

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

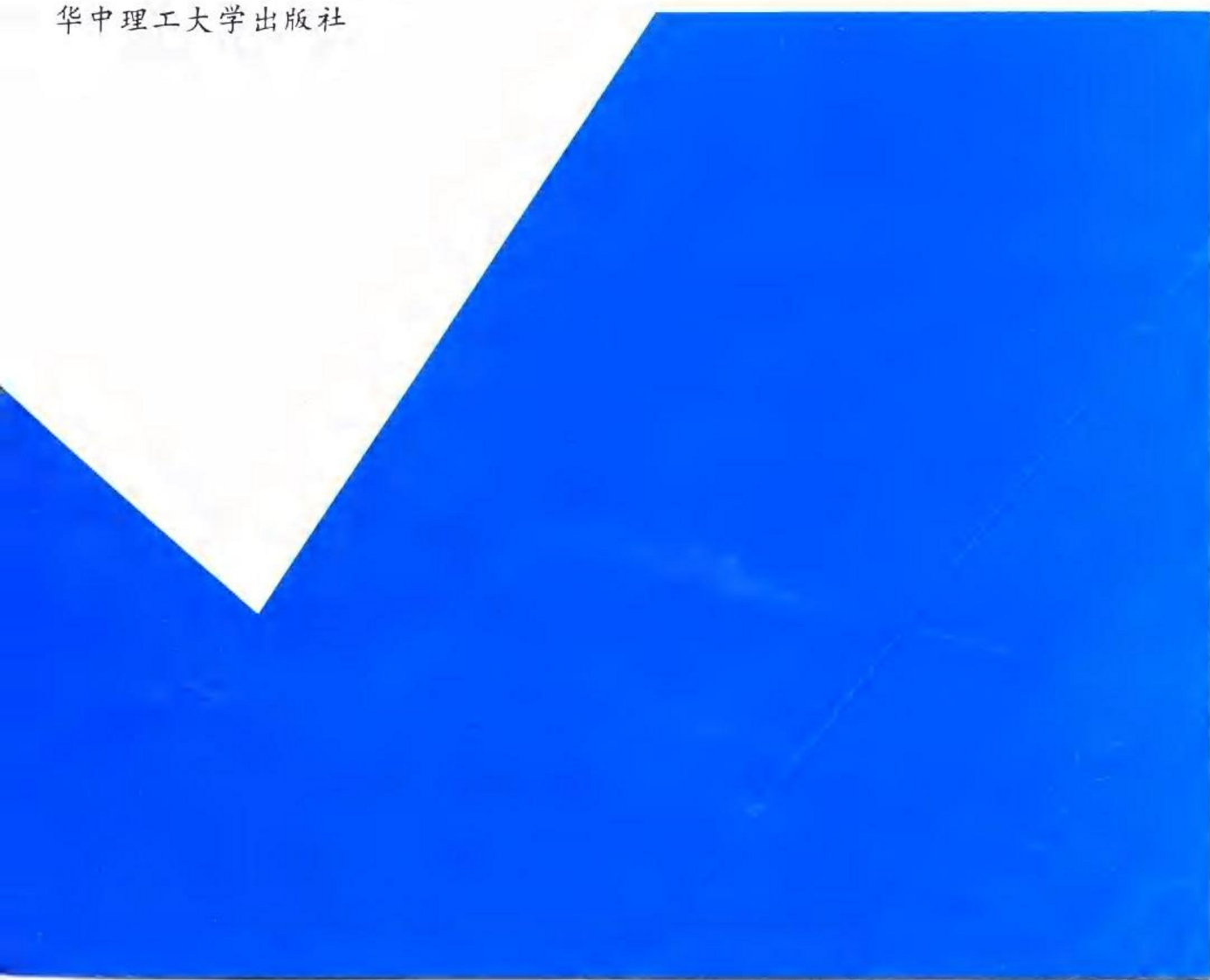
机电一体化系列

数字控制机床

SHUZI KONGZHI JICHUANG

廖效果 朱启逵 主编

华中理工大学出版社



机电一体化系列教材

数字控制机床

廖效果 朱启速 主编

ND33/12

华中理工大学出版社

内 容 提 要

本书是根据 1984 年自编的《数字控制机床》讲义,并总结多年教学和科研经验编写成的。

全书共分九章。第一、二章介绍数控机床的工作原理、组成、分类、发展动向和数控程序编制中的标准、格式、计算方法。第三、四章介绍位置检测装置的类型、工作原理,计算机数控系统的功能、插补和刀补算法、数控系统的主要硬件电路和软件结构。第五章扼要叙述了进给伺服系统的类型、组成、原理和设计分析方法。第六至第九章阐述了数控机床机械结构设计的原则,主运动和进给运动的典型部件,以及数控机床特有的刀具和物料交换装置等内容。

本书可用作高等工科院校机械类专业,以及夜大、函授和职工大学有关专业数控机床课程的教材;也可供从事数控技术、计算机应用和数控机床使用、维修等工作的技术人员参考。

数字控制机床

廖效果 朱启逵 主编

责任编辑 刘宣藩

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编:430074)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:16.75 字数:402 000

1992年9月第1版 1999年7月第9次印刷

印数:50 001—55 000

ISBN 7-5609-0569-1/TH·56

定价:18.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行科调换)

代 序

机械工业是重要的基础工业,是国民经济发展的先导部门。历史的实践已一再证明:先进的技术装备与先进的制造技术在国民经济发展中,起着何等重要的作用;而先进的装备与先进的制造技术则正是由选进的机械工业来提供的。马克思讲得何等的深刻:“大工业必须掌握它特有的生产资料,即机器的本身,必须用机器生产机器,这样,大工业才建立起与自己适应的技术基础,才得以自立。”过去是这样,现在还是这样,将来也还是这样。

