

21 世纪技工技能入门丛书

数控电火花线切割技能 快速入门

编著 上海市职业指导培训中心

便于自学

适合培训

就业入门



凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

21 世纪技工技能入门丛书

数控电火花线切割 技能快速入门

上海市职业指导培训中心 编著

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控电火花线切割技能快速入门 / 上海市职业指导培
训中心编. —南京: 江苏科学技术出版社, 2009. 1

(21 世纪技工技能入门丛书)

ISBN 978-7-5345-6359-1

I. 数… II. 上… III. 数控线切割: 电火花线切割—基
本知识 IV. TG484

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 185759 号

数控电火花线切割技能快速入门

主 编 上海市职业指导培训中心

责任编辑 谷建亚

责任校对 刘 强

责任监制 张瑞云

出版发行 江苏科学技术出版社(南京市湖南路 47 号, 邮编: 210009)

网 址 <http://www.pspress.cn>

集团地址 凤凰出版传媒集团(南京市中央路 165 号, 邮编: 210009)

集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>

经 销 江苏省新华发行集团有限公司

照 排 南京展望文化发展有限公司

印 刷 扬中市印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/32

印 张 7.875

字 数 170 000

版 次 2009 年 1 月第 1 版

印 次 2009 年 1 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978-7-5345-6359-1

定 价 18.00 元

图书如有印装质量问题, 可随时向我社出版科调换。

前 言

随着科学技术的不断发展,机械行业的产品结构也日趋复杂,精度和性能要求也越来越高,因此作为零件的加工生产设备,也必须满足高效率、高精度和高自动化的要求。为了满足当前市场产品趋于单件、小批量、多品种趋势的发展,各种机械加工机床逐渐发展为数控机床或加工中心。与此同时各种新的加工工艺和机床也相继产生,诸如电火花加工、电铸加工、电镀加工、快速成型、激光加工等。但是,随着这些新技术的产生,操作者迫切需要相关的技术指导书来学习这些加工技术。

本书从数控电火花线切割加工实训出发,注重技能训练,并结合典型实例,详细介绍了线切割加工原理、工艺分析、编程、工艺装配、工件装夹、机床操作等核心内容。在素材的组织上突出实用的特点,所有加工实例均来自实践。

由于编写经验不足,以及编者水平有限,书中难免存在一些不足之处,恳请广大读者提出宝贵的意见以供修改。

编者

2008年10月

目 录

第一单元 数控电火花线切割加工基础	1
课题一 数控电火花线切割加工概述	1
一、数控电火花线切割的加工原理	1
二、数控电火花线切割加工的特点	2
三、数控电火花线切割的应用	2
四、数控电火花线切割技术的应用现状及发展趋势	3
课题二 数控电火花线切割控制分析	6
一、逐点比较法控制原理	6
二、控制框图	16
三、典型控制器电路分析	18
课题三 数控电火花线切割加工设备简介	40
一、数控电火花线切割机床的型号与参数	40
二、数控电火花线切割机床的基本结构	43
三、数控电火花线切割机床的精度检验方法	57
第二单元 数控线切割加工工艺分析	68
课题一 线切割加工的主要工艺指标及影响因素	68
一、线切割加工的主要工艺指标	68
二、影响线切割加工工艺指标的主要因素	68
课题二 数控线切割加工工艺分析	70
一、零件图工艺分析	70
二、工艺准备	72
三、工件的装夹和位置校正	76
四、加工参数的选择	79
五、数控线切割加工的工艺技巧	83
课题三 典型零件的加工工艺分析	87

