

数控机床技术工人培训读本

数 控 车 床

张超英 主编

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床/张超英主编. —北京: 化学工业出版社,
2003. 9

(数控机床技术工人培训读本)

ISBN 7-5025-4776-2

I. 数… II. 张… III. 数控机床: 车床-技术培
训-教材 IV. TG519. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 080904 号

数控机床技术工人培训读本

数 控 车 床

张超英 主编

责任编辑: 张兴辉 任文斗

责任校对: 李 林

封面设计: 潘 峰

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×960 毫米 1/16 印张 16¼ 字数 293 千字

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4776-2/TH·142

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《数控机床技术工人培训读本》

编 委 会

主 任 罗学科

副主任 张超英 陈晓光 徐宏海

委 员 (按姓氏笔画排序)

马天颖 王凤霞 王孝忠 牛小铁 朱运利

刘 瑛 李 凯 李跃中 余圣梅 张超英

陈晓光 罗学科 周国烛 郑 青 郑张龙

赵玉侠 徐宏海 高 屏 高德文 阎红娟

谢富春 魏晓东

序

机械制造业是国民经济的支柱产业。据统计，美国 68% 的社会财富来源于制造业，日本国民总产值的 49% 是由机械制造业提供的，我国的机械制造业在工业总产值中也占 40%。可以说，没有发达的机械制造业，就不可能有国家的真正繁荣的富强。而机械制造业的发展规模和水平，则是反映国民经济实力和科学技术水平的重要标志之一。提高加工效率、降低生产成本、提高加工质量、快速更新产品，是机械制造业竞争和发展的基础，也是机械制造业技术水平的标志。

20 世纪 50 年代初第一台数控机床的出现，使机械制造技术的发展出现了日新月异的局面，数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业（如信息技术及其产业，生物技术及其产业，航空、航天等国防工业产业）的使能技术和最基本的装备。马克思曾经说过“各种经济时代的区别，不在于生产什么，而在于怎样生产，用什么劳动资料生产。”机械制造技术和装备就是人类生产活动的最基本的生产资料，而数控技术又是当今先进制造技术和装备最核心的技术。当今世界各国机械制造业广泛采用数控技术，以提高制造能力和水平，提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力，大力发展以数控技术为核心的先进制造技术，已成为世界各发达国家加速经济发展、提高综合国力和国家地位的重要途径。

中国在加入 WTO 后，机械制造业获得了前所未有的发展机遇，世界各国都期望中国能够抓住机会，在战略目标的确定和产业结构的调整方面能与现有的机械制造业基础相符合。然而，我们不得不注意在人才培养上的“离制造业”现象，全国人大常委会委员长吴邦国同志在出席 2002 年 7 月在北京举行的全国职业教育工作会议上发表了“加强职业教育和培训，提高职工队伍素质和企业竞争力”的讲话，他在讲话中指出“我国职工队伍的整体素质还比较低，高级技工严重缺乏。全国仅数控机床的操作工就短缺 60 万人。杭州汽轮机厂需要 260 名数控技工，参加十多场招聘会，月薪提到 6000 元，还招不到合适人选。我国高级技工占技工总数的比例只有 3.5%，与发达国家 40% 的比例相差甚远。”从委员长的这段话，我们不难看出培养数控高级操作人员的重要性和迫切性。

《数控机床技工人培训读本》就是在这种情况下为技术工人学习数控技术编

写的。这套读本既可供传统机械制造业技术工人更新知识、提高职业技能、学习数控知识用，也可作为数控机床技术工人的培训教材。全套读本共4册，近150万字，包括《数控车床》、《数控铣床》、《数控加工中心》、《数控电加工机床》。在编写上突出了实用特点，内容通俗易懂，便于技术工人自学。

《数控机床技术工人培训读本》既参考了国内外相关领域的书籍和资料，也融汇了编者们的长期的教学实践和研究心得，特别是北方工业大学机电中心汲取了5年来在国家级高职数控技术专业教学改革试点专业中的教学经验和教训。它的出版对推动机械制造企业采用新的数控技术、改造和提升传统产业将会产生积极的影响。

