

ZD—065

微型电子计算机系统

应用专辑
(一)

中山大学科研处

1983.3.

目 录

1. 用ZD-065 单板机控制线切割机床的软件设计及提高
加工精度的研究 陈祚和 李人翼 ----- 1
2. ZD-065 微型机BASIC功能自动检测程序的设计
凌祚基 黄劲 -----12
3. 微型机控制的核磁共振谱仪 张光昭等 ----- 16
4. 物理实验中的微处理系统之初步研究 周云标 3福炯
----- 18
5. 用户意见(摘要) -----27

用ZD-065单板机控制线切割机床的软件设计及提高加工精度的研究

物理系 微机室 陈焱和 李人翼

七〇年代初,我国开始制造程序控制线切割机床,控制机均用分立元件安装,功能少、稳定性差、故障率高。现在我们采用ZD-065单板微型计算机对线切割机进行控制,不但功能大大增加,稳定性提高,故障率减少,而且加工精度大大提高、价格低廉。用微型计算机控制线切割机具有很大的经济和技术价值,值得全面推广使用。

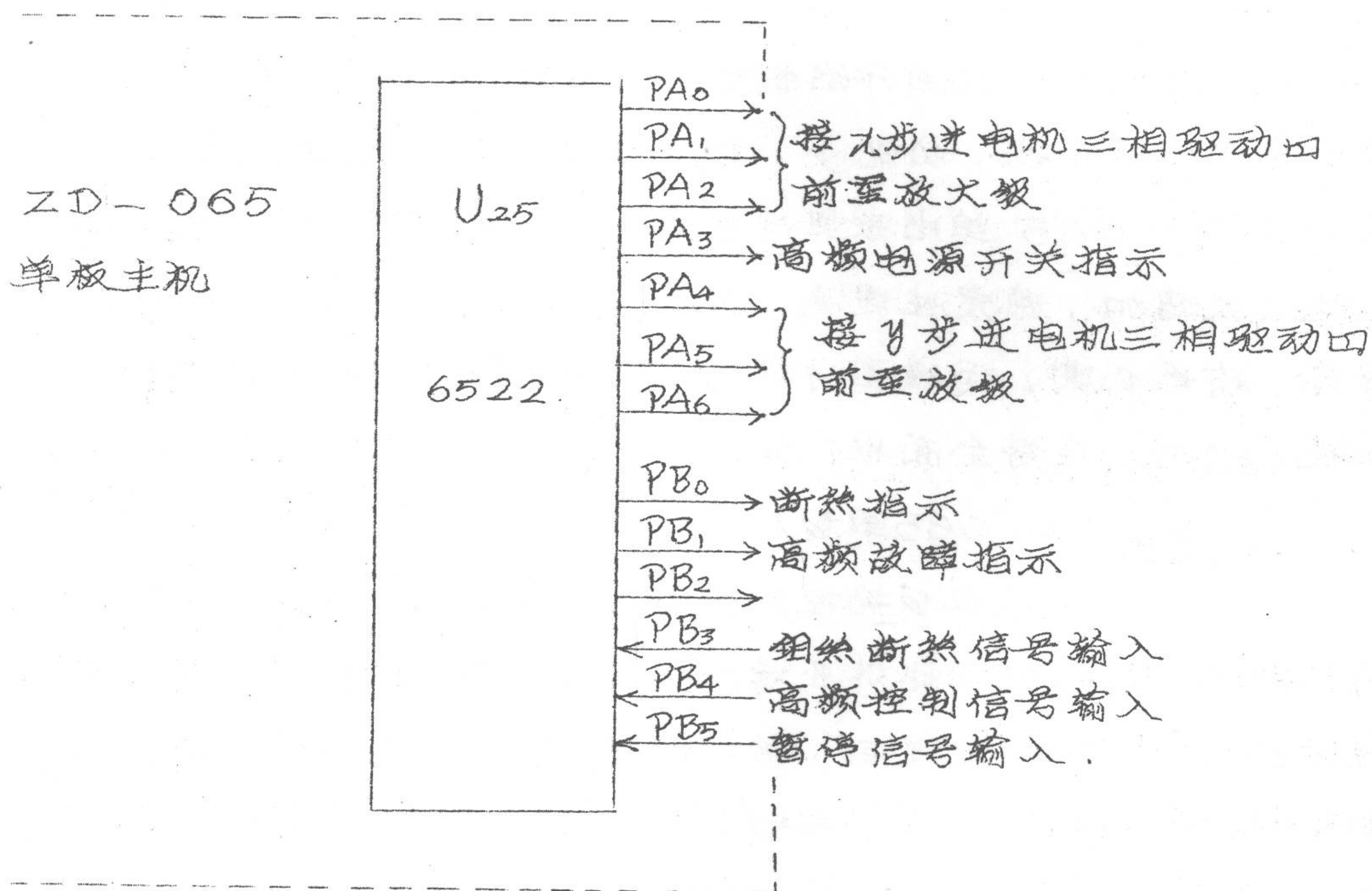
用ZD-065单板机控制线切割机床的软件设计

用ZD-065单板机控制线切割机的软件功能除实现传统的数控机床的全部功能外,还增加了自动间隙补偿、钼丝与工件短路或高频故障自动退回,钼丝断丝可退回到任意穿丝点,空走画图,编程错误处理,图形平移, x 、 y 对称, 45° 、 135° 镜像对称、图形旋转、间隙补偿等;还有很多辅助功能:\$0000~\$FFFF地址中的内容自动显示,对RAM中存放数据类型(分三种格式:切割、旋转、间隙补偿)自动识别,任意寻找某一组数据存放的起始地址,数据搬移等。辅助软件对数据的核对、查找和删改提供了极大方便。

