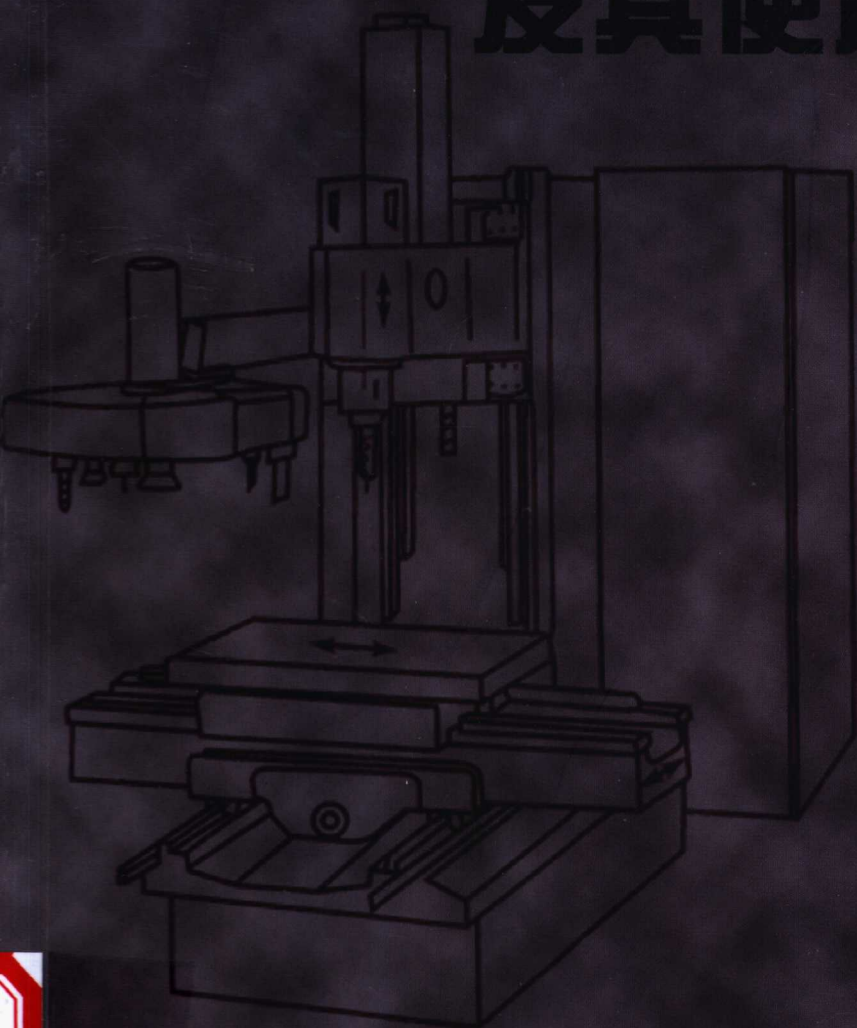


数控机床

及其使用与维修

主编 宋天麟



GJQISHIYONGYUWEIXIU



东南大学出版社 SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

数控机床及其使用与维修

主 编 宋天麟

副主编 王春秀 倪俊芳

主 审 寇子明 芮延年

东南大学出版社

内 容 提 要

《数控机床及其使用与维修》一书共分 11 章。主要内容有数控机床的概况、组成、工作原理、特点、分类及发展;数控编程、数控加工的基础知识;数控系统硬软件结构、插补原理;常用的驱动元件、检测元件及位置控制伺服系统;数控机床结构设计、主传动系统、进给系统部分元件、自动换刀装置;数控车床的编程与工艺;数控车床的操作与加工;加工中心的编程;数控机床的使用与维修;典型数控系统简介;国内数控机床生产厂家简介。

本书可用作高等工科院校机械类专业、高等职业技术教育、电大、夜大等有关专业数控机床课程的教材和教学参考书,及数控机床编程与操作的培训教材;也可供从事数控技术、数控机床使用、维修的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床及其使用与维修/宋天麟主编. —南京:东南大学出版社,2003.10

ISBN 7-81089-342-4

I. 数... II. 宋... III. 数控机床-高等教育-教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 081017 号

数控机床及其使用与维修

作 者 宋天麟 王春秀 倪俊芳等
责任编辑 李 玉 文字编辑 黎 明
责任印制 张文礼 封面设计 康 靖

出版发行 东南大学出版社
社 址 南京四牌楼 2 号 邮 编 210096
出 版 人 宋增民
经 销 江苏省新华书店

印 刷 南京玉河印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16 印 张 16.25
字 数 440 千字 印 数 1—3000 册
版 次 2003 年 10 月第 1 版第 1 次印刷
定 价 28.00 元

