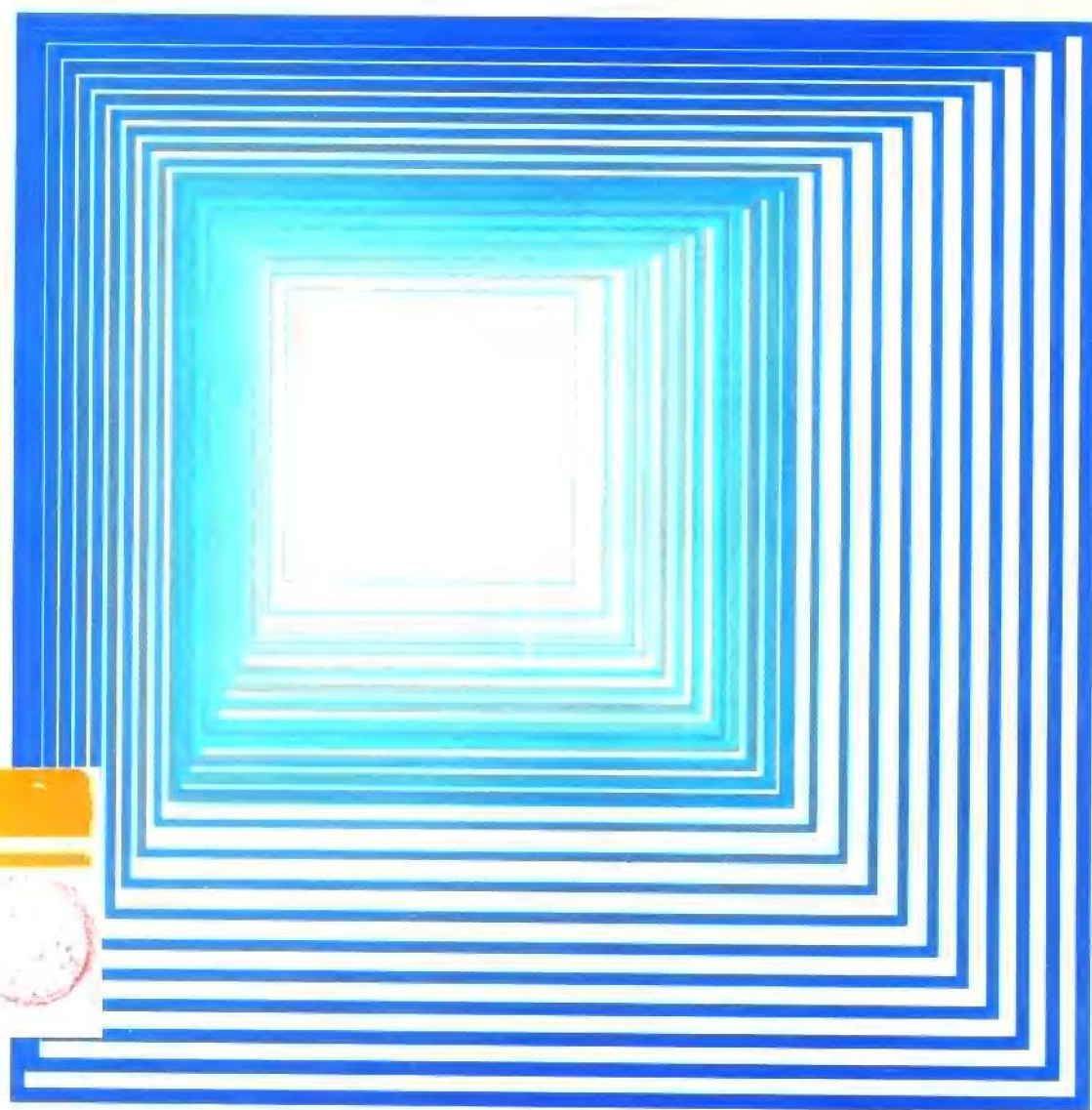


高等学校教材

# 现代数控技术 及应用

刘启中 编  
蔡德福



 机械工业出版社  
China Machine Press

00007704

TP273  
223

高等学校教材

# 现代数控技术及应用

刘启中 编  
蔡德福

1102/03



机械工业出版社



C0482940

计算机数控技术是 20 世纪 70 年代发展起来的, 集多种技术于一体的现代控制技术, 在我国正获得日益广泛的应用并不断地向高新领域发展。全书共分七章, 第一章介绍了数控技术的原理、组成、分类、特点和发展; 第二章介绍了数控编程的基本方法和实例; 第三章介绍了数控系统的核心 CNC 控制机以及插补原理和软件实现; 第四章介绍了数控系统的输入、输出、位置检测装置; 第五章介绍了数控系统位置环和数字控制方法; 第六章介绍了数控系统的故障诊断及维护; 第七章介绍了柔性制造系统和集成制造系统。

本书可作为高等院校电气工程及自动化专业、机械电子工程专业及相关专业的教材, 也可供从事数控领域的工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

现代数控技术及应用/刘启中, 蔡德福编. —北京:  
机械工业出版社, 2000.5  
高等学校教材  
ISBN 7-111-07608-7

I. 现… II. ①刘…②蔡… III. 数控系统-高等  
学校-教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 49035 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
责任编辑: 贡克勤 版式设计: 霍永明 责任校对: 申春香  
封面设计: 姚毅 责任印制: 路琳  
北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行  
2000 年 5 月第 1 版第 1 次印刷  
787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·10.25 印张·248 千字  
0 001—5000 册  
定价: 15.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

## 前 言

计算机数控系统（CNC）是 20 世纪 70 年代发展起来的一种新颖的控制系统。现代数控技术是综合了计算机、自动控制、电气传动、精密测量、机械制造和管理信息等技术而形成的一门边缘科学，是自动化机械系统、机器人、柔性制造系统、计算机集成制造系统等高新技术的基础，也是当前机械制造业面向 21 世纪实现技术改造和技术更新向机电一体化方向发展的必由之路。

本书是作者在多年的教学和科研基础上，结合自编讲义以及收集了近期国内外数控应用和发展的先进资料编写而成。书中较详细地介绍了现代数控系统的组成和结构、基本工作原理、编程方法、插补原理及软件实现、伺服控制、位置环及加工轨迹误差、故障诊断等技术和方法。并以输入装置、CNC 控制机、输出装置、位置检测装置为线索，兼顾软件和硬件、理论和实际，力图达到应用的目的。本书还涉及了属数控技术较高层次的柔性制造系统和计算机集成制造系统。

