

SHU KONG JI SHU JI YING YONG SHU KONG JI SHU JI YING YONG

数控技术及应用

李文斌 霍亮生 杨树莲 安建伟 编著

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数控技术及应用/李文斌, 霍亮生, 杨树莲, 安建伟编著.
北京: 煤炭工业出版社, 2000. 8
ISBN 7-5020-1942-1

I. 数… II. ①李…②霍…③杨…④安… III. 数控机
床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 44044 号

数控技术及应用

李文斌 霍亮生 杨树莲 安建伟 编著

责任编辑: 郑发科 辛广龙

*
煤炭工业出版社 出版

(北京朝阳区霞光里 8 号 100016)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*
开本 787 × 1092mm $\frac{1}{16}$ 印张 21

字数 491 千字 印数 1 - 1,300

2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 次印刷

社内编号 4713 定价 29.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书以数控机床为研究对象,介绍了现代数控技术的各方面内容。全书共分七章,主要包括绪论,数控加工程序编制,数控插补运算及其实现,位置检测装置,数控机床的伺服系统,计算机数字控制装置的硬件及软件组成部分等内容,同时,也叙述了现代数控技术在工业中的应用。

本书题材新颖,内容详细深入,章节安排合理;书中融合了编著者多年的教学实践经验和科研成果,反映了现代数控技术发展的新水平;本书适合高等工科院校机械类、机电类本科生、研究生和成人高等教育作为教材使用,也可作为工程设计人员的参考书。

前 言

数控技术是柔性制造系统 (FMS) 和计算机集成制造系统 (CIMS) 的基础, 在现代机械制造过程中起着举足轻重的地位。它从 1952 年诞生以来, 随着计算机和控制技术的飞速发展, 其应用领域也从金属切削机床扩展到板材切割、冲压成型、折弯及轻工业。数控系统从两轴联动发展到五轴联动, 控制轴数从三轴发展到几十轴。驱动技术从电液伺服驱动、直流伺服电机、步进电机、交流伺服电机发展到直线电机、平面电机, 使得数控设备的机械传动越来越简化。近年来出现的快速成型设备和虚拟轴机床也给数控设备家族添了新成员, 使得数控理论不断完善。现在又开发出新型的开放式数控系统, 使得我们可以随心所欲构造新的数控系统, 给专用数控设备的技术开发带来极大的方便。

本书中第 1 章、第 6 章由李文斌同志编写; 第 2 章、第 5 章由霍亮生同志编写; 第 3 章由杨树莲同志编写; 第 7 章和附录由安建伟同志编写; 第 4 章由杨树莲同志和安建伟同志合编。全书由李文斌、霍亮生同志负责拟订大纲、组织编写和统稿。

本书在编写过程中兼顾基本知识的学习和新技术的了解, 适合广大相关专业的学生和从事有关数控技术研究的人员学习或参考。

由于作者的水平有限, 时间仓促, 书中难免有欠妥之处, 请读者不吝指教。

编 者

2000 年 7 月 10 日

目 录

第 1 章 绪论	1
1 数控技术的产生和特点	1
1.1 数控技术的特点	1
1.2 数控技术的产生	1
1.3 计算机数控	2
2 数控机床的组成和作用	2
2.1 数控机床的组成	3
2.2 数控机床各组成部分的作用	3
3 数字控制系统	4
3.1 数字控制系统的组成和分类	4
3.2 开环和闭环控制系统	4
3.3 点位控制系统与连续控制系统	5
3.4 多功能与经济型数控系统	6
3.5 适应控制系统	6
3.6 直接数控系统	8
4 数控技术的应用	8
4.1 数控技术在金属切削机床中的应用	8
4.2 数控技术在电加工机床中的应用	10
4.3 数控技术在工业机器人中的应用	11
4.4 CNC 三坐标测量机	12
5 数控技术的发展	13
5.1 数控机床和数控系统的发展	13
5.2 机械制造系统的发展	14
思考题	18
第 2 章 数控机床的加工程序编制	19
1 数控加工程序编制基础	19
1.1 数控编程的作用与目的	19
1.2 数控编程的内容和步骤	19
1.3 数控编程的方法	20
1.4 与数控编程有关的标准	21
2 手工编程	31
2.1 数控手工编程的工艺处理	31
2.2 手工编程的数学处理	34
2.3 数控加工常用基本指令	37
3 数控钻床的加工程序编制	41
3.1 孔加工程序编制的特点	41

