



中等职业教育“十一五”规划教材

数控加工技术与项目实训 (基础知识、编程篇)

赵慧曜 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中等职业教育“十一五”规划教材

工程力学	李玉生
机械制图	杨利明
机械制图习题集	杨利明
机械识图与AutoCAD制图基础	张可安
公差配合与技术测量	于凤丽
液压传动技术与应用	宋爱民
AutoCAD 2006机械图绘制实用教程	张忠蓉
金属材料与热处理	唐秀丽
电工与电子技术基础(非电类)	姚炎
汽车机械基础	刘冰
机械制造技术	熊良猛
机械设计基础	朱琦 李彩云
机械加工技术基础	李新生
CAD/CAM技术应用	何世勇
金工实训	尚培勤
数控机床及应用	于万成
数控加工技术与项目实训	赵慧曜
设备控制技术	于凤丽
机加工实习	范玖红
车工工艺与技能训练	薛峰

ISBN 978-7-111-24729-6

编辑热线: (010)88379193

地址: 北京市百万庄大街22号 邮政编码: 100037
联系电话: (010)68326294 网址: <http://www.cmpedu.com> (机工教材网)
(010)68993821 E-mail: cmp@cmpedu.com
购书热线: (010)88379639 网址: <http://www.cmpbook.com> (机工门户网)
(010)88379641 E-mail: cmp@cmpbook.com
(010)88379643

中等职业教育“十一五”规划教材

数控加工技术与项目实训

(基础知识、编程篇)

主 编 赵慧曜
参 编 张亚力 刘春玲
 韩庆国 张 晗
主 审 于凤丽



机械工业出版社

地址: 北京市西城区百万庄大街24号
邮编: 100037
电话: (010) 88379636
电邮: jcb@jcb.com.cn
网址: www.jcb.com.cn

《数控加工技术与项目实训》由基础知识、编程篇和机床操作、项目实训篇构成,本教材为基础知识、编程篇,由基础篇和编程篇组成。

基础知识篇主要讲述了技能型数控人才所必须掌握的基础知识,其中,第一章讲述了数控机床的特点、组成、分类及工作原理等与数控机床有关的知识;第二章讲述了数控系统的硬件结构、软件结构及信息处理过程等与数控系统有关的知识;第三章讲述了数控刀具的种类、特点、材料、失效形式及数控刀具的选择等与数控刀具有关的知识;第四章讲述了六点定位原理与夹具的分类、选择等与工装夹具有关的知识;第五章讲述了数控加工工艺过程的概念、组成,毛坯的种类、选择,定位基准的选择,工序尺寸及其公差确定等与数控加工工艺有关的知识;第六章讲述了数控加工精度及表面质量等与质量控制有关的知识。

编程篇主要讲述了技能型数控人才所必须掌握的数控指令体系和手工编程、计算机编程思想,其中,第七章讲述了数控编程的方法、数控机床的坐标系统及数控程序的结构和格式等数控编程的基础知识;第八章以功能为导向,对比讲解了华中 HNC—21T/M、Fanuc Oi—TB/MA、Siemens 802D 数控系统常用指令的格式及用法;第九章讲述了 MasterCAM 的加工方法和编程思想;第十章讲述了 CAXA 制造工程师 2004 自动编程的加工方法和编程思想。

本教材内容广泛,图文并茂,突出教法,实例充分,不仅可作为机械制造与自动化专业、数控专业、模具设计与制造专业的教材,也可作为数控技能考证的实训指导书。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术与项目实训/赵慧曜主编. —北京:机械工业出版社, 2008. 7
中等职业教育“十一五”规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 24729 - 6

I. 数… II. 赵… III. 数控机床 - 加工 - 专业学校 - 教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 113518 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: 崔占军 王海峰

责任编辑: 崔占军 王海峰 章承林 版式设计: 霍永明

责任校对: 吴美英

责任印制: 邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2009 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 29.5 印张 · 716 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 24729 - 6

定价: 46.00 元 (上下册)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379182

封面无防伪标均为盗版

前言

《数控加工技术与项目实训》是中等职业教育“十一五”规划教材，是根据教育部数控技能型紧缺人才培养培养方案，参照最新的数控专业教学计划，本着“理论教学以技能需要为原则、技能培养以项目实施为主线”而编写的。