ZD-065单板机键盘上有 $V_0 \sim V_7$ 八个由用户自定义的键,可用软件实现互锁和自锁。操作人员直接用这八个键按顺序进行操作,否则计算机显示出错,不执行命令,有效防止误操

作提高使用的可靠性。ZD-065 单板机接口功能丰富，可以用软件代替原来的环形分配器；接口的灵敏和抗干扰能力强，接口输出线可直接与大功率驱动器的输入前置级直接连接。若通过光电耦合器连接，更提高其抗干扰能力，计算机与线切割机外围设备的连线十分简单，既适用作新一代的线切割机床的控制，对改造和直接替换旧线切割机床的控制台也十分方便。

ZD-065 单板机与线切割机的硬件连接如下图：



一、加工软件设计：

1. 切割主程序的设计：

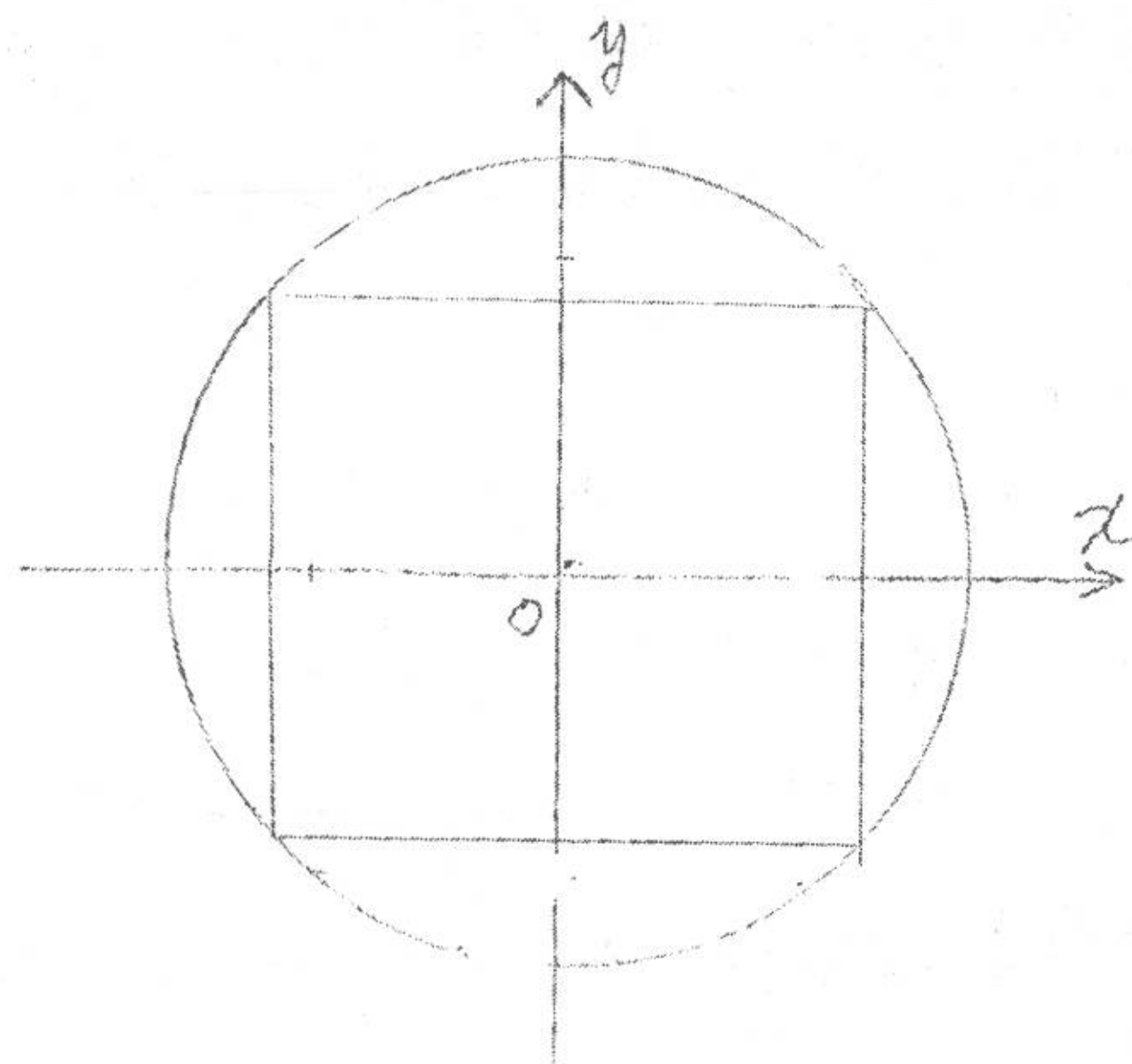
为了照顾原有的使用习惯，仍采用逐点比较法的数学模型进行设计，圆弧的终点计数长度采用以 $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, -45^\circ$ 为顶点的内接正方形边长作计数长度如下页右图所示。取代原来的以 X、Y 轴为计数长度，这样可省掉圆弧的计数方向输入。

大大提高加工精度，处理短路退回也很简单。对直线只需输入 x 、 y 值，由计算机根据 x 、 y 值确定计数长度 J 值。这样不但使 RAM 能存放更多的数据，且由于减少数据输入，也降低输入数据的出错率。切割数据输入格式为：

圆弧：

加工指令	x 值	y 值	J 值
1 字节	4 字节	4 字节	3 字节

加工指令	x 值	y 值
1 字节	3 字节	3 字节



加工范围：圆弧最大加工半径

$$R = 10000000 \mu m = 10m$$

圆弧或直线每段加工的最大

长度为： $J = 999999 \mu m \approx 1m$

圆弧以内接正方形作
终点计数图示

由于切割格式比原来的 3B 格式更简单，4K RAM 可存放 500 组左右切割数据，最多可存放 585 组直线数据。切割过程同时显示计数长度 J ，每进给一步 J 减 1， $J = 0$ 时一段线段加工完毕，接着显示该线段的顺序号，取出下一组数据，显示顺序号加 1，使操作人员直观监视切割过程。

