



教育部高职高专规划教材

数控加工技术

● 明兴祖 主编 熊熙 副主编
王茂元 主审



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

数 控 加 工 技 术

明兴祖 主 编

熊 熙 副主编

王茂元 主 审

化 学 工 业 出 版 社

教 材 出 版 中 心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工技术/明兴祖主编. —北京: 化学工业出版社, 2002. 12
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-4177-2

I. 数… II. 明… III. 数控机床—加工—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 087829 号

教育部高职高专规划教材

数 控 加 工 技 术

明兴祖 主 编

熊 熙 副主编

王茂元 主 审

责任编辑: 高 钰

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(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

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 15¼ 字数 371 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4177-2/G · 1096

定 价: 25.00 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

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性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性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

2001年4月3日

前 言

数控加工是机械制造中的先进加工技术。它的广泛使用给机械制造业的生产方式、产品结构、产业结构带来了深刻的变化,是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础。为适应这种趋势,全国高职高专专门课开发指导委员会组织全国高职高专院校,于2001年~2002年先后召开多次会议,成立了各专业专门课开发小组,确定了各专业的教材体系和课程结构框架。本书正是根据专门课开发指导委员会确定的《数控加工技术》课程基本要求,从该课程的高职高专教育目标及知识、能力和素质结构要求出发,按照该课程的教材编写大纲而编写的。

采用数控加工,首先必须熟悉数控机床的结构及其控制原理,掌握合理的数控加工工艺,编制出优化的数控加工程序。本书正是从数控加工实用的角度出发,分析了数控机床各组成部分的控制原理,重点讨论了数控车削、数控铣削、加工中心加工和数控特种加工等数控加工工艺及工装、程序编制和加工实例。为提高数控加工技术应用的水平,还介绍了数控自动编程和数控加工应用的相关技术。

本书内容重点突出,强调理论与实践相结合;文字简练,图文并茂;各章均附有小结和习题,以便于归纳总结,及时巩固所学知识。

参加本书编写的有明兴祖、刘让贤、于秦湘、熊熙、段继承等。本书由明兴祖任主编,熊熙任副主编,其中第一章、第七章、第八章由明兴祖编写,第二章由刘让贤编写,第三章由于秦湘和明兴祖编写,第四章、第五章由熊熙编写,第六章由段继承和明兴祖编写。全书由明兴祖副教授负责统稿和定稿。

本书由王茂元副教授主审。

限于编者的水平和经验,书中难免有欠妥或错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2002年9月

内 容 提 要

本书是根据全国高职高专专门课开发指导委员会制定的《数控加工技术》课程的基本要求和教材编写大纲,遵循“理论联系实际,体现应用性、实用性、综合性和先进性,激发创新”的原则而编写的,着重培养学生的数控加工技术应用能力。

该书先从数控加工技术基础和数控机床各组成部分的基本控制原理及其结构入手,重点突出数控车削、数控铣削、加工中心加工、数控特种加工等所用数控设备的分类、结构特点、主要功能、适用加工对象、数控加工工艺及工装、程序编制和加工实例等内容。最后还介绍了数控自动编程技术和数控加工应用技术等内容。

本书内容丰富,重点突出,强调数控加工技术应用;文字简练,图文并茂;各章均附有小结和习题,以便于归纳总结,及时巩固所学知识。

该书可作为高职高专院校模具设计与制造、机电一体化、机械制造工艺与工装、数控技术应用、计算机应用、冶金机械及控制技术等机械类各专业的三年制、五年制高职高专及中等职业技术教育的教材,也可供数控技术培训及有关工程技术人员参考。

目 录

第一章 数控加工技术基础	1
第一节 数控设备简介	1
一、数控设备的产生与发展	1
二、数控设备的工作原理、组成与特点	3
三、数控设备的分类	4
四、数控机床的坐标系统	6
(一) 数控机床的坐标轴和运动方向	6
(二) 绝对坐标系统与相对坐标系统	6
第二节 数控加工基础	7
一、数控加工的定义及特点	7
(一) 数控加工的定义	7
(二) 数控加工的特点	8
二、数控加工中常用术语	8
(一) 两坐标和多坐标加工	8
(二) 插补	9
(三) 刀具补偿	10
三、数控加工的工艺设计	10
(一) 数控加工工艺设计的主要内容	10
(二) 选择并确定零件的数控加工内容	10
(三) 对零件图纸进行数控加工工艺性分析	11
(四) 数控加工工艺路线设计	11
(五) 数控加工工序设计	12
(六) 数控加工专用技术文件的编写	13
第三节 数控程序编制基础	14
一、程序编制的内容与步骤	14
二、程序编制的代码标准	15
三、NC 程序的结构	17
(一) 程序的组成	17
(二) 程序段格式	17
四、NC 程序的常用功能字	18
(一) 准备功能	18
(二) 坐标功能字	19
(三) 进给功能字	19
(四) 主轴功能字	19
(五) 刀具功能字	19
(六) 辅助功能字	19

