



Shukong Jishu

数控技术

主编 关美华
蒋正萍

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书以数控机床为对象,系统地介绍其数字控制的基本原理和控制技术。内容包括:数控的基本概念、插补运算原理、硬件数控装置、计算机数控系统及伺服系统(包括检测装置及驱动元件)。内容构成上突出计算机数控系统及伺服系统。

本书特别适合作为高等专科学校应用电子技术、计算机控制、机电一体化等相关专业的教材,也可作为各类大专院校师生和工矿企业工程技术人员的参考书。

数控技术

主 编 关美华

副主编 蒋正萍

责任编辑 彭 宁

*

重庆大学出版社出版发行

新 华 书 店 经 销

重庆电力印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19 字数:474千

1998年10月第1版 1998年10月第1次印刷

印数:1—2000

ISBN 7-5624-1837-3/TP·189 定价:23.00元

前 言

本教材是根据高等工程专科学校应用电子技术、计算机控制和机电一体化等专业教学计划和课程大纲编写的。本教材编写是在已使用多年的试用教材基础上,力求以专业必须的理论为基础,系统地介绍机床数字控制的基本原理和控制技术。全书共五章:第一章绪论,主要介绍数控技术的基本概念及技术动向;第二章连续控制系统的插补原理,介绍几种常用的插补算法及刀具半径补偿原理;第三章普通 NC 系统的数控装置,简要介绍 NC 数控装置的基本组成及工作原理;第四章计算机数控(CNC)系统,在重点介绍 CNC 基本系统软件的基础上,进一步分析现代 CNC 系统的软件、硬件结构及其特点,并介绍了几种典型的 CNC 系统;第五章数控机床的伺服及主轴驱动系统,详细、系统地阐述了伺服系统基本组成单元——检测单元、比较单元、放大单元及执行单元的工作原理,同时介绍了主轴驱动控制。

本书在编写过程中注意了内容的系统性,编排由浅入深、循序渐进,既讲述基本原理,又注意到与现代最新应用技术的联系。在突出专业技术的应用方面,教材内容有较强的针对性和适用性,知识的综合应用分析与当前我国的数控技术结合紧密。本书在文字叙述上力求通俗易懂,阐述中着重物理概念,避免繁琐的数学推导及计算,尽可能以实际系统为例。本书适合于“教”与“学”,各章之后均有思考题以便于读者自学。

本书由成都电子机械高等专科学校关美华主编,蒋正萍为副主编。成都飞机公司刘川妹也参加了部分编写工作。本书在编写过程中得到成都飞机公司数控机加工厂高级工程师卢洪德、张万增、李蓉华等同志的大力帮助,在此一并表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误或不当之处,殷切希望读者批评指正。

编 者

1998 年 2 月于成都

目 录

第一章 绪论	1
第一节 数字控制机床.....	1
第二节 数控系统的分类.....	5
第三节 数控指令的标准代码.....	9
第四节 机床数控系统的发展	19
思考题	25
第二章 连续控制系统的插补原理	27
第一节 概述	27
第二节 逐点比较法插补运算	29
第三节 数字积分器插补运算(又称 DDA).....	39
第四节 插补速度	46
第五节 数据采样插补法	48
第六节 刀具半径补偿	53
思考题	61
第三章 普通 NC 系统的数控装置	63
第一节 输入装置	64
第二节 控制器	78
第三节 运算控制器	81
第四节 输出及速度控制器	91
思考题	95
第四章 计算机数控系统(CNC 系统)	97
第一节 CNC 系统概述	97
第二节 插补程序.....	103
第三节 进给速度控制.....	121
第四节 输入数据处理程序.....	130
第五节 管理程序.....	142
第六节 诊断程序.....	148
第七节 现代 CNC 系统软件结构及特点	152
第八节 现代 CNC 系统硬件结构及特点	157
第九节 可编程控制器及数控机床接口.....	163
第十节 典型 CNC 系统介绍	171
思考题.....	189
第五章 数控机床的伺服及主轴驱动系统	191
第一节 概述.....	191

第二节 位置检测单元..... 194

第三节 相位伺服系统的比较单元..... 214

第四节 幅值伺服系统的比较单元..... 220

第五节 伺服系统的执行单元—伺服电动机..... 229

第六节 直流伺服电机的放大单元..... 238

第七节 交流伺服电机的放大单元..... 255

第八节 步进式开环伺服系统..... 269

第九节 闭环伺服系统的计算机软件化..... 281

第十节 主轴控制..... 287

思考题..... 294

参考文献..... 295

第一章 绪 论

数控技术是指用数字信号形成的控制程序对一台或一台以上的机械设备进行控制的一门技术,简称 NC(Numerical Control)。数控技术综合应用了微电子技术、计算机技术、自动控制、伺服驱动及精密测量等学科的最新成就,是机械设备实现自动化的一种重要形式。由于数控技术所涉及的知识面极广,且数控设备种类繁多,应用范围各式各样,故而本书不可能亦没必要对各种数控设备进行一一介绍。这里,我们仅将机床的数字控制技术作为本书的研究对象。