2. 自动齿隙补偿：

步进电机换向时，拖板丝杆的齿隙引进的机械误差叫齿隙误差，一般为 1—2 丝，即 $10 \sim 20 \mu m$ ，这是提高线切割机加工精度的主要障碍之一。目前靠提高机械加工精度以减少丝杆齿隙引入的误差是很困难的，有了自动齿隙补偿的软件，便可弥补机械造成的误差。考虑到每台机床丝杆误差的分散性及

随着使用时间而增大的特点，且 x 、 y 方向丝杆的误差往往不相同，齿隙补偿数是可变的，每台机床在切割工件前必须分别先输入 x 、 y 补偿数，否则机床不能进行切割加工，以防操作人员忘记打入齿隙数而增加误差。其补偿原理是：采用进给方向比较法，把下一次的进给方向与上一次作比较，便可确定下一次加工的 x 、 y 进给方向是否换向，以确定那一方向需要补偿。

3. 钼丝短路和高频故障退回：

线切割机的进给速度是由高频电源送出的进给信号确定的，由于偶然因素使进给速度过快，造成钼丝与工件相碰短路，使高频输出过载过重而无进给信号输出（高频源本身的故障道理是相同的）时，机床即自动按原路退回 $100\mu m$ ，若钼丝离开工件后高频电源恢复正常工作，机床又按原来的方向切割，当退回到这一组数据的起点，仍小于 $100\mu m$ 时，自动取出上一组数据继续退回，直至退回 $100\mu m$ 停止，若这时高频仍有故障，无进给信号输出，即发出报警声，提醒操作人员高频源有故障，要立刻停机检查。

4. 断丝退回：

钼丝使用时间过长或因其他原因造成断丝故障，即发出断丝报警信号，操作人员检查确认钼丝已断，便可按退回键，使机床退回到原来的穿丝点，若工件只有唯一穿丝点，则软件会选择最近路线回到原来的穿丝点；若有多个穿丝点，则按原路退回到最近一个穿丝点。也可操作机床退回到任一线段，只要按退回键跟着输入退回线段的顺序号，机床即退回到该线段的起点。退回时考虑了齿隙补偿，只要输入的补偿数准确无误，退回时不会引入任何误差。其退回原理与钼丝短路或高频故障退回一样，是切割操作的逆过程。退回速度由计算机的延时程

序控制。

5. 画图：

需要加工的工件完成数据计算后，可用画图笔先画出工件图、检查是否正确后，才正式切割工件，使操作人员很方便检查计算的数据是否正确。此时不开高频电源，步进电机的进给速度由计算机的延时数来控制，其延时数为 $1 \sim 9999 \text{ ms}$ ，对应步进电机的工作频率为 $0.1 \sim 1000 \text{ Hz}$ ，可任意选择输入延时数，以控制步进电机合适的速度。

6. 用软件代替环形分配器：

ZD-065 单板机有三片可编程的接口芯片 6522，是计算机与被控制外围设备的接口，可以用软件代替原来的环形分配器，这样节省了硬件，降低成本，也提高了可靠性。

6522 芯片并行输出口每条线均可单独编程作输出或输入其负载能力也很强，可直接与步进电机的驱动口输入级连接，只要按步进电机的运行模式分别对三相每条线编程输出，即可省掉环形分配器。

7. 采用浮充蓄电池作计算机电源：

用浮充蓄电池作计算机电源，便可避免因市电突然中断而导致工件报废。当市电突然中断时，把中间数据录到磁带上，待市电恢复后，便可继续加工。需要加工时间长的工件也可分段加工，处理方法与突然停电的相同。

