

# 数控机床及刀具譯文集

重庆大学科技情报室

一九七六年五月

# 目 录

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 点位控制 [日]若杉高正.....                                    | 1  |
| 廉价的点位数字控制装置 [日]机械技术研究所试作.....                        | 9  |
| 点位数控机床趋向指定位置的行程速度 [苏] М.С.Городецкий, А.И.Левин..... | 11 |
| 钻印刷线路板的数控钻床 [日]三井晃.....                              | 17 |
| 程序控制机床用的麻花钻 [苏] В.П.Балков .....                     | 23 |
| 麻花钻 (美国专利 №. 2, 936, 658) .....                      | 25 |
| 自由曲面的创成 [日]岸甫.....                                   | 28 |



# 点 位 控 制

点位控制东芝机械株式会社 若杉高正

日本工业规格中，关于点位控制的定义：

点位控制 (Positioning control/Point to Point control)：“在数控机床上，只要求刀具相对于工件达到指定位置的控制方式。不必控制从现有位置到下一位置的移动路径。”

这里必须注意，对点位控制来说，尽管不问机械的移动路径，而定位的准确性，以及对于同一定位点反复进行定位的重复精度则是很重要的问题。最终的停止位置，不用说，必须正确地达到与机床的用途相适应的精度范围内。

实际上所采用所谓点位控制有：

1) 定位，以固定的速度运动，即这种机床只保持最高速度运动，基本上没有速度控制能力。

2) 有一定程度的速度控制能力。

第1)种情况下，用图1所示的路径来定位〔由机床或控制装置，按图1上(a)、(b)或(c)所示的路径〕。

钻床就是这样的情况，预先调整好限制几种深度的挡块，定位终了时，选择其中的一种限位开关，使主轴送进，达到了一定深度时，所选择的限位开关动作，主轴快速退回，又作下一次定位。

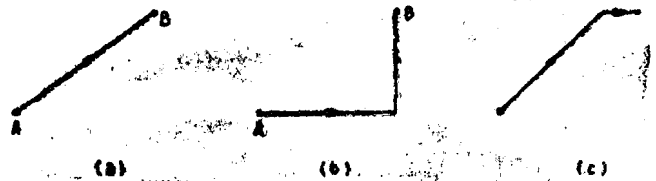


图1 定位的路径

第2)种情况，对进行定位的速度也能控制。在一般的机床上，装在主轴上的工具，是钻头、铰刀、丝攻、镗杆等多种用途的刀具，在金属切削中，这些刀具的转速和进给速度是非常重要的因素。

这样一来，可以在三维空间各点进行定位，而且不仅以快速定位，作为轴向的直线运动，如果能以任意进给速度移动的话，与1)情况相比，机能大幅度地增加。

在数字控制的分类中，将上述情况特称为点位/直线切削控制。在日本工业规格中，给出如下定义。

直线切削控制 (straight cut control)：“沿着数控机床的一根轴，控制刀具相对于工件的运动的方式。”由于加上了这一机能，与纯粹的点位控制机床相比，有可能完成更为复杂的工作。

钻孔、镗孔、攻丝等作业快速定位后，即在此位置上以主轴方向的切削进给速度加工，

定位动作可用作铣削等的切削进给。

适用于中型以上的钻床、铣床、镗床、车床等。

与点位控制相对的有轮廓控制，关于它另有文章介绍，轮廓控制当然也适用于上述机床。

在这里，将采用点位控制的各种机械的一览表列于图 2。

| 数 控 机 械 的 种 类   | 点位(直线切削)控制 | 轮廓控制 |
|-----------------|------------|------|
| 孔加工机床           |            |      |
| 通用立式钻床          | 0          |      |
| 转塔钻床            | 0          |      |
| 特殊钻床            | 0          |      |
| 角钢多轴钻床          |            |      |
| 其他钻床            | 0          |      |
| 铣床:             |            |      |
| 立式或卧式铣床         | 0          | 0    |
| 轮廓铣床            |            | 0    |
| 蒙皮铣床或翼梁铣床       |            | 0    |
| 镗床包括座标镗床:       |            |      |
| 卧式镗床、卧式钻床、卧式镗铣床 | 0          | 0    |
| 立式座标镗床          | 0          |      |
| 精密镗床            | 0          | 0    |
| 车床:             |            |      |
| 车床              | 0          | 0    |
| 卧式或立式转塔车床       | 0          | 0    |
| 数控加工中心或生产中心:    |            |      |
| 手动工具交换式         | 0          | 0    |
| 装有自动工具交换装置      | 0          | 0    |
| 精密磨床:           |            |      |
| 外圆磨床            | 0          |      |
| 凸轮磨床、其他磨床       |            | 0    |
| 冲床、成形机、挠曲机;     |            |      |
| 冲床和关联机械         | 0          |      |
| 六角另件压力机         | 0          |      |
| 弯管机             | 0          |      |
| 测定机、检验机         |            |      |
| 轮廓、通用测定机        | 0          | 0    |
| 座标测定机、座标值检验机    | 0          |      |
| 其他检验机, 测绘测量机    | 0          | 0    |
| 比较新型的数控机械       |            |      |
| 制图机、纸带检验机       | 0          | 0    |
| 焊接机             | 0          | 0    |
| 线切割机            |            | 0    |
| 装配、焊接的组合机械      | 0          | 0    |
| 绕线机             | 0          | 0    |
| 工业用自动机, 其他      | 0          | 0    |

图 2 数控机械一览表(NC机械工学, P.85~P.88建帛社)

