国内线切割机床锥度切割程序代码为：G51 为锥度左偏，G52 为锥度右偏，G50 为锥度偏移结束。程序段必须是 G01 直线插补程序段，分别在进刀线和退刀线中完成。程序面为待加工工件的下表面，与工作台面重合。锥度加工的建立是从建立锥度加工直线插补程序段的起始点开始偏摆电极丝，到该程序段的终点时电极丝偏摆到指定的锥度值。锥度加工的退出是从退出锥度加工直线插补程序段的起始点开始偏摆电极丝，到该程序段的终点时电极丝摆回 0° 值（垂直状态）。



应该注意的是，在上大下小带锥度工件的加工中，在加工将要结束、工件脱离坯料的时候，容易使工件压紧电极丝，导致短路或者夹断电极丝等现象的发生；对于上小下大的带锥度工件的加工，在加工将要结束的时候，工件要脱离坯料，这时易砸断电极丝或砸伤下丝架，应采用适当的措施，如使用磁铁将工件与坯料体吸住，或者暂停机床，在切缝隙中加入适当厚度的金属薄片，夹紧工件和坯料。另外，由于锥度切割时排屑困难，在加工时应适当加大放电间隔时间，加大切削液的流量，以使切屑顺利地排出加工区。

4.4.3 带锥度零件线切割加工的准备

1. 工件装夹

将准备好的工件坯料以桥式支撑方式装夹，由于工件为独立体，机床坐标系与编程坐标系的一致性要求不高，工件安装在工作台面的中间位置用一对压板压紧，采用画线法对工件进行校正，校正后，再用压板压紧工件，如图 4-44 所示。需要注意的是，必须使工件坯料的底面准确地与工作台面贴合紧密，保证其底面与工作台面在同一高度上，以便于确定编程高度。

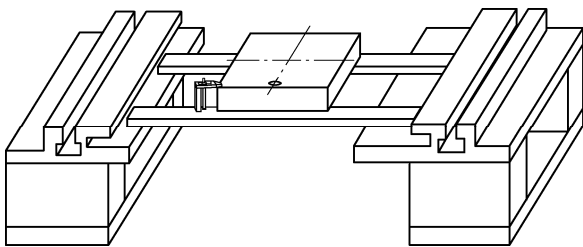


图 4-44 工件装夹示意图

2. 安装电极丝

照前面介绍的方法安装电极丝，电极丝应从工件坯料的穿丝孔进行安装，检查电极丝是否在导轮槽中，与导电块接触是否良好，松紧度（电极丝张力）是否合适。应该注意的是，在安装电极丝前要先校正电极丝的垂直度。安装好电极丝后根据经验，调整好上导轮与工件坯料上表面间的距离，此距离不可太大，避免引起电极丝的抖动；也不可太小，太小则易引起上丝架与装夹零件之间的干涉，也易引起工作液喷射时的飞溅现象。

3. 加工程序的编制

由于本工件结构简单，在这里，我们使用手工编程来编制加工程序。确定加工起始点为工件中间向下 20mm 的位置，图 4-45 为加工示意图。加工程序如下：

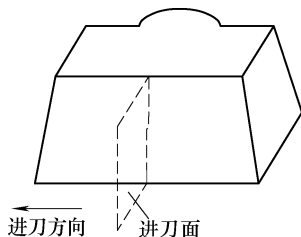


图 4-45 工件加工示意图

G90G92X0 Y0	(起点坐标设置)
H001=100	(上导轮距离工作台高度)
H002=40	(工件高度)
H003=60	(下导轮距离工作台高度)
G41 D120	(电极丝左补偿, 补偿量为 120 μm)
G52A2.5	(锥度向右, 2.5°)
G01X0Y20	(进刀线)
G01X-15Y20	
G01X-15Y35	
G01X-7.5Y35	
G02X7.5Y35I7.5J0	
G01X15Y35	
G01X15Y20	
M00	(机床暂停)
G01X0Y20	
G40	(取消补偿)
G50	(取消锥度)
G01X2.Y20.	(退刀线)
M02	(程序结束)

注意, 程序中的 H001 数值, 在加工之前必须改成调整后的数据。

4. 程序校验

在机床操作面板界面中, 调入加工程序, 应用机床控制系统中的“加工预演”或者“校验画图”等功能对所调用的加工程序进行检查, 如有必要, 在不安装电极丝、不开脉冲电源、不打开储丝筒的动作和不打开工作液泵的条件下, 进行“模拟运行”, 以检查工件的安装位置是否合适, 加工是否超过机床的极限。

4.4.4 带锥度零件线切割加工

打开高频脉冲电源启动开关, 将断丝保护等置于开启状态。先打开运丝开关, 再打开工作液泵, 检查正常无误后, 启动运行程序, 加工开始。当加工最后一个直线段之前, 根据加工程序的指令, 机床将

暂时停下。此时，可以采用磁铁或者在切缝中夹入金属薄片，以免工件落下时砸断电极丝。此项工作完成后，再按键盘上的回车键，机床开始完成后续的切割加工。

4.5 超程零件的数控高速走丝电火花线切割加工

4.5.1 超程零件的线切割加工

在实际生产过程中，会经常遇到零件的加工尺寸超过现有机床的有效工作行程，我们称此种情况为超程零件的加工。对于超程零件的加工，可以采用制作专用工装、多次装夹等方法进行加工，不同的加工方式有不同的解决办法。

图 4-46 为一专用拨叉，拨叉的总长为 425mm，总宽为 210mm，按照工艺要求，该工件需在线切割机床上加工。现企业有快走丝线切割机床型号为 DK7732，该机床的工作行程为 400mm×320mm。显然，如果拨叉要在该机床上加工，工件的加工程度超出机床的横向行程，属于超程零件加工，经过分析，这里采用多次装夹的加工方式对该拨叉进行加工。

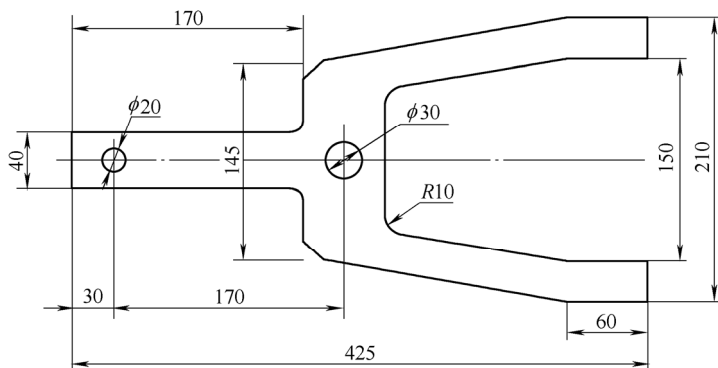


图 4-46 拨叉零件图

4.5.2 零件的线切割加工工艺分析

从图 4-46 可以看出，该拨叉外形较简单，总长为 425mm，总宽为

210mm, $\phi 20$ mm 和 $\phi 30$ mm 两孔之间距离为关键尺寸, 必须一次装夹来完成; 拨叉内尺寸 150mm 为关键尺寸, 并且对中心线有对称度要求, 加工中必须保证这三个部分的尺寸精度。

由于横向加工尺寸超程, 加工时通过横移工件坯料来补充横向行程, 应该保证横移过程中的横向定位精度, 为此, 在准备坯料的时候, 加工出一个定位基准面 D 。切割分为两次装夹来完成:

