

21世纪高职高专规划教材·数控专业

数控机床电气 控制技术

北京希望电子出版社

朱自勤

田宏宇

陈杰平

薛明君

总策划

主编

副主编

主审

中国林业出版社
China Forestry Publishing House
www.cfph.com.cn



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

21世纪高职高专规划教材·数控专业

数控机床电气 控制技术

北京希望电子出版社 总策划
朱自勤 主 编
田宏宇 陈杰平 副主编
薛明君 主 审

中国林业出版社
China Forestry Publishing House
www.cfph.com.cn



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

内 容 简 介

本书为21世纪高职高专规划教材之一。书中系统地介绍了数控机床电气控制的特点、数控机床的组成、数控机床位置检测装置、驱动电机、驱动装置、数控机床伺服系统、数控系统的组成、PLC在数控机床电气控制中的应用、数控机床电气控制技术应用举例、数控机床电气故障维修基础等内容。

本书内容丰富,重点突出,重视实践技能的培养。本书可作为高职高专、中职数控技术应用专业、机电一体化专业的教材,也可作为从事数控机床工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床电气控制技术 / 朱自勤主编. —北京: 中国林业出版社;
北京希望电子出版社, 2006.1
21 世纪高职高专规划教材·数控专业
ISBN 7-5038-4097-8

I.数.. II.朱... III.数控机床—电气控制—高等学校: 技术学校—
教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 106623 号

出版: 中国林业出版社 (100009 北京市西城区刘海胡同 7 号 010-66184477)
北京希望电子出版社 (100085 北京市海淀区上地 3 街 9 号金隅嘉华大厦 C 座 611)
网址: www.bhp.com.cn 电话: 010-82702660 (发行) 010-62541992 (门市)
印刷: 北京媛明印刷厂
发行: 全国新华书店经销
版次: 2006 年 1 月第 1 版
印次: 2006 年 1 月第 1 次
开本: 787×1092mm 1/16
印张: 16.5
字数: 374 千字
印数: 0001~3000 册
定价: 22.00 元

序

近几年来,我国的高等职业教育取得了令人瞩目的成就。一方面,伴随着高等教育大众化的步伐,高等职业教育的规模迅速扩大,如今的高职教育已经成为我国高等教育的重要组成部分;另一方面,随着高职教育领域里理论研究与实践探索的不断深入,高等职业教育培养人才的质量不断提高。高等职业教育在国家建设和国民经济发展中的重要地位与作用已经得到了全社会的普遍认同。

但是,在高等职业教育迅速发展的同时,也存在着一些亟待解决的问题。首先,从规模与结构上来讲,毕业生的人数与专业的构成在相当程度上还无法满足经济发展的要求,众所周知,数控技术、汽车维修等领域,人才的缺口很大。其次,高等职业教育培养人才的质量与社会需求之间还存在着一定的差距,而产生这一差距的主要原因就是现行的课程体系无法满足高等职业教育的需求,因此,课程的改革与建设已经成为我国高等职业教育发展的重点与难点,其中教材的建设,尤其是精品教材的建设更显得尤为迫切和重要。

为解决目前数控技术专业教材不足,尤其是高水平的教材严重短缺的问题,由北京希望电子出版社与北京联合大学机电学院等十几所院校共同策划、组织、编写了这套数控技术专业系列教材。本套教材最大的特点就是突出“实用性”,因此在编写过程中除了在形式上吸收借鉴了一些先进的课程、教材开发的理念与方法外,在内容上更加注重与生产实际和岗位需求的联系。同时,本套丛书在策划阶段聘请了北京机床研究所的副总工艺师金福吉(第一届全国数控技能大赛副总统裁判长、2005年北京市职工数控技能大赛副总统裁判长)、北京夏金宇模具科技有限公司总工艺师周维泉(第一届全国数控技能大赛技术工作委员会专家、2005年北京市职工数控技能大赛数控车床裁判长)作为编委会的企业顾问,两位专家具有丰富的实践经验,他们对于整套教材的编写工作提出了很多宝贵的意见和建议,最后又由他们担任主审,对每本教材都给予了严格的把关,保证了数控加工工艺、数控加工程序的正确性。希望本套教材为我国的高等职业教育数控技术专业的课程体系建设添砖加瓦。

全国高等学校制造自动化研究会理事会理事 张恩祥

前 言

本书是面向 21 世纪高职高专规划教材,较全面地介绍了数控机床电气控制技术领域的最新知识及应用,注重理论与实践的紧密结合。

本书由 9 章构成。第 1 章介绍了数控系统的组成、工作原理、特点、分类和发展水平;第 2 章介绍了常用的位置检测装置;第 3 章介绍了驱动电机,包括步进电动机、伺服电动机和主轴电动机;第 4 章介绍了驱动装置;第 5 章介绍了数控机床伺服系统;第 6 章介绍了数控系统的组成;第 7 章介绍了 PLC 在数控机床电气控制技术中的应用;第 8 章介绍了数控机床电气控制技术中的应用实例;第 9 章介绍了数控机床电气故障与维修基础。本书每章后均附有大量练习题。

