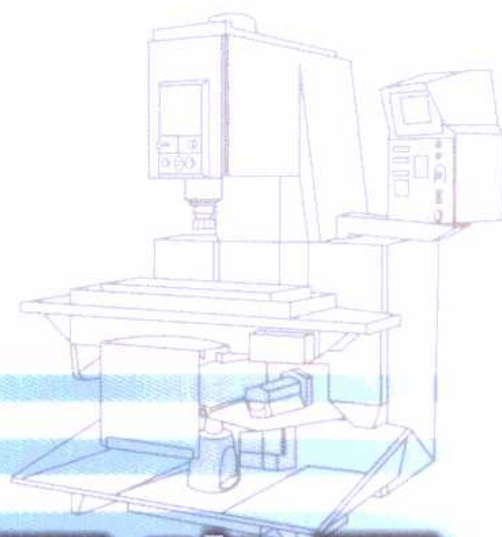


 李 佳 主 编

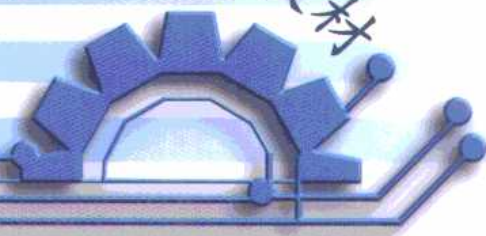
 欧阳渺安 副主编
赵 小 林

 朱梦周 主审



数控机床及应用

机电类系列教材
高等职业教育



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

854

高等职业教育机电类系列教材

数 控 机 床 及 应 用

李	佳	主	编
欧阳	渺安	副	主 编
赵	小 林		
朱	梦 周	主	审

清 华 大 学 出 版 社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书结合当前数控机床的实际应用水平,从应用的角度系统地介绍了数控机床及相关的知识。书中首先介绍了数控机床应用的基本知识;然后介绍数控机床的各个组成部分,包括计算机数控系统、伺服系统及位置检测装置、数控机床的机械结构;围绕数控机床的应用,介绍了应用数控机床进行加工所需要的技术基础知识,各类数控机床的数控编程基本知识与方法;根据各校不同的实训条件,介绍并剖析了若干个应用实例;针对数控机床应用中的常见问题,介绍了数控机床的使用与维护常识;最后介绍了数控机床的发展趋势。

考虑到承担高等职业技术教育各个学校的类别、办学条件以及生源都有所不同的现实,本书在内容的组织上采用了模块化结构,每一章基本是一个独立的模块,教学中可根据具体需要进行模块组合。因此本书既可以作为机电类专业高等职业技术教育的主干课教材,也可以作为工业工程、企业管理等专业的辅修课教材,同时,还可以作为数控加工编程等的应用培训教材。

书 名: 数控机床及应用

作 者: 李 佳 主编

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者: 北京市清华园胶印厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 **印张:** 17.75 **字数:** 405 千字

版 次: 2001 年 7 月第 1 版 2001 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-04539-9/TH·95

印 数: 0001~5000

定 价: 24.00 元

前 言

随着我国国民经济水平的不断提高和公民教育投资的迅速扩大,我国的高等教育正在由精英教育向大众教育发展。在这种背景下,教育部适时地提出了大力发展高等职业技术教育的思路,在很大程度上缓解了教育市场的供需矛盾。但是,伴随着近年来高等职业技术教育的迅速发展,新的矛盾又产生了,其中教材建设与教学需求就是一对突出矛盾。许多学校学生已经开始上课,而教材还没有落实,教材建设明显滞后于教学需求,特别是专业课教材。为此,中国高等职业技术教育研究会和清华大学出版社于2000年4月在深圳职业技术学院召开了全国高职高专机电类教学改革暨教材建设研讨会,会上规划了几十本系列教材,本书是其中之一。

高等职业技术教育不同于普通高等教育,围绕其培养目标,应该有自己的教材。有些学校在选不到合适教材的情况下,借用普通高等教育的教材,仅仅是权宜之计。关于高等职业技术教育的教材建设,中国高等职业技术教育研究会提出了“够用为度”的指导性原则。对于“度”的把握,由于各校基础不同,生源情况也不尽相同,因此短时间内很难统一认识。另外,“度”是否定得合理,也有待学生毕业工作一段时间后才能反映出来。究竟怎样才算为“度”,现在下结论还为时过早。