1) 加工两个孔和图 4-47 中实线部分, 注意, A 为加工外形的起始点, 在本部分编程的时候, 结束线要超出实体轮廓线 5mm。

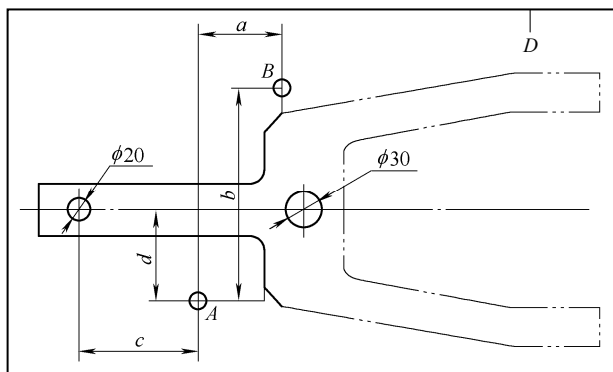


图 4-47 超程拨叉加工示意图

2) 加工外形 (双点画线部分), B 为加工起始点, 结束线也要超出实体轮廓线 5mm。

4.5.3 拨叉零件的线切割加工

1. 工件准备

根据以上分析, 按照工艺要求, 首先加工出基准面 D , 并进行去毛刺处理。然后在坯料上加工出两个穿丝孔 A 和 B , 加工 $\phi 20$ mm 和 $\phi 30$ mm 两孔的工艺孔, 注意保证 a 、 b 、 c 、 d 几个尺寸的精度。穿丝孔 A 和 B 应该进行去毛刺和研磨处理, 以使加工时能保证需要的精度要求。

2. 编程

按照工艺分析, 拨叉的外形加工分为两个部分, 需要分别编程。

编程时，两段程序分别以 A 和 B 两点为起始点，需注意程序的坐标系的设定。另外，注意两程序段结束线要超过零件实体轮廓尺寸 5mm。本零件外形比较简单，可以采用手工编程的方法进行编程，这里省略。

3. 工件的装夹和加工

1) 将工件坯料安装在工作台上，用千分表找正 D 基准面，将电极丝穿到 $\phi 30\text{mm}$ 孔中，用机床自动找中心功能定位，加工出 $\phi 30\text{mm}$ 孔；然后将电极丝抽出，将工作台向左移动 170mm，进行穿丝，加工 $\phi 20\text{mm}$ 孔。注意，在移动的过程中不要使用手动移动，采用机床快速定位的方法，以保证移动精度。 $\phi 20\text{mm}$ 孔加工完成后，将电极丝抽出，将机床快速定位到穿丝孔 A ，保证 c 和 d 尺寸，进行穿丝，加工左边实线外形部分。加工后将电极丝抽出。

2) 将工件坯料松开，横向向左移动坯料约 100mm（根据要加工的尺寸超出量自行掌握），轻轻夹紧坯料，用千分表进行找正，夹紧工件坯料，再次进行找正，以保证加工精度。

3) 将机床工作台移动到穿丝孔 B 的位置上穿丝，用机床自动找中心功能进行工件定位。加工工件外形双点画线的部分。

4.6 成形车刀的数控高速走丝电火花线切割加工

4.6.1 成形车刀线切割加工简介

成形车刀是批量加工中小型回转体成形表面的专用刀具，具有加工精度稳定、生产效率高、刀具寿命长、使用方便等特点，在自动机床和自动生产线中得到了广泛的应用。但是成形车刀的设计和制造要比普通车刀复杂得多。一般的，成形车刀的刃形比较复杂，外形尺寸较小，精度要求又较高，目前，成形车刀的制造主要采用光学曲线磨床进行磨削加工。而应用这种方法设备投资大、操作复杂、劳动强度大、加工效率低、并且砂轮形状修正很困难，无法满足较高的精度要求，不能加工窄缝等。应用线切割机床对成型车刀进行

加工可以克服光学曲线磨床加工的缺点,并且可以直接加工出刀具的后角,是一种有效的加工方法。

图 4-48 为某批量加工的成形车刀的局部尺寸图。该成形车刀的制造要求精度较高,光学曲线磨床或者手工磨制很困难,应用线切割加工是较好的选择,而且可以应用线切割锥度切割将车刀的后角直接加工出来。

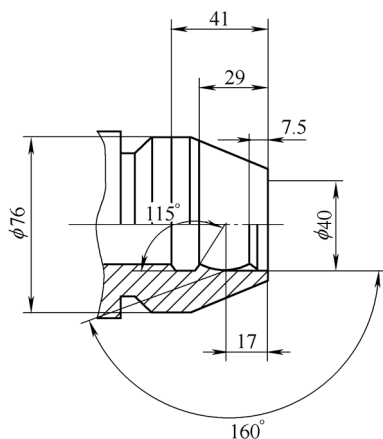


图 4-48 批量工件局部示意图

4.6.2 成形车刀线切割加工工艺分析

从图 4-48 可以分析出,该零件细节要求较高,包括角度要求、尺寸要求以及圆角要求等。另外,根据设计要求,该刀具的后角要求为 3.5° ,在用线切割加工该刀具时,除了准确地按照设计尺寸要求进行编程之外,还要求在切割加工时增加和补偿锥度切割。所以需要按照选择的电极丝直径,确定补偿量;按照规划的切割路径,确定锥度偏移方向。

4.6.3 成形车刀线切割加工

1. 编程

按照成形车刀的设计要求,采用自动编程软件进行程序的编制。根据机床参数,在程序后置处理的时候,将补偿量、锥度偏移功能加上。

2. 工件的装夹和加工

根据编制的加工程序,将坯料安装在工作台上,调整好上导轮的位置,避免加工干涉,并测量好上导轮到工作台的距离,将测量好的尺寸填写到程序中。

将机床移动到设计的加工起始点，找正工件，设置好加工参数，进行加工。图 4-49 为加工后的成形车刀切削部分局部示意图，虚线为后角锥度投影线。

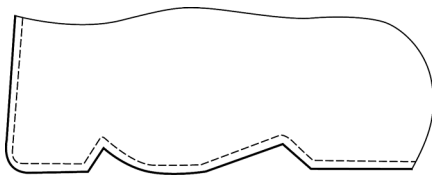


图 4-49 成形车刀切削部分局部示意图

第5章

数控高速走丝电火花线切割加工技能提高

5.1 数控高速走丝电火花线切割加工断丝原因及

解决办法

在高速走丝电火花线切割加工过程中，断丝是最为常见的一种状况。实验表明，断丝与电参数的选择、脉冲电源的质量、机床运丝机构的精度、电极丝的质量、切削液的选择以及加工操作的合理性等因素有直接的关系。断丝情况的发生，不仅会影响加工效率，而且会在工件上产生断丝痕迹，影响加工质量。

5.1.1 与电参数选择及脉冲电源相关的断丝

电参数选择不当是引起断丝的一个重要原因。一般来说，断丝的几率随着放电能量的增加而加大。这是因为加工中的脉冲能量靠电极丝来传递，如果电极丝载流量太大时，本身的电阻发热会使它固有的抗拉强度降低很多，所以很容易造成断丝。实验表明，钼丝载流量达到 $150\text{A}/\text{mm}^2$ 时，其抗拉强度将被降低到原有强度的 $1/3\sim 1/4$ ，这个值被认为是钼丝载流工作切割的极限，以此算来， $\phi 0.12\text{mm}$ 电流极限为 1.74A ， $\phi 0.15\text{mm}$ 电流极限为 2.65A ， $\phi 0.18\text{mm}$ 电流极限为 3.82A 。如再加大电流量，钼丝将被烧毁。

实际上，脉冲能量的大小取决于电参数的设置，其中包括脉冲宽度、脉冲间隔、峰值电流等。单个脉冲放电的能量取决于脉冲宽度所占的比率，脉冲宽度越宽，加工能量越大，切割效率越高。脉冲间隙增大，加工稳定但切割速度下降。减小脉冲间隙，可提高切割速度，但对排屑不利。需要注意的是，峰值电流和空载电压都不宜过高，否则容易产生集中放电和“拉弧”等现象。由于电弧放电是造成电极丝腐蚀损坏的主要因素，只要电弧放电集中于电极丝的某一段，就会引起断丝，所以选用电参数的脉冲宽度要合适。脉冲宽度不能太小，否

则容易产生短路，也不利于冷却和电蚀物的排出。当切割厚度较大的工件时，应尽量选用大脉宽、大电流，这样会使放电间隙增大，从而增强排屑效果，提高切割的稳定性，减少断丝现象的发生。

