

全国中等职业技术学校 **数控加工专业教材**

GUANGUO ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO SHUKONG JIAGONG ZHUANYE JIAOCAI

数控加工

Shukong 工艺学

(第二版)

中国劳动社会保障出版社



全国中等职业技术学校数控加工专业教材

数控加工工艺学

(第二版)

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺学/韩鸿鸾主编. —2版. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2005
全国中等职业技术学校数控加工专业教材

ISBN 7-5045-2419-0

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 033853 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出 版 人 : 张梦欣

*

北京乾洋印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 17印张 424千字

2005年7月第2版 2005年7月第1次印刷

印数:50100册

定价:23.00元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64911344

前 言

全国中等职业技术学校数控加工专业教材自出版以来，为满足中等职业技术学校教学及相关职业培训发挥了重要作用，受到了广大师生的好评。但是，随着我国社会主义市场经济和现代加工技术的迅速发展，社会及企业对技能人才的知识与技能结构提出了更新、更高的要求，数控技术和设备也有了很大的进步。为适应培养 21 世纪技能人才的需要，满足全国中等职业技术学校数控加工专业教学，我们根据劳动和社会保障部培训就业司颁发的《数控加工专业教学计划和教学大纲（2005）》，组织有关专家对原版教材进行了全面修订，修订后的教材包括：《数控加工工艺学（第二版）》《数控机床编程与操作（第二版 数控车床分册）》《数控机床编程与操作（第二版 数控铣床、加工中心分册）》《数控加工技术》，其中，前三种教材还配有习题册。

在本套教材的编写过程中，我们始终坚持了以下几个原则：

以学生就业为导向，以企业用人标准为依据。在专业知识的安排上，紧密联系培养目标的特征，坚持够用、实用的原则，摒弃“繁难偏旧”的理论知识，同时，进一步加强技能训练的力度，特别是加强基本技能与核心技能的训练。

在考虑各地办学条件的前提下，力求反映机械行业发展的现状和趋势，尽可能多地引入新技术和新设备，使教材富有时代感。同时，采用最新的国家技术标准，使教材更加科学和规范。

遵从中等职业技术学校学生的认知规律，在结构安排和表达方式上，强调由浅入深，循序渐进，强调师生互动和学生自主学习，并通过大量生产中的案例和图文并茂的表现形式，使学生能够比较轻松地掌握所学内容。

教材在编写过程中，还参照了有关国家职业标准。

本套教材的编写工作得到了江苏、山东、陕西等省劳动和社会保障厅及有关学校的支持和帮助，对此我们表示衷心的感谢。

《数控加工工艺学（第二版）》主要内容有：数控机床概述、数控机床的机械结构、数控加工工艺基础、数控加工用刀具与夹具系统、数控机床切削加工工艺、数控电加工工艺。

《数控加工工艺学（第二版）》由韩鸿鸾主编；崔兆华审稿。

劳动和社会保障部教材办公室

2005年6月

目 录

第一章 数控机床概述	(1)
§ 1—1 数控机床的产生与发展	(1)
§ 1—2 数控机床的特点及主要技术指标	(3)
§ 1—3 数控机床的组成与工作原理	(6)
§ 1—4 数控机床的分类	(9)
§ 1—5 数控机床坐标系	(14)
* § 1—6 数控机床的插补原理	(18)
§ 1—7 数控机床的维护	(22)
思考与练习	(26)
高新技术阅读 先进制造技术	(27)
第二章 数控机床的机械结构	(28)
§ 2—1 概述	(28)
§ 2—2 数控机床的主传动系统	(29)
§ 2—3 数控机床的进给传动系统	(35)
§ 2—4 数控机床用导轨	(40)
§ 2—5 自动换刀装置	(43)
§ 2—6 数控回转工作台与分度工作台	(55)
§ 2—7 高速动力卡盘与其他辅助装置	(59)
§ 2—8 金属切削数控机床	(66)
§ 2—9 电加工数控机床	(80)
思考与练习	(87)
高新技术阅读 高速切削加工技术	(88)
第三章 数控加工工艺基础	(89)
§ 3—1 数控加工工艺概述	(89)
§ 3—2 数控加工工艺文件	(90)
§ 3—3 加工路线的确定	(93)
§ 3—4 手工编程中的数学处理	(97)
§ 3—5 加工余量的确定	(111)
§ 3—6 工序尺寸及其公差确定	(114)