我国正式兴办高等职业技术教育只有短短几年,在办学经验方面远不如普通高等教育。无论是普通高校中的二级学院,还是以各种方式组建的高等职业技术学院,大家都需要逐渐积累经验。就目前的认识水平,我们认为,高等职业技术教育毕竟是国家高等教育的组成部分,而不是高级工人岗位培训,因此在教学内容的编排上应该讲求系统性和完整性。除了强调实际操作能力的培养,也要介绍一定的理论知识。说到底,高等职业技术教育不能只注意技术教育,而更需强调职业素质教育。这样才能保证受教育者既知其然,又知其所以然,在工作中更好地发挥作用。同时使他们有能力走上终身教育的道路。另外,毕业生在工作中所表现的职业素养反过来还会影响高等职业技术学校自身的存在与发展。

基于以上考虑,本书对教学内容作了精心安排。首先介绍数控机床的各个基本组成部分;然后用了较大的篇幅介绍数控加工技术及数控机床的应用;最后简单介绍了数控机床的发展趋势。全书力求把握适当的“度”,在知识点的选择上,尽可能减少从事理论研究和机床设计才需要的知识,以及数控机床的发展历史和早期技术。尽管如此,也还是不一定能满足绝大多数学校的教学要求,特别是应用实例,各校的实训条件都不同,很难都编入一本教材中。本书在章节的安排上基本采用了模块化结构,各校可根据自己的实际情

况进行模块组合。另外,与本书配套的还有深圳职业技术学院黄海老师主编的《数控加工实训教材》也将由清华大学出版社出版,可供各校进行课程模块组合。

全书共分9章。第1章由天津大学李佳编写;第2章由开封大学陈艳红编写;第3章由福建中华职业技术学院王鸿编写;第4章由黄河水利职业技术学院李艳霞编写;第5章由韶关大学肖耘亚编写;第6章由邵阳高等专科学校赵小林编写;第7章由天津大学李佳、曹克伟,佛山职业技术学院欧阳渺安编写;第8章由陕西工业职业技术学院赵云龙编写;第9章由佛山职业技术学院欧阳渺安编写。天津大学李佳任主编,佛山职业技术学院欧阳渺安、邵阳高等专科学校赵小林任副主编。天津大学朱梦周教授担任主审。

尽管作者投入了很大精力,力图使本书取材合理、内容正确,但还是难免有错误存在,敬请读者指正。

编 者
2001.2

第1章 概述

1.1 数控机床的作用

机床是制造业的主要生产设备,制造业中许许多多产品的零件都直接或间接地经过机床加工。对于大批量生产的产品,如汽车、电机等的零件,为了提高生产率和加工精度,往往采用组合机床等专用机床,以及由这类机床组成的生产线进行加工;对于单件或小批量生产的产品,它们的零件一般采用通用机床加工。应用专用机床,生产准备周期长、费用高、产品不易更新;而应用通用机床,由于其生产效率和加工质量完全取决于操作者的技术水平,因此很难得到优质产品。另外,随着社会的进步,人们对各类产品的要求越来越高,像汽车这样大批量生产的产品,也要求其个性化,因此就不能采用传统的刚性生产线,要考虑到适当的柔性。一些小批量生产的产品,其复杂度要求和精度要求也使通用机床难以胜任。相比之下,数控机床恰恰满足了这些要求。

数控(numerical control, NC)机床,顾名思义,是一类由数字程序实现控制的机床。与人工操作的普通机床相比,它具有适应范围广、自动化程度高、柔性强、操作者劳动强度低、易于组成自动生产系统等优点。

1952年,美国 PARSON 公司与麻省理工学院(MIT)合作,研制出世界上第一台数控机床。从此机床行业,乃至整个制造业和相关产业进入了一个新的发展阶段。在机床行业,由于采用了数控技术,许多过去在普通机床上无法完成的工艺内容得以完成,大量普通机床为数控机床所代替,这就极大地促进了机床行业的技术进步和行业发展。对于整个制造业,由于大量引用数控机床,使得产品质量大幅度提高,新产品开发周期明显缩短,满足了广大消费者求新和追求个性化的要求,从而形成了制造业与市场相互促进的发展趋势。目前数控机床已经遍布军工、航空航天、汽车、造船、机车车辆、机床、建筑、通用机械、纺织、轻工、电子等几乎所有制造行业。一段时期内机床行业在技术发展上曾被视为“夕阳工业”,如今再度受到全世界的高度重视。在这一历史性转变中,数控机床的产生与发展功不可没。此外,数控机床的发展,还带动了众多相关产业和技术的发展。

经过数十年的发展,数控机床的控制部分已经从硬件为主的数控装置,发展成硬件软件相结合的计算机数控(computer numerical control, CNC)系统,造就了一批数控系统生产企业。由于数控机床是根据事先编好的程序进行自动加工的,因此其发展与自动控制技术(包括伺服驱动与控制)密切相关。应该说,数控机床的发展将自动控制理论与技术的发展推到了更高的水平。数控机床的发展,还带动了精密测量技术和精密机械结构设计制造技术的发展,产生了一大批检测装置、精密机构单元的生产经销企业。

