



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专规划教材)

数控机床与编程实用教程

第 二 版

王 平 主编 阎秋生 主审



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专规划教材)

数控机床与编程实用教程

第二版

王 平 主编
阎秋生 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书内容包括：数控机床的结构特点、工作原理与发展趋势，计算机数控装置，数控机床的机械传动系统与进给伺服系统，典型数控机床实例，数控机床的换刀装置，数控车床、数控铣床、加工中心、宏程序、数控电火花线切割的编程，自动编程与数据传输等。本书内容全面、系统，侧重介绍了计算机数控装置的基本知识，突出了数控机床的编程与应用，注重理论与实际的结合。

本书适用于高职高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院机电类专业学生使用，也可作为劳动和社会保障部数控车床工、数控铣床工等工种鉴定的辅导教材，还可供机电工程相关人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床与编程实用教程/王平主编. —2版. 北京：化学工业出版社，2007.5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材（高职高专规划教材）

ISBN 978-7-122-00250-1

I. 数… II. 王… III. 数控机床-程序设计-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 054688 号

责任编辑：高 钰

装帧设计：潘 峰

责任校对：凌亚男

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17 3/4 字数 448 千字 2007 年 7 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519680） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：27.00 元

版权所有 违者必究

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

第二版前言

本书第一版是教育部高职高专规划教材，自2004年1月出版以来，在高职高专院校的使用过程中，普遍反映良好。

2006年本教材申报普通高等教育“十一五”国家级规划教材，并获立项。

随着数控技术的不断发展与普及，并鉴于各高职高专院校开设此课程已积累了相当多的教学实践经验，感到原有教材中缺少某些基本知识及生产实际应用，如在工艺尺寸链的计算中，缺少编程原点与设计基准不重合的工序计算。尤其近两届全国数控技能大赛中所使用的宏程序加工，在生产中也获得了广泛的应用，教材在内容上也有加强，对其他章节有增有减，使之更能符合知识的更新，更切合实际，满足教学、实训、职业技能培训和工学结合的需要。

根据普通高等教育“十一五”国家级规划教材的建设要求，组织了在教学、生产第一线的人员对本教材进行了修订。

在第二版中，第一章增加了数控机床的产生、数控和数控技术的概念。第七章增加了工艺尺寸链的计算实例。第八章增加了对刀测量工艺装备，宏程序及应用另立一章。同时为培养学生独立思考和解决问题的能力，每一章之后适当增加了一些思考题和习题。

本书由王平主编，甘乃添、余蔚荔为副主编。邓志梅编写第一章，王平编写第二章的第1、2、3、4节，朱必军编写第二章的第5、6节，甘乃添编写第三章、第六章、第九章，黄丽编写第四章、第五章，李爱华编写第七章的第1、2节，邵超城编写第七章的第3节、第十章，何冰强编写第七章的4节，余蔚荔编写第八章，吴智文编写第十一章、第十二章，全书由王平统稿。广东工业大学阎秋生教授主审。

限于编者的水平，书中的不妥之处敬请读者批评指正。

编者

2007年5月

第一版前言

近年来,数控机床及数控技术得到了飞速发展,在柔性、精确性、可靠性和宜人性等方面的功能越来越完善,已成为现代先进制造业的基础。为适应数控技术和国民经济发展的需求以及职业技术学院的教学要求,编者组织了多年从事“数控机床与编程”理论与实践教学的同志编写了《数控机床与编程实用教程》一书。在编写过程中,力求反映数控机床的基本知识和核心技术,侧重介绍了计算机数控装置的基本知识,突出了数控机床的编程与应用;取材上,在满足教学计划要求的同时,又考虑了职业技能等级鉴定的知识,注重理论与实际的结合;叙述上,力求层次分明、语言简练、便于教学。

本书共分 11 章,第一章介绍数控机床的特点、工作原理、分类与发展趋势,第二章介绍计算机数控装置(CNC)的软硬件结构、插补原理、刀具半径补偿原理和可编程控制器,第三章介绍数控机床的主传动系统、进给运动系统和回转工作台导轨,第四章介绍数控机床伺服系统,第五章介绍数控车床、数控铣床的结构与控制,第六章介绍数控机床的换刀装置,第七章是数控车床的编程基础、数学处理、编程指令与实例,第八章是数控铣床的加工编程与实例,第九章介绍加工中心的编程指令、用户宏程序,第十章介绍数控电火花线切割的编程,第十一章介绍自动编程与数据传输。

