

国家示范性高职院校建设规划教材

数控原理 与数控机床

SHUKONG YUANLI
YU SHUKONG JICHUANG

蒙 斌 主 编



化学工业出版社

■ 国家示范性高职院校建设规划教材

数控原理 与数控机床

SHUKONG YUANLI
YU SHUKONG JICHUANG

蒙 斌 主 编
胡宗政 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

全书共有八章。第一章简要介绍数控机床的基本知识，第二章详细介绍数控加工的工艺与编程，第三章详细介绍计算机数控系统，第四章介绍数控机床的位置检测装置，第五章介绍数控机床进给运动的控制，第六章介绍数控机床主轴驱动及控制，第七章介绍数控机床的机械结构，第八章介绍数控机床的使用与维修。

本书可作为高职高专、成人高校机电类、数控类、自动控制类专业学生的教材和参考书，也可作为各种数控职业培训的培训教材和从事数控技术科研和工程技术人员的参考用书。

本书的电子课件可在化学工业出版社的官方网站上下载。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控原理与数控机床/蒙斌主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 8

国家示范性高职院校建设规划教材

ISBN 978-7-122-05604-7

I. 数… II. 蒙… III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 090438 号

责任编辑: 李娜 高钰
责任校对: 宋玮

装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 14 $\frac{1}{4}$ 字数 381 千字 2009 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

前 言

在传统机械行业的基础上,伴随着微电子技术、计算机技术、自动控制技术、信息处理技术、检测技术等相关技术的迅猛发展及相互渗透,便自然而然地产生了机械与电子紧密结合的技术——机械电子工程技术,也称为机电一体化技术。而这一技术在机械加工领域的典型应用便是数控技术。

数控技术已经不再是新生事物,它已成为现代制造技术的重要基础技术之一,广泛应用到了产品制造领域,显示了其在国家基础工业现代化中的战略性作用,并已成为传统机械制造业提升改造和实现自动化、柔性化、集成化生产的重要手段和标志。数控技术及数控机床的广泛应用,给机械制造业的产业结构、产品种类和档次以及生产方式带来了革命性的变化。掌握现代数控技术知识是现代机电类、数控类、自动控制类专业学生必不可少的,而掌握数控机床的原理及应用知识显得尤为重要。

近年来,职业教育犹如一股强劲的东风,已经吹遍我国大江南北,高等职业教育作为我国高等教育战线上的一道奇葩,已经越来越彰显其魅力和不可忽略的作用,也越来越受到社会的重视和认可。近年来,国家对职业教育越来越重视,提出了建设百所国家示范性高职高专院校的计划,而在这些示范性院校重点建设的示范性专业中,数控技术及应用专业可谓独树一帜,而数控原理与数控机床(有些院校的专业教学计划中叫数控技术及应用)作为专业主干课程或核心课程,就要能适应示范性建设的需要,能满足示范性建设对人才培养的要求。本书正是在这样的背景下编写而成的。

本书根据示范性院校人才培养目标及规格的要求编写,结合国内外数控技术及数控机床的应用情况,针对普通高等职业院校机电类、数控类、自动控制类专业学生的特点,突出数控技术原理性和数控机床的实用性,力求做到理论与实践的最佳结合。

本书由蒙斌任主编并负责统稿和定稿,胡宗政任副主编,参加编写工作的还有巨江澜、李腾忠、李祥。第1、2、3章及7.1由兰州石化职业技术学院蒙斌编写,第4章由兰州职业技术学院李祥编写,第5章由兰州职业技术学院胡宗政编写,第6、8章由甘肃畜牧职业技术学院巨江澜编写,第7章的7.2、7.3由昆明冶金高等专科学校李腾忠编写。

本书在编写过程中,得到赵忠宪、胡相斌、汪红的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢。

由于时间仓促和编者水平有限,书中疏漏和欠妥之处在所难免,恳请读者不吝指教,以便进一步改进。

编 者

2009年5月

目 录

第 1 章 数控机床的基本知识	1
1.1 数控机床的产生与发展	1
1.1.1 数控机床的产生	1
1.1.2 数字控制的概念与数控技术的发展	1
1.2 数控机床的组成及工作原理	2
1.2.1 数控机床的组成	2
1.2.2 数控机床的工作原理	4
1.3 数控机床的分类	4
1.3.1 按控制运动的方式分类	4
1.3.2 按驱动装置特点分类	5
1.3.3 按加工工艺方法分类	6
1.4 数控机床的特点及应用范围	7
1.4.1 数控机床的加工特点	7
1.4.2 数控机床的使用特点	7
1.4.3 数控机床的应用范围	8
1.5 数控机床的发展趋势	9
1.5.1 高速度、高精度化	9
1.5.2 智能化	9
1.5.3 软硬件的进一步开放	9
1.5.4 发展基于 PC 的数控	9
1.5.5 网络化	9
1.5.6 功能复合化	9
训练题	10
第 2 章 数控机床的程序编制	11
2.1 数控加工程序编制基础	11
2.1.1 数控编程的基本概念	11
2.1.2 数控机床的坐标轴和运动方向	11
2.1.3 数控机床的坐标系	13
2.1.4 程序的格式	14
2.2 数控机床的加工工艺及编程步骤	15
2.2.1 编制加工程序的内容及步骤	15
2.2.2 零件的安装和对刀点的确定	16
2.2.3 数控加工工艺路线的设计	17