综上所述,数控机床在促进技术进步和经济发展,提高人类生存质量和创造新的就业机会等方面,起着非常重要的作用。

1.2 数控机床的基本构成

作为一类典型的机电一体化产品,数控机床主要由数控系统、伺服系统与位置检测装置、辅助控制单元以及机床裸机构成,如图 1-1 所示。

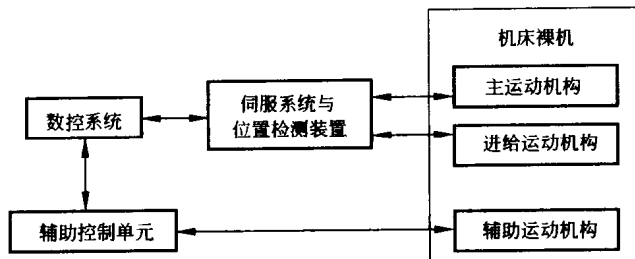


图 1-1 数控机床的基本构成

数控系统是数控机床最重要的组成部分,由硬件和软件结合而成。其作用是通过输入装置将用户编制的、用以控制机床加工的程序输入系统,然后在系统内进行必要的数字运算和逻辑运算,将用户程序转换成控制机床运动的控制信号。由于绝大多数数控机床都已采用微型计算机作为硬件,配以数控系统软件构成数控系统,因此现在所说的数控系统一般就是指计算机数控(CNC)系统。

伺服系统与位置检测装置是联系数控系统和机床机械结构必不可少的纽带,它们在某种程度上决定了机床的运动特性和精度。伺服系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置组成,同时与机床的执行机构相连,根据数控系统发来的控制信号对执行机构的位移、速度等进行自动控制。这种控制是在机床执行机构运动过程中实时进行的,它所控制的运动亦称为伺服运动。位置检测装置的作用是检测实际位移量,并将实际位移量反馈给伺服系统,由伺服系统中的位置比较环节对控制位移量与实际位移量进行比较,根据比较的差值,调整控制信号,提高控制精度。

数控机床上除了伺服运动,还有些运动属于开/关性质的。例如主轴启动与停止、换刀运动、冷却泵的启停等。对于这些运动的控制,是靠辅助运动控制单元实现的。目前应用比较普遍的辅助运动控制单元是可编程控制器(programable controler, PC),且大多与数控系统集成为一体。

裸机部分与普通机床的构成基本相同,只是根据数控机床的特点,做了一些特殊的设计与制造工艺。例如采用滚珠丝杠、滚动导轨,以及各种消除间隙机构等等。

1.3 数控机床的分类及其应用范围

数控机床的分类方法有多种,比如按加工功能划分、按伺服系统特性划分、按数控系统构成划分等。从应用数控机床的角度来看,数控机床可分为数控车床、数控铣床、加工中心、车削中心几类。

1.3.1 数控车床

典型的数控车床如图 1-2 所示。由图可见,其机械组成部分与普通车床差别不大,工件装夹在主轴轴端,作旋转运动;刀具安装在刀架上,作横向、纵向移动。因此在普通车床上能够完成的工艺内容,在数控车床上都可以完成,如车削内外圆柱、圆锥面等。不仅如此,由于数控系统和进给伺服系统的引入,数控车床还可以加工各种非解析的内外回转表面,例如图 1-3 所示的自由曲线形成的回转面。

