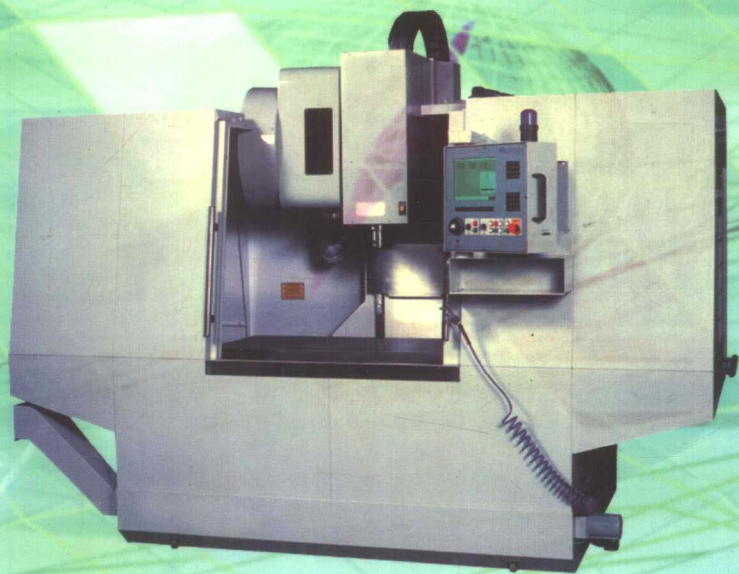
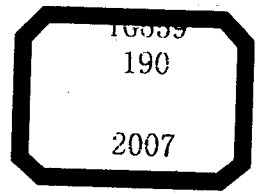


数控机床与编程

主编 仲兴国



东北大学出版社
Northeastern University Press



数 控 机 床 与 编 程

主 编 仲兴国

副主编 张景耀 宋书汉 潘恒阳

东北大学出版社

• 沈 阳 •

©仲兴国 2007

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床与编程 / 仲兴国主编. — 沈阳 : 东北大学出版社, 2007.3
ISBN 978-7-81102-367-1

I. 数… II. 仲… III. 数控机床—程序设计 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 025940 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

Web: <http://www.neupress.com>

印 刷 者: 沈阳市第六印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm×260mm

印 张: 14.5

字 数: 380 千字

出版时间: 2007 年 3 月第 1 版

印刷时间: 2007 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-81102-367-1

责任编辑: 牛连功

责任校对: 姜 亮

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

定 价: 27.00 元

前 言

20 世纪中叶以来, 数控技术给机电行业带来了革命性的变化。近年来, 数控设备已大量涌入制造业, 数控技术成为制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础技术。可以说, 数控机床的拥有量已经成为一个国家工业水平及竞争实力的一个重要标志。在我国, 数控机床也正在以惊人的速度逐步取代普通机床, 因此, 几乎所有的机械加工企业都急需大量的具备一定实践与理论知识的数控机床操作和维护人员。为适应数控技术现代化的要求, 作为一名合格的数控机床操作者, 不但要学习普通机床操作所需的专业理论知识(制图、机械基础、加工工艺等课程), 而且要系统学习数控方面的专业理论知识(数控机床的原理、数控加工工艺等)和数控编程(手工编程、自动编程)的相关知识。结合多年教学与实践经验, 我们编写了这本教材。

本书从高等职业技术教育的实际出发, 对数控机床的知识体系进行了整体优化, 着重叙述数控机床加工与编程技术, 同时还介绍了数控机床主体结构、计算机数控系统及数控机床的伺服系统。以数控车床、数控铣床和加工中心的应用为重点, 选用目前企业中广泛使用的 FANUC 及国产华中世纪星系统为介绍对象。自动编程部分以 MasterCAM 为对象, 以数控加工的实际生产为基础, 介绍数控车床、数控铣床和加工中心的功能特点, 突出典型零件的工艺分析及编程技术的指导。以实际应用为主线, 强调学生实践技能与应用技巧的培养。

