

数字程序控制

铣床数控系统

国防工业出版社

数字程序控制线切割机

复旦大学、国营长风机械总厂 合编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书详细地叙述了数字程序控制线切割机的工作原理、制造调试和使用维修等。特别对于数字程序控制台作了由浅入深的重点介绍。全书共分十四章：(一)控制原理及程序编制；(二)单元线路；(三)二进制数与计数器；(四)逻辑代数基础及加法器；(五)串行运算器；(六)输入；(七)加工控制；(八)输出；(九)总逻辑图看图说明；(十)控制台的调试方法及故障分析；(十一)机床；(十二)高频电源；(十三)程序编制中的坐标计算；(十四)机床的使用与维修。

书中内容通俗易懂、结合实际。可供数字程序控制线切割机的制造、操作、维修工人和技术人员，以及有关院校师生参考使用。

数字程序控制线切割机

(只限国内发行)

复旦大学、国营长风机械总厂 合编

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092¹/₁₆ 印张 14 319 千字

1974 年 10 月第一版 1974 年 10 月第一次印刷 印数：00,001—18,000 册

统一书号：15034·1384 定价：1.45 元

目 录

引言	5
第一章 控制原理及程序编制	9
§ 1.1 逐点比较法	9
§ 1.2 圆弧加工偏差	10
§ 1.3 斜线加工偏差	12
§ 1.4 加工运算表	14
§ 1.5 长度控制	15
§ 1.6 程序格式与纸带编码	17
第二章 单元线路	21
§ 2.1 门电路	21
§ 2.2 双稳态触发器	25
§ 2.3 单稳、时标及整形器	30
§ 2.4 单元线路表	33
§ 2.5 其它	35
第三章 二进制数与计数器	40
§ 3.1 二进制数	40
§ 3.2 二进制数与十进制数间的转换	41
§ 3.3 二进制计数器	43
§ 3.4 十进制计数器	45
第四章 逻辑代数基础及加法器	50
§ 4.1 基本逻辑运算	50
§ 4.2 基本定律及逻辑代数式的化简	51
§ 4.3 半加器	55
§ 4.4 全加器	56
第五章 串行运算器	58
§ 5.1 移位寄存器及加法运算的实现	58
§ 5.2 乘 2 运算及 $F + 2x + 1$ 的实现	62
§ 5.3 补码及减法运算的实现	64
§ 5.4 十翻二运算	68
§ 5.5 运算器的构成	70
§ 5.6 时序脉冲	75
第六章 输入	79
§ 6.1 输入概述	79
§ 6.2 读入	81
§ 6.3 奇偶校验与纸带译码	84
§ 6.4 置 X 和置 Y	86
§ 6.5 置 I	89

§ 6.6 计数方向 G 及加工指令 Z 的输入	91
第七章 加工控制	93
§ 7.1 加工控制概述	93
§ 7.2 加工控制信号的获得	95
§ 7.3 加工控制过程举例	98
§ 7.4 走圆修改指令	101
第八章 输出	105
§ 8.1 步进电机的工作原理	105
§ 8.2 环形分配器	107
第九章 总逻辑图看图说明	111
§ 9.1 纸带输入过程	111
§ 9.2 加工控制过程	114
§ 9.3 人工控制开关	116
附录一 面板布置	122
附录二 触发器目录	124
附录三 反相器目录	125
第十章 控制台调试方法及故障分析	128
§ 10.1 印刷线路板调试前的检查工作	128
§ 10.2 逻辑电路的基本调试方法	129
§ 10.3 分块印刷线路板调试举例	135
§ 10.4 总调及故障分析	142
第十一章 机床	153
§ 11.1 机床的功用与要求	153
§ 11.2 机床的结构特点	154
§ 11.3 机床的检查与调整	165
§ 11.4 其它结构形式简介	167
§ 11.5 机床电器线路	170
第十二章 高频电源	174
§ 12.1 电蚀原理	174
§ 12.2 晶体管式高频电源	177
§ 12.3 其它参考线路	181
第十三章 程序编制中的坐标计算	183
§ 13.1 计算方法	183
§ 13.2 检查与校对	193
§ 13.3 实例	194
第十四章 机床的使用与维修	210
§ 14.1 技术数据与使用范围	210
§ 14.2 使用方法	211
§ 14.3 线切割加工工艺	213
§ 14.4 常见故障及其排除方法	215

数字程序控制线切割机

复旦大学、国营长风机械总厂 合编

国防工业出版社
1975.1.28

内 容 简 介

本书详细地叙述了数字程序控制线切割机的工作原理、制造调试和使用维修等。特别对于数字程序控制台作了由浅入深的重点介绍。全书共分十四章：(一)控制原理及程序编制；(二)单元线路；(三)二进制数与计数器；(四)逻辑代数基础及加法器；(五)串行运算器；(六)输入；(七)加工控制；(八)输出；(九)总逻辑图看图说明；(十)控制台的调试方法及故障分析；(十一)机床；(十二)高频电源；(十三)程序编制中的坐标计算；(十四)机床的使用与维修。

书中内容通俗易懂、结合实际。可供数字程序控制线切割机的制造、操作、维修工人和技术人员，以及有关院校师生参考使用。

数字程序控制线切割机

(只限国内发行)

复旦大学、国营长风机械总厂 合编

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092¹/₁₆ 印张 14 319 千字

1974 年 10 月第一版 1974 年 10 月第一次印刷 印数：00,001—18,000 册

统一书号：15034·1384 定价：1.45 元

目 录

引言	5
第一章 控制原理及程序编制	9
§ 1.1 逐点比较法	9
§ 1.2 圆弧加工偏差	10
§ 1.3 斜线加工偏差	12
§ 1.4 加工运算表	14
§ 1.5 长度控制	15
§ 1.6 程序格式与纸带编码	17
第二章 单元线路	21
§ 2.1 门电路	21
§ 2.2 双稳态触发器	25
§ 2.3 单稳、时标及整形器	30
§ 2.4 单元线路表	33
§ 2.5 其它	35
第三章 二进制数与计数器	40
§ 3.1 二进制数	40
§ 3.2 二进制数与十进制数间的转换	41
§ 3.3 二进制计数器	43
§ 3.4 十进制计数器	45
第四章 逻辑代数基础及加法器	50
§ 4.1 基本逻辑运算	50
§ 4.2 基本定律及逻辑代数式的化简	51
§ 4.3 半加器	55
§ 4.4 全加器	56
第五章 串行运算器	58
§ 5.1 移位寄存器及加法运算的实现	58
§ 5.2 乘 2 运算及 $F + 2x + 1$ 的实现	62
§ 5.3 补码及减法运算的实现	64
§ 5.4 十翻二运算	68
§ 5.5 运算器的构成	70
§ 5.6 时序脉冲	75
第六章 输入	79
§ 6.1 输入概述	79
§ 6.2 读入	81
§ 6.3 奇偶校验与纸带译码	84
§ 6.4 置 X 和置 Y	86
§ 6.5 置 I	89

