

数控加工自动编程系列

数控线切割加工自动编程

廖卫献 编著



工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

数据线切割加工自动编程/廖卫献编著. —北京:国防工业出版社, 2002. 5

(数控加工自动编程系列)

ISBN 7-118-02785-5

I. 数... II. 廖... III. 数控线切割—程序设计
IV. TG481

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 009332 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

三河市新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 11 252 千字

2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:16.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

内 容 简 介

本书从 CAD 基本应用入手,结合线切割加工技术的特点,全面地介绍了线切割自动编程的各个方面,包括:线切割基本知识,工件图形的计算机化、电极丝的走丝路径生成、线切割机床数控代码程序的自动生成(包括 3B、4B、ISO 三种格式的代码)以及线切割加工 CAM 软件其他常用功能的应用。最后,介绍了几个实际例子。本书系统性强,且循序渐进,由浅入深,特别适合于作为各类学校相关专业的教材,也可供从事线切割加工的技术人员参考。

前 言

数控电火花线切割加工(简称线切割)是一种非常普及的高精度特种加工技术,在机械制造业得到了广泛的应用,尤其是在模具制造方面,几乎成为一个必不可少的手段。目前,线切割机床都是数控的,数控编程是线切割加工中一个重要部分。对于几何形状简单的工件,通常可以由机床操作人员在现场手工编程。对于大多数几何形状,手工编程难度较大。由于线切割加工切割的工件大多数是平面轮廓类工件,因此,线切割编程较早地实现了图形编程。限于当时的计算机软硬件发展水平,早期的线切割编程软件已逐渐退出实用领域。

CAD 技术在我国已经得到了普及应用,CAD/CAM 一体化的线切割编程是当今的主流。有关 CAD 应用的各个层次的图书很多,但关于 CAM 应用的还不多,远不能满足广大科技人员的应用所需。尤其是关于线切割加工 CAM 编程,一直缺乏应用的书籍供有关人员参考。另一方面,由于数控编程比起一般的 CAD 应用来说,与加工工艺联系很紧,缺乏工艺知识将不能使用 CAM 软件编出合格的数控代码程序来。而一般的关于软件应用方面的书又很少介绍相关的工艺知识。

本书从 CAD 基本应用入手,结合线切割加工技术的特点,全面地介绍了线切割自动编程的各个方面,包括:线切割基本知识、工件图形的计算机化、电极丝的走丝路径生成、线切割机床数控代码程序的自动生成(包括 3B、4B、ISO 三种格式的代码)以及线切割加工 CAM 软件其他常用功能的应用。最后,介绍了几个实际例子,有详尽的操作步骤。读者可以通过练习它们,由易到难,达到融会贯通。

本书的读者为以下两大类,一是从事线切割加工的技术人员,二是打算掌握线切割技术的人,如各类学校的学生。对于前者,可略去本书第一章有关线切割加工技术本身等内容。对于后者,本书第一章可以使其对线切割加工技术有一个入门的认识。对于不懂得 CAD/CAM 的读者,按照本书的章节先后顺序学习、练习,完全可以独立地完成线切割加工编程任务,从而优质高效地完成加工任务。读者也可以从有关公司的网站下载本书涉及到的有关软件进行学习。

本书 2.5、2.6 两节的初稿由陈艾华同志提供。

CAM 编程应用方面的图书极少,限于作者的水平,不足之处,欢迎批评指正。作者电子邮件地址是:

liaowx@email.zhnut.edu.cn

作 者
2001.10

目 录

第一章 线切割加工及其编程	1
1.1 线切割的基本原理	1
1.2 数控线切割加工的程序	8
1.3 计算机辅助线切割编程(CAM)	15
第二章 工件图形的绘制	18
2.1 计算机绘图的基本操作	18
2.2 绘制图形	41
2.2.1 用 CAXA - EB 绘制工件图形	41
2.2.2 用 AutoCAD 绘制工件图形	66
2.3 图形编辑	71
2.3.1 CAXA - EB 的图形编辑	71
2.3.2 AutoCAD 2000 的图形编辑	87
2.4 汉字输入	95
2.5 不同 CAD 软件之间的图形数据交换	102
2.6 图形的扫描	105
第三章 线切割轨迹生成	110
3.1 线切割工艺参数	110
3.2 线切割轨迹生成与编辑	117
第四章 线切割程序的自动生成	122
4.1 生成 3B 代码	122
4.2 ISO 格式程序生成与后置处理设置	124
4.2.1 后置处理设置	124
4.2.2 生成 G 代码	132
第五章 线切割加工 CAM 软件其他常用功能的应用	134
5.1 零件设计	134
5.2 代码传输	136

5.3 位图矢量化	138
5.4 代码校核	140
第六章 编程实例	142
附录 1 JB3208 - 83 准备功能 G 代码与辅助功能 M 代码	157
附录 2 计算机与线切割机床通信接线图	159
附录 3 CAXA 线切割 V2 的安装与启动	160
附录 4 CAXA 线切割 V2 的常用菜单命令	164
参考文献	169

第一章 线切割加工及其编程

1.1 线切割的基本原理

一、线切割加工的基本原理

线切割加工(WEDM)是电火花线切割加工的简称,它是用线状电极(钼丝或铜丝)靠火花放电对工件进行切割。

线切割机床通常分为两类:快走丝与慢走丝。前者是电极丝作高速往复运动,走丝速度为 $8\text{m/s} \sim 10\text{m/s}$,国产的线切割机床多是此类机床。慢走丝机床的电极作低速单向运动,一般走丝速度低于 0.2m/s 。