本书可作为高职数控专业和其他机电专业及相关工程技术人员的教材或教学参考书。也可作为数控加工操作者提高职业技能、学习数控知识的自学教材。

全书内容共分 8 章。其中第 1, 2 章由沈阳理工大学应用技术学院仲兴国编写；第 3 章由沈阳理工大学应用技术学院潘恒阳编写；第 4, 5 章由沈阳理工大学宋书汉编写；第 6, 7 章由沈阳理工大学应用技术学院张景耀编写；第 8 章由沈阳理工大学岳国盛编写。本书由仲兴国担任主编；张景耀，宋书汉，潘恒阳担任副主编。

由于编者编写经验不足，加之水平所限，书中难免有错误和不妥之处，恳切希望广大读者提出宝贵的意见。

编 者

2007 年 2 月

目 录

第 1 章 数控机床概述	1
1.1 数控机床的特点	1
1.1.1 数控机床加工的特点	1
1.1.2 数控机床对操作维修人员的要求	2
1.2 数控机床的组成和工作原理	2
1.2.1 输入装置	2
1.2.2 数控装置	3
1.2.3 驱动装置和位置检测装置	3
1.2.4 辅助控制装置	3
1.2.5 机床本体	3
1.3 数控机床的分类	4
1.3.1 按加工工艺方法分类	4
1.3.2 按控制运动轨迹分类	4
1.3.3 按驱动装置的特点分类	5
1.4 数控机床的发展趋势	6
1.4.1 数控机床结构的发展	6
1.4.2 计算机控制性能的发展	7
1.4.3 伺服驱动系统的发展	7
1.4.4 自适应控制	8
1.4.5 计算机群控	8
1.4.6 柔性制造系统 (FMS)	9
第 2 章 数控车床及编程	11
2.1 数控车床	11
2.1.1 概 述	11
2.1.2 数控车床	12
2.2 数控车床编程基础	14
2.2.1 程序编制的内容	14

2.2.2	程序编制的方法	15
2.2.3	数控车床的坐标系	15
2.2.4	数控车床坐标系中的各原点	16
2.2.5	程序段的构成与格式	18
2.2.6	程序编制中的工艺处理	19
2.3	编程中的数学处理	24
2.3.1	数学处理的内容	24
2.3.2	尺寸链解算	26
2.3.3	坐标值计算的基本知识	28
2.3.4	坐标值的常用计算方法	30
2.4	数控车床编程指令	31
2.4.1	M 指令	31
2.4.2	G 指令	31
2.4.3	与坐标系相关 G 指令	32
2.4.4	与运动方式相关的 G 指令	35
2.4.5	螺纹加工指令	41
2.4.6	简单循环切削	43
2.4.7	复合循环切削	48
2.4.8	刀具补偿指令	53
2.4.9	宏指令编程	55
2.5	编程实例	56
2.5.1	轴类零件的编程	56
2.5.2	套筒类零件的编程	61
第 3 章	数控铣床及编程	66
3.1	数控铣床	66
3.1.1	概 述	66
3.1.2	数控铣床	67
3.2	数控铣床编程基础	68
3.2.1	数控铣床的坐标系统	68
3.2.2	数控铣床的主要功能与加工范围	70
3.2.3	数控铣床的工艺装备	71
3.2.4	数控铣床的工艺性分析	72