二、数据处理软件设计：

ZD-065 是一台通用微型数字计算机，故可作各种数据处理，大大减少手工编程的工作量，实际已具有部分自动编程的功能。

1. 八位精度十进浮点运算程序：

浮点运算输入数的方式采用通用的标准形式，有效数字化

为纯小数输入：

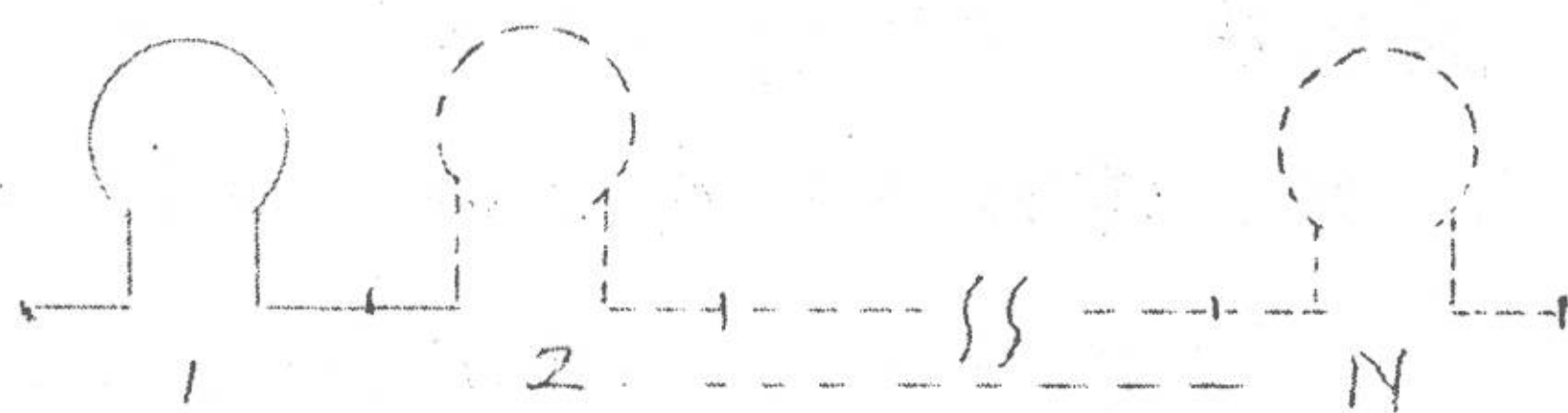
数正 页号	阶码正 页号	阶码	有效数字
半字节	半字节	1字节	四字节

例： $-13.625 \times 10^{-9} = -0.13625 \times 10^{-7}$

11	07	13	62	50	00
----	----	----	----	----	----

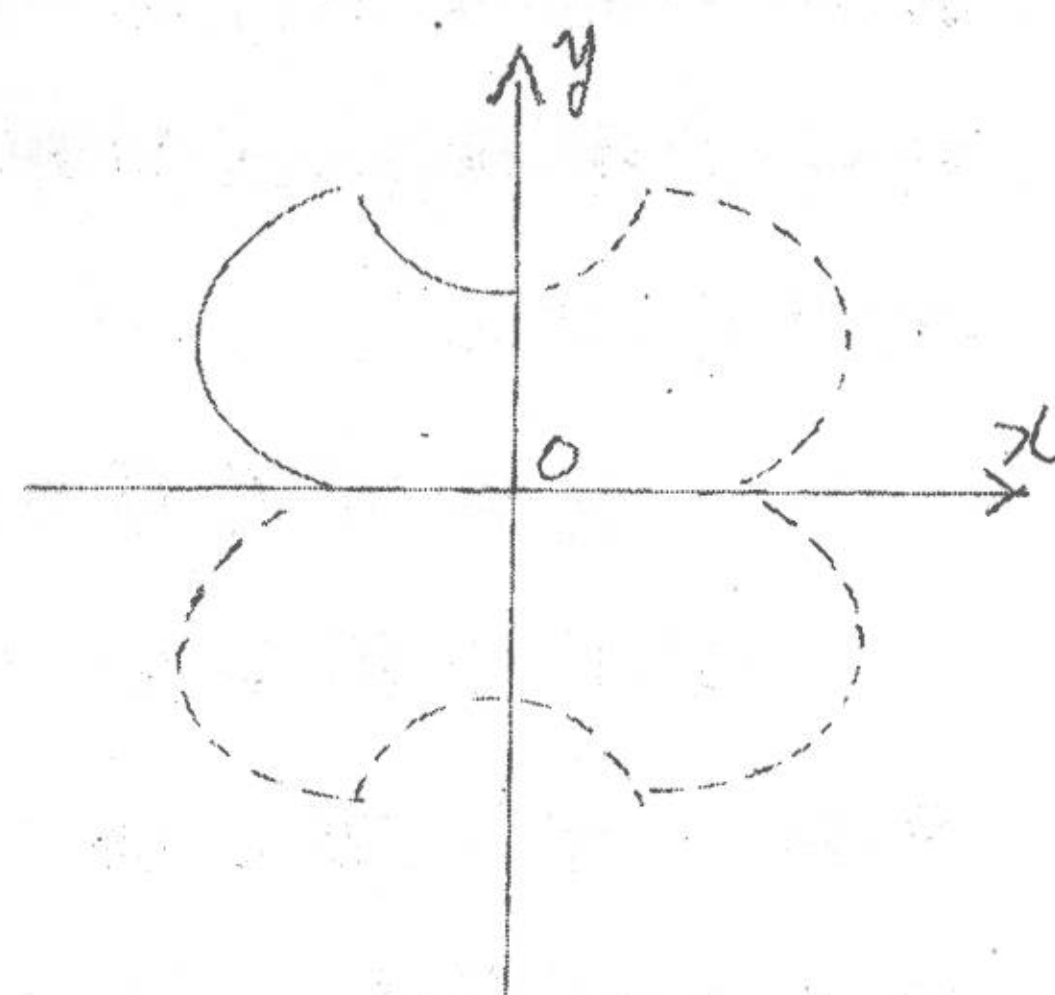
2. 平移：

若加工工件的图形沿直线方向对称分布，只要找出一组图形的数据，便可用平移 N 次得到所需的图形。



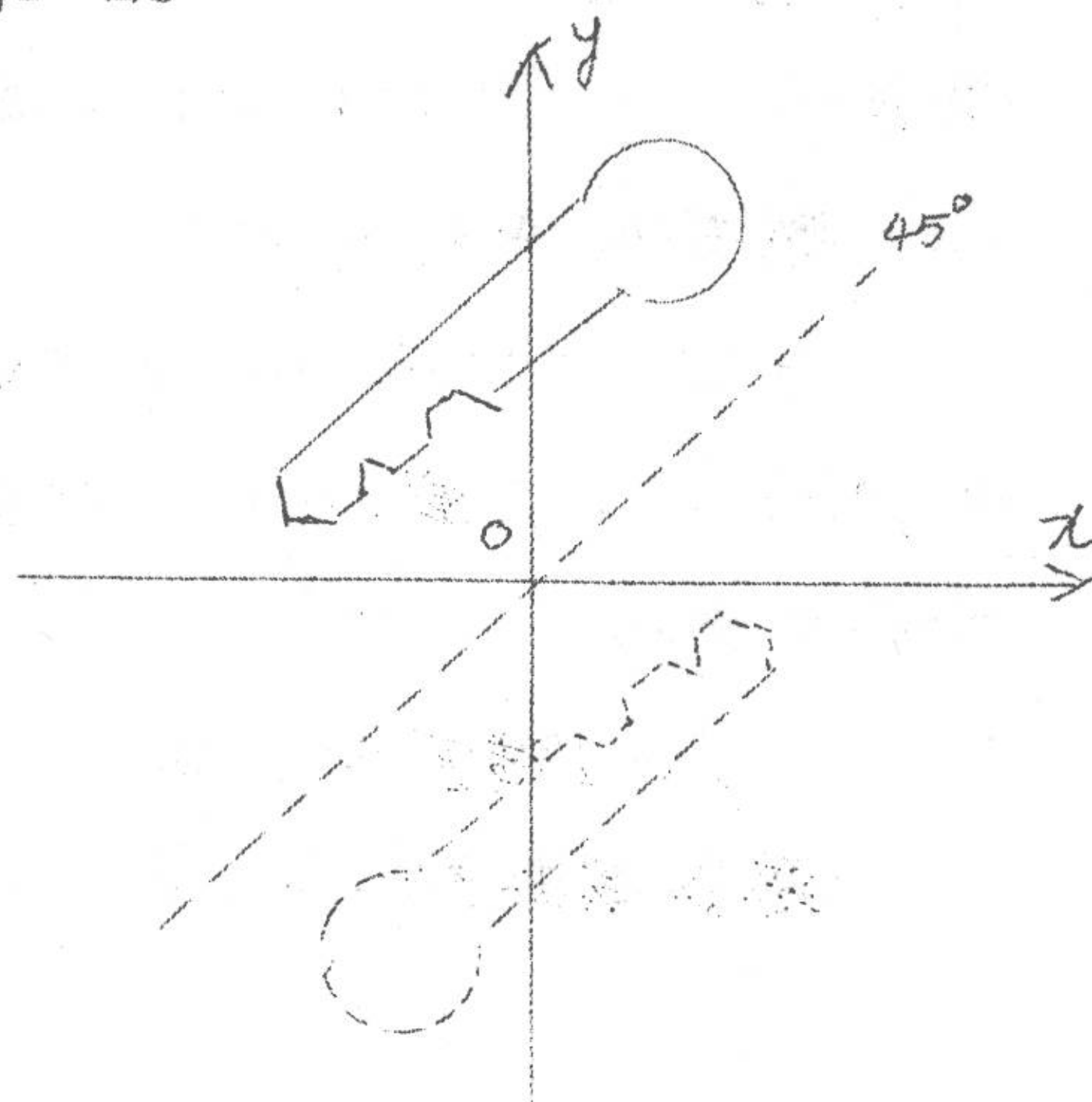
3. x 、 y 对称：

若工件图形以 x 、 y 轴为对称，如右图所示，只要找出一个象限的图象，例如：第三象限，便可通过 y 对称得到第一象限的图象，再通过 x 对称，得到 4、3 象限的图象。



4. 镜像对称：

工件图形由镜像对称得到一倒立的图形，对一些特殊的工件（如：锁匙）每次冲出一正立和倒立的工件（如右上图所示），可大大节省原材料。镜像对称按正立工件所在位置分 45° 、 135° 对称两种。



5. 旋转：

某些以圆心为旋转对称的工件，如：发电机或电风扇的定子，其入线槽往往多达几十个，逐段计算，需要相当大的工作量；借助图形旋转，只要算出一个槽图形的数据，便可根据线槽的多少确定旋转的次数，最大旋转次数为99次。这要做大量的三角函数运算，旋转的数学模型比较复杂，调用八位精度的十进浮点运算程序来完成，准确度为 $\pm 1 \mu m$ 。输入数据的格式是：

圆弧：	加工指令	阶码	起始角	R值	阶码	圆弧对应角
	1字节	1字节	4字节	4字节	1字节	4字节

