



数控技术原理及应用

SHUKONG JISHU YUANLI
JI YINGYONG

主编 李恩林



国防工业出版社

National Defense Industry Press

数控技术原理及应用

主编 李恩林

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书从实用观点出发,以全面学习掌握数控原理与应用为目的,系统阐述了数控技术的基本概念、基本知识、基本理论和实际应用。

主要内容:数控技术基础、插补原理、CNC 装置、检测装置、加工工艺分析、数控机床编程基础、编程技术、数控机床故障诊断与维护、PLC 控制、伺服系统和线切割机等方面的原理、实例及应用。

本书特点:系统全面、内容丰富、通俗易懂、深入浅出,先进性与实用性兼顾。

本书可作为高职、高专、中专机电一体化专业,机械设计与制造专业,数控专业,自动化专业和计算机辅助设计专业的教学用书,也可供从事相关专业的工程技术人员和高级技术工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术原理及应用/李恩林主编. —北京:国防工业出版社,2006.2

ISBN 7-118-04260-9

I. 数... II. 李... III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 148918 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 $\frac{1}{4}$ 字数 460 千字

2006 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 33.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

编委会名单

主任 陈斌生

主编 李恩林

参编 李广波 李 岗 邵天浪

前 言

进入 21 世纪以来,我国已成为世界工厂重要基地之一。为适应我国加入 WTO 后市场竞争的需要,急需培养百万名能熟练掌握数控机床的操作、编程、修理和维护以及设计等高层次、复合型应用技术人员。为适应这一需要,而编写此书。

本书在浙江江南理工专修学院院长、教材编委会主任陈斌生主持下,李恩林教授担任主编,参加编写人员有李广波副教授、李岗副教授和邵天浪老师。

由于时间仓促、水平有限,书中欠妥之处在所难免,恳请读者给予批评指正。

编 者

目 录

第 0 章 绪论	1
第 1 章 数控技术基础	2
1.1 数控机床的系统组成及其基本原理	2
1.1.1 数控技术的基本概念	2
1.1.2 数控机床的组成及其各部分的功能	3
1.2 数控机床的分类	5
1.2.1 按数控装置类型进行分类	5
1.2.2 按伺服控制方式进行分类	7
1.2.3 按数控系统功能水平进行分类	8
1.2.4 按加工工艺及用途进行分类	9
1.2.5 按软硬件进行分类	9
1.3 数控机床的加工对象	10
1.3.1 采用数控机床加工的优势及特点	10
1.3.2 数控机床的使用范围	10
1.4 数控技术的发展方向	11
1.4.1 高速度化与高精度化	11
1.4.2 多功能化	11
1.4.3 智能化	11
1.4.4 高可靠性	12
1.4.5 全自动编程	12
习题及思考题	12
第 2 章 插补原理	13
2.1 数字脉冲乘法器插补原理	13
2.1.1 概述	13
2.1.2 数字脉冲乘法器工作原理	13
2.1.3 均匀器	17

2.2	逐点比较法插补原理	18
2.2.1	直线插补原理	18
2.2.2	圆弧插补原理	22
2.2.3	逐点比较法合成进给速度控制	26
2.3	数字积分法(DDA)插补原理	28
2.3.1	求和运算代替求积运算	28
2.3.2	数字积分法直线插补	29
2.3.3	数字积分法圆弧插补	31
2.3.4	提高数字积分法插补质量的措施	34
2.3.5	数字积分法插补的象限处理	38
2.4	数据采样法插补原理	39
2.4.1	插补周期与位置控制周期	39
2.4.2	插补周期与精度、速度之间的关系	39
2.4.3	数据采样法直线插补	40
2.4.4	数据采样法圆弧插补	41
2.5	任意二次曲线插补原理	45
2.5.1	曲线插补的描述	45
2.5.2	抛物线插补	47
2.5.3	任意二次曲线的插补	49
	习题及思考题	54
第3章	数控机床的数控系统及检测装置	56
3.1	计算机数控装置	56
3.1.1	CNC系统的工作过程	56
3.1.2	CNC装置的功能	57
3.1.3	CNC系统的硬件结构	58
3.1.4	CNC系统的软件结构	60
3.2	数控机床的位置检测装置	63
3.2.1	位置检测装置的要求与类型	63
3.2.2	脉冲编码器	64
3.2.3	旋转变压器	66
3.2.4	感应同步器	67
3.2.5	光栅	69
	习题及思考题	71

