



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等院校信息与电子技术类规划教材

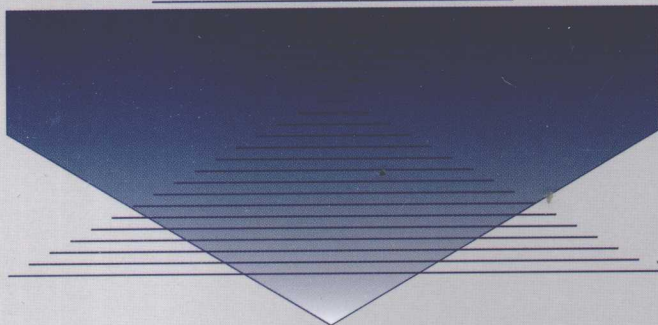
数字控制技术

N u m e r i c a l C o n t r o l T e c h n o l o g y

吴黎明 主编



21st CENTURY



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校信息与电子技术类规划教材



数字控制技术

吴黎明 主编

刘桂雄 何汉武 邓耀华 副主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以现代数字控制技术为基础,结合最新机床计算机数控技术成果和工业生产中数控技术应用,介绍了现代机床数控技术各个方面的内容,包括数控插补原理、数控机床编程、计算机数控系统构成及硬件和软件设计、伺服控制驱动装置和检测装置,并结合近年来数字控制技术的新发展,介绍基于微型计算机的开放式数控、应用嵌入式技术的数控系统。

本书力求做到理论联系实际,深入浅出,面向应用,使读者能迅速掌握现代数字控制技术的原理并提高应用能力。本书可作为高等工科院校电子信息类、机电类和工业自动化类专业学生学习机电一体化和计算机应用技术的教材,也可作为机械电子工程专业、机械制造专业和测控技术与仪器专业等本科、专科学生的教材或参考书,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字控制技术/吴黎明主编. —北京:科学出版社,2009

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·高等院校信息与电子技术类规划教材)

ISBN 978-7-03-025933-2

I. 数… II. 吴… III. 数控机床-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 199030 号

责任编辑:赵卫江/责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉/封面设计:北新华文

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

竣工印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 11 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 11 月第一次印刷 印张#16

印数:1—3 000

字数:265 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62138017

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

前 言

数字控制技术是当今世界制造业中的现代机械系统、机器人、CAD/CAM、FMS 和 CIMS 等高新技术的基础,数控系统是电子信息技术与传统机床技术相融合的机电一体化产品,是工业装备自动化的重要手段。随着电子技术、计算机技术、传感器技术、信息处理、自动控制等的发展以及它们与工业特别是机械制造业的不断结合应用,数字控制的设备特别是数控机床在生产中的应用越来越普遍,数字控制技术在今天的工业生产中发挥着举足轻重的作用。现代机床数控已经在整个现代制造系统中处于核心的地位,其拥有量已成为衡量一个国家的制造技术水平和工业水平的重要指标。

本书以现代数字控制技术为基础,着眼于国内外的最新数控技术成果,结合编者多年来从事计算机数控技术教学、科研和工业生产开发中应用计算机数控系统的经验体会,较为系统全面地介绍了现代机床数控技术各个方面的内容。全书分为 7 章,介绍了数控插补原理、数控机床编程、计算机数控系统构成及硬件和软件设计、伺服控制驱动装置和检测装置,并结合近年来数字控制技术的新发展,着重介绍了基于微型计算机的开放式数控、应用嵌入式技术的数控系统。

本书力求做到理论联系实际,深入浅出,面向应用,辅以相应的数控机床编程、操作和数控基本系统设计的实验,以及通过采用微型计算机数控基本系统的课程设计或毕业设计等教学环节,使学生能迅速掌握计算机数控技术的原理并提高应用能力。本书被列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是高等工科院校电子信息类、机电类和工业自动化类专业学生学习机电一体化和计算机应用技术的教材,适用于机械电子工程专业、机械制造专业和测控技术与仪器专业等本科、专科学生的教材或参考书,也可供有关工程技术人员参考。

本书作为高等院校信息与电子技术类规划教材,由吴黎明担任主编,刘桂雄、何汉武、邓耀华担任副主编。参加编写的是来自广东工业大学、华南理工大学、华南理工大学广州汽车学院和广州大学从事计算机数控技术教学科研的教师,包括吴黎明、刘桂雄、何汉武、邓耀华、汤秀春、李冬冬和伍冯洁,还有其他老师和研究生参加本书编写讨论、习题和教学实验上机验证。研究生张贺云、曾文舟和陈刘参加了校对和图文订正工作。

