



“工学结合、校企合作”课程改革成果系列教材
数控技术应用专业教学用书

数控机床操作与 维护技术基础

陈海滨 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



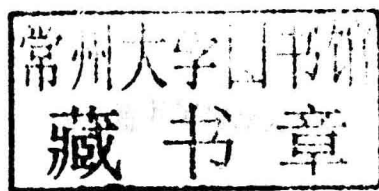
“工学结合、校企合作” 课程改革成果系列教材
数控技术应用专业教学用书

数控机床操作与维护技术基础

主 编 陈海滨

副主编 纪红兵

参 编 吴樱樱 陈忠平 陈 成



机械工业出版社

本书以先进的、应用广泛的数控设备为例,详细介绍了数控机床的基本操作、保养和维护等内容。

本书描述了数控机床的组成、工作过程以及分类和特点,重点以典型的数控车床(CK6140)、数控铣床(XK713型)、立式加工中心(VM600型)和数控电火花加工机床(DK7740)为例,介绍其基本操作方法和维护保养过程。同时,还介绍了数控电火花线切割机床的编程方法和数控电火花成形加工机床的加工工艺,以及数控机床维修的基本知识和技能。本书紧紧围绕数控机床的编程、基本操作及维护保养和维修技术这条主线,注重基本理论和基本操作方法的阐述。

本书可作为中等职业学校数控技术应用专业、机电技术应用专业、模具制造技术专业、电气技术应用专业教材,也可作为广大自学者和工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床操作与维护技术基础/陈海滨主编. —北京:机械工业出版社, 2012.2

“工学结合、校企合作”课程改革成果系列教材 数控技术应用专业教学用书

ISBN 978-7-111-34423-0

I. ①数… II. ①陈… III. ①数控机床-操作-高等职业教育-教材②数控机床-维修-高等职业教育-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 014275 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:汪光灿 责任编辑:汪光灿 张云鹏

版式设计:石 冉 责任校对:刘志文

封面设计:路恩中 责任印制:李 妍

唐山丰电印务有限公司印刷

2012 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·7.5 印张·181 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-34423-0

定价:17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着科学技术的迅速发展,数控机床以其高效、高精度以及加工灵活可变的特点,在各行各业取得了越来越广泛的应用,在许多场合,它已成为企业保证产品质量、提高生产效率和管理水平的关键设备。

数控机床是一种集机械技术、电子技术、计算机技术、精密检测技术及液压气动技术等于一体的高新技术设备。数控机床的出现和广泛应用,使机械制造、航空、航天、汽车、船舶、国防和其他高新技术领域的生产方式、产品结构和产业结构发生了深刻的变化,并且带来了巨大的经济效益。因此,数控机床的拥有量和应用能力的高低已成为衡量一个国家工业现代化水平的重要标志。随着数控机床的广泛应用,数控技术已成为当今世界机械制造业中的主流技术之一。

本书的编写以培养学生数控技术实际应用能力为主要目的,所选内容操作性强。在阐述内容上力求简明扼要、图文并茂、通俗易懂,使初学者能够尽快掌握数控技术。

本书由陈海滨任主编,纪红兵任副主编。第一章由吴樱樱编写,第二章由陈忠平编写,第三章由陈海滨编写,第四章由纪红兵编写,第五章由陈成编写。

本课程建议安排学时为 58 学时,具体分配如下:

内 容		课时
第一章 数控机床的基础知识	第一节 概述	1
	第二节 数控机床的组成和工作过程	2
	第三节 数控机床的基本类型	1
	第四节 机床坐标系	1
第二章 数控车床	第一节 概述	1
	第二节 手动操作	2
	第三节 程序的录入与编辑	1
	第四节 编程基础与对刀操作	2
	第五节 零件加工	4
	第六节 维护保养	2
第三章 数控铣床	第一节 概述	1
	第二节 手动操作	2
	第三节 程序的录入与编辑	2
	第四节 对刀操作	2
	第五节 零件加工	4
	第六节 维护保养	2
第四章 加工中心	第一节 概述	1
	第二节 零件加工	4
	第三节 维护保养	2

内 容		课时
第五章 数控电火花机床	第一节 概述	2
	第二节 数控电火花线切割机床的基本操作	2
	第三节 数控电火花线切割机床的加工工艺及编程	4
	第四节 数控电火花成形机床的基本操作	2
	第五节 维护保养	4
机 动		7
总 计		58