图 1.1 是快走丝线切割加工的示意图。工具电极细钼丝 4 穿过工件 2 上预先钻好的小孔,经导轮 5 由贮丝筒 7 带动作往复交替移动,工件通过绝缘板 1 安装在工作台上,工作台在水平面 X 、 Y 两个坐标方向各自按给定的控制程序移动而合成任意平面曲线轨迹。脉冲电源 3 对电极丝与工件施加脉冲电压,电极丝与工件之间绕注一定压力的工作液,当脉冲电压击穿电极丝与工件之间的间隙时,两者之间产生火花放电而切割工件。

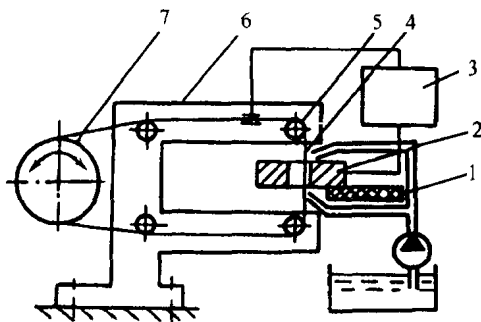


图 1.1 线切割原理

1—绝缘底板; 2—工件; 3—脉冲电源; 4—钼丝; 5—导轮; 6—支架; 7—贮丝筒。

线切割的加工精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$,表面粗糙度 Ra 为 $1.25\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$ 。

线切割机床的控制方式有靠模仿型控制、光电跟踪控制、数字程序控制等方式,但目前国内外 95% 以上的线切割机床都已数控化,采用不同水平的数控系统:单片机、单板机、微机。微机数控是当今的趋势。

线切割加工属于电火花加工,但由于采用细金属丝作工具电极,无需制作成型工具电极,大大降低了成型工具电极的设计、制造费用,缩短了生产准备时间,而且细的电极丝可以加工微细的异形孔、窄缝和复杂的工件。由于采用移动的长电极丝进行加工,单位长度电极丝的损耗较小,从而对加工精度的影响较少。

线切割加工广泛应用于加工各种硬质合金和淬火钢的冲模、样板、各种外形复杂的精细零件、窄缝等,并可多件叠加起来加工,能获得一致的尺寸。切割模具零件时,通过调整不同的间隙补偿量,只需一次编程就可以切割出凸模、凹模固定板、凹模及卸料板等。因此,线切割机床是模具制造企业必不可少的设备。对于多品种少批量的零件、特殊难加工材料的零件、材料试验样件、各种型孔、特殊齿轮、凸轮、样板、成型刀具等零件的制造,线切割加工也具有极大的优势。由于不需要制造模具,在新产品试制中可以大大缩短制造周期、降低成本。四轴联动的线切割机床还可以加工锥体、上下异面扭转体等复杂形状零件。总之,线切割加工已经成为了一种非常普及的特殊加工工艺。

二、数控线切割机床的组成

数控线切割机床由机床本体、脉冲电源、控制系统、工作液循环系统和机床附件几部分组成。图 1.2、图 1.3 分别是快走丝、慢走丝线切割机床的组成示意图。下面对机床本体、控制系统作一些介绍。

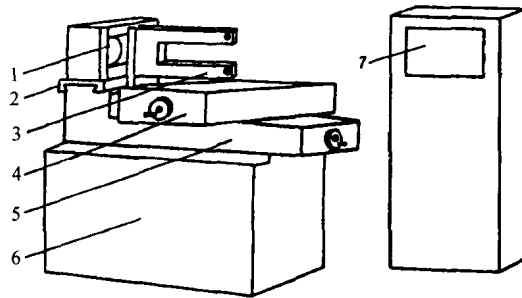


图 1.2 快走丝线切割机床的组成

1—卷丝筒; 2—走丝溜板; 3—丝架; 4—上滑板, 5—下滑板; 6—床身, 7—电源、控制柜。

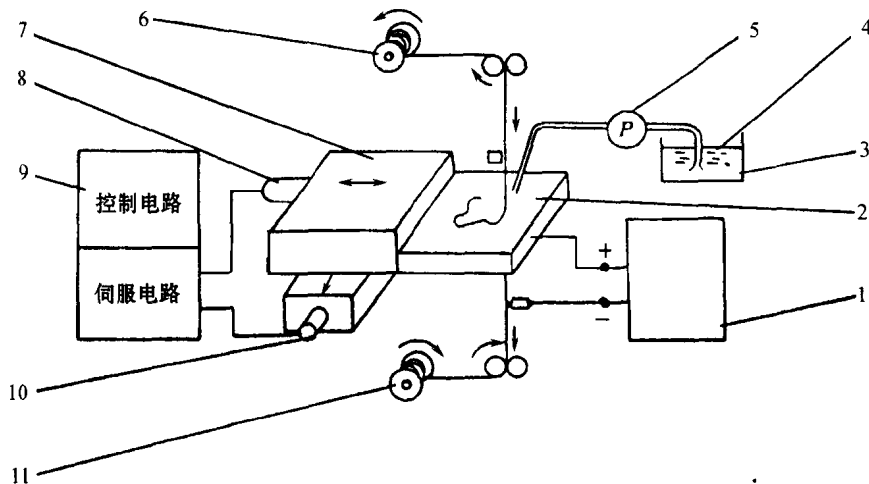


图 1.3 慢走丝线切割机床的组成

1—脉冲电源; 2—工件; 3—工作液箱; 4—去离子水; 5—泵; 6—放丝卷筒; 7—工作台;
8—X 轴电机; 9—数控装置; 10—Y 轴电机; 11—收丝卷筒。