当然,由于现代科学技术的迅猛发展,特别是由于微电子技术、电子计算机技术的迅猛发展,机械工业已发生了而且还在继续发生极为深刻的变化:机械技术与微电子技术的紧密结合,特别是与微计算机技术的紧密结合,现代机械技术所拥有的技术较以往远为高,远为新,远为广,远为复杂而先进;机电一体化技术与产品是十分突出的表现之一。这一深刻的变化是一股强大的潮流与一个严重的挑战,而且这一股潮流与这一个挑战是不应抗拒的,也是不可抗拒的。”顺之者昌,逆之者亡”,这是无法改变的现实。

这一深刻的变化反映在:机械工程、机械工业的面貌与内容发生了根本性的变化。过去,理论上主要以力学作为基础,实践上主要以经验作为基础,现在,作为基础的理论远不限于力学,还有系统论、控制论、信息论、传感理论、信号处理理论、电子学、计算机学等等,作为实践的基础远不限于经验,而且还涉及各有关的学科,同时,本身也在形成自己的学科体系——制造理论、工艺理论。机械产品的性质也在发生重大的变化,新的机械产品在不同程度上都同微电子技术、微计算机技术相结合,取代、延伸、加强与扩大人脑的部分作用。机械产品的种类与品种日新月异,老的正在脱胎换骨,新的不断问世,几乎“无所不包”、“无孔不入”,大有令人瞠目结舌之势。与此相适应,机械制造技术正在彻底改造,广泛采用各种高新技术,特别是微电子技术与电子计算机技术,从数控化走向柔性化、集成化、智能化,成为现代科技前沿热点之一。与此相适应,企业的管理也在发生根本性的变化,从以产品为主的管理发展到以面向市场的信息为主的管理。

在这一深刻变化与严重挑战面前,谁胜谁负,谁兴谁衰,人才是关键。中共中央负责同志今年4月24日同部分学部委员座谈时就强调指出:要振兴经济,首先要振兴科技:要振兴科技,首先是人才。要发展机电一体化技术与产品,要实现机械工业的根本改造,没有高层次的科技人才是不行的。为了培养机械技术与电子技术紧密结合的高层次科技人才,有关各国都在探索其最优道路。我国采取果断措施,在大量减少专业种类的情况下,设立了“机电控制与自动化专业”,为进一步提高质量地快速地培养这方面的人才创造更好的条件。事实上,我国不少高等院校

已在这一工作上作了多年的探索,试办了诸如机电一体化试点班,试点专业之类,华中理工大学也是其中的一员。创办这一方面的专业,也是一项改革,也是一项艰难的事业。鲁迅先生讲得好:“愈艰难,就愈要做。改革,是向来没有一帆风顺的。”正因为如此,我们必须继续迎着艰难去探索。

众所周知,教材,是人才培养中的重要一环,教材建设是一个学校最基本的建设之一。为此,华中理工大学有关教师在以往试点工作的基础上,总结了自己的经验,学习了兄弟学校的经验,有组织有计划地编写了这一方面的成套教材。这样,可以一方面适应目前形势发展的急需,一方面也是进一步的继续探索。

《诗经》讲得好:“嘤其鸣矣,求其友声。”由于编者业务水平的有限,探索经验的不足,编写时间的紧迫,这套教材中的错误、不妥与缺陷在所难免,敬希专家与读者拨冗指教,我们将不胜感谢。

教授、中国科学院学部委员

杨叔子

1992. 4. 30

前 言

数字控制机床是一种高效自动化机床,用数控加工程序控制数控机床自动加工零件,无需使用复杂和专用的工模夹具,它能较好地解决中、小批量,多品种和复杂零件加工自动化的问题,对加速产品更新十分有利。工业发达国家无论在军工和民用部门都广泛使用数控机床。我国在数控机床的研制方面,无论在品种,数量和质量上都取得了很大的成就,在四化建设中发挥了巨大的作用。随着微型计算机、自动控制与电子等技术的发展和普及,数控机床和数控装置在功能和品种上都在不断迅速提高和发展,并且展现出更为广阔的发展前景。

为了适应数控技术和国民经济发展的需要,以及高等院校的教学要求,我们编写了《数字控制机床》一书。在编写中,力求反映数控机床的基本知识和最新技术成就,并兼顾理论与实际的联系,取材和叙述上要求便于讲授和自学。本书可用作高等工科院校的专业教材,特别适合于机-电一体化专业使用,也可供从事数控技术的人员参考。

本书介绍了数字控制机床的基本概念和原理、计算和设计方法;结合机械专业的需要着重阐述了微机数控系统的硬件和软件结构、进给伺服系统、位置检测装置、数控加工程序的编制等问题;对于数控机床的机械结构部件和结构设计等内容也作了较详细的介绍。

本书由廖效果、朱启速主编。第一、五、六、七章由廖效果编写,第三、八、九章由朱启速编写,李光斌编写了第四章,李斌编写第二章。本书编写时参阅了有关院校、工厂、科研单位的教材、资料和文献,并得到许多同行专家、教授的支持和帮助,在此谨致谢意。