§ 3—7 数控加工工艺设计过程·····	(118)
§ 3—8 机械加工精度及表面质量·····	(123)
* § 3—9 成组技术在数控加工中的应用·····	(127)
思考与练习·····	(131)
高新技术阅读 虚拟制造·····	(132)
第四章 数控加工用刀具与夹具系统·····	(133)
§ 4—1 数控加工用刀具的种类与特点·····	(133)
§ 4—2 数控车削用刀具·····	(135)
§ 4—3 数控铣削用刀具系统·····	(141)
§ 4—4 对刀仪简介·····	(162)
§ 4—5 数控加工用夹具·····	(165)
思考与练习·····	(169)
高新技术阅读 刀具材料和涂层技术·····	(170)
第五章 数控机床切削加工工艺·····	(171)
§ 5—1 数控车削加工工艺·····	(171)
§ 5—2 数控铣削加工工艺·····	(195)
§ 5—3 加工中心的加工工艺·····	(213)
思考与练习·····	(226)
高新技术阅读 五轴联动数控技术·····	(228)
第六章 数控电加工工艺·····	(229)
§ 6—1 概述·····	(229)
§ 6—2 数控电火花成形加工·····	(231)
§ 6—3 数控线切割机床的加工工艺·····	(244)
思考与练习·····	(257)
高新技术阅读 虚拟轴机床·····	(259)
附录 数控基本术语·····	(260)
金属切削数控机床的基本术语·····	(260)
电加工与特种加工数控机床的基本术语·····	(264)

第一章

数控机床概述

§ 1—1 数控机床的产生与发展

一、数控机床的产生

在机械制造工业中并不是所有的产品零件都具有很大的批量，单件与小批生产的零件（批量在 10~100 件）约占机械加工总量的 80% 以上。尤其是在造船、航天、航空、机床、重型机械以及国防工业更是如此。

为了满足多品种、小批量的自动化生产，迫切需要一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床。数控机床就是在这样的背景下诞生与发展起来的。它为单件、小批生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

根据国家标准 GB/T8129—1997，对机床数字控制的定义为：用数字数据的装置（简称数控装置），在运行过程中，不断地引入数字数据，从而对某一生产过程实现自动控制，叫数字控制，简称数控。用计算机控制加工功能，实现数字控制，称计算机数控（computerized numerical control，缩写 CNC）。

数控机床即是采用了数控技术的机床，或者说装备了数控系统的机床。从应用来说，数控机床就是将加工过程所需的各种操作（如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、选择刀具、供给切削液等）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，通过控制介质将数字信息送入专用的或通用的计算机，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伺服系统或其他执行元件，使机床自动加工出所需要的零件。

二、数控机床的发展

1. 数控系统的发展

从 1952 年第一台数控机床问世后，数控系统已先后经历了两个阶段和六代的发展，其六代是指电子管、晶体管、集成电路、小型计算机、微处理器和基于工控 PC 机的通用 CNC 系统。其中前三代为第一阶段，称作硬件连接数控，简称 NC 系统；后三代为第二阶段，称作计算机软件数控，简称 CNC 系统。

2. 数控机床的发展趋势

数控机床总的发展趋势是工序集中、高速、高效、高精度以及方便使用、提高可靠性等。

(1) 工序集中 20 世纪 50 年代末期, 在一般数控机床的基础上开发了数控加工中心, 即自备刀库的自动换刀数控机床。在加工中心机床上, 工件一次装夹后, 机床的机械手可自动更换刀具, 连续地对工件进行多种工序加工, 如图 1—1 所示为能进行五面加工的加工中心。

