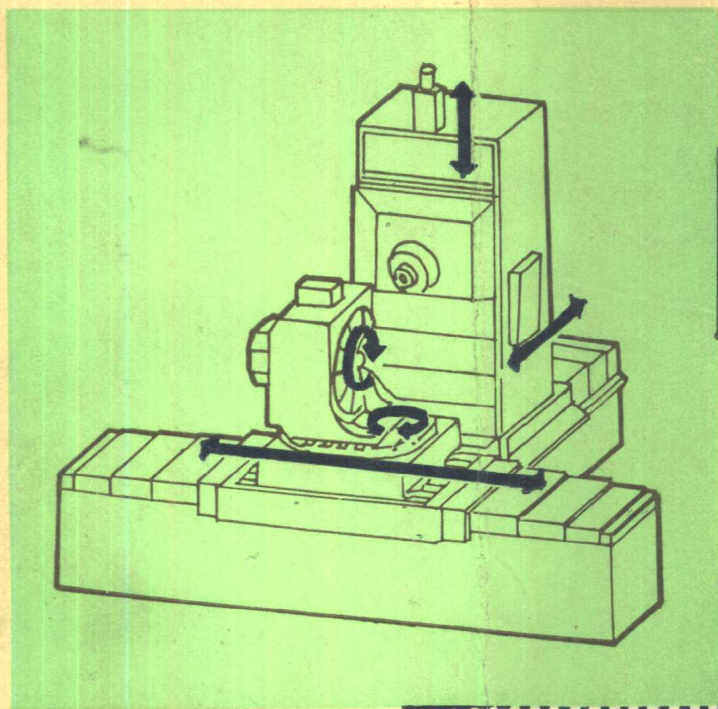


机床的数字控制与计算机应用

(上册)



机械工业出版社

机床的数字控制与计算机应用

(上 册)

上海市电气自动化研究所 编著



机械工业出版社

本书较系统、全面地介绍了机床数控技术,分上、下二册出版。

上册,主要介绍机床的硬线数控。按机床硬线数控系统的结构,结合控制方案、典型线路及目前发展情况,论述了系统的原理及其设计方法。其中闭环系统的部件与设计占了较多篇幅,并讨论了机床数控系统的可靠性问题。此外,还扼要介绍了机床与伺服系统的配合,给出了几个机床数控系统的实例。

下册,主要介绍计算机数字控制的原理、基本方法与系统实例,并简要地介绍自动程序编制。

本书可供从事数控、计算机应用的技术人员、工人及有关专业的师生参考。

机床的数字控制与计算机应用

(上册)

上海市电气自动化研究所 编著

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

外文印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/16·印张 35 3/4·字数 877 千字
1982年2月北京第一版 1982年2月北京第一次印刷
印数: 0,001— 6,500·定价: 3.65 元

统一书号: 15033·4993

前 言

数控机床是一种高效能的自动化机床,它能较好地解决复杂、精密、中小批量的零件加工问题,在机械制造业中发挥着日益重要的作用。随着电子、自动控制和计算机技术的发展,数控机床日趋普及并逐渐扩大其应用范围。

近二十年来,我国数控机床的数量和品种不断增加,质量显著提高,技术队伍也已初具规模,并积累了一定经验。我们深信,在实现四个现代化的新长征中,机床数控技术有着十分广阔的发展前景。

为了适应机床数控技术发展的需要,我们编写了《机床的数字控制与计算机应用》一书。书中较全面、系统地介绍了机床数控技术,分上、下两册出版。上册主要介绍机床的硬线数控,按系统的结构,结合控制方案、典型线路及目前发展情况,论述系统的工作原理及其设计方法。其中闭环系统的部件与设计占了较大篇幅,并讨论了机床数控系统的可靠性问题。此外,还简要地介绍了机床与伺服系统的配合,给出了几个机床数控系统的实例。下册主要论述计算机数字控制的原理和基本方法,并介绍系统实例。简要介绍自动程序编制。

本书在写法上,没有采用对典型产品一例到底的剖析方法,而是主要按照系统的一般结构,结合各种控制方案及功能线路实例进行介绍。以期使读者在阅读本书后,能了解机床数控技术全貌,掌握解决机床数控技术实际问题的基本方法和途径。

