

997700

微机数控线切割机床

宋延民 编



兵器工业出版社

微机数控线切割机床

宋延民 编

兵器工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

微机数控线切割机床/宋延民编. - 北京: 兵器工业出版社, 1997.10

ISBN 7-80132-047-6

I. 微... II. 宋... III. 微机切割-程控机床 IV. TG659
中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 22711 号

兵器工业出版社 出版发行

(邮编: 100081 北京市海淀区车道沟 10 号)

各地新华书店经销

天津地矿局印刷厂印装

*

开本: 787 × 1092 1/32 印张: 6.75 字数: 13.8 千字
1997 年 10 月第 1 版 1997 年 10 月第 1 次印刷
印数: 1200 册 定价: 10.00 元

内 容 简 介

前 言

微机数控电火花线切割机床（以下简称线切割机床）将现代微型计算机数字控制技术和线电极电火花加工技术紧密地结合在一起，实现了各类模具及零件加工的自动化。线切割加工具有精度高、效率高、操作方便等优点，并以直接加工硬度较高的淬火钢及各类合金材料而著称。

线切割机床是一台自动化机床，是由机械床身和电气自动控制两大部分组成。

机床由床身、贮丝筒、丝架坐标工作台、冷却液箱和机床电器等部分组成。绕在贮丝筒上的线电极（钼丝）经过丝架做高速的往复运动，加工件固定在坐标工作台上，坐标工作台的 x 、 y 方向二拖板的两根丝杠分别由两只步进电机带动，控制系统每发出一个进给脉冲，相对的步进电机就走一步，通过齿轮变换机构带动，丝杠使拖板进给 $1/1000$ mm。

目前，国内一些厂家引进国外慢走丝（铜丝）系统的线切割机床技术，进一步提高该机床的稳定性和精度。

自80年代中期以来，国内机床主要以Z80单板机和PC系列微机为主，配上线切割的专用软件、专用接口电路、电源，其作用是控制 x 、 y 步进电机，使机床能切割各类形状的工件。

该机床的脉冲电源输出一定幅值脉宽及脉冲间隔的高频脉冲，接在钼丝与工件之间，使之产生火花放电，以达到对被加工件进行电腐蚀加工的目的。同时，由被加工的厚度、乳化液等指标的状态来控制加工速度。

本书编写时，力求取材新颖，反映国内电加工技术的最新发展，并着重实用技术，同时大量引用了《电加工》等杂志最新发表的科研成果，在此表示深深的谢意。

本书可作为大、中专院校有关专业开设《数控机床》课程的教材，亦可供模具制造业的工程技术人员、操作人员参考使用。

由于本人理论和实践水平有限，书中会有不少缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

本书承世行贷款职业技术教育项目留学回国人员教育科研工作补助费资助以及天津市电加工学会的协助，在编写过程中得到李振宇老师的帮助，在此表示感谢。

编者

1997.9.18

目 录

| | |
|--------------------------|-------|
| 第一章 控制原理及用户程序编制..... | (1) |
| § 1.1 逐点比较法..... | (1) |
| § 1.2 圆弧加工的数学模型..... | (3) |
| § 1.3 斜线加工的数学模型..... | (7) |
| § 1.4 计数方向及长度的确定..... | (10) |
| § 1.5 用户程序的编制..... | (14) |
| 第二章 微机控制柜的结构与维修..... | (31) |
| § 2.1 概述..... | (31) |
| § 2.2 结构..... | (31) |
| § 2.3 线切割微机控制台的维修..... | (43) |
| § 2.4 断电保护..... | (52) |
| § 2.5 控制系统的干扰及其抑制方法..... | (53) |
| 第三章 系统软件设计..... | (61) |
| § 3.1 子程序设计..... | (61) |
| § 3.2 插补计算与图形逼近..... | (86) |
| § 3.3 步进电机控制程序..... | (92) |
| 第四章 高频脉冲电源..... | (107) |
| § 4.1 电火花加工..... | (108) |
| § 4.2 晶体管脉冲电源例一..... | (108) |
| § 4.3 晶体管脉冲电源例二..... | (113) |
| § 4.4 脉冲电源使用中的问题..... | (117) |