§ 6.6 计数方向 G 及加工指令 Z 的输入	91
第七章 加工控制	93
§ 7.1 加工控制概述	93
§ 7.2 加工控制信号的获得	95
§ 7.3 加工控制过程举例	98
§ 7.4 走圆修改指令	101
第八章 输出	105
§ 8.1 步进电机的工作原理	105
§ 8.2 环形分配器	107
第九章 总逻辑图看图说明	111
§ 9.1 纸带输入过程	111
§ 9.2 加工控制过程	114
§ 9.3 人工控制开关	116
附录一 面板布置	122
附录二 触发器目录	124
附录三 反相器目录	125
第十章 控制台调试方法及故障分析	128
§ 10.1 印刷线路板调试前的检查工作	128
§ 10.2 逻辑电路的基本调试方法	129
§ 10.3 分块印刷线路板调试举例	135
§ 10.4 总调及故障分析	142
第十一章 机床	153
§ 11.1 机床的功用与要求	153
§ 11.2 机床的结构特点	154
§ 11.3 机床的检查与调整	165
§ 11.4 其它结构形式简介	167
§ 11.5 机床电器线路	170
第十二章 高频电源	174
§ 12.1 电蚀原理	174
§ 12.2 晶体管式高频电源	177
§ 12.3 其它参考线路	181
第十三章 程序编制中的坐标计算	183
§ 13.1 计算方法	183
§ 13.2 检查与校对	193
§ 13.3 实例	194
第十四章 机床的使用与维修	210
§ 14.1 技术数据与使用范围	210
§ 14.2 使用方法	211
§ 14.3 线切割加工工艺	213
§ 14.4 常见故障及其排除方法	215

引 言

在毛主席无产阶级革命路线的指引下，数字程序控制线切割机在无产阶级文化大革命中胜利诞生了，这是工人阶级占领科技阵地的丰硕成果。

数字程序控制线切割机是一台小型自动化机床（见图 1），用于加工由直线和圆弧组成的各种复杂形状的金属冲模与零件。控制精度为 1 微米，加上机床误差，实际加工精度一般可达 ± 10 微米。

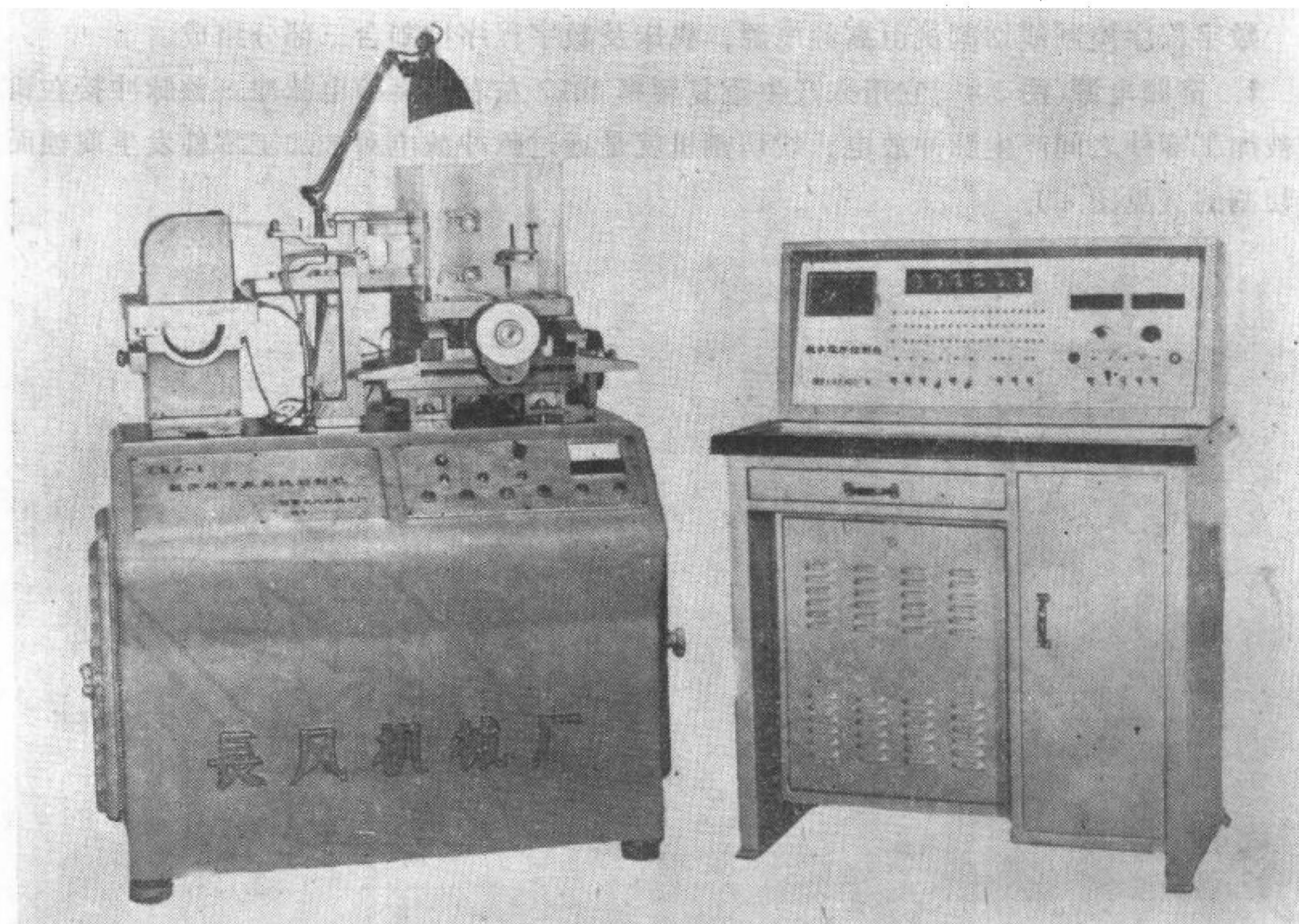


图 1 数字程序控制线切割机

目前可加工最大圆弧半径为 250 毫米，表面光洁度达 $\nabla 6 \sim \nabla 7$ ，能直接加工厚度不超过 60 毫米的硬质合金。尤其适用于冲模的生产，解决了过去开模具手工操作劳动强度高、生产时间长、精度差、影响新产品试制等问题。对于加工一些小而精、用其它方法难以加工的零件也特别有利，如手表中的时轮（见图 2）等。由于它具有上述优点，因而得到了广泛的应用。