由于数字控制是与机床的控制密切结合而产生和发展起来的一门新技术。所以,“数控”一词往往被狭义地专指为“机床的数字控制”。

第一节 数字控制机床

一、普通机床的典型动作分析

机床是干什么用的?这个问题可以这样回答:机床的用途,一般是从金属的毛坯上切削掉多余的材料,使工件具有要求的形状和尺寸,取得规定的精度和光洁度。

用普通车床车削一根如图 1-1-1 中所示的台阶轴,刀具要作如下运动:首先刀具快速接近工件,对表面 1-2,2-3,3-4 进行切削。然后,刀具退回至原位。刀具的这一系列动作在普通车床上都是用人工手动操作方法来完成的。

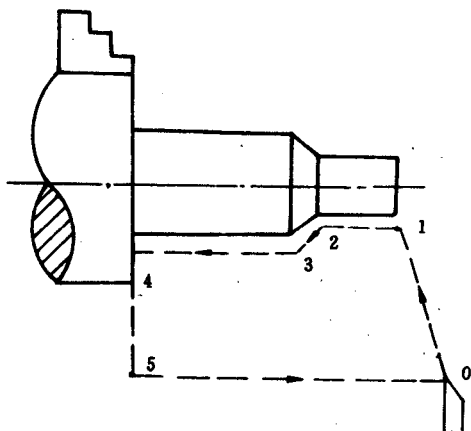


图 1-1-1 车床车削台阶轴示意图

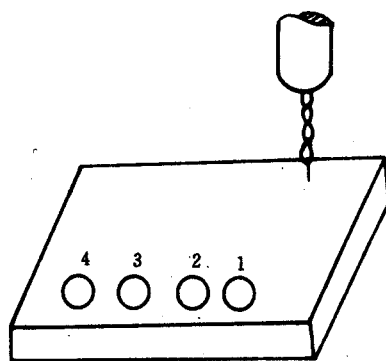


图 1-1-2 钻床钻削示意图

在普通钻床上钻削如图 1-1-2 所示的一排孔。工人要手工操作工作台移动,将刀具对准孔 1 的位置,下刀钻削,孔 1 钻完,提起刀头,然后再移动工作台,将刀具对准孔 2 的位置,下刀钻削……就这样,定位、下刀、提刀、再定位、再下刀、再提刀……直到一排孔钻完为止。

如图 1-1-3,若在铣床上铣削出的轮廓 ABC,刀具相对于工件的运动轨迹应当是 A'B'C'。要达到上述要求,刀具从 A'走到 B'时,工作台沿 X 轴线由右向左移动就可以完成。但从 B'到 C'时,工作台的纵向溜板和横向溜板必须同时移动,并且移动的速度也必须保持一定的比例。移动的方向必须是:纵向工作台由左向右,横向工作台由后向前。当刀具从 C'到 A'时,两溜板的移动速度必须严格保持另一种比例。移动的方向是:纵向工作台由左向右,横向工作台由前向后。用普通铣床铣削轮廓 ABC 时,工作台的上述移动完全靠工人摇动手柄来实现。显然,这是非常困难的。因为用手动的方法来保证两工作台移动速度比不变是很不容易的。

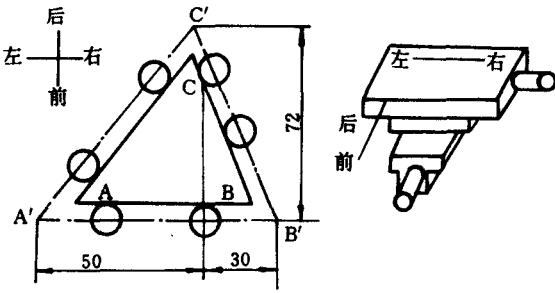


图 1-1-3 铣床上铣削斜面示意图

上述钻床和铣床,刀具都是装夹在主轴上且随主轴而旋转,而工作台做的是送进运动。车床是工件装夹在主轴上且随主轴的旋转而旋转,而刀具则做送进运动。

从以上三种普通机床加工工件的大体过程中,完全可以清楚地看出:普通机床的加工效率低、精度差、且劳动强度大。如果我们认真分析一下各类金属切削机床加工工件时,都需要一些什么样的

典型动作。再根据这些典型动作的特性,归纳成若干典型的机械运动。若这些典型的机械运动能够寻求到用一种自动控制的方法来解决,那么整台机床的加工过程便可望完全自动化了。数字控制机床就是这样一种自动化机床,它将机床的各种典型机械运动用数字控制的方法来自动完成。

二、数字控制机床

所谓数字控制机床(简称数控机床),就是将机床的各种动作、工件的形状尺寸以及机床的其它功能用一些数字代码表示,把这些数字代码通过信息载体(即控制介质)输入给数控系统(数字控制系统),数控系统经过译码、运算及处理,发出相应的动作指令,自动地控制机床刀具与工件的相对运动,从而加工出所需要的工件。

