



全国高职高专教育“十二五”规划教材

数控加工编程与操作

主编 吕宜忠



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

许光彬

• 南京 •

内 容 简 介

本书以数控加工编程与操作技能为主导,从实际应用出发,较详细地介绍了采用 FANUC 数控系统的数控机床的编程方法与加工操作。全书主要内容包括数控编程与加工技术基础、数控车床编程与加工、数控铣床与加工中心编程与操作。

本书可作为高职高专机械类和近机械类专业数控加工编程与操作的教材,也可供高等工科院校、成人教育、电大等同类专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工编程与操作 / 吕宜忠主编. —南京: 东南大学出版社, 2015. 3
ISBN 978-7-5641-5120-1

I. ①数… II. ①吕… III. ①数控机床—程序设计—
高等职业教育—教材②数控机床—操作—高等职业教育—
教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 181666 号

数控加工编程与操作

出版发行: 东南大学出版社

社 址: 南京四牌楼 2 号 邮编: 210096

出 版 人: 江建中

网 址: <http://www.seupress.com>

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 南京玉河印刷厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 21.5

字 数: 510 千字

版 次: 2015 年 3 月第 1 版

印 次: 2015 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 1—3000 册

书 号: ISBN 978-7-5641-5120-1

定 价: 39.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话(传真): 025—83791830

前言

PREFACE

“数控加工编程与操作”是一门集理论性、实践性、灵活性、综合性于一体的专业课程。通过本课程的学习,能使學生掌握典型零件的数控加工工艺、编程方法,熟悉数控车床、数控铣床、加工中心等数控机床的操作,理解典型零件的一般加工工艺、加工方法与过程,增强學生的动手操作能力,提高學生对典型零件的工艺分析能力。结合实训更能培养学生的创新意识和吃苦耐劳精神,培养和锻炼學生的工程师素质,为培养高素质技能型专门人才打下良好的理论与实践基础。

本书是根据“教育部 2006 年 16 号文”的文件精神,本着“突出技能、重在实用、淡化理论、够用为度”的指导思想,结合本课程的具体情况和教学实践而编写的。本书将传统的“数控加工工艺与编程”和“数控加工实训”等课程的主要内容进行有机整合,形成新的课程体系。本书在编写过程中,注重理论与实践相结合,突出能力培养,强化实践教学,可培养学生的实操技能,提高學生的理论水平。

本书注重培养学生理论联系实际的意识,发挥學生的潜力,提高學生的创新意识。本书贯彻工学结合的原则,以 FANUC 数控系统为基础,结合实际产品加工的典型实例,较全面地论述了数控加工的工艺与编程基础,数控车床、数控铣床、加工中心的程序编制、机床操作与零件加工的相关内容。所有实例的数控加工程序都附有详细、清晰的注释说明。各课题后均设有习题,便于學生更好地掌握所学内容。

本书的主要特点:一是根据高等职业教育的培养目标和教育特点,将数控加工必需的数控加工工艺规程的制定、数控编程、数控机床操作、典型零件加工有机地联系在一起,培养学生合理而规范地编制零件数控加工程序的能力、典型零件的加工能力;二是选材注重实用性和代表性,尤其是典型零件的编程实例,一部分是从相应工种的中级操作工和高级操作工试题库中选材,一部分是从生产实践中选材,全面介绍了典型零件从分析零件图到编制数控加工程序、机床操作、零件加工的全部过程,更突出了数控加工工艺的分析。

全书以工艺、编程、操作、加工为主线,分别介绍数控车床、数控铣床、加工中心等数控机床的数控加工工艺、数控加工程序编制、数控机床操作和典型零件加工,所有零件加工程序都附有简洁、准确的注释说明。

本书在体系上力求新颖,文字力求准确,选图力求简练;在内容的取舍与深度的把握上,注重重点突出,理论联系实际,并注重对学生在程序编程与零件加工两方面的培养。

本书由潍坊工商职业学院吕宜忠担任主编,潍坊工商职业学院宋英超、高思娟、阜阳职业技术学院许光彬、江苏信息职业技术学院尤东升担任副主编。吕宜忠编写模块一,宋英超编写模块二,许光彬编写模块三的第一、二、三课题,尤东升编写模块三的第四、五、六课题,高思娟编写模块三的第七、八课题。全书由吕宜忠统稿。

