

数控机床操作人员辅导用书

数控机床及加工中心的 编程与操作

北京第一机床厂职工技术协会 编



机械工业出版社

TG659

451917

B42

数控机床操作人员辅导用书

数控机床及加工中心的 编程与操作

北京第一机床厂职工技术协会 编

陈公牧 贾凤桐 审定



00451917



机械工业出版社

DV85/04

本书是为数控机床及加工中心操作人员编写的辅导用书。全书共六章。第一章为数控机床概论,简要介绍了数控机床的基本知识、发展过程和现状;第二章为程序设计的基本知识,简要介绍了数控常用术语、编制程序的工艺指令和工艺处理、数控机床性能和自动编程等知识;第三章至第六章,分别介绍了国内常用的数控车床、数控铣床、数控线切割机床和加工中心的编程和操作,列举了典型工件的编程方法,并结合各类机床的操作面板功能详细介绍了操作过程。本书可作为车、钳、铣、镗、钻等工种工人的数控知识自学用书,也可作为机械类技工学校、中等职业学校师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床及加工中心的编程与操作/北京第一机床厂职工技术协会编.-北京:机械工业出版社,1999.3
数控机床操作人员辅导用书

ISBN 7-111-06922-6

I. 数… II. 北… III. ①数控机床-技术培训-学习参考资料②数控机床加工中心-程序设计-技术培训-学习参考资料 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 30224 号

出版人:马九荣(北京市百万庄大街22号 邮政编码:100037)

责任编辑:崔世荣 版式设计:霍永明 责任校对:李汝庚

封面设计:方芬 责任印制:何全君

北京交通印务实业公司印刷·新华书店北京发行所发行

1999年3月第1版第1次印刷

787mm×1092mm^{1/32}·9.625印张·208千字

0 001-4000册

定价:14.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

近年来，数控机床的功能日趋完善，许多企业逐步采用数控机床代替了普通机床，这就要求机械加工工人掌握数控机床的操作并懂得一些编程知识。为了适应培训数控机床操作人员的需要，北京第一机床厂职工技术协会受机械工业出版社的委托编写了本书。

编写本书的指导思想，是使读者经过培训了解数控机床和加工中心的工作原理和编程方法，掌握基本操作技能，并能把学到的知识应用到生产实际中去。因此，在内容安排上，首先较全面地讲述数控机床的基本原理和程序编制的基本知识，并在此基础上，结合国内常用的数控车床、数控铣床、线切割机床和加工中心的程序编制和操作方法进行了详细的论述。

本书可作为数控机床和加工中心操作人员的培训教材，也可作为车、钳、铣、镗等冷加工工种工人的数控知识自学用书，还可作为机械类技工学校、中等职业学校的师生参考。

北京第一机床厂职工技术协会的高级工程师楼一光同志组织了本书的编写工作。参加编写工作的有陈公牧、张石诚、

何俊倩、武伯文、孙树斌、胡亦斌、李晓晖、徐铁中、王铁兰等九位同志。

在本书编写过程中,曾经得到许多同行的支持和帮助,在此表示谢意。

由于编者水平所限,书中定有许多不妥之处,切望读者指正。

编 者

目 录

前言

第一章 数控机床概述	1
第一节 数控机床发展过程及现状	1
一、第一台数控机床的研制	1
二、数控机床的发展过程	3
三、我国数控机床的发展简介	6
四、数控机床今后的发展趋势	6
第二节 数控机床的基本知识	10
一、数控机床的加工过程	10
二、数控机床的组成	11
三、数控机床的加工特点	13
第三节 数控机床的分类	14
一、按完成的加工功能分类	14
二、按数控装置控制轴的功能分类	14
三、按进给伺服系统的类型分类	15
四、按数控装置的类型分类	18
第四节 插补原理及计算机数控系统 (CNC) 原理	19
一、插补原理	19
二、计算机数控系统 (CNC) 原理	21
第二章 程序设计的基本知识	24
第一节 数控技术中的常用术语	24
一、数控机床的坐标系	24
二、数控机床的坐标系及参考点	27
三、加工程序结构	31