3.3	数控铣床编程指令	76
3.3.1	华中数控系统简述	76
3.3.2	程序结构	77
3.3.3	华中数控 HNC-21M 的基本编程指令	78
3.4	数控铣床编程实例	97
3.4.1	槽形零件的铣削	97
3.4.2	平面凸轮的数控铣削工艺分析及程序编制	98
第 4 章	加工中心编程	104
4.1	加工中心编程基础	104
4.1.1	加工中心的主要功能	104
4.1.2	刀具参数设定	106
4.1.3	加工工艺基础	106
4.2	加工中心编程指令	107
4.2.1	换刀指令	107
4.2.2	刀具长度补偿	108
4.2.3	固定循环	110
4.2.4	图形变换功能	113
4.3	用户宏编程	115
4.3.1	变量的定义	115
4.3.2	变量的运算	117
4.3.3	宏程序结构	119
4.3.4	宏程序的调用与返回	120
第 5 章	自动编程	125
5.1	CAM 编程基本实现过程	125
5.1.1	获得 CAD 模型	126
5.1.2	加工工艺分析和规划	126
5.1.3	CAD 模型完善	126
5.1.4	加工参数设置	127
5.1.5	生成刀具路径	127
5.1.6	刀具路径检验	127
5.1.7	后处理	127

5.2	数控程序的质量及对程序员的要求	128
5.2.1	数控程序的质量	128
5.2.2	NC程序员的要求	128
5.2.3	CAM 数控编程的学习	129
5.3	CAD/CAM 软件介绍	130
5.3.1	CAD/CAM 软件的功能	130
5.3.2	常用 CAD/CAM 软件简介	130
5.4	MasterCAM 自动编程与数据传输	131
5.4.1	MasterCAM 系统软件概述	131
5.4.2	MasterCAMMill 系统自动编程操作实例	132
5.4.3	曲面造型与曲面加工简述	141
5.4.4	图形交互自动编程的基本步骤	143
5.4.5	MasterCAM 的数据传输	144
第 6 章	数控机床的机械传动系统	147
6.1	数控机床的主传动系统	147
6.1.1	数控机床主传动系统的特点	147
6.1.2	数控机床主轴变速方式	147
6.1.3	主轴组件	148
6.2	数控机床的进给运动系统	150
6.2.1	概 述	150
6.2.2	电机与丝杠之间的联接	151
6.2.3	滚珠丝杠螺母副	151
6.2.4	进给系统传动间隙的补偿机构	155
6.3	回转工作台与导轨	157
6.3.1	回转工作台	157
6.3.2	导 轨	159
6.4	数控机床的自动换刀装置	161
6.4.1	自动换刀装置的形式	161
6.4.2	刀 库	163
6.4.3	刀具系统及刀具选择	165
6.4.4	刀具交换装置	166

第 7 章 计算机数控装置	171
7.1 概 述	171
7.1.1 CNC 的基本构成	171
7.1.2 CNC 装置的组成及其工作过程	171
7.1.3 CNC 装置的特点及可执行的功能	172
7.2 CNC 装置的硬件结构	174
7.2.1 单微处理机与多微处理机结构	174
7.2.2 硬件各组成部分的功能和原理	176
7.2.3 华中数控系统硬件结构简介	181
7.3 CNC 软件结构	182
7.3.1 概 述	182
7.3.2 CNC 装置的软件结构	182
7.3.3 华中数控系统的软件结构	186
7.4 CNC 装置的插补原理	187
7.4.1 概 述	187
7.4.2 逐点比较法直线插补	188
7.4.3 圆弧插补计算原理	191
7.5 刀具半径补偿原理	193
7.5.1 概 述	193
7.5.2 刀具半径补偿的工作过程和常用方法	194
7.6 数控系统中的可编程控制器	197
7.6.1 概 述	197
7.6.2 可编程控制器的结构	198
7.6.3 梯形图	199
7.6.4 可编程控制器的工作过程	200
第 8 章 进给伺服系统	202
8.1 伺服电机及调速	202
8.1.1 概 述	202
8.1.2 步进电机	202
8.1.3 直流伺服电机及调速系统	204
8.1.4 交流伺服电机及其调速	206

8.2 位置检测装置	209
8.2.1 概 述	209
8.2.2 旋转变压器	210
8.2.3 感应同步器	212
8.2.4 光 栅	213
8.2.5 磁 尺	215
8.2.6 脉冲编码器	215
8.3 典型进给伺服系统	216
8.3.1 概 述	216
8.3.2 开环进给伺服系统	216
8.3.3 脉冲比较进给伺服系统	217
8.3.4 全数字进给伺服系统	217
8.4 伺服系统的特性对数控机床加工精度的影响	218
8.4.1 速度误差对加工精度的影响	218
8.4.2 伺服系统的响应特性对加工拐角的影响	220
参考文献	222

