

21世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材



数控机床及其维护

主 编 黄应勇

- 以典型结构为载体, 促进一体化教学
- 系统完整的专业知识, 方便学习与领会
- 精选实训内容, 强化动手能力的培养



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

电子课件

www.pup6.cn

21 世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材

数控机床及其维护

主 编 黄应勇

副主编 曾 林 钟俏灵

参 编 李宏军 毛丹丹

主 审 陈 华



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

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”理论与实践教学的教师编写了本书。本书在编写上紧密联系高职高专培养目标的特征,坚持够用、实用的原则,摒弃“繁难偏旧”的理论知识。全书注重理论联系实际,以培养学生能力为主线,突出实用性,理论浅显、通俗易懂、实例较多,各章既有联系,又有一定的独立性。

本书的特点是通过由浅入深的讲解,着重强调知识的实际应用,以适应高职教育的教学要求。全书共分4篇,第一篇介绍数控车床,其中第1章介绍数控车床的精度检测方法;第2章介绍数控车床类型、组成、布局形式等;第3章介绍数控车床的机械结构;第4章介绍车削中心;第5章介绍数控系统的基本原理、插补原理、硬件结构和软件结构等内容;第6章介绍数控机床伺服系统;第7章介绍数控车床的安装、调试与验收等内容;第8章介绍数控车床的维护知识。第二篇介绍数控铣床,其中第9章介绍数控铣床的精度检测方法;第10章介绍数控铣床类型、组成、布局形式等;第11章介绍数控铣床的机械结构;第12章介绍数控铣床的安装、调试与验收等内容;第13章介绍数控铣床的维护知识。第三篇介绍加工中心,其中第14章介绍加工中心类型、组成、布局形式等;第15章介绍加工中心的传动系统;第16章介绍加工中心的自动换刀装置。第四篇介绍特种加工机床,其中第17章介绍数控特种加工机床的精度检测方法;第18章介绍数控特种加工机床。每章均附有练习与思考题,以便于归纳总结,及时巩固所学知识。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床及其维护/黄应勇主编. —北京:北京大学出版社, 2012.8

(21世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材)

ISBN 978-7-301-21119-9

I. ①数… II. ①黄… III. ①数控机床—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 182418 号

书 名: 数控机床及其维护

著作责任者: 黄应勇 主编

责任编辑: 翟 源

标准书号: ISBN 978-7-301-21119-9/TH·0307

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 邮编: 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.5 印张 450 千字

2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

北京大学出版社高职高专电子信息系列规划教材

序号	书号	书名	编著者	定价	出版日期
1	978-7-301-12180-1	单片机开发应用技术	李国兴	21.00	2010.9 第2次印刷
2	978-7-301-12386-7	高频电子线路	李福勤	20.00	2010.3 第2次印刷
3	978-7-301-12384-3	电路分析基础	徐 锋	22.00	2010.3 第2次印刷
4	978-7-301-13572-3	模拟电子技术及应用	刁修睦	28.00	2012.8 第3次印刷
5	978-7-301-12390-4	电力电子技术	梁南丁	29.00	2010.7 第2次印刷
6	978-7-301-12383-6	电气控制与 PLC(西门子系列)	李 伟	26.00	2012.3 第2次印刷
7	978-7-301-12387-4	电子线路 CAD	殷庆纵	28.00	2012.7 第4次印刷
8	978-7-301-12382-9	电气控制及 PLC 应用(三菱系列)	华满香	24.00	2012.5 第2次印刷
9	978-7-301-16898-1	单片机设计应用与仿真	陆旭明	26.00	2012.4 第2次印刷
10	978-7-301-16830-1	维修电工技能与实训	陈学平	37.00	2010.7
11	978-7-301-17324-4	电机控制与应用	魏润仙	34.00	2010.8
12	978-7-301-17569-9	电工电子技术项目教程	杨德明	32.00	2012.4 第2次印刷
13	978-7-301-17696-2	模拟电子技术	蒋 然	35.00	2010.8
14	978-7-301-17712-9	电子技术应用项目式教程	王志伟	32.00	2012.7 第2次印刷
15	978-7-301-17730-3	电力电子技术	崔 红	23.00	2010.9
16	978-7-301-17877-5	电子信息专业英语	高金玉	26.00	2011.11 第2次印刷
17	978-7-301-17958-1	单片机开发入门及应用实例	熊华波	30.00	2011.1
18	978-7-301-18188-1	可编程控制器应用技术项目教程(西门子)	崔维群	38.00	2011.1
19	978-7-301-18322-9	电子 EDA 技术(Multisim)	刘训非	30.00	2012.7 第2次印刷
20	978-7-301-18144-7	数字电子技术项目教程	冯泽虎	28.00	2011.1
21	978-7-301-18470-7	传感器检测技术及应用	丁晓敏	35.00	2011.1
22	978-7-301-18630-5	电机与电力拖动	孙建伟	33.00	2011.3
23	978-7-301-18519-3	电工技术应用	孙建伟	26.00	2011.3
24	978-7-301-18770-8	电机应用技术	郭富宇	33.00	2011.5
25	978-7-301-18520-9	电子线路分析与应用	梁玉国	34.00	2011.7
26	978-7-301-18622-0	PLC 与变频器控制系统设计与调试	姜永华	34.00	2011.6
27	978-7-301-19310-5	PCB 板的设计与制作	夏淑丽	33.00	2011.8
28	978-7-301-19326-6	综合电子设计与实践	钱卫钧	25.00	2011.8
29	978-7-301-19302-0	基于汇编语言的单片机仿真教程与实训	张秀国	32.00	2011.8
30	978-7-301-19153-8	数字电子技术与应用	宋雪臣	33.00	2011.9
31	978-7-301-19525-3	电工电子技术	倪 涛	38.00	2011.9
32	978-7-301-19953-4	电子技术项目教程	徐超明	38.00	2012.1
33	978-7-301-20000-1	单片机应用技术教程	罗国荣	40.00	2012.2
34	978-7-301-20009-4	数字逻辑与微机原理	宋振辉	49.00	2012.1
35	978-7-301-20706-2	高频电子技术	朱小样	32.00	2012.6
36	978-7-301-21055-0	单片机应用项目化教程	顾亚文	32.00	2012.8