第四节 数控加工技术的发展趋势	20
本章小结	22
习题一	22
第二章 数控机床各组成部分的结构及其控制原理	24
第一节 计算机数控系统	24
一、CNC 系统的组成与特点	24
二、CNC 系统的硬件结构	24
(一) 大板结构和功能模板结构	25
(二) 单微处理器结构和多微处理器结构	25
三、CNC 系统的软件结构	26
(一) CNC 系统软件的组成	26
(二) CNC 系统软件的结构	27
四、CNC 系统的控制原理	28
(一) 零件程序的输入	28
(二) 译码	28
(三) 刀具补偿	28
(四) 速度控制	29
(五) 插补计算	30
五、典型数控系统	33
第二节 数控机床的进给伺服系统	36
一、概述	36
二、开环和闭环进给伺服系统	36
三、CNC 进给伺服系统	38
四、进给系统的机械传动结构	38
(一) 滚珠丝杠螺母副	39
(二) 导轨副	40
五、数控机床的位置检测装置	42
(一) 对位置检测装置的要求	42
(二) 常用的位置检测装置	42
第三节 数控机床的主轴驱动及其机械结构	47
一、主轴驱动及其控制	47
(一) 对主轴驱动的要求	47
(二) 主轴驱动方式	48
(三) 主轴调速方法	49
二、主传动的机械结构	51

第四节 可编程序控制器 (PLC)	53	(二) 按数控系统的功能分类	88
一、可编程序控制器工作原理	54	二、数控铣床的主要功能	88
二、可编程序控制器的应用	56	三、主要加工对象	90
(一) 数控机床使用 PLC 的类型	56	第二节 数控铣削的加工工艺与工装	91
(二) PLC 与 CNC 及机床之间的信息 交换	56	一、选择并确定数控铣削的加工部位及 内容	91
本章小结	57	二、加工信息的读取及工艺性分析	91
习题二	57	三、毛坯的选择	92
第三章 数控车削加工技术	59	四、加工表面的加工方案	93
第一节 数控车床简介	59	五、制订工艺路线	93
一、概述	59	六、数控铣削工序设计	94
(一) 数控车床的用途	59	七、对刀点和换刀点的选择	95
(二) 数控车床的组成及布局	59	八、数控刀具系统	96
(三) 数控车床的分类	60	九、夹具	99
二、数控车床的典型结构	61	十、回转工作台和数控分度头	100
第二节 数控车削的加工工艺与工装	64	十一、量具	100
一、数控车削加工的工艺分析	64	第三节 数控铣削的程序编制	101
(一) 加工工序划分	64	一、数控铣削编程的基本原理	101
(二) 加工路线的确定	64	二、加工程序代码标准	102
二、数控车削加工及工装	66	三、编程坐标系的选择	102
(一) 夹具的选择、工件装夹方法的 确定	66	四、刀具补偿的建立、执行与撤消	102
(二) 切削用量的确定	67	(一) 刀具半径补偿的建立、执行与 撤消	102
(三) 刀具的选择及对刀点、换刀点的 确定	68	(二) 刀具长度补偿的建立、执行与 撤消	103
第三节 数控车削的程序编制	69	(三) 刀具补偿的运用	103
一、数控车床的编程特点	69	五、编程实例	104
二、车削数控系统功能	70	第四节 数控铣削加工实例	105
三、数控车削编程基础	72	本章小结	107
(一) 坐标系统	72	习题四	107
(二) 对刀问题	72	第五章 加工中心加工技术	109
(三) 数控车削常用的各种指令	73	第一节 加工中心简介	109
(四) 刀具半径补偿	76	一、加工中心的分类与结构特点	109
(五) 固定循环功能	77	二、加工中心的主要功能	111
第四节 数控车削加工实例	80	三、加工中心的主要加工对象	112
一、数控车床的操作	80	第二节 加工中心的加工工艺与工装	113
二、数控车削实例	82	一、加工中心的工艺特点	113
本章小结	85	二、加工中心的工艺路线设计	114
习题三	85	三、加工中心的工步设计	115
第四章 数控铣削加工技术	87	四、工件的定位与装夹	115
第一节 数控铣床简介	87	(一) 加工中心定位基准的选择	115
一、分类与结构特点	87	(二) 加工中心夹具的选择和使用	116
(一) 按机床主轴的布置形式及机床的 布局特点分类	87	(三) 确定零件在机床工作台上的最佳 位置	116