数字程序控制是指用专用计算机来进行自动控制。机床数字程序控制系统分为点位式和连续式两大类。点位式的数字程序控制是指对于给定的中心点进行自动定位，如钻床、镗床、绣花机及冲床等。连续式的数字程序控制是指自动控制刀具或工件作连续不断地相

对运动，如铣床、车床、磨床等。一般说来，点位式比连续式较为简单，线切割机的数字程序控制系统属于后者。

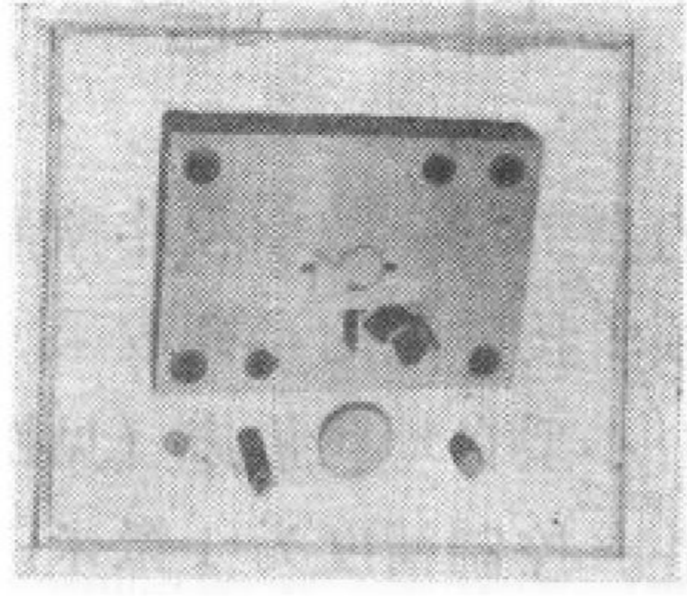


图2 加工零件

数字程序控制线切割机由高频电源、机床及数字程序控制台三部分组成。

1. **高频电源**(图3) 它用来产生重复频率20kc左右的高频电脉冲。该脉冲接在钼丝与被加工零件之间产生脉冲放电。线切割机就是通过脉冲放电对被加工零件发生腐蚀而进行切割的(见图4)。