《数控加工技术与项目实训》由基础知识、编程篇和机床操作、项目实训篇构成。

基础知识篇讲述了技能型数控人才所必须掌握的有关数控机床、数控系统、数控刀具、夹具、数控加工工艺、数控加工质量等方面的基础知识。

编程篇以功能为导向，对比讲解了华中 HNC—21T/M、Fanuc Oi—TB/MA、Siemens 802D 数控系统常用指令的格式及用法。本篇不仅使读者掌握三种常见数控系统的基本指令和用法，更主要的是掌握“如何学习数控系统”的方法，因为数控系统很多，学无止境。

机床操作篇以实用为原则，分别讲述了华中 HNC—21T 数控车床、Siemens 802D 数控铣床、Fanuc Oi—MA 加工中心的基本操作。

项目实训篇以“一项目多方案”的教学方法，以“项目实施”为主线，以“对比分析不同加工方案→优化所用方案→确定‘最佳’方案”的教学模式，旨在培养读者提出问题→分析问题→解决问题的项目实施能力。

本教材由浙江科技工程学校赵慧曜任主编，沈阳铁路机械学校于凤丽任主审。参与本教材编写的还有河北张家口北方机电工业学校张亚力、河南南阳工业学校刘春玲、吉林航空工程学校韩庆国、吉林航空工程学校张晗。其中，第一章、第三章、第八章由赵慧曜和刘春玲联合编写；第二章由赵慧曜、刘春玲、韩庆国联合编写；第七章由赵慧曜、刘春玲、张晗联合编写；第四章至第六章、第十章、第十八章项目二由赵慧曜和张亚力联合编写；第九章、第十一章至第十七章、第十八章项目一由赵慧曜编写。

在教材编写和出版过程中，各位参编教师和出版社工作人员皆付出了艰辛的劳动，提出了许多宝贵意见。在此，谨向他们表示衷心的感谢！限于编者水平有限和时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

本教材学时安排，见表 I-1。

表 I-1 教材学时安排参考表

序 号	课 程 内 容	学 时
	基础知识篇 数控加工的基本知识	26
1	第一章 数控机床知识	4
2	第二章 数控系统知识	4
3	第三章 数控刀具知识	6
4	第四章 夹具知识	2
5	第五章 数控加工工艺知识	8
6	第六章 数控加工质量	2
	编程篇 数控编程的思想与指令体系	28
7	第七章 编程基础	2
8	第八章 编程指令	10
9	第九章 MasterCAM 自动编程	8
10	第十章 CAXA 制造工程师 2004 自动编程	8
	机床操作篇 典型数控系统的基本操作	14
11	第十一章 数控机床安全操作规程与保养规范	2
12	第十二章 华中 HNC—21T/M 数控系统操作	4
13	第十三章 Siemens 802D 数控铣床操作	4
14	第十四章 Fanuc Oi—MA 立式加工中心操作	4
	项目实训篇 数控加工的项目实训	46
	第十五章 华中 HNC—21T 数控车床项目实训	23
15	项目一 阶梯轴加工程序的编制	4
16	项目二 外圆锥面加工程序的编制	4
17	项目三 槽与切断加工程序的编制	4
18	项目四 螺纹加工程序的编制	4
19	项目五 数控车床综合样件加工	7
	第十六章 Siemens 802D 数控铣床项目实训	8
20	项目一 数控铣床基本样件加工	4
21	项目二 泵体端盖底板加工	4
	第十七章 Fanuc Oi—MA 加工中心项目实训	7
22	项目一 Fanuc Oi—MA 型腔薄壁球岛件加工	7
	第十八章 CAD、CAM 项目实训	8
23	项目一 MasterCAM 9.0 计算机编程	4
24	项目二 CAXA 制造工程师 CAM 编程	4
合计		114
机动		2
总计		116