本书在编写过程中得到了潍坊工商职业学院实训中心张彦江、池瑞亮两位老师和数控加工技能小组同学的大力帮助,他们验证了全部数控加工程序;同时,本书在编写过程中也得到了诸城威仕达机械有限公司、北汽福田诸城车辆厂的大力支持。在此,对所有帮助过本书编写的人员及本书参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限,书中难免有不足之处,敬请广大读者提出宝贵意见与建议。

编者
2014. 10

目 录

CONTENTS

模块一 数控编程与加工技术基础	1
课题一 概 述	1
一、数控机床的工作原理	2
二、数控机床的组成	2
三、数控机床的分类	5
四、数控加工的特点	9
五、数控加工的应用范围	10
思考与练习	11
课题二 数控加工编程基础	11
一、数控机床的坐标系	11
二、数控加工工艺	16
三、数控编程的方法	18
四、数控编程的步骤及其主要内容	19
五、数控编程方式的选择	20
六、数控加工程序的结构与格式	22
七、典型的数控系统	23
思考与练习	24
模块二 数控车床编程与加工	25
课题一 数控车削基础知识	25
一、数控车床的分类	25
二、数控车床的组成	26
三、数控车床的主要应用	27
四、数控车削加工路线的确定	28
五、数控车削加工顺序的确定	29
六、数控车床刀具的类型及其选用	30
七、工件的装夹与找正	34
八、对刀点、换刀点及刀位点的确定	35
九、数控车床切削用量的确定	37

思考与练习	40
课题二 数控车床基本操作	40
一、面板功能	40
二、手动操作	45
三、程序输入与编辑	46
四、MDI(MDA)操作	47
五、对刀	48
六、自动加工方式	50
思考与练习	51
课题三 轴类零件编程与加工	51
一、简单阶梯轴零件加工	52
二、外圆锥面加工	65
三、复合固定循环指令	78
四、槽加工	84
五、子程序功能及应用	94
思考与练习	104
课题四 套类零件编程与加工	107
思考与练习	131
课题五 成形面类零件编程与加工	131
一、凸圆弧面、凹圆弧面零件加工	131
二、内圆弧面零件加工	141
思考与练习	152
课题六 螺纹类零件编程与加工	155
思考与练习	172
模块三 数控铣床与加工中心编程与操作	174
课题一 数控铣削基础知识	174
一、数控铣床和加工中心的分类、组成及结构特点	175
二、数控铣床和加工中心的加工对象及技术参数	178
三、数控铣削方式的确定	181
四、数控铣削刀具的类型及其选用	185
五、数控铣削夹具及工件装夹	201
六、数控铣削的切削用量选择	204
思考与练习	206

课题二 数控铣床基本操作	207
一、手动操作	207
二、程序的输入与编辑	209
三、MDI(MDA)操作及对刀	211
四、程序运行控制	220
思考与练习	222
课题三 平面图形的编程与加工	223
一、平面加工	223
二、直线图形编程	234
三、圆弧图形编程	241
思考与练习	252
课题四 平面外轮廓零件的编程与加工	254
思考与练习	266
课题五 平面型腔零件的编程与加工	271
思考与练习	279
课题六 多个相似轮廓件的综合铣削加工	280
一、子程序	280
二、极坐标指令	282
三、坐标系旋转指令	284
四、可编程镜像指令	285
五、比例缩放功能	287
思考与练习	289
课题七 孔系零件编程与加工	289
一、钻孔	289
二、镗孔	300
三、攻螺纹	304
思考与练习	314
课题八 加工中心基本操作与编程	314
一、自动换刀装置	314
二、自动换刀过程	316
三、刀具长度补偿的确定	318
四、刀具识别方法	319
五、加工中心编程	320
六、FANUC 系统通信	321
思考与练习	334

模块一 数控编程与加工技术基础

课题一 概述

学习目标

1. 了解数控技术、数控加工、数控机床等相关概念。
2. 掌握数控机床的工作原理。
3. 熟悉数控机床的组成、分类、特点及应用。

知识学习

数控即数字控制(Numerical Control),是指用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的自动化方法,是由机床数控装置或系统实现的。

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,是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础技术。将计算机通过特定处理方式下的数字信息(不连续变化的数字量),用于机床自动控制的技术通称为计算机数控(Computer Numerical Control,CNC)技术。

数控系统(Numerical Control System)即程序控制系统,是指采用数字控制技术的控制系统。数控系统一般控制位移、角度、速度等机械量,也可控制温度、压力、流量、颜色等物理量。计算机数控系统是以计算机为核心的数控系统,简称 CNC 系统。

