



新世纪高职高专实用规划教材

● 机电系列

数控机床与编程技术

SHUKONG JICHUANG YU BIANCHENG JISHU

主 编	关雄飞	
副主编	马一民	
参 编	杨晓平	杨 兵
主 审	李诚人	



清华大学出版社

新世纪高职高专实用规划教材 机电系列

数控机床与编程技术

主 编 关雄飞
副主编 马一民
参 编 杨晓平 杨 兵
主 审 李诚人

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书根据目前高职高专教改要求及我国数控技术的发展状况,以实际应用为主线,重点讲述了数控车床、数控铣床和加工中心加工与编程技术及计算机自动编程技术;同时,从更好地了解和使用数控机床的角度出发,介绍了有关数控机床主体结构、数控原理与系统、数控机床的伺服驱动系统。作者力求理论与实践相结合,根据多年的教学经验,选择了大量的典型零件加工编程实例,使本书内容深入浅出,易于理解和掌握,强调学生知识的综合应用能力以及生产实践技能的培养。

本书宜作为高职高专机电类各专业教材,也可作为机械加工制造及电气自动化行业广大科研、技术人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床与编程技术/关雄飞主编;马一民副主编;杨晓平,杨兵参编;李诚人主审.—北京:清华大学出版社,2006.1

(新世纪高职高专实用规划教材 机电系列)

ISBN 7-302-11696-2

I.数… II.①关…②马…③杨…④杨…⑤李… III.数控机床—程序设计—高等学校:技术学校—教材 IV.TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第098869号

出版者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦
http://www.tup.com.cn 邮 编:100084
社总机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:林章波

文稿编辑:刘颖

排版人员:郭琪

印刷者:北京嘉实印刷有限公司

装订者:三河市化甲屯小学装订二厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:18.25 字数:430千字

版 次:2006年1月第1版 2006年1月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-11696-2/TG·18

印 数:1~4000

定 价:27.00元

《新世纪高职高专实用规划教材》序

编写目的

目前,随着教育的不断深入,高等职业教育发展迅速,进入到一个新的历史阶段。学校规模之大,数量之众,专业设置之广,办学条件之好和招生人数之多,都大大超过了历史上任何一个时期。然而,作为高职院校核心建设项目之一的教材建设,却远远滞后于高等职业教育发展的步伐,以至于许多高职院校的学生缺乏适用的教材,这势必影响高职院校的教育质量,也不利于高职教育的进一步发展。

目前,高职教材建设面临着新的契机和挑战:

(1) 高等职业教育发展迅猛,相应教材在编写、出版等环节需要在保证质量的前提下加快步伐,跟上节奏。

(2) 新型人才的需求,对教材提出了更高的要求,即教材要充分体现科学性、先进性和实用性。

(3) 高职高专教育自身的特点是强调学生的实践能力和动手能力,教材的取材和内容设置必须满足不断发展的教学需求,突出理论和实践的紧密结合。

有鉴于此,清华大学出版社在相关主管部门的大力支持下,组织部分高等职业技术学院的优秀教师以及相关行业的工程师,推出了一系列切合当前教育改革需要的高质量的面向就业的职业技术实用型教材。

系列教材

本系列教材主要涵盖以下领域:

- 计算机基础及其应用
- 计算机网络
- 计算机图形图像处理与多媒体
- 电子商务
- 计算机编程
- 电子与电工
- 机械
- 数控技术及模具设计
- 土木建筑
- 经济与管理
- 金融与保险

另外,系列教材还包括大学英语、大学语文、高等数学、大学物理、大学生心理健康等基础教材。所有教材都有相关的配套用书,如实训教材、辅导教材、习题集等。

教材特点

为了完善高等职业技术教育的教材体系,全面提高学生的动手能力、实践能力和职业技术素质,特意聘请有实践经验的高级工程师参与系列教材的编写,采用了一线工程技术人员与在校教师联合编写的模式,使课堂教学与实际操作紧密地结合。本系列丛书的特点如下:

- (1) 打破以往教科书的编写套路,在兼顾基础知识的同时,强调实用性和可操作性。
 - (2) 突出概念和应用,相关课程配有上机指导及习题,帮助读者对所学内容进行总结和
- 和提高。
- (3) 增加了全新的、实用的内容和知识点,并采取由浅入深、循序渐进、层次清楚、步骤详尽的写作方式,突出实践技能和动手能力。