四、穿孔带和代码	34
五、最小输入增量和最小指令增量	39
六、进给速度和进给修调	39
第二节 编制程序时的工艺指令	40
一、准备功能指令	40
二、辅助功能指令	41
三、其它功能指令	42
第三节 编制程序时的工艺处理	43
一、分析工件图样	43
二、确定工件的装夹方法和选择夹具	43
三、确定工件坐标系	43
四、选择刀具和确定切削用量	44
五、确定加工工序和加工路线	44
第四节 现代数控机床的性能	44
一、计算机数控系统 (CNC) 的性能	45
二、控制电动机及其伺服系统的功能	50
第五节 数控自动编程简介	50
一、手工编程和自动编程	50
二、自动编程系统	51
第三章 数控车床编程及操作	60
第一节 数控车床概述	60
一、数控车床分类与用途	60
二、数控车床的组成	61
第二节 数控车床的编程基础	68
一、编程前的工艺准备	68
二、数控系统的功能	69
三、坐标系	74
第三节 基本编程方法	77
一、坐标系设定 (G50)	77

二、快速定位 (G00)	81
三、直线插补 (G01)	82
四、倒角和倒圆 (G01)	82
五、圆弧插补 (G02, G03)	84
六、暂停 (G04)	87
七、米制和英寸制输入 (G21、G20)	88
八、回参考点检验 (G27)、自动返回参考点 (G28)、 从参考点返回 (G29)	88
九、螺纹加工	90
十、单一固定循环加工 (G90, G94)	100
十一、多重复合循环 (G70~G76)	104
十二、刀具补偿功能	114
十三、刀尖半径补偿计算	121
十四、子程序	123
第四节 数控车床编程举例	125
一、盘类工件加工编程	125
二、轴类带中心孔工件加工编程	134
第五节 机床操作面板说明及操作	137
一、电源控制部分	137
二、刀架移动控制部分	137
三、主轴控制部分	141
四、工作状态控制部分	142
五、循环控制部分	142
六、转塔刀架控制部分	145
七、切削液控制部分	145
八、程序保护部分	145
九、运屑器控制部分	146
十、超程释放操作	146
十一、按钮灯及指示灯	146
十二、机床液压卡盘及尾座 (选用) 控制	147

十三、机床导轨润滑系统·····	147
第四章 数控铣床编程及操作 ·····	148
第一节 典型数控铣床概述·····	148
一、XKA5032A 型数控立式升降台铣床·····	148
二、XK5040/3 型数控立式升降台铣床·····	151
第二节 数控铣床的编程基础与编程方法·····	153
一、编程基础·····	154
二、基本编程方法·····	159
第三节 编程实例·····	182
一、实例一·····	182
二、实例二·····	197
第四节 数控铣床的操作·····	205
一、显示功能·····	205
二、自动运行操作·····	213
三、手动运行操作·····	219
四、数控程序操作·····	223
五、数据设定·····	227
第五章 数控线切割机床编程及操作 ·····	230
第一节 数控线切割机床概述·····	230
一、线切割机床的加工原理及用途·····	230
二、数控线切割机床的组成及主要技术规格·····	231
三、主要部件工作原理·····	232
第二节 数控线切割机床的编程方法·····	234
一、数控线切割机床程序指令格式 (BXBYBJGZ)·····	234
二、纸带编码·····	237
三、线切割的自动编程·····	238
第三节 线切割编程要点及编程实例·····	247
一、编程要点·····	247
二、编程实例·····	248