五、加工中心刀具的选用	116	四、数控电火花线切割加工实例	152
六、换刀点	120	本章小结	156
第三节 加工中心的程序编制	120	习题六	156
一、加工中心的编程要求	120	第七章 数控自动编程技术	158
二、换刀程序的编制	121	第一节 数控自动编程概述	158
三、固定循环指令的编程方法	121	一、自动编程的基本知识	158
第四节 加工中心加工实例	125	(一) 实现自动编程的环境要求	158
本章小结	127	(二) 自动编程的分类	159
习题五	127	(三) 自动编程的发展	160
第六章 数控特种加工技术	129	二、图形交互式自动编程系统	161
第一节 数控电火花成形加工技术	129	第二节 MasterCAM 的工作环境	161
一、数控电火花成形加工简介	129	一、MasterCAM 的主要特点与功能	161
(一) 数控电火花成形加工原理	129	二、MasterCAM 产生 NC 的工作程序	162
(二) 数控电火花成形机床的主要组成	130	三、MasterCAM 工作环境	162
(三) 数控电火花成形加工的特点及应用	133	第三节 2D 构图及刀具路径的生成	165
二、数控电火花成形加工的一般工艺规律	134	一、2D 基本几何绘图	165
(一) 影响材料放电腐蚀的主要因素	134	二、几何图形的编辑	167
(二) 影响加工精度的主要因素	136	三、2D 刀具路径的生成	167
(三) 影响电火花加工表面质量的工艺因素	136	(一) 2D 刀具路径模组及其共同参数	167
(四) 电极	137	(二) 外形定义	171
三、数控电火花成形加工工艺过程及实例	139	(三) 外形铣削模组	171
(一) 电加工工艺参数的选定	139	(四) 挖槽模组	173
(二) 提高加工效率的方法	140	(五) 钻孔模组	176
(三) 加工方式选定	140	(六) 刻文字模组	178
(四) 加工实例	140	第四节 相关性应用与后置处理	179
第二节 数控电火花线切割加工技术	141	一、操作管理	179
一、数控电火花线切割加工简介	142	二、路径转换	183
(一) 数控电火花线切割加工原理	142	三、刀具路径合并	185
(二) 数控电火花线切割加工机床分类与基本组成	142	四、后置处理	185
(三) 数控电火花线切割加工的特点和应用范围	143	五、2D 自动编程实例	186
二、数控电火花线切割的工艺与工装	144	第五节 3D 构图及刀具路径的生成	188
三、数控电火花线切割机床编程	147	一、3D 构图基础	189
(一) 3B 格式程序编制	148	(一) 3D 几何造型的基本概念	189
(二) 4B 格式程序编制	149	(二) 曲面类型和特征	190
(三) ISO 代码数控程序编制	150	二、3D 曲面构造与编辑	193
(四) 程序编制步骤	152	(一) 利用线框架模型产生昆式曲面模型	193
		(二) 实体构造	198
		三、3D 刀具路径的产生及编辑	203
		第六节 利用自动编程加工零件综合实例	207
		本章小结	209
		习题七	209

第八章 数控加工应用技术	211	第二节 数控机床的选用	222
第一节 数控机床的维修	211	一、选用依据	222
一、数控机床维修概述	211	二、选用内容	223
二、数控机床的故障诊断	213	三、购置订货时应注意的问题	225
(一) 故障诊断的一般步骤	213	第三节 数控机床的安装与调试	225
(二) 故障诊断的一般方法	213	一、安装调试的准备工作	226
三、数控机床的故障维修	217	二、安装调试的配合工作	226
(一) 数控系统的故障维修	217	三、安装调试的组织工作	227
(二) 伺服驱动系统的故障维修	217	第四节 数控机床的检测、验收与设备	
(三) 机械系统故障维修	218	管理	227
(四) 液压系统故障维修	219	一、数控机床的检测与验收	227
(五) 压缩空气系统故障处理	219	二、数控机床的设备管理	229
(六) 其他系统故障处理	220	本章小结	230
四、数控机床故障诊断与维修综合		习题八	231
实例	220	参考书目	232

