

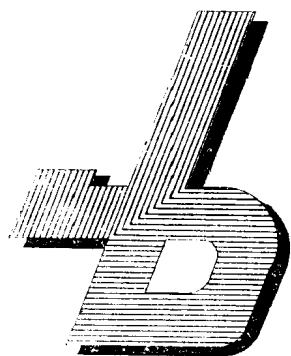
数控技术

毕承恩 主编

机电工程
新技术
基础丛书



7-0.071
618



机电工程新技术基础丛书



毕承恩 主编

数控技术

机械工业出版社

8610531

本书是机电工程新技术基础丛书之一。主要内容有：数控技术的基本概念，硬件数控系统，计算机及微处理机数控系统，伺服控制系统及驱动元件，几种常用的测量元件，并介绍了当前世界上产业部门的新技术——柔性制造系统和工厂自动化，最后，对数控系统的可靠性和可维修性技术也进行了探讨。

本书主要针对从事机电产品的设计、制造、维修和管理的工程技术人员知识更新培训使用，也可供一般高等学校机电类专业师生和具有机电基础知识的技术人员和工人参考。

机电工程新技术基础丛书

数 控 技 术

毕承恩 主编

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

北京怀柔县东茶坞印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $9\frac{1}{4}$ · 字数 240 千字

1986年2月北京第一版·1986年2月北京第一次印刷

印数 0·001—6,790 · 定价 2.70 元

统一书号：15033·6144

前 言

本书是适应机电工程的工程技术人员知识更新的需要而编写的。

数控技术从五十年代初，在美国首先应用至今，已有三十多年的历史了，它从机床工业起始，如今已渗透到航空、造船等其他机械制造部门。从过去的单机控制，发展到现在的成组控制，一条线控制以至整个车间和工厂的自动化控制，涉及的新技术和配套技术也越来越多，数控技术已成为机电工业不可忽视的新技术，而且随着信息社会的到来，这一技术还在不断深入和丰富之中。

在编写过程中，我们对于六十年代以及七十年代初期的传统性数控技术，力求简明扼要，略加介绍，而把重点放在七十年代后期和八十年代的新技术，但由于新技术在日新月异的进步，编者个人认识水平的局限性和篇幅的限制，我们只能作一个基本的介绍。

参加数控技术编写工作的还有张广荃、历承兆、童教陞等同志。张广荃编写第二章的一部分。历承兆编写第四章。童教陞编写第三章和第二章的一部分。由毕承恩组织、修改和定稿，并经韩至骏副教授审阅。

编写机电工程新技术基础丛书，是一项技术性和时间性要求很强的工作，由于我们的认识水平所限，书中必然有不少缺点和错误，恳切希望读者批评指正。

编 者

1983年12月于北京

《机电工程新技术基础丛书》出版说明

科学技术的飞速发展，要求在机械工业部门从事技术和管理工作的干部学习和了解有关专业的新水平、新成就、新技术、新知识。为了贯彻机械工业“上水平、上质量、上品种，提高经济效益”这个总方针，帮助在职工程技术人员学习业务，更新知识，更好地为祖国的四化建设服务，我们特组织编写了这套《机电工程新技术基础丛书》，第一批将陆续出版十七种。这十七种书是：《工程数学方法》、《弹塑性力学》、《机械优化设计》、《电机、电器优化设计》、《机电产品可靠性技术》、《能源利用与开发》、《液压传动与控制》、《测试技术》、《环境污染与治理》、《材料科学及其新技术》、《数控技术》、《微型计算机应用技术》、《电子电路技术》、《自动控制工程》、《系统工程概论》、《管理数学》、《技术经济分析》。

这套丛书的读者对象，主要是六十年代以来的大学和中专毕业生，现在从事机电产品的设计、制造工艺、技术改造、设备维修、质量管理、技术管理等工作的工程技术人员。

丛书内容着重于七十年代以来机电工程和管理工程有关学科的最新发展。重视阐明物理概念的基础上，介绍新技术、新理论的应用，以及如何进行有效管理和提高经济效益。为了适应更多读者的需要，丛书以介绍基础性知识为主，不过多地作专业理论的探讨和论证。使它既可以作为在职技术干部和管理人员的培训教材，又可兼顾自学需要，使具有一般高等教学、普通物理知识的读者能够看懂。

