

张新义 主编

经济型 数控机床 系统设计



机械工业出版社

经济型数控机床系统设计

张新义 主编

薛广兰
刘世美 副主编

机械工业出版社

(京)新登字 054 号

内 容 简 介

本书从经济型数控技术的实际需要出发,着重介绍微机数控原理及其系统的软、硬件设计方法,同时较详细地介绍经济型数控机床系统的机械执行机构的设计计算及控制方法。

本书共分七章,内容包括:数控技术中微机应用及其接口技术;伺服系统驱动控制技术;数控系统软件模块设计技术;零件加工程序编制技术;机械传动装置设计方法;数控机床改造应用实例等。本书有别于其它数控机床类的书籍,突出机与电结合,硬与软结合,理论与实际结合的特色。

本书可作为大学本、专科机电一体化及机械类各专业的数控技术类课程教材和毕业设计参考书,也较适合作为职业技术教育数控技术课程的教材和从事开发机电一体化产品及机床改造的工程技术人员参考书。

经济型数控机床系统设计

张新义 主编

责任编辑:徐 形 版式设计:李松山
封面设计:姚 毅 责任校对:丁丽丽

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

济南新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆ ·印张23.5 ·字数587千字

1994年7月济南第1版·1994年7月济南第1次印刷

印数 00 001—5825 定价:23.00元

ISBN 7-111-04209-3/TH·528(G)

前 言

随着科学技术的迅速发展, 数控技术的应用范围日益扩大, 数控机床及其系统已成为现代机器制造业中不可缺少的组成部分。我国在普及应用数控技术方面近几年来取得了长足的进展, 从计算机数控(CNC)发展到直接数控(DNC), 并能独立设计和制造机械加工中心及柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)。但鉴于我国机床拥有量大、工业生产规模小的特点, 突出的任务是用较少的资金迅速改变机械工业落后的生产面貌, 使之尽可能地提高自动化程度, 保证加工质量, 减轻劳动强度, 提高经济效益。而实现这一任务的有效、基本的途径就是普及应用经济型数控机床, 并对原有机床进行数控改造。这样, 就需要有一本关于经济型数控机床系统设计方面的, 既有一定理论深度, 又有实际应用价值的书籍, 提供给广大工程技术人员及未来的工程师——工院校的学生。本书即是为实现上述目的而编写的。

在编写本书中, 我们力求着重经济型数控技术的实际, 围绕微机床数字控制的特点, 注意理论与实践的结合、机械设计与电气控制的结合、软件与硬件设计的结合, 既反映数控技术的现状, 也介绍其新的发展。语言叙述力求深入浅出, 内容层次循序渐进。

全书共分七章。第一章绪论, 介绍数控技术有关概念及其发展、应用领域; 第二章微机应用及其接口技术, 是机床控制系统设计的基础, 它是对于微机原理课程的高度概括, 侧重于应用部分, 并较详细地介绍典型控制元件——步进电机及伺服电机在数控系统中的应用技术; 第三章数控技术软件模块化设计技术, 讨论插补方法和软件设计、步进电机运行控制软件、误差补偿技术及其各种操作、管理软件设计和自诊断技术; 第四章零件加工程序设计技术, 介绍零件加工编程准则及标准化方法、零件加工程序编辑和数学处理技术及程序的输入、调整与运行; 第五章数控系统的伺服控制方法与结构设计, 介绍机床的运动控制技术及其反馈测量元件和伺服控制原理; 第六章数控机床的传动装置设计, 讨论经济型数控机床设计中机械部分传动机构的设计计算方法及电动刀架的机电特性、设计制造和应用; 第七章经济型数控机床改造实例, 为综合运用数控技术解决车、铣床数控改造问题而安排的, 有利于读者学以致用, 理论付诸实践。

本书由张新义主编, 薛厂兰、刘世美副主编。参加编写的有薛厂兰(第一章)、辛世界(第二章)、张新义(第三、四章)、柳杰(第五章)、刘世美(第六章)、刘世美、牟林(第七章)全书由张新义统稿。

本书从制定编写大纲开始至定稿, 一直得到西安交通大学林其骏教授的指教, 使书稿内容较丰富, 体系较完整, 作者深表感谢。编写过程中, 作者参考了近几年国内外诸多数控技术方面的论著、教材, 在此向收录于本书参考文献中的诸位作者表示谢意。

