

数控机床 编程·操作·维修

张洪兴 聂秋根
丁叙生 傅 强 等编著



航空工业出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了数控车床、铣床、加工中心和线切割机床等典型数控机床的编程与操作、数控编程的数学处理、MPAPT 自动编程系统、Master CAM 自动编程系统及数控机床的维修等内容。本书本着理论与实践相结合、教学与生产相结合的原则编写,内容简明扼要、图文并茂、例题翔实,是一本实用性很强的教材。

本书可作为机械设计制造及自动化、模具设计与制造等专业的本科生、高职生、中专生、技校生和短期数控技术培训班学员的教材,也可作为从事数控技术工作的工程技术人员参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程·操作·维修/张洪兴等编著. —北京:
航空工业出版社, 2001. 4

ISBN 7 - 80134 - 842 - 7

I . 数… II . 张… III . 数控机床 IV . TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 19960 号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

南昌航空工业学院印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2001 年 4 月第 1 版

2001 年 4 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 16

字数: 398 千字

印数: 1—1300

定价: 29.00 元

前 言

机床的数控化是 20 世纪 80 年代以来机床业的发展主流。数控加工技术是计算机集成制造系统(CIMS)和自动化工厂系统(IMS)的基础,它代表了整个机械制造业的发展方向。因此,数控加工技术水平已成为衡量一个国家工业化水平和综合实力的重要标志。

数控机床已广泛用于航空、航天、船舶、汽车、电子等行业,因此,急需培养大批能熟练掌握数控机床编程、操作及维修技能又具有一定理论基础的工程技术人才。由于数控机床的编程、操作、维护是一门实践性很强的技术,而国内又很少有系统介绍多种典型数控机床编程与操作的书籍,因此,我们本着理论与实践相结合、数学与生产相结合的原则编写了《数控机床的编程·操作·维修》一书,重点介绍了数控车床、铣床、加工中心、线切割机床等四种典型数控机床的编程与操作,同时还较详细地介绍数控编程的数学处理、MPAPT 自动编程系统、Master CAM 自动编程系统及数控机床的维修等内容。本书内容简明扼要、图文并茂、例题翔实。

本书可作为机械设计制造及自动化、模具设计与制造等专业的本科生、高职生、中专生、技校生和短期数控技术培训班学员的教材,也可作为从事数控技术工作的工程技术人员的参考资料。

本书由南昌航空工业学院张洪兴主编,南昌航空工业学院聂秋根、丁叙生和中国吉利教育中心傅强副主编,南昌航空工业学院邓煌、袁宁和戴红星参加了有关章节的编写。南京航空航天大学朱剑英教授指导了本书的编写,并提出了不少宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本书还得到中国吉利集团副总裁、吉利教育中心主任罗晓明的关心与帮助,在此表示诚挚谢意。

由于作者水平有限,编写时间较紧,书中难免有不当之处,殷切希望有关专家和广大读者批评指正。

作 者

2000 年 10 月

目 录

第 1 章 数控机床简介	1
1.1 数控机床的产生和特点	1
1.2 数控机床的基本结构和工作原理	3
1.3 数控机床的分类	5
1.4 数控机床的发展概况	8
第 2 章 数控加工程序编制基础	18
2.1 数控编程概述	18
2.2 数控编程中的代码及程序段格式	24
2.3 数控机床的坐标系	32
2.4 数控编程中的工艺分析	35
2.5 数控编程中的数值计算	51
第 3 章 数控车床的编程与操作	60
3.1 1200 型(FANUC 系统)CNC 数控车床简介	60
3.2 1200 型(FANUC 系统)CNC 数控车床的编程	61
3.3 1200 型(FANUC 系统)CNC 数控车床的操作	81
第 4 章 数控铣床的编程与操作	90
4.1 XK715B 型(FANUC 系统)数控铣床简介	90
4.2 XK715B 型(FANUC 系统)数控铣床的编程	91
4.3 XK715B 型(FANUC 系统)数控铣床的操作	104
第 5 章 数控加工中心的编程与操作	111
5.1 JCS-018 型(FANUC 系统)加工中心简介	111
5.2 JCS-018 型(FANUC 系统)加工中心的编程	112
5.3 JCS-018 型(FANUC 系统)加工中心的操作	137
第 6 章 数控电火花线切割机床的编程与操作	148
6.1 TPCW-2535 型数控电火花线切割机床简介	148
6.2 TPCW-2535 型数控电火花线切割机床的编程	149
6.3 TPCW-2535 型数控电火花线切割机床的操作	153
第 7 章 MPAPT 自动编程系统	160
7.1 自动编程简述	160
7.2 MPAPT 自动编程系统简介	161
7.3 MPAPT 语言	163
7.4 MPAPT 自动编系统应用举例	178
第 8 章 Master CAM 自动编程系统	182
8.1 Master CAM 自动编程系统简介	182

8.2 Master CAM 二维绘图功能 188

8.3 产生二维刀具路径 201

8.4 建造三维曲面 205

8.5 产生三维刀具路径 210

8.6 综合应用 213

第9章 数控机床的精度、安装调试及维修 220

9.1 数控机床的精度 220

9.2 数控机床的安装调试与验收 226

9.3 数控机床的维修 233

参考文献..... 250

第 1 章 数控机床简介

1.1 数控机床的产生和特点

一、数控机床的产生

科学技术和社会生产的不断发展,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程的自动化是实现上述要求的最重要措施之一。它不仅能够提高产品的质量、生产效率,降低生产成本,还能够大大改善工人的劳动条件。

许多生产企业(例如汽车、拖拉机、家用电器等制造厂)已经采用了自动机床、组合机床和专用自动生产线。采用这种高度自动化和高效率的设备,尽管需要很大的初始投资以及较长的生产准备时间,但在大批量的生产条件下,由于分摊在每一个工件上的费用很少,经济效益仍然非常显著。