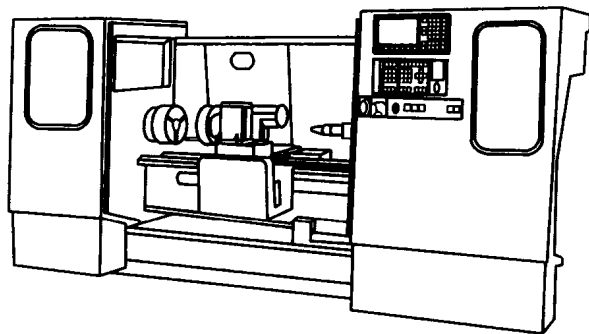


图 1-2 数控车床



图 1-3 自由曲线形成的回转面

1.3.2 数控铣床

典型的数控铣床如图 1-4 所示,其机械部分与普通铣床基本相同,工作台可以作横

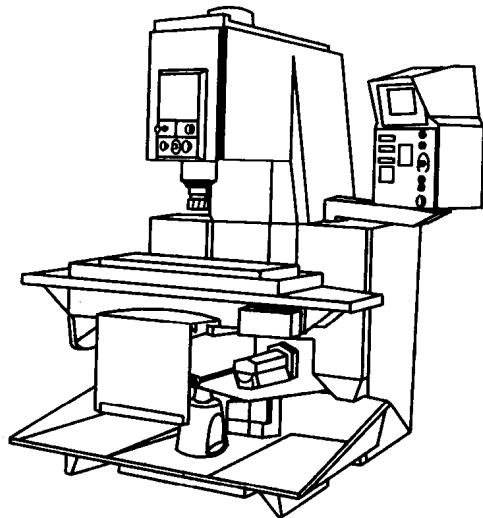


图 1-4 数控铣床

向、纵向和垂直三个方向的运动。因此普通铣床所能加工的工艺内容,数控铣床都能做得得到。除此之外,数控系统还可以通过伺服系统同时控制两个或三个轴运动,实现两轴/三轴联动,从而加工出图 1-5(a)所示的平面轮廓和图 1-5(b)所示的复杂三维型面。从机床运动分布特点来看,数控铣床也可用作数控钻床或数控镗床,加工图 1-5(c)所示的有一定位置精度要求的孔系。

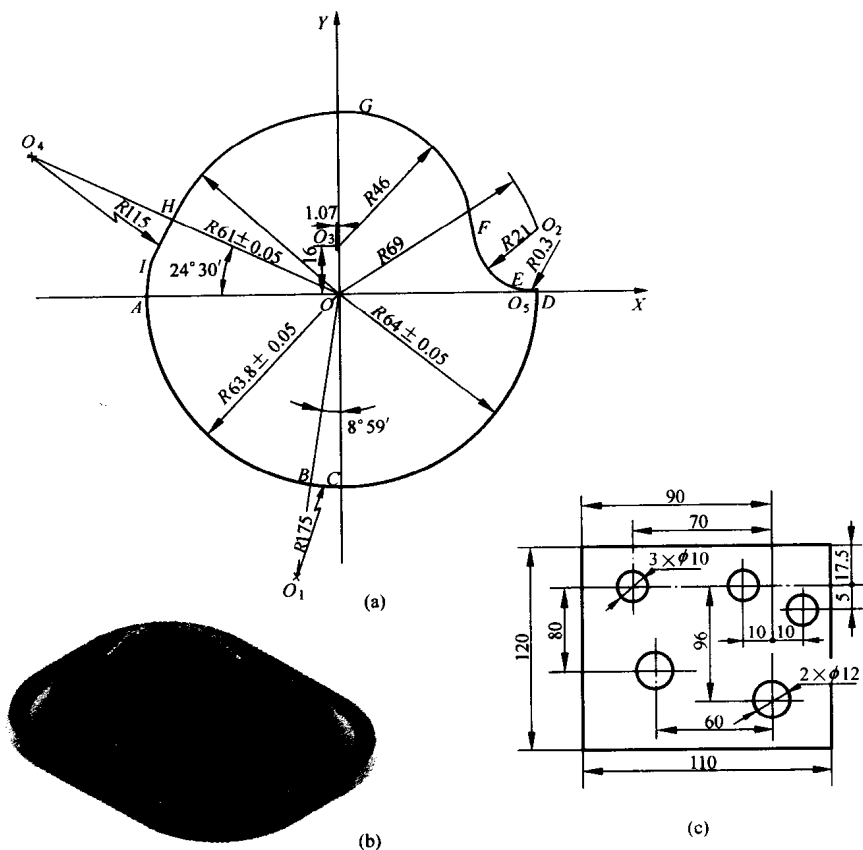


图 1-5 数控铣床的应用范围

1.3.3 加工中心

在数控铣床的基础上,如果再配以刀具库和自动换刀系统,就构成加工中心。图 1-6 给出了常见的立式加工中心和卧式加工中心。其中的刀具库能存放几十把甚至更多的刀具,由程序控制换刀机构自动调用与更换,这样就可以在没有人工干预的情况下,一次完成很多工艺内容。例如图 1-5(c)给出的孔系,如果不仅仅是按坐标位置钻孔或镗孔,而且还有其他加工内容,或者是几个孔的尺寸不同,就需要在程序执行过程中换刀。这时应考虑用加工中心来加工。当然针对该零件的具体情况,采用立式加工中心或卧式加工中心都可以。再如图 1-7 所示发动机机体,需要一次装夹后加工多个面,而且每个面上又有许多加工要求,这时最好考虑在卧式加工中心上加工。因为程序执行中除了要根据加工要