读者定位

本系列教材针对职业教育,主要面向高职高专院校,同时也适用于同等学力的职业教育和继续教育。本丛书以三年制高职为主,同时也适用于两年制高职。

本系列教材的编写和出版是高职教育办学体制和运作机制改革的产物,在后期的推广使用过程中将紧紧跟随职业技术教育发展的步伐,不断吸取新型办学模式、课程改革的思路和方法,为促进职业培训和继续教育的社会需求奉献我们的力量。

我们希望,通过本系列教材的编写和推广应用,不仅有利于提高职业技术教育的整体水平,而且有助于加快改进职业技术教育的办学模式、课程体系和教学培训方法,形成具有特色的职业技术教育的新体系。

教材编委会

新世纪高职高专实用规划教材
机电系列
编委会名单

主任 李诚人 曾宪章

副主任 王平章 李文 于小平 杨广莉

委员 (排名不分先后)

于涛	王晖	王文华	王培	田莉坤
吴勤保	韩伟	赵俊武	韩小峰	王莉
刘华欣	闫华明	李长本	李振东	王华杰
沈伟	康亚鹏	肖调生	陈文杰	杨峻峰
邵东波	林若森	封逸彬	张信群	张玉英
郭爱荣	王晓江	杨永生	刘航	关雄飞
王丽洁	张爱莲	王晓宏	郭新玲	高宏洋
甄瑞麟	熊翔	黄红辉	潘建新	熊立武
王立红	魏峥	董焕俊	牟林	李先雄
南欢	谢刚			

前 言

制造自动化技术是制造技术中的重要组成部分，其核心技术是数控技术。近年来，高新技术企业以前所未有的速度在发展，数控技术与计算机技术一样，发展速度突飞猛进，数控机床在现代制造业中得到广泛的应用。随着国内数控机床用量的剧增，急需培养一大批能够熟练掌握现代数控机床工艺编程、技术操作和维护的应用型高级技术人才。同时，为了适应我国高等职业技术教育的改革与发展，以及应用型技术人才培养的需要，我们总结多年教学与实践经验，编写了这本教材。

本书从高职高专教育的实际出发，根据国内高等职业技术教育的教学改革要求，着重叙述数控机床加工与编程技术，同时还介绍了数控机床主体结构、计算机数控系统及数控机床的伺服系统。以数控车床、数控铣床和加工中心的应用为重点，选用目前企业中广泛使用的 FANUC、SIEMENS 及国产华中世纪星数控系统为介绍对象。自动编程部分以 Mastercam 为对象，以数控加工的实际生产为基础，介绍数控车床、数控铣床和加工中心的功能特点，突出典型零件的工艺分析及编程技术的指导。以实际应用为主线，强调学生实践技能与应用技巧的培养。

本书的特点是：

- 技术理论与应用示例相结合，特别适合高职教育边讲边练的教学特色。
- 通过大量的典型综合实例，将学生所学过的相关技术理论知识有机地联系起来，并应用于实际训练之中，有利于学生知识的综合应用能力以及生产实践技能的培养。
- 为了适应各个学校机床数控系统不同的具体情况，在数控机床编程部分，首先注重各种加工功能的讲解，之后针对不同数控系统，列举了大量的典型综合应用实例。
- 经验说明，不同数控系统机床的编程与操作，有触类旁通的特点。而现实要求无论是教师还是学生都应该掌握多种数控系统的应用，本书正是针对这一要求编写的一本很好的参考书。

全书共 9 章，其中第 1 章、第 3 章由西安理工大学高等技术学院关雄飞编写，第 2 章、第 8 章(8.4、8.5)、第 9 章(9.3)由西安武警工程技术学院马一民编写，第 4 章、第 5 章、第 7 章由陕西国防工业职业技术学院杨晓平编写，第 6 章、第 8 章(8.1、8.2、8.3)、第 9 章(9.1、9.2)由廊坊职业技术学院杨兵编写。本书由关雄飞任主编，马一民任副主编，西北工业大学李诚人主审。