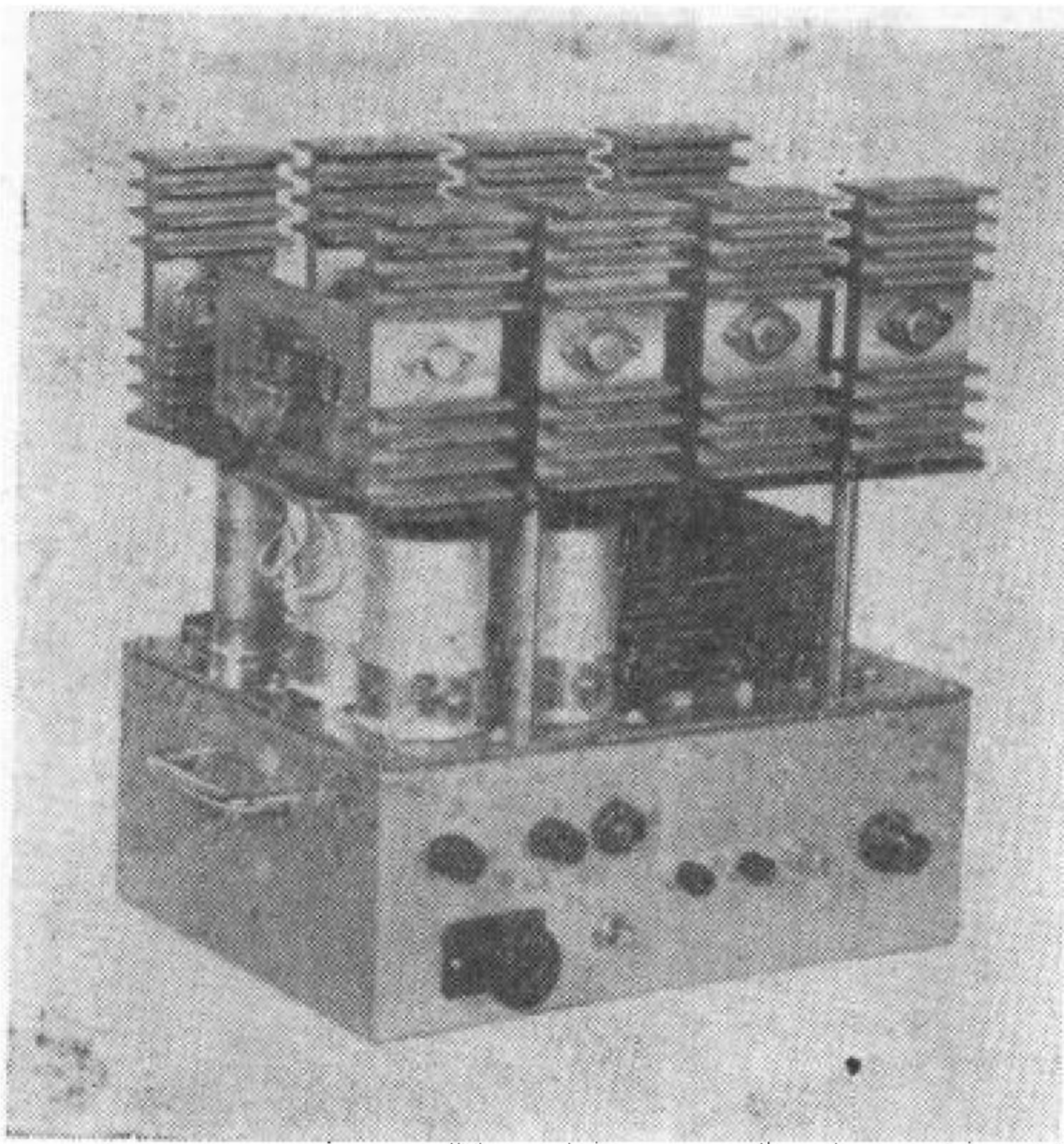


图3 高频电源

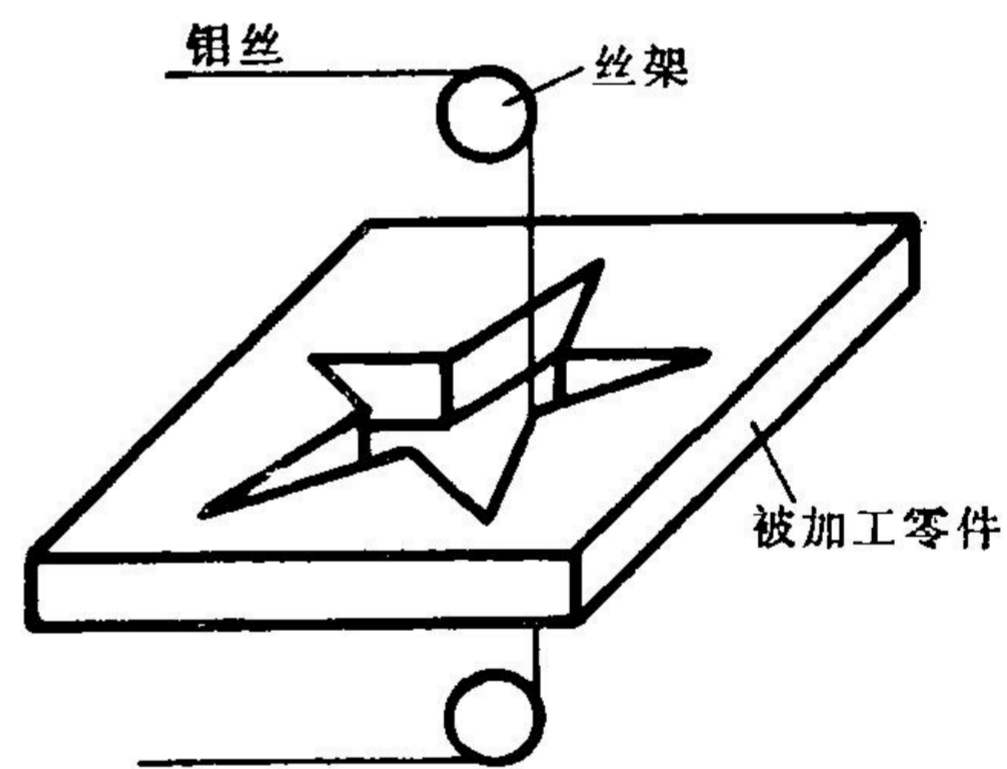


图4 切割示意图

2. **机床**(图5) 由床身、丝架、运丝机构和十字拖板四个部分组成。绕在转动的贮丝筒上的钼丝经过丝架来回作高速走动，有利于延长钼丝寿命及提高生产率。工件固定在十字拖板上，纵横十字拖板的二根丝杆分别由二个步进电机带动。控制台每发出一个进给信号，步进电机就转动一步(3°)。通过齿轮变速后带动丝杆，使拖板移动(称为进给)1微米距离。控制台就是控制发给两个步进电机的进给信号的时间与数目。若使两块拖板按一定比例移动，便切割出一条斜线；若使拖板按圆弧顺序移动，便能切割出一段圆弧。

3. **数字程序控制台** 是一架小型专用电子计算机，其外型见图6(a)、(b)。它能按照人的“命令”自动进行计算，并发出控制步进电机的进给信号。它有一台附属输入机接收人的“命令”。