由于编者水平有限，书中难免有不少缺点与错误，殷切期望广大读者提出批评、指正、以进一步提高本书的质量。

编 者

目 录

前言

第一章 数控机床的基础知识 1

第一节 概述 1

第二节 数控机床的组成和工作过程 3

第三节 数控机床的基本类型 6

第四节 机床坐标系 9

第二章 数控车床 12

第一节 概述 12

第二节 手动操作 17

第三节 程序的录入与编辑 22

第四节 编程基础与对刀操作 28

第五节 零件加工 36

第六节 维护保养 39

第三章 数控铣床 43

第一节 概述 43

第二节 手动操作 50

第三节 程序的录入与编辑 59

第四节 对刀操作 63

第五节 零件加工 66

第六节 维护保养 70

第四章 加工中心 74

第一节 概述 74

第二节 零件加工 78

第三节 维护保养 87

第五章 数控电火花机床 91

第一节 概述 91

第二节 数控电火花线切割机床的基本
操作 93

第三节 数控电火花线切割机床的加工
工艺及编程 97

第四节 数控电火花成形机床的基本
操作 109

第五节 维护保养 111

参考文献 113

第一章

数控机床的基础知识



第一节 概 述

一、数控机床的产生和发展趋势

1. 数控机床的产生

随着科学技术的发展,工业产品结构日趋合理,其性能、精度和效率也日趋提高,更新换代频繁,生产类型由单品种大批大量生产向多品种小批量生产转化。因此,对工业产品的制造提出了高精度、高柔性 with 高度自动化的要求。数字控制机床就是为了解决单件、小批量,特别是复杂型面零件加工的自动化并保证其质量要求而产生的。

第一台数控机床是1952年美国PARSONS公司与麻省理工学院(MIT)合作研制的三坐标数控铣床,它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等多方面的技术成果,可用于加工复杂曲面零件。

数控机床的发展经历了电子管(1952年)、晶体管(1959年)、小规模集成电路(1965年)、大规模集成电路及小型计算机(1970年)和微处理机或微型计算机(1974年)等五代数控系统。

2. 数控机床的发展趋势

(1) 高速高效化 高速和超高速加工技术可以提高加工效率,也是加工难切削材料、提高加工精度、控制振动的重要保障。其技术关键是提高机床的主轴转速和进给速度。例如,进一步提高高速电动机主轴最高转速及功率、转矩,采用传感技术进行振动监测和诊断,进一步轻量化进给系统,采用直线电动机和力矩电动机的直接驱动方式,由刀具主轴部件实现机床的3个直线坐标运动等。

(2) 精密化 由于机床结构和各组件加工的精密化,机床可达到微米级精度。目前高档数控机床定位精度(全行程)已达 $4 \sim 6 \mu\text{m}$,重复定位精度已达 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 。同时,代表精度水平的超精密的纳米级机床已问世。

(3) 复合化 在零部件一体化程度不断提高、数量不断减少的同时,加工的产品形状也日益复杂,多轴控制的机床适用于加工形状复杂的工件。另一方面,产品周期的缩短要求加工机床能够随时调整和适应新的变化,满足各种各样产品的加工需求,这就要求一台机床能够加工以往需要多台机床加工的工序。在保持工序集中和减少工件重新安装定位的前提下,使更多的不同加工过程复合在一台机床上,以减少占地面积,减少零件传送和库存,保证加工精度和节能降耗的要求。

(4) 智能化 现代智能化数控机床可以根据切削条件的变化,自动调节工作参数,保

持最佳的工作状态,以得到较高的加工精度和较低的表面粗糙度值,同时也能提高刀具的使用寿命和设备的生产效率。此外,系统还可以随时对 CNC 系统本身及与其相连的各设备进行自诊断、检查,实现故障停机、故障报警、提示发生故障的部位及原因等。智能化现代数控机床的发展趋势是采用人工智能专家诊断系统。

(5) 信息化 利用计算机技术和网络通信技术,机床制造商可以建立机床远程技术支持体系,实现工况信息的传输、存储、查询和显示,以及远程智能诊断;与此同时,机床用户可以及时获得机床制造商的远程技术支持,机床制造商可准确地得到用户机床的工况资料数据,并进行机床状态的在线诊断,实现机床全生产周期服务的开放式网络监控服务,以此提高售后服务效率,并有助于及时改进产品的质量。