第4章 数控机床的结构	72
4.1 数控机床的组成	72
4.2 数控机床的总体布局形式	72
4.2.1 数控车床的总体布局形式	72
4.2.2 卧式数控镗铣床、卧式加工中心的总体布局形式	73
4.2.3 立式数控镗铣床、立式加工中心的总体布局形式	73
4.3 数控机床的主传动系统	73
4.3.1 对数控机床主传动系统的要求	73
4.3.2 主传动机械结构	74
4.3.3 主轴调速方式	77
4.4 进给系统的机械传动结构	81
4.4.1 进给系统的组成	81
4.4.2 对进给系统的性能要求	81
4.4.3 滚珠丝杠螺母副	81
4.4.4 导轨副	83
4.5 数控机床的辅助装置	85
4.5.1 自动换刀机构	85
4.5.2 工件自动交换	91
4.5.3 液压和气动系统	91
4.5.4 润滑系统	93
4.5.5 冷却系统	93
4.5.6 排屑装置	93
4.5.7 过载保护、超程限位和回机床参考点装置	94
习题及思考题	95
第5章 数控机床的加工工艺	96
5.1 数控机床加工工艺概述	96
5.1.1 数控机床加工的主要对象	96
5.1.2 数控机床加工工艺的主要内容	96
5.2 数控机床加工工艺分析	97
5.2.1 数控机床加工零件的工艺性分析	97
5.2.2 数控机床加工工艺路线的拟订	97
5.3 工件在数控机床上的定位与装卡	99
5.3.1 选择合适的定位方式	99

5.3.2	确定合适的装夹方式	101
5.4	数控机床加工工艺的设计	101
5.4.1	进给路线的选择	101
5.4.2	零件的安装与夹具的选择	106
5.4.3	刀具的选择	107
5.4.4	切削用量的选择	108
	习题及思考题	113
第6章	数控机床编程基础	114
6.1	数控编程的基本概念	114
6.1.1	数控编程	114
6.1.2	控制介质	114
6.1.3	数控编程的内容和步骤	115
6.1.4	数控编程的方法	116
6.2	数控机床的坐标系	117
6.2.1	机床坐标系和方向	117
6.2.2	机床各坐标轴及其运动正方向	117
6.2.3	绝对坐标系与相对坐标系	119
6.2.4	机床坐标系与工件坐标系	120
6.3	数控编程中的指令代码	121
6.3.1	准备功能 G 指令	121
6.3.2	辅助功能 M 指令	123
6.3.3	F、S、T 代码	126
6.4	程序结构及程序段格式	127
6.4.1	程序结构	127
6.4.2	程序段格式	127
6.4.3	程序的分类	128
6.5	数控编程中的有关标准及代码	130
	习题及思考题	133
第7章	数控机床编程技术	134
7.1	常用编程指令	134
7.1.1	绝对坐标指令 G90	134
7.1.2	相对坐标指令 G91	134
7.1.3	混合坐标编程	134

7.1.4	工件坐标系设定指令 G92	134
7.1.5	坐标平面设定指令 G17、G18、G19	135
7.2	刀具运动方式有关的 G 指令	136
7.2.1	快速定位指令 G00	136
7.2.2	直线插补指令 G01	136
7.2.3	圆弧插补指令 G02、G03	137
7.2.4	倒角、倒圆功能	142
7.2.5	直径编程和半径编程	143
7.3	刀具补偿功能	144
7.3.1	刀具半径补偿	144
7.3.2	刀具长度补偿	146
7.3.3	刀具位置补偿	147
7.3.4	刀尖圆弧半径补偿	149
7.4	固定循环	151
7.4.1	单一形状固定循环指令 G90、G94	151
7.4.2	复合固定循环指令 G70~G75	156
7.5	暂停(延时)指令 G04	163
7.6	螺纹加工	165
7.6.1	螺纹加工尺寸计算	165
7.6.2	单行程螺纹切削	166
7.6.3	螺纹切削循环	171
7.7	数控车床的程序编制	174
7.7.1	数控车床编程要点	174
7.7.2	坐标系	175
7.7.3	数控车床加工工序的编排和加工参数的选择	175
7.7.4	准备功能指令	176
7.7.5	辅助功能指令	176
7.7.6	其它功能指令	176
7.7.7	数控车床编程实例	177
7.8	数控铣床的程序编制	192
7.8.1	数控铣床编程中的特殊功能指令	192
7.8.2	数控铣床编程实例	200
7.9	加工中心的程序编制	201