本书可作为高等院校电气工程及自动化专业、机械电子工程专业等相关专业的教材，也适合从事数控技术领域工作的工程技术人员使用。

本书在编写时得到了中国电工技术学会电气工程教育专业委员会的指导，也得到了许多同行专家的帮助，此外，还参考了一些兄弟院校的教材或资料，在此谨表谢意。

限于作者的水平，书中定有许多错误与不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者  
1999 年 7 月

# 目 录

前 言		
第一章 绪论	1	
第一节 数控技术的概念	1	
第二节 数控技术应用的特点	2	
第三节 数控系统的组成	2	
第四节 数控系统的分类	3	
第五节 数控技术的发展	6	
第二章 数控程序编制	8	
第一节 坐标系统	9	
第二节 加工程序的信息载体	11	
第三节 手工编程	20	
第四节 计算机辅助自动编程	25	
第五节 列表曲线和曲面编程概述	40	
第三章 CNC 控制机	47	
第一节 CNC 控制机概述	47	
第二节 数控的插补原理及其实现	50	
第三节 输入信息处理	74	
第四节 数控指令执行过程	79	
第五节 误差补偿功能	80	
第四章 数控系统的基本装置	81	
第一节 数控系统的输入装置	81	
第二节 数控系统的输出装置	88	
第三节 数控系统的位置检测装置	108	
第五章 数控系统的位置环及数字控制	121	
第一节 数控系统位置控制环的任务和组成	121	
第二节 数控系统轨迹跟踪误差分析	124	
第三节 数控系统位置环的数字控制技术	128	
第六章 数控系统的故障诊断和维修	130	
第一节 数控系统的可靠性及故障基本概念	130	
第二节 数控系统的诊断技术	132	
第三节 数控系统的维护处置	136	
第七章 柔性制造系统与计算机集成制造系统	144	
第一节 柔性制造系统	144	
第二节 自动化孤岛及计算机集成制造系统	156	
参考文献	159	

# 第一章 绪 论

随着科学技术的迅速发展和社会商品的激烈竞争，使机械产品更新换代日趋频繁，并且越来越精密复杂。这就给生产这些产品的各种加工设备提出了精度与效率，通用性与灵活性以及生产过程自动化的要求，数控技术正是在这种条件下发展起来的一种适用于对精度高、几何形状复杂的单件，小批机械产品加工设备的控制技术。数控技术综合运用了自动控制理论、电子技术、计算和计算机技术、精密测量技术和机械机构知识等方面的最新成就并应用于基础工业，它是随机电一体化应运而生及其发展的一个重要方面。

## 第一节 数控技术的概念

数字控制技术，简称数控（Numerical Control 缩写为 NC）是以数字或数字代码的形式来实现控制的一门技术。也就是把加工产品的整个过程的全部内容（如：几何尺寸、加工顺序、运动规律、加工容量、辅助功能等）进行代码化的数字处理，并把它记录在控制介质中（如：穿孔带、磁带、磁盘、存储器等），加工时，将它输入到专用的电子计算装置或电子计算机中，经过运算与处理，发出各种控制信号，控制数控设备自动进行加工。当被加工的产品变更时，只要改用另一种描写该产品的控制介质即可，而不需要对加工设备作复杂的调整工作，因此数控技术是一种灵活的，高效性的控制技术。

现在我们来查看一个利用线切割机加工如图 1-1 所示模子的例子，由此来逐步建立数控的概念。

显然，这是一种轮廓加工。它是由圆弧 AB，BC，DE 与直线 AE 及 CD 组成，如果开始加工点在 A 处，加工顺序可以是顺时针方向即 AB-BC-CD-DE-EA；也可以是逆时针方向即 AE-ED-DC-CB-BA，一旦确定了加工顺序后，还必须确定有关的参数，如直线的长度、方向、圆弧的起点位置和终点位置，还有圆弧的加工走向等。所有这一切都必须以指令的形式送给控制器，从而根据加工任务及加工顺序而确定的程序来控制设备工作。

作为数控技术的控制对象是具体的加工设备。如果一种设备的操作命令是以数字或数字代码的形式来描述，工作过程是按照指定的程序自动地进行，那么这种加工设备就称之为数控设备。如：数控机床、数控线切割机、数控绘图仪、数控刻字机等等都属于这一类设备。其中以数控机床的发展最为突出。

“数控”和“顺控”是两种不同的概念。对于加工的产品而言，前者能进行动作顺序的程序自动控制，位移和相对位置坐标的自动控制，速度、转速及各种辅助功能的自动控制，后者则只能自动控制各种动作的先后顺序，而对运动部件的位移量不能控制（只是靠预先调整好的尺寸挡铁和行程开关进行控制）。它们两者的区别在于，数控不仅能进行顺序控制和辅助功能控制，而且还能进行坐标控制，控制指令采用数字形式，顺控只能进行顺序控制，

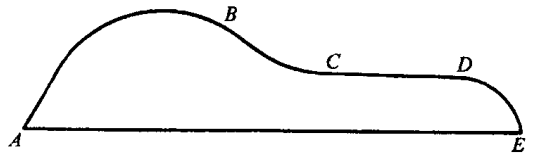


图 1-1 模具轮廓加工图

而不能进行坐标控制，控制指令采用模拟形式。

## 第二节 数控技术应用的特点

数控技术是将现代高新技术成就应用于国家的基础工业——机械制造业和各种生产过程的一种技术，它的特点和追求的基本目标概括起来有以下几点：

### 一、提高生产率

运用数控技术的设备进行产品加工，工序安排可以相对集中，而且所用辅助装置（如工夹具等）比较简单，这样便减少了生产准备时间，大大缩短产品改型的生产周期。另外，在加工过程中节省了对工件的多次测量的检验时间。当加工零件改变时，只需要更换控制介质，从而节省了设备的调整时间。这些都有效地提高了生产效率，缩短新产品试制和投产周期。

### 二、提高加工精度

由于采用了数字控制方式，同时在元件，机械机构上采用了很多提高精度的措施，使数控设备能达到较高的加工精度（一般在 0.005~0.1mm 之间）。更重要的是数控设备的加工精度不受产品形状及其复杂程度的影响。另外，由于自动地完成整个加工过程，清除了操作者的各种人为误差，提高了同批产品加工质量的一致性，从而使产品质量稳定。

