



北京市高等教育精品教材立项项目

现代数控机床

XIANDAI SHUKONG JICHUANG

林宋 张超英 陈世乐 编著

第二版



化学工业出版社



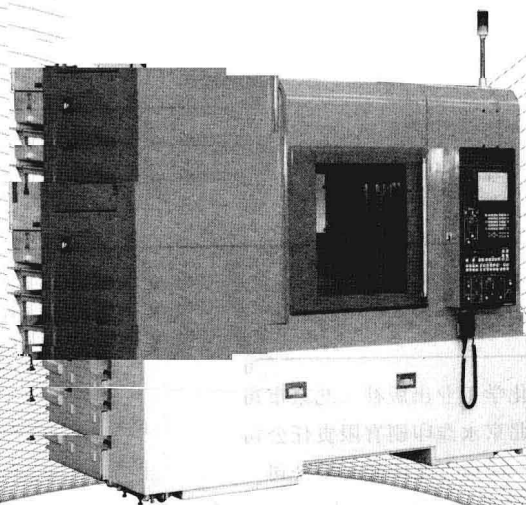
北京市高等教育精品教材立项项目

现代数控机床

L IANDAI SHUKONG JICHUANG

第二版

林宋 张超英 陈世乐 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

现代数控机床/林宋, 张超英, 陈世乐编著. —2 版.—北京: 化学工业出版社, 2011. 4

ISBN 978-7-122-10555-4

I. 现… II. ①林…②张…③陈… III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 024234 号

责任编辑: 王 焜
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 谢蓉蓉
装帧设计: 韩 飞



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 $\frac{3}{4}$ 字数 360 千字 2011 年 6 月北京第 2 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: 39.00 元

版权所有 违者必究

前 言

现代数控机床是信息集成和系统自动化的加工设备，也是典型的光机电一体化产品。它集高智能、高效率、高精度、高速度、高柔性、高刚性及高可靠性于一身，具加工精度高、生产效率高、自动化程度高、对加工对象的适应性强等优点。实现加工机床及生产过程的数控化，已经成为当今制造业的发展方向，21世纪制造业竞争的实质就是数控的竞争。

本书内容新颖、系统全面，力求及时全面地反映现代数控机床在国内外的最新进展和作者的有关研究成果，注重理论联系实际。全书共分8章，第1章全面介绍了现代数控技术和现代数控机床的基本概念、原理、发展历程和趋势；第2章较为详细地讨论了数控加工的信息处理和程序编制，介绍了图形交互自动编程系统和STEP-NC的应用；第3章在论述数控机床位置检测装置的基础上，专门介绍了激光在数控机床位置检测上的应用；第4章讲述了数控装置的硬件和软件结构，阐述了数控插补原理和刀具补偿原理，还介绍了开放式数控系统的构成；第5章阐述了数控机床的进给伺服系统的类型和特点，介绍了全数字伺服系统；第6章着重介绍了现代数控机床的机械结构和所采用的新型材料，讨论了如何在数控加工过程中减少环境污染，降低噪声，节省材料和能源等环保新概念，并对并联机构、复合化、多机能化、工程集约化的现代数控机床的技术新动向进行了介绍；第7章就数控工具系统、数控刀具类型和选用进行了较为详细的讨论；第8章讲述了方兴未艾的超高速数控加工机床和加工技术，并给出了超高速数控加工难加工材料的一些应用。

本书作为北京市精品课程教材，编写工作得到了北方工业大学的大力支持和罗学科教授、蔡力钢教授、王生泽教授、胡于进教授的热情帮助。全书由林宋撰写，张超英为本书提出了很多建设性意见并审核了全书，陈世乐为本书作为北京市精品课程制作了精彩课件。白传栋、吕艳娜、李东军、李江英、程超、司丹、戴普义、林琳等同志在本书的绘图、制表和校对等方面给予了大力协助。在此，一并向他们表示谢意。

