



高等职业教育机电类专业规划教材
国家技能型紧缺人才培养教材

数控机床与编程

SHUKONG JICHUANG YU BIANCHENG

高等职业教育机电类专业教学研究会 组编

主编：任东 副主编：黄登红 向东 刘让贤 韩亚利 主审：朱岱力



中南大学出版社

高等职业教育机电类专业规划教材

数控机床与编程

主 编 任 东
副主编 黄登红 向 东
刘让贤 韩亚利



中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床与编程/任东编著. —长沙:中南大学出版社,2008.5

ISBN 978-7-81105-672-3

I. 数... II. 任... III. 数控机床—程序设计 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 064097 号

数控机床与编程

主 编 任 东

副主编 黄登红 向 东

刘让贤 韩亚利

主 审 朱岱力

责任编辑 谭 平

责任印制 汤庶平

出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

印 装 长沙市华中印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 14.5 字数 351 千字

版 次 2008年6月第1版 2008年6月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-81105-672-3

定 价 28.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换



总 序

加入世贸组织后,我国机械制造业迎来了空前的发展机遇,我国正逐步变成“世界制造中心”。为了增强竞争能力,中国制造业开始广泛使用先进的数控技术、模具技术,21世纪机械制造业的竞争,其实是数控技术的竞争。随着数控技术、模具技术的迅速发展及数控机床的急剧增长,我国机械企业急需大批数控机床编程、操作、维修技术人才及模具设计与制造技术人才,而目前劳动力市场这种技术应用型人才严重短缺。为此,教育部会同劳动和社会保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部联合启动了“职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”,明确了高等职业教育的根本任务就是要从劳动力市场的实际需要出发,坚持以就业为导向,以全面素质为基础,以能力为本位,努力造就数以千万计的制造业和现代服务业一线迫切需要的高素质技能型人才。并在全国选择确定了90所高职院校、96所中职院校作为数控技术技能型紧缺人才培养培训工程示范院校,推荐403个企事业单位作为校企合作数控培养培训基地。计划2003~2007年向社会输送数控专业毕业生数十万人,提供短期培训数十万人次,以缓解劳动力市场数控技能型人才紧缺的现状。

大量培养技能型人才中的一个重要问题就是教材。在机电类专业高等职业教育迅速发展的同时,具有高职特色的机电类专业教材极其匮乏,不能满足技能型人才培养的需要。为了适应机电类高职教育迅速发展的形势,在湖南省教育厅职成处,湖南省教育科学研究院的支持、指导和帮助下,湖南省高等职业教育机电类专业教学研究会和中南大学出版社进行了广泛的调研,探索出版符合高职教育教学模式、教学方式、教学改革的新教材的路子。他们组织全国30多所高职院校的院系领导及骨干教师召开了多次教材建设研讨会,充分交流了教学改革、课程设置、教材建设的经验,把教学研究与教材建设结合起来。并对机电类专业高职教材的编写指导思想、教材定位、特色、名称、内容、篇幅进行了充分的论证,统一了思想,明确了思路。在此基础上,由湖南省高等职业教育机电类专业教学研究会牵头,成立了“湖南省机电类专业规划教材编委会”,组织编写出版了高等职业教育机电类专业系列教材,这套教材包括机电类所有专业的公共专业基础课教材及数控、模具专业的核心专业课教材。教材的编委会由业内权威教授、专家、高级工程师技术人员组成,作者都是具有丰富教学经验、较高学术水平和实践经验的教授、专家及骨干教师、双师型教师。编委会通过推荐、招标、遴选确定了每本书的主编,并对每本书的编写大纲、内容进行了认真的审定,还聘请了中南大学、湖南大学等高校的教授、专家担任教材主审,确保了教材的高质量及权威性和专业性。

根据高职教育应用型人才培养目标,这套教材既具有高等教育的知识内涵,又具有职业教育的职业能力内涵,主要体现了以下特点。

(1) 以综合素质为基础,以能力为本位。

本套教材把提高学生能力放在突出的位置,符合教育部机电类专业教学基本要求和人才

培养目标,注重创新能力和综合素质培养。尽量做到理论与实践的零距离,教材的编写注重技能性、实用性,加强实验、实训、实习等实践环节,力求把学生培养成为机电行业一线迫切需要的应用型人才。

(2) 以社会需求为基本依据,以就业为导向。

适应社会需求是职业教育生存和发展的前提,也是职业教育课程设置的基本出发点。本套教材以机电企业的工作需求为依据,探索和建立根据企业用人“订单”进行教育与培训的机制,明确职业岗位对核心能力和一般专业能力的要求,重点培养学生的技术运用能力和岗位工作能力。教材选用了技术先进、占市场份额最大的FANUC(法那科)、SEMENS(西门子)和华中典型数控系统,既具针对性,又兼适应性,使学生具有较强的就业岗位适应能力。