2.2.4	切削用量及刀具的选择	18
2.2.5	数值计算	19
2.3	数控车床的编程	20
2.3.1	数控车床的编程基础	20
2.3.2	数控车床的基本编程功能	21
2.3.3	数控车床的基本编程方法	23
2.3.4	螺纹切削	28
2.3.5	固定循环功能	30
2.3.6	子程序	37
2.4	华中世纪星 HNC-21/22T 编程指令简介	39
2.4.1	尺寸单位选择指令 G20、G21	39
2.4.2	直径方式和半径方式编程指定指令 G36、G37	39
2.4.3	进给速度单位的设定指令 G94、G95	39
2.4.4	绝对坐标和增量坐标指定指令 G90、G91	40
2.4.5	直接机床坐标系编程指令 G53	40
2.4.6	工件坐标系设定指令 G92	40
2.4.7	螺纹切削指令 G32	40
2.4.8	暂停指令 G04	40
2.4.9	恒线速度指令 G96、G97	41
2.4.10	简单切削循环指令	41
2.4.11	复合循环	42
2.4.12	宏指令编程	46
2.5	数控铣床及加工中心的编程	47
2.5.1	数控铣床及加工中心的编程基础	47
2.5.2	数控铣床及加工中心的基本编程功能	47
2.5.3	数控铣床的基本编程方法	49
2.5.4	刀具补偿功能	52
2.5.5	固定循环	54
2.5.6	子程序	62
2.6	华中世纪星 HNC-21M 编程指令简介	63
2.6.1	HNC-21M 的基本编程指令	63
2.6.2	子程序及简化编程指令	65
2.6.3	固定循环功能	68
2.6.4	宏指令编程	70
	训练题	71
第 3 章 计算机数控系统		74
3.1	CNC 系统的基本构成	74
3.1.1	CNC 系统的概念及基本组成	74
3.1.2	CNC 装置的组成及其工作过程	74
3.1.3	CNC 装置的特点及可执行的功能	75
3.2	CNC 系统(装置)的硬件结构	77

3.2.1	CNC 系统的硬件构成特点	77
3.2.2	CNC 系统的典型硬件结构	78
3.2.3	CNC 系统硬件各组成部分的功能与原理	81
3.2.4	华中数控系统硬件结构简介	82
3.3	CNC 系统(装置)的软件结构	83
3.3.1	概述	83
3.3.2	CNC 系统软件的组成	83
3.3.3	CNC 系统软件各部分的功能	83
3.3.4	CNC 系统软件的结构形式	92
3.3.5	CNC 系统软件的特点	96
3.3.6	华中数控系统的软件结构	99
3.4	CNC 系统(装置)的接口电路	100
3.4.1	概述	100
3.4.2	CNC 系统常用外部设备及接口	101
3.4.3	机床开关量及其接口	102
3.4.4	串行接口	104
3.4.5	网络通讯接口	104
3.5	CNC 运动轨迹的插补原理	105
3.5.1	运动轨迹插补的概念	105
3.5.2	运动轨迹插补的方法	105
3.5.3	逐点比较法	106
3.5.4	DDA 法——数字积分法	113
3.5.5	数据采样法	120
3.6	CNC 系统中的 PLC	123
3.6.1	PLC 在数控机床中的应用	123
3.6.2	M、S、T 功能的实现	125
	训练题	126
第 4 章 数控机床的位置检测装置		127
4.1	概述	127
4.1.1	位置检测装置的分类	127
4.1.2	数控机床对位置检测装置的要求	128
4.2	光电脉冲编码器	128
4.2.1	光电脉冲编码器的结构	128
4.2.2	光电脉冲编码器的工作原理	128
4.2.3	光电脉冲编码器的信号处理方式	129
4.2.4	光电脉冲编码器在数控机床中的应用	130
4.3	光栅尺	131
4.3.1	计量光栅的种类	131
4.3.2	透射光栅的结构与莫尔条纹的产生原理	131
4.3.3	莫尔条纹的特点及作用	132
4.3.4	光栅尺的输出信号与测量电路	133
4.3.5	光栅在数控机床中的应用	133