本书可作为高职高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院机电类专业教材,也可作为劳动和社会保障部数控车床工、数控铣床工等工种职业技能鉴定的辅导教材,同时也可供机电工程有关人员参考。

本书由广东工贸职业技术学院王平主编,甘乃添、余蔚荔副主编。邓志梅编写第一章,王平编写第二章的一、二、三、四节,朱必军编写第二章的五、六节,甘乃添编写第三章、第六章、第九章,黄丽编写第四章、第五章,傅伟编写第七章的一、二节,邵超城编写第七章的第三节,何冰强编写第七章的第四节,余蔚荔编写第八章,吴智文编写第十章、第十一章。全书由广东工业大学阎秋生教授、博导主审。

本书编写过程中参阅了有关院校、工厂、科研院所的一些教材、资料和文献,得到了有关专家、教授的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢!

限于编者的水平,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2003 年 10 月

目 录

第一章 数控机床概述	1	一、概述	39
第一节 数控机床的产生及特点	1	二、刀具半径补偿的工作过程和常用方法	39
一、数控机床的产生	1	三、程序段间转接情况分析	40
二、数控和数控机床的概念	1	四、刀具半径补偿实例	42
三、数控机床的加工特点	2	五、加工过程中的过切判别原理	43
四、数控机床的使用特点	3	第六节 数控系统中的可编程控制器	44
第二节 数控机床的组成和工作原理	4	一、概述	44
一、数控机床的组成	4	二、可编程控制器的结构	45
二、数控机床的工作原理	5	三、梯形图	46
第三节 数控机床的分类	6	四、可编程控制器的工作过程	47
一、按加工工艺方法分类	6	复习题	48
二、按控制运动轨迹分类	6	第三章 数控机床的机械传动系统	50
三、按驱动装置的特点分类	7	第一节 数控机床的主传动系统	50
第四节 数控机床的发展趋势	9	一、数控机床主传动系统的特点	50
一、数控机床结构的发展	9	二、数控机床主轴变速方式	50
二、计算机控制性能的发展	10	三、主轴组件	50
三、伺服驱动系统的发展	10	四、主轴组件的润滑与密封	52
四、自适应控制	11	五、主轴的准停	52
五、计算机群控	11	第二节 数控机床的进给运动系统	53
六、柔性制造系统 (FMS)	11	一、电机与丝杠之间的连接	53
复习题	13	二、滚珠丝杠螺母副	54
第二章 计算机数控 (CNC) 装置	14	三、进给系统传动间隙的补偿机构	58
第一节 CNC 装置的组成与特点	14	第三节 回转工作台与导轨	60
一、CNC 系统	14	一、回转工作台	60
二、CNC 装置的组成及其工作过程	14	二、导轨	62
三、CNC 装置的特点及可执行的功能	15	复习题	64
第二节 CNC 装置的硬件结构	17	第四章 进给伺服系统	65
一、单微处理机与多微处理机结构	17	第一节 伺服电机及其调速	65
二、硬件各组成部分的功能和原理	19	一、步进电机	65
三、华中数控系统硬件结构简介	24	二、直流伺服电机及其调速系统	66
第三节 CNC 装置的软件结构	25	三、交流伺服电机及其调速	69
一、概述	25	第二节 位置检测装置	71
二、CNC 装置的软件结构	26	一、位置检测装置的要求与分类	71
三、华中数控系统的软件结构	29	二、旋转变压器	73
第四节 CNC 装置的插补原理	31	三、感应同步器	75
一、概述	31	四、光栅	76
二、逐点比较法直线插补	32	五、磁尺	77
三、圆弧插补计算原理	35	六、脉冲编码器	78
第五节 刀具半径补偿原理	39		