请登录 www.pup6.cn 免费下载本系列教材的电子书(PDF 版)、电子课件和相关教学资源。

欢迎免费索取样书, 并欢迎到北京大学出版社来出版您的大作, 可在 www.pup6.cn 在线申请样书和进行选题登记, 也可下载相关表格填写后发到我们的邮箱, 我们将及时与您取得联系并做好全方位的服务。

联系方式: 010-62750667, yongjian3000@163.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来信。

北京大学出版社高职高专机电系列规划教材

序号	书号	书名	编著者	定价	出版日期
1	978-7-301-12181-8	自动控制原理与应用	梁南丁	23.00	2012.1 第3次印刷
2	978-7-5038-4861-2	公差配合与测量技术	南秀蓉	23.00	2011.12 第4次印刷
3	978-7-5038-4865-0	CAD/CAM 数控编程与实训(CAXA 版)	刘玉春	27.00	2011.2 第3次印刷
4	978-7-5038-4869-8	设备状态监测与故障诊断技术	林英志	22.00	2011.8 第3次印刷
5	978-7-301-13262-3	实用数控编程与操作	钱东东	32.00	2011.8 第3次印刷
6	978-7-301-13383-5	机械专业英语图解教程	朱派龙	22.00	2012.2 第4次印刷
7	978-7-301-13582-2	液压与气压传动技术	袁 广	24.00	2011.3 第3次印刷
8	978-7-301-13662-1	机械制造技术	宁广庆	42.00	2010.11 第2次印刷
9	978-7-301-13574-7	机械制造基础	徐从清	32.00	2012.7 第3次印刷
10	978-7-301-13653-9	工程力学	武昭晖	25.00	2011.2 第3次印刷
11	978-7-301-13652-2	金工实训	柴增田	22.00	2011.11 第3次印刷
12	978-7-301-14470-1	数控编程与操作	刘瑞己	29.00	2011.2 第2次印刷
13	978-7-301-13651-5	金属工艺学	柴增田	27.00	2011.6 第2次印刷
14	978-7-301-12389-8	电机与拖动	梁南丁	32.00	2011.12 第2次印刷
15	978-7-301-13659-1	CAD/CAM 实体造型教程与实训 (Pro/ENGINEER 版)	诸小丽	38.00	2012.1 第3次印刷
16	978-7-301-13656-0	机械设计基础	时忠明	25.00	2012.7 第3次印刷
17	978-7-301-17122-6	AutoCAD 机械绘图项目教程	张海鹏	36.00	2011.10 第2次印刷
18	978-7-301-17148-6	普通机床零件加工	杨雪青	26.00	2010.6
19	978-7-301-17398-5	数控加工技术项目教程	李东君	48.00	2010.8
20	978-7-301-17573-6	AutoCAD 机械绘图基础教程	王长忠	32.00	2010.8
21	978-7-301-17557-6	CAD/CAM 数控编程项目教程(UG 版)	慕 灿	45.00	2012.4 第2次印刷
22	978-7-301-17609-2	液压传动	龚肖新	22.00	2010.8
23	978-7-301-17679-5	机械零件数控加工	李 文	38.00	2010.8
24	978-7-301-17608-5	机械加工工艺编制	于爱武	45.00	2012.2 第2次印刷
25	978-7-301-17707-5	零件加工信息分析	谢 蕾	46.00	2010.8
26	978-7-301-18357-1	机械制图	徐连孝	27.00	2011.1
27	978-7-301-18143-0	机械制图习题集	徐连孝	20.00	2011.1
28	978-7-301-18470-7	传感器检测技术及应用	王晓敏	35.00	2012.7 第2次印刷
29	978-7-301-18471-4	冲压工艺与模具设计	张 芳	39.00	2011.3
30	978-7-301-18852-1	机电专业英语	戴正阳	28.00	2011.5
31	978-7-301-19272-6	电气控制与 PLC 程序设计(松下系列)	姜秀玲	36.00	2011.8
32	978-7-301-19297-9	机械制造工艺及夹具设计	徐 勇	28.00	2011.8
33	978-7-301-19319-8	电力系统自动装置	王 伟	24.00	2011.8
34	978-7-301-19374-7	公差配合与技术测量	庄佃霞	26.00	2011.8
35	978-7-301-19436-2	公差与测量技术	余 键	25.00	2011.9
36	978-7-301-19010-4	AutoCAD 机械绘图基础教程与实训(第2版)	欧阳全会	36.00	2012.1
37	978-7-301-19638-0	电气控制与 PLC 应用技术	郭 燕	24.00	2012.1
38	978-7-301-19933-6	冷冲压工艺与模具设计	刘洪贤	32.00	2012.1
39	978-7-301-20002-5	数控机床故障诊断与维修	陈学军	38.00	2012.1
40	978-7-301-20312-5	数控编程与加工项目教程	周晓宏	42.00	2012.3
41	978-7-301-20414-6	Pro/ENGINEER Wildfire 产品设计项目教程	罗 武	31.00	2012.5
42	978-7-301-15692-6	机械制图	吴百中	26.00	2012.7 第2次印刷
43	978-7-301-20945-5	数控铣削技术	陈晓罗	42.00	2012.7
44	978-7-301-21053-6	数控车削技术	王军红	28.00	2012.8
45	978-7-301-21119-9	数控机床及其维护	黄应勇	38.00	2012.8
46	978-7-301-20752-9	液压传动与气动技术(第2版)	曹建东	40.00	2012.8