第一章 数控加工技术基础

第一节 数控设备简介

一、数控设备的产生与发展

1. 数控设备的产生

科学技术和社会生产的不断发展, 机械制造技术发生了深刻的变化, 机械产品的结构越来越合理, 其性能、精度和效率日趋提高, 因此对加工机械产品的生产设备提出了三高(高性能、高精度和高自动化)的要求。

在机械产品中, 单件和小批量产品占到 70%~80%。由于这类产品的生产批量小、品种多, 一般都采用通用机床加工。当产品改型时, 加工所用的机床与工艺装备均需作相应的变换和调整, 而且通用机床的自动化程度不高, 基本上由人工操作, 难于提高生产效率和保证产品质量。要实现这类产品生产的自动化成为机械制造业中长期未能解决的难题。

大批大量生产的产品, 如汽车、摩托车、家用电器等零件, 为了解决高产优质的问题, 多采用专用机床、组合机床、专用自动化机床以及专用自动生产线和自动化车间进行生产。但是应用这些专用生产设备, 生产周期长, 产品改型不易, 因而使新产品的开发周期增长, 生产设备使用的柔性很差。

现代机械产品的一些关键零部件, 如在造船、航天、航空、机床及国防部门的产品零件, 往往都精密复杂, 加工批量小, 改型频繁, 显然不能在专用机床或组合机床上加工。而借助靠模和仿形机床, 或者借助划线和样板用手工操作的方法来加工, 加工精度和生产效率受到很大的限制。特别对空间的复杂曲线曲面, 在普通机床上根本无法实现。

为了解决上述问题, 一种新型的数字程序控制机床应运而生, 为单件、小批量生产, 特别是复杂型面零件提供了自动化加工手段。数控机床的研制始于 20 世纪 40 年代末。1952 年美国 PARSONS 公司与麻省理工学院(MIT)合作研制了第一台三坐标立式数控铣床。该机床的研制成功是机械制造行业中的一次技术革命, 使机械制造业的发展进入了一个新的阶段。

2. 数控设备的发展

在第一台数控机床问世以来的 50 年中, 随着微电子技术的迅猛发展, 数控系统也在不断地更新换代, 先后经历了电子管(1952 年)、晶体管和印刷电路板(1960 年)、小规模集成电路(1965 年)、小型计算机(1970 年)、微处理器或微型计算机(1974 年)和基于 PC-NC 的智能数控系统(20 世纪 90 年代后)等六代数控系统。

前三代数控系统是属于采用专用控制计算机的硬逻辑(硬线)数控系统, 简称 NC(Numerical Control), 目前已被淘汰。

第四代数控系统采用小型计算机取代专用控制计算机, 数控的许多功能由软件来实现, 不仅在经济上更为合算, 而且提高了系统的可靠性和功能特色, 故这种数控系统又称为软线

数控,即计算机数控系统,简称 CNC (Computer Numerical Control)。1974 年采用以微处理器为核心的数控系统,形成第五代微型机数控系统,简称 MNC (Micro-computer Numerical Control)。以上 CNC 与 MNC 统称为计算机数控。CNC 和 MNC 的控制原理基本上相同,目前趋向采用成本低、功能强的 MNC。

由于 CNC 数控系统生产厂家自行设计其硬件和软件,这种封闭式的专用系统具有不同的软硬件模块、不同的编程语言、五花八门的人机界面、多种实时操作系统、非标准化接口等,不仅给用户带来了使用上和维修上的复杂性,还给车间物流层的集成带来了很大困难。因此现在发展了基于 PC-NC 的第六代数控系统,它充分利用现有 PC 机的软硬件资源,规范设计新一代数控。第六代数控的优势在于:

- ① 元器件集成度高、可靠性好;
- ② 技术进步快、升级换代容易;
- ③ 提供了开放式的基础,可供利用的软、硬件资源极为丰实。

在数控系统不断更新换代的同时,数控机床的品种得以不断地发展。自 1952 年世界上出现第一台三坐标数控机床以来,先后研制成功了数控转塔式冲床、数控转塔钻床。1958 年美国 K&T 公司研制出带自动换刀装置的加工中心 MC (Machining Center)。随着 CNC 技术、信息技术、网络技术以及系统工程学的发展,在 20 世纪 60 年代末期出现了由一台计算机直接管理和控制一群数控机床的计算机群控系统,即直接数字控制系统 DNC (Direct Numerical Control)。1967 年出现了由多台数控机床连接成可调加工系统,这就是最初的柔性制造系统 FMS (Flexible Manufacturing System)。1978 年以后,各种加工中心相继问世。以 1~3 台加工中心为主体,再配上自动更换工件 AWC (Automated Workpiece Change) 的随行托盘 (Pallet) 或工业机器人以及自动检测与监控技术装备,组成柔性制造单元 FMC (Flexible Manufacturing Cell)。自 20 世纪 90 年代后,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 (Computer Integrated Manufacturing System),它将一个制造工厂的生产活动进行有机的集成,以实现更高效益、更高柔性的智能化生产。从以上说明,数控机床已经成为组成现代化机械制造生产系统,实现计算机辅助设计 CAD (Computer Aided Design)、计算机辅助制造 CAM (Computer Aided Manufacturing)、计算机辅助检验 CAT (Computer Aided Testing) 与生产管理等全部生产过程自动化的基本数控设备。

