

· 高职高专“十二五”规划教材 ·



数控技术及应用

SHUKONG JISHU JI YINGYONG

胡运林 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高职高专“十二五”规划教材

数控技术及应用

胡运林 主编
袁晓东 主审

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2012

内 容 提 要

本书主要介绍了数控技术基础知识和数控技术应用,其中数控技术基础知识包括计算机数控系统、伺服系统、检测系统以及数控机床机械结构等主要内容;数控技术应用包括数控机床的使用和维护以及数控编程两方面内容。

本书主要以工程应用为重点,注重理论与实践相结合的原则,以培养学生能力为主线,突出实用性,理论通俗易懂,案例较多,各学习主题模块既有联系又有一定的独立性,每个模块均附有思考与训练内容。

本书可作为高职高专机电一体化、机械制造、模具、数控、自动化等专业的教材,也可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术及应用/胡运林主编. —北京:冶金工业出版社, 2012. 8

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6019-8

I. ①数… II. ①胡… III. ①数控机床—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 183095 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjpbs@cnmip.com.cn

责任编辑 陈慰萍 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 王贺兰 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6019-8

北京印刷一厂印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2012 年 8 月第 1 版, 2012 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16 印张; 386 千字; 246 页

34.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前言

数控技术自问世半个世纪以来,随着相关技术的发展和不断增长而迅速发展。特别是近20年,开创了一个全新的局面。在发达国家,数控机床已经普及,即使是发展中国家,数控机床也正得到推广并逐步普及。我国从20世纪80年代开始推广普及数控技术,经三十多年的发展,数控机床的数量出现了快速增长的势头,导致数控技术应用型人才的紧缺。为解决社会对数控技术应用型高技能人才的需求,各机电类高等职业院校纷纷开设相关专业和相应课程以培养数控技术应用型高技能人才。

数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础;数控技术的应用是提高制造业的产品质量和劳动生产率必不可少的重要手段;数控机床是国防工业现代化的重要战略装备,是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要标志。这种形势对高职高专机电类专业的学生在数控技术方面的知识 & 技能也提出了新的要求,即要求学生必须具备一定的数控技术应用方面的基本知识和技能。

为了适应高职高专“工学结合”的教学模式改革的发展需要,本书以“必须、够用”为原则,紧扣高职教育培养高素质技能型人才的培养目标,以“模块导向、任务驱动”的教学组织模式来组织整个教学内容,这也是本书的最大特点。本书把对学生工作能力的培养放在突出位置,通过设置贴近实际生产的训练模块,来训练学生的动手能力和独立完成生产任务的工作能力,打破了传统教材以老师为中心的内容体系,将“学”与“训”结合起来。

本书共分为6个学习主题模块,其中:模块1~模块4主要讲述数控技术的基础知识,包括计算机数控系统、数控机床的伺服系统、数控机床位置检测装置、数控机床的机械结构等内容;模块5~模块6主要讲述数控技术的应用,包括数控机床使用与维护、数控加工工艺及编程等内容。通过本书的学习,学生应能获得数控技术的基本知识和数控技术应用的基本技能,为其职业生涯的

发展提供动力。

本书由胡运林副教授担任主编；孙广齐、梁钱华、曹金龙、杨玻、文玲媛参与编写；李晓青、曹敏、黄文彬三位企业行业专家参与了本书的编写，并对全书的编写提供指导和帮助。本书由四川省教学名师袁晓东担任主审。

