



职业技术·职业资格培训教材

(高级)

数控机床工

SHUKONG JICHUANGGONG

劳动和社会保障部教材办公室
上海市职业培训指导中心

组织编写



中国劳动社会保障出版社

数控技术 数控加工 数控编程

(第2版)

数控机床工

数控技术 数控加工 数控编程

本书可作为职业院校数控专业及相关专业的教材，也可供从事数控工作的工程技术人员参考。

中国轻工业出版社



职业技术·职业资格培训教材

(高级)

数控机床工

SHUKONG JICHUANGGONG

主 编 李蓓华
编 者 李蓓华 高 琪 高 鸣
主 审 郑民章



中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床工：高级/李蓓华主编. —北京：中国劳动社会保障出版社，2007

职业技术·职业资格培训教材

ISBN 978-7-5045-5960-9

I. 数… II. 李… III. 数控机床-技术培训-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 020571 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

出 版 人：张梦欣

*

北京北苑印刷有限责任公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21 印张 452 千字

2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

定价：35.00 元

读者服务部电话：010-64929211

发行部电话：010-64927085

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话：010-64911344

内 容 简 介

本教材由劳动和社会保障部办公室、上海市职业培训指导中心依据上海 1+X 职业技能鉴定考核细目——数控机床工（国家职业资格三级）组织编写。本职业原名称为“数控机床操作工”，根据职业发展和职业标准修订、提升的需要，更名为“数控机床工”，职业等级为 5 个级别，变更后的职业名称将与现行标准和职业分类目录保持一致。

本教材从强化培养操作技能，掌握一门实用技术的角度出发，较好地体现了本职业当前最新的实用知识与操作技术，对于提高从业人员基本素质，掌握高级数控机床工的核心知识与技能有直接的帮助和指导作用。

本教材在编写中根据本职业的工作特点，从掌握实用操作技能，以能力培养为根本出发点，采用模块化的编写方式。全书分为七个单元，主要内容包括：数控机床控制技术概述、数控机床加工工艺及刀具系统、零件精度检测和误差分析、数控车床编程、加工中心编程、数控车床操作、加工中心操作。为便于读者掌握本教材的重点内容，部分单元后附有单元测试题及答案，全书后附有一体化考核模拟试卷，用于检验和巩固所学知识及技能。

本教材由李蓓华担任主编。编写人员具体分工为李蓓华（第 2~7 单元及模拟试卷）、高琪（第 4 单元）、高鸣（第 1 单元）。全书由郑民章审定。

本教材可作为数控机床工（国家职业资格三级）职业技能培训与鉴定考核教材，也可供中、高等职业院校数控专业师生，以及相关从业人员参加岗位培训、就业培训使用。

前 言

职业资格证书制度的推行,对广大劳动者系统地学习相关职业的知识和技能,提高就业能力、工作能力和职业转换能力有着重要的作用和意义,也为企业合理用工以及劳动者自主择业提供了依据。

随着我国科技进步、产业结构调整以及市场经济的不断发展,特别是加入世界贸易组织以后,各种新兴职业不断涌现,传统职业的知识和技术也愈来愈多地融进当代新知识、新技术、新工艺的内容。为适应新形势的发展,优化劳动动力素质,上海市劳动和社会保障局在提升职业标准、完善技能鉴定方面作了积极的探索和尝试,推出了1+X的鉴定考核细目和题库。1+X中的1代表国家职业标准和鉴定题库,X是为适应上海市经济发展的需要,对职业标准和题库进行的提升,包括增加了职业标准未覆盖的职业,也包括对传统职业的知识技能要求的提高。

上海市职业标准的提升和1+X的鉴定模式,得到了国家劳动和社会保障部领导的肯定。为配合上海市开展的1+X鉴定考核与培训的需要,劳动和社会保障部教材办公室、上海市职业培训指导中心联合组织有关方面的专家、技术人员共同编写了职业技术·职业资格培训系列教材。

职业技术·职业资格培训教材严格按照1+X鉴定考核细目进行编写,教材内容充分反映了当前从事职业活动所需要的最新核心知识与技能,较好地体现了科学性、先进性和超前性。聘请编写1+X鉴定考核细目的专家,以及相关行业的专家参与教材的编审工作,保证了教材与鉴定考核细目和题库的紧密衔接。