中国数控机床的研制始于 1958 年。到 20 世纪 60 年代末、70 年代初,已经研制出一些晶体管式的数控系统,并用于生产,如数控线切割机床、数控铣床等。但数控机床的品种和数量都很少,稳定性和可靠性也比较差,只在一些复杂的、特殊的零件加工中使用。这是我国数控机床发展的初级阶段。

自改革开放以来,通过技术引进、科学攻关和技术改造,我国的数控机床及技术有了较大进步,逐步形成了产业。“六五”期间国家支持引进数控技术产品;“七五”期间国家支持组织“科技攻关”及实施“数控机床引进消化吸收一条龙”项目,在消化吸收的基础上诞生了一批数控产品;“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。目前,我国数控机床生产企业有 100 多家,产量增加到 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,表明数控机床进入了实用阶段。

数控机床是数控设备的典型代表。在数控机床全面发展的同时,数控技术在其他机械行

业中得以迅速发展,数控激光与火焰切割机、数控压力机、数控弯管机、数控绘图机、数控冲剪机、数控坐标测量机、数控雕刻机等数控设备也得到了广泛的应用。

二、数控设备的工作原理、组成与特点

1. 数控设备的工作原理

操作者根据数控工作要求编制数控程序,并将数控程序记录在程序介质(如穿孔纸带、磁带、磁盘等)上。数控程序经数控设备的输入输出接口输入到数控设备中,控制系统按数控程序控制该设备执行机构的各种动作或运动轨迹,达到规定的工作结果。图 1-1 是数控设备的一般工作原理图。

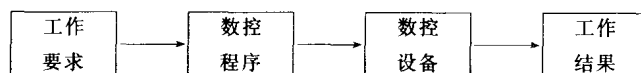


图 1-1 数控设备的工作原理

2. 数控设备的组成与功能

数控设备的基本结构框图如图 1-2 所示。主要由输入输出装置、计算机数控装置、伺服系统和受控设备等四部分组成。

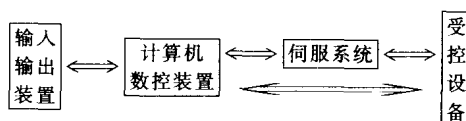


图 1-2 数控设备基本结构框图

(1) 输入输出装置 输入输出装置主要用于零件数控程序的编译、存储、打印和显示等。简单的输入输出装置只包括键盘和发光二极管显示器。一般的输入输出装置除了人机对话编程键盘和 CRT (Cathode Ray Tube) 外,还包括纸带、磁带或磁盘输入机、穿孔机等。高级的输入输出装置还包括自动编程机或 CAD/CAM 系统。

(2) 计算机数控装置 计算机数控装置是数控设备的核心。它根据输入的程序和数据,经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种信号和指令。

(3) 伺服系统 伺服系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置组成,并与设备的执行部件和机械传动部件组成数控设备的进给系统。它根据数控装置发来的速度和位移指令,控制执行部件的进给速度、方向和位移。每个进给运动的执行部件都配有一套伺服驱动系统。伺服驱动系统有开环、半闭环和闭环之分。在半闭环和闭环伺服驱动系统中,还需使用位置检测装置,间接或直接测量执行部件的实际进给位移,与指令位移进行比较,按闭环原理,将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动。伺服驱动装置可以是步进电动机、直流伺服电动机或交流伺服电动机。

(4) 受控设备 受控设备是被控制的对象,是数控设备的主体,一般都需要对它进行位移、角度和各种开关量的控制。受控设备包括机床行业的各种机床和其他行业的许多设备,如:电火花加工机、激光与火焰切割机、弯管机、绘图机、冲剪机、测量机、雕刻机等。在闭环控制的受控设备上一般都装有位置检测装置,以便将位置和各种状态信号反馈给计算机数控装置。

