

普通高等教育“十三五”规划教材

数控加工技术

CNC Machining Process and Programming Technology

© 葛新锋 张保生 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

数控加工技术

主 编 葛新锋 张保生
副主编 葛 瑜 刘春利
参 编 李莲英 姚瑞央 丁瑞华 晋景涛
主 审 刘存祥 张元敏

机械工业出版社

本书遵循“理论联系实际，体现应用性、实用性、综合性和先进性，激发创新”的原则编写，着重培养学生的数控加工技术应用能力，重点叙述了数控加工技术基础知识，程序编制中的工艺分析，数控加工的程序编制要点，数控车床、数控铣床及加工中心编程，特种加工及编程，数控机床的调试、维修等内容，重点突出了数控车削、数控铣削、加工中心加工、数控特种加工等数控机床的编程与操作。本书文字简练，图文并茂，每章后均附有习题，以便于读者归纳总结和及时巩固所学知识。

本书可作为高等学校机电类专业本、专科教材，也可供科研机构、企业等单位从事数控加工技术开发与应用的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工技术/葛新锋, 张保生主编. —北京: 机械工业出版社, 2016. 4

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-111-52484-7

I. ①数… II. ①葛… ②张… III. ①数控机床-加工-高等学校-技术学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 300565 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 舒恬 责任编辑: 舒恬 冯铤 版式设计: 霍永明

责任校对: 张薇 封面设计: 张静 责任印制: 李洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2016 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15.75 印张 · 387 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-52484-7

定价: 33.50 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前 言

1949年,为了满足美国空军能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件的需求,帕森斯(Parsons)公司和麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作,于1952年成功研制了世界上第一台数控机床——三坐标立式铣床,可控制铣刀进行连续空间曲面的加工,拉开了数控加工技术的序幕。随后,德、日、苏联等国家于1956年分别研制出本国第一台数控机床,我国也于1958年由清华大学和北京第一机床厂合作研制了我国第一台数控铣床。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,数控技术及数控机床在当今机械制造业中的重要地位和巨大效益,显示了其在国家基础工业现代化中的战略性作用,并已成为提升改造传统机械制造业和实现自动化、柔性化、集成化生产的重要手段和标志。数控技术是现代制造技术的基础,它的广泛应用,使整个制造业发生了根本性的变化。因此,数控技术水平的高低、数控设备拥有量的多少以及数控技术的普及程度,已经成为衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要标志。为适应这种形势的要求,既要培养高水平的综合型、创新型的设计人才,也要培养高素质、高技能的实用型技术人才。

本书在编写时,以理论“必需、够用”为度,以培养职业能力为核心,以工作实践为主线,以实际应用为导向,建立以加工技术为框架的现代职业教育课程结构,面向工程师和技师岗位设置课程内容。本书主要内容包括数控加工基本知识,数控加工工艺,数控车、铣、加工中心、线切割机床的编程与操作,数控机床的调试、维修等。书中分别介绍了发那科数控(FANUC)、西门子数控(SINUMERIK)、华中数控等几种数控系统的应用,让读者从多方面了解数控知识。

本书主要适用于高等院校数控技术、机电一体化、机械制造及自动化、模具制造等专业的学生使用,也可供数控技术人员参考。

本书由葛新锋、张保生任主编,负责统筹全书,葛瑜、刘春利任副主编。本书由葛新锋编写第1、2章,张保生编写第3、8章,李莲英编写第4章,葛瑜编写第6章,丁瑞华编写第5、7章,姚瑞央编写第9章,刘春利编写附录,晋景涛编写本书的配套课件和习题。在编写本书的过程中,参考了许多兄弟院校的教案、教材,编者在此表示衷心的感谢。全书由河南农业大学刘存祥教授,许昌学院张元敏教授担任主审,他们在本书的编写过程中提出了许多宝贵的意见和建议,编者在此一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促和编者水平有限,书中若有疏漏之处,恳请读者不吝指教,以便进一步修改。

编 者

目 录

前言	
第1章 概论	1
1.1 数控机床的产生、现状与特点	1
1.1.1 数控机床的产生	1
1.1.2 我国数控机床的现状与特点	2
1.2 数控机床的概念及组成	4
1.2.1 数控机床的基本概念	4
1.2.2 数控机床加工零件的过程	4
1.2.3 数控机床的组成	5
1.3 数控机床的种类划分	6
1.3.1 按加工方式分类	6
1.3.2 按机床运动的控制轨迹分类	8
1.3.3 按伺服控制的方式分类	9
1.3.4 按数控系统功能水平分类	10
1.3.5 按联动轴数分类	10
1.3.6 按数控系统类别分类	11
1.4 数控机床加工的特点及应用	11
1.4.1 数控机床加工的特点	11
1.4.2 数控机床加工的应用范围	12
1.5 数控机床的发展趋势	12
1.5.1 数控机床结构的发展	16
1.5.2 计算机控制性能的发展	20
1.5.3 伺服系统的发展	20
1.5.4 以数控机床为基础的自动化生产系统	21
1.6 编程方式	26
1.6.1 手工编程	26
1.6.2 自动编程	28
习题	31
第2章 数控加工基本知识	32
2.1 切削运动过程中的运动和形成的表面	32
2.1.1 切削运动过程中的运动	32
2.1.2 切削过程中形成的表面	33
2.2 刀具切削部分的基本定义	33
2.2.1 刀具的基本结构	33
2.2.2 刀具的基本角度	33
2.3 切削用量与切削层参数	34
2.3.1 切削用量	34
2.3.2 切削层参数	35
2.4 金属切削刀具的材料	36
2.4.1 刀具材料的性能要求	36
2.4.2 常用刀具材料	36
2.5 现代刀具系统简介	44
2.5.1 模块化刀具系统	44
2.5.2 可转位刀片及代码	45
2.5.3 典型刀具系统种类及特征	48
2.6 金属切削加工过程中的主要现象及基本规律	50
2.6.1 零件表面的切削加工成形方法	50
2.6.2 金属切削加工过程中的变形和切屑	51
2.6.3 切削力	55
2.6.4 切削热和切削温度	58
2.6.5 刀具的磨损与破损、刀具寿命及刀具状态监控	60
2.7 工件的定位与夹紧	62
2.7.1 工件的定位	62
2.7.2 工件的夹紧	64
习题	66
第3章 数控加工工艺	67
3.1 数控加工的工艺特点与内容	67
3.1.1 数控加工的工艺特点	67
3.1.2 数控加工工艺处理的主要内容	68
3.1.3 数控加工的对象	71
3.2 数控加工零件图样分析	72
3.3 数控加工的工艺路线设计	72
3.3.1 选择加工方案	72
3.3.2 划分加工阶段	73
3.4 数控加工的工序设计	74
3.4.1 工序划分、加工余量的选择与工序尺寸公差	74