求及时更换刀具以外,还要使工件回转,以便在不同面上进行加工,而卧式加工中心通常都配有回转工作台。

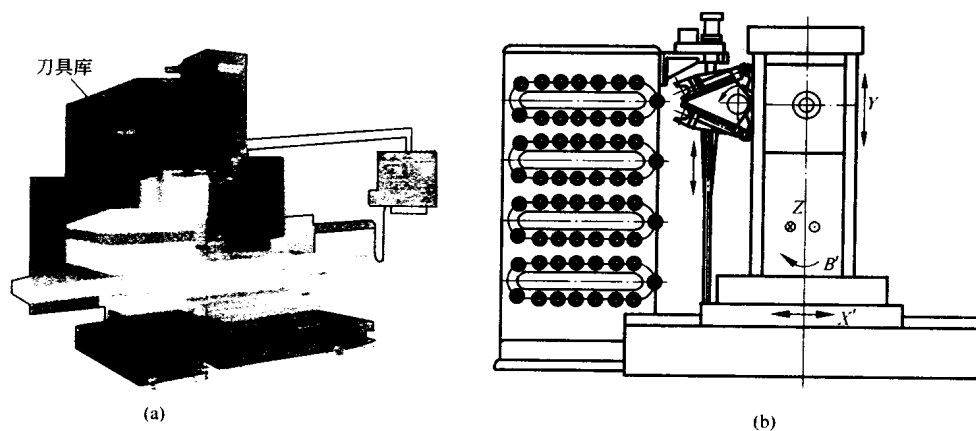


图 1-6 加工中心
(a) 立式加工中心; (b) 卧式加工中心

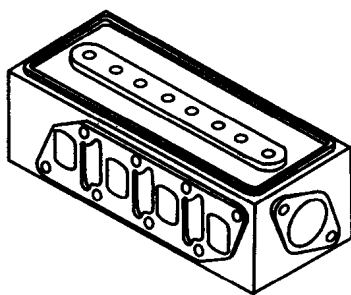


图 1-7 发动机机体

1.3.4 车削中心(车铣中心)

数控车床可以加工各种回转表面,但是如果圆周表面或端面上需要加工,如图 1-8 所示的键槽和端面孔、槽,就要移到其他机床上去加工。在很多情况下,出于加工精度的考虑,零件是不允许拆卸、重新定位装夹和更换机床的。对于这种以回转面为主要加工内容,兼有圆周表面或端面上加工的零件,车削中心就比较得心应手。车削中心与数控车床的主要区别是在刀架部分增加了驱动刀具旋转的装置,因此它除了可以装夹内/外圆车刀以外,还可装夹自驱动的铣刀、钻头、丝锥等刀具,完成圆周表面或端面上的各种加工。铣刀在车削中心刀架上的装夹如图 1-9 所示。

以上是目前在生产中应用最普遍的几种数控机床。需要指出的是,随着现代化生产需求的不断提高,以及数控机床相关技术的发展,市场上已经有了加工范围更广、技术含量更高的数控机床产品。受篇幅限制,这里不作介绍。

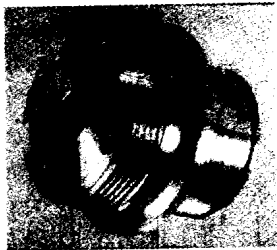


图 1-8 车削中心加工的零件

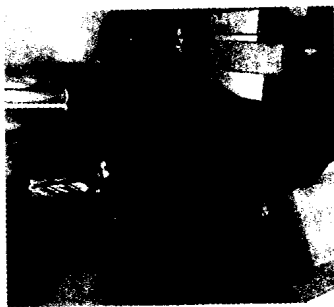


图 1-9 车削中心刀架

1.4 数控机床的工作过程

数控机床的大致工作过程如图 1-10 所示。首先要由编程人员或操作者通过对零件图作深入分析,特别是工艺分析,确定合适的数控加工工艺。其中包括零件的定位与装夹方法的确定、工步划分、各工步走刀路线的规划、各工步加工刀具及其切削用量的选择等。

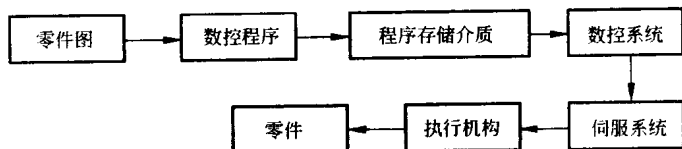


图 1-10 数控机床工作过程

在工艺分析与处理的基础上,再参照数控程序代码标准和具体机床的编程手册,将所选择的工艺方法和切削参数编制成数控程序。数控程序是按规定的语法和词法,由一系列字符和数字组成的一组信息,其功能类似于计算机的批处理功能,运行程序相当于在逐条执行程序中的批命令。编程过程中需要进行必要的数学计算与处理,例如基点或节点的计算。