但是,在机械制造业中并不是所有的产品零件都具有很大的批量,单件与小批量生产的零件(批量在 10~100 件)约占机械加工总量的 80% 以上。尤其是在造船、航空、航天、机床、重型机械以及其他军工部门,其生产特点是加工批量小、改型频繁,零件的形状复杂而且精度要求高,采用专用化程度很高的自动化机床加工这类零件就显得很不合理,因为需要经常改装与调整设备。而且对于专用生产线来说,这种改装与调整很难实现。近年来,由于市场竞争日趋激烈,为在竞争中求得生存与发展,各生产企业不仅要提供高质量的产品,而且必须频繁地改型,缩短生产周期,以满足市场不断变化的需要。因此,即使大批量生产,也要改变产品长期一成不变的做法。频繁地开发新产品,使“刚性”的自动化设备在大批量生产中日益暴露出其缺点。

已经使用的各类仿形加工机床部分地解决了小批量、复杂零件的加工。但在更换零件时,必须制造靠模板和调整机床,不但要耗费大量的手工劳动,延长了生产准备周期,而且由于靠模误差的影响,加工零件的精度很难达到较高的要求。

为了解决上述问题,以满足多品种、小批量的自动化生产,迫切需要一种灵活、通用,能够适应产品频繁变化的柔性自动化机床。

数字控制(Numerical Control,简称 NC 或数控)机床是在这样的背景下诞生与发展起来的。它极其有效地解决了上述一系列矛盾,为单件、小批生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

数控机床就是将加工过程所需要的各种操作(如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、选择刀具、供给冷却液等)和步骤以及刀具与工件之间的相对位移量都用数字化的代码来表示,通过控制介质(如穿孔纸带或磁带)将数字信息送入专用的或通用的计算机,计算机对输入的信息进行处理与运算,发出各种指令来控制机床的伺服系统或其他执行元件,使机床自动加工出所需要的工件。数控机床与其他自动机床的一个显著区别在于当加工对象改变时,除了重新装夹工件和更换刀具之外,仅需更换一条新的穿孔纸带或磁带,不需要对机床作任何调整。

1952年美国帕森斯公司(Parsons)和麻省理工学院(M.I.T.)合作研制成功世界上第一台三坐标数控铣床,用它来加工直升机叶片轮廓检查样板。这是一台采用专用计算机进行运算与控制的直线插补轮廓控制数控铣床,专用计算机采用电子管元件,逻辑运算与控制采用硬件联接电路。1955年,该类机床进入实用化阶段,在复杂曲面的加工中发挥了重要作用。

我国在1958年由清华大学研制了第一台数控机床,并在研制与推广使用数控机床方面取得了一定成绩。近年来,由于引进了国外的数控系统与伺服系统的制造技术,使我国数控机床在品种、数量和质量方面得到了迅速发展。目前,我国已有几十家机床厂能够生产不同类型的数控机床和加工中心机床。我国经济型数控机床的研究、生产和推广工作也取得了较大的进展,它必将对我国各行业的技术改造起到积极的推动作用。

目前,在数控技术领域,我国和工业发达国家之间还存在着不小的差距,但这种差距正在缩小。

随着工厂、企业技术改造的深入开展,各行各业对数控机床的需要量将会有大幅度的增长,这将有力地促进数控机床的发展。毫无疑问,数控机床将会在我国现代化建设中发挥越来越大的作用。

二、数控机床的特点

1. 柔性强

柔性是指机床适应于被加工零件的变化能力。

由于在数控机床上变更加工零件时,只需要重新编制程序,更换一条新的穿孔纸带或者手动输入程序就能实现对零件的加工。它不同于传统的机床,不需要制造、更换许多工具、夹具和模具,更不需要重新调整机床。因此数控机床可很快地从加工一种零件转变为加工另一种零件,这就为单件、小批以及试制新产品提供了极大的便利。它缩短了生产准备周期,而且节省了大量工艺装备费用。对于使用点位控制系统的多孔零件的加工,当需要修改设计,改变其中某些孔的位置和尺寸时,只需局部修改增删穿孔带的相应部分,就可把修改后的新产品制造出来,为产品结构的不断更新提供了有利条件。

2. 加工精度高

数控机床是按以数字形式给出的指令进行加工的,由于目前数控装置的脉冲当量(即每一个进给脉冲使数控机床移动部件所产生的移动量)普遍达到了 0.001mm ,而且进给传动链的反向间隙与丝杆螺距误差等均可由数控装置进行补偿,因此,数控机床能达到比较高的加工精度。对于中、小型数控机床,定位精度普遍可达到 0.03mm ,重复定位精度为 0.01mm 。数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,从而提高了它的制造精度,特别是数控机床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差,同一批加工零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量十分稳定。

在采用点位控制系统的钻孔加工中,由于不需要使用钻模板与钻套,钻模板的坐标误差造成的影响也不复存在。又由于加工中排屑的条件得以改善,可以进行有效地冷却,被加工孔的精度及表面质量都有提高。对于复杂零件的轮廓加工,在编制程序时已考虑到对进给速度的控制,可以做到在曲率变化时,刀具沿轮廓的切向进给速度基本不变,被加工表面就可获得较高的精度和表面质量。

3. 加工生产率高

零件加工所需要的时间包括机动时间与辅助时间两部分。数控机床能够有效地减少这两

部分时间,因而加工生产率比一般机床高得多。数控机床主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大,每一道工序都能选用最合理的切削用量,良好的结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削,有效地节省了机动时间。数控机床移动部件的快速移动和定位均采用了加速与减速措施,因而选用了很高的空行程运动速度,消耗在快进、快退和定位的时间要比一般机床少得多。

数控机床在更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,而零件又都安装在简单的定位夹紧位置中,用于停机进行零件安装调整的时间可以节省不少。

数控机床的加工精度比较稳定,在穿孔带经过校验以及刀具完好的情况下,一般只作首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验。因而可以减少停机检验的时间。因此,数控机床的利用系数比一般机床高得多。

在使用带有刀库和自动换刀装置的数控加工中心机床时,在一台机床上实现了多道工序的连续加工,减少了半成品的周转时间,生产效率的提高更为明显。

4. 减轻了操作者的劳动强度

数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的,操作者除了安放穿孔带、操作键盘、装卸零件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度均可大为减轻,劳动条件也得到相应的改善。例如,电子工业中印刷电路板的钻孔,如果在台式钻床上进行手动加工,单调频繁的手工操作很容易造成工人视觉的极度疲劳,从而产生不少差错,因此,通常很难进行一小时以上的连续操作。当采用高速数控钻床加工时,就能根本地改善操作者的劳动条件。