由于条件和水平所限，丛书内容难免有不妥之处，希望读者提出宝贵意见，帮助我们改进提高。

目 录

第一章 数控概述.....	1
§ 1—1 数控技术的基本概念.....	1
一、什么是数控.....	1
二、数控的分类.....	2
§ 1—2 数控功能的基本概念.....	5
§ 1—3 数控的程序编制.....	12
一、程序编制的分类.....	1
二、手工编程.....	13
三、自动编程.....	14
四、自动编程的语言系统.....	14
§ 1—4 计算技术的更新推动数控技术的发展.....	15
一、数控设备的产生.....	15
二、计算机数控系统的出现加快了数控技术的普及.....	15
三、数控技术的新时代.....	17
第二章 硬件数控系统 (NC 系统)	21
§ 2—1 概述.....	21
§ 2—2 数字脉冲乘法器.....	21
一、数字脉冲乘法器的基本结构.....	21
二、脉冲分配原理.....	22
三、直线插补器.....	23
四、均匀器和倍乘器.....	25
§ 2—3 逐点比较法的基本原理.....	26
一、概述.....	26
二、直线插补器的基本结构.....	27
三、圆弧插补器的基本结构.....	31
四、象限与坐标变换.....	36
§ 2—4 数字积分器.....	37

一、数字积分器的工作原理	37
二、直线插补	39
三、圆弧插补	42
四、实用的数字积分器需要解决的两个问题	46
第三章 计算机数控系统 (CNC 系统)	51
§ 3—1 计算机数控系统的基本概念	51
一、计算机数控系统定义	51
二、计算机数控系统的构成	51
三、计算机数控系统的主要优点	52
四、计算机数控系统的分类	54
§ 3—2 微处理器数控系统的结构和工作过程	54
一、微处理器数控系统的组成	54
二、微处理器数控系统的工作过程	56
§ 3—3 控制软件	58
一、概述	58
二、输入	60
三、译码	64
四、预计算	69
五、插补	74
六、输出	78
§ 3—4 CNC 系统使用的外部设备	80
一、概述	80
二、音频盒式磁带机	80
三、视频显示	86
§ 3—5 可编程控制器 (PC)	90
一、可编程控制器的特点	90
二、可编程控制器基本工作原理	92
三、可编程控制器的指令系统	94
第四章 数控伺服系统和驱动元件	101
§ 4—1 数控伺服系统	101
一、概述	101
二、直流调速系统	102

三、直流伺服系统	109
四、伺服系统对执行元件的要求	111
§ 4—2 步进电动机	112
一、步进电动机的特点	112
二、步进电动机的工作原理	112
三、步进电动机驱动电源	116
§ 4—3 直流伺服电动机	123
一、直流电动机分类和其特性	123
二、永磁直流电动机	127
三、直流伺服电动机的性能	130
四、直流伺服电动机的选择方法	134
§ 4—4 伺服系统和驱动元件的新发展	140
一、脉宽调制的快速伺服系统	140
二、交流伺服系统	146
三、主轴传动的改革	148
第五章 数控应用中的测量元件	151
§ 5—1 数控对测量元件的要求	151
一、测量元件在数控中的重要性	151
二、测量元件的分类	152
§ 5—2 旋转型测量元件	153
一、测速发电机 (Tachgenerator)	153
二、旋转变压器 (分解器)	156
三、脉冲编码器	162
四、主轴位置编码器	165
五、手摇脉冲发生器	167
六、绝对值编码器	168
§ 5—3 直线型测量元件	169
一、感应同步器	169
二、磁尺	174
三、光栅	176
第六章 柔性制造系统 (FMS)	178
§ 6—1 概述	178