由于编者学识水平有限，成书时间仓促，书中难免存在一些不足之处，敬请读者勿吝指正为盼！

编 者

2010年10月北京

第 1 章 现代数控机床概述	1
1.1 数控机床简介	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 数控机床的特点	2
1.2 数控机床的工作原理及组成	3
1.2.1 数控机床的工作原理	3
1.2.2 数控机床的组成	3
1.3 数控机床的分类	5
1.3.1 按工艺用途分类	5
1.3.2 按运动轨迹分类	5
1.3.3 按伺服控制系统分类	8
1.3.4 按数控系统的功能水平分类	9
1.4 现代数控机床的发展	10
1.4.1 数控技术的产生与发展	10
1.4.2 直接数字控制系统	11
1.4.3 柔性制造单元及柔性制造系统	12
1.4.4 计算机集成制造系统	14
1.4.5 现代数控机床的发展趋势	16
第 2 章 数控加工的信息处理及程序编制	22
2.1 数控机床的信息处理	22
2.1.1 输入方式	22
2.1.2 信息处理	22
2.1.3 信息输出	23
2.2 数控编程的内容与步骤	23
2.2.1 数控机床程序编制的方法	24
2.2.2 数控加工的工艺分析	25
2.3 数控程序的编制	28

目 录

2.3.1	数控程序编制的国际标准和国家标准	28
2.3.2	数控加工程序段格式和程序结构	28
2.3.3	数控机床的坐标系	29
2.3.4	数控机床的最小设定单位	32
2.3.5	数控加工程序常用的编程指令	32
2.4	自动数控编程	40
2.4.1	自动编程概述	40
2.4.2	数控语言编程	40
2.4.3	图形交互自动编程	43
2.4.4	语音式自动编程	44
2.4.5	实物模型式自动编程	44
2.5	STEP-NC 简介	44
2.5.1	STEP-NC 发展概况	45
2.5.2	STEP-NC 对 CNC 系统的影响	46

第 3 章 数控机床位置检测

48

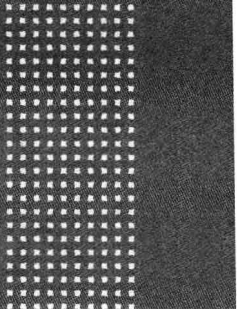
3.1	概述	48
3.1.1	数控机床对位置检测装置的主要要求	48
3.1.2	位置检测装置的分类	48
3.2	旋转变压器	49
3.2.1	结构	49
3.2.2	工作原理	50
3.3	感应同步器	51
3.3.1	感应同步器的组成及原理	51
3.3.2	感应同步器的特点与使用	52
3.3.3	感应同步器检测系统的应用	53
3.4	光电脉冲编码器	54
3.4.1	光电脉冲编码器的结构	55

3.4.2	光电脉冲编码器的工作原理	55
3.4.3	光电脉冲编码器在数控机床上的应用	56
3.5	光栅	57
3.5.1	光栅的结构和工作原理	57
3.5.2	光栅的种类	59
3.5.3	光栅测量装置的位移-数字变换电路	59
3.6	磁尺	61
3.6.1	磁尺位置检测装置的组成和原理	61
3.6.2	磁栅测量装置的工作方式	61
3.7	激光在机床位置检测上的应用	63
3.7.1	激光干涉法测距	63
3.7.2	多普勒效应	63
3.7.3	双频激光干涉仪的基本原理	64

第4章 计算机数字控制系统

66

4.1	概述	66
4.1.1	CNC 系统的组成	66
4.1.2	CNC 装置的功能	67
4.2	计算机数字控制装置的硬件结构	68
4.2.1	单微处理器结构	68
4.2.2	多微处理器结构	70
4.2.3	专用型结构数控装置和通用型结构数控装置	72
4.2.4	开放式数控系统	73
4.3	计算机数字控制装置的软件结构	75
4.3.1	CNC 装置的软件组成	75
4.3.2	CNC 系统软件的工作过程	75
4.3.3	计算机数字控制系统的软件结构特点	76
4.4	数控机床的可编程控制器	79



目 录

4.4.1	概述	79
4.4.2	PLC 的原理	80
4.4.3	数控机床中 PLC 的功能	82
4.4.4	PLC 的指令和程序编程	82
4.5	数控插补原理	87
4.5.1	插补方法的分类	87
4.5.2	逐点比较法	87
4.5.3	数字积分法	93
4.5.4	数据采样插补法	98
4.6	数控系统的刀具补偿原理	100
4.6.1	刀具长度补偿	100
4.6.2	刀具半径补偿	101
4.6.3	B 刀具半径补偿	103
4.6.4	C 刀具半径补偿	105