7.9.1	加工中心的组成	201
7.9.2	加工中心的分类	201
7.9.3	加工中心的编程特点	203
7.9.4	与参考点有关的 G 代码	203
7.9.5	加工中心的自动换刀功能	204
7.9.6	加工中心编程实例	205
7.10	自动编程	207
7.10.1	自动编程的工作过程	207
7.10.2	自动编程语言 JB	208
7.10.3	图形交互式自动编程	220
	习题及思考题	225
第 8 章	数控机床常见故障诊断与维护	227
8.1	数控机床的维护	227
8.2	数控机床故障诊断	229
8.2.1	数控机床的可靠性概念	229
8.2.2	数控机床故障分类	230
8.2.3	数控机床的故障诊断技术	230
8.2.4	数控机床的故障紧急处理、分析与判断	231
8.3	数控机床的故障检查方法	232
8.4	数控机床常见故障的处理	234
8.4.1	机械部件常见故障及处理	234
8.4.2	电气部件常见故障及处理	234
8.4.3	进给伺服系统常见故障及处理	235
8.4.4	主轴伺服系统常见故障及处理	237
8.4.5	数控系统常见故障及处理	238
8.4.6	数控机床的抗干扰性措施	239
	习题及思考题	240
第 9 章	数控用可编程序控制器 (PLC)	241
9.1	可编程序控制器 (PLC) 概述	241
9.1.1	PLC 的产生	241
9.1.2	PLC 在数控机床上的应用	241
9.2	PLC 硬件结构和工作原理	242
9.2.1	PLC 的硬件结构	242

9.2.2	PLC 的工作原理	243
9.2.3	PLC 的特点	244
9.2.4	PLC 的类型	244
9.3	PLC 的软件	245
9.3.1	梯形图	245
9.3.2	语句表	246
9.3.3	基本指令	246
9.3.4	功能指令	247
9.4	PLC 在数控机床控制中的应用	260
9.4.1	主轴准停控制	260
9.4.2	主轴正、反转控制	261
9.4.3	主轴的调速	262
9.4.4	主轴的停止控制	263
9.4.5	主轴正、反转及齿轮换挡控制	263
9.4.6	润滑系统的 PLC 控制	265
9.4.7	刀库自动选刀控制	268
9.4.8	零件加工计数控制	272
	习题及思考题	273
第 10 章	伺服驱动系统	274
10.1	数控机床伺服系统的概念	274
10.2	步进电动机伺服系统	274
10.2.1	工作台控制	274
10.2.2	步进电动机的选择	275
10.2.3	步进电动机驱动控制电路	279
10.2.4	步进电动机的微机控制	283
10.3	直流电动机伺服系统	284
10.3.1	直流伺服电动机的分类	284
10.3.2	直流伺服电动机的驱动方式	284
10.4	交流电动机伺服系统	287
10.4.1	交流伺服电动机的工作原理	287
10.4.2	交流伺服电动机的调速方法	287
	习题及思考题	290
第 11 章	数控线切割机	291

11.1	线切割机的结构及工作原理	291
11.1.1	线切割机的结构	291
11.1.2	线切割机的工作原理和特点	293
11.2	线切割机床的型号及主要技术参数	293
11.2.1	线切割机的型号	293
11.2.2	典型线切割机床的技术参数	293
11.3	线切割机床的结构	294
11.3.1	机床工作台结构	294
11.3.2	丝杠传动副	295
11.3.3	齿轮副	295
11.3.4	储丝筒走丝部件的结构	296
11.3.5	线架、导轮部件的结构	297
11.3.6	工作液系统	298
11.3.7	换向切断高频、走丝换向调节及超程保险	298
11.3.8	进电方式	298
11.4	数控线切割机加工工艺	299
11.5	数控线切割机编程	301
11.5.1	编程步骤	301
11.5.2	数控线切割机床的指令格式	302
11.6	数控线切割机床常用编程指令	302
11.7	数控线切割机编程应用	306
11.8	数控线切割机常见故障及排除	309
	习题及思考题	310
	参考文献	311

第 0 章 绪 论

20 世纪 50 年代以来,随着科学技术和生产的发展,对产品的质量提出了更高的要求。产品加工工艺过程的自动化是提高产品质量和效率的重要手段和措施。加工工艺过程的自动化主要是采用数控技术。数控机床不仅在航空、造船、汽车、军工等领域广泛使用,而且也进入了民用机械制造行业。数控机床的广泛应用,保证了产品的质量、提高了生产效率和减轻了操作者的劳动强度。

1952 年诞生了世界上第 1 台数控机床,它是美国帕森斯公司在麻省理工学院的协助下研制成功的。这是利用脉冲乘法器原理的三坐标铣床,采用电子管器件,属数控系统第 1 代。