### 三、增强灵活性和通用性

如果加工产品改变，加工设备的控制功能也就改变，而对于数控设备只要改变相应的控制程序即可，而不必改变其硬件。数控软件在任何时候都可以方便地更改，这不仅能适应工艺发展的要求，而且也能使新技术不断地充实到原来的系统中。另外，依据数控软件的不断提升和改进；硬件电路的模块化；接口电路的标准化，来满足各种设备的多种不同的要求，从而使用户应用十分方便。

### 四、提高可靠性和维护性

对于数控系统，加工程序常常是一次送入存储器内，这样就避免了产品在加工过程中发生的故障而出现的停机现象，同时，用软件来代替一定的硬件后，使系统中所需元件数目大为减少，整个系统的可靠性大大改善。据美国第 13 届 NCS 年会统计的世界上数控系统平均无故障时间，其中日本的发那科公司（FANUC LTD）已近 23 000h。同时较先进的数控系统又能引入一套故障诊断程序，有了这一套程序，即使是不熟练的操作人员也能将故障隔离到模块或器件一级，使停机时间降低到最低限度。

除此之外，还有能降低成本，有利于生产管理，改善劳动环境等等。

## 第三节 数控系统的组成

由数控技术的基本概念可知，任何一个数控系统是由许多功能不同的部分组成，数控系统的类型也很多，但最基本的环节可用如图 1-2 所示的框图来描述。

微机数控系统的全部过程，即从生产设备过程中的产品图样、工艺、参数到产品的加工完成，一共包括五大部分：外部输入装置、控制机、输出装置、位置检测装置和数控设备。

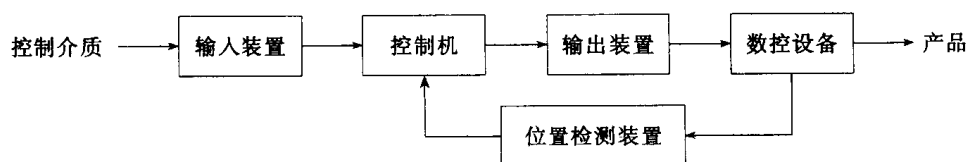


图 1-2 数控系统组成原理结构框图

外部输入装置的作用是实现数字信息的输入。也就是将产品的图纸、工艺和参数等所编制的程序，记录到控制介质中，并以数控系统能识别的形式送入其中，使其处理。这些设备主要有：拨码开关、扳键开关、波段开关、数码插销、按键，还有键盘、阅读机、磁带机、驱动器等。

控制机的任务是接收到的各种数字信息进行转换和分类，使之成为能处理的数据，也就是对其中与加工尺寸有关的信息进行轨迹的插补运算；把辅助功能有关的开关信号送至有关的控制元器件中；根据位置检测反馈进行加工的有效控制。控制机是数控系统中的核心部分，目前它都由微型计算机或微处理器来替代。

输出装置的作用是实现数字信息的输出，即按照指令信号去驱动数控设备的执行机构，根据要求的轨迹作严格的相对运动和完成精确的定位。它一般由步进电机驱动系统，直流伺服系统，交流伺服系统等构成。

位置检测装置的作用是获得数控设备的实际位移信息和坐标的定位信息。对于一个设计完善的闭环数控系统，其定位精度和加工精度，主要由测量装置的精度所决定。

数控设备的作用是将输出装置的控制信号转换成具有一定品质指标的机械动作，使产品能按目的要求最终形成。数控设备不同于普通设备那样的：结构中刚度不足，滑动摩擦高和传动间隙过大等缺点，它应是一种确实具备能够可靠地、高效率地保证加工精度的自动化机构。

## 第四节 数控系统的分类

数控系统的种类很多，在使用上，各自的控制对象也不尽相同，但在原理上却万变不离其宗。根据数控系统的基本原理，其分类方法可以按下列原则进行。

### 一、按控制的运动轨迹分

#### (一) 点位控制 (Positioning control system)

这类控制系统只控制工具相对工件从某一加工点移到另一加工点之间的精确坐标位置。而对于点与点之间移动的轨迹不进行控制，且移动过程中不作任何加工。通常采用这一类系统的设备有数控钻床（如图 1-3 所示）、镗床、冲床等。

点位控制系统对运动的速度要求比较简单，而对定位精度和定位时间则要求较高，定位精度关系到工件的加工质量，定位时间关系到生产率，这两者往往是矛盾的，一般处理原则是：在满足定位精度的条件下尽量缩短定位时间。兼顾这两项要求处理的常用方法是：快速趋近，减速定位。目前的精密数控设备其定位精度可达几微米以下。

点位控制系统定位有增量方式，绝对值方式和这两者的

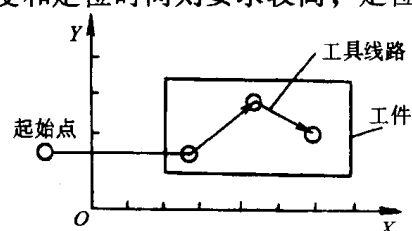


图 1-3 数控钻床点位控制



组合方式等三种。在增量方式中，各加工点位置是以前一加工点或起始点的坐标增量值给出的，在绝对值方式中，各加工点的位置是用它们在指定坐标系中的绝对坐标值给出的，前者控制比较简单，但累积误差较大，后者精度高，定位顺序选择也方便，但要求计算机字长较大。所谓组合方式，就是组合以上两者优点，即在系统中位置检测装置分辨率能力限制范围内，加工点位置指令数字的高位部分的定位采用绝对值方式，在低位部分的定位采用增量方式，因此是一种克服不足的较方便的高精度定位方式。

### (二) 直线控制系统 (Straight-line control system)

这类控制系统不仅要控制点与点的精确位置，还要控制两点之间工具移动的轨迹是一条直线，且在移动中工具能以给定的进给速度进行加工，如图 1-4 所示。采用此类控制方式的设备有数控车床、铣床等。

直线控制系统通常要比点位控制系统具备更多的功能，如执行机构在进给时可能遇到很大的负载需一定的伺服功率，很宽的调速范围，获得定位精度所必须限制超程或过冲的允许值等，此外，还有出于保护性或其它目的而设置的大量联锁关系等。