3.2 孔加工手工编程举例	42
4 数控车床加工程序编制	45
4.1 车削程序编制的特点	45
4.2 车削加工手工编程举例	45
5 轮廓铣削加工的程序编制	47
6 数控自动编程简介	48
6.1 自动编程概述	48
6.2 数控自动编程系统的组成及特点	51
6.3 APT 自动编程系统	52
思考题	55
第3章 数控插补与刀补计算原理	56
1 概述	56
1.1 插补的基本概念	56
1.2 对插补算法的基本要求	56
1.3 插补方法分类	57
2 基准脉冲插补	57
2.1 逐点比较法	57
2.2 数字积分法	68
2.3 其它插补方法	76
3 数据采样插补	88
3.1 概述	88
3.2 直线函数法	89
3.3 扩展 DDA 算法	91
4 刀具半径补偿	95
4.1 刀具半径补偿的概念	95
4.2 B 功能刀具半径补偿计算	96
4.3 C 功能刀具半径补偿	98
思考题	110
第4章 位置检测装置	112
1 概述	112
1.1 对位置检测装置的要求	112
1.2 位置检测装置的分类	112
2 感应同步器	114
2.1 感应同步器的结构	114
2.2 感应同步器工作原理	114
2.3 感应同步器的应用	115
3 旋转变压器	118
3.1 结构和工作原理	118
3.2 旋转变压器的应用	120
3.3 磁阻多极旋转变压器	122
4 光栅	123
4.1 光栅的种类、特点	123
4.2 光栅测量系统的组成和基本原理	124

4.3	光栅辨向原理	126
4.4	光栅位移—数字变换电路	126
5	脉冲编码器	127
5.1	增量式光电脉冲编码器	127
5.2	绝对值脉冲编码器	131
5.3	混合式绝对值编码器	132
6	磁栅	133
6.1	磁栅测量的工作原理	133
6.2	检测电路	134
6.3	磁栅位置检测装置的结构类型	135
7	激光干涉位置检测装置	136
7.1	激光干涉法的测距原理	137
7.2	单频激光干涉仪	137
7.3	双频激光干涉仪	138
	思考题	139
第5章	数控机床的伺服系统	140
1	概述	140
1.1	伺服系统的组成	140
1.2	对伺服系统的基本要求	140
1.3	伺服系统的分类	142
2	速度控制	145
2.1	进给运动的速度控制及进给用伺服电机类型	146
2.2	直流伺服电机的特性	146
2.3	永磁直流伺服电机	148
2.4	晶闸管调速单元	150
2.5	晶体管脉宽调制器式速度控制单元	151
3	位置控制系统	154
3.1	步进电机及其驱动系统	154
3.2	相位伺服系统	168
3.3	幅值伺服系统	173
3.4	数字、脉冲比较伺服系统	181
3.5	数字伺服系统的概述	184
4	新型伺服驱动技术	190
4.1	高速和超高速精密加工与直线进给技术	190
4.2	直线交流伺服电动机及其应用简介	191
4.3	直线电动机	194
	思考题	200
第6章	计算机数字控制装置	201
1	概述	201
1.1	计算机数控系统的组成	201
1.2	CNC装置的结构	201
1.3	CNC装置的工作过程	202
1.4	CNC装置的功能	203