前 言

近年来,数控机床得到了飞速发展,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。数控机床的高精度、高效率决定了发展数控机床是当前中国机械制造业技术改造的必由之路,是工厂自动化的基础。随着数控机床的大量使用,在高职高专数控技术专业和其他机电类专业中普及数控技术的基础知识就显得尤为重要。

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”理论与实践教学的同志编写了本书。本书在编写上紧密联系高职高专培养目标的特征,坚持够用、实用的原则,摒弃“繁难偏旧”的理论知识。全书注重理论联系实际,以培养学生能力为主线,突出实用性,理论浅显、通俗易懂、实例较多,各章既有联系,又有一定的独立性。

本书的特点是通过由浅入深的讲解,着重强调知识的实际应用,以适应高职教育的教学要求。全书共分4篇,第一篇介绍数控车床,其中第1章介绍数控车床的精度检测方法;第2章介绍数控车床类型、组成、布局形式等;第3章介绍数控车床的机械结构;第4章介绍车削中心;第5章介绍数控系统的基本原理、插补原理、硬件结构和软件结构等内容;第6章介绍数控机床伺服系统;第7章介绍数控车床的安装、调试与验收等内容;第8章介绍数控车床的维护知识。第二篇介绍数控铣床,其中第9章介绍数控铣床的精度检测方法;第10章介绍数控铣床类型、组成、布局形式等;第11章介绍数控铣床的机械结构;第12章介绍数控铣床的安装、调试与验收等内容;第13章介绍数控铣床的维护知识。第三篇介绍加工中心,其中第14章介绍加工中心类型、组成、布局形式等;第15章介绍加工中心的传动系统;第16章介绍加工中心的自动换刀装置。第四篇介绍特种加工机床,其中第17章介绍数控特种加工机床的精度检测方法;第18章介绍数控特种加工机床。每章均附有练习与思考题,以便于归纳总结,及时巩固所学知识。

本书由柳州职业技术学院黄应勇任主编,柳州职业技术学院曾林、钟俏灵任副主编,其中绪论、第1章、第2章、第3章、第4章、第7章、第8章由黄应勇编写;第9章、第10章、第11章、第12章、第13章由曾林编写;第5章、第6章由钟俏灵编写;第14章、第15章、第16章由毛丹丹编写;第17章、第18章由李宏军编写;全书由黄应勇负责统稿和定稿。本书由柳州职业技术学院陈华副教授主审。

本书编写过程中参阅了有关院校、企业、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!感谢陈超山、汪东明、关意鹏、关来德、陈勇棠、邓海英、阙焱彬、韦江波等老师,他们为本书提出了宝贵意见。

限于编者的水平和时间,书中难免有不当之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年6月

目 录

绪 论	1	1.2 数控车床定位精度检测	32
0.1 数控机床的产生和发展	2	1.2.1 检测位置精度常用的 仪器	32
0.1.1 数控机床的诞生	2	1.2.2 位置精度的检验	33
0.1.2 数控机床的发展过程	2	1.2.3 刀架定位精度	34
0.1.3 我国数控机床的发展简介 ...	3	1.3 数控车床工作精度的检验	34
0.1.4 数控机床的发展趋势	3	1.3.1 检测工作精度常用的 仪器	34
0.1.5 数控机床的特点	5	1.3.2 工作精度的检验	36
0.1.6 数控机床的应用	7	练习与思考题	37
0.2 数控机床的基本组成及 工作过程	7	第 2 章 数控车床概论	38
0.2.1 数控机床的组成	7	2.1 数控车床的工艺范围	39
0.2.2 数控机床的基本 工作过程	9	2.2 数控车床的分类	39
0.3 数控机床的分类	9	2.2.1 按数控系统的功能分类 ...	39
0.3.1 按加工方式分类	9	2.2.2 按主轴的配置形式分类 ...	41
0.3.2 按控制运动的方式分类 ...	11	2.2.3 按数控系统控制的 轴数分类	41
0.3.3 按同时控制轴数分类	12	2.3 数控车床的组成	41
0.3.4 按伺服系统分类	12	2.4 数控车床的布局形式	42
0.4 数控机床的主要指标	13	2.4.1 床身导轨	43
0.4.1 数控机床的精度指标	13	2.4.2 刀架布局	43
0.4.2 数控机床的运动性能 指标	14	2.5 数控车床的特点	44
0.4.3 数控系统的主要技术 指标	14	练习与思考题	45
练习与思考题	16	第 3 章 数控车床机械结构	46
第一篇 数控车床		3.1 数控车床的机械结构 概述	47
第 1 章 数控车床精度检测	19	3.2 主传动系统	47
1.1 数控车床几何精度检测	20	3.2.1 数控车床对主轴系统的 性能要求	47
1.1.1 检测常用的量具与仪器 ...	20	3.2.2 主轴的传动方式	48
1.1.2 数控车床几何精度检测的 一般规则	25	3.2.3 主轴组件	50
1.1.3 数控车床几何精度检验 实例	25	3.2.4 典型数控车床主轴箱 结构	57
		3.3 进给传动系统	59