一般来说，脉冲电源的故障会直接造成加工中发生断丝。如加工电流很大、火花放电异常时会导致断丝。这种故障多数是脉冲电源的输出已变为直流输出所致，解决的办法是从脉冲电源的输出极向多谐振荡器逐级检查波形，更换损坏的元件，使输出为合乎要求的脉冲波形；如在加工过程中火花放电突然变为蓝色的弧光放电，电流超过限值，将电极丝烧断，用示波器测输入端和振荡部分都无波形输出，可判断故障出在振荡部分，检修后高频电源恢复正常；如电流在限值以上，用示波器测量高频电源输出端，其波形幅值减小，并有负波，而脉冲宽度符合要求，测量推动级波形其频率、脉冲宽度及幅值均符合要求，判断故障在功率放大部分，检查功率管，测得其中一只功率管的极间内部击穿，使末级电流直接加到电极丝与工件之间，引起电弧烧断电极丝，更换该管，恢复正常。

5.1.2 与运丝机构相关的断丝

如果机床运丝机构的精度变差，会增加电极丝的抖动，破坏火花放电的正常间隙，易造成大电流集中放电，从而增加断丝的概率。这种现象通常发生在机床使用时间较长、加工工件较厚、运丝机构不易清理的情况下。

线切割机床的运丝机构主要是由储丝筒、线架和导轮组成。当运丝机构的精度下降时，会引起储丝筒的径向跳动和轴向窜动。储丝筒的径向跳动会使电极丝的张力减小，造成丝松，严重时会使电极丝从导轮槽中脱出拉断。储丝筒的轴向窜动会使排丝不均匀，产生叠丝等现象。储丝筒的轴和轴承等零件常因磨损而产生间隙，也容易引起电极丝抖动而断丝。储丝筒换向时，如果没有切断高频电源，会导致电极丝在短时间内温度过高而烧断。

在加工过程中，要保持储丝筒、导轮等零部件转动灵活，否则在往返运动时会引起运丝机构振动而断丝。储丝筒后端的限位挡块应调整好，避免因储丝筒冲出限位行程而断丝。

挡丝装置中挡块与快速运动的钼丝接触、摩擦，易产生沟槽并造

成夹丝拉断，因此也应及时更换。

导轮轴承的磨损将直接影响电极丝的运动精度。另外，当导轮的V形槽、导电块磨损后产生的沟槽，也会使电极丝的摩擦力过大，产生夹丝等现象，易将电极丝拉断。因此在机床使用中，应定期检查运丝机构的精度，及时更换易磨损件。

5.1.3 与电极丝本身相关的断丝

电极丝的选择包括电极丝材料以及电极丝直径的选择，电火花线切割加工所用的电极丝材料应具有良好的导电性、抗拉强度大、耐电腐蚀性能好等要求。电极丝不得有弯折和打结现象。电极丝材料通常有钼丝、钨丝、钨钼丝、黄铜丝、铜钨丝等，其中以钼丝和黄铜丝用得最多。采用钨丝加工，可获得较高的加工速度，但放电后电极丝变脆，易断丝，应用较少。所以一般在走丝速度较慢、小的电参数时使用。钼丝虽然熔点和抗拉强度相对较低，但韧性好，在频繁的急冷急热的变化中，丝质不易变脆而断丝，因此尽管有些性能不如钨丝好，仍是目前使用最为广泛的一种电极丝。钨钼丝加工效果比前两种都好，故使用寿命和加工速度都比钼丝高，但价格昂贵。铜丝的加工速度高，加工过程稳定，但抗拉强度差，损耗也大，一般在低速走丝线切割加工中使用较多。所以电极丝材料的选择应根据加工情况而定，否则会引起断丝等现象。

对于高速走丝线切割加工，电极丝直径一般选择 $\phi 0.06 \sim \phi 0.25\text{mm}$ ，常用的为 $\phi 0.12 \sim \phi 0.18\text{mm}$ 。需获得精细的形状和很小的圆角半径时，则可选择 $\phi 0.04\text{mm}$ 的电极丝。电极丝选择得当，会大大减少断丝的发生，还可以提高线切割加工效率。另外，电极丝在加工中反复使用，损耗使它由粗变细，这时在加工中也容易发生断丝。一般来说，在测量丝径比新丝减少 $0.03 \sim 0.05\text{mm}$ 时，应及时更换新丝。

通常，新电极丝表面有一层黑色氧化物，如果加工时切割速度快，则工件表面呈粗黑色；如果这时电源能量太大，则易断丝。因此对于新电极丝，加工电流需适当减小，当电极丝表面的氧化层蚀除掉，电极丝的表面基本发白后，可恢复使用正常电参数。当机床较长时间未用，待使用时，发现钼丝已断。这是由于温差使材料热胀冷缩，再加上钼丝自身的张力作用而绷断。若机床长时间不使用，应手动将储丝

筒摇至电极丝的一个末端并松开电极丝。

电极丝在切割过程中，其张力大小要适当。如果电极丝安装太松，则抖动厉害，不仅会造成断丝，而且由于电极丝的抖动直接影响工件的加工精度。但电极丝也不能安装得太紧，如果安装太紧，则电极丝内应力增大，也会造成断丝。因此电极丝在切割过程中，其松紧程度要适当，对于新安装的电极丝，应先紧丝再加工。紧丝时，用力不要太大。电极丝在加工一段时间后，由于自身的拉伸而变松。当伸长量较大时，会加剧电极丝振动或出现电极丝在储丝筒上重叠等状况，使走丝不稳而引起断丝。工作中，应经常检查电极丝的松紧程度，如果存在松弛现象，要及时拉紧。

电极丝要按规定的走向绕在储丝筒上，同时固定两端。绕丝时，一般储丝筒两端各留 10mm，中间绕满不重叠，宽度不少于储丝筒长度的一半，以免电动机换向频繁而使机件加速损坏，且影响工件的表面质量，也防止电极丝频繁参与切割而断丝。数控高速走丝电火花线切割加工机床一般设计有恒张力机构，可以不需要人工进行紧丝，但应根据所选电极丝的直径选择正确的配重块重量，以保证加工中电极丝合适的张力。

电极丝的走丝速度的设置要适中，若走丝速度过高，电极丝抖动严重，则会破坏加工的稳定性，易造成断丝；走丝速度也不能过低，否则加工时产生的电蚀产物不易排出，导致断丝。

5.1.4 与工件相关的断丝

未经锻压、淬火、回火处理的材料，钢材中所含碳化物颗粒大，并且聚集成团，而分布又不均匀，存在较大的内应力。如果工件的内应力没有得到消除，在切割时，有的工件会开裂，把电极丝碰断，有的会使间隙变形，切缝变窄而卡断电极丝。为减少因材料引起的断丝，在电火花线切割加工前最好采用低温回火消除工件内应力。应选择锻造性能好、淬透性好、热处理变形小的材料，钢材中所含碳化物分布均匀，从而使加工稳定性增强。例如以电火花线切割加工为主要工艺的冷冲模具，尽量选用 CrWMn、Cr12Mo、GCr15 等合金工具钢，并要正确选择热加工方法和严格执行热处理规范。

锻压或熔炼的材料，工件中可能含有不导电的杂质。这些杂质不

具有良好的导电性，导致加工中不断发生短路或断路，最终拉断电极丝。解决这种情况的办法是，可编制一段每进 $0.05\sim 0.1\text{mm}$ 便后退 $0.5\sim 1\text{mm}$ 的程序，在加工中反复使用。并加大切削液流量，一般可冲刷掉杂质，恢复正常切割。

切割较厚的铝材料时，导电块磨损较大，会使电极丝的摩擦力过大，易将电极丝拉断，应注意及时更换导电块。

加工薄工件（ 3mm 以下）时，如果上、下导丝轮之间的距离过大，电极丝易抖动，较容易断丝。解决的办法是适当调节上下导轮之间的距离，也可在上下导轮之间采用辅料加厚的方法，加大厚度以增加阻尼，也可防止电极丝抖动。

加工厚工件或者加工的工件有一定重量时，在加工快要结束时，可用磁铁吸住将要下落的工件，防止砸断电极丝。也可以使用胶粘接工件和坯料，或者其他的工艺方法，避免工件直接下落，砸断电极丝或砸伤工件和机床。