§ 6—2 工业机器人	180
一、什么叫工业机器人	180
二、工业机器人的基本结构	183
三、工业机器人的控制系统	185
§ 6—3 制造单元	186
一、加工单元的结构	187
二、加工单元的主要功能	189
§ 6—4 仓库和输送系统	191
一、自动化仓库	191
二、无人输送系统	194
三、随行工作台存放站	204
四、仓库输送管理系统	205
§ 6—5 操作管理系统	206
一、操作管理系统的组成	207
二、操作管理系统的功能	209
三、操作管理系统的控制流程	210
§ 6—6 从柔性制造系统到工厂自动化	211
一、日本大畏铁工所的 FMS	212
二、发那科公司电机工厂的 FMS	215
三、工厂自动化	216
第七章 数控系统和伺服系统的可靠性和可维修性	220
§ 7—1 引言	220
§ 7—2 可靠性理论的基本概念	221
一、可靠性和可维修性的几个概念	221
二、可靠性技术和可靠性设计	224
§ 7—3 干扰的来源	228
一、干扰	228
二、干扰源及其分类	228
三、干扰的耦合方式	229
§ 7—4 抗干扰能力的提高	231
一、地线的设计	231
二、通道地线的设计	235

三、在电路设计中, 抗干扰能力的提高	237
四、中速电路的印制电路板上的抗干扰	239
五、高速电路的印制电路板抗干扰措施	240
六、系统内部干扰源的抑制	241
七、采用隔离变压器防干扰	241
八、采用电平转换电路作为强弱电之间的抑制隔离措施	242
九、在系统电源部分采取抗干扰措施	243
十、在传输线中采取的防干扰措施	244
§ 7—5 提高系统的可维修性	247
一、在系统内设置报警电路和保护电路	248
二、诊断要及时	249
三、日常维护项目必须坚持	249
四、必须具备完整的维修资料	250
§ 7—6 提高制造工艺水平	250
一、把好元器件老化筛选关	250
二、把好印制电路板基板的检查关	250
三、把好组装焊接关	251
四、把好印制电路板功能板的试验关	251
五、把好系统温度循环考验关	252
附录(一)	255
§ 1 微处理器硬件的基本概念	255
§ 2 微处理器系统的软件基础	273
附录(二) ASCII 码	285
参考文献	286

第一章 数 控 概 述

§ 1—1 数控技术的基本概念

一、什么是数控

数控顾名思义就是以数字的形式实现控制的一门技术。如果一种设备的操作命令是以数字的形式来描述,工作过程是按照规定的程序自动地进行,那么这种设备就称为数控设备。数控机床、数控火焰切割机、数控绘图机、数控冲剪机等都是属于这个范围内的自动化设备。我们用图1—1来描述数控设备的一般形式。

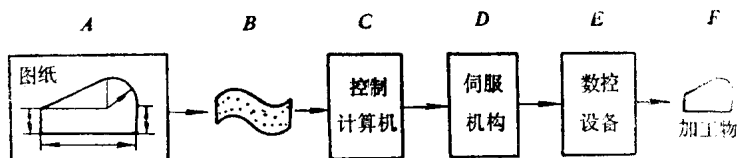


图 1—1 数控设备的一般形式

图中, *A* 为被加工物的图纸, 图纸上的数据大致分为二类: 几何数据和工艺数据。这些数据是指示给数控设备命令的原始依据(简称“指令”)。*B* 为控制介质, 通常用纸带或磁带作为记载指令的控制介质。*C* 为数据处理和控制的电路, 一般的由一台控制计算机组成。原始数据经过它处理后, 变成伺服机构能够接受的位置指令和速度指令。*D* 为伺服机构, “伺服”这个词起源于希腊语“奴隶”, 我们可以把“*C*”控制计算机比拟为人的“头脑”, 则“伺服机构”相当于人的“手”和“足”, 我们要求伺服机构无条件的执行“大脑”的意志。*E* 为数控设备, *F* 为加工后的物件。