3.3.1 进给传动系统的特点与方式	59	5.3.2 CNC 系统的软件功能的实现	100
3.3.2 齿轮传动装置	60	5.4 插补原理	101
3.3.3 丝杠螺母副	64	5.4.1 脉冲增量插补	101
3.4 刀架	67	5.4.2 数据采样插补	107
3.5 导轨	68	5.5 可编程序控制器	110
3.5.1 对导轨的基本要求及其分类	68	5.5.1 PLC 的结构	110
3.5.2 滑动导轨	69	5.5.2 PLC 的特点	112
3.5.3 导轨的润滑与防护	72	5.5.3 数控机床中 PLC 的分类	113
3.6 机床支承件	73	5.5.4 数控系统中 PLC 的信息交换	114
3.6.1 支承件的性能要求及其改善措施	73	练习与思考题	115
3.6.2 床身	75	第 6 章 伺服系统	116
3.7 HTC2050 型数控车床	76	6.1 概述	117
3.7.1 主传动系统	76	6.1.1 对伺服系统的基本要求	117
3.7.2 进给传动系统	79	6.1.2 伺服系统的组成	117
3.7.3 尾座	80	6.1.3 伺服系统的分类	118
3.7.4 刀架	81	6.2 步进电动机伺服系统	119
3.7.5 液压系统	82	6.2.1 步进电动机的分类	119
练习与思考题	83	6.2.2 步进电动机的工作原理和主要特性	120
第 4 章 车削中心	84	6.2.3 开环控制步进电动机伺服系统的控制原理	127
4.1 车削中心的工艺范围	85	6.3 交流电动机伺服系统	127
4.2 车削中心的 C 轴	86	6.3.1 交流伺服电动机的结构与工作原理	128
4.3 车削中心的主传动系统	86	6.3.2 交流伺服电动机的速度控制方法	128
4.4 车削中心自驱动力刀具典型结构	88	6.3.3 交流伺服驱动器及应用实例	132
练习与思考题	90	6.4 数控机床的检测装置	134
第 5 章 数控系统	91	6.4.1 旋转编码器	134
5.1 数控系统的原理	92	6.4.2 光栅	137
5.1.1 CNC 系统的组成	92	练习与思考题	139
5.1.2 CNC 系统的基本原理	95	第 7 章 数控车床的安装与验收	141
5.1.3 计算机数控装置的接口	96	7.1 数控车床的安装	142
5.2 CNC 装置的硬件	96		
5.2.1 单微处理器结构	97		
5.2.2 多微处理器结构	98		
5.3 CNC 系统的软件功能	99		
5.3.1 CNC 系统的软件功能	100		



7.1.1 数控车床安装前的 准备工作	142	9.2.1 线性轴线的定位精度	176
7.1.2 数控车床的安装	143	9.2.2 回转轴线的定位精度	177
7.2 数控车床的调试	147	9.3 数控铣床工作精度的精度检测 ...	178
7.3 数控车床的验收	148	9.3.1 端面切削试件的 平面度	178
7.3.1 数控车床几何精度的 检查	148	9.3.2 轮廓加工几何精度 检验	178
7.3.2 机床定位精度的检查	149	练习与思考题	181
7.3.3 机床工作精度的检查	149	第 10 章 数控铣床概论	182
7.3.4 机床性能及数控系统 性能检查	149	10.1 概述	183
7.3.5 数控机床外观检查	151	10.1.1 数控铣床的加工工艺 范围	183
练习与思考题	151	10.1.2 数控铣床的分类	184
第 8 章 数控车床的维护	152	10.1.3 数控铣床的结构 特点	186
8.1 文明生产	153	10.2 数控铣床的使用要求与布局 ...	187
8.2 使用数控机床的注意事项	154	10.2.1 数控铣床的使用要求 ...	187
8.2.1 使用数控机床应注意的 问题	154	10.2.2 运动分配与部件的 布局	188
8.2.2 数控机床的操作规程	155	练习与思考题	189
8.3 数控车床的日常维护保养	156	第 11 章 数控铣床机械结构	190
8.3.1 数控车床的维护 工作内容	156	11.1 数控铣床的机械结构概述	191
8.3.2 数控车床定期保养维护的 工作	158	11.2 主动传动系统	191
8.3.3 数控车床的故障诊断与 维修基本方法	159	11.2.1 数控铣床对主轴系统的 性能要求	191
8.3.4 数控机床故障诊断与 维修实例	162	11.2.2 主轴的传动方式	192
练习与思考题	163	11.2.3 主轴组件	193
第二篇 数控铣床		11.3 数控铣床的换刀装置及 准停装置	195
第 9 章 数控铣床精度检测	167	11.3.1 数控铣床的换刀装置 ...	195
9.1 数控铣床几何精度检测	168	11.3.2 主轴准停装置	196
9.1.1 运动轴线相关检验 项目	168	11.4 进给传动系统	197
9.1.2 工作台相关检验项目	170	11.4.1 对进给传动机构的 要求	197
9.1.3 主轴相关检验项目	174	11.4.2 数控铣床进给系统典型 结构	197
9.2 数控铣床定位精度检测	176	11.5 机床支承件	198
		11.6 XK714B 型数控立式铣床	200