《数控机床技术工人培训读本》立足于应用，面向技术工人和工程技术人员。在内容组织和编排上图文并茂、通俗易懂，特别强调实践，书中的大量实例来自生产实际和教学实践，为企业培训数控技术应用人才提供了参考书籍，对相关工程技术人员也是一套很有益的参考书。

工学博士、机械工程教授 罗学科

2003年6月于北京

前

言

本书是《数控机床技术工人培训读本》系列培训教材之一，是针对目前我国制造业职工队伍的整体素质偏低，高级技工特别是数控机床操作工严重短缺，而市场又急需的现状而编写的。

数控机床是典型的机电一体化产品，综合了精密机械、电子、电力拖动、自动控制、自动检测、故障诊断和计算机等方面的技术。数控机床的高精度、高效率及高柔性决定了大力推广使用数控机床是我国制造业提高制造能力和水平、提高市场适应能力和竞争能力的必由之路。随着数控机床的大量使用，仅仅靠职业技术教育和高等教育培养数控专门人才是远远不够的，只有在职工队伍中普及数控技术培训，才能较好地解决目前数控技术工人短缺的现状。

系列培训教材按工种分类，数控车削加工是机械加工中最主要的数控加工方法之一。本书围绕数控车床的设备、工艺、编程与操作等核心内容，以数控车削加工为主线，全面、系统地介绍了数控技术的基础知识、数控车床的数控系统与机械结构、车削加工的工艺分析、编程技术、数控车床的操作和常见故障的分析与消除方法。既注重了知识的系统性，又突出了操作技能的实践性。在素材的组织上，突出了实用特点，内容通俗易懂，便于技术工人自学。

书中精选的大量典型实例，源于编者所在单位举办的“北京市数控操作工职业技能培训班”的教学实践，本书是编者多年的实践和教学经验的总结，是集体智慧的结晶；同时，融会了北方工业大学高职数控专业“教育部首批国家级教育教学改革试点专业”的改革成果。

本书特别适用于数控车床技术工人的培训教材，也可供传统制造业技术工人更新知识、提高职业技能、学习数控知识使用。还可作为高职数控专业和其他机电专业，以及相关工程技术人员参考书籍。

本书由张超英主编并统稿。第1、5、6、7章由张超英编写，第2、3章由阎红娟编写，第4章和第6章的部分内容由徐宏海编写，第8章由赵玉侠编写；谢富春、高德文参加了第2章的编写，梁海燕参加了第7章的编写，郑青、赵长友同志对本书的实训内容进行了验证指导。

教材编写过程中，得到了北方工业大学校领导和教务处领导的关心和大力支

持；BEIJING-FANUC 公司李小萍女士、SIEMENS 公司易维成经理、FAGOR 公司总经理陈晓光先生和郑张龙经理、华中数控集团蔡胜安主任等为教材的编写提供了丰富的资料，在此一并致谢。

限于编者的水平和经验，书中欠妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2003 年 8 月

内 容 提 要

本书是《数控机床技术工人培训读本》之一。

全书围绕数控车床的设备、工艺、编程与操作等核心内容，以数控车削加工为主线，全面、系统地介绍了数控技术的基础知识、数控车床的数控系统与机械结构、车削加工的工艺分析、编程技术、数控车床的操作和常见故障的分析与消除方法。既注重了知识的系统性，又突出了操作技能的实践性。在素材的组织上，突出了实用特点，书中精选的大量典型实例，内容通俗易懂，便于技术工人自学。

本书特别适用于数控车床技术工人的培训教材，也可供传统制造业技术工人更新知识、提高职业技能、学习数控知识使用。还可作为高职数控专业和其他机电专业，以及相关工程技术人员参考书籍。

目

录

第 1 章 数控技术基础	1
1.1 数控机床的系统组成及其各部分功能	1
1.2 数控机床的分类	3
1.3 数控机床的加工对象	9
1.4 数控技术的发展方向.....	11
1.5 数控技术常用术语.....	13
第 2 章 数控机床的数控系统	17
2.1 计算机数控 (CNC) 装置	17
2.1.1 CNC 装置的工作原理	18
2.1.2 CNC 装置的特点	19
2.1.3 CNC 装置的硬件结构	21
2.1.4 CNC 系统的软件结构	27
2.2 数控机床的检测装置.....	30
2.2.1 检测装置的分类.....	30
2.2.2 数控测量装置的性能指标及要求.....	31
2.2.3 常用的位置检测装置感应同步器.....	31
2.3 伺服驱动装置.....	39
2.3.1 伺服驱动装置的概念.....	39
2.3.2 常用的伺服电机.....	40
2.3.3 典型伺服电机简介.....	46
2.4 PLC 与接口技术	48
2.4.1 PLC 的作用及特点	48
2.4.2 数控机床 PLC 的控制对象	49
2.4.3 数控机床 PLC 的形式	51
2.4.4 输入/输出与通信接口	52
2.5 典型数控系统.....	54