本书内容丰富、取材新颖、重点突出,重视知识的应用及实践技能的培养。本书可作为高等职业技术教育及职大、开放性教育的教材,也可供数控和机电类工程技术人员参考。

本书由朱自勤主编,田宏宇、陈杰平副主编,史增芳主审,同时参与本书编写工作的还有庄严、王宏颖和彭巍。本书第 1、6 章由朱自勤编写,第 2、3、5 章由田宏宇编写,第 4 章由庄严编写,第 7 章陈杰平编写,第 8 章由王宏颖编写,第 9 章由彭巍编写。

本书在编写过程中得到了河南工业职业技术学院韩全力、黄宗建和冯硕的大力支持,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有缺点和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 绪论	1	3.1.1 步进电动机的工作原理	25
1.1 数控系统的组成及工作原理	1	3.1.2 步进电动机的主要工作特性	28
1.1.1 数字控制技术	1	3.1.3 步进电动机的选用	29
1.1.2 数控机床的组成及工作原理	1	3.2 伺服电动机	31
1.2 数控机床的特点及分类	3	3.2.1 直流伺服电动机	32
1.2.1 数控机床的特点	3	3.2.2 交流伺服电动机	35
1.2.2 数控机床的分类	4	3.3 主轴电动机	36
1.3 数控机床的发展水平和趋势	9	3.3.1 直流主轴电动机	37
1.3.1 数控机床的发展趋势	9	3.3.2 交流主轴电动机	38
1.3.2 数控系统的发展趋势	10	3.4 思考与练习题	39
1.3.3 伺服系统的发展趋势	11	第4章 驱动装置	40
1.3.4 自适应控制的应用	11	4.1 概述	40
1.4 思考与练习题	12	4.1.1 驱动装置分类	40
第2章 位置检测装置	13	4.1.2 功率器件	42
2.1 概述	13	4.2 步进驱动装置	57
2.1.1 位置检测装置的要求	13	4.2.1 环形分配器	58
2.1.2 位置检测装置的分类	13	4.2.2 驱动放大电路	60
2.2 脉冲编码器	14	4.2.3 步进电动机的微机控制	64
2.2.1 增量式脉冲编码器	14	4.3 晶闸管直流驱动装置	66
2.2.2 绝对式旋转编码器	16	4.3.1 直流电动机的调速控制	66
2.2.3 脉冲编码器在数控机床中 的应用	17	4.3.2 晶闸管直流调速系统	67
2.3 光栅位置检测装置	18	4.4 直流脉宽调制驱动装置	71
2.3.1 光栅种类	19	4.4.1 PWM 主回路	71
2.3.2 直线透射光栅的组成及工作 原理	19	4.4.2 PWM 控制回路	72
2.3.3 直线光栅检测装置的辨向	20	4.4.3 FANUC PWM 直流进给 驱动	77
2.3.4 提高光栅分辨精度的措施	21	4.5 交流异步电动机驱动装置	79
2.3.5 光栅检测装置的特点	22	4.5.1 交流调速的基本概念	79
2.4 磁栅位置检测装置	22	4.5.2 正弦波脉宽调制 (SPWM)	80
2.4.1 磁性标尺	22	4.5.3 通用变频器	82
2.4.2 拾磁磁头及工作原理	22	4.5.4 矢量变换变频调速	88
2.5 思考与练习题	24	4.5.5 矢量变换 SPWM 变频调速 实例	90
第3章 驱动电机	25	4.6 交流同步电动机驱动装置	94
3.1 步进电动机	25	4.6.1 永磁同步电动机的自控变频	

控制	95
4.6.2 永磁同步电动机矢量变频 控制	97
4.7 思考与练习题	98
第 5 章 数控机床伺服系统	100
5.1 概述	100
5.1.1 伺服系统的组成	100
5.1.2 数控机床对进给伺服系统 的要求	102
5.2 位置控制	103
位置比较实现的方法	103
5.3 主轴定向控制	107
5.3.1 主轴定向控制的作用	108
5.3.2 主轴定向控制的实现方式	108
5.4 全数字式伺服系统	109
5.4.1 全数字式伺服系统的构成	109
5.4.2 全数字式伺服系统的特点	110
5.5 思考与练习题	110
第 6 章 数控系统的组成	111
6.1 经济型数控系统	111
6.1.1 经济型数控系统的组成	111
6.1.2 微机系统	111
6.1.3 外围电路	112
6.1.4 软件结构	113
6.2 标准型数控系统	115
6.2.1 标准型数控系统的基本组成	115
6.2.2 标准型数控系统的硬件结构	116
6.2.3 标准型数控系统的软件结构	118
6.3 数控系统中的通信接口	126
6.3.1 异步串行通信接口	126
6.3.2 网络通信接口	127
6.4 典型数控系统介绍	128
6.4.1 FANUC 数控系统简介	128
6.4.2 FANUC 数控系统功能特点	129
6.4.3 FANUC 数控系统系统构成	130
6.4.4 SIEMENS 数控系统	133
6.4.5 SIEMENS 数控系统功能特点	135
6.4.6 SIEMENS 数控系统控制 面板	135