“数字控制”和“顺序控制”是两种不同的概念。对于“顺

8610531

序控制”来说，控制计算机只能控制自动加工中各种动作的先后顺序，而对运动部件的位移量不能进行控制。它的位移量是靠预先调整好尺寸的挡块等方式来实现的。数字控制的过程是一个自动化过程，使数控设备进行自动控制的那些指令是以数字和文字编码的方式记载在控制介质上，经过控制计算机处理和计算后，对各种动作的顺序、位移量以至速度等实现自动控制。这样，比起其它自动化设备所采用的凸轮、靠模、调整限位开关等要简便得多。

随着生产的发展，随着一个国家工业水平的提高，数控设备在机械、电子和国防等行业中应用范围愈来愈广泛。在实际采用时，一定要充分考虑其技术经济效益。目前，选用数控设备主要考虑三种因素：即单件、中小批量的生产；形状比较复杂，精度要求高的加工；产品更新频繁，生产周期要求短的加工。凡是符合三种因素之一的情况，采用数控设备，对于改进产品质量、减轻工人劳动强度、提高经济效益等，都会获得显著的效果。

二、数控的分类

数控技术首先在机床行业获得广泛的应用，现在已有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控加工中心、数控钻床、数控线切割机床等。在其它行业也出现许多数控设备，例如：造船行业的火焰切割机、飞机制造业的弯管机、压力机、检查机、绘图机，还有坐标测量机、冲剪机、电火花加工机等都实现了数控化。这些设备的数据处理和控制电路以及伺服机构，统称为数控系统。在使用上，虽然各自的控制对象不同，在原理上却万变不离其宗。按照数控系统的基本原理，可以进行下述分类：

（一）按工具运动轨迹分类

1. 点位控制 这类控制方式只要求控制工具从一点移到另一点的准确位置，而对运动轨迹原则上不加控制。

2. 直线控制 这类控制方式除了控制点与点之间的准确位置外，还要保证被控制的两点之间移动的轨迹是一条直线，而且

移动的速度是按照给定的速度进行控制的。

3. 连续控制（或称轮廓控制） 这类控制方式能够对两个或两个以上坐标方向的位移进行严格的不间断控制。

（二）按伺服机构的控制方式分类

1. 开环控制 这种控制方式通常不带有位置测量元件，伺服驱动元件为步进电机或电液脉冲马达。输入的数据经过数控系统的运算分配出指令脉冲，每一个脉冲送给步进电机或电液脉冲马达，它就转动一个角度，再通过传动机构使被控制的工作台移动。

这种方式对实际传动机构的动作情况是不进行检查的，没有被控制对象的反馈值，指令发送出去不再反馈回来，称为开环控制。



图 1—2 开环控制框图

图 1—2 为开环控制的框图。这种控制方式容易掌握，调试方便，维修简单，但控制精度和控制的速度受到限制。

2. 闭环控制 这种控制方式必须具备测量元件。如图 1—3 所示，④为速度测量元件，③为位置测量元件。当指令值发送到位置比较电路时，此时若工作台没有移动，没有反馈量，指令值使得伺服电机转动，通过④将速度反馈讯号送到速度控制电路，通过③将工作台实际位移量反馈回去，在位置比较电路中指令值进行比较，用比较的差值进行控制，直至差值消除时停止，这就叫闭环控制。这种控制方式的优点是精度高，速度快。但是调试和维修比较复杂。

3. 半闭环控制 如图 1—4 所示，这种控制方式对工作台的实际位置不进行检查测量，而是通过与伺服电机有联联系的测量元件，如测速发电机④和光电编码器或分解器⑤等间接检测出伺

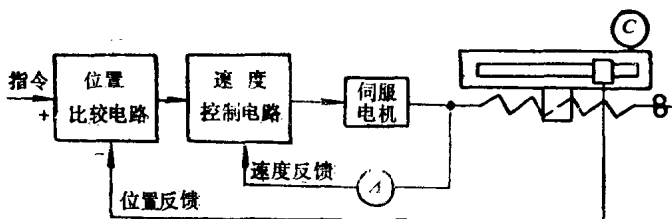


图 1—3 闭环控制框图

伺服电机的转角，推算出工作台实际位移量，用此值与指令值进行比较，用差值来实现控制。从图 1—4 可以看出，由于工作台没有完全包括在控制回路内，因而称之为半闭环控制。这种控制方式介于开环与闭环之间，精度没有闭环高，调试却比闭环方便。有人说：半闭环控制是“开环”的精度，“闭环”的速度。这说明它兼顾了两者的特点。