(6) 环保化 环保是机床产品必须达到的条件。通过干切削、准干切削、硬切削等措施避免切削液、润滑液对周围环境造成生态危害;通过采用全封闭的罩壳,全面避免切屑或切削液外溅。

(7) 设计模块化 模块化的设计在机床制造中已得到广泛应用,横向系列、纵向系列、全系列、跨系列的模块化设计使得外形相同的两台机床具有完全不同的功能。模块化设计将是贯穿产品设计全过程的主线,无论是机床技术的发展还是市场的竞争,无论是为了降低成本,还是为了提高产品质量,都要求在产品的开发设计中做好模块化的设计工作。

二、数控机床的特点与应用范围

1. 特点

数控加工就是数控系统按照加工程序驱动机床将毛坯加工成合格零件的过程。数控机床控制系统具有普通机床所没有的计算机数据处理功能、智能识别功能及自动控制功能。与常规加工相比,数控加工有其明显的特点,其特点如下:

(1) 自动化程度高,易实现计算机控制 数控加工除了装夹工件需要人工操作外,全部加工过程都在数控程序的控制下,由数控机床自动完成,不需要人工干预。因此,其加工质量主要由数控程序来控制。

(2) 数控加工的连续性高 工件在数控机床上只需装夹一次,就可以完成多个部位的加工,甚至完成工件的全部加工内容。配有刀库的加工中心能装几把甚至几十把刀具,且具有自动换刀功能,可以实现数控程序控制的全自动换刀,不需要中断加工过程,生产效率高。

(3) 数控加工的一致性高 数控加工基本消除了操作者的主观误差,其精度高、产品质量稳定、互换性好。

(4) 适用于复杂零件的加工 数控加工不受工件形状复杂程度的影响,应用范围广。它很容易实现涡轮叶片、成型模具等带有复杂曲面、高精度零件的加工,并能解决一些常规加工难以解决的难题。

(5) 便于建立网络化系统 例如,建立直接数控系统(DNC),将编程、加工、生产管理连成一体,建立自动化车间,形成集成化制造。也可与 CAD 系统集成,形成企业的数字化制造体系。数控程序由 CAM 软件编制,采用数字化和可视化技术,在计算机上用人机交互方式,能够迅速完成复杂零件的加工程序编制,从而缩短产品的研制周期。

近年来,随着数控机床的模块化发展,使数控加工设备增加了柔性化的特点。柔性加工不仅适用于多品种、小批量生产的需要,而且增加了自动变换工件的功能,能交替完成两种

或多种不同零件的加工,可实现无人看管的生产操作。由数台数控机床(加工中心)组成的柔性制造系统(FMS)是一种具有更高柔性的自动化制造系统,它具有将加工、装配和检验等制造过程的关键环节高度集成的自动化制造系统。

2. 应用范围

数控机床具有普通机床不具备的许多优点,且其应用范围正在不断扩大,但目前它并不能完全代替普通机床,也不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床最适合加工具有以下特点的零件:

- 1) 多品种、小批量生产的零件。
- 2) 轮廓形状复杂,难以手工加工的零件。
- 3) 加工要求精度较高的零件。
- 4) 价格昂贵、不允许报废的零件。
- 5) 改形频繁的零件。
- 6) 需要最短生产周期的急需零件。