数控机床是数控技术与机床相结合的产物,是一种通过数字信息控制机床按给定的运动规律进行自动加工的机电一体化新型加工装备。国际信息处理联盟(IFIP)第五技术委员会对数控机床定义如下:数控机床是一个装有程序控制的机床,该系统能够逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。该定义中所说的程序控制系统即数控系统。目前,人们提及数控车床一般指 CNC 机床。

数控加工是指在数控机床上进行零件加工的一种工艺方法,其实质就是根据零件图样及工艺要求等原始条件,编制零件数控加工程序,并输入到数控机床的数控系统,以控制数控机床中刀具与工件的相对运动,从而完成对零件的加工。

一、数控机床的工作原理

数控机床的工作原理如图 1-1 所示。首先根据被加工零件的图样,将工件的形状、尺寸及技术要求等,按运动顺序、所用数控机床规定的指令代码及程序格式编写成加工程序。加工程序经输入装置读出信息并送入数控装置。数控装置按照数码指令进行一系列处理和运算,变成脉冲信号。有的脉冲信号被送到机床的伺服系统,经传动机构驱动机床本体,从而完成零件的加工;有的脉冲信号被送到可编程序控制器中,按顺序控制机床的其他辅助动作,如工件夹紧与松开、刀具的自动更换、各轴的进给等,加工出图样要求的零件。

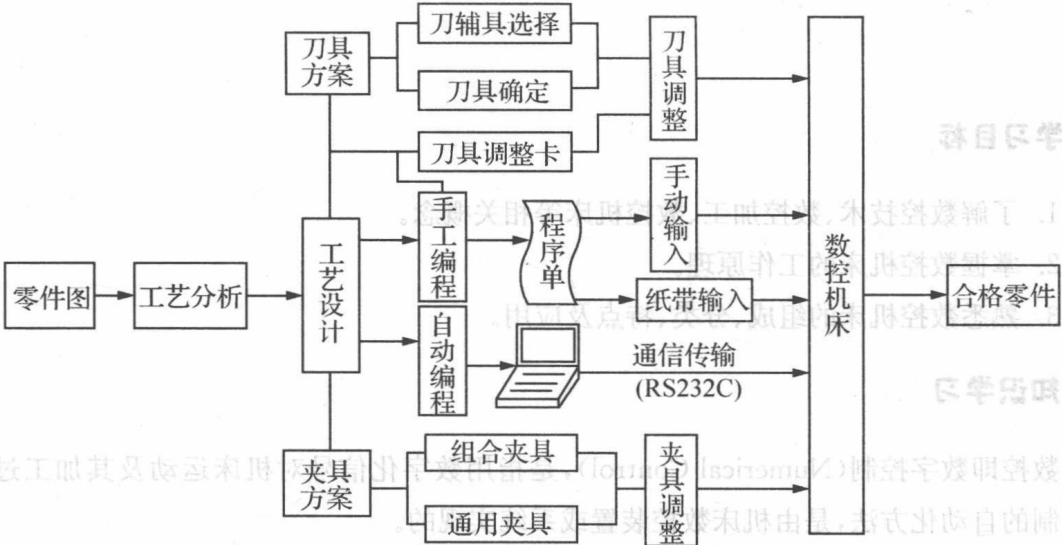


图 1-1 数控机床的工作原理

二、数控机床的组成

数控机床一般由输入/输出装置、计算机数控装置、伺服驱动装置、检测反馈装置、辅助控制装置和机床本体组成,其中除机床本体之外的部分称为计算机数控(CNC)系统,如图 1-2所示。