4.4	直线式感应同步器	134
4.4.1	感应同步器的分类	134
4.4.2	直线式感应同步器的工作原理	135
4.4.3	典型测量方式	136
4.4.4	感应同步器的特点及应用	137
4.5	旋转变压器	138
4.5.1	旋转变压器的结构	138
4.5.2	旋转变压器的工作原理	138
4.5.3	旋转变压器的典型工作方式	139
4.5.4	旋转变压器在数控机床中的应用	140
	训练题	140
第5章 数控机床进给运动的控制		141
5.1	概述	141
5.1.1	数控机床对进给伺服系统的要求	141
5.1.2	进给伺服系统的组成	142
5.1.3	进给伺服系统的分类	142
5.2	步进驱动及开环控制系统	144
5.2.1	步进电动机的工作原理	144
5.2.2	步进电动机的驱动电源	147
5.2.3	步进电动机的进给控制	152
5.2.4	步进电动机的主要特性及其选择	153
5.3	直流伺服驱动系统	156
5.3.1	直流伺服电动机	156
5.3.2	直流伺服驱动装置	159
5.4	交流伺服驱动系统	161
5.4.1	永磁交流同步伺服电机的结构	161
5.4.2	永磁交流同步伺服电机工作原理	162
5.4.3	永磁交流同步伺服电机的特性	163
	训练题	164
第6章 数控机床主轴运动的控制		165
6.1	数控机床对主轴驱动系统的要求	165
6.2	主轴驱动装置的工作原理	166
6.2.1	主轴驱动装置的特点	166
6.2.2	直流主轴电动机及驱动装置	166
6.2.3	交流主轴电动机及驱动装置	167
6.3	主轴分段无级变速及控制	170
6.3.1	主轴分段无级变速的概念	170
6.3.2	主轴分段无级变速的原理	170
6.3.3	自动变挡的实现	171
6.4	主轴准停控制	173
6.4.1	主轴准停控制在数控机床上的作用	173

6.4.2	机械准停控制	173
6.4.3	电气准停控制	174
	训练题	177
第7章 数控机床的机械结构		178
7.1	数控车床的机械结构	178
7.1.1	数控车床的组成与布局	178
7.1.2	数控车床的分类	180
7.1.3	数控车床的主传动系统	181
7.1.4	数控车床的进给传动系统	182
7.1.5	数控车床的工装夹具	185
7.1.6	数控车床的刀具	186
7.2	数控铣床的机械结构	188
7.2.1	数控铣床的组成与特点	188
7.2.2	数控铣床的分类	189
7.2.3	数控铣床的主传动系统	190
7.2.4	数控铣床的进给传动系统	191
7.2.5	数控铣床的夹具	193
7.2.6	数控铣床的刀具	194
7.3	加工中心的机械结构	197
7.3.1	加工中心的基础知识	197
7.3.2	加工中心的分类	198
7.3.3	加工中心的主传动系统	199
7.3.4	加工中心的刀具系统	201
7.3.5	自动换刀装置	202
	训练题	206
第8章 数控机床的使用与维修		207
8.1	数控机床的选用	207
8.1.1	数控机床的选用原则	207
8.1.2	数控机床选用的基本要点	208
8.2	数控机床的调试和验收	211
8.2.1	数控机床的安装与调试	211
8.2.2	数控机床的验收	212
8.3	数控机床的维护与保养	215
8.3.1	数控机床维护与保养的意义	215
8.3.2	数控机床的日常保养	215
8.4	数控机床的故障与排除	217
8.4.1	数控机床故障诊断的基本知识	217
8.4.2	数控机床常用的故障诊断技术	221
8.4.3	数控机床故障的诊断与排除	222
	训练题	226
	参考文献	227

第1章 数控机床的基本知识

【知识提要】 本章主要介绍数控技术及数控机床的产生与发展、数控技术及数控机床的概念；数控机床的组成与工作原理；数控机床的分类；数控机床的特点及应用范围；数控技术及数控机床的发展趋势等内容。

【学习目标】 通过本章内容的学习，学习者应对数控技术及数控机床的基本概念有全面掌握，对数控机床的基本结构有初步认识，对工作原理有初步掌握，对数控技术及数控机床的发展有基本了解。

