



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

GAOZHI GAOZHUAN JIXIE
XILIE JIAOCAI

高职高专机械系列教材

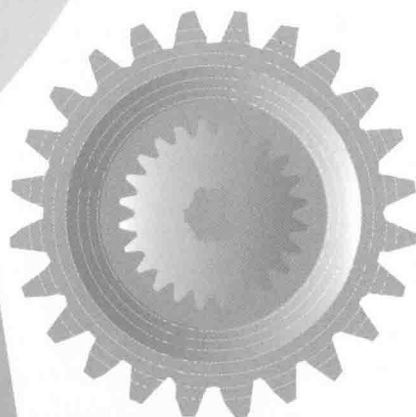
JIXIE

数控编程

(第2版)

Shukong Biancheng

◎主 编 曹 凤



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数 控 编 程

(第2版)

主 编 曹 凤

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书系普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据全国高职高专机械类系列教材“数控编程”课程教学大纲编写的。全书共8章,包括数控技术概述,数控加工与编程基础,数控加工的工艺设计和数值计算,数控车床加工的程序编制、数控铣床加工的程序编制、数控加工中心机床的程序编制,数控线切割机床加工的程序编制,计算机辅助数控加工编程。每章均附思考题与习题。

本书贯彻了高职高专教育“以技能型应用性人才培养为主,重在实践”的原则;取材适当、内容丰富、理论联系实际;书中配有大量编程实例及习题,图文并茂、直观易懂,便于学生学习;同时注意吸取本专业应用的最新成果,兼顾了数控加工编程技术的先进性和实用性。

本书可作为大专院校数控技术及应用、计算机辅助设计与制造、模具设计与制造、机电一体化、机械制造与自动化等相关专业的教材,也可作为机械工程类各专业电大、函大、夜大、职大生的教材,亦可作为从事数控编程、数控机床应用的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程/曹凤主编. —2版. —重庆:重庆大学出版社,
2008.6(2010.8重印)

(高职高专机械系列教材)

ISBN 978-7-5624-2455-0

I. 数… II. 曹… III. 数控机床—程序设计—高等学校:
技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第177359号

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数控编程

(第2版)

主 编 曹 凤

责任编辑:曾令维 穆安民 版式设计:曾令维

责任校对:文 鹏 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

自贡新华印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:381千

2004年8月第1版 2008年6月第2版 2010年8月第5次印刷

印数:12 501—15 500

ISBN 978-7-5624-2455-0 定价:25.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

第2版前言

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产品质量和劳动生产率必不可少的重要手段。随着中国经济的快速发展,制造业已成为国民经济的支柱产业。

制造业的发展和先进制造技术的广泛使用,导致数控应用型人才严重短缺。“高薪难聘高素质的数控技工”,成为全社会普遍关注的热点问题,已引起中央领导、教育部、劳动与社会保障部的高度重视。教育部周济部长在全国高等职业教育产学研结合第二次经验交流会上指出:“中国制造业在国际分工中已经争取到了比较有利的地位,正在从跨国公司的加工组装基地向世界制造业基地转变。我们希望中国尽快成为世界制造业的中心。要实现这样的愿望,除了需要政策环境和廉价劳动力等方面的支撑外,更需要大批高素质的专门人才,特别是大批具有较高素质的技能型应用性人才。高等职业教育负有不辞的责任,必须加快发展。”

《数控编程》是数控、模具等制造类相关专业教学的重要专业技术课程之一,教材编写中贯彻了高职高专教育“以技能型应用性人才培养为主,重在实践”的原则。本书取材适当、内容丰富、理论联系实际,书中配有大量编程实例及习题,图文并茂、直观易懂,便于学生学习,同时注意吸取本专业应用的最新成果,兼顾了数控加工编程技术的先进性和实用性。全书共8章:第1章数控技术概述,主要讲述数控技术及其加工编程的基本概念,数控机床的工作原理、分类、加工特点及其应用范围,数控技术的现状和发展趋势;第2章数控加工与编程基础,主要讲述插补的基本概念,数控编程的基本内容和方法,数控加工程序的格式、代码及坐标系,常用数控指令及其用法;第3章数控加工的工艺设计和数值计算,主要讲述数控加工方案的确定、工艺设计、刀夹具选择、切削用量的确定,数控编程中基点和节点的计算方法等内容;第4章数控车床加工的程序编制、第5章数控铣床加工的程序编制、第6章数控加工中心机床的程序编制,分别讲述数控车床、数控铣床、数控加工中心机