第 5 章 进给伺服系统

109

5.1	数控机床进给伺服系统的组成和分类	109
5.1.1	组成	109
5.1.2	分类	110
5.1.3	数控机床对进给伺服系统的要求	112
5.2	伺服驱动装置	112
5.2.1	步进电机	113
5.2.2	直流伺服电机	114
5.2.3	交流伺服电机	119
5.2.4	直线电机	125
5.3	典型进给伺服系统	127
5.3.1	步进电机开环伺服系统	127

5.3.2	闭环进给位置伺服系统	128
5.3.3	半闭环进给伺服系统	131
5.4	全数字伺服系统	133
5.4.1	全数字伺服系统的特点	133
5.4.2	前馈控制简介	134
5.4.3	全数字伺服系统举例	135

第 6 章 数控机床的机械结构

137

6.1	数控机床机械结构的特点	137
6.1.1	提高机床结构的刚度	138
6.1.2	提高机床结构的抗振性	144
6.1.3	减小机床的热变形	146
6.1.4	改善运动导轨副的摩擦特性	148
6.2	数控机床的主轴部件	152
6.2.1	主轴端部的结构形状	152
6.2.2	主轴部件的支承	153
6.2.3	主轴的准停装置	156
6.2.4	自动换刀装置	157
6.3	进给传动系统	159
6.3.1	概述	160
6.3.2	齿轮传动副	160
6.3.3	滚珠丝杠螺母副	162
6.3.4	静压蜗杆蜗轮副和齿轮齿条副	165
6.3.5	回转工作台	166
6.4	自动换刀机构	167
6.4.1	自动换刀装置	167
6.4.2	刀库	170
6.4.3	刀具交换装置	171

目 录

第 7 章 数控刀具

173

- 7.1 数控刀具的特点 173
- 7.2 数控工具系统 174
 - 7.2.1 数控刀具的分类 174
 - 7.2.2 数控机床工具系统 176
- 7.3 数控刀具材料 179
 - 7.3.1 高速钢 180
 - 7.3.2 硬质合金 181
 - 7.3.3 陶瓷 182
 - 7.3.4 立方氮化硼 183
 - 7.3.5 金刚石 184
- 7.4 刀具表面涂层技术 186
 - 7.4.1 涂层工艺 186
 - 7.4.2 涂层种类 188
 - 7.4.3 刀具涂层材料 188
- 7.5 数控刀具的选择 190
 - 7.5.1 选用原则 190
 - 7.5.2 选用方法 190
- 7.6 切削用量的选择 191
- 7.7 数控刀具的换刀装置 191
 - 7.7.1 换刀装置的基本形式 191
 - 7.7.2 自动换刀装置 192
 - 7.7.3 刀具尺寸预调 194
 - 7.7.4 刀具的识别 194

第 8 章 高速数控机床及其技术

197

- 8.1 概述 197
 - 8.1.1 高速切削的特点 199

8.1.2	高速机床的关键技术	200
8.2	高速主轴单元	201
8.2.1	高速电主轴的结构和特点	201
8.2.2	高速主轴的散热	203
8.2.3	高速精密轴承	203
8.3	高速进给系统	205
8.3.1	高速机床对进给系统的要求	205
8.3.2	新型快速进给系统	206
8.4	高速刀具系统	208
8.4.1	高速切削对刀具的要求	208
8.4.2	高速切削刀具材料	209
8.4.3	高速刀具的几何结构设计	211
8.4.4	刀具系统的动平衡	212
8.4.5	高速刀具与机床的连接	214
8.4.6	高速切削刀具的安全性	217
8.5	高速控制系统	219
8.5.1	高速主轴矢量控制器	220
8.5.2	实时控制伺服系统	220
8.5.3	精简指令集系统	221
8.5.4	其他辅助控制技术	222
8.6	高速加工监测技术	222
8.6.1	关键技术	222
8.6.2	高速加工的监测内容	223

第 1 章

现代数控机床概述

随着科学技术的飞速发展和经济竞争的日趋激烈，产品更新速度越来越快，多品种、中小批量生产的比重明显增加。同时，随着航空工业、汽车工业和轻工业消费品生产的高速增长，复杂形状的零件越来越多，精度要求也越来越高。此外，激烈的市场竞争要求产品研制生产周期越来越短，传统的加工设备和制造方法已难以适应这种多样化、柔性化与复杂形状零件的高效高质量加工要求。因此近几十年来，世界各国十分重视发展能有效解决复杂、精密、小批多变零件加工的数控加工技术。