1.1 数控机床的产生与发展

1.1.1 数控机床的产生

随着科学技术和社会生产的不断发展，机械产品日趋精密、复杂，改型也日益频繁，对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求，从而对机床的性能、精度及自动化程度提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程的自动化是实现上述要求的最重要措施之一，不仅能提高产品质量和生产率，降低生产成本，还能改善工人的劳动条件。为此，许多生产企业（如汽车、拖拉机、家用电器等行业）都采用了自动机床、组合机床和自动生产线。但是，采用这种自动、高效的设备，需要很大的初始投资以及较长的生产准备周期，只有在大批量的生产条件下，才会有显著的效益。而机械制造业中单件与小批生产的零件（批量在10~100件）约占机械加工总量的80%左右。科学技术的进步和机械产品市场竞争的日趋激烈，使机械产品不断改型和更新换代，批量相对减少，质量要求越来越高。而采用专用的自动加工设备的投资大、时间长、转型难，显然很难满足竞争日趋激烈的市场需要。因此，为了解决上述问题，满足多品种、小批量，尤其是复杂型面零件的自动化生产，迫切需要一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的自动化机床。

数字控制（Numerical Control）机床就是在这样的背景下诞生与发展起来的。它极其有效地解决了上述一系列矛盾，为单件、小批生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。随着科学技术的发展，1952年，由美国帕森斯（Parsons）公司和麻省理工学院（MIT）共同研制成功了世界上第一台以电子计算机为控制基础的数字控制机床，其名称为三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床，主要用来加工直升飞机叶片轮廓检查用样板。从此，机械制造业进入了一个新的发展阶段。

1.1.2 数字控制的概念与数控技术的发展

（1）数字控制的概念

① 数字控制技术的概念 数字控制简称为NC（numerical control），数字控制技术指采用数字信号构成的控制程序对某一对象进行自动控制的一门技术。

② 数控机床 指采用了数控技术的机床，即能用数字信号构成的控制程序对零件加工过程进行自动控制的机床。将机床的各种动作、工件的形状、尺寸以及机床的其他功能用一些数字代码表示，把这些数字代码通过信息载体输入给数控系统，数控系统经过译码、运算以及处理，发出相应的动作指令，自动地控制机床的刀具与工件的相对运动，从而加工出所

需要的工件。

数控机床就是一种具有数控系统的自动化机床，是最典型的机电一体化产品。

(2) 数控技术的发展

① 世界领域的发展 从第一台数控机床问世至今，随着微电子技术及相关技术的不断发展，数控系统也在不断的更新换代，先后经历了电子管（1952年）、晶体管（1959年）、小规模集成电路（1965年）、大规模集成电路及小型计算机（1970年）和微型计算机（1974年）五代数控系统。

前三代数控系统采用专用控制计算机的硬接线数控系统，一般称为普通数控系统，简称 NC，其控制功能主要由硬件逻辑电路实现。20 世纪 70 年代初，随着计算机技术的发展，小型计算机的价格急剧下降，采用小型计算机代替专用控制计算机的第四代数控系统应运而生，不仅降低了经济成本，而且许多控制功能可编写专用程序，将专用程序存储在小型计算机的存储器中，构成了系统控制软件，提高了系统的可靠性和灵活性，也增强了系统的控制功能。这种数控系统也称为软接线数控系统，即计算机数控系统，简称为 CNC。1974 年又研制成以微处理机为核心的第五代数控系统，简称 MNC。

在近 20 多年里，生产中实际使用的数控系统大多为第五代数控系统，其性能和可靠性随着技术的发展得到了根本性的提高。从 20 世纪 90 年代开始，微电子技术和计算机技术的发展突飞猛进，个人计算机（PC）的发展尤为突出，无论是其软、硬件还是外围器件，都得到了迅速的发展，计算机采用的芯片集成化程度越来越高，功能越来越强，而成本却越来越低，原来在大、中型机上才能实现的功能现在微型机上就可以实现。美国首先推出了基于个人计算机的数控系统，即 PCNC 系统，它被划入所谓的第六代数控系统。

目前，世界主要工业发达国家的数控机床已进入批量生产阶段，如美国、日本、德国、法国等，其中日本发展最快。1977 年时，日本年产数控机床 5400 多台，到 1985 年，日本产数控机床约为 50000 台，数控化率约为 70%，居世界第一位。

② 我国的发展 我国数控机床的研制始于 1958 年。20 世纪 50 年代末 60 年代初，我国研制成功了一些晶体管式的数控系统，并用于生产，主要有数控线切割机、数控铣床等。但是数控机床的品种及数量都很少，数控系统的稳定性及可靠性都不够，没能在生产中广泛应用。这一阶段是我国数控机床发展的初期阶段。

自 20 世纪 80 年代开始，我国先后引进了日本、德国、美国等国外著名数控系统和伺服系统制造商的技术，陆续发展了一批具有世界 70 年代末 80 年代初水平的数控系统，这些系统性能完善，稳定性和可靠性高，结束了我国数控机床发展停滞不前的局面，推动了我国数控机床的稳定发展，使我国数控机床在质量及性能水平上有了一个质的飞跃。目前我国数控机床生产厂共有 100 多家，其中能批量生产的企业有 40 多家；数控系统生产企业约 50 家；生产数控机床配套产品的企业共计 300 余家，产品品种包括八大类 2000 种以上。