第 1 章 数控机床概述

1.1 数控机床的特点

1.1.1 数控机床加工的特点

数控机床以其精度高、效率高、能适应小批量多品种复杂零件的加工等优点，在机械加工中得到日益广泛的应用。概括起来，数控机床加工有以下几方面的优点。

(1) 适应性强。适应性即所谓的柔性，是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控机床上改变加工零件时，只需重新编制程序，输入新的程序后就能实现对新的零件的加工，而不需改变机械部分和控制部分的硬件，且生产过程是自动完成的。这就为复杂结构零件的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的方便。适应性强是数控机床最突出的优点，也是数控机床得以生产和迅速发展的主要原因。

(2) 精度高，质量稳定。数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的，一般情况下工作过程不需要人工干预，这就消除了操作者人为产生的误差。在设计制造数控机床时，采取了许多措施，使数控机床的机械部分达到了较高的精度和刚度。数控机床工作台的移动当量普遍达到了 $0.0001 \sim 0.01\text{mm}$ ，而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿，高档数控机床采用光栅尺进行工作台移动的闭环控制。数控机床的加工精度由过去的 $\pm 0.01\text{mm}$ 提高到 $\pm 0.005\text{mm}$ 甚至更高。定位精度 20 世纪 90 所代初中期已达到 $\pm 0.002\text{mm} \sim \pm 0.005\text{mm}$ 。此外，数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性。通过补偿技术，数控机床可获得比本身精度更高的加工精度。尤其提高了同一批零件生产的一致性，产品合格率高，加工质量稳定。

(3) 生产效率高。零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床大，因此数控机床每一道工序都可选用最有利的切削用量。由于数控机床结构刚性好，因此允许进行大切削用量的强力切削，这就提高了数控机床的切削效率，节省了机动时间。数控机床的移动部件空行程运动速度快，工件装夹时间短，刀具可自动更换，辅助时间比一般机床大为减少。

数控机床更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床，节省了零件安装调整时间。数控机床加工质量稳定，一般只作首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验，因此节省了停机检验时间。在加工中心机床上加工时，一台机床实现了多道工序的连续加工，生产效率的提高更为显著。

(4) 能实现复杂的运动。普通机床难以实现或无法实现轨迹为三次以上的曲线或曲面的运动，如螺旋桨、汽轮机叶片之类的空间曲面；而数控机床则可实现几乎是任意轨迹的运动和加工任何形状的空间曲面，适用于复杂异形零件的加工。

(5) 良好的经济效益。数控机床虽然设备昂贵，加工时分摊到每个零件上的设备折旧费较高，但在单件、小批量生产的情况下，使用数控机床加工可节省划线工时，减少调整、加

工和检验时间, 节省直接生产费用。数控机床加工零件一般不需制作专用夹具, 节省了工艺装备费用。数控机床加工精度稳定, 减少了废品率, 使生产成本进一步下降。此外, 数控机床可实现一机多用, 节省厂房面积和建厂投资。因此使用数控机床可获得良好的经济效益。

(6) 有利于生产管理的现代化。数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息, 特别是在数控机床上使用计算机控制, 为计算机辅助设计、制造以及管理一体化奠定了基础。

1.1.2 数控机床对操作维修人员的要求

数控机床采用计算机控制, 驱动系统具有较高的技术复杂性, 机械部分的精度要求也比较高。因此, 要求数控机床的操作、维修及管理人员具有较高的文化水平和综合技术素质。