自 20 世纪 50 年代，将计算机作为一种信息处理装置移植到古老的机床中诞生数控机床以来，揭开了 CAD/CAM 的序幕，现已逐步成为 CAD/NCP/CAM（计算机辅助设计/数控编程/计算机辅助制造）信息集成的重要环节，是现代柔性制造单元（FMC）、柔性制造系统（FMS）的基本组成设备。它将复杂的机床内传动链解耦，代之以软件控制机床进行两坐标联动、三坐标联动、四坐标联动、五坐标联动加工，可完成复杂表面的加工，极大提高机电产品和设备的精度，使其外形更加美观，更易体现个性化。数控机床良好的加工精度和加工一致性，可保证产品零部件的标准化、系列化并使它们达到良好的互换性。

数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS 等，都是建立在数控技术之上，离开了数控技术，先进制造技术就成了无本之木。同时，数控技术是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业，其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志，实现加工机床及生产过程数控化，已经成为当今制造业的发展方向。专家们曾预言：机械制造的竞争，其实质就是数控的竞争。

1.1 数控机床简介

1.1.1 基本概念

数字控制（numerical control）是一种借助数字、字符或其他符号对某一工作过程（如加工、测量、装配等）进行可编程控制的自动化方法，简称数控（NC）。

数控技术（numerical control technology）是指用数字量及字符发出指令并实现自动控制的技术，它已成为制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础技术。计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）、柔性制造系统（FMS）、计算机集成制造系统（CIMS）、敏捷制造（AM）和智能制造（IM）等先进制造技术都是建立在数控技术之上。数控技术不仅用于金

属切削机床，同时还用于多种其他的机械设备，如机器人、坐标测量机、编织机、电火花切割机、剪裁机等。

数控系统 (numerical control system) 是指采用数控技术的控制系统。

数控机床 (numerical control machine tools) 是采用数控技术对机床的加工过程进行自动控制的一类机床，它把机械加工过程中的各种控制信息用代码化的数字表示，通过信息载体输入数控装置。经运算处理由数控装置发出各种控制信号，控制机床的动作，按图纸要求的形状和尺寸，自动地将零件加工出来。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题，是一种柔性的、高效能的自动化机床。

计算机数控系统 (computer numerical control) 是指以计算机为核心的数控系统。

数控加工技术是指高效、优质地实现产品零件特别是复杂形状零件加工的技术，它是自动化、柔性化、敏捷化和数字化制造加工的基础与关键技术。数控加工过程包括由给定的零件加工要求 (零件图纸、CAD 数据或实物模型) 进行加工的全过程，其主要内容涉及数控机床加工工艺和数控编程技术两大方面。

图 1-1 是数控机床加工过程框图。从框图中可看出在数控机床上加工零件所涉及的范围比较广，与相关的配套技术有密切的关系。程序编制人员应该熟练地掌握工艺分析、工艺设计和切削用量的选择，能正确地提出刀辅具和零件的装夹方案，懂得刀具的测量方法，了解数控机床的性能和特点，熟悉程序编制方法和程序的输入方式。