为了更有效地使用高价机床，现代的复合机床不只是带有点位控制，有与轮廓控制机能合并的趋势。所谓的加工中心就是这种最典型的例子，机床的刀库容纳大量的预先调整好尺寸的刀具，自动刀具交换装置根据数控带的指令边适时地进行刀具选择和为主轴装卸刀具，边进行铣端面、钻孔、镗孔等作业，由装有工件的回转工作台旋转，工件在机床上一次安装就可以加工各侧面和内表面，过去的加工方法必须要数道工序才完成，工件必须在各机床间运输，加工中心可以省去这些工序。

### 1. 点位加工和程序编制

作为制备数控指令带的准备工作，另件程序是必要的工作之一。

如果从零件程序的每个要素来看是简单的，无需特殊的计算或技巧，由于加工对象作业种类繁多（特别是镗床、加工中心等），使用的刀具多，或者，定位的点非常多的情况下，对单纯的计算或工艺资料单调的重复记述既易发生错误，对人来说又是件繁重的工作。以下试举出数种点位加工的例子。

#### (1) 用钻头钻孔

定位后，使钻头尖端从距工件表面 CL 的地方到指定的深度为止，以适当的进给速度送进，然后以快速退回到 CL 面。如图 4 所示。图 3 中尺寸 A 载于标准刀具表上，只要查表就行了，一个个计算是很麻烦的。

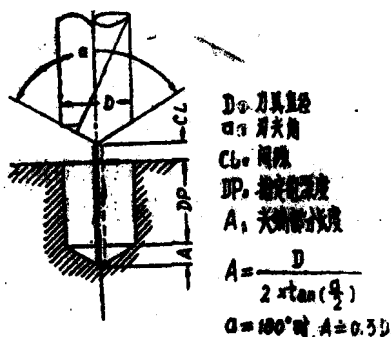


图 3 用钻头钻孔

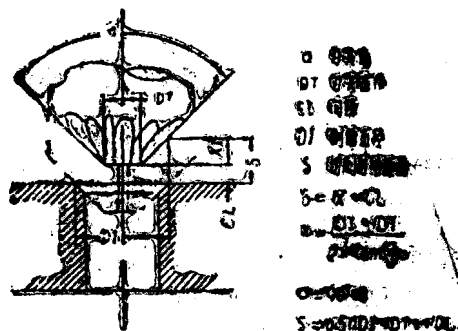


图 4 倒角作业

#### (2) 倒角

如果采用图 4 所示的刀具，与钻孔的动作完全相同，但必须将指定的倒角直径换算成深度方向的距离。这种作业也有用钻头和镗刀来进行的，在铸件表面不平的情况下，无法按预先计划进行作业。由于实际切削距离短了，不得不使 CL 增加的情况，使作业变得不合理。

#### (3) 铰孔

直到所要求的深度为止的切削加工与钻头的情况相同，但退回 (= Retract; 使刀具退回到 CL 面) 动作以切削进给速度进行。

#### (4) 镗孔

镗孔作业有各种各样的情况，若大体划分，有与铰孔动作相同的和退回时主轴停止的两种情况。

图 5 所示的情况，所谓沉头孔(counter

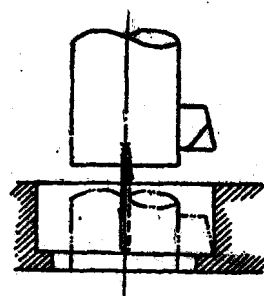


图 5 镗孔作业

bore), 到达指定的深度时, 刀具并不立刻退回, 在此位置停留若干秒将加工面刮平。

图6所示为倒镗或拉镗 (Pull bore), 采用主轴准停机能 (orient stop) 使刀具在按时钟〔12时〕或〔8时〕的方向定位, 使主轴中心线偏离入口孔的中心线, 穿过前面的孔, 然后使两者中心线重合, 使刀具向前趋近, 进行镗孔。达到指定深度后, 使主轴按需要回转, 再循着原来的路线退出。这一连串动作只有用数控才有可能, 在手操作的机床上, 一旦定心后, 决不允许仅以刀具伸入为理由再使之偏心。反之, 在带有自动刀具交换装置的数控机床上, 象手动机床那样无偏心地将主轴伸进工件, 再从后面将刀具插进去, 是件很困难的事。因此, 无论如何要极力设法避免这样的操作。

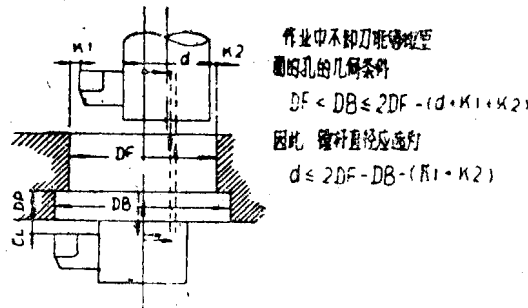


图6 倒镗作业

由于这样地使用刀具, 换言之, 由于作业内容的需要或另件质量要求, 定位后执行主轴的动作不一样, 制作需要使用大量刀具的另件的数控带是件很麻烦的事。即使制出了一盘优质的数控带, 若干个另件的加工也差不多完成了。