本书在编写时参阅了国内外同行教材、资料与文献，在此谨致谢意。

由于编者的水平有限，书中不足之处恳请专家、同仁和广大读者批评指正。

编 者

2012 年 5 月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
数控机床操作与维修基础(本科教材)	宋晓梅	29.00
自动控制系统(第2版)(本科教材)	刘建昌	15.00
材料科学基础教程(本科教材)	王亚男	33.00
轧钢厂设计原理(本科教材)	阳 辉	46.00
流体力学及输配管网学习指导(本科教材)	马庆元	22.00
可编程序控制器及常用控制电器(第2版)(高等学校)	何友华	30.00
自动控制原理(第4版)(高等学校)	王建辉	32.00
自动控制原理习题详解(高等学校)	王建辉	18.00
金属材料工程实习实训教程(高等学校)	范培耕	33.00
金属压力加工原理及工艺实验教程(高等学校)	魏立群	26.00
机械设计基础(高等学校)	王健民	40.00
计算机控制系统(高等学校)	张国范	29.00
冶金设备及自动化(高等学校)	王立萍	29.00
电机及拖动基础学习指导(高等学校)	杨玉杰	15.00
冶金设备及自动化(高等学校)	王立萍	29.00
机械电子工程实验教程(高等学校)	宋伟刚	29.00
通用机械设备(第2版)(高职高专)	张庭祥	26.00
金属热处理生产技术(高职高专)	张文莉	35.00
工程材料及热处理(高职高专)	孙 刚	29.00
机械制造工艺与实施(高职高专)	胡运林	39.00
机械工程控制基础(高职高专)	刘玉山	23.00
机械设备维修基础(高职高专)	闫嘉琪	28.00
矿冶液压设备使用与维护(高职高专)	苑忠国	27.00
工程力学(高职高专)	战忠秋	28.00
采掘机械(高职高专)	苑忠国	38.00
轧钢车间机械设备(中职教材)	潘慧勤	32.00
现代控制理论(英文版)	井元伟	16.00
复杂系统的模糊变结构控制及其应用	米 阳	20.00
带式输送机实用技术	金丰民	59.00
冶金通用机械与冶炼设备	王庆春	45.00
机械基础知识	马保振	26.00
电气设备故障检测与维护	王国贞	28.00
真空镀膜设备	张以忱	26.00

目 录

模块 1 认识数控技术	1
1.1 数控技术与数控机床	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 数控机床的加工特点	2
1.1.3 数控机床的组成	3
1.1.4 数控机床的分类	3
1.2 数控机床的工作原理	8
1.3 先进数控制造系统	9
1.3.1 柔性制造系统	9
1.3.2 计算机集成制造系统	13
1.4 数控技术的发展状况	15
1.4.1 数控机床的发展历程	15
1.4.2 国内数控技术的研究情况	15
1.4.3 数控技术的发展趋势	16
思考与训练	17
模块 2 计算机数控 (CNC) 系统	19
2.1 CNC 系统及其组成	19
2.1.1 计算机数字控制系统的定义	19
2.1.2 计算机数控系统的组成	20
2.2 CNC 装置的主要功能	21
2.2.1 基本功能	21
2.2.2 选择功能	22
2.3 主要 CNC 系统产品简介	23
2.3.1 日本 FANUC 公司的 CNC 产品	23
2.3.2 德国 SIEMENS 公司的 CNC 产品	24
2.3.3 西班牙 FAGOR 公司的 CNC 产品	25
2.3.4 中国华中数控的 CNC 产品	25
2.4 CNC 装置的组成结构	26
2.4.1 CNC 装置的硬件结构	26
2.4.2 CNC 装置的软件结构	29
2.4.3 零件加工程序的处理过程	31