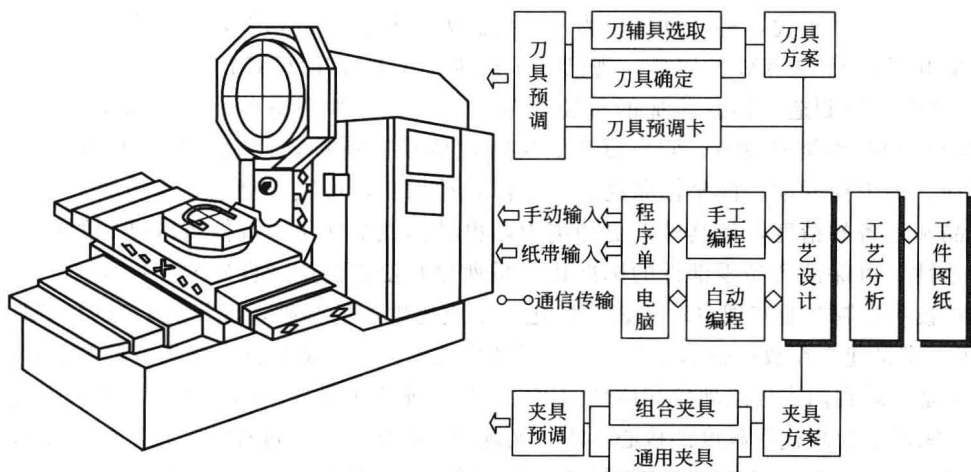


图 1-1 数控机床加工过程框图

1.1.2 数控机床的特点

现代数控机床集高效率、高精度、高柔性于一身，具有许多普通机床无法实现的特殊功能，它具有如下特点。

① 加工精度高 数控机床加工同批零件尺寸的一致性好，加工精度高，加工质量稳定，产品合格率高。中、小型数控机床的定位精度可达 0.005mm ，重复定位精度可达 0.002mm 。数控机床按预定的零件加工程序自动加工，加工过程不需要人工干预。加之数控机床本身的刚度好，精度高，而且还可利用软件进行精度校正和补偿，因此可以获得比机床本身精度还要高的加工精度和重复精度。

② 生产效率高 数控机床具有良好的结构刚性，可进行大切削用量的强力切削，有效



地节省机动时间,还具有自动变速、自动换刀、自动交换工件和其他辅助操作自动化等功能,使辅助时间缩短,而且无需工序间的检测和测量。所以,数控机床生产效率比一般普通机床高得多。对壳体零件采用加工中心进行加工,利用转台自动换位、自动换刀,可以在一次装夹的情况下几乎完成零件的全部加工,减少了装夹误差,节约了工序之间的运输、测量、装夹等辅助时间。

③ 自动化程度高 数控机床的加工,是输入事先编写好的零件加工程序后自动完成,除了装卸零件、安装穿孔带或操作键盘、观察机床运行之外,其他的机床动作直至加工完毕,都是自动连续完成。因此可以大大减轻操作者的劳动强度和紧张程度,改善劳动条件,减少操作人员的人数。同时有利于现代化的生产管理,可向更高级的制造系统发展。

④ 对加工对象的适应性强 数控机床是一种高度自动化和高效率的机床,可适应不同品种和尺寸规格工件的自动加工。当加工对象改变时,只要改变数控加工程序,就可改变加工工件的品种,为复杂结构的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的便利。特别是对那些普通机床很难甚至无法加工的精密复杂表面(例如螺旋表面),数控机床也能实现自动加工。

⑤ 经济效益好 数控机床虽然设备昂贵,加工时分摊到每个工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,节省直接生产费用和工艺装备费用。数控机床的加工精度稳定,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,使用数控机床仍可获得良好的经济效益。

1.2 数控机床的工作原理及组成

1.2.1 数控机床的工作原理

用数控机床加工零件时,首先应将加工零件的几何信息和工艺信息编制成加工程序,由输入部分送入数控装置,经过数控装置的处理、运算,按各坐标轴的分量送到各轴的驱动电路,经过转换、放大去驱动伺服电动机,带动各轴运动,并进行反馈控制,使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数有条不紊地工作,从而加工出零件的全部轮廓。

数控机床具有很好的柔性,当加工对象变换时,只需重新编制加工程序即可,原来的程序可存储备用,这比存储工装夹具方便得多,也不必像组合机床那样需要针对新加工零件重新设计组合机床,致使生产准备时间过长。

1.2.2 数控机床的组成

数控机床一般由控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体所组成,如图1-2所示。图中实线部分为开环系统,虚线部分包含位置反馈构成了闭环系统,各部分简述如下。

(1) 控制介质

数控机床工作时,不需人直接参与操作,但人的意图又必须参与,所以人和数控机床之间必须建立某种联系,这种联系的媒介物称为控制介质或信息载体。控制介质上存储着加工零件所需要的全部操作信息和刀具相对工件的移动信息。

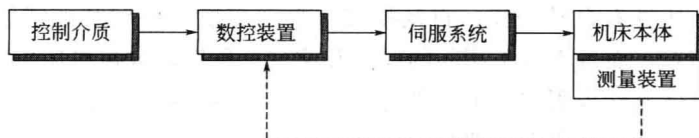


图 1-2 数控机床的组成

(2) 数控装置

数控装置是数控机床的中枢，用来接受并处理输入介质的信息，并将代码加以识别、存储、运算，并输出相应的命令脉冲，经过功率放大驱动伺服系统，使机床按规定要求动作。数控装置通常由一台通用或专用微型计算机构成，有输入接口、存储器、运算器、输出接口和控制电路等，如图 1-3 所示。