6.4.7 SIEMENS 数控系统工作 方式选择	137
6.4.8 SIEMENS 数控系统构成	139
6.5 开放式数控系统	145
6.5.1 开放式数控系统特点	145
6.5.2 华中 I 型数控系统	146
6.5.3 PMAC 控制器	147
6.6 思考与练习题	149
第 7 章 PLC 在数控机床电气控制中的应用	150
7.1 可编程控制器概述	150
7.1.1 可编程控制器的基本知识	150
7.1.2 可编程控制器的构成	152
7.1.3 可编程控制器的基本指标	158
7.1.4 可编程控制器基本工作过程 举例	160
7.2 数控机床的可编程控制器	161
7.2.1 数控机床的可编程控制器 的控制对象	161
7.2.2 FANUC PMC 的信号地址	162
7.2.3 数控机床常用输入/输出元件	164
7.3 FANUC PMC 指令系统	166
7.3.1 概述	166
7.3.2 FANUC PMC 基本指令	167
7.3.3 FANUC PMC 功能指令	170
7.4 PLC 在数控机床电气控制中的应用	177
7.4.1 主轴定向控制	177
7.4.2 主轴正/反转控制	178
7.4.3 齿轮换挡控制	181
7.4.4 刀库选刀控制	183
7.4.5 润滑系统自动控制	185
7.5 思考与练习题	186
第 8 章 数控机床控制技术应用实例	187
8.1 普通车床数控改造	187
8.1.1 机械结构改造	187
8.1.2 数控系统	189
8.1.3 机床操作面板	191
8.1.4 进给驱动及步进电动机	191
8.1.5 电气控制	193
8.1.6 调试	195

8.2	XH714 立式加工中心电气控制	196	9.2.2	主轴伺服系统的故障分析与 维修	237
8.2.1	机床简介	196	9.2.3	进给伺服系统的故障分析与 维修	238
8.2.2	数控系统	198	9.3	位置检测系统的故障分析与维修	241
8.2.3	伺服系统	200	9.4	数控机床 PLC 的故障分析与维修	242
8.2.4	I/O 控制	202	9.4.1	数控机床 PLC 故障的表现 形式	242
8.2.5	电源	205	9.4.2	数控机床 PLC 故障诊断的 方法	244
8.3	思考与练习题	205	9.5	电源维护及故障诊断	249
第 9 章	数控机床电气故障与维修基础	207	9.5.1	电源配置	249
9.1	数控机床维修概述	207	9.5.2	通过电气原理图诊断电源 故障	250
9.1.1	维修的基本要求	207	9.5.3	负载对地短路的故障诊断	251
9.1.2	常见故障分类	211	9.6	思考与练习题	252
9.1.3	故障的常规处理方法	213	参考文献		253
9.1.4	预防性维护方法	215			
9.1.5	常用的故障自诊断技术	216			
9.1.6	常用的故障检查方法	220			
9.1.7	常用的片级维修方法	226			
9.2	伺服系统的故障分析与维修	236			
9.2.1	伺服系统概述	236			

第1章 绪论

本章知识

- 数控系统的组成及工作原理
- 数控机床的特点及分类
- 数控机床的发展水平和趋势

1.1 数控系统的组成及工作原理

1.1.1 数字控制技术

数字控制 (Numerical Control), 简称 NC, 是近代发展起来的用数字化信息进行控制的自动控制技术。数字控制系统有如下特点:

- (1) 可用不同的字长表示不同的精度的信息, 表达信息准确;
- (2) 可进行逻辑、算术运算, 也可以进行复杂的信息处理;
- (3) 可不用改动电路或机械机构, 通过改变软件来改变信息处理的方式过程, 具有柔性化。

由于数字控制系统具有上述特点, 故被广泛应用于机械运动的轨迹控制。例如, 数控机床、工业机器人、数控线切割机、数控火花切割机。

数控系统的硬件基础是数字逻辑电路。最初的数控系统是由数字逻辑电路构成的, 因而被称之为硬件数控系统 (NC)。采用了计算机或微型计算机的数控系统称之为计算机数控系统 (Computer Numerical Control), 简称 CNC。CNC 柔性好、功能强、可靠性高, 经济性好及易于实现机电一体化, 使数控在质的方面完成了一次飞跃。

1.1.2 数控机床的组成及工作原理

1. 数控机床的组成

采用数控技术控制的机床, 或者说装备了数控系统的机床, 称之为数控机床。现有数控机床都采用计算机 (微型计算机) 作为控制中心, 其组成如图 1-1 所示。

(1) 加工程序 数控机床是按照输入的工件加工程序运行的。工件加工程序中, 包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数 (进给量、主轴转速等) 和辅助运动等加工所需的全部信息。程序载体就是存储工件加工程序的媒介物。

(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等。有时为了用户方便, 数控机床可以同时具备几种输入装置。