5. 良好的经济效益

使用数控机床加工零件时,分摊在每个零件上的设备费用是较昂贵的。但在单件、小批生产情况下,可以节省许多其他方面的费用,因此能够获得良好的经济效益。

使用数控机床,在加工之前节省了划线工时,在零件安装到机床上之后可以减少调整、加工和检验时间,减少了直接生产费用。另一方面,由于数控机床加工零件不需要手工制作模型、凸轮、钻模板及其他工夹具,节省了工艺装备费用。还由于数控机床的加工精度稳定,减少了废品率,使生产成本进一步下降。

6. 有利于生产管理的现代化

用数控机床加工零件,能准确地计算零件的加工工时,并有效地简化了检验和工夹具、半成品的管理工作。这些特点都有利于生产管理现代化。

数控机床使用数字信息与标准代码输入,最适宜于与数字计算机联系,目前已成为计算机辅助设计、制造及管理一体化的基础。

1.2 数控机床的基本结构和工作原理

一、数控机床的基本结构

数控机床是一种利用数控技术,按照事先编好的程序实现动作的机床。它是由程序载体、输入装置、CNC单元、伺服系统、位置反馈系统和机床机械部件构成,其基本结构如图 1-1 所示。

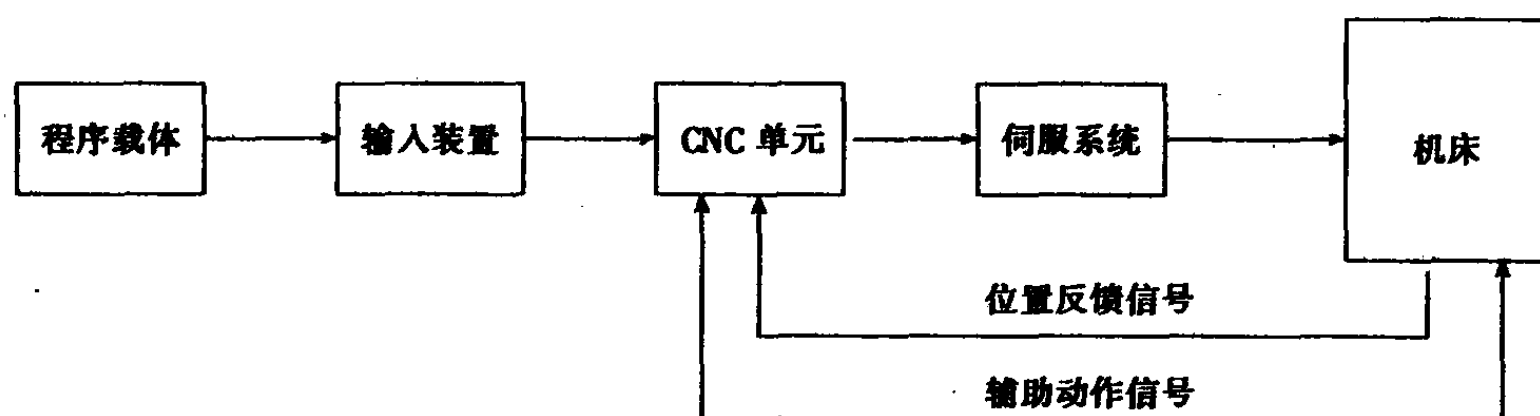


图 1-1 数控机床的基本结构

1. 程序载体(控制介质)

数控机床是按照输入的零件加工程序运行。在零件加工程序中,包括机床上刀具与工件的相对运动轨迹、工艺参数(走刀量、主轴转数等)和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式和代码,存储在一种载体上,这种用于装载零件加工程序的载体称为控制介质。常用的控制介质有穿孔纸带、磁带、软硬磁盘等。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体内有关加工的信息读入 CNC 单元。根据程序载体的不同,相应有不同的输入装置。例如,对于穿孔纸带,配用光电阅读机;对于盒式磁带,配用录放机;对于软磁盘,配用软盘驱动器和驱动卡。有时为了用户方便,数控机床可以同时具备两种输入装置。

现代数控机床,还可以通过手动方式(MDI 方式),将零件加工程序,直接用数控系统的操作面板上的按键,直接键入 CNC 单元;或者用与上级机通信方式直接将加工程序输入 CNC 单元。

3. CNC 单元(数控装置)

CNC 单元由信息的输入、处理和输出三个部分组成,程序载体通过输入装置将加工信息传给 CNC 单元,编译成计算机能识别的信息,由信息处理部分按照控制程序的规定,逐步存储进行处理后,通过输出单元发出位置和速度指令送给伺服系统和主运动控制部分。

数控机床的辅助动作,如,刀具的选择与更换、切削液的启停等能够用可编程序控制器(PLC)进行控制。现代数控系统中,一般备有 PLC 附加电路板。这种结构形式可省去 CNC 与 PLC 之间的连线,结构紧凑,可靠性好,操作方便,无论从技术上或经济上都是有利的。

CNC 单元由工业控制机、控制程序和接口电路组成。CNC 单元是数控机床的神经中枢,它决定了数控机床的功能和可靠性。

4. 伺服系统

伺服系统由伺服驱动和位置反馈两部分组成。

① 伺服驱动系统

伺服驱动系统由伺服电动机以及驱动控制装置和伺服控制软件组成。它与数控机床的进给运动部件构成进给伺服系统。伺服驱动系统根据 CNC 单元来的速度及位置指令驱动机床的进给运动部件,完成指令规定的运动。每一坐标方向的运动部分配备一套伺服驱动系统。

伺服电动机的驱动控制装置一般仅完成电动机速度控制(包括速度反馈),而电动机的角位移控制,一般由 CNC 单元完成。

② 位置反馈系统

位置反馈分为伺服电动机的转角位移的反馈和数控机床执行机构(工作台)的位移反馈两种,运动部分通过传感器将上述角位移或直线位移转换成电信号,反馈给 CNC 单元,与指令位置进行比较,并由 CNC 单元发出指令,纠正所产生的误差。