数控机床的加工是根据程序进行的, 零件形状简单时可采用手工编制程序。当零件形状比较复杂时, 编程工作量大, 手工编程较困难且往往易出错, 因此必须采用计算机自动编程。所以, 数控机床的操作人员除了应具有一定的工艺知识和普通机床的操作经验之外, 还应对数控机床的结构特点和工作原理非常了解, 具有熟练操作计算机的能力; 须在程序编制方面进行专门的培训, 考核合格才能上机操作。

正确地维护和有效地维修机床也是使用数控机床中的一个重要问题。数控机床的维修人员应有较高的理论知识和维修技术, 要了解数控机床的机械结构, 懂得数控机床的电气原理及电子电路, 还应有比较宽的机、电、气、液专业知识, 这样才能综合分析, 判断故障的根源, 正确地进行维修, 保证数控机床的良好运行状况。因此, 数控机床维修人员和操作人员一样, 必须进行专门的培训。

1.2 数控机床的组成和工作原理

如图 1-1 所示, 数控机床由输入装置、数控装置(CNC)、伺服驱动及位置检测、辅助控制装置、机床本体等几部分组成。

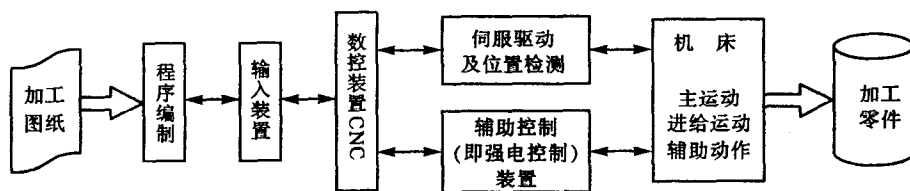


图 1-1 数控机床的基本结构

1.2.1 输入装置

输入装置的作用是将程序载体(信息载体)上的数控代码传递并存入数控系统内。根据控制存储介质的不同, 输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控机床加工程序也可通过键盘, 用手工方式直接输入数控系统; 数控加工程序还可通过编程计算机用 RS-232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式: 一种是边读入边加工(数控系统内存较小时), 另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器, 加工时再从内部存储器中逐段调出进行加工。

1.2.2 数控装置

数控装置是数控机床的核心。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序，经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种控制信息和指令，控制机床各部分的工作，使其进行规定的有序运动和动作。

零件的轮廓图形往往由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成，刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸的要求进行运动，即按图形轨迹移动。但输入的零件加工程序只能是各线段轨迹的起点和终点坐标值等数据，不能满足要求，因此要进行轨迹插补，也就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”，求出一系列中间点的坐标值，并向相应坐标输出脉冲信号，控制各坐标轴（即进给运动的各执行元件）的进给速度、进给方向和进给位移量等。

1.2.3 驱动装置和位置检测装置

驱动装置接受来自数控装置的指令信息，经功率放大后，严格按照指令信息的要求驱动机床移动部件，以加工出符合图样要求的零件。因此，它的伺服精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。驱动装置包括控制器（含功率放大器）和执行机构两大部分。目前大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

位置检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来，经反馈系统输入到机床的数控装置之后，数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较，控制驱动装置按照指令设定值运动。

1.2.4 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号，经过编译、逻辑判别和运算，再经功率放大后驱动相应的电器，带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停指令，刀具的选择和交换指令，冷却、润滑装置的启动或停止，工件和机床部件的松开、夹紧，分度工作台转位分度等开关辅助动作。

可编程逻辑控制器(PLC)具有响应快，性能可靠，易于使用、编程和修改程序并可直接启动机床开关等特点，现已广泛用作数控机床的辅助控制装置。

1.2.5 机床本体

数控机床的机床本体与传统机床相似，由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。但数控机床在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面都已发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点。

使用机床加工零件，通常都需要对机床的各种动作进行控制，一是控制动作的先后次序，二是控制机床各运动部件的位移量。采用数控机床加工零件时，只需要将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式，编成程序代码输入到机床控制系统中，再由其进行运算处理后转成伺服驱动机构的指令信号，从而控制机床各部件协调动作，自动地加工出零件来。当更换加工对象时，只需要重新编写程序代码，即可由数控装置自动控制加工的全过程，能较方便地制造出任意复杂的零件。