2.5 数控加工程序的输入及处理	32
2.5.1 输入装置	32
2.5.2 数控加工程序输入过程	33
2.6 数控加工程序的预处理	34
2.6.1 数控加工程序的译码	34
2.6.2 刀具补偿原理	34
2.6.3 进给速度处理	36
2.7 CNC 系统的插补运算	37
2.7.1 逐点比较法插补	37
2.7.2 数字积分法插补	42
2.7.3 数据采样插补	51
2.8 PLC 与辅助功能	54
2.8.1 PLC 在数控机床中的应用	55
2.8.2 M、S、T 功能的实现	56
思考与训练	56
模块3 伺服系统与位置检测装置	58
3.1 伺服系统概述	58
3.1.1 基本概念	58
3.1.2 数控机床对伺服系统的要求	58
3.1.3 进给伺服系统的分类	59
3.2 开环步进电动机驱动系统	59
3.2.1 步进电动机	59
3.2.2 步进电动机的控制	62
3.3 直流伺服驱动系统	64
3.3.1 直流伺服电动机	64
3.3.2 直流伺服驱动系统介绍	67
3.4 交流伺服驱动系统	69
3.4.1 交流伺服电动机	69
3.4.2 交流伺服驱动系统介绍	74
3.5 位置检测装置	78
3.5.1 概述	78
3.5.2 旋转变压器	78
3.5.3 感应同步器	81
3.5.4 旋转编码器	84
3.5.5 光栅	88
3.5.6 磁栅	91
思考与训练	94

模块4 数控机床的机械结构	96
4.1 概述	96
4.1.1 数控机床机械结构的组成	96
4.1.2 数控机床机械结构的特点	97
4.2 数控机床主传动系统	100
4.2.1 主传动系统要求	100
4.2.2 主轴传动方式	100
4.2.3 主轴准停装置	103
4.2.4 主轴刀具自动夹紧和铁屑清除装置	104
4.3 数控机床进给传动系统	105
4.3.1 进给传动系统要求	105
4.3.2 齿轮传动副	106
4.3.3 滚珠丝杠螺母副	108
4.3.4 双导程蜗杆蜗轮副	113
4.3.5 数控回转工作台和分度工作台	114
4.3.6 导轨	117
4.4 数控机床自动换刀装置	120
4.4.1 刀具选择方式	120
4.4.2 转塔式自动换刀装置	121
4.4.3 刀库与机械手换刀	125
思考与训练	129
模块5 数控机床的使用与维护	130
5.1 数控机床的选用	130
5.1.1 数控机床选用的原则	130
5.1.2 数控机床选用的基本要点	131
5.2 数控机床的安装、调试和验收	132
5.2.1 数控机床的安装与调试	132
5.2.2 数控机床的验收	135
5.3 数控机床的维护保养	147
5.3.1 数控机床使用中应注意的问题	147
5.3.2 数控系统的维护保养	148
5.3.3 数控机床机械部件的维护保养	150
5.3.4 数控机床的日常维护保养	152
5.4 数控机床故障诊断与排除	155
5.4.1 数控机床故障诊断概述	155
5.4.2 数控机床故障诊断技术	158
5.4.3 数控机床故障处理的原则与步骤	159

5.4.4 数控机床故障诊断的方法	161
5.4.5 数控机床常见故障的处理	164
思考与训练	169
模块6 数控加工工艺与编程	171
6.1 数控编程基础知识	171
6.1.1 数控编程的内容与步骤	171
6.1.2 数控编程的种类	172
6.1.3 数控机床坐标系	173
6.1.4 字与字功能	176
6.1.5 零件程序的格式	177
6.2 数控机床加工工艺设计	179
6.2.1 数控加工工艺设计准备	179
6.2.2 数控加工工艺设计过程	180
6.2.3 数控加工专用技术文件的编写	186
6.2.4 数控编程中的数值计算	187
6.3 数控车床编程	188
6.3.1 数控车床编程基础	189
6.3.2 基本编程方法	192
6.3.3 固定循环功能	196
6.3.4 螺纹切削	201
6.3.5 刀具补偿功能	204
6.3.6 综合实例	207
6.4 数控铣床及加工中心编程	212
6.4.1 数控铣床及加工中心编程基础	212
6.4.2 基本编程方法	216
6.4.3 刀具补偿功能	219
6.4.4 固定循环功能	222
6.4.5 子程序	227
6.4.6 图形变换功能	229
6.4.7 综合实例	230
6.5 自动编程简介	237
6.5.1 自动编程的基本概念	237
6.5.2 自动编程的工作过程	238
6.5.3 自动编程系统简介	239
6.5.4 国内外典型 CAD/CAM 软件介绍	240
思考与训练	242
参考文献	246