基于数控机床的特点,在选择数控机床加工时,需要进行科学的技术经济分析,综合考虑,以便发挥数控机床最大的经济效益。

第二节 数控机床的组成和工作过程

一、数控机床的组成

如图 1-1 所示,数控机床由程序编制、输入装置、数控系统(CNC)、伺服驱动及位置检测、辅助控制装置、机床本体等部分组成。

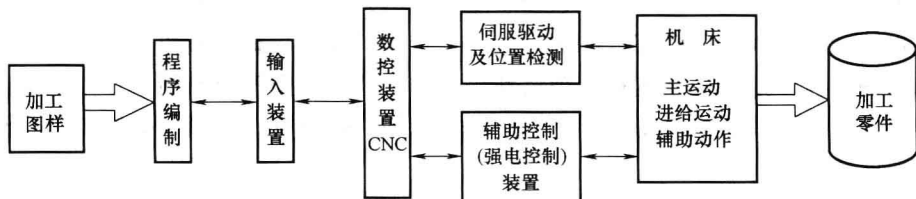


图 1-1 数控机床的组成

1. 程序编制

数控程序是数控机床的工作指令。数控程序的内容包括在对加工零件进行工艺分析的基础上,确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置,即零件在机床上的安装位置;刀具与零件相对运动的尺寸参数;零件加工的工艺路线、切削加工的工艺参数及辅助装置的动作等。得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后,用由文字、数字和符号组成的标准数控代码,按规定的方法和格式,编制零件加工的数控程序单。编制程序的工作可由人工进行;对于形状复杂的零件,则要在专用的编程机或通用计算机上进行自动编程(APT)或CAD/CAM设计。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体(信息载体)上的数控代码传递并存入数控系统内。数控机床加工程序也可通过键盘用手工方式直接输入数控系统,还可由编程计算机用RS232C

或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式：一种是边读取边加工（数控系统内存较小时），另一种是一次将零件加工程序全部输入至数控装置内部的存储器，加工时再从内部存储器中逐段调出进行加工。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。数控装置从内部存储器中读取或接受输入装置送来的数控加工程序，经过编译、运算和逻辑处理后，输出各种控制信息和指令，控制机床各部分的工作，使其进行规定的有序运动和动作。

零件的轮廓图形往往由直线、圆弧和非圆曲线组成，刀具在加工过程中按零件形状和尺寸的要求运动，即按图形轨迹移动。但输入的零件加工程序只能是各线段轨迹的起点和终点坐标值等数据，不能满足要求，因此要进行轨迹插补，也就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”，求出一系列中间点的坐标值，并向相应坐标输出脉冲信号，控制各坐标轴（即进给运动的各执行元件）的进给速度、进给方向和进给位移量等。

4. 驱动装置和位置检测装置

驱动装置接受来自数控装置的指令信息，经功率放大后，严格按照指令信息的要求驱动机床移动部件，以加工出符合图样要求的零件。因此，它的伺服精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素。驱动装置包括控制器（含功率放大器）和执行机构两大部分。目前大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

数控机床各坐标轴的实际位移量由位置检测装置检测出来，并经反馈系统输入到机床的数控装置之后，与设定值进行比较，以控制驱动装置按照指令设定值运动。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号，经过编译、逻辑判别和运动，再经功率放大后驱动相应的执行元件，带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停指令，刀具的选择和交换指令，冷却、润滑装置的启动停止，工件和机床部件的松开、夹紧，分度工作台转位分度等开关辅助动作。

由于可编程序逻辑控制器（PLC）具有响应快，性能可靠，易于使用、编制和修改程序并可直接启动机床开关等特点，现已广泛用作数控机床的辅助控制装置。

6. 机床本体

数控机床与普通机床相似，其机床本体由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。但数控机床在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构及操作机构等方面都已发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控加工的要求和充分发挥数控机床的特点。

二、数控机床的工作过程和编程指令代码

1. 数控机床的工作过程

在数控机床上加工零件通常需经过以下几个阶段，如图 1-2 所示。

（1）准备阶段 根据加工零件的图样，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）。根据工艺方案及所选用的夹具、刀具的类型等，确定相关辅助信息。

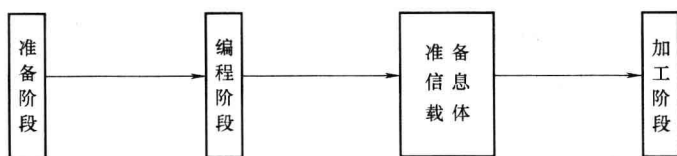


图 1-2 数控机床的零件加工过程

(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(对加工工艺过程的描述),并填写程序单。

(3) 准备信息载体 根据已编制好的程序单,将程序存放在信息载体(穿孔带、磁带、磁盘等)上,通过信息载体将全部加工信息传输给数控系统。当数控加工机床与计算机连接时,可直接将信息载入数控系统。

(4) 加工阶段 当执行程序时,机床数控系统(CNC)将加工程序语句译码、运算,转换成驱动各运动部件的动作指令,在系统的统一协调下驱动各运动部件的适时运动,自动完成对工件的加工。