本书的编写工作是在胡汝鼎同志的关心和指导下进行的。有关高等院校、工厂、科研单位(包括本所)的许多同志给予了热情的支持和帮助,在此谨致谢意。

机床数控是一门综合性很强的技术,近年来发展速度很快。由于编者的水平与经验所限,书中一定存在不少缺点,甚至错误,殷切期望读者批评指正。

参加上册编写工作的有:赵经政、胡纲衡、侯松涛、曾癸铨、施菊明、张其华、唐瑞球、沈惠英等同志。

上海市电气自动化研究所

目 录

第一章 绪论	1
第一节 数控机床的产生及特点	1
一、机床控制技术的发展	1
二、数控机床的产生	1
三、数控机床的特点	2
第二节 机床数控系统的结构与分类	3
一、机床数控系统的结构	3
二、机床数控系统的分类	5
第三节 机床数控系统的进展	5
一、数控加工中心机床	6
二、自动程序编制	7
三、计算机数字控制(CNC)与微型计算机的应用	7
四、自适应控制(AC)	8
五、直接数字控制(DNC)	8
六、柔性制造系统(FMS)和设计制造一体化(CAD/CAM)	8
七、简易数控机床	9
第二章 逻辑代数与逻辑部件	10
第一节 数与逻辑	10
一、数制	10
二、二进制数的表示方法	11
三、二进制数的加、减运算	13
四、基本逻辑关系和逻辑门	14
五、逻辑代数	16
第二节 数字集成电路	20
一、双极型数字集成电路	21
二、MOS 数字集成电路	29
第三节 数字逻辑部件	38
一、加法器	39
二、变补器	40
三、比较器	42
四、寄存器	43
五、计数器	45
六、译码器	49
七、节拍脉冲发生器	52
八、半导体存储器	56
第三章 运算方法和运算器	60
第一节 加减法运算	60
一、加法运算	60
二、减法运算	63
第二节 乘法运算	66
一、乘法运算规则	66
二、乘法运算线路	68
第三节 十翻二运算	71
一、十翻二运算的过程	71
二、十翻二运算的实现方法	71
第四节 二-十进制运算器	73
一、二-十进制与二进制运算方案的比较	73
二、二-十进制的几种运算线路	74
第五节 控制器	83
一、控制器概述	83
二、时序脉冲发生电路	84
第六节 运算控制器	85
一、时序电路	86
二、运算子程序发生器	87
三、运算控制门	94
第四章 输入	96
第一节 穿孔纸带信息格式及其标准化	96
一、输入信息的标准化	97
二、ISO 代码与 EIA 代码	99
三、穿孔纸带程序段的格式	100

VI

四、坐标轴与运动方向的规定	107	一、光电转换电路	115
第二节 输入装置与输入线路结构	108	二、输入寄存器	117
一、光电式纸带阅读器	108	三、奇偶校验电路	120
二、数码拨盘与插销	109	四、手动数据输入(MDI)	123
三、输入线路的结构	110	五、译码电路	125
第三节 输入线路	115	六、代码转换	131
第五章 点位控制与点位/直线切削控制	136		
第一节 点位控制与点位/直线切削控制 的一般概念	136	三、消除增量方式累积误差的方法	143
一、点位控制系统与点位/直线切削控 制系统的异同	136	四、使用绝对值程编方式的位置计算 与比较线路	144
二、程序编制的增量方式与绝对值方 式	136	五、绝对值方式程编、增量方式计算 的线路方案	144
三、测量系统的增量方式与绝对值方 式	137	第三节 点位和直线控制系统的伺服驱 动	145
四、固定原点与浮动原点	138	一、开环步进系统	145
五、点位控制系统与点位/直线切削控 制系统的结构	139	二、闭环断续控制系统	147
第二节 位置计算与比较线路	140	三、闭环连续控制系统	149
一、位置计算与比较线路的各种方案	140	第四节 加工中心机床	150
二、比较线路	140	一、加工中心机床的特征	150
		二、机能介绍	151
		三、加工中心机床的自动换刀装置	157
第六章 连续切削控制	165		
第一节 脉冲分配计算和插补器	166	三、逐点比较法的刀具半径补偿	194
一、数字积分法	166	四、刀具半径补偿的矢量判别法	195
二、逐点比较法	174	五、多坐标联动的刀具补偿	196
三、比较积分法	179	第三节 进给速度调整	198
四、其他的脉冲分配方法	187	一、各种插补器中合成进给速度的计 算	199
第二节 刀具半径补偿	191	二、进给速度的程编方法	202
一、刀具半径补偿的概念	191	三、进给速度的自动调节	205
二、DDA 方式的刀具半径补偿	192		
第七章 数控机床的伺服系统	207		
第一节 概述	207	二、零点和极点	215
一、开环、闭环和半闭环	207	三、过渡过程	215
二、点位和连续控制的伺服系统	209	四、方框图和闭环传递函数	221
三、幅值比较和相位比较	209	五、校正和测速反馈	221
四、电气和液压伺服系统	211	六、动特性的调整	221
五、数控机床伺服系统的进展	213	七、稳态误差和开环增益	222
第二节 伺服系统的理论基础	214	八、机床伺服系统的增益指标	223
一、传递函数	214	九、根轨迹法	224

十、频率响应设计法	226	第四节 幅值伺服系统	250
十一、负载干扰的影响	233	一、旋转变压器的幅值工作状态	250
十二、非线性和相平面法	233	二、感应同步器的幅值系统	251
第三节 相位伺服系统	237	三、脉冲调宽的原理	252
一、脉冲调相器 (DPM)	239	四、解调电路	253
二、鉴相器	240	五、电压频率变换器	255
三、相位检测器	245	六、正余弦信号发生器	257
四、励磁线路和基准信号发生器	247		
第八章 伺服系统的位置检测单元	259		
第一节 旋转变压器	259	二、光栅读数头	286
一、结构和工作原理	259	第四节 光电盘和编码盘	287
二、旋转变压器的应用	260	一、光电盘	287
三、磁阻式多极旋转变压器	261	二、编码盘	288
第二节 感应同步器	263	第五节 磁尺	290
一、工作原理	263	一、磁性标尺	290
二、特点	266	二、磁头	292
三、结构与分类	267	三、检测电路	293
四、感应同步器的安装	271	四、绝对值式磁尺	295
五、感应同步器激励和信号放大电路	272	第六节 激光测量	296
第三节 光栅	280	一、原理与构成	296
一、光栅的种类及工作原理	281	二、激光干涉仪的应用	298
第九章 伺服系统的执行单元	299		
第一节 直流伺服电机	300	一、特点	318
一、直流电机的分类与特性	300	二、工作原理	319
二、低惯量直流电动机	303	第四节 交流伺服驱动与直线电动机	322
三、宽调速直流伺服电动机	305	一、交流伺服驱动	322
第二节 直流伺服电动机的可控硅驱动	310	二、直线电动机	328
一、可控硅直流驱动方式	310	第五节 液动元件	330
二、机床的主轴驱动线路介绍	315	一、电—液伺服系统简介	330
三、机床的进给驱动线路	316	二、液压马达	332
第三节 脉宽调制快速伺服驱动	318	三、电液伺服阀	336
第十章 机床与伺服系统的配合	342		
第一节 机床与数控的关系	342	三、刚度的测量	351
一、普通机床设计对数控机床的不适应性	342	四、惯性矩的计算与测量	354
二、影响伺服系统性能的主要因素	342	第三节 电气驱动系统和机床的匹配	357
第二节 机械参数的测定与计算	348	一、直流伺服电机的机械特性	357
一、摩擦力和摩擦力矩的测量	349	二、直流电机的时间常数	358
二、失动量测量	351	三、电机功率和齿轮速比的确定	359
		第四节 数控机床传动链	360