3.4.2 加工路线的确定	76	5.6 编程实例	128
3.4.3 数控加工刀具的选择	77	习题	130
3.4.4 切削用量的确定	78	第6章 数控铣床编程与操作	131
3.4.5 工件装夹方式与夹具的选择	78	6.1 数控铣床概述	131
3.4.6 对刀点与换刀点的选择	79	6.1.1 数控铣床的组成	131
3.5 数控加工的工艺文件	79	6.1.2 数控铣床的分类	133
习题	81	6.1.3 数控铣床的加工对象	135
第4章 数控编程基础	82	6.2 数控铣削加工工艺处理	137
4.1 数控编程内容与方法	82	6.2.1 进给路线的确定	137
4.1.1 数控编程的内容和步骤	82	6.2.2 对刀点与换刀点的确定	137
4.1.2 数控编程的方法	83	6.2.3 切削刀具的选择	137
4.2 数控程序结构和格式	85	6.2.4 切削用量的选择	140
4.2.1 程序的结构	85	6.3 数控铣床编程	140
4.2.2 程序段格式	86	6.4 数控铣床对刀	162
4.3 数控机床坐标系	87	6.5 数控铣床的基本操作	163
4.3.1 坐标系的确定原则	87	6.5.1 机床操作面板	163
4.3.2 运动方向的确定	88	6.5.2 数控铣床的基本操作	163
4.3.3 机床原点与机床参考点	89	6.6 零件加工实例	169
4.3.4 机床坐标系和工件坐标系	90	习题	175
4.3.5 绝对坐标与相对坐标	91	第7章 数控加工中心的操作与加工	176
习题	92	7.1 数控加工中心概述	176
第5章 数控车床编程与操作	93	7.1.1 数控加工中心的组成	176
5.1 数控车床概述	93	7.1.2 数控加工中心的分类	177
5.1.1 数控车床的分类	94	7.1.3 数控加工中心的加工对象	177
5.1.2 数控车床的加工对象及特点	95	7.2 数控加工中心的刀库系统	178
5.2 数控车削加工工艺处理	96	7.2.1 数控加工中心的自动换刀装置	178
5.3 数控车床编程	98	7.2.2 数控加工中心的自动换刀	179
5.3.1 准备功能 G 代码	98	7.3 数控加工中心的工艺处理	181
5.3.2 辅助功能 M 代码	105	7.4 加工中心编程	183
5.3.3 主轴功能 S、进给速度 F、 刀具功能 T	106	7.5 加工中心的操作面板	186
5.3.4 简单循环指令 G90、G92	107	7.6 零件加工实例	188
5.3.5 复合循环指令 G71、G72、G73、 G70	109	习题	190
5.3.6 螺纹加工指令 G32、G92、 G76	113	第8章 数控电火花线切割机床的 操作与加工	191
5.3.7 子程序	118	8.1 数控电火花线切割机床概述	191
5.4 数控车床对刀	120	8.1.1 线切割机床的加工原理与特点	191
5.4.1 数控车床对刀概念	120	8.1.2 线切割机床的组成	193
5.4.2 数控车床对刀方法	120	8.1.3 线切割机床的分类	193
5.5 数控车床的基本操作	121	8.1.4 数控电火花线切割加工特点	195
5.5.1 操作面板	121	8.2 数控电火花线切割加工工艺处理	196
5.5.2 基本操作	124	8.2.1 电极准备	196
		8.2.2 加工路线的选择	197