3. 数控设备的特点

数控设备是一种高效能自动化加工设备。与普通设备相比,数控设备具有如下特点。

(1) 适应性强 数控设备是根据数控工作要求编制的数控程序来控制设备执行机构的各

种动作,当数控工作要求改变时,只要改变数控程序软件,而不需改变机械部分和控制部分的硬件,就能适应新的工作要求。因此,生产准备周期短,有利于机械产品的更新换代。

(2) 精度高,质量稳定 数控设备本身的精度较高,还可以利用软件进行精度校正和补偿,数控机床加工零件是按数控程序自动进行,可以避免人为的误差。因此,数控设备可以获得比普通设备更高的加工精度。尤其提高了同批零件生产的一致性,产品质量稳定。

(3) 生产效率高 数控设备上可以采用较大的运动用量,有效地节省了运动工时。还有自动换速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,而且无需工序间的检验与测量,故使辅助时间大为缩短。

(4) 能完成复杂型面的加工 许多复杂曲线和曲面的加工,普通机床无法实现,而数控机床完全可以完成。

(5) 减轻劳动强度,改善劳动条件 由于数控设备是自动完成,许多动作不需操作者进行,因此劳动条件和劳动强度大为改善。

(6) 有利于生产管理 采用数控设备,有利于向计算机控制和管理生产方向发展,为实现制造和生产管理自动化创造了条件。

三、数控设备的分类

数控设备的种类很多,各行业都有自己的数控设备和分类方法。在机床行业,数控机床通常从以下不同角度进行分类。

1. 按工艺用途分类

目前,数控机床的品种规格已达 500 多种,按其工艺用途可以划分为以下四大类。

(1) 金属切削类 指采用车、铣、镗、钻、铰、磨、刨等各种切削工艺的数控机床。它又可分为两类。

① 普通数控机床。普通数控机床一般指在加工工艺过程中的一个工序上实现数字控制的自动化机床,有数控车、铣、钻、镗及磨床等。普通数控机床在自动化程度上还不够完善,刀具的更换与零件的装夹仍需人工来完成。

② 数控加工中心。数控加工中心 MC 是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。在加工中心上,可使零件一次装夹后,实现多道工序的集中连续加工。加工中心的类型很多,一般分为立式加工中心、卧式加工中心和车削加工中心等。加工中心由于减少了多次安装造成的定位误差,所以提高了零件各加工面的位置精度,近年来发展迅速。

(2) 金属成形类 指采用挤、压、冲、拉等成形工艺的数控机床,常用的有数控弯管机、数控压力机、数控冲剪机、数控折弯机、数控旋压机等。

(3) 特种加工类 主要有数控电火花线切割机、数控电火花成形机、数控激光与火焰切割机等。

(4) 测量、绘图类 主要有数控绘图机、数控坐标测量机、数控对刀仪等。

2. 按控制运动的方式分类

(1) 点位控制数控机床 这类机床只控制机床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切削,对两点间的移动速度和运动轨道没有严格控制。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,再以低速准确移动到终点,以保证定位精度。这类数控机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床等。

(2) 点位直线控制数控机床 这类机床在工作时,不仅要控制两相关点之间的位置,还

要控制刀具以一定的速度沿与坐标轴平行的方向进行切削加工。这类机床有数控车床和数控铣床等。

(3) 轮廓控制数控机床 这类机床又称连续控制或多坐标联动数控机床。机床的控制装置能够同时对两个或以上的坐标轴进行连续控制。加工时不仅要控制起点和终点,还要控制整个加工过程中每点的速度和位置。这类机床有数控车床、铣床、磨床和加工中心等。

3. 按伺服系统的控制方式分类

(1) 开环数控机床 开环数控机床采用开环进给伺服系统,图 1-3 所示为典型的开环进给系统。这类控制中,没有位置检测元件,CNC 装置输出的指令脉冲经驱动电路的功率放大,驱动步进电机转动,再经传动机构带动工作台移动。

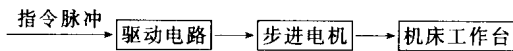


图 1-3 数控机床开环控制框图

开环控制的数控机床结构较简单、成本较低、调试维修方便,但由于受步进电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。

(2) 半闭环控制数控机床 将位置检测元件安装在驱动电机的端部或传动丝杆端部,间接测量执行部件的实际位置或位移,则称为半闭环控制数控机床,如图 1-4 所示。这类控制可以获得比开环系统更高的精度,调试比较方便,因而得到广泛应用。