一、落料冲孔模的凸凹模线切割加工	87
二、轴座的线切割加工	96

第三单元 数控线切割编程

课题一 数控线切割手工编程

一、数控线切割手工编程基础	101
二、编程常用数学基础	111
三、典型化编程法	116
四、数控线切割机床编程技巧	124

课题二 CAXA 数控线切割自动编程

一、线切割 CAD/CAM 软件简介	126
二、CAXA 线切割操作界面	128
三、点、圆和直线输入方法	140
四、CAXA 线切割编程实例	144

课题三 HF 线切割图形自动编程

一、全绘图方式编程	191
二、界面及功能模块的介绍	193
三、辅助线绘图编程实例	198
四、数控线切割编程实例	204

第四单元 数控电火花线切割加工实训

课题一 数控电火花线切割加工操作

一、电火花线切割加工操作流程	212
二、加工前的准备	218
三、线切割加工的控制器操作	227
四、加工过程中特殊情况的处理	231
五、电火花线切割加工的安全技术规程	233

课题二 数控线切割编程技术

一、数控线切割编程实例	234
二、数控线切割加工初训	244

参考文献

第一单元 数控电火花线切割加工基础

课题一 数控电火花线切割加工概述

随着电火花加工技术的发展,在成形加工方面逐步形成两种主要加工方式:电火花成形加工和电火花线切割加工。电火花线切割加工(Wire Cut EDM,简称 WEDM)自 20 世纪 50 年代末诞生以来,获得了极其迅速的发展,已逐步成为一种高精度和高自动化的加工方法。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获得了广泛应用。目前线切割机已占电加工机床的 60% 以上。

一、数控电火花线切割的加工原理

数控电火花线切割是利用连续移动的细金属导线(称作电极丝、铜丝或钼丝)作为工具电极(接高频脉冲电源的负极),对工件(接高频脉冲电源的正极)进行脉冲火花放电腐蚀、切割加工。其加工原理如图 1-1

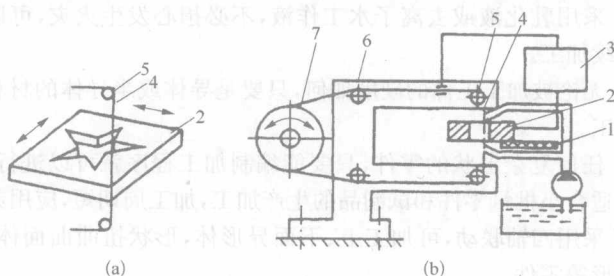


图 1-1 电火花线切割原理

(a) 工件及其运动方向; (b) 电火花线切割加工装置原理图

1—绝缘底板; 2—工件; 3—脉冲电源; 4—电极丝(钼丝);

5—导向轮; 6—支架; 7—储丝筒



所示,加上高频脉冲电源后,在工件与电极丝之间产生很强的脉冲电场,使其间的介质被电离击穿,产生脉冲放电。电极丝在储丝筒的作用下做正反向交替(或单向)运动,在电极丝和工件之间浇注工作液介质,在机床数控系统的控制下,工作台相对电极丝在水平面两个坐标方向各自按预定的程序运动,从而切割出需要的工作形状。

二、数控电火花线切割加工的特点

数控电火花线切割加工归纳起来有以下一些特点:

- ① 它以 $0.03 \sim 0.35 \text{ mm}$ 的金属线为电极工具,不需要制造特定形状的电极。
- ② 虽然加工的对象主要是平面形状,但是除了由金属丝直径决定的内侧圆角的最小半径 R (金属线半径+放电间隙)这样的限制外,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 可无视电极丝损耗(高速走丝线切割采用低损耗脉冲电源;慢速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,同时加工凹凸两种模具时,间隙可任意调节。
- ⑥ 采用乳化液或去离子水工作液,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,加工周期短,应用灵活。
- ⑨ 采用四轴联动,可加工上、下面异形体,形状扭曲曲面体,变锥度和球形等零件。

三、数控电火花线切割的应用

数控电火花线切割加工为新产品的试制、精密零件及模具的制造

开辟了一条新的工艺途径,具体应用有以下三个方面:

① 模具制造。适合于加工各种形状的冲裁模,一次编程后通过调整不同的间隙补偿量,就可以切割出凸模、凹模、凸模固定板、凹模固定板、卸料板等,模具的配合间隙、加工精度通常都能达到要求。此外电火花线切割还可以加工粉末冶金模、电机转子模、弯曲模、塑压模等各种类型的模具。