模块 1 认识数控技术

知识目标

- ◇ 掌握数控机床的组成及分类；
- ◇ 掌握数控系统的类型及特点；
- ◇ 熟悉数控机床的工作原理；
- ◇ 了解数控技术的发展状况和趋势。

技能目标

- ◇ 能解释数控机床的工作原理；
 - ◇ 能辨识数控机床的组成部分。
-

数控技术经过几十年的发展，已经广泛地应用于现代工业的诸多领域之中，成为制造业现代化的基础，是实现生产自动化的核心技术。它不仅能提高产品的质量，提高生产效率，降低成本，还能大大改善工人的劳动强度。本模块从数控机床的产生和发展谈起，主要讲述数控机床的组成、工作原理、特点及分类等内容。通过本模块学习，学生应对数控系统和数控机床有一个基本认识，为后续内容的学习打下基础。

1.1 数控技术与数控机床

1.1.1 基本概念

数字控制（Numerical Control，NC）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。数控系统是实现数字控制的装置。装备了数控系统的机床称为数控机床。

数控技术是采用数字控制的方法对机床运动及加工过程实现自动控制的技术。

计算机数控系统（Computer Numerical Control，CNC）是以计算机为核心的数控系统，是以计算机承担数控中的命令发生器和控制器功能的数控系统。它采用存储程序方式实现部分或全部基本数控功能，从而灵活地处理复杂信息，使数控系统的性能大大提高。早期的 NC 系统使用固定的逻辑单元操作程序，这些操作程序是内置的，程序编辑人员或者机床操作者不能在机床上修改程序，并且必须用穿孔纸带来输入程序信息，等同于术语“硬连接”，因而系统“柔性差”；而 CNC 系统则是借助计算机来操作程序，这些程序可用来处理逻辑操作，这就意味着可以在机床上修改程序，CNC 程序和逻辑操作作为软件指令存储在专用的计算机芯片上，而不是用电缆类的硬件连接方式来控制逻辑操作，等同于术语

“软连接”，这会使系统“柔性好”，可以根据加工对象的变化适时地调整程序。

数控机床是机械系统与数控系统结合得最为紧密、也是最为成功的装备之一，因此在研究和学习数控系统时，往往以数控机床作为载体。

1.1.2 数控机床的加工特点

数控机床较好地解决了复杂、精密、小批、多变零件的加工问题，是一种高效灵活的自动化机床。归纳起来，它具有以下优点：

(1) 适应性强。适应性即所谓的柔性，是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控机床上改变加工零件时，只需重新编制程序，输入新的程序后就能实现对新零件的加工，而不需改变机械部分和控制部分的硬件，且生产过程是自动完成的。这就为复杂结构零件的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的方便。适应性强是数控机床最突出的优点，也是数控机床得以生产和迅速发展的主要原因。

(2) 精度高，质量稳定。数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的，一般情况下工作过程不需要人工干预，这就消除了操作者人为产生的误差。数控机床除本身具有较高的精度、刚度和热稳定性外，还可以利用参数的修改进行精度校正和补偿，可获得比本身精度更高的加工精度。目前，数控机床的加工精度已达到 $\pm 0.005\text{mm}$ ，甚至更高；定位精度已达到 $\pm 0.002 \sim \pm 0.005\text{mm}$ 。数控机床尤其提高了同一批零件生产的一致性，产品合格率高，加工质量稳定。

(3) 生产效率高。零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床大，因此数控机床每一道工序都可选用最有利的切削用量。由于数控机床结构刚性好，因此允许进行大切削用量的强力切削，这就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程运动速度快，工件装夹时间短，刀具可自动更换，辅助时间比一般机床大为减少。数控机床更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床，节省了零件安装调整时间。数控机床加工质量稳定，一般只作首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验，因此节省了停机检验时间。在加工中心机床上加工时，一台机床实现了多道工序的连续加工，生产效率的提高更为显著。