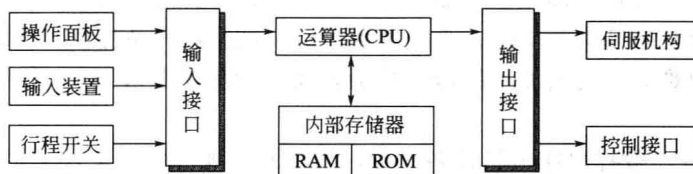


图 1-3 数控装置的组成

输入接口接受控制介质或操作面板上的信息，并将其信息代码加以识别，经译码后送入相应的存储器，存储器中的代码或数据是控制和运算的原始依据。

控制器根据输入的指令控制运算器和输出接口，以实现机床各种操作的执行，例如控制主轴变速和起动、控制刀架或工作台移动等，同时控制机床的整个工作循环。运算器主要是对输入的数据进行某种运算，按运算结果不断地由输出接口输出脉冲信号，驱动伺服机构按规定的要求运动。

数控装置中的译码、处理、计算和控制的步骤可以用专用计算机的刚性结构来实现（称为硬件数控或简称 NC），也可用小型通用计算机或微型计算机的系统控制程序来实现（称为软件数控），目前均采用专用的微型计算机来实现控制（CNC）。用微型机构成数控装置，其 CPU 实现控制和运算，内部存储器中只读存储器（ROM）存放系统控制程序，读写存储器（RAM）存放零件的加工程序和系统运行时的工作参数。I/O 接口实现输入输出的功能。数控机床的功能强弱主要由数控装置的功能来决定，所以它是数控机床的核心部分。

(3) 伺服系统

伺服系统包括驱动部分和执行机构两大部分，伺服系统把数控装置输出的脉冲信号通过放大和驱动元件使机床移动部件运动或使执行机构动作，以加工出符合要求的零件。每一脉冲使机床移动部件产生的位移量称为脉冲当量，常用的脉冲当量为 0.01mm/脉冲、0.005mm/脉冲、0.001mm/脉冲等。因此，伺服系统的精度、快速性及动态响应是影响加工精度、表面质量与生产率的主要因素。

目前在数控机床的伺服系统中，常用的位移执行机构有功率步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机，后两种都带有感应同步器、光电编码器等位置测量元件。所以，伺服机构的性能决定了数控机床的精度与快速性。

(4) 机床本体

机床本体也称主机，包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件，如

底座、立柱、滑鞍、工作台（刀架）、导轨等。由于数控机床的主运动、各个坐标轴的进给运动都由单独的伺服电机驱动，因此，它的传动链短、结构比较简单，各个坐标轴之间的运动关系通过计算机来进行协调。为了保证数控机床的快速响应特性，数控机床普遍采用精密滚珠丝杠和直线运动导轨副。为了保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工，数控机床的机械结构应具有较高的动态特性、动态刚度、阻尼精度、耐磨性和抗热变形性能。在加工中心上还具备有刀库和自动交换刀具的机械手。同时还有一些良好的配套措施，如冷却、自动排屑、防护、润滑、编程机和对刀仪等，以充分发挥数控机床的功能。

1.3 数控机床的分类

数控机床的品种规格繁多，分类方法不一。根据数控机床的功能和结构，一般可以按下面几种原则来进行分类。

1.3.1 按工艺用途分类

① 金属切削类数控机床 这类机床的品种与传统的通用机床一样，有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、加工中心等，而每一种又有很多品种和规格，例如，在数控磨床中，有数控平面磨床、数控外圆磨床、数控工具磨床等。加工中心是一种带有自动换刀装置，工件经一次装夹后，能进行铣削、钻削、攻螺纹、镗削、铰孔等多道工序的复合型数控机床。加工中心目前主要有两类，一类是在镗、铣床基础上发展起来的，称为铣削加工中心；另一类是在车床的基础上发展起来的，成为车削加工中心。

② 金属成形类数控机床 如数控折弯机、数控弯管机、数控转头压力机等。

③ 数控特种加工机床 如数控线切割机、数控电火花成形机床、数控冲床、数控激光切割机床等。

④ 其他类型的数控机床 如数控三坐标测量机等。

1.3.2 按运动轨迹分类

(1) 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是在刀具相对于工件移动的过程中，不进行切削加工，它对运动的轨迹没有严格的要求，只要实现从一点坐标到另一点坐标位置的准确移动，几个坐标轴之间的运动没有任何联系。如图 1-4 所示的起点到终点的运动轨迹可以是图中①或②中的任意一种。为了实现既快速又精确的定位，两点间位置的移动一般先以最快速度移动，到即将接近新的位置点时再通过 1~3 级降速，使之慢速趋近定位点，以保证其定位精度。这一类数控机床包括数控钻床、数控镗床、数控冲床及数控测量机等，其数控装置对位移功能控制比较简单。