限于作者的水平, 书中难免有不少缺点和错误, 恳请读者不吝赐教。

编者

1993年10月于山东

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 数控技术的应用与发展	1
一、数控(NC)与计算机数控(CNC)	1
二、数控的技术领域与计算机应用的特点	1
三、数控系统的组成	3
四、数控技术的发展趋势	4
第二节 数控机床的分类	7
一、按工艺用途分类	7
二、按运动方式分类	7
三、按控制方式分类	8
第三节 数控技术在机械工业中的进展	10
一、直接数字控制(DNC)与自适应控制(AC)	10
二、柔性制造系统(FMS)和计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)一体化	13
第四节 经济型数控机床	16
一、经济型数控机床	16
二、经济型数控机床的分类	16
三、经济型数控机床的特点	16
第二章 经济型数控技术中微机应用及其接口技术	18
第一节 经济型CNC常用微处理器简介	18
一、Intel8080A	18
二、MC6800/MC6802	20
三、MC68000	22
四、Intel8086/8088	23
五、Z-80CPU	26
六、MCS-51单片计算机	31
第二节 微机数控系统中的接口技术	47
一、存储器接口	47
二、常用I/O接口芯片简介	53
三、键盘接口	71
四、LED显示器接口	76
五、模拟量接口	85
第三节 步进电机驱动及其接口技术	89
一、步进电机的工作原理及性能指标	89
二、步进电机的控制方法	92
三、步进电机驱动电源设计	94
四、步进电机与微机的接口技术	105

第四节 伺服电机驱动及其接口技术	106
一、伺服电机的结构及特性	107
二、伺服电机的控制回路	108
三、交流伺服电机的驱动	114
四、伺服电机与微机的接口技术	114
第五节 抗干扰设计	115
一、干扰的来源和干扰的作用机制	116
二、抗干扰的措施	116
第三章 经济型数控系统中常用软件模块化设计技术	122
第一节 插补原理及其程序设计	122
一、插补方法概述	122
二、逐点比较插补方法及其程序设计	123
三、数字积分插补方法及其程序设计	140
第二节 步进电机的控制及其程序设计	151
一、步进电机控制信号的产生及标度变换	152
二、步进电机的运行控制及程序设计	156
三、步进电机的变速控制及程序设计	162
第三节 误差的数学分析与软件补偿	175
一、误差的来源及种类	175
二、误差的定量分析与软件补偿	178
第四节 管理与操作模块程序设计	180
一、管理模块程序设计	180
二、自动换刀程序设计	187
三、手动操作移动溜板程序设计	189
第四章 经济型数控零件加工程序设计技术	191
第一节 概论	191
第二节 零件加工程序编制的基础知识	191
一、数控程序的ISO标准及其含义	191
二、ISO标准常用功能字及其应用	209
三、简单零件加工编程举例	209
第三节 零件加工编程中的数学处理	210
一、刀具中心轨迹基点的数学处理	210
二、刀具半径自动补偿的数学处理	213
三、逼近曲线节点的数学处理	219
四、列表曲线节点的数学处理	223
第四节 零件加工程序的输入方式	227
一、有带输入方式	227
二、无带输入方式	228
第五节 计算机辅助编程简介	228
一、计算机辅助编程的过程	228
二、计算机辅助编程的语言系统	228
第五章 数控系统的伺服控制方法与结构设计	230
第一节 数控系统控制方式及组成原理	230

一、开环控制·····	230
二、半闭环控制·····	230
三、闭环控制·····	231
第二节 开环控制系统的设计·····	232
一、开环控制系统的结构和工作原理·····	232
二、开环控制系统的硬件设计·····	233
三、提高开环控制系统精度的措施·····	239
第三节 位置检测元件·····	240
一、光栅·····	240
二、旋转变压器·····	243
三、感应同步器·····	245
四、磁栅·····	247
五、光电盘·····	249
六、编码盘·····	250
第四节 闭环控制系统的设计·····	251
一、闭环控制系统的结构和工作原理·····	251
二、闭环控制系统的硬件设计·····	256
三、闭环控制系统的分析与设计·····	264
第六章 数控机床的传动装置设计 ·····	277
第一节 螺旋传动·····	277
一、滚珠丝杠副传动的特点·····	278
二、滚珠丝杠副的参数·····	278
三、滚珠丝杠副的精度与代号·····	279
四、滚珠丝杠副的支承和制动方式·····	280
五、滚珠丝杠副的润滑与防护·····	282
六、滚珠丝杠副的设计·····	283
第二节 齿轮传动·····	289
一、概述·····	289
二、最佳总传动比设计理论·····	291
三、传动链的级数和各级传动比的选择·····	292
四、精密齿轮的材料及其选择原则·····	297
五、齿轮传动的精度分析和误差计算·····	297
第三节 齿形带传动·····	308
一、齿形带传动的特点·····	308
二、齿形带的结构和规格·····	309
三、带轮的结构和尺寸·····	309
四、齿形带的强度计算·····	312
五、齿形带传动的几何计算·····	313
第四节 导轨·····	315
一、导轨设计的基本要求·····	315
二、导轨的分类及性能·····	316
三、滑动导轨·····	317
第五节 数控机床传动装置的转动惯量计算·····	324