11.6.1	XK714B 型数控立式铣床的组成及技术参数	200
11.6.2	XK714B 型数控铣床传动系统	201
11.6.3	XK714B 数控铣床的主要结构	201
11.7	数控铣床的辅助装置	204
11.7.1	润滑系统	204
11.7.2	排屑装置	205
	练习与思考题	206

第 12 章 数控铣床的安装与验收

12.1	数控铣床的安装	208
12.1.1	数控铣床安装前的准备工作	208
12.1.2	数控铣床的安装步骤	210
12.2	数控铣床的调试	211
12.3	数控铣床的验收	212
12.3.1	数控铣床检测验收工具	212
12.3.2	数控铣床几何精度的检查	212
12.3.3	机床定位精度的检查	213
12.3.4	机床工作精度的检查	213
12.3.5	机床性能及数控系统性能检查	213
12.3.6	数控铣床外观检查	215
	练习与思考题	215

第 13 章 数控铣床的维护

13.1	数控铣床的使用要求	217
13.2	数控铣床的日常维护保养	218
13.2.1	数控铣床的维护工作内容	218
13.2.2	数控铣床的定期维护保养	219
13.3	数控铣床的故障诊断与维修	220
13.3.1	数控铣床的故障诊断与维修基本方法	220
13.3.2	数控铣床故障诊断与维修实例	222

练习与思考题	223
--------------	-----

第三篇 加工中心

第 14 章 加工中心概述

14.1	加工中心的特点	228
14.2	加工中心的分类	229
14.3	加工中心的构成	231
14.4	加工中心的布局结构特点	232
14.5	加工中心的发展	233
	练习与思考题	235

第 15 章 加工中心的传动系统

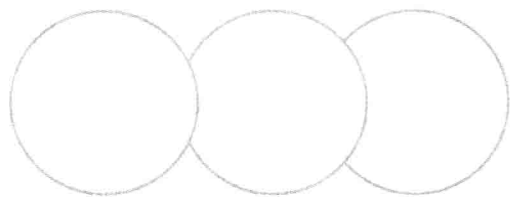
15.1	主传动系统	237
15.1.1	对加工中心主轴系统的要求	237
15.1.2	主轴电动机与传动	237
15.1.3	加工中心的主轴组件	240
15.2	直线进给传动系统	240
15.3	VMC650 立式加工中心	241
15.4	回转工作台	243
15.4.1	数控回转工作台	243
15.4.2	分度工作台	245
	练习与思考题	246

第 16 章 加工中心自动换刀装置

16.1	斗笠式刀库及其换刀装置	248
16.1.1	斗笠式刀库的组成	248
16.1.2	斗笠式刀库的换刀过程	250
16.2	圆盘式刀库及其换刀装置	250
16.2.1	圆盘式刀库形式	250
16.2.2	刀库的结构	251
16.2.3	机械手	252
16.3	链式刀库及其换刀装置	254
16.3.1	链式刀库形式	254
16.3.2	链式刀库传动结构	254
16.3.3	刀具的选择方式	255
16.3.4	机械手	258



16.3.5 TH6350 卧式加工中心 液压系统	258	18.2.1 电火花加工概述	283
16.4 多主轴转塔换刀装置	261	18.2.2 数控电火花成形加工 机床的概述	286
练习与思考题	262	18.3 数控电火花线切割加工机床 ...	289
第四篇 特种加工机床		18.3.1 电火花线切割加工机床的 工作原理	289
第 17 章 数控特种机床精度检测	265	18.3.2 电火花线切割加工的 特点	290
17.1 数控电火花线切割机床精度 检测	266	18.3.3 电火花线切割机床的 分类和型号	291
17.1.1 几何精度检测	266	18.3.4 线切割机床的组成	291
17.1.2 数控轴的定位精度和 重复定位精度检测	269	18.4 数控电火花线切割机床的 维护	295
17.1.3 工作精度检测	270	18.4.1 数控电火花线切割加工的 安全操作规程	295
17.2 数控电火花成形机床精度 检测	271	18.4.2 数控电火花线切割机床的 日常维护与保养	296
17.2.1 几何精度检测	271	18.5 数控电火花成形机床的 维护	297
17.2.2 工作精度检测	279	18.5.1 数控电火花成形机床的 安全操作规程	297
练习与思考题	281	18.5.2 数控电火花成形机床的 日常维护与保养	298
第 18 章 数控特种加工机床	282	练习与思考题	298
18.1 特种加工概述	283	参考文献	299
18.1.1 特种加工的产生及 发展	283		
18.1.2 特种加工的分类	283		
18.2 数控电火花成形加工机床	283		



绪 论

教学提示

本章着重讨论数控机床的产生和发展、数控机床的基本组成及工作过程、数控机床的分类、数控机床加工的特点及应用。

教学要求

通过本章的学习，了解数控机床的产生过程及发展趋势；了解数控机床的组成(由程序载体、数控装置、伺服系统、辅助装置、检测装置和机床本体 6 部分组成)；了解数控机床的基本工作过程；掌握数控机床按加工方式分类的方法；掌握数控机床的加工特点及其应用。