1959 年研制出晶体管为器件的数控机床。它具有自动换刀装置,称为加工中心,属数控系统第 2 代。

1960 年,采用了小规模集成电路,数控系统的可靠性进一步提高,属数控系统第 3 代。以上 3 代,都是采用专用的硬件逻辑数控系统(NC)。

1970 年采用小型计算机取代专用控制系统属第 4 代。

1974 年研制出以微处理器为核心的数控系统(MNC),后来人们将 MNC 也称为 CNC,这是第 5 代数控系统。

1990 年开始采用基于 PC 机为平台的数控系统称为 PC 数控系统,属第 6 代数控系统。

目前,正进入开放式 CNC 系统、远程(WEB)CNC 系统、智能 CNC 系统和 CAD/CAM 集成 CNC 系统,称为第 7 代数控系统。

从第 4 代至第 7 代数控系统通称为 CNC 数控系统。

数控技术除用于数控机床,还广泛用于工业机器人、数控线切割机、电火花切割机、坐标测量机、绘图仪、焊接机和编织机等。

进入新世纪,数控技术将会有更大的发展。

第 1 章 数控技术基础

1.1 数控机床的系统组成及其基本原理

1.1.1 数控技术的基本概念

1) 数控

数控(NC)是数字控制(Numerical Control)的简称,系采用数字化信号(数值和符号)对机床进行自动控制的一种方法。

2) 数控机床

采用数控技术的机床称为数控机床。国际信息处理联盟(IFIP)第五技术委员会对数控机床的定义是:数控机床是一种装有程序数控系统的机床,该系统逻辑地处理具有特定代码和其它符号编码指令规定的程序。

与普通机床靠手工操作进行加工相对应,数控机床的运动是在程序(加工指令信息)控制下自动完成的。

3) 计算机数控系统

用计算机代替数控装置的系统称为计算机数控系统(CNC)。EIA(美国电子工业协会)所属的数控标准化委员会对CNC的定义是:CNC是用一个存储程序的计算机,按照存储在计算机内的读写存储器中的控制程序去执行数控装置的部分或全部功能,在计算机之外的惟一装置是接口,CNC系统是由程序、输入输出设备、计算机数控装置、可编程控制器(PLC)、主轴驱动装置和进给驱动装置等组成,如图 1-1 所示。

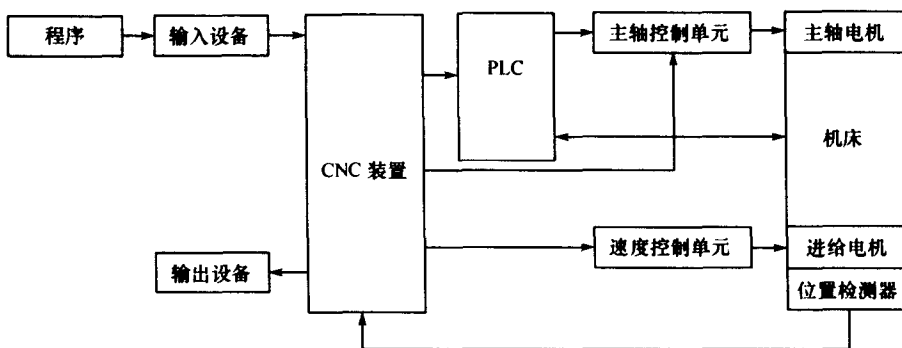


图 1-1 CNC 控制系统框图

现代数控装置是以微型计算机为主体,统称为CNC数控装置。使用微型计算机的CNC系统,数控装置的性能和可靠性能得到了很大提高、成本不断下降、性能价格比优越,推动了数控机床的发展。

1.1.2 数控机床的组成及其各部分的功能

1.1.2.1 数控加工的过程

- (1)根据图样进行加工工艺分析,确定加工方案、工艺参数和位移数据。
- (2)用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单;或用自动编程软件进行 CAD/CAM 操作,直接生成零件的加工程序文件。
- (3)程序的输入或输出:手工编写的程序通过数控机床的操作面板输入;软件生成的程序通过计算机的串行通信接口(如 RS-232C 等)直接传输到数据机床的数控单元。
- (4)输入到数控单元的加工程序,进行试运行、刀具路径模拟等。
- (5)通过对数控机床的正确操作,运行程序,完成零件的加工。