| | |
|--------------------------|-------|
| § 4.5 用于精加工的脉冲电源 | (125) |
| 第五章 机床 | (131) |
| § 5.1 机床的功用与要求 | (131) |
| § 5.2 机床的结构特点 | (134) |
| § 5.3 机床的检查与调整 | (147) |
| § 5.4 其它结构形式简介 | (150) |
| 第六章 乳化液 | (153) |
| § 6.1 基本性能 | (153) |
| § 6.2 SM - 1型乳化液 | (159) |
| § 6.3 乳化液的过滤装置 | (162) |
| 第七章 低速走丝线切割机床的G代码 | (167) |
| § 7.1 ISO标准 | (167) |
| § 7.2 定义和语法规则 | (169) |
| § 7.3 准备功能的定义 | (172) |
| § 7.4 3B格式转为G代码的方法 | (180) |

第一章 控制原理及用户程序编制

· 微型计算机的功能即按预先设定的数学模型进行数值计算，以加工出各种形状的工件。本章首先介绍该系统的数学模型是怎样建立的，然后介绍用户程序的编制方法。

§ 1.1 逐点比较法

逐点比较法即机器每走一步都和规定的轨迹进行比较，决定下一步如何走法，逐点比较，逐点逼近。

现在要加工一段圆弧 AB ，如图 1-1 所示，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 。

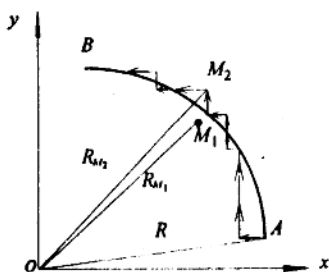


图 1-1 逐点比较法原理图

现在从 A 点出发进行加工，设某一时刻加工点在 M_1 ，和圆弧 AB 有所偏离。我们就可以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 R_{M_2} ，由于拖板进给由步进电机带动，进给的步长为固定的 ($1 \mu\text{m}$)，所以新的加工点，一般来说，也不一定正好在圆弧上。同样可以明显地看出，当 $R_{M_1} \geq R$ 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。

由上例可以看出，计算机主要完成三项工作。

(1) 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) 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) 计算 对新的加工点计算出能反映出偏离位置情况的偏差，以作为下一步判别的依据。

图 1-2 就是这三个工作节拍的方框图。

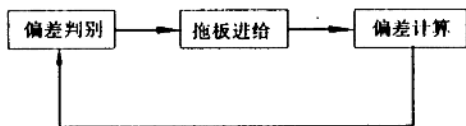


图 1-2 计算机完成的三项工作

这种控制方案叫做逐点比较法，即每进给一步，比较一下加工点与规定图形的位置，一步一步的逼近。

在上述控制方案中可以明白地看到，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。

§ 1.2 圆弧加工的数学模型

1.2.1 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 表示加工到圆心的距离，如图 1-3 所示。

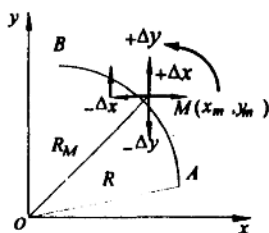


图 1-3 圆弧加工

由前面已知，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。M 点进给方向可以有四个，图 1-3 中分别用 $+\Delta x$ 、 $-\Delta x$ 、 $+\Delta y$ 、 $-\Delta y$ 表示。其中 $+\Delta x$ 、 $+\Delta y$ 都是越走越离圆弧越远， $-\Delta y$ 与圆弧加工方向不符。故只能是 $-\Delta x$ ，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，进给方向只能是 $+\Delta y$ 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 M 点坐标为 (x_M, y_M) , 根据勾股弦定理知:

$$R^2 = x_M^2 + y_M^2$$

比较 R_M 与 R 的大小, 只能比较 R_M^2 与 R^2 的大小, 故可取 $R_M^2 - R^2$ 作为 M 点的加工偏差, 记为 F_M 。即:

$$F_M = R_M^2 - R^2 = x_M^2 + y_M^2 - R^2 \quad (1-1)$$

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, 能否找到一个简便方法呢?