床的手工编程方法,重点介绍 FANUC 0i 数控系统和华中世纪星 H-21 数控系统的编程方法和编程实例;第 7 章数控线切割机床加工的程序编制,主要讲述数控线切割机床的手工编程方法;第 8 章计算机辅助数控加工编程主要讲述计算机辅助编程的基本原理、方法、现状和发展趋势,CAD/CAM 软件编程的基本步骤,重点介绍 CAXA 制造工程师和 MasterCAM 软件的功能、编程方法和编程实例。每章均附思考题与习题。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,由成都电子机械高等专科学校曹凤任主编,唐庆任副主编,成都电子机械高等专科学校罗彬、李可、陕西理工学院戴俊平,昆明冶金高等专科学校曾华林、陕西工业职业技术学院赵云龙参加了本书的编写。其中:第 1、8 章由曹凤编写,第 2 章由曹凤、曾华林编写,第 3 章由唐庆、赵云龙编写,第 4 章由李可、戴俊平编写,第 5 章由罗彬、戴俊平编写,第 6 章、第 7 章由唐庆、戴俊平编写。全书由曹凤负责统稿和定稿。

本书由四川大学制造科学与工程学院高春华教授、武汉职业技术学院机电工程学院李望云院长主审。

限于编者的水平和经验,书中难免有错误和不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 1 月

目 录

第1章 数控技术概论	1
1.1 数控技术的基本概念	1
1.1.1 数控技术	1
1.1.2 数控加工	2
1.1.3 数控机床	2
1.1.4 数控编程	2
1.2 数控机床概述	3
1.2.1 数控机床的组成与工作过程	3
1.2.2 数控机床的分类	4
1.2.3 数控加工的特点和应用范围	8
1.3 数控技术的现状和发展趋势	9
1.3.1 发展历程	9
1.3.2 技术现状与发展趋势	10
1.3.3 关键技术分析	12
思考题与习题	13
第2章 数控加工与编程基础	14
2.1 插补的基本知识	14
2.2 数控编程的内容与方法	15
2.2.1 数控编程的内容与步骤	15
2.2.2 数控编程的方法	16
2.3 常用的数控标准	17
2.3.1 数控加工程序的格式	17
2.3.2 数控编程的代码	20
2.3.3 程序编制中的坐标系	23
2.4 常用数控指令及用法	26
2.4.1 常用准备功能指令及用法	26
2.4.2 常用辅助功能指令及用法	36
思考题与习题	37

第3章 程序编制中的工艺设计及数学处理	39
3.1 数控加工工艺设计	39
3.1.1 数控加工工艺设计的主要内容	39
3.1.2 数控加工工艺设计过程	39
3.2 程序编制中的数学处理	51
3.2.1 数值计算的内容	51
3.2.2 直线、圆弧组成的零件轮廓的基点计算	52
3.2.3 用数学方程描述的非圆曲线节点坐标计算	55
3.2.4 列表曲线的数学处理	59
3.2.5 空间曲面的数学处理	59
思考题与习题	60
第4章 数控车床加工的程序编制	63
4.1 数控车床编程基础	63
4.1.1 数控车床的加工特点	63
4.1.2 数控车床的坐标系统与编程特点	64
4.2 FANUC 数控系统常用编程指令及用法	66
4.2.1 FANUC 系统数控车床的常用编程指令	66
4.2.2 车削加工固定循环功能指令	69
4.2.3 数控车床编程实例	83
4.3 华中数控系统车削加工编程	85
4.3.1 固定循环	86
4.3.2 复合循环	88
4.4 用户宏程序	95
4.4.1 变量	95
4.4.2 算术和逻辑运算	97
4.4.3 宏程序的格式及调用	99
4.4.4 转移和循环	100
4.4.5 宏程序编程实例	102
思考题与习题	107
第5章 数控铣床加工的程序编制	109
5.1 数控铣床及其加工简介	109
5.1.1 数控铣床的铣削加工对象分析	110
5.1.2 数控铣削的主要功能	112
5.2 FANUC 数控系统功能及加工编程	113
5.2.1 FANUC 系统数控铣床的常用功能指令	113
5.2.2 固定循环功能指令及应用	117
5.2.3 其他常用编程指令	123