第四节 数控线切割机床的操作	251
一、DK7725d 线切割机床面板	251
二、线切割机床的操作	253
三、线切割工艺准则	260
第六章 加工中心编程及操作	262
第一节 加工中心概述	262
一、加工中心的功能及分类	262
二、加工中心的特点及加工范围	264
三、未来加工中心的发展趋势	268
第二节 加工中心的编程基础	269
一、常用 G 代码、M 代码	269
二、固定循环	271
三、子程序	272
第三节 加工中心编程实例	272
一、加工内容	272
二、加工程序坐标系的设定	272
三、工件加工刀具	273
四、工件加工程序	276
第四节 典型加工中心的操作	282
一、典型加工中心简介	282
二、基准点的建立	286
三、工件坐标系的转换	290
四、机床操作要点	292
主要参考文献	295

第一章 数控机床概述

第一节 数控机床发展过程及现状

一、第一台数控机床的研制

第二次世界大战结束后，美、苏两国的军备竞赛日益激烈，制空权更是竞争的焦点。对新型的性能更好的飞机的需求十分迫切。而那时飞机零件的加工、整体机身的装配均是依靠样板来进行的，样板的数量极其惊人。而样板的加工主要依靠仿形铣床加工或者是依靠划线后按线铣削，最后靠手工钳修打磨成形，而仿形铣床的模板也是靠人工钳修打磨成形的，因此生产效率极低，精度也不高。生产一种新机型，其生产周期需二、三年时间。因此，1948年美国空军部门向美国吉斯汀·路易斯公司提出了研制直升飞机螺旋桨叶片轮廓检查样板加工设备的任务。该公司经过调查研究，提出了用大量的直线组成的一条折线来逼近样板曲线，使两者之间误差控制在允许范围内。然后，将每一条直线在 X 、 Y 坐标上的投影量编制成一个程序记录在纸带上输给计算机，计算机根据程序指令经过插补计算，同时给 X 、 Y 的伺服驱动装置发出不同频率、不同数量的指令脉冲， X 、 Y 两个坐标的伺服驱动装置按照各自的指令脉冲驱动各自的运动部件，从而使刀具相对于工件走了一段由 X 、 Y 两个坐标合成的并与程序相符合的直线。这样，一个程序接一个程序走下去，就加工出一条符合零件要求的曲线的方案，这就是数控铣床方案。1949

年经过美国空军部门的批准，该公司与美国麻省理工学院合作，开始了数控铣床的研究，经过三年的研制，于1952年试制成功了世界上第一台数控铣床。

这种数控铣床用现在的眼光看，可以说不屑一顾，是没有人愿意使用的。但是它毕竟是第一台数控铣床，没有它就没有以后的数控机床技术的突飞猛进，而它的结构组成依然是现代数控机床的最基本的组成，只是技术更先进了。

第一台数控铣床是由以下几个部分组成的：

1. 程序载体及其输入装置

程序记录在程序载体上，通过输入装置将程序输给计算机。当时用的是五单位穿孔纸带及其输入装置，其所能容纳的信息量少，输入速度也慢。

2. 计算机

计算机将输入的指令程序通过插补计算，向各轴发出指令脉冲，使各轴的伺服驱动装置按指令脉冲运动。当时的计算机实际上只是一台采用乘法器原理的直线插补器，控制功能很少，只能控制各坐标轴的移动，而且是采用电子管元件，体积十分庞大，可靠性很差。

3. 伺服驱动装置

伺服驱动装置的作用，是按照计算机输出的指令脉冲，经过功率放大，带动运动部件按照指令脉冲进行运动。第一台数控铣床的伺服驱动装置，是采用普通的直流电动机作为执行元件，采用电轴的办法进行控制的。由小功率步进电动机接受计算机的指令脉冲。步进电动机的工作特点就是每给它一个脉冲，它就转一个固定角度。步进电动机与一个自整角机相联，另一个自整角机安装在齿轮箱的某一根轴上，当静止时两个自整角机的相位相同，没有电压输出。当步进电动

机接受一个脉冲指令旋转一个角度后，两个自整角机产生了相位差，就有电压产生，此电压控制直流电动机，使直流电动机向某一个方向旋转，通过齿轮箱带动运动部件运动，直到齿轮箱上的自整角机也旋转一个同样的角度，电压消失，电动机停止。这种伺服驱动装置，因为自整角机的精度低，普通直流电动机的低速性能差，灵敏度低，很快就被淘汰了。