VIII

一、导轨	360	第五节 数控机床精度	370
二、滚珠丝杠螺母副	365	一、数控机床精度的概念	370
三、齿轮传动间隙的消除	367	二、数控机床的加工精度	371
四、大型机床门形构造的伺服驱动方 法	369	三、轮廓跟随精度与加工精度的检验	377
第十一章 数控机床伺服系统的分析和设计	380		
第一节 数控机床伺服系统的线性描述	380	计法	395
一、比较器	380	三、速度环的设计	400
二、功率放大器(或电压电流放大器)	380	第四节 考虑机床刚性及间隙的影响	401
三、执行机构	380	一、电机和机床的减速比选择	401
四、测量元件	383	二、考虑机床的刚性	402
五、校正环节	383	三、考虑到机床刚性时预期开环对数 频率特性的修正	403
第二节 对数控机床伺服系统的要求	385	四、机床传动链间隙对伺服系统的影 响	405
一、静态参数	385	第五节 校正装置	407
二、动态参数	390	第六节 数控伺服系统实例	412
三、加速度和减速度	392	第七节 借助计算机的控制系统特性计 算	417
第三节 机床伺服系统的频率设计法	392		
一、频率特性指标 M_p 、 ω_p 与 ξ 、 ω_n 的关 系	392		
二、按给定 K_r 、 M_p 、 ω_p 的 I 型系统设 计	395		
第十二章 开环伺服驱动系统	424		
第一节 步进电机的工作原理和结构	425	一、步进电机的控制方式	436
一、步进电机的基本工作原理	425	二、环形分配器	437
二、步进电机的类型及结构	426	三、功率放大器	438
三、电液脉冲马达	430	四、对驱动电源的要求和分类	439
第二节 步进电机的主要特性	432	五、提高驱动电源性能的措施	440
一、步距角和步距误差	432	六、功率放大器线路介绍	442
二、静态矩角特性和最大静转矩特性	432	第四节 进一步改善步进电机控制性能 的方法	449
三、起动频率(突跳频率)与起动惯频 特性	433	一、自动升降速电路	449
四、连续运行频率	434	二、步进电机的细分与平滑控制	452
五、单步运行和共振	434	第五节 开环伺服系统的精度	456
六、动态转矩与连续运行矩频特性	436	一、精度分析	456
第三节 步进电机的驱动电源	436	二、提高精度的几个措施	457
第十三章 数控系统的可靠性	463		
第一节 概述	463	四、可靠性技术	465
一、可靠性的概念	463	五、可靠性管理	465
二、故障	464	第二节 概率和概率分布——可靠性的 数学基础	466
三、可靠性和费用的关系	464		

一、概率	466	一、电路设计中的可靠性	487
二、概率分布	467	二、逻辑设计中的可靠性	487
三、二项分布和泊松分布	468	三、竞争冒险现象	488
四、连续随机变量及其分布	469	四、竞争冒险的消除	492
第三节 数控系统的可靠性描述	470	五、消除尖峰干扰的方法	494
一、可靠性中常用的统计尺度	470	第六节 抗干扰和可靠性工艺	495
二、可靠性分布函数	473	一、干扰的来源和消除原则	495
三、特征量的计算和可靠性预计	474	二、供电方式	496
四、数控系统可靠性的估计	479	三、布线和信号传送	497
第四节 元、器件的选用及其可靠性	481	四、接地	498
一、元、器件的选用	481	五、数控装置与外界的信号联系	499
二、元、器件的应用筛选	483	六、干扰源的抑制	500
三、应用测试	484	七、结构、连接和印刷板工艺	501
第五节 电路与逻辑设计的可靠性	487		
第十四章 机床数控系统实例	504		
第一节 JCS-013 型自动换刀数控卧式		一、结构和功能	532
镗铣床(加工中心)	504	二、操作	534
一、主要技术参数与机能	504	三、代码及其格式	536
二、运算原理	507	四、程序编制方法	537
三、框图介绍	511	五、系统的程序处理过程	541
四、自动换刀装置	513	六、运算方法	545
第二节 CSK-C 数控车床	518	七、刀补运算的处理	546
一、主要技术性能	518	八、数字输入线路	547
二、程序段格式和机器指令	519	第四节 插销板车床数控装置	548
三、系统原理	520	一、机能与特点	548
四、输出回路	529	二、逻辑线路介绍	550
五、切削加工实例及其程序	530	三、辅助机能控制线路及驱动线路	558
第三节 多用途数控系统 NU ...CON320	532		
主要参考文献	651		