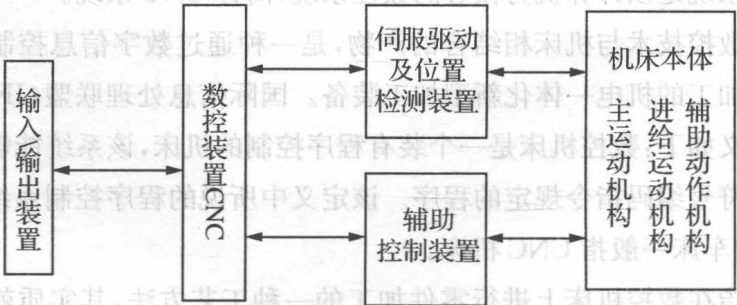


图 1-2 数控机床的组成框图

1. 输入/输出装置

输入/输出装置是操作人员与机床数控系统进行信息交流的载体,其主要功能有编制程序、存储程序、输入程序和数据、打印和显示等。零件加工程序、机床参数及刀具补偿等数据可以直接由操作人员手动输入到数控装置,即通过机床上的 CRT 显示器及键盘手动输入;也可以利用 CAD/CAM 软件在计算机上编程,然后通过计算机用通信方式将程序传送到数控装置。后者还是实现 CAD/CAM 集成、FMS 和 CIMS 的基本技术。目前数控机床常采用的通信方式有:串行通信(RS232、RS422、RS485 等);自动控制专用接口和规范,如 DNC (Direct Numerical Control)方式,MAP(Maunfacturing Automation Protocol)协议等;网络通信(Internet、Intranet、LAN)等。数控装置通过 CRT、LED、LCD、TFT 显示器以及各种信号灯、报警器等将信息输出。

2. 计算机数控装置

计算机数控装置是计算机数控系统的核心,其组成框图如图 1-3 所示。数控装置通常由专用(或通用)计算机、输入/输出接口板及机床控制器等组成。输入设备传送的数控加工程序和操作指令,经计算机数控装置系统进行相应的处理(如运动轨迹处理、机床输入输出处理等),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),控制其动作,加工出所需要的零件。所有这些工作都是由 CNC 装置内的系统程序进行合理的组织,在 CNC 装置硬件的协调配合下,有条不紊地进行的。

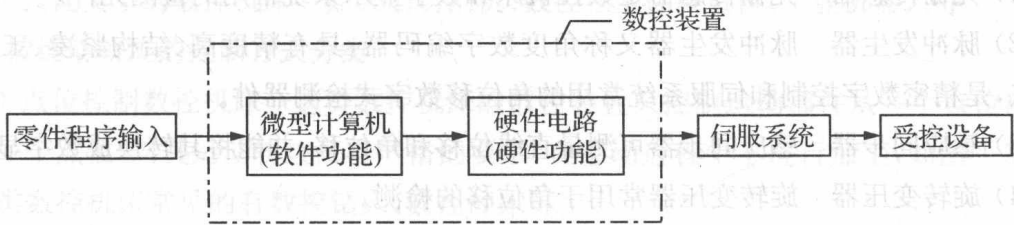


图 1-3 计算机数控装置组成框图

3. 伺服驱动装置

伺服系统是数控设备的重要组成部分,是数控装置和受控设备的联系环节,其结构框图如图 1-4 所示。伺服驱动装置包括主轴伺服驱动装置和进给伺服驱动装置两部分。伺服驱动装置将位置指令和速度指令转化为机床运动部件的运动。数控装置发出的控制信息经伺服系统中的控制电路、功率放大电路和伺服电机驱动受控设备工作,并可对其位置、速度等进行控制。

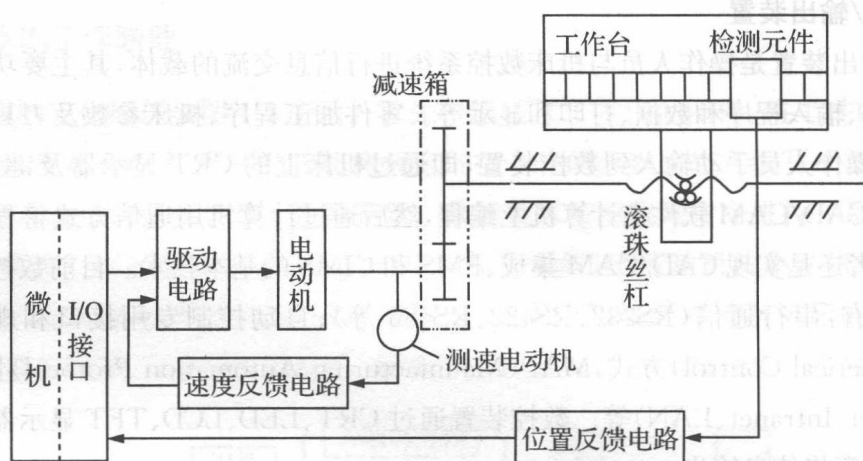


图 1-4 伺服系统结构框图

4. 检测反馈装置

检测反馈装置是闭环和半闭环控制系统中的重要环节,其作用是通过传感器将伺服电动机角位移和数控机床执行机构的直线位移,转换成电信号输送给数控装置,与脉冲信号进行比较,由数控装置纠正误差,控制驱动执行元件准确运转。位置检测装置与伺服驱动装置配套可组成半闭环和闭环伺服驱动系统。