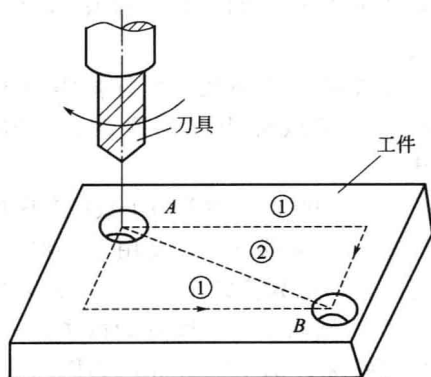


图 1-4 点位控制的切削加工

(2) 直线控制数控机床

这类机床不仅要求具有准确的定位功能，还要

求从一点到另一点按直线运动进行切削加工，刀具相对于工件移动的轨迹是平行机床各坐标轴的直线，或两轴同时移动构成 45° 的斜线，如图 1-5 所示。一般只能加工矩形、台阶形零件。运动时的速度是可以控制的，对于不同的刀具和工件，可以选择不同的切削用量。这一类数控机床包括数控车床、数控磨床、数控铣床和加工中心，其数控装置的控制功能比点位系统复杂，不仅控制直线运动轨迹，还控制进给速度及自动循环加工等功能。这些机床有 2~3 个可控轴，但同时控制轴只有 1 个。

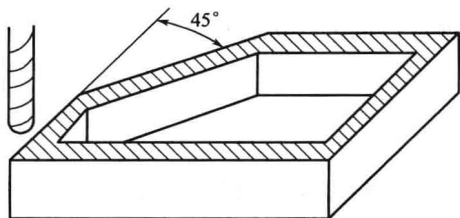


图 1-5 直线控制的切削加工

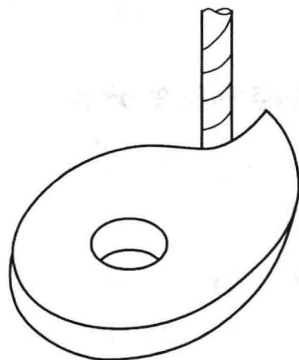


图 1-6 轮廓控制的切削加工

(3) 轮廓控制数控机床

这类数控机床能够对 2 个或 2 个以上的坐标轴进行连续的切削加工控制，它不仅能控制机床移动部件的起点坐标和终点坐标，而且能按需要严格控制刀具移动的轨迹，以加工出任意斜率的直线、圆弧、抛物线及其他函数关系的曲线或曲面，如图 1-6 所示。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓的表面要求，必须将各坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来。因此要求数控装置具有插补运算的功能，即根据程序输入的基本数据（如直线的终点坐标，圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径），通过数控系统内插补运算器的数学处理，把直线或曲线的形状描述出来。并一边运算，一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲，从而控制各坐标轴的联动位移量与所要求的轮廓相符。

轮廓控制数控机床包括数控车床、数控铣床、数控磨床、数控线切割机、加工中心等。其相应的数控装置的功能比较复杂而齐全，一般都具有直线和圆弧插补功能，进行起点和终点之间“数据密化”，使切削点能完成任意角度斜线和任意半径圆弧的加工轨迹。

数控系统控制几个坐标按需要的函数关系同时协调运动，称为坐标联动。按照联动轴数分，可以分为二轴联动、二轴半联动、三轴联动、四轴联动、五轴联动等数控机床。

① 二轴联动 主要用于数控车床加工曲线旋转面或数控铣床加工曲线柱面 [图 1-7(a)]。

② 二轴半联动 主要用于三轴以上控制的机床，其中两个轴互为联动，而另一轴做周期进给，如在数控铣床上用球头铣刀采用行切法加工三维空间曲面 [图 1-7(c)]。

③ 三轴联动 一般分为两类，一类就是 X、Y、Z 三个直线坐标轴联动，比较多地用于数控铣床、加工中心等，如用球头铣刀铣切三维空间曲面；另一类是除了同时控制 X、Y、Z，其中两个直线坐标轴联动外，还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转轴