吴先球教授和王桂棠教授对本书的编写给予指导并担任主审,唐露新教授对全书的编写提出不少建设性意见,在此表示衷心的感谢。

本书的编写是在承担省级重点课程“数控技术”的建设的基礎上开展的。作为省级重点课程建设的一项工作,主要编者于 1995 年开始组织编写《数字控制技术》讲义,经过多次充实修订,讲义一直在多所工科高校的机械电子工程专业、测控技术与仪器专业和机械制造专业本科教学中试用。在本书完成之际,我们更加深切怀念组织创建广东省省级重

点课程“数控技术”并为课程建设打下了坚实基础的李允文老师,同时也非常感谢为数控重点课程建设做了大量重要工作的郑汉卿老师、李定华老师等。此外,本书的编写结合了在广州机床厂有限公司、广州科盛隆包装机械有限公司开展的相关合作应用课题,同时书中介绍、参考和引用了不少同行专家的观点、应用实例等,在此一并表示由衷的感谢。

编 者

2009 年 8 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数字控制技术	1
1.2 数控机床的发展与构成	2
1.2.1 数控机床的发展过程	2
1.2.2 数控机床的基本组成及工作原理	3
1.3 数控机床的分类	5
1.3.1 按加工工艺方法分类	5
1.3.2 按控制系统功能特点分类	6
1.3.3 按伺服系统的特点分类	8
1.3.4 按控制系统的功能水平分类	9
1.4 数控机床的特点	10
1.4.1 数控机床的加工特点	10
1.4.2 数控机床的使用特点	11
1.4.3 数控机床的应用范围	12
习题 1	13
第 2 章 数控的数学原理	14
2.1 概述	14
2.2 逐点比较法直线插补	14
2.2.1 第一象限直线插补	15
2.2.2 实现直线插补的硬件方法	17
2.2.3 直线插补的软件方法	19
2.2.4 各象限直线插补的处理	19
2.2.5 逐点比较法插补的速度分析	19
2.2.6 直线插补方法的改进	20
2.3 逐点比较法圆弧插补	22
2.3.1 圆弧插补的四个节拍	22
2.3.2 跨象限的圆弧插补处理——符号判别法	24
2.3.3 自动过象限	27
2.3.4 终点判别	27
2.3.5 坐标符合法中的误差处理	28
2.3.6 提高圆弧插补速度和均匀速度的方法	29

2.4	数字积分法插补原理	30
2.5	按步积分(DDA法)直线插补	31
2.5.1	直线DDA法的插补原理	31
2.5.2	左移规格化的硬件积分运算	34
2.5.3	直线软件插补的比较溢出法	35
2.6	DDA法圆弧插补	37
2.6.1	插补原理	37
2.6.2	硬件圆弧插补的DDA法	38
2.6.3	软件圆弧插补的DDA法	39
2.6.4	提高DDA法圆弧插补精度的方法	41
2.7	多维线性插补原理	42
2.8	非圆曲线拟合	45
	习题2	47
第3章	数控加工编程	48
3.1	数控加工编程的概念	48
3.2	编程的基础知识	50
3.2.1	坐标系的建立	50
3.2.2	程序的组成	51
3.2.3	常用地址符及其含义	53
3.2.4	准备功能G和辅助功能M代码简介	54
3.3	数控加工的工艺特点	54
3.3.1	工序、工步划分的原则	54
3.3.2	数控机床对夹具的要求	55
3.3.3	数控机床对刀具的要求	55
3.3.4	刀具的引进和退出	58
3.3.5	平面及曲面加工的工艺处理简介	60
3.4	数控加工中心编程	62
3.4.1	坐标系及尺寸传递	62
3.4.2	编程的坐标系及数值输入方式	65
3.4.3	与切削用量有关的指令	66
3.4.4	换刀和刀具管理	67
3.4.5	程序的结构	67
3.4.6	基本运动指令	68
3.4.7	基本运动指令的延伸	71
3.4.8	图形变换功能	73
3.4.9	固定循环	77
3.4.10	参数编程	83
3.5	数控系统的刀具半径补偿	86