实际上,数控机床就是一种具有数控系统的自动化机床。所以说数控机床是最典型的机电一体化产品。

三、数控机床的组成

数控机床一般由信息载体、数控装置、伺服系统及机床本体组成。如图 1-1-4 所示。现将各组成部分简述如下:

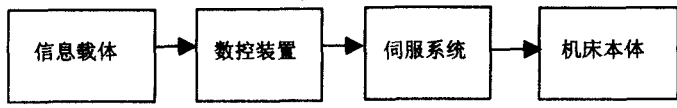


图 1-1-4 数控机床的基本组成

1. 信息载体

信息载体又称控制介质或输入介质,用于记载数控机床加工零件的全部信息。如零件加工的工艺过程、工艺参数、位移数据和切削速度等。常用的信息载体有八单位标准穿孔纸带、磁

带、磁盘等,并通过纸带、磁带、磁盘输入机将信息载体上记载的加工信息输入到数控系统中。也有一些数控机床采用操作面板上的按钮和键盘将加工程序直接输入或通过串行口将计算机上编写的加工程序输入到数控系统。在 CAD/CAM 集成系统中,其加工程序可不需任何载体直接输入至数控系统。

2. 数控装置

数控装置的基本任务,就是接收信息载体带来的信息,进行合理的运算和处理,把它们转换为伺服系统能够接受的指令信号,使其按照程序中规定的加工步骤驱动机床完成相应的动作。数控装置将信息载体上的信息转换成伺服系统所需要的信息是实现机床自动化的重要环节。数控装置有如下两种实现方法:

1) 专用数控装置

专用数控装置是根据零件加工功能的要求,用专用计算机固定接线的硬件结构构成数控装置。通常称为硬线数控或硬联接数控,缩写为 NC 系统。早期数控装置大都采用这种形式。

2) 通用数控装置

通用数控装置是由一台小型或微型计算机和适当的接口电路构成。机床的各种控制功能主要通过驻留在计算机内部的系统软件来实现。通常称其为软线数控或计算机数控。缩写为 CNC 系统(Computerized Numerical Control)。

硬线数控与软线数控的工作原理基本相同。只是前者用硬件逻辑实现各种数控功能,而后者则用系统程序实现各种数控功能。若要增加修改某种控制功能,后者只需增加或修改其相应的控制程序即可。所以说,CNC 系统较之 NC 系统具有更强的灵活性和适应性。

数控装置是整个数控系统的核心控制部分,整个系统的可靠性就取决于数控装置。

3. 伺服系统

伺服系统是由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成。它是数控系统的执行部件。其基本作用是接收数控装置发来的指令脉冲信号,控制机床执行机构的进给速度、方向和位移量,以完成零件的自动加工。一般来说,指令脉冲的数量决定机床移动的距离、指令脉冲的频率决定机床移动的速度。可见,机床移动的距离和速度完全取决于信息载体给定的数字信息,这正说明了“数控”的涵义。

发出指令脉冲信号的数控装置是能够以很高的速度与精度进行计算的。关键在于伺服系统能以多高的速度和精度去执行。所以说,整个数控系统的精度与快速性主要取决于伺服系统。故此,数控机床的伺服系统,应要求快速响应性能好、能灵敏而准确地跟踪指令信号。现在常用的是直流伺服系统和交流伺服系统。

4. 机床本体

机床本体包括:主运动部件、进给运动执行部件(如工作台、刀架)及其传动部件和床身立柱等支承部件。由于数控机床的加工过程是自动控制的,不能象普通机床上那样可以随时由人工进行干预、所以数控机床的设计要求比普通机床更严格,制造要求更精密,在精度、刚度、抗振性等方面要求更高。尤其是要求相对运动表面的摩擦系数要小,传动部件之间的间隙要小,而且其传动和变速系统要便于实现自动化控制。

四、使用数控机床加工零件的主要步骤

1. 根据零件图纸,编制零件程序单

在数控机床上加工零件时,首先要分析零件图纸。根据图纸对零件的形状、技术条件、毛坯

及工艺方案等要求制订合理的加工工艺。其次再根据零件图的几何尺寸、走刀路径以及设定的坐标系进行数值计算,以确定各运动轨迹的坐标值,如运动轨迹的起、终点坐标等。最后按编程手册的有关规定编写零件加工程序单。

2. 根据程序单,制备信息载体

程序编好后,需制作非信息载体。如在穿孔机上打出穿孔纸带。

编写好的零件程序,制备完成的信息载体,需要经检验后,才能用于正式加工。一般采用空运行画图检验或在显示屏上模拟加工过程的轨迹和图形显示检验,也可采用塑料或石蜡等易切材料进行试切的检验方法。