1. 机床本体

机床本体由床身、坐标工作台、运丝机构、丝架、工作液箱、夹具等几部分组成。线切割加工靠坐标工作台、走丝机构及锥度装置的联合运动,形成切割工件的形状。

图 1.4 所示为坐标工作台原理图。步进电动机 1 通过齿轮副 2、3 传动,带动丝杠 6 旋转并向前移动,丝杠 6 空套在滑板 5 上通过滚珠 7 带动滑板 5 前进,滑板 5 与底座 8 之间用弹簧 9 保证丝杠后退时,滑板 5 随之后退,并消除丝杠螺母 4 的间隙。滑板 5 通过对合式滚动导轨装在底座 8 上。 X 、 Y 轴滑板结构相同。因为丝杠 6 空套在滑板 5 上的轴承中,在正向作用力克服弹簧力推动工作台时,工作台 5 即可向前移动。为防止运输或移动机床时,滑板 5 来回窜动而造成损坏,在导轨两端设有固定板安装孔,运输或移动机床时应将滑板 5(坐标工作台)用固定板固定起来。

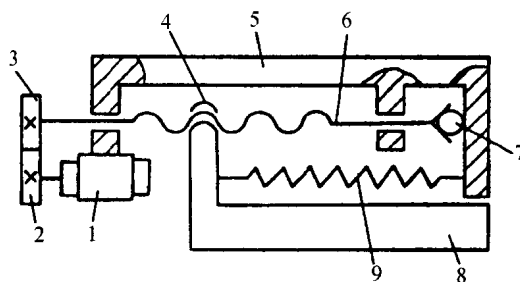


图 1.4 坐标工作台原理图

1—步进电机; 2、3—高速齿轮副; 4—丝杠螺母; 5—上滑板; 6—丝杠; 7—滚珠; 8—底座; 9—弹簧。

当齿轮副 2、3 存在间隙时,会产生步距不均的现象(有时走两步或更多,有时不走),这会引引起切割质量下降。应通过调节齿轮中心距来调整。

线切割加工实现锥度加工有多种,图 1.5、图 1.6 是典型的两种。前者主要用在快走丝线切割机床上,后者广泛用于慢走丝线切割机床。

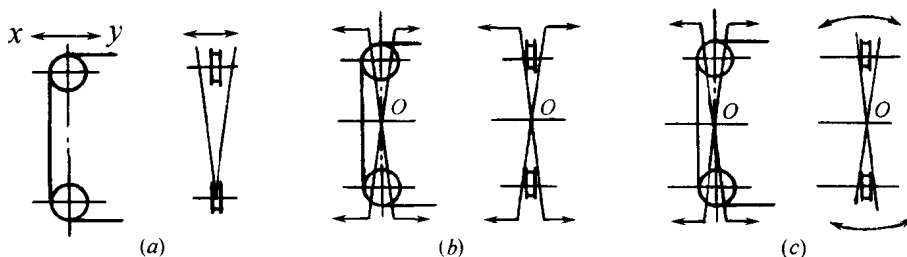


图 1.5 偏移式丝架实现锥度加工的方法

图 1.5(a) 为上(或下)丝臂平动法,上(或下)丝臂沿 X 、 Y 方向平移。此法锥度不宜过大,否则电极丝易拉断,导轮易磨损,工件上有一定的加工圆角。图 1.5(b) 为上、下丝臂同时绕一定中心移动的方法,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。此法加工锥度孔不宜过大。图 1.5(c) 为上、下丝臂分别沿导轮径向平支和轴向摆动的方法,此法加工锥度不影响导轮磨损。最大切割锥度通常可达 5° 。

图 1.6 所示的双坐标联动装置中主要依靠上导向器作纵横两轴(称 U 、 V 轴)驱动,与工作台的 X 、 Y 轴在一起构成数控(NC)四轴同时控制,这种方式的自由度很大,依靠功能丰富的软件,可以实现上下异形截面形状的加工。最大的倾斜角度一般为 $\pm 5^\circ$,有的甚至可达 30° (与工件厚度有关)。