常用的位置检测元件有:

- (1) 光栅传感器 光栅传感器是数控机床和数字显示系统常用的检测元件。
- (2) 脉冲发生器 脉冲发生器又称角度数字编码器,具有精度高、结构紧凑、工作可靠等优点,是精密数字控制和伺服系统常用的角位移数字式检测器件。
- (3) 感应同步器 感应同步器可测量直线位移和角位移,并能将其转换成数字显示。
- (4) 旋转变压器 旋转变压器常用于角位移的检测。
- (5) 磁栅 磁栅是测量直线位移的一种数字式传感器。

常见检测元件的分类见表 1-1。

表 1-1 常见检测元件

	数字式(D)		模拟式(A)	
	数字式	绝对式	增量式	绝对式
回转型	圆光栅	编码盘	旋转变压器圆形磁栅	多级旋转变压器
直线型	长光栅激光干涉仪	编码尺	直线感应同步器磁栅,容栅	绝对值式磁尺

5. 辅助控制装置

辅助控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制装置,通过可编程序控制器(Programmable Logic Controller, PLC)来实现。PLC 和数控装置配合共同完成数控机床的控制。

6. 机床本体

机床本体是数控机床的主体,是用于完成各种切削加工的机械部分。数控机床的机械部件包括:主运动部件、进给运动部件(机床工作台、滑板以及相应的传动机构)、支承件(立柱、床身等)、特殊装置(刀具自动交换装置、工件自动交换装置)和辅助装置(如冷却、润滑、排屑、转位和夹紧装置等)组成。数控机床机械部件的组成与普通机床相似,但传动结构要求更为简单,在精度、刚度、摩擦、抗振性等方面要求更高,而且传动和变速系统要便于实现自动化控制。

三、数控机床的分类

数控设备五花八门,品种繁多,现已多达 500 多种,通常可从以下不同角度进行分类:

1. 按工艺用途分类

- (1) 金属切削类数控机床 如数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、加工中心等。
- (2) 金属成形类数控机床 如数控折弯机、数控弯管机、数控组合冲床、数控回转头压力机等。
- (3) 数控特种加工机床 如数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控激光切割机等。
- (4) 其他类型的数控机床 如火焰切割机、数控三坐标测量机、工业机器人等。

2. 按运动轨迹的控制方式分类

- (1) 点位控制数控机床 这类数控机床的数控装置只控制运动部件从一个点位准确移动到另一个点位,对其运动轨迹没有严格的要求,在移动过程中不进行加工,如图 1-5(a)所示。这类数控机床常见的有数控钻床、数控冲床等。
- (2) 直线控制数控机床 这类数控机床不仅要控制运动部件从一点到另一点的准确定位,还要控制移动速度和运动轨迹,保证两点之间的轨迹为一条直线。刀具相对于工件移动时进行切削加工,其轨迹是平行机床各坐标轴的直线,如图 1-5(b)所示。这类机床常见的有数控车床、数控磨床、数控镗铣床等。
- (3) 轮廓控制数控机床 轮廓控制也称连续控制。通过相应的插补运算,按一定的关系向坐标轴控制器分配脉冲,从而控制各坐标轴联动,进行各种斜线、圆弧、曲线的加工,实现连续控制。它可对两个以上机床坐标轴的移动速度和运动轨迹同时进行连续相关的控制,不仅要控制每个坐标的行程位置,还要控制每个坐标的运动速度,这样相互配合形成所需的斜线、曲线、曲面,如图 1-5(c)所示。