东南大学出版社图书凡有印装质量问题可向发行科调换 电话:025—3795801

前 言

数控机床是现代制造系统中的重要组成部分,是计算机技术、自动控制技术、精密测量技术、现代机械制造技术等多种先进技术的综合产物,是典型的机电一体化产品。数控机床作为实现 FMC(柔性制造单元)、FMS(柔性制造系统)、CIMS(计算机集成制造系统)的基础,已成为现代制造技术中不可缺少的生产手段。

随着科学技术的迅猛发展、制造业的快速升温,数控机床在各个机械制造企业的设备占有比例不断增加,已进入实用化的阶段,成为大、中型企业,尤其是外资企业的主要技术装备。为了培养大学生的应用能力、实际动手能力,引导数控机床用户正确使用、保养和维修数控设备,充分发挥数控机床的效能,本书在介绍数控机床基本工作原理的基础上,着重论述了数控机床的使用、维护、维修等实用技术。

本书的特点是在兼顾理论知识的基础上,注重实践环节,宗旨是培养既能编制数控加工程序,又能操作数控机床,同时掌握一定的理论知识的实用性人才。

参加本书编写的人员有:宋天麟、王春秀、倪俊芳、盛小明、谢志余、范莉、周晓京、王锡刚、吴一帆、刘和剑、包枫等。本书由苏州大学宋天麟担任主编,宁夏大学王春秀、苏州大学倪俊芳担任副主编,由太原理工大学机械工程系主任寇子明教授、苏州大学机电学院院长芮延年教授主审。全书编写过程中参考了数控技术方面的诸多论著和教材,本书编者对文献的各位作者深表谢意。

由于编者水平有限,经验不足,时间仓促,错误、遗漏和不妥之处在所难免,敬请各位读者批评指正。

编 者

2003 年 7 月

目 录

1 概 论	1
1.1 数控与数控机床	1
1.1.1 数控、机床数控及数控加工	1
1.1.2 数控机床的产生和发展	1
1.1.3 数控机床的特点	2
1.2 数控机床的工作原理和组成	3
1.2.1 数控机床的工作原理	3
1.2.2 数控机床的组成	3
1.3 数控机床的分类	4
1.3.1 按工艺用途分类	4
1.3.2 按运动方式分类	5
1.3.3 按控制方式分类	6
1.3.4 按系统功能分类	7
1.4 数控机床的发展趋势	7
2 数控编程基础及工艺分析	10
2.1 概述	10
2.1.1 程序编制的内容和步骤	10
2.1.2 数控机床编程的方法	11
2.2 数控机床编程的基础知识	12
2.3 数控加工工艺基础	15
3 计算机数控系统	22
3.1 数控系统的硬件	22
3.1.1 数控系统硬件总体	22
3.1.2 数控系统为用户提供的接口	22

3.1.3 数控装置的硬件结构	24
3.2 CNC 装置的软件结构	28
3.3 插补原理	33
4 数控机床的伺服系统	39
4.1 概述	39
4.2 常用驱动元件	41
4.3 伺服系统中的检测元件	46
4.4 数控系统的位置控制	54
4.4.1 数控系统对位置伺服系统的基本要求	54
4.4.2 位置伺服系统的构成	56
4.4.3 实用的数控机床位置伺服系统设计及实现	61
5 数控机床的结构设计	66
5.1 数控机床总体结构设计	66
5.1.1 数控机床总体设计要求	66
5.1.2 数控机床的总体布局	68
5.2 数控机床的主传动系统	71
5.2.1 对主传动系统的要求	72
5.2.2 数控机床主轴的调速方法	72
5.2.3 主轴部件及主轴箱	74
5.3 数控机床进给系统机械部分元件	77
5.4 自动换刀装置	85
5.4.1 数控车床刀架	85
5.4.2 加工中心自动换刀装置	88
6 数控车床的编程与工艺	94
6.1 数控车床概述	94
6.1.1 数控车床的组成	94
6.1.2 数控车床的分类	95
6.1.3 数控车床的特点	96
6.2 数控车床的编程	96
6.2.1 数控车床编程基础	96
6.2.2 数控车床的常用指令	97
6.3 数控车削加工工艺	111
6.3.1 数控车床工艺系统的确定	111
6.3.2 数控车削加工参数及补偿的确定	121
6.3.3 提高工件加工质量的措施	123
6.3.4 典型零件的数控车削加工工艺	124