第一章 绪 论

第一节 数控机床的产生及特点

一、机床控制技术的发展

社会生产与科学技术的迅速发展使机械产品日趋精密、复杂而且改型频繁。这不仅给机床设备提出精度与效率的要求,也提出了通用性与灵活性的要求。特别是宇航、造船、武器生产等工业部门,它们需要加工的零件具有精度高、形状复杂、批量较小、经常变动的特点。使用普通机床去加工这类零件,不仅劳动强度大、生产效率低,还难以保证精度,有些零件甚至无法加工。

仿型机床使小批量、复杂零件的自动化加工得到了部分的解决。它借助靠模能加工出比较复杂的零件,有一定的灵活性。但是靠模的制造、安装与调整要化费许多手工劳动;为批量很小甚至单件零件制造靠模也很不经济。另外,仿形机床加工出的零件精度受靠模制造误差的影响,不能满足一些高精度零件的加工要求。

程序控制机床不使用靠模,用事先调整好尺寸的挡块或凸轮来控制刀具对工件的相对运动;由行程开关发信号以控制机床按预定顺序动作切削。在程序控制机床中使用的信号均属模拟量信号,如电压、电流等。这种机床对形状不太复杂的零件加工,有一定通用性。但精度较差,加工准备时间长,使用不很方便。

大批量的零件加工使用专用自动化单机、组合机床,以及由它们组成的加工自动线,可以得到高的加工效率。但是,约占机械加工总量 80% 的单件,小批量零件的加工,不宜使用这类不易变更的“刚性”自动化设备。这就对机床自动化设备提出了“柔性”的要求,即要求它灵活、通用,能迅速地适应加工零件的频繁变化,而不需对设备进行专门的调整及更换专用的工夹具。

数字控制机床简称数控机床,它把加工的要求,步骤与零件尺寸用代码化的数字表示,通过信息载体(如穿孔纸带)输入专用电子计算机。经过处理与计算,发出各种控制信号,控制机床的动作,按图纸要求的形状与尺寸,自动地将零件加工出来。与使用模拟量的程序控制机床不同,在数控机床中使用的是数字量信号。当被加工零件改变时,只要改用另一条“描写”该零件加工的纸带即可,不需要对机床做其他的调整。

数控机床较好地解决了复杂、精密、小批、多变的零件加工问题。是一种灵活的,高效能的自动化机床,它是机床控制技术的一个重要发展方向。随着电子、自动化、计算机及精密机械与测量等技术的发展,数控机床也在迅速发展和演变,以适应社会生产的需要。

二、数控机床的产生

第一台数控机床是适应航空工业制造复杂零件的需要而产生的。1948年,美国巴森兹公司(Parsons Co.)在研制加工直升飞机叶片轮廓检查用样板的机床时,提出了数控机床的初始设想。后来受空军委托与麻省理工学院(MIT)合作开始了将三坐标铣床数控化的研究工作。1952年公开发表了世界上第一台数控机床样机,这是一台直线插补连续控制的三坐标铣床,

使用电子管元件。后又经过三年的改进与自动程序编制的研究,于1955年进入实用阶段,投产了一百台类似产品。这些数控铣床在复杂的曲面零件加工中,发挥了很大作用。

一直到五十年代末,由于价格和技术上的原因,数控机床局限在航空工业中应用,品种也多为连续控制系统。到了六十年代,由于晶体管的应用,数控系统提高了可靠性且价格开始下降,一些民用工业开始发展数控机床。其中多数是钻床、冲床等点位控制的机床。数控机床发展至今已有二十多年的历史,它是与电子、自动化、计算机技术的发展紧密相关的。

三、数控机床的特点

数控机床以其精度高、效率高、能适应小批量复杂零件的加工等特点,在机械加工中得到日益广泛的应用。概括起来,采用数控机床有以下几方面的好处。

(一)提高加工精度

数控机床有较高的加工精度,一般在 $0.005\sim 0.100$ 毫米之间。更重要的是,数控机床加工精度不受零件形状复杂程度的影响。这对于一些用普通机床难以保证精度甚至无法加工的复杂零件是非常可贵的。另外,用数控机床加工,消除了操作者的人为误差,提高了同批零件加工的一致性,使产品质量稳定。

(二)提高生产效率

使用数控机床加工,因对工夹具的要求降低,又免去了划线工作,使加工准备工作时间缩短了。在加工过程中省去了对工件多次测量、检验的时间。因为有高的重复精度,可以简化检验工作,节省检验时间。在加工零件改变时,用改换纸带的方法,节省了准备与调整的时间。这些都有效地提高了生产效率,如果使用能自动换刀的数控加工中心机床,可进行多道工序的连续加工,缩短半成品的周转时间,生产效率的提高更为显著。

(三)减轻了劳动强度,改善了劳动条件

数控机床在输入纸带并启动后,就自动地连续加工,直至工件加工完毕,自动停车。这简化了工人的操作,也使操作时的紧张程度大为减轻。

(四)有利于生产管理

用数控机床加工,能准确地计划零件的加工工时;简化了检验工作;减轻了工夹具、半成品的管理工作;减少了因误操作废品及损坏刀具的可能性。这些都有利于管理水平的提高。当然,要相应地增加纸带的准备与管理工作。