8.2.3 穿丝孔位置的确定	198	9.2.1 数控机床的安装	216
8.2.4 工件的装夹与找正	198	9.2.2 数控机床的调试	219
8.2.5 电极丝的选择与对刀	200	9.2.3 数控机床的验收	219
8.2.6 脉冲参数的选择	200	9.3 数控机床的故障分析与处理	221
8.3 数控电火花线切割编程指令	201	9.3.1 数控机床常见故障分类	221
8.3.1 ISO 代码格式	201	9.3.2 数控机床故障检测原则	223
8.3.2 3B、4B 代码格式	203	9.3.3 数控机床故障处理方法	224
8.4 数控电火花线切割机床的基本操作	207	9.4 数控机床的维护与保养	227
8.4.1 操作面板	207	9.4.1 维修人员的素质要求	227
8.4.2 基本操作	207	9.4.2 必要的技术资料	229
8.4.3 加工步骤	209	9.4.3 必要的维修用器具与备件	230
8.5 常见故障及排除方法	211	9.4.4 数控机床的保养	231
8.6 加工示例	213	习题	232
习题	213	附录	233
第9章 数控机床的选用、安装、调试、		附录 A 常用数控系统基本指令表	233
维护与保养	214	附录 B 常用刀具几何参数切削用量表	242
9.1 数控机床的选用	214	参考文献	244
9.2 数控机床的安装、调试与验收	216		

第1章

概 论

【学习目标】

1. 掌握数控机床的概念、组成、分类、加工特点
2. 掌握数控机床的加工特点
3. 了解数控机床的发展方向

【本章导入】

数控技术是制造业实现自动化、柔性化和集成化生产的基础。数控技术水平的高低与数控设备的拥有量，是体现一个国家综合实力、衡量其工业化程度的重要标志之一。

1.1 数控机床的产生、现状与特点

数控机床以其卓越的柔性自动化的性能、优异而稳定的精度、灵捷而多样化的功能引起世人瞩目，它开创了机械产品向机电一体化发展的先河，成为先进制造技术中的一项核心技术。数控技术的突飞猛进为数控机床的技术进步提供了条件。

1.1.1 数控机床的产生

随着电子技术的发展，1946年世界上第一台电子计算机问世，由此掀开了信息自动化的新篇章。1949年，美国Parson公司与麻省理工学院开始合作，历时三年研制出能进行三轴控制的数控铣床样机，取名“Numerical Control”，用于加工直升飞机叶片轮廓检查用样板。之后，随着电子技术，特别是计算机技术的发展，数控机床不断更新换代。

第一代数控机床：1952年，由MIT研制的电子管控制的世界第一台三坐标联动的数控铣床如图1-1所示。

第二代数控机床：1959年，出现了晶体管控制的“加工中心”。

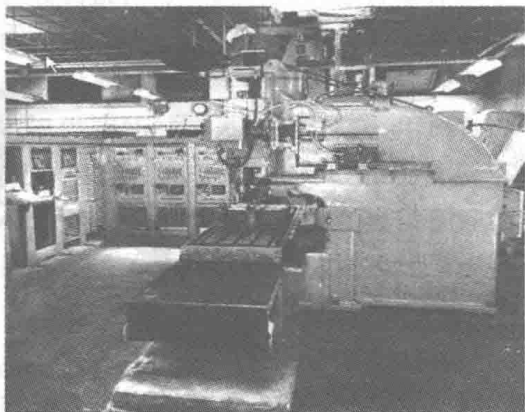


图 1-1 1952年由MIT研制的世界上第一台数控铣床

第三代数控机床：1965年，出现了小规模集成电路，使数控系统的可靠性得到了进一步的提高。

第四代数控机床：1970年，产生了以计算机作为控制单元的控制系统（Computerized NC, CNC）。

第五代数控机床：1974年，研制出了以微处理器为核心的数控系统（Micro-computerized NC, MNC）。

1990年开始，基于工业PC的通用CNC系统出现，数控系统的各项功能被分配到各个微处理器，在主微处理器的统一控制和指挥下，并行、协调地工作，使数控机床向高精度、高速度发展。现代加工中心如图1-2所示。

1.1.2 我国数控机床的现状与特点

当今世界，工业发达国家对机床工业高度重视，竞相发展机电一体化、高精度、高效率、高自动化的先进机床，以加速工业和国民经济的发展。长期以来，欧、美、亚在国际市场上相互展开激烈竞争，已形成一条无形战线，特别是随着微电子技术、计算机技术的进步，数控机床在20世纪80年代以后加速发展，以满足各方用户提出的更多需求，并已成为四大国际机床展上各国机床制造商竞相展示先进技术、争夺用户、扩大市场的焦点。中国加入WTO后，正式参与世界市场激烈竞争，今后如何加强机床工业的实力、加速数控机床产业的发展，是紧迫而又艰巨的任务。

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，日本年产数控机床约为50000台，数控化率约为70%，已跃居世界第一位。