② 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,若采用银钨、铜钨合金之类的材料,用线切割加工特别经济,同时也可加工微细、形状复杂的电极。

③ 新产品试制及难加工零件。在试制新产品时,用线切割在坯料上直接切割出零件,由于不需另行制造模具,可大大缩短制造周期,降低成本。加工薄件时可多片叠加在一起加工。在零件制造方面,可用于加工品种多、数量少的零件,还可加工特殊难加工的零件,如凸轮、样板、成形刀具、异形槽、窄缝等。

四、数控电火花线切割技术的应用现状及发展趋势

随着模具等制造业的快速发展,近年来我国电火花线切割机床的生产和技术得到了飞速发展,同时也对数控电火花线切割机床提出更高的要求,促使我国电火花线切割生产企业积极采用现代研究手段和先进技术深入开发研究,向信息化、智能化和绿色化方向不断发展,以满足市场的需要。未来的发展,将主要表现在以下几个方面:

(1) 稳步发展高速走丝机床的同时,重视低速走丝电火花线切割机床的开发和发展

① 高速走丝机床依然稳步发展。由于高速走丝有利于改善排屑条件,适合大厚度和大电流高速切割,加工性能价格比优异,深受广大用户欢迎,因而在未来较长的一段时间内,高速走丝电火花线切割机床仍是我国电加工行业的主要发展机型。高速走丝机的产量目前已达到10 000台/年,今后虽然还会有所增长,但目前的发展重点是提高高速走丝电火花线切割机床的质量和加工稳定性,使其满足那些量大面宽的普通模具及一般精度要求的零件加工要求。根据市场的发展需要,



高速走丝电火花线切割机床的工艺水平必须相应提高,其最大切割速度应稳定在 $100 \text{ mm}^2/\text{min}$ 以上,而加工尺寸精度控制在 $\pm(0.005 \sim 0.01)\text{mm}$ 范围内,加工表面粗糙度 R_a 达到 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 。这就需要在机床结构、加工工艺、高频电流及控制系统等方面加以改善,积极采用各种先进技术,重视窄脉宽、高峰值电流的高频电源的开发及应用。

② 重视低速走丝电火花线切割机床的开发和发展。低速走丝电火花线切割机床由于电极丝移动平稳,易获得较高加工精度和表面粗糙度,适于精密模具和高精度零件的加工。我国在引进、消化、吸收的基础上,也开发并批量生产了低速走丝电火花线切割机床,满足了国内市场的部分需要。现在必须加强对低速走丝机床的深入研究,开发新的规格品种,为市场提供更多的国产低速走丝电火花线切割机床。与此同时,还应该在大量实验研究的基础上,建立完整的工艺数据库,完善 CAD/CAM 软件,使自主知识产权的 CAD/CAM 软件商品化。

(2) 完善机床设计,改进走丝结构

① 为使机床结构更加合理,必须用先进的技术手段对机床总体结构进行分析。这方面的研究将涉及运用先进的计算机有限元模拟软件对机床的结构进行力学和热稳定性的分析。为了更好地参与国际市场竞争,还应该注意造型设计,在保证机床技术性能和清洁加工的前提下,使机床结构合理,操作方便,外形新颖。

② 为了提高坐标工作台精度,除考虑热形及先进的导向结构外,还应采用丝距误差补偿和间隙补偿技术,以提高机床的运动精度。龙门式机床的工作台只作 y 方向运动, x 方向运动在龙门架上完成,上下导轮座挂于横架上,可以分别控制。这不仅增加了丝杠的刚性,而且工作台只作 y 方向运行,省去了 x 方向的滑板,有助于提高工作台的承重能力,降低整机总重量。

③ 高速走丝电火花线切割床的走丝机构,是影响其加工质量及加工稳定性的关键部件,目前存在的问题较多,必须认真加以改进。目前已开发的恒张力装置及可调速的走丝系统,应在进一步完善的基础上推广应用。