我国在经济型数控系统方面具有很大优势，在当前每年数千台经济型数控车床和电加工机床的市场上，国产数控系统占据鳌头。进入 20 世纪 90 年代以来，我国数控系统在集中优势、突破关键、以我为主、发展产业的原则基础上，逐步形成了以航天数控集团、北京机电集团、华中数控、蓝天数控等以生产普及型数控系统为主的国有企业，以及北京-法那科、西门子数控（南京）有限公司等合资企业的基本力量。

1.2 数控机床的组成及工作原理

1.2.1 数控机床的组成

如图 1.1 所示，数控机床由程序及程序载体、输入装置、数控装置（CNC）、伺服驱动

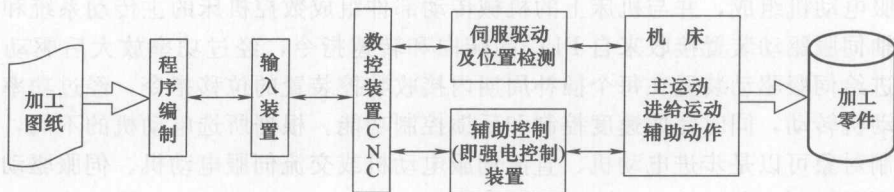


图 1.1 数控机床的基本结构

及位置检测装置、辅助控制装置、机床本体等几部分组成。

(1) 程序及程序载体

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。编好的数控程序，需存放在便于输入到数控装置的一种存储载体（程序载体）上，它可以是穿孔纸带、磁带和磁盘等，采用哪一种存储载体，取决于数控装置的设计类型。

(2) 输入/输出装置

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 MDI 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 RS232C 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。

输出装置的作用是为操作人员显示必要的信息，如坐标值、报警信号等。CRT 显示器是数控机床必不可少的输出装置，数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息，根据系统所处的状态和操作命令的不同，显示的信息可以是正在编辑的程序，也可以是机床的加工信息。

(3) 数控装置

数控装置是数控机床的核心。它的主要功能是正确识别和解释数控加工程序，并对解释结果进行各种数据计算和逻辑判断处理，从而完成各种输入、输出任务。其形式可以由数字逻辑电路构成的专用硬件数控装置或是计算机数控装置。前者称做硬件数控装置，或 NC 装置，其数控功能由硬件逻辑电路实现；后者称为 CNC 装置，其数控功能由硬件和软件共同实现。数控装置将数控加工程序信息按两类控制量分别输出，从而控制机床各组成部分实现各种数控功能。一类是连续控制量，送往伺服驱动装置；另一类是离散的开关控制量，送往 PLC 逻辑控制装置。

数控装置控制机床的动作可概括为：

- ① 机床主运动，包括主轴的起/停、转向和速度选择；
- ② 机床的进给运动，如点位、直线、圆弧、循环进给的选择，坐标方向和进给速度的选择等；
- ③ 刀具的选择和刀具的长度、半径补偿；
- ④ 其他辅助运动，如各种辅助操作、工作台的锁紧和松开、工作台的旋转与分度、工件的夹紧与松开以及冷却液的开/关等；
- ⑤ 自诊断及通信功能等。

(4) 驱动装置和位置检测装置

伺服驱动装置包括主轴伺服驱动装置和进给伺服驱动装置两部分。伺服驱动装置由驱动

电路和伺服电动机组成，并与机床上的机械传动部件组成数控机床的主传动系统和进给传动系统。主轴伺服驱动装置接收来自 PLC 的转向和转速指令，经过功率放大后驱动主轴电动机转动。进给伺服驱动装置在每个插补周期内接收数控装置的位移指令，经过功率放大后驱动进给电动机转动，同时完成速度控制和反馈控制功能。根据所选电动机的不同，伺服驱动装置的控制对象可以是步进电动机、直流伺服电动机或交流伺服电动机。伺服驱动装置有开环、半闭环和闭环之分。

位置检测装置与伺服驱动装置配套组成半闭环和闭环伺服驱动系统。位置检测装置通过直接或间接测量执行部件的实际进给位移量，反馈到数控装置并与指令（理论）位移量进行比较，将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动，以提高系统精度。