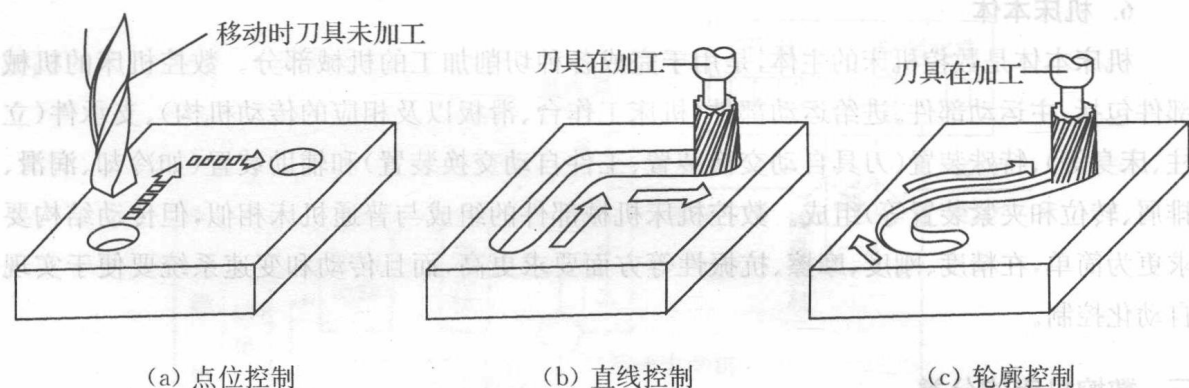


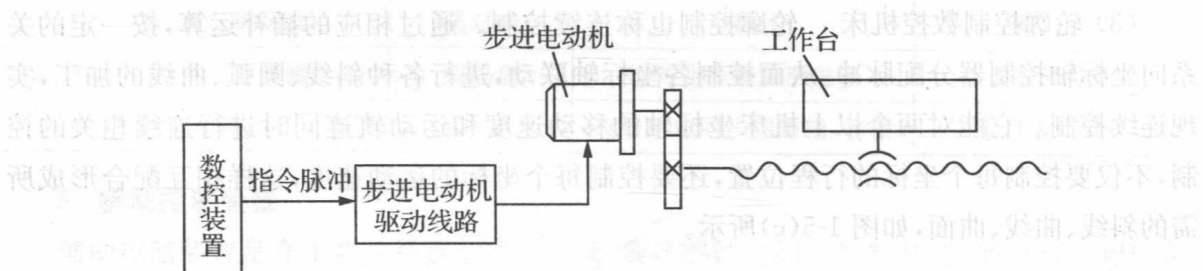
图 1-5 控制运动的方式

3. 按伺服驱动系统的类型分类

(1) 开环控制数控机床 该类机床构造简单,没有位置、速度等检测装置和反馈装置。CNC 装置发出的指令信号经驱动电路进行功率放大后,通过步进电动机带动机床工作台移动,指令信号单方向传送,不反馈回来,如图 1-6(a)所示。机床工作台的位移量、速度和运动方向取决于进给脉冲的个数、频率和通电方式。开环控制的特点是结构简单、调试方便、容易维修、成本较低,但控制精度不高。

(2) 闭环控制数控机床 该类机床带有位置、速度等检测装置,直接对执行件的实际位移量进行检测,可将执行件的位移反馈,并与指令值比较,用比较差值进行控制,直至差值消除为止,如图 1-6(b)所示。这类数控系统采用直线位移检测装置,该装置安装在机床运动部件或工作台上,将检测到的实际位移反馈到 CNC 装置的比较器中,与程序指令值进行比较,用差值进行控制,直到差值为零。

(3) 半闭环控制数控机床 该类机床不直接检测执行件的位移值,而是检测与伺服驱动电动机相联系的传动件的角位移作为反馈值,检测元件之后的传动件不在反馈环路之内,因此传动系统的传动误差仍会影响机床的加工精度,如图 1-6(c)所示。半闭环控制系统采用角位移检测装置,该装置直接安装在伺服电动机轴或滚珠丝杠端部,用来检测伺服电动机或丝杠的转角,推算出工作台的实际位移量,反馈到 CNC 装置的比较器中,与程序指令值进行比较,用差值进行控制,直到差值为零。