2.5.1	典型数控厂家的主要产品	55
2.5.2	典型的数控系统	57
第3章 数控车床的机械结构		64
3.1	数控车床的机械结构组成	64
3.2	进给系统的机械传动结构	66
3.2.1	对进给系统的性能要求	67
3.2.2	滚珠丝杠螺母副	67
3.2.3	导轨副	70
3.2.4	齿轮传动装置及齿轮间隙的消除	75
3.3	数控车床的主轴及其机械结构	79
3.3.1	对主轴驱动的要求	79
3.3.2	主轴驱动方式	80
3.3.3	主传动的机械结构	81
3.3.4	数控车床主传动系统及主轴部件结构实例	82
3.4	数控车床的辅助装置	83
3.4.1	自动换刀机构	83
3.4.2	润滑系统	86
3.4.3	排屑装置	86
第4章 数控车床加工工艺		92
4.1	数控车床加工工艺概述	88
4.1.1	数控车床加工的主要对象	88
4.1.2	数控车床加工工艺的基本特点	90
4.1.3	数控车床加工工艺的主要内容	90
4.2	数控车床加工工艺分析	90
4.2.1	数控车床加工零件的工艺性分析	91
4.2.2	数控车床加工工艺路线的拟订	92
4.3	工件在数控车床上的定位与装夹	98
4.3.1	定位	98
4.3.2	装夹	101
4.4	数控车床加工工序的设计	110
4.4.1	进给路线的确定	111
4.4.2	定位与夹紧方案的确定	114

4.4.3	夹具的选择	114
4.4.4	刀具的选择	114
4.4.5	切削用量的选择	117
4.5	典型零件数控车床加工工艺分析	120
4.5.1	轴类零件数控车床加工工艺分析	120
4.5.2	轴套类零件数控车床加工工艺分析	123
第 5 章 数控车削加工的编程技术		127
5.1	数控编程概述	127
5.1.1	数控编程的内容与方法	127
5.1.2	数控编程的种类	128
5.1.3	程序结构与格式	129
5.1.4	数控车床的编程特点	132
5.1.5	典型数控系统的指令代码	132
5.2	常用指令的编程方法	136
5.2.1	数控机床的坐标系统及其编程指令	136
5.2.2	尺寸系统的编程方法	138
5.2.3	刀具功能 T、主轴转速功能 S 和进给功能 F	140
5.2.4	常用的辅助功能	141
5.2.5	运动路径控制指令的编程	142
5.3	刀具补偿指令及其编程	149
5.4	固定循环与子程序	154
5.4.1	固定循环	154
5.4.2	子程序	159
5.5	综合实例	161
5.6	编程练习题	164
第 6 章 数控车床的操作要点		166
6.1	数控车床的主要技术参数	166
6.2	FANUC Oi-TA 系统的操作方法	167
6.2.1	面板及功能	167
6.2.2	功能及其操作方法	170
6.3	SIEMENS 802S/C 系统的操作方法	177
6.3.1	面板介绍	177
6.3.2	数控车床的操作方法及步骤	181

6.4	常用量具的结构和使用方法	188
6.4.1	游标卡尺	188
6.4.2	千分尺	190
6.4.3	百分表	193
第7章 数控车削加工实训		196
7.1	加工前的技术准备	196
7.2	典型车削加工综合实例	200
7.3	综合实训内容	218
第8章 数控车床常见故障诊断与维修		220
8.1	数控机床故障诊断与维修概述	220
8.2	数控机床机械故障诊断	226
8.2.1	机械故障诊断方法	226
8.2.2	主要机械部件故障诊断	228
8.3	数控系统故障诊断	235
8.3.1	控制系统故障诊断	235
8.3.2	常见伺服系统故障及诊断	238
8.4	常见数控车床故障诊断与维修实例	241
参考文献		246