职业技术·职业资格培训教材突出了适应职业技能培训的特色,按等级、分模块单元的编写模式,使学员通过学习与培训,不仅能够有助于通过鉴定考核,而且能够有针对性地系统学习,真正掌握本职业的实用技术与操作技能,从而实现我会做什么,而不只是我懂什么。部分单元所附单元测试题和答案用



于检验学习效果,教材后附本级别的模拟试卷,使受培训者巩固提高所学知识与技能。

本教材结合上海市对职业标准的提升而开发,适用于上海市职业培训和职业资格鉴定考核,同时,也可为全国其他省市开展新职业、新技术职业培训和鉴定考核提供借鉴或参考。

新教材的编写是一项探索性工作,由于时间紧迫,不足之处在所难免,欢迎各使用单位及个人对教材提出宝贵意见和建议,以便教材修订时补充更正。

劳动保障部教材办公室

上海市职业培训指导中心

目 录

第1单元 数控机床控制技术概述

1.1 数控系统概述	3
1.2 数控机床的基本功能	8
1.3 机床数控技术的特点及发展	11
单元测试题	18
单元测试题答案	20

第2单元 数控机床加工工艺及刀具系统

2.1 AutoCAD 2004	23
2.2 数控加工工艺分析	37
2.3 配合件的加工	43
2.4 工件的装夹	61
2.5 特殊形状加工	67
2.6 数控加工刀具系统	73
单元测试题	82
单元测试题答案	84

第3单元 零件精度检测 and 误差分析

3.1 金属硬度的检验	89
3.2 形位公差和表面粗糙度的检测	90
3.3 数控机床的精度及加工误差分析	100
3.4 机床性能及数控功能检验	113
单元测试题	115

单元测试题答案	118
---------------	-----

第4单元 数控车床编程

4.1 GE-FANUC 21i-T 数控系统编程	121
4.2 SIEMENS 数控系统编程	147
4.3 编程示例	165
单元测试题	188
单元测试题答案	192

第5单元 加工中心编程

5.1 加工中心概述	199
5.2 GE-FANUC 21i-M 系统编程	201
5.3 HAAS 数控系统编程	222
5.4 编程示例	231
单元测试题	247
单元测试题答案	251

第6单元 数控车床操作

6.1 数控车床 EMCO-TURN 345 操作	257
6.2 数控车床 DMG-CTX310 操作	267

第7单元 加工中心操作

7.1 加工中心 EMCO-MILL 300 操作	289
---------------------------------	-----



7.2 加工中心 HAAS VF-1 操作	299
高级数控机床工职业技能鉴定模式	314
职业技能鉴定考核模拟试卷（一）	316
职业技能鉴定考核模拟试卷（二）	321





第 1 单元

数控机床控制技术概述

- 1.1 数控系统概述 /3
- 1.2 数控机床的基本功能 /8
- 1.3 机床数控技术的特点及发展 /11

引导语

在中级数控机床工的学习中已经基本掌握了数控机床的编程与加工,高级数控机床工的主要任务是掌握多种数控系统的基本编程方式与操作,合理编写较复杂的数控加工程序,完成批量零件的调试加工,并能参与数控机床的使用管理。

一台完整的数控机床,主要由控制介质、数控装置、伺服系统和机床四部分及其他辅助装置组成。如果说工作台等机械装置是数控机床的“四肢”,那么数控装置就是数控机床的“大脑”,是“控制中心”,被喻为“中枢系统”。数控机床根据功能和性能要求,配置不同的数控系统。因此作为高级数控机床工首先要对数控系统有初步地了解,对目前我国使用较广泛的 FANUC 系统、SIEMENS 系统的特点、功能及发展趋势有进一步的认识。

目前数控系统正朝着开放式体系结构、软数控、智能化以及网络化方向发展。随着数控机床的日益普及,提高数控机床工的技术水平,更加合理科学地使用这一先进技术,最大范围地发挥数控机床的潜在功能,是每一位数控技术人员努力的目标。