工件在使用平面磨床磨削后应退磁。若不退磁，电火花线切割加工中产生的电腐蚀颗粒易吸附在割缝中。尤其是工件较厚时，如果不退磁，易造成切割进给不均匀，造成短路、断丝。

5.1.5 与工作液相关的断丝

工作液在使用较长时间后，会变得脏污，其综合性能变差是引起断丝的主要原因之一。根据加工经验，对于新换的工作液，如果每天工作 8h ，使用两天后效果最好，继续使用 $8\sim 10$ 天则易断丝，须更换新的工作液。

对要求切割速度高或大厚度工件，其工作液的配比浓度可适当小一些，体积浓度约为 $5\%\sim 8\%$ ，这样加工较稳定，不易断丝。用纯净水配置的工作液比自来水配置的工作液在加工中更稳定，不易断丝。

5.1.6 与操作相关的断丝

在数控电火花线切割加工上丝、穿丝操作中，要避免电极丝局部打折。打折位置的抗拉强度和承受热能负荷的能力下降，易发生断丝。为了避免电极丝打折，在上丝、穿丝操作时应仔细认真、规范操作。

在使用自动找中心功能时，如果工艺孔壁有油污、毛刺或某些不导电

的物质，当电极丝移动到孔壁时未火花放电，使数控系统检测不到信号，不能自动换向，导致拉断电极丝。因此加工前一定要将工艺孔清理干净。

某些情况下需要手动切割（手动控制进给），此时应观察电流表，调整控制旋钮，使电流表的指针尽量平稳，使进给速度与电蚀除速度相适应。电流表指针变化的频率不得超过正常切割时的变化速率，否则极易断丝。

5.2 数控高速走丝电火花线切割加工技巧

5.2.1 电火花线切割加工的变形及其预防

在线切割加工过程中，由于工件材料的热处理状态、应力状态、装夹方式、加工路径的安排、工件的结构形状等原因，使得加工后的工件产生尺寸和形状误差，严重的会使工件产生断裂。

因为材料本身会有应力，切割肯定是打破了原有应力平衡变形后达成了新的平衡，只是应力有大有小，变形也会大小不一，这如同一根竹片中间劈开，两半都弯，大半弯得少，小半弯得多。线切割加工是同一道理，只是变形小到最终的精度允许范围以内，加工也就完成了。

应力是材料内固有的，随强度和硬度的提高而加大的，暂时达成平衡的一种弹性力。所以越是淬硬的材料变形越大。这类材料要求淬火前反复锻造，均匀组织。并把大量的加工余量和大块的废料在淬火前就去掉，即在淬火时已把暂时维持平衡的那部分应力基本去掉了。淬火后所切掉的是达成应力平衡的那一小部分。这样因线切割造成的变形就会小得多。如果淬火前没做处理也没去除余量，也就是一个具有强大且完整应力的实心料，那就只好靠线切割自己消除应力，去除余量。首先是粗切，计算好留量，设置好夹头，把大部分的余量先去掉。得到一个形状已很接近最终工件、已不具有很大变形能力的新的毛坯，如果再加以高低温的时效处理，材料变形就可算是彻底解决了。

上述主要是材料变形，因特殊细长形状的零件也会变形，如钟表秒针冲模的冲头，弹簧卡圈冲模的凹模和冲头。这类因形状而容易变形的零件，就只有把毛坯料做好预处理，淬火前加工成余量极小的半成品，在淬火工序中工件得到充分的形变，切割时选择好切割路线和

夹头的位置，这样，得到合格的零件就有把握了。

材料变形还会有一个突出的现象，就是切割入口处不能闭合，这大多是因为压板压的位置不对，没把出入口处压牢，在切割过程中，入口处已随着形变发生了位移，尽管坐标回到了原位，但入口早已偏了，造成入口处台阶错口，费了很长时间，得到的是一个废品。这就靠对材料变形有充分认识，前期采取相应措施，采取相应方法切割，所谓切割经验也在于此。

一般来说，当一个具有内应力的工件从端面切割时，在工件材料上就会产生与之相应的应变，这就影响了获得理想的精度。为了防止这种情况的发生，在工件上用穿孔机打一个孔（起始孔），直径约为1~3mm，从这一点开始加即可，如图5-1所示。

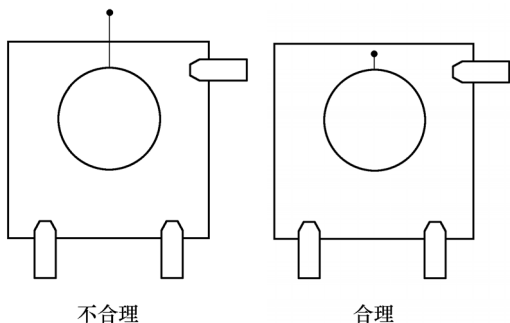


图 5-1 加工起始点的合理设置

5.2.2 提高电火花线切割加工模具的使用寿命

高速走丝电火花线切割过程是加工面承受电离、热熔和冷却的过程，所以表面会发生相应的组织变化。通常加工表面产生一定厚度的变质层，对模具表面造成某些负面影响。如模具表面的硬度下降，产生显微裂纹等弊病，致使电火花线切割加工的模具易发生早期磨损，严重影响模具的质量和使用寿命。

为了提高数控高速走丝电火花线切割加工模具的使用寿命，应对模具的各个环节都充分关注和重视。

1. 优化加工的电参数

变质层的厚度随脉冲能量的增大而变厚。可采用较大峰值电流、窄的脉冲宽度、大的脉冲间隙，避免工件表面在加工中的过热。另外，脉冲能量的增大对显微裂纹的影响极其明显，能量越大，显微裂纹越宽、越深。脉冲能量很小时，例如采用精加工电参数，表面粗糙度值 Ra 小于 $1.25\mu\text{m}$ ，一般不易出现显微裂纹。

2. 重视工件的热处理工艺

电火花线切割加工前的热处理, 要避免材料过热、渗碳、脱碳等现象。

3. 及时更换工作液

工作液中的电蚀产物常会导致集中放电, 形成显微裂纹, 要及时更换工作液。

4. 采用多次切割法

对于那些大型、厚壁、形状复杂、厚度不均匀的模具零件, 宜采用多次切割法, 这是减少和去除表面缺陷的一种非常有效的方法。

5. 采取综合措施

对于有些要求高的模具, 可采用多种有效措施。如在电火花线切割加工后把表面变质层抛除、研磨掉, 可提高零件的表面质量, 研磨凸、凹模端面有利于提高冲模寿命, 特别是形状复杂而精度要求高的中小型冲模。线切割表面经研磨后, 高硬层已基本去掉, 再进行低温时效处理(亦称低温回火处理), 这样可消除淬火层内部拉应力, 而硬度降低甚微, 大大提高了韧性, 降低了脆性, 冲模寿命可提高 2 倍以上。这一方法简单易行, 效果十分明显, 易于推广。

5.2.3 获得好的表面质量

线切割表面粗糙度 R_z 是由两个要素构成的, 一是单次放电蚀除凹坑的大小, R_z 通常是 $0.05 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 之间, 这对切割表面粗糙度来说是次要的。二是因换向造成的凸凹条纹, R_z 通常是 $1 \sim 50 \mu\text{m}$ 之间, 大到 0.1mm 以上也有可能, 这是构成线切割表面粗糙度的最重要因素。同时它伴随着换向的黑白条纹, 给人视觉影响是很强烈的。

因单次放电造成凹坑大小的控制是较容易的, 只需降低单个脉冲的能量。只是单个脉冲能量小到一定程度时会造成较厚的工件切不动, 甚至是只短路不放电的无火花状态, 这类似于电火花加工中的精细参数, 造成效率极低, 排屑能力极差的不稳定加工。何况因放电凹坑造成的 R_z 与换向条纹造成的 R_z 不在同一个数量级范围内, 所以控制伴随换向条纹的 R_z 是最重要的。导轮、轴承的精度, 上下行时张力的恒

定性等原因,造成电极丝上下行的运动轨迹不一致,这种机械因素是造成换向凸凹的主要原因。

采取如下措施,会在一定程度上改善表面质量:

- 1) 适当降低脉宽和峰值电流,即减小蚀坑的大小。
- 2) 导轮和轴承保持良好的精度和运转的平稳性,减少丝抖、丝跳,使电极丝运动轨迹保持为一条线,变位量减到最小。
- 3) 维持适当的电极丝张力,且调好导轮和导电块,使丝上行下行时,工作区的张力保持不变。
- 4) 电极丝不宜过紧,工作液不宜过新,新工作液对切割效率肯定有益,但切割表面粗糙度值并不是新工作液时最低。
- 5) 过薄的工件上下两面各添加一块夹板,使换向条纹在夹板范围内被缓冲。
- 6) XY 轴运动稳定、准确、随动保真性好、无阻滞爬行。
- 7) 保持稳定偏松的变频跟踪。
- 8) 适当余量的再次切割或多次切割,在切削量很小的情况下把切割面扫一遍,对尺寸精度和表面质量都会产生有益的作用,连扫三次,会把换向条纹基本去掉,只要机床重复定位精度高,适当余量的递进多次加工,会使切割面的表面质量提高一到两个数量级,效果与慢走丝相似,且费时并不太多,这是快走丝切割机的长项之一。
- 9) 较厚的工件可适当使用短丝,一次换向进给量小于半个丝径,也可掩盖换向条纹。

5.2.4 铝材料的高速线切割

数控高速走丝电火花线切割加工铝材料时,由于会产生大量氧化铝或表面粘有氧化铝的颗粒。这些颗粒表面极硬并具有磨粒性质,容易黏附在电极丝上,导致电极丝在高速往复运动时,导电块与电极丝接触的部位被磨出深沟来,使导电块磨损特别严重,从而影响加工零件的表面质量及加工的稳定性和精度。同时电蚀物颗粒较大,充塞在沟槽处会使加工间隙容易堵塞,电极丝也就容易被卡断。另外,氧化铝颗粒使电极丝与导电块在运动时形成火花放电,使导电块磨损得更快。

针对上面的问题有三种措施。

1. 脉冲电参数的合理搭配

数控电火花快走丝线切割加工时，较宽的脉冲宽度容易产生颗粒比较大的氧化铝或表面粘有氧化铝颗粒，脉冲间隔小也会产生较大的颗粒。而电极丝易黏附这些较大的加工颗粒，给加工带来很大的负面影响。通过提高脉冲电流的空载电压幅值，降低脉冲宽度，加大脉冲间隙，可减少颗粒黏附在电极丝上的可能性。

2. 对工作液的要求

目前采用的水溶液作为数控快走丝电火花线切割加工的工作液，常规配置是 1:10，加工铝材料时宜采用 3:8 的比例。为了保持工作液的清洁，使其正常有效地工作，并延长工作液的使用期，可使用厚的海绵过滤避免残屑流入水箱，保持工作液的畅通，减少电极丝上加工屑的黏附。对海绵垫要进行定期的清洗或更换。工作液的上下喷水量应均匀，以便及时把蚀除物排除。

3. 操作技巧

可在上丝架后端槽中加一块海绵，高速往返的电极丝经海绵摩擦，可去掉一部分黏附的氧化物，减少氧化物对导电块的磨损，同时减少电极丝抖动，确保脉冲电源效率的正常发挥。还要注意勤更换导电块的工作位置。

5.2.5 大厚度、薄壁工件的切割

1. 大厚度工件的切割

大厚度工件的切割是比较困难的，不是丝架能升多高，就能切多厚。受放电加工蚀除条件的制约，厚到一定程度，加工就很不稳定，直至有电流无放电的短路发生。伴随着拉弧烧伤很快会断丝，在很不稳定的加工中，切割面也会形成条条沟槽，表面质量被严重破坏。切缝里充塞着极黏稠的蚀除物，甚至是近乎于粉状的炭黑及蚀物微粒。

大厚度通常是指 200mm 以上的钢，至于电导率更高，导热系数更大或耐高温的其他材料还到不了 200mm，如纯铜，硬质合金、纯钨、纯钼等，70mm 厚就已非常困难了。

大厚度切割的主要矛盾有：

1) 没有足够工作液的进入和交换，间隙内不能清除蚀物，不能恢复绝缘，也就无法形成放电。

2) 间隙内的充塞物以电阻的形式分流了脉冲源的能量,使得电极丝与工件间失去了足够的击穿电压和单个脉冲能量。

3) 钼丝自身的载流量所限,不可能有更大的脉冲能量传递到间隙中去。

4) 切缝中间部位排出蚀除物的路程太长,衰减了的火花放电已形不成足够的爆炸力,排污力。

5) 材料原因:厚度大,存在杂质和内应力的可能性大为增加,切缝的局部异常和形变概率也就大了。失去了切割冲击力,却增大了被短路的可能性。

解决大厚度切割的主要矛盾,可采取如下措施:

1) 加大单个脉冲的能量(单个脉冲的电压、电流、脉宽,这三者的乘积就是单个脉冲的能量),加大脉冲间隔,目的是钼丝载流量的平均值不增大的前提下,形成火花放电的能力,火花的爆炸力被增强。

2) 选用介电系数更高,恢复绝缘能力更强,流动性和排污能力更强的切削液。

3) 大幅度提高脉冲电压,使放电间隙加大,工作液进入和排出也就比较容易了。

4) 事先作好被切材料的预处理,例如以反复锻造的办法均匀材料的组织,清除杂质;以退火和实效处理的办法清除材料的内应力;以去除大的余量的办法使材料应力得到充分释放。

5) 提高丝速,更平稳地运丝,使携液和抗拒短路的能力增强。

6) 人为编制折线进给或自动进二退一的进给方式,使间隙被有效扩大。

2. 薄壁工件的切割

所谓薄壁工件,一般是指厚度在 5mm 以下的工件,如样板及机械零配件等。保证这类工件的加工精度是有一定困难的。主要原因是:丝架上下导丝轮的最小跨距是固定的,一般约 70mm。当切割薄工件时,在高速走丝的情况下,电极丝失去了切削液的阻尼作用,又加上火花放电的影响,因而电极丝很容易产生抖动。另外,切割薄工件的速度快,而步进电动机的速度有一定的技术范围,速度太快时(指超过它承受的最高脉冲频率)会产生失步和丢数现象,这些都会影响工件的加工精度。

为克服上述现象，保证薄工件的加工质量，建议采取下列措施：

- 1) 把加工电压调至 50V 左右。
- 2) 调整脉宽，使之小于 $10\mu\text{s}$ 。
- 3) 加工电流控制在 $0.2\sim 0.3\text{A}$ 范围内。

4) 减小电极丝抖动。如果储丝筒是直流电动机拖动的，则改变电枢电压，降低转速；如果是交流电动机拖动的，则在 A、B、C 相的任意两相中串接 $10\sim 25\Omega$ 75W 绕线电阻，降低相电压，使其换向过渡时间稍微拉长，实现软换向，减少抖动。

5) 在上下导轮之间加宝石夹持器。

6) 如果装置夹持器有困难，也可采用辅料加厚的方法，加大厚度，使阻尼增加，从而可防止电极丝抖动。使用这种方法比较简便，而且加工电参数也不需要调整。

另外，薄片类金属零件，可多片叠装一次切割加工。因薄片易变形，应对叠片妥善装夹。常用的夹紧方式主要有：利用辅助工艺夹板、铆接固定、浸锡固定三种方式。

1) 利用辅助工艺夹板，是将工件坯料切成条料，再裁成一定尺寸的矩形板料，利用平板压紧。夹紧板的上下平面应经过平磨加工。该法夹紧方便，可充分利用材料，零件切割面与其上下平面垂直度较好，但增加了线切割的无功加工。

2) 铆接固定，是利用铆钉将工件坯件组合起来，这样不会出现无功加工，但由于坯料应预制铆钉孔，而增加了辅助工艺加工。

3) 浸锡固定，是将外形大致相等的材料四面浸锡，使诸件焊接组合在一起。该法装夹方便，适于纯铜、黄铜、银片等材料。缺点是不易保证切割面与上下面保持垂直，坯件不易保证在加工时处于平面状态。