3. 将信息载体上的内容输入到数控装置

若信息载体为穿孔纸带,则通过纸带阅读机将穿孔纸带上的加工信息读入到数控装置。

4. 数控装置根据读入到的加工信息,进行必要的逻辑运算和算术运算后,向各坐标的伺服系统分配进给脉冲信号

5. 伺服系统接收到进给脉冲信号后,进行转换与放大,驱动机床按预定的轨迹运动,以进行零件的切削加工

在数控机床上加工零件的主要流程如图 1-1-5 所示。

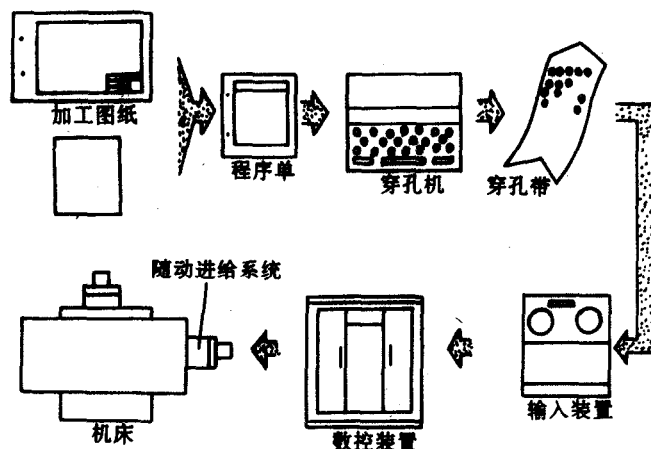


图 1-1-5 加工流程图

五、数控机床的特点

数控机床以其适应性强,加工质量稳定,精度高等特点在机械加工中得到广泛应用。其主要特点如下:

1. 对零件加工的适应性强,灵活性好

所谓适应性,灵活性即我们通常所说的柔性,是指数控机床随加工零件变化而变化的适应能力。数控机床的工作是按照信息载体上所记载的“命令”来加工零件的。所以,改变加工零件时只需要改变信息载体上所记载的“命令”即可。也就是说更换一条穿孔纸带即可,而不需改变机械部分和控制部分的硬件结构。适应性强是数控机床最突出的优点,这一优点较好地解决了单件、小批量、多变产品的自动化生产问题。尤其适应当前产品更新快的市场竞争需要。

2. 能加工形状复杂的零件

数控机床能够实现两坐标或两坐标以上的多轴联动控制。因而可以加工出母线为曲线的

旋转体、凸轮等各种复杂空间曲面的零件,能完成普通机床难以完成的加工。

3. 加工精度高、加工质量稳定可靠

数控机床对零件的加工过程完全是自动进行的,不需要人工干预,所以可避免人为误差。数控机床的机械传动系统和结构都具有很高的精度和刚度,且数控系统亦能对其加工精度进行校正和补偿。因此,数控机床具有很高的加工精度,且同一批零件生产的一致性好、加工质量稳定可靠。

4. 加工生产率高

数控机床可以使产品加工过程中减少许多工艺装备(如工夹具、样板、靠模等),缩短了加工准备时间。尤其是在使用带有自动换刀装置的数控加工中心机床时,工件往往只需进行一次装夹就能完成所有的加工工序,减少了半成品的周转时间。又因为数控机床定位精度高,可省去加工过程中的中间检测,减少了检测时间。所以数控机床的生产效率高。

5. 减轻工人劳动强度、改善劳动条件

数控机床的动作是由信息载体上的“命令”直接控制的。操作工人一般只需装卸零件和更换刀具并监督机床的运动。因而大大减轻了工人的劳动强度,改善了劳动条件。

6. 有利于机械加工综合自动化发展

数控机床是机械加工自动化的基本设备,DNC、FMC、FMS、CIMS等综合自动化系统必须由数控机床作基本单元。由于数控机床控制系统具有通讯接口,适于计算机联接,可组成工业局部网络,实现生产过程的计算机管理与控制。

尽管数控机床具有上述诸多优点,但其毕竟是一种自动化程度很高的机床,技术难度大、价格也较高、要求操作、程编以及维修人员具有较高的技术水平。因此在我国现阶段仍然多用于精度高、形状复杂的中小批量零件加工。当然,随着微电子技术、计算机技术的发展,数控系统功能不断提高,体积不断缩小、价格不断下降、数控机床种类越来越多,数控机床比例将不断上升,应用范围必将越来越广泛。

第二节 数控系统的分类

数控机床品种很多、规格不一。为研究其数控系统之便,通常可按下述原则进行分类。

一、按运动轨迹方式分类

1. 点位控制系统

这类控制系统的特点是要求保证点与点之间的准确定位。它只控制行程的终点坐标值。以钻床钻孔为例:刀具在一次钻孔结束后,就要移到下一个孔的位置上,以便逐次进行钻孔,直至完成加工。由于刀具在移动过程中不对工件进行切削,所以点位控制系统对刀具的运动轨迹没有要求,只要求能迅速、准确地逐点定位。采用这种控制系统的机床有钻床、坐标镗床和冲床等。

2. 直线控制系统

这类控制系统的特点是不但要控制行程的终点坐标值,还要保证在两点之间机床的刀具走的是一条直线,而且在走直线的过程中往往要进行切削。采用这类控制系统的机床有车床、铣床和磨床等。

3. 连续控制系统

连续控制系统又称轮廓控制系统或曲线控制系统。这类控制系统的特点是不仅要控制行程的终点坐标值,还要保证两点之间的轨迹要按一定的曲线进行。即这种系统必须能够对两个或两个以上的坐标方向的同时运动进行严格的连续控制。这一类机床主要有车床、铣床、磨床、气割机和线切割机等。