因此,本单元可以帮助数控机床工总体认识数控系统,了解数控系统的特点、组成与工作原理以及今后的发展趋势,这些内容是高级数控机床工学习的基础。

学习要点

了解

数控系统的基本组成与工作过程,包括数控系统的硬件结构与接口;数控技术的发展

熟悉

数控机床的基本控制功能、编程功能与输出功能的常用术语与有关的内容

掌握

典型数控系统的特点与应用范围,包括常用的 FANUC 系统与 SIEMENS 系统

1.1 数控系统概述

随着科学技术的飞速发展,机械制造技术发生了深刻地变化。机械制造技术经过操作机械、动力机械、电动机与自动控制三个阶段的发展,已开始进入智能化阶段。传统的普通加工设备已难以适应市场对产品多样化的要求,难以适应市场竞争的高效率、高质量的要求。而以数控技术为核心,以微电子技术为基础的现代制造技术,将传统的机械制造技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术以及网络通讯技术有机地结合在一起,构成了高度信息化、高度柔性、高度自动化的制造系统。

随着现代微电子技术的飞速发展,微电子器件的集成度和信息处理能力不断提高,而价格不断下降。以信息技术为中心的新技术革命正冲击着世界各个技术领域,机械制造业自动化正在经历 CNC(计算机数控化)、FMS(柔性制造系统)、CIMS(计算机集成制造系统)三个发展阶段。

1.1.1 数控系统的基本组成

数字控制(Numerical Control,简称 NC 或数控)是近代发展起来的一种自动控制技术,是用数字化的信息对某一对象进行控制的技术。控制对象可以是位移、角度、速度等机械量,也可以是温度、压力、流量、颜色等物理量。不仅可以测得这些量的大小,而且可以经过 A/D 或 D/A 转换,用数字信号来表示。

数字控制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,因而被称为硬件数控系统。随着微型计算机的发展,硬件数控系统已逐渐被淘汰,取而代之的是计算机数控系统(Computer Numerical Control,简称 CNC)。由于计算机可完成由软件来确定数字信息的处理过程,从而具有真正的“柔性”,并可以处理硬件逻辑电路中难以处理的复杂信息,使数字控制系统的性能大大提高。

CNC 装置由硬件和软件组成,CNC 的硬件为专用计算机,由软件来实现部分或全部数控功能,通过改变软件很容易更改或扩展功能。

硬件的组成如图 1—1 所示,软件的组成如图 1—2 所示。

1.1.2 数控系统的基本工作过程

CNC 系统的工作是在硬件的支持下执行软件的全过程。其主要内容包括:

1. 输入

向 CNC 装置输入的内容有零件程序、控制参数和补偿数据等。输入大多采用中断方式。输入的形式有光电阅读机纸带输入、键盘输入、磁盘输入和连接上级计算机的 DNC(直接数控)接口输入。CNC 系统的输入按 CNC 装置工作方式可分为存储方式输入和 NC 方式输入。所谓存储方式,是将加工的零件程序一次性地全部输入到 CNC 装置的内部存储器中,加工时再从存储器中逐个地调出各程序段;所谓 NC 方式,是一边往 CNC 装置输