第三节 典型进给伺服系统	79	一、程序编制的内容	110
一、开环进给伺服系统	79	二、程序编制的方法	111
二、脉冲比较进给伺服系统	80	三、数控机床的坐标系	111
三、全数字进给伺服系统	80	四、数控车床坐标系中的各原点	112
第四节 伺服系统的特性对加工精度的影响	81	五、程序段的构成与格式	113
一、速度误差对加工精度的影响	81	六、程序编制中的工艺处理	115
二、伺服系统的响应特性对加工拐角的影响	83	第二节 编程中的数学处理	121
复习题	84	一、数学处理的内容	121
第五章 典型数控机床的结构与控制	85	二、尺寸链解算	123
第一节 数控车床	85	三、坐标值计算的基本知识	129
一、数控车床的基本结构	86	四、坐标值的常用计算方法	131
二、数控车床的数控装置	88	第三节 数控车床编程指令	132
三、数控车床标准 PLC 系统	88	一、M 指令	133
第二节 数控铣床	89	二、G 指令	133
一、数控铣床的基本结构	91	三、与坐标系相关的 G 指令	134
二、数控铣床的数控装置	92	四、与运动方式相关的 G 指令	136
第三节 立式加工中心	92	五、螺纹加工指令	142
一、立式加工中心的结构组成	92	六、简单循环切削	145
二、立式加工中心的传动系统和自动换刀	92	七、复合循环切削	148
复习题	93	八、刀具补偿指令	153
第六章 数控机床的自动换刀装置	94	第四节 数控车床编程实例	155
第一节 自动换刀装置的形式	94	一、轴类零件的编程	155
一、回转刀架换刀	94	二、套筒类零件的编程	160
二、更换主轴换刀	95	复习题	163
三、更换主轴箱换刀	96	第八章 数控铣床编程	167
四、带刀库的自动换刀系统	97	第一节 数控铣床编程基础	167
第二节 刀库	98	一、数控铣床的坐标系	167
一、刀库的功能	98	二、数控铣床的主要功能与加工范围	168
二、刀库的形式	98	三、数控铣床的工艺装备	170
三、刀库的容量	100	四、数控铣床的工艺性分析	172
第三节 刀具系统及刀具选择	100	第二节 数控铣床编程指令	176
一、刀具系统	100	一、华中数控系统简述	176
二、刀具的选择方式	101	二、程序结构	176
三、刀具识别装置	103	三、华中数控 HNC-21M 的基本编程指令	177
第四节 刀具交换装置	104	第三节 数控铣床编程实例	194
一、刀具交换方式	104	一、槽形零件的铣削	194
二、机械手形式	105	二、平面凸轮的数控铣削	196
三、机械手夹持结构	106	复习题	199
四、自动换刀动作顺序	108	第九章 加工中心编程	203
复习题	109	第一节 加工中心编程基础	203
第七章 数控车床编程	110	一、加工中心的坐标系	203
第一节 数控车床编程基础	110	二、刀具参数设定	203
		三、加工工艺基础	203
		第二节 加工中心编程指令	205

一、与坐标系有关的指令	205	三、圆球面铣削的宏程序	234
二、切削用量	206	四、利用宏编制固定循环程序	234
三、换刀指令	206	五、铣削加工宏程序应用实例	236
四、基本运动指令	206	复习题	240
五、刀具补偿	208	第十一章 数控电火花线切割机床	
六、固定循环	211	编程	242
七、图形变换功能	215	第一节 数控电火花线切割加工概述	242
八、用户宏编程	216	一、数控电火花线切割机床简介	242
第三节 加工中心编程实例	216	二、线切割加工的原理	243
一、工艺分析	216	三、线切割加工的应用范围	243
二、编程说明	216	第二节 数控电火花线切割编程	244
三、NC 程序	217	一、3B 指令编程	244
复习题	219	二、4B 指令编程	246
第十章 宏程序及其应用	221	第三节 数控电火花线切割编程工艺与	
第一节 用户宏功能	221	实例	248
一、宏变量	221	一、数控线切割编程中的工艺处理	248
二、常量	222	二、编程实例	252
三、运算符	222	复习题	255
四、语句表达式	222	第十二章 自动编程	256
五、调用方式	222	第一节 自动编程概述	256
第二节 用户宏编程	223	一、自动编程的基本原理	256
一、用户宏的特征	223	二、自动编程的主要特点	257
二、宏程序与普通程序	223	第二节 自动编程的现状和发展	258
三、宏程序编程加工的适用范围	224	一、数控语言自动编程	258
四、宏程序应用时应注意的事项	224	二、自动编程的发展趋向	258
第三节 数控车床宏程序的编程	224	第三节 MasterCAM 自动编程与数据	
一、椭球面车削加工的宏程序	224	传输	260
二、抛物面车削加工的宏程序	225	一、MasterCAM 系统软件简介	260
三、双曲面车削加工的宏程序	227	二、MasterCAM Mill 系统自动编程的	
四、宏程序车削加工的应用实例	228	操作实例	261
第四节 数控铣/加工中心宏程序的		三、图形交互自动编程的基本步骤	271
编程	230	四、MasterCAM 的数据传输	271
一、分层铣削的宏程序	230	复习题	273
二、椭圆轮廓铣削的宏程序	232	参考文献	274