编制好的数控程序并不一定立即送入数控系统执行,通常是将程序存储在某种介质上,需要加工时才调用。存储介质可以是数控系统内存储器、穿孔纸带、磁盘等等。值得一提的是,用穿孔纸带存储程序的方法,由于穿孔出错率高、制作周期长,以及携带保存不便等原因,已经趋于淘汰。相比之下,越来越多的数控系统都留有标准的通信接口,非常方便与外部计算机通信。因此,将数控程序存在计算机硬盘上,加工时再传入数控系统,已经成为广泛采用的一种模式。

数控程序输入到数控系统,并被调入执行程序缓冲区以后,一旦操作者按下启动按钮,程序就将逐条逐段地自动执行。数控程序的执行,实际上是不断地向伺服系统发出运动指令。数控系统在执行数控程序的同时,还要实时地进行各种运算,来决定机床运动机构的运动规律和速度。

伺服系统接到数控系统发来的运动指令后,经过信号放大和位置、速度比较,控制机

床运动机构的驱动元件(如主轴回转电机和走刀伺服电机)运动。

机床运动机构(如主轴和丝杠螺母机构)的运动结果是刀具与工件产生相对运动,实现切削加工,最终加工出所需的零件。

在上述工作过程中,需要数控机床使用者完成的工作主要是工艺分析和数控编程,并将程序存到存储介质上,其他步骤都是由数控系统和机床自动进行的。

1.5 数控编程方法

在数控编程实践中,有三种方法可以选择,即手工编程、自动编程和计算机辅助编程。采用哪种编程方法应视数控机床的完善程度和被加工零件的特点与复杂程度而定。对于加工内容比较简单、尺寸比较少的零件,可以选择手工编程的方法。例如图 1-5(c)所示零件,只加工几个孔,可以由编程人员或机床操作者对照零件图纸,计算各个孔的坐标,直接编写出数控程序。对于加工内容比较多、加工型面比较复杂的零件,需要采用自动编程。这种编程是由编程人员将加工部位和加工参数以一种限定格式的语言(自动编程语言)写成所谓源程序,然后由专门的软件转换成数控程序。自动编程语言用起来比较繁琐,特别是有些零件用自动编程语言难以表达。事实上应用最多的还是计算机辅助数控编程,编程人员通过某种对话的机制将零件信息输入计算机,由 CAD/CAM 软件的 NC 模块自动生成数控程序,或者自己开发应用程序,将零件图纸信息直接转换成数控程序。例如加工图 1-11 所示的平面凸轮,已知升程、回程的角度范围,在给定的角度范围内凸轮轮廓为等加速曲线。在数控机床上加工此类零件,实际上是用非常密的微直线段逼近光滑的曲线轮廓。由于计算量太大,不适合用手工编程方法;另一方面,自动编程语言又不能描述这类零件,而无法自动生成数控程序。所以加工这一类零件要靠编程人员自行开发编程工具,进行刀位点计算,并生成数控程序。

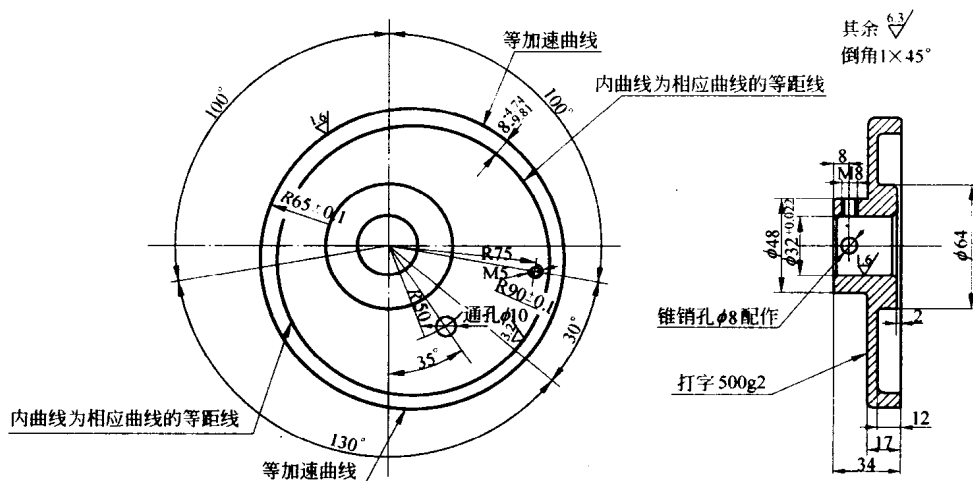


图 1-11 平面凸轮实例

1.6 数控程序代码标准

上节已经提及,数控程序是由一系列字符与数字组成的。然而作为控制系统的计算机并不认识这些字符与数字。事实上,每个字符或数字在数控系统内部都对应着固定的代码。目前,大多数数控系统都支持两种标准代码:ISO(国际标准化组织)码和 EIA(美国电子工业协会)码。数控系统的系统参数表中有一个参数,用来设定执行标准的种类。以 ISO 码为例,其特征是用 7 位二进制数表示一个字符或数字,如表 1-1 所示。