为了避免和减少切割变形，对于切割外封闭图形的工件，要在材料边角处钻穿丝孔。

5.3 数控高速走丝电火花线切割加工锥度

5.3.1 锥度加工精度问题

首先应该肯定，从原理上讲，锥度是可以切准的。因为当输入导

轮半径，上下导轮中心距离，下导轮距下平面的距离，工件的高度和锥度角后，由程序中的那个相似形公式作数学模型，可以把工件上平面和下平面的尺寸很准确地换算成 XY 与 UV 的组合运动数值，以微米为当量的步距是可以满足极高的精度要求的。

但实际切割时，仍有许多直接影响精度的误差存在，如导轮半径、导轮中心距、下导轮到下平面的距离这类的数字，是很难求得一个很准确的数值的，它们的误差值与微米级精度相比大概要差百倍千倍。造成程序运行中的假数真算。

精度丢失的另一重要原因是切锥度时上、下导轮竖直方向是不在同一位置的，此时，给电极丝定位的已不是导轮 V 形槽的根部， V 形槽的 V 形面已干涉了丝的初始位置，这是一个含有极其不定因素的变量，这是一个幅度从几个微米到几毫米的变量，而这个量无法在任何运算中加以补偿。故而在大锥度的切割机上，采用了导轮与 UV 轴随动的结构，也有人称作连杆式结构，从而解决了导轮 V 形面干涉钼丝的问题。但因复杂的联动系统，不少于三处的活动关节，使导轮已承载在一个刚性较差，支点和力臂都较长的活动轴体的端头上。整体稳定性、刚性以及动作的滞后，都成了影响切割精度的重要因素。

尽管锥度切割还存在许多难以克服的问题，它仍是线切割的一个强大功能。锥度功能的使用有一个熟练的过程，针对性的工艺试验和输入参数对加工结果的影响估测是锥度切割的重要经验。试验和经验可以帮助切割出精度很高的锥度零件，第一件可能不够满意，但第二件或第三件完全有把握得到一个合格的产品。因为改变输入参数中的任何一个，比如上下导轮的中心距或是锥度角，它可以直接控制上平面的尺寸或下平面的尺寸。以第一件做参照，第二件做修正，第三件成功的可能性是很大的。这样的参照、修正和成功经过几次，就可以达到得心应手的程度。最终以我们现有的机床，锥度切割的控制能力，可以达到的精度通常在 0.05mm 左右，这对锥度零件的生产来说，适用性和满意度已经很高了。

5.3.2 控制方式

1. 利用丝架移动切割带锥度工件

利用丝架移动实现锥度加工的方法共有如图 5-2 所示的 3 种方法：

1) 上(或下)丝架单臂平动,即上(或下)丝架臂沿 X 、 Y 轴方向平移,此法锥度不宜过大,否则导轮易损,工件上有一定的加工圆角。

2) 上、下丝架臂同时绕一定中心移动。如果模具刃口放在中心“ O ”上,则加工圆角近似为电极丝半径。此法加工锥度也不宜太大。

3) 上、下丝架臂分别平动和摆动。上、下丝架臂分别沿导轮径向平动及轴向摆动。此法加工锥度不影响导轮磨损。

利用丝架移动切割带锥度工件的方法一次成形,精确方便,易于掌握,效率较高。

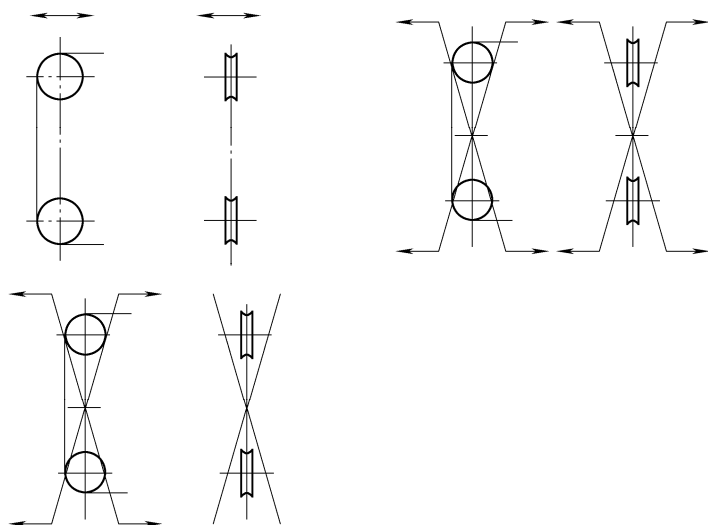


图 5-2 丝架移动方式

2. 平动法

利用一个平动装置,使靠近下导轮处的电极丝做相应的圆周运动,电极丝的运动轨迹形成一个锥面,经过放电把锥面内的工件材料蚀除,便切割出带斜度的工件。

该方法无功(不是直接形成工件锥面所做的功)放电蚀除量较大,加工速度较低。

3. 靠模补偿两次加工法

对于无切割锥度功能的机床,采用靠模补偿两次加工法,也可切割出带锥度的工件。将辅助工件靠模板材经薄片绝缘与凹模工件材料装夹在一起,进行第一次切割,得到直壁型孔。

直壁型孔切割结束后,切割辅助工件靠模与工件间的金属导线,利用偏移功能,使工作台运动轨迹相对第一次加工运动轨迹偏移 e 值,进行第二次切割。因辅助工件靠模不接电源,与电极丝接触而不放电,故电极丝弯折,把凹模切割成带锥度的工件。

辅助工件靠模一般为 $2\sim 3\text{mm}$ 厚的金属板。工件和金属板之间垫以厚为 $0.5\sim 0.8\text{mm}$ 的绝缘片。材料可用胶木板、有机玻璃板或塑料薄膜等。此法方便易行,但加工效率低,电极丝运动受金属板的摩擦而影响使用寿命。

5.3.3 切割带锥度工件的控制装置

切割带锥度工件的控制装置有单导轮移动控制装置和双导轮移动控制装置。

1. 单导轮移动控制装置

图 5-3 所示为同时可作 4 轴控制的锥度加工装置示意图。在此装置中,根据程序指令,也可实现普通的不带锥度的直线边加工。

应用此装置,可以手动方式设定锥度,或用程序指定锥度,使上部导向器自动驱动,即可完成任意锥度的加工。

此外,在锥度加工装置中,应保持上、下导向器跨距一定(上下电极丝支点间的距离),这对进行高精度的锥度加工更为重要。

在线架的上、下两个导轮中,下导轮的位置固定不动,只有上导轮能作 U 、 V

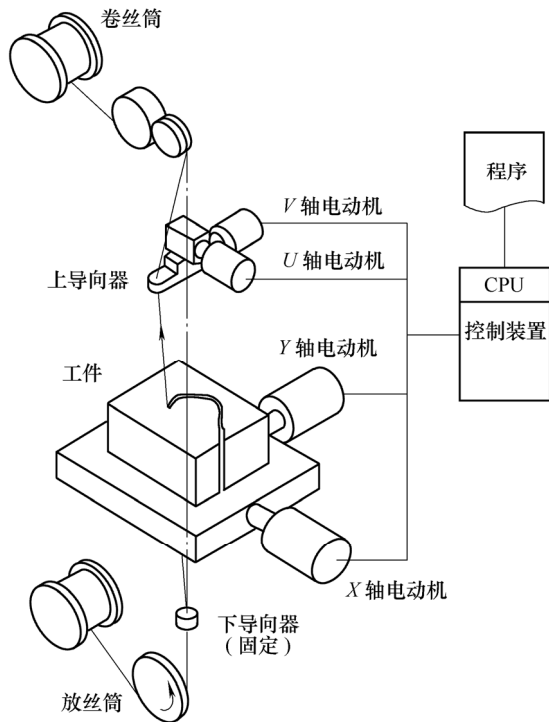


图 5-3 单导轮移动锥度加工装置

方向移动, 这样当上导轮在 U 、 V 水平面内作圆弧插补运动时, 上、下导轮之间的电极丝会得到一个倒圆锥形的轨迹, 如图 5-4 所示。

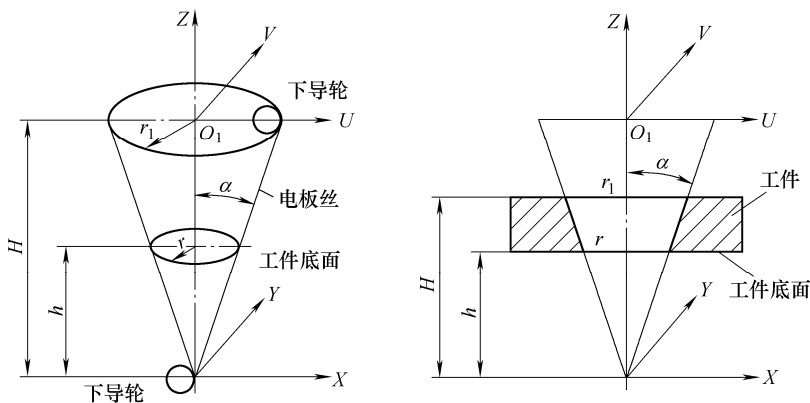


图 5-4 上导轮运动

图中锥度:

$$\alpha = \arctan \frac{r_1}{H}$$

如果按工件的基本尺寸编出程序, 若上导轮不按 UV 坐标插补移动, 电极丝保持在 O_1O_2 的垂直位置。切割出的工件图形与工件要求的基本尺寸相同。当切割锥度时, 上导轮按 UV 坐标插补移动, 切割半径为 r_1 的圆时, 电极丝在倾斜 α 角的不同位置上进行切割, 被切割工件的底面至下导轮中心平面的距离为 h , 由于电极倾斜了 α 角, 因此在工件底面上所切割的模具尺寸与要求的尺寸相比, 单边增大了 r 值。为了保证所切割出的凹模尺寸仍是基本尺寸, 必须用 r 这个值作为间隙补偿量加以修正, 工件图中各个转角处必须具有等于或大于 r 值的过渡圆角。

如果要求 $r \rightarrow 0$, 则必须使 $h \rightarrow 0$, 由于下导轮的结构等原因, 实际的 h 值不可能为零。

$$r = h \tan \alpha + r_{\text{丝}} + \delta r_{\text{丝}}$$

式中 $r_{\text{丝}}$ ——电极丝半径;

δ ——单边放电间隙。

在实际加工中, 应首先测量下导轮中心到工件底面的距离, 然后计算 r 值, 并用计算得到的 r 值作为间隙补偿量加以修正后进行切割加工。

单导轮移动方式的特点是结构简单，只要在线架的上导轮处设置一个 U 、 V 坐标的小十字拖板，就能完成带锥度的工件切割。

2. 双导轮移动控制装置

双导轮移动是指上导轮和下导轮都能作 UV 轴向运动，而且上、下导轮的运动方向相反，即当上导轮走 $+U$ 时下导轮走 $-U$ ，上导轮走 $+V$ 时下导轮走 $-V$ 。两个导轮运动方向相反的目的，主要是使倾斜的电极丝中心线与在垂直位置时的电极丝中心线有一个相交的支点 O ，如图 5-5 所示。此支点 O 与上、下导轮中心距离的确定，对机床的工艺性能以及控制系统等有决定性作用，具体方案有：

支点 O 设在上、下导轮跨距中心。如图 5-5 所示，上、下导轮之间由杠杆联动，此时杠杆比为 $1:1$ ，上导轮移动量 ΔU_1 与下导轮移动量 ΔU_2 相等，而移动方向相反。当上导轮主动走圆轨迹时，下导轮从动也走圆轨迹，此时电极丝的轨迹形成两个共顶点且大小相同的圆锥体，如图 5-6 所示。

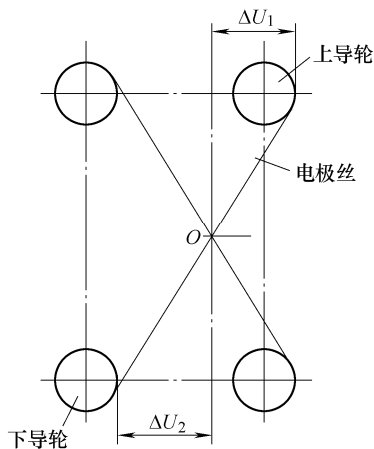


图 5-5 双导轮移动

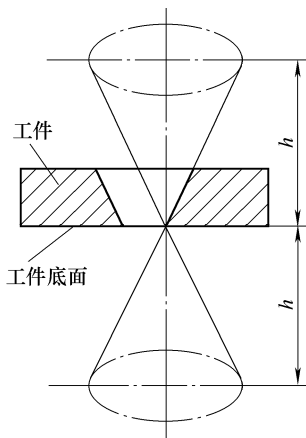


图 5-6 加工锥体

图中锥度：

$$\alpha = \arctan \frac{r_1}{h}$$

切割工件时，应将工件的刃口表面放置在支点 O 处，此时间隙补偿量 f 与工件最小圆角半径 R 为：

$$f = r_{\text{丝}} + \delta, R = r_{\text{丝}} + \delta$$

这种结构的主要缺点是，所切割工件的刃口面必须放在支点 O 处平面上，不能充分利用上、下丝架之间的空间来安放工件。

5.3.4 锥度加工中应输入的数据

在通常的锥度加工装置中，在由手动或程序所规定的锥度之外，还要把如图 5-7 所示的四个数值输入到控制装置或程序中。在计算上导向器（导轮）移动量和由于电极丝倾斜而计算工作台的修正移动量时，这四个数值是必须输入的。

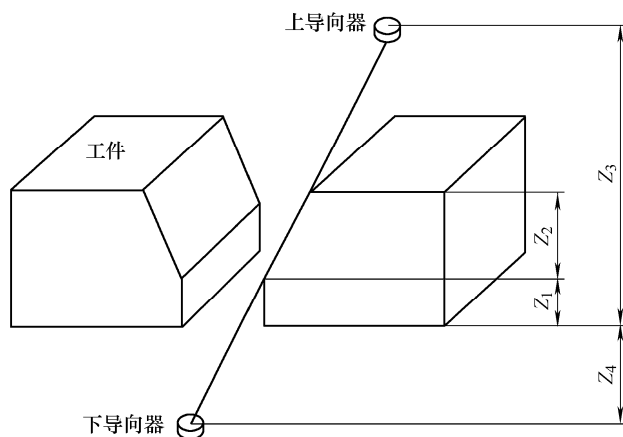


图 5-7 锥度加工中需要输入的数据

Z_1 : 程序基准面的位置 (μm);

Z_2 : 加工速度指定位置、图形校验指定位置 (μm);

Z_3 : 上导向器跨距 (μm);

Z_4 : 下导向器跨距 (μm)。

在上述四个输入数据中， Z_3 、 Z_4 对锥度加工精度有很大影响，有必要规定正确的值，但因直接测量困难，所以常采用如图 5-8 所示的间接测量法。

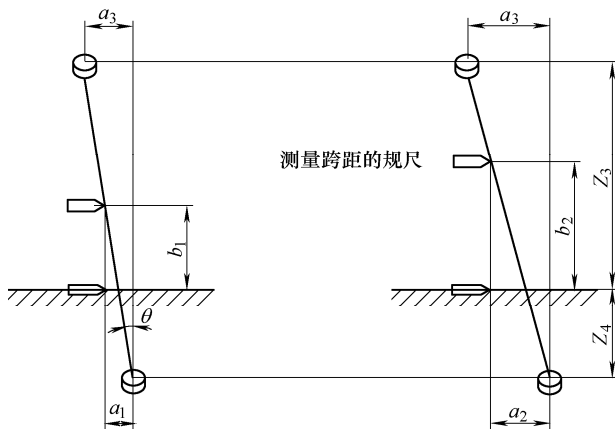


图 5-8 导向器跨距间接测量

如图 5-8 所示， Z_3 、 Z_4 分别用下式给出：

$$Z_4 = \frac{a_2 b_1 - a_1 b_2}{a_1 - a_2}$$

$$Z_3 = \frac{Z_4}{a_2} (a_3 - a_2) + \frac{a_3 b_2}{a_2}$$

式中 a_1 、 a_2 ——离电极丝垂直位置的偏移量，由测量 b_1 、 b_2 跨距的规尺测量；

a_3 ——上导向器的移动量；

b_1 、 b_2 ——测量跨距的规尺高度。

5.4 多次切割工艺要点

5.4.1 第一次切割

第一次切割的主要任务是高速稳定切割。各有关参数选取原则如下：

1. 脉冲参数

应选用高峰值电流大能量切割，采用分组脉冲和脉冲电源逐个增大方法，控制脉冲电流上升率，以获得更好的工艺效果。

2. 电极丝中心轨迹的补偿量 f

$$f = \delta + d/2 + \Delta + s$$

式中 f ——补偿量 (mm);