2. 编程指令代码

常见编程指令代码见表 1-1。

表 1-1 常见编程指令代码

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N	G	X U Q	Y V P	Z W R	I J K	F	S	T	M	LF
顺序号	准备功能	坐标字				进给功能	主轴功能	刀具功能	辅助功能	结束符号

(1) 准备功能 G 指令 准备功能 G 指令用来规定刀具和工件的相对运动轨迹(规定插补功能)、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿、坐标偏置等多种加工操作。

G 指令由字母 G 及其后的两位数字组成。

(2) 辅助功能 M 指令 辅助功能 M 指令由字母 M 及其后的两位数字组成,分为续效指令和非续效指令。

1) M00——程序停止指令。在执行完含有 M00 的程序段后,机床的主轴、进给、切削液等动作都自动停止。重按[启动]键后,继续执行后续程序段。该指令用于加工过程中测量工件的尺寸、工件掉头、手动变速等固定操作。

2) M01——计划(任选)停止指令。在[任选停止]按键被按下时,执行完含有 M01 的程序段后,机床的主轴、进给、切削液等动作都自动停止,否则,继续执行后面的程序段。执行 M01 完成某操作后,重按[启动]键后,继续执行后续程序段。该指令用于工件关键尺寸的停车抽样检查。

3) M02——程序结束指令。当全部程序执行后,用此指令使主轴、进给、切削液等动作都自动停止,并使机床复位。程序的最后一个程序段中,必须有此指令。

(3) F、S、T 指令

1) F 指令为进给速度功能指令,为续效代码。

① F 指令的代码法: 字母 F 后跟两位数字, 不直接表示进给速度大小, 而是表示进给速度数列的序号。进给速度数列可以是算术级数, 也可以是几何级数。

② F 指令的直接指定法: 字母 F 后的数字就是进给速度的大小。现在大多数数控机床都采用这种指定方法。

2) S 指令为主轴转速功能指令, 续效指令, 用于指定主轴的转速 (单位为 r/min), 其指定方法与 F 指令相同。

3) T 指令为刀具功能指令。在具有自动换刀功能的数控机床中用于选择所需要的刀具。字母 T 后面跟两位数字, 数字表示刀具编号。

第三节 数控机床的基本类型

一、按工艺用途分类

数控机床	数控车床
	数控铣床
	数控钻床
	数控镗床
	数控齿轮加工机床
	数控平面磨床
	数控外圆磨床
	数控轮廓磨床
	数控工具磨床
	数控坐标磨床
	数控电火花加工机床
	数控线切割机床
	数控激光加工机床
	数控冲床
	加工中心
	数控超声波加工机床
	其他 (如三坐标测量机等)

二、按控制的运动轨迹分类

1. 点位控制系统

点位控制系统是指数控系统只控制刀具或机床工作台, 从一点准确地移动到另一点, 而点与点之间的运动轨迹不需要严格控制的系统。为了减少移动部件的运动与定位时间, 一般先以快速移动到终点附近位置, 然后以低速准确移动到终点定位位置, 以保证良好的定位精度。移动过程中刀具不进行切削。使用这类控制系统的主要有数控坐标镗床、数控钻床和数控冲床等。图 1-3 所示是点位控制加工示意图。

2. 点位直线控制系统

点位直线控制系统是指数控系统不仅控制刀具或工作台从一个点准确地移动到下一个点, 而且保证在两点之间

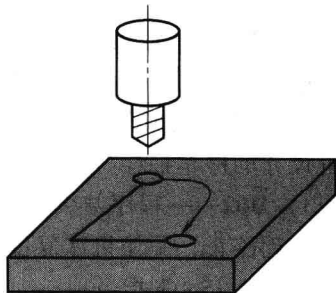


图 1-3 点位控制钻孔加工

的运动轨迹是一条直线的控制系统。刀具移动过程可以进行切削。应用这类控制系统的有数控车床、数控钻床和数控铣床等。图 1-4 所示是点位直线控制切削加工示意图。

3. 轮廓控制系统

轮廓控制系统也称连续切削控制系统,是指数控系统能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行严格连续控制的系统。它不仅能控制移动部件从一个点准确地移动到另一个点,而且还能控制整个加工过程每一点的速度与位移量,将零件加工成一定的轮廓形状。应用这类控制系统的有数控铣床、数控车床、数控齿轮加工机床和加工中心等。图 1-5 所示是轮廓控制切削加工示意图。