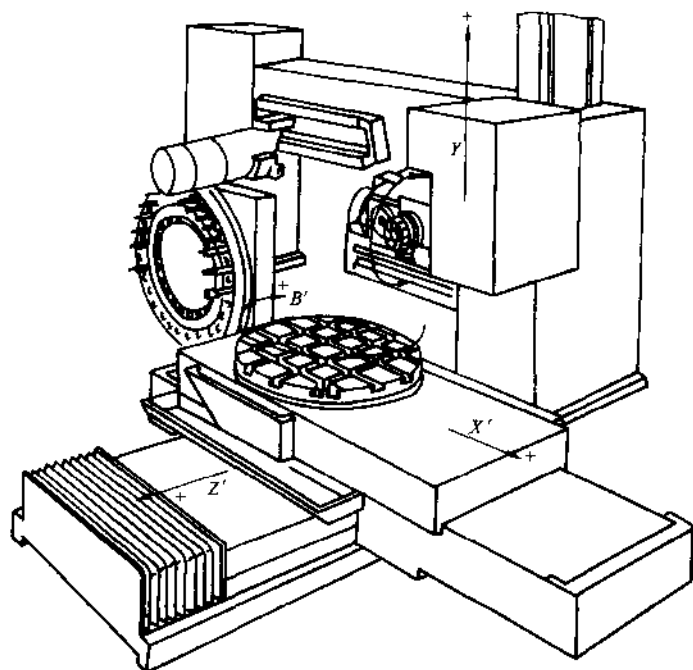


图 1—1 能进行五面加工的加工中心

目前, 加工中心机床的刀库容量可达 100 多把刀具, 自动换刀装置的换刀时间仅需 0.5~2 s。加工中心机床使工序集中在一台机床上完成, 减少了由于工序分散、工件多次安装引起的定位误差, 提高了加工精度, 同时也减少了机床的台数与占地面积, 压缩了半成品的库存量, 减少了工序间的辅助时间, 有效地提高了数控机床的生产效率和数控加工的经济效益。

(2) 高速、高效、高精度 高速、高效、高精度是机械加工的目标, 数控机床因其价格昂贵, 在上述三个方面的发展也就更为突出。

(3) 方便使用 数控机床制造厂把建立友好的人机界面、提高数控机床的可靠性作为提高竞争能力的重要方面。

1) 加工编程方便 手工编程和自动编程已使用了几十年, 有了长足的发展, 在手工编程方面, 开发了多种加工循环、参数编程和除直线、圆弧以外的各种插补功能, CAD/CAM 的研究发展, 从技术上来讲可以替代手工编程。但是一套适用的 CAD/CAM 软件加上计算机硬件, 投资较大, 学习、掌握时间较长, 对大多数的简单工件很不经济。

近年来发展起来的图形交互式编程系统 (WOP, 又称面向车间编程), 很受用户欢迎。这种编程方式不使用 G、M 代码, 而是借助图形菜单, 输入整个图形块以及相应参数作为加工指令, 形成加工程序, 与传统加工时的思维方式类似。图形交互编程方法在制定标准后,

有可能成为各种型号的数控机床统一的编程方法。

2) 使用方便 数控机床普遍采用彩色 CRT 进行人机对话、图形显示和图形模拟等。有的数控机床将使用说明书、编程指南、润滑指南等存入系统供使用者调阅。

§ 1—2 数控机床的特点及主要技术指标

一、特点

1. 对加工对象改型的适应性强

由于在数控机床上改变加工零件时,只需要重新编制程序,更换新的控制介质或者手动输入程序就能实现对零件的加工,它不同于传统的机床,不需要制造、更换许多工具、夹具和模具,更不需要重新调整机床,因此,数控机床可以快速地从加工一种零件转变为加工另一种零件,这就为单件、小批以及试制新产品提供了极大的便利。

2. 加工精度高

数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的,因此,数控机床能达到比较高的加工精度。对于中、小型数控机床,定位精度普遍可达到 0.03 mm,重复定位精度为 0.01 mm。另一方面,数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度、热稳定性和制造精度,特别是数控机床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差,同一批加工零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量十分稳定。

3. 加工生产率高

零件加工所需要的时间包括机动时间与辅助时间两部分。减少机床辅助时间、提高机床的效率,通常采取如下措施:

(1) 缩短换刀时间,现在数控机床的换刀时间最短仅为 0.5 s。

(2) 研制新的刀库和换刀机械手,使选刀动作与机动时间重合,或使用全机械式换刀机械手,保证快速可靠。

(3) 使用各种形式的交换工作台,使装卸工件的时间与机动时间重合,同时缩短工作台的交换时间。

(4) 广泛采用脱机编程、图形模拟等技术,实现后台输入、修改编辑程序,前台加工,缩短新的加工程序在机调试时间。

(5) 采用快换夹具、刀具装置以及实现对工件原点快速确定等措施,缩短机床调整时间。

提高切削速度可以减少机动时间。目前数控机床的主轴转速已达 6 000 r/min 以上,有的达到 100 000 r/min,切削速度达到 2 000 m/min,加工铝材时的金属切除率已达 1 000 cm³/min。传统的砂轮线速度为 30~60 m/s,目前数控磨床的砂轮线速度达到 140~150 m/s,甚至高达 500 m/s,磨削进给速度可达 5~10 m/min。数控机床移动部件的快速移动和定位均采用了加速与减速措施,因而可选用很高的空行程运动速度,消耗在快进、快退和定位的时间要比一般机床少得多。