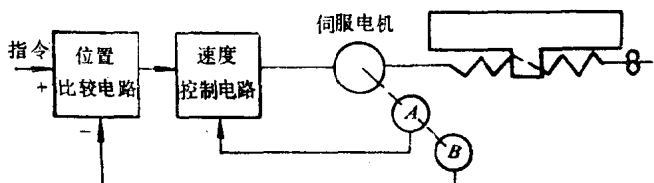


图 1—4 半闭环控制框图

4. 混合控制 将以上三种控制方式的特点有选择的集中起来，可以组成混合控制的方案。这在大型数控机床中是人们多年研究的题目，现在已成为现实。因为，大型数控机床，需要高得多的进给速度和返回速度，又需要相当高的精度。如果只采用全闭环控制，机床传动链和工作台全部置于控制环节中，因素十分复杂，尽管安装调试多经周折，仍然困难重重。为了避开这些矛盾，我们采用混合控制方式。在具体方案中它又可分为两种形式。

（1）开环补偿型 图 1—5 为开环补偿型控制方式。它的特点是：基本控制选用脉冲马达的开环控制伺服机构，附加一个

校正伺服电路。通过装在工作台上直线位移测量元件的反馈信号来校正机械系统的误差。

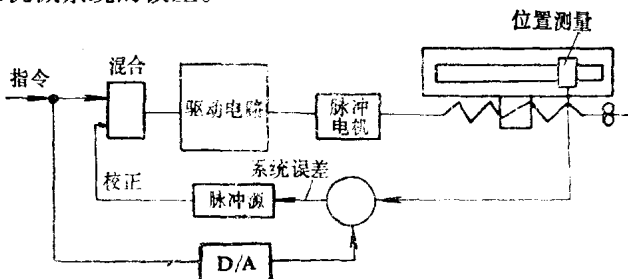


图 1—5 开环补偿型控制

(2) 半闭环补偿型 半闭环补偿型(见图 1—6)的特点是:用半闭环进行基本驱动以取得高速度控制,再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环,然后用全闭环和半闭环的差进行控制,以获得高精度。其中④是速度测量元件如测速发电机,⑤是角度测量元件如分解器,⑥是直线位移测量元件如感应同步器等。

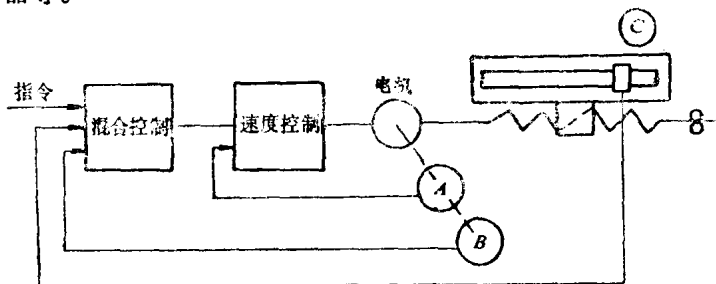


图 1—6 半闭环补偿型控制

§ 1—2 数控功能的基本概念

掌握数控技术关键之一是搞清它的基本概念。数控设备的核心是数控系统,这是一台控制计算机,它是执行运算功能、指挥数控设备进行自动控制的主要组成部分。这些年来,随着技术的发展,数控系统的功能不断扩大,人们使用起来日益方便。因

此, 学习数控系统的功能, 弄清它的概念, 是数控入门中重要的一环。这里不能全部介绍, 只能把常用的和最近新出现的功能给予介绍。

(一) APT 语言 (Automatically Programmed Tools Language)

这是一种接近英语的符号语言, 是对工件和刀具的几何形状及刀具相对工件的运动进行定义时所用的语言。将用此语言描写的零件程序输给计算机, 就能自动地作出穿孔带。作为数控加工用的软件来说, APT 是一种代表性语言。