## 2. 对点位控制必要的机能

下面由程序例子来看一下关于点位控制所必须的或者说便利的机能。

### (1) 固定循环

进行图7所示作业的场所, 制订此图右面的表, 对于在四个位置的钻孔需要12个程序段, 但是其中的8个程序段是和第二、三段相同的。

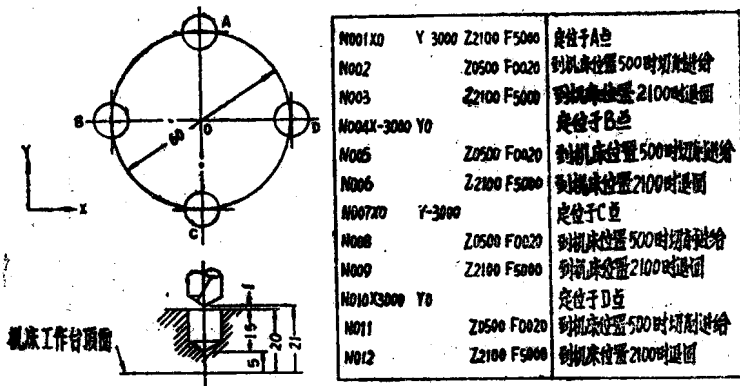


图7 用绝对值方式的钻孔作业程序例

这里假如能够将 12 个程序段缩减为与定位数目相同的 4 个段，就可以避免单调的重复记述，这样在人工制作数控带时，就变得相当容易。固定循环 (= fixed cycle 或 canned cycle) 就能实现这一点，可以作为控制装置的选择来使用。据此，程序简化成图 8 所示那样。为了使控制装置识别出钻孔循环，应该注意在程序段的前头必须加〔G81〕。

象这种指定控制动作型式的机能称之为准备机能，通常在文字〔G〕的后面附两行数字来表示。可以指定各种各样的动作型式，关于专门指定固定循环的编码，用图 9 的表说明。这是 ISO 的方案，现有的全部控制装置并不只限于这一种。

```

N001 G81 X0      Y3000 R2100 Z0500 F0020
N002      X-3000 Y0
N003      X0      Y-300
N004      X3000   Y0
N005 G80 X0      Y0      Z9000 F5000
    
```

图 8 使用固定循环时的程序例

〔G80〕 取消固定循环

对以前已指定的固定循环的取消指令

从G81  
到G89 } 固定循环

| 固定循环<br>序号 | 固定循环<br>编码 | 钻 入 工 件  | 到底部时<br>定位销 | 主轴 | 从工件退出到开始<br>下一个切削送进止 | 代 表 的 用 途 |
|------------|------------|----------|-------------|----|----------------------|-----------|
| 1          | G81        | 切削送进     | —           | —  | 快速送进                 | 钻头、中心钻    |
| 2          | G82        | 切削送进     | 有           | —  | 快速送进                 | 钻头、平头镗钻   |
| 3          | G83        | 间歇的      | —           | —  | 快速送进                 | 深孔钻       |
| 4          | G84        | 主轴回转切削送进 | —           | 反转 | 切削送进                 | 攻丝        |
| 5          | G85        | 切削送进     | —           | —  | 切削送进                 | 镗         |
| 6          | G86        | 主轴回转切削送进 | —           | 停止 | 快速送进                 | 镗         |
| 7          | G87        | 主轴回转切削送进 | —           | 停止 | 手动                   | 镗         |
| 8          | G88        | 主轴回转切削送进 | 有           | 停止 | 手动                   | 镗         |
| 9          | G89        | 切削送进     | 有           | —  | 切削送进                 | 镗         |

图 9 表示固定循环准备机能的例〔ISQ/R1056—1969(E)〕

〔G80〕为固定循环取消指令，其使用法，例如，在 4 个位置钻孔后，为了换刀而移动到别的位置时，如象图 8 第 5 段那样，移动后，加工循环就不再执行了。

使用固定循环的优点是，使人工制作数控带容易和由于某些原因必须更改时能使修改的工作量减少。指令值为绝对值方式的情况，它的效果就更大。在图 8 的程序中，所用刀具长度与预定的不一致时，如果重作数控带，只需修改第一段的〔R 值〕和〔Z 值〕就行了。

(2) 重复指令如图 10 所示，以增量方式进行间距为一定的钻孔时，同前述情况相比较，出现相当多的重复，多次记述这种重复的内容是件很枯燥的事。在纸带上也重复地打，容易出错。

如果作成如图 11 所示的指令，节省编程工作量，数控带的长度变短，减少制作数控带时的人为误差，也可缩短制带时间。

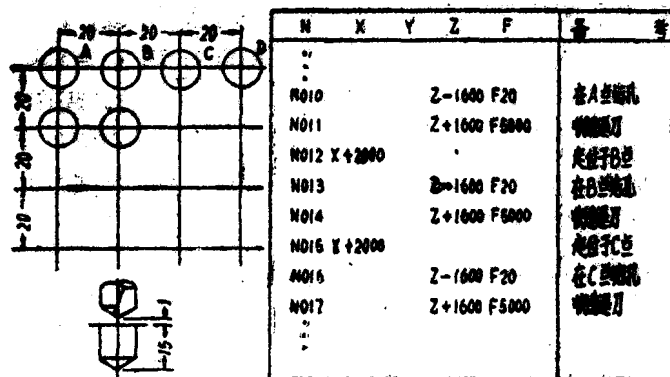


图10 用增量方式的钻孔作业的程序例

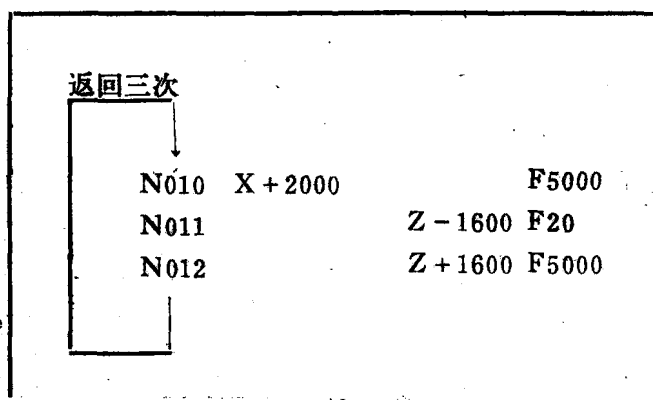


图11 表示重复特定程序段的图

|                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| N10 F99 G01 M10 S03 X002000 | S 指令：控制装置内计数器设定值，意思是重复次数为 3 |
| N11 F20 Z005000             | 每重复一次计数器值减一，减为 0 时          |
| N12 F99 Z002100             | 跳到M30的下一个程序段                |
| N13 M30                     | 返回去执行由M10指令所指定的顺序号为10的程序段   |