数控机床的加工精度比较稳定,在控制介质校验以及刀具完好的情况下,一般只做首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验,因而可以减少停机检验的时间。数控机床的利用系数比

一般机床高得多。

在使用带有刀库和自动换刀装置的数控加工中心机床时，在一台机床上实现了多道工序的连续加工，减少了半成品的周转时间，生产效率的提高就更为明显。

4. 操作者的劳动强度减轻

数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的，操作者除了安放控制介质或操作键盘，装卸零件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外，不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度与紧张程度均可大为减轻，劳动条件也得到相应的改善。例如，电子工业中印制电路板的钻孔，如果在台式钻床上进行手动加工，单调频繁的手工操作很容易造成工人的视觉疲劳，从而产生不少差错，通常很难进行1 h以上的连续操作。当采用高速数控钻床加工时，就能从根本上改善操作者的劳动条件。

5. 良好的经济效益

使用数控机床加工零件时，分摊在每个零件上的设备费用是较昂贵的。但在单件、小批生产情况下，可以节省许多其他方面的费用，因此能够获得良好的经济效益。

使用数控机床，在加工之前节省了划线工时，在零件安装到机床上之后可以减少调整、加工和检验时间，减少了直接生产费用。另一方面，由于数控机床加工零件不需要手工制作模型、凸轮、钻模板及其他工夹具，节省了工艺装备费用。还由于数控机床的加工精度稳定，减少了废品率，使生产成本进一步下降。

6. 有利于生产管理的现代化

用数控机床加工零件，能准确地计算零件的加工工时，并有效地简化了检验和工夹具、半成品的管理工作。这些特点都有利于使生产管理现代化。

7. 易于建立计算机通信网络

由于数控机床使用数字信息，因此它易于与计算机建立通信网络，便于与计算机辅助设计系统连接，而形成计算机辅助设计与制造紧密结合的一体化系统。

8. 价格较贵

数控机床是以数控系统为代表的新技术对传统机械制造产业渗透形成的机电一体化产品，它涉及了机械、信息处理、自动控制、伺服驱动、自动检测、软件技术等许多领域，尤其是采用了许多高、新、尖的先进技术，使得数控机床的整体价格较高。

9. 调试和维修较复杂，需专门的技术人员

由于数控机床结构复杂，所以要求调试与维修人员应经过专门的技术培训，才能胜任此项工作。

二、主要技术指标

1. 主要规格尺寸

数控车床主要规格尺寸有床身与刀架最大回转直径、最大车削长度、最大车削直径等；数控铣床主要有工作台、工作台T形槽、工作台行程等规格尺寸。

2. 主轴系统

数控机床主轴采用直流或交流电动机驱动，具有较宽调速范围和较高回转精度，主轴本身刚度与抗振性比较好。现在数控机床主轴普遍达到5 000 ~ 10 000 r/min 甚至更高的转速，对提高加工质量和各种小孔加工极为有利；主轴可以通过操作面板上的转速倍率开关直接改变转速，每挡间隔5%，其调节范围为50% ~ 120%；在加工端面时主轴具有恒定切削

速度。

3. 进给系统

该系统有进给速度范围、快进（空行程）速度范围、运动分辨率（最小移动增量）、定位精度和螺距范围等主要技术参数。

（1）进给速度 它是影响加工质量、生产效率和刀具寿命的主要因素，直接受到数控装置运算速度、机床动特性和工艺系统刚度限制。数控机床的进给速度可达到 $10 \sim 30 \text{ m/min}$ ，其中最大进给速度为加工的最大速度，最大快进速度为不加工时移动的最快速度。进给速度可通过操作面板上的进给倍率开关调整，每挡间隔为 10%，其调整范围为 10% ~ 200%。

（2）脉冲当量（分辨率） 数控机床的重要精度指标，包括两方面的内容：一是机床坐标轴可达到的控制精度（可以控制的最小位移增量），表示数控机床每发出一个脉冲时坐标轴移动的距离，称为实际脉冲当量或外部脉冲当量；二是内部运算的最小单位，称之为内部脉冲当量，一般内部脉冲当量比实际脉冲当量设置得要小，为的是在运算过程中不损失精度，数控系统在输出位移量之前，自动将内部脉冲当量转换成外部脉冲当量。