δ ——第一次切割时的平均放电间隙 (mm);

d ——为电极丝直径 (mm);

Δ ——给第二次切割留的加工余量 (mm);

s ——精修余量 (mm)。

在高峰值电流加工的情况下, 放电间隙 δ 约为 $0.02\mu\text{m}$, 精修余量 s 甚微, 约为 $0.005\mu\text{m}$; 而加工余量 Δ 则取决于切割后的加工表面粗糙度。在我们试验及应用的条件下, 第一次切割的加工表面粗糙度一般控制在 $Ra \leq 3.5\mu\text{m}$, 再考虑到往复走丝切割条纹的影响, $\Delta \approx 2 \times (5 \times 0.0035) \text{ mm} = 0.035 \text{ mm}$ 。这样, 补偿量 f 应在 $0.05 \sim 0.06\mu\text{m}$ 之间, 选大了会影响第二次切割的速度, 选小了又会在第二次切割时难以消除第一次切割留下的换向条纹痕迹。

3. 走丝方式

采用整个储丝筒的绕丝长度全程往复走丝, 走丝速度为 8m/s 。

5.4.2 第二次切割

第二次切割的主要任务是修光。各有关参数选用如下:

1. 脉冲参数

要达到修光的目的, 就必须减少脉冲放电能量, 但放电能量太小, 又会影响第二次切割的速度, 在兼顾加工表面质量及切割速度的情况下, 所选用的脉冲参数应使加工质量提高一级, 即第二次切割的表面质量要达到 $Ra \leq 1.7\mu\text{m}$, 减少脉冲能量的方法主要靠减少脉宽, 而脉冲峰值电流不宜太小。

2. 电极丝中心轨迹线的补偿量 f

由于第二次切割是精修, 此时的放电间隙很小, 仅为 $0.005 \sim 0.007\text{mm}$, 第三次切割所需的加工余量甚微, 只有几微米, 二者加起来约为 0.01mm 。此时的补偿量 f 约为 $d/2 + 0.01\text{mm}$ 即可。

3. 走丝方式

为了达到修光的目的, 通常以降低丝速来实现, 降低丝速虽可减

少电极丝的抖动，但往复切割条纹仍难避免。采用某短程往复走丝切割专利，并对进给速度进行限制之后，可以在第二次切割后基本消除往返切割条纹，加工表面粗糙度 Ra 在 $1.4 \sim 1.7 \mu\text{m}$ 范围内。

5.4.3 第三次切割

第三次切割的主要任务是精修，以获得较理想的加工表面质量。

1. 脉冲参数

应采用精微加工脉冲参数，脉冲宽度 $t_{0.2} \leq 1 \mu\text{s}$ ，并采取相应的对策，克服线路寄生电容和寄生电感影响，保证精微加工时的放电强度。

2. 电极丝中心轨迹线的补偿量

由于此时的放电间隙很小，只有 0.003mm 左右，补偿量 f 主要取决于电极丝直径，设精修时电极丝直径为 d ，则 $f = \frac{1}{2}d + 0.003\text{mm}$ 。

3. 走丝方式

由于第二次切割后留下的加工余量甚微 ($\Delta \leq 0.005\text{mm}$)，如何保证在第三次切割过程中能均匀精修，是一个技术难题。首先应保证电极丝运行稳定。以前的做法是将走丝速度降到 1m/s 以下，这固然可以大幅度减少电极丝振动，获得良好的工艺效果，但常常会出现加工不稳定的现象，极易受工作液污染程度及其粘度影响，严重时甚至还会使人感到无法正常精修。考虑到工作液要求电极丝与工件之间要有相对运动速度，在 6m/s 的情况下采用超短程往复走丝方式，使每次往复切割长度控制在三分之一电极丝半径范围内，并限制其加工过程的最高进给速度，结果获得了很好的工艺效果。利用这种方法在不同机床上由不同操作人员进行三次切割，均能获得 $Ra \leq 1 \mu\text{m}$ ，且加工表面光泽无条纹的效果。

5.4.4 凹模板型孔小拐角的加工工艺与多次切割加工中工件余留部位的处理

1. 凹模板型孔小拐角的加工工艺

由于选用的电极丝（钼丝）直径越大，切割出的型孔拐角半径也

越大。当模板型孔的拐角半径要求很小时（如 $R0.07 \sim R0.10\text{mm}$ ），则必须换用细丝（如 $\phi 0.10\text{mm}$ ）。但是相对粗丝而言，细丝加工速度较慢，且容易断丝。如果将整个型孔都用细丝加工，就会延长加工时间，造成浪费。经过仔细比较和分析，采取先将拐角半径适当增大，用粗丝切割所有型孔达到尺寸要求，再更换细丝统一修割所有型孔的拐角达到规定尺寸。但更换 $\phi 0.10\text{mm}$ 的细丝需重新找正中心，重新找正中心的坐标值与原中心坐标值相差应在 0.02mm 左右。

2. 多次切割加工中工件余留部位的处理

随着世界范围内模具工业新技术、新材料和新工艺的发展，为了增强模具的耐磨性，人们广泛使用各种高强度、高硬度和高韧性的模具材料，这对提高模具的使用寿命极为有利，但它给电火花线切割工件余留部位加工后所带来的技术处理造成不便。处理好工件余留部位的加工问题，才能保证工件余留部位的表面质量和表面精度。特别是在塑料模、精密多工位级进模的生产加工过程中，能保证得到良好的尺寸精度，直接影响模具的装配精度、零件的精度以及模具的使用寿命等。由于加工工件精度要求高，因此在加工过程中若有一点疏忽，就会造成工件报废，同时也会给模具的制造成本和加工周期带来负面影响。对于高硬度、高精度和高复杂度，且加工表面为非平面的小工件来说，采用多次切割加工的方法处理工件余留部位显得更为重要。

参 考 文 献

- [1] 张平亮. 现代数控加工工艺与装备[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [2] 刘晋春. 特种加工[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [3] 顾晔. 数控加工编程与操作[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [4] 苑海燕. 数控加工技术教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [5] 明兴祖. 数控加工综合实践教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [6] 伍端阳. 数控电火花线切割加工应用技术问答[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [7] 吴石林, 等. 数控线切割、电火花加工编程与操作技术[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2008.
- [8] 田萍. 数控机床加工工艺及设备[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [9] 陈文杰. 数控加工工艺与编程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [10] 李立. 数控线切割加工实用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [11] 韩鸿鸾. 数控加工工艺学[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2005.
- [12] 宋昌才. 数控电火花加工培训教程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [13] 彭涛. 高速走丝电火花线切割加工常见问题及解决方法[J]. 金属加工, 2008, 17: 27-28.

- 理论体系完整
- 实例丰富
- 讲解详尽
- 紧密联系实际

地址:北京市百万庄大街22号
邮政编码:100037

电话服务

社服务中心: 010-88361066

销售一部: 010-68326294

销售二部: 010-88379649

读者购书热线: 010-88379203

网络服务

教材网: <http://www.cmpedu.com>

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术 / 机械工程 / 机械加工

ISBN 978-7-111-40010-3

策划编辑◎周国萍/封面设计◎路恩中

ISBN 978-7-111-40010-3



9 787111 400103 >

定价: 28.00元