(4) 能实现复杂的运动。普通机床难以实现或无法实现轨迹为三次以上的曲线或曲面的运动，如螺旋桨、汽轮机叶片之类的空间曲面；而数控机床则可实现几乎是任意轨迹的运动和加工任何形状的空间曲面，适于复杂异形零件的加工。

(5) 良好的经济效益。数控机床虽然设备昂贵，加工时分摊到每个零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画线工时，减少调整、加工和检验时间，节省直接生产费用。数控机床加工零件一般不需制作专用夹具，节省了工艺装备费用。数控机床加工精度稳定，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。因此使用数控机床可获得良好的经济效益。

(6) 有利于生产管理的现代化。数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息，特别是在数控机床上使用计算机控制，为计算机辅助设计、制造以及管理一体化奠定了基础。

1.1.3 数控机床的组成

数控机床一般由控制介质、数控系统、伺服系统和机床本体组成。图 1-1 实线所示为开环控制的数控机床框图。为了提高机床的加工精度，在系统中增加测量装置（图 1-1 中虚线部分），就形成了闭环控制的数控机床框图。在开环系统中，将控制机床工作台相对刀具运动的位移量、位移速度、位移方向、运动轨迹等参数，通过控制介质输入数控系统，数控系统根据参数指令进行计算，生成进给脉冲序列，然后经过伺服系统转换、放大并驱动电动机，最后控制工作台和刀具按要求移动。在闭环系统中，在向数控系统输入参数指令的同时，将监测装置发出的机床工作台实际位移量信号反馈给数控系统，并在其中和输入指令进行比较，若有差值，说明二者之间有误差，则数控系统控制机床向着消除误差的方向运动。

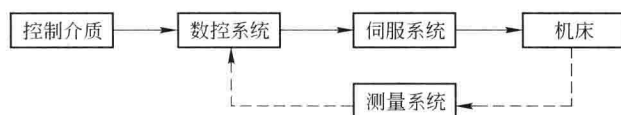


图 1-1 数控机床的组成

(1) 控制介质。控制介质是将编程人员的操作意图传达给数控机床的一种中间介质。它上面包含了需要数控加工的零件的所有加工信息，且这些信息又是以数控系统能够识别的代码形式来表示的。

(2) 数控系统。数控系统是数控机床的中枢，一般由输入装置、存储器、控制器、运算器和输出装置组成。数控装置接收由控制介质传来的加工信息，对数控代码加以识别、运算和处理，输出相应指令脉冲序列以驱动伺服系统，进而控制机床运动。在 CNC 系统中，数控系统一般由一台专用或通用计算机、输出接口以及机床控制器等部分组成。其中机床控制器由 PLC 组成，主要用来实现机床的辅助动作，如主轴转速、辅助功能和换刀等。

(3) 伺服系统。伺服系统主要完成机床的运动及运动控制（包括进给运动、主轴运动、位置控制等），它由伺服驱动电路和伺服驱动电动机组成，并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。它接收来自数控系统的位置控制信息，并将其转换成相应坐标轴的进给运动和精确的定位运动，驱动机床执行机构运动。由于是数控机床的最后控制环节，它的性能将直接影响数控机床的生产效率、加工精度和表面加工质量。

(4) 机床本体。机床本体是数控机床的主体，是实现制造加工的执行部件。它由主运动部件、进给运动部件（工作台、托板以及相应的传动机构）、支承件（立柱、床身等）以及特殊装置（刀具自动交换系统、工件自动交换系统）和辅助装置（如冷却、排屑、润滑、照明装置等）组成。