限于编者的水平,书中定有不少缺点,甚至错误,恳请读者批评指正。

编者

1991年4月

目 录

| | |
|-------------------------------|-------|
| 第一章 概论 | (1) |
| § 1.1 数控机床简介 | (1) |
| § 1.2 数控机床的工作原理和组成 | (2) |
| § 1.3 数控机床的分类 | (3) |
| § 1.4 数控机床和数控技术的发展 | (6) |
| 第二章 数控加工程序的编制 | (16) |
| § 2.1 概述 | (16) |
| § 2.2 程序编制的代码及程序格式 | (21) |
| § 2.3 数控机床的坐标系 | (29) |
| § 2.4 G 指令编程方法与举例 | (32) |
| § 2.5 程序编制中的数值计算 | (37) |
| § 2.6 自动编程 | (44) |
| 第三章 数控机床的位置检测装置 | (53) |
| § 3.1 概述 | (53) |
| § 3.2 感应同步器位置检测装置 | (54) |
| § 3.3 旋转变压器位置检测装置 | (60) |
| § 3.4 磁尺位置检测装置 | (62) |
| § 3.5 光栅位置检测装置 | (66) |
| § 3.6 激光干涉位置检测装置 | (73) |
| § 3.7 脉冲编码器 | (76) |
| 第四章 计算机数字控制系统 | (78) |
| § 4.1 概述 | (78) |
| § 4.2 插补原理 | (80) |
| § 4.3 刀具补偿原理 | (89) |
| § 4.4 STD80 数控系统的硬件 | (96) |
| § 4.5 数控指令输入处理 | (110) |
| § 4.6 STD80 数控系统的软件 | (112) |
| § 4.7 直流伺服电机的位置控制原理 | (118) |
| 第五章 进给伺服系统 | (121) |
| § 5.1 概述 | (121) |
| § 5.2 数控进给系统的伺服驱动装置 | (123) |
| § 5.3 典型进给伺服系统 | (139) |
| § 5.4 数控进给伺服系统的分析 | (152) |
| § 5.5 进给伺服系统的特性对加工精度的影响 | (163) |
| 第六章 数控机床的结构设计和总体布局 | (167) |
| § 6.1 数控机床的结构设计 | (167) |
| § 6.2 数控机床的总体布局 | (176) |
| 第七章 数控机床的主运动部件 | (183) |
| § 7.1 主运动变速系统的参数 | (183) |

| | | |
|-------------|-----------------------------|--------------|
| § 7.2 | 主运动有级变速系统的设计 | (184) |
| § 7.3 | 主运动无级变速系统的设计 | (190) |
| § 7.4 | 主轴部件 | (195) |
| 第八章 | 进给系统的机械传动结构 | (202) |
| § 8.1 | 概述 | (202) |
| § 8.2 | 传动齿轮副 | (202) |
| § 8.3 | 丝杠螺母副 | (204) |
| § 8.4 | 静压蜗杆蜗条副和齿轮齿条副 | (211) |
| § 8.5 | 导轨 | (212) |
| § 8.6 | 回转工作台 | (223) |
| 第九章 | 数控机床的刀具与工件交换装置 | (234) |
| § 9.1 | 自动换刀装置的形式 | (234) |
| § 9.2 | 刀库 | (240) |
| § 9.3 | 刀具的选择方式 | (244) |
| § 9.4 | 刀具交换装置 | (249) |
| § 9.5 | 带刀库的自动换刀装置实例 | (252) |
| § 9.6 | 柔性制造单元的工件交换装置 | (255) |
| 参考文献 | | (258) |

第一章 概 论

§ 1.1 数控机床简介

一、数控机床的产生和发展

随着科学技术的发展,机械产品的结构越来越合理,其性能、精度和效率日趋提高,因此对加工机械产品零部件的生产设备—机床也相应的提出了高性能、高精度与高自动化的要求。

大批大量的产品,如汽车、拖拉机与家用电器的零件,为了解决高产优质的问题,多采用专用的工艺装备、专用自动化机床或专用的自动生产线和自动化车间进行生产。但是应用这些专用生产设备,生产准备周期长,产品改型不易,因而使新产品的开发周期增长。在机械产品中,单件与小批量产品占到70~80%,这类产品一般都采用通用机床加工,当产品改变时,机床与工艺装备均需作相应的变换和调整,而且通用机床的自动化程度不高,基本上由人工操作,难于提高生产效率和保证产品质量。特别是一些由曲线、曲面轮廓组成的复杂零件,只能借助靠模和仿形机床,或者借助划线和样板用手工操作的方法来加工,加工精度和生产效率受到很大的限制。

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质量要求而产生的。1952年美国PARSONS公司与麻省理工学院(MIT)合作研制了第一台三坐标数控铣床,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,是一种新型的机床,可用于加工复杂曲面零件。该铣床的研制成功是机械制造行业中的一次技术革命,使机械制造业的发展进入了一个新的阶段。从第一台数控机床问世到现在的30多年中,数控技术的发展非常迅速,几乎所有品种的机床都实现了数控化。数控机床的应用领域也从航空工业部门逐步扩大到汽车、造船、机床、建筑等民用机械制造行业。此外,数控技术也在绘图机械、坐标测量机、激光与火焰切割机等机械设备中得到广泛的应用。特别是相继出现的自动换刀数控机床(即加工中心Machining Center)、直接数字控制系统(即计算机群控系统,DNC,Direct Numerical Control)、自适应控制系统(AC,Adaptive Control)、柔性制造系统(FMS,Flexible Manufacturing System)、计算机集成(综合)制造系统(CIMS,Computer Integrated Manufacturing System)等,进一步说明,数控机床已经成为组成现代机械制造生产系统,实现设计(CAD)、制造(CAM)、检验(CAT)与生产管理等全部生产过程自动化的基本设备。