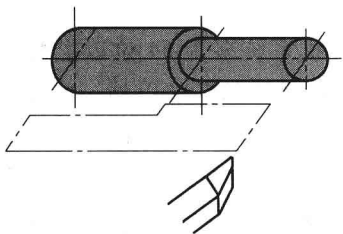


图 1-4 点位直线控制切削加工

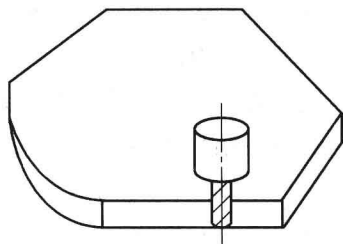


图 1-5 轮廓控制切削加工

三、按控制坐标联动轴数分类

数控系统控制多个坐标轴按需要的函数关系同时协调运动,称为坐标联动。

1. 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铣削平面轮廓。

2. 两轴半联动

在两轴的基础上增加了 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。

3. 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加工完成。

4. 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。

通常三轴机床可以实现二轴、二轴半、三轴加工;五轴机床也可以只用到三轴联动加工,而其他两轴不联动。

四、按性能分类

1. 经济型数控机床

经济型数控机床,又称简易数控机床。它的主要特点是价格便宜,功能针对性强。一般情况下,普通机床改装成简易数控机床后可以提高工作效率 1~4 倍,同时能降低废品率,提高产品质量,又可减轻工人劳动强度。

2. 中档数控机床

这类数控系统功能较多,但不追求过多,以实用为准,除了具有一般数控系统的功

能以外, 还具有一定的图形显示功能及面向用户的宏程序功能等。采用的微型计算机系统一般为 32 位微处理器系统, 具有 RS-232 通信接口, 机床的进给多用交流或直流伺服驱动, 一般系统能实现 4 轴或 4 轴以下联动控制, 进给分辨率为 $1\mu\text{m}$, 快速进给速度为 $10\sim 20\text{m}/\text{min}$, 其输入、输出的控制一般可由可编程序控制器来完成, 从而大大增强了系统的可靠性和控制的灵活性。这类数控机床的品种极多, 几乎覆盖了各种机床类别, 且其价格适中, 目前它总的趋势是趋向于简单、实用, 不追求过多的功能, 从而使机床的价格适当降低。

3. 高档数控机床

高档数控机床是指加工复杂形状工件的多轴控制数控机床, 且其工序集中、自动化程度高、功能强, 具有高度柔性。高档数控机床采用的微型计算机系统多为 64 位以上微处理器系统, 机床的进给大都采用交流伺服驱动, 除了具有一般数控系统的功能以外, 应该至少能实现 5 轴或 5 轴以上的联动控制, 最小进给分辨率为 $0.1\mu\text{m}$, 最大快速移动速度能达到 $100\text{m}/\text{min}$ 或更高, 一般都具有三维动画图形功能和生动的图形用户界面, 同时还具有丰富的刀具管理功能、宽调速主轴系统、多功能智能化监控系统和面向用户的宏程序功能, 还有很强的智能诊断功能和智能工艺数据库, 能实现加工条件的自动设定, 且能实现计算机的联网和通信。这类系统功能齐全, 价格昂贵。

五、按进给伺服系统分类

数控机床由数控装置发出脉冲或电压信号, 通过伺服系统控制机床各运动部件运动。数控机床按进给伺服系统控制方式分类有开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统三种形式。

1. 开环控制系统

开环控制系统采用步进电动机, 无位置测量元件, 输入数据经过数控系统运算, 输出指令脉冲控制步进电动机工作, 如图 1-6 所示。这种控制方式不检测执行机构, 无反馈控制信号, 因此称为开环控制系统。开环控制系统的设备成本低, 调试方便, 操作简单, 但控制精度低, 工作速度受到步进电动机的限制。

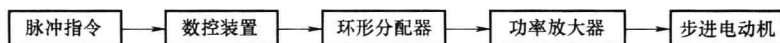


图 1-6 开环控制系统

2. 闭环控制系统

闭环控制系统绝大多数采用伺服电动机, 有位置测量元件和位置比较电路。如图 1-7 所示, 测量元件安装在工作台上, 测出工作台的实际位移值并反馈给数控装置。位置比较电路将测量元件反馈的工作台实际位移值与指令的位移值相比较, 用比较的误差值控制伺服电动机工作, 直至到达实际位置, 误差值消除, 此过程称为闭环控制。闭环控制系统的控制精度