(五)有利于向计算机控制与管理发展

数控机床使用数字量信号与标准代码输入,最宜于与数字计算机联接。所以它是将来计算机控制与管理系统的基础。

数控机床毕竟是一种高度自动化的机床,技术复杂,成本较高。从其使用时的经济效果出发,在目前阶段,仍然多用于精度高、形状复杂的中小批量零件加工。美国目前拥有的数控机床已超过四万台,只占拥有机床总台

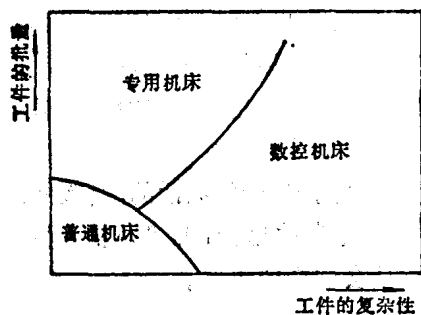


图 1-1 数控机床适用范围示意

数的2.7%。数控机床与普通机床、专用机床相比,其适用范围可定性地图1-1表示。随着数控技术的普及和电子器件成本的降低,特别是计算机数控系统的出现与微型计算机的迅速发展,数控机床正在不断地扩展它的适用范围。

第二节 机床数控系统的结构与分类

一、机床数控系统的结构

机床数控系统一般由四个部分组成：信息载体；数控装置；伺服系统；机床。参看图 1-2。

将被加工零件的形状、尺寸、工艺要求等信息，记录在穿孔纸带等信息载体上，并输入数控装置。数控装置包含一台专用计算机或小型通用计算机。它对输入信息进行处理与计算，根据计算结果向各坐标的伺服系统分配进给脉冲，并发出必要的动作信号。

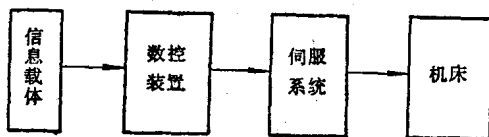


图 1-2 机床数控系统的组成

伺服系统接到进给脉冲和动作信号后，进行转换与放大，驱动机床的工作台或刀架去定位或按某种轨迹移动，并配以必要的机械动作，按照要求的形状与尺寸完成零件的切削加工。

(一) 信息载体

信息载体又称为输入介质，它载有在数控机床上加工一个零件所必需的各种信息，这种信息是程序编制的结果。常见的信息载体有穿孔纸带、穿孔卡片、磁带等，其中以穿孔纸带用得最普遍。在编制零件加工程序时，先要根据图纸将加工过程分成许多程序段；决定各段加工的控制指令，计算加工的数据。然后将这些信息用穿孔、录磁等方法记录下来。

在使用穿孔纸带作信息载体时，零件加工指令及数据先用规定的文字、数字与符号书写在程序单上，称为零件程序。再按一定的规则在纸带上穿出一排排的孔。以表示这些由文字、数字与符号组成的零件程序。纸带上孔的排列规定，称为代码。数控机床普遍采用两种代码，即国际上通用的 EIA 代码和 ISO 代码。

一些简易数控机床，常使用数码拨盘、数码插销、按键等记载加工信息，作为程序的输入。

程序编制与穿孔纸带等信息载体的准备，在一定程度上影响了数控机床的使用效率。用通用计算机辅助，实现自动程序编制，是解决此问题的重要途径。

(二) 数控装置

数控装置接受信息载体带来的信息，经处理，计算去控制机床的动作。对各种具体控制对象，数控装置处理、计算的步骤都是预先安排好了的。这种“安排”可以用专用计算机固定接线的硬件结构来实现（称为硬线数控或硬联接数控）；也可以用预先放在小型通用计算机或微型计算机内的系统程序来实现（称为软线数控或软联接数控）。

作为控制对象的机床，它的各种受控动作可概括如下：

1. 主轴的启停、转向、速度选择。
2. 进给的坐标、进给的方式（定位、直线、圆弧、循环进给等）、进给速度的选择。
3. 刀具及刀具补偿的选择，辅助操作（工作台的锁紧与松开、工作台的旋转与分度、冷却泵的开闭等）。

根据对机床的控制方式不同，数控装置可分为三类：

1. 点位控制系统

点位控制系统控制机床移动部件的终点位置，即控制刀具对工件的定位，而对它们定位过程中的运动轨迹没有严格要求。刀具相对工件从某一定位点移至下一定位点的过程中是不切

削的,可以沿一个坐标移动完毕,再沿另一坐标移动,也可以按两个坐标联动。为了提高加工效率并保证定位精度,要求向定位点移动的过程中,速度先快后慢,一般采用分级降速或连续降速的方法。

数控钻床、数控镗床、数控冲床、数控测量机等都属于点位控制系统。

2. 直线切削控制系统

直线切削控制系统控制刀具(或工作台)以适当的速度,按平行于坐标轴的方向直线移动并对工件进行切削加工。这类系统一般也可以沿 45° 斜线进行切削,但不能沿任意斜率的直线切削。直线切削控制系统除了切削速度控制功能外,还要增加主轴转速控制、循环进给加工、刀具选择等功能,简易数控车床一般属于直线切削控制系统。

将点位控制系统与直线切削控制系统结合在一起,就成为点位/直线切削控制系统。数控镗床,数控加工中心机床都采用点位/直线切削控制系统。它们大多具有刀具转位或自动换刀装置,由于换用的刀具长度与半径不同,还要增加刀具长度及半径的补偿功能。