第六节 常用机械离合器的计算.....	326
第七节 自动刀架的设计.....	331
一、自动刀架的分类及其工作原理.....	331
二、自动刀架的设计.....	331
三、自动刀架应用实例.....	334
第七章 经济型数控机床改造实例	338
第一节 概述.....	338
一、数控机床改造的必要性.....	338
二、数控机床改造的优点.....	338
三、数控机床改造的设计步骤.....	338
第二节 车床的数控改造.....	339
一、设计方案的确定.....	339
二、机械部分改造设计与计算.....	340
三、步进电机的选择.....	347
四、数控系统的硬件电路设计.....	350
五、软件设计.....	353
六、典型零件加工程序设计.....	353
第三节 铣床的数控改造.....	357
一、设计方案的确定.....	358
二、机械部分改造设计与计算.....	359
三、数控系统的硬件设计.....	363
四、数控系统软件设计.....	366
五、典型零件加工程序设计.....	366
参考文献	368

第一章 绪 论

第一节 数控技术的应用与发展

一、数控(NC)与计算机数控(CNC)

随着社会生产和科学技术的发展,机械加工产品的形状和结构不断改进,对加工质量的要求越来越高。由于产品更新换代的速度加快,目前在一般机械加工中,单件、小批量生产的产品约占70%~80%。为了保证产品的质量,提高生产率和降低成本,要求机床不仅具有较好的通用性和灵活性,而且加工过程要尽可能实现自动化。数控技术就是在这种条件下发展起来的,适用于精度高、零件形状复杂的单件及小批量生产,以数字的形式实现控制的一门技术。

(一)数控(NC)

数字控制(Numerical Control),简称为数控(NC),是指用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法。即是用数字指令来控制机械动作的一种方式。数控机床(Numerical Control Machine Tools)就是指采用了数控技术,用数字指令控制的机床。刀具移动轨迹的信息用代码化的数字指令穿孔在纸带或卡片上,或者记录在磁带等控制媒体上,该信息送入数控装置,经过处理与计算,发出各种控制信号,控制机床的刀具与工件的相对运动,按工件图纸要求的形状与尺寸精度,自动地把零件加工出来。

(二)计算机数控(CNC)

计算机数控(Computer Numerical Control),简称CNC,这是一种数控系统。在此系统中采用存贮程序的专用计算机实现部分或全部基本数控功能。或说将计算机作为控制单元的数控系统称为计算机数控系统。由于CNC系统只需通过改变软件程序,即可产生控制某种特定机床的功能,因而它具有更大的通用性与灵活性。此外,CNC还具有存贮机床校正误差的功能,并且有可以在现场校正加工零件程序的指令,因而能够加工出高精度的零件。

二、数控的技术领域与计算机应用的特点

(一)数控的技术领域

数控技术就是以数字程序的形式实现控制的一门技术,它是随着电子计算机的发展而发展起来的,综合了各个技术领域里的新成就,具有广泛的通用性,是高自动化程度的工业自动控制技术。现代数控技术所涉及到的技术领域、学科很多,范围较广,除机械技术本体之外,归纳起来还有以下关键技术:

1.计算机及其接口技术 新的技术革命对机械工业的影响,突出地表现在计算机技术的应用上。现代数控技术就是把计算机作为主控单元,智能化地把能量、物质、信息等互相交换,使机械(机床)各部件间互相联系成一个整体系统,从而完成人们给定的工作。接口技术就是上述联系的一个纽带,双向地传递人和计算机,机(部件)和计算机之间的信息。计算机

及其接口技术应用和发展的水平，代表着现代数控技术乃至整个机械工业的前沿水平。

2. 自动控制技术 如果说计算机及其接口技术是现代数控技术的核心，那么，自动控制技术就是现代数控技术的血液。机械各部件(机器)之间相互联系、相互作用构成一个运动的系统，自动控制技术的作用就是使全部运动部件(机器)按预先规定的程序自动地进行操作。因而，机械工业的自动化只有在自动控制技术高度发展的时代，才能成为现实。现代自动控制技术的研究，除用机器和装置代替和模仿人去工作外，进而延伸和扩展了人体的器官功能和脑力活动量，并可使有些设备具备一定的“智能”，可以“自动”选择最合适的工作程序，使生产达到最佳目标。

3. 传感器技术 现代数控技术以及在其基础上发展起来的ACM、FMS、CIMS系统，都少不了要从被控(加工)现场获得各种信号，供中央控制器(计算机)分析、判断和决策。传感器就是完成信号采集任务的部件，它象人的五官，没有它，自动化装置就成为“瞎子”和“聋子”，无法达到测控的目的。数控技术中要求传感器要快速、精确地获得信息，并能经受住各种严酷环境的考验。

4. 信息技术 现代数控技术所完成的工作，已远不止是加工工件本身，它要应用计算机、自动控制等科学技术和手段，综合管理科学、行为科学、人机工程学、系统工程等学科的人机信息处理的理论和实践。它对于人工难以处理的数据、量大而结构又不明确的作业条件的情况，能够借助适用的计算机技术、通讯技术、系统科学等手段来实现自动处理。现代数控技术的发展，需要信息技术解决的问题是：信息的采集、信息的处理、信息的实施以及信息的复制和保存，同时也要开发有面向实际环境的应用软件。