1.5 CNC 装置的特点	206
2 计算机数控装置的硬件结构	207
2.1 单微处理机数控装置的结构	207
2.2 多微处理机数控装置的结构	219
2.3 点位/直线控制的数控装置的结构	225
3 计算机数控装置的软件结构	226
3.1 CNC 装置软件结构的特点	226
3.2 输入和数据处理程序	232
3.3 进给速度的计算和加减速控制	234
3.4 插补程序	244
3.5 位置控制软件	244
3.6 故障诊断	245
4 数控机床用可编程控制器	247
4.1 概述	247
4.2 PC 的结构和编程方法	248
4.3 PC 的工作过程及其特点	252
4.4 数控机床中的 PC 功能	254
4.5 典型 PC 指令和程序编制	255
5 CNC 装置数据输入输出和通讯功能	265
5.1 数控机床用有关通讯设备和接口	265
5.2 异步串行通讯接口	266
5.3 网络通讯接口	268
思考题	269
第 7 章 数控系统应用实例	271
1 车床微机数控系统	271
1.1 车床加工功能分析	271
1.2 微机数控车床的系统结构	275
1.3 微机数控车床的软件	278
1.4 微机数控车床硬件结构	283
2 开放式数控系统及其应用	289
2.1 PMAC 运动控制器功能	289
2.2 伺服环和计算	292
2.3 运动程序	294
2.4 轨迹的生成	294
2.5 PMAC 的转换功能	295
3 虚拟轴(平行轴)数控机床	297
4 柔性制造系统(FMS)的新技术	299
4.1 面向对象开发方法在 FMS 中的应用	299
4.2 Petri 网及其在 FMS 中的应用	301
4.3 基于人工智能的 FMS 作业计划调度仿真	305
4.4 智能化的生产过程监视和故障诊断	308
4.5 用集成化的计算机平台技术缩短 FMS 软件的开发周期	310
思考题	313

附录	314
附录 1 准备功能 G 代码及其意义	314
附录 2 辅助功能 M 代码 (JB3082 - 83)	317
附录 3 数控技术相关常用术语	318
参考文献	323

第 1 章 绪 论

1 数控技术的产生和特点

机电一体化技术是一门综合性的技术,是机械技术与电子技术(特别是微电子技术)的有机结合,是从系统观点出发,应用机械、电子、信息等技术,在信息论、控制论、系统工程等基础上建立起来的一门科学技术。数控技术正是微电子技术同传统机械技术相结合的产物,是一高度密集型的技术,是柔性制造系统(Flexible Manufacturing System,简称FMS)、计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System,简称CIMS)的技术基础之一,是机电一体化高新技术的重要组成部分。

1.1 数控技术的特点

数字控制(Numerical control)技术,简称数控(NC)技术,是一种自动控制技术,它能够对机器的运动进行控制。采用数控技术的控制系统称为数控系统。装备了数控系统的机床称为数控机床。随着生产的发展,数控技术已不仅用于金属切削机床,同时还用于其它的机械设备,如坐标测量机、机器人、激光切割机、电火花切割机、编织机和剪裁机等。

采用数控技术的金属切削机床具有许多优点,例如:

- ①提高了加工精度和同一批工件的尺寸重复精度,也就是保证了加工质量的稳定性;
- ②具有较高生产率,与普通机床相比,生产率大致可提高2~3倍;
- ③增加了设备的柔性,可以适应不同品种、规格和尺寸的工件加工;
- ④减轻了工人的劳动强度,同时也改善了劳动条件;
- ⑤具有较高的经济效益。这是因为数控机床能一机多用,代替多台普通机床,减少了工序间工件运输时间,节省厂房面积,减少了夹具数量;
- ⑥能加工普通机床所不能加工的复杂型面;
- ⑦有助于进行质量控制;
- ⑧可向更高级的制造系统发展。

1.2 数控技术的产生

数控技术虽然不附属于数控机床,但它却是随着数控机床而发展起来的。

20世纪40年代以来,喷气式飞机和导弹工业发展迅速,原来的加工设备已无法承担航空工业需要的精度较高的形状复杂的零件加工任务。1948年美国Parsons公司与美国空军签订合同,研制一种柔性的控制系统,希望装备有这种控制系统的机床能在规定的精度下达到最高的生产效率,在变更加工零件时工装夹具的变换不要太花费时间,并且要适合于中、小批量零件的生产。于是,Parsons公司将研制此控制系统的任务交给了美国麻省理工学院(MIT)。1952年,MIT研制成功了三坐标数控系统,并在 Cincinnati 铣床上装备

了这种控制系统。这种控制系统采用预制穿孔带作为信息载体，可以控制多种机床。

由于数控机床的优越性，在国际竞争日益剧烈，产品品种变化频繁的形势下，各国都致力于开发生产各种数控机床，机床的数控化率不断提高。

我国从 1958 年开始研制数控机床，到 70 年代末生产了 4108 台数控机床，其中 86% 是数控线切割机床。80 年代初以来，随着我国实行改革开放政策，引进了日本、美国等先进的数控技术，开始批量生产数控系统和伺服系统，使我国数控机床在质量、性能上有了很大提高。特别是近 20 年来，我国开发并生产了数控铣床、车床、磨床、立式和卧式加工中心等 40 多种新品种。引进和自行开发建立多条 FMS（柔性制造系统）生产线，并开始进行 CIMS 的研究及其在生产中的应用。到 1989 年底，我国生产的数控机床已达到 300 余种，一些较高档次的五轴联动数控系统也已开发出来，从 90 年代起我国已向制造高档数控机床方向发展，有力地促进了数控技术的飞速发展。