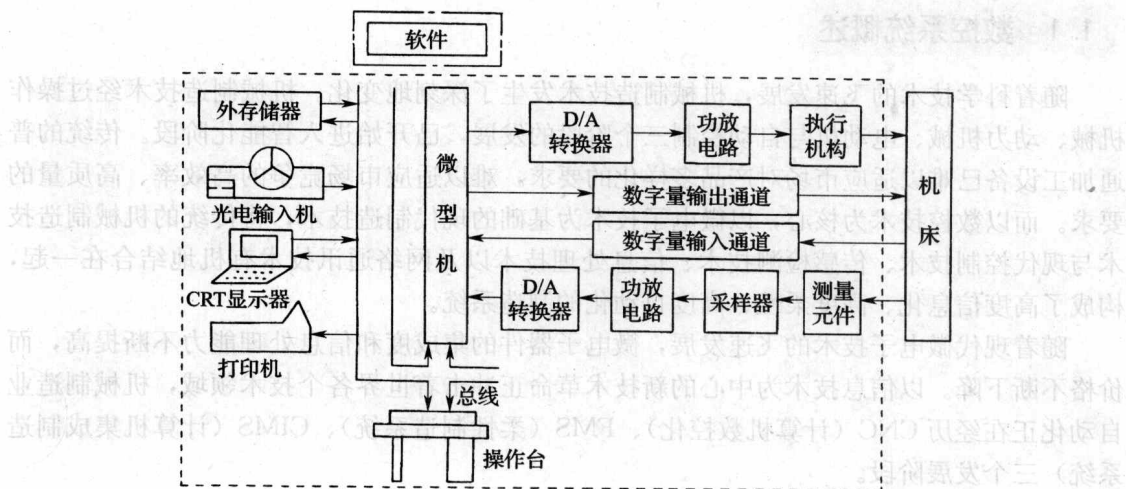


图 1—1 CNC 装置硬件组成

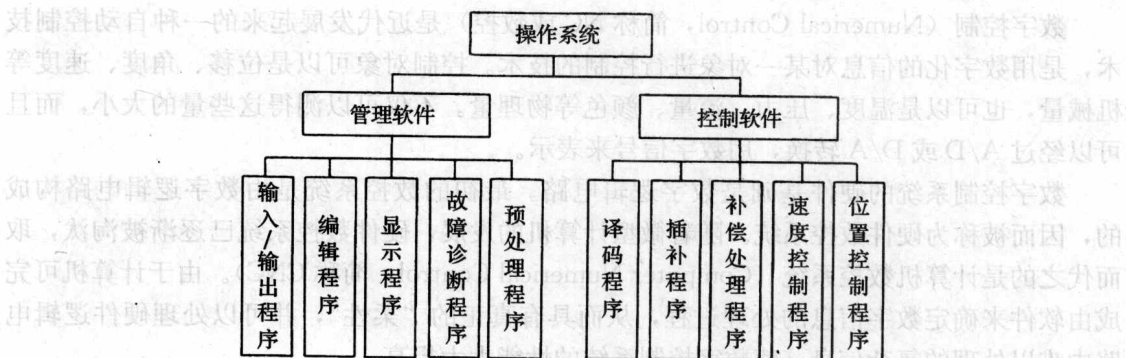


图 1—2 CNC 装置软件组成

入程序一边进行加工，即当前一程序段在加工时，输入后一程序段。

CNC 装置在输入过程中，还要进行删除无效码、代码校验和代码转换等工作。

2. 译码

零件程序及其他信息输入 CNC 装置的内部存储器后，在计算机做插补运算与控制操作之前，要进行译码处理。

译码是以一个程序段为单位进行的。译码的目的是把程序段中的各种零件的轮廓信息（如起点、终点、直线或圆弧等几何要素）、加工速度信息（F 代码）和其他辅助信息（M, S, T 代码等），按照一定的语法规则解释成数控装置能够识别的语言，并以一定的格式存放在指定的内存专用区间。在译码过程中，还要完成对程序段的语法检查，一旦发现错误装置会立即发出报警信号。

3. 刀具补偿

刀具补偿包括刀具半径补偿和刀具长度补偿。刀具半径补偿的作用是把零件轮廓轨迹转换成刀具中心轨迹,这样就可按零件的轮廓轨迹进行编程,从而简化了编程工作。刀具长度补偿是编程人员不必知道刀具实际长度,而根据假设刀具长度编程,数控装置按两者之差自动补偿,从而简化了编程工作。目前,CNC装置均具有C刀补功能,能在程序段之间进行自动转接和过切削判别。

4. 进给速度处理

数控装置进给速度处理的任务是要保证编程中刀具速度的实现。编程所给定的刀具移动速度是加工轨迹切线方向的速度。速度处理就是将其分解成各运动坐标方向的分速度。

5. 插补

插补是在已知起点和终点的曲线(工作轮廓)上,按选定的数学模型求其他中间数据点的工作,即所谓的“数据点的密化”。

插补按周期运行,每个插补周期运行一次。利用按程序给定的进给速度和插补周期 Δt ,可计算出一个微小直线段。经过若干个周期后,可完成一个程序段的插补工作,所得到的若干个微小直线段的交点,就是该程序段的“数据点的密化”。