二、数控机床的特点

数控机床在机械制造业中得到日益广泛的应用,是因为它具有如下特点。

1) 能适应不同零件的自动加工。数控机床是按照被加工零件的数控程序来进行自动加工

的,当改变加工零件时,只要改变数控程序,不必用凸轮、靠模、样板、或钻镗模等专用工艺装备。因此,生产准备周期短,有利于机械产品的更新换代。

2) 生产效率和加工精度高、加工质量稳定。数控机床上可以采用较大的切削用量,有效地节省了机动工时。还有自动换速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,使辅助时间大为缩短,而且无需工序间的检验与测量,所以,比普通机床的生产率高 3~4 倍甚至更高。同时由于数控机床本身的精度较高,还可以利用软件进行精度校正和补偿,又因为它是根据数控程序自动进行加工,可以避免人为的误差,因此,不但加工精度高,而且质量稳定。

3) 能完成复杂型面的加工。

4) 工序集中,一机多用。数控机床,特别是自动换刀的数控机床,在一次装夹的情况下,几乎可以完成零件的全部加工,一台数控机床可以代替数台普通机床。这样可以减少装夹误差,节约工序之间的运输、测量和装夹等辅助时间,还可以节省机床的占地面积,带来较高的经济效益。

5) 数控机床是一种高技术的设备。因此,机床价格较高,而且要求具有较高技术水平的人员来操作和维修。尽管如此,使用数控机床的经济效益还是很高的。

§ 1.2 数控机床的工作原理和组成

一、数控机床的工作原理

数控机床加工零件时,首先应编制零件的数控程序,这是数控机床的工作指令。将数控程序输入到数控装置,再由数控装置控制机床主运动的变速、启停,进给运动的方向、速度和位移大小,以及其他诸如刀具选择交换、工件夹紧松开和冷却润滑的启、停等动作,使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照数控程序规定的顺序、路程和参数进行工作,从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

二、数控机床的组成

如图 1-1 所示,数控机床由以下几个部分组成。

(一) 程序编制及程序载体

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。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或加工顺序;主运动的启、停、换向、变速;进给运动的速度、位移大小等工艺参数,以及辅助装置的动作。这样得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息,然后用标准的由文字、数字和符号组成的数控代码,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,或者在数控机床以外用自动编程计算机系统来完成,比较先进的数控机床,可以在它的数控装置上直接编程。

编好的数控程序,存放在便于输入到数控装置的一种存储载体上,它可以是穿孔纸带、录音磁卡、软磁盘等,采用哪一种存储载体,取决于数控装置的设计类型。

(二) 输入装置

它的作用是将程序载体上的数控代码变成相应的电脉冲信号, 传送并存入数控装置内。根据程序存储介质的不同, 输入装置可以是光电阅读机、录音机或软盘驱动器。有些数控机床, 不用任何程序存储载体, 而是将数控程序单的内容通过数控装置上的键盘, 用手工方式(MDI方式)输入, 或者将数控程序由编程计算机用通信方式传送到数控装置。

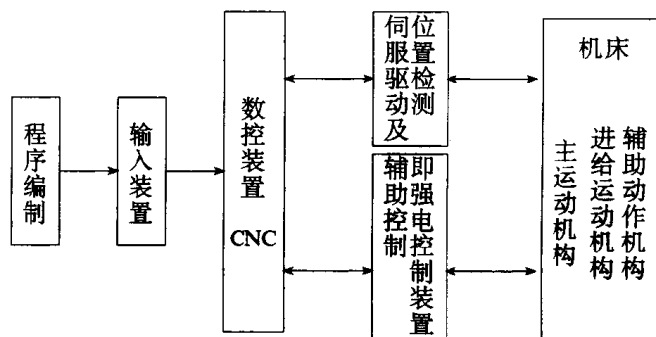


图1-1

(三) 数控装置及强电控制装置

数控装置是数控机床的核心, 它接受输入装置送来的脉冲信号, 经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后, 输出各种信号和指令控制机床的各个部分, 进行规定的、有序的动作。这些控制信号中最基本的信号是: 经插补运算决定的各坐标轴(即作进给运动的各执行部件)的进给速度、进给方向和位移量指令, 送伺服驱动系统驱动执行部件作进给运动。其他还有主运动部件的变速、换向和启停信号; 选择和交换刀具的刀具指令信号; 控制冷却、润滑的启停、工件和机床部件松开、夹紧、分度工作台转位等辅助指令信号等。

强电控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制系统。其主要作用是接收数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号, 经必要的编译、逻辑判断、功率放大后直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件, 以完成指令所规定的动作。此外, 还有开关信号经它送数控装置进行处理。

(四) 伺服驱动系统及位置检测装置

伺服驱动系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置组成, 并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。它根据数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给速度、方向和位移。每个作进给运动的执行部件, 都配有一套伺服驱动系统。伺服驱动系统有开环、半闭环和闭环之分。在半闭环和闭环伺服驱动系统中, 还得使用位置检测装置, 间接或直接测量执行部件的实际进给位移, 与指令位移进行比较, 按闭环原理, 将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动。

(五) 机床的机械部件

数控机床的机械部件包括: 主运动部件, 进给运动执行部件如工作台, 拖板及其传动部件和床身立柱等支承部件, 此外, 还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床, 还有存放刀具的刀库, 交换刀具的机械手等部件。数控机床机械部件的组成与普通机床相似, 但传动结构要求更为简单, 在精度、刚度、抗震性等方面要求更高, 而且其传动和变速系统要便于实现自动化控制。

§ 1.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多, 分类方法不一。根据数控机床的功能和组成, 可以从如下几个不同