(5) 辅助控制装置

辅助控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制装置。现在的数控机床大多是由可编程序控制器（PLC）来实现辅助控制功能，PLC 和数控装置相互配合，共同完成数控机床的控制。数控装置主要完成与数字运算和程序管理等有关的功能，如零件程序的编辑、译码、插补运算、位置控制等。PLC 主要完成与逻辑运算有关的动作。零件加工程序中的 M 代码、S 代码、T 代码等顺序动作信息，经译码后转换成对应的控制信号，控制辅助装置完成机床的相应开关动作，如主轴运动部件的变速、换向和启停，工件的松开与夹紧，刀具的选择与交换，切削液的开关等辅助功能。它接收来自机床操作面板和数控装置的指令，一方面通过接口电路直接控制机床的动作；另一方面通过伺服驱动装置控制主轴电动机的转动。

(6) 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。

1.2.2 数控机床的工作原理

数控机床的编程人员在编制好零件加工程序后，就可以由操作人员输入（包括 MDI 输入、由输入装置输入和通信输入）至数控装置，并存储在数控装置的零件程序存储区内。要加工时，操作者可用菜单命令调入需要的零件加工程序到加工缓冲区，数控装置在采样来自控制面板的“循环启动”指令后，即对加工缓冲区内的零件加工程序进行自动处理（如运动轨迹处理、机床输入/输出处理等），然后输出控制命令到相应的执行部件（伺服单元、驱动装置和 PLC 等），从而加工出符合图纸要求的零件。

1.3 数控机床的分类

数控机床的品种繁多，根据其控制方式、组成特点、应用范围、功能水平等不同可从如下角度进行分类。

1.3.1 按控制运动的方式分类

(1) 点位控制数控机床

点位控制数控机床主要用于加工平面内的孔系，只要求获得精确的孔系坐标定位精度。这类机床仅控制机床运动部件从一点准确地移动到另一点，在移动过程中不进行加工，对运动部件的移动速度和运动轨迹没有严格要求，可先沿机床一个坐标轴移动完毕，再沿另一个坐标轴移动，为了提高加工效率，保证定位精度，系统常要求运动部件沿机床坐标轴快速移动接近目标点，再以低速趋近并准确定位。采用点位控制的机床有数控钻床（见图 1.2）、

数控镗床、数控冲床、数控测量机等。

(2) 直线控制数控机床

这类数控机床除了控制机床运动部件从一点到另一点的准确定位外，还要控制两相关点之间的移动速度和运动轨迹。在移动的过程中，刀具只能以指定的进给速度切削。其运动轨迹平行于机床坐标轴，一般只能加工矩形、台阶形零件。采用直线控制的机床有数控车床（见图 1.3）、数控铣床等。

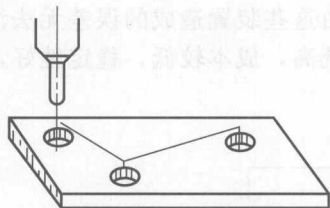


图 1.2 点位控制数控钻床

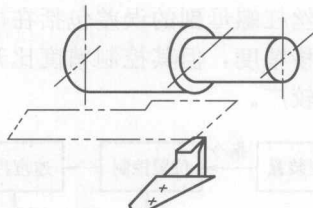


图 1.3 直线控制数控车床

(3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制也称为连续控制。这类数控机床能够对两个以上机床坐标轴的移动速度和运动轨迹同时进行连续相关的控制。它要求数控装置具有插补运算功能，并根据插补结果向坐标轴控制器分配脉冲，从而控制各坐标轴联动，进行各种斜线、圆弧、曲线的加工，实现连续控制。采用轮廓控制的机床有数控车床、数控铣床（见图 1.4）、数控加工中心等。如图 1.5 所示为两轴联动轮廓控制加工过程。

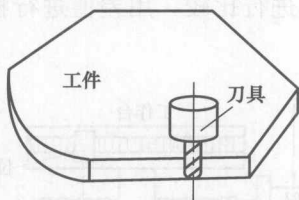


图 1.4 轮廓控制数控铣床

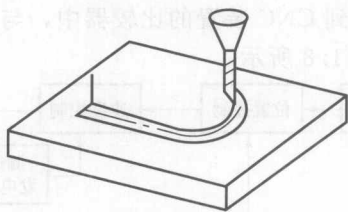


图 1.5 两轴联动轮廓控制加工过程

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。

1.3.2 按驱动装置特点分类

(1) 开环控制数控机床

这类机床没有任何检测反馈装置，CNC 装置发出的指令信号经驱动电路进行功率放大后，通过步进电动机带动机床工作台移动，信号的传输是单方向的，如图 1.6 所示。机床工作台的位移量、速度和运动方向取决于进给脉冲的个数、频率和通电方式。因此，这类机床结构简单，价格低廉，便于维护，控制方便，被广泛应用。