限于编者的水平和经验，书中难免有缺点或错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

2005 年 6 月

目 录

第 1 章 数控机床概述1	第 3 章 数控车床的编程48
1.1 数控技术的产生及发展.....1	3.1 数控车床编程基础.....48
1.2 数控机床的组成与数控加工原理.....2	3.1.1 数控车床的编程特点.....48
1.2.1 数控机床的组成.....2	3.1.2 工件坐标系的建立.....48
1.2.2 数控机床加工原理.....3	3.2 单一切削固定循环指令编程.....49
1.2.3 数控机床加工特点 及应用范围.....4	3.2.1 内、外径切削循环 指令 G80.....49
1.3 数控机床的分类.....5	3.2.2 端面切削循环指令 G81.....51
1.3.1 按照工艺用途分类.....5	3.3 螺纹加工编程.....53
1.3.2 按照控制运动的方式分类.....5	3.3.1 螺纹加工指令 G32.....53
1.3.3 按照伺服系统控制 方式分类.....5	3.3.2 螺纹切削固定循环 指令 G82.....56
1.3.4 按照数控装置的功能 水平分类.....7	3.3.3 螺纹切削复合循环 指令 G76.....58
1.4 数控机床的技术发展趋势.....7	3.4 子程序.....60
思考与练习题.....9	3.5 循环加工编程.....61
第 2 章 数控加工编程基础10	3.5.1 外圆粗车复合循环 G71.....61
2.1 数控编程的基本概念.....10	3.5.2 端面粗车复合循环指令 G72.....63
2.1.1 数控编程的过程与方法.....10	3.5.3 封闭轮廓车削循环指令 G73.....64
2.1.2 坐标系的概念.....11	3.6 数控车床加工与编程实例.....65
2.1.3 程序结构.....15	3.6.1 华中世纪星系统数控 车床应用实例.....65
2.2 常用功能指令及编程方法.....18	3.6.2 FANUC 0-TD 系统数控 车床应用实例.....69
2.2.1 准备功能 G 指令.....18	3.6.3 SIEMENS-802S 系统数控 车床应用实例.....72
2.2.2 辅助功能 M 指令.....20	思考与练习题.....77
2.2.3 其他功能 F、S、T 指令.....22	第 4 章 数控铣床编程80
2.2.4 常用准备功能指令 及编程方法.....22	4.1 数控铣床编程基础.....80
2.3 数控加工工艺设计.....34	4.1.1 数控铣床的编程特点.....80
2.3.1 工艺分析与设计.....34	4.1.2 工件坐标系的建立.....80
2.3.2 工艺文件的编制.....37	4.1.3 数控铣床常用指令.....83
2.4 数控编程中的数值计算.....41	
2.4.1 基点的坐标计算.....42	
2.4.2 节点的坐标计算.....42	
思考与练习题.....46	