直线：	加工指令	阶码	起始角	直线长度
	1字节	1字节	4字节	3字节

旋转后得到切割格式，即可加工切割工件。

6. 间隙补偿：

一个冲模是由凸模和凹模组成，为了使凸模和凹模准确配合切割凸模时，要把钼丝向外移出一间隙量进行加工，凹模则移入一间隙量进行加工，故要做间隙补偿的计算，其运算是由八位十进浮点运算来完成的，准确度 $\pm 1 \mu m$ 。本文的补偿法用过渡圆补偿法，即除圆与圆相交外，凡是直线与圆相交，或直线与直线相交均要增加一过渡圆。由于钼丝直径的限制，不可能切出很尖锐的顶角，增加过渡圆，使加工的工件更逼真，配合更准确，且可减少冲模使用时的摩擦损伤，最大补偿量为7999 μm ，输入数据的格式如下图：

圆弧：	加工指令	补偿类型	R值	α 值	β 值	γ 值
	1字节	1字节	4字节	4字节	4字节	3字节

直线：与切割格式相同。

三、辅助软件：

1. \$0000 ~ \$FFFF 地址内容自动显示：

在6个数码管上每次显示三个字节，其显示时间可任意改变，按校核或抄录数据的需要，输入不同的显示时间，显示的起始地址及终止地址，便可在显示口上连续显示这段地址范围的内容，目的是方便对各种格式数据的校核及抄录。

2. 数据类型的智能识别：

RAM存放的有效数据共有三种类型：切割格式、旋转格式、间隙补偿格式。只要按一下数据识别键，便可在LED上显示数据的类型及总数（顺序数），接着显示数据存放的最后地址，若RAM是随机数，则全部RAM清0。也可查找RAM中任一组数据的存放起始地址，只要把要找数据的顺序数输入。即显示要找数据的起始地址，这对数据的查找和删改提供很大的方便。

3. 数据搬移：

数据搬移扩展了监控B MOVE的功能，把某段地址的数据搬到新地址后，即把原来放数据的地址全部清0，方便输入新数据。

4. 编程错误处理：

当圆弧的起始原在某一半坐标轴上，或直线与某一坐标轴重合，由于这是两象限的分界点或分界面，容易造成加工指令编程错误。当计算机取出某一组数据时，发现加工指令不合规定，即自动帮助改正，才进行切割加工，具有某些人工智能的成分。