(2) 半闭环控制数控机床

这类机床采用角位移检测装置，该装置直接安装在伺服电动机轴或滚珠丝杠端部，用来检测伺服电动机或丝杠的转角，推算出工作台的实际位移量，反馈到 CNC 装置的比较器中，与程序指令值进行比较，用差值进行控制，直到差值为零，如图 1.7 所示。这类机床没

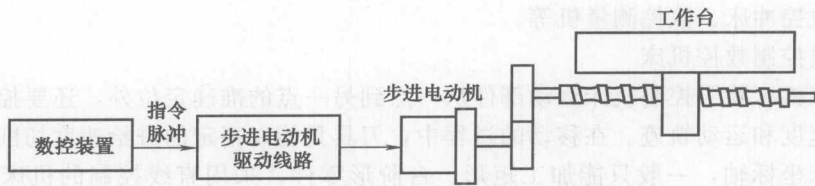


图 1.6 开环控制数控机床原理框图

有将工作台和丝杠螺母副的误差包括在内，因此，由这些装置造成的误差无法消除，会影响移动部件的位移精度，但其控制精度比开环控制系统高，成本较低，稳定性好，测试维修也较容易，应用较广。

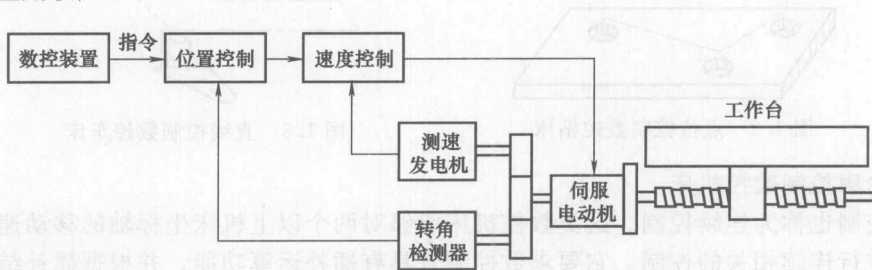


图 1.7 半闭环控制数控机床原理框图

(3) 闭环控制数控机床

这类机床采用直线位移检测装置，该装置安装在机床运动部件或工作台上，将检测到的实际位移反馈到 CNC 装置的比较器中，与程序指令值进行比较，用差值进行控制，直到差值为零，如图 1.8 所示。

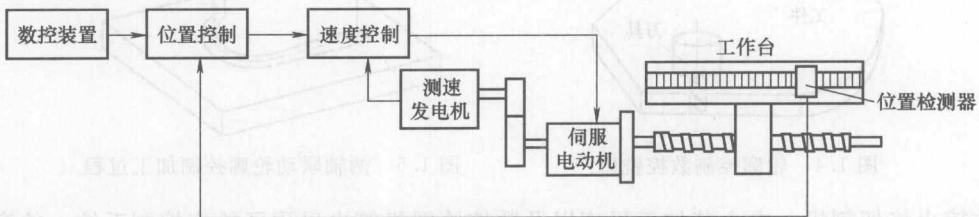


图 1.8 闭环控制数控机床原理框图

这类机床可以将工作台和机床的机械传动链造成的误差消除，因此，其控制精度比开环、半闭环控制系统高，但其成本较高，结构复杂，调试、维修较困难，主要用于精度要求高的数控坐标镗床、数控精密磨床等。

1.3.3 按加工工艺方法分类

(1) 金属切削类数控机床

这类数控机床主要用于切削金属，具体类型有数控车床、铣床、钻床、磨床、齿轮加工机床等。虽然这些机床在加工工艺及控制方式上存在很大差别，但它们都有明显的切削刀具（或工具），加工过程中刀具（或工具）要接触工件，主要靠工件与刀具之间的机械力来完成工件材料的去除，都具有很高的精度一致性，较高的生产率和自动化程度。

在普通数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置就成为数控加工中心机床，简称为 MC (Machining Center)。加工中心机床比普通数控机床的自动化程度和生产效率高。例如铣、镗、钻加工中心，它是在数控铣床上装配一个容量较大的刀库和自动换刀装置形成的，工件只需一次装夹，就可以对其大部分待加工面进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加

工,尤其适合箱体类零件的加工。加工中心机床可以有效地避免由于工件多次装夹造成的定位误差,减少了数控机床的台数和占地面积,缩短了零件加工的辅助时间,从而大大提高了生产效率和加工质量。

(2) 特种加工类数控机床

除了切削加工数控机床以外,还有一些数控机床是利用热学、光学、电学等物理学或化学原理工作的,具体有数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机以及数控激光加工机床等。