第一章 数控机床概述

第一节 数控机床的产生及特点

一、数控机床的产生

1946 年,世界上第一台电子计算机诞生了,它为人类进入信息社会奠定了基础。六年后,即在 1952 年,计算机技术应用到了机床上,在美国诞生了第一台数控机床。近半个世纪以来,数控机床经历了两个阶段和六代的发展。

1. 数控(NC)阶段(1952~1970 年)

早期计算机的运算速度低,这对当时的科学计算和数据处理影响还不大,但不能适应机床实时控制的要求,人们不得不采用数字逻辑电路制成一台机床专用计算机作为数控系统,被称为硬件连接数控(Hard-Wired NC),简称为数控(NC)。随着元器件的发展,这个阶段历经了三代:即 1952 年第一代——电子管;1959 年第二代——晶体管;1965 年第三代——小规模集成电路。

2. 计算机数控(CNC)阶段(1970 年以后)

直到 1970 年,通用小型计算机业已出现并成批生产,其运算速度比 20 世纪 50~60 年代有了大幅度的提高,它比逻辑电路专用计算机成本低、可靠性高。于是将它移植过来作为数控系统的核心部件,从此进入了计算机数控(CNC)阶段。1971 年,美国 Intel 公司在世界上第一次将计算机的两个最核心的部件——运算器和控制器,采用大规模集成电路技术集成在一块芯片上,称为微处理器(Micro-Processor),又称中央处理单元(简称 CPU)。1974 年,微处理器被应用于数控系统。虽然早期的微处理器的速度和功能都还不够,但可以通过多处理器结构来解决。因为微处理器是通用计算机的核心部件,故仍称为计算机数控。到了 1990 年,PC(个人计算机,国内习惯称其为微机)的性能已发展到很高的阶段,可满足作为数控系统核心部件的要求,而且 PC 的生产批量很大,价格便宜,可靠性高。数控系统从此进入了基于 PC 的阶段。

总之,计算机数控阶段也历经了三代:即 1970 年第四代——小型计算机;1974 年第五代——微处理器;1990 年第六代——基于 PC(国外称为 PC-Based)。

二、数控和数控机床的概念

1. 数控

数字控制(Numerical Control, NC)是利用数字指令对机械动作进行控制的方法。国家标准(GB 8129—87)定义为“用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法”,简称数控(NC)。它具有如下特点。

- ① 可用不同的字长表示不同精度的信息,表达信息准确。
- ② 可进行逻辑、算术运算,也可以进行复杂的信息处理。
- ③ 可不用改动电路或机械机构,通过改变软件来改变信息处理的方式,具有柔性化。

数控系统(Numerical Control System)是采用数字控制的系统。

计算机数控系统(Computer Numerical Control)是用计算机控制实现数控功能的系统。

2. 数控机床

数控机床 (Numerical Control Machine Tools) 是用数字指令进行控制的机床, 机床的所有运动, 包括主运动、进给运动与各种辅助运动都是用输入数控装置的数字信号来控制的。国际信息处理联盟第五技术委员会对数控机床作了如下定义: “数控机床是一个装有程序控制系统的机床, 该系统能够逻辑地处理具有使用代码或其他符号编码指令规定的程序”。上述的概念可能一下子难以接受, 但应该注意到这几个词汇: 数字化信号, 计算机, 程序控制系统, 使用代码、编码指令规定的程序。

数控机床是一种具有高质、高效、高度自动化、高度灵活性的、适合精度要求高的、形状复杂的零件加工的工具; 它将电子、计算机等技术与传统机床技术相融合, 将精密机械技术、计算机技术、微电子技术、检测传感技术、自动控制技术、接口技术等 in 系统工程的基础上有机地综合应用、优化并赋予零件加工功能和性能的新型的机电一体化产品。总之数控机床可初步理解为传统机床的机械加工运动由数字控制技术自动控制实现。

3. 数控技术

数控技术 (Numerical Control Technology) 是用数字量及字符发出指令并实现自动控制的技术。目前, 计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM)、柔性制造系统 (FMS)、计算机集成制造系统 (CIMS)、敏捷制造 (AM) 和智能制造 (IM) 等先进制造技术都建立在数控技术的基础上。