5.3 用户宏程序编程·····	127
5.4 华中数控系统功能及编程简介·····	129
5.4.1 零件程序的格式·····	129
5.4.2 华中系统的功能·····	130
5.4.3 华中系统宏程序编程·····	132
5.5 数控铣床典型零件编程·····	134
5.5.1 槽加工实例·····	134
5.5.2 外轮廓加工实例·····	135
5.5.3 模具零件加工实例·····	137
思考题与习题·····	141
第6章 数控加工中心机床的程序编制 ·····	143
6.1 加工中心概述·····	143
6.1.1 加工中心的组成及分类·····	143
6.1.2 加工中心的刀库及换刀·····	145
6.1.3 加工中心的加工工艺·····	146
6.2 加工中心编程·····	149
6.2.1 加工中心换刀·····	149
6.2.2 加工中心典型零件加工编程·····	149
思考题与习题·····	158
第7章 数控电火花线切割机床的程序编制 ·····	160
7.1 数控线切割加工工艺·····	160
7.1.1 数控线切割机床的基本原理和加工特点·····	160
7.1.2 线切割加工的工艺准备·····	162
7.1.3 零件装夹·····	166
7.1.4 工艺参数的选择·····	169
7.2 数控线切割机床的编程方法·····	171
7.2.1 数控线切割机床编程基础·····	171
7.2.2 数控线切割机床的常用编程格式·····	172
7.2.3 线切割编程实例·····	175
思考题与习题·····	179
第8章 计算机辅助数控加工编程 ·····	180
8.1 计算机辅助数控加工编程技术概述·····	180
8.1.1 计算机辅助数控加工编程的基本原理·····	180
8.1.2 计算机辅助数控编程技术的发展历程·····	181
8.1.3 计算机辅助数控编程技术的现状与发展趋势·····	181
8.2 CAD/CAM 集成化软件系统简介·····	183

8.2.1	CAD/CAM 软件系统的组成	183
8.2.2	CAD/CAM 系统的基本功能	183
8.2.3	CAD/CAM 软件系统编程的基本步骤	184
8.2.4	常用的集成化 CAD/CAM 软件简介	186
8.3	CAXA 制造工程师	189
8.3.1	CAXA 软件基本操作	189
8.3.2	CAXA 制造工程师编程基本方法	191
8.3.3	编程实例	192
8.4	MasterCAM 软件	212
8.4.1	MasterCAM 软件的基本操作	212
8.4.2	MasterCAM 软件的基本编程方法	214
8.4.3	编程实例	216
	思考题与习题	234
	参考文献	235

第 1 章

数控技术概论

制造业是所有与制造有关的企业机构的总体,是一个国家国民经济的支柱产业。它一方面为全社会生产日用消费品,创造价值,另一方面为国民经济各个部门提供生产资料和装备。据估计,工业化国家 70% ~ 80% 的物质财富来自制造业,约有 1/4 的人口从事各种形式的制造活动。可见,制造业对一个国家的经济地位和政治地位具有至关重要的影响,在 21 世纪的工业生产中具有决定性的地位与作用。

由于现代科学技术日新月异的发展,机电产品日趋精密和复杂,且更新换代加快,改型频繁,用户的需求也日趋多样化和个性化,中小批量的零件生产越来越多。这对制造业的精度、效率和柔性提出了更高的要求,希望市场能提供满足不同加工需求、迅速高效、低成本地构筑面向用户的生产制造系统,并大幅度地降低维护和使用的成本。同时还要求新一代制造系统具有方便的网络功能,以适应未来车间面向任务和订单的生产组织和管理模式。

因此,随着社会经济发展对制造业的要求不断提高,以及科学技术特别是计算机技术的高速发展,传统的制造业已发生了根本性的变革。以数控技术为主的现代制造技术占据了重要地位,数控技术集微电子、计算机、信息处理、自动检测、自动控制等高新技术于一体,是制造业实现柔性化、自动化、集成化、智能化的重要基础。这个基础是否牢固直接影响到一个国家的经济发展和综合国力,关系到一个国家的战略地位。因此,世界上各工业发达国家均采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业。在我国,数控技术与装备的发展亦得到了高度重视,近年来取得了相当大的进步,特别是在通用微机数控领域,基于 PC 平台的国产数控系统,已经走在了世界前列。

1.1 数控技术的基本概念

1.1.1 数控技术

数控(Numerical Control)技术是指用数字化的信息对某一对象进行控制的技术,控制对象可以是位移、角度、速度等机械量,也可以是温度、压力、流量、颜色等物理量,这些量的大小不仅是可测量的,而且可以经 A/D 或 D/A 转换,用数字信号来表示。数控技术是近代发展起