(3) 反映了机电领域的新知识、新技术、新工艺、新方法。

本套教材充分反映了机电行业内最新发展趋势和最新研究成果,体现了数控、模具领域的新知识、新技术、新工艺、新方法,克服了以往专业教材中存在的陈旧、更新缓慢的弊端,选择了目前最新的数控系统为典型实例,采用了最新的国家标准及相关技术标准。

(4) 贯彻学历教育与职业资格证书、技能证考试相结合的精神。

本套教材把职业资格证书、技能证考证的知识点与教材内容相结合,将实践教学体系与国家职业技能鉴定标准实行捆绑,设计了与数控(车、铣)等工种技能考证基本相同的教材体系和标准版块,安排了相应的考证训练题及考证模拟题,使学生在获得学分的同时,也能较容易地获得职业资格证书。

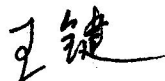
(5) 教材内容精炼。

本套教材以工程实践中“会用、管用”为目标,理论以“必需、够用”为度,对传统教材内容进行了精选、整合、优化和压缩,能更好地适应高职教改的需要。由于作了统一规划,相关教材之间内容安排合理,基础课与专业课有机衔接,全套教材具有系统性、科学性。

(6) 教材体系立体化。

为了方便老师教学和学生学习,本套教材提供了电子课件、电子教案、教学指导,教学大纲、考试大纲、题库、案例素材等教学资源支持服务平台。

教材的生命力在于质量,而提高质量是永恒的主题。希望教材的编委会及出版社能做到与时俱进,根据高职教育改革的形势及机电类专业技术发展的趋势,不断对教材进行修订、改进、完善,精益求精,使之更好地适应高等职业教育人才培养的需要,也希望他们能够一如既往地依靠业内专家,与科研、教学、产业第一线人员紧密结合,加强合作,不断开拓,出版更多的精品教材,为高等职业教育提供优质的教学资源和服务。



2006年1月于长沙

(序作者为湖南省教育厅副厅长,教授、博士生导师)



前 言

我国正处于先进制造技术发展时期,数控技术是现代先进制造技术之一。数控技术水平的高低、数控机床的拥有量已成为衡量一个国家工业现代化的重要标志。目前,数控技术已广泛应用于制造业。企业需要一大批能熟练掌握现代数控机床编程、操作和维护的应用型高等人才。为适应我国高等职业技术教育的发展,编者经过反复实践与总结,编写了本教材。

本教材选用了技术先进、占市场份额最大的 FANUC Oi(法那克),SIEMENS(西门子)802D 系统及具有我国自主知识产权的华中 HNC-21/22 系统作为典型数控系统进行编程介绍。通过典型数控机床结构和数控系统介绍将各部分教学内容有机联系、渗透和互相贯通,突出了编程技能应用能力的培养。

本书共分六章,第一章主要介绍数控机床的工作原理及组成,第二章介绍数控机床的典型机械结构,第三章介绍数控机床的编程基础知识,第四章介绍数控车削加工工艺与编程知识,第五章介绍数控铣削(加工中心)加工工艺与编程知识,第六章介绍数控电火花线切割加工工艺与编程知识。由于数控铣床和加工中心的编程方法一致,因此没有单独介绍加工中心的编程。在数控车削加工、数控铣削加工和电火花线切割加工编程中注重加工工艺的介绍,教材中的实例突出了加工的实用性。

本教材可作为高职高专机械制造专业、模具设计与制造专业、计算机辅助设计与制造专业以及机电技术应用专业的数控技术应用教材。也可作为各类培训机构数控技术应用教材。

本书由湖南工业职业技术学院任东担任主编,朱岱力主审。编者从事数控加工生产、教学和培训有关的工作 10 余年,参与了《数控加工实训》国家级精品课程的建设工作,并且在本书的编写过程中,参考了数控机床和系统生产厂家的资料。参加编写的人员有张家界航空职业技术学院刘让贤(第一章),长沙航空职业技术学院黄登红(第二章),湖南机电职业技术学院姚晖(第三章)、向东(第四章),湖南工业职业技术学院任东(第五章),永州职业技术学院邓子林(第六章),娄底职业技术学院罗红专,永州职业技术学院彭永忠,郴州职业技术学院谷长峰编写了附录指令格式表。本书在编写过程中得到了湖南工业职业技术学院国家级数控实训基地的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中不足和欠妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2008 年 6 月



目 录

第一章 数控机床概述	(1)
第一节 数控机床的工作原理	(1)
第二节 数控机床的组成与分类	(3)
第三节 数控机床的特点与发展方向	(8)
思考练习题	(13)
第二章 数控机床典型机械结构	(14)
第一节 数控机床主传动结构	(14)
第二节 数控机床进给传动结构	(23)
思考练习题	(33)
第三章 数控编程基础	(34)
第一节 数控编程的基本概念	(34)
第二节 数控机床的坐标系	(38)
第三节 数控加工程序与指令代码	(42)
思考练习题	(49)
第四章 数控车削加工工艺与编程	(50)
第一节 数控车削加工工艺基础	(50)
第二节 数控车床的程序编制	(56)
第三节 常用车床数控系统的编程指令简介	(78)
第四节 数控车削综合编程实例	(106)
思考练习题	(116)
第五章 数控铣削(加工中心)加工工艺与编程	(119)
第一节 数控铣削(加工中心)加工工艺	(119)
第二节 数控铣床(加工中心)的程序编制	(127)
第三节 常用数控铣床(加工中心)系统的编程指令简介	(147)
第四节 数控铣床(加工中心)综合编程实例	(154)
思考练习题	(164)