7 数控车床的操作与加工	131
7.1 数控车床的操作方法	131
7.1.1 操作面板	131
7.1.2 车床按钮及功能介绍	132
7.1.3 操作步骤	136
7.2 数控车床加工程序设计实例	143
7.2.1 轴类零件加工程序设计	143
7.2.2 盘类零件加工程序设计	146
7.2.3 在经济型数控车床上加工零件程序设计	150
7.2.4 其他综合实例	152
7.3 数控车床的维护	155
8 加工中心的编程	157
8.1 加工中心简介	157
8.1.1 概述	157
8.1.2 工艺特点	157
8.2 加工中心的辅具及辅助设备	159
8.2.1 刀柄及刀具系统	159
8.2.2 自动化功能	161
8.2.3 常用工具	162
8.2.4 辅助轴	162
8.2.5 夹具系统	163
8.3 加工中心程序的编制	163
8.3.1 简单程序编制	163
8.3.2 宏程序编制	176
9 数控机床的使用与维修	182
9.1 数控机床的选择与使用	182
9.1.1 数控机床的选择	182
9.1.2 数控机床的使用	193
9.2 数控机床的安装调试与验收	203
9.2.1 数控机床的安装调试	203
9.2.2 数控机床的试车验收	207
9.3 数控机床的维修	216
9.3.1 机床维修的一些基本概念	217
9.3.2 机床的预防性维修与保养	218
9.4 数控系统的故障诊断及排除方法	220
9.4.1 CNC 装置维修	221
9.4.2 数控系统现场维修的基本条件和实施步骤	223

10 典型数控系统简介	225
10.1 机床数控系统概述	225
10.2 FANUC 7M 系统	226
10.2.1 基本功能及规格	227
10.2.2 硬件的结构特点	228
10.2.3 7M 系统的软件	231
10.3 中华 I 型 CME988 系统	233
10.3.1 硬件结构	233
10.3.2 位置控制功能结构	235
10.3.3 数控系统的软件结构(CME988)	236
10.4 数控系统功能的主要发展趋势	239
10.4.1 轴控制功能	239
10.4.2 高精、高速加工的控制功能	239
10.4.3 多种插补功能	240
10.4.4 机械误差补偿功能	240
10.4.5 人机界面的友好	240
10.4.6 网络功能	241
10.4.7 安全与维修性不断完善	241
11 国内数控机床生产厂家简介	242
参考文献	251

1 概 论

1.1 数控与数控机床

1.1.1 数控、机床数控及数控加工

1) 数控

数控即数字控制(Numerical Control, NC),是数字程序控制的简称。它是通过特定处理方式下的数字信息去自动控制机械装置进行动作,这种采用数字化信息实现自动化控制的技术称为数控技术,简称数控。

用数字化信息对机床的运动及其加工过程进行控制的机床,称为数控机床。数控机床是数控技术与机床相结合的产物,从狭义上看,数控一词就是“数控机床”的代名词,从广义上看,数控技术本身在其他行业中有更广泛的应用,称为广义数字控制,如在测量、理化试验与分析、物质与信息的传输、建筑以及科学管理等领域的应用。

2) 机床数控

机床数控即指机床数控技术,它是用数字化信息对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法。其通过加工程序编制工作,将其控制指令以数字信息(即数字码和文字码)的方式记录在信息介质上,经计算和处理后,对机床各种动作的顺序、位移量和速度等参数进行自动控制的一门技术。其控制对象是各类机床,包括金属切削机床、压力加工机床、电加工机床、激光加工机床等等。

3) 数控加工

数控加工是泛指在数控机床上进行零件加工的工艺方法。

1.1.2 数控机床的产生和发展

数控机床源于美国。20世纪50年代初,出于军事工业发展的需要,美国麻省理工学院在美空军后勤部的资助下,与美国PARSONS公司合作,于1952年3月研制成功了世界上第一台有信息存储和处理功能的新型机床——三坐标数控铣床。数控技术从此快速发展并推广至欧洲、日本等国。

数控机床的控制系统经历了从电子管、晶体管、集成电路、计算机、微处理机控制到数字控制六代的演变。数控机床的类型,也已从最初的铣床类数控机床,发展到如今的铣镗类、车削类、磨削类、钻削类、线切割类、电化学类、锻压类、激光类和其他特殊用途的专用数控机床等多达千余种品种。