4.2 基本 G 功能指令及编程方法.....	84	6.1.2 Mastercam 9.1 的界面.....	150
4.2.1 绝对尺寸与增量尺寸.....	85	6.1.3 基本操作.....	155
4.2.2 选择平面指令.....	85	6.2 建模操作.....	159
4.2.3 直线进给编程.....	85	6.2.1 绘图操作.....	159
4.2.4 圆弧进给编程.....	87	6.2.2 修整和转换命令.....	162
4.3 刀具补偿功能.....	90	6.2.3 曲面操作.....	164
4.3.1 刀具半径补偿功能		6.2.4 实体操作.....	166
G41、G42、G40.....	90	6.3 刀具路径和后置处理.....	169
4.3.2 刀具长度补偿功能		6.3.1 刀具路径的类型.....	169
G43、G44、G49.....	93	6.3.2 刀具路径产生过程.....	170
4.4 镜像加工编程.....	95	6.3.3 后置处理.....	175
4.5 固定循环功能.....	97	思考与练习题.....	176
4.5.1 固定钻孔类循环		第 7 章 数控机床主体结构.....	178
的动作组成.....	97	7.1 概述.....	178
4.5.2 固定钻孔类循环指令.....	100	7.1.1 数控机床机械结构	
4.6 数控铣床加工与编程实例.....	103	的主要组成.....	178
4.6.1 FANUC 0-MD 系统数控		7.1.2 数控机床机械结构	
铣床应用实例.....	103	的特点和要求.....	178
4.6.2 华中世纪星系统数控		7.2 数控机床的主轴部件.....	179
铣床应用实例.....	107	7.2.1 数控机床主传动系统	
思考与练习题.....	113	的特点.....	179
第 5 章 加工中心编程.....	116	7.2.2 数控机床的变速方式.....	179
5.1 FANUC 0-MD 系统加工中心编程.....	116	7.2.3 数控机床的主轴部件.....	181
5.1.1 功能特点.....	116	7.3 数控机床的床身.....	184
5.1.2 编程指令概述.....	117	7.3.1 床身等大件的要求.....	184
5.1.3 工件坐标系的建立、对刀		7.3.2 床身结构的特点.....	184
及刀具补偿.....	119	7.4 数控机床的进给机构.....	185
5.1.4 工艺方案的确定.....	126	7.4.1 进给系统概述.....	185
5.1.5 数控加工中心编程实例.....	128	7.4.2 传动齿轮间隙的消除.....	186
5.2 SIEMENS 810D 系统加工		7.4.3 联轴器.....	190
中心编程.....	135	7.4.4 滚珠丝杠螺母副.....	191
5.2.1 功能特点.....	135	7.4.5 数控机床常用导轨.....	196
5.2.2 编程指令概述.....	136	7.5 数控机床的自动换刀装置.....	198
5.2.3 数控加工中心编程实例.....	141	7.5.1 数控车床的自动换刀装置.....	198
思考与练习题.....	145	7.5.2 加工中心的自动换刀装置.....	200
第 6 章 自动编程技术.....	149	7.5.3 换刀机械手.....	201
6.1 Mastercam 应用基础.....	149	7.5.4 刀具的选择方式.....	201
6.1.1 Mastercam 的工作过程.....	149	7.6 数控机床工作台.....	202

7.6.1 分度工作台	202	8.4.2 逐点比较法	224
7.6.2 数控回转工作台	205	8.4.3 数字积分法	240
思考与练习题	207	8.4.4 数据采样插补	245
第 8 章 计算机数控系统	208	8.5 数控系统的刀具补偿原理	249
8.1 概述	208	思考与练习题	255
8.1.1 CNC 的定义和发展	208	第 9 章 数控机床的伺服系统	256
8.1.2 CNC 装置的工作过程 和功能	209	9.1 伺服系统概述	256
8.2 CNC 装置的硬件结构	211	9.1.1 伺服系统的组成	256
8.2.1 单微处理器数控 装置的结构	211	9.1.2 伺服系统的分类	257
8.2.2 多微处理器数控 装置的结构	214	9.2 伺服驱动电动机	258
8.3 CNC 装置的软件结构	218	9.2.1 步进电动机及其伺服系统	259
8.3.1 CNC 系统软硬件 的功能界面	218	9.2.2 直流伺服电动机	261
8.3.2 CNC 装置的软件 结构特点	219	9.2.3 交流伺服电动机	264
8.4 数控系统的插补原理	222	9.3 位置检测装置	265
8.4.1 概述	222	9.3.1 概述	265
		9.3.2 光电编码器	266
		9.3.3 光栅	269
		9.3.4 感应同步器	271
		思考与练习题	274

第 1 章 数控机床概述

1.1 数控技术的产生及发展

数控是数字控制(Numerical Control, NC)的简称,在机械制造领域其含义是指用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种自动化技术。它所控制的一般是位置、角度、速度等机械量,但也有温度、流量、压力等物理量。采用数控技术的机床或者说装备了数控系统的机床称为数控机床。数控技术的产生及发展过程简介如下:

1949 年美国帕森斯公司与麻省理工学院开始合作,1952 年研制出能进行三轴控制的数控铣床样机,取名“Numerical Control”。

1953 年麻省理工学院开发出只需确定零件轮廓、指定切削路线,即可生成 NC 程序的自动编程语言。

1959 年美国 Keaney&Trecker 公司成功开发了带刀库,能自动进行刀具交换,一次装夹即能进行铣、钻、镗、攻丝等多种加工功能,这就是数控机床的新种类——加工中心。