伺服系统是数控机床的执行部分,它决定了数控机床的精度与快速性。

5. 机床的机械部件

数控机床的机构结构,除了主运动系统、进给系统以及辅助部分如液压、气动、冷却和润滑部分等一般部件外,尚有些特殊部件,如,储备刀具的刀库,自动换刀装置(ATC),自动托盘交换装置等。与普通机床相比,数控机床的传动系统更为简单,但机床的静态和动态刚度要求更高,传动装置的间隙要尽可能小,滑动面的摩擦系数要小,并要有恰当的阻尼,以适应对数控机床高定位精度和良好的控制性能的要求。

二、数控机床的工作原理

1. 将被加工零件的形状、尺寸及工艺要求等信息编制成 NC 加工程序,并记录在控制介质上。

2. 控制介质上的程序信息经输入装置输入到 CNC 单元中。

3. CNC 单元对输入的程序信息进行计算和处理,并向各坐标轴的伺服驱动系统和主运动的控制系统发出位置和速度指令。

4. 伺服驱动系统接到 CNC 单元的位置、速度指令后,经转换、放大,驱动机床工作台或刀架按要求的轨迹移动。机床上的刀具在必要机械动作的配合下,按要求的形状与尺寸完成切削加工。

5. 位置检测、反馈装置将机床的实际位置信号反馈给 CNC 单元,并与指令位置信号进行比较,CNC 单元按其差值又发出指令位置信号,经伺服驱动装置使机床移动部件向消除误差的方向移动。

脉冲当量:每一个进给信号使机床移动部件所产生的位移量称为脉冲当量,又把它叫做最小设定单位。数控机床的脉冲当量一般在 $0.01 \sim 0.0001\text{mm/脉冲(pulse)}$ 之间。

1.3 数控机床的分类

数控机床经过几十年的发展已有 400 多个品种规格,可以按多种原则进行分类,归纳起来,常用以下三种方法进行分类:

一、按工艺用途分类

1. 普通数控机床

这种数控机床与传统的通用机床品种一样,有数控车、铣、镗、磨床等,而且每一种又有很多品种。例如,数控铣床中还有立铣、卧铣、工具铣、龙门铣等。这类数控机床的工艺可能性与通用机床相似,所不同的是它能加工形状复杂的零件。

2. 数控加工中心机床

这类机床是在普通数控机床的基础上加装一个刀库(可容纳 $10 \sim 100$ 多把刀具)和自动换刀装置,从而构成了一种带自动换刀装置的数控机床,也称为多工序数控机床。这使数控机床更进一步地向自动化和高效化方向发展。

这类机床与普通数控机床相比,优点是工件可以经过一次装夹后,数控装置就能控制机床

自动地更换刀具,连续地对工件各加工面自动完成铣、镗、钻、铰及攻丝等多工序加工。工序集中,减少了机床的台数,减少了零件重复定位误差,也大大减少了辅助时间。这类机床多以钻、镗、铣加工为主,加工对象主要是一些箱体类零件。

二、按加工路线分类

1. 点位控制数控机床

这类机床的数控装置只能控制机床移动部件从一个位置(点)精确地移动到另一位置(点),在移动过程中不进行任何切削加工。至于两相关点之间的移动速度及路线则取决于生产率。为了在精确定位基础上尽可能提高生产率,两相关点之间的移动,先是以快速移动接近定位点,然后降速1~3级,再慢速接近它,以保证定位精度。

这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床和数控测量机等,其相应的数控装置称为点位控制装置。

2. 点位直线控制数控机床

这类机床工作时,不仅要控制两相关点之间的距离,还控制两相关点之间的移动速度和轨迹,其路线一般都由与各轴线平行的直线段组成。当这类机床移动部件移动时,可以沿一个坐标轴方向或沿45°斜线方向进行切削加工,但不能沿任意斜率直线切削,而且增加了机床的辅助功能。例如,增加了主轴转速控制、循环进给加工、刀具选择等功能。

这类机床主要有简易数控车床和早期的数控加工中心等,其相应的数控装置称为点位直线控制装置。

3. 轮廓控制数控机床

这类机床的控制装置能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制。加工时不仅要控制起点和终点,还要控制整个加工过程中每点的速度和位置,也就是要控制移动的轨迹,使机床加工出符合图样要求的复杂形状的零件。它的辅助功能比较齐全。

这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床和电加工机床,其相应的数控装置称为轮廓控制装置。

三、按有无检测装置分类

1. 开环控制数控机床

所谓开环控制系统,就是机床上没有安装位置反馈检测装置,没有构成反馈控制回路的系统,如图1-2所示。伺服元件通常使用步进电机或电液脉冲马达。数控装置输出的脉冲通过环形分配器和驱动线路,不断地改变供电状态,使伺服元件转过相应的步距角,再经过减速齿轮带动丝杠旋转,最后转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度和位移量取决于输入脉冲的频率和数量。

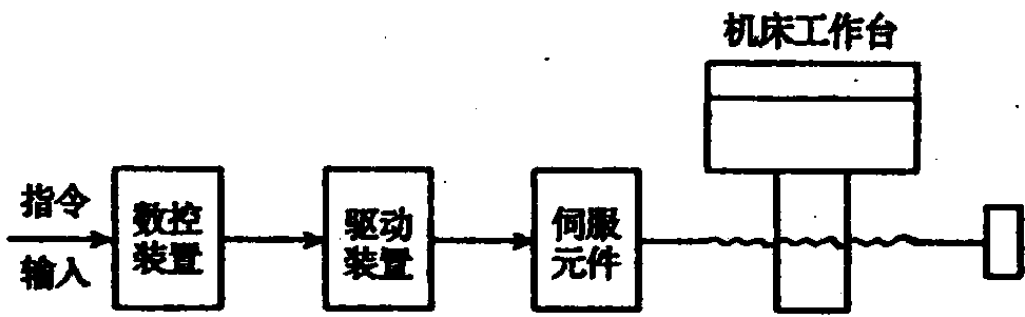


图 1-2 开环控制系统

这种开环控制系统的特点是结构简单,稳定性好,调试和维修方便,成本低。缺点是控制精度较差,对进一步提高定位精度受到限制。在一些精度要求不太高的场合,开环控制系统是一个很实用的系统。特别是以高精度的步进电机作为伺服元件时,这种系统得到非常广泛的应用。