二、按伺服系统的控制方式分类

1. 开环伺服系统

开环伺服系统指的是伺服机构按照数控装置中发来的脉冲信号驱动机床运动。而对于机床的实际位移量或旋转角既不进行测量,也不把测量到的信息返送回去与原来要求移动的信息进行比较,简言之,即没有反馈的控制系统。例如,使用步进电机的简单伺服系统就是一个开环伺服系统,如图 1-2-1 所示。在开环系统中,数控装置每发一个脉冲,就认为工作台(或刀架)移动了一个脉冲当量的距离。数控装置发出 200 个脉冲,就认为工作台移动了 200 个脉冲当量的距离,至于工作台是否真正准确移动了这么长的距离,是不进行测量的。因此开环控制系统加工精度的高低基本上取决于步进伺服机构和丝杠齿轮等传动机构的精密度。目前为了提高开环系统的加工精度,正在努力改进步进伺服机构的特性。采用高精度的滚珠丝杠和高精度的齿轮,尽量减小传动间隙。同时,在电路上也采用一些间隙补偿,螺距误差补偿等提高精度的措施。

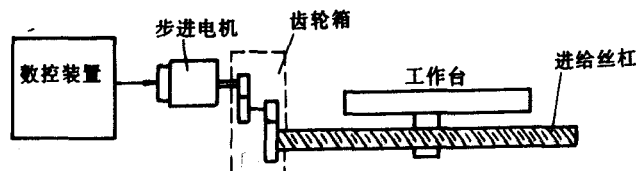


图 1-2-1 开环伺服系统

开环系统的优点是结构简单,造价较低,调试维修方便,适于精度要求不高的中小型机床。

2. 闭环伺服系统

这类控制系统的机床上安装有检测装置,直接对工作台的位移量进行检测,如图 1-2-2 所示。当数控装置发出指令进给信号后,经伺服驱动使工作台移动时,安装在工作台上的位置检测装置则把工作台的机械位移量变成电参量,反馈到输入端与指令信号进行比较,得到的差值经过转换与放大,最后驱动工作台朝着使差值减小的方向移动,直到差值等于零时为止。闭环控制系统因为把机床工作台纳入了位置控制环,所以该系统可以消除包括工作台传动链在内的误差,从而得到很高的精度。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量,直接影响伺服系统的调节参数。因此,闭环系统的设计和调整都非常困难,如各种参数匹配不当,很容易引起系统不稳定。

闭环系统的优点是精度高。但其系统设计和调整困难、结构复杂、成本高,所以主要用于一些精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精铣床等。

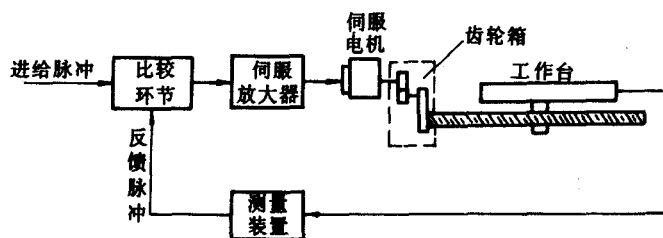


图 1-2-2 闭环伺服系统

3. 半闭环伺服系统

这类控制系统的机床不是闭环般采用直线测量元件直接检测机床工作台的直线位移量，而是采用安装在进给丝杠上转角测量元件（如旋转变压器等），通过测量丝杠旋转角度，来获得位置反馈信息的，如图 1-2-3 所示。因此，这种反馈只能补偿在丝杠以前的传动机构带来的误差，而不包括丝杠、螺母等机构带来的误差。显然，半闭环伺服系统的加工精度低于闭环伺服系统。但是，由于把惯性质量较大的工作台安排在反馈环之外，所以半闭环伺服系统稳定性较好，调试也比较容易。由于角位移检测装置比直线位移检测装置的结构简单、安装方便、成本较低。所以只要适当提高丝杠、螺母等传动机构的精度，采用适当的误差补偿措施，那么使用半闭环系统是较合理的。因此，绝大多数数控机床采用半闭环伺服系统。

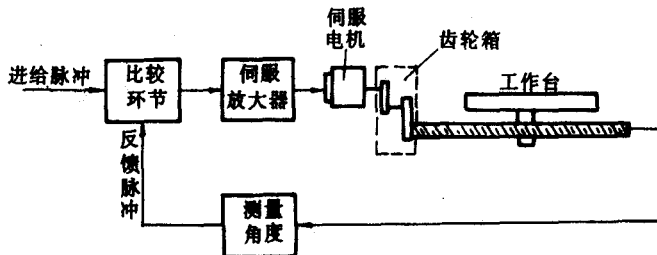


图 1-2-3 半闭环伺服系统

三、按机床可控制的运动坐标数分类

机床工作台与刀具相对运动的坐标除了空间三个移动坐标 X、Y、Z 外，还有绕上述三个坐标轴转动的转角坐标 A、B、C。能够由控制机实现数字控制的坐标轴称为控制轴。一台数控机床上控制轴的数目可多寡不同；而能够由控制机加以同时控制，保证按一定规律协调运动的坐标轴（称联动轴）数目也各不相同。这种控制轴数目和联动轴数目决定了机床所能加工零件形状的复杂程度，按机床的控制轴数目可分类如下：