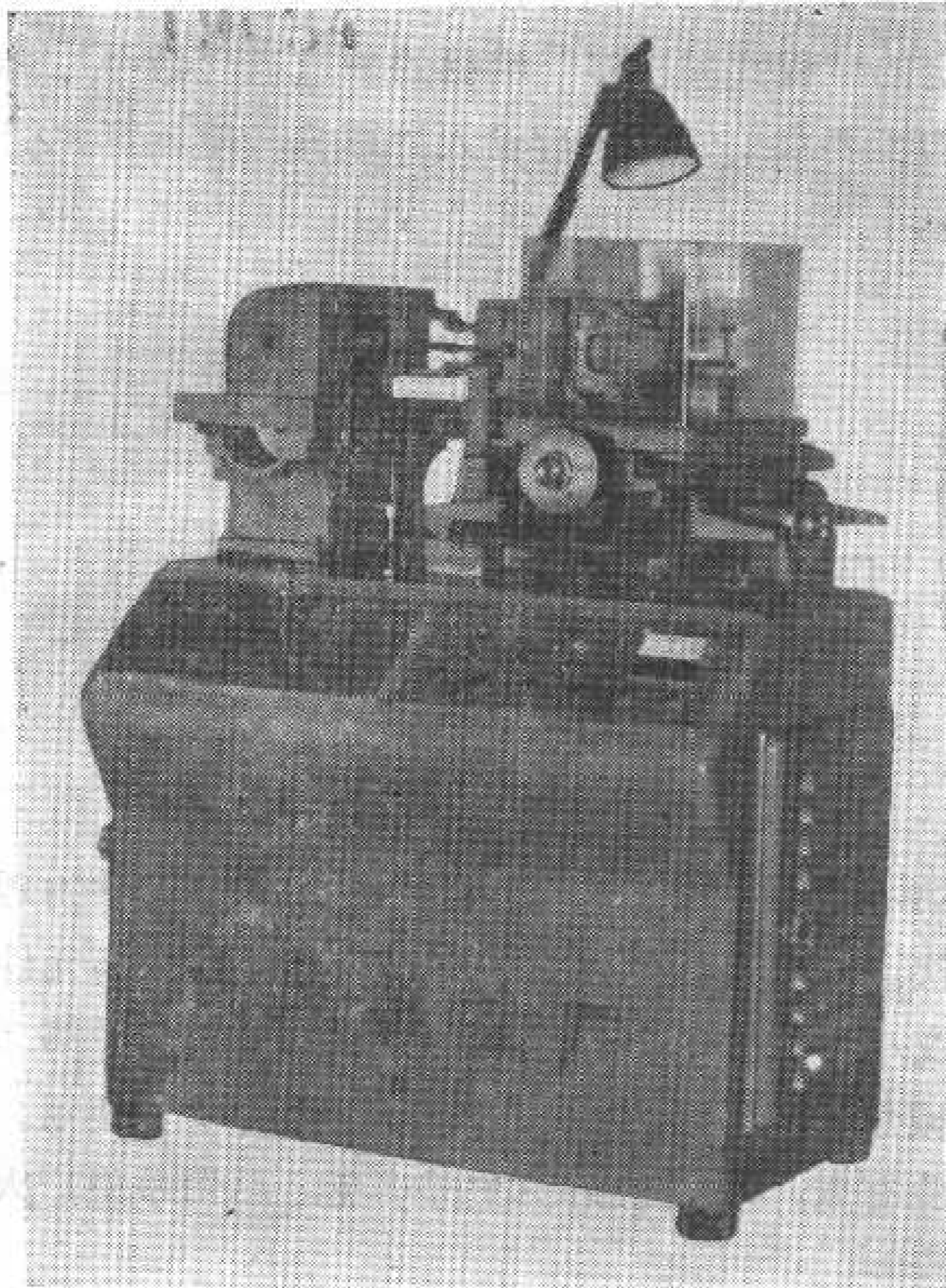
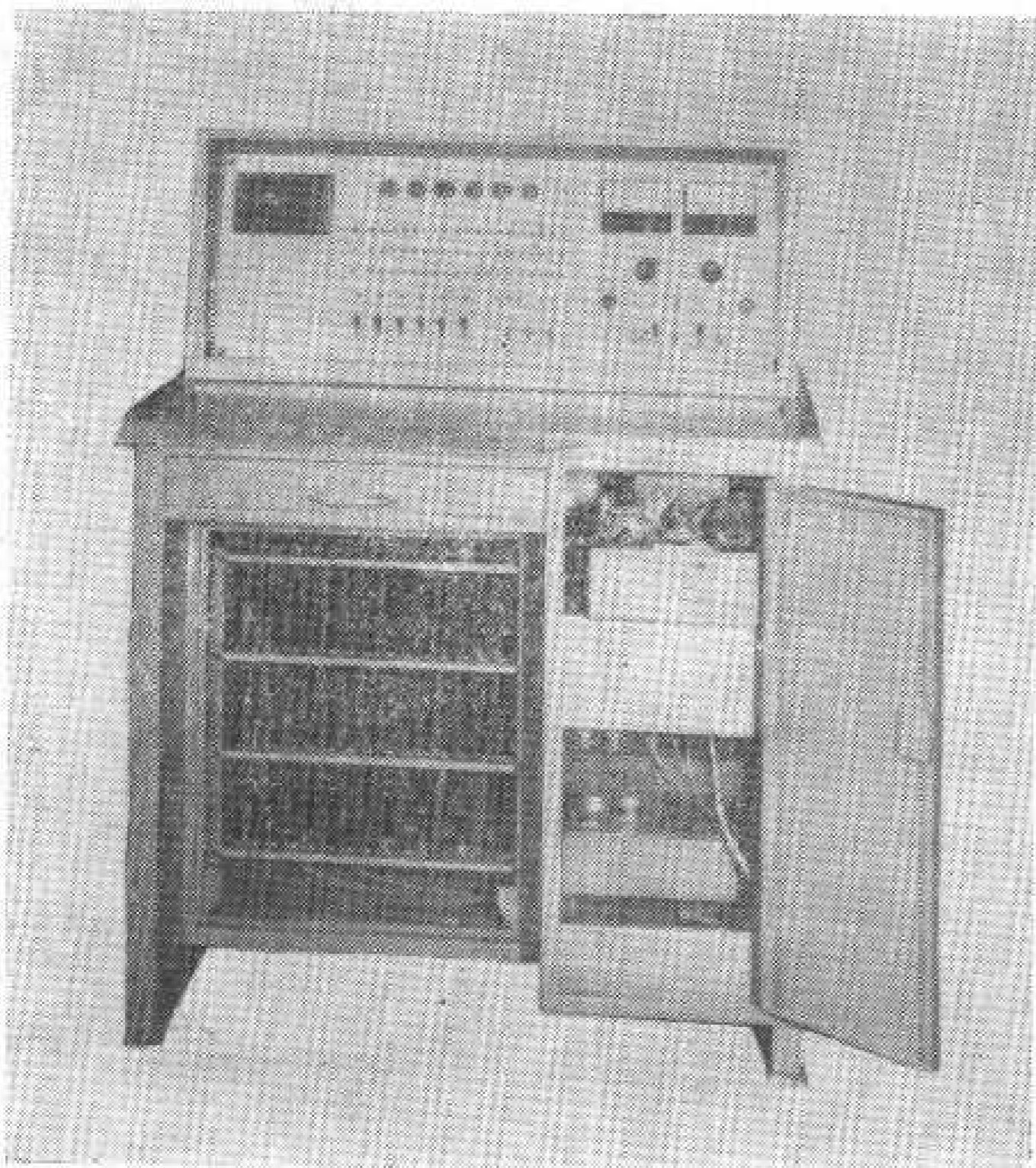
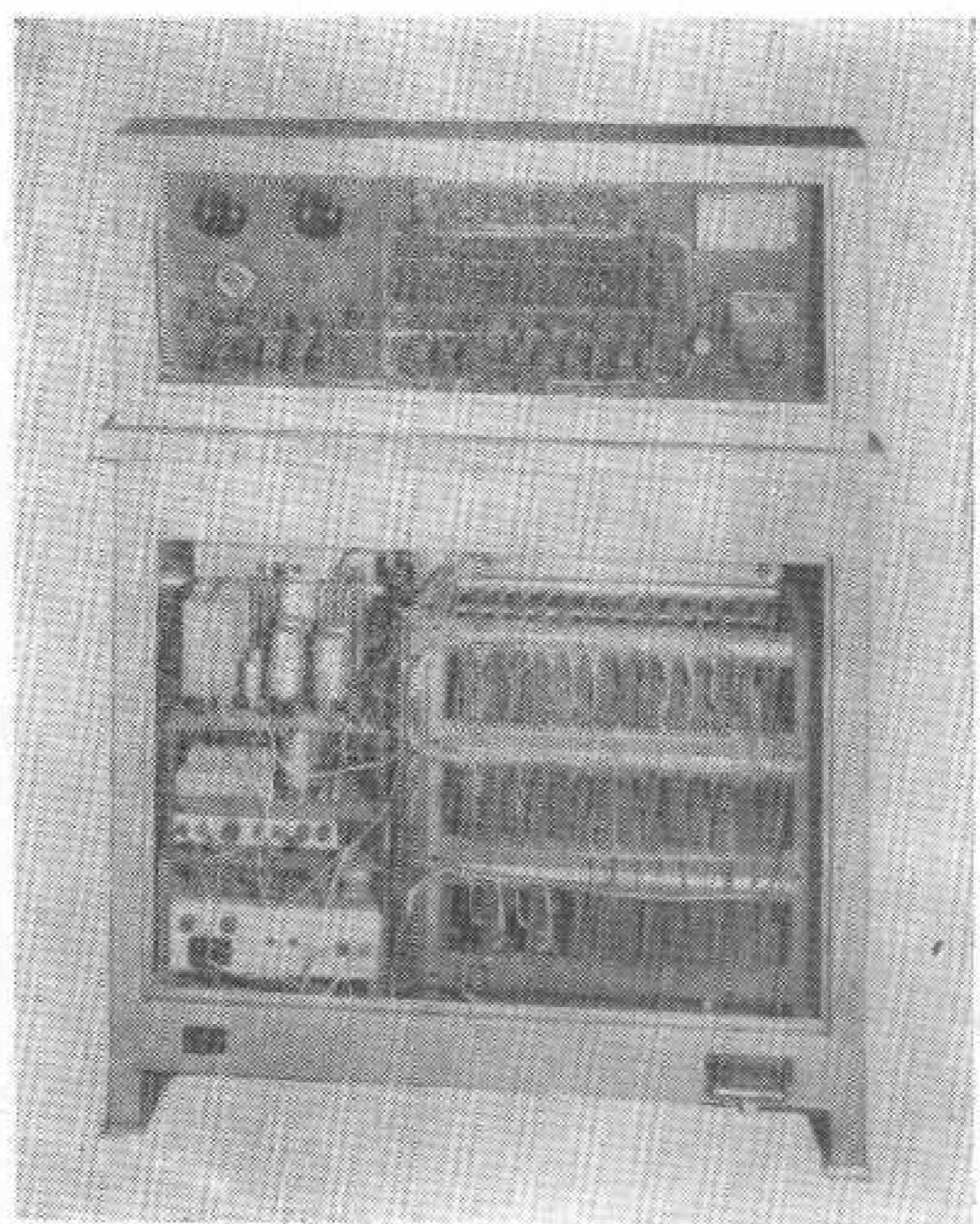