来的一种自动控制技术,是机械加工现代化的重要基础与关键技术。

1.1.2 数控加工

数控加工是指采用数字信息对零件加工过程进行定义,并控制机床进行自动运行的一种自动化加工方法。数控加工技术是20世纪40年代后期为适应加工复杂外形零件而发展起来的一种自动化技术。1947年,美国帕森斯(Parsons)公司为了精确地制作直升机机翼、桨叶和飞机框架,提出了用数字信息来控制机床自动加工外形复杂零件的设想。他们利用电子计算机对机翼加工路径进行数据处理,并考虑到刀具直径对加工路径的影响,使得加工精度达到 ± 0.0015 英寸(0.0381 mm)。1949年美国空军为了能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件,与帕森斯公司和麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作,于1952年研制成功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,揭开了数控加工技术的序幕。

数控加工是一种具有高效率、高精度与高柔性特点的自动化加工方法,可有效解决复杂、精密、小批量多变化零件的加工问题,充分适应现代化生产的需要。数控加工必须由数控机床来实现。

1.1.3 数控机床

数控机床就是采用了数控技术的机床。数控机床将零件加工过程所需的各种操作(如主轴变速、主轴启动和停止、松夹工件、进刀退刀、冷却液开或关等)和步骤以及刀具与工件之间的相对位移量都用数字化的代码来表示,由编程人员编制成规定的加工程序,通过输入介质(磁盘等)送入计算机控制系统,由计算机对输入的信息进行处理与运算,发出各种指令来控制机床的运动,使机床自动地加工出所需要的零件。

现代数控机床综合应用了微电子技术、计算机技术、精密检测技术、伺服驱动技术以及精密机械技术等多方面的最新成果,是典型的机电一体化产品。

1.1.4 数控编程

数控编程(NC Programming)就是生成用数控机床进行零件加工的数控程序的过程。数控程序由一系列程序段组成,程序段是把零件的加工过程、切削用量、位移数据以及各种辅助操作,按机床的操作和运动顺序,用机床规定的指令及程序格式排列而成的一个有序指令集。例如:

```
N01 G00 X200 Y-39 M03;
```

该程序段表示一个操作:命令机床以设定的快速运动速度,以直线方式移动到 $X=200\text{ mm}$, $Y=-39\text{ mm}$ 处后,主轴正转。其中N01是程序段的行号;G00字表示机床快速定位; $X200$ 和 $Y-39$ 表示沿 x 轴和 y 轴的位移坐标值;M03表示主轴正转。

零件加工程序的编制(数控编程)是实现数控加工的重要环节,特别是对于复杂零件的加工,其编程工作的重要性甚至超过数控机床本身。此外,在现代生产中,产品形状及质量信息往往需通过坐标测量机或直接在数控机床上测量来得到,测量运动指令也有赖于数控编程来产生。因此,数控编程对于产品质量控制也有着重要的作用。数控编程技术涉及制造工艺、计算机技术、数学、计算机几何、微分几何、人工智能等众多学科领域知识,它所追求的目标是如

何更有效地获得满足各种零件加工要求的高质量数控加工程序,以便充分地发挥数控机床的性能,获得更高的加工效率与加工质量。

1.2 数控机床概述

1.2.1 数控机床的组成与工作过程

(1) 数控机床的组成

如图 1.1 所示,数控机床主要由输入输出设备、计算机数控系统、伺服系统和机床本体四部分组成。

1) 输入输出设备

输入输出设备主要实现编制程序、输入程序、输入数据以及显示、存储和打印等功能。常用的输入输出设备有:键盘、纸带阅读机、磁带或磁盘输入机、CRT 显示器等,高级的数控机床还配有一套自动编程机或 CAD/CAM 系统。

2) 数控系统

数控系统是数控机床的“大脑”和“核心”,通常由一台通用或专用计算机构成。它的功能是接受输入装置输入的加工信息,经过数控系统中的系统软件或逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后,发出相应的各种信号和指令给伺服系统,通过伺服系统控制机床的各个运动部件按规定要求动作。