3.5.1 刀具半径补偿的概念	86
3.5.2 刀具半径补偿原理	87
3.5.3 C 刀具补偿原理	88
3.5.4 刀具半径和长度补偿编程	90
习题 3	95
第 4 章 数控系统及设计	97
4.1 数控系统的原理与结构	97
4.1.1 数控系统的总体结构及各部分的功能	97
4.1.2 数控系统的软件功能及其实现	101
4.2 MCS-51 单片微机的最小系统	107
4.3 I/O 接口的扩展及输入输出设计	108
4.3.1 8255 的结构	109
4.3.2 8255 的操作方式和选择	110
4.3.3 输入输出接口的设计	112
4.4 外部存储器的扩展	114
4.4.1 RAM 存储器电路	115
4.4.2 外部 RAM 电路的逻辑设计	115
4.4.3 外部数据存储器的数据传送	116
4.4.4 数据存储器的设计	116
4.5 数码显示器和键盘接口技术	117
4.5.1 数码管结构	117
4.5.2 显示器工作原理	117
4.5.3 数码管显示电路	118
4.5.4 键盘接口设计	121
4.6 开环数控系统的软件设计	122
4.7 控制步进电机环行分配程序	123
4.8 数控系统速度控制程序设计	127
4.8.1 数控机械工作速度控制程序设计	127
4.8.2 自动升降速程序设计	130
4.9 插补程序设计	134
4.9.1 逐步比较法直线插补程序设计	134
4.9.2 逐点比较法圆弧插补程序设计	138
4.9.3 DDA 法圆弧插补程序设计	142
习题 4	145
第 5 章 伺服与检测装置	146
5.1 概述	146
5.2 开环进给伺服系统	147
5.2.1 步进电动机的工作原理	147

5.2.2 步进电动机驱动电源及其与数控装置的连接	149
5.2.3 步进电动机的使用	153
5.3 检测元件	157
5.3.1 检测元件的分类	157
5.3.2 光电编码器	158
5.3.3 光栅尺	159
5.3.4 旋转变压器与感应同步器	161
5.4 半闭环、闭环进给伺服系统	164
5.4.1 对进给伺服驱动的要求	164
5.4.2 直流伺服驱动进给装置	165
5.4.3 交流伺服驱动进给装置	170
5.4.4 进给伺服电动机的选用	174
5.5 主轴驱动装置	178
5.5.1 对主轴驱动的要求	178
5.5.2 直流主轴电动机与驱动装置	178
5.5.3 交流主轴电动机与驱动装置	180
习题 5	182
第 6 章 基于 PC 的开放式数控系统	184
6.1 开放式数控系统概述	184
6.1.1 开放式数控系统的提出	184
6.1.2 开放式体系结构的定义	185
6.1.3 开放式体系结构 CNC 的优点	186
6.1.4 开放式数控系统体系结构的开放途径	186
6.1.5 国内外在开放式体系结构方面的研究进展	187
6.2 基于 PC 开放式 CNC 系统及其硬件结构	190
6.2.1 基于 PC 的开放式数控系统	190
6.2.2 基于 PC 的数控系统的硬件结构	191
6.2.3 总线技术	191
6.3 开放式数控系统的软件设计	198
6.3.1 开放式数控系统的模块分析及系统任务的划分	199
6.3.2 开放式数控系统任务实时性的划分	200
6.3.3 开放式数控系统的软件系统平台	201
6.4 Windows 下数控系统技术	204
6.4.1 多线程技术在开放式 CNC 系统中的应用	204
6.4.2 网络数控系统技术	206
6.4.3 Windows 的实时性	208
6.4.4 实例	210
习题 6	212

第 7 章 嵌入式数控系统	213
7.1 概述	213
7.2 嵌入式系统结构	213
7.2.1 嵌入式系统定义	213
7.2.2 嵌入式系统的结构	214
7.2.3 嵌入式控制技术的应用	216
7.2.4 可重构嵌入式数控系统	216
7.3 嵌入式数控系统的开发	217
7.3.1 嵌入式处理器	217
7.3.2 嵌入式数控系统的设计要求	220
7.3.3 PCL6045 及运动函数库	221
7.4 嵌入式数控系统硬件设计	222
7.4.1 嵌入式数控系统的硬件结构	222
7.4.2 嵌入式数控系统的硬件设计	222
7.4.3 系统基本驱动模块的设计	226
7.5 嵌入式数控系统软件设计	227
7.5.1 系统软件结构	227
7.5.2 CNC 系统的 RTOS 编程模型	230
7.5.3 CNC 系统上的 RTOS 实现	230
7.5.4 系统功能模块设计	234
习题 7	238
附录 数字控制机床穿孔带程序段格式中的准备功能 G 和辅助功能 M 的代码 (JB3208—83)	239
参考文献	246