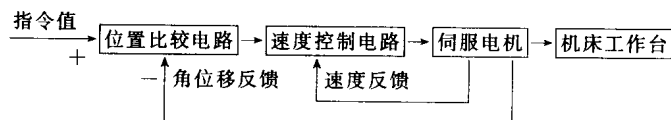


图 1-4 数控机床半闭环控制框图

(3) 闭环控制数控机床 这类数控机床是将位置检测元件直接安装在机床工作台上,用以检测机床工作台的实际位置,并与 CNC 装置的指令位置进行比较,用差值进行控制,其控制框图如图 1-5 所示。

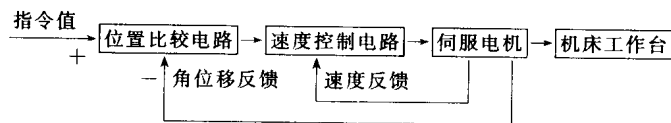


图 1-5 数控机床闭环控制框图

闭环控制数控机床由于采用了位置控制和速度控制两个回路,把机床工作台纳入了控制环节,可以清除包括工作台传动链在内的传动误差,因而定位精度高,速度更快。但由于系统复杂,调试和维修较困难,成本高,一般适用于精度要求高的数控机床,如数控精密镗铣床。

4. 按所用数控系统的档次分类

按所用数控系统的档次通常把数控机床分为低、中、高档三类。数控机床(数控系统)水平的高低由主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平来确定。不同时期,划分标准会有不同。就目前的发展水平来看,这三类档次的数控机床如下。

(1) 低档数控机床 这类数控机床以步进电机驱动为特征,两至三轴联动控制,分辨率为 $10\mu\text{m}$,进给速度为 $8\sim 15\text{m/min}$,主 CPU 采用 8 位 CPU。我国现阶段提到的经济型数控就属于低档数控,主要用于车床、线切割机床及旧机床改造等。

(2) 中档数控机床 这类数控机床的伺服进给采用半闭环及直、交流伺服控制，三至四轴联动控制，分辨率为 $1\mu\text{m}$ ，进给速度为 $15\sim 20\text{m}/\text{min}$ ，主 CPU 为 16 位或 32 位 CPU，通信采用 RS-232 或 DNC 通信接口。

(3) 高档数控机床 这类数控机床的伺服进给采用闭环及直、交流伺服控制，五轴或以上联动控制，分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ ，进给速度为 $20\text{m}/\text{min}$ 以上，主 CPU 为 32 位或以上 CPU，通信采用 MAP (Manufacturing Automation Protocol 制造自动化协议) 等高性能通信接口，具有联网功能。

以上中、高档数控机床一般称为全功能数控或标准型数控。

四、数控机床的坐标系

(一) 数控机床的坐标轴和运动方向

对数控机床的坐标轴和运动方向做出统一的规定，可以简化程序编制的工作和保证记录

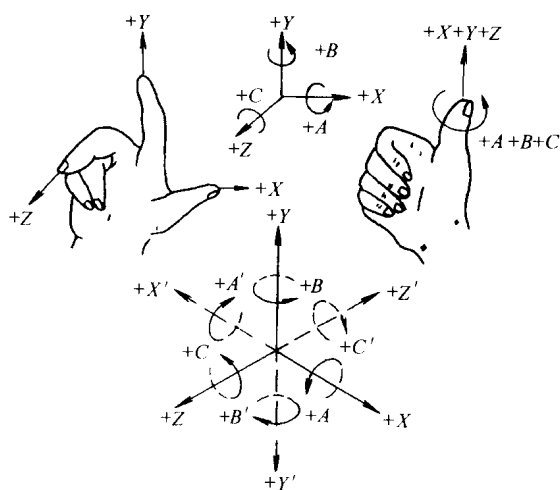


图 1-6 数控机床坐标系

数据的互换性，还可以保证数控机床的运行、操作及程序编制的一致性。按照等效于 ISO841 的我国标准 JB-3051—82 规定：如图 1-6 所示，数控机床直线运动的坐标轴 X、Y、Z (也称为线性轴)，规定为右手笛卡儿坐标系。X、Y、Z 的正方向是使工件尺寸增加的方向，即增大工件和刀具距离的方向。通常以平行于主轴的轴线为 Z 轴 (即 Z 坐标运动由传递切削动力的主轴所规定)，而 X 轴是水平的，并平行于工件的装卡面，最后 Y 轴就可按右手笛卡儿坐标系来确定。三个旋转轴 A、B、C 相应的表示其轴线平行于 X、Y、Z 的旋转运动，A、B、C 的正向相应地为在 X、Y、Z 坐标正方向向上按右旋螺纹前进的方向。