实际脉冲当量决定于丝杠螺距、电动机每转脉冲数和机械传动链的传动比，其计算公式为：

$$\text{实际脉冲当量} = \text{传动比} \times \frac{\text{丝杠螺距}}{\text{电动机每转脉冲数}}$$

数控机床的加工精度和表面质量取决于脉冲当量数的大小。普通数控机床的脉冲当量一般为 0.001 mm 。简易数控机床的脉冲当量一般为 0.01 mm ，精密或超精密数控机床的脉冲当量一般为 0.0001 mm 。脉冲当量越小，数控机床的加工精度和表面质量越高。

4. 定位精度和重复定位精度

定位精度是指数控机床工作台或其他运动部位，实际运动位置与指令位置的一致程度，其不一致的差量即为定位误差。引起定位误差的因素包括伺服系统、检测系统、进给系统误差，以及运动部件导轨的几何误差等。定位误差直接影响加工零件的尺寸精度。重复定位精度是指在相同的操作方法和条件下，完成规定操作次数过程中得到结果的一致程度。重复定位精度一般是呈正态分布的偶然性误差，它会影响批量加工零件的一致性，是一项非常重要的性能指标。一般数控机床的定位精度为 $\pm 0.01 \text{ mm}$ ，重复定位精度为 $\pm 0.005 \text{ mm}$ 。

5. 刀具系统

数控车床包括刀架工位数、工具孔直径、刀杆尺寸、换刀时间、重复定位精度等各项内容。加工中心刀库容量与换刀时间直接影响其生产率，通常中小型加工中心的刀库容量为 16 ~ 60 把，大型加工中心可达 100 把以上。换刀时间是指自动换刀系统将主轴上的刀具与刀库刀具进行交换所需要的时间，换刀一般可在 $0.5 \sim 20 \text{ s}$ 的时间内完成。

6. 电气

包括主电动机、伺服电动机规格型号和功率等。

7. 冷却系统

包括冷却箱容量、冷却泵输出量等。

8. 外形尺寸

表示为长 × 宽 × 高。

§ 1—3 数控机床的组成与工作原理

数控机床由控制介质、人机交互设备、计算机数控 (CNC) 装置、进给伺服驱动系统、主轴驱动系统、辅助控制装置、可编程控制器 (PLC, programmable logic controller)、反馈系统和自适应控制等部分组成, 如图 1—2 所示。