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

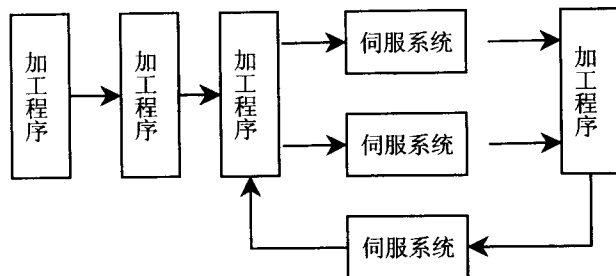


图 1-1 数控机床组成框图

(3) CNC 单元 CNC 单元是数控机床的核心。它包括微型计算机 (CPU、存储器、各种 I/O 接口)、通用输入/输出 (I/O) 外围设备 (如 CRT/LED 显示器、键盘、操作控制面板等) 以及相应的软件。它具备的主要功能有多坐标控制和多种函数的插补 (如直线、圆弧等); 多种程序输入功能以及编辑和修改功能; 信息转换功能; 补偿功能; 多种加工方法选择; 显示功能, 用数码显示器 LED 可显示刀具在各坐标轴上的位置, 用 CRT (阴极射线管) 显示器可显示字符、轨迹、平面图形和动态三维图形; 自诊断功能; 通信和联网功能。

(4) 伺服系统 伺服系统是数控系统的执行部分。它接受来自 CNC 单元的指令信息, 经功率放大后, 严格按照指令信息的要求驱动机床的运动部件, 完成指令规定的运动。伺服系统由伺服电动机以及驱动控制单元组成。它与数控机床的进给机械部件构成进给伺服系统, 一般来讲, 数控机床的伺服系统, 要求有好的快速响应性能和灵敏而准确地跟踪指令功能。

(5) 位置测量反馈系统 位置测量反馈分为数控机床执行部件的转角位移反馈和直线位移反馈两种。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, 输送给 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。

(6) 辅助控制装置 辅助控制装置的主要作用是接收 CNC 单元输出的主运动换向、变速、启停、刀具的选择和交换, 以及其他辅助装置动作等指令信号, 经过必要的编译、逻辑判别、运算和功率放大后直接驱动相应的电器, 带动机床机械部件、液压气动等辅助装置完成指令规定的动作。而机床上的限位开关等开关信号经辅助控制装置处理后送 CNC 单元进行处理。

由于可编程控制器 (PLC) 具有响应快、性能可靠、易于使用和编程的特点, 并可直接驱动机床电器, 现已广泛作为数控机床的辅助控制装置。

(7) 机床的机械部件 数控机床的机械结构, 除了主运动系统、进给系统及辅助部分, 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, 传动装置的间隙要求尽可能小, 滑动面的摩擦因数要小, 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。

2. 数控机床的工作原理

数控机床的工作原理在于数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的。

数控机床加工工件, 首先要将被加工工件图上的几何信息和工艺信息数字化, 用规定的代码程序格式编写加工程序, 并存储到程序载体内, 然后用相应的输入装置将所编的程序指

令输入到 CNC 单元。CNC 单元将程序(代码)进行译码、运算之后、向机床各个坐标的伺服系统和辅助控制装置发出信号,以驱动机床的各运动部件,并控制所需要的辅助动作,最后加工出合格的工件。

1.2 数控机床的特点及分类

1.2.1 数控机床的特点

1. 数控机床的加工特点

(1) 加工精度高 目前,数控机床控制的刀具或工作台最小移动量(脉冲当量)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系统进行补偿,因此,数控机床能达到很高的加工精度。对于中、小型数控机床,定位精度普遍可达 0.03mm ,重复定位精度为 0.01mm 。此外,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,制造精度高,数控机床的自动加工方式避免了人为的干扰因素,同一批工件的尺寸一致性好,产品合格率高,质量十分稳定。

(2) 生产效率高 工件加上所需的时间主要包括(机动)切削时间和辅助时间两部分。由于数控机床结构刚性好,允许进行大切削用量的强力切割;数控机床主轴转速和进给量的变化范围比普通机床大,因此每一道工序都可选用最佳的切削用量,这就提高了数控机床的切削效率,节省了机动时间。数控机床的移动部件空行程运动速度快(一般在 15m/min 以上,有些甚至达到 240m/min),工件装夹时间短,对刀、换刀快,更换被加工工件时几乎不需要重新调整机床,节省了工件安装调整时间。数控机床加工质量稳定,一般只作首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验,因此节省了停机检验时间。数控机床加工工件一般不需制作专用工装夹具,节省了工艺装备的设计、制造等准备工作的时间。由上述而知,数控机床的辅助时间比一般机床少,生产率高。在数控加工中心上加工时,一台机床实现了多道工序的连续加工,生产效率的提高更为明显。与普通机床相比,数控机床的生产率可提高 $2\sim 3$ 倍,有些可提高几十倍。