的角度进行分类。

一、按数控机床的加工功能不同分类

(一) 点位和直线控制数控机床

点位控制机床能在加工平面内,控制刀具相对于工件的定位点的坐标位置,而对定位移动的轨迹并无要求,因为在定位移动过程中是不进行切削加工的。这类机床主要有数控钻床、镗床、冲床和数控测量机等,用于加工带有坐标孔系的零件或测量坐标位置。机床有三个坐标轴,其中两个轴控制在加工平面内的坐标位置,另一个坐标轴控制钻镗切削或冲压运动。为了提高生产效率和保证定位精度,采用机床设定的最高进给速度进行定位运动,而在接近终点前进行分级或连续降速,实现低速趋近终点,从而可以减少运动部件因惯性过冲所引起的定位误差。

直线控制机床能控制刀具或工件以适当的进给速度,沿平行于坐标轴的方向进行直线移动和加工,或者控制两个坐标轴以同样的速度运动,沿 45° 斜线进行切削加工。直线控制的数控车床,只有两个坐标轴,可用于台阶轴加工。直线控制的数控铣床,有三个坐标轴,可用于平面铣削加工。

数控镗铣床、加工中心等,各坐标的进给速度均能在一定的范围内进行调整,兼有点位和直线控制功能,该类机床就是点位和直线控制的数控机床。

(二) 轮廓控制数控机床

这类机床又称连续控制或多坐标联动数控机床。机床有几个进给坐标轴,数控装置能够同时控制 $2\sim 5$ 个坐标轴,使刀具和工件按平面直线、曲线或空间曲面轮廓的规律进行相对运动,加工出形状复杂的零件。与点位直线控制数控机床的主要区别是它能进行多坐标联动的运算和控制,并有刀具长度和刀具半径补偿功能,这类机床的数控装置的功能是最齐全的。能够进行多坐标联动控制的数控机床,一般也能够进行点位和直线控制。

随着计算机数控装置向小型和廉价方向发展,它的功能也不断增加和完善。如增加轮廓控制功能,则只需增加插补运算软件,几乎不带来成本的提高。因此,除了少数专用的数控机床,如数控钻床、冲床等以外,现代的数控机床都具有轮廓控制的功能。

二、按所用进给伺服系统的不同分类

(一) 开环数控机床

开环数控机床采用开环进给伺服系统,图1-2所示为典型的开环进给系统。其中图(a)是由功率步进电机驱动的开环进给系统。数控装置根据所要求的进给速度和进给位移,输出一定频率和数量的进给指令脉冲,经驱动电路放大后,每一个进给脉冲驱动功率步进电机旋转一个步距角,再经减速齿轮、丝杠螺母副,转换成工作台的一个当量直线位移。对于圆周进给,一般都是通过减速齿轮、蜗杆蜗轮副带动转台进给一个当量角位移。由于功率步进电机的输出转矩有限,不足以驱动较大的工作台等部件,可采用由小的信号步进电机与由液压扭矩放大器组成的电液脉冲马达作为驱动装置,它可以输出较大的转矩,能驱动较大的工作台执行进给运动,如图(b)所示。

(二) 闭环数控机床

闭环数控机床的进给伺服系统是按闭环原理工作的。图1-2(c)为典型的闭环进给系统。数

控装置将位移指令与位置检测装置测得的实际位置反馈信号,随时进行比较,根据其差值与指令进给速度的要求,按一定的规律进行转换后,得到进给伺服系统的速度指令。另一方面还利用和伺服驱动电机同轴刚性连接的测速元器件,随时实测驱动电机的转速,得到速度反馈信号,将它与速度指令信号相比较,以其比较的结果即速度误差信号,对驱动电机的转速随时进行校正。利用上述的位置控制和速度控制的两个回路,可以获得比开环进给系统精度更高、速度更快、驱动功率更大的特性指标。如图中所示,闭环进给系统的位置检测装置安装在进给系统末端的执行部件上,实测它的位置或位移量。

(三) 半闭环数控机床

如图 1-2(d) 所示,如果将位置检测装置安装在驱动电机的端部,或安装在传动丝杠端部(如图中虚线所示),间接测量执行部件的实际位置或位移,这种系统就是半闭环进给系统。可以获得比开环系统更高的精度,但它的位移精度比闭环系统的要低。现在大多数数控机床都广泛采用这种半闭环进给伺服系统。

三、按所用数控装置的构成方式分类

(一) 硬线数控机床

硬线数控机床(NC)使用硬线数控装置,它的输入处理、插补运算和控制功能,都由专用的固定组合逻辑电路来实现,不同功能的机床,其组合逻辑电路也不相同。改变或增减控制、运算功能时,需要改变数控装置的硬件电路。因此通用性、灵活性差,制造周期长,成本高。70年代初期以前的数控机床基本上都属于这种类型。

(二) 计算机数控机床

这类机床使用计算机数控装置(CNC),即软线数控装置。这种数控装置的硬件电路是由小型或微型计算机再加上通用或专用的大规模集成电路制成,数控机床的主要功能几乎全部由