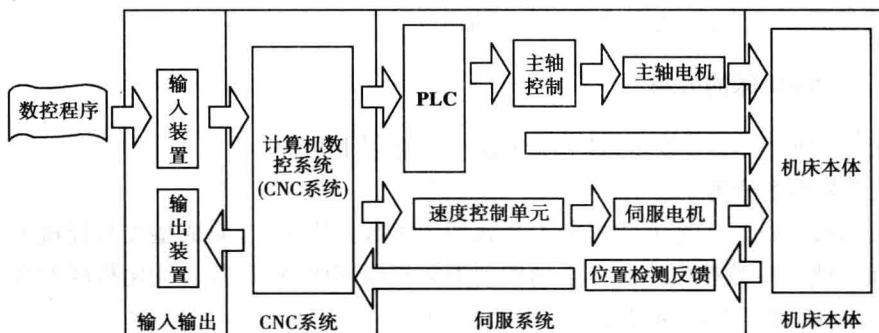


图 1.1 数控机床基本结构框图

3) 伺服系统

伺服系统接收来自数控系统的指令信息,严格按指令信息的要求驱动机床的运动部件动作,以加工出符合图纸要求的零件。伺服系统的伺服精度和动态响应是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产效率的重要因素之一。

伺服系统包括伺服控制线路、功率放大线路、伺服电动机、机械传动机构和执行机构等。常用的伺服电机是步进电机、直流和交流伺服电机。伺服系统有开环、半闭环和闭环之分。在半闭环和闭环伺服系统中,还需配有位置检测装置,直接或间接测量执行部件的实际位移量,并与指令位移量进行比较,按闭环原理,用其差值来控制执行部件的进给运动。

4) 机床本体

机床本体是数控机床的主体,包括:床身、立柱等支承部件;主轴等运动部件;工作台、刀架以及进给运动执行部件、传动部件;此外还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置,对加工中心类数控机床,还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。与传统机床相比,数控机床的外部造型、整体布局、传动系统与刀具系统的部件结构以及操作机构等都发生了很大的变化,这种变化的目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控加工的优点。

(2) 数控机床的工作过程

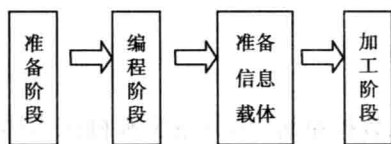


图 1.2 数控加工过程

在数控机床上加工零件的过程如图 1.2 所示。

1) 准备阶段

根据加工零件的图纸,确定有关加工数据(刀具轨迹坐标点、加工的切削用量、刀具尺寸信息等),根据工艺方案、夹具选用、刀具类型选择等确定其他辅助信息。

2) 编程阶段

根据加工工艺信息,用机床数控系统能识别的语言编写数控加工程序,程序就是对加工过程的描述,并填写程序单。

3) 准备信息载体

根据已编好的程序单,将程序存放在信息载体(穿孔带、磁带、磁盘等)上,信息载体上存贮着加工零件所需要的全部信息。目前,随着计算机网络技术的发展,可直接由计算机通过网络与机床数控系统通讯。

4) 加工阶段

当执行程序时,机床 NC 系统将程序译码、寄存和运算,向机床伺服机构发出运动指令,以驱动机床的各运动部件,自动完成对工件的加工。

1.2.2 数控机床的分类

数控机床的种类、型号繁多,其分类方法主要有以下几种:

(1) 按工艺用途分类

数控机床按其加工工艺方式可分为金属切削类数控机床、金属成型类数控机床、特种加工数控机床和其他类型数控机床。在金属切削类数控机床中,根据其自动化程度的高低,又可分为普通数控机床、加工中心和柔性制造单元(FMC)。

普通数控机床和传统的通用机床一样,有数控车床(图 1.3)、数控铣床(图 1.4)、数控钻床等,这类数控机床的工艺特点和相应的通用机床相似,但它们具有加工复杂形状零件的能力。