1.3 计算机数控

随着电子技术和计算机技术的不断发展，数控技术也得到长足的发展，其数控系统的硬件经历了采用电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路等，直到将计算机引入了数控系统的过程，从而形成了计算机数控（Computer Numerical Control，简称 CNC）系统。数控系统中引入了微型计算机（简称微机），使它在质的方面完成了一次飞跃。计算机数控系统具有如下优点：

①柔性好。以往数控系统的许多功能是靠硬件电路来实现的，一经完成非经重新布线是不能改变的。但计算机数控系统能利用控制软件灵活地增加或改变数控系统的功能，更能适应生产发展的需要。

②功能强。可利用计算机技术及其外围设备，增强数控系统及数控机床的功能。例如：利用计算机图形显示功能，检查编程的刀具轨迹，纠正编程错误，还可检查刀具与机床、夹具碰撞的可能性等；利用计算机网络通信的功能，便于数控机床组成生产线，同时，将电话线路和服务中心连接起来，就可以接收故障诊断及维修指导服务。

③可靠性高。计算机数控系统可使用磁带、软盘等许多输入介质，避免了以往数控机床由于频繁地开启光电阅读机而造成的信息出错的缺点。与硬件数控相比，计算机数控尽量减少硬件电路，显著地减少了焊点、接插件和外部连线，提高了可靠性。此外，计算机数控系统一般都具备自诊断功能，可及时指出故障原因，便于维修或预防操作失误，减少停机时间。这一切使得现代数控系统的无故障运行时间大大增加。

④易于实现机电一体化。由于计算机电路板上采用大规模集成电路和先进的印刷电路排版技术，只要采用数块印刷电路板即可构成整个控制系统，而将数控装置连同操作面板装入一个不大的数控箱内，有力地促进了机电一体化。

⑤经济性好。采用微机数控系统后，使系统的性能价格比大为提高，所以现在不但在大型企业，就是中小型企业也逐渐采用微机数控系统了。

2 数控机床的组成和作用

虽然数控技术能用来控制多种机械设备，但用得最多和最典型的是数控机床，为此先来简单介绍数控机床。

2.1 数控机床的组成

数控机床是一种利用数控技术，按照事先编好的程序实现规定动作的金属切削机床，它由程序载体、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（图 1.2.1）。

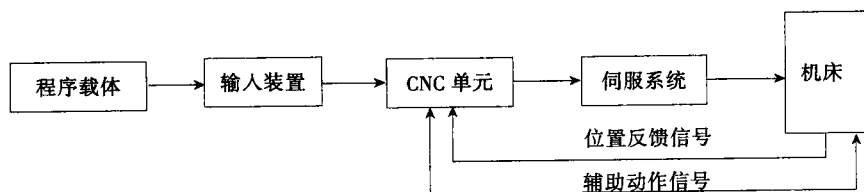


图 1.2.1 数控机床的组成

2.2 数控机床各组成部分的作用

2.2.1 程序载体

数控机床是按照输入的零件加工程序运行的。零件加工程序包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数（走刀量、主轴转速等）和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式和代码，记录存储在一种载体上，这个载体即为程序载体，如穿孔纸带、盒式磁带或软磁盘等。

2.2.2 输入装置

输入装置的作用是将程序载体内的信息读入 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输入 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。

2.2.3 CNC 单元

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信息传给 CNC 单元，CNC 将加工程序编译成计算机能够识别的信息，由信息处理部分按照控制程序的规定，逐步存储并进行处理后，通过输出单元将位置和速度指令发送给伺服系统和主运动控制部。

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（Programmable Controller，简称 PC）控制，这是数控系统对机床的顺序控制。现代数控系统中，一般备有 PC 附加电路板。这种结构形式可省去 CNC 与 PC 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。

2.2.4 伺服系统

伺服系统由伺服电动机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。伺服系统根据 CNC 单元送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系统。伺服电动机的驱动控制装置一般仅完成电动机的速度控制（包括速度反馈），而电动机的角位移