1.2.2 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, 这样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 1-4), 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 $M_2(x_2, y_2)$,

得: $x_2 = x_1 - 1$; $y_2 = y_1$ (1-2)

所以 M_2 点的加工偏差

$$\begin{aligned} F_2 &= x_2^2 + y_2^2 - R^2 = (x_1 - 1)^2 + y_1^2 - R^2 \\ &= x_1^2 + y_1^2 - R^2 - 2x_1 + 1 = F_1 - 2x_1 + 1 \end{aligned}$$

即:

$$F_2 = F_1 - 2x_1 + 1 \quad (1-3)$$

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

设 M_2 点已在圆内, 即 $F_2 < 0$ (图 1-4), 则需沿 $+\Delta y$ 方向

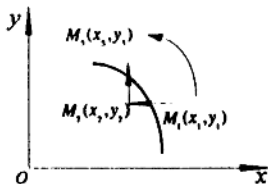


图 1-4 圆弧加工偏差计算图

进给 $1 \mu\text{m}$ 到 $M_3(x_3, y_3)$ 。

得: $x_3 = x_2; y_3 = y_2 + 1$

所以 M_3 点的加工偏差为:

$$\begin{aligned} F_3 &= x_3^2 + y_3^2 - R^2 = x_2^2 + (y_2 + 1)^2 - R^2 \\ &= x_2^2 + y_2^2 - R^2 + 2y_2 + 1 = F_2 + 2y_2 + 1 \end{aligned}$$

即: $F_3 = F_2 + 2y_2 + 1$ (1-5)

这就是在 $F_2 < 0$ 时, F_3 与 F_2 间的递推公式。

归纳上述两种情况可得表 1-1。

表 1-1 圆弧加工的偏差计算

| $F \geq 0$ | | $F < 0$ | |
|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|
| 进给 | 计算 | 进给 | 计算 |
| - Δx | $F - 2x + 1 \rightarrow F$ | + Δy | $F + 2y + 1 \rightarrow F$ |
| | $x - 1 \rightarrow x$ | | $x \rightarrow x$ |
| | $y \rightarrow y$ | | $y + 1 \rightarrow y$ |

例 1 加工第一象限内圆弧 AB 。A 点坐标是 (4,3), B 点坐标是 (0,5), 逆时针走向, 从 A 点加工到 B 点。

按逐点比较法加工, 计算及进给情况见表 1-2 及图 1-5。

表 1-2 中最后一列(第四个工作节拍: 终点判断)可暂且不看, 在 § 1.4 中将要专门介绍。

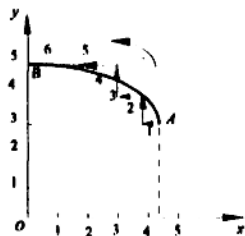


图 1-5 例 1 的图形

事实上, 圆弧共有顺圆一、二、三、四象限和逆圆一、二、三、四象限八种情况, 分别用 SR_1 、 SR_2 、 SR_3 、 SR_4 、 NR_1 、 NR_2 、 NR_3 、 NR_4 表示。