第六章 数控电火花线切割加工工艺与编程	(166)
第一节 数控电火花线切割加工概述	(166)
第二节 数控线切割加工工艺指标及工艺参数	(170)
第三节 数控线切割加工工艺的制定	(175)
第四节 线切割机床的程序编制	(184)
思考练习题	(198)
附录	(200)
附录一: FANUC Oi 数控系统指令格式表	(200)
附录二: 华中数控系统指令格式表	(205)
附录三: 西门子 802D 数控系统指令格式表	(212)
参考文献	(219)



第一章 数控机床概述

第一节 数控机床的工作原理

一、什么是机床的数字控制

机床依靠各个部件的相对运动实现各种零件的加工。在普通机床上按手动和机动两种方式进行控制：手动靠手工摇动手把带动机床运动部件进行运动和停止；机动时，用按钮接通动力源（电动机）经机械传动系统使机床部件运动，运动的停止也是靠按钮或行程开关碰到挡铁后切断电路而实现。数字控制机床则是以数字指令方式控制机床各部件的相对运动和动作。例如：要求机床执行如下一条指令程序段：

```
N003 G90 G01 X +100 Y +100 Z - 50 S1000 T02 F500 M08;
```

其含义为：第三个程序段，用2号刀具加工一条空间直线段，起点为坐标原点或上一程序段指令点，终点为程序段中给定的点（+100，+100，-50）。坐标值的计算以坐标原点为基准。还指明机床主轴转速为1000 r/min，进给部件的运动速度为500 mm/min，且需将切削液打开。从上面的程序段可以看出，它由数字0~9，文字X、Y、Z、S、T、F、M，……和符号“+”“-”“;”等组成，而这些都是要转换成“二进制”数字代码输入机床的数字控制装置（即控制机床的专用计算机）中去，经过计算机的计算处理、伺服控制、驱动机床各部件运动，完成上述空间直线段的加工，由于指令运动过程是以“二进制数字”代码进行的，所以称这种控制为数字控制（Numerical Control，缩写为NC）。数字控制是与机床控制密切结合而发展起来的，因此，人们习惯上把“机床数控”简称为“数控”或“NC”，用这种控制技术控制的机床就称为“数控机床”（Numerically Controlled Machine Tool）或“NC机床”。数控装置和伺服控制部分统称为“数控系统”。机床的数字控制是近代发展起来的一种自动控制技术，是用数字化信息实现机床控制的一种方法。

二、数控机床的工作原理

数控机床的加工，首先要将被加工零件图纸上的几何信息和工艺信息用规定的代码和格式编写成加工程序，然后将加工程序输入数控装置，按照程序的要求，经过数控系统信息处理、分配，使各坐标移动若干个最小位移量，实现刀具与工件的相对运动，完成零件的加工。

在钻削、镗削或攻螺纹等加工（常称为点位控制 Point to Point Control）中，是在一定时间内，使刀具中心从P点移动到Q点[图1-1(a)]，即刀具在X、Y轴移动以最小单位量计算的程序给定距离，它们的合成量为P点和Q点间的距离。但是，对刀具轨迹没有严格的限制，可先使刀具在X轴上由P点移动到R点，然后再沿Y轴从R点移动到Q点；也可以两个坐标以相同的速度，使刀具移动到K点，再沿X轴移动到Q点，这样的点位控制，是要严格

控制点到点之间的距离，而与所走的路径无关。因为这种距离通常都用最小的位移(0.001 mm)表示，而且要准确地停在到达点处(误差以0.001 mm计算)，所以这种要求实际上是很高的。

在轮廓加工控制(Contouring Control)中，包括加工平面曲线和空间曲线两种情况。对于平面(二维)的任意曲线 L ，要求刀具 T 沿曲线轨迹运动，进行切削加工，如图1-1(b)所示，将曲线 L 分割成： $l_0, l_1, l_2, \dots, l_i$ 等线段。用直线(或圆弧)逼近这些线段，当逼近误差 δ 相当小时，这些折线段就接近了曲线。由数控机床的数控装置进行计算、分配，通过两个坐标轴最小单位量的运动分量 Δx 、 Δy 的合成，不断连续地控制刀具运动，不偏离地走出直线(或圆弧)，从而非常逼真地加工出平面曲线。对于空间(三维)曲线[如图1-1(c)]中的 $f(x, y, z)$ ，同样可用一段一段的折线 Δl_i 去逼近它，只不过这时 Δl_i 的单位运动分量不仅是 Δx 和 Δy ，还有一个 Δz 。