第 1 章

数控技术基础

数字控制机床（Numerically Controlled Machine Tool）简称数控机床，随着电子技术的发展，数控机床采用了计算机数控（Computerized Numerical Control）系统，因此也称为计算机数控机床或 CNC 机床。

1.1 数控机床的系统组成及其各部分功能

（1）数控加工的过程

利用数控机床完成零件数控加工的过程如图 1-1 所示，主要包括以下内容。

- ① 根据零件加工图样进行工艺分析，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 工作，直接生成零件的加工程序文件。
- ③ 程序的输入或传输。由手工编写的程序，可以通过数控机床的操作面板输入程序；由编程软件生成的程序，通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元（MCU）。

④ 将输入/传输到数控单元的加工程序，进行试运行、刀具路径模拟等。

⑤ 通过对机床的正确操作，运行程序，完成零件的加工。

（2）数控机床的组成及其各部分的功能

数控机床一般由数控系统、包含伺服电机和检测反馈装置的伺服系统、强电控制柜、机床本体和各类辅助装置组成，如图 1-2 所示。

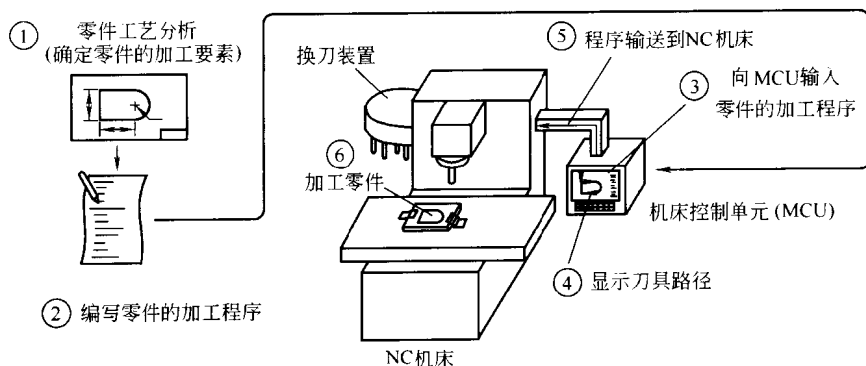


图 1-1 数控加工的过程

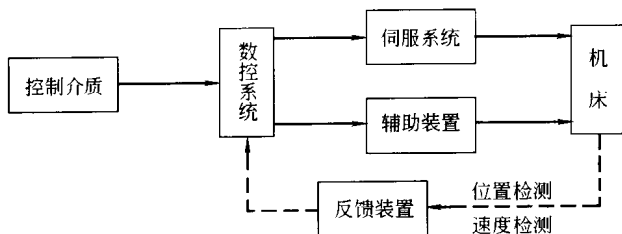


图 1-2 数控机床的系统组成框图

① 控制介质 控制介质又称信息载体，是人与数控机床之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、主控制系统、可编程控制器、各类输入/输出接口等组成。主控制系统主要由 CPU、存储器、控制器等组成。数控系统的主要控制对象是位置、角度、速度等机械量，以及温度、压力、流量等物理量，其控制方式又可分为数据运算处理控制和时序逻辑控制两大类。其中主控制器内的插补模块就是根据所读入的零件程序，通过译码、编译等处理后，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、速度反馈信号的比较，从而控制机床各坐标轴的位移。而时序逻辑控制通常由可编程控制器 PLC 来完成，它根据机床加工过程中各个动作要求进行协调，按各检测信号进行逻辑判别，从而控制机床各个部件有条不紊地按顺序工作。

③ 伺服系统 伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节。主要由伺服电机、驱动控制系统和位置检测与反馈装置等组成。伺服电机是系统的执行元件，驱动控制系统则是伺服电机的动力源。数控系统发出的指令信号与位置反馈信号比较后作为位移指令，再经过驱动系统的功率放大后，驱动电机运