④ 支持新机型的开发研究。目前新开发的自旋式电火花线切割

机床、高低双速电火花线切割机床、走丝速度连续可调的电火花线切割机床,在机床结构和走丝方式上都有创新。尽管它们还不够完善,但这类开发研究工作都有助于促进电火花切割技术的发展,必须积极支持,并帮助完善。

(3) 推广多次切割工艺,提高综合工艺水平

根据放电腐蚀原理及电火花线切割工艺规律可知,切割速度和加工表面质量是一种矛盾,要想在一次切割过程中既获得很高的切割速度,又要获得很好的加工质量是很困难的。提高电火花线切割的综合工艺水平,采用多次切割是一种有效方法。

(4) 发展 PC 机控制系统,扩充线切割机床的控制功能

随着计算机技术的发展,PC 机的性能和稳定性都在不断增强,而价格却持续下降,为电火花线切割机床开发应用 PC 机数控系统创造条件。目前国内已有的基于 PC 机的电火花线切割数控系统,主要用于加工轨迹的编程和控制,PC 机的资源并没有得到充分开发利用,今后可以在以下几个方面进行深入开发研究:

① 开发和完善开放式的数控系统。目前高速走丝电火花线切割机床所用的数控软件是在 DOS 基础上开发的,有很大的局限性,难于进一步扩充其功能,急需在 Windows 操作系统基础上开发电火花线切割数控系统,以便充分开发 PC 机的资源,扩充数控系统的功能。

② 继续完善数控电火花线切割加工的计算机绘图、自动编程、加工规准控制及其缩放功能,扩充自动定位、自动找中心、低速走丝的自动穿丝、高速走丝的自动紧缩等功能,提高电火花线切割加工的自动化程度。

③ 研究放电间隙状态数值检测技术,建立伺服控制模型,开发加工过程伺服进给自适应控制系统。为了提高加工精度,还应应对传动系统的丝距误差及传动间隙进行精确检测,并利用 PC 机进行自动补偿。

④ 开发和完善数值脉冲电源,并在工艺实验基础上建立工艺数据库,开发加工参数优化选取系统,以帮助操作者根据不同的加工条件和要求合理选用加工参数,充分发挥机床潜力。

⑤ 深入研究电火花线切割加工工艺规律,建立加工参数的控制模



型,开发加工参数的自适应控制系统,提高加工稳定性。

⑥ 开发有自主知识产权的电火花线切割 CAD/CAM 和人工智能软件。在上述各模块开发利用的基础上,建立电火花线切割 CAD/CAM 集成系统和人工智能系统,并使其商品化,以全面提高我国电火花线切割加工的自动化程度及工艺水平。

课题二 数控电火花线切割控制分析

数控电火花线切割机床之所以能加工各式各样的形状和图形,是因为它的 x 、 y 坐标工作台由数控系统控制。 x 、 y 坐标工作台只能在 x 或 y 坐标轴方向作直线进给,但线切割加工的大部分图形都是由斜线或圆弧组合而成。因此为了加工斜线或圆弧,就把 x 或 y 工作台每走一步的距离(即脉冲当量)取得很小,只有 0.001 mm 。依斜线斜率或圆弧半径不同, x 或 y 两个坐标方向进给步数的多少互相配合,使钼丝的轨迹尽量逼近所要加工的斜线或圆弧。这样,钼丝中心的轨迹并不是斜线或圆弧,而是由逼近所加工的斜线或圆弧的很多长度甚小的折线所组成,也就是由这些小折线交替“插补”进给。所谓“插补”,就是在一个线段的起点和终点间有足够多的短直线组成折线来逼近所给定的线段。

目前的插补方法有很多种,一般的数控电火花线切割机床的数控系统,通常采用逐点比较法来插补。

一、逐点比较法控制原理

线切割数控系统是按逐点比较法的控制原理对线切割机床的 x 和 y 坐标工作台进行控制的,工作台每进给一步的移动量为 $1\text{ }\mu\text{m}(0.001\text{ mm})$ 。