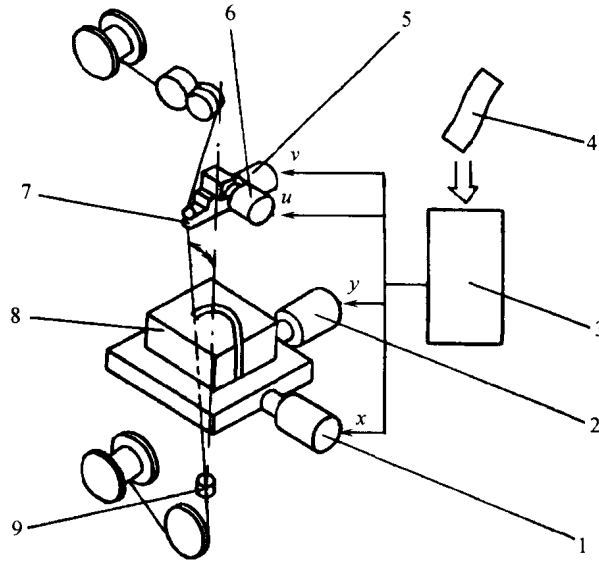


图 1 6 四轴联动锥度切割装置

1—X 轴驱动电动机；2—Y 轴驱动电动机；3—控制装置；4—数控纸带；
5—V 轴驱动电动机，6—U 轴驱动电动机，7—上导向器，8—工件，9—下导向器。

2. 控制系统

控制系统的重要作用是在线切割加工过程中,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,实现对工件形状和尺寸的加工。即当控制系统使电极丝相对于工件按一定轨迹运动(轨迹控制)时,同时还应实现进给速度的控制(加工控制)。加工控制是根据放电间隙大小与放电状态控制进给速度,使之与工件材料的蚀除速度相平衡。由于线切割加工数控系统控制的是电极丝中心移动的轨迹,因此,加工有配合间隙冲模的凸模时,电极丝中心轨迹应向工件图形之外偏移进行“间隙补偿”,以补偿放电间隙和电极丝的半径。加工凹模时,电极丝中心轨迹则应向工件轮廓图形之内偏移进行“间隙补偿”。随着数控技术的进步,线切割加工数控系统的功能也越来越多,越来越强。

数控(NC)线切割的工作过程如图 1.7 所示。经过编程处理,将图样上工件的形状和尺寸(欲切割的轮廓)转换成程序指令,传给控制计算机,计算机根据输入的指令控制驱动电机,驱动电机带动精密丝杠,使工件相对于电极丝作轨迹运动。把程序指令传给计算机通常有下述几种方式:键盘输入、制成穿孔纸带、磁带、软磁盘、用电缆或光纤进行计算机通信或 DNC 直接数控等。对于形状简单的工件,用键盘输入也很方便。目前,新出厂的线切割机床采用穿孔纸带的已经很少,基本上都是配置了计算机联机通信接口或采用 DNC 直接数控方式。

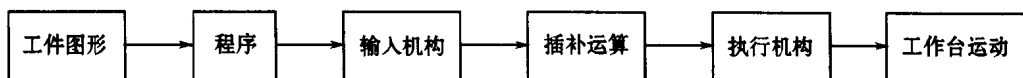


图 1.7 线切割 NC 控制工作流程

目前,快走丝线切割机床的数控系统大多采用简单的步进电机开环系统,慢走丝线切割机床的数控系统大多是伺服电机加编码盘的半闭环系统,在一些超精密线切割机床上

则使用伺服电机加磁尺或光栅的全闭环数控系统。

3. 系统坐标系

与其他数控机床一致,数控线切割机床坐标系符合国家标准:①刀具(电极丝)相对于静止的工件运动;②采用右手笛卡儿直角坐标系。当我们面对数控线切割机床时,电极丝相对于工件的左右运动(实际为工作台面的纵向运动)为 X 坐标运动,且运动正方向指向右方;电极丝相对于工件的前后运动(实际为工作台面的横向运动)为 Y 坐标运动,且运动正方向指向后方。在整个切割加工过程中,电极丝始终垂直贯穿工件,不需要描述电极丝相对于工件在垂直方向的运动。所以 Z 坐标省去不用。坐标原点就是切割加工的开始点。

当机床进行锥度切割时,上丝架上的十字拖板将作前后、左右移动,这是平行于 X 轴和 Y 轴的另一组坐标运动,称为附加坐标运动。其中平行于 X 轴的左右移动为 U 坐标运动,平行于 Y 轴的前后移动为 V 坐标运动。 X 、 Y 、 U 、 V 四个坐标运动的有机配合,就能加工出具有锥度要求的工件来。

三、线切割加工工艺及其影响因素

1. 线切割加工的工艺参数

线切割加工的工艺参数分为电参数和机械参数两类。电参数是指脉冲宽度、脉冲间隙、脉冲频率、峰值电流、开路电压等。机械参数则包括进给速度和走丝速度等。

脉冲宽度是指脉冲电流的持续时间。在其他加工条件相同的情况下,切割速度随着脉冲宽度的增加而增加,但电蚀物也随之增加。当脉冲宽度增加到使电蚀物来不及及时排除时,就会使加工不稳定、表面粗糙度增大、反而使切割速度降低。

其他条件不变,减少相邻两个脉冲之间的时间(脉冲间隙),相当于提高了脉冲频率,增加单位时间内的放电次数,使切割速度提高。但是,当脉冲间隔减少到一定程度之后,电蚀物不能及时排除,加工间隙的绝缘强度来不及恢复,破坏了加工的稳定性,也会使切割速度下降。

峰值电流是指放电电流的最大值。峰值电流对切割速度的影响也就是单个脉冲能量对加工速度的影响,它和脉冲宽度对切割速度和表面粗糙度的影响相似,但程度更大些。因此,合理的增大脉冲电流的峰值,对提高切割速度是最为有效的。但电极丝的损耗也随之增大。容易造成断丝,欲速而不达。

开路电压改变峰值电流和电加工间隙。提高开路电压,加工间隙增大,排屑容易,提高了切割速度和加工稳定性,但是容易造成电极丝振动,加大电极丝耗损。

在一定范围内,随走丝速度的提高,加工速度也提高。提高走丝速度有利于电极丝将工作液带入较厚的工件放电间隙中,有利于电蚀的排除和放电加工的稳定。但走丝速度过高,将加大机械振动、降低精度和切割速度,表面粗糙度恶化,并容易断丝。快走丝线切割的走丝速度一般小于 10m/s 。