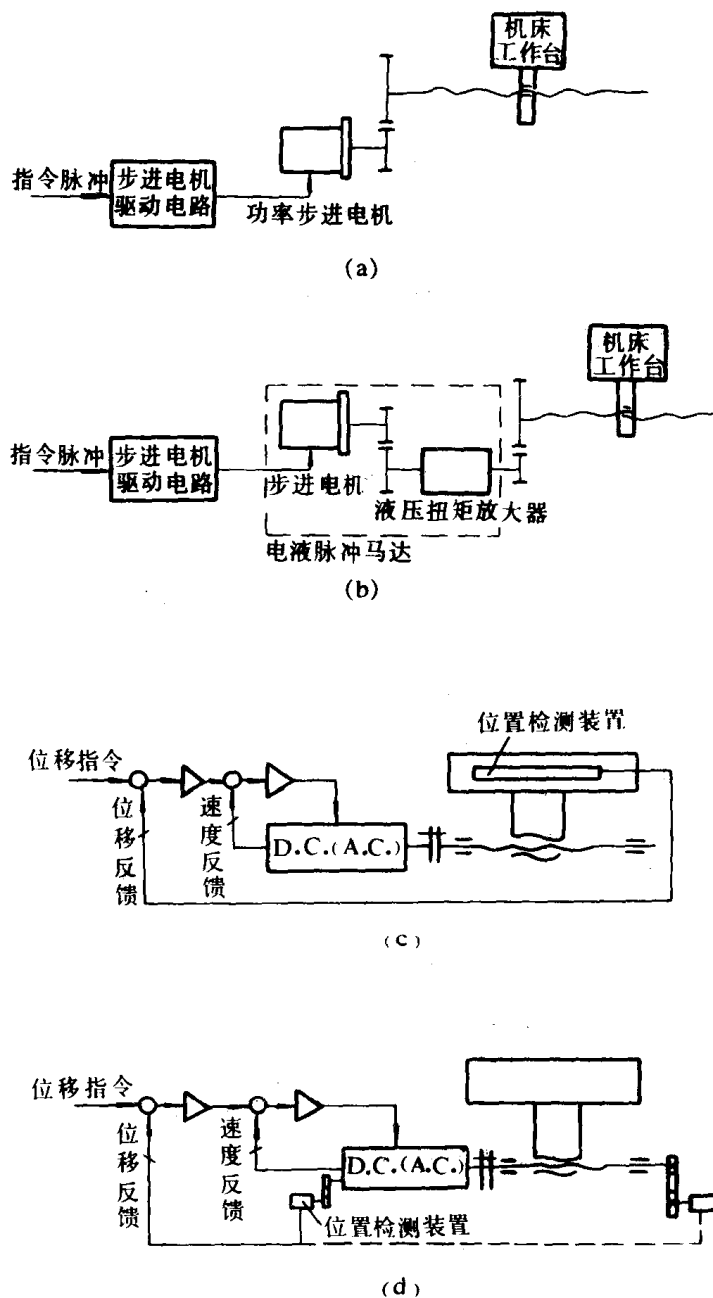


图 1-2

系统软件来实现,所以不同功能的机床其系统软件也就不同,而修改或增减系统功能时,也不需变动硬件电路,只需改变系统软件。因此,具有较高的灵活性,同时由于硬件电路基本上是通用的,这就有利于大量生产、提高质量和可靠性、缩短制造周期和降低成本。早在 60 年代初期就出现了这类数控机床,但是直到 70 年代中期以后,随着微电子技术和微型计算机的出现,以及集成电路的集成度不断提高,计算机数控装置才得到不断的发展和提高,目前几乎所有的数控机床都采用了计算机数控装置。

除了上述三种分类以外,还有其他的分类方法,例如,按控制轴数与联动轴数可分为三轴控制两轴联动等多种数控机床。

§ 1.4 数控机床和数控技术的发展

一、概 述

自 1952 年出现第一台数控机床以来,随着计算机、自动控制、伺服驱动与自动检测等技术的迅速发展,表征数控机床的水平和决定数控机床功能与特性的数控系统,从第一代由电子管组成的系统,经历由晶体管和集成电路组成的系统,发展到目前的第五代计算机数控系(CNC 系统),其发展异常迅速,更新换代十分频繁。国外在生产由 16 位 CPU 组成的 CNC 系统的同时,开发了高性能、高可靠性、使用更方便及便于纳入柔性制造系统的以 32 位 CPU 为基础的 CNC 系统,FANUC Series 15 就是一个典型代表。它采用 32 位高速多主母线(Multi-Master Bus)和 32 位 CPU 微处理器,实现高速 CNC 控制,并且开发了 PMC(Programmable Machine Controller)专用 32 位微处理器,具有 $0.2\mu\text{s}/\text{step}$ 的 PMC 控制功能,可以同时处理继电器 T 型图语言和 Pascal 语言;系统采用多板结构,按功能划分成模块,可以实现最小系统到最大系统的系列化,能容易地组成实用于加工中心、铣床、车床、四坐标车床等六种数控系统;它的电子器件采用表面安装工艺,提高印刷电路板的密集度,减少印刷电路板数量,使整个系统小型化;系统采用高分辨率的位置检测装置和高速进给伺服系统,分辨率为 $0.1\mu\text{m}/\text{pulse}$ 时,最大进给速度可达 $24\text{m}/\text{min}$;与数控系统配套的进给伺服系统为高精度全数字化交流伺服系统,采用高速微处理器和先进的软件技术,具有进给速度平稳,动态响应快速等特点;它采用的位置检测装置是纯电子式绝对坐标脉冲编码盘,分辨率为 $0.1\mu\text{m}/\text{pulse}$;系统还采用专家系统进行故障监控管理,可以根据知识库的专家规则推断故障的原因,便于操作者进行维修处理;系统具备有在线人机对话编程的功能,可以利用图形菜单在一个零件加工时编制另一个零件的加工程序,这些功能使数控系统成为具有一定工艺智能的高速、高效和高精度的 AI-CNC(Artificial Intelligence-CNC)。