提高线切割机加工精度的研究

旧式线切割机的加工精度，甚至使加工的零件最后不能回

零。但线切割机的步进电机每转过一步迎角拖板只前进 $1\mu m$ 。故提高线切割机加工精度潜力是很大的。为了提高线切割机的加工精度，首先分析旧线切割机的主要误差来源，以找出解决的方法。

(1) 齿隙的机械误差：

步进电机换向时，拖板丝杆的齿隙引进的机械误差约为 $10 \sim 20\mu m$ ，也就是说步进电机每换向一次便引进 $10 \sim 20\mu m$ 的误差，只要加工的线段改变现象，肯定有一个或两个方向同时换向，随着加工线段数目的增加，积累的误差会越来越大，是线切割机主要误差来源之一。

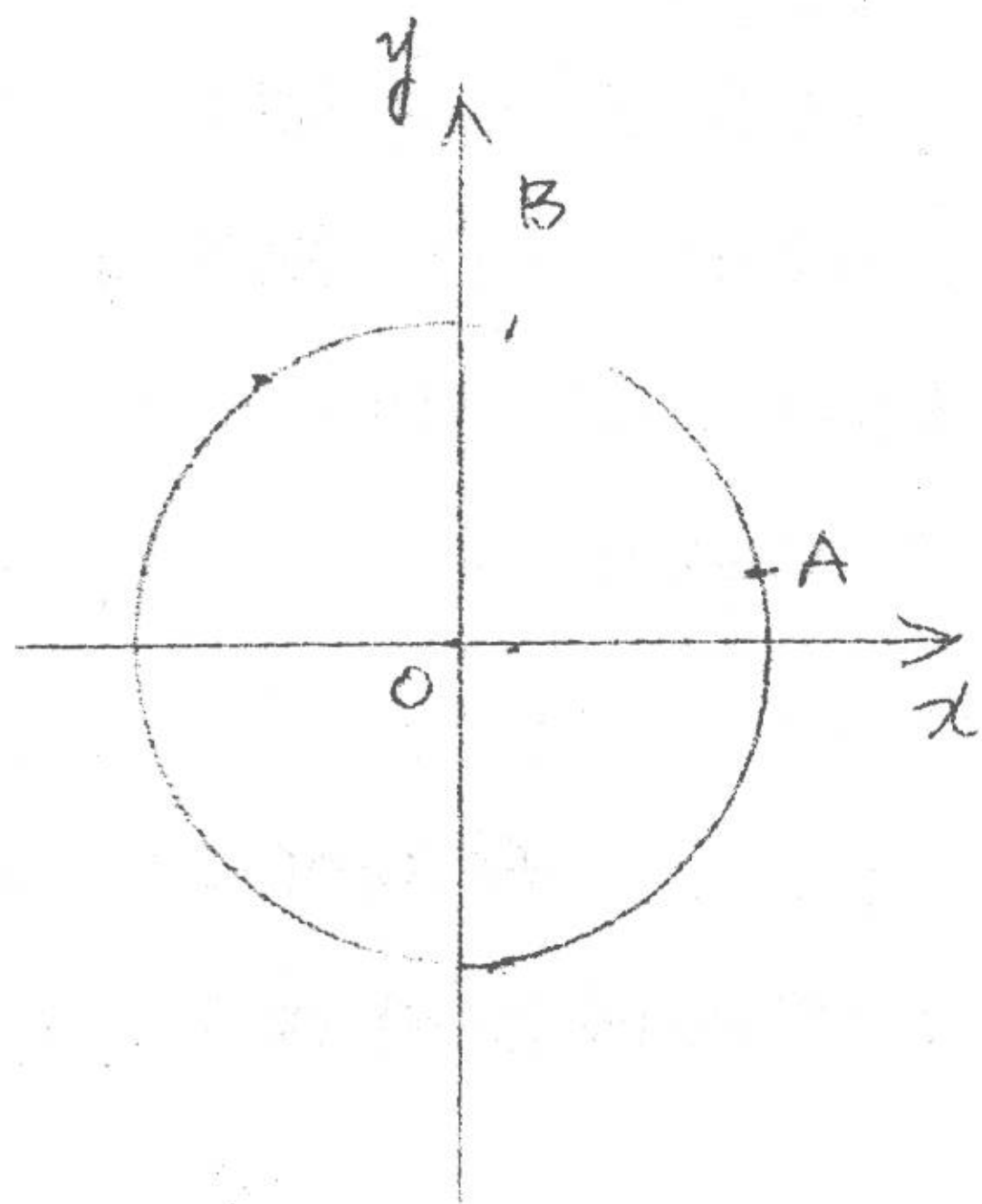
这种误差可由齿隙补偿软件来解决。有了自动齿隙补偿软件，只要步进电机换向，便会自动给予补偿，其补偿的准确度决定于输入的补偿数。每台线切割机 x 、 y 两方向的齿隙误差数均在出厂时分别测定标明在说明书上，其值可精确到 $\pm 1\mu m$ ，故自动齿隙补偿也可精确到 $\pm 1\mu m$ 。