1.1.4 数控机床的分类

数控机床的种类很多，从不同角度对其进行考查，就有不同的分类方法。

1.1.4.1 按工艺用途分类

按工艺用途分,数控机床可分为切削加工类、成型加工类、特种加工类和其他类型。

(1) 切削加工类:采用车、铣、镗、铰、钻、磨及刨等各种切削工艺的数控机床,包括数控车床、数控钻床、数控刨床、数控铣床、数控磨床、数控镗床、加工中心、数控齿轮加工机床等。切削类数控机床发展最早,目前种类繁多,功能差异也较大。图1-2为数控车床外观图。数控车床主要加工回转体零件,如轴、盘套类零件。这里需要特别强调的是加工中心。加工中心也称为可自动换刀的数控机床,这类数控机床都带有一个刀库和自动换刀系统,刀库一般可容纳16~100把刀具。图1-3和图1-4所示分别是立式加工中心和卧式加工中心的外观。立式加工中心装夹工件方便,便于找正,易于观察加工情况,调试程序简便,但受立柱高度的限制,不能加工过高的零件,常常用于加工高度方向尺寸相对较小的模具零件,一般情况下,除底部不能加工外,其余5个面都可以用不同的刀具进行轮廓和表面加工。卧式加工中心适宜加工有多个加工面的大型零件或高度尺寸较大的零件。

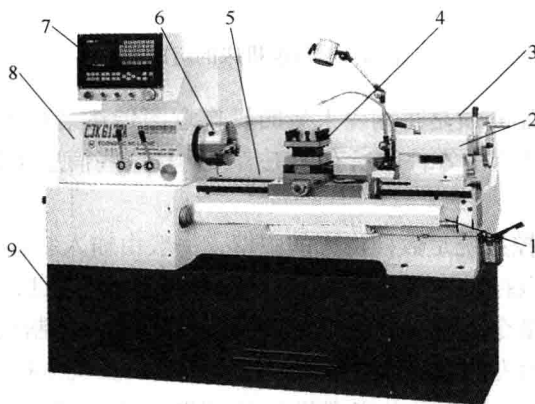


图1-2 数控车床

1—滚珠丝杠; 2—尾座; 3—护罩; 4—四方回转刀台; 5—导轨;
6—主轴; 7—操作面板; 8—主轴箱; 9—床身



图1-3 立式加工中心

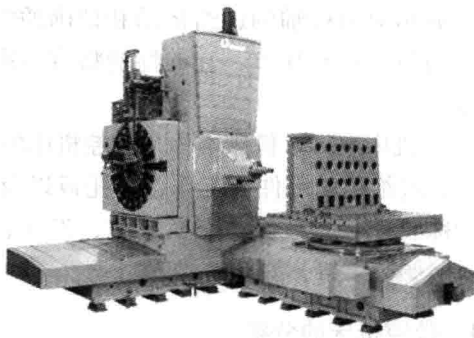


图1-4 卧式加工中心

- (2) 成型加工类：有数控折弯机、数控弯管机等。
- (3) 特种加工类：有数控线切割机、电火花加工机、激光加工机等。
- (4) 其他类型：数控装配机、数控测量机、机器人等。

1.1.4.2 按控制功能分类

按控制功能分，数控机床可分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床。

(1) 点位控制数控机床。点位控制数控机床仅能实现刀具相对于工件从一点到另一点的精确定位运动，对轨迹不作控制要求，运动过程中不进行任何加工。

图 1-5 为点位控制数控机床的加工示意图。为了实现既快又准的定位，常采用先快速移动，然后慢速趋近定位点的方法来保证定位精度。具有点位控制功能的数控机床有数控钻床、数控冲床、数控镗床及数控点焊机等。

(2) 直线控制数控机床。直线控制数控机床的特点是除了控制点与点之间的准确定位外，还要保证两点之间移动的轨迹是一条与机床坐标轴平行的直线，而且对移动的速度也要进行控制，因为这类数控机床在两点之间移动时要进行切削加工，如图 1-6 所示。具有直线控制功能的数控机床有比较简单的数控车床、数控铣床及数控磨床等。单纯用于直线控制的数控机床目前已不多见。