图 5 机床



(a)



(b)

图 6 控制台

在机器上一个工件的加工过程，如图7所示。

所谓程序是按照一定的“程式和次序”编排的一道道“命令”。由人根据图纸上被加工零件的形状、尺寸和加工要求编好程序后输入计算机，使计算机能按照预定要求实现自动控制。

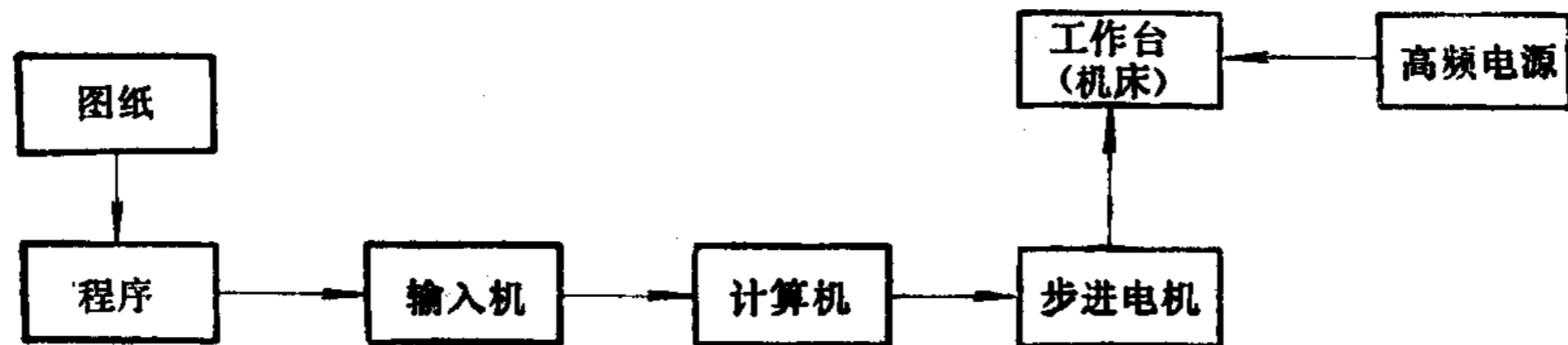


图7 工件的加工过程

本书分为两部分：第一章至第十章为第一部分，由复旦大学物理系编写，介绍数字程序控制台原理及调试方法。本书讲的单元线路都是由晶体管分离元件构成，但整个控制台的逻辑结构不需作大的变动，完全可以改用集成电路组件构成。第二部分为第十一章至第十四章，由国营长风机械总厂编写，介绍机床、高频电源及其使用。

由于业务水平和经验有限，缺点和错误在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1974年1月

第一章 控制原理及程序编制

计算机的直接功能是进行数值计算。为什么计算机能按人们的意愿去指挥机床工作，自动加工出需要的工件呢？本章首先介绍用计算机进行控制的原理。

§ 1.1 逐点比较法

首先粗略地介绍一下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 \widehat{AB} (图 1-1)，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 A 点出发进行加工，设某一时刻加工点在 M_1 ，一般说来 M_1 和圆弧 \widehat{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 \widehat{AB})靠拢。