数控技术首先在机床行业获得广泛应用，现在已有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控加工中心、数控钻床以及数控线切割机床等。随着社会生产和科学技术的发展，数控技术不仅用于机床的控制，还用于控制其它设备，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、绘图机以及坐标测量机、冲剪机、电火花加工机等都实现了数控化，其技术经济效益很好。数控技术的应用前景很广阔。

(二)数控技术中计算机应用的特点

计算机在数控技术方面的应用，出现于70年代，突出的应用产品就是CNC。计算机数控多以通用的小型或微型计算机为核心，再增加适当的接口电路及外围设备，来代替NC数控柜中的专用电子计算装置。计算机数控系统不仅比原来的NC数控系统使用范围广、功能全，而且还有相当大的通用性，改善了对机床操作的控制。

计算机数控系统有以下特点：

1. 灵活性强 这是CNC系统的突出特点。对于传统的NC系统，一旦提供了某些控制功能，就不能被改变，除非改变相应的硬件。而对于CNC系统，硬件是通用的、标准化的，对于各种不同机床进行控制的要求，只需改变相应的控制程序即可，不必制造新的硬件。软件在任何时候都可以方便地被更改。CNC系统能够随着工厂的发展而发展，也能适应将来改变工艺的要求。在CNC设备安装之后，新的技术还可以补充到系统中去，这就延长了系统的使用期限，同时为适应将来的发展趋势提供了基础。因此，CNC系统具有很大的“柔性”，即灵活性。

2. 通用性好 这是CNC系统的主要优点之一，硬件系统采用模块结构，依靠软件的变化来满足被控设备的要求。另外，接口电路可由标准部件组成。标准化给机床制造厂和数控

用户都带来许多好处，只要用一种CNC系统就能让机床制造厂满足大部分数控机床的要求，还能满足某些别的设备的应用。当用户要求某些特殊功能时，仅仅是改变某些软件而已，由于在工厂中使用同一类型的控制系统，培训和学习十分方便。

3. 可靠性高 在CNC系统中，加工程序常常是一次送入计算机存储器内，避免了在加工过程中由于纸带输入机的故障而产生的停机现象(普通数控装置的故障有一半以上发生在逐段光电输入时)。同时，由于许多功能均由软件实现，硬件系统所需元器件数目大为减少，整个系统的可靠性大大改善，特别是随着大规模集成电路和超大规模集成电路的采用，系统的可靠性大为提高，连续无故障时间为20000小时以上。此外，CNC系统中，还可方便地采用冗余技术来提高系统的可靠性。

4. 易于实现多功能、高复杂程度的控制 由于计算机有丰富的指令系统，能高速地进行复杂的计算，所以实现多功能高复杂程度控制比用硬件系统方便得多。例如高次曲线插补、刀具半径补偿、多坐标联动控制等。有的CNC系统在控制加工的同时还能进行数控编程，这在硬件系统是不可能的。

5. 使用维修方便 CNC系统的一个吸引人的特点是引进一套诊断程序。有了这套诊断程序，即使是不很熟练的操作人员也能利用诊断操作功能，及时发现和排除各种故障，也就是说把故障隔离到模块或器件一级，使停机时间减到最小。此外，CNC系统的零件程序编辑功能对程序编制也是十分方便的。

6. 具有通信功能 随着制造技术的发展，要求CNC系统能集中控制，因此，CNC系统具有通信功能。

三、数控系统的组成

数控系统一般由控制介质、数控装置、伺服系统、测量装置和机床本体组成，如图1-1所示。

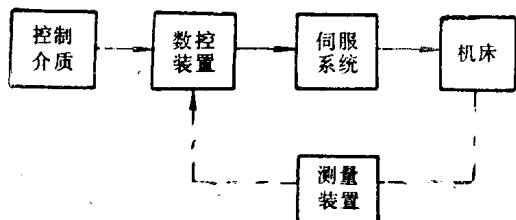


图1-1 数控系统的组成

现将各部分简述如下：

(一) 控制介质

数控机床工作时，不要工人去直接操作机床，但又必须执行人们的意图，这就必须在人和数控机床之间建立某种联系，这种联系的媒介物称之为控制介质(或称程序介质，输入介质)。

在通用机床上加工零件时，由工人按图纸和工艺要求进行加工。在数控机床上加工时，则要把加工零件所需的全部动作、相关数据及刀具相对于工件的位置等内容，用数控装置所能接受的数字和文字代码来表示，并把这些代码贮存在控制介质上。控制介质可以是穿孔带、穿孔卡、磁带、软磁盘或其它可以贮存代码的载体。至于采用哪一种，则取决于数控装置的类型。

(二) 数控装置

数控装置是数控机床的中枢，一般由输入装置、存储器、控制器、运算器和输出装置组成。数控装置接收输入介质的信息，并将其代码加以识别、贮存、运算，输出相应的指令脉冲以驱动伺服系统，进而控制机床的动作。数控装置是整个数控系统中线路最复杂、使用电子元器件最多的部分。因此，在目前情况下，整个系统的可靠性主要取决于数控装置。