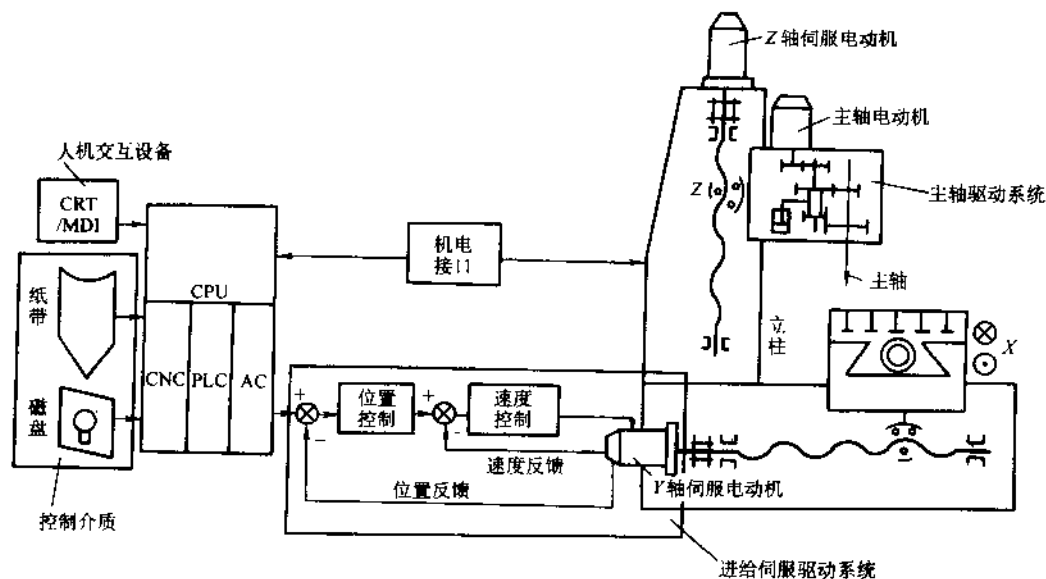


图 1—2 数控机床的组成

1. 控制介质

要对数控机床进行控制, 就必须在人与数控机床之间建立某种联系, 这种联系的中间媒介物就是控制介质, 又称为信息载体。在使用数控机床之前, 先要根据零件图上规定的尺寸、形状和技术条件, 编出工件的加工程序, 将加工工件时刀具相对于工件的位置和机床的全部动作顺序, 按照规定的格式和代码记录在信息载体上。需要在数控机床上加工该工件时, 把信息载体上存放的信息 (即零件加工程序) 输入计算机控制装置。常用的控制介质有穿孔纸带、穿孔卡、磁盘和磁带。

2. 人机交互设备

数控机床在加工运行时, 通常都需要操作人员对数控系统进行状态干预和输入控制介质存放的加工程序, 对输入的加工程序进行编辑、修改和调试, 同时数控系统要显示数控机床运行状态等, 也就是数控机床要具有人机联系的功能。具有人机联系功能的设备统称为人机交互设备。

键盘和显示器 (图 1—3) 是数控系统不可缺少的人机交互设备, 操作人员可通过键盘和显示器输入简单的加工程序、编辑修改程序和发送操作命令, 即进行手工数据输入 (MDI, manual data input)。简单的显示器是由若干个数码管构成的, 能显示的信息有限; 高级的数控系统一般都配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器, 显示信息丰富。低档的 CRT 显示



图 1—3 键盘和显示器

器或液晶显示器只能显示字符，高档显示器还能显示加工轨迹图形。

3. 计算机数控 (CNC) 装置

数控装置是数控机床的中枢，目前，绝大部分数控机床采用微型计算机控制。数控装置由硬件和软件组成，没有软件，计算机数控装置就无法工作；没有硬件，软件也无法运行。数控装置由运算器、控制器（运算器和控制器构成 CPU）、存储器、输入接口、输出接口等组成。

输入接口接收由控制介质输入设备输入的代码信息，经过识别与译码之后送到指定存储区，作为控制与运算的原始数据。简单的加工程序可用手动数据输入方式 (MDI) 输入，即在键盘控制程序的控制下，操作人员直接用键盘把工件加工程序输入存储器。

4. 进给伺服驱动系统

伺服驱动系统的作用是把来自数控装置的位置控制移动指令转变成机床工作部件的运动，使工作台按规定轨迹移动或精确定位，加工出符合图样要求的零件。因为进给伺服驱动系统是数控装置和机床本体之间的联系环节，所以它必须把数控装置送来的微弱指令信号，放大成能驱动伺服电动机的大功率信号。

常用的伺服电动机有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。根据接收指令的不同，伺服驱动有脉冲式和模拟式，而模拟式伺服驱动方式按驱动电动机的电源种类，可分为直流伺服驱动和交流伺服驱动。步进电动机采用脉冲驱动方式，交、直流伺服电动机采用模拟式驱动方式。

5. 主轴驱动系统

机床的主轴驱动系统和进给伺服驱动系统差别很大，机床主轴的运动是旋转运动，机床进给运动主要是直线运动。早期的数控机床一般采用三相感应式同步电动机配上多级变速箱

作为主轴驱动的主要方式。现代数控机床对主轴驱动提出了更高的要求，要求主轴具有很高的转速和很宽的无级调速范围；主传动电动机应既能输出大的功率，又要求主轴结构简单，同时数控机床的主轴驱动系统能在主轴的正反方向都可以实现转动和加减速。

为了使数控车床进行螺纹车削加工，要求主轴和进给驱动实现同步控制；还要求主轴能实现正反方向和加速、减速控制；在加工中心上为了保证每次自动换刀时刀柄上的键槽对准主轴上的端面键，以及精镗孔后退刀时不会划伤已加工表面，要求主轴能进行高精度的准停控制；为了保证端面加工质量，要求主轴具有恒线速度切削功能；有的数控机床还要求具有角度分度控制功能。现代数控机床绝大部分采用交流主轴驱动系统，由可编程控制器进行控制。

6. 辅助控制装置

辅助控制装置包括刀库的转位换刀，液压泵、冷却泵等控制接口电路，电路含有的换向阀电磁铁、接触器等强电电气元件。现代数控机床可采用可编程控制器进行控制，所以辅助装置的控制电路变得十分简单。