数控加工技术是指高效、优质地实现产品零件特别是复杂零件加工的技术, 它是自动化、柔性化、敏捷化和数字化制造加工的基础与关键技术。

三、数控机床的加工特点

数控机床以其精度高、效率高、能适应小批量多品种复杂零件的加工等优点, 在机械加工中得到日益广泛的应用。概括起来, 数控机床的加工有以下几方面的优点。

① 适应性强。适应性即所谓的柔性, 是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控机床上改变加工零件时, 只需重新编制程序, 输入新的程序后就能实现对新的零件的加工, 而不需改变机械部分和控制部分的硬件, 且生产过程是自动完成的。这就为复杂结构零件的单件小批量生产以及试制新产品提供了极大的方便。适应性强是数控机床最突出的优点, 也是数控机床得以生产和迅速发展的主要原因。

② 精度高, 质量稳定。数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的, 一般情况下工作过程不需要人工干预, 这就消除了操作者人为产生的误差。在设计制造数控机床时, 采取了许多措施, 使数控机床的机械部分达到了较高的精度和刚度。数控机床工作台的移动当量普遍达到了 $0.01 \sim 0.0001 \text{ mm}$, 而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿, 高档数控机床采用光栅尺进行工作台移动的闭环控制。数控机床的加工精度由过去的 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 提高到 $\pm 0.005 \text{ mm}$ 甚至更高。定位精度在 20 世纪 90 年代初、中期已达到 $\pm 0.002 \sim \pm 0.005 \text{ mm}$ 。此外, 数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性。通过补偿技术, 数控机床可获得比本身精度更高的加工精度; 尤其能提高同一批零件生产的一致性, 产品合格率高, 加工质量稳定。

③ 生产效率高。零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床大, 因此数控机床每一道工序都可选用最有利的切削用量。由于数控机床结构刚性好, 因此允许进行大切削用量的强力切削, 这就提高了数控机床的切削效率, 节省了机动时间。数控机床的移动部件空行程运动速度快, 工件装夹时间短, 刀具可自动更换, 辅助时间比一般机床大为减少。

数控机床更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,节省了零件安装调整时间。数控机床加工质量稳定,一般只做首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验,因此节省了停机检验时间。在加工中心机床上加工时,一台机床实现了多道工序的连续加工,生产效率的提高更为显著。

④ 能实现复杂的运动。普通机床难以实现或无法实现轨迹为三次以上的曲线或曲面的运动,如螺旋桨、汽轮机叶片之类的空间曲面;而数控机床则可实现几乎是任意轨迹的运动和加工任何形状的空间曲面,适应于复杂异形零件的加工。

⑤ 良好的经济效益。数控机床虽然设备昂贵,加工时分摊到每个零件上的设备折旧费较高,但在单件小批量生产的情况下,使用数控机床加工可节省划线工时,减少调整、加工和检验时间,节省直接生产费用。数控机床加工零件一般不需制作专用夹具,节省了工艺装备费用。数控机床加工精度稳定,减少了废品率,使生产成本进一步下降。此外,数控机床可实现一机多用,节省厂房面积和建厂投资。因此使用数控机床可获得良好的经济效益。

⑥ 有利于生产管理的现代化。数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息,特别是在数控机床上使用计算机控制,为计算机辅助设计、制造以及管理一体化奠定了基础。

四、数控机床的使用特点

1. 数控机床对操作维修人员的要求

数控机床采用计算机控制,驱动系统具有较高的技术复杂性,机械部分的精度要求也比较高。因此,要求数控机床的操作、维修及管理人员具有较高的文化水平和综合素质。

数控机床的加工是根据程序进行的,零件形状简单时可采用手工编制程序。当零件形状比较复杂时,编程工作量大,手工编程较困难且往往易出错,因此必须采用计算机自动编程。所以,数控机床的操作人员除了应具有一定的工艺知识和普通机床的操作经验之外,还应对数控机床的结构特点、工作原理非常了解,具有熟练操作计算机的能力,需在程序编制方面进行专门的培训,考核合格才能上机操作。

正确的维护和有效的维修也是使用数控机床中的一个重要问题。数控机床的维修人员应有较高的理论知识和维修技术,要了解数控机床的机械结构,懂得数控机床的电气原理及电子电路,还应有比较宽的机、电、气、液专业知识,这样才能综合分析、判断故障的根源,正确地进行维修,保证数控机床的良好运行。因此,数控机床维修人员和操作人员一样,必须进行专门的培训。

2. 数控机床对夹具和刀具的要求

数控机床对夹具的要求比较简单,单件生产时一般采用通用夹具。而批量生产时,为了节省加工工时,应使用专用夹具。数控机床的夹具应定位可靠,可自动夹紧或松开工件。夹具还应具有良好的排屑、冷却性能。