表 1-2 例 1 的进给过程

| 步 数 | 工 作 节 拍 | | | |
|--------|------------|-------------|---|-------------------|
| | 第一拍 判断 | 第二拍 进给 | 第三拍 偏差计算 | 第四拍 终点判断 |
| 起点 | | | $F=0$ $x=4 \quad y=3$ | $J=4 \quad G=G_x$ |
| 1 | $F=0$ | $-\Delta x$ | $F=0-2 \times 3+1=0$ $x=4-1=3 \quad y=3$ | $J=4-1=3$ |
| 2 | $F=-7 < 0$ | $-\Delta y$ | $F=-7+2 \times 3+1=-5$ $x=3 \quad y=3+1=4$ | $J=3$ |
| 3 | $F=0$ | $-\Delta x$ | $F=0-2 \times 3+1=-5$ $x=3 \quad y=3+1=4$ | $J=3-1=2$ |
| 4 | $F=-5 < 0$ | $-\Delta y$ | $F=-5+2 \times 2+1=1$ $x=2 \quad y=4+1=5$ | $J=2$ |
| 5 | $F=4 > 0$ | $-\Delta x$ | $F=4-2 \times 2+1=1$ $x=2-1=1 \quad y=5$ | $J=2-1=1$ |
| 6 | $F=1 > 0$ | $-\Delta y$ | $F=1-2 \times 1+1=0$ $x=1-1=0$ | $J=1-1=0$ 加工结束 |

表 1-3 圆弧加工运算表

| 线 型 | 加 工 指 令 | $F \geq 0$ | | $F < 0$ | |
|--------|--------------|------------|------------------------|------------|------------------------|
| | | 进给坐标 | 运 算 | 进给坐标 | 运 算 |
| 圆 弧 | SR_1, SR_2 | Δy | $F-2y+1 \rightarrow F$ | Δx | $F+2x+1 \rightarrow F$ |
| | NR_2, NR_4 | | $y-1 \rightarrow y$ | | $x+1 \rightarrow x$ |
| | SR_3, SR_4 | Δx | $F-2x+1 \rightarrow F$ | Δy | $F+2y+1 \rightarrow F$ |
| | NR_1, NR_3 | | $x-1 \rightarrow x$ | | $y+1 \rightarrow y$ |

§ 1.3 斜线加工的数学模型

1.3.1 加工偏差公式

对于斜线加工，取起点为坐标原点，横、纵两拖板方向为 x 轴、 y 轴方向。这样，斜线起点到加工点的连线与 x 轴的夹角，同规定图形斜线与 x 轴的夹角相比较，就能反映出加工偏差。

设要加工的一段是第一象限的斜线 OA ， A 为终点，坐标是 $A(x_e, y_e)$ 。如图 1-6 所示，需加工斜线 OA 与 x 轴夹角为 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 OM 与 x 轴的夹角为 α_M 。

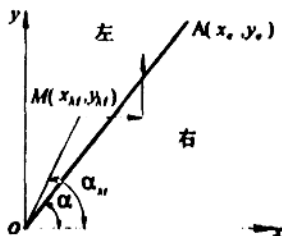


图 1-6 斜线加工

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 $\operatorname{tg}\alpha$ 与 $\operatorname{tg}\alpha_M$ 的大小即可。这里，比较它们的大小又可化为判别它们的符号，因为 $x_M, x_e > 0$ （今后规定，不论在那个象限， x 、 y 的坐标只取绝对值而不考虑符号），所以 $(\operatorname{tg}\alpha_M - \operatorname{tg}\alpha)$ 与 $(x_e y_M - y_e x_M)$ 符号相同。于是可取后者为 M 点的加工偏差，即

$$F_M = x_e y_M - y_e x_M \quad (1-6)$$

1.3.2 偏差计算

同加工圆弧一样，直接计算偏差较麻烦，仍须采用递推法。

若要加工斜线 OA ，终点为 $A(x_e, y_e)$ 。设在某一时刻加工至 $M_1(x_1, y_1)$ 点， M_1 在斜线左侧或在斜线上(图 1-7)，即

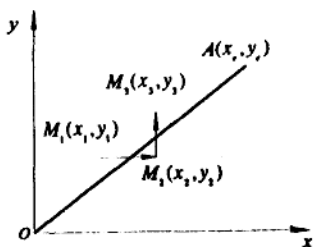


图 1-7 斜线加工偏差计算

$$F_1 = x_e y_1 - x_1 y_e \geq 0$$

则应控制拖板沿着 $+\Delta x$ 方向进给 $1\mu\text{m}$ 到 $M_2(x_2, y_2)$ ，得

$$x_2 = x_1 + 1 \quad ; \quad y_2 = y_1 \quad (1-7)$$

所以， M_2 点的加工偏差

$$\begin{aligned} F_2 &= x_e y_2 - y_e x_2 = x_e y_1 - y_e (x_1 + 1) \\ &= x_e y_1 - y_e x_1 - y_e = F_1 - y_e \end{aligned}$$