目 录

前言

基础知识篇 数控加工的基本知识

第一章 数控机床知识	3	第一节 六点定位原理	53
第一节 数控技术与数控机床	3	第二节 夹具的分类	55
第二节 数控机床组成和工作原理	5	第三节 夹具的选择与工件的夹紧	56
第三节 数控机床的分类	7	复习思考题	57
复习思考题	12	第五章 数控加工工艺知识	58
第二章 数控系统知识	13	第一节 数控加工工艺过程的概念与组成	58
第一节 数控系统的硬件结构	13	第二节 毛坯的种类及选择	59
第二节 数控系统的软件结构	19	第三节 定位基准的选择	60
第三节 数控系统的信息处理过程	22	第四节 工序尺寸及其公差确定	64
复习思考题	25	第五节 数控加工工艺路线的拟定	67
第三章 数控刀具知识	26	第六节 切削用量的选择	71
第一节 数控刀具种类及特点	26	第七节 编写数控加工技术文件	73
第二节 数控刀具材料	28	复习思考题	74
第三节 数控刀具的失效形式及可靠性	32	第六章 数控加工质量	76
第四节 数控刀具的选择	33	第一节 数控加工精度	76
第五节 刀具补偿	49	第二节 数控加工表面质量	79
复习思考题	52	复习思考题	81
第四章 夹具知识	53		

编程篇 数控编程的思想与指令体系

第七章 编程基础	85	第一节 概述	143
第一节 数控编程的内容和方法	85	第二节 工件设置	145
第二节 数控机床的坐标系统	87	第三节 刀具设置	147
第三节 数控程序的结构和格式	90	第四节 操作管理器	152
复习思考题	92	第五节 外形铣削	156
第八章 编程指令	94	第六节 钻削加工	160
第一节 辅助功能 M 代码	94	第七节 挖槽加工	163
第二节 主轴功能 S、进给功能 F 和 刀具功能 T	99	第八节 面铣削加工	168
第三节 准备功能 G 代码	99	第九节 二维刀具路径加工实例	171
第四节 宏指令编程	136	复习思考题	183
复习思考题	137	第十章 CAXA 制造工程师 2004 自动编程	186
第九章 MasterCAM 自动编程	143	第一节 CAXA 制造工程师 2004 概述与加工	

第四节	CAXA 制造工程师 2004 加工	
实例		215
复习思考题		229
参考文献		230

A decorative border with a repeating wavy pattern surrounds the central text.

基础知识篇

数控加工的基本知识

第一章 数控机床知识

学习目的: 了解数控技术、数控设备的基本概念;掌握数控机床的使用范围;掌握数控机床的特点及其组成和工作原理;了解数控机床的分类。

学习重点: 掌握数控机床的组成和工作原理。

第一节 数控技术与数控机床

一、数控技术与数控设备

数字控制 (Numerical Control) 技术,简称数控技术 (NC 技术),是用数字化信号构成的程序对某一对象的工作过程进行控制的一种技术,它集传统的机械制造技术、液压气动技术、传感检测技术、现代控制技术、计算机技术、信息处理技术、网络通信技术于一体,是制造自动化的关键基础,是现代制造装备的灵魂核心。数控技术已广泛应用于机器人、生产线、轻工机械、火炮控制等机电一体化领域,是国家工业和国防工业现代化的重要手段。

数控设备是指采用了数控技术的机械设备,机械设备的运动及其加工过程均由数字化信号构成的程序自动控制。数控设备种类繁多,如数控机床、数控测量机、数控绣花机、数控编织机、机器人等等。

数控机床是以数字化的信息实现机床控制的机电一体化产品,它把刀具和工件之间的相对位置、机床电动机的起动和停止、主轴变速、工件松开夹紧、刀具的选择、冷却泵的起停等各种操作和顺序动作信息,用代码化的数字信息送入数控装置或计算机,经过译码、运算,发出各种指令,控制机床伺服系统或其他执行元件,使机床自动加工出所需要的工件。

二、数控机床的特点

1. 具有充分的柔性、适应性强

数控机床的程序控制取代了通用机床的手工操作,具有充分的柔性。当改变加工工件时,只需要重新编制零件程序,更换相应工装,就能加工出新的零件。这一特点为单件、小批量生产及试制产品提供了极大的便利,适应社会对产品多样化的要求。适应性强是数控机床最突出的优点。