第 1 章 绪 论

1.1 数字控制技术

伴随着电子技术特别是现代数字计算机技术的发展而发展起来的数字化技术，不但进入并改变着我们工作、生活的方方面面，而且数字控制技术在今天的工农业生产中发挥着举足轻重的作用。广义来说，数字控制技术包含装备制造、造纸、化工、石油以及各种各样的生产设备过程控制，形成强大的生产力，特别是随着装备制造的应用发展形成了许多新的行业。同时“数控”又在“机床数控”上狭义使用，数控系统是电子信息技术与传统机床技术相融合的机电一体化产品，在整个现代制造系统中处于核心的地位，其拥有量已成为衡量一个国家的制造技术水平和工业水平的重要指标。

目前，数控技术正在发生根本性变革，系统正由专用型封闭式开环控制模式向通用型开放式实时动态全闭环控制模式发展，由专用的数控电路模块、简易的单片机模式和较高档的 PC-NC 模式向嵌入式数控技术发展，数控系统的开放性、模块化和可重构设计方法是数控技术领域研究的热点问题之一。

数字控制简称数控 (Numerical Control, NC)，采用数字指令自动控制机械的动作，控制位置、角度和速度等机械量，也包括温度、压力、流量等物理量。数字控制技术正朝着以下几个方向发展。

(1) 继续向具有开放式体系结构的数控系统发展

基于 PC 机所具有的开放性、成本较低、可靠性高、软硬件资源丰富等特点，目前许多国家都投入大量的人力、物力，开展基于 PC 机的新一代开放式数控系统的研究。根据最新 IEEE 定义，开放系统应该能够使符合系统规范的各种应用系统运行于不同销售商的不同平台之上，可以与其他应用系统实现相互操作并提供一致风格的用户交互界面。一般认为，开放式体系结构应具备四个特点：相互操作性、可移植性、可缩放性、可互换性。

1) 相互操作性。系统提供标准化的接口、通信和交互模型。不同的应用程序模块可以通过标准化的应用程序接口运行于系统平台之上，相互之间保持平等的相互操作能力，协调工作。

2) 可移植性。不同的应用程序模块可以运行于不同供应商提供的不同的系统平台之上。

3) 可缩放性。可以通过装载和卸载特定功能模块单元来实现增添和减少系统的功能。

4) 可互换性。不同性能的单元可以相互替代。

(2) 向高速化、高精度和高自动化发展

高速、高精度和高自动化是机械加工的目标、方向和发展的需要。高速、高精度、

高自动化技术可极大地提高精度和效率,提高产品的质量和档次,缩短生产周期,适应市场的需求和提高市场竞争能力。世界各国的数控设备生产商都致力于提高系统的控制精度和加工速度,要求数控系统能够高速插补、计算出伺服电机的位移量,伺服电机可以在极短的时间内达到指定的运行速度,并在高速运行中保持高的定位精度。

(3) 向智能化方向发展

应用自适应控制技术,数控系统能检测过程中一些重要信息,并自动调整系统的有关参数,达到改进系统运行状态的目的。带有自适应控制功能的数控系统可以在加工过程中根据切削力和切削温度等加工参数,自动优化加工过程,从而达到提高生产率、延长刀具寿命并改善加工的表面质量等目的。刀具破损监控和刀具智能管理功能可以智能地管理刀具,使得刀具保持最佳工作状态。建立以工艺参数数据库为支撑的、具有人工智能的专家系统来指导加工等。

(4) 向网络化发展

为适应制造业的网络化和全球化发展趋势,数控系统的网络化功能也日趋重要。在企业内部,具有网络功能的数控系统可以充分实现企业内部的资源和信息共享,适应未来车间的面向任务的订单的生产发展模式,使得底层生产控制系统的集成更加简便有效。在生产企业之间,数控系统的网络化功能可以更好地适应敏捷制造(AM)等先进制造模式。同时,系统制造商也可以通过系统的网络功能进行远程诊断服务。