0.1 数控机床的产生和发展

随着科技领域日新月异的发展,特别是在航天航空、尖端军事、精密仪器等方面,对机械产品制造精度和复杂程度的要求越来越高,传统的加工技术已很难适应现代制造业的需求。譬如,用普通车床加工圆弧,普通铣床加工空间曲面,以及加工精度对产品质量的影响,加工效率对制造成本的影响等,这些都是一直困扰人们的难题。还有,当机械产品转型时,机床和工艺装备需要做大的调整,周期较长、成本高,也就是说传统的加工技术已很难满足市场对产品高精度、高效率的要求,因此数控机床作为一种革新技术设备应运而生。

数控技术是现代工业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础,是知识密集、资金密集的现代制造技术,也是国家重点发展的前沿技术。特别是在市场竞争日趋激烈的今天,市场需求不断变化,为满足加速开发研制新产品,改变单一大批量的生产格局,以数控加工技术为代表的现代制造技术展现出其强大的生命力。近几年在我国已呈现出以数控加工技术逐步取代传统的机械制造技术的趋势。

0.1.1 数控机床的诞生

1948年,美国飞机制造商帕森斯公司(Parsons)为了解决加工飞机螺旋桨叶片轮廓样板曲线的难题,提出了采用计算机来控制加工过程的设想,立即得到了美国空军的支持及麻省理工学院的响应,经过几年的努力,于1952年3月研制成功世界上第一台有信息存储和处理功能的新型机床。它是一台采用脉冲乘法器原理的插补三坐标连续控制立式铣床,这台数控铣床的数控装置体积比机床本体还要大,电路采用的是电子管元件。它的产生标志着数控技术以及数控机床的诞生,该数控铣床的研制成功使得传统的机械制造技术发生了质的飞跃,是机械制造业的一次标志性技术革命。后来,又经过改进并开展自动编程技术的研究,于1955年进入实用阶段,这对于加工复杂曲面和促进美国飞机制造业的发展起了重要作用。从此数控技术随着计算机技术和微电子技术的发展而迅速发展起来,数控机床也在迅速地发展和不断地更新换代。

0.1.2 数控机床的发展过程

数控机床以微电子技术发展为推动力,先后经历了第一代电子管数控系统(1952)、第二代晶体管数控系统(1959)、第三代集成电路数控系统(1965)、第四代小型计算机数控系统(1970)、第五代微型机数控系统(1974)和第六代基于PC的CNC数控系统(1990年以后)6个发展阶段。前三代数控系统是20世纪70年代以前的早期数控系统,它们都是采用电子电路实现的硬接线数控系统,因此称之为硬件式数控系统,也称为NC数控系统。后三代系统是20世纪70年代中期开始发展起来的软件式数控系统,称之为计算机数字控制(Computer Numerical Control)或简称为CNC系统。

软件式数控系统是采用微处理器及大规模或超大规模集成电路组成的数控系统,它具有很强的程序存储能力和控制功能,这些控制功能是由一系列控制程序(驻留系统内)来实现的。软件式数控系统的通用性很强,几乎只需要改变软件,就可以适应不同类型机床的控制要求,具有很大的柔性,因而数控系统的性能大大提高,而价格却有了大幅度的下



降。同时,可靠性和自动化程度有了大幅度的提高,数控机床也得到了飞速发展。目前 CNC 数控系统几乎完全取代了以往的 NC 数控系统。

近年来,随着微电子和计算机技术的飞速发展及数控机床的广泛应用,加工技术跨入一个新的里程,并建立起一种全新的生产模式,在日本、美国、德国、意大利等发达国家已出现了以数控机床为基础的自动化生产系统,如计算机直接数控系统 DNC(Direct Numerical Control)、柔性制造单元 FMC(Flexible Manufacturing Cell)、柔性制造系统 FMS(Flexible Manufacturing System)和计算机集成制造系统 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)。

0.1.3 我国数控机床的发展简介

我国于 1958 年研制出了首台数控机床,但是由于相关工业基础较差,尤其是数控系统的支撑工业——电子工业薄弱,致使其发展速度一直缓慢。直到 20 世纪 70 年代初期,我国才掀起研制数控机床的热潮。但由于当时的控制系统主要是采用分立电子元器件,性能不稳定,可靠性差,且机、液、气配套基础元器件不过关,因此多数机床在生产中并没有发挥出明显的作用。20 世纪 80 年代以来,在消化吸收国外先进技术的基础上,我国的数控技术有了新的发展,数控机床才真正进入小批量生产的商品化时代。例如,从 1980 年开始,北京机床研究所从日本 FANUC 公司引进 FANUC 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 BS03 经济型数控系统和 BS04 全功能数控系统。

目前,我国已能批量生产和供应各类数控系统,并掌握了多轴(五轴以上)联动、螺距误差补偿、图形显示和高精度伺服系统等多项关键技术,基本上能够满足国内各机床生产厂家的需要。我国已研制了具有自主知识产权的数控技术平台和数控系统,但绝大多数全功能数控机床还是采用国外的 CNC 系统。在数控技术领域,我国同先进国家相比,还存在不小的差距,但这种差距正在缩小。

0.1.4 数控机床的发展趋势

数控机床综合了当今世界上许多领域最新的技术成果,主要包括精密机械、计算机及信息处理、自动控制及伺服驱动、精密检测及传感、网络通信等技术。随着科学技术的发展,特别是微电子技术、计算机控制技术、通信技术的不断发展,世界先进制造技术的兴起和不断成熟,数控设备性能日趋完善,应用领域不断扩大,成为新一代设备发展的主流。随着社会的多样化需求及其相关技术的不断进步,数控机床也向着更广的领域和更深的层次发展。当前,数控机床的发展主要呈现出如下趋势。