1. 逐点比较法插补原理

首先粗略地介绍机床是如何按规定图形加工出所需工件的。例如,现在要加工一段圆弧 AB (图 1-2a),起点为 A ,终点为 B ,坐标原点就是圆心, y 轴、 x 轴代表纵、横拖板的方向,圆弧半径为 R 。

现在从点 A 出发进行加工,设某一时刻加工点在 M_1 ,一般说来, M_1 和圆弧 AB 有所偏离。人们就应该根据偏离的情况,确定下一步加

工进给的方向,使下一个加工点尽可能向规定图形(即圆弧 AB)靠拢。

若用 R_{M_1} 表示加工点 M_1 到圆心 O 的距离,显然,当 $R_{M_1} < R$ 时,表示加工点 M_1 在圆内,这时应控制纵拖板(y 拖板)向圆外进给一步到新加工点 M_2 。如概述中讲过的那样,由于拖板进给由步进电动机带动,进给的步长是固定的($1\ \mu\text{m}$),故新的加工点也不一定正好在圆弧上。同样可以明显地看出,当 $R_{M_2} \geq R$ 时,表示加工点 M_2 在圆外或圆上,这时应控制横拖板(x 拖板)向圆内进给一步。如此不断重复上述过程,就能加工出所需的圆弧。

这样,加工的结果是用折线来代替圆弧,为了看得清楚,在图 1-2a 中,把每步进给的步长都画得比较大,因而加工出来的折线与所需图形圆弧的误差也就比较大。若步长缩小,则误差也跟着缩小,如图 1-2b 所示,步长小了,加工误差也比图 1-2a 小,而实际加工时,进给步长仅为 $1\ \mu\text{m}$,故实际误差是很小的。

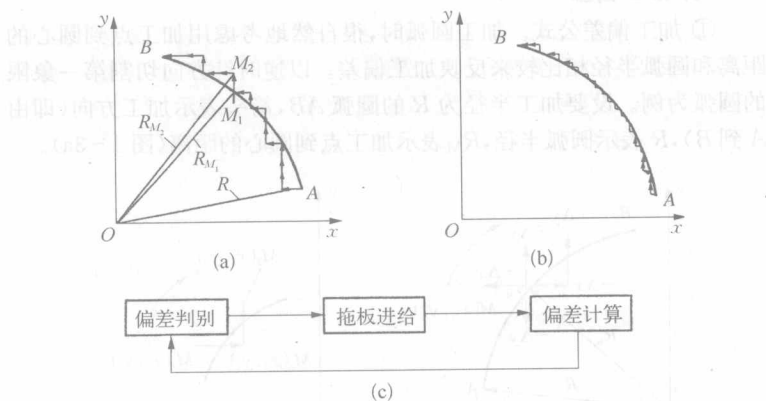


图 1-2 逐点比较法插补原理

由上例可以看出,拖板进给是步进的,每走一步都要完成三个工作节拍:

① 偏差判别。判别加工点对规定图形的偏离位置(例如在加工圆弧时,应判断加工点在圆内还是在圆外),以决定拖板的走向。

② 拖板进给。控制 x 拖板或 y 拖板进给一步($1\mu\text{m}$),以向规定图形靠拢。

③ 偏差计算。对新的加工点计算出能反映偏离位置情况的偏差,以作为下一步判别的依据。

图 1-2c 就是这三个工作节拍的框图。以后在实用中还应加上第四节拍“终点判别”。

这种控制方案叫做逐点比较法,即每进给一步,逐点比较加工点与规定图形的位置偏差,一步一步地逼近。

在上述控制方案中可以看到,拖板的进给走向取决于加工点和实际规定图形偏离位置的判别,即偏差判别,而偏差判别的依据是偏差计算。因而,问题的关键是选取什么作为能正确反映偏离位置情况的偏差,以及如何进行偏差的计算。下面将对圆弧与斜线这两种不同的情况分别加以介绍。

(1) 加工圆弧

① 加工偏差公式。加工圆弧时,很自然地考虑用加工点到圆心的距离和圆弧半径相比较来反映加工偏差。以逆时针方向切割第一象限的圆弧为例。设要加工半径为 R 的圆弧 AB ,箭头表示加工方向(即由 A 到 B), R 表示圆弧半径, R_M 表示加工点到圆心的距离(图 1-3a)。