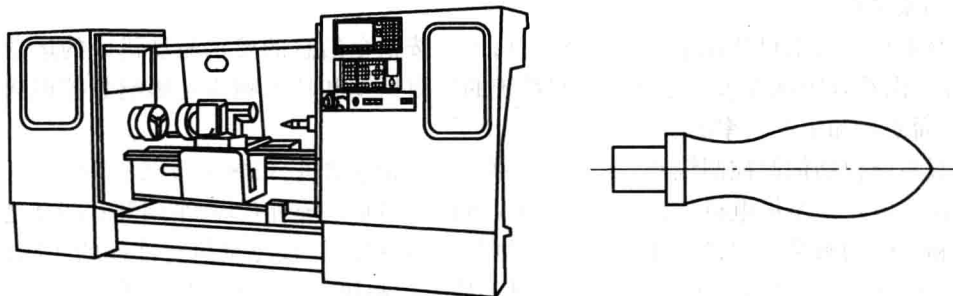


图 1.3 数控车床及其加工的手柄零件

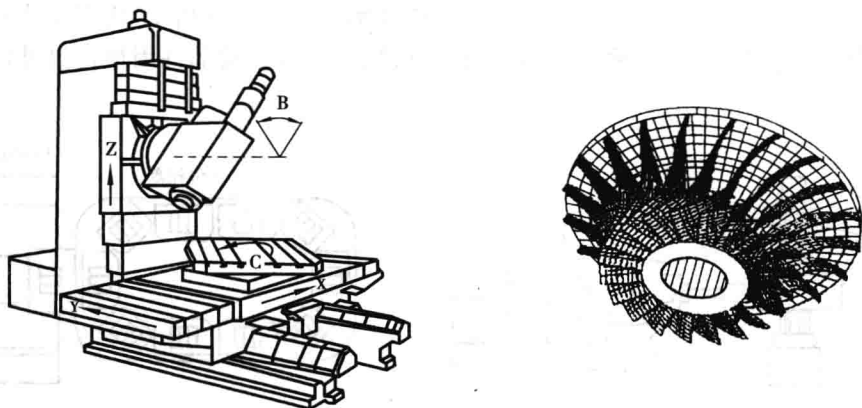


图 1.4 五轴数控铣床及其加工的叶轮零件

加工中心机床常见的是镗铣类加工中心(图 1.5)和车削中心,它们是在相应的普通数控机床的基础上加装刀库和自动换刀装置而构成。其工艺特点是:工件经一次装夹后,数控系统能控制机床自动地更换刀具,连续地自动地对工件各加工面进行铣(车)、镗、钻等多工序加工。

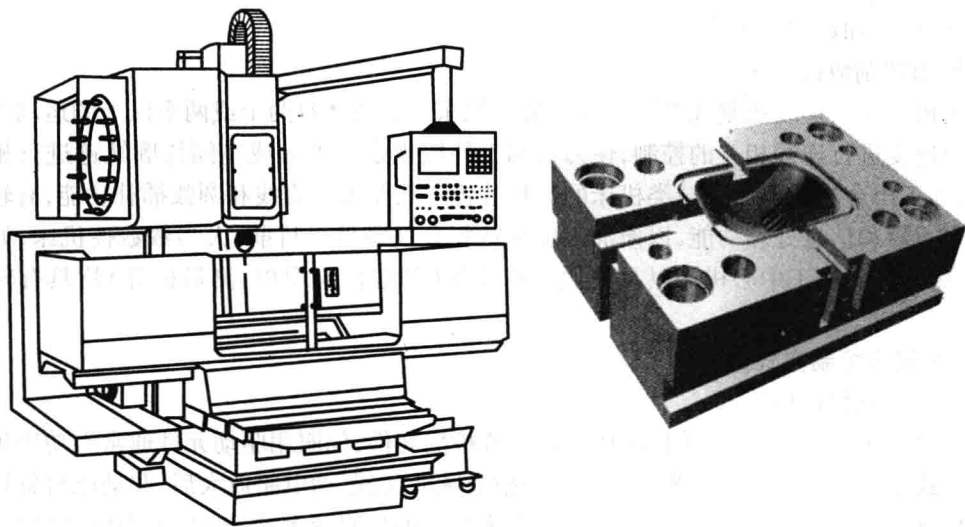


图 1.5 镗铣加工中心及其加工的箱体零件

柔性制造单元(图 1.6)是具有更高自动化程度的数控机床。它可以由加工中心加上搬运机器人等自动物料存储运输系统组成,有的还具有加工精度、切削状态和加工过程的自动监控功能,可实现 24 小时无人加工。

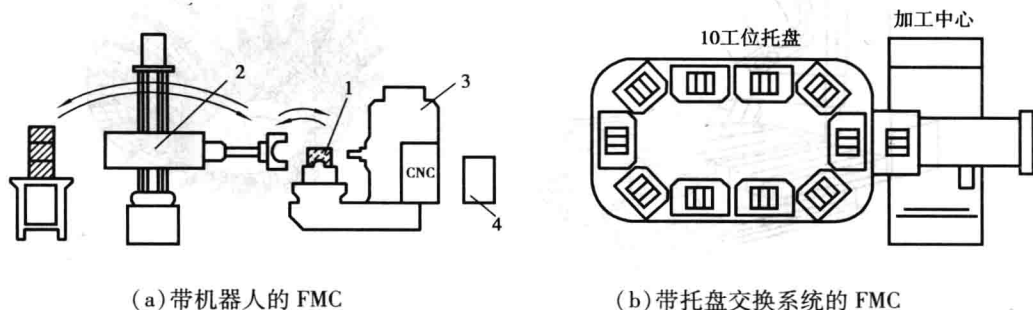
(2) 按控制运动轨迹分类

1) 点位控制数控机床

这类数控机床只控制运动部件从一点移动到另一点的准确定位,即只保证行程终点的坐标值。而对点到点之间的移动速度和运动轨迹没有严格要求,可以沿多个坐标同时移动,也可以沿各个坐标先后移动。在移动过程中,刀具也不进行切削加工。