(3) 对加工对象的适应性强 在同一台机床上可适应不同品种及尺寸规格工件的自动加工,改变加工工件时,只需更换加工程序,就可改变加工工件的品种,这就为复杂结构的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的便利。特别是对那些普通机床很难加工或无法加工的精密复杂表面(如螺旋表面),数控机床也能实现自动加工。

(4) 良好的经济效益 数控机床虽然设备昂贵,加工时分摊到每个工件上的设备折口费较高,但在单件、小批量生产情况下,使用数控机床加工,可节省划线工时,减少调整、加工和检验时间,节省直接生产费用;同时还节省了工艺装备费用;数控机床加工精度稳定、减少了废品率,使生产成本进一步下降。此外,数控机床可实现一机多用,节省厂房面积,节省建厂投资。因此,使用数控机床仍可获得良好的经济效益。

(5) 自动化程度高 可大大减轻工人的劳动强度,减少操作人员的人数。同时有利于现代化管理,可向更高级的制造系统发展。

2. 数控机床的使用特点

(1) 数控机床操作、维修人员的要求较高 数控机床采用计算机控制, 伺服系统的技术复杂、机床精度要求很高, 其操作和维修均较复杂, 故要求操作、维修及管理人员具有较高的文化水平和技术素质。

数控机床的使用, 不但要对从事数控加工和维修人员进行培训, 而且与数控机床有关的工作人员都应进行数控加工技术知识的普及, 以利于数控机床高效能的发挥。

(2) 数控机床对夹具和刀具的要求 单件生产时, 一般采用通用夹具; 如果批量生产, 为节省加工工时, 应使用专用夹具, 并要求夹具定位可靠, 能自动夹紧或松开工件, 还应具有良好的排屑、冷却结构。数控机床的刀具应该具有以下特点:

- ① 较高的精度、寿命和几何尺寸稳定、变化小。
- ② 通常是可转位式刀具, 能实现机外预调、快速换刀。
- ③ 能很好地控制切屑的折断、卷曲和排出。
- ④ 具有良好的可冷却性能。

3. 数控机床的应用范围

数控机床具有一般机床所不具备的许多优点, 数控机床的应用范围正在不断扩大, 但目前它并不能完全代替普通机床, 也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控机床最适合加工具有以下特点的工件:

- (1) 多品种小批量生产的工件。
- (2) 形状结构比较复杂的工件。
- (3) 需要频繁改型的工件。
- (4) 价值昂贵, 不允许报废的关键工件。
- (5) 需要最少周期的急需工件。
- (6) 批量、较大精度、要求高的工件。

由于数控机床的自动化加工可减少操作工人, 生产效率高, 因此, 用数控机床加工, 在经济上也是可行的。

由于系统本身的复杂性, 又增加了维修的技术难度和维修费用。广泛推广数控机床的最大障碍是设备的初始投资大。

考虑到上述种种原因, 在决定选数控机床加工时, 需要进行科学的技术经济分析, 使数控机床发挥它最大的经济效益。

1.2.2 数控机床的分类

数控机床的种类很多, 为了便于了解和研究, 可以从不同的角度对其进行分类。

1. 按工艺用途划分

按工艺用途, 数控机床可分为以下类型:

(1) 金属切割类数控机床 和传统的通用机床品种相适应的数控机床有数控车床、铣床、镗床、钻床、磨床、齿轮加工机床等。装有刀库和自动换刀装置, 在一次装夹后, 可以进行多种工序加工的数控机床, 称为数控加工中心。数控加工中心目前主要有两类: 一类是在镗、

铣床基础上发展起来的,称为铣削加工中心;另一类是在车床基础上发展起来的,称为车削加工中心。

(2) 金属成型类数控机床 如数控折弯机、数控弯管机、数控转头压力机等。

(3) 特种加工及其他类型数控机床 如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床、数控火焰切割机、数控三坐标测量机等。

2. 按控制系统的特点划分

按控制系统的特点,数控机床可分为点位控制、点位直线控制和轮廓(连续轨迹)切削控制数控机床。

(1) 点位控制数控机床 这类数控机床的数控装置只要求精确地控制刀具相对于工件从一个坐标点到另一个坐标点的定位精度,而与轨迹运动无关。

(2) 点位直线控制数控机床 这类数控机床不仅要求具有准确的定位功能,而且要求从一点到另一点按直线运动进行切削加工。其路线一般是由和各轴线平行的直线段组成。运动时的速度是可以控制的,对于不同的刀具和工件,可以选择不同的切削用量。这一类数控机床包括:数控车床、数控镗铣床、加工中心等。一般情况下,这些机床有2~3个可控轴,但同时控制轴只有一个。

(3) 轮廓切削控制数控机床 这类数控机床能够对两个或两个以上坐标轴同时进行切削加工控制,它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标,而且能按需要严格控制刀具移动轨迹,以加工任意斜率的直线、圆弧、抛物线及其他函数关系的曲线或曲面。数控系统控制几个坐标按需要的函数关系同时协调运动,称之为坐标联动。按照联动轴数分,可以分为2轴联动、2.5轴联动、3轴联动、4轴联动、5轴联动等数控机床。2.5轴联动是3个主要坐标控制轴(X、Y、Z)中,任意两个轴联动,而另一轴是点位或点位直线控制。