3. 连续控制系统

连续控制系统又称为轮廓控制系统。如图1-3,它对刀具与工件相对运动的轨迹进行连续控制。连续控制系统能加工曲面、凸轮、锥度等复杂形状的零件。数控多坐标铣床、机能完善的数控车床、数控凸轮磨床等均采用连续控制系统。

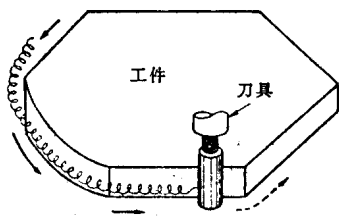


图1-3 轮廓控制系统的
刀具相对运动

连续控制系统数控装置的核心是插补器。插补器的功能是按给定的尺寸与加工速度用脉冲信号形成一段曲线,去控制轮廓加工;这一段曲线可能是某一斜率的直线,也可能是一段圆弧,分别称为直线插补与圆弧插补。少数连续控制系统的插补器具有用抛物线或高次曲线进行插补的能力。

由图1-3的例子可看出,铣刀中心移动的轨迹有时要比工件轮廓大出一个铣刀半径值,而在程序编制时是按工件轮廓计算的。因此,在连续控制系统中,要在插补器线路的基础上增加一个刀具半径补偿线路,这使连续控制系统数控装置的线路比点位控制系统及直线切削控制系统复杂。

数控装置是数控机床的“神经中枢”是整个数控系统中线路最复杂,使用电子元件最多的部分。目前情况下,整个系统的可靠性主要取决于数控装置。

(三) 伺服系统

伺服系统包括伺服驱动机构与机床的移动部件,它是数控系统的执行部分。发出进给脉冲的数控装置是能以足够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与精度去执行。如果说整个系统的可靠性主要取决于数控装置的话,那么整个系统的精度与快速性主要取决于伺服系统。

数控机床的伺服系统,按其控制原理,可分为以下三类:

1. 开环伺服系统

典型的开环伺服系统,是使用步进电机的伺服系统。对于数控装置发来的每一个进给脉冲,经驱动线路放大并驱动步进电机旋转一个步距(即一个固定的角度,如 1.5°),再经减速齿轮带动丝杠旋转;通过丝杠——螺母副,最后转换成工作台的移动。可以看出,工作台的移动量是与进给脉冲的数量成正比的。

显然,这种开环系统的精度完全依赖于步进电机的步距精度及齿轮、丝杠的传动精度。它

没有采取位移测量与校正措施, 所以对于某些类型的数控机床, 特别是大型、精密的数控机床所提出的精度要求, 往往不能满足。另外, 在这种系统中使用的电液脉冲马达或是功率步进电机还存在温升高、噪音大、效率低等缺点。但是, 尽管有以上缺点, 因为使用步进电机的开环伺服系统结构简单、容易调试、造价低, 所以在数控机床的发展过程中占有重要地位, 许多采用开环步进系统的数控机床在生产中发挥着作用。

2. 闭环伺服系统

在闭环伺服系统中, 使用直线位移测量元件测量机床移动部件(如工作台)的位置。将测量结果回送, 与数控装置命令的移动量相比较, 二者不等时则有一偏差值, 将差值放大, 控制伺服马达带动工作台继续移动, 直至差值为零, 测量值与命令相符合时移动停止。

从理论角度讲, 闭环伺服系统的精度取决于测量元件的精度。但这并不意味着可降低对机床的结构与传动装置的要求。传动间隙等非线性因素将造成调试的困难, 严重时会使闭环伺服系统的品质下降甚至引起振荡。

3. 半闭环伺服系统

半闭环伺服系统使用装在丝杠上的角位移测量元件。用测量丝杠的转动间接地测量工作台的移动。因此, 半闭环伺服系统的实际控制量是丝杠的转动(角位移), 由丝杠转动变换为工作台的移动, 不受闭环的控制, 这一部分的精度由丝杠——螺母副的传动精度来保证。显然, 半闭环伺服系统的精度低于闭环伺服系统。但是, 因为惯性较大的工作台在闭环之外, 系统稳定性较好, 调试比较容易。另外, 角位移测量元件比直线位移测量元件简单, 廉价, 所以, 配以传动误差小的滚珠丝杠与精密齿轮之半闭环伺服系统比闭环伺服系统应用普遍。

若将角位移测量元件从丝杠上移装到伺服马达的轴上, 而轴与丝杠之间还有齿轮传动时, 这齿轮传动就被移到闭环控制之外。系统变得更简单了, 而在精度上有些损失。这样的系统仍属于半闭环伺服系统。

二、机床数控系统的分类

根据以上对数控系统结构的介绍, 可以从几个不同角度对机床数控系统进行分类。

(一)按机床的加工方式不同, 可分为点位控制系统, 直线切削控制系统与连续切削控制系统。而点位控制系统与直线控制系统的结合, 称为点位/直线切削控制系统。

(二)按伺服系统的原理不同, 可分为开环控制系统, 闭环控制系统和半闭环控制系统。

(三)按使用专用计算机还是使用通用计算机, 可分为硬线数控系统和软线数控系统。

(四)按数控装置功能的多寡, 可分为全功能数控系统和简易数控系统。

全功能数控装置的功能齐全, 对机床的所有动作, 包括各种辅助动作都由数控装置加以控制。另外, 还具有各种方便编程、操作、监视的功能。

简易数控装置具有自动化加工所必须的基本功能。常常采用直观的数码拨盘或数码插销进行程序输入而不使用穿孔纸带。与全功能数控装置相比较, 它具有简单廉价, 操作方便等特点。