1.2 数控机床的发展与构成

1.2.1 数控机床的发展过程

科学技术和社会生产的不断发展,对机械产品的性能、质量、生产率和成本提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程自动化是实现上述要求的最重要技术措施之一,它不仅能够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,许多企业采用自动机床、组合机床和专用机床组成自动或半自动生产线。但是,采用这种自动和高效率的设备,需要很大的初期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(如汽车、拖拉机、家用电器等)进行主要零件生产,才会有显著的经济效益。

机械制造工业中,单件、小批量生产的零件约占机械加工总量的80%左右,此外,科学技术的进步和机械产品市场竞争日趋激烈,致使机械产品不断改型更新换代,批量相对减少,质量要求越来越高,采用专用的自动机床加工这类零件就显得很不合理,而调整或改装专用的“刚性”自动生产线投资大,周期长,有时从技术上讲甚至是不可能实现的。

采用各类仿型机床加工虽然可以部分地解决小批量复杂零件的加工,但在更换零件时,需制造靠模和调整机床,生产准备周期长。而且由于靠模误差的影响,加工零件的精度很难达到较高的要求。

为了解决上述问题,满足多品种、小批量,特别是结构复杂、精度要求高的零件的自动化生产,迫切需要一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的“柔性”自动化

机床。

由于计算机科学技术的发展,1952年,美国泊森斯公司(Parsons)和麻省理工学院(MIT)合作,研制成功了世界上第一台以数字计算机原理为基础的数字控制三坐标铣床,开创了机械加工自动化的新纪元。1955年,数字控制机床进入实用化阶段,在复杂曲面的加工中发挥了重要的作用。

我国从1958年开始研制数控机床,60年代中期进入实用阶段。近年来,由于改革开放,引进国外的数控系统和伺服系统的制造技术,使我国数控机床在品种、数量和质量方面得到了迅速发展。目前我国已有许多机床厂能够生产不同类型的数控机床。我国经济型数控机床的研究、生产和推广也取得了较大的进展,有力地推动了各行业的技术改造,取得了显著的经济效益和社会效益。

1.2.2 数控机床的基本组成及工作原理

数控机床加工零件的工作过程分以下几个步骤实现:①根据被加工零件的图样与工艺方案,用规定的代码和程序格式编写加工程序;②所编程序指令输入机床数控装置;③数控装置将程序(代码)进行译码、运算之后,向机床各个坐标的伺服机构和辅助控制装置发出信号,以驱动机床的各运动部件,并控制所需要的辅助动作,最后加工出合格的零件。

由此可知,数控机床的基本组成包括加工程序、输入装置、数控系统、伺服系统和辅助控制装置、反馈系统以及机床本体,如图1.1所示。

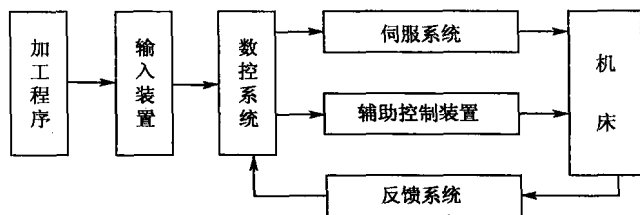


图 1.1 数控机床的基本组成

1. 加工程序

数控机床工作时,不需要工人直接去操作机床,要对数控机床进行控制,必须编制加工程序,加工程序上存储着加工零件所需的全部操作信息和刀具相对工件的位移信息等。加工程序可存储在控制介质(也称信息载体)上,常用的控制介质有穿孔带、磁带和磁盘等。

穿孔带使用最广的是八单位标准穿孔黑色纸带,如图1.2所示。

八单位标准纸带中每一行共有九个孔位,其中 $\phi 1.17\text{mm}$ 的小孔为同步孔,另八个 $\phi 1.33\text{mm}$ 的孔位为信息孔。

信息是以代码的形式按规定的格式由纸带穿孔机制作,存储在穿孔纸带上。所谓代码就是将信息孔按一定规定排列的二进制“图案”,每一行代码分别表示一个十进制的

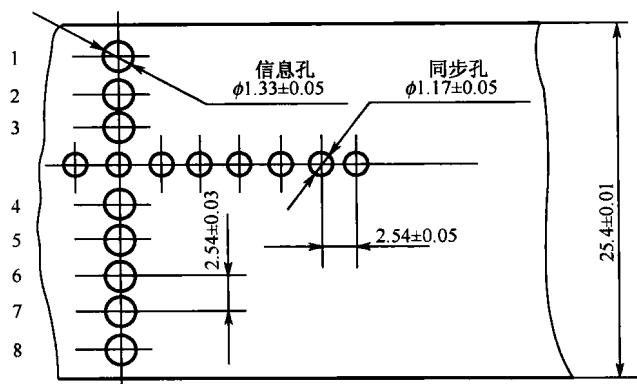


图 1.2 八单位标准穿孔带

数字或一个字母或一个符号。目前国际上通常使用 EIA (Electronic Industries Association) 代码和 ISO (International Organization for Standardization) 代码。我国规定使用 ISO 代码为标准代码。