采用点位控制的机床有数控钻床、数控冲床、数控坐标镗床和数控测量机等,用于加工带

有坐标孔系的零件或测量坐标位置。为提高生产效率和保证定位精度,机床工作时一般先快速运动,当接近终点位置时,再减速缓慢趋近终点,从而减少运动部件因惯性过冲所引起的定位误差。



1—工件 2—机器人 3—加工中心 4—监控器

图 1.6 柔性制造单元

2) 直线控制数控机床

这类数控机床不仅要控制点到点的准确定位,而且要控制两点之间移动的轨迹是一条直线,且在运动过程中,刀具按规定的进给速度进行切削。采用这类控制的机床有简易数控车床、数控镗铣床和数控磨床等。

3) 轮廓控制数控机床

这类机床又叫连续控制或多坐标联动数控机床。它能够对两个或两个以上的运动坐标轴的位移及速度进行连续相关的控制,使刀具和工件按规定的平面或空间轮廓轨迹进行相对运动,从而加工出合格的产品。这类机床的数控装置一般要求有直线和圆弧插补功能,有较高速度的数字运算和信息处理功能,以便加工出形状复杂的零件。目前,大多数数控机床,如数控车床、铣床、磨床、加工中心机床以及其他数控设备(如数控绘图机、测量机等)均具有轮廓控制功能。

(3) 按伺服控制方式分类

1) 开环控制数控机床

如图 1.7 所示,开环控制数控机床没有位置检测元件,伺服驱动元件通常有功率步进电机或混合式步进电机。数控系统每发出一个指令脉冲,经驱动电路放大后,驱动电机旋转一个角度,再经传动机构带动工作台移动。这类机床控制的信息流是单向的,脉冲信号发出后,实际位移值不再返回,所以称开环控制,其精度主要取决于驱动元器件和步进电机的性能。



图 1.7 开环控制系统框图

开环控制的优点是结构简单、调试和维修方便,成本较低,缺点是精度较低,进给速度受步进电机工作频率的限制。一般适用于中、小型经济型数控机床,以及普通机床的数控化改造。近年来,随着高精度步进电机特别是混合式步进电机的应用,以及恒流斩波、PWM 等技术及微步驱动、超微步驱动技术的发展,步进伺服的高频出力与低频振荡得到极大的改善,开环控制

数控机床的精度和性能也大为提高。

2) 闭环控制数控机床

如图 1.8 所示,这类机床带有直线位置检测装置,可直接对工作台的实际位移量进行检测。在加工过程中,将速度反馈信号送到速度控制电路,将工作台实际位移量反馈回位置比较电路,与数控装置发出的位移指令值进行比较,用比较后的误差信号作为控制量去控制工作台的运动,直到误差为零为止。常用的伺服驱动元件为直流或交流伺服电动机。

这种机床因为把工作台纳入了控制环,故称闭环控制。闭环控制可以消除包括工作台传动链在内的传动误差,因而定位精度高、调节速度快。但由于机床工作台惯量大,对系统的稳定性会带来不利影响,使调试、维修更加困难,且控制系统复杂,成本高,故一般对要求很高的数控机床才采用这种控制方式,如数控精密镗铣床等。

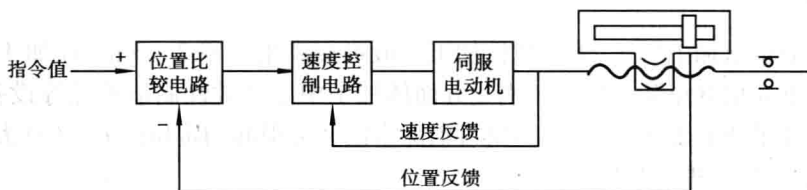


图 1.8 闭环控制系统框图

3) 半闭环控制数控机床

如图 1.9 所示,这类机床与闭环控制机床的区别在于检测反馈信号不是来自安装在工作台上的直线位移测量元件,而是来自安装在电机轴或丝杆轴上的角位移测量元件。通过测量电机转角或丝杆转角推算出工作台的位移量,并将此值与指令值进行比较,用差值来进行控制。从图 1.9 中可以看出,由于工作台未包括在控制回路中,因而称半闭环控制。这种控制方式由于排除了惯量很大的机床工作台部分,使整个系统的稳定性得以保证。目前已普遍将角位移检测元件与伺服电机做成一个部件,使系统结构简单、调试和维护也方便。