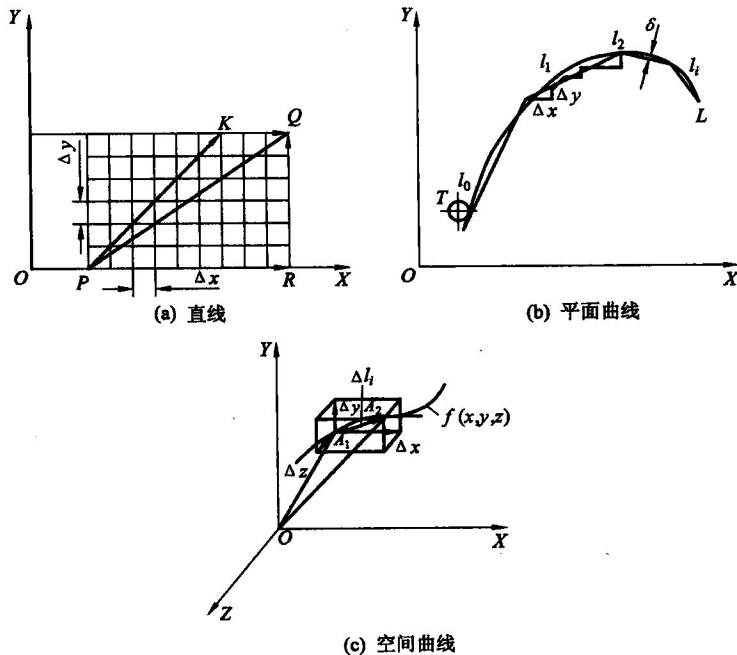


图1-1 数控机床加工原理

这种在允许的误差范围内，用沿曲线(精确地说，是沿逼近函数)的最小单位移动量合成的分段运动代替任意曲线运动，以得出所需要的运动，是数字控制的基本构想。轮廓控制也称连续轨迹控制(Continuous Path Control)，它的特点是不仅对坐标的移动量进行控制，而且对各坐标的速度及它们之间的比率都要进行严格控制，以便加工出给定的轨迹。

通常把数控机床上刀具运动轨迹是直线的加工，称为直线插补；刀具运动轨迹是圆弧的加工，称为圆弧插补。插补(Interpolation)是指在被加工轨迹的起点和终点之间，插进许多中间点，进行数据点的密化工作，然后用已知线型(如直线、圆弧等)逼近。一般的数控系统都具有直线、圆弧插补，随着科学技术的迅速发展，许多生产数控系统的厂家，逐渐推出了具

有抛物线插补、螺旋线插补、极坐标插补、样条曲线插补、曲面直接插补等丰富功能的数控系统,以满足用户的不同需要。

机床的数字控制是由数控系统完成的。数控系统包括:数控装置、伺服驱动装置、可编程控制器和检测装置等。数控装置能接收零件图纸加工要求的信息,进行插补运算,实时地向各坐标轴发出速度控制指令。伺服驱动装置能快速响应数控装置发出的指令,驱动机床各坐标轴运动,同时能提供足够的功率和扭矩。伺服控制按其工作原理可分两种控制方式:关断控制和调节控制。关断控制是将指令值与实测值在关断电路的比较器中进行比较,相等后发出信号,控制结束。这种方式用于点位控制。调节控制是数控装置发出运动的指令信号,伺服驱动装置快速响应跟踪指令信号。检测装置将坐标位移的实际值检测出来,反馈给数控装置的调节电路中的比较器,有差值就发出运动控制信号,从而实现偏差控制;不断比较指令值与反馈的实际值、不断发出信号,直到差值为零,运动结束。这种方式适用于连续轨迹控制。

在数控机床上除了上述轨迹控制和点位控制外,还有许多动作,如:主轴的启停、刀具更换、冷却液开关、电磁铁的吸合、电磁阀启闭、离合器的开合,各种运动的互锁、连锁,运动行程的限位、急停、报警、进给保持、循环启动、程序停止、复位等。这些都属于开关量控制,一般由可编程控制器(Programmable Controller 简称 PC,也称为可编程逻辑控制器 PLC,又称为可编程机床控制器 PMC)来完成,开关量仅有“0”和“1”两种状态,显然可以很方便地融入机床数控系统中,实现对机床各种运动协调的数字控制。

第二节 数控机床的组成与分类

一、数控机床的组成

图 1-2 是一台三坐标数控铣床的组成图,它是由 X、Y、Z 三个坐标来实现刀具和工件的相对运动的立式数控铣床。从图中可以看出包括信息输入。运算控制(数控装置)、伺服驱动及检测反馈、机床本体、机电接口等部分。

1. 信息输入

这一部分是数控机床的信息输入通道,加工零件的程序和各种参数、数据通过输入设备送进计算机系统(数控装置)。早期的输入方式为穿孔带,磁带。目前较多采用磁盘;在生产现场,特别是一些简单的零件程序都采用按键、配合显示器(CRT)、手动数据输入(MDI)方式;手摇脉冲发生器输入多用于调整机床和对刀时使用;通过通信接口,可由上位机输入。