由于数控技术的发展极大地推动了数控机床的发展,在所有品种的机床实现单机数控化的同时,50 年代末,出现了用于箱体类零件加工的数控加工中心(Machining Center—MC),它具有自动更换刀具的功能,在一次装夹中可以完成箱体类零件的多面、多工序加工;近年来用于回转体的车削加工中心正在迅速增长,它能完成车削加工的同时,兼有铣、镗、钻孔、攻丝等功能。加工中心机床的出现,加之 CNC 技术、信息技术、网络控制技术以及系统工程学的发展,为单机数控自动化向计算机控制的多机制造系统自动化方向发展,创造了必要的条件,60 年代

末期出现的计算机群控系统即直接数控(Direct NC—DNC)系统,就是这一发展趋向的具体体现。DNC系统使用一台较大型的计算机,控制与管理多台数控机床和数控加工中心,能进行多品种、多工序的自动加工。

柔性制造技术的发展,已经形成了在自动化程度和规模上不同的多种层次和级别的柔性制造系统。带有自动换刀装置(Automatic Tool Changer—ATC)的数控加工中心,是柔性制造的硬件基础,是制造系统的基本级别。其后出现的柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell—FMC),是较高一级的柔性制造技术,它一般由加工中心机床与自动更换工件(Automated Workpiece Changer—AWC)的随行托盘(Pallet)或工业机器人以及自动检测与监控技术装备所组成。在多台加工中心机床或柔性制造单元的基础上,增加刀具和工件在加工设备与仓贮之间的流通传输和存贮,和必要的工件清洗和尺寸检查设备,并由高一级的计算机对整个系统进行控制和管理,这样就构成了柔性制造系统(Flexible Manufacturing System—FMS),它可以实现多品种的全部机械加工或部件装配,DNC的控制原理是它的控制基础。

随着科学技术和制造工业的飞速发展,迫切要实现机器的智能化和脑力劳动自动化,以适应市场产品需求多变的要求。自动化制造技术不仅需要发展车间制造过程的自动化,而且要全面实现从生产决策、产品设计、市场预测直到销售的整个生产活动的自动化,特别是技术和管理科室工作的自动化,将这些要求综合成一个完整的生产制造系统,即所谓的计算机集成(综合)制造系统(Computer Integrated Manufacturing System—CIMS),它将一个制造工厂的生产活动进行有机的集成,以实现更高效益、更高柔性的智能化生产。这是当今自动化制造技术发展的最高阶段。

二、直接数字控制系统

直接数字控制系统(DNC)是将一组数控机床与存贮有零件加工程序和机床控制程序的公共存贮器相连接,根据加工要求向机床分配数据和指令的系统。也可以说是用一台通用计算机直接控制和管理一群数控机床进行零件加工或装配的系统。

在DNC系统中,基本保留原来各数控机床的CNC系统,并与DNC系统的中央计算机组成计算机网络,实现分级控制管理。中央计算机并不取代各数控装置的常规工作。

DNC系统具有计算机集中处理和分时控制的能力;具有现场自动编程和对零件程序进行编辑和修改的能力,使编程与控制相结合,而且零件程序存贮容量大;此外DNC系统还具有生产管理、作业调度、工况显示监控和刀具寿命管理等能力。

DNC系统可以分成间接控制型和直接控制型两大类。

(一) 间接控制型系统

间接控制型DNC系统是由已有的数控机床,配上集中管理和控制的中央计算机,并在中央计算机和数控机床的数控装置之间加上通讯接口所组成,如图1-3所示。中央计算机配备有大容量的外存贮器,以存放每台数控机床所需的零件加工计划和加工程序,适时调至计算机的内存中。计算机中存有扫描程序,顺次查询各台数控机床的请求信号,根据需要,计算机以中断方式向发出请求的某台数控机床的通讯接口传送所需的加工程序。由于传递一个零件加工程序的时间很短,而机床的加工时间很长,所以一台中央计算机为多台机床服务时,不会发生等待现象。

间接型DNC系统中,各数控机床的数控装置仍然承担着原来的控制功能,中央计算机与

接口,只起了原有数控机床的纸带阅读机的作用,这样的控制功能称之为读带机旁路控制(Behind the Tape Reader—BTR)。间接型 DNC 系统比较容易建立,并且当中央计算机出了故障时,仍可用原有的纸带阅读机工作,由于机床的数控装置并未简化,故硬件成本较高。

(二) 直接控制型系统

组成直接控制型 DNC 系统的数控机床不再配置普通的数控装置,原来由数控装置完成的插补运算功能全部或部分由中央计算机集中完成,各台数控机床只需配置一个简单的机床控制器(Machine Control Unit—MCU)用于数据传递,驱动控制和手动操作,其原理框图如图 1-4 所示。

直接型 DNC 系统的插补运算控制方法有以下三种:

- 1) 由中央计算机完成各台机床所需的插补运算,由接口分时经 MCU 向各机床传送进给指令,这种方式要求中央计算机有较高的运算速度,受控机床的台数一般为 3~5 台;
- 2) 各台机床的插补可由接口电路的硬件执行,进给指令经 MCU 送至各台机床,这样可以降低对中央计算机的运算速度要求,接口的硬件成本较高,但是控制的机床台数较多;
- 3) 将插补分成粗、精插补,由中央计算机完成粗插补,由接口电路或 MCU 完成精插补,这种方案综合考虑了运算速度与硬件成本,是一种常用的方法。

直接控制型 DNC 系统的数控机床,其控制功能主要由计算机软件执行,所以灵活性大,适应性强,可靠性也比较高。但是投资比较大。现有的 DNC 系统中,也有将直接控制型与间接控制型混合使用的。