(三) 伺服系统

伺服系统包括伺服驱动机构与机床的运动部件,它是数控系统的执行部分。伺服系统的作用就是把来自数控装置的各种指令(脉冲信号),转换成机床移动部件的运动。相对于每一个脉冲信号的机床部件的位移量称为最小设定单位,它的大小视机床的精度而定,一般为 $0.01\sim 0.0005\text{mm}$ 。最小设定单位又称为脉冲当量,它的值取得越小,加工精度越高。发出进给脉冲信号的数控装置是能以足够高的速度与精度进行计算的,关键在于伺服系统能以高的速度与精度去执行。由于伺服系统直接决定刀具和工件的相对位置,所以,如果整个系统的可靠性主要取决于数控装置的话,那么整个系统的精度与快速性就主要取决于伺服系统。

在数控机床的伺服驱动机构中,常用的伺服驱动元件有功率步进电机、电液脉冲马达和大惯量直流电机等。国外近年用交流电机驱动的伺服系统应用非常活跃,并趋于成熟。交流伺服系统在我国也得到应有的重视,研究与应用发展很快。

(四) 测量装置

测量装置的作用是将机床的实际位置,速度以及机床当前的环境(如温度、振动、摩擦和切削力等因素的变化)参数加以检测,转变为电信号,输送给数控装置,使数控装置能够校核该机床的实际情况是否与指令一致,并由数控装置发出指令纠正所产生的误差,并及时作出补偿。测量装置的引入,虽增加了伺服系统控制的复杂性,但能有效地改善系统的动态特性,并实现自适应控制,以达到最佳的传动状态,因而可大大提高零件的加工精度。

(五) 机床

数控机床是高精度和高生产率的自动化机床。与普通机床相比,数控机床除了应具有更好的刚性和抗振性,特别是相对运动面的摩擦系数要小、传动部件的间隙要小之外,还应具备自动变速、自动换刀和自动诊断故障等功能,以适应自动控制的需要。所以数控机床的结构必须根据数控技术的特殊要求进行专门设计,才能充分发挥数控机床的性能。

四、数控技术的发展趋势

(一) 数控机床的产生

数控技术首先在机床行业产生并得到广泛应用。在飞机制造业,以往的加工方法是使用仿形加工机床,即在图纸设计和大量试验完成以后,再制作昂贵的靠模和样板,然后在仿形机床上进行加工。靠模和样板的制作也很困难,为了保存这些原始依据,还要占用大量的库房,制造周期长,更新品种难。第二次世界大战后,美国为了加速飞机工业的发展,要求革新这种样板加工的设备,由空军部门委托帕森斯公司(Parsons Co.)和麻省理工学院伺服机构研究所(Servo Mechanismus Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology)进行数控机床的研制工作。历经3年,于1952年试制成功世界上第一台数控机床。这是一台数控立式三坐标铣床,其数控系统全部采用电子管元件,具有直线插补,连续控制功能。以后又经过3年的改进和自动编制程序的研究,于1955年开始进入实用阶段,在复杂的曲面零件加工中,起了很大作用。我们称它为第一代数控系统。

1959年,由于晶体管的发明以及在计算机行业中的成功应用,数控系统中也广泛引用了晶体管元件和印制电路板技术,使得数控系统的可靠性提高了一步,价格也下降了。这样,一些民用工业部门才开始采用数控系统,并发展了数控机床,从而,数控系统跨入了第二代。

1965年,出现了小规模集成电路和专用功能器件。由于它体积小、功耗低,使数控系统

的可靠性进一步提高，数控系统发展到第三代。

随着计算机技术的发展和中、大规模集成电路的出现，小型电子计算机的价格急剧下降，猛烈冲击着市场。数控系统的生产厂家认识到，采用小型计算机来取代专用控制计算机，经济上是合算的，许多功能可以依靠编制专用程序存在计算机的存贮器中，构成所谓控制软件而加以实现，提高了系统的可靠性和功能特色，因而就产生了CNC和DNC系统。CNC即是用小型电子计算机控制一台机床的数控系统。1970年在美国芝加哥国际机床展览会上，首次展出了这种系统。直接数字控制(Direct Numerical Control简称DNC)是用小型计算机控制几台机床，也称为计算机数字群控系统。一般把CNC和DNC这两种数控系统，称为第四代系统。

1974年，美、日等国的数控系统生产厂，首先研制出以微处理器为核心的数控系统。由于中、大规模集成电路价格低廉，集成度高，可靠性强，至今微处理器数控系统仍得到广泛应用。我们把以微处理器技术为特征的数控系统称为第五代系统，简称微机数控(Microcomputer Numerical Control简称MNC)。