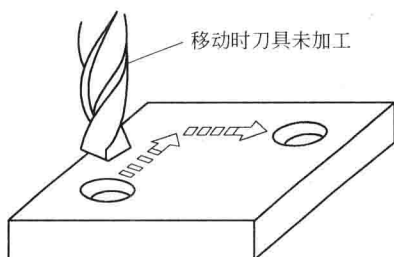


图 1-5 点位控制数控机床加工示意图



图 1-6 直线控制数控机床加工示意图

(3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制（连续控制）机床具有控制几个进给轴同时协调运动（坐标联动），使工件相对于刀具按程序规定的轨迹和速度运动，并在运动过程中进行连续切削加工的数控机床。

数控车床、数控铣床、加工中心等用于加工曲线和曲面的机床均为轮廓控制数控机床。图 1-7 为轮廓控制数控机床的加工示意图。现代的数控机床基本上都是装备的轮廓控制数控系统。



1.1.4.3 按联动轴数分类

数控系统控制几个坐标轴按需要的函数关系同时协调运动，称为坐标联动。联动轴数越多，数控系统的控制算法就越复杂。

按照联动轴数，数控机床可以分为两轴联动数控

图 1-7 轮廓控制数控机床加工示意图

机床、两轴半联动数控机床、三轴联动数控机床、多坐标联动数控机床。

(1) 两轴联动数控机床。两轴联动数控机床能同时控制两个坐标轴联动, 适于数控车床加工旋转曲面或数控铣床切削平面轮廓。

(2) 两轴半联动数控机床。两轴半联动是在两轴联动的基础上增加了 Z 轴的移动, 当机床坐标系的 X 、 Y 轴固定时, Z 轴可以作周期性进给。两轴半联动加工可以实现分层加工, 如图 1-8 所示。

(3) 三轴联动数控机床。三轴联动数控机床能同时控制 3 个坐标轴的联动, 用于一般曲面的加工。一般的型腔模具均可以用三轴联动数控机床加工完成, 如图 1-9 所示。

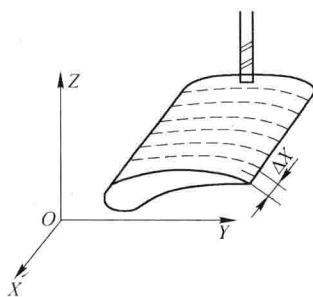


图 1-8 两轴半联动

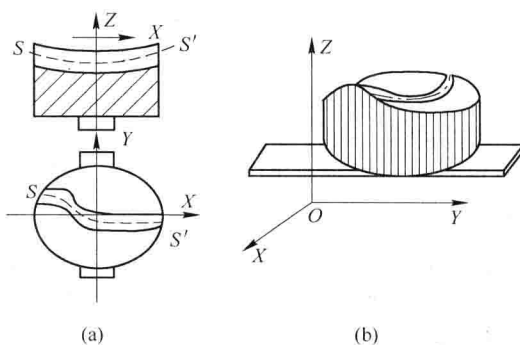
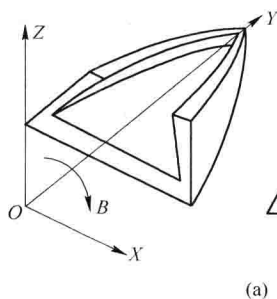
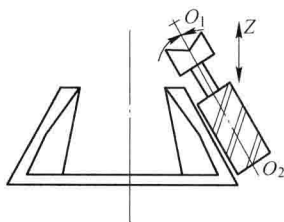


图 1-9 三轴联动

(4) 多坐标联动数控机床。多坐标联动数控机床能同时控制 4 个以上坐标轴的联动。多坐标联动数控机床的结构复杂、精度要求高、程序编制复杂, 适于加工形状复杂的零件, 如叶轮叶片类零件。图 1-10(a) 为需使用四轴联动数控机床进行加工的工件, 图 1-10(b) 为需使用五轴联动数控机床进行加工的工件。