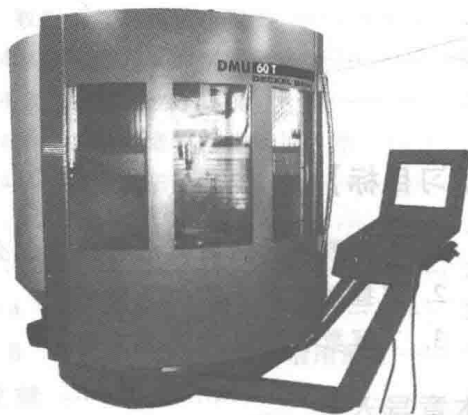


图 1-2 现代加工中心

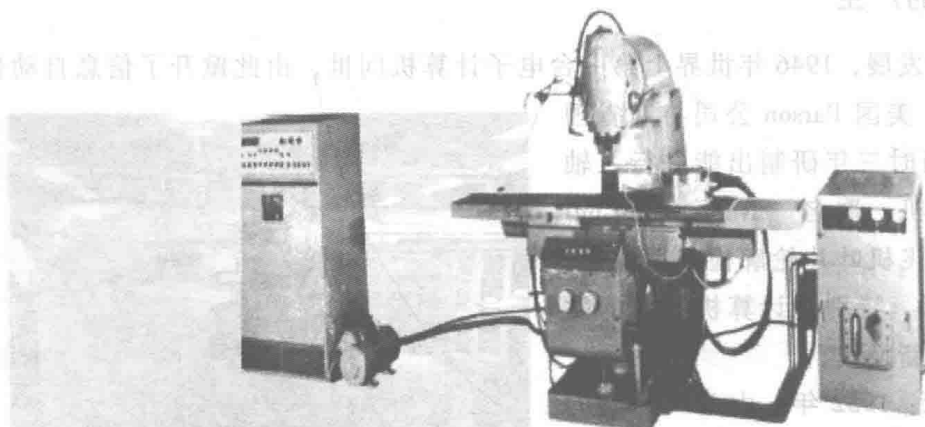


图 1-3 1958年我国第一台数控机床

我国数控技术的发展起步于20世纪50年代，1958年试制成功第一台电子管数控机床（图1-3）。通过“六五”期间引进数控技术，“七五”期间组织消化吸收和科技攻关，我国

数控技术和数控产业取得了相当大的成绩，特别是最近几年，我国数控产业发展迅速，1998年~2004年，国产数控机床产量和消费量的年平均增长率已分别为39.3%和34.9%。尽管如此，进口机床的发展势头依然强劲，从2002年开始，中国连续三年成为世界机床消费第一大国、机床进口第一大国。2004年，中国机床主机消费高达94.6亿美元，但进出口逆差严重，国产机床市场占有率连年下降，1999年是33.6%，2003年仅占27.7%；1999年机床进口额为8.78亿美元（7624台），2003年达27.1亿美元（23320台），相当于同年国内数控机床产值的2.7倍。国内数控机床制造企业在中高档与大型数控机床的研究开发方面与国外的差距更加明显，70%以上的此类设备和绝大多数的功能部件均依赖进口。由此可以看出，国产数控机床，特别是中高档数控机床，仍然缺乏市场竞争力，究其原因，主要在于国产数控机床的研究开发深度不够，制造水平依然落后，服务意识与能力欠缺，数控系统生产应用推广不力及数控人才缺乏。我们应看清形势，充分认识国产数控机床的不足，努力发展先进技术，加大技术创新与培训服务力度，以缩短与发达国家之间的差距。

1. 不断加强技术创新是提高国产数控机床水平的关键

国产数控机床缺乏核心技术，从高性能数控系统到关键功能部件基本都依赖进口，即使近几年有些国内制造商艰难地创出了自己的品牌，但其产品的功能、性能的可靠性仍然与国外产品有一定差距。近几年，国产数控机床制造商通过技术引进、海内外并购重组以及国外采购等获得了一些先进数控技术，但缺乏对机床结构与精度、可靠性和人性化设计等基础性技术的研究，忽视了自主开发能力的培育，国产数控机床的技术水平、性能和质量与国外还有较大差距，仍难以得到大多数用户的认可。

2. 制造水平与管理手段依然落后

一些国产数控机床制造商不够重视整体工艺与制造水平的提高，加工手段基本以普通机床与低效刀具为主，装配调试完全靠手工，加工质量在生产进度的紧逼下不能得到稳定与提高。另外，很多国产数控机床制造商的生产管理依然沿用原始的手工台账管理方式，工艺水平和管理效率低下使得企业无法形成足够生产规模，如国外机床制造商能做到每周装调出产品，而国内的生产周期过长且很难控制，因此我们在引进技术的同时应注意加强自身工艺技术改造和管理水平的提升。

3. 服务水平与能力欠缺也是影响国产数控机床市场占有率的一个重要因素

由于数控机床产业发展迅速，一部分企业不顾长远利益，对提高自身的综合服务水平不够重视，甚至对服务缺乏真正的理解，只注重推销而不注重售前与售后服务。有些企业派出的人员对生产的数控机床缺乏足够了解，不会使用或使用不好数控机床，更不能指导用户使用好机床；有的对先进高效刀具缺乏基本了解，不能提供较好的工艺解决方案，用户自然对制造商缺乏信心。制造商的服务应从研究用户的加工产品、工艺、生产类型和质量要求入手，帮助用户进行设备选型，推荐先进工艺与工辅具，配备专业的培训人员和提供良好的培训环境，帮助用户发挥数控机床的最大效益，加工出高质量的合格产品，这样才能逐步得到用户的认同，提高国产数控机床的市场占有率。

4. 加大数控专业人才的培养力度

从我国数控机床的发展形势来看，需要三种层次的数控技术人才：第一种是熟悉数控机床的操作及加工工艺，懂得简单的机床维护，能够进行手工或自动编程的车间技术人员；第二种是熟悉数控机床机械结构及数控系统软硬件知识的中级人才，应掌握复杂模具的

设计和制造知识，能够熟练应用 UG 和 PRO/E 等 CAD/CAM 软件，同时有扎实的专业理论知识，较高的英语水平，并积累了大量的实践经验；第三种是精通数控机床结构设计以及数控系统电气设计，能够进行数控机床产品开发及技术创新的数控技术高级人才。我国应根据需要有目标地加大人才培养力度，为我国的数控机床产业提供强大的技术人才支撑。