表 1-1 ISO 标准代码

代 码							代表符号	定 义
7	6	5	4	3	2	1		
0	1	1	0	0	0	0	0	数字 0
0	1	1	0	0	0	1	1	数字 1
0	1	1	0	0	1	0	2	数字 2
							.	.
							.	.
							.	.
1	0	1	1	0	0	0	X	X 坐标方向运动
1	0	1	1	0	0	1	Y	Y 坐标方向运动
1	0	1	1	0	1	0	Z	Z 坐标方向运动
0	1	0	1	1	1	0	.	小数点
0	1	0	1	0	1	1	+	加/正
0	1	0	1	1	0	1	-	减/负
0	1	0	1	0	1	0	*	乘号/星号
							.	.
							.	.
							.	.

实际编程时,由于只是用字符和数字编写,不直接涉及数控系统内部代码,因此用哪种代码标准影响不大。应该注意的是,如果用纸带作为程序存储介质,就要谨慎对待代码标准问题了,因为两种标准的纸带格式不同,执行程序时必须正确设置系统参数。

1.7 控制轴数与联动轴数

数控机床上控制轴的概念与通常所说的主轴、传动轴等轴的概念不同。为了说明这一点,先来分析一下数控机床上的运动分配情况。图 1-12 为某数控机床及其运动分配,

其中工作台可以作 X 、 Y 两个方向上的直线运动,也可以实现转动 C ;主轴箱可以沿 Z 向作直线运动,也可以实现摆动 B ;当然还有主轴的旋转。在机床能够实现的运动中,除了主轴旋转运动以外,其他所有运动都与工件的成形有关,而且都有自己的伺服驱动。数控系统正是通过确定的伺服驱动单元控制来实现某个具体运动的,例如工作台沿 X 方向的移动、主轴箱的摆动。这就是控制轴的概念。机床上的运动越多,控制轴数就越多,功能就越强,机床的复杂程度和技术含量也就越高。

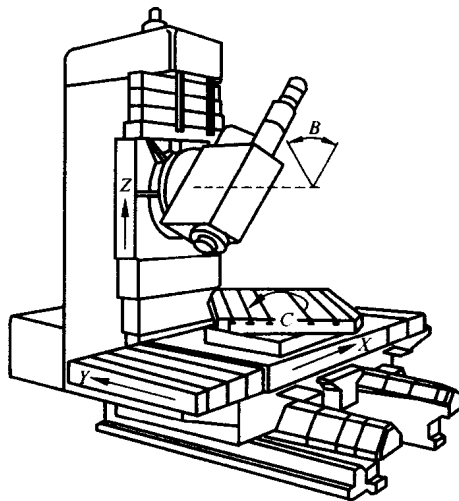


图 1-12 多轴控制数控机床

实现了对机床运动的控制并不意味着就可以加工任何零件。在许多情况下,需要对机床的多个运动同时、协调地进行控制,才能达到加工要求,即同时控制多个轴。这就是所谓联动轴数。显然,联动轴数多,机床控制和编程难度加大。在图 1-12 所示的机床上加工,有些零件形面需要 X 、 Y 、 Z 、 C 、 B 五个控制轴联动才能完成。例如图 1-13 所示的增压器叶轮,其叶片表面就需要五轴联动加工。

总之,控制轴数和联动轴数是表达机床加工能力的重要参数。用控制轴数来划分,数控机床可有二轴数控机床、三轴数控机床等等。控制轴数有时也称坐标数,因此机床可以有三坐标数控机床和五坐标数控机床等等。

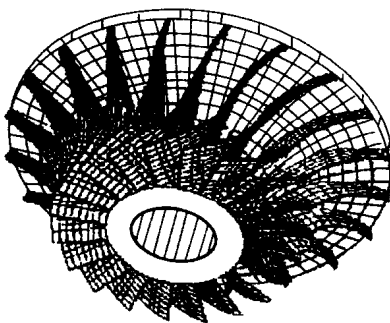


图 1-13 增压器叶轮

1.8 数控机床的特点

数控机床作为一种高自动化、高柔性的加工设备,具有以下特点:

1. 适应范围广

如前所述,数控机床是通过执行已经编制好的数控程序来控制机床执行机构,从而进行自动加工的。改变加工对象时,只需重新编制一个数控程序,因此可以适应多种不同零件的加工。