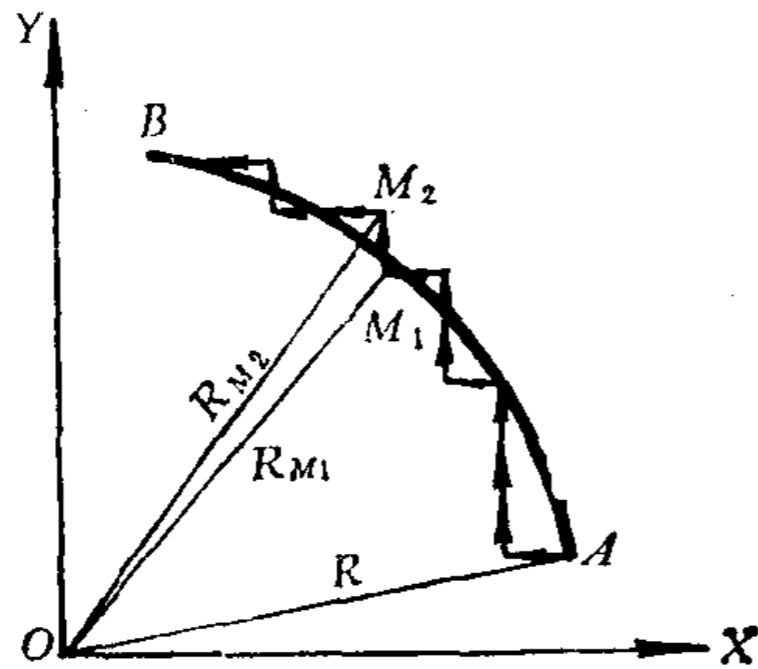


图 1-1

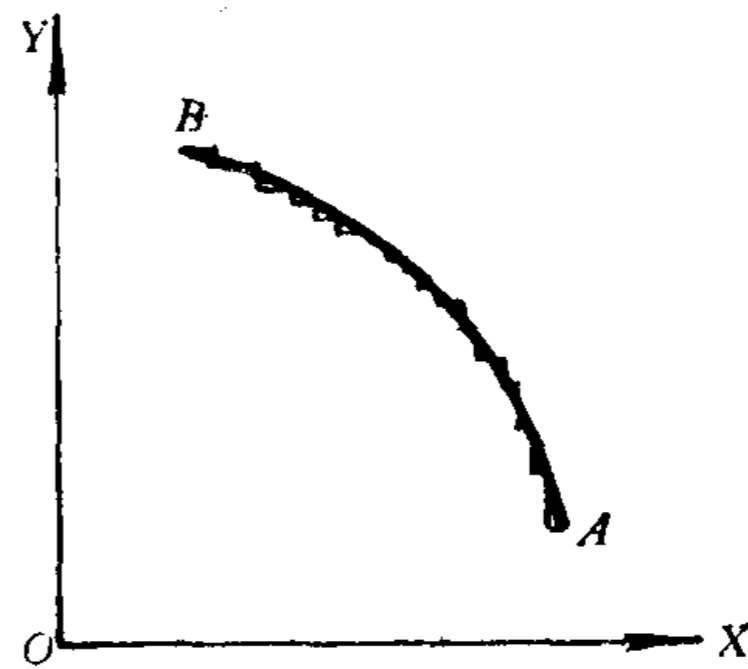


图 1-2

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 ，由于，如概述中讲过的那样，拖板进给由步进电机带动，进给的步长为固定的(1微米)，故新的加工点，一般说，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。

这里很清楚，加工的结果是用折线来代替圆弧，为了看得清楚起见，在图 1-1 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 1-2 所示，步长小了，加工误差也比图 1-1 小，而实际加工时，进给步长仅为 1 微米，故实际误差是很小的。

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. 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微米)，以向规定图形靠拢；
3. 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。

右边就是这三个工作节拍的方框图。

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。

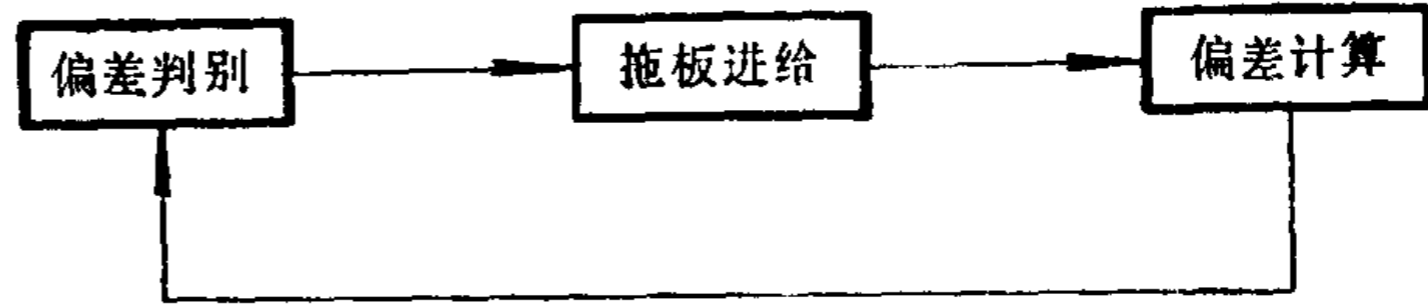


图 1-3

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 圆弧加工偏差

一、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 \widehat{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1-4）。

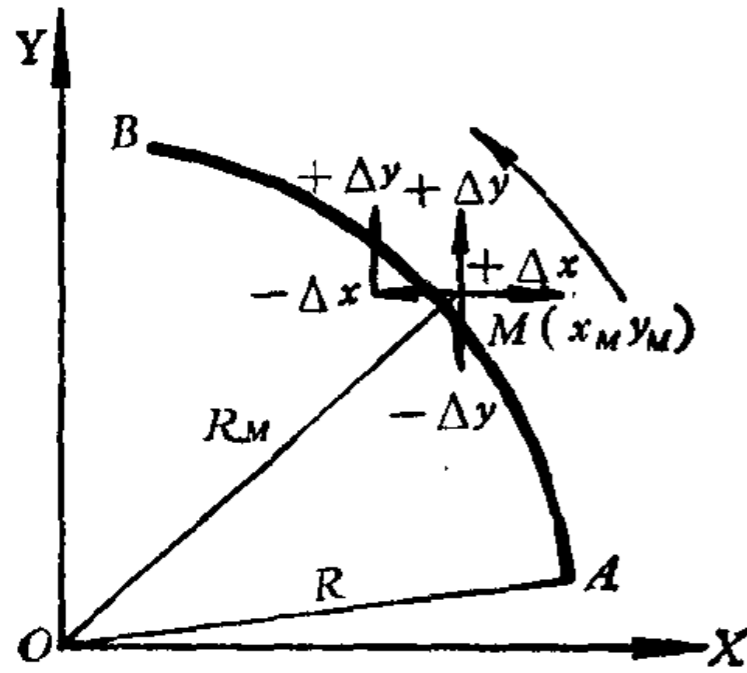


图 1-4

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点进给可以走的方向有四个，在图 1-4 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

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

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 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？