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上,确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置,即零件在机床上的安装位置;刀具与零件相对运动的尺寸参数;零件加工的工艺路线、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后,用由文字、数字和符号组成的标准数控代码,按规定的方法和格式,编制零件加工的数控程序单。

1.3 数控机床的分类

数控机床的品种很多,根据其加工、控制原理、功能和组成,可以从以下几个不同的角度进行分类。

1.3.1 按加工工艺方法分类

1. 金属切削类数控机床

与传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工相对应,数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床、加工中心等。尽管这些数控机床在加工工艺方法上存在很大差别,具体的控制方式也各不相同,但机床的动作和运动都是数字化控制的,具有较高的生产率和自动化程度。

2. 特种加工类数控机床

除了切削加工数控机床以外,数控技术也大量用于数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床以及数控激光加工机床等。

3. 板材加工类数控机床

常见的应用于金属板材加工的数控机床有数控压力机、数控剪板机和数控折弯机等。

近年来,其他机械设备中也大量采用了数控技术,如数控多坐标测量机、自动绘图机及工业机器人等。

1.3.2 按控制运动轨迹分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位,在移动和定位过程中不进行任何加工。机床数控系统只控制行程终点的坐标值,不控制点与点之间的运动轨迹,因此几个坐标轴之间的运动无任何联系。可以几个坐标同时向目标点运动,也可以各个坐标单独依次运动。

这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机等。点位控制数控机床的数控装置称为点位数控装置。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度,沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工,进给速度根据切削条件可在一定范围内变化。

直线控制的简易数控车床,只有两个坐标轴,可加工阶梯轴。直线控制的数控铣床,有三个坐标轴,可用于平面的铣削加工。现代组合机床采用数控进给伺服系统,驱动动力头带动多轴箱的轴向进给进行钻镗加工,它也算是一种直线控制数控机床。

数控镗铣床、加工中心等机床的各个坐标方向的进给运动的速度能在一定范围内进行调整,兼有点位和直线控制加工的功能,这类机床应该称为点位/直线控制的数控机床。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上运动的位移及速度进行连续相关的控制，使合成的平面或空间的运动轨迹能满足零件轮廓的要求。它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标，而且能控制整个加工轮廓每一点的速度和位移，将工件加工成要求的轮廓形状。

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床就是典型的轮廓控制数控机床。数控火焰切割机、电火花加工机床以及数控绘图机等也采用了轮廓控制系统。轮廓控制系统的结构要比点位/直线控制系统更为复杂，在加工过程中需要不断进行插补运算，然后进行相应的速度与位移控制。

现在，计算机数控装置的控制功能均由软件实现，增加轮廓控制功能不会带来成本的增加。因此，除少数专用控制系统外，现代计算机数控装置都具有轮廓控制功能。

1.3.3 按驱动装置的特点分类

1. 开环控制数控机床

图 1-2 为开环控制数控机床系统框图。

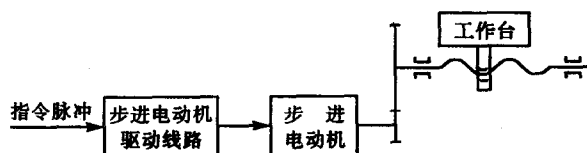


图 1-2 开环控制数控机床的系统框图

这类控制的数控机床，其控制系统没有位置检测元件，伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令，经驱动电路功率放大后，驱动步进电机旋转一个角度，再经过齿轮减速装置带动丝杠旋转，通过丝杠螺母机构转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率与脉冲数所决定的。此类数控机床的信息流是单向的，即进给脉冲发出去后，实际移动值不再反馈回来，所以称为开环控制数控机床。