在国外数控机床中,产量最多的仍是普通数控机床(特别是数控车床),其次是加工中心(机床),现已发展到了较为成熟的柔性制造单元(简称FMC)和柔性制造系统(简称FMS),超级数控机床——计算机集成制造系统(简称CIMS)也已开始应用于生产。其所采用的数控系

统(计算机)已发展到 64 位机和多 CPU 系统;可控坐标轴数 20 轴以上,联动坐标轴数 10 轴以上;分辨率(最小设定单位)普遍达到 $0.01\sim 0.001\text{ mm}$,少数机床已发展到 0.0001 mm ;快速行程也提高到了 240 m/min 。

目前,美国、日本、德国、法国及俄罗斯等国家的数控机床已进入大批量生产阶段,其中以日本发展最快。1977 年,日本年产数控机床仅 5 000 多台,1990 年就已发展到年产 60 000 多台,数控化率达 70%,居世界第一位。目前先进的国家中具有代表性的数控公司(或厂家)有日本的法那克公司、德国的西门子公司、美国的 A-B 公司、西班牙的法格公司、意大利的 ABOSZA 公司和法国的 NUM 公司等。

我国数控机床的研制工作是从 1958 年开始的,由北京机床研究所和清华大学率先研制了电子管式开环步进驱动的数控机床。1972 年,集成数字电路的数控系统在清华大学研制成功之后,数控技术开始在车、铣、钻、镗、磨及齿轮、电等加工领域推广应用,其中以数控线切割机床发展最快。到“八五”末期,我国数控机床的品种已有 500 多个,年产量已达 1 000 台的水平。

1.1.3 数控机床的特点

与普通机床相比,数控机床具有以下主要特点:

1) 柔性好,即对零件的适应性强为单件、小批量零件加工及新产品试制提供了极大的便利,也方便了改型设计后零件的加工。

2) 加工精度高数控机床加工精度,一般可达 $0.005\sim 0.1\text{ mm}$ 之间,数控机床是按数字信号形式控制的,数控装置每输出一个脉冲信号,则机床移动部件移动一个脉冲当量(一般为 0.001 mm),而且机床进给传动链的反向间隙与丝杠螺距平均误差可由数控装置进行补偿,因此,数控机床定位精度比较高。

3) 加工质量稳定、可靠加工同一批零件,在同一机床,在相同加工条件下,使用相同刀具和加工程序,刀具的走刀轨迹完全相同,零件的一致性,质量稳定。

4) 生产率高数控机床可有效地减少零件的加工时间和辅助时间,数控机床的主轴转速和进给量的范围大,允许机床进行大切削量的强力切削,数控机床目前正进入高速加工时代,数控机床移动部件的快速移动和定位及高速切削加工,极大地提高了生产率,另外配合加工中心的刀具使用,实现了在一台机床上进行多道工序的连续加工,减少了半成品的工序间周转时间,提高了生产率。

5) 能加工复杂型面数控机床可以加工普通机床难以加工的复杂型面的零件。

6) 劳动条件好数控机床加工前经调整后,输入程序并启动,机床就能自动连续地进行加工,直至加工结束。操作者主要是进行程序的输入、编辑、装卸零件、刀具准备、加工状态的观测,零件的检验等工作,劳动强度大大降低,机床操作者的劳动趋于智力型工作。另外,机床一般是封闭式加工,既清洁,又安全。

7) 利于生产管理现代化数控机床的加工,可预先精确估计加工时间,所使用的刀具、夹具可进行规范化、现代化管理。数控机床使用数字信号与标准代码为控制信息,易于实现加工信息的标准化,目前已与计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)有机地结合起来,是现代集成制造技术的基础。