2. 生产准备周期短

在数控机床上加工新的零件,大部分准备工作是针对零件工艺编制数控程序,而不是去准备靠模、钻镗模、专用夹具等工艺装备,而且编程工作可以离线进行,这样大大缩短了生产准备时间。因此应用数控机床,十分有利于企业产品的升级换代和新产品的开发。

3. 工序高度集中

为了体现自动、柔性的特点,数控机床在结构和功能的设计上,充分考虑了工序的集中,使机床粗加工时有足够的刚度,精加工时又有可靠的精度。在数控机床上加工,特别是在带有自动换刀系统的数控机床上加工,往往是一次装夹后,完成尽可能多的加工内容。这样就可以减少机床、夹具的数量和因重复装夹定位造成的误差,同时还能够缩短转序、等待和装夹等辅助时间。

4. 生产效率和加工精度高

由于数控机床在结构设计上采用了有针对性的设计,因此加工时可以采用较大的切削用量。特别是一些重切数控机床,其切削用量可以是普通金属切削机床常用量的十几倍。加上自动换刀等辅助动作的自动化,使得数控机床的生产效率非常高。与此同时,数控机床还具有相当高的加工精度和质量稳定性。这也是由数控机床结构设计采用了必要的措施,以及机电结合的特点决定的。首先是在结构上引入了滚珠丝杠螺母机构、各种消除间隙结构等,使机械传动的误差尽可能小;其次是采用了软件精度补偿技术,使机械误差进一步减小;第三是用程序控制加工,减少了人为因素对加工精度的影响。这些措施不仅保证了较高的加工精度,同时还保持了较高的质量稳定性。

5. 能完成复杂型面的加工

如上节所述,数控系统不仅可以控制多个轴的运动,而且能够驱动多个轴联动,使刀具在三维空间中能实现任意轨迹。这就使得许多采用普通加工方法无法完成的复杂型面的加工成为可能。

6. 技术含量高

数控机床是典型的机电一体化产品,其组成部分大多属于高技术范畴。因此对使用者和维护人员都有很高的要求。

思考题与习题

- 1.1 数控机床主要由哪几部分组成?
- 1.2 最常用的数控机床有哪几类? 它们分别应用于哪类零件的加工?
- 1.3 数控机床的大致工作过程是怎样的?
- 1.4 数控编程方法有几种? 在什么情况下需要借助计算机辅助编程?

第 2 章 计算机数控系统

目前,数控机床的控制系统基本上都采用了计算机数字控制(CNC)系统,因此本章主要介绍 CNC 系统。

2.1 概述

2.1.1 CNC 系统的组成及其工作过程

CNC 系统实质上是一类专用计算机,它除了具有一般计算机的结构外,还有和数控机床功能有关的功能模块结构和接口单元。CNC 系统由硬件和软件组成,软件在硬件的支持下运行,离开软件,硬件便无法工作,两者缺一不可。软件包括管理软件和控制软件两大类。管理软件由输入输出程序、显示程序和诊断程序等组成。控制软件由译码程序、刀具补偿计算程序、速度控制程序、插补运算程序和位置控制程序等组成,如图 2-1 所示。

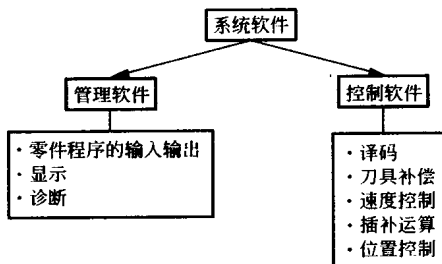


图 2-1 CNC 系统的软件构成

CNC 系统的硬件结构如图 2-2 所示,中央处理单元(CPU)负责运算及对整个系统进行控制和管理。存储器用于储存系统软件和零件加工程序,以及运算的中间结果等。输

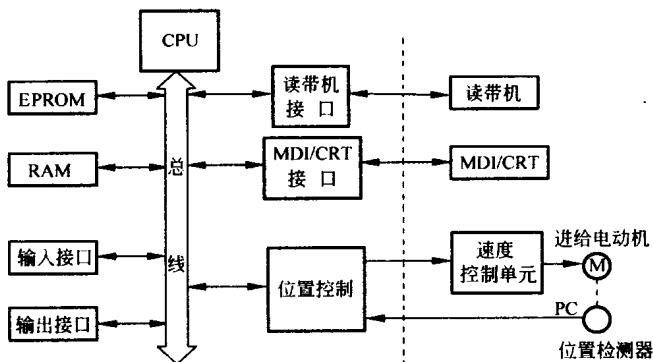


图 2-2 CNC 系统的硬件构成