2. 输入装置

输入装置的作用是将控制介质（信息载体）上的数控代码变成相应的电脉冲信号，传递并存入数控系统内。根据控制介质的不同，输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器。数控加工程序也可通过键盘，用手工方式（MDI 方式）直接输入数控系统，或者将数控加工程序由编程计算机用通信方式传送到数控系统中。

3. 数控系统

数控系统是数控机床的中枢，它由输入输出接口线路、控制器、运算器和存储器四大部分组成，这种由专用电路组成的专用计算机数控系统俗称硬件数控（简称 NC）。现在一般采用通用小型计算机或微型计算机作为数控装置，这种数控系统称计算机数控系统（简称 CNC），又称软件数控。

数控系统接受输入装置送来的脉冲信息，经过数控系统的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种信息和指令，控制机床的各个部分，进行规定的有序的动作。这些控制信息中最基本的信息是：经插补运算确定的各坐标轴（即作进给运动的各执行部件）的进给速度、进给方向和进给位移量指令。其他还有主运动部件的变速、换向和启停指令；刀具的选择和交换指令；冷却、润滑装置的启停，工件和机床部件的松开、夹紧，分度工作台转位等辅助指令。

4. 伺服系统和测量反馈系统

伺服系统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的移动部件，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是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

伺服系统包括驱动装置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。

测量元件将数控机床各坐标轴的位移指令值检测出来并经反馈系统输入到机床的数控装置中,数控装置对反馈回来的实际位移值与设定值进行比较,并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

相对于数控系统发出的每个进给脉冲信号,机床移动部件的位移量称为最小设定单位,也称为脉冲当量,数控机床根据其精度的不同,常用的脉冲当量为 0.01mm, 0.005mm 及 0.001mm。

5. 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主运动换向、变速、启停、刀具的选择和交换,以及其他辅助装置动作等指令信号,经过必要的编译、逻辑判别和运算,经功率放大后直接驱动相应的电器,带动机床机械部件、液压气动等辅助装置完成指令规定的动作。此外机床上的限位开关等开关信号经它的处理后送数控装置进行处理。

由于可编程逻辑控制器(PLC)响应快、性能可靠、易于使用、编程和修改,并可直接驱动机床电器,现已广泛用作数控机床的辅助控制装置。

6. 机床

与传统的机床相比较,数控机床本体仍然由主传动装置、进给传动装置、床身及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。但数控机床的整体布局、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技术的要求和充分发挥数控机床的特点。

1.3 数控机床的分类

数控机床品种规格繁多,据不完全统计,已有 400 多个品种规格。归纳起来可以用下面几种方法来分类。

1.3.1 按加工工艺方法分类

1. 一般数控机床

与传统的机械加工车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工相适应的数控机床有数控车床、铣床、镗床、钻床、磨床、齿轮加工机床等。尽管这些数控机床加工工艺方法存在很大差别,具体的控制方式也各不相同,但它们都具有很好的精度一致性、较高的生产率和自动化程度。除了切削加工数控机床以外,数控技术也大量用于压力机、冲床、弯管机、折弯机、电火花加工机床等。近年来,非加工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。

2. 带自动换刀装置的数控机床（加工中心）

普通数控机床一般只能进行一种工序加工，在普通数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置就成为加工中心机床，加工中心机床进一步提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。以铣、镗、钻加工中心为例，在数控铣床上增加了一个容量较大的刀库和自动换刀装置，工件一次装夹后，可以对其大部分加工面进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工，特别适合箱体类零件的加工。图 1.3 所示为北京机床研究所生产的 JCS-018 立式加工中心外观图。

加工中心机床可以有效地避免由于工件多次安装造成的定位误差，减少了机床的台数和占地面积，缩短了辅助时间，大大提高了生产效率和加工质量。

1.3.2 按控制系统功能特点分类

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能进行任何加工。机床数控系统只需控制行程终点的坐标值，而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不需任何联系。为了尽可能地减少移动部件的运动时间并提高定位精度，移动部件首先快速移动，到接近终点坐标时降速，准确移动到终点定位。这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机以及数控弯管机等。