图12 对东芝机械制 TMAP-300 的程序例 (Z 值为绝对值)

在向控制装置输入指令数据的介质为纸带时，要求纸带作成环形，读数装置必须有连续功能等。这和一般情况大不一样。但是，采用具有能记忆全部作业程序那样大容量的集成电路存储器的高速记录媒质，如果控制装置从其中取出一个数据，没有要检索纸带每个顺序号



那样的机械运动，因此能平稳地重复读数。这也和一般方法不同，图 12 举出其例。(图 13、14 表示其特例)。

(TF) 停止代码 (TF) E0B

|       |      |      |      |
|-------|------|------|------|
| JN001 | X05  | Y14  | F5   |
| JN002 | X08  | Y-02 |      |
| JN003 | X-04 | Y-04 |      |
| JN004 | X09  | Y-02 |      |
| JN005 | X-06 | Y-04 |      |
| JN006 | X-09 | Y02  |      |
| JN007 | X-03 | Y-04 | HN02 |
| KN100 |      | Z-02 | F01  |
| N101  |      | Z0   | F5   |
| N102  | X01  | Y01  | .    |
| N103  |      | Z-02 | F01  |
| N104  |      | Z0   | F5   |
| N105  | X02  | Y0   |      |
| N106  |      | Z-02 | F01  |
| N107  |      | Z0   | F5   |
| N108  | X01  | Y-01 |      |
| N109  |      | Z-02 | F01  |
| N110  |      | Z0   | F5   |

定位计数器清 0，循环计数器进 1。

1) TF

这个例子的纸带反复 7 次通过读带器，在各个定位程序段中使程编成的图样连续反复

将前后的 TF (纸带输送) 连接成环形

图 13 复数孔图样用的代表性例 (纸带格式是特殊的)  
(引自 GE MARKCENTURY 7500 系列编程手册)

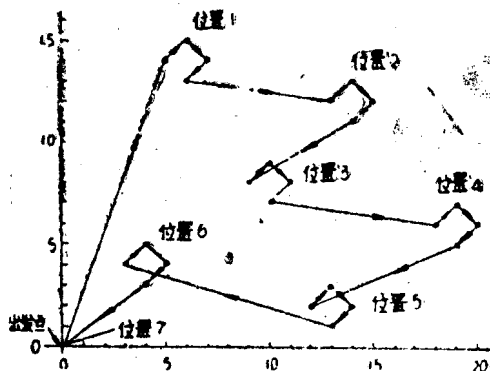


图 14 按图 13 程序作的复数孔的图样

### (8) 刀具长度补偿机能

在前面的钻孔例子中,都以刀具刀尖距工件一定的距离作为基准,刀具长度一改变,程序内容也必须改变。实用上,使用刀具的数量是非常少的,每当刀具改变,操作者就操作机床使刀具刀尖相对于加工的基准面保持一定位置,可以通过调节机床原点来达到目的,但对点位控制作业来说,通常由于使用的刀具较多,以加工基准来编程是不可能的。

相反,使工件相对于机床的固有点正确安装,预先对所用刀具的直径、长度等进行管理,采用所谓预调刀具。在编程阶段,计入预调刀具的长度,就是说必须采用主轴端到机床侧的换算值(参看图15)。

按这样作成的数控带,在现场所用刀具长度与预定长度不一样时,这种数控带中与刀具变更有关的部分要全部修改,不得不重作一整盘数控带。由于这种大的变动,使现场预定的机床运转计划完全打乱。这时假如不改作数控带,能够把有变更的刀具长度差值通知给控制装置,只要这个差值能对带上指令Z方向的移动量如数加減,那就很方便了。

这样的机能称之为刀具长度补偿机能,只对Z轴方向作变动。与此类似,在X轴方向或Y轴方向进行补偿,用于轮廓控制或直线切削控制中称之为“刀具直径补偿”。

在程序上,对预调刀具尺寸有变更的地方都必须插入编码记号。在这里要加进表示对相应轴移动指令程序段补偿种类的G编码和表示能由人工从外部设定补偿量的拨码盘番号的T编码或M编码。

关于刀具长度补偿的使用法,在程序上将全部刀具的长度都假定为一定的尺寸(就是零也行)进行计算,在数控带上凡与刀具长度有关的部分全部作出刀具长度补偿指定标记。在现场要开始切削之前测定所用刀具的长度,用由〔T编码〕等所指定的番号的拨码盘将刀具实际尺寸与一定尺寸之差(如果一定尺寸为零,这个差值就是刀具的长度)输入。特别是在大型机床上使用非标准刀具时,可能更有成效。