1968 年英国首次将多台数控机床、无人化搬运小车和自动仓库在计算机控制下连接成自动加工系统,这就是柔性制造系统 FMS。

1974 年微处理器开始用于机床的数控系统中,从此计算机数控系统 CNC 软接线数控技术随着计算机技术的发展得以快速发展。

1976 年美国 Lockheed 公司开始使用图像编程。即利用计算机辅助设计 CAD 绘出加工零件的模型,在显示器上“指点”被加工的部位,输入所需的工艺参数,即可由计算机自动计算刀具路径,模拟加工状态,获得 NC 程序。

直接数控 DNC 技术始于 20 世纪 60 年代末期。它使用一台通用计算机,直接控制和管理一群数控机床及数控加工中心,进行多品种、多工序的自动加工。DNC 群控技术是 FMS 柔性制造技术的基础,现代数控机床上的 DNC 接口就是机床数控装置与通用计算机之间进行数据传送及通信控制用的,也是数控机床之间实现通信用的接口。随着 DNC 数控技术的发展,数控机床已成为无人控制工厂的基本组成单元。

20 世纪 90 年代,出现了包括市场预测、生产决策、产品设计与制造和销售等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统 CIMS。其中,数控机床是基本控制单元。

20 世纪 90 年代,基于 PC-NC 的智能数控系统开始得到发展,它打破了原数控厂家各自为政的封闭式专用系统结构模式,提供开放式基础,使升级换代变得非常容易。充分利用现有 PC 机的软硬件资源,使远程控制、远程检测诊断能够得以实现。

我国虽然早在 1958 年就开始研制数控机床,但由于历史原因,一直没有取得实质性成果。20 世纪 70 年代初期,曾掀起研制数控机床的热潮,但当时是采用分立元件,性能不稳定,可靠性差。1980 年北京机床研究所引进日本 FANUC 5、7、3、6 数控系统,上海机床研究所引进美国 GE 公司的 MTC-1 数控系统,辽宁精密仪器厂引进美国 Bendix 公司的 Dynaph LTD10 数控系统。在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上,北京机床

研究所又开发出 BSO3 经济型数控和 BSO4 全功能数控系统，航天部 706 所研制出 MNC864 数控系统。“八五”期间国家又组织近百个单位进行以发展自主知识产权为目标的“数控技术攻关”，从而为数控技术产业化建立了基础。20 世纪 90 年代末，华中数控自主开发出基于 PC-NC 的 HNC 数控系统，达到了国际先进水平，加大了我国数控机床在国际上的竞争力度。

据 1997 年不完全统计，全国共拥有数控机床 12 万台。目前，我国数控机床生产企业有 100 多家，年产量达到 1 万多台，品种满足率达 80%，并在有些企业实施了 FMS 和 CIMS 工程，数控机床及其加工技术进入了实用阶段。

1.2 数控机床的组成与数控加工原理

1.2.1 数控机床的组成

数控机床的组成框图如图 1.1 所示。主要由输入输出设备、数控装置、伺服系统、测量反馈装置和机床本体组成。

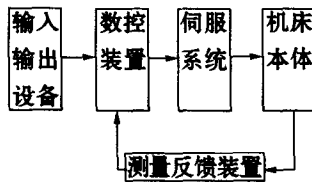


图 1.1 数控机床组成框图

1. 输入输出设备

输入输出设备的主要功能是：编制程序、输入程序和数据、打印和显示。这一部分的硬件，简单者可能只有键盘和发光二极管显示器；一般的可再加上纸带、光电读带机、磁带、磁盘输入机、人机对话编程操作键盘和 CRT 显示器。目前通常还包含有一套自动编程机或 CAD/CAM 系统。

2. 数控装置

数控装置是数控设备的控制核心。它是根据输入的程序和数据，并按要求完成数值计算、逻辑判断、输入输出控制、轨迹插补等功能。数控装置一般由一台专用计算机或通用计算机、输入输出接口以及机床控制器(可编程控制器)等部分组成。机床控制器主要用于实现对机床辅助功能 M、主轴转速功能 S 和换刀功能 T 的控制。