第三节 机床数控系统的进展

二十几年来, 随着电子与计算机技术的发展, 数控技术已经历了几代的变化。

第一代数控: 1952年~1959年, 采用电子管元件。

第二代数控: 从 1959 年开始, 采用晶体管元件。

第三代数控: 从 1965 年开始, 采用集成电路。

第四代数控: 从 1970 年开始, 采用大规模集成电路及小型通用计算机。

第五代数控: 从 1974 年开始, 采用微处理机或微型计算机。

当然, 这不是简单地取代, 而是 2~3 代之间的渗透和共存。机床数控系统进展的基本目标是增强功能、方便使用、提高可靠性与降低价格。

六十年代里, 点位与直线控制系统生产的最多, 在一般工业部门中广泛地应用。其中能自动换刀及工作台转位的数控加工中心机床特别受欢迎; 它对工件进行多道工序的连续加工, 大大提高了加工效率, 显示了很强的生命力。在六十年代中期, 包括数控加工中心机床在内的点位与直线切削控制系统在数控机床各主要生产国年产量中还占一多半。后来轮廓控制系统的比重逐渐上升, 进入七十年代, 轮廓控制系统在数控机床年产量中所占的比例已超过一半。

国外机床伺服系统的发展, 目前以闭环为主流。大多数使用宽调速直流伺服电机。交流感应电机在进给伺服系统中的应用现在还处于研究与试用阶段。

从第一台数控机床出现后就开始研制的自动编程语言, 针对不同的对象, 现已形成许多语言系统, 在数控机床的普及使用中起了重大作用。

使用小型计算机的软线数控(CNC)增强了系统的功能与柔性, 有利于可靠性的提高。进一步使用廉价的微型计算机, 不仅缩小了数控装置的体积也使软线数控在价格上立住了脚, 这称为第二代 CNC 或 MNC。

硬线数控装置也在改进。使用不断降价的中、大规模集成电路, 具有了程序存储、程序编辑、故障诊断等能力, 从而在功能上向软线数控靠拢。

用计算机对多台机床进行控制与管理的计算机群控系统(DNC)是将来计算机辅助制造(CAM)系统的雏型。目前计算机群控系统的趋向是分级控制。

与系统化、无人化的趋向相反, 面向操作工人的简易数控也在发展, 特别是使用微处理机的手动数据输入装置(MDI)发展很快。

我国数控机床的研制工作, 从 1958 年起步。二十年来, 在数量、品种、配套件与技术队伍等方面都已初具规模, 为今后赶超世界先进水平打下了基础。现在正朝着提高产品质量、提高管理使用水平的方向努力。伴随我国电子与计算机技术的飞跃发展, 正在开展软线数控的研制工作, 以适应广泛使用微处理机与微型计算机时代的到来。

下面介绍几个主要的技术动向:

一、数控加工中心机床

数控加工中心机床是一种具有刀具迅速交换机能的复合数控机床, 又称为自动换刀数控机床。它将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能组合起来, 再附加一个自动换刀装置和一个有一定容量的刀库, 这样就可以进行多道工序的连续加工。如象对箱体零件, 一次装夹后就能进行多次的铣削、铰孔、镗孔、钻孔、攻丝等加工。这显然比使用多台机床多次装夹与调整节省了大量时间, 也提高了加工精度。另外, 数控加工中心机床大都有自动分度的旋转工作台, 与卧式主轴相配合, 对于工件的大部分加工面有最好的接近程度, 这增加了一次装夹后所能完成的工序数, 从而提高了加工效率。另外, 使用能在加工过程中卸装另一工件的双工作台, 还可以进一步提高加工效率。据估计, 一台数控加工中心机床在加工它“拿手”的箱体零件时, 相当于五台普通数控机床。当然, 这也节省了占地面积。数控加工中心机床大多属于点位/直线切

削控制系统。

二、自动程序编制

数控机床把许多生产准备工作交给程序编制与纸带的准备。因此,能否及时正确地编制加工程序并准备好纸带,在很大程度上影响着数控机床的使用。

简单零件的程序编制可由人工完成,称为手工程序编制。复杂的零件,特别是一些轮廓曲线不是由简单的直线、圆弧组成的零件,用手工来逐段计算与编程就十分繁杂。对于宇航等工业部门要求的一些复杂的曲面零件,更难以用手工计算和编程,不得不求助于通用计算机。

自动程序编制的要点是:采用简单、习用的语言去描述工件的几何形状与加工过程。由计算机接受、翻译并根据指定的要求进行分段与计算,最后处理成数控机床适用的加工纸带。

国外成熟、完善的自动程序编制语言系统是美国的 APT (Automatically Programmed Tools) 系统,它在 1955 年完成模型后,不断改进,目前已发展到 APTIV 系统。APT 语言系统的规模很大,需配备大型通用计算机,或使用分时系统,这对于许多中小厂家不很合算。因而又在此基础上发展了许多面向加工,适用于一定范围,使用方便的小型自动编程系统。如日本的 FAPT 和西德的 EXAPT。

我国对自动编程也进行了许多研制工作,目前有 SKC-1、ZCX-1 等系统,它们主要是为二轴联动的三坐标数控铣床设计的。配合数控线切割机,研制了多种自动编程语言,在使用中取得了很好的效果。此外,针对车床和加工中心机床的自动编程语言也将投入使用。