2. 半闭环控制数控机床

在开环控制系统的丝杠上安装角位移检测装置(如感应同步器或光电编码器等),通过检测丝杠转角间接地得到移动部件的位移,然后反馈送至数控装置中,如图 1-3 所示。由于反馈量取自转角,而不是工作台的实际位移,即机床工作台未包括在反馈回路内,所以称该系统为半闭环控制系统。

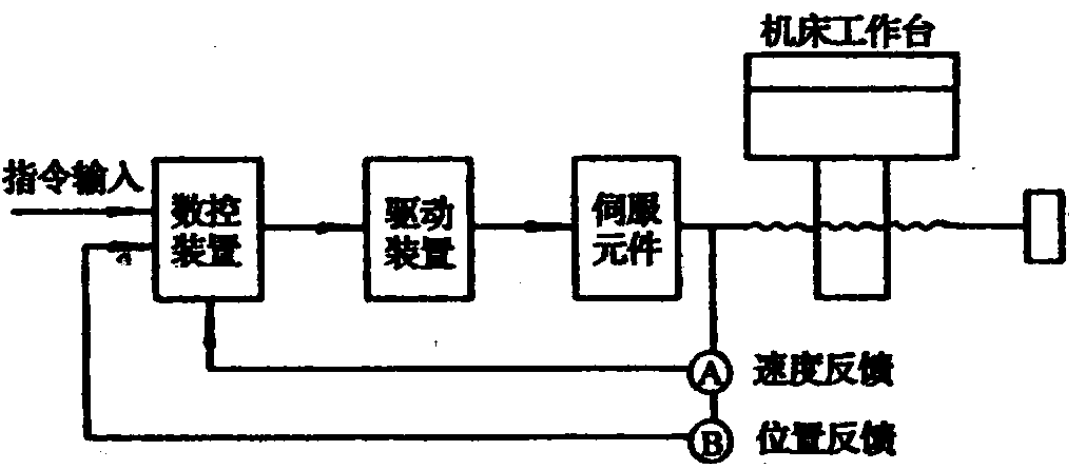


图 1-3 半闭环控制系统

这种系统由于没有把惯性大的工作台包含在闭环回路内,因此该系统稳定性好,调试方便。系统的控制精度和机床的定位精度比开环系统高,而比全闭环系统低,因它并没有消除机床工作台的误差。

3. 闭环控制数控机床

这种系统在机床移动部件上安装了直线位移检测装置,因为把机床工作台纳入了反馈回路,故称闭环控制系统,如图 1-4 所示。该系统将测量到的实际位移反馈到数控装置中,然后与指令值相比较而得到差值信号。由该差值信号控制工作台的运动,直至偏为零。

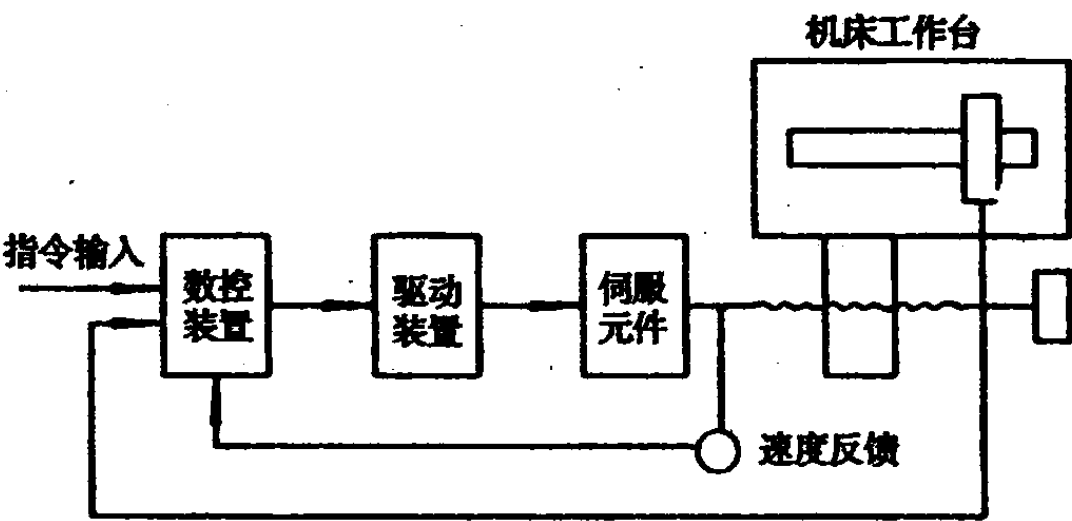


图 1-4 闭环控制系统

这种系统定位精度高、调节速度快,但由于机床工作台惯量大,对系统稳定性带来不利影响,同时也使调试、维修困难,且系统复杂,成本高,故只有在精度要求很高的机床中才采用这种系统。

1.4 数控机床的发展概况

一、数控机床的发展过程

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 and 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统(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 形图语言和 Pascal 语言;系统采用多板结构,按功能划分成模块,已形成从最小系统到最大系统的系列化系统,能容易地组成用于加工中心、铣床、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 $0.1\mu\text{m}/\text{pulse}$;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,它能在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储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,迫切需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。

(一) 计算机数字控制(CNC)

CNC 数控又称为软线数控,是 70 年代初出现的新型数控系统。与使用专用计算机的 NC 数控(也称为硬线数控)的不同之处在于:它的数控装置使用的是一台小型通用计算机。用这种小型通用计算机去控制某一特定对象时,要靠事先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。

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;同时,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,提高了可靠性;CNC 系统还易于设立各种诊断程序,能进行故障的预检和自动查找;CNC 系统还能使编程简化,并对已输入的加工程序进行修改提供了方便。

(二) 直接数字控制(DNC)

DNC 亦称为计算机群控系统。它可理解为用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和管理,并根据加工的要求适时地把加工程序分配给各台机床。

根据机床与计算机或中央处理装置结合的形式不同,DNC 系统分为间接型群控系统和直接型群控系统两大类。

1. 间接型群控系统

间接型群控系统是在已有的一些单台数控机床的基础上,配上电子计算机联成一个群控系统。通用计算机中存储的各机床的加工程序通过接口装置直接送到机床群中每台机床的数控装置中去,而不需要再经过读带机,其系统框图如图 1-5 所示。