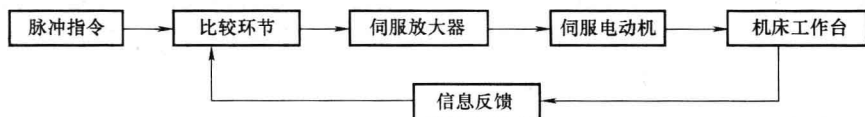


图 1-7 闭环控制系统

高,但要求机床的刚性好,对机床的加工、装配要求高,调试较复杂,而且设备的成本高。

3. 半闭环控制系统

如图 1-8 所示,半闭环控制系统的位置测量元件不是测量工作台的实际位置,而是测量伺服电动机的转角,经过推算得出工作台位移值,反馈至位置比较电路,与指令中的位移值相比较,用比较的误差值控制伺服电动机工作。这种用推算方法间接测量工作台位移,不能补偿数控机床传动链上各零件的误差。半闭环控制系统的控制精度高于开环控制系统,调试比闭环控制系统容易,设备的成本也介于开环与闭环控制系统之间。

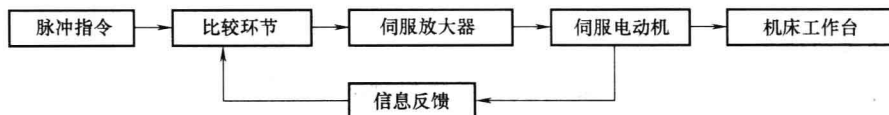


图 1-8 半闭环控制系统

第四节 机床坐标系

一、数控机床坐标系的建立

1. 机床相对运动的规定

机床相对运动是指工件相对静止,而刀具运动。在机床上,始终认为工件静止,而刀具运动的。这样,编程人员在不考虑机床上工件与刀具体运动的情况下,就可以依据零件图样,确定机床的加工过程。

2. 机床坐标系的规定

一个直线进给运动或一个圆周进给运动定义一个坐标轴。在 ISO 和 EIA 标准中都规定直线进给运动用笛卡儿坐标系 X 、 Y 、 Z 表示,常称为基本坐标系。 X 、 Y 、 Z 坐标轴的相互关系用右手定则确定。如图 1-9 所示,图中大拇指的指向为 X 轴的正方向,食指指向为 Y 轴的正方向,中指指向为 Z 轴的正方向。

围绕 X 、 Y 、 Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A 、 B 、 C 表示,根据右手螺旋法则,以大拇指指向 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 方向,则食指、中指等的指向是圆周进给运动的 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 方向。

数控机床的进给运动,有的由刀具向工件运动来实现,有的由工作台带着工件向刀具运动来实现。为了便于在不知道刀具、工

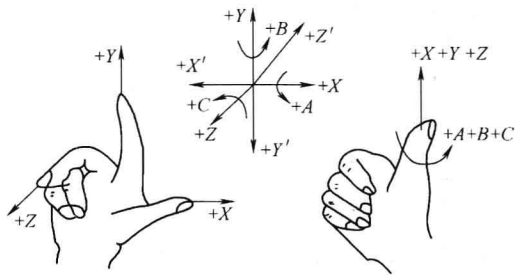


图 1-9 机床坐标系

件之间如何作相对运动的情况下,确定机床的进给操作,上述坐标轴运动的正方向都是假定工件不动,刀具相对于工件(静止的)而运动来确定的。如果是工件相对于刀具运动,标准机床坐标系中 X 、 Y 、 Z 轴的相互关系用笛卡儿坐标系决定。

在数控机床上,机床的动作是由数控装置来控制的,为了确定数控机床上的成形运动和辅助运动,必须先确定机床上运动的位移和运动的方向,这就需要通过坐标系来实现,这个坐标系称为机床坐标系。

标准机床坐标系中 X、Y、Z 轴的相互关系用笛卡儿坐标系确定。

1) 伸出右手的大拇指、食指和中指，并互为 90° 。则大拇指代表 X 轴，食指代表 Y 轴，中指代表 Z 轴。

2) 大拇指的指向为 X 轴的正方向，食指的指向为 Y 轴的正方向，中指的指向为 Z 轴的正方向。

3) 围绕 X、Y、Z 轴旋转的旋转轴分别用 A、B、C 表示，根据右手螺旋定则，大拇指的指向为 X、Y、Z 轴中任意一轴的正向，则其余四指的旋转方向即旋转轴 A、B、C 的正向。