(二)国内外数控机床发展情况

自从第一台商品数控机床问世以来，到1965年，世界主要工业国家的数控机床已进入批量生产阶段。数控机床的产量、拥有量、数控化率都在急速上升。1970年前美国处于领先地位。1971年苏联生产数控机床2538台，一举超过美国，名列世界第一。1977年以前，苏联一直保持产量优势。以后，日本的半导体技术及计算机技术迅猛发展，促进了数控机床的生产。1976年时日本数控机床的产量是3300台，1978年时为7300台，1980年为22000台，到1981年仅用了4年时间便超过了其它各国而成为世界上最大的数控机床生产国，产量达到26000台，基本上每两年翻一番。1981年日本、美国、联邦德国、法国、英国五国的数控机床总产量为39000台，其中日本占66.2%，美国占19.8%，联邦德国占8.3%，法国占2.9%，英国占2.8%。到1988年，日本年产数控机床约为50000台，数控化率达70%。

我国从1958年开始研究数控机械加工技术，60年代针对壁锥、非圆齿轮等复杂形状的工作件研制出了数控壁锥铣床、数控非圆齿轮插齿机等设备，保证了加工质量，减少了废品，提高了效率，取得了良好的效果。70年代针对航空工业等加工复杂形状零件的急需，从1973年以来组织了数控机床攻关会战，经过3年努力，到1975年已试制生产了40多个品种300多台数控机床。经过30年的努力，我国数控机床和数控系统的研制，也历经了第一代电子管数控、第二代晶体管数控及第三代集成电路数控。从1973年到1979年，7年内全国累计生产数控机床4108台(其中约3/4以上为数控线切割机床)。进入80年代，我国重新重视发展数控技术，采取了暂时从国外引进控制机和伺服驱动系统，为国产主机配套的方针。1981年，我国从日本FANUC公司引进了FANUC 3系列、5系列、7系列的数控系统和直流伺服电机、直流主轴电机技术，并在北京机床研究所建立了数控设备厂。于1981年年底开始验收投产，1982年生产约40套系统，1983年生产约100套系统，1985年生产约400套系统，伺服电机与主轴电机也配套生产。这些系统是国外70年代的水平，功能较全，可靠性比较高，这样就使机床行业发展数控机床有了可靠的基础，使我国的主机品种与技术水平都有较大的发展与提高。我国已有少数产品开始进入国际市场，还有几种合作生产的数控机床返销国外。目前，我国除了能独立地设计与生产常规的数控机床外，还能生产五坐标数控铣床、加工中心以及柔性制造系统。如北京机床研究所开发研制的JCS-FMC-1、JCS-FMC-2柔性加工单元，

XH715型立式加工中心,昆明机床厂的THK4680型全闭环精密加工中心,沈阳中捷友谊厂的TK66100卧式镗铣加工中心,青海第一机床厂的XH754卧式加工中心等。这一切都说明,我国的机床数控技术进入了一个新的发展时期,预计在不远的将来,我国将会赶上或超过世界先进国家的水平。

(三) 数控技术的发展趋势

从数控系统的发展来看,数控机床已发展了五代。在实际应用中,除了机床行业之外,数控技术还应用在其他部门,产生了各种数控设备。例如,数控弯管机、数控绘图机、数控绕线机、数控测量机等等。随着数控技术向其它行业的推广,计算技术、成组技术及系统工程等技术在各工业部门的应用,推动了机械工业从传统的概念和方法中解脱出来,向着综合自动化的方向变革。在产品的设计方面,采用计算机辅助设计(CAD)技术,可以提高设计质量,缩短设计周期,发现和修正设计中的错误。在加工制造方面,采用计算机辅助制造(CAM)技术,使计算机参与从零件材料到加工和装配检验直至成品出库的整个过程。

从在一台设备上如何提高自动化程度来考虑,出现了多轴数控系统。目前世界上的数控系统,最多控制的轴数是24轴,它是在一台多头龙门铣床上实现控制的。

从一台设备上实现多工序自动控制来考虑,出现了加工中心,在一台机床上,可以实现车、铣、钻、镗、攻丝等多种功能。

从计算机运算速度高来考虑,由于计算机处理数据的速度比数控设备的加工速度快,所以可以利用一台计算机控制多台数控设备,这就是我们所说的群控系统或直接数控系统。

从程序编制来考虑,为了提高编制加工程序的效率,减轻计算工作量,提高计算精度,出现了自动编程语言系统。采用简单、习惯所用的语言去描述工件的几何形状与加工过程,由计算机接受、翻译并根据指定的要求进行分段与计算,最后处理成数控机床适用的加工程序单或纸带。

从切削过程是否达到最佳状态来考虑,出现了自适应控制数控机床。自适应控制系统是一个调节在加工过程中所测得的工作状态特性的系统,该系统连续测量一个或多个影响它性能的参数,而且根据这些测量结果连续调节它的控制特性,以保证控制系统具有良好性能或者改善与优化这些性能,达到最佳切削状态。