3. 伺服系统

伺服系统包括伺服控制线路、功率放大线路、伺服电机、机械传动机构和执行机构。其主要功能是接受数控装置插补运算产生的信号指令，驱动机床的执行机构运动。伺服电机可以是步进电机、直流伺服电机或交流伺服电机。

4. 测量反馈装置

该装置由测量部件和响应的测量电路组成，其作用是检测速度和位移，并将信息反馈给数控装置，构成闭环控制系统。没有测量反馈装置的系统称为开环数控系统。

常用的测量部件有脉冲编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅和磁尺等。

5. 机床本体

机床本体是被控制的对象，是数控机床的主体，包括床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件。一般需要对它进行位移、角度、速度和各种开关量的控制。数控机床采用了高性能的主轴及进给伺服驱动装置，其机械传动结构得到了简化。

另外，为了保证数控机床功能的充分发挥，还有一些配套部件(如冷却、排屑、防护、润滑、照明、储运等)和辅助装置(如编程机和对刀仪等)。

1.2.2 数控机床加工原理

当我们使用机床加工零件时，通常都需要对机床的各种动作进行控制，一是控制动作的先后次序，二是控制机床各运动部件的位移量。采用普通机床加工时，这种开车、停车、走刀、换向、主轴变速和开关切削液等操作都是由人工直接控制的。采用自动机床和仿形机床加工时，上述操作和运动参数则是通过设计好的凸轮、靠模和挡块等装置以模拟量的形式来控制的，它们虽能加工比较复杂的零件，且有一定的灵活性和通用性，但是零件的加工精度受凸轮、靠模制造精度的影响，而且工序准备时间也很长。

采用数控机床加工零件时，只需要将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式，编成程序代码输入到机床控制系统中，再由其进行运算处理后转成伺服驱动机构的指令信号，从而控制机床各部件协调动作，自动地加工出零件来。当更换加工对象时，只需要重新编写程序代码，即可由数控装置自动控制加工的全过程，能较方便地制造出任意复杂的零件。数控加工的原理如图 1.2 所示。

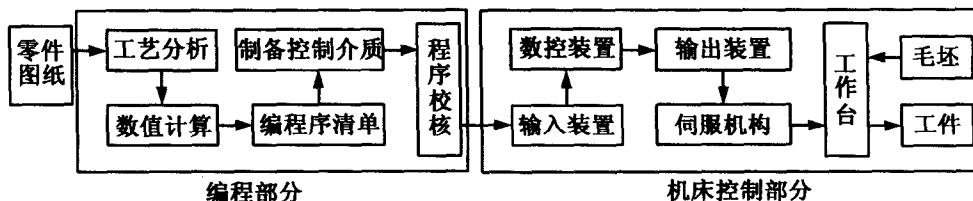


图 1.2 数控加工原理框图

从图 1.2 可以看出，数控加工过程总体上可分为数控编程和机床加工控制两大部分。

数控机床的控制系统一般都能按照数字程序指令控制机床实现主轴自动启停、换向和变速，能自动控制进给速度、方向和加工路线，进行加工，能选择刀具并根据刀具尺寸调整吃刀量及行走轨迹，能完成加工中所需要的各种辅助动作。

1.2.3 数控机床加工特点及应用范围

1. 数控机床加工特点

(1) 适应性强

数控机床灵活、通用、万能，可加工不同形状的工件，能完成钻、镗、铩、铰、铣削、车削、攻螺纹等加工。

(2) 精度高，质量稳定

目前数控装置的脉冲当量(每输出一个脉冲后滑板的移动量称为脉冲当量)一般为 0.001mm ，高精度的数控系统可达 0.0001mm 。而切削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，因此，数控机床能达到比较高的加工精度，一般可达 $0.005\text{mm}\sim 0.1\text{mm}$ 。对于中、小型数控机床，定位精度普遍可达到 0.03mm ，重复定位精度为 0.01mm 。数控机床的自动加工方式不但可避免人工操作误差，使工件加工的质量稳定，更重要的是可进行复杂曲面的加工。