数控机床的刀具应该具有以下特点。

- ① 具有较高的精度、耐用度,几何尺寸稳定、变化小。
- ② 刀具能实现机外预调和快速换刀,加工高精度孔时要经试切削确定其尺寸。
- ③ 刀具的柄部应满足柄部标准的规定。
- ④ 很好地控制切屑的折断和排出。
- ⑤ 具有良好的冷却性能。

第二节 数控机床的组成和工作原理

一、数控机床的组成

如图 1-1 所示,数控机床由程序编制及程序载体、输入装置、数控装置 (CNC)、伺服驱动及位置检测、辅助控制装置、机床本体等几部分组成。

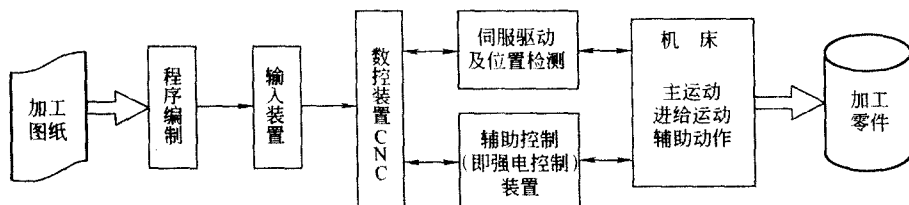


图 1-1 数控机床的基本结构

1. 程序编制及程序载体

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上,确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置,即零件在机床上的安装位置,刀具与零件相对运动的尺寸参数,零件加工的工艺路线、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后,用由文字、数字和符号组成的标准数控代码,按规定的方法和格式,编制零件加工的数控程序单。编制程序的工作可由人工进行;对于形状复杂的零件,则要在专用的编程机或通用计算机上进行自动编程 (APT) 或 CAD/CAM 设计。

编好的数控程序,存放在便于输入到数控装置的一种存储载体上,它可以是穿孔纸带、磁带和磁盘等,采用哪一种存储载体,取决于数控装置的设计类型。

2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体 (信息载体) 上的数控代码传递并存入数控系统内。根据控制存储介质的不同,输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控机床加工程序也可通过键盘用手工方式直接输入数控系统;数控加工程序还可通过编程计算机用 RS232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式:一种是边读入边加工 (数控系统内存较小时),另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器,加工时再从内部存储器中逐段调出进行加工。

3. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序,经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种控制信息和指令,控制机床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。

零件的轮廓图形往往由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成,刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸的要求进行运动,即按图形轨迹移动。但输入的零件加工程序只能是各线段轨迹的起点和终点坐标值等数据,不能满足要求,因此要进行轨迹插补,也就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”,求出一系列中间点的坐标值,并向相应坐标输出脉冲信号,控制各坐标轴 (即进给运动的各执行元件) 的进给速度、进给方向和进给位移。

量等。

4. 驱动装置和位置检测装置

驱动装置接受来自数控装置的指令信息,经功率放大后,严格按照指令信息的要求驱动机床移动部件,以加工出符合图样要求的零件。因此,它的伺服精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。驱动装置包括控制器(含功率放大器)和执行机构两大部分。目前大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

位置检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来,经反馈系统输入到机床的数控装置之后,数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较,控制驱动装置按照指令设定值运动。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号,经过编译、逻辑判别和运动,再经功率放大后驱动相应的电器,带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停指令,刀具的选择和交换指令,冷却、润滑装置的启动停止,工件和机床部件的松开、夹紧,分度工作台转位分度等开关辅助动作。

由于可编程逻辑控制器(PLC)具有响应快,性能可靠,易于使用、编程和修改程序并可直接启动机床开关等特点,现已广泛用作数控机床的辅助控制装置。

6. 机床本体

数控机床的机床本体与传统机床相似,由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。但数控机床在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面都已发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点。

二、数控机床的工作原理

数控机床的工作过程如图 1-2 所示。根据其工作过程并结合数控机床组成可以知道数控机床的工作原理是将零件加工信息用代码化的数字信息记录在程序载体上,然后送入数控系统,经过译码、运算控制机床的刀具与工件的相对运动,从而加工出形状、尺寸与精度符合