进给速度太快时,超过工件可能的蚀除速度,切割速度反而会降低,表面粗糙度也差,甚至引起断丝;反之,进给速度太低时,大大落后于工件的蚀除速度,也将影响切割面的表面质量。

因此,要综合考虑各参数对加工的影响,合理地选择工艺参数,在保证工件加工精度的前提下,提高生产率、降低生产成本。

2. 线切割加工的工艺指标

线切割加工的主要工艺指标有切割速度 v 、工件表面粗糙度 Ra 、电极丝损耗量及加工精度四个方面。

单位时间内所切割工件的面积称为线切割的切割速度 (mm^2/min)，也有用电极丝沿加工轨迹的进给速度作为线切割的切割速度。它是一个生产指标，常用来估算工件的切割时间，以便安排生产计划及估算成本，因此，线切割加工工件的加工价格基本上按切割面积计算，综合考虑工件的质量要求。通常快走丝线切割速度为 $40 \sim 80 \text{mm}^2/\text{min}$ ，与加工电流大小有关。切割速度 v 与进给速度 v_f 、工件厚度 H 、切割面积 A 、切割时间 t 、切割轨迹长度 L 之间的关系可用下式表示。

$$v = v_f H = A/t = HL/t$$

选择切割速度时要综合考虑工件材料、脉冲电源参数、工作液的浓度及水质等因素。

快走丝线切割加工的表面粗糙度为 $Ra5 \sim 2.5\mu\text{m}$ ，最佳可达 $Ra1\mu\text{m}$ 左右，慢走丝线切割一般可达到 $Ra2.5\mu\text{m}$ ，最佳可达到 $Ra0.2\mu\text{m}$ 。

由于快走丝线切割的电极丝是循环使用的，为保证切割工件的质量，必须规定电极丝的损耗量。它是用切割 10000m^2 面积后电极丝直径的减少量来表示。一般要求每切割 10000m^2 后电极丝直径减少量不应大于 0.01mm 。影响电极丝损耗量的因素主要是脉冲电源、电极丝直径、工件材质与厚度。

加工精度包括所加工工件的尺寸精度、形状精度（直线度、平面度、圆度等）和位置精度（平行度、垂直度、倾斜度等）。快走丝线切割的加工精度在 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 左右，慢走丝线切割可达 $0.005 \sim 0.002\mu\text{m}$ 左右。机床工作台及走丝系统的精度、工件材料的变形是影响线切割加工精度的主要因素。

3. 线切割加工工艺设计

线切割加工一般是作为工件加工中的最后一道工序（最终热处理工序也安排在线切割之前）。线切割加工要使工件达到图纸要求的尺寸、精度和粗糙度等各项工艺指标。因此，必须做好加工前的准备，认真地对零件进行分析，合理地安排加工路线，选定加工参数。图 1-8 是数控线切割加工工艺设计的主要步骤。

工艺分析首先是对零件图进行分析，明确加工要求。其次对工件上已加工表面进行分析，确定哪些面可以作为工艺基准，采用什么方法定位。分析零件的形状及材料热处理后状态，考虑会不会在加工过程中发生变形，哪些部位最容易变形。由于线切割加工往往是最后一道工序，如果发生变形往往难以弥补。应在加工中采取措施，从而制定出合理的切割路线。

分析选择主要定位基准，以保证将工件正确、可靠地装夹在机床或夹具上，应尽量使定位基准和设计基准重合。选择某些工艺基准作为电极丝的定位基准，用来将电极丝调整到相对于工件正确的位置。对于以底平面作主要定位基准的工件，当其上具有相互垂直而且又同时垂直于底平面的相邻侧面时，应选择这两个侧面作为电极丝的定位基准。

在加工中，工件内部应力的释放会引起工件的变形，所以在选择切割路线时，应尽量避免破坏工件或毛坯结构刚性。因此必须注意以下几点：

- (1) 避免从工件端面由外向里开始加工，破坏工件的强度，引起变形。
- (2) 不能沿工件端面加工，这样放电时电极丝单向受电火花冲击力，使电极丝运行不

稳定,难以保证尺寸和表面精度。

(3) 加工路线距端面距离应大于 5mm。以保证工件结构强度少受影响,不发生变形。

(4) 加工路线,应向远离工件夹具的方向进行加工,以避免加工中因内应力释放引起工件变形。待最后再转向工件夹具处进行加工。

(5) 在一块毛坯上要切出两个以上零件,不应该连续一次切割出来,而应从不同穿丝孔开始加工。

图 1.9~图 1.11 是几种确定切割路线的具体例子。

图 1.9(a)中切割完第一条边后,原来主要连接部位被剥离,余下的材料与夹持部分连接较少,工件刚度大为降低,容易产生变形,而影响加工精度。如按图 1.9(b)的切割路线加工,可减少由于材料剥离后残余应力重新分布而引起的变形。所以,一般情况下,最好将工件与其夹持部分分割的线段安排在切割总程序的末端。