从机械加工高度自动化的方面来考虑,出现了柔性制造系统(FMS)。柔性制造系统是由统一的控制系统和输送系统连接起来的一组加工设备,包括数控机床、材料和工具自动搬运设备、自动测量和试验设备等。它们不仅能进行自动化生产,而且还能在一定范围内完成不同工件的加工任务的制造系统。柔性制造系统一般有三种类型,柔性制造单元(FMC),柔性制造自动线(FML)和柔性制造系统(FMS)。柔性制造系统是当前机械制造技术发展的方向,它具有高效率、高柔性和高精度等优点,是比较理想的加工系统,能解决长期以来机械加工高度自动化和高度柔性间的矛盾。

从高性能的电子器件方面来考虑,目前,用于一般的计算机工业中的各种处理器、存储器、通信链路以及高分辨率的彩色阴极射线管显示器、平面彩色液晶显示器等,正在结合到数控产品中。如32位处理器和协处理器实际上已成为数控产品中的通用部件。今后,预料会采用规模更大、处理速度更快的处理器。

从运动控制技术来考虑,运动控制技术对许多数控机床特性(尤其是速度和精度)是很重要的。运动技术中的新标准(如数字交流驱动)为数控机床提供了某些性能优点,用数字参数

可以方便地和重复地调整数字驱动，并可在软件中完成所有这些调整工作。现在，数字电路已能进行伺服传动功能参数调节，而在以前的模拟式驱动中是做不到的。参数的数字微调能更精确地与伺服系统相匹配，以改进机床的性能。数控运动控制导致的另一个发展趋向是伺服控制电路与数控相结合，使微处理器能控制数字驱动，以便很快通过数控系统总线与数控装置进行通信，其结果是大大改进了系统的响应，使数控装置能动态地调节驱动参数，机床性能达到最佳化。此外，功能更强的处理器的出现和数控装置中多任务、多功能的开发，导致了能在机床中同时执行多零件程序路径的控制，在今后的机床控制中，许多以前单独的控制功能将会结合起来等。

从通信方面考虑，将数控装置集成到有分布式数控，状态报告生成的工厂环境中时，通信是一个关键性功能，而输入输出功能则是这种环境下的最通常功能。现在，几乎每一个数控装置均具有某种通信功能措施，其范围可包括从简单的串联线路连接到各种网路接口。

第二节 数控机床的分类

目前，数控机床品种已经基本齐全，规格繁多，据不完全统计已有400多个品种规格。可以按照多种原则来进行分类，但归纳起来，常见的是以下面三种方法来分类。

一、按工艺用途分类

(一)一般数控机床

这类机床和传统的通用机床品种一样，有数控车、铣、镗、钻、磨床等，而且每一类又有很多品种，例如数控铣床中就有立铣、卧铣、龙门铣等，这类机床的工艺可能性和通用机床相似，所不同的是它能加工复杂形状的零件。

(二)数控加工中心机床

这类机床是在一般数控机床的基础上发展起来的，它是在一般数控机床上加装一个刀库(可容纳10~100多把刀具)和自动换刀装置而构成的一种带自动换刀装置的数控机床(又称多工序数控机床)，这使数控机床更进一步地向自动化和高效化方向发展。

它和一般数控机床的区别是：工件经一次装夹后，数控装置就能控制机床自动地更换刀具，连续地对工件各加工面自动地完成铣、镗、钻、铰及攻丝等多工序加工。这类机床大多是以镗铣为主，主要用来加工箱体零件。

(三)多坐标数控机床

有些复杂形状的零件，用三坐标的数控机床还是无法加工，如螺旋架、飞机曲面零件的加工等，需要三个以上坐标的合成运动才能加工出所需的形状，于是出现了多坐标的数控机床。其特点是数控装置控制的轴数较多，机床结构也比较复杂。其坐标轴数通常取决于加工零件的工艺要求，现在常用的是4~6坐标的数控机床，最多可达24坐标。

(四)计算机群控

计算机群控也称为直接数控(DNC)系统，它是一台大型通用计算机直接控制一群数控机床的系统。

二、按运动方式分类

(一)点位控制数控机床

这类机床的数控装置只能控制机床移动部件从一个位置(点)精确地移动到另一个位置

(点), 在移动过程中不进行任何切削加工, 至于两相关点之间的移动速度及路线则取决于生产率。为了在精确定位的基础上有尽可能高的生产率, 所以两相关点之间的移动先是以快速移动到接近新的位置, 然后降速 1~3 级, 使之慢速趋近定位点, 以保证其定位精度。

这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床和数控测量机等, 其相应的数控装置称之为点位控制装置。

(二) 点位直线控制数控机床

这类机床工作时, 不仅要控制两相关点之间的位置, 还要控制两相关点之间的移动速度和路线(即轨迹)。其路线一般都由与各轴线平行的直线段组成。它和点位控制机床的区别在于, 当机床的移动部件移动时, 可以沿一个坐标轴的方向进行切削加工, 而且其辅助功能比点位控制的数控机床多。例如要增加主轴转速控制, 循环进行加工、刀具选择等功能。