直线控制系统一般地说其运动轨迹是平行于各坐标轴的直线，在特殊情况下，如果同时驱动两套运动部件，其合成运动的轨迹所获得与坐标轴成一定夹角的斜线。

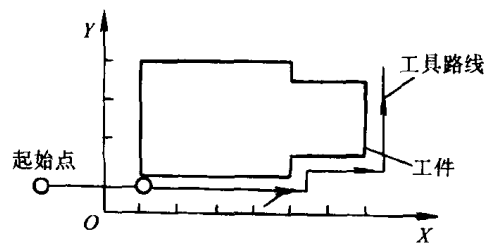


图 1-4 数控铣床直线控制

### (三) 连续控制系统 (Continuation control system)

连续控制系统又称为轮廓 (Contour) 控制系统或轨迹控制系统。这类系统能够对两个或两个以上坐标方向进行严格控制，即不仅控制每个坐标的行程位置，同时还控制每个坐标的运动速度。这样，各坐标的运动按规定的比例关系相互配合，精确地协调起来连续进行加工，以形成所需要的直线、斜线或曲线、曲面。采用此类控制方式的设备有数控车床、铣床、电加工机床，特种加工机床等。图 1-5 所示的是数控线切割机加工模具或样板的示意图。

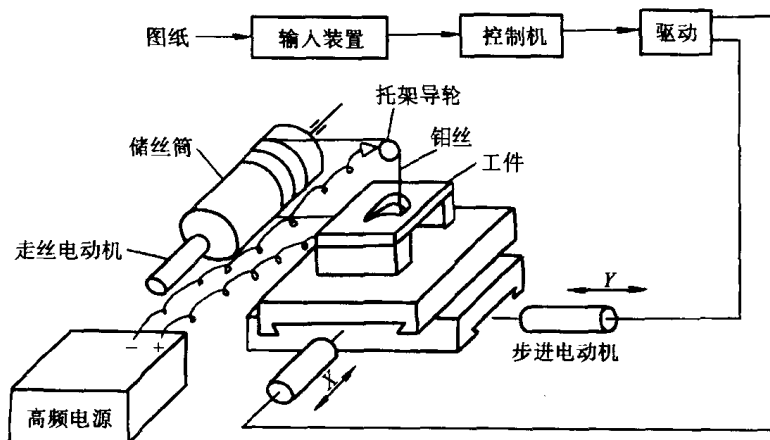


图 1-5 数控线切割机加工示意图

连续控制系统是多坐标同时控制，因此信息处理比较复杂，它要求控制机具有插补功能。

## 二、按控制原理分

检测反馈装置很重要，因为它在很大程度上决定数控设备的精度和可靠性，数控系统根据控制原理的状态信息有无及执行后的实际参数的来源，可分为：

### (一) 开环控制系统 (Open-loop control system)

这种系统是不带有位置检测装置，也不将位移的实际值反馈回去与指令值进行比较修

正，且控制信号的流程是单向的系统。

图 1-6 所示的为开环控制系统的逻辑框图，控制机根据输入的程序及指令，经过运算，发出指令脉冲，送到步进电机使其转动一定角度，再经传动齿轮和丝杠螺母带动工作台移动一定距离。采用此类控制系统的精度主要取决于：控制机的运算精度，伺服驱动机构和设备传动机构的精度。目前一般的定位精度为  $\pm 0.02\text{mm}$ ，少数可达  $\pm 0.01\text{mm}$ 。这类系统的优点是结构比较简单，调试和维修比较方便，成本较低，因此在一些精度和速度要求不十分高的数控设备中应用十分广泛。

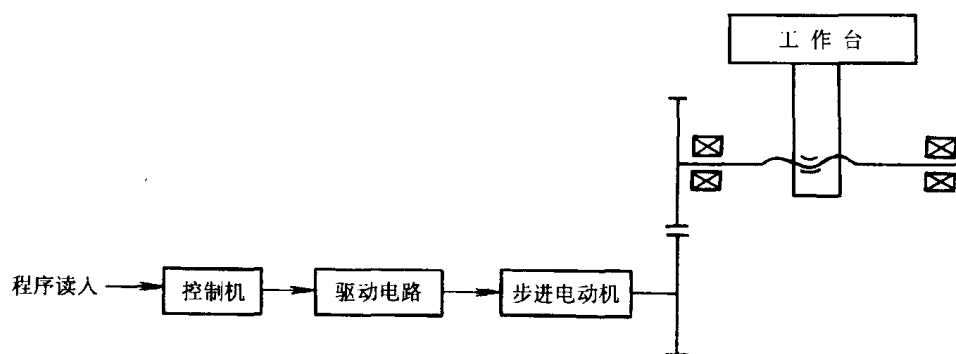


图 1-6 开环控制系统框图

## (二) 闭环控制系统 (Closed-loop system)

这种系统是带有位置检测装置，是将位移的实际值反馈回去与指令值比较，用比较后的差值去控制，直至差值消除时才停止修正动作的系统。

图 1-7 所示的为闭环控制系统的逻辑框图。安装在工作台上的位置检测装置把工作台的实际位移量转变为电量，反馈到控制器与指令信号相比较，得到的差值经过放大和变换，最后驱动工作台向减少误差的方向移动，直到差值为零，工作台才静止。因此，闭环系统的定位误差消除了放大和传动部分的误差，间隙误差等的直接影响，这种系统，理论上仅取决于测量装置的精度。这类系统直接测量位移，应用了反馈控制原理，可以达到较高的速度和精度，使定位精度可达  $\pm 0.01\text{mm}$  以内，缺点是系统较复杂，调试和维修较困难，对检测元件要求较高，且有一定的保护措施，而且成本高，所以此系统广泛应用于大型或比较精密的数控设备。