7. 可编程控制器

可编程控制器的作用是对数控机床进行辅助控制，其作用是把计算机送来的辅助控制指令，经可编程控制器处理和辅助接口电路转换成强电信号，用来控制数控机床的顺序动作、定时计数、主轴电动机的起动和停止、主轴转速调整、冷却泵起停以及转位换刀等动作。可编程控制器本身可以接收实时控制信息，与数控装置共同完成对数控机床的控制。

数控机床上使用的 PLC 可以分成两类：一类是 CNC 生产厂家为实现数控机床的顺序动作控制，而将 CNC 和 PLC 综合起来设计，称为内装型 PLC，内装型 PLC 是 CNC 装置的一部分；另一类是以独立专业化的 PLC 生产厂家的产品实现数控机床的顺序控制功能，称独立型 PLC。

8. 反馈系统

反馈系统包括位置反馈与速度反馈等，它们的作用是通过测量装置将机床移动的实际位置、速度参数检测出来，转换成电信号，并反馈到 CNC 装置中，使 CNC 能随时判断机床的实际位置、速度是否与指令一致，并发出相应指令，纠正所产生的误差。测量装置安装在数控机床的工作台或丝杠上，相当于普通机床的刻度盘和人的眼睛。

9. 自适应控制

数控机床工作台的位移量和速度等过程参数可在编写程序时用指令确定，但是有一些因素在编写程序时无法预测，如加工材料力学特性的变化引起切削力变化、加工现场的温度变化等，这些随机变化的因素也会影响数控机床的加工精度和生产效率。自适应控制（AC，adaptive control）的目的，就是试图把加工过程中的温度、转矩、振动、摩擦、切削力等因素的变化，与最佳参数比较，若有误差则及时补偿，以期提高加工精度或生产率。目前自适应控制仅用于高效率 and 加工精度高的数控机床，一般数控机床很少采用。

10. 机床本体

数控机床本体由床身、立柱和工作台等大件组成，是数控机床的基础结构。由于数控机床是高精度和高生产率的自动化加工机床，与普通机床相比，应具有更好的抗振性和刚度，要求相对运动面的摩擦因数要小，进给传动部分之间的间隙要小。所以其设计要求比通用机床更严格，加工制造要求更精密，并要采用加强刚性、减小热变形、提高精度的设计措施。

§ 1—4 数控机床的分类

目前数控机床的品种很多,通常按下面几种方法进行分类。

一、按工艺用途分类

1. 一般数控机床

最普通的数控机床有钻床、车床、铣床、镗床、磨床和齿轮加工机床。如图 1—4 所示为 XK5040A 型数控铣床。

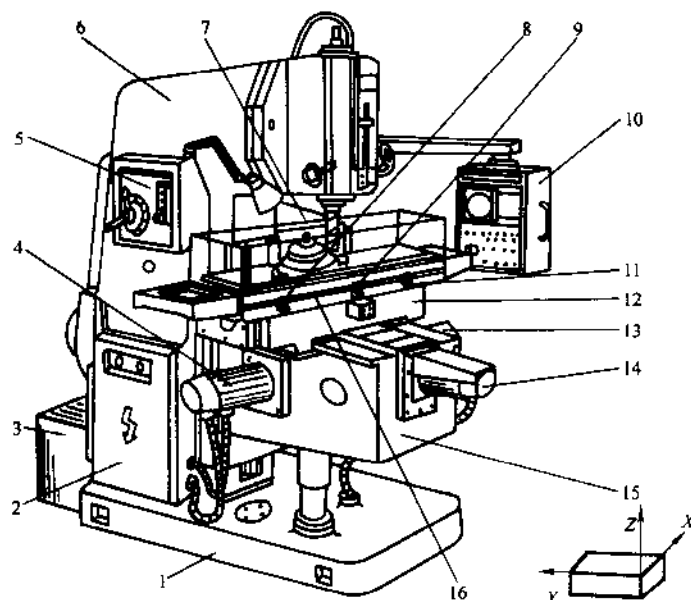


图 1—4 XK5040A 型数控铣床

- 1—底座 2—强电柜 3—变压器箱 4—升降进给伺服电动机 5—主轴变速手柄和按钮板
6—床身立柱 7—数控柜 8、11—纵向行程限位保护开关 9—纵向参考点设定挡铁 10—操纵台
12—横向溜板 13—纵向进给伺服电动机 14—横向进给伺服电动机 15—升降台 16—纵向工作台