1. 二坐标轴数控机床

二坐标数控机床有两个控制轴，可控制机床作两个坐标方向的移动。此两个坐标轴可以是联动的，如加工平面直线或曲线轮廓零件的数控铣床、数控线切割机、加工轴类零件的数控车床等。也可以是不联动的，如各类点位控制钻床、钻铆机等。

2. 三坐标数控机床

三坐标数控机床有三个控制轴，根据它不同的控制方式可有两类形式。一类在 X、Y、Z 三个移动坐标中可控制任意两个坐标联动，常称为两个半 $\left(2 \frac{1}{2}\right)$ 坐标数控机床。如图 1-2-4(a) 所

示。另一类是可实现三坐标联动的,如图 1-2-4(b)所示,用于加工空间直线或螺旋线轮廓件。

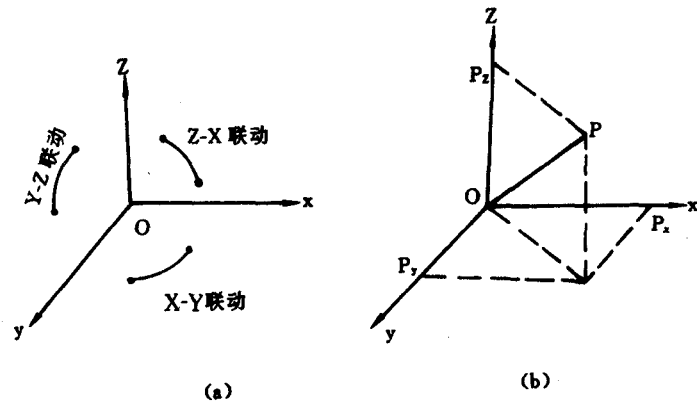


图 1-2-4 三坐标数控机床控制轴两种形式

3. 四坐标数控机床

四坐标数控机床有 X、Y、Z 三个移动坐标和绕某一轴的摆角坐标可实现数控。而其中任意两个移动坐标和一个摆角坐标可实现联动,亦可四坐标四联动。如图 1-2-5所示,其中绕 X 轴摆角为 A,绕 Y 轴的摆角为 B,绕 Z 轴的摆角为 C。

4. 五坐标数控机床

五坐标数控机床,除了 X、Y、Z 三个控制轴外,尚有 A、B 两个摆角或一个摆角 A 与一个 360°的转台可实现数控,其中四个控制轴可以联动,转台可以是绕 Y 轴的 B 坐标或绕 Z 轴的 C 坐标,如图 1-2-6 所示。