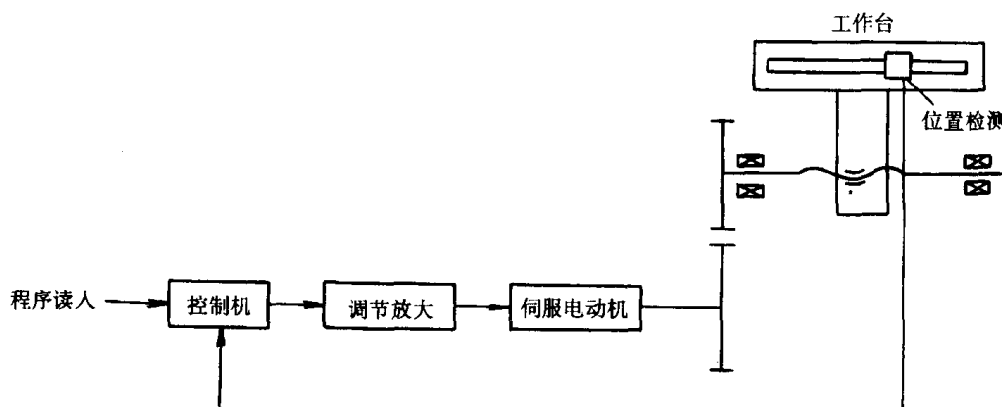


图 1-7 闭环控制系统框图

### (三) 半闭环控制系统 (Half closed-loop control system)

如图 1-8 所示, 这种系统是闭环系统的一种派生。它与闭环系统的不同之处仅在将检测元件装在传动链的旋转部位, 它所检测得到的不是工作台的实际位移量, 而是与位移量有关的旋转轴的转角量, 因此其精度比闭环系统稍差, 但是这种系统结构简单, 便于调整, 检测元件价格也较低, 因而是广泛使用的一种数控系统。

此外, 还有反馈补偿开环系统, 双重反馈 (位置, 速度) 系统等。

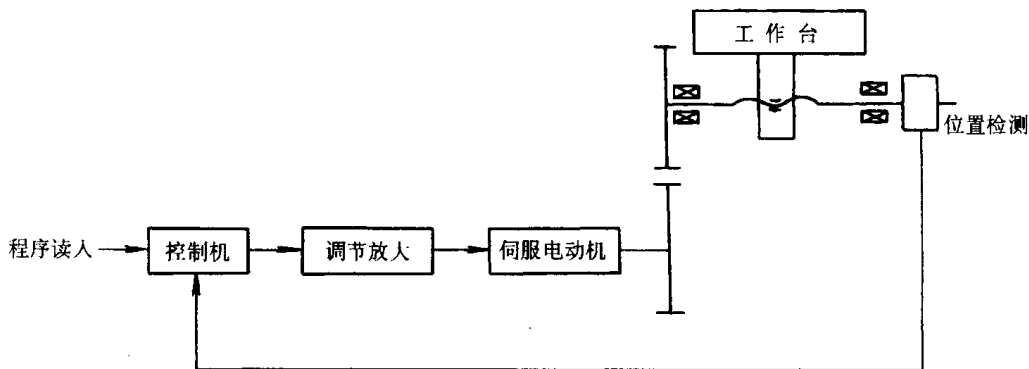


图 1-8 半闭环控制系统框图

## 第五节 数控技术的发展

自从美国帕森公司 (Parsons Co) 和麻省理工学院 (M.I.T) 合作于 1952 年研制成第一台三坐标数控铣床以来, 数控系统无论在内部结构还是在外观上都发生了急剧的变化。它的发展已经历了五代, 即从第一代采用电子管, 继电器, 到第二代采用晶体管分立元件, 到第三代采用集成电路, 到第四代采用小型机数控, 一直到 1974 年出现了第一台微处理器数控而进入第五代。据统计 1976 年的数控装置与 1966 年的相比, 在功能范围方面扩大了一倍, 体积缩小了 20 倍, 而价格降低了 4 倍。目前数控系统的可靠性日益提高, 而且无论在国防工业或民用工业, 数控技术的应用已相当普遍。

当前数控技术正向着以下几个方面发展:

### (一) 计算机数控 (Computer Numerical Control-CNC)

计算机数控其中也包括微型机或微处理机数控 (Minicomputer/Microprocessor Numerical Control-MNC)。其框图见图 1-9。它的数控功能是由系统程序决定的 (对微处理机则可将程序直接固化到 EPROM 中), 改变系统程序, 即可改变数控功能, 所以它具有很大的通用性, 同时 CNC 系统易于设立各种诊断程序, 进行故障的预检及自动查找。CNC 系统能使用 CRT 编程, 使程序编制简化, 并提供对其输入的系统加工程序及时修改的方便。此外, 对输出部分, CNC 系统能方便地实现数字伺服控制及配用可编程序控制器 (PLC) 进行程序控制。

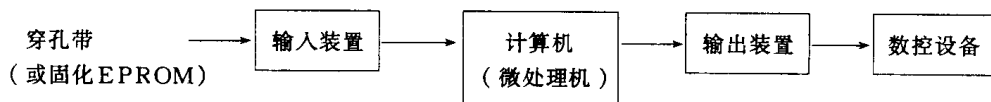


图 1-9 CNC 系统框图

CNC 的优点是明显的，尤其是廉价的 MNC 出现，使它很快地占领了数控领地，得到了很快的发展。

#### (二) 计算机直接数控 (Direct Numerical Control-DNC)

DNC 系统也称为计算机群控系统。它可以理解为一台计算机直接管理和控制一群数控设备的系统。在这个系统中，产品加工程序都由一台计算机储存与管理，并根据设备的需要，分时地把加工程序分配给各台设备。此外，计算机还对各数控设备的工作情况进行管理与统计（如打印报表等），并处理操作者的指令以及加工程序进行编辑、修改的要求。

目前，DNC 系统的发展趋势是由一台 DNC 与多台 NC 或 CNC 系统组成分布式，实现分级管理，而不用分时控制的方式。

#### (三) 以模块概念为基础的数控可变加工系统 (Flexible Manufacturing system-FMS)

这种系统又称为柔性制造系统，它是将一群数控设备与工件，工具及切屑的自动传输线相配合，并由计算机统一管理与控制，这就组成了计算机群控自动线。这样，整个系统的加工效率高，当加工产品改变时，有较强的适应性。

FMS 不仅实现了生产过程中信息流的自动化，还实现了传递各种物质流（物质材料）的自动化。

(四) 综合应用计算机辅助设计 (Computer Aided Design-CAD) 和计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing-CAM) 技术的无人化车间和无人化工厂。