2. 加工精度高、产品质量稳定

数控机床的传动系统和机床结构具有很高的刚度和热稳定性,进给系统也采用了消除间隙的措施,反向间隙与丝杠螺距误差等可由数控装置进行自动补偿,对于中、小型数控机床,定位精度普遍可在 0.02mm ,重复定位精度为 0.01mm ,脉冲当量普遍已达到了 0.001mm ,所以数控机床能达到很高的加工精度。数控机床加工是按照程序完全自动进行的,避免了通用机床加工时人为因素的影响,使同一批工件尺寸的一致性,加工质量十分稳定。

3. 能实现复杂型面零件的加工

数控机床的刀具运动轨迹是由加工程序决定的,因此通过手工或计算机编程 (CAD/

CAM 技术), 只要能编制出程序, 无论工件的型面多么复杂都能加工, 例如我国新研制的“太行”飞机发动机叶片的加工。

4. 生产效率高

工件加工所需的时间包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床有效地减少了这两部分的时间。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床大, 能选用最有利的切削用量; 数控机床的结构刚性好, 能使用大切削用量的强力切削, 从而提高了数控机床的切削效率, 节省了机动时间; 数控机床移动部件的空行速度快, 工件装夹时间短, 辅助时间比一般机床少。

5. 良好的经济效益

虽然数控机床昂贵, 分摊到每个工件的设备费用较高, 但用数控机床加工工件可以节省许多其他费用, 如通过节省划线工时, 减少调整、加工和检验的时间, 从而节省了直接生产的费用; 数控机床加工精度稳定、废品率低, 使生产成本下降; 另外, 数控机床可以一机多用, 节省厂房面积, 减少建厂投资, 因此, 使用数控机床加工可以获得良好的经济效益。

6. 自动化程度高、劳动强度低

数控机床加工工件是按事先编好的程序自动完成的, 工件加工过程中不需要人的干预, 加工完毕后自动停车, 使操作者的劳动强度与紧张程度大为减轻, 加上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功能, 操作者的劳动条件也大为改善。

7. 有利于构建自动化生产系统

数控机床使用数字信息与标准化代码处理、传递信息, 有利于与计算机连接, 构成以数控机床为基础的自动化生产系统, 例如, 计算机直接数控系统 (DNC)、柔性制造单元 (FMC)、柔性制造系统 (FMS) 和计算机集成制造系统 (CIMS)。

三、数控机床的应用范围

数控机床具有一般机床所不具备的许多优点, 其应用范围正在不断扩大, 但它并不能完全代替一般机床, 也不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床和普通机床的应用范围, 如图 1-1 所示; 各种机床生产批量和综合费用的关系, 如图 1-2 所示。

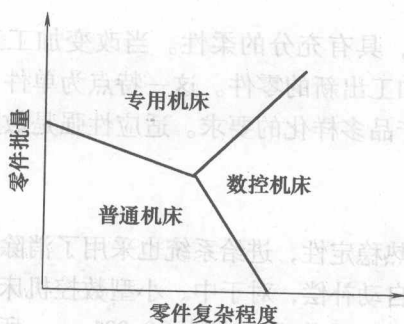


图 1-1 机床的使用范围

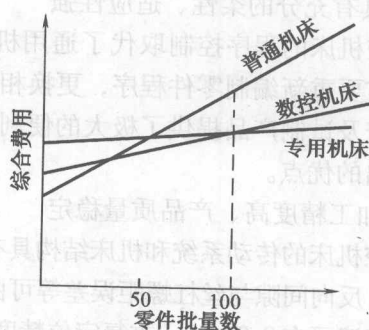


图 1-2 机床的生产量与成本的关系

数控机床最适合加工具有以下特点的零件：

- 1) 多品种、小批量生产的零件或新产品试制中的零件。

- 2) 形状结构比较复杂的零件。
- 3) 工艺设计需多次改进的零件。
- 4) 价格昂贵, 加工中不允许报废的关键零件。
- 5) 需要最短生产周期的零件。
- 6) 必须严格控制公差, 精度要求高的零件。
- 7) 加工过程中必须进行多工序加工的零件。
- 8) 用普通机床加工时, 需要昂贵工装设备(工具、夹具和模具)的零件。