4. 机床

第一台数控铣床是在普通的升降台铣床上改装而成的，不可能根据数控机床的特点来进行设计，因此存在着进给传动链刚度低、导轨摩擦性能差等缺点。

二、数控机床的发展过程

第一台数控铣床的出现引起了世界各国的关注，认为它的出现不仅解决了复杂曲线与型面的加工问题，而且指出了今后机床自动化的方向，因此纷纷投入数控机床及其相关技术的研究。经过 40 多年的研究发展，到现在数控机床已是集现代机械制造技术、计算机技术、通信技术、控制技术、液压气动技术和光电技术为一体的，具有高精度、高效率、高自动化和高柔性等特点的机械自动化设备。其品种不仅覆盖了全部传统的切削加工机床，而且推广到锻压机床、电加工机床、焊接机、测量机等各个方面。在各个加工行业中得到了广泛的应用。

下面将数控机床相关技术的发展作一简述。

1. 数控装置

数控装置的发展直接影响到数控机床的应用与发展。数控装置的发展一共经过五次更新换代：

第一代数控装置是采用电子管元件，其体积大、可靠性低、价格高，因此主要用于军工部门，没有得到推广应用，产

量比较小。

第二代是 1958 年出现的由晶体管和印刷线路板组成的数控装置。虽然其可靠性有所提高，体积大为缩小，但其可靠性还是低，得不到广大用户的认可，数控机床的产量和品种虽有所增加，但增加得不快。

第三代是 1965 年商品化的集成电路数控装置面世，它不仅大大缩小了数控装置的体积，其可靠性也得到了实质性的提高，从而成为一般用户能够接受的装置，数控机床的产量和品种均得到较大的发展。

以上三代数控装置实质上是一种专用的计算机，主要靠硬件来实现各种控制功能，所以叫做数字控制装置，简称 NC 装置。

1970 年小型计算机在数控装置中得到了应用，称之为第四代数控装置。

1975 年微处理器的应用成为第五代数控装置。

第四、五两代因为将计算机应用于数控装置，所以叫做计算机数字控制装置，简称 CNC 装置。由于计算机的应用，很多控制功能可以用软件来实现，因而数控装置的功能大大提高，而价格却有较大的下降，可靠性得到进一步提高，使得数控机床的自动化程度得到很大的提高，数控机床得到了飞速的发展。

从 1975 年出现第五代数控装置以后，数控装置没有出现大的变化，只是随着集成电路的规模日益扩大，光缆通信技术应用在数控装置中，使其体积日益缩小，价格逐年下降，可靠性日益提高，数控装置的故障已从数控机床总的故障次数中占主导地位降到了很次要的地位。

2. 伺服驱动装置

伺服驱动装置的性能直接影响到数控机床的精度和进给速度，是数控机床的一个很重要的环节，是研究的重点之一。伺服驱动装置的发展经过电→液→电三个阶段。

第一阶段是采用普通直流电动机作为执行元件，其工作原理和缺点前面已有较详细的叙述，此处不再重复。

第二阶段是以液动机代替直流电动机作为执行元件，这在数控铣床出现以后就开始研制了，到60年代初才全面取代了直流电动机。日本使用的是电液脉冲马达，西欧、美国则多采用电液伺服阀加上液动机。采用液压驱动后，控制性能有了很大提高，但是寿命短、成本高、功率消耗大是其致命的缺点。

到了60年代末期，迎来了第三阶段。这时一直在致力于电伺服装置的研究取得了成果。研制成功了由伺服单元、直流进给伺服电动机和反馈元件所组成的进给伺服装置。因其性能完全能满足数控机床的要求，寿命长，可靠性好，很快就取代了液压伺服装置。