图 1.10 所示的由外向内顺序的切割路线,通常在加工凸模类零件时采用。但坯件材料被剥离,会在很大程度上破坏材料内应力平衡状态,使材料变形。图 1.10(a)是不正确的方案,图 1.10(b)的安排较为合理,但仍存在着变形。因此,对于精度要求较高的零件,最好采用图 1.10(c)的方案,电极丝不由坯件的外部切入,而是将切割起始点取在坯件预制的穿丝孔中。

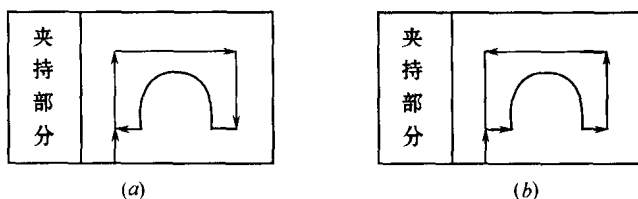
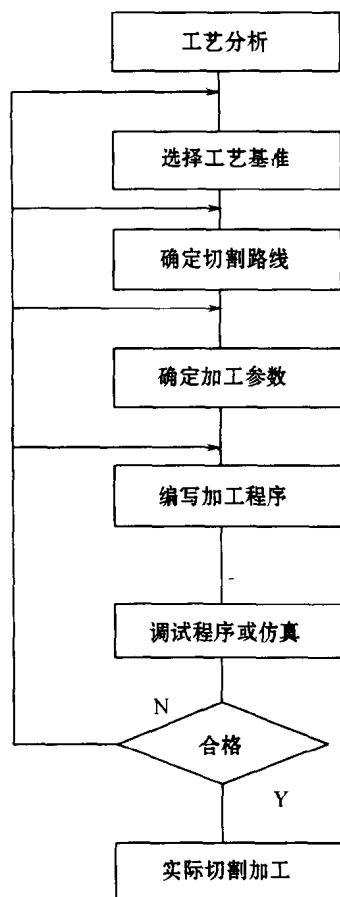


图 1.9 切割路线的确定(一)

(a) 错误; (b) 正确。

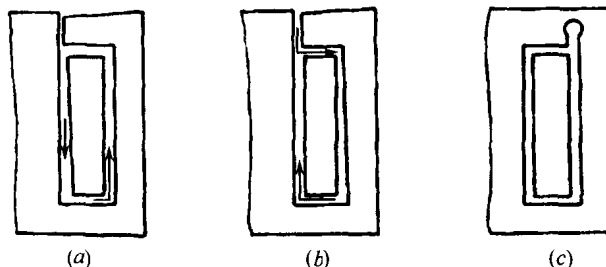


图 1.10 切割路线的确定(二)

(a) 不正确方案, (b) 可用的方案; (c) 最好的方案。

图 1.8 数控线切割加工工艺设计过程

切割孔类工件,为减少变形,可采用两次切割法,如图 1.11 所示。第一次粗加工型孔,诸边留量 0.1~0.5mm,以补偿材料原来的应力平衡状态受到的破坏。第二次切割为精加工,这样可以达到较满意的效果。

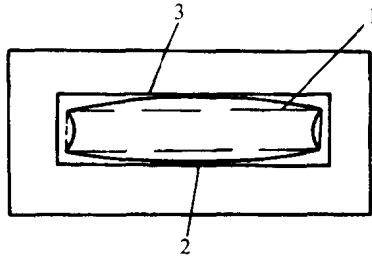


图 1 11 孔的切割路线的确定

1—第一次切割路线; 2—第一次切割后的实际图形; 3—第二次切割的图形。

确定穿丝孔的位置主要考虑:

- (1) 当切割凸模需要设置穿丝孔时,位置可选在加工轨迹的拐角附近以简化编程。
- (2) 切割凹模等零件的内表面时,将穿丝孔设置在工件对称中心对编程计算和电极丝定位都较为方便。当切入行程较长,不适合大型工件采用。
- (3) 在加工大型工件时,穿丝孔应设置在靠近加工轨迹边角处或选在已知坐标点上,使运算简便,缩短切入行程。
- (4) 在加工大型工件时,还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。

1.2 数控线切割加工的程序

要使数控线切割机床自动完成给定的切割加工,首先必须为其编制加工程序(NC 程序)。NC 编程时,应先了解所选用的数控线切割机床的规格、性能,系统所具有的功能;应详细了解机床数控系统的编程说明书及指令格式等。根据所设计的加工工艺,按机床规定的指令格式,编成 NC 程序。本节介绍我国数控线切割机床的 NC 程序格式及 NC 编程步骤。

一、数控加工编程中的几个常用术语

1. 插补

工件的轮廓形状均是由直线、圆弧及自由曲线等几何元素构成,一般情况下这些几何元素仅是由其有限个参数(如起点、终点、圆心、圆弧半径、型值点等等)进行定义的。数控系统仅仅依靠上述少量的几何参数来控制刀具(或机床工作台)运动是远远不够的,还需要利用某些数学方法在已知的这些几何元素的起点和终点间进行数据点的密化,确定该几何元素的一些中间点。这个过程就称为插补。通俗地说,就是由“插入、补上”运动轨迹中间点坐标值。机床伺服系统根据此坐标值控制各坐标轴协调运动,形成预定的轨迹。

2. 直线插补与圆弧插补

所谓直线插补就是预定的刀具运动轨迹的曲线方程是直线,圆弧插补即是预定的刀

具运动轨迹是圆弧。实际上,刀具并不是完全严格地走直线或圆弧,而是一步步地走阶梯折线,该折线逼近预定的直线或圆弧。很显然,这里存在一个逼近精度问题。只要折线的步长足够小,就完全可以满足给定的逼近精度。