第二节 数控机床组成和工作原理

一、数控机床的组成

数控机床的组成包括程序载体、操作面板、数控装置、主轴伺服系统、进给伺服系统、辅助控制装置、测量反馈系统及机床本体等部分, 如图 1-3 所示。

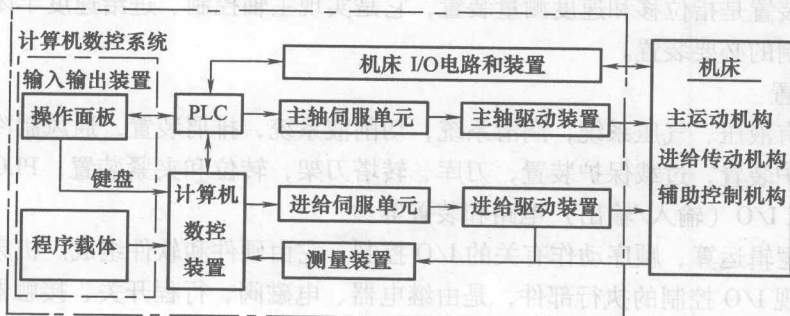


图 1-3 数控机床的组成

1. 数控加工程序载体(控制介质)

控制介质是纪录零件加工程序的媒介, 是人与机床建立联系的介质。程序输入输出设备是 CNC 系统与外部设备进行信息交换的装置, 其作用是将纪录在控制介质上的零件加工程序输入 CNC 系统, 或将调试好的零件加工程序通过输出设备存放或纪录在相应的介质上。数控加工程序载体包括加工程序单、穿孔纸带、磁带、软磁盘、硬磁盘以及 FLASH 闪存等。

此外, 现代数控系统一般可利用通信方式进行信息交换, 目前在数控机床上常用的通信方式有: 串行通信、并行通信、以太网通信、自动控制专用接口。

2. 操作面板

操作面板又称控制面板, 是操作人员与数控机床(系统)进行信息交互的工具。操作人员可以通过它对数控机床(系统)进行操作、编程、调试或对机床参数进行设定和修改, 也可以通过它了解和查询数控机床(系统)的运行状态。它是数控机床的一个输入输出部件, 主要由按钮灯、状态灯、按键阵列(功能同计算机键盘)和 CRT 或液晶显示器等部分组成。

3. 计算机数控(CNC)装置

计算机数控装置是计算机数控系统的核心,其主要作用是根据输入的零件加工程序或操作命令进行相应的处理,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),完成零件加工程序或操作所要求的工作。它由硬件和软件组成:

(1) 硬件 计算机数控(CNC)装置的硬件由 CPU、存储器、控制器、通信接口板以及扩展功能模块等组成,又分为专用计算机和工业用 PC 机。

(2) 软件 计算机数控(CNC)装置的软件包括系统程序和用户程序,主要用于程序管理、参数管理、机床状态监控、系统诊断、图形模拟、刀具补偿以及程序执行等。

4. 伺服单元和驱动装置

伺服单元和驱动装置包括主轴伺服驱动装置、主轴电动机和进给伺服驱动装置、进给电动机。主轴伺服系统的作用是实现零件加工的主切削运动,其控制量为速度;进给伺服系统的作用是实现零件加工所需的成形运动,其控制量为速度和位置,特点是能灵敏、准确地实现 CNC 装置的位置和速度指令。

5. 检测反馈装置

检测反馈装置是指位移和速度测量装置,它是实现主轴控制、进给速度半闭环控制和进给位置闭环控制的必要装置。

6. 辅助装置

辅助装置有液压、气压系统,润滑系统,切削液系统,排屑装置,通风制冷装置,超程保护,安全防护装置,过载保护装置,刀库、转塔刀架,转位和夹紧装置,PLC(可编程序控制器)、机床 I/O(输入/输出)电路和装置等。

PLC 是与逻辑运算、顺序动作有关的 I/O 控制,它由硬件和软件组成。机床 I/O 电路和装置是用来实现 I/O 控制的执行部件,是由继电器、电磁阀、行程开关、接触器等组成的逻辑电路。它们共同完成以下任务:

1) 接收 CNC 的 M、S、T 指令,对其进行译码并转换成对应的控制信号,控制装置完成机床相应的开关动作。

2) 接收操作面板和机床传送来的 I/O 信号,送给 CNC 装置,经处理后,输出指令控制 CNC 系统的工作状态和机床的动作。

7. 机床本体

机床本体是数控系统的控制对象,是实现加工零件的执行部件,它主要由主运动部件(主轴、主运动传动机构)、进给运动部件(工作台、拖板及相应的传动机构)、支承件(立柱、床身等)以及特殊装置、自动工作台交换(APC)系统和自动刀具交换(ATC)系统等组成。

二、数控机床的工作原理

数控机床工作原理示意图,如图 1-4 所示。

首先根据被加工零件的形状、尺寸及工艺要求等,采用手工或计算机编制零件加工程序,把加工零件所需的各种机床动作及工艺参数变成数控装置所能接收的程序代码,并存储在控制介质上,然后经输入装置读出信息并送入数控装置,再经过数控装置一系列的处理和运算转变成脉冲信号,有的脉冲信号被传送到机床的伺服系统,控制传动装置驱动机床有关运动部件;有的脉冲信号则被送到可编程序控制器(PLC)中,按顺序控制机床的其他辅助动作,如工件夹紧、松开,切削液的打开、关闭,刀具的自动更换等。

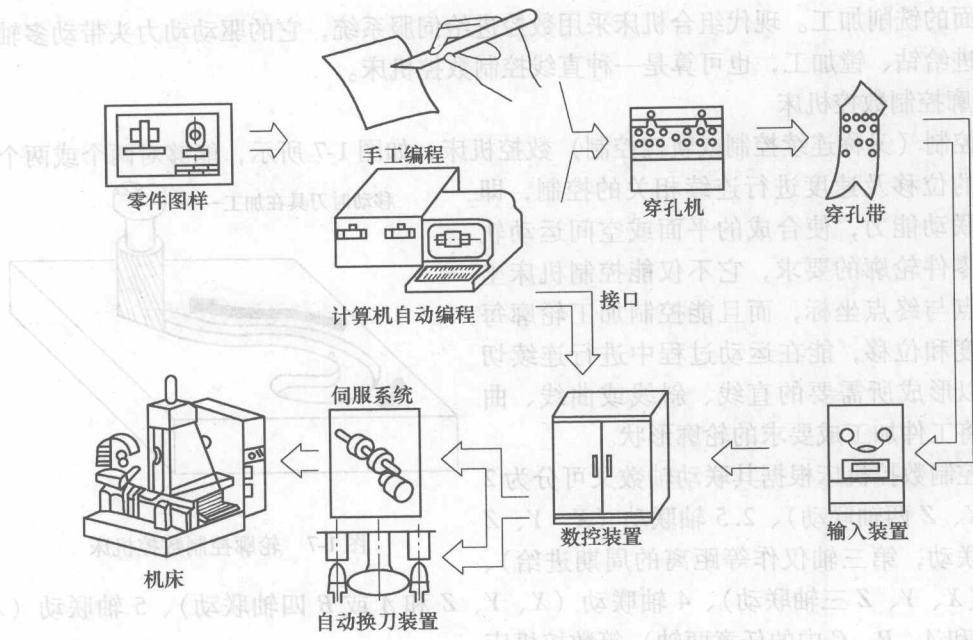


图 1-4 数控机床工作原理示意图

第三节 数控机床的分类

数控机床的种类很多，从不同角度发出，有不同的分类方法。常见的分类方法有以下几种。

一、按运动方式分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床，如图 1-5 所示，只能控制机床坐标轴（相对工件）从一个点（坐标位置）到另一个点（坐标位置）的精确定位，而对于点与点之间的移动轨迹不进行控制，且移动过程中不作任何切削加工。机床几个坐标轴之间的运动无任何联系，既可以同时向目标点运动，也可以单独依次运动。

点位控制数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机等。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床，如图 1-6 所示，不仅要控制机床坐标轴（相对工件）从一个点到另一个点的精确定位，还要控制两点之间的移动轨迹是一条直线，且在移动中能以适当的进给速度进行切削加工，进给速度根据切削条件可在一定范围内变化。