(a) 开环控制系统框图

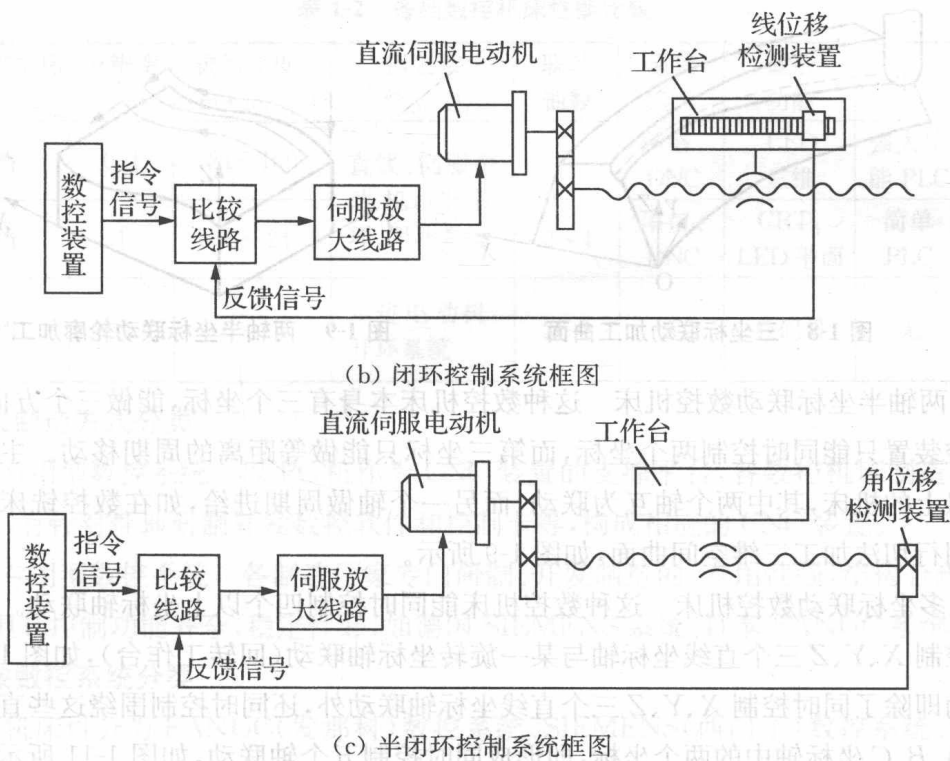


图 1-6 伺服系统类型

4. 按可控制联动的坐标轴分类

所谓数控机床可控制联动的坐标轴,是指数控装置控制几个伺服电动机,同时驱动机床移动部件运动的坐标轴数目。

(1) 两坐标联动数控机床 两坐标联动数控机床是指能同时控制两个坐标轴联动的数控机床。可用于数控车床加工各种曲线轮廓的回转体类零件,或用于数控铣床加工曲线柱面,如图 1-7 所示。

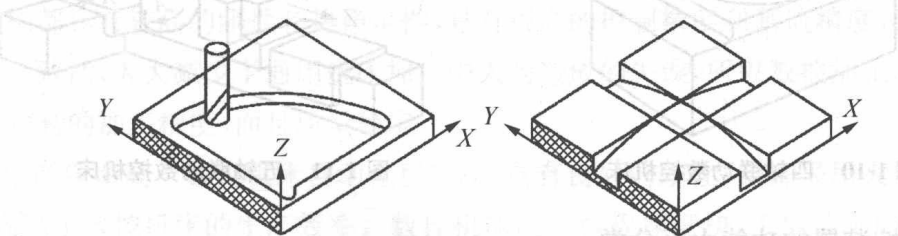


图 1-7 两坐标联动轮廓加工

(2) 三坐标联动数控机床 三坐标联动数控机床可同时控制三个坐标轴联动。一般分为两类,一类就是 X、Y、Z 三个直线坐标轴联动,如可用于数控铣床、加工中心等加工曲面零件,如图 1-8 所示。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坐标轴。

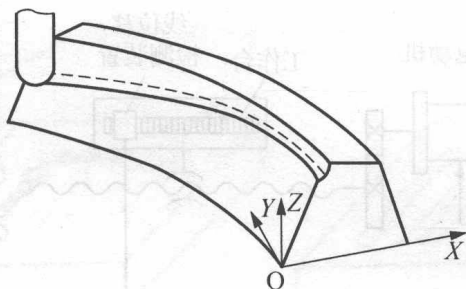


图 1-8 三坐标联动加工曲面

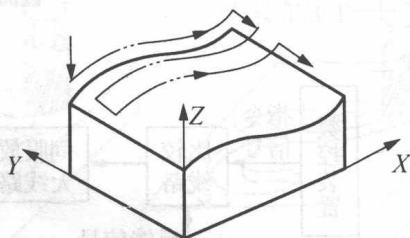


图 1-9 两轴半坐标联动轮廓加工

(3) 两轴半坐标联动数控机床 这种数控机床本身有三个坐标,能做三个方向的运动,但其数控装置只能同时控制两个坐标,而第三坐标只能做等距离的周期移动。主要用于控制三轴以上的机床,其中两个轴互为联动,而另一个轴做周期进给,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,如图 1-9 所示。