2. 直接型群控系统

在直接型群控系统中,每台机床不再装设普通的数控装置,只有伺服控制驱动电路和操作盘所组成的机床控制器。数控机床的插补运算等功能完全由计算机承担,而计算机又通过接口直接控制各机床。因此,DNC 系统实际上具有 CNC 系统的功能和优点,同时还能对生产组织、技术状态等方面进行管理,从而提高机床的生产率,该系统框图如图 1-6 所示。

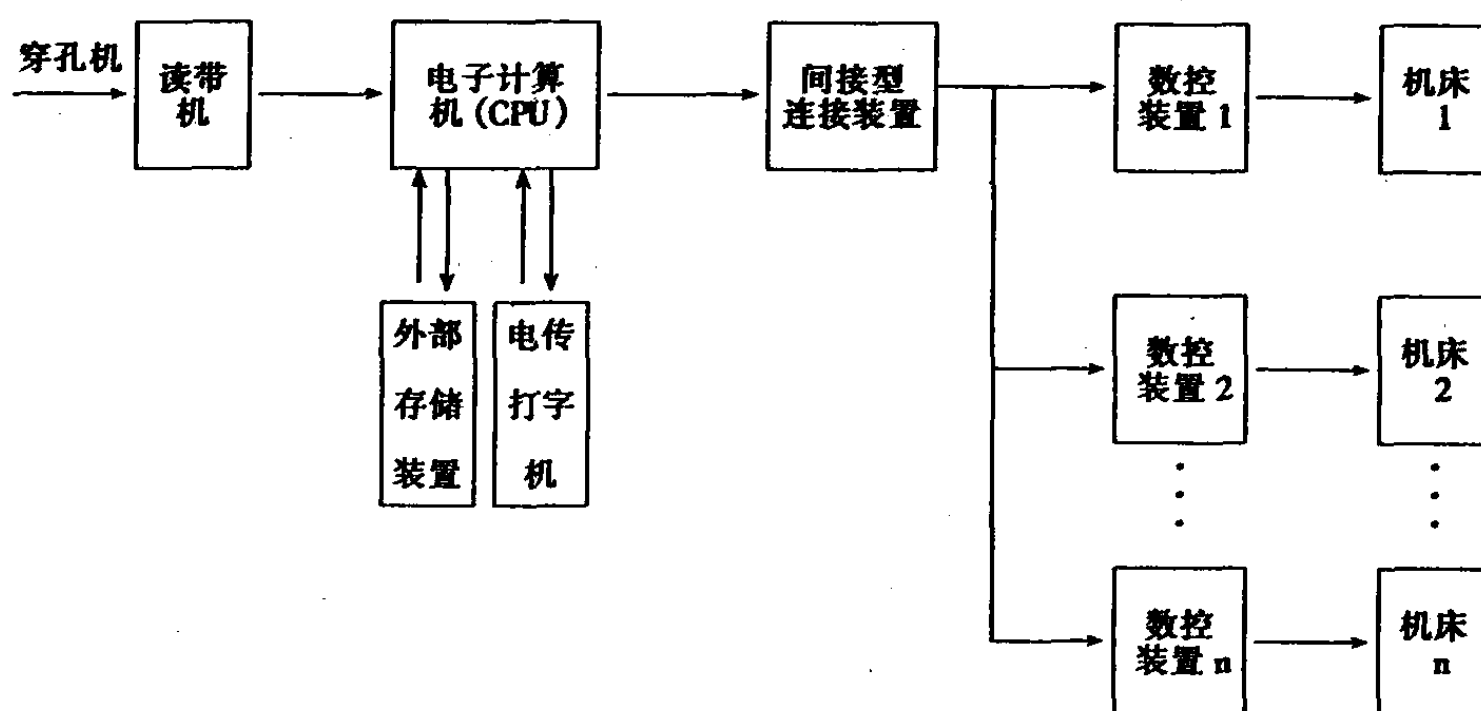


图 1-5 间接群控系统

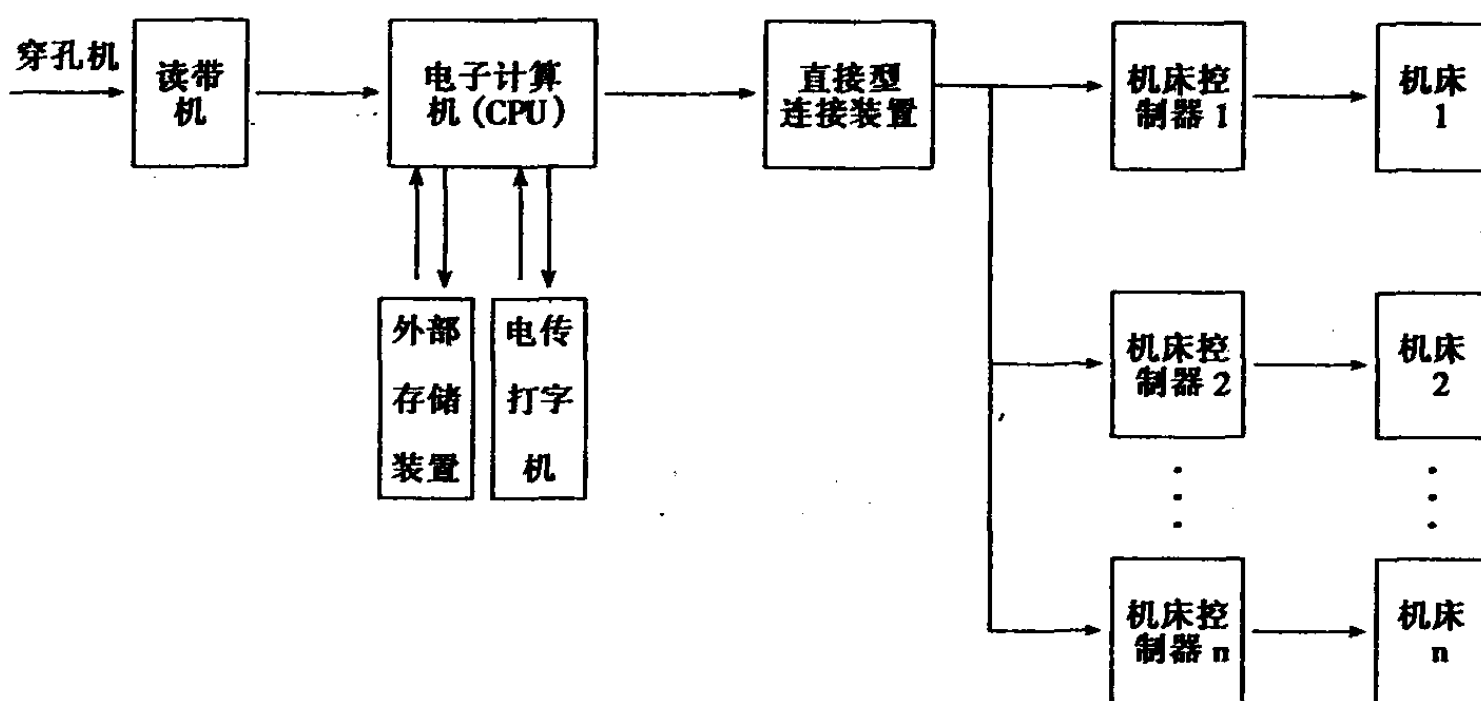


图 1-6 直接群控系统

（三）自适应控制(AC)

数控机床在加工零件时是严格按照事先编制好的程序进行的。在编制程序时,大量难以考虑周到的参数变化影响着机床性能的充分发挥,也往往使加工过程偏离了最佳状态。数控机床的自适应控制就是在加工过程中不断检查某些代表加工状态的参数,例如切削力、切削温度等,及时对主轴转速和进给速度等参数进行校正,使数控机床保持在最佳切削状态。

自适应控制在数控机床中应用较普遍,并在数控磨床、数控线切割机床和数控电火花成形机床中取得较好效果。这些机床采用自适应控制后,在提高生产效率、延长刀具使用寿命和改善表面质量等方面均有明显效果。

（四）柔性制造系统(FMS)

FMS 系统是一种适用于多品种、大中小批量生产的自动化生产方式,主要由计算机辅助设计、生产系统、数控机床、智能机器人、全自动化输送系统和自动化仓库组成。全部生产过程由一台中央计算机进行生产的调度,若干台控制计算机进行工位控制,组成一个各种制造单元相对独立而又便于灵活调节、适应性很强的制造系统,这种系统称为柔性制造系统(FMS),其系统构成如图 1-7 所示。