2. 数控装置

数控装置是由中央处理单元(CPU)、存储器、总线和相应的软件构成的专用计算机,它接收到输入信息后,经过译码、轨迹计算(速度计算)、插补运算和补偿计算,再给各个坐标的伺服驱动系统分配速度、位移指令。这一部分是数控机床的核心。整个数控机床的功能强弱主要由这一部分决定。它具备的主要功能如下:

- (1)多轴联动、多坐标控制。
- (2)实现多种函数的插补(直线、圆弧、抛物线、螺旋线、极坐标、样条等)。
- (3)多种程序输入功能:人机对话、手动数据输入、由上级计算机及其他输入设备的程

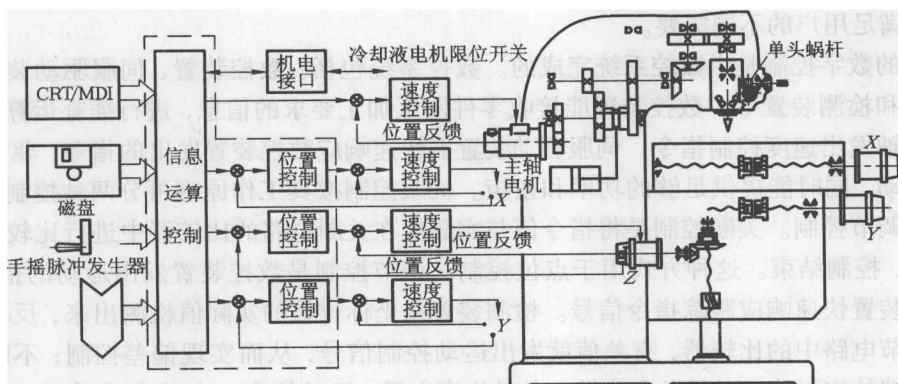


图 1-2 数控机床的组成

序输入, 编辑和修改功能。

(4)信息转换功能: 包括 EIA/ISO 代码转换、公制/英制转换、坐标转换、绝对值/增量值转换等。

(5)补偿功能: 刀具半径补偿、刀具长度补偿、传动间隙补偿、螺距误差补偿等。

(6)多种加工方式选择: 可以实现各种加工循环, 重复加工, 凹凸模加工和镜像加工等。

(7)具有故障自诊断功能。

(8)显示功能: 用 CRT 可以显示字符、轨迹、平面图形和动态三维图形。

(9)通信和联网功能。

3. 伺服驱动装置及检测反馈装置

伺服驱动装置又称为伺服系统, 它接受计算机运算处理后分配来的信号。该信号经过调解、转换、放大以后去驱动伺服电机, 带动机床的执行部件运动。数控机床的伺服驱动装置分为主轴驱动单元(主要是速度控制)、进给驱动单元(包括速度控制和位置控制)、回转工作台和刀库伺服控制装置以及它们相应的伺服电机等。伺服系统分为直流伺服系统和交流伺服系统, 而交流伺服系统正在取代直流伺服系统; 以步进电机驱动的伺服系统在某些具体场合仍可采用; 直线电机系统是适应高速、高精度的一种伺服机构。在伺服系统中还包括安装在伺服电机上(或机床的执行部件上)的速度、位移检测元件及相应电路, 该部分能及时将信息反馈回来, 构成闭环控制(交流数字闭环控制中还包括电流检测反馈)。常用检测装置有测速发电机、旋转变压器、脉冲编码器、感应同步器、光栅、磁性检测元件、霍耳检测元件等组成的系统。一般来说, 数控机床的伺服驱动系统, 要求具有好的快速响应速性能, 以及能够灵敏而准确地跟踪指令的功能。所以, 伺服驱动及检测反馈是数控机床的关键环节。

4. 机床本体

机床本体也称主机, 它包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件, 如底座、立柱、滑鞍、工作台(刀架)、导轨等。数控机床与普通机床不同, 它的主运动, 各个坐标轴的进给运动都由单独的伺服电机(无级变速)驱动, 所以它的传动链短、结构比较简单。普通机床上各个传动链之间由复杂的齿轮联系, 在数控机床上改由计算机来协调控制各个坐标轴之间的运动关系。为了保证数控机床的快速响应特性, 在数控机床上普遍采用精密

滚珠丝杠和直线滚动导轨副。为了保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工,机床的机械结构应具有较高的动态特性、动态刚度、阻尼精度、耐磨性以及抗热变形性能。在加工中心上还具备有刀库和自动交换刀具的机械手。同时还有一些良好的配套设施,如冷却、自动排屑、防护、可靠的润滑、程编机和对刀仪等,以利于充分发挥数控机床的功能。