对于一般的自由曲线,通常可以用直线插补或圆弧插补的方法进行加工。因此,现代的数控系统都具有直线插补与圆弧插补功能。

3. 刀具补偿

刀具补偿包括刀具半径补偿与刀具长度补偿。对线切割加工而言,只有刀具半径补偿(简称刀补)。在线切割加工过程中,只有电极丝具有一定大小(线径),电极丝中心的运动轨迹并不等于工件的实际轮廓。因此,为了保证线切割加工出来的工件轮廓正确性,编程时需将电极丝中心相对于工件轮廓中心偏移一个电极丝半径的距离,这就是对刀具的编程方法。当电极丝半径改变时(如损耗加大),就需重新计算电极丝中心轨迹,所谓刀具半径补偿就是将计算电极丝中心轨迹的过程交由机床数控系统执行,编程时假设电极丝半径为零,直接根据工件的轮廓形状进行编程。在实际切割加工时,数控系统根据工件切割程序和电极丝半径自动计算电极丝中心轨迹,完成对工件的切割。当电极丝半径发生变化时,不需要改变编好的数控程序,只需修改机床操作控制器中的电极丝半径值即可。

刀具半径补偿又分为左刀补和右刀补。当刀具中心轨迹沿前进方向位于工件轮廓右边时称为右刀补,反之称为左刀补。

需要指出的是,插补与刀补计算均不是数控编程人员完成,它们都是由数控系统根据编程所选定的模式自动进行的。

4. 字

字是程序字的简称,是一套有规定次序的代码符号,可以作为一个信息单元存储、传递和操作。如 X3455 就是一个字。字是表示某一功能的一组代码符号,如 G01 表示直线插补。字由英文字母开头,随后是符号和数字。其中英文字母称为字的地址,表示该字的功能。字分为尺寸字和非尺寸字。在尺寸字中,地址后面表示的是运动方向的符号、坐标或距离。一个数控程序段是由若干个字构成的,若干个程序段构成一个完整的数控程序。

二、数控线切割加工程序的格式

目前,我国数控线切割机床常用的程序格式为 3B、4B 及符合国际标准的 ISO 格式等。快走丝线切割机床多用 3B、4B 格式,慢走丝多用 ISO 格式。3B 是无间隙补偿程序格式,不能实现电极丝半径和放电间隙自动补偿;4B 是有间隙补偿格式,能实现电极丝半径及放电间隙自动补偿。

1. 无间隙补偿程序(3B 格式)

3B 程序描述的是电极丝中心的运动轨迹,与切割所得的工件轮廓曲线相差一个偏移量。

3B 程序格式为:

BXBYBJGZ

其中:B——分隔符,表示一条程序段开始,并用它来区分、隔离 X、Y、J 等数码,B 后的数字为 0 时,则此 0 可不写。

X、Y——直线的终点坐标或圆弧的起点坐标,均为绝对值,单位为 μm 。

J ——计数长度,单位为 μm ,它等于加工线段在规定的坐标轴上的投影长度总和。对于跨象限的圆弧,机器能自动修改指令,不用分段编写程序,只需求出各段投影长度的总和。图 1.12 是一个示例。

G ——计数方向,它是计数时选择作为投影轴的坐标轴方向,分 G_X 、 G_Y 两种。工作台在 X 或 Y 方向每走 $1\mu\text{m}$,计数累域 1,当累减到计数长度 $J=0$ 时,该程序段加工完毕。

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,分为直线与圆弧加工两大类。

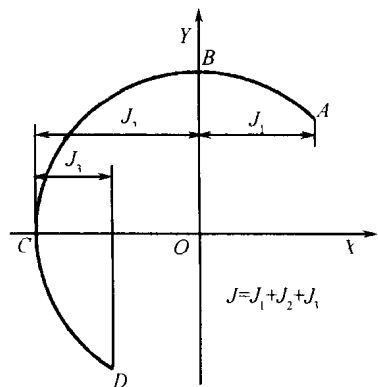


图 1.12 计数长度的确定

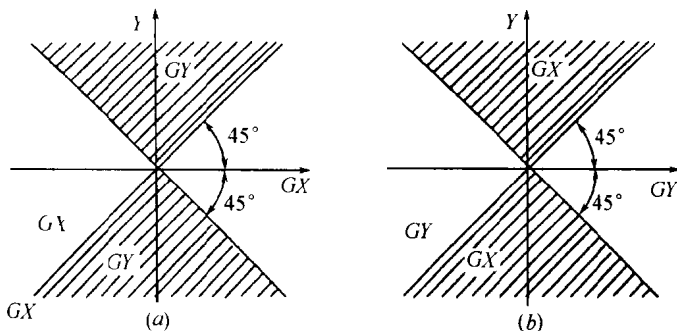


图 1.13 计数方向

(a) 加工直线的计数方向; (b) 加工圆弧的计数方向。

加工直线时,以直线的起点作为相对坐标系的原点。直线在坐标系中哪个坐标轴上的投影长度最长,就取该轴方向为计数方向。由此可将坐标系以 45° 线划分为不同的区域。当直线终点落在阴影区域内时,取 Y 轴方向为计数方向,记作 G_Y ;在阴影区域外时,取 X 轴方向为计数方向,记作 G_X ;当直线落在 45° 线上时,计数方向可任意选取 G_Y 或 G_X ,如图 1.13(a) 所示。加工直线的指令在四个象限中分别用 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 表示,如图 1.14(a) 所示。与坐标轴重合的直线,根据进给方向,其加工指令可按照图 1.14(b) 选取。为了区别于斜线,在编程时取 $X = Y = 0$ 。