1.2 数控机床的工作原理和组成

1.2.1 数控机床的工作原理

1) 数控机床的工作过程

数控机床的工作过程如图 1-1 所示。

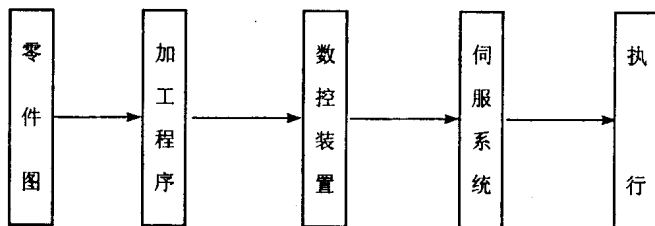


图 1-1 数控机床的工作过程

(1) 根据零件图给出的各项内容(形状、尺寸、材料及技术要求等)编制出零件的数控加工程序。

(2) 零件的数控加工程序通过存储介质输送给数控装置。也可通过输入键盘将零件的数控加工程序直接输送给数控装置。

(3) 数控装置将所接受的信号进行处理,再将处理结果以电信号形式向伺服系统发出执行的命令。

(4) 系统接到执行的指令后,驱动机床进给机构严格按照指令要求运动,完成响应零件的自动加工。

2) 数控机床的工作原理

数控装置根据接受的信号,控制机床主运动的变速、起停,进给运动的方向、速度和位移大小以及其他如刀具选择、工件夹紧松开和冷却润滑的起、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给定的顺序、轨迹和参数进行工作,从而加工出符合要求的零件。

1.2.2 数控机床的组成

数控机床通常由存储介质,输入、输出装置,数控装置,伺服系统,检测反馈系统和机床的机械部件组成,如图 1-2 所示。

1) 存储介质

编好的数控程序须存放在某种存储介质上,如穿孔纸带、磁带或磁盘等。目前最常用的是八单位标准穿孔纸带和磁盘。

2) 输入、输出装置

存储介质上记载的加工信息需要输入装置输送给机床数控系统,机床内存中的零件加工程序可以通过输出装置传送到存储介质上。输入、输出装置是机床与外部设备的接口,目前输入装置主要有纸带阅读机、软盘驱动器、RS232C 串行通信口、MDI 方式等。

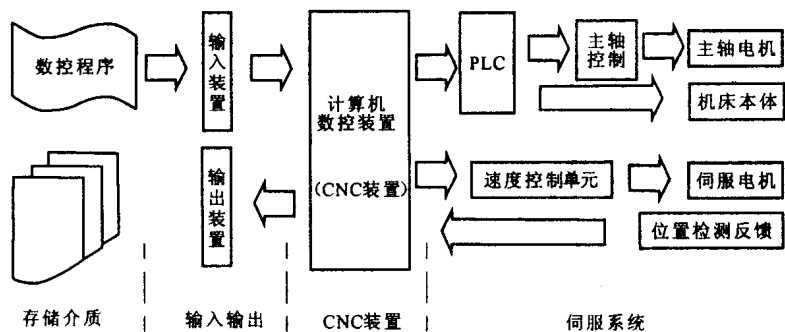


图 1-2 数控机床的组成

3) 数控装置

数控装置是数控机床的核心,它接受输入装置送到的数字化信息,经过数控装置的控制软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后,将各种指令信息输出给伺服系统,使设备按规定的动作执行。

4) 伺服系统

伺服系统包括伺服驱动电机、各种伺服驱动元件和执行机构等,它是数控系统的执行部分。它的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床移动部件的运动。每一个脉冲信号使机床移动部件移动的位移量叫做脉冲当量(也叫最小设定单位)。常用的脉冲当量为 0.001 毫米/脉冲。每个进给运动的执行部件都有相应的伺服驱动系统,整个机床的性能主要取决于伺服系统。常用的伺服驱动元件有直流伺服电机、交流伺服电机、电液伺服电机等。

5) 检测反馈系统

检测反馈装置的作用是对机床的实际运动速度、方向、位移量以及加工状态加以检测,把检测结果转化为电信号反馈给数控装置,通过比较,计算出实际位置与指令位置之间的偏差,并发出纠正误差指令。测量反馈系统可分为半闭环和闭环两种系统。半闭环系统中,位置检测主要使用感应同步器、磁栅、光栅、激光测距仪等。

6) 机床的机械部件

机床的机械部件是加工运动的实际机械部件,主要包括:主运动部件,进给运动执行部件(如工作台、刀架)和支承部件(如床身、立柱等),还有冷却、润滑、转位部件,如夹紧、换刀机械手等辅助装置。

1.3 数控机床的分类

同普通机床一样,数控机床的分类方法很多,常见的有以下几种。

1.3.1 按工艺用途分类

- (1) 数控车床(NC Lathe);
- (2) 数控铣床(NC Milling Machine);
- (3) 加工中心(Machine Center);
- (4) 数控钻床(NC Drilling Machine);