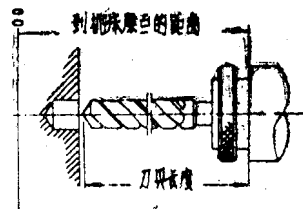


图15 进行编程的值用换算到主轴端的值

## 结 語

此外,还有同步螺纹切削机能等,采用点位/直线切削控制的机床与不需要许多刀具的轮廓控制机床相比,可能具有更多的通用性较大的辅助机能。

可是,由于近年来加工中心的出现,其实,把它看成为点位控制的镗床与轮廓加工为主的铣床合为一体,有消除机床机能上差别的倾向,作为控制装置,只采用点位控制的机床,被看成是用于特殊用途或对象的另件的专用机。

以上关于点位控制,就镗床等机床作了简单叙述,合理使用这些数控机能是使数控带易于制作的必要条件。

龚汉生 节译自〔日〕《机械技术》1973,V01.21, No.7, P122~128 张济生校

# 廉价的点位数字控制装置

〔日〕机械技术研究所试作

通产省机械技术研究所试制了以适合中小企业应用、价格低、维护和使用容易为目的的增量方式全空气式点位数控装置。

所试制的点位机构的输入程序卡采用通常的 IBM 程序卡。程序卡上的输入信息是以卡上穿孔数目的形式构成。即图 1 所示，一根轴使用三行，第一行每个孔代表  $+x$  的增量 1 mm，第二行每个孔代表  $-x$  的增量 1 mm，第三行每个孔代表  $+x$  的增量 0.05 mm。

例如，现在要赋予点位装置  $+11.25\text{mm}$  的增量，如图所示，在卡上第一行打 11 个孔，第三行打 5 个孔构成输入信息。

关于程序卡的读出，以一定的速度使卡向前输送，一个孔就发生一个空气脉冲，于是就构成指令脉冲的形式送给点位装置的控制回路。

这个装置的第二大特征是，直线步进汽缸作粗动与步进马达作微动相配合。图 2 为其原理图，定位工作台以滚动导轨支承在床身上，此工作台上装有螺距为 3 mm 的普通三角螺纹的送进丝杆。在床身上装有三对闭锁装置，其内螺纹与丝杆咬合。三对闭锁的内螺纹尖部相对于丝杆尖部彼此错开  $1/3$  个螺距。

由图 2 看出，若向闭锁装置 1 施加空气压力  $p_1$ ，则闭锁装置 1 与送进丝杆咬合。然后使闭锁装置 1 脱开，让 2 啮合。因为闭锁装置 1 和 2 的螺纹尖部的位置相对于送进丝杆错开  $1/3$  螺距，即 1 mm，由于楔块的作用使工作台向左移动 1 mm。

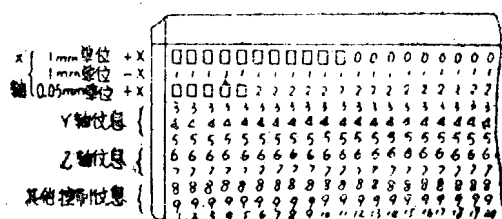


图 1 程序卡

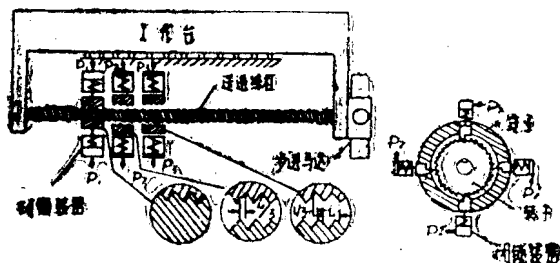


图 2 步进驱动机构

如果对这样的闭锁装置按  $p_1 \rightarrow p_2 \rightarrow p_3 \rightarrow p_1 \dots$  顺序变换施加空气压力, 则得到向左的 1 mm 的步进运动。若按  $p_1 \rightarrow p_3 \rightarrow p_2 \rightarrow p_1 \dots$  切换, 则得到向右以 1 mm 为单位的步进运动。

当一个闭锁装置咬合时, 使送进丝杆旋转就能移动工作台。因此, 借助于图 2 右侧所示的具有 30 个齿的步进马达, 获得 0.05 mm 的工作台步进运动。但是这种马达只能作单向旋转。

图 3 是利用穿孔读出器来的空气脉冲使闭锁装置按  $p_1 \rightarrow p_2 \rightarrow p_3 \dots$  或  $p_1 \rightarrow p_3 \rightarrow p_2 \dots$  切换的控制回路, 用射流元件构成。此外以 0.05 mm 为单位的步进马达控制回路和穿孔卡读出器的控制回路正在设计之中。

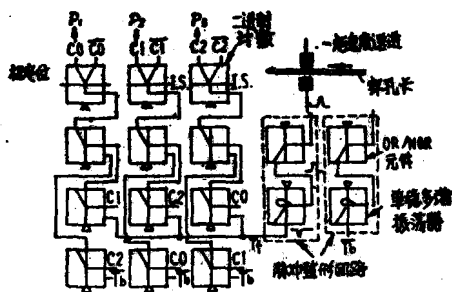


图 3 射流控制回路

所试制的全空气式数控装置, 由于构造简单, 易于维护, 所以制造成本是很低的。

龚汉生译自〔日〕《机械技术》, 1973, vol, 21, 第3, p.10

# 点位数控机床趋向指定位置的行程速度

(苏) М. С. Городецкий, А. И. Левин

在设计机床的点位数控系统时,选择执行机构位移的驱动型式是最重要的问题之一。就定位精度和时间来说最好的是随动的和可调节的驱动,由异步电动机和分级变速机构(例如,用电磁离合器的双速减速器)所组成的简易而价廉的驱动同样可以得到满意的结果(在中等尺寸机床上当所要求的定位精度不超过 $\pm 0.01\text{mm}$ 时)。