中国作为一个制造大国，主要依靠的还是劳动力、价格和资源等方面的优势，而在产品的技术创新与自主开发方面与国外同行的差距还很大。中国的数控产业不能安于现状，应该抓住机会不断发展，努力发展自己的先进技术，加大技术创新与人才培训力度，提高企业综合服务能力，努力缩短与发达国家之间的差距，力争早日实现数控机床产品从低端到高端、从初级产品加工到高精尖产品制造的转变，实现从中国制造到中国创造、从制造大国到制造强国的转变。

1.2 数控机床的概念及组成

1.2.1 数控机床的基本概念

数字控制 (Numerical Control, NC) 技术是 20 世纪中期发展起来的一种自动控制技术，是用数字化信号进行控制的一种方法。

数控机床 (Numerical Control Machine Tool) 是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的机床，或者说是装备了数控系统的机床。它是一种技术密集度及自动化程度很高的机电一体化加工设备，是数控技术与机床相结合的产物。数控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。数控机床与其他自动机床的一个显著区别在于，当加工对象改变时，除了重新装夹工件和更换刀具之外，只需更换新程序即可，不需要对机床作任何调整。

NC 机床：早期的数控机床的 NC 装置是由各种逻辑元件、记忆元件组成随机逻辑电路，由硬件来实现数控功能，称作硬件数控，用这种技术实现的数控机床称作 NC 机床。

CNC (Computer Numerical Control, CNC) 机床：现代数控系统采用微处理器或专用微型计算机的数控系统，由事先存放在存储器里的系统程序 (软件) 来实现控制逻辑，实现部分或全部数控功能，并通过接口与外部设备进行连接，这样的机床称作 CNC 机床。

1.2.2 数控机床加工零件的过程

数控车床的工作原理如图 1-4 所示。

当使用机床加工零件时，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。采用普通车床加工时，这种开车、停车、进给、换向、主轴变速和切削液的开关等操作都是由人工直接控制的。采用数控车床加工零件时，只需要将零件图样和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式，编成零件加工程序，视零件结构的复杂程度，可以采用手工或计算机编程。程序简单时，可以采用手工编程，程序复杂时，可以通过计算机编程，然后将编好的数控程序输入到机床控制系统中，再由其进行运算

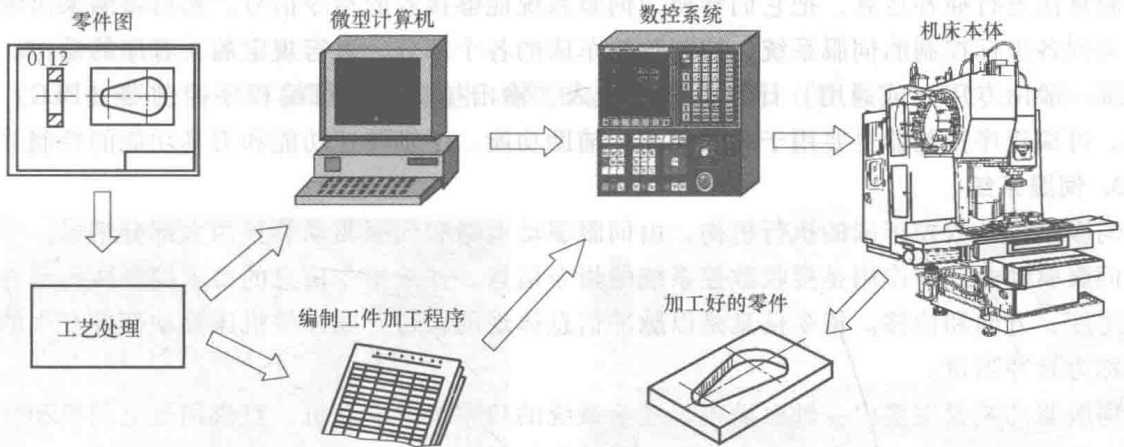


图 1-4 数控车床的工作原理

处理后转成驱动伺服机构的指令信号，从而控制机床主运动的变速、起动，进给运动的方向、速度和位移大小，以及换刀、工件的夹紧松开和切削液的开关等动作，自动地加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。当更换加工对象时，只需要重新编写程序代码，输入给数控机床，即可由数控系统代替人的大脑和双手的大部分功能，控制加工的全过程，制造出任意复杂的零件。

1.2.3 数控机床的组成

以数控车床为例介绍数控机床的组成。

数控车床由零件加工程序、输入装置、数控系统、伺服系统、辅助控制装置、检测反馈装置及机床本体等组成，如图 1-5 所示。

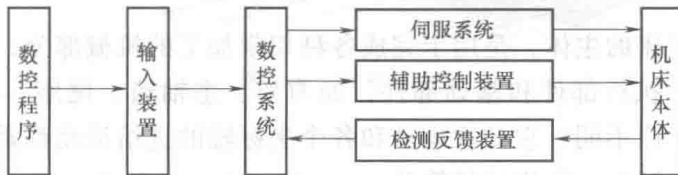


图 1-5 数控车床的组成

实际上，数控程序并非数控机床的物理组成部分，但从逻辑上讲，数控车床加工过程必须按数控程序的规定进行，数控加工程序是数控车床加工的一个重要环节，因此常将数控加工程序视为数控车床的一个组成部分。