这类机床主要有简易数控车床、数控镗铣床和数控加工中心等, 相应的数控装置称之为点位直线控制装置。

(三) 轮廓控制数控机床

这种机床的控制装置能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制。加工时不仅要控制起点和终点, 还要控制整个加工过程中每点的速度和位置, 使机床加工出符合图纸要求的复杂形状的零件, 它的辅助功能亦比较齐全。

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床和电加工机床等, 其相应的数控装置称之为轮廓控制装置(或连续控制装置)。

三、按控制方式分类

(一) 开环控制数控机床

在开环控制中, 机床没有检测反馈装置, 如图 1-2, 数控装置发出信号的流程是单向的, 所以不存在系统稳定性问题。也正是由于信号的单向流程, 它对机床移动部件的实际位置不作检测, 所以机床加工精度不高, 其精度主要取决于伺服系统的性能。其工作过程是: 输入的数据经过数控装置运算分配出指令脉冲, 通过伺服机构(伺服元件常为步进电机)使被控工作台移动。

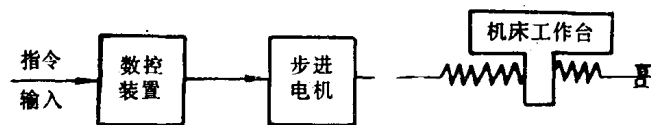


图1-2 开环控制系统框图

这种机床工作比较稳定, 反应迅速, 调试方便, 维修简单, 但其控制精度受到限制。它适用于一般要求的中、小型数控机床。

(二) 半闭环控制数控机床

半闭环控制系统的组成框图如图 1-3。这种控制方式对工作台的实际位置不进行检查

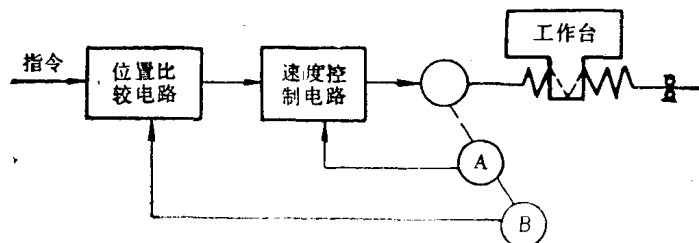


图1-3 半闭环控制系统框图

测量，而是通过与伺服电机有联系的测量元件，如测速发电机A和光电编码盘B等间接检测出伺服电机的转角，推算出工作台的实际位置量，用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。

(三) 闭环控制数控机床

由于开环控制精度达不到精密机床和大型机床的要求，所以必须检测它的实际工作位置。为此，在开环控制数控机床上增加检测反馈装置，在加工中时刻检测机床移动部件的位置，使之和数控装置所要求的位置相符合，以期达到很高的加工精度。闭环控制系统框图如图1-4所示。图中A为速度测量元件，C为位置测量元件。当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来，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，直至差值消除时为止。这类机床的优点是精度高、速度快，但是调试和维修比较复杂，其关键是系统的稳定性，所以在设计时必须对稳定性给予足够的重视。

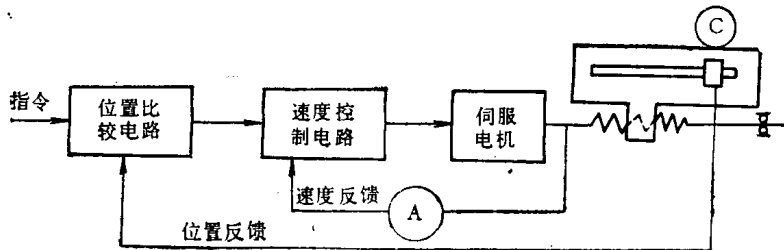


图1-4 闭环控制系统框图

(四) 混合控制数控机床

将以上三种控制方式的特点有选择地集中起来，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。由于大型数控机床不仅需要高得多的进给速度和返回速度，而且还需要相当高的精度，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，宜采用混合控制方式。在具体方案中它又可分为两种形式：

1. 开环补偿型 开环补偿型控制方式如图1-5，它的特点是：基本控制选用步进电机

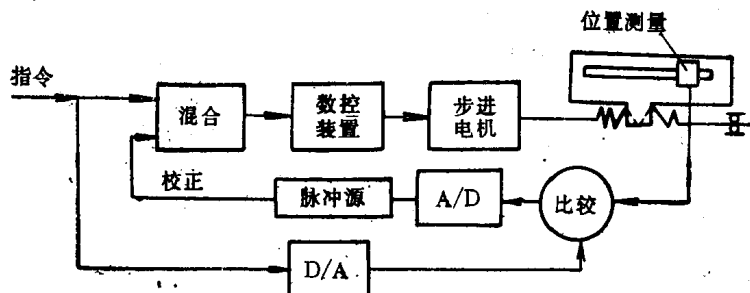


图1-5 开环补偿型框图