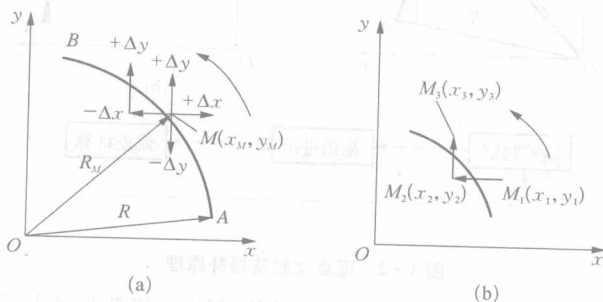


图 1-3 圆弧加工偏差

由前述可知,如果 $R_M > R$,表示加工点在圆外,为了减少加工误差,应控制拖板向圆内进给一步。点 M 进给可以走的方向有四个,在图

1-3a 中分别用 $+\Delta x$ 、 $-\Delta x$ 、 $+\Delta y$ 、 $-\Delta y$ 表示。其中 $+\Delta x$ 、 $+\Delta y$ 都是越走离圆弧越远， $-\Delta y$ 与圆弧加工方向不符。故只能是一 Δx ，即控制 x 拖板沿 $-\Delta x$ 方向进给一步。

同理，若 $R_M < R$ 表示加工点在圆内，应控制 y 拖板沿 $+\Delta y$ 方向向圆外进给一步。

若 $R_M = R$ 时，加工点正好在圆弧上。但是为了继续加工，也必须进给。而拖板又只能作纵或横的运动，故不能精确地沿着圆弧进给，进给方向只是 $+\Delta y$ 或 $-\Delta x$ 。现规定 $R_M = R$ 并入 $R_M > R$ 一类，即 $R_M \geq R$ 时，向圆内（ $-\Delta x$ 方向）进给。

设点 M 坐标为 (x_M, y_M) ，根据勾股弦定理知

$$R_M^2 = x_M^2 + y_M^2$$

比较 R_M 与 R 的大小，只要比较 R_M^2 与 R^2 的大小，故可取 $R_M^2 - R^2$ 作为点 M 的加工偏差，记为 F_M ，即

$$F_M = R_M^2 - R^2 = x_M^2 + y_M^2 - R^2$$

这就是圆弧的加工偏差公式，直接按此式计算加工偏差对计算机是不方便的，以下提出一个简便方法。

② 偏差计算。如果能找出相邻两个加工点偏差值间的数量联系，从而使每走一步后，新加工点的偏差可以用前一点的加工偏差来推算，那么就可以简化计算手续，这种算法叫做递推法。

在圆弧起点，很明显加工偏差 $F = 0$ 。

设在某一时刻加工点 $M_1(x_1, y_1)$ 在圆外（图 1-3b），这点加工偏差必然为

$$F_1 = x_1^2 + y_1^2 - R^2 > 0$$

故需沿 $-\Delta x$ 方向进给 $1 \mu\text{m}$ 到点 $M_2(x_2, y_2)$ ，得

$$x_2 = x_1 - 1 \quad y_2 = y_1$$

所以，点 M_2 的加工偏差



$$F_2 = x_2^2 + y_2^2 - R^2 = (x_1 - 1)^2 + y_1^2 - R^2$$

$$= x_1^2 + y_1^2 - R^2 - 2x_1 + 1 = F_1 - 2x_1 + 1$$

即

$$F_2 = F_1 - 2x_1 + 1$$

这就是在 $F_1 \geq 0$ 时, F_2 与 F_1 间的递推公式。

点 M_2 已在圆内, 即 $F_2 < 0$ (图 1-3b), 则需沿 $+\Delta y$ 方向进给 $1 \mu\text{m}$ 到 $M_3(x_3, y_3)$, 得