1. 输入装置

输入装置的作用是将数控程序和各种参数、数据传送并存入数控系统内。常用的输入方式为穿孔纸带、穿孔卡、磁带和磁盘等。近年来，穿孔纸带及穿孔卡已极少使用，也有一些数控机床采用操作面板上的按钮和键盘将加工程序直接输入，或通过串行接口将计算机上编写的加工程序输入到数控系统。随着 CAD/CAM 技术的发展，在计算机辅助设计与计算机辅助制造 (CAD/CAM) 集成系统中，加工程序可不需要任何载体而直接输入到数控系统。

2. 数控系统

数控系统是数控车床的核心，它的基本任务是接受控制介质上的数字化信息，按照规定

的控制算法进行插补运算，把它们转换为伺服系统能够接收的指令信号，然后将结果由输出装置送到各坐标控制的伺服系统，控制数控车床的各个部分，进行规定的、有序的动作。数控系统一般由专用（或通用）计算机以及输入、输出接口板与可编程序控制器（PLC）等组成。可编程序控制器主要用于对数控车床辅助功能、主轴转速功能和刀具功能的控制。

3. 伺服系统

伺服系统是数控车床的执行机构，由伺服驱动电路和伺服驱动装置两大部分组成。

伺服驱动电路的作用是接收数控系统的指令信息，并按指令信息的要求控制执行部件的进给速度、方向和位移。指令信息是以脉冲信息体现的，每一脉冲使机床移动部件产生的位移量称为脉冲当量。

伺服驱动装置主要由主轴电动机、进给系统的功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等组成，后两者均带有光电编码器等位置测量元件。

4. 辅助控制装置

数控机床为了提高加工效率、加工精度等，还配备了许多辅助控制装置，如自动换刀装置、自动工作台交换装置、自动对刀装置、自动排屑装置等，它们的作用是接收数控系统输出的指令信号，经必要的编译、逻辑判断、功率放大后直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件，以完成各种规定的动作。

5. 检测反馈装置

检测反馈装置也称反馈元件，通常安装在车床的工作台上或滚珠丝杠上，作用相当于普通车床上的刻度盘或人的眼睛。检测反馈装置可以将工作台的位移量转换成电信号，并且反馈给 CNC 系统，CNC 系统可将反馈值与指令值进行比较，如果两者之间的误差超过某一个预先设定的数值，就会驱动工作台向消除误差的方向移动，在移动的同时，检测反馈装置向 CNC 系统发出新的反馈信号，CNC 系统再进行信号的比较，直到误差值小于设定值为止。

6. 机床本体

机床本体是数控车床的主体，是用于完成各种切削加工的机械部分，包括车床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件，如刀架、主轴箱、尾座、导轨及其传动部件等。数控车床与普通车床不同，它的主运动和各个坐标轴的进给运动都是由单独的伺服电动机驱动，所以它的传动链短，结构比较简单。

为了保证数控车床的快速响应特性，在数控车床上还普遍采用精密滚珠丝杠副和直线滚动导轨副，在车削加工中心上还配备有刀库和自动换刀装置，同时还有一些良好的配套设施，如冷却、自动排屑、自动润滑、防护和对刀仪等，以利于充分发挥数控车床的功能。此外，为了保证数控车床的高精度、高效率和高自动化加工，数控车床的其他机械结构也产生了很大的变化。

1.3 数控机床的种类划分

1.3.1 按加工方式分类

1. 金属切削类数控机床

主要有数控车床、数控铣床（图 1-6）、数控钻床、数控磨床、数控镗床、数控齿轮加

工机床和加工中心等。

2. 金属成形类数控机床

主要有数控折弯机（图 1-7）、数控弯管机、数控压力机（图 1-8）和数控回转头压力机等。

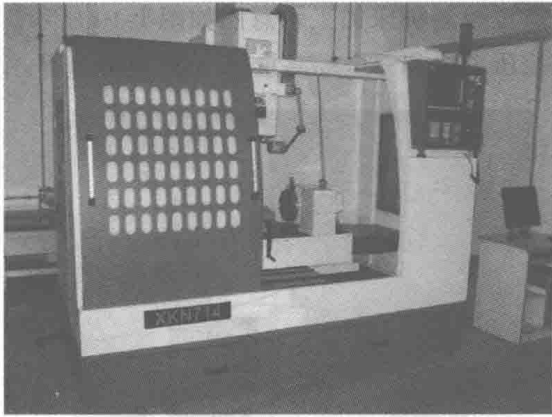


图 1-6 数控铣床

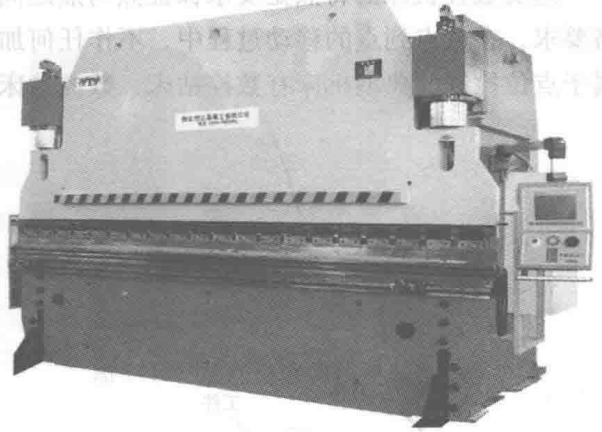


图 1-7 数控折弯机



图 1-8 数控压力机

3. 特种加工机床

如数控线切割机床、数控电火花成形机（图 1-9）、数控激光切割机和数控火焰切割机。



图 1-9 数控电火花成形机

1.3.2 按机床运动的控制轨迹分类

数控机床可分为点位控制机床、直线控制机床和轮廓控制机床。

1. 点位控制机床

这类数控机床的特点是要求保证点与点之间的准确定位，对于两点之间的运动轨迹不作严格要求，在从点到点的移动过程中，不作任何加工。点位控制机床加工示意图如图 1-10 所示。属于点位控制的典型机床有数控钻床、数控镗床、数控压力机和三坐标测量机（图 1-11）等。