3. 运动方向的规定

标准规定增大刀具与工件距离的方向为各坐标轴的正方向。

4. 坐标轴方向的确定

(1) Z 轴 Z 轴的运动方向是由传递切削动力的主轴所确定的，即平行于主轴轴线的坐标轴为 Z 轴，Z 轴的正向为刀具离开工件的方向。如果机床上有多个主轴，则选一个垂直于工件装夹平面的主轴方向为 Z 轴方向；如果主轴能够摆动，则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 轴方向；如果机床无主轴，则选垂直于工件装夹平面的方向为 Z 轴方向。

(2) X 轴 X 轴平行于工件的装夹平面，一般在水平面内。如果工件做旋转运动，则刀具离开工件的方向为 X 轴的正方向；如果刀具做旋转运动，则分为两种情况：

1) Z 轴水平时，观察者沿刀具主轴向工件看时，+X 运动方向指向右方。

2) Z 轴垂直时，观察者面对刀具主轴向立柱看时，+X 运动方向指向右方。

(3) Y 轴 在确定 X、Z 轴的正方向后，可以用根据 X 和 Z 轴的方向，按照笛卡儿坐标系来确定 Y 轴的方向。

5. 附加坐标系

为了编程和加工方便，有时还要设置附加坐标系。

对于直线运动，通常建立的附加坐标系有：

1) 指定平行于 X、Y、Z 轴，可以采用附加坐标系，即第二组为 U、V、W，第三组为 P、Q、R。

2) 指定不平行于 X、Y、Z 轴，也可以采用附加坐标系，即第二组为 U、V、W，第三组为 P、Q、R。

6. 机床原点

机床原点是指在机床上设置的一个固定点，即机床坐标系的原点。它在机床装配、调试时就已确定下来，是数控机床进行加工运动的基准参考点。

在数控车床上，机床原点一般取在卡盘端面与主轴中心线的交点处。同时，通过设置参数的方法，也可将机床原点设定在 X、Z 轴的正方向极限位置上。

在数控铣床上，机床原点一般取在 X、Y、Z 轴的正方向极限位置上。

7. 机床参考点

机床参考点为机床上的固定点。其固定位置，由 X 向与 Z 向的机械挡块及电动机零点位置来确定，机械挡块一般设定在 X、Z 正向最大位置。当进行回参考点的操作时，装在纵向和横向滑板上的行程开关碰到挡块后，向数控系统发出信号，由系统控制滑板停止运动，完成回参考点的操作。因此，参考点对机床原点的坐标是一个已知数。

通常，数控铣床上机床原点和机床参考点是重合的，而数控车床上机床参考点是离机床原点最远的极限点。

二、工件坐标系

1. 工件坐标系的确定

工件坐标系是指以确定的加工原点为基准所建立的坐标系。加工原点也称为程序原点，是指工件装夹后，其相应的编程原点在机床坐标系中的位置。在加工过程中，数控机床是按照工件装夹后所确定的加工原点位置和程序要求进行加工的。编程人员在编制程序时，只要根据零件图样就可以确定编程原点，建立工件坐标系，计算坐标数值，而不必考虑工件毛坯装夹的实际位置。对于加工人员来说，则应在装夹工件、调试程序时，将编程原点转换为加工原点，并确定加工原点的位置，在数控系统中给予设定（即给出原点设定值），设定加工坐标系后就可根据刀具当前位置，确定刀具起始点的坐标值。

在加工时，工件各尺寸的坐标值都是相对于加工原点而言的，这样数控机床才能按照准确的加工坐标系位置开始加工。

2. 工件原点和工件坐标系

工件原点（即程序原点）是人为设定的点。工件原点的设定既要符合图样尺寸的标注习惯，又要便于编程。因此，当编程时，一般先找出图样上的设计基准点，并以该点作为工件原点。数控车床上工件原点一般选择在轴线与工件右端面、左端面或卡爪的前端面的交点上。如果以工件原点为坐标原点，建立一个 Z 轴与 X 轴的笛卡儿坐标系，则此坐标系就称为工件坐标系。数控车床上工件坐标系的 Z 轴一般与主轴轴线重合。