(a)



(b)

图 1-10 多轴联动

(a) 四轴联动; (b) 五轴联动

1.1.4.4 按进给伺服系统的类型分类

按数控系统的进给伺服子系统有无位置测量装置可分为开环数控系统和闭环数控系

统，在闭环数控系统中根据位置测量装置安装的位置又可分为全闭环和半闭环两种。按进给伺服系统有无位置测量装置，数控机床可分为开环数控机床、半闭环数控机床和闭环数控机床。

下面对开环数控系统、半闭环数控系统和闭环数控系统进行介绍。

(1) 开环数控系统。如图 1-11 所示的开环控制系统，没有位置测量装置，信号流是单向的（数控装置→进给系统），故系统稳定性好。无位置反馈，精度相对闭环系统来讲不高，其精度主要取决于伺服驱动系统和机械传动机构的性能和精度。开环控制系统一般以功率步进电动机作为伺服驱动元件。

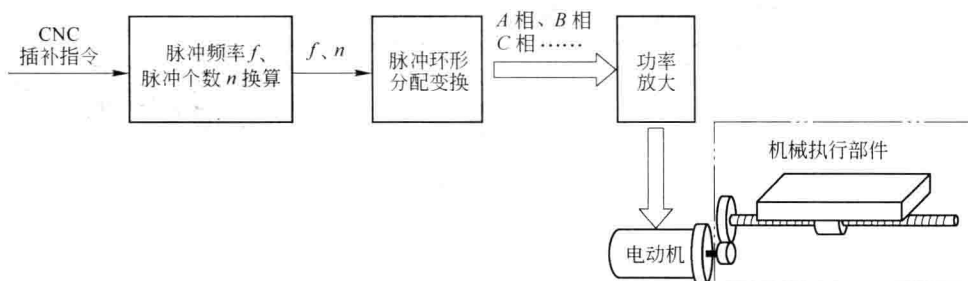


图 1-11 开环控制系统

这类系统具有结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、价格低廉等优点，在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合得到广泛应用，一般用于经济型数控机床。

(2) 半闭环数控系统。半闭环数控系统的位置采样点如图 1-12 所示，是从驱动装置（常用伺服电动机）或丝杠引出，采样旋转角度进行检测，而不是直接检测运动部件的实际位置。

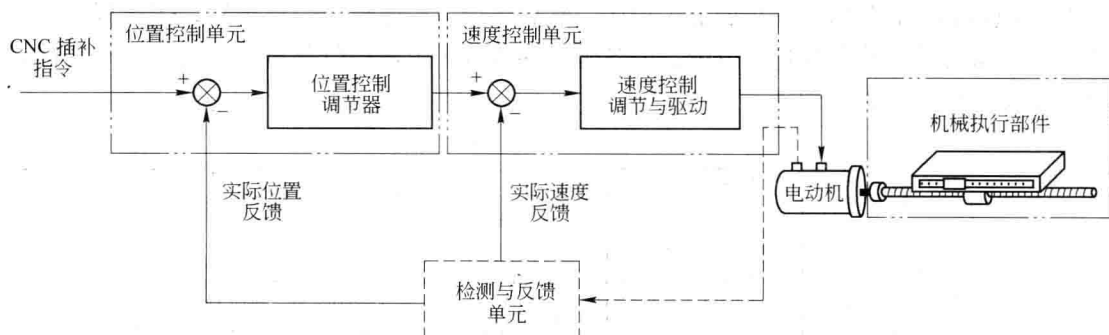


图 1-12 半闭环控制系统

半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节，因此可获得稳定的控制性能，其系统的稳定性虽不如开环系统，但比闭环的要好。

由于丝杠的螺距误差和齿轮间隙引起的运动误差难以消除，因此，半闭环系统的精度较闭环的差，但较开环的好。由于可对这类误差进行补偿，因而仍可获得满意的