5. 机电接口

机床上除了点位、轨迹控制采用数字控制外,还有许多其他的控制,如主轴的启停,刀具的更换,工件的夹紧松开,各种辅助交流电动机的启停,电磁铁的吸合、释放,离合器的开、合,电磁阀的打开与关闭等。它们的动力来源是由电源变压器,控制变压器,各种断路器,保护开关,接触器,功率断路器及熔断器等组成的强电线路提供的,而这种强电线路是不能与低压下工作的控制电路或弱电线路直接连接,只能通过断路器,热动开关,中间继电器等转换成直流低压下工作的触点的开、合工作,成为继电器逻辑电路或 PLC 可接收的信号。其他还有为了保证人身和设备安全或者为了操作、为了兼容性所必需的:如“急停”、“进给保持”、“循环启动”、“NC 准备好”、“行程限位”、“JOG 命令(手动连续进给)”、“NC 报警”、“程序停止”、“复位”、“M 信号”、“S 信号”、“T 信号”等信号也需由 PLC 来传送。这些动作都按机床工作的逻辑顺序由 PLC 来完成。PLC 控制的虽是动作先后逻辑顺序,但它处理的是数字信息“0”和“1”,不管是由 PLC 本身带“CPU”,还是由数控装置内的 CPU 来处理这些信息,数控机床的计算机都能将数字控制信息和开关量控制信息很好地协调起来,实现正常的运转和工作。

以上这些都是属于数控装置和机床之间的接口问题,统称为机电接口。解决这些问题,首先要知道机床上有哪些动作,其次是这些动作的先后顺序,以及它们之间的逻辑(联锁、互锁等)关系等。

二、数控机床的分类

数控机床从诞生到今天,已发展成品种齐全、规格繁多的满足现代化生产的主流机床,基本上取代了普通机床。在数控机床的发展进程中,人们从不同的角度分类、评价数控机床,以便充分发挥数控机床的作用。目前常见的有下列几种分类方法。

1. 按运动轨迹分

(1) 点位控制数控机床

对于一些加工孔用的数控机床,如数控钻床,数控镗床,数控冲床,三坐标测量机,印刷电路板钻床等。它们只要求获得精确的孔系坐标定位精度,而不管从一个孔到另一个孔是按照什么轨迹运动,在坐标运动过程中,不进行切削加工。具有这种运动控制的机床称为点位控制数控机床。点位控制的数控机床加工的都是平面内的孔系(图 1-3),它控制平面内的两个坐标轴带动刀具与工件作相对运动,运动停止后,控制刀具进行钻、镗切削加工;为了提高效率和确保精确的定位精度,首先系统控制进给部件高速运行,接近目标点时,采用分级或连续降速,低速趋近目标点,从而减少运动部件的惯性过冲和因此而引起的定位误差。

(2) 直线控制数控机床

直线控制数控机床是指控制机床工作台或刀具(刀架)以要求的进给速度,沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工(一般还包括 45°的斜线)的机床(图 1-4)。如数控车床、某些数控镗铣床和加工中心等,都具有直线控制功能。这一类数控机床不仅要求具有准

确的定位功能,而且还要控制位移的速度。由于在移动过程中进行切削加工,所以对于不同的刀具和工件,需要选用不同的切削用量。一般情况下这些数控机床有两个到三个可控制的轴,但同时控制轴只有一个。为了能在刀具磨损或更换刀具后,仍可加工出合格的零件,这类机床的数控系统常常要求它具有刀具半径和刀具长度补偿功能,以及主轴转速的控制功能等。

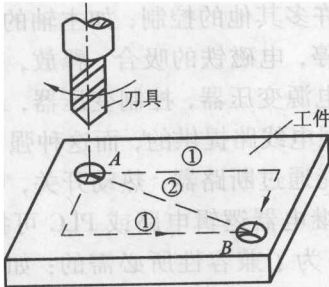


图 1-3 点位控制

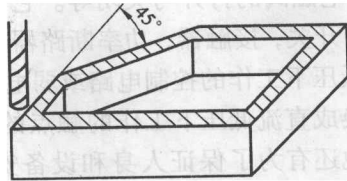


图 1-4 直线控制

现代组合机床采用数控技术,驱动各种动力头、多轴箱轴向进给进行钻、镗、铣等加工,也算是一种直线控制数控机床,直线控制也称为单轴数控。

(3) 轮廓控制的数控机床

可以加工斜线、曲线、曲面的数控机床,如数控车床、数控铣床、加工中心等,它们都是具有同时控制两个或两个以上坐标进行联动(即进行插补)的数控机床(图 1-5)。该类机床在加工过程中,每时每刻都对各坐标的位移和速度进行严格的不间断的控制,故称具有这种控制功能的机床为轮廓控制数控机床。现代数控机床绝大部分都具有两坐标或两坐标以上联动的功能、刀具半径补偿、刀具长度补偿、机床轴向运动误差补偿、丝杠螺距误差补偿、齿侧间隙误差补偿等一系列功能。