近几年又出现了数字化交流进给伺服电动机，其性能和可靠性又优于直流伺服电动机。

3. 主轴伺服驱动

最早的数控机床的主轴是不受控制的，随着数控机床的发展，对主轴的控制要求就提出来了，例如加工中心的出现，就要求控制主轴的启动、停止、正反转和主轴的转速，为了加工螺纹，就要求主轴的回转与Z轴联动，因此出现了直流主轴伺服电动机。最近几年，又被交流主轴伺服电动机所取代。随着对主轴转速不断地提高，出现了电动机内装式主轴，即用主轴作为电动机轴，电动机的转子安装在主轴上，定子安装在套筒内，这样就不需用齿轮传动，转速可达到每分钟

几万到十几万转。

以上所述为数控机床主要组成的发展概况。其它的相关技术，例如程序载体和输入装置、自动监控技术也得到很大的发展；机床本身的结构设计及其新的元配件的使用等也在不断的发展，在此就不详述了。

三、我国数控机床的发展简介

我国数控机床开发的起步并不晚，大约与日本、德国、前苏联同步。在1958年北京第一机床厂与清华大学合作试制成功我国第一台数控铣床。但是，由于相关工业基础差，尤其是数控系统的支撑工业——电子工业薄弱，致使发展速度缓慢。

直到1970年北京第一机床厂的XK5040型数控升降台铣床才作为商品，小批量生产并推向市场。1975年沈阳第一机床厂的CSK6163型数控车床才真正进入商品化。在1974~1976年间，虽然开发了加工中心、数控镗床、数控磨床和数控钻床，但是因为系统不过关，多数机床没有在生产中发挥作用。

80年代前期，即“六五”期间，在引入了日本FUNAC数控技术后，我国的数控机床才真正进入小批量生产的商品化时代。

通过“七五”数控技术攻关和“八五”数控系统攻关，大大推动了我国数控机床的发展。目前我国已经有自主知识产权的数控系统，但绝大多数全功能数控机床还是采用国外的CNC系统。从机床的整体来看，无论是可靠性、精度、生产效率和自动化程度，与国外相比，还存在着不小的差距。

四、数控机床今后的发展趋势

1. 数控机床的发展情况

目前,数控机床的品种、规格很多,几乎所有的机床均有数控化的品种了,而其精度、生产效率和自动化均已发展到相当高的程度,但是随着一些相关技术的发展,例如刀具新材料和超高速切削理论的出现、主轴伺服和进给伺服技术的发展和用户对生产效率和精度日益提高的要求,数控机床的发展势头不仅没有停止,反而更加快了。

(1) 高精度化 数控机床的精度,包括机床的几何精度和加工精度,而高的几何精度是提高加工精度的基础。

几何精度中最主要的是定位精度。到 80 年代末期,国外一般的加工中心的全程定位精度已达到 $\pm 0.005 \sim 0.008\text{mm}$ 。90 年代初中期全程定位精度达到 $\pm 0.002 \sim 0.005\text{mm}$ 的加工中心已越来越多。

定位精度的提高,加上机床的结构特性和热稳定的提高,使得数控机床加工精度也得到了大幅度地提高。同样仍以加工中心为例,加工精度从过去的 $\pm 0.01\text{mm}$ 提高到 $\pm 0.005\text{mm}$,个别的已达到 $\pm 0.0015\text{mm}$ 。

(2) 高速化 提高生产率一直是机床技术发展的一个基本目标,数控机床的出现和快速的发展,其原因之一,就是其生产率比一般普通机床要高。近 10 年来,数控机床的生产效率又提高了很多,主要方法是减少切削时间和非切削时间。

减少切削时间是从提高切削速度,即提高主轴转速来实现的。加工中心的主轴转速已从 10 年前一般为 $4000 \sim 6000\text{r/min}$ 提高到 $8000 \sim 12000\text{r/min}$,最高的在 100000r/min 以上,数控车床的主轴转速也提高到 $5000 \sim 20000\text{r/min}$,磨削的砂轮线速度提高到 $100 \sim 200\text{m/s}$ 。

根据最新的统计,加工中心的切削时间不超过整个工作时间的 55%,因此减少非切削时间是提高生产效率的一个主