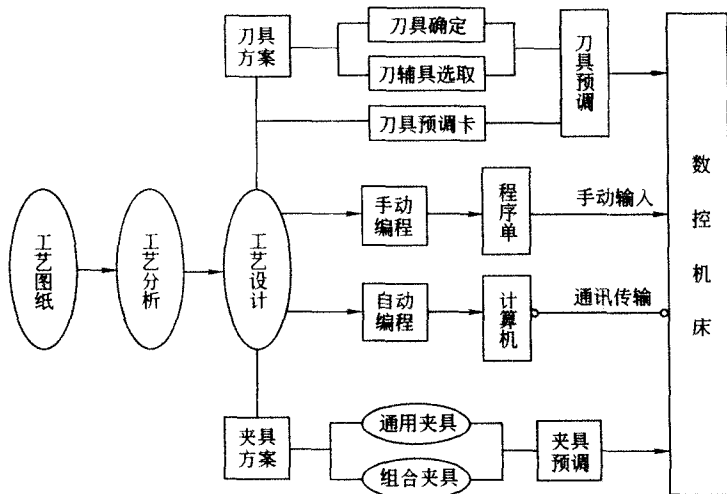


图 1-2 数控机床的加工过程

要求的零件的数控加工过程。

第三节 数控机床的分类

数控机床的品种很多,根据其加工、控制原理、功能和组成,可以从以下几个不同的角度进行分类。

一、按加工工艺方法分类

1. 金属切削类数控机床

与传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工相对应的数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。尽管这些数控机床在加工工艺方法上存在很大差别,具体的控制方式也各不相同,但机床的动作和运动都是数字化控制的,具有较高的生产率和自动化程度。

在普通数控机床上加装一个刀库和换刀装置就成为数控加工中心机床。加工中心机床进一步提高了普通数控机床的自动化程度和生产效率。例如铣、镗、钻加工中心,它是在数控铣床基础上增加了一个容量较大的刀库和自动换刀装置形成的,工件一次装夹后,可以对箱体零件的四面甚至五面大部分加工工序进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工,特别适合箱体类零件的加工。加工中心机床可以有效地避免由于工件多次安装造成的定位误差,减少了机床的台数和占地面积,缩短了辅助时间,大大提高了生产效率和加工质量。

2. 特种加工类数控机床

除了切削加工数控机床以外,数控技术也大量用于数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床以及数控激光加工机床等。

3. 板材加工类数控机床

常见的应用于金属板材加工的数控机床有数控压力机、数控剪板机和数控折弯机等。

近年来,其他机械设备中也大量采用了数控技术,如数控多坐标测量机、自动绘图机及工业机器人等。

二、按控制运动轨迹分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位,在移动和定位过程中不进行任何加工。机床数控系统只控制行程终点的坐标值,不控制点与点之间的运动轨迹,因此几个坐标轴之间的运动无任何联系。可以几个坐标同时向目标点运动,也可以各个坐标单独依次运动。

这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机等。点位控制数控机床的数控装置称为点位数控装置。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度,沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工,进给速度根据切削条件可在一定范围内变化。

直线控制的简易数控车床,只有两个坐标轴,可加工阶梯轴。直线控制的数控铣床,有三个坐标轴,可用于平面的铣削加工。现代组合机床采用数控进给伺服系统,驱动动力头带有多轴箱的轴向进给进行钻镗加工,它也可算是一种直线控制数控机床。

数控镗铣床、加工中心等机床,它的各个坐标方向的进给运动的速度能在一定范围内进行调整,兼有点位和直线控制加工的功能,这类机床应该称为点位/直线控制的数控机床。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上运动的位移及速度进行连续相关的控制,使合成的平面或空间的运动轨迹能满足零件轮廓的要求。它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标,而且能控制整个加工轮廓每一点的速度和位移,将工件加工成要求的轮廓形状。

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床就是典型的轮廓控制数控机床。数控火焰切割机、电火花加工机床以及数控绘图机等也采用了轮廓控制系统。轮廓控制系统的结构要比点位/直线控系统更为复杂,在加工过程中需要不断进行插补运算,然后进行相应的速度与位移控制。

现代计算机数控装置的控制功能均由软件实现,增加轮廓控制功能不会带来成本的增加。因此,除少数专用控制系统外,现代计算机数控装置都具有轮廓控制功能。

三、按驱动装置的特点分类

1. 开环控制数控机床

图 1-3 所示为开环控制数控机床系统框图。

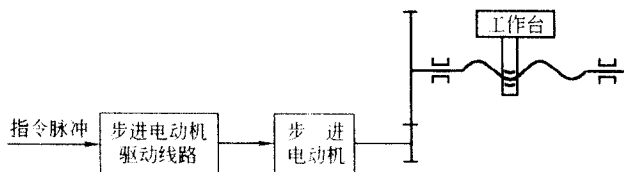


图 1-3 开环控制数控机床的系统框图

这类数控机床的控制系统没有位置检测元件,伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令,经驱动电路功率放大后,驱动步进电动机旋转一个角度,再经过齿轮减速装置带动丝杠旋转,通过丝杠螺母机构转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率与脉冲数所决定的。此类数控机床的信息流是单向的,即进给脉冲发出去后,实际移动值不再反馈回来,所以称为开环控制数控机床。