加工圆弧时,以圆心作为相对于坐标系的原点,圆弧终点落在阴影区域内时,取 X 轴方向为计数方向,记作 G_X ;在阴影区域外时,取 Y 轴方向为计数方向,记作 G_Y ,当圆弧终点落在 45° 线上时,计数方向可任意选取 G_Y 或 G_X ,如图 1.13(b) 所示。加工圆弧时,若被加工圆弧的起点分别在坐标系的四个象限中,并按顺时针方向切割,加工指令分别由 SR_1 、 SR_2 、 SR_3 、 SR_4 表示,如图 1.14(c) 所示;逆时针方向切割时,分别用 NR_1 、 NR_2 、 NR_3 、 NR_4 表示,如图 1.14(d) 所示。若加工起点刚好在坐标轴上,其指令可选相邻两轴中的任何一个。

2. 间隙补偿程序(4B 格式)

4B 指令用于具有间隙补偿功能和锥度补偿功能的数控线切割机床的程序编制。所谓间隙补偿,指的是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段距离(即补偿量)。当补偿量设定为偏移量 f 时,编程轨迹即为工件的轮廓线。显然,按工件的轮廓编程要比按电极丝中心运动轨迹编程要方便得多,轨迹计算也比较简

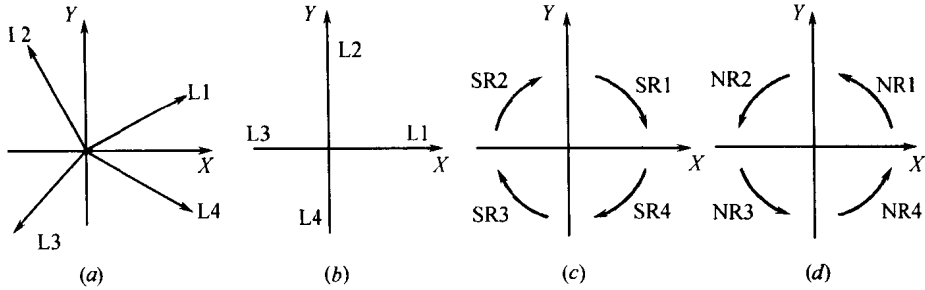


图 1 14 加工指令

单。而且,当电极丝磨损,直径变小;当单边放电间隙 Z 随切割条件的变化而变化后,也无需改变程序,只需改变补偿量即可。锥度补偿指的是,系统能根据要求,同时控制 X 、 Y 、 U 、 V 四轴的运动(X 、 Y 为机床工作台的运动,即工件的运动; U 、 V 为上线架导轮的运动,分别平行于 X 、 Y),使电极丝偏离垂直方向一个角度(即锥度),切割出上大下小或上小下大的工件来。

有些数控电火花线切割机床具有间隙补偿功能和锥度补偿功能,可用 4B 指令编程。但进行一般的切割加工时(不带间隙补偿或锥度补偿),也可按通用的 3B 指令编制。

4B 指令就是带“ \pm ”符号的 3B 指令,为了区别于一般的 3B 指令,故称之为 4B 指令,4B 指令格式为

$$\pm BXB YBJGZ$$

其中的“ \pm ”符号用以反映间隙补偿信息和锥度补偿信息,其他与 3B 指令完全一致。

间隙补偿切割时,“+”号表示正补偿,当相似图形的线段大于基准轮廓尺寸时为正补偿;“-”号表示负补偿,当相似图形的线段小于基准轮廓尺寸时为负补偿。具体而言,对于直线,在 B 之前加“ \pm ”符号的目的仅是为了使指令的格式能够一致,无需严格的规定,对于圆弧,规定以凸模为准,正偏时(圆半径增大)加“+”号,负偏时(圆半径减少)加“-”号。在进行间隙补偿切割时,线和线之间必须是光滑的连接,若不是光滑的连接,则必须加过渡圆弧使之光滑。

锥度切割时,必须使电极丝相对于垂直方向倾斜一个角度。电极丝的倾斜方向由程序的第一条 4B 指令决定,即由第一条引入程序中的“ \pm ”符号决定。若第一条指令之前加“+”号,则按照如下规则倾斜电极丝(若加“-”号,则向相反方向倾斜电极丝):若引入程序段是直线,则电极丝沿直线轨迹前进时向左边倾斜;若引入程度段是圆弧,则电极丝的倾斜方向和切割开始点的圆半径方向一致。锥度切割一般采用正锥度角,所割零件为上大下小,若有必要割上小下大的零件,则可输入负的锥度角,系统会自动控制向所定义方向的相反方向倾斜电极丝。

不过,4B 格式不像 3B 格式那样,定义比较明确一致,各个机床厂家根据自己的要求,对 4B 格式采用不同的定义方式。因此,编写 4B 程序时必须严格按选择机床说明书进行。例如,下面的格式也是一种 4B 格式。

$$BXYBJBRGD(D)Z$$

这个格式与 3B 格式相比,多了两项。其中 R 为圆弧半径, D (或 DD)为曲线形状。