3. 按伺服系统的类型划分

按伺服系统的类型,数控机床可分为开环、闭环和半闭环系统。

(1) 开环控制数控机床 这类数控机床不带位置检测反馈装置,CNC单元发出的指令信号流是单向的。这种系统一般用功率步进电动机做伺服驱动元件,当插补结果需要某个轴运动一个单位长度(即一个脉冲当量)时,向该轴伺服电路输出一个脉冲,经环形分配和功率放大后驱动步进电动机转动一步,通过丝杆转动使机床运动部件运动一个单位长度。开环数控系统结构如图1-2所示。

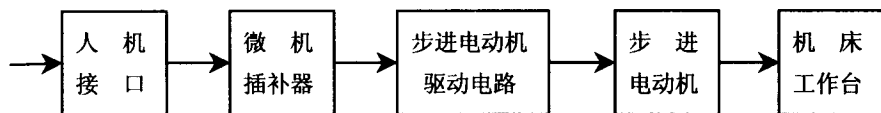


图 1-2 开环数控系统结构

开环数控系统具有工作稳定、调试方便、维修简单等优点。在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合得到广泛应用。在我国,经济型数控机床一般都采用开环数控系统。

(2) 闭环控制数控机床 这类数控机床的特点是装有位置测量反馈装置。加工中,直接安装在机床移动部件上的位移测量装置随时、不断地测量机床移动部件的实际位移,并将测

量到的实际位移值反馈到 CNC 单元中。插补得出的指令位移与反馈的实际位移相比较, 根据其差值控制电动机的转速, 进行误差修正, 直到位移误差消除为止, 如图 1-3 所示。

采用闭环系统可以消除由于机械传动部件的精度误差给加工精度带来的影响, 所以可以获得很高的精度。从理论上讲, 闭环系统的运动精度主要取决于测量装置的位移测量精度, 而与传动链的误差无关。闭环系统主要用于精度要求很高的数控镗铣床、数控车床、数控磨床等。

闭环控制系统一般采用直流或交流伺服电动机做伺服驱动元件。由于交流伺服驱动电动机具有结构简单、动态响应好、输出功率大、价格低等优点, 同时近年来新型功率开关器件、专用集成电路和新的控制算法的发展, 使交流伺服电动机在闭环控制系统中得到了广泛的应用, 交流伺服电动机正在逐步取代直流伺服电动机。闭环控制系统的工作特点对机床的结构以及传动链仍然提出了比较严格的要求, 传动系统的刚性不足及间隙的存在、刀架沿导轨的爬行等各种因素将增加调试的困难, 甚至会使数控机床的伺服系统工作时产生振荡。

(3) 半闭环控制数控机床 半闭环数控系统的位置测量装置安装在伺服电动机转动轴上或丝杆的端部, 也就是说反馈信号取自电动机轴或丝杆上, 而不是机床的最终运动部件。这种系统闭环环路内不包括机械传动环节, 机械传动的精度的误差将反映到被加工工件的精度中去。但由于半闭环控制系统可获得稳定的控制, 而机械传动环节带来的误差, 可用补偿的办法消除, 仍可获得满意精度。因此, 大多数数控机床采用半闭环系统。

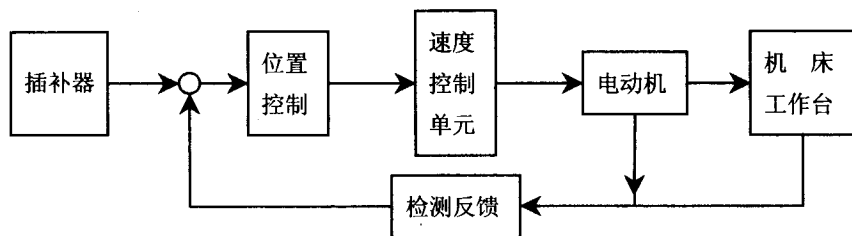


图 1-3 闭环系统结构

4. 按数控机床的功能水平划分

按照控制系统的功能水平可把数控机床分为高、中、低（经济型）3 种。但是，这种分类由于没有一个确切的定义，所以涵义不明确，但可以给人们一个清晰的一般水平性概念。数控机床水平的高低由主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平来决定。我们试图从以下几方面对高、中、低档数控机床进行分类：

(1) 主轴功能 主轴不能自动变速的为低档，可以自动无级变速的、甚至具有轴功能的数控机床（如数控车床）为中、高档。

(2) 分辨率和进给速度 分辨率为 $10\mu\text{m}$ 、进给速度在 $8\sim 15\text{m/min}$ 的为低档；分辨率为 $1\mu\text{m}$ ，进给速度在 $15\sim 24\text{m/min}$ 为中档；分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ ，进给速度在 $15\sim 100\text{m/min}$ 的为高档。