开环控制系统的数控机床结构简单,成本较低。但是,系统对移动部件的实际位移量不进行监测,也不能进行误差校正。因此,步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件的精度。开环控制系统仅适用于加工精度要求不很高的中小型数控机床,特别是简易经济型数控机床。

2. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置,直接对工作台的实际位移进行检测,将测量的实际位移值反馈到数控装置中,与输入的指令位移值进行比较,用差值对机床进行控制,使移动部件按照实际需要的位移量运动,最终实现移动部件的精确运动和定位。从理论上讲,闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的检测精度,与传动链的误差无关,因此其控制精度高。图 1-4 所示为闭环控制数控机床的系统框图。图中 A 为速度传感器, C 为直线位移传感器。当位移指令值发送到位置比较电路时,若工作台没有移动,则没有反馈量,指令值使得伺服电动机转动,通过 A 将速度反馈信号送到速度控制电路,通过 C 将工作台实际位移量反馈回去,在位置比较电路中与位移指令值相比较,用比较后得到的差值进行位置控制,直至差值为零时为止。这类控制的数控机床,因把机床工作台纳入了控制环节,故称为闭环控制数控机床。

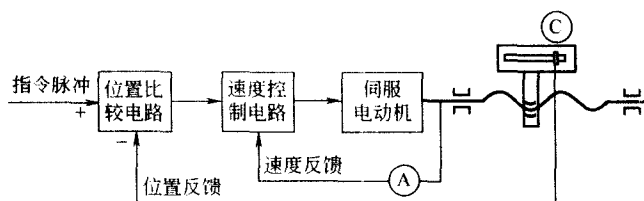


图 1-4 闭环控制数控机床的系统框图

闭环控制数控机床的定位精度高，但调试和维修都较困难，系统复杂，成本高。

3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角位移检测装置（如光电编码器等），通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的实际位移，然后反馈到数控装置中去，并对误差进行修正。图 1-5 所示为半闭环控制数控机床的系统框图。图中 A 为速度传感器，B 为角度传感器。通过测速元件 A 和光电编码盘 B 可间接检测出伺服电动机的转速，从而推算出工作台的实际位移量，将此值与指令值进行比较，用差值来实现控制。由于工作台没有包括在控制回路中，因而称为半闭环控制数控机床。

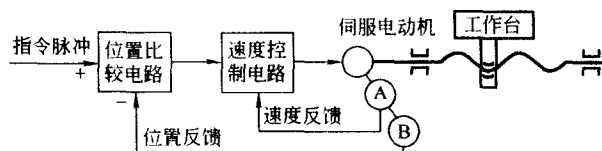


图 1-5 半闭环控制数控机床的系统框图

半闭环控制数控系统的调试比较方便，并且具有很好的稳定性。目前大多将角度检测装置和伺服电动机设计成一体，这使得其结构更加紧凑。

4. 混合控制数控机床

将以上三类数控机床的特点结合起来，就形成了混合控制数控机床。混合控制数控机床特别适用于大型或重型数控机床，因为大型或重型数控机床需要较高的进给速度与相当高的精度，其传动链惯量与力矩大，如果只采用全闭环控制，机床传动链和工作台全部置于控制闭环中，闭环调试比较复杂。混合控制系统又分为两种形式：开环补偿型和半闭环补偿型。

① 开环补偿型。图 1-6 所示为开环补偿型控制方式。它的基本控制选用步进电动机的开环伺服机构，另外附加一个校正电路，用装在工作台的直线位移测量元件的反馈信号校正

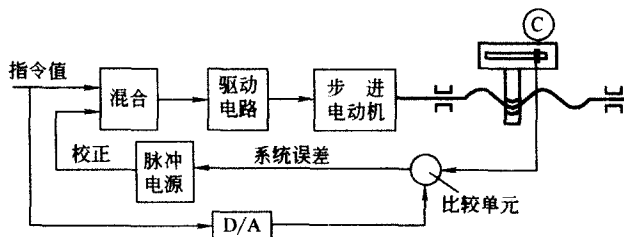


图 1-6 开环补偿型控制方式