直线控制的简易数控车床，只有两个坐标轴，可加工阶梯轴。直线控制的数控铣床，有三个坐标轴，

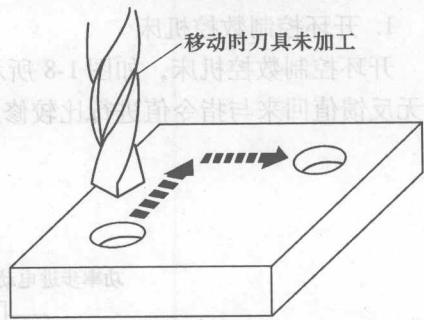


图 1-5 点位控制数控机床

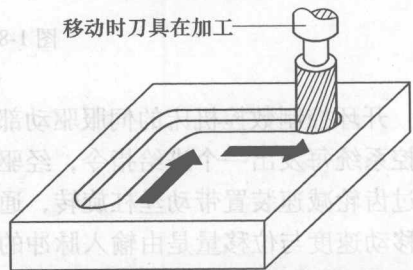


图 1-6 直线控制数控机床

可用于平面的铣削加工。现代组合机床采用数控进给伺服系统,它的驱动动力头带动多轴箱进行轴向进给钻、镗加工,也可算是一种直线控制数控机床。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制(又称连续控制或轨迹控制)数控机床,如图1-7所示,能够对两个或两个以上坐标轴的位移及速度进行连续相关的控制,即多坐标轴联动能力,使合成的平面或空间运动轨迹能满足零件轮廓的要求,它不仅能控制机床坐标轴的起点与终点坐标,而且能控制加工轮廓每一点的速度和位移,能在运动过程中进行连续切削加工,以形成所需要的直线、斜线或曲线、曲面,最终将工件加工成要求的轮廓形状。

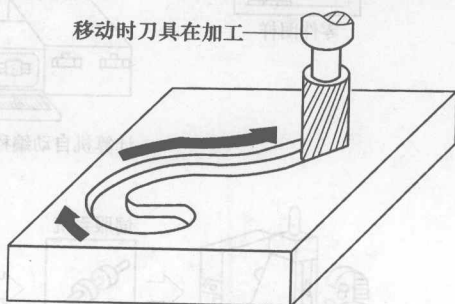


图1-7 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床根据其联动轴数又可分为2轴联动(X 、 Z 两轴联动)、2.5轴联动(X 、 Y 、 Z 任意二轴联动,第三轴仅作等距离的周期进给)、3轴联动(X 、 Y 、 Z 三轴联动)、4轴联动(X 、 Y 、 Z 和 A 或 B 四轴联动)、5轴联动(X 、 Y 、 Z 三轴和 A 、 B 、 C 中的任意两轴)等数控机床。

常用的数控车床、数控铣床、加工中心就是典型的轮廓控制数控机床。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。

二、按控制原理分类

1. 开环控制数控机床

开环控制数控机床,如图1-8所示,这类数控机床没有位置检测装置,即位移的实际值并无反馈值回来与指令值进行比较修正,控制信号的流程是单向的,故称“开环”。

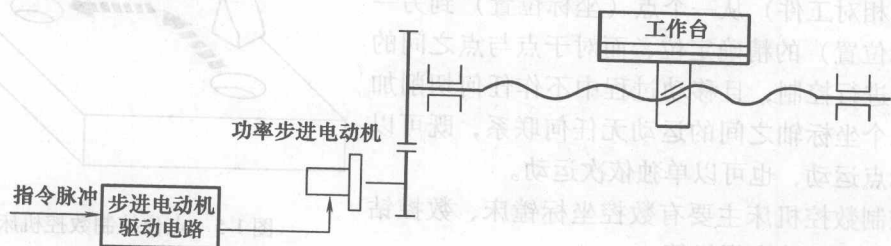


图1-8 开环控制数控机床示意图

开环控制数控机床的伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令,经驱动电路功率放大后,驱动步进电动机旋转一个角度,再经过齿轮减速装置带动丝杠旋转,通过丝杠螺母机构转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率与脉冲数所决定的。

开环控制系统的数控机床结构简单、成本较低,但是,由于系统对移动部件的实际位移量不进行监测,也不进行误差校正,因此,步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等