控制，一般由 CNC 单元完成。

2.2.5 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，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。

2.2.6 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，相对滑动面的摩擦系数小，并且要有恰当的阻尼，以适应对数控机床高定位精度和良好的控制性能的要求。

3 数字控制系统

3.1 数字控制系统的组成和分类

3.1.1 数字控制系统的组成

数控系统是一种能够控制机器运动的装置。它由输入装置、CNC 单元和输出部分组成。输入装置，将输入载体中带有按规定格式编写的控制信息输入 CNC 单元后，系统能自动译解其中的指令，进行运算，并由输出部分向所控制的执行机构发出指令，数控系统有时还能监视执行机构的执行结果，并纠正其误差。

3.1.2 机床数控系统的类型

机床数控系统有不同的类型，以适应不同用途的需要。根据伺服系统反馈信息的不同，机床数控系统可分为开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统。根据控制运动方式的不同，可分为点位控制系统、点位/直线控制系统和连续（轮廓）控制系统。根据功能的多少及复杂程度，又可分为多功能数控系统和经济型数控系统。在数控系统发展基础上，又出现了较为先进的适应控制系统、直接数控系统等。

3.2 开环和闭环控制系统

3.2.1 开环控制系统

图 1.3.1 所示为开环控制系统的方框图。输入装置将控制信息输入 CNC 单元后，解读器将它编译成计算机能识别的机器码，存入存储器内。经过运算器后，在规定的时间内发指令脉冲到电动机驱动装置，使伺服电动机转动规定的角度，驱动机床工作台运动。如为多轴控制，运算器还须进行脉冲分配，使各伺服电动机协调转动，机床工作台就按指令完成规定的合成运动。

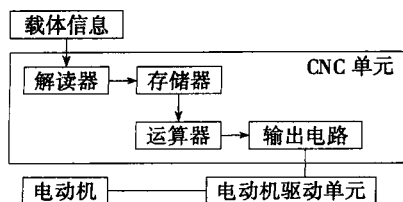


图 1.3.1 开环控制系统方框图

开环控制系统的伺服电动机多采用功率步进电动机，当输入一个电脉冲后，步进电动机就相应地转过一个步距角。通过机床的传动部件，使工作台相应地得到一个位移量。这个位移量称为一个脉冲当量，或称为最小设定单位，一般为 $0.01 \sim 0.001\text{mm/p}$ 。

由于开环控制系统没有反馈装置，所以不能防止步进电动机因丢步而产生位移误差。同时制造较大功率的步进电动机还有困难，因此开环控制系统仅用于运动速度较低和加工精度不太高的机床。

3.2.2 闭环控制系统

针对开环控制系统的缺点，闭环控制系统在工作台运动方向增加了测量工作台实际位移的位置传感器，如图 1.3.2 所示。传感器将实际位置信息反馈给 CNC 单位的比较器。如有误差，由运算器发出指令至输出电路使电动机转动，直到误差消失。

由此可见，采用闭环控制系统的数控机床的位置精度大为提高。

闭环控制系统与开环控制系统的主要区别在于：闭环控制系统的伺服系统的机械执行机构的最后环节上装有反馈系统，将机床工作台的实际位置反馈给 CNC 单元。

为了维护方便起见，闭环控制系统的伺服电动机，最好采用交流伺服电动机。在一般情况下，也可采用直流伺服电动机。

3.2.3 半闭环控制系统

半闭环控制系统的控制方式与闭环控制系统类似，它们之间的主要区别在于前者在电动机轴上装有表示其角位移的编码器。这种系统可以控制电动机作精确的角位移，但是，它不能纠正机床传动部件带来的误差，所以称为半闭环系统。

由于这种控制系统结构较简单，控制较方便，又能达到较高的位置精度，所以在数控机床得到广泛应用。

3.3 点位控制系统与连续控制系统

3.3.1 点位控制系统

点位控制系统仅控制刀具相对于工件的位置，由一个定位点向下一个定位点移动，但是，移动的途径原则上没有规定，为了简化机床运动，一般是沿机床坐标轴运动的，在刀具或工件移动过程中不进行切削。具有这种系统的机床，最重要的是要保证点的相对位置，所以机床工作台移动时要快速，接近定位点时要逐渐减速，以保证定位精度。