(2) 圆弧坐标四捨五入引入的误差：

由于旧线切割机沿 x 或 y 轴计数，在某些情况下计数方向上坐标的四捨五入会引入误差，这种误差带有偶然性（即只在某些特殊情况下才出现），并随着半径的增加而增大。

例：加工的圆弧是 $\widehat{AB}$ 一段逆圆弧（如左图），由于终点 B 落在 $> 45^\circ$ 区间，按旧线切割机判断计数方向的方法，圆弧的计数方向应沿 x 方向计数，由于起点 A 很靠近 x 轴，所以 A 点坐标 $x \gg y$ 值。逆圆第一象限误差计算公式为：

$$F \geq 0 \text{ 时, } F' = F - 2x + 1, x' = x - 1$$



$F < 0$ 时, $F' = F + 2y + 1$, $y' = y + 1$

设开始加工时, $F = 0$, 步进电机向 $-x$ 方向进一步,

$$x' = x - 1 \quad F' = 0 - 2x + 1 = 1 - 2x$$

由于 $x \gg 1$, 故 $F' < 0$, 接着步进电机向 $+y$ 方向进给一步, 但 $y \ll x$, 即 $2y \ll 2x$, 故步进电机向 $+y$ 方向进给多步, F' 仍小于 0, 往往 y 进给几百甚至几千步 (随半径 R 的增大而增加), F' 才大于 0。也就是说, 在这种情况下, A 点的 x 坐标若舍去 1 μm , y 可能少做几百至几千步, 若 x 坐标增加 1 μm , y 可能多做几百至几千步, 由于 $\widehat{AB}$ 圆弧沿 x 计数, 不管 x 坐标值的舍取均会带来很大的误差。在绝大多数的情况下, 圆弧的坐标值不可能是整数, 四舍五入是不可避免的, 引入的误差便不可避免, 这种误差随半径的增大而增加。

但若改成沿 45° 、 135° 、

225° 、 -45° 内接正方形作

计数长度 (如右图), 显然从

A 点至 C 点一段圆弧 $\widehat{AC}$ 应沿

y 方向计数, 而 C 点至 B 点圆

弧 $\widehat{CB}$ 沿 x 方向计数, 从上面

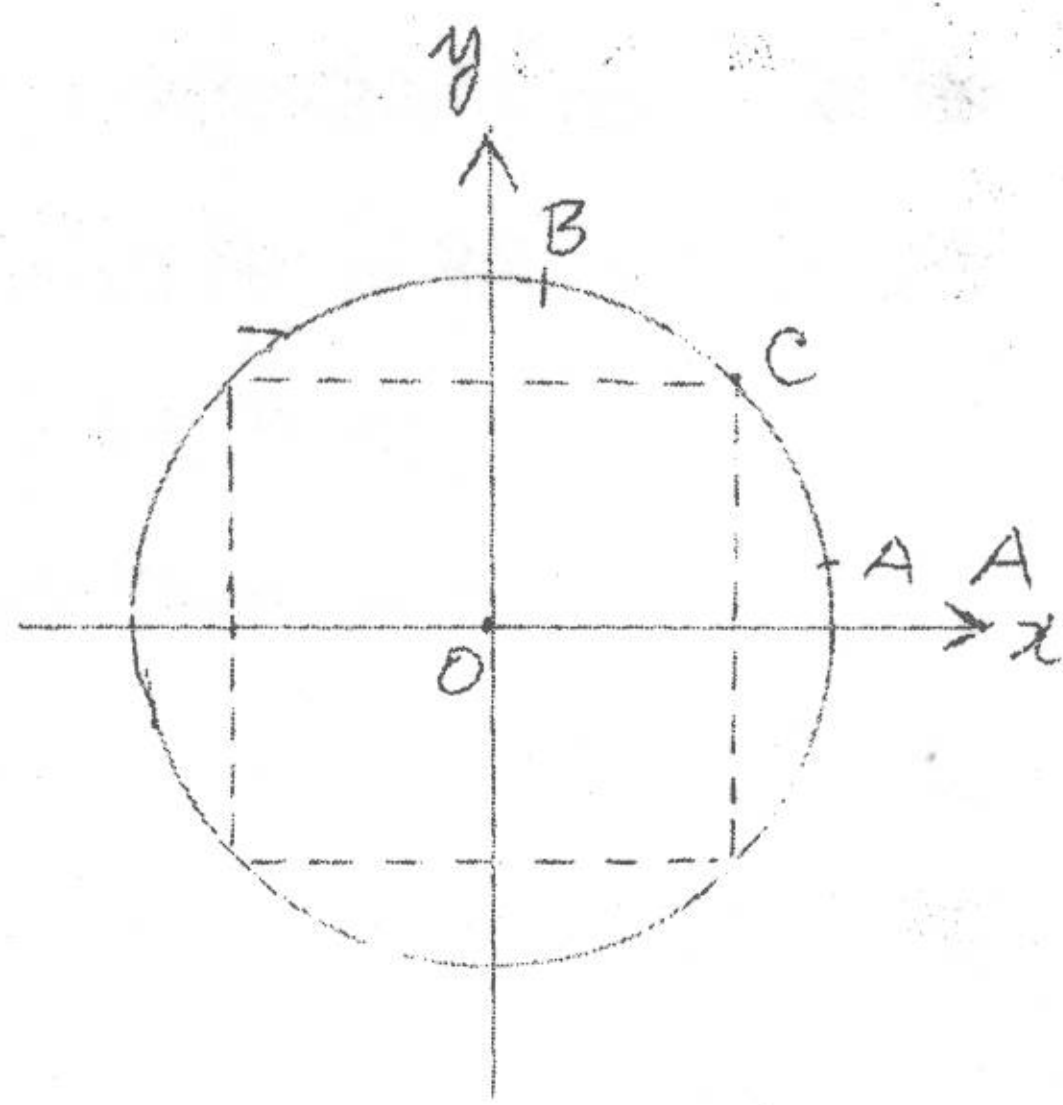
对偏差 F 值的分析可知, 计数

方向上 y 值的舍取只带来一步

(1 μm) 的误差, 故改变计

数方向后, 不但省掉计数方向

输入, 更主要的是大大提高加工精度。



这种终点计数方法是国内首创, 也是国内以至国际上目前唯一用在线切割机上的方法。虽然在计算终点计数长度上比旧方法稍为麻烦, 但目前已普遍使用精度大于 8 位的电子计算机, 求了终点计数长度也是很方便的, 而在提高线切割机加工精度