1. 高速度与高精度化

速度和精度是数控机床的两个重要指标,它直接关系到加工效率和产品质量。高速数控加工起源于 20 世纪 90 年代初,以电主轴和直线电动机的应用为特征,电主轴的发展实现了主轴高转速;直线电动机的发展实现了坐标轴的高速移动。高速数控加工的应用领域首先是汽车和其他大批量生产的工业,目的是用单主轴的高转速和高速直线进给运动的加工中心,来替代虽为多主轴但难以实现高转速和高速进给的组合机床。

在超高速切削和超精密加工技术中,对机床各坐标轴的位移速度和定位精度提出了更



高的要求,但是速度和精度这两项技术指标是相互制约的,当位移速度要求越高时,定位精度就越难提高。现代数控机床配备的高性能数控系统及伺服系统,其位移分辨率与进给速度的对应关系是:一般的分辨率为 $1\mu\text{m}$,进给速度可以达到 $100\sim 240\text{m/min}$;分辨率为 $0.1\mu\text{m}$,进给速度可以达到 24m/min ;分辨率为 $0.01\mu\text{m}$,进给速度可以达到 $400\sim 800\text{m/min}$ 。提高主轴转速是提高切削速度最直接、最有效的方法。近20年来主轴转速已经翻了几番,20世纪80年代中期,中等规格的加工中心主轴最高转速普遍为 $4000\sim 6000\text{r/min}$,到了20世纪80年代后期达到 $8000\sim 12000\text{r/min}$,20世纪90年代初期相继出现了 15000r/min 、 20000r/min 、 30000r/min 、 50000r/min ,目前国外用于加工中心的电主轴转速已达到 75000r/min 。切削速度和进给速度之所以能大幅度提高,是由于数控系统、伺服驱动系统、位置检测装置、计算机数控系统的补偿功能、刀具、轴承等相关技术的突破及数控机床本身基础技术的进步。

高精度化一直都是数控机床加工所追求的指标,它包括数控机床制造的几何精度和机床使用的几何精度两个方面。普通中等规格加工中心的定位精度已从20世纪80年代初期的 $\pm 12\mu\text{m}/300\text{mm}$,提高到20世纪90年代初期的 $\pm (2\sim 5)\mu\text{m}/\text{全程}$,如日本KITAMU-RA公司的SONICMILL-2型立式加工中心,主轴转速 20000r/min ,快进速度 24m/min ,其定位精度为 $\pm 3\mu\text{m}/\text{全程}$;美国BOSTON DIGITAL公司的VECTOR系列立式加工中心,主轴转速 10000r/min ,双向定位精度为 $2\mu\text{m}$ 全程。

提高数控机床的加工精度,一般是通过减少数控系统误差,提高数控机床基础大件结构特性和热稳定性,采用补偿技术和辅助措施来达到的。在减小CNC系统误差方面,通常采取提高数控系统分辨率,使CNC控制单元精细化,提高位置检测精度以及在位置伺服系统中为改善伺服系统的响应特性,采用前馈与非线性控制等方法。在采用补偿技术方面,采用齿隙补偿、丝杆螺母误差补偿及热变形误差补偿技术等。通过上述措施,近年来数控机床的加工精度也有很大提高。普通级数控机床的加工精度已由原来的 $\pm 10\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 5\mu\text{m}$,精密级从 $\pm 5\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 1.5\mu\text{m}$ 。预计将来普通加工和精密加工的精度还将提高几倍,而超精度加工已进入纳米时代。

2. 高柔性化

柔性是指机床适应加工对象变化的能力,即当加工对象变化时,只需要通过修改而无需更换或只做极少量快速调整即可满足加工要求的能力。数控机床对满足加工对象的变换有很强的适应能力。提高数控机床柔性化正朝着以下两个方向努力:①提高数控机床的单机柔性化;②向单元柔性化和系统柔性化发展。例如,在数控机床软硬件的基础上,增加不同容量的刀库和自动换刀机械手,增加第二主轴,增加交换工作台装置,或配以工业机器人和自动运输小车,以组成柔性加工单元或柔性制造系统。

采用柔性自动化设备或系统,可提高加工效率、缩短生产和供货周期,并能对市场需求的变化做出快速反应以提高企业的竞争能力。

3. 复合化

复合化包含工序复合化和功能复合化。数控机床复合化发展的趋势是尽可能将零件加工过程中所有工序集中在一台机床上,实现全部加工之后,该零件入库或直接送到装配工段,而不需要再转到其他机床上进行加工。这不仅省去了运输和等待时间,使零件的加工周期最短,而且在加工过程中,不需要多次定位与装夹,有利于提高零件的精度。



加工中心就是把车、铣、镗、钻等类的工序集中到一台机床来完成，打破了传统的工序界限和分开加工的工艺规程。加工中心的快速增长就是工序复合化受市场欢迎的最好证明。一台具有自动换刀装置、回转工作台及托盘交换装置的五面体镗铣加工中心，工件一次安装可以完成镗、铣、钻、铰、攻螺纹等工序，对于箱体件可以完成五个面的粗、精加工的全部工序。国内的江宁机床集团公司、北京机床研究所、江苏多棱数控机床公司、自贡长征机床公司等制造商均生产五面体立式或卧式加工中心。