工厂主计算机:主要承担生产计划的制定和调整,材料及外购件的仓库管理,计算机辅助

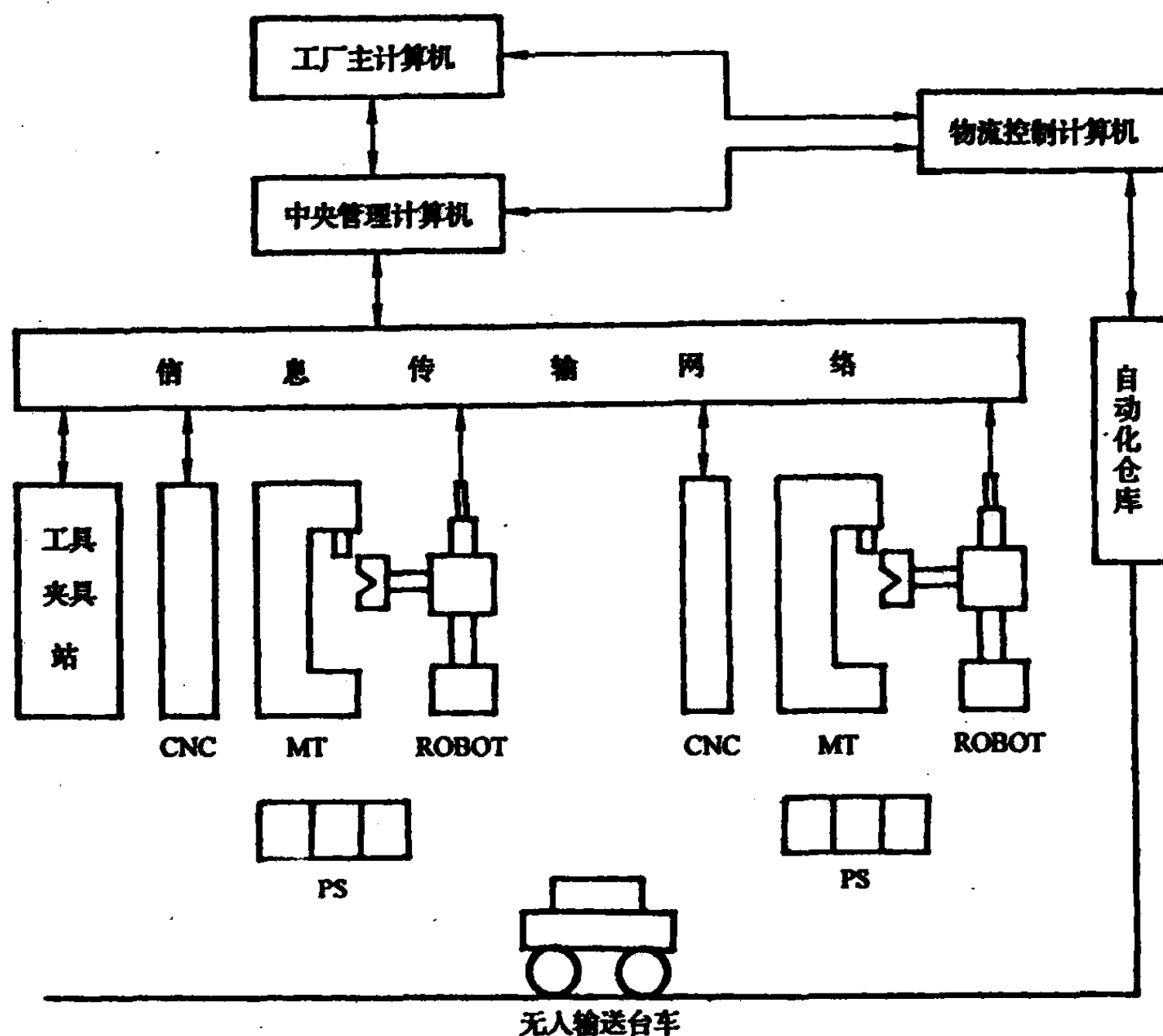


图 1-7 柔性制造系统示意图

设计,订货合同及销售计划的管理,设备状态管理以及其他方面的管理。其功能是接受操作者的命令和根据下一级计算机传送的信息做出决断并向下一级中央管理计算机发布命令。

中央管理计算机:对整个生产系统进行监控,如对每一台 CNC 系统、工业机器人以及工具和夹具管理站进行集中管理和指令数据控制。

物流控制计算机:主要负责对自动化仓库、自动输送台车进行控制,对加工条件及过程控制实行集中管理。

制造单元:它由 CNC 系统、机床(MT)、工业机器人(ROBOT)组成,这是柔性制造系统的基本单元。

自动化仓库:对加工用的毛坯、零件、半成品及成品进行自动贮存和自动调用。

信息传输网络:将各台 CNC 系统、工业机器人及工具夹具集中管理站与中央管理计算机相联络的电缆或光纤通用网络。

PS:随行工作台站。

柔性制造系统可分为物质流(如制造单元、自动化仓库、工具夹具管理站等)和信息流(如主计算机、中央管理计算机、物流控制计算机之间的信息传输)。它们有机地组合在一起,形成一个工厂综合自动化的机体,构画出了一个“无人化”自动化工厂的模式。

(五)计算机集成制造系统(CIMS)

计算机集成制造系统(CIMS),简单地说,就是用计算机通过信息集成实现现代化的生产

制造,以求得企业的总体效益,采用 CIMS 后,有以下好处:

1. 工程设计自动化方面 可采用现代化工程设计手段,如 CAD/CAPP/CAM(计算机辅助设计/计算机辅助工艺规划/计算机辅助制造),可提高产品的研制和生产能力,保证产品设计和工艺设计质量,缩短设计周期,从而加快产品更新换代速度,满足用户需求。

2. 加工制造方面 可采用诸如 FMC、FMS、DNC 等先进技术,提高制造质量,增加制造过程的柔性;提高设备利用率,缩短产品制造周期,增强生产能力的目的。

3. 经营管理方面 使企业的经营决策科学化。在市场竞争中,可使产品报价快速、准确和及时;在生产过程中,可有效地解决生产“瓶颈”,减少在制品,使库存量压到最低水平,减少制造过程中占用的资金,减少仓库面积,从而可降低生产成本,加速企业的资金周转。