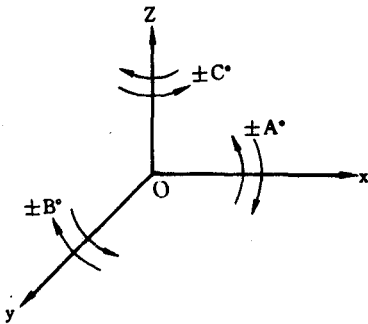


图 1-2-5 四坐标数控机床控制轴

图 1-2-7 给出了不同坐标轴数控机床的加工示意图。

除上述三种分类外,还有其它的分类方法。例如,按数控装置的功能水平常把数控机床分为低、中、高档三类;按工艺用途分类可以分为普通数控机床与特种数控机床等。

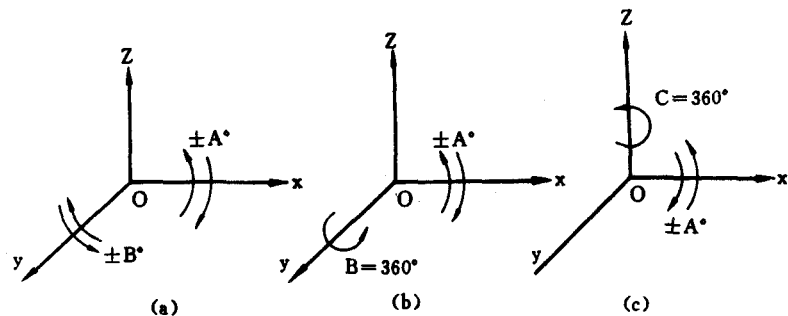


图 1-2-6 五坐标数控机床控制轴

(a)带两个摆角 (b)带转角 A 和转台 B 360° (c)带转角 A 和转台 C 360°

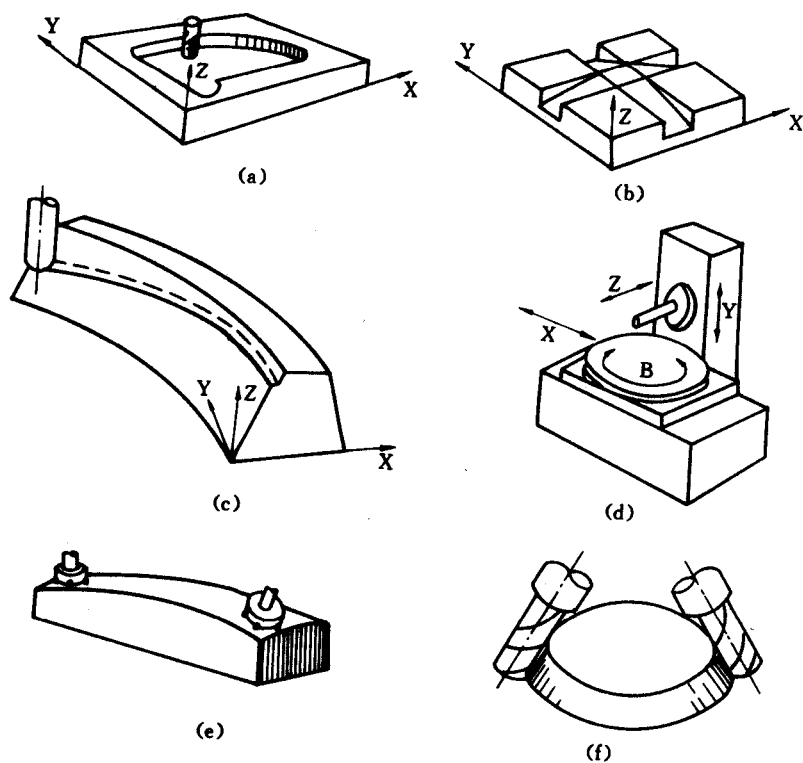


图 1-2-7 不同坐标轴数控机床加工示意图

第三节 数控指令的标准代码

一、指令代码

本章第一节中,我们分析了各类机床的典型机械运动。用普通机床加工零件,操作工人首先看懂零件图纸,通过摇动手柄来控制机床刀具与工件的相对运动,从而加工出符合图纸要求的零件。然而,数控机床是靠数控装置控制机床自动地进行零件的加工。那么,数控装置如何知道在什么时候控制机床做什么运动呢?我们知道数控装置即数字计算机是不能直接看懂图纸的,但它有一个最大的特点就是识数。所以,只要我们将机床每一种机械运动用一种固定的代码表示,则数控装置收到某种代码,便控制机床进行这种代码所代表的运动。我们把规定用来代表机床某种运动且数控装置能够识别的代码称为指令代码。每一种数控机床的指令代码原则上说,都可由设计人员自行规定。然而就整个数控机床业而言,考虑到数控机床的通用性,其指令代码即输入信息非常有必要标准化。目前世界上常用的两种标准制:一种为 EIA 标准(美国电子工业协会),另一种为 ISO 标准(国际标准化组织)。我国规定采用 ISO 标准。

二、功能指令

数控机床一般包括下述几个方面功能指令:

表 1-3-1 ISO 标准对准备功能 G 的规定

代码	功能	说明	代码	功能	说明
G00	点定位		G57	XY 平面直线位移	
G01	直线插补		G58	ZX 平面直线位移	
G02	顺时针圆弧插补		G59	YZ 平面直线位移	
G03	逆时针圆弧插补		G60	准确定位(精)	按规定公差定位
G04	暂停	执行本段程序前 暂停一段时间	G61	准确定位(中)	按规定公差定位
G05	不指定		G62	快速定位(粗)	按规定之较大公差定位
G06	抛物线插补		G63	攻丝	
G07	不指定		G64~G67	不指定	
G08	自动加速		G68	内角刀具偏置	
G09	自动减速		G69	外角刀具偏置	
G10~G16	不指定		G70~G79	不指定	
G17	选择 XY 平面		G80	取消固定循环	取消 G81~G89 的固定循环
G18	选择 ZX 平面		G81	钻孔循环	
G19	选择 YZ 平面		G82	钻或扩孔循环	
G20~G32	不指定		G83	钻深孔循环	
G33	切削等螺距螺纹		G84	攻丝循环	
G34	切削增螺距螺纹		G85	镗孔循环 1	
G35	切削减螺距螺纹		G86	镗孔循环 2	
G36~G39	不指定		G87	镗孔循环 3	
G40	取消刀具补偿		G88	镗孔循环 4	
G41	刀具补偿-左侧	按运动方向看, 刀具在工件左侧	G89	镗孔循环 5	
G42	刀具补偿-右侧	按运动方向看, 刀具在工件右侧	G90	绝对值输入方式	
G43	正补偿	刀补值加给 定坐标值	G91	增量值输入方式	
G44	负补偿	刀补值从给定 坐标值中减去	G92	预置寄存	修改尺寸字 而不产生运动
G45	用于刀具补偿		G93	按时间倒数给定进给速度	
G46~G52	用于刀具补偿		G94	进给速度/($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	
G53	直线位移功能取消		G95	进给速度/($\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$)	
G54	X 轴直线位移		G96	主轴恒线速度 /($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	
G55	Y 轴直线位移		G97	主轴转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	取消 G96 的指令
G56	Z 轴直线位移		G98~G99	不指定	