数控机床的基本工作原理:首先根据零件图样,结合加工工艺进行程序编制,然后通过键盘或其它输入设备(如穿孔纸带、软盘等)将程序输入到数控装置,数控装置将指令进行译码、寄存和插补运算后,向各坐标的伺服系统发出指令信号,驱动伺服电动机转动,并通过传动机构,使刀具与工件相对位置按被加工零件的形状轨迹进行运动,并通过位置检测反馈以确保其定位精度。同时通过 PLC 实现系统其它必要的辅助动作,如自动变速、冷却润滑液的自动开停、工件的自动夹紧、放松及刀具的自动更换等,配合进给运动完成零件的自动加工。

1.1.2.2 数控机床的组成及其各部分功能

数控机床由控制介质、数控系统、伺服系统、反馈装置、辅助装置和机床本体 6 部分组成,如图 1-2 所示。

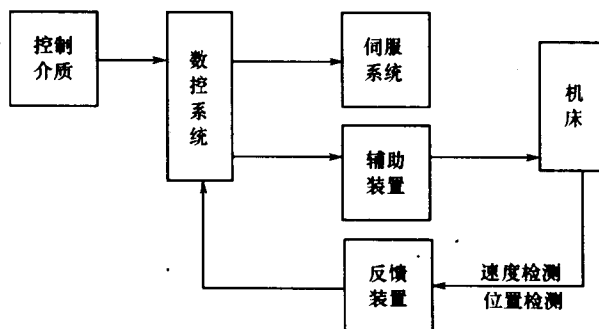


图 1-2 数控机床的系统组成框图

1)控制介质

控制介质又称信息载体,是人与计算机间联系的中间媒介物质,反映了数控加工中的全部信息。

2)数控系统

数控系统是机床实现自动加工的核心,是整个数控机床的灵魂所在。主要由输入装置、监视器、主控系统、可编程控制器(PLC)、输入输出接口等组成。

监视器由显示器和操作键盘组成。显示器有数码管、CRT、LCD 等多种形式。主要

显示数控程序、各种参数、插补值、坐标位置、故障信息、人机对话编程菜单、零件图形、动态刀具运动轨迹等。

主控制系统由 CPU、存储器、控制器等部分组成。控制方式分运算处理控制和时序逻辑控制 2 类。主控制器数据内的插补运算模块是根据所读入的程序,通过译码、编译等信息处理后,进行相应的刀具轨迹插补运算,并通过与各坐标伺服系统的位置、速度反馈信号比较,从而控制机床各坐标轴的位移。时序逻辑控制主要由可编程控制器(PLC)来完成,它根据机床加工中的各个动作要求进行协调,按各检测信号进行逻辑判别,从而控制机床各部件有条不紊地工作。

3) 伺服系统

伺服系统是数控系统与机床本体之间的电传动联系环节,主要由伺服电动机、驱动控制系统及位置检测反馈装置等组成,用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。

(1)进给伺服系统。它是数控机床的进给运动执行部分,包括位置控制单元、速度控制单元、伺服电动机、测量反馈单元等部分。它接受计算机发来的各种动作命令,驱动伺服电动机运动。伺服电动机分有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。进给伺服系统的性能直接影响到数控机床的加工精度和生产效率。

(2)主轴伺服系统。它是机床切削加工时传递扭矩的部件,一般分为齿轮有级变速和电气无级调速 2 种类型。它由主轴驱动控制系统、主轴电动机及主轴机械传动机构等组成。

4) 反馈装置

反馈装置主要包括光电脉冲编码器、光栅位置传感器和直线感应同步器等装置。

5) 辅助装置

辅助装置主要包括自动换刀装置、自动交换工作台机构、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、切削液装置、排屑装置、过载和保护装置等。

6) 机床本体

数控机床本体是指机械结构实体,由主传动机构、工作台、床身及主轴等部分组成。数控机床与普通机床相比,它的整体布局、外观造型、传动机构、刀具系统及操作机构等多方面发生了很大变化,具体归纳如下。

(1)采用高性能主传动及主轴部件,具有传递功率大、刚度高、抗震性好及热变形小等优点。

(2)进给传动采用高效传动件,具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点。一般采用滚珠丝杠副、同步齿形带等,以保证传动精度。

(3)具有完善的刀具自动交换和管理系统(特别是加工中心)。

(4)在加工中心上一般有工件自动交换、工件夹紧和放松机构。

(5)机床本身具有很高的动、静刚度。采用贴塑导轨、直线滚动导轨、静压导轨等精度高、摩擦因数小的部件。

(6)采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工的,所以为了操作安全一般采用移动门结构的全封闭罩壳,对机床加工部件进行封闭。