2. 数控加工中心

这类数控机床是在一般数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置。如图 1—5 所示为 XH754 型卧式加工中心。这类数控机床的出现打破了一台机床只能进行单工种加工的传统概念,可在实行一次安装定位后,完成多工序加工。

二、按加工路线分类

数控机床按其进刀与工件相对运动的方式,可以分为点位控制、直线控制和轮廓控制,如图 1—6 所示。

1. 点位控制 (图 1—6a)

点位控制方式就是刀具与工件相对运动时,只控制从一点运动到另一点的准确性,而不考虑两点之间的运动路径和方向。这种控制方式多应用于数控钻床、数控冲床、数控坐标镗

床和数控点焊机等。它的运动特点是先快后慢。

2. 直线控制 (图 1—6b)

直线控制方式就是刀具与工件相对运动时,除控制从起点到终点的准确定位外,还要保证平行坐标轴的直线切削运动。由于只作平行坐标轴的直线进给运动,因此不能加工复杂的零件轮廓。这种控制方式用于简易数控车床、数控铣床、数控磨床等。

有的直线控制的数控机床可以加工与坐标轴成 45° 角的直线。

3. 轮廓控制 (图 1—6c)

轮廓控制就是刀具与工件相对运动时,能对两个或两个以上坐标轴的运动同时进行控制。因此可以加工平面曲线轮廓或空间曲面轮廓。采用这类控制方式的数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、加工中心等。

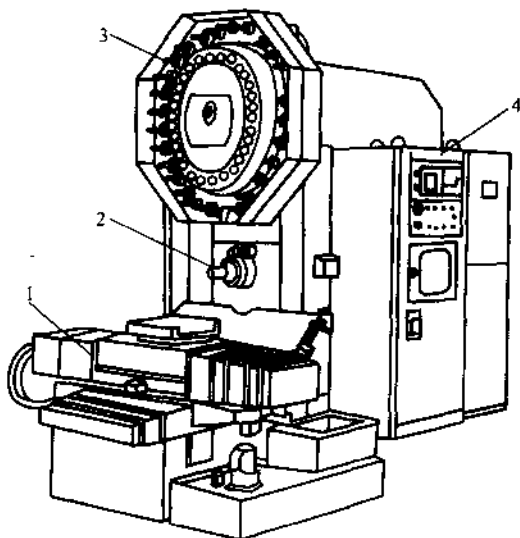


图 1—5 XH754 型卧式加工中心
1—工作台 2—主轴 3—刀库 4—数控柜

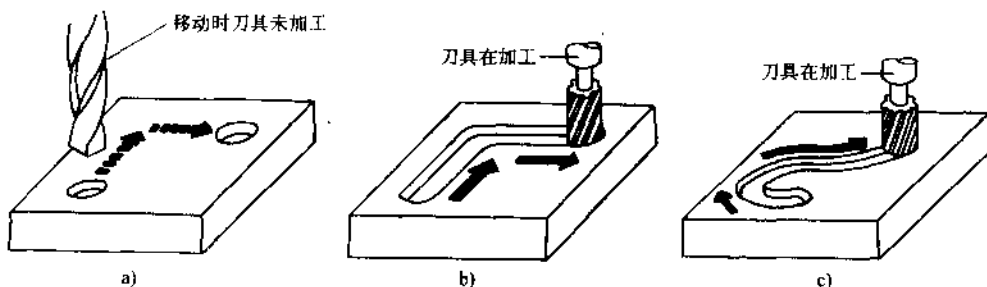


图 1—6 数控机床按其进刀与工件相对运动的方式分类
a) 点位控制 b) 直线控制 c) 轮廓控制

三、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

数控机床能同时控制两个坐标轴联动,即数控装置同时控制 X 和 Z 方向运动,可用于加工各种曲线轮廓的回转体类零件。或机床本身有 X 、 Y 、 Z 三个方向的运动,数控装置中只能同时控制两个坐标,实现两个坐标轴联动,但在加工中能够实现坐标平面的变换,用于加工如图 1—7a 所示的零件沟槽。

2. 三坐标联动

数控机床能同时控制三个坐标轴联动,此时,铣床称为三坐标数控铣床,可用于加工曲面零件,如图 1—7b 所示。

3. 两轴半坐标联动

数控机床本身有三个坐标能作三个方向的运动,但控制装置只能同时控制两个坐标,而