如图1—3所示,已知曲线L,起点为A,终点为B。在一个插补周期内可计算出微小直线段的各坐标分量 $\Delta x_i, \Delta y_i$ 。经过若干插补周期,可计算出曲线L的若干微小直线段 $(\Delta x_1, \Delta y_1), (\Delta x_2, \Delta y_2), \dots, (\Delta x_n, \Delta y_n)$ 。每个插补周期所计算出的微小直线段 $(\Delta x_i, \Delta y_i)$ 都足够小,以保证轨迹精度。

目前,一般的CNC装置都能对直线、圆弧进行插补运算。而在一些较专用或较高档的CNC装置上还能对椭圆、抛物线、正弦曲线和一些专用曲线进行插补计算。

6. 位置控制

在闭环控制的CNC系统中,位置控制的作用是在每个采样周期内,把插补计算得到的理论位置与实际反馈位置相比较,用其差值去控制进给电机。在位置控制中,通常还要进行位置回路的增益调整、各坐标方向的螺距误差补偿和反向间隙补偿,以提高机床的定位精度。

7. I/O 处理

I/O处理,主要是处理CNC装置与机床之间的强电信号的输入、输出和控制(如换刀、换挡及冷却等)。

8. 显示

CNC装置的显示主要是为操作者提供便利。通常有零件程序的显示、参数显示、零件程序的

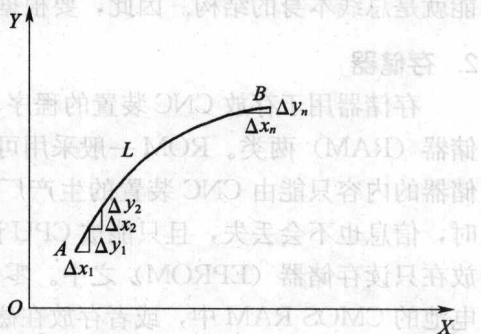


图1—3 插补

图形仿真显示、刀具位置显示、机床状态显示以及报警显示等,有些 CNC 装置还有刀具加工轨迹的静态和动态图形显示。

9. 诊断

现代数控机床的 CNC 装置,都具有联机 and 脱机诊断能力。

联机诊断,是指 CNC 装置在自诊断程序的支持下,随时监控机床各部分的运行情况,及时发现异常事件。脱机诊断,是在机床停止加工和停机情况下检查。一般 CNC 装置配备有各种脱机诊断程序纸带。诊断时将诊断纸带内容读入 CNC 的 RAM 中,根据计算机的输出数据进行分析,以判定是否有故障并确定故障的位置。脱机诊断还可以采用远程通信方式进行,由诊断中心计算机对 CNC 装置进行诊断,确定故障位置和修理方法。

1.1.3 数控系统的硬件结构

1. 微处理器 (CPU) 和总线

微处理器 (CPU) 是 CNC 装置的核心,主要由运算器和控制器两大部分组成。运算器是对数据进行算术和逻辑运算;控制器则是将存储器中的程序指令进行译码,向 CNC 装置各部分按顺序发出操作的控制信号,并且接收执行部件的反馈消息,从而决定下一步的操作命令。微处理器 (CPU) 可以进行实时插补数据处理与机床位置伺服控制,同时可将辅助动作指令通过可编程序控制器 PLC 发往机床,并接收通过 PLC 返回的机床各部分信息。CNC 装置中常用的微处理器为 8 位、16 位和 32 位。选用 CPU 时要根据实时控制和数据处理的要求,对运算速度、字长、数据宽度、寻址能力等几方面进行考虑。现代 CNC 系统中,出现了多 CPU 系统,即数控系统中有两个甚至两个以上的 CPU。每个 CPU 之间都采用紧耦合,有集中的操作系统,共享资源;或者由多个 CPU 构成功能模块,功能模块之间采用松耦合,由多重操作系统有效实现功能并进行处理。