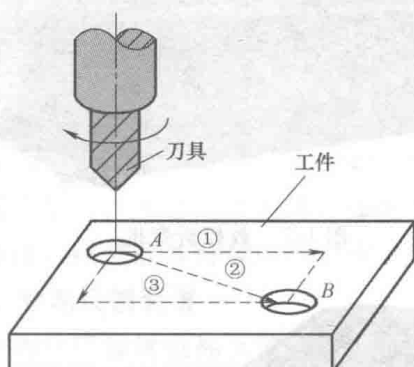


图 1-10 点位控制机床加工示意图

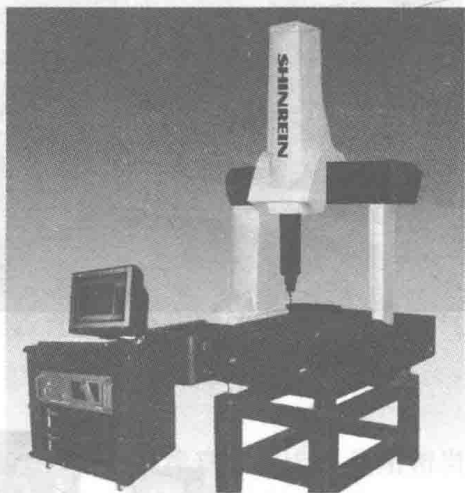


图 1-11 三坐标测量机

2. 点位直线控制机床

这类数控机床的特点是不仅要保证点与点之间的准确定位，还要保证两点之间的运动轨迹是一条直线，而且在走直线的过程中往往要进行切削，要对切削速度进行控制。点位直线控制机床加工示意图如图 1-12 所示。属于直线控制的典型机床有数控车床（图 1-13）、数控铣床、数控磨床和数控镗床等。

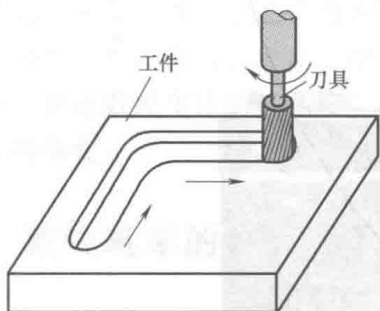


图 1-12 点位直线控制机床加工示意图

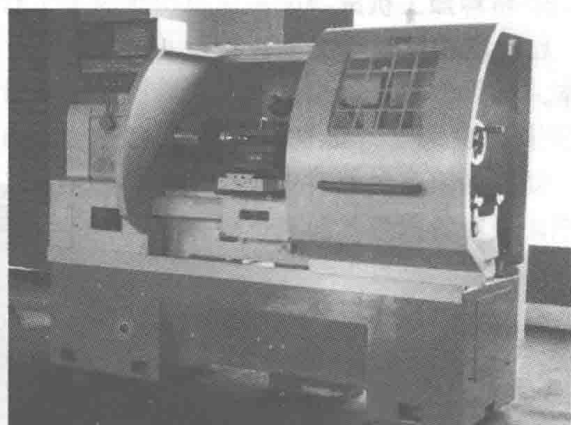


图 1-13 数控车床

3. 轮廓控制机床

轮廓控制机床又称连续控制机床，这类数控机床的特点是能够对两个或两个以上坐标方

向的同时运动进行严格的连续控制，即控制刀具相对于工件作连续轨迹的运动，使其能加工任意斜率的直线，任意大小的圆弧，配以自动编程计算，可加工任意形状的曲线和曲面。轮廓控制机床加工示意图如图 1-14 所示。属于轮廓控制的典型机床有数控铣床、功能完善的数控车床（图 1-15）、数控磨床和数控电加工机床等。

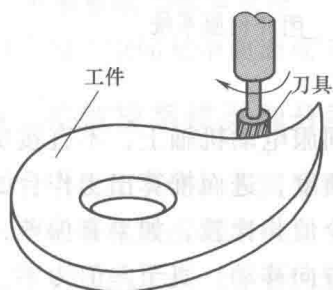


图 1-14 轮廓控制机床加工示意图

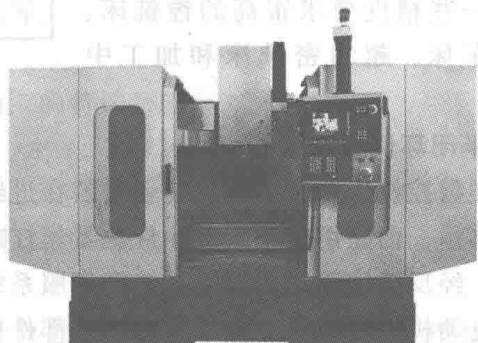


图 1-15 功能完善的数控车床

1.3.3 按伺服控制的方式分类

按进给伺服系统不同分类有开环伺服系统、闭环伺服系统和半闭环伺服系统。

1. 开环伺服系统

这类机床没有位置检测反馈装置，伺服驱动装置主要是步进电动机。由数控系统送出的进给指令脉冲，通过功率放大后驱动步进电动机旋转，再经机械传动机构驱动执行部件即工作台移动。每给一脉冲信号，步进电动机就转过一定的角度，工作台就走过一个脉冲当量的距离。数控系统按程序加工要求控制指令脉冲的数量、频率和通电顺序，达到控制执行部件运动的位移量、速度和运动方向的目的。指令信号单方向传送，并且没有检测和反馈系统，故称之为开环。图 1-16 所示为开环伺服系统。