方面是一个根本性的突破。

还有每段圆弧加工至终点偏差F值不能四零，计算的四舍五入引入的误差等，均可相互抵消，只要工件的圆弧段数足够多，其平均误差是可以趋于0的。

从上面的误差分析可知，用ZD-065单板机控制线切割机，若加工工件全部由直线、圆弧组成，其加工精度小于 $2\mu m$ ，若由任意曲线组成的工件，其加工精度由用圆弧近似时的精度决定。

半软件用6502指令系统的机口语言编写，容量约1K字节(byte)，分别写入两片4K EPROM芯片，插在ZD-065主机板上，开机便可操作。

本软件功能丰富，加工精度高，操作简便，特别适合加工高精度的模具，如手表、仪表的冲模等。

ZD-065 微型机BASIC

功能自动检测程序的设计

凌熹基 黄 劲

(中大物理系微型机室)

提 要

本文叙述了一种用于ZD-065微型电子计算机生产和验货时的检测程序的设计,该程序已在产品检验中实际使用,效果满意。

一、引言

由中大物理系和南海无线电厂合作生产的ZD-065微型电子计算机,产品的质量检验是一项很重要的工作。该机电路板上安置了6个ROM的插座,便于用户根据具体的需要插入监控程序、汇编程序、BASIC解析程序和用户自己发展的专用固化程序的只读存储器。在生产过程中,元器件的安装每一步都要经过检查,对存储单元也有专门的程序逐个由计算机作读写的检测。上述软件我们是用EPROM做成的,虽然各自经过总测,但是BASIC解析程序还要调用不少的存储单元。为了使产品质量可靠,要求快速的检查BASIC语言各种语句的正确执行。如果出错,除了BASIC原有的出错信息外,还要显示出那一部分的功能有问题。同时,在全屏显示的情况下连续工作,以便发现荧光屏的毛病,例如中心和边缘聚焦情况,屏幕有无斑点等。

二、检测内容的安排

这个程序设计成既作为产品的检测,同时又可作为自用

表示该机功能的演示，把检测项目分作以下六个部分：

1. 字符发生器及图形发生器的检测；
2. BASIC语言所用数值范围的检测；
3. 各种命令语句的检测；
4. 嵌套重数的检测；
5. 绘图功能的检测；
6. 全屏连续工作检查。

字符发生器是安放在终端的标准键盘内，打入和显示的字符都由它取出信号。字符发生器存有全部ASCII字符（包括小写字母）。BASIC语言虽然全用大写字母，但可用`PRINT CHR$(x)`来调出小写字母，而且本机还有一些希腊字母如 Σ 、 π 等。同时，它还具有64种图形，利用黑底白字或白底黑字的反转功能而构成128种图案单元。所以首先要检查这些字符的编码对应的字符形状是否正确。

数值范围的检查包括正负最大数和最小数的指数表达形式，在非指数表示时显示八位有效数字。

各种命令语句的检测是把按照本机BASIC版本全部语句均作实际的使用，完成该语句功能的则在屏幕上显出该语句，否则就显示出错信息，并停止执行，以待维修。

本机具有24重嵌套，全部要检测它的转子程序及正确返回，每次转子程序时自动打印记数，并给出最大的嵌套重数。

利用程序语句不单可以使光标在全屏任意位置上移动，而且可以使字符或图形在所需位置上发现或熄灭，便于作各种绘图和直方表等。检测程序还设计成利用随机函数以显示花样不同的直方表。

前面5项执行起来时间不超过半小时便能检测完毕，而第6项都要机器连续工作8小时以上，如果发现可疑问题，

修复后还要从新运行，以保证在修复某一故障点后不致又造成其他的故障。只有全部检测程序自始至终一次通过为止。

三、本机的一些特殊命令语句

除了通常的 BASIC 语句，本机还有一些特殊的命令语句，在自动检测程序中也要逐一加以考核。例如使按键不要字符而出现图形时，可以用直接命令 ESC G，也可在程序语句中编入：

```
PRINT CHR$(27) + "G";
```

又如原先用了黑底白字的反转，现在回复到正常的字符，可以用直接命令 ESC r，也可在程序中编入：

```
PRINT CHR$(27) + CHR$(114);
```

来实现。

本机还可以在屏幕指定位置上打印各种图形或字符，即使光标移至行末或帧末也可以回过来打印。例如要在 V 行（V 值为 0 ~ 22）、H 格（H 的值为 0 ~ 39）上打印一个“*”符号，可在程序中编入：

```
PRINT CHR$(27) + "=" + CHR$(V + 32) + CHR$(H + 32); "*" 
```

改变不同的 V、H 值，就可构成一系列的图案。这些特殊语句，在自动检测程序中也要考虑。

四、程序的运行

这个自动检测程序，我们是录存在盒式磁带上的。使用时，把它读入到本机的内存中，打入 RUN 以后就自动运行。遇到有硬件或软件方面的故障，便自动停止，同时显示出故障所在。有些地方，例如字符的形状和编码、显示屏上的亮点，则需要检测者核对和观察。这时，程序进入一个延时的循环，以便检测者仔细观察。到了一定时间，程序又继续自动运行，检测下一个项目。有些还使机内发出喇叭发声。

当然，检测者还可以强迫程序中断，以便研究。如果没有问题，机器就在屏幕上显示出“OK!”，以示通行。

五、小结

微型计算机产品的检测，特别是连成系统后对硬件和软件检测，颇费人力和时间。采用上述程序后，既可省时，又较为直观，特别对用户现场验机更为方便可靠。本程序已在中大物理系和南海无线电厂合作生产的ZD—065微型机检测上使用。

(程序清单因篇幅太大，省略)