设计这种驱动装置在于选择快速行程速度、趋向指定位置的行程速度、速度级数等等。本文从所要求的定位精度和稳定性来分析如何确定趋向指定位置的行程速度(爬行速度)。

如图1所示,在 $A'$ 点发出停止指令后,执行机构的超程 $L_n = S_n + \Delta S_n$ ,其中 $S_n = S_a + S_m$ ;  $\Delta S_n = \Delta S_a + \Delta S_m$ ;  $S_n$ ——最小超程,  $\Delta S_n$ ——超程数值的最大分散量(常常 $\Delta S_n > 0$ );  $S_a$ ——在控制设备动作期间的超程;  $S_m$ ——执行机构制动行程;  $\Delta S_a$ 、 $\Delta S_m$ ——分别为 $S_a$ 和 $S_m$ 数值的最大分散量。

定位误差 $\Delta l'_n$ ,即是超程的结果,决定于 $A'$ 和 $A$ 点(这点相当于执行机构的指定位置)的相对位置。如果 $A'$ 点和 $A$ 点重合,则

$$\Delta l'_n = S_n + \Delta S_n. \quad (1)$$

如果 $A'$ 点在趋向指定位置行程的相反方向相对于 $A$ 点偏离一段距离 $S_n$ ,则

$$\Delta l''_n = \Delta S_n. \quad (2)$$

在 $S_n$ 大于反馈传感器的分辨率(计算值)的情况下,可以在程序中引入一个固定位移(提前发指令)。如果计算值的数值不允许这样作,当被加工另件位移的计算原点 and 反馈传感器的计算原点一致时(只有当趋向指定位置的行程恒在同一方向时才有可能),那么这个固定位移可以自动满足。

考虑到计算系统的误差时全定位误差可用下式表示:

对由(1)式所确定的情况,

$$\delta = S_0 + \Delta S_0 + S_n + \Delta S_n,$$

对由(2)式所确定的情况,

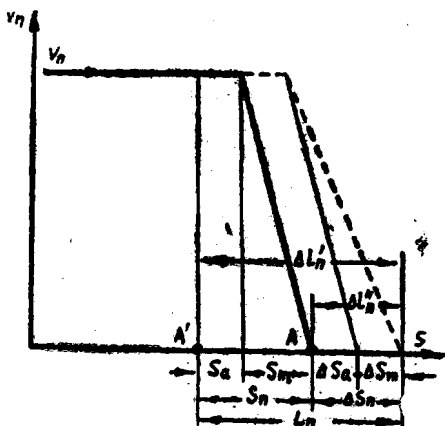


图1 在 $A'$ 点发出停止信号时执行机构的运动图



$$\delta = S_0 + \Delta S_0 + \Delta S_n;$$

这里  $S_0$ ——计算系统的累积误差;  $\Delta S_0$ ——计算偶然误差的分散量。定位的稳定性  $\Delta\delta = \Delta S_0 + \Delta S_n$ 。

爬行速度应该由获得必要的定位精度  $\delta \leq \delta_{\text{доп}}$  或定位稳定性  $\Delta\delta \leq \Delta\delta_{\text{доп}}$  的条件来决定; 这里  $\delta_{\text{доп}}$  和  $\Delta\delta_{\text{доп}}$ ——分别为定位精度和稳定性的允差。

下面分析超程数值与速度  $v_n$  的关系 (由于异步电动机引起的速度不稳定性可以忽略不计)。超程  $S_a = t_a v_n$ ; 分散量  $\Delta S_a = \Delta t_a v_n$ , 这里  $t_a$ ——控制装置的动作时间;  $\Delta t_a$ ——时间  $t_a$  的分散量。拟定的制动时间由下式决定

$$t_Y = \frac{1}{v_n} \int_0^{t_m} v dt,$$

这里  $t_m$ ——整个制动时间 (从  $v = v_n$  到  $v = 0$ );  $v$ ——在制动过程中滑行速度。

于是  $S_m = t_Y v_n$ ;  $\Delta S_m = \Delta t_Y v_n$  和全部超程

$$L_n = v_n (t_a + t_Y + \Delta t_a + \Delta t_Y) = v_n (t_n + \Delta t_n),$$

这里  $t_n = t_a + t_Y$ ;  $\Delta t_n = \Delta t_a + \Delta t_Y$ ;  $\Delta t_Y$ —— $t_Y$  值的分散量。

依赖于定位精度条件的最大许可速度可用以下公式确定:

对于由 (1) 式所确定的情况,

$$v_n \leq \frac{\delta_{\text{доп}} - (S_0 + \Delta S_0)}{t_n + \Delta t_n}. \quad (3)$$

对于由 (2) 式所确定的情况,

$$v_n \leq \frac{\delta_{\text{доп}} - (S_0 + \Delta S_0)}{\Delta t_n}. \quad (4)$$

由定位稳定性条件, 最大许可速度。

$$v_n \leq \frac{\Delta\delta_{\text{доп}} - \Delta S_0}{\Delta t_n}. \quad (5)$$

由 (3)——(5) 式看出, 在给定的定位精度和计算系统误差的条件下, 为了提高爬行速度, 亦即为了缩短定位时间, 必须使  $t_a$  和  $t_Y$  的绝对值减小和使它们的稳定性提高。

$t_a$  和  $\Delta t_a$  的数值取决于在获得停止指令的系统中工作的各装置的质量和型式, 可以采用两种原则上不同的驱动系统: 断开电动机 (切断交流电的动力线) 和不断开电动机。在后一种情况下, 适于采用无接触的快速作用元件; 在运用晶体管的情况下, 可以认为  $t_a = 0$ 。