(3) 生产效率高，生产准备周期短

由于数控机床自动化程度高，并且综合应用了现代科学生产技术成果，与普通机床相比可提高生产效率 $3\sim 5$ 倍。对于复杂成形面的加工，生产效率可提高十倍，甚至几十倍。同时，对于新零件的加工，大部分准备工作是针对零件工艺编制数控程序，而不是去准备靠模、钻镗模、专用夹具等工艺装备，而且编程工作可以离线进行；还可以利用CAD/CAM系统自动编程，这样大大缩短了生产准备时间。因此，十分有利于企业产品的升级换代和新产品的开发。

(4) 减轻劳动强度、改善劳动条件

利用数控机床进行加工，只需按图样要求编制加工程序，然后输入并调试程序，安装坯件进行加工，观察监视加工过程并装卸零件。除此之外，不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度与紧张程度可大为减轻，劳动条件也相应得到改善。

(5) 有利于实现制造和生产管理的现代化

数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息，易于建立与计算机间的通信联络，从而形成由计算机控制和管理的产品研发、设计、制造、管理及销售一体化系统。

2. 数控机床的应用范围

数控机床是一种高度自动化的机床，有一般机床所不具备的许多优点，所以数控机床的应用范围在不断扩大，但数控机床的技术含量高、成本高，使用、维修都有一定难度，若从最经济的方面考虑，数控机床适用于加工：

- 多品种小批量零件(合理生产批量为 $10\sim 100$ 件之间)。
- 结构较复杂，精度要求较高或必须用数学方法确定的复杂曲线、曲面等零件。
- 需要频繁改型的零件。
- 钻、镗、铰、铩、攻螺纹及铣削等工序联合的零件，如箱体、壳体等。
- 价格昂贵，不允许报废的零件。
- 要求百分之百检验的零件。

- 需要最小生产周期的急需零件。

1.3 数控机床的分类

目前数控机床的品种很多，其分类的方法也很多，下面介绍4种常用的分类方法。

1.3.1 按照工艺用途分类

- 金属切削类：如数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、数控滚齿机、加工中心等。
- 金属成型类：如数控折弯机、数控弯管机、数控四转头压力机等。
- 特种加工类：如数控线切割、数控电火花、数控激光切割机。
- 其他类：如数控等离子切割机、数控三坐标测量机等。

1.3.2 按照控制运动的方式分类

1. 点位控制数控机床

这类机床只控制运动部件从一点移动到另一点的准确定位，在移动过程中不进行加工，对两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求，可以沿多个坐标同时移动，也可以沿各个坐标先后移动。为了减少移动时间和提高终点位置的定位精度，一般先快速移动，当接近终点位置时，再减速缓慢趋近终点，以保证定位精度。

采用点位控制的机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。

2. 点位直线控制数控机床

这类机床不仅要控制点的准确定位，而且要控制刀具(或工作台)以一定的速度沿与坐标轴平行的方向进行切削加工。机床应具有主轴转速的选择与控制、切削速度与刀具的选择以及循环进给加工等辅助功能。

这种控制常用于简易数控车床、数控镗铣床等。

3. 轮廓控制数控机床

这类机床能够对两个或两个以上运动坐标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。其数控装置一般要求具有直线和圆弧插补功能、主轴转速控制功能及较齐全的辅助功能。这类机床用于加工曲面、凸轮及叶片等复杂形状的零件。

采用轮廓控制的数控机床有数控铣床、车床、磨床和加工中心等。

1.3.3 按照伺服系统控制方式分类

1. 开环控制系统

开环控制系统框图见图1.3。这类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蜗合式伺服步进电动机。数控系统每发出一个进给指令脉冲，经驱动电

路功率放大后,驱动步进电动机旋转一个角度,再经传动机构带动工作台移动。这类系统信息流是单向的,即进给脉冲发出去以后,实际移动值不再反馈回来,所以称为开环控制。

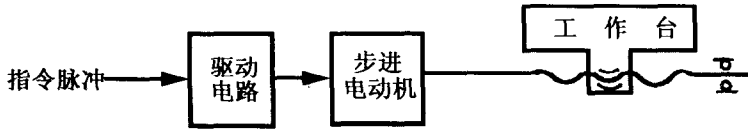


图 1.3 开环控制系统框图

开环控制系统的特点是结构较简单、成本较低、技术容易掌握,但由于受步进电动机的步距精度和传动机构的传动精度的影响,难于实现高精度的位置控制,进给速度也受步进电机工作频率的限制。一般适用于中、小型经济型数控机床,特别适用于旧机床改造的简易数控机床。