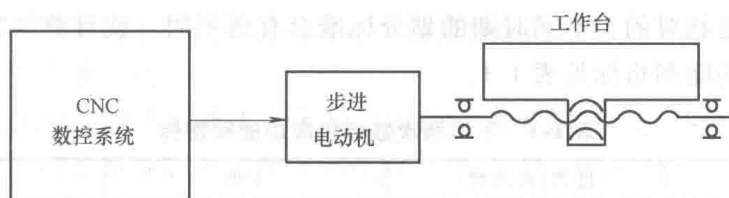


图 1-16 开环伺服系统

这类机床的特点是结构简单，维护方便，成本较低。但加工精度不高。开环伺服系统适用于精度要求不高的中小型机床及对旧机床的数控化改造。

2. 闭环伺服系统

这类机床上装有位置检测装置，直接对工作台的位移量进行测量，伺服驱动装置主要是直流伺服电动机或交流伺服电动机，数控系统发出进给信号后，经伺服驱动系统使工作台移动；位置检测装置检测出工作台的实际位移，并反馈到输入端，与指令信号进行比较，驱使工作台向其差值减小的方向运动，直到差值等于零为止。图 1-17 所示为闭环伺服系统。

这类系统可以消除由于传动部件制造中存在的精度误差给工件加工带来的影响，从而得到很高的精度。但是由于很多机械传动环节包括在控制环之内，各部件的摩擦特性、刚度以

及间隙等都是非线性量，直接影响到伺服系统的调节参数。因此，闭环伺服系统的结构较复杂，控制稳定性较难保证，成本高，调试维修困难，主要用于一些精度要求很高的镗铣床、超精密车床、超精密铣床和加工中心等。

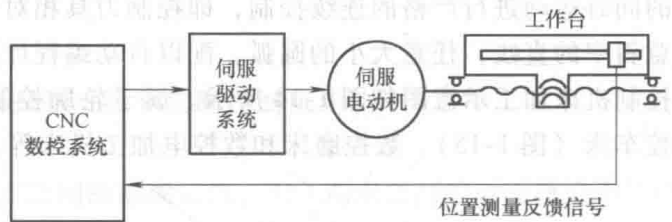


图 1-17 闭环伺服系统

3. 半闭环伺服系统

这类数控机床的位置检测装置安装在进给丝杠的端部或伺服电动机轴上，不直接反馈机床的位移量，而是用转角测量元件测量丝杠或电动机的旋转角度，进而推算出工作台的实际位移量，经反馈回路送回控制系统和伺服系统，并与控制指令值相比较，如果有偏差，用差值控制电动机经机械传动装置带动移动部件向着减小偏差的方向移动，直至差值为零。由于这种系统的闭环环路内不包括丝杠、螺母副及工作台，只对中间环节进行反馈控制，丝杠和螺母副部分在控制环节之外，故称半闭环。图 1-18 所示为半闭环伺服系统。

这种系统的闭环环路内不包括丝杠、螺母副及工作台，因此可以获得稳定的控制特性，而且由于采用了高分辨率的测量元件，可以获得比较满意的精度及速度。大多数数控机床都采用半闭环伺服系统，如数控车床、数控铣床和加工中心等。

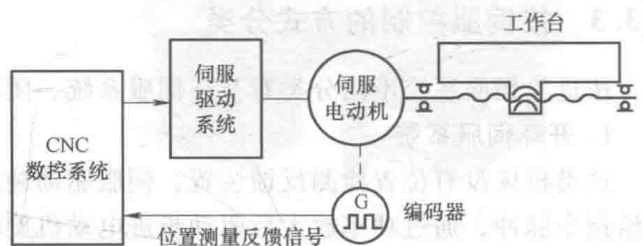


图 1-18 半闭环伺服系统

1.3.4 按数控系统功能水平分类

按数控机床功能强弱可以将数控机床分为低（经济型）、中（全功能型）、高三档。这种分类方法的界线是相对的，不同时期的划分标准会有所不同。就目前的发展水平来看，不同档次数控机床的功能和指标见表 1-1。

表 1-1 不同档次数控机床功能和指标

功能	低档(经济型)	中档	高档
分辨率/ μm	10	1	0.1
进给速度/ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	3 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 100
伺服系统结构	开环	半闭环	半闭环或闭环
联动轴数	2 ~ 3	2 ~ 4	3 ~ 5 以上
显示功能	LED 数码管	CRT 显示	CRT 显示、三维图形
内装 PLC	无	有	有
通信能力	无	RS232	RS232、网络接口
主 CPU	8 位、16 位	32 位或 32 位以上的多 CPU	

1.3.5 按联动轴数分类

按机床数控系统能同时联动控制的坐标轴的数目来分，有两坐标联动数控机床、三坐标