在切断动力线时, 在断开电动机的线路中必须要有磁力起动器<sup>①</sup>, 它的切断时间约为 0.01——0.02 秒; 采用无接触快速作用元件来控制并不能给出更好的效果, 反而使线路比继电器线路更为复杂。由检测回路的信号所控制的并操纵磁力起动器的继电器线路必须是最短

① 在继电器条件下, 利用磁放大器代替磁力起动器会使线路的工作恶化, 因为一般放大器的动作时间不会小于电流两个周期的时间, 当频率为 50 赫时, 这个时间为 0.04 秒。

和由最快速作用的继电器所组成；此外，接通继电器的线路必须保证最快速作用而且稳定。在点位数控系统中，采用 PЭC—6 继电器（用于起动或切断）和 МКУ—48 继电器（用于切断）可保证良好的效果。

在图 2 所示的控制磁力起动器的线路中，多次测量  $t_a$  和  $\Delta t_a$  在电源电压在  $\pm 10\%$  范围内变化并改用各种不同的仪器的条件下表明，最短时间  $t_a = 8$  微秒，分散量  $\Delta t_a = 14$  微秒。

行程  $S_m$  的大小取决于所选定的制动方式。当利用电磁离合器将驱动和执行机构（向前运动着的）断开时，可以对以下的运动方程积分来决定时间  $t_Y$ ：

$$m_{uo} \frac{dv_n}{dt} = -F_c,$$

这里  $m_{uo}$  ——执行机构的质量； $F_c$  ——运动阻力。

由于  $m_{uo} = \frac{G_{uo}}{g}$ ，而  $F_c = f_{TP} G_{uo}$ （这里  $G_{uo}$  ——执行机构的重量； $f_{TP} = 0.15$  ——摩擦系数； $g$  ——重力加速度），那末，在断开运动链之后执行机构的滑行时间

$$t_Y' = 3.4 \times 10^{-4} v_n,$$

这里  $v_n$  的单位为 mm/秒， $t_Y'$  为秒。

当速度  $v_n$  达到 100 mm/分时，拟定的滑行时间  $t_Y'$  不超过 0.0007 秒，可以认为，执行机构与驱动断开后产生的微小超程可以忽略不计。

在具有电磁离合器的条件下，电磁离合器断电的时间在 0.01——0.015 秒范围内，最好的停止方法是用无接触快速作用继电器来使电磁离合器断电（于是  $t_Y = 0.01$  秒而  $\Delta t_Y = 0.005$  秒）。

如果离合器动作时间  $t_M \approx 0.1$  秒及其分散量  $\Delta t_M \approx 0.1$  秒（例如，ЭМО 系列离合器的 1 号和 2 号），那末只是用这种离合器断开驱动不能保证良好的结果。在这种情况下，由于带有磁力起动器的电路  $t_a$  小于离合器的动作时间，为了缩短在电磁离合器动作期间的超程，在发出断开或接通离合器（对应于断开运动链或制动）指令的同时宜于使驱动电动机断电。

对于与驱动装置保持运动联系的执行机构，它的拟定制动时间（在断开电动机的条件下）可通过解运动方程求出：

$$J_{np} \frac{d\omega}{dt} = -M_c,$$

这里  $J_{np}$  ——移动机构折算到电动机轴上的惯性矩； $M_c$  ——阻力矩。

假定阻力矩为常数就提供了便于计算的数值，可以得到以下的在自由滑行下拟定制动时间的公式：

$$t_Y^{CB} = \frac{n_H (GD^2)_{no}}{750 M_c} \quad (7)$$

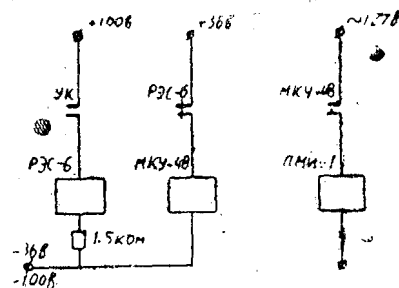


图 2 控制磁力起动器的线路：  
YK—检测系统的控制接触器；  
ПМИ-1—磁力起动器

这里  $(GD^2)_{np}$ ——折算到电动机轴上的飞轮惯性矩,  $KgM^2$ ,  $n_H$ ——电动机的额定转速, 转/分。

于是在电动机与离合器同时断电的条件下, 在离合器将要动作的瞬间, 移动速度已有所降低,  $t_Y'$  的数值忽略不计, 到离合器脱开瞬间为止的拟定制动时间可由下式决定

$$t_Y^M = t_M \left( 1 - \frac{t_M}{4t_Y} \right) \quad (8)$$

然而  $t_Y$  时间的减少不大而且不稳定。为了显著地降低  $t_Y$  和提高其稳定性, 必须对电动机加以制动 (例如, 对于 ДПТ-24 型电动机, 当  $t_M = 0.12$  秒和  $M_c = M_H$  时, 时间  $t_Y^M = 0.85t_M$ , 而当  $M_c = 0.25M_H$  时, 时间  $t_Y^M = 0.96t_M$ ;  $M_H$ ——电动机的额定转矩)。

已知异步电动机有三种电气制动方法: 反接、能耗和电容制动。正如著作 [1] 中指出的, 能耗制动的效果往往不如反接制动, 而且在接入某个数值的容量时又不如电容制动, 因此以下仅分析后两种制动方式。

为了确定反接制动时的制动行程可以利用著作 [2] 中所述的计算曲线  $S = f \left( \frac{t}{T_{эм}} \right)$  (这里  $S$ ——转差率的数值,  $T_{эм}$ ——电机的时间常数)。