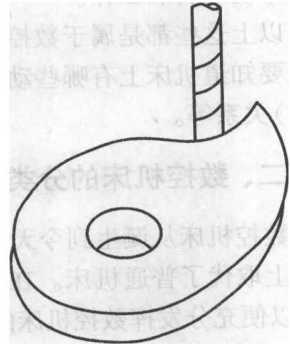


图 1-5 轮廓控制

按照可联动(同时控制)轴数,可以分为两坐标联动控制、2.5 坐标联动控制、三坐标联动控制、四坐标联动控制、五坐标联动控制等。随着现代制造技术领域许多形状复杂、精度要求很高的零件不断涌现,因而多坐标联动控制技术及其加工编程技术的应用也越来越普遍。

2. 按伺服系统的类型分

(1) 开环控制的数控机床

这类数控机床没有位置检测反馈装置(图 1-6),数控装置发出的指令信号流程是单向的,其精度主要取决于驱动元器件和步进电机的性能。这种数控机床调试简单,系统也比较稳定,精度较低,成本低,多用于经济型的中小型数控机床和旧设备的技术改造中。

(2) 闭环控制的数控机床

该类机床数控装置中插补器发出的位置指令信号与工作台(或刀架)上检测到的实际位



图 1-6 开环控制系统框图

置反馈信号进行比较, 根据其差值不断控制运动, 进行误差修正, 直至差值为零时停止运动。这种具有反馈控制的系统, 称为闭环控制系统(图 1-7)。应该说, 由于反馈的存在, 可以消除系统中的机械传动部件制造误差对加工精度带来的影响, 从而可获得较高的加工精度。但是由于很多机械传动环节包括在闭环控制的环路内, 各部件的摩擦特性, 刚性以及间隙等, 都是非线性的, 直接影响系统的调节参数。所以闭环控制系统的设计调整都有较大的技术难度, 如果设计、调整得不好, 还很容易造成系统的不稳定。由于这种位置检测信号取自机床工作台(传动系统的最末端执行件), 所以包含了整个传动系统的全部误差, 故也称为全闭环系统。闭环控制的数控机床, 主要是一些精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床、大型数控机床等。

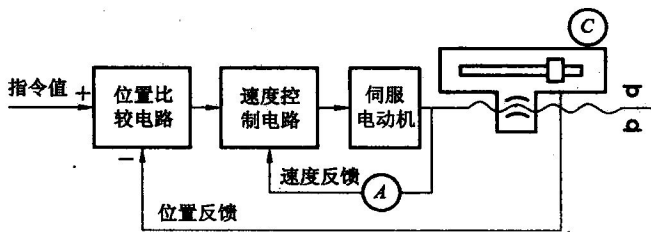


图 1-7 闭环控制系统框图

(3) 半闭环控制的数控机床

大多数数控机床采用半闭环控制系统, 它的检测元件装在电机轴或丝杠轴的端部, 这种系统的闭环控制环内不包括机械传动环节, 因此可以获得稳定的控制特性(图 1-8)。该系统反馈的只是进给传动系统的部分误差, 一般是电机轴或丝杠轴的角位移、角速度, 还要经过转换处理才是工作台(或刀架)的实际位移。但是, 由于采用高分辨率的反馈检测元件, 以及传动部分有补偿, 可以获得比较满意的精度与速度。所以, 目前大多数中、小型数控机床都采用这种控制方式。

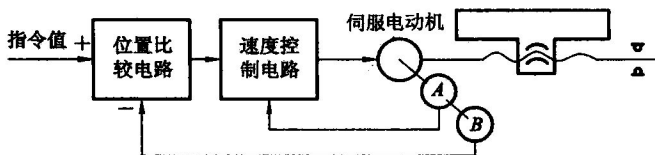


图 1-8 半闭环控制系统框图

3. 按工艺方法分类

(1) 金属切削类数控机床

这类机床和传统的通用机床品种一样,有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床以及加工中心等。加工中心是一种带有自动换刀装置(刀库和自动交换刀具的机械手)能进行铣削、钻削、镗削加工的复合型数控机床。特别是箱体类零件,在加工中心上一次定位装夹后,即能在多个侧面上完成铣削、钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、攻螺纹等工作,所以在生产上应用越来越多,加工中心还分为车削中心、磨削中心等。而且还出现了在加工中心上增加交换工作台,以及采用主轴或工作台进行立、卧转换的五面体加工中心等。

(2) 金属成型类及特种加工类数控机床

这是指金属切削类以外的数控机床,如数控弯管机,数控线切割机床,数控电火花成形机床,数控激光切割机床,数控冲床,数控火焰切割机,数控三坐标测量机等。

4. 按功能水平分类

通常把数控机床分为高、中、低档(亦称经济型)三类。这种分类法目前并无确切的定义,数控机床功能水平的高低主要指它们的主要技术参数,功能指标和关键部件的功能水平等内涵。具体如下:

(1) 中央处理单元(CPU) 低档数控一般采用8位CPU;而中档、高档数控已经由16位CPU,发展到32位或64位CPU,并用具有精简指令集的(RISC)CPU。