- (5) 数控镗床(NC Boring Machine);
- (6) 数控齿轮加工机床(NC Gear Holling Machine);
- (7) 数控平面磨床(NC Surface Grinding Machine);
- (8) 数控外圆磨床(NC External Cylindrical Grinding Machine);
- (9) 数控轮廓磨床(NC Contour Grinding Machine);
- (10) 数控工具磨床(NC Tool Grinding Machine);
- (11) 数控坐标磨床(NC Jig Grinding Machine);
- (12) 数控电火花加工机床(NC Diesinking Electric Discharge Machine);
- (13) 数控线切割机床(NC Wire Electric Discharge Machine);
- (14) 数控激光加工机床(NC Laser Beam Machine);
- (15) 数控冲床(NC Punching Press);
- (16) 数控超声波加工机床(NC Ultrasonic Machine);
- (17) 其他(如三坐标测量机等)。

1.3.2 按运动方式分类

1) 点位控制系统(Positioning Control)

只控制刀具相对于工件定位点的位置,不控制点与点之间的运动轨迹,移动过程中不进行切削加工。如坐标镗床、钻床和冲床等,图 1-3(a)表示数控钻床的工作原理。为了提高设备的生产率和保证定位精度,通常采用机床设定的最高进给速度快速移动,在接近终点前进行分级或连续降速,减少因运动部件惯性产生的定位误差。

2) 直线控制系统(Straight-line Control)

直线控制系统是控制刀具或机床工作台以给定速度,沿平行于某一坐标轴方向,或沿着与坐标轴成一定角度的斜线方向,由一个位置到另一个位置的精确移动并进行切削加工。直线控制系统也称点位直线控制系统,如数控车床、数控铣床等,如图 1-3(b)所示。

3) 轮廓控制系统(Contour Control)

轮廓控制系统的特点是对两个或两个以上的坐标轴同时进行控制,它不仅要控制机床移动部件的起点与终点坐标,而且要控制整个加工过程的每一点的速度、方向和位移量,即要控制加工的轨迹,加工出要求的轮廓。运动轨迹是任意斜率的直线、圆弧、螺旋线等,又称连续控制。如数控铣床、加工中心、数控绘图机等,图 1-3(c)表示多坐标轮廓控制系统。

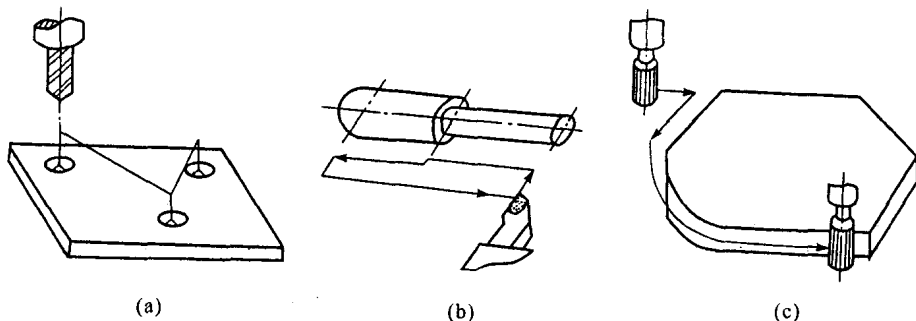


图 1-3 数控机床类型

1.3.3 按控制方式分类

1) 开环控制系统(Open Loop Control)

开环控制系统是指不带反馈的控制系统,即系统没有位置反馈元件,通常用功率步进电机或电液伺服电机作为执行机构。输入的数据经过数控系统的运算,发出指令脉冲,通过环形分配器和驱动电路,使步进电机或电液伺服电机转过一个步距角。再经过减速齿轮带动丝杠旋转,最后转换为工作台的直线移动。如图 1-4 所示。移动部件的移动速度和位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数所决定。

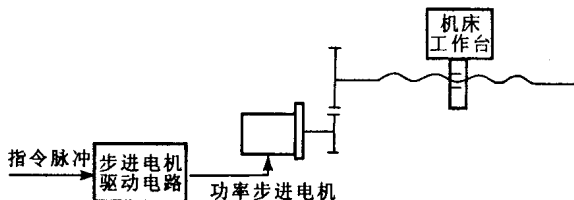


图 1-4 开环控制系统

这种控制系统的特点是系统简单,调试维修方便,工作稳定,成本较低。由于开环系统的精度主要取决于伺服元件和机床传动元件的精度、刚度和动态特性,因此控制精度较低。目前国内多用于经济型数控机床,以及对旧机床的改造。

2) 闭环控制系统(Closed Loop Control)

闭环控制系统是在机床移动部件上直接装有位置检测装置,将测量的结果直接反馈到数控装置中,与输入的指令位移进行比较,用偏差进行控制,使移动部件按照实际的要求运动,最终实现精确定位。