$$x_3 = x_2 \quad y_3 = y_2 + 1$$

所以点 M_3 的加工偏差

$$F_3 = x_3^2 + y_3^2 - R^2 = x_2^2 + (y_2 + 1)^2 - R^2$$

$$= x_2^2 + y_2^2 - R^2 + 2y_2 + 1 = F_2 - 2y_2 + 1$$

即

$$F_3 = F_2 + 2y_2 + 1$$

这就是在 $F_2 < 0$ 时, F_3 与 F_2 间的递推公式。

以上是第一象限逆圆加工的情况, 经推导可以得到加工各象限逆圆或顺圆时计算偏差和各点坐标的公式, 以及 F 在不同计算结果时电极丝的进给坐标和方向, 如表 1-1 所示。

表 1-1 圆弧加工运算表

圆弧种类	$F \geq 0$		$F < 0$	
	进给坐标	计算公式	进给坐标	计算公式
SR_1	$-\Delta y$	$F - 2x + 1 \rightarrow F$ $y - 1 \rightarrow y$ $x \rightarrow x$	$+\Delta x$	$F + 2x + 1 \rightarrow F$ $x + 1 \rightarrow x$ $y \rightarrow y$
SR_3	$+\Delta y$		$-\Delta x$	
NR_2	$-\Delta y$		$-\Delta x$	
NR_4	$+\Delta y$		$+\Delta x$	
SR_2	$+\Delta x$	$F - 2x + 1 \rightarrow F$ $x - 1 \rightarrow x$ $y \rightarrow y$	$-\Delta y$	$F + 2y + 1 \rightarrow F$ $y + 1 \rightarrow y$ $x \rightarrow x$
SR_4	$-\Delta x$		$+\Delta y$	
NR_1	$-\Delta x$		$-\Delta y$	
NR_3	$+\Delta x$			

表中箭头左边的 x 、 y 和 F 代表进给前加工点的坐标值和偏差值, 箭头右边的为进给后加工点的坐标值和偏差值。

(2) 加工斜线

① 加工偏差公式。对于斜线可取起点为坐标原点, 横、纵两拖板方向为 x 轴、 y 轴方向作出坐标系。那么, 斜线起点到加工点边线与坐标轴 $\vec{Ox}$ 的夹角同规定斜线与坐标轴 $\vec{Ox}$ 夹角的大小就能反映出加工的偏差。

设要加工的一段是第一象限的斜线 OA , A 为终点, 坐标是 (x_e, y_e) 。如图 1-4a 所示, 需加工斜线 $\vec{OA}$ 与坐标轴 $\vec{Ox}$ 夹角为 α 。某一时刻的加工点为 $M(x_M, y_M)$ 。斜线起点到加工点连线 $\vec{OM}$ 与坐标轴 $\vec{Ox}$ 夹角为 α_M 。

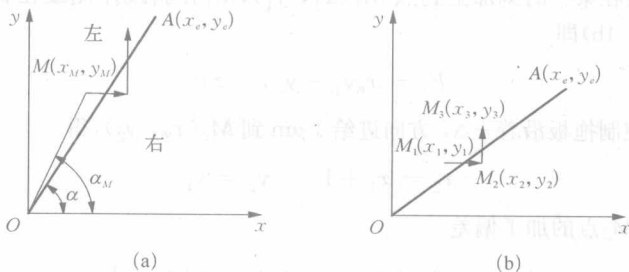


图 1-4 斜线加工偏差

若 $\alpha_M \geq \alpha$, 表示加工点在规定斜线的左侧, 应控制拖板沿 $+\Delta x$ 方向向斜线右侧进给一步, 若 $\alpha_M < \alpha$, 表示加工点在规定斜线的右侧, 应控制拖板沿 $+\Delta y$ 方向往斜线左侧进给一步。

根据三角函数知识, 角的大小可用它的正切值来反映, 所以比较角度 α 与 α_M 的大小, 只要比较它们的正切值 $\tan \alpha$ 与 $\tan \alpha_M$ 的大小即可。这里

$$\tan \alpha_M = \frac{y_M}{x_M} \quad \tan \alpha = \frac{y_e}{x_e}$$