(3) 伺服进给类型 采用开环、步进电动机进给系统为低档；采用半闭环的直流伺服系统为中档；采用闭环控制的直流或交流伺服系统为高档。

(4) 联动轴数 低档数控机床联动轴数为 $2\sim 3$ 轴，中高档的则为 $3\sim 5$ 轴以上。

(5) 通信功能 低档数控机床一般无通信功能;中档可有 RS232C、RS485 等通信接口;高档的还有制造自动化协议 MAP (Manufacturing Automation Protocol) 通信接口,具有联网功能。

(6) 主 CPU 低档数控一般采用 8 位 CPU,中高档的数控已由 16 位 CPU 向 32 位 CPU 过渡,国外最新的数控已有选用 64 位 CPU,以提高运算速度。

(7) 显示功能 低档数控一般只有简单的数码显示或简单的 CRT 字符显示,而中档数控则具有较齐全的 CRT 显示,不仅有字符,而且有图形、人机对话、自诊断功能;高档数控还可以有三维图形显示。

(8) 内装 PLC 低档数控无内装 PLC,中高档数控都有内装 PLC,高档数控内装 PLC 功能很强,并具有轴控制的扩展功能。

5. 适应控制系统

闭环控制系统主要是监控工件和刀具的相对位置或移动轨迹的精度。机床根据事先编好的加工程序运动。在编程时无法考虑在实际加工时出现的一些其他因素,如工件加工余量的一致、工件材质的不均匀、刀具的磨损情况、切削力的变化等对加工过程产生影响。因此,加工过程往往不是处于最佳状态。为了提高切削效率和加工精度,机床的数控系统最好能在加工条件下改变机床的切削用量,以适应任一瞬时实际发生的加工情况。这种控制方法称为适应控制 (Adaptive Control, 简称 AC)。

由图 1-4 可知,适应控制与闭环控制的主要区别在于有一适应控制器,它的作用如下:通过装在机床上各个部位的传感器,将检测到的加工参数(如切削负载、刀具磨损量等)变化信息送到适应控制器,与预先存储的有关信息进行分析比较,然后发出校正指令给机床,自动调整机床的有关参数。这样,机床就具备“适应”加工过程的能力,成为适应控制机床。

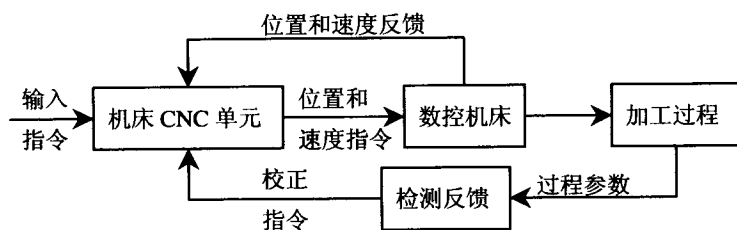


图 1-4 适应控制

适应控制机床的优点如下:

(1) 提高切削效率 适应控制能在满足加工质量的前提下,充分利用机床和刀具的切削能力,在加工过程中修正机床的进给量和切削速度,提高单位时间内切除金属的体积量。

(2) 提高加工质量 主要是提高加工工件的尺寸精度、形状和位置精度以及表面质量。适应控制在切削加工中可对刀具磨损、机床—刀具—工件系统的刚度和热变形进行监测,及时修正指令减少误差,提高加工质量。

(3) 降低成本 适应控制能够计算出最佳工艺参数控制机床,以缩短单件加工时间和提高刀具寿命,使单件加工成本降至最低。

(4) 防止切削过载 适应控制系统在加工中通过各种检测装置,监视诸如切削扭矩、切

削力、振动等过程参数,使它们在容许范围内,防止机床、刀具和工件由于过载而损坏。

(5) 简化编程 适应控制系统在加工中可根据实际的加工情况决定切削用量。此外,尚可自动决定快速和工作过程,减少空行程,决定最佳进给次数等,简化编程工作。

适应控制的分类方法很多,但总地来讲可分为几何适应控制和工艺适应控制两大类。几何适应控制的目的在于保证达到预定的加工精度或表面质量。用监控机床几何参数的办法,自动校正机床或刀具造成的位置误差,以提高加工精度。这种控制主要用在测量机的测量控制系统或精密加工中。工艺适应控制主要是为了提高生产率或充分发挥机床性能,主要用于粗加工或半精加工。

图 1-5 所示为铣床的工艺适应系统框图。为了充分利用机床功率,或者使机床负载恒定而进行适应控制机床时,可利用传感器检测主电动机的电流、扭矩或主轴的轴向推力等作为过程参数,将信号输入适应控制器,经处理后,适应控制器发出指令,改变机床的切削用量,以达到上述目的。