(2) 分辨率和进给速度 低档数控分辨率为 $10\ \mu\text{m}$,进给速度为 $8\sim 15\ \text{m}/\text{min}$;中档数控的分辨率为 $1\ \mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 24\ \text{m}/\text{min}$;高档数控的分辨率为 $0.1\ \mu\text{m}$ 或更小,进给速度为 $24\sim 100\ \text{m}/\text{min}$ 或更高。

(3) 多轴联动功能 低档数控机床多为2~3轴联动;中、高档数控机床则都是3~5轴联动,或更多。

(4) 显示功能 低档数控一般只有简单的数码显示或简单的CRT字符显示;中档数控有较齐全的LED(液晶)显示,不仅有字符,而且还有图形、人机对话、自诊断等功能显示;高档数控还有三维动态图形显示。

(5) 通信功能 低档数控无通信功能;中档数控有RS232或DNC(直接数控,也称群控)等接口;高档数控有MAP(制造自动化协议)等高性能通信接口,且具有联网功能。

此外,伺服系统是直流伺服,还是交流伺服?是交流模拟伺服,还是交流数字伺服?以及可编程控制器的功能,也是衡量数控档次的标准。

经济型数控是相对于标准数控而言,在不同时期,不同国家含义是不一样的,根据实际机床的使用要求,经济型数控是标准型数控进行了合理地简化,从而降低了成本。为区别于经济型数控,把功能比较齐全的标准型数控系统称为全功能数控系统。

第三节 数控机床的特点与发展方向

一、数控机床的特点

数控机床既不同于自动化的程序控制专用机床和仿形机床,也不同于手工操作的通用机床,它实际上是可编程的、具有坐标控制功能和顺序逻辑控制功能的柔性自动化通用机床。

在数控机床上加工不同零件时,只需根据不同零件图样要求编制相应的零件数控加工程序,并将程序输入到数控机床,则数控机床就可在不同程序的控制下加工出不同的零件。数控机床加工一般不需要复杂工装,因此特别适合单件小批、形状复杂、精度要求高的零件加工。

与传统机床相比,数控机床具有下述显著特点:

(1)自动化程度高 数控机床上的零件加工是在程序的控制下自动完成的。在零件加工过程中,操作者只需完成装卸工件、装刀、对刀、操作键盘、启动加工、加工过程监视、工件质量检验等工作,因此劳动强度低,劳动条件明显改善。数控机床是柔性自动化加工设备,是制造装备数字化的主角,是计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)、计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)等柔性自动化制造系统的重要设备。

(2)加工精度高 数控机床的控制分辨率高,机床本体强度、刚度、抗振性、低速运动平稳性、精度、热稳定性等性能均很好,具有各种误差补偿功能,机械传动链很短,且采用闭环或半闭环反馈控制,因此本身即具有较高的加工精度。又由于数控机床的加工过程自动完成,排除了人为因素的影响,因此加工零件的尺寸一致性好,合格率高,质量稳定。

(3)生产率高 一方面,数控机床主运动速度和进给运动速度范围大且无级调速,快速空行程速度高,结构刚性好,驱动功率大,可选择最佳切削用量或进行高速强力切削,与传统机床相比切削时间明显缩短;另一方面,数控机床加工可免去划线、手工换刀、停机测量、多次装夹等加工准备和辅助时间,从而明显提高数控机床的生产效率。

此外,有些数控机床采用双工作台结构,使工件装卸的辅助时间与机床的切削时间重合,进一步提高了生产效率。

(4)对工件的适应性强 数控机床具有坐标控制功能,配有完善的刀具系统,可通过数控编程加工各种形状复杂的零件。数控机床主运动速度和进给运动速度范围大且无级调速,可适应多种难加工材料零件的加工。数控机床属柔性自动化通用机床,在不需对机床和工装进行较大调整的情况下,即可适应各种批量的零件加工。

(5)有利于生产管理信息化 数控机床按数控加工程序自动进行加工,可以精确计算加工工时、预测生产周期,所用工装简单,采用刀具已标准化,因此有利于生产管理的信息化。现代数控机床正在向智能化、开放化、网络化方向发展,可将工艺参数自动生成、刀具破损监控、刀具智能管理、故障诊断专家系统、远程故障诊断与维修等功能集成到数控系统中,并可在计算机网络和数据库技术支持下将多台数控机床集成为柔性自动化制造系统,为企业制造信息化奠定底层基础。

二、数控机床发展简史

数控技术起源于美国,起因于军工发展的需要。1948年,美国人帕森斯(John Parsons)提出了采用穿孔卡片存储机床坐标位置信息并控制机床按坐标位置进行工件表面轮廓加工的设计。基于这一设想,美国帕森斯公司(Parsons Co.)于1949年承担了为美国空军研究开发直升飞机螺旋桨叶轮轮廓检验样板加工机床的任务。在麻省理工学院伺服机构实验室(Servo Mechanism Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology)的合作下,经过三年的研究,于1952年试制成功世界上第一台数控机床,这是一台采用穿孔带作为输入介质、按脉冲乘法器直线插补原理进行三坐标连续控制的铣床,其数控装置采用电子管元件制造,体积比机床本体还大。