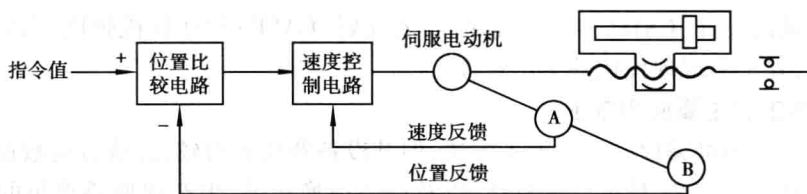


图 1.9 半闭环控制系统框图

半闭环控制数控机床的性能介于开环和闭环控制数控机床之间。精度虽比闭环低,但调试和维护维修却比闭环方便得多,因而得到了广泛的应用。

(4) 按控制坐标轴数分类

根据控制系统所能控制的坐标轴数,数控机床可分为:两坐标(轴)数控机床、2.5 坐标(轴)数控机床、三坐标(轴)数控机床以及多坐标(轴)数控机床。根据控制系统所能同时控制的坐标轴数,数控机床可分为:两坐标(轴)联动数控机床、三坐标(轴)联动数控机床以及多坐标(轴)联动数控机床。一般数控机床的联动轴数少于控制轴数。

1.2.3 数控加工的特点和应用范围

(1) 数控加工的特点

1) 具有复杂形状加工能力

复杂形状零件的加工在飞机、汽车、造船、模具、动力设备和国防军工等制造部门具有重要地位,其加工质量直接影响整机产品的性能。数控加工运动的任意可控性使其能完成普通加工方法难以完成或者无法进行的复杂型面加工。

2) 高质量

数控加工是用数字程序控制实现自动加工,排除了人为误差因素,且加工误差还可以由数控系统通过软件技术进行补偿校正。因此,采用数控加工可以提高零件加工精度和产品质量。

3) 高效率

与采用普通机床加工相比,采用数控加工一般可提高生产率2~3倍,在加工复杂零件时生产率可提高十几倍甚至几十倍。特别是五面体加工中心和柔性制造单元等设备,零件一次装夹后能完成几乎所有表面的加工,不仅可消除多次装夹引起的定位误差,还可大大减少加工辅助操作,使加工效率进一步提高。

4) 高柔性

只需改变零件程序即可适应不同品种的零件加工,且几乎不需要制造专用工装夹具,因而加工柔性好,有利于缩短产品的研制与生产周期,适应多品种、中小批量的现代生产需要。

5) 减轻劳动强度,改善劳动条件

数控加工是按事先编好的程序自动完成的,操作者不需要进行繁重的重复手工操作,劳动强度和紧张程度大为改善,劳动条件也相应得到改善。

6) 有利于生产管理

数控加工可大大提高生产率、稳定加工质量、缩短加工周期、易于在工厂或车间实行计算机管理。数控加工技术的应用,使机械加工的大量前期准备工作与机械加工过程联为一体,使零件的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规划(CAPP)和计算机辅助制造(CAM)的一体化成为现实,宜于实现现代化的生产管理。

(2) 数控加工的主要应用范围

数控加工是一种可编程的柔性加工方法,但其设备费用相对较高,故目前数控加工多应用于加工零件形状比较复杂、精度要求较高,以及产品更换频繁、生产周期要求短的场合。具体地说,下面这些类型的零件最适宜于数控加工:

- 1) 形状复杂(如用数学方法定义的复杂曲线、曲面轮廓)、加工精度要求高的零件;
- 2) 公差带小、互换性高、要求精确复制的零件;
- 3) 用普通机床加工时,要求设计制造复杂的专用工装夹具或需要很长调整时间的零件;
- 4) 价值高的零件;
- 5) 小批量生产的零件;
- 6) 需一次装夹加工多部位(如钻镗铰攻螺纹及铣削加工联合进行)的零件。

可见,目前的数控加工主要应用于以下两个方面:

一方面的应用是常规零件加工,如二维车削、箱体类镗铣等,其目的在于:提高加工效率,避免人为误差,保证产品质量;以柔性加工方式取代高成本的工装设备,缩短产品制造周期,适