闭环控制系统中机床工作精度主要取决于测量元件的精度,并不取决于传动系统精度。因此,采用高精度测量元件可以使闭环控制系统达到很高工作精度。闭环伺服系统的优点是精度高、速度快,主要用在精度要求较高的数控镗铣床、数控超精车床、数控超精镗床等机床上,如图 1-5 所示。

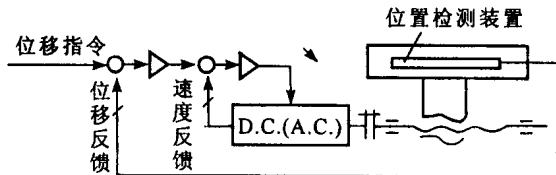


图 1-5 闭环控制系统

3) 半闭环控制系统(Semi-closed Loop Control)

半闭环控制系统是在开环系统的丝杠上装有角位移测量装置(如感应同步器和光电编码器等),通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的位移,然后反馈到数控系统中,如图 1-6 所示。由于惯性较大的机床移动部件不包括在检测范围之内,因而称作半闭环控制系统。

半闭环伺服系统的加工精度显然没有闭环系统高,但是由于采用了高分辨率的测量元件,这种控制方式仍可获得比较满意的精度和速度。系统调试比闭环系统方便,稳定性好,成本也比闭环系统低,是一般数控机床常用的伺服控制系统。

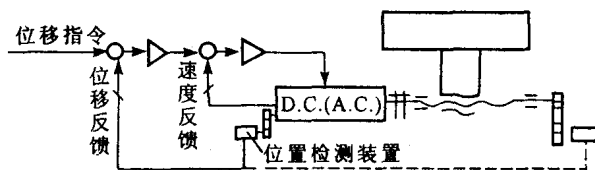


图 1-6 半闭环控制系统

1.3.4 按系统功能分类

1) 经济型数控机床

经济型数控机床的控制系统比较简单,通常采用以步进电机作为伺服驱动元件的开环控制系统,分辨率为 0.01 mm ,进给速度在 $8\sim 5\text{ m/min}$ 之间,最多能控制 3 个轴,可实现 3 轴三联动以下的控制,一般只有简单的 CRT 字符显示或简单数码管显示。数控系统多采用 8 位 CPU 控制。程序编制方便,操作人员通过控制台上的键盘手动输入指令与数据,或直接进行操作。经济型数控机床通常采用单板机或单片机数控系统,功能较简单,价格低廉,主要用于车床、线切割机床及旧机床的改造。

2) 全功能型数控机床

采用全功能数控系统,控制功能比较齐全,属于中、高档数控系统。通常采用半闭环的直流伺服系统或交流伺服系统,也采用闭环伺服系统。数控机床分普及型、高级型和超级型三类。

普及型数控机床采用 16 位或 32 位微处理机的数控系统,机床进给系统中采用半闭环的交流伺服或直流伺服驱动,能实现 4 轴四联动以下的控制,分辨率为 $1\text{ }\mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 20\text{ m/min}$,有齐全的 CRT 显示,能显示字符、图形和具有人机对话功能,具有 DNC (Direct Numerical Control) 直接数字控制通信接口。

高级型数控机床在数控系统中采用 32 位或 64 位微处理机,进给系统中采用高响应特性的伺服驱动,可控制 5 个轴,能实现 5 轴五联动以上控制,分辨率可达到 $0.1\text{ }\mu\text{m}$,进给速度为 $15\sim 100\text{ m/min}$,能显示三维图形,具有 MAP (Manufacturing Automation Protocol) 制造自动化通信接口,具有联网功能。

超级型数控机床,指已超越单机数控的概念,构成更为先进、功能更强、自动化程度更高的机床群。如柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等。

1.4 数控机床的发展趋势

1) 高速化

随着数控技术的不断发展,小型化、高分辨率、高集成度的数控系统不断产生。采用高速的 32 位以上的 CPU,使机床的分辨率和进给速度大为提高,如日本的 FANUC 15 系统开发出 64 位 CPU 系统,能达到最小移动单位 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 时,最大进给速度为 100 m/min 。FANUC 16 和 FANUC 18 采用简化与减少控制基本指令的 RISC(Reduced Instruction Set Computer)精简指令计算机,能进行更高速度的数据处理,使一个程序段的处理时间缩短到 0.5 ms ,连续 1 mm 移动指令的最大进给速度可达到 120 m/min 。现代数控机床主轴的最高转速可达到