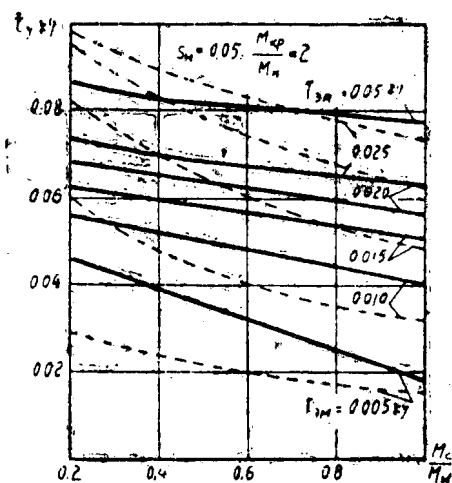


图 3 在利用离合器断开运动链 ( $t_M = 0.12$  秒) 时, 拟定制动时间与阻力矩对额定转矩比值的关系: 实线——电容制动, 虚线——反接制动

按著作 [4] 所述的方法, 电容制动时制动行程数值可按运动方程 (7) 并利用著作 [3] 中引入的实验关系  $M_m = f \left( \frac{n}{n_c} \right)$  来决定。

按照两种制动方式的计算结果绘制成曲线表示在图 3 上。正如曲线所示, 当常数

$T_{\Delta M} = \frac{(GD^2)_{\text{II} \text{ II H}}}{375 M_H} S_H$  ( $S_H$ ——额定转差率) 数值很小时, 反接制动提供的  $t_Y$  值较小, 在  $T_{\Delta M}$  值较大时, 电容制动较为有利。如果考虑到, 对反接制动而言, 附加的磁力起动器动作时间应为  $t_a \approx 0.01$  秒, 而在电容制动和反接制动时  $t_Y$  值之差具有 (当  $T_{\Delta M} > 0.005$  秒时) 大约相同的值, 应该认为电容制动比较好些, 并且它能保证  $t_Y$  值有较大的稳定性。

当利用快速作用的干摩擦离合器 ( $t_M = 0.01$  秒,  $\Delta t_M = 0.005$  秒) 和无接触控制线路时, 可以获得最佳的结得。在这种情况下,  $t_a = 0$ ,  $t_Y = 0.01$  秒,  $\Delta t_Y = 0.005$  秒, 考虑超程的绝对值 [(1) 式]

$$v_n \leq 4000 [\delta_{\text{доп}} - (S_0 + \Delta S_0)] \text{ mm/分}, \quad (9)$$

而仅考虑超程值的分散量 [(2) 式]

$$v_n \leq 12000 [\delta_{\text{доп}} - (S_0 + \Delta S_0)] \text{ mm/分}, \quad (10)$$

这里  $\delta_{\text{доп}}$ ,  $S_0$  和  $\Delta S_0$  单位为 mm。

在不可能采用快速离合器的情况下 (例如, 如果离合器必须装在灌满油的减速器箱体内部), 必须使断开运动链的离合器动作与驱动电动机的电容制动结合起来。

图 4 上给出这种驱动系统的  $t_Y = f(T_{\Delta M})$  关系曲线, 其中  $t_{Y \min}$  曲线对应于  $\frac{M_c}{M_H} = 1$  和  $t_M = 0.12$  秒, 而  $t_{Y \max}$  曲线则相应于  $\frac{M_c}{M_H} = 0.2$  和  $t_M = 0.17$  秒。就在这个图上还绘出了

考虑  $t_a = 0.008$  和  $0.022$  秒的  $t_{n \max}$  和  $t_{n \min}$  曲线 (对于图 2 所示的控制线路)。

在图 5 上表明由 ДПТ—22—4 型电动机驱动的 YM2454 型标准动力工作台  $t_n$  变化的计算区域 (由粗实线所划出的区域), 并画出了对每一个  $v_n$  值的 200 个超程实测数据进行整理所得到的点。从图 5 看出, 结果的收敛性是满意的。

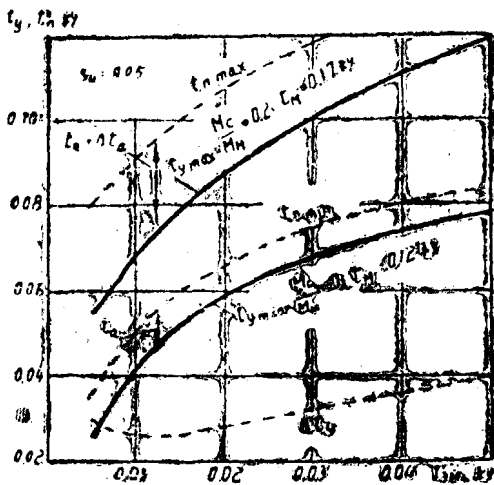


图 4

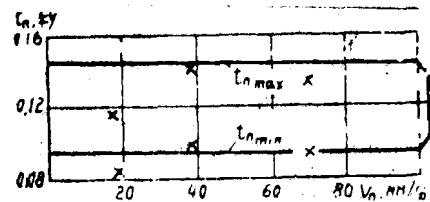


图 5  $T_{\Delta M} = 0.012$  秒,  $t_a = 0.048$  秒,

$$\Delta t_a = 0.024 \text{ 秒}, \quad \frac{M_c}{M_H} = 0.3$$

根据图 4 上所给出的曲线作出按所要求的精度、检测系统参数和驱动常数来选择速度  $v_n$  的曲线图 (图 6)。对于其精度取决于超程绝对值 (实线) 和超程值分散量 (虚线) 的系统分别作出了曲线图。