(3) 板材加工类数控机床

这类机床主要用于金属板材类零件的加工,常见的有数控压力机、数控折弯机和数控剪板机等。

1.4 数控机床的特点及应用范围

1.4.1 数控机床的加工特点

(1) 对加工对象的适应性强

由于目前的数控机床零件加工都是由程序控制自动实现的,当所加工的零件改变时,只需要重新编制零件加工程序就能实现对不同零件的加工,不需要制造、更换许多工具、夹具和检具,更不需要重新调整机床,所以具有很强的适应性。

(2) 加工精度高、加工质量稳定

目前数控机床的脉冲当量普遍达到了 $0.001\text{mm}/\text{脉冲}$,传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,进给系统采取了间隙消除措施,而且可由数控装置对误差自动进行补偿,因此加工精度高,同时由于数控机床是受程序控制自动加工的,避免了操作者的人为干预而产生的误差,同一批零件加工的尺寸一致性好,加工质量十分稳定。

(3) 生产效率高

数控机床是一种高速运行设备,主轴转速和进给速度的调节范围大,机床刚性好,可采用较大的切削用量,从而有效节省零件加工的机动时间。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,从而使辅助时间比一般机床大大减少。

数控机床是一种柔性制造设备,在更换被加工零件时几乎不需要调整机床,节省了零件安装调整时间。由于数控机床加工质量稳定,对于批量加工,一般只作首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验,从而节省了批量加工的停机检验时间。若在加工中心机床上加工,一台加工中心可实现多工序的连续加工,生产效率的提高就更为明显。

(4) 减轻操作者的劳动强度

数控机床是按程序自动进行加工的,操作者只需进行面板操作、装卸零件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行,不需要进行繁杂的重复性手动操作,劳动强度和紧张程度都可大为减轻。另外现在的数控机床一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑等辅助装置,操作者的劳动条件也大为改善。

(5) 有利于生产管理的现代化

用数控机床加工零件,能准确地计算零件的加工工时,并有效地简化了检验工夹具、半成品的管理工作,从而有利于生产管理的现代化。数控机床采用数字信息的标准代码输入,有利于与计算机连接,构成集计算机辅助设计、制造及管理于一体的小批量生产系统,实现制造和生产管理的自动化。

1.4.2 数控机床的使用特点

(1) 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,还应应对数控机床的结构特点、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,考核合格才能操作机床。

正确的维护和有效的维修是使用数控机床应注意的一个重要问题。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。

(2) 数控机床对夹具和刀具的要求

数控机床对夹具的要求比较简单,单件生产时一般采用通用夹具。当批量生产时,为了节省加工工时,应使用专用夹具。数控机床的夹具应定位可靠,可自动夹紧或松开工件。夹具还应具有良好的排屑、冷却性能。

数控机床的刀具应该具有以下特点:

- ① 具有较高的精度、耐用度,几何尺寸稳定、变化小;
- ② 刀具能实现机外预调和快速换刀,加工高精度孔时要经试切削确定其尺寸;
- ③ 刀具的柄部应满足柄部标准的规定;
- ④ 很好地控制切屑的折断和排出;
- ⑤ 具有良好的可冷却性能。

1.4.3 数控机床的应用范围

数控机床与普通机床相比有许多优点,应用范围也在不断扩大。但是,数控机床的初始投资费用较大,对操作维修人员和管理人员的素质要求比较高,维修维护的费用高,技术难度大。在实际选用时,一定要充分考虑本单位的实际情况及其技术经济效益。

数控机床最适合加工的零件有:①多品种小批量生产的零件;②形状结构比较复杂的零件;③精度要求高的零件;④需要频繁改型的零件;⑤价格昂贵,不允许报废的关键零件;⑥需要生产周期短的急需零件;⑦批量较大,精度要求高的零件。

数控加工的适用范围如图 1.9 所示。

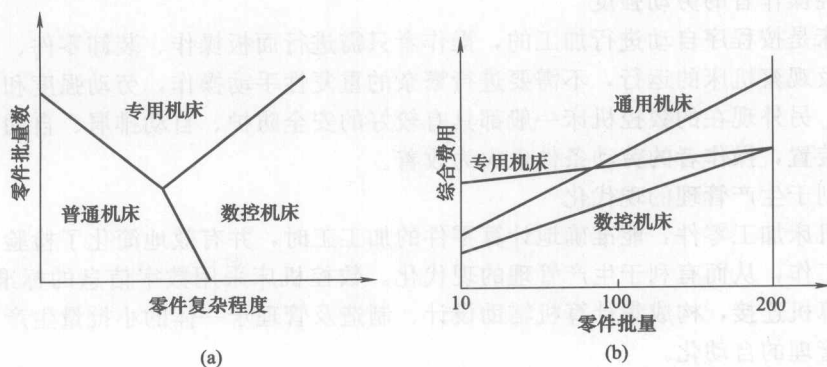


图 1.9 数控加工的适用范围