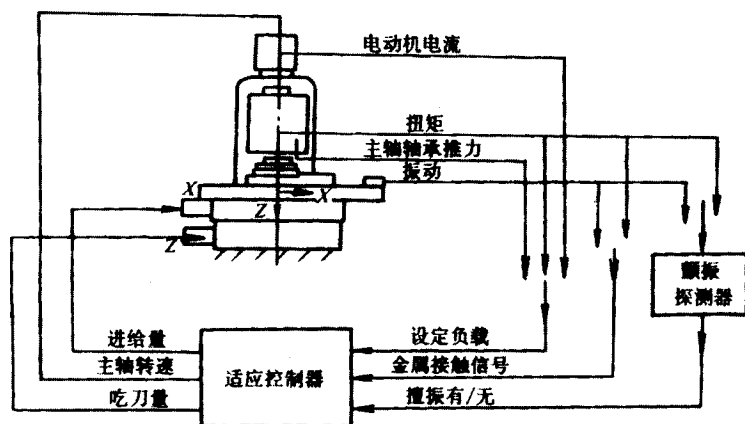


图 1-5 适应控制机床

铣削工件时,往往会产生机床的自激振动。使用检测振动的传感器,通过专门的振动探测装置将信号输入适应控制器,当振动发生时,自动改变切削用量,可有效地控制振动。

6. 直接数控系统

直接数控(Direct Numerical Control)系统,可以理解为用一台计算机直接控制一群机床。直接控制系统,简称为 DNC 系统,又称为群控系统。

中、小批量生产的工厂中,越来越多地使用数控机床。这些工厂中,加工工件种类多,更换频繁,因此,产生了 DNC 系统。这种系统将几台数控机床的 NC 数据,用一台计算机来集中管理,并由它将控制信息输入数控机床。

根据机床群联系方式的不同,DNC 系统可分为以下 3 种类型。

(1) 间接型 DNC 系统 间接型 DNC 系统是将已有的单台数控机床,配上主计算机联接而成的系统。主计算机通过接口装置,绕开原有的输入装置,将加工程序分别送到机床群中的每台数控机床。数控机床也可将执行情况,通过接口装置及时通知主计算机。间接型 DNC 系统内的数控机床,仍保留原有功能,可以脱离 DNC 系统而独立操作。

(2) 直接型 DNC 系统 直接型 DNC 系统内的数控机床, 简化了数控装置, 只由伺服驱动电路和操作面板组成机床控制器, 原来一般数控装置中的插补运算等功能, 全部集中由主计算机完成。这种系统内的数控机床不能脱离主计算机而单独工作。

DNC 系统, 除了以分时方式控制一群机床加工工件外, 还可与生产计划管理等结合在一起, 但需要较大容量的计算机, 这就限制了它的应用。

(3) 分布式 DNC 系统 分布式数控系统 (Distribute Numerical System) 就是为了克服上述缺点而产生的, 它的框图如图 1-6 所示。这种系统使用计算机网络, 协调各个 CNC 机床工作。最终可将该系统的主计算机与整个工厂的计算机联成网络, 以形成一个较大的、完整的制造系统。

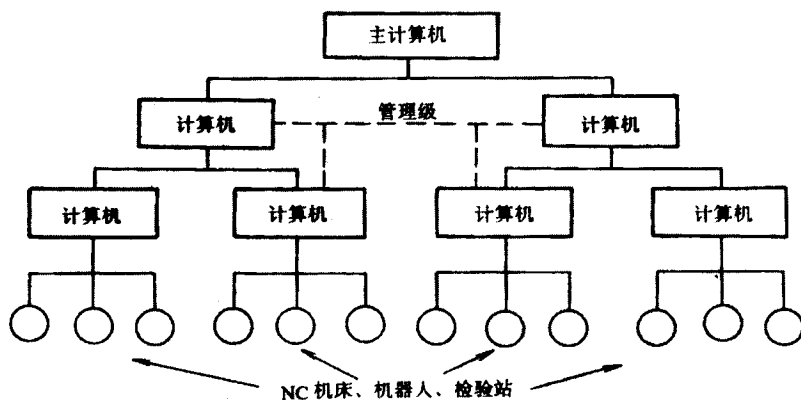


图 1-6 分布式数控系统

1.3 数控机床的发展水平和趋势

1.3.1 数控机床的发展趋势

数控机床总的发展趋势是工序集中、高速、高精度以及方便使用、提高可靠性。

1. 工序集中

加工中心机床使工序集中在一台机床上完成、减少了由于工序分散、工件多次装夹引起的定位误差, 提高了加工精度, 同时也减少了机床的台数与占地面积, 压缩了工序间的辅助时间, 有效地提高了数控机床的生产率和数控加工的经济效益。因此, 实现工序高度集中是当今数控机床的发展趋势。最近出现的一种车削加工中心, 具有多个刀具转塔和自驱刀具, 工件还可以自动换装到主轴上, 进行“背面”加工。这种车削加工中心, 可以进行多种工序加工, 如车、钻、铣、镗等加工, 还可进行多角形车削、攻螺纹、铣削螺纹、铣凸轮槽、滚花、刻字、利用可调角度的自驱刀具在斜面上进行加工。

2. 高速、高效、高精度

这 3 个方面是机械加工的目标, 数控机床因其价格昂贵, 因此在这 3 个方面的发展也就更为突出。