CAD 和 CAM 的结合是产品设计和制造过程的完整系统。这系统具有计算机控制的自动化信息流与物质流，对产品的设计直到最终装配，试验这一全过程进行控制。目前国外正在积极研究，预计 20 世纪末，全面实现 CAD/CAM 设想的计算机集成自动化工厂将成为现实。

此外，还有自适应数控，简易数控等。

## 第二章 数控程序编制

实现数控的第一步就是程序编制，即用数控系统来加工零件。首先要根据零件图样编制一个控制数控设备运动的零件程序单。编写程序单时，要按零件图纸，给出工具（刀具）运动的方向和坐标值；根据零件材料、设备特性，给出设备的加工容量；根据零件加工的工艺流程，给出主轴电动机起停、正反转、冷却泵开闭等内容。然后将程序单的信息，记录到一定的信息载体即控制介质上。以上整个过程称为程序编制，其过程如图 2-1 所示。

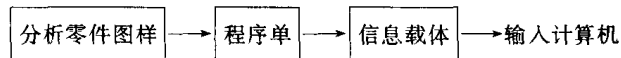


图 2-1 编程过程

下面通过一个例子来了解程序单的内容：

**例** 在数控钻床上加工图 2-2 所示零件的孔，加工时先装夹好该零件，并选定坐标原点、对刀点、换刀点，如图 2-3 所示。同时在零件上表示出确定坐标的值。这样所编制的程序单列于表 2-1 中。

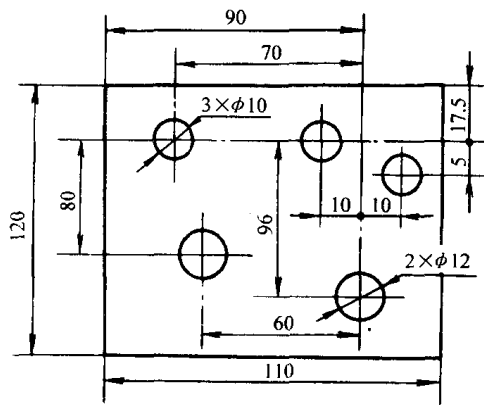


图 2-2 零件图

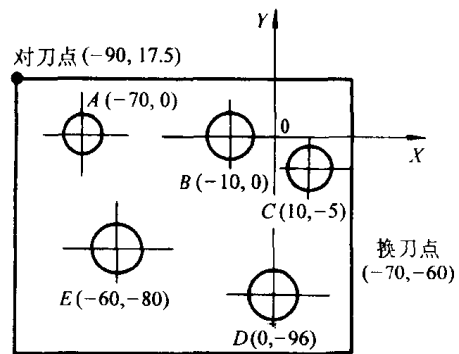


图 2-3 零件加工坐标图

表 2-1 程序单

序 号 N	准备功能 G	坐 标/mm			进给速度 功能 F mm·min <sup>-1</sup>	主轴转速 功能 S r·min <sup>-1</sup>	刀具 T	辅助功能 M	程序段结构 CR/ER	备 注
		X	Y	Z						
001		-90	+17.5					CR	对刀点	
002	G81	-70	0		600		T01	M01	CR →A	
003					110	880			CR	
004	G81	-10	0		600		T01	M01	CR →B	
005					110	880			CR	
006	G81	-10	-5		600		T01	M01	CR →C	
007					110	880			CR	
008	G81	+70	-60		600		T01	M01	CR →换刀点	
009							T02	M01	CR 换刀	
010	G81		-96		600		T02	M01	CR →D	
011					110	880			CR	
012	G81	-60	-80		600		T02	M01	CR →E	
013					110	880			CR	
014	G80							M02	CR 程序完	

从程序单中可以看出，从钻床开始启动到零件加工完毕，程序对钻床的每个动作都作了规定。因此，加工零件事先必须对零件图样进行工艺分析，在分析的基础上，进行必要的计算，以确定加工路径，选择刀具切削用量等。然后严格地按照所用数控设备规定的程序格式填写程序单中的每一个符号、字母和数字，如不是这样，数控系统就不能正常地运算和加工。由此可见，编程工作十分重要，其优劣程度直接影响数控系统的使用和加工特点的发挥。

概括地说，程序编制主要包括如下八方面的工作：

- ① 分析被加工零件的图样。
- ② 制订零件数控加工的工艺过程。
- ③ 选择或设计必要的辅助装置（如工夹具）。
- ④ 计算出数控系统完成零件加工每个程序段所需的输入数据。
- ⑤ 编制出零件加工程序单。
- ⑥ 制备程序信息的载体。
- ⑦ 校对、检验程序信息的载体。
- ⑧ 首件的试制加工。

在生产中，完成上述工作的方法可以不同，即编程方法可以不同。目前程序编程的方法有两种。一种是手工编程，即上述八方面工作，几乎都由人工来完成；另一种是自动编程或称计算机辅助编程。显然，自动编程效率高，且编出的程序质量也高，它可以避免在手工编程过程中易出现的人为差错。

## 第一节 坐标系统

程序清单中各个带有“+”或“-”号的尺寸数字，只有在规定的各坐标轴与运动方向时，才具有实际意义。

### 一、坐标系和运动方向

数控设备的坐标系按国际标准化组织标准（International Organization for Standardization-ISO）规定为右手直角笛卡尔坐标系，如图 2-4 所示表明了右手坐标系及旋转正方向的规定。使用这样的右手坐标系，加工中的几何关系均可直接像数字上的坐标值一样处理，这就给程序编制中的数学处理提供了很大方便。

在数控设备中，通常直线运动的坐标轴由  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  构成，三个回转运动  $A$ 、 $B$ 、 $C$  相应地表示其轴线平行  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴的坐标运动。 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的正方向是使工件尺寸增加的方向，而  $A$ 、 $B$ 、 $C$  则用  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的正方向按右旋转方向为正。一般以平行于主轴的轴线为  $Z$  坐标， $Z$  轴主要是传递切削动力，其运动是垂直的； $X$  坐标方向确定为水平的，而且是平行工件装夹面，其直线运动是径向的；最后  $Y$  坐标就可按右手规则决定。