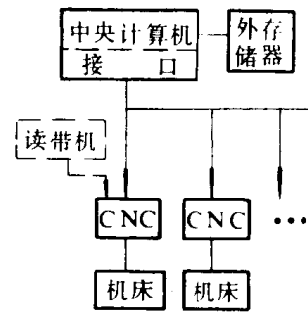


图 1-3

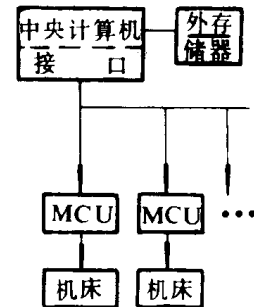


图 1-4

三、柔性制造单元和柔性制造系统

(一) 柔性制造单元

柔性制造单元(FMC)是由加工中心(MC)与自动交换工件(AWC, APC)的装置所组成,同时数控系统还增加了自动检测与工况自动监控等功能。图 1-5 所示为北京精密机床厂生产的 FMC-1 型柔性制造单元的示意图。它是为日本 FANUC 公司设计制造的用于组成柔性制造系统的机床设备,由刀具容量为 40 把的卧式

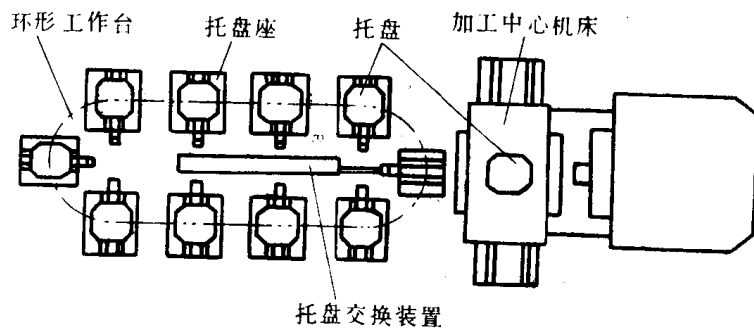


图 1-5

加工中心、环形工件交换工作台、工件托盘及托盘交换装置组成。环形工作台是一个独立的通用部件,与加工中心并不直接相连,装有工件的托盘在环形工作台的导轨上由环形链条驱动进行回转,每个托盘座上有地址编码。当一个工件加工完毕后,托盘交换装置将加工完的工件连

同托盘一起拖回至环形工作台的空位,然后,按指令将下一个待加工的托盘与工件转到交换位置,由托盘交换装置将它送到机床的工作台上,定位夹紧以待加工。已加工好的工件连同托盘转至工件的装卸工位,由人工卸下,并装上待加工的工件。托盘搬运的方式多用于箱体类零件或大型零件。托盘上可装夹几个相同的零件,也可以是不同的数个零件。

对于车削或磨削中心等机床,可以使用工业机器人进行工件的交换。由于机器人的抓重能力及同一规格的抓取手爪对工件形状与尺寸的限制,这种搬运方式主要适用于小件或回转件的搬运。

柔性制造单元一般都有较完善的自动检测和自动监控功能,如工件尺寸计量补偿,刀具损坏和寿命监控等。

柔性制造单元可以作为组成柔性制造系统的基础,也可用作独立的自动化加工设备。由于柔性制造单元自成体系,占地面积小,成本低而且功能完善,加工适应范围广,更多的是作为独立的设备使用,有廉价小型柔性制造系统之称,因此,近年来 FMC 以惊人的速度在发展。

(二) 柔性制造系统。

1. 柔性制造系统的定义与特征

有关 FMS 的定义众多,暂无定论。美国国防部机床特别工作组(MTTF)对 FMS 的定义是:由自动物料搬运系统相连接的一系列自动机床或若干台制造设备,用一台公用的多级数字式既定程序计算机控制,可供随机制造属于预定范围内的零部件的制造系统。但不管如何定义,FMS 确有公认的特征:

1) 具有多台制造设备,这些设备不限于切削加工设备,也可以是电加工、激光加工、热处理、冲压剪切设备以及装配、检验等设备;或者是上述多种加工设备的综合。组成设备的台数并无定论,一般认为由 5 台设备以上组成的系统才称为 FMS,也有人认为 2~4 台设备组成的是小规模 FMS。当然只有一台设备的一定是 FMC;

2) 系统由一个物料运输系统将所有设备连结起来,可以进行没有固定加工顺序和无节拍的随机自动制造;

3) 由计算机进行高度自动的多级控制与管理,对一定范围内的多品种、中小批量的零部件进行制造。

2. 柔性制造系统的组成

一般认为 FMS 应由加工、物流、信息流三个子系统组成,每一个子系统还可以有分系统,如图 1-6 所示。

加工系统可以由 FMC 组成,但是多数还是由传统的 CNC 机床,按 DNC 的控制方式构成。可以自动更换刀具、工件并进行自动加工。有些组成设备还可能是自动更换多轴主轴箱的加工中心。系统中的机床有互补和互替两种配置原则,互补是指在系统中配置完成不同工序的机床,彼此互相补充而不能代替,一个工件顺次通过这些机床进行加工;互替是指在系统中配置有相同的机床,一台机床有故障则空闲的一台机床可以替代加工,以免等待。当然一个系统的机床设备也可以按这两种方式混合配置,这要根据预期生产纲领来确定。

物流系统包括工件和刀具两个物流系统。系统设有中央刀库,由工业机器人在中央刀库和各机床的刀库之间进行输送和交换刀具。而刀具的备制和预调一般都不包括在系统自动管控的范围之内。刀具的数目要少,必须采用标准化、系列化,并有较长的刀具寿命。系统应有监控刀具寿命和刀具故障的功能。刀具寿命的监控,目前多用定时换刀的方式,即记录每一把刀具的使用时间,达到预定的使用寿命后即强行更换。直接检测刀具磨损,根据磨损情况更换刀具