(4) 多坐标联动数控机床 这种数控机床能同时控制四个以上坐标轴联动。四轴联动即同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴与某一旋转坐标轴联动(回转工作台),如图 1-10 所示。五轴联动即除了同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动外,还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的 A 、 B 、 C 坐标轴中的两个坐标,即形成同时控制五个轴联动,如图 1-11 所示。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,主要用于加工形状复杂的零件。

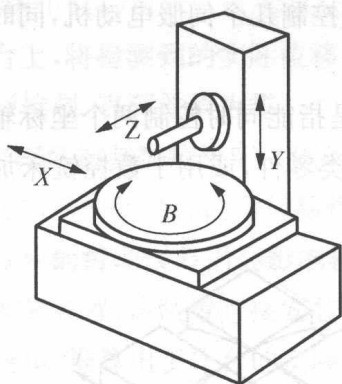


图 1-10 四轴联动数控机床

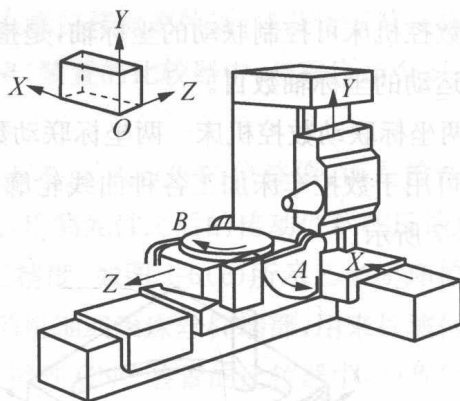


图 1-11 五轴联动数控机床

5. 按数控装置的功能水平分类

我国常按照数控设备的性能,如 CPU 性能、分辨率、进给速度、伺服性能、通信功能、控制轴数与联动轴数、数控系统软硬件功能等将数控机床分为高(高级型数控系统)、中(普及型数控系统)、低(经济型数控系统)档机床,见表 1-2。

表 1-2 各档数控机床性能比较

性能指标 档次	分辨率 / μm	进给速度/ ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	伺服系 统类型	联动 轴数	通信 能力	显示 功能	PLC	CPU
高 档	0.1	24~100	直线、伺服电 动机,半闭 环、闭环系统	5	网络、 DNC	LED 三维	强大功 能 PLC	32、 64 位
中 档	1	15~24		2~4	串口、 DNC	CRT、 LED 平面	简单 PLC	16、 32 位
低 档	10	8~15	步进电动机, 开环系统	2~3	无	数码管	无	8 位

6. 按制造方式分类

- (1) 通用型数控系统 以 PC 机作为 CNC 装置的支撑平台,各数控机床制造厂家根据用户需求,有针对性地研制开发数控软件和控制卡等,构成相应的 CNC 装置。
- (2) 专用型数控系统 各制造厂家专门研制、开发制造的,专用性强,结构合理,硬件通用性差,但其控制功能齐全,稳定性好,如德国 SIEMENS 系统、日本 FANUC 系统等。

7. 按数控系统分类

数控机床可分为 FANUC(发那科)数控系统、SIEMENS(西门子)数控系统、华中数控系统、广州数控系统、三菱数控系统等数控机床。

四、数控加工的特点

数控机床是实现柔性自动化的重要设备。与其他加工设备相比,数控机床具有以下特点。

1. 数控加工的优点

- (1) 加工精度高,质量稳定 数控机床由精密机床和计算机控制系统组成,其传动系统与机床结构都具有较高的刚性和热稳定性,具有很高的控制精度和制造精度,很容易保证零件尺寸的一致性,大大减少了通用机床加工中人为造成的失误,所以数控加工不但可以保证零件获得较高的加工精度,而且质量稳定。
- (2) 生产效率高 数控机床自动化程度高,具有良好的刚性,允许采用大切削用量的强力切削,提高了数控机床的生产效率。数控机床的空行程速度快,工件装夹时间短,且采用自动换刀,节省了辅助时间。数控机床能在一次装夹中实现多工序的连续加工,大大缩短了生产准备时间。
- (3) 生产柔性大 数控加工一般不需要复杂的工艺装备就可以通过编程把形状复杂和精度要求较高的零件加工出来。在更改设计时,只需改变加工程序,一般不需要重新设计制造工装,满足了当前产品更新快的市场竞争需要,特别适合于工件频繁更换或单件、中小批量的生产加工。
- (4) 能实现复杂的运动 数控机床可以完成复杂曲线和曲面的自动加工,如螺旋桨、汽轮机叶片等空间曲面,也可以完成普通机床上很难甚至无法完成的加工。