转，通过机械传动装置拖动工作台或刀架运动。

④ 强电控制柜 强电控制柜主要用来安装机床强电控制的各种电气元器件，除了提供数控、伺服等一类弱电控制系统的输入电源，以及各种短路、过载、欠压等电气保护外，主要在 PLC 的输出接口与机床各类辅助装置的电气执行元件之间起桥梁连接作用，控制机床辅助装置的各种交流电机、液压系统电磁阀或电磁离合器等。此外，它也与机床操作台有关手动按钮连接。强电控制柜由各种中间继电器、接触器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等构成。它与一般普通机床的电气类似，但为了提高对弱电控制系统的抗干扰性，要求各类频繁启动或切换的电机、接触器等电磁感应器件中均必须并接 RC 阻容吸收器；对各种检测信号的输入均要求用屏蔽电缆连接。

⑤ 辅助装置 辅助装置主要包括自动换刀装置 ATC (Automatic Tool Changer)、自动交换工作台机构 APC (Automatic Pallet Changer)、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 数控机床的本体指其机械结构实体。它与传统的普通机床相比较，同样由主传动系统、进给传动机构、工作台、床身以及立柱等部分组成，但数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面都发生了很大的变化。为了满足数控技术的要求和充分发挥数控机床的特点，归纳起来包括以下几个方面的变化。

- a. 采用高性能主传动及主轴部件。具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。
- b. 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、直线滚动导轨副等。
- c. 具有完善的刀具自动交换和管理系统。
- d. 在加工中心上一般具有工件自动交换、工件夹紧和放松机构。
- e. 机床本身具有很高的动、静刚度。
- f. 采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工，为了操作安全等，一般采用移动门结构的全封闭罩壳，对机床的加工部件进行全封闭。

1.2 数控机床的分类

数控机床的品种规格很多，分类方法也各不相同。一般可根据功能和结构，

按下面4种原则进行分类。

(1) 按机床运动的控制轨迹进行分类

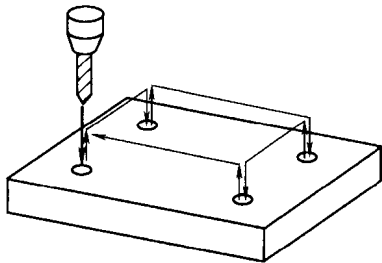


图 1-3 数控机床的点位加工轨迹

① 点位控制的数控机床 点位控制只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的准确定位，对于点与点之间的运动轨迹的要求并不严格，在移动过程中不进行加工，各坐标轴之间的运动是不相关的。为了实现既快又精确的定位，两点间位移的移动一般先快速移动，然后慢速趋近定位点，以保证定位精度，图 1-3 所示为点位控制的运动轨迹。

具有点位控制功能的机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床等。随着数控技术的发展和数控系统价格的降低，单纯用于点位控制的数控系统已不多见。

② 直线控制数控机床 直线控制数控机床也称为平行控制数控机床，其特点是除了控制点与点之间的准确定位外，还要控制两相关点之间的移动速度和路线（轨迹），但其运动路线只是与机床坐标轴平行移动，也就是说同时控制的坐标轴只有一个（即数控系统内不必有插补运算功能），在移位的过程中刀具能以指定的进给速度进行切削，一般只能加工矩形、台阶形零件。

具有直线控制功能的机床主要有比较简单的数控车床、数控铣床、数控磨床等。这种机床的数控系统也称为直线控制数控系统。同样，单纯用于直线控制的数控机床也不多见。

③ 轮廓控制数控机床 轮廓控制数控机床也称连续控制数控机床，其控制特点是能够对两个或两个以上的运动坐标的位移和速度同时进行控制。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓的要求，必须将各坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来。因此在这类控制方式中，就要求数控装置具有插补运算功能，所谓插补就是根据程序输入的基本数据（如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径），通过数控系统内插补运算器的数学处理，把直线或圆弧的形状描述出来，也就是一边计算，一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲，从而控制各坐标轴的联动位移量与要求的轮廓相符合。在运动过程中刀具对工件表面连续进行切削，

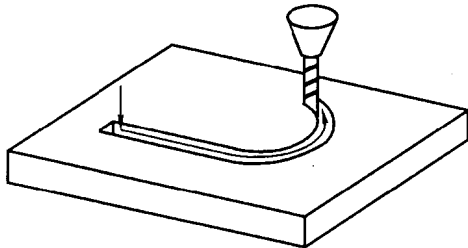


图 1-4 数控铣床的轮廓加工轨迹