2. 闭环控制系统

闭环控制系统框图见图 1.4。这类控制系统带有直线位移检测装置,直接对工作台的实际位移量进行检测。伺服驱动部件通常采用直流伺服电动机或交流伺服电动机。图中 A 为速度测量元件, C 为位置测量元件。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,与位移指令值进行比较,用比较后得出的差值进行位置控制,直至差值为零时为止。这类控制系统,因为把机床工作台纳入了控制环节,故称闭环控制系统。该系统可以消除包括工作台传动链在内的传动误差,因而定位精度高。但由于工作台惯量大,对机床结构的刚性、传动部件的间隙及导轨副的灵敏性等提出了严格的要求,否则将给系统稳定性带来不利影响。

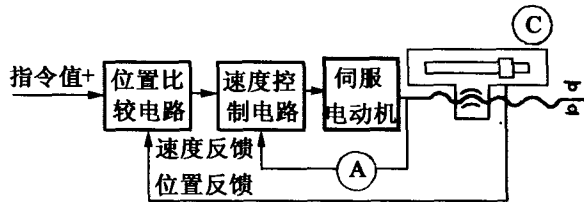


图 1.4 闭环控制系统框图

闭环控制系统的特点是定位精度高,但调试和维修都较困难,系统复杂,成本高,一般适用于精度要求高的数控设备,如数控精密镗铣床。

3. 半闭环控制系统

半闭环控制系统框图见图 1.5。这类控制系统与闭环控制系统的区别在于采用角位移检测元件,检测反馈信号不是来自工作台,而是来自与电机输出轴相联系的角位移检测元件 B。通过测速发电机 A 和光电编码盘(或旋转变压器)B 间接检测出伺服电动机的转角,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。从图 1.5 可以看

出, 由于工作台没有包括在控制回路中, 因而称之为半闭环控制。这类控制系统的伺服驱动部件通常采用宽调速直流伺服电动机, 目前已将角位移检测元件与电动机设计成一个部件, 使系统结构简单、方便。半闭环控制系统的性能介于开环和闭环之间, 精度没有闭环高, 调试却比闭环方便, 因而得到广泛应用。

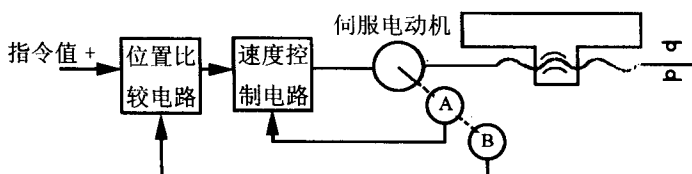


图 1.5 半闭环控制系统框图

1.3.4 按照数控装置的功能水平分类

通常把数控机床分为低、中、高档三类。低、中、高三档的界限是相对的, 不同时期划分的标准会有所不同。就目前的发展水平看, 可以根据表 1.1 的一些功能指标来划分, 其中高、中档一般称为全功能数控或标准型数控。在我国还有经济型数控的提法, 经济型数控属于低档数控, 是指由单板机、单片机和步进电动机组成的数控系统和其他功能简单、价格低的数控系统, 主要用于车床、线切割机床以及旧机床改造等。

表 1.1 不同档次数控功能及指标表

功能	低档	中档	高档
系统分辨率/ μm	10	1	0.1
进给速度/(m/min)	8~15	15~24	24~100
伺服进给类型	开环及步进电动机系统	半闭环及直、交流伺服	闭环及直、交流伺服
联动轴数	2~3 轴	2~4 轴	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS-232C 或 DNC	RS-232C、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT: 图形、人机对话	CRT: 三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	强功能内装 PLC
主 CPU	8 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU

1.4 数控机床的技术发展趋势

现代数控加工正在向高速化、高精度化、高柔性化、高一体化、网络化和智能化等方向发展。

1. 高可靠性

数控机床的可靠性是数控机床产品质量的一项关键性指标。数控机床能否发挥其高性能、高精度、高效率, 并获得良好的效益, 关键取决于可靠性。近些年来, 已在数控机床产品中应用了可靠性技术, 并取得了明显的进展。