定位可用两种方式来完成，一种是增量坐标方式，它是以前一位置作为参考坐标的原点来决定后一位置的；另一种是绝对坐标方式，这种方式有一个固定的参考坐标，它的原点是固定的，工件上所有位置都以此坐标系的坐标值来表示。

点位控制系统多用于孔加工的数控机床。有些机床，如数控镗床，要求刀具沿坐标轴移动时还能进行切削，所以开发了点位/直线控制系统。这种系统除了高精度的定位功能外，在刀具沿坐标轴移动时，还能根据切削用量控制位移的速度，由于点位和点位/直线控制系统相差无几，可以将它归入点位控制系统。

3.3.2 连续控制系统

连续控制系统又称为轮廓控制系统，与点位控制系统的最大区别在于：连续控制系统可以控制两个（或多个）坐标轴的位移，并形成确定的函数关系，走出规定的刀具与工件相对运动轨迹，以加工出所需工件的轮廓（廓形）。这是由连续控制系统中的插补功能来

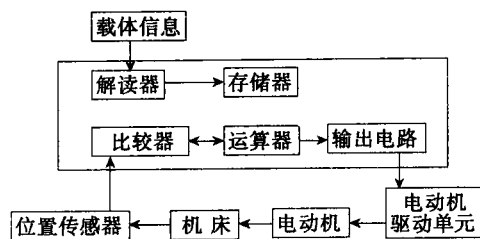
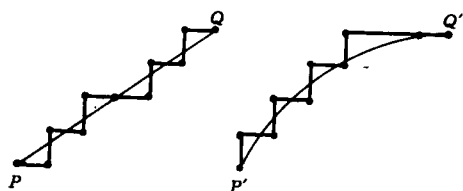


图 1.3.2 闭环控制系统框图

实现的。

(1) 插补运算原理。设刀具与工件的相对运动轨迹为一直线或圆弧。数控系统不能将坐标轴无限细分, 只能按最小设定单位(或脉冲当量)移动。所以加工后工件的圆弧或直线实际上是由许多折线构成。数控系统按照一定的计算方法, 将电脉冲分配给各坐标轴。形成规定的上述轨迹的过程称为插补。



(a) 直线插补

(b) 圆弧插补

图 1.3.3 直线与圆弧插补

如上所述, 用折线代替规定曲线, 会带来一定误差, 此误差应在容许范围内, 否则只能选更小的设定单位。图 1.3.3 (a) 为直线插补; 图 1.3.3 (b) 为圆弧插补。虽然工件轮廓有各种不同形状, 但都可用直线和圆弧逼近它, 所以一般数控系统都具有直线和圆弧插补功能。有些现代数控系统同时还具有抛物线、螺旋线和渐开线等插补功能。

(2) 连续控制系统的工作特点。连续控制系统的插补是由插补器来实现的。所谓插补器就是指完成插补功能的一种硬件装置或软件程序。插补器根据输入的插补指令进行数字计算, 对各坐标轴进行脉冲分配, 然后发指令给伺服电动机驱动装置, 使机床工作台沿各坐标轴完成规定的运动, 刀具就能加工出工件廓形来。连续控制系统必须精确地控制两个以上的坐标轴运动, 而最小设定单位又小, 有时甚至小于 $1\mu\text{m}$ 。所以连续控制系统处理数据的速度比点位系统要高出上千倍, 现有的机床数控系统都具备连续控制系统的功能。

3.4 多功能与经济型数控系统

多功能机床数控系统的功能比较齐全, 适用于功率较大、动作较多、运动较复杂、定位精度较高的大、中型数控机床。这种数控系统虽然功能丰富, 但配置这种系统的数控机床价格昂贵。我国一般中、小企业购置困难, 而有些机床厂生产的简易数控机床, 很受欢迎。这些数控机床, 就是在通用机床的基础上, 对机械部分作必要的改进, 配上经济型数控系统, 使其具备必要的数控功能。

配置经济型数控系统的数控机床, 一般采用控制较简单、成本较低的功率步进电动机伺服系统。为了提高加工精度, 防止步进电动机丢步, 较高档的经济型数控机床在滚珠丝杆端部装有回转编码器, 或者在机床工作台上装有直线编码器进行反馈补偿。计算机的 CPU 一般采用 8051 系列单片机以增强抗干扰能力和提高工作的可靠性。