二、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，那末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 1-5), 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 微米, 到 $M_2(x_2, y_2)$, 得

$$x_2 = x_1 - 1; y_2 = y_1 \quad (1-2)$$

所以 M_2 点的加工偏差

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

$$\text{即} \quad F_2 = F_1 - 2x_1 + 1 \quad (1-3)$$

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 1-5), 则需沿 $+\Delta y$ 方向进给 1 微米到 $M_3(x_3, y_3)$, 得

$$x_3 = x_2; y_3 = y_2 + 1 \quad (1-4)$$

所以 M_3 点的加工偏差

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

$$\text{即} \quad F_3 = F_2 + 2y_2 + 1 \quad (1-5)$$

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

$F \geq 0$		$F < 0$	
进 给	计 算	进 给	计 算
$-\Delta x$	$F - 2x + 1 \rightarrow F$ $x - 1 \rightarrow x$ $y \rightarrow y$	$+\Delta y$	$F + 2y + 1 \rightarrow F$ $x \rightarrow x$ $y + 1 \rightarrow y$

这里, 箭头左边的 x 、 y 、 F 代表进给前的加工点坐标值和偏差值, 箭头右边的 x 、 y 、 F 代表进给后的加工点的坐标值和偏差值。

例 1 加工第一象限内圆弧 \widehat{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 1-6。

表 1-2 中最后一行 (第四个工作节拍: 终点判断) 可暂且不看, 在 § 1.5 中将要专门介绍。

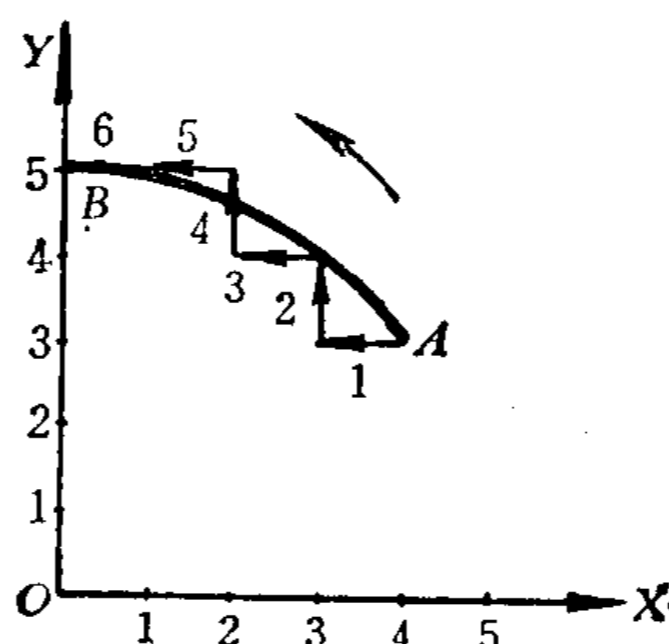


图 1-6

表 1-2

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	$F = 0$	$-\Delta x$	$F = 0 - 2 \times 4 + 1 = -7$ $x = 4 - 1 = 3, \quad y = 3$	$J = 4 - 1 = 3$
2	$F = -7 < 0$	$+\Delta y$	$F = -7 + 2 \times 3 + 1 = 0$ $x = 3, \quad y = 3 + 1 = 4$	$J = 3$
3	$F = 0$	$-\Delta x$	$F = 0 - 2 \times 3 + 1 = -5$ $x = 3 - 1 = 2, \quad y = 4$	$J = 3 - 1 = 2$
4	$F = -5 < 0$	$+\Delta y$	$F = -5 + 2 \times 4 + 1 = 4$ $x = 2 \quad y = 4 + 1 = 5$	$J = 2$
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	$F = 1 > 0$	$-\Delta x$	$F = 1 - 2 \times 1 + 1 = 0$ $x = 1 - 1 = 0 \quad y = 5$	$J = 1 - 1 = 0$ 加工结束

§ 1.3 斜线加工偏差

一、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，斜线起点到加工点连线与坐标轴 \vec{OX} 的夹角同规定斜线与 \vec{OX} 夹角的大小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 (x_e, y_e) 。如图 1-7 所示，需加工斜线 OA 与轴 \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 \vec{OX} 的夹角为 α_M 。

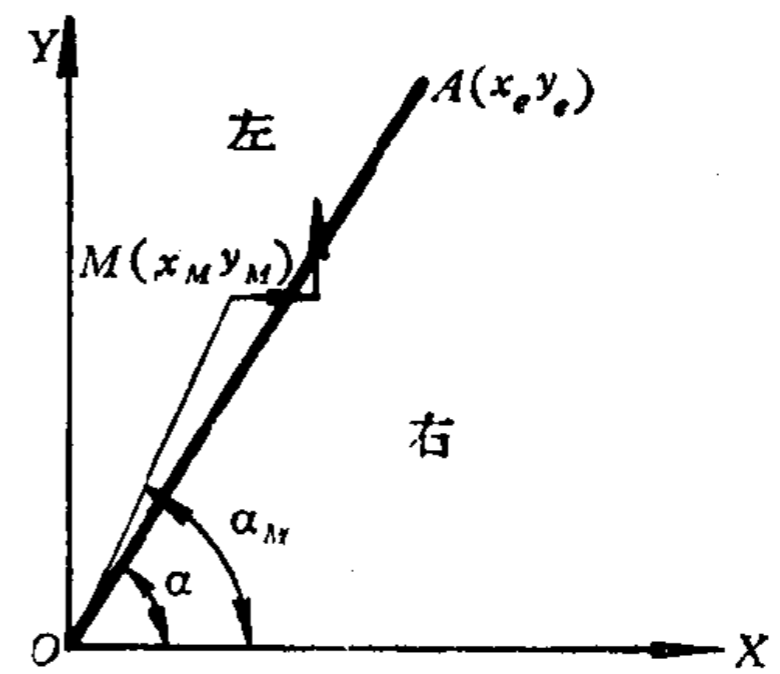


图 1-7

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

$$\operatorname{tg} \alpha_M = \frac{y_M}{x_M}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{y_e}{x_e}$$

比较它们的大小又可化为判别它们差的符号，因为

$$\operatorname{tg} \alpha_M - \operatorname{tg} \alpha = \frac{y_M}{x_M} - \frac{y_e}{x_e} = \frac{x_e y_M - y_e x_M}{x_M x_e}$$

而 $x_M x_e > 0$ （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

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

二、偏差计算

同加工圆弧一样，直接计算偏差较麻烦，仍采用递推法。