上述规定是工件固定、刀具移动的情况。反之若工件移动，则其正方向分别用 X' 、 Y' 、 Z' 表示。通常以刀具移动时的正方向作为编程的正方向。

除了上述坐标外，还可使用附加坐标。在主要线性轴 (X, Y, Z) 之外，另有平行于它的依次有次要线性轴 (U, V, W)、第三线性轴 (P, Q, R)。在主要旋转轴 (A, B, C) 存在的同时，还有平行于或不平行于 A、B 和 C 的两个特殊轴 (D, E)。

数控机床各轴的标示乃是根据右手定则。当右手拇指指向正 X 轴方向，食指指向正 Y 轴方向时，中指则指向正 Z 轴方向。图 1-7 所示为立式数控机床的坐标系，图 1-8 所示为卧式数控机床的坐标系。

(二) 绝对坐标系与相对坐标系

1. 绝对坐标系

绝对坐标系是指工作台位移是从固定的基准点开始计算的，例如，假设程序规定工作台沿 X 坐标方向移动，其移动距离为离固定基准点 100mm ，那么不管工作台在接到命令前处于什么位置，它接到命令后总是移动到程序规定的位置处停下。

2. 相对坐标系

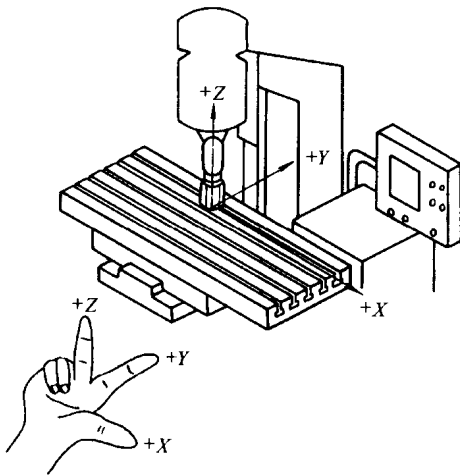


图 1-7 立式数控机床坐标系

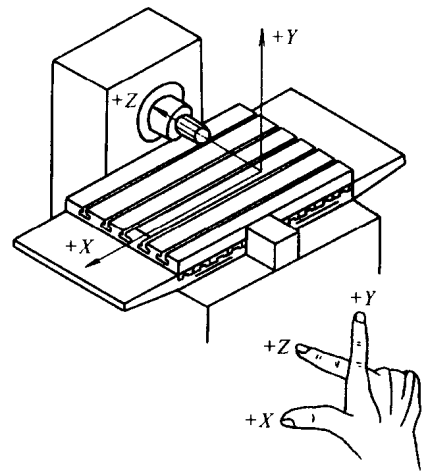


图 1-8 卧式数控机床坐标系

相对（增量）坐标系统是指工作台的位移是从工作台现有位置开始计算的。在这里，对一个坐标轴虽然也有一个起始的基准点，但是它仅在工作台第一次移动时才有意义，以后的移动都是以工作台前一次的终点为起始的基准点。例如，设第一段程序规定工作台沿 X 坐标方向移动，其移动距离是离起始点 100mm，那么工作台就移动到 100mm 处停下，下一段程序规定在 X 方向再移动 50mm，那么工作台到达的位置离原起始点就是 150mm 了。

点位控制的数控机床有的是绝对坐标系统，有的是相对坐标系统，也有的两种都有，可以任意选用。轮廓控制的数控机床一般都是相对坐标系统。编程时应注意到不同的坐标系统，其输入要求不同。

第二节 数控加工基础

一、数控加工的定义及特点

（一）数控加工的定义

数控加工是指在数控机床上进行自动加工零件的一种工艺方法。数控机床加工零件时，将编制好的零件加工数控程序，输入到数控装置中，再由数控装置控制机床主运动的变速、启停、进给运动的方向、速度和位移大小，以及其他诸如刀具选择交换、工件夹紧松开和冷却润滑的启、停等动作，使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照数控程序规定的顺序、路程和参数进行工作，从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。数控加工流程如图 1-9 所示。

一般来说，数控加工主要包括以下方面的内容：

- ① 选择并确定零件的数控加工内容；
- ② 对零件图进行数控加工的工艺分析；
- ③ 设计数控加工的工艺；
- ④ 编写数控加工程序单（数控编程时，需对零件图形进行数学处理；自动编程时，需进行零件 CAD、刀具路径的产生和后置处理）；
- ⑤ 按程序单制作程序介质；