三、计算机数字控制(CNC)与微型计算机的应用

CNC (Computer Numerical Control) 即分类中提到的软线数控。是七十年代初出现的新型数控系统。它与使用专用计算机的普通数控(NC)系统之不同,是使用一台小型通用计算机。小型通用计算机去控制某一特定对象时,要靠事前存放在存储器里的系统程序。系统程序事先编好由纸带输入计算机, CNC 系统靠它来实现数控机床的控制逻辑。改变系统程序就改变了控制逻辑。系统程序属于计算机的软件。而普通数控系统的控制逻辑是由专用计算机中固定接线的硬件结构实现的,专用计算机造好后就难以再改变。故而,它们又分别有软联接数控与硬联接数控之称。

CNC 系统能用软设备的方法灵活地增加或改变数控机床的机能,具有良好的“柔性”,这是一个明显的优点。还应注意, CNC 系统能将全部零件加工程序一次输入存储器,避免了在加工过程中频繁开启光电输入机造成的差错(普通数控装置的故障有一半以上发生在逐段光电读入时),提高了可靠性。 CNC 系统易于设立各种诊断程序,进行故障的预检及自动查找。 CNC 系统还能使程序编制简化,并提供对已输入的加工程序及时修改的方便。此外,对输出部分, CNC 系统能方便地实现数字伺服控制及配用可编顺序控制器进行顺序控制。

CNC 的优点是明显的,但只有在价格上能降到普通硬线数控的水平时,才有足够的说服力。廉价的微处理机与微型计算机的出现,使 CNC 顺利地占领了数控领地。1976 年美国芝加哥机床展览会中的数控机床就已经有 50% 为 CNC 系统,而 CNC 系统中又有 50% 已使用了微型计算机。使用微型计算机的 CNC 系统,在有些文献中又称为 MNC 系统。

微处理机是用大规模集成电路技术把计算机的运算器与控制器(即 CPU)做在一块基片上。给微处理机配上足够的存储器及输入输出线路,就构成了微

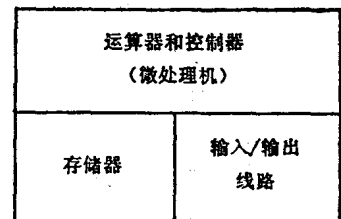


图 1-4 微型计算机的构成

型计算机。如图 1-4 所示。

存储器是微型计算机不可缺少的部分,它又分为读写存储器(RAM)与只读存储器(ROM)两大类。使用微型计算机的 CNC 产品常将决定系统功能的系统程序固定在只读存储器里,这对提高整机的可靠性大有好处。

由于大规模集成电路技术的发展,微处理机、存储器单片的价格不断下降,这使系统中计算机本身的价格成为次要问题而矛盾集中到软件上。微处理机的应用使数控装置的体积大为缩小,以至与机床结合在一起。这就是所谓“机电一体化”的趋势。

微处理机与微型计算机的广泛应用将给机床控制技术带来巨大的变化和发展,其意义已经超出数控的范畴。

四、自适应控制(AC)

数控机床在按照程序进行加工时,有许多在编程时难以考虑到的参数变化影响着切削过程(如毛坯余量不均匀、刀具与工件材料的变化等),使加工不是处于最佳状态。如果能对某些代表加工状态的参数进行测量并及时对主轴转速、进给速度等参数进行修正,就能使切削过程达到并维持最佳状态。这就是数控机床自适应控制(Adaptive Control)的概念。所谓最佳状态的指标,可以是最大生产率,最低加工成本或最佳的表面质量等。

自适应控制在六十年代就已用于机床,取得了提高加工效率和加工质量、延长刀具寿命等效果。小型通用计算机的使用给自适应控制提供许多方便。但更关键的是要掌握加工状态参数的有效测量手段和进行大量的工艺试验。目前自适应控制多用在宇航等工业部门,对特种材料进行切削加工。按在自适应控制过程中自动处理问题能力之高低,机床自适应控制系统可分为三种类型,即学习型适应控制(TAC)、最佳型适应控制(ACO)和限制型适应控制(ACC)。目前应用较多的是其中最简单的一种限制型适应控制。随着自动化水平的提高,希望机床愈来愈多地脱离人的监视,自动进行加工,对机床的自适应能力的要求必然要相应提高。

五、直接数字控制(DNC)

DNC(Direct Numerical Control)亦称为计算机群控系统。它可以简单地理解为一台计算机直接管理和控制一群数控机床的系统。在计算机群控系统中,各台数控机床的零件加工程序都由计算机统一储存与管理,并根据加工的要求适时地把加工程序分配给各台机床。另外,计算机还对机床群的加工情况进行管理与统计(如打印报表等);并处理操作者的指令以及对零件加工程序进行编辑、修改的要求。总之,计算机群控系统实现了机床群加工过程信息传递(信息流)的自动化。

目前计算机群控系统的发展趋势是由多台 CNC 或 NC 各守其职,与 DNC 计算机组成计算机网络,实现分级控制,而不再考虑让一台计算机去分时完成各台数控装置的常规工作。

六、柔性制造系统(FMS)和设计制造一体化(CAD/CAM)

将一群机床与工件、刀具、夹具及切屑的自动传输线相配合,并由计算机统一管理与控制,这就组成了计算机群控自动线,国外称为柔性制造系统(Flexible Manufacture System)。它能对几种同类型零件(如箱体零件)按适当的顺序同时进行加工。整个系统的加工效率很高并具有较强的适应性。

计算机群控自动线不仅实现了加工过程中信息流的自动化,还实现了传递各种物质材料(物质流)的自动化。