(二) 最小设定单位

这是指编制程序者和操作者对数控系统内一个脉冲当量的规定值, 并规定是公制还是英制, 例如是 $1\mu\text{m}$ 还是 $10\mu\text{m}$, 是 0.0001in 还是 0.001in 。

(三) 最小移动单位

这是指一个与指令对应的输出脉冲的移动当量, 由输出电路和测量元件所决定, 一般在设计时或操作时要预先选定好。

(四) 程序段格式 (又称: 数控纸带的格式)

这是指一种数控系统对输入给它的程序的文字和地址数据的排列格式。

如: N134 G01 X-32000 Y+47000 F1020 S1250

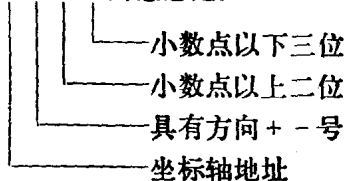
T16 M06.

(1—1)

如果将 (1—1) 式写成一般格式, 则为:

N 3 G 2 X + 23 Y + 23 F 4 S 4 T 2 M 2.

注: X + 2 3 的意思是:



(五) ISO 代码及 EIA 代码

这是世界上常用的两种标准代码，代码表如图 1—7 所示。ISO 代码 (International Organization for Standardization)

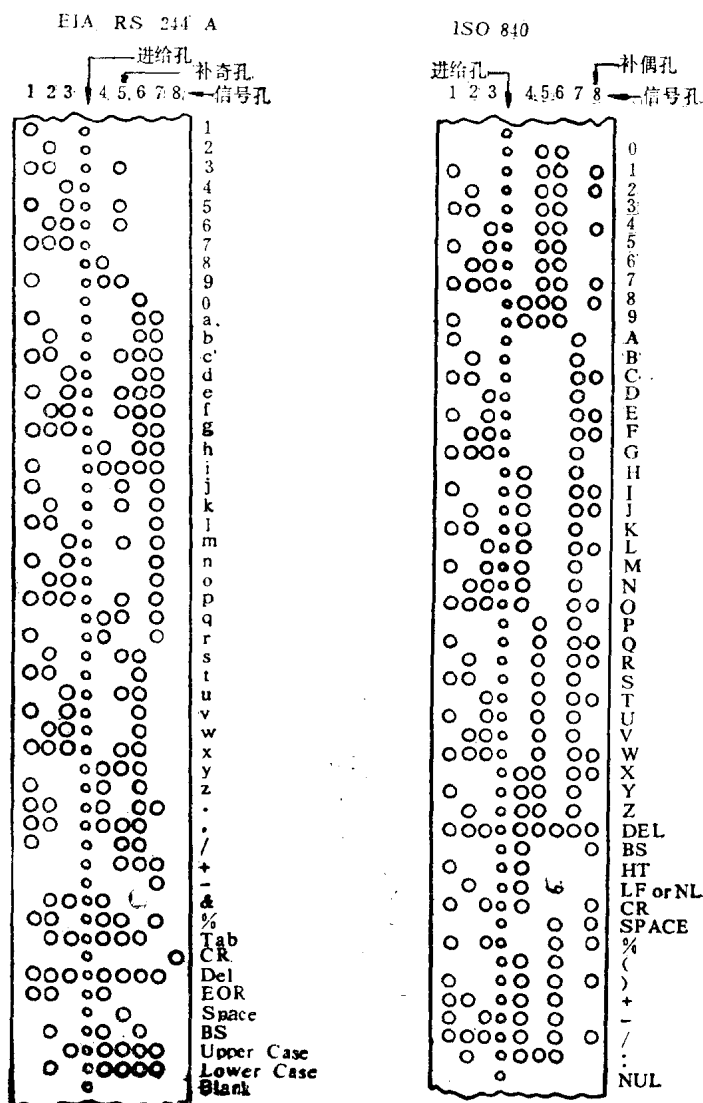


图 1—7 数控纸带代码表