即：
$$F_3 = F_2 + x_e \quad (1-8)$$

设 M_2 在斜线 OA 右侧，即 $F_2 < 0$ 。

那么，应沿 $+\Delta y$ 方向进给 $1\mu\text{m}$ 到 $M_3(x_3, y_3)$ ，得

$$\begin{aligned} x_3 &= x_2 \quad ; \quad y_3 = y_2 + 1 \quad (1-9) \\ F_3 &= x_e y_3 - y_e x_3 = x_e (y_2 + 1) - y_e x_2 \\ &= x_e y_2 - y_e x_2 + x_e = F_2 + x_e \end{aligned}$$

$$F_3 = F_2 + x_e \quad (1-10)$$

在式(1-8)及式(1-10)中，偏差 F 的推算都只用到终点坐标值 (x_e, y_e) 。所以，加工过程中不必计算加工点的坐标值 (x_m, y_m) 。上述两种情况可得表 1-4。

表 1-4 斜线加工计算

| $F \geq 0$ | | $F < 0$ | |
|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|
| 进 给 | 计 算 | 进 给 | 计 算 |
| $+\Delta x$ | $F - y \rightarrow F$ | $+\Delta y$ | $F + x \rightarrow F$ |

这里与讲圆弧时表 1-3 一样，箭头左边的 F 代表进给前的加工偏差值；箭头右边的 F 代表进给后新的加工偏差值。但值得注意的是，加工圆弧公式中 x 、 y 是加工点的坐标值，且随着进给而改变。而在加工斜线公式中 x 、 y 是斜线的终点坐标，即 x_e 、 y_e ，只不过省去了下标 e ，它是不随进给而变化的。

例 2 需要加工的第一象限斜线 OA 终点坐标为 $x=3$ 、 $y=5$ 。按逐点比较法加工，计算及进给的情况见表 1-5 及图 1-8。

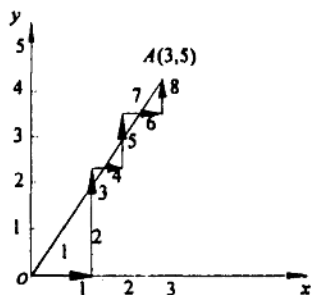


图 1-8 例 2 进给过程

表 1-5 例 2 进给过程

| 步 数 | 工 作 节 拍 | | | |
|--------|--------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| | 第一拍 判 别 | 第二拍 进 给 | 第三拍 偏 差 计 算 | 第四拍 终 点 判 断 |
| 起点 | | | $F = 0$ | $J = 5 \quad G = G_0$ |
| 1 | $F = 0$ | $+\Delta x$ | $F = 0 - 5 = -5$ | $J = 5$ |
| 2 | $F = -5 < 0$ | $+\Delta y$ | $F = -5 + 3 = -2$ | $J = 5 - 1 = 4$ |
| 3 | $F = -2 < 0$ | $+\Delta y$ | $F = -2 + 3 = 1$ | $J = 4 - 1 = 3$ |
| 4 | $F = 1 < 0$ | $+\Delta x$ | $F = 1 - 5 = -4$ | $J = 3$ |
| 5 | $F = -4 < 0$ | $+\Delta y$ | $F = -4 + 3 = -1$ | $J = 3 - 1 = 2$ |
| 6 | $F = -1 < 0$ | $+\Delta y$ | $F = -1 + 3 = 2$ | $J = 2 - 1 = 1$ |
| 7 | $F = 2 < 0$ | $+\Delta x$ | $F = 2 - 5 = -3$ | $J = 1$ |
| 8 | $F = -3 < 0$ | $+\Delta y$ | $F = -3 + 3 = 0$ | $J = 0$ 加工结束 |