总之,计算机集成制造系统,是通过计算机、网络、数据库等硬、软件将企业的产品设计、加工制造、经营管理等方面的所有活动集成起来,使企业的产品质量大幅度提高,缩短产品开发和生产周期,提高生产效率,降低生产成本。

CIMS 通常由管理信息系统、产品设计与制造工程设计自动化系统、制造自动化系统、质量保证系统以及计算机网络和数据库系统等 6 个分系统组成,它们之间的关系,如图 1-8 所示。以下分别介绍这几个分系统:

① 管理信息系统 这个系统包括预测、经营决策、各级生产计划、生产技术准备、销售、供应、财务、成本、设备、工具、人力资源等管理信息功能,通过信息的集成,达到缩短产品生产周期、减少占用的流动资金、提高企业的应变能力。

② 产品设计与制造工程设计自动化系统 它是用计算机来辅助产品设计、制造准备和产品性能测试等阶段的工作,就是 CAD/CAPP/CAM 系统。其目的是使产品的开发更高效、优质、自动化地进行。

③ 制造自动化系统 常用的是 FMS 系统。这个系统根据产品的工作技术信息、车间层的加工指令,完成对零件毛坯加工的作业调度、制造等工作。

④ 质量保证系统 包括质量决策、质量检测与数据采集、质量评估、控制与跟踪等功能。系统保证从产品设计、制造、检验到售后服务的整个过程。

⑤ 计算机网络系统 它是支持 CIMS 各个分系统的开放型网络通信系统。采用国际标准和工业标准规定的网络协议进行互联。以分布方式,满足各应用分系统对网络支持服务的不同需求,支持资源共享,分布处理、分布数据库和实时控制。

⑥ 数据库系统 它是支持 CIMS 各分系统的数据库,以实现企业数据的共享和信息集成。

由上述可知,CIMS 是建立在多项先进技术基础上的高技术制造系统,是面向 21 世纪的生产制造技术。为了赶上工业先进国家的机械制造水平,我国 863 计划(即高技术研究和发展计划)中已将 CIMS 在我国的发展和应用列为一个主题,并开展了关键技术的攻关工作。我们相信这些措施,将对我国机械制造工业的现代化起到很重要的作用。

二、我国的发展情况

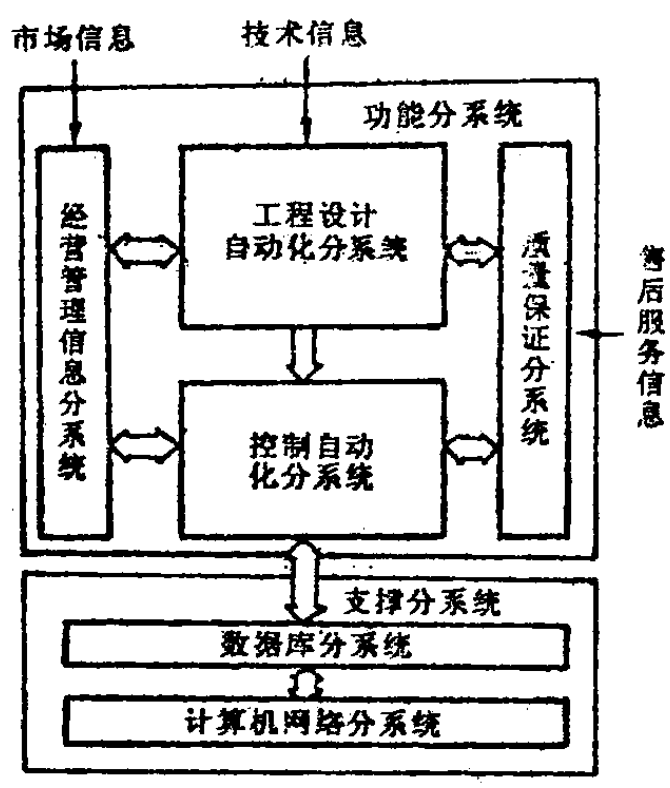


图 1-8 CIMS 的组成图