近年来，又相继出现了许多跨度更大的、功能更集中的复合化数控机床，如集冲孔、成形与激光切割复合加工中心等。

4. 多功能化

现代数控系统由于采用了多 CPU 结构和分级中断控制方式，因此在一台数控机床上可以同时进行零件加工和程序编制，即操作者在机床进入自动循环加工的同时可以利用键盘和 CRT 进行零件加工程序的编制，并可利用 CRT 进行动态图形模拟功能，显示所编程程序的加工轨迹，或是编辑和修改加工程序，也称该工作方式为“前台加工，后台编辑”。由此缩短了数控机床更换不同种类加工零件的待机时间，以充分提高机床的利用率。为了适应 FMC、FMS 以及进一步联网组成 CIMS 的要求，一般的数控系统都具有 R-232C 和 R-422 高速远距离串行接口，通过网卡连成局域网，可以实现几台数控机床之间的数据通信，也可以直接对几台数控机床进行控制。

5. 智能化

智能加工是一种基于知识处理理论和技术的加工方式，以满足人们所要求的高效率、低成本，操作简便为基本特征。发展智能加工的目的是要解决加工过程中众多不确定性的、要求人工干预才能解决的问题。它的最终目标是要由计算机取代或延伸加工过程中人的部分脑力劳动，实现加工过程中监测、决策与控制的自动化。

6. 造型宜人化

造型宜人化是一种新的设计思想和观点，是将功能设计、人机工程学与工业美学有机地结合起来，是技术与经济、文化、艺术的协调统一，其核心是使产品变为更具魅力，更适销对路，引导人们进入一种新的工作环境。该设计理念在工业发达国家早已广泛用于各种产品的设计中，是其经济腾飞、提高市场竞争能力的重要手段。日本由于重视这项技术，很快摆脱了机床产品“仿制”阶段，并创出自己工业产品的“轻巧精美”的独特风格。

近年来，随着我国的经济快速发展与社会进步，人们对生活质量逐步重视，同时对劳动条件和工作环境也提出了更高的要求。用户不只是满足于加工设备的基本性能和内在质量，还要求设计结构紧凑流畅、造型美观协调、操作舒适安全、色泽明快宜人，使人处在舒适优美的环境中工作，从而激发操作者的工作情绪，达到提高工作效率的目的。因此，国内数控机床生产厂家也将造型宜人化的设计理念引入自己的产品设计中，使国产数控机床在外形结构、颜色、外观质量等方面较过去有了明显的改进和提高。

0.1.5 数控机床的特点

数控机床作为一种高自动化的机械加工设备，具有以下特点。



1. 具有高度柔性

数控机床的刀具运动轨迹是由加工程序决定的,因此只要能编制出程序,无论多么复杂的型面都能加工。当加工工件改变时,只需要改变加工程序就可以完成工件的加工。因此,数控机床既适合于零件频繁更换的场合,也适合单件小批量生产及产品的开发,可缩短生产准备周期,有利于机械产品的更新换代。

2. 加工精度高,尺寸一致性好

数控机床本身的精度比较高,一般数控机床的定位精度为 $\pm 0.01\text{mm}$,重复定位精度为 $\pm 0.005\text{mm}$,在加工过程中操作者不参与操作,工件的加工精度全部由机床保证,消除了操作者人为造成的误差。因此,加工出来的工件精度高,尺寸一致性好,质量稳定。

3. 生产效率高

由于数控机床在结构设计上采用了有针对性的设计,因此数控机床的主轴转速、进给速度和快速定位速度都比较高,可以合理地选择高的切削参数,充分发挥刀具的切削性能,减少切削时间,还可以自动地完成一些辅助动作,不需要在加工过程中进行中间测量,能连续完成整个加工过程,减少了辅助动作时间和停机时间,即有效地减少了零件的加工时间,因此数控机床的生产效率高。

4. 减轻劳动强度,且可能实现一人多机操作

一般数控机床加工出第一件合格工件后,操作者只需要进行工件的装夹和启动机床,加工过程不需要人的干预,从而大大减轻了操作者的劳动强度。现在的数控机床可靠性高,保护功能齐全,并且数控系统有自诊断和自停机功能,当一个工件的加工时间比工件的装夹时间长时,就能实现一人多机操作。

5. 经济效益明显

虽然数控机床一次投资及日常维护保养费用较普通机床高很多,但是如能充分地发挥数控机床的加工能力,将会带来良好的经济效益。这些效益不仅表现在生产效率高、加工质量好、废品少,而且还有减少工装和量刀具、缩短生产周期、减少在制品数量、缩短新产品试制周期等优势,从而为企业带来良好的经济效益。

6. 利于生产管理现代化

在数控机床上,加工所需要的时间是可以预计的,并且每件是不变的,因而工时和工时费用可以估计得更精确。这有利于精确编制生产进度表,有利于均衡生产和取得更高的预计产量。因此,有利于生产管理现代化。

7. 可靠性高

衡量可靠性的重要量化指标是平均无故障时间(MTBF),即一台数控机床在使用中两次故障的平均时间,一般用总工作时间除以总故障次数来计算。目前,世界先进的CNC系统的MTBF约为 $10000\sim 100000\text{h}$,大部分在 $10000\sim 30000\text{h}$,而我国的MTBF大约为 1500h 。

8. 具有很强的通信功能

数控机床通常具有RS-232接口,有的还备有DNC接口,可与CAD/CAM软件的设计