10 000~20 000 r/min,采用高速内装式主轴电机后,使主轴直接与电机连接成一体,可将主轴转速提高到 40 000~50 000 r/min。

2) 高精度化

通过减少数控系统误差和采用补偿技术可提高数控机床的加工精度。在减少数控系统控制误差方面,可通过提高数控系统分辨率,提高位置检测精度(日本交流伺服电机已装上每转可产生 100 万个脉冲的内藏位置检测器,其位置检测精度可达到 0.01 毫米/脉冲)及在位置伺服系统中采用前馈控制与非线性控制等方法。补偿技术方面,除采用齿隙补偿、丝杠螺距误差补偿、刀具补偿等技术外,还开发了热补偿技术,减少由热变形引起的加工误差。

3) 多功能化

用一台机床实现全部加工来替代多机床和多装夹的加工,既能减少装卸时间,省去工序间搬运时间,又能保证和提高加工精度。如加工中心可进行铣、镗、钻等多种切削,实现自动换刀及自动更换工件等功能。

现代数控机床还可具有多种监控、检测和补偿功能。如刀具磨损检测、系统精度及热变形检测,刀具半径补偿、刀尖补偿、螺距补偿等。利用键盘、显示器可实现程序的输入、编辑、修改等功能。

4) 智能化

(1) 在数控系统中引进适应控制技术 自适应控制(Adaptive Control,简称 AC)是在加工过程中随时实测某些能代表加工状态的参数,如切削力、切削温度等,通过评价函数计算和最佳化处理,对主轴转速、刀具(或工作台)进给速度等切削用量参数进行校正,使数控机床能够始终在最佳的切削状态下工作,从而提高了加工表面的质量和生产率,提高刀具的使用寿命,获得良好的经济效益。数控机床中因工件毛坯余量不均、材料硬度不一致、刀具磨损、工件变形、润滑或冷却液等因素的变化将直接或间接影响加工效果,而采用 AC 技术可大大改善之。

(2) 自动检测、自动补偿功能 如根据加工时的热变形,对丝杠的伸缩自动补偿;对刀具进行破损检测,自动更换备用刀具等功能。

(3) 设置故障自诊断功能 数控机床工作过程中出现故障时,控制系统能自动诊断,并立即采取措施排除故障,以适应长时间在无人环境下的正常运行要求。

(4) 具有人机对话自动编程功能 可以把自动编程机具有的功能,装入数控系统,使零件的程序编制工作可以在数控系统上,用人机对话方式在线进行操作,实现程序的输入、编辑和修改。

(5) 应用图像识别和声控技术 由机床自己辨别图样,并自动地进行数控加工的智能化技术和根据人的语言声音对数控机床进行自动控制的智能化技术。

5) 高可靠性

高可靠性的数控系统是提高数控机床可靠性的关键。为此主要采用以下措施:

(1) 提高数控系统的硬件质量 选用高质量的印制电路和元器件,对元器件进行严格的筛选,建立稳定的制造工艺及产品性能测试等一整套质量保证体系。在新型的数控系统中采用大规模、超大规模集成电路实现三维高密度插装技术,进一步把典型的硬件结构集成化,做成专用芯片,提高了系统的可靠性。

(2) 模块化、标准化、智能化 现代数控机床均采用 CNC 系统,数控系统的硬件由多种功

能模块制成,对于不同功能的模块可根据机床数控功能的需要选用,并可自行扩展,组成满意的数控系统。在CNC系统中,只要改变一下软件或控制程序,就能制成适应各类机床不同要求的数控系统。数控系统向模块化、标准化、智能化“三化”方向发展,便于组织批量生产,有利于质量和可靠性的提高。

(3) 完善质量保证体系 现代数控机床都装备有各种类型的监控、检测装置,以及具有故障自动诊断与保护功能。能够对工件和刀具进行监测,发现工件超差,刀具磨损、破裂,能及时报警,给予补偿,或对刀具进行调换,具有故障预报和自恢复功能,保证数控机床长期可靠地工作。数控系统一般能够对软件、硬件进行故障自诊断,能自动显示故障部位及类型,以便快速排除故障。此外系统中注意增强保护功能,如行程范围保护功能。断电保护功能等,以避免损坏机床、工件报废。

6) 综合自动化、集成化

现代制造技术正在向机械加工综合自动化、集成化的方向发展。如计算机直接数控系统(DNC),柔性制造系统(FMS),以及计算机集成制造系统(CIMS)等高新技术的制造系统。为适应这种技术发展的趋势,要求现代数控机床具有各种自动化监测手段和对于联网通信技术的不断完善和发展。