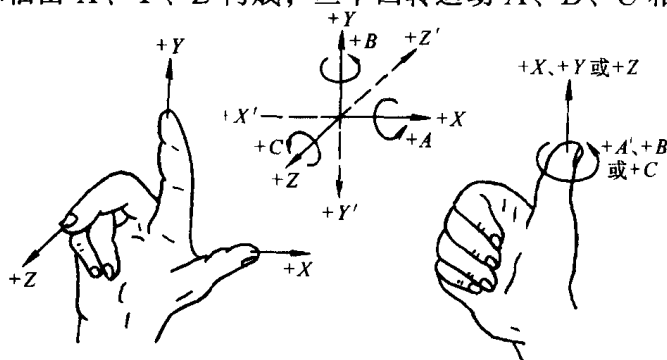


图 2-4 右手坐标系及旋转正方向

上述坐标轴的正方向均是指工件相对不动的，刀具的移动方向。在需要表示工件运动时，用加“'”字母表示，如  $X'$ 、 $Y'$ 、 $Z'$  等，显然，加“'”字母表示的工件运动正方向与不加“'”之同一字母表示的刀具运动方向正相反，然而，通常确定以刀具移动时的坐标正方向作为编程的正方向。

顺便指出，若在  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  主要直线运动之外，另有第二组平行于它们的坐标运动，应分别指定为  $U$ 、 $V$ 、 $W$ 。

## 二、程序编制的增量方式与绝对值方式

程序编制的增量方式与绝对值方式是指定位的坐标值在输入时的两种表示方式，它类似于图样上标注零件尺寸的两种方式。若加工时输入孔的各孔定位位置尺寸都以同一基准点为计量依据时，就称其程序编制为绝对值方式。另一种方式是所有孔的定位点位置尺寸都以前一个定位点位置为基准来计量，而不是以共同基准点为依据，则称为程序编制为增量方式，图 2-5 的和表 2-2 的例子说明了这两种编程方式的区别。

编程人员根据零件图尺寸标注方式选择其中一种方式，所选的方式最好和零件图样尺寸标注的方式一致。这样不仅减少了尺寸换算，而且比较容易保证加工精度。大部分数控系统允许将绝对值与增量两种方式混合使用来编制程序，当需要从一种编程方式改变为另一种编程方式时，可在程序段开始前用相应的 G 功能指令来改变。

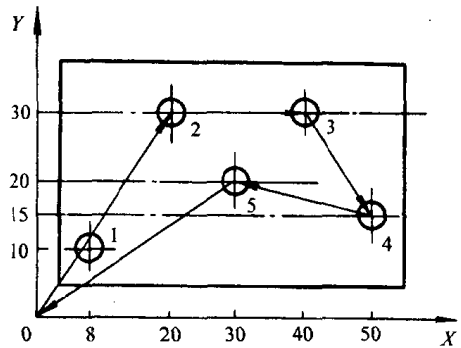


图 2-5 零件的钻孔加工

表 2-2 钻孔加工的两编程方式比较表

序号	按增量值编程		按绝对值编程		序号	按增量值编程		按绝对值编程	
1	X800	Y1000	X800	Y1000	4	X1000	Y-1500	X5000	Y1500
2	X1200	Y2000	X2000	Y3000	5	X-2000	Y500	X3000	Y2000
3	X2000	Y0	X4000	Y3000	6	X-3000	Y-2000	X0	Y0

## 三、固定原点与浮动原点

数控设备在设备的一定位置上设置了固定原点，固定原点一般是测量系统的零点，固定原点又称为设备原点，它的位置是固定不变的。

编制零件程序的起始点称为程序原点，也是加工时的“对刀点”。程序原点可根据需要自行确定位置，它必须使编程简单，工件找正时容易，加工过程中检查方便，而且引起的误差最小。对于这种位置同零件而异的不固定的原点又称浮动原点。

浮动原点可以设在零件上，为了提高加工精度，浮动原点应尽量选在零件的设计基准上。当对刀点设在夹具上时必须与零件的定位基准有一定的坐标尺寸联系，这样才能确定设备坐标系与零件坐标系的相互关系，当对刀点不与固定原点重合（如图 2-6 所示）时，加工前要进行零偏置操作，即设定浮动原点与固定原点的相对位置关系。在很多数控设备编程时，可用专门准备功能 G92 功能来设置偏置量。这样以后的定位加工，可依据浮动原点，用绝对

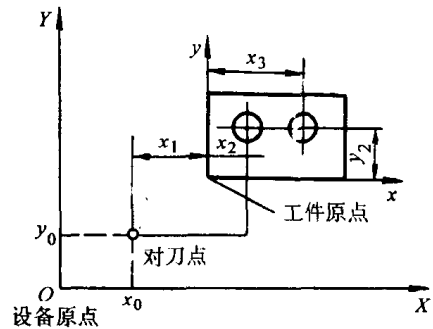


图 2-6 设备原点与对刀点

值方式编程。若相对于对刀点，输入第一孔的位置数值为  $x_1 + x_2, y_1 + y_2$ ；第二孔的位置数值为  $x_1 + x_3, y_1 + y_2$ ，数控系统将输入坐标值与偏置量  $x_0, y_0$  自动相加，进行定位及加工。

加工中经常采用程序原点与工件原点重合的方法编程，此时工件原点即为对刀点。

## 第二节 加工程序的信息载体

数控系统采用信息载体（或称控制介质）以输入加工程序的信息。作为数控系统的信息载体的方式是很多的，但归纳起有两类。一类是无带信息载体，它使用拨码开关、波段开关、扳键开关、数码插销和按键等的手动方式输入程序信息；另一类是有带信息载体，它采用穿孔纸带、穿孔卡片、磁带、磁盘等自动方式输入程序信息。前一类一般用于简易数控系统，后一类则比较灵活方便，一些功能齐全的数控系统都具有这种方式。

### 一、穿孔纸带的规格与编码

#### (一) 纸带的规格

数控系统普遍采用穿孔纸带作为信息载体，其上以穿孔形式记载了输入的加工指令的信息。根据纸带上每行穿孔数的不同，有五单位、八单位等数种。

#### 1. 五单位穿孔纸带

五单位穿孔带有 17.5mm 宽，它的形式如图 2-7 所示，每横排有 6 个孔，其中 1 个为小孔，称同步孔（或中导孔）；其余为大孔，即 4 个代码孔和 1 个奇偶校验孔。根据它们的不同组合可表示不同的输入信息，因此称为信号孔。