点位控制数控机床的数控装置称为点位数控装置，这种控制系统比较简单。

2. 点位直线控制数控机床

点位直线控制数控机床的特点是机床移动部件不仅要实现由一个位置到另一个位置的精确移动定位，而且能够实现平行坐标轴方向的直线切削加工运动。点位直线数控机床虽然扩大了点位控制数控机床的工艺范围，但它的应用仍然受到了很大的限制，这类数控机床主要有简易数控车床、数控铣镗床等。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床的特点是能够对两个或两个以上坐标轴同时进行切削加工控制，它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标，而且要控制整个加工过程中每一点的速度和位移，也就是说，要控制刀具移动轨迹，将工件加工成一定的轮廓形状。图 1.4 为两坐标轮廓控制数控铣床的工作原理图。

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床是典型的轮廓数控机床，它们可代替所有类型的仿型加工，提高加工精度和生产率，缩短生产准备时间。数控火焰切割机、电火花加工机床以及数控绘图机等也都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。

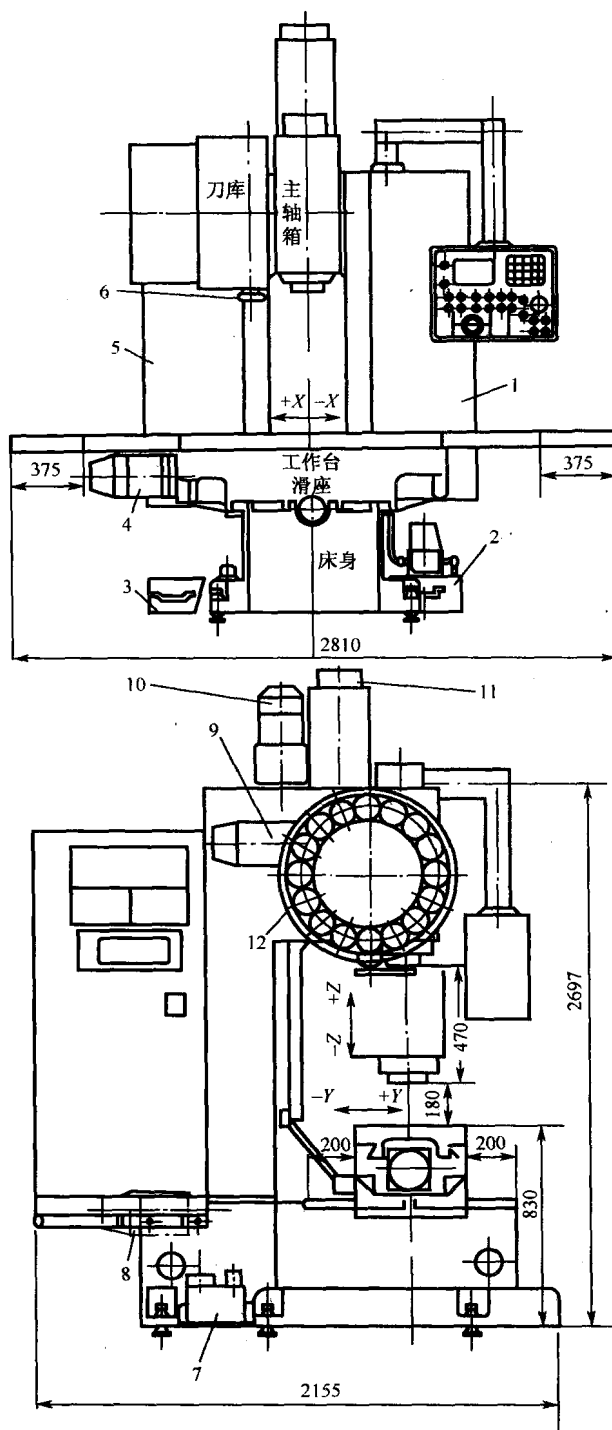


图 1.3 JCS-018 加工中心外观图

- 1—伺服装置、电源 2—冷却油箱（选用） 3—切屑箱 4—X轴电动机 5—数控装置 6—机械手
7—润滑油箱 8—Y轴电动机 9—刀库电动机 10—Z轴电动机 11—主轴电动机 12—刀库罩壳