总线是 CPU 与各组成部件、接口之间信息的公共传输线。系统总线包括地址总线、数据总线和控制总线。采用标准总线连接模板而组成的 CNC 系统,其性能限制的最终可能就是总线本身的结构。因此,要根据用户系统的要求选用标准总线。

2. 存储器

存储器用于存放 CNC 装置的程序、数据和参数,分为只读存储器 (ROM) 和随机存储器 (RAM) 两类。ROM 一般采用可以用紫外线擦除的只读存储器 (EPROM),这种存储器的内容只能由 CNC 装置的生产厂家固化 (写入),写入信息的 EPROM 即使在断电时,信息也不会丢失,且只能被 CPU 读出,不能写进新的内容。CNC 装置的系统程序存放在只读存储器 (EPROM) 之中。零件加工程序、机床参数、刀具参数等存放在有后备电池的 CMOS RAM 中,或者存放在磁泡存储器中,这些数据既能读出也能写入或修改。断电后,信息仍被保留。数控过程中各种运算的中间结果、运行中需显示的状态信息等均存放在随机存储器 RAM 中,可以随时读写,断电后内容即刻消失。

3. 位置控制器

位置控制器分为位置控制单元和速度控制单元。将经过插补运算得到的控制信号送往位置控制单元，由其产生伺服电机速度指令，送往速度控制单元。速度控制单元接收速度反馈信号，来控制伺服电机以恒定速度运转；同时，位置控制单元接收实际位置反馈信号，并修正速度指令，实现机床运动的准确控制。

在进行位置控制的同时，数控系统还进行自动升降速处理，即当机床启动、停止或在加工过程中改变进给速度时，数控系统自动进行线性规律或指数规律的速度升降处理。对于一般机床，可采用较为简单的直线线性升降速处理，如图 1—4a 所示。对于重型机床，则使用指数升降速处理，以使速度变化平滑，如图 1—4b 所示。

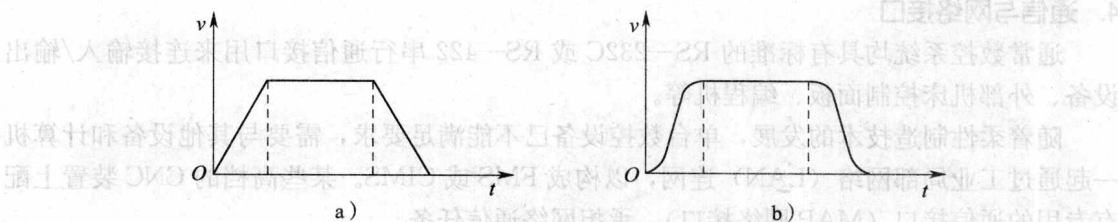


图 1—4 直线线性升降速与指数升降速

a) 直线线性升降速 b) 指数升降速

4. 可编程序控制器

可编程序控制器 (PLC) 利用逻辑运算实现机床的顺序控制功能，在数控机床上替代了传统机床强电的继电器逻辑控制。数控机床可以辅助机械动作控制，如工件的夹紧放松、主轴运动控制、切削液控制以及刀具管理控制等，这些控制功能通常由可编程序控制器 (PLC) 来实现。PLC 有独立的语言系统，体积小，控制灵活。

1. 1. 4 数控系统的硬件接口

1. 输入/输出接口

输入/输出 (I/O) 接口电路是传送 CNC 装置与机床间信号来往的。输入接口可接收机床操作面板上的各种开关、按钮信号以及机床上的各种行程开关信号和温度、压力、电压等检测信号。输出接口是将所检测的各种机床工作状态信息送到机床操作面板进行声光指示，将 CNC 装置发出的控制机床动作信号送到强电控制柜，以控制机床电气执行部件。

2. 控制设备接口

控制设备的接口信号有数字信号和模拟信号两种。

通过设备接口，控制设备与 I/O 接口芯片连接起来，其中机床设备接口电路的主要任务是进行电平转换和功率放大。一般计算机 I/O 接口电路为低电平，而控制设备如接触器、继电器等大多电压高、电流强，因此要进行电平转换或功率放大。另外将计算机处理