同步孔在输入时产生一连串的脉冲作为读入信号或起引导作用。奇偶校验孔用来及时发现纸带输入时是否出错，事先人为地编排好每排孔，且要求：代码孔 + 奇偶校验孔 = 偶数（偶校验）或奇数（奇校验）。若在输入时出现不符合上述编排的情况，则输入机立即发出“奇偶出错”停机的信号。

这种纸带由于孔数少，因而输入信息的代码数就受到限制，因为信号孔只有 4 个，而每个孔又只表示“有”、“无”两种状态，故所能表示的符号只有  $2^4 = 16$  个。因此，五单位纸带一般用于较为简单的数控系统上，目前基本不采用。

图 2-7 表示处于第 I、II 象限欲加工的一般圆弧 AC。图 2-8 表明了按表 2-3 的程序格式与编码所编制的加工圆弧 AC 的程序穿孔纸带。

#### 2. 八单位穿孔纸带

八单位穿孔纸带有 25.4mm 宽，它的形式如表 2-4 所示。每横排有 9 个孔，其中 1 个同步孔，1 个特

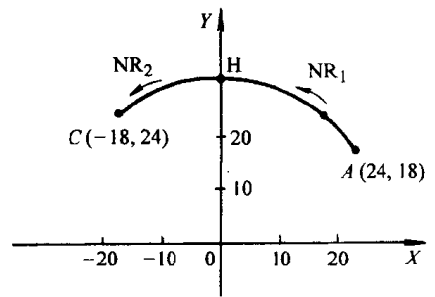


图 2-7 第 I、II 象限同弧 AC

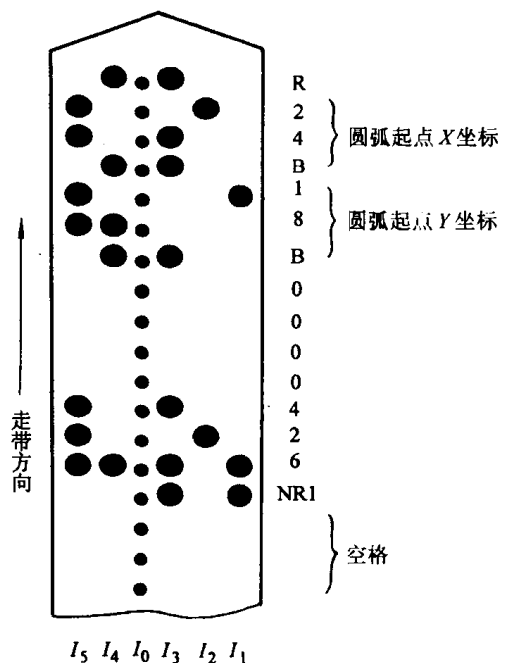


图 2-8 程序穿孔带



征孔，6个代码孔和1个奇偶校验孔。小孔的作用与五单位相同，大孔所代表的意义根据不同的编码而有所不同，八单位穿孔纸带由于孔道数多，因而可能存储的信息就多，所以对于功能要求较齐全的数控系统，几乎都采用这种纸带。

为了使数控系统的输入线路能够理解，必须作出有关穿孔带输入信息的规定。按照规定编制程序并制作穿孔带。另一方面，在设计输入线路时也据此对输入信息进行译码与处理，供进一步运算中使用。

(二) ISO 代码与 EIA 代码

所谓编码，就是每一个加工程序的输入信息（数字或字母等）用穿孔带上的有孔和无孔的不同组合来表示，以实现应遵循的标准规定。在实际使用中有标准的和非标准的等多种编码方式，目前国际上通用的编码有两种：EIA 标准代码和 ISO 标准代码。如表 2-4 所示。

1. EIA 标准代码

EIA (Electronic Industries Association) 是美国电子工业协会的编码。由表 2-4 可以看出，EIA 编码除去第五排孔用作奇偶校验外，第八排孔只有“CR”代码用到所以实质上仅用 3 只排孔。此外，每一个代码的穿孔数都由第五排孔凑成奇数。EIA 编码时“1”表示穿孔，“0”表示不穿孔。

2. ISO 标准代码

EIA 代码是最早采用的数控系统输入信息的标准代码，后来由于软设备技术在数控系统及其自动编程中应用日益广泛，原有的 EIA 标准已感到不足，故发展了一种 ISO 的标准代码。

ISO 编码是由国际标准化组织于 1968 年制定的。它是 7 位补偶代码，第 8 位为补偶位，且也为“1”表示穿孔，“0”表示不穿孔，这种代码较有规律性，有利于计算机配合使用。ISO 代码的编制规律如表 2-5 所示。

3. EIA 和 ISO 两种代码的区别

分析一下 EIA 和 ISO 两种代码孔的特点，可以发现它们有如下不同：

① ISO 代码的特点是数字和字母及其它符号在孔位上是有区别的，数字码在第五和第六排上都有孔，文字码在第七排上有孔。而 EIA 代码没有这点区别。所以 ISO 代码较 EIA 代码容易识别。

② ISO 代码最多能表示的符号为  $2^7 = 128$  个；而 EIA 代码则只有  $2^6 = 64$  个。

③ ISO 代码为补偶代码，这与通用计算机一样。所以便于通用穿孔设备采用。同时，由于电传打字机也采用这种编码，因此数控系统的代码也希望用 ISO 代码。

表 2-3 五单位纸带编码

内 容	纸 带 孔 道					
	I <sub>5</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>0</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>
数 据	0		○			
	1	○	○			○
	2	○	○		○	
	3		○		○	○
	4	○	○	○		
	5	○	○	○	○	○
	6		○	○	○	○
	7	○		○	○	○
	8	○	○	○		
	9		○	○		○
加 工 指 令	SR <sub>1</sub>		○		○	
	SR <sub>2</sub>	○	○			
	SR <sub>3</sub>	○		○		○
	SR <sub>4</sub>		○		○	○
	NR <sub>1</sub>		○	○		○
	NR <sub>2</sub>	○		○	○	○
	NR <sub>3</sub>		○	○	○	
	NR <sub>4</sub>	○		○		
	L <sub>1</sub>	○	○	○		
	L <sub>2</sub>		○	○		○
L <sub>3</sub>	○	○	○		○	
L <sub>4</sub>	○	○	○	○	○	
输 入 指 令	B		○	○	○	
	GX	○	○	○	○	○
	GY	○	○	○	○	
停 机	D		○	○	○	○
废 码	Φ	○	○	○	○	○