经济型数控系统在我国发展很快, 应用面也很广, 这是我国很有特色的数控系统。

3.5 适应控制系统

3.5.1 适应控制系统的概念

前述的闭环控制系统, 主要是监控机床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, 工件材质不均匀, 刀具的磨损情况, 切削力的变化等对加工过程的影响。因此, 加工过程不是处于最佳状态。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改变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)。

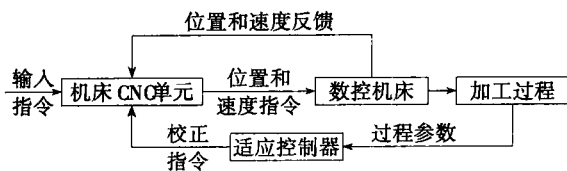


图 1.3.4 适应控制

由图 1.3.4 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。

适应控制机床的优点为：

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。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。要降低成本，必须缩短单件加工时间和提高刀具寿命。但是，要减少单件加工时间，必须提高切削用量，从而减少刀具寿命。适应控制器能够计算出最佳工艺参数以控制机床，使单件加工成本为最低。

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破坏。

⑤简化编程。适应控制系统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行程，减少空行程，决定最佳走刀次数等，使编程工作大为简化。

适应控制的分类方法很多，但总的来说可分为几何适应控制和工艺适应控制两大类。几何适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。这种控制主要用于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的性能，主要用于粗加工或半精加工。

3.5.2 适应控制机床

图 1.3.5 为铣床的工艺适应系统框图。为了充分利用机床的功率，或者使机床的负载恒定而进行适应控制机床时，可利用传感器检测主轴电动机的电流、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。

铣削工件时，往往会产生机床的自激振动（颤振）。使用检测振动的传感器，通过专门的颤振探测装置将

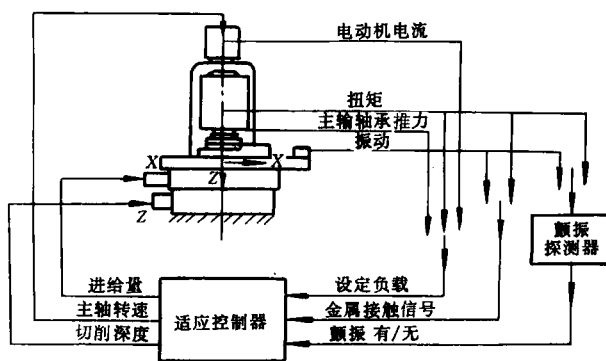


图 1.3.5 适应控制机床

信号输入适应控制器,当颤振发生时,自动改变切削用量,可有效地控制颤振。

3.6 直接数控系统

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

在中、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,加工零件种类多,更换频繁,使得穿孔带的保管、分发和使用很不方便,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 系统可分为以下三种类型。

(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,绕开原有的读带机,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,它可以脱离系统而独立操作。

(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,只有由伺服电动机驱动电路和操作面板组成的机床控制器,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,需要较大容量的计算机,软件的编制也较为复杂,系统成本高,这就限制了它的应用。

(3) 分布式 DNC 系统。为了克服上述缺点,近年来出现了一种新的直接数控系统,称为分布式数控系统(Distribute Numerical Control System),如图 1.3.6 所示。

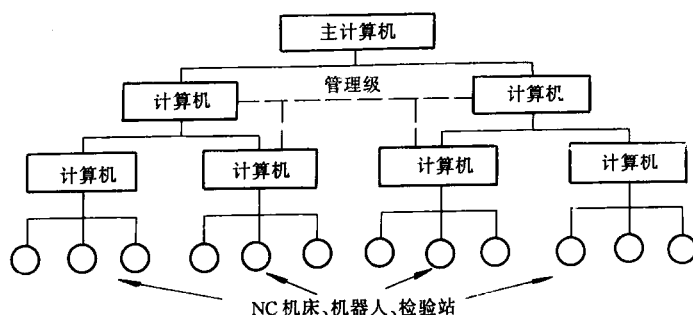


图 1.3.6 分布式数控系统

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。

4 数控技术的应用

4.1 数控技术在金属切削机床中的应用

数控技术在金属切削机床上应用得最多。除了在通用机床上实现数控化外,随着生产技术的发展,还出现了在一台机床上能完成多种加工的数控机床,提高了生产率和加工精