1. 准备功能

准备功能以字符“G”为首后跟两位数字(G00—G99)组成,ISO 标准对准备功能 G 的规定见表 1-3-1。这些准备功能包括:坐标移动定位方法的指定;插补方式的指定;平面的选择;螺紋、攻丝、固定循环等加工的指定;刀具补偿或刀具偏置的指定等。

2. 进给功能

进给功能用来指定刀具相对工件运动的速度。其单位一般为 mm/min。在进给速度与主轴转速有关时,如车螺紋、纹丝等,使用的单位为 mm/r。进给功能指令以字符“F”为首,其后跟一串数字代码。具体有以下几种方法:

1)三位数代码法

F 后跟三位数字,第一位为进给速度的整数位数加上“3”,后两位是进给速度的前两位有效数字。如 1728mm/min 的进给速度用 F17 指定;15.25mm/min 可用 F515 指定。

表 1-3-2 二位数代码法的进给速度对照表

mm/min

代码	速度	代码	速度	代码	速度	代码	速度	代码	速度
00	停	20	10.0	40	100	60	1000	80	10000
01	1.12	21	11.2	41	112	61	1120	81	11200
02	1.25	22	12.5	42	125	62	1250	82	12500
03	1.40	23	14.0	43	140	63	1400	83	14000
04	1.60	24	16.0	44	160	64	1600	84	16000
05	1.80	25	18.0	45	180	65	1800	85	18000
06	2.00	26	20.0	46	200	66	2000	86	20000
07	2.24	27	22.4	47	224	67	2240	87	22400
08	2.50	28	25.0	48	250	68	2500	88	25000
09	2.80	29	28.0	49	280	69	2800	89	28000
10	3.15	30	31.5	50	315	70	3150	90	31500
11	3.55	31	35.5	51	355	71	3550	91	35500
12	4.00	32	40.0	52	400	72	4000	92	40000
13	4.50	33	45.0	53	450	73	4500	93	45000
14	5.00	34	50.0	54	500	74	5000	94	50000
15	5.60	35	56.0	55	560	75	5600	95	56000
16	6.30	36	63.0	56	630	76	6300	96	63000
17	7.10	37	71.0	57	710	77	7100	97	71000
18	8.00	38	80.0	58	800	78	8000	98	80000
19	9.00	39	90.0	59	900	79	9000	99	90000

2)二位数代码法

对于 F 后跟的二位数字代码,规定了与 00-99 相对应的速度表。除 00 与 99 外,数字代码由 01 向 98 递增时。速度是按等比关系上升的。比例系数为 10 的 20 次方根(近似地等于1.12),即相邻的后一速度比前一速度增加约 12%。F00 至 F99 的进给速度对照关系见表 1-3-2。

3)一位数字代码法

对于速度档较少的数控机床,可用 F 后跟一位数字。即 F0-F9 来对应十种预定的速度。

4)直接指定法

在 F 后面按照预定的单位直接写上要求的进给速度。

3. 主轴速度功能

主轴速度功能指令用来指定主轴转速,单位为 r/min。它以字符“S”为首,后跟一串数字。S 后面同样可采用三位、二位、一位数字代码法或直接指定法。

4. 刀具功能

在系统具有换刀功能时,刀具选择功能指令用以选择替换的刀具,刀具功能指令用字符“T”为首。其后跟二位数字,代表刀具的编号。

5. 辅助功能

辅助功能指令以字符“M”为首,其后跟两位数字(M00-M99)。这些辅助功能包括:指定主轴的转向与启停、指定冷却液的系统与启停;指定机械的夹紧与松开;说明程序停止或纸带结束等。常见的辅助功能指令见表 1-3-3。

表 1-3-3 ISO 标准对辅助功能 M 的规定

代码	功能	说明	代码	功能	说明
M00	程序停止	主轴、冷却液停	M32~M35	不指定	
M01	计划的停止	需按钮操作确认才执行	M36	进给速度范围 1	不停车齿轮变速范围
M02	程序结束	主轴、冷却液停 机床复位	M37	进给速度范围 2	
M03	主轴顺时针方向转	右旋螺纹进入工件方向	M38	主轴速度范围 1	不停车齿轮变速范围
M04	主轴逆时针方向转	右旋螺纹离开工件方向	M39	主轴速度范围 2	
M05	主轴停止	冷却液关闭	M40~M45	不指定	可用于齿轮换挡
M06	换刀	手动或自动换刀,不包括选刀	M46~M47	不指定	
M07	2 号冷却液开		M48	取消 M49	
M08	1 号冷却液开		M49	手动速度修正失效	回至程序规定的转速或进给率
M09	冷却液停止		M50	3 号冷却液开	
M10	夹紧	工作台、工件、夹具、主轴等	M51	4 号冷却液开	
M11	松开		M52~54	不指定	
M12	不指定		M55	刀具直线位移到预定位置 1	