开环控制系统的数控机床结构简单，成本较低。但是，系统对移动部件的实际位移量不进行监测，也不能进行误差校正。因此，步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响零件的加工精度。开环控制系统仅适用于加工精度要求不很高的中小型数控机床，特别是简易经济型数控机床。

2. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置，直接对工作台的实际位移进行检测，将测量的实际位移值反馈到数控装置中，与输入的指令位移值进行比较，用差值对机床进行控制，使移动部件按照实际需要的位移量运动，最终实现移动部件的精确运动和定位。从理论上讲，闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的检测精度，而与传动链的误差无关，因此其控制精度高。图 1-3 为闭环控制数控机床的系统框图。图中 A 为速度传感器，C 为直线位移传感器。当位移指令值发送到位置比较电路时，若工作台没有移动，则没有反馈量，指令值使得伺服电动机转动，通过 A 将速度反馈信号送到速度控制电路，通过 C 将工作台实际位移量反馈回去，在位置比较电路中与位移指令值相比较，用比较后得到的差值进行位置控制，直至差值为零时为止。这类控制的数控机床，因把机床工作台纳

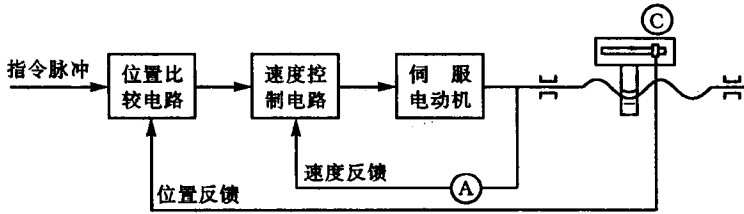


图 1-3 闭环控制数控机床的系统框图

入了控制环节，故称为闭环控制数控机床。

闭环控制数控机床的定位精度高，但调试和维修都较困难，系统复杂，成本高。

3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角位移电流检测装置(如光电编码器等)，通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的实际位移，然后反馈到数控装置中去，并对误差进行修正。图 1-4 为半闭环控制数控机床的系统框图。图中 A 表示速度传感器，B 表示角度传感器。通过测速元件 A 和光电编码盘 B 可间接检测出伺服电动机的转速，从而推算出工作台的实际位移量，将此值与指令值进行比较，用差值来实现控制。由于工作台没有包括在控制回路中，因而称为半闭环控制数控机床。

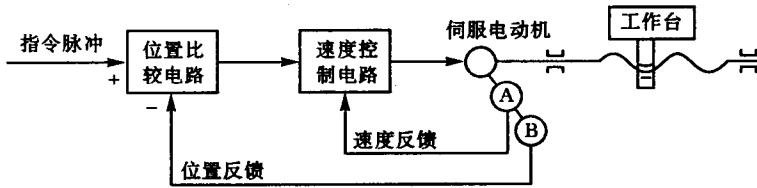


图 1-4 半闭环控制数控机床的系统框图

半闭环控制数控系统的调试比较方便，并且具有很好的稳定性。目前，大多将角度检测装置和伺服电动机设计成一体，使结构更加紧凑。

1.4 数控机床的发展趋势

数控机床是综合应用了当代最新科技成果而发展起来的新型机械加工机床。自其产生以来，数控机床的发展在品种、数量、加工范围与加工精度等方面有了惊人的发展，大规模集成电路和微型计算机的发展和完善，使数控系统的价格逐年下降，而精度和可靠性却大大提高。

数控机床的发展不仅表现为数量迅速增长，而且在质量、性能和控制方式上也有明显改善。目前，数控机床正朝着以下几个方面发展。

1.4.1 数控机床结构的发展

数控机床加工工件时，完全根据计算机发出的指令自动进行加工，不允许频繁测量和进行手动补偿，这就要求机床结构具有较高的静刚度与动刚度，同时要提高结构的热稳定性，提高机械进给系统的刚度并消除其中的间隙，消除爬行。这样可以避免振动、热变形、爬行和间隙等，确保被加工工件的加工精度。