

21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材



21st CENTURY
实用规划教材

数控机床

主 编 黄应勇



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



数控机床

第 2 版



21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材

数 控 机 床

主 编	黄应勇		
副主编	庞元俊	陈 华	钟俏灵
	刘春哲	罗智军	
参 编	毛丹丹	李宏军	曾 林
主 审	王世辉		



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

中国林业出版社
China Forestry Publishing House

内 容 简 介

本书是根据高职高专教育的教学要求,结合现代企业技术发展的需要编写的。全书共 13 章,主要包括:数控机床概述、数控机床典型结构、数控车床、数控铣床、加工中心、数控特种加工机床、数控系统、数控机床伺服系统、数控机床的检测装置、数控机床的压力控制与辅助系统、数控机床的应用、数控机床的编程技术、普通车床的数控化改造。本书力求紧密联系生产实际,突出实用性,理论浅显、通俗易懂,内容全面。

本书可作为高职高专数控、机械制造、机电一体化、模具、自动化、设备等专业的教材,也可作为相关专业人员和相关技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床/黄应勇主编. —北京:中国林业出版社;北京大学出版社, 2007.8

(21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材)

ISBN 978-7-5038-4937-4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 126113 号

书 名: 数控机床

著作责任者: 黄应勇 主编

策划编辑: 翟 源

责任编辑: 翟 源 杜 娟

标准书号: ISBN 978-7-5038-4937-4

出 版 者: 中国林业出版社(地址:北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号 邮编: 100009)

<http://www.cfph.com.cn> E-mail: cfphz@public.bta.net.cn

电话: 编辑部 66170109 营销中心 66187711

北京大学出版社(地址:北京市海淀区成府路 205 号 邮编: 100871)

<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com> E-mail: pup_6@163.com

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

印 刷 者: 北京中科印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787mm×1092mm 16 开本 18.5 印张 425 千字

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 26.00 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

《21 世纪全国高取高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 傅水根

副主任 (按拼音顺序排名)

陈铁牛	李 辉	刘 涛	祁翠琴
钱东东	盛 键	王世震	吴宗保
张吉国	郑晓峰		

委 员 (按拼音顺序排名)

蔡兴旺	曹建东	柴增田	程 艳
丁学恭	傅维亚	高 原	何 伟
胡 勇	李国兴	李源生	梁南丁
刘靖岩	刘瑞己	刘 铁	卢菊洪
马立克	南秀蓉	欧阳全会	钱泉森
邱士安	宋德明	王世辉	王用伦
王欲进	吴百中	吴水萍	武昭辉
肖 珑	徐 萍	喻宗泉	袁 广
张 勤	张西振	张 莹	周 征

丛书总序

高等职业技术教育是我国高等教育的重要组成部分。从 20 世纪 90 年代末开始,伴随我国高等教育的快速发展,高等职业技术教育也进入了快速发展时期。在短短的几年时间内,我国高等职业技术教育的规模,无论是在校生数量还是院校的数量,都已接近高等教育总规模的半壁江山。因此,高等职业技术教育承担着为我国走新型工业化道路、调整经济结构和转变增长方式提供高素质技能型人才的重任。随着我国经济建设步伐的加快,特别是随着我国由制造大国向制造强国的转变,现代制造业急需高素质高技能的专业人才。

为了使高职高专机电类专业毕业生满足市场需求,具备企业所需的知识能力和专业素质,高职高专院校的机电类专业根据市场和社会需要,努力建立培养企业生产第一线所需的高等职业技术应用型人才的教学体系和教材资源环境,不断更新教学内容,改进教学方法,积极探讨机电类专业创新人才的培养模式,大力推进精品专业、精品课程和教材建设。因此,组织编写符合高等职业教育特色的机电类专业规划教材是高等职业技术教育发展的需要。

教材建设是高等学校建设的一项基本内容,高质量的教材是培养合格人才的基本保证。大力发展高等职业教育,培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高素质技能型人才,要求我们必须重视高等职业教育教材改革与建设,编写和出版具有高等职业教育自身特色的教材。近年来,高职教材建设取得了一定成绩,出版的教材种类有所增加,但与高职发展需求相比,还存在较大的差距。其中部分教材还没有真正过渡到以培养技术应用能力为主的体系中来,高职特色反映也不够,极少数教材内容过于肤浅,这些都对高职人才培养十分不利。因此,做好高职教材改革与建设工作刻不容缓。

北京大学出版社抓住这一时机,组织全国长期从事高职高专教学工作并具有丰富实践经验的骨干教师,编写了高职高专机电系列实用规划教材,对传统的课程体系进行了有效的整合,注意了课程体系结构的调整,反映系列教材各门课程之间的渗透与衔接,内容合理分配;努力拓宽知识面,在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索,加强理论联系实际,突出技能培养和理论知识的应用能力培养,精简了理论内容,既满足大类专业对理论、技能及其基础素质的要求,同时提供选择和创新的空間,以满足学有余力的学生进修或探究学习的需求;对专业技术内容进行了及时的更新,反映了技术的最新发展,同时结合行业的特色,缩短了学生专业技术技能与生产一线要求的距离,具有鲜明的高等职业技术人才培养特色。

最后,我们感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动,也感谢北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因,本系列教材还存在一些不足和错漏。我们相信,在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下,不断改进和完善这套教材,使之成为我国高等职业技术教育的教学改革、课程体系建设和教材建设中的优秀教材。

《21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

2007 年 7 月

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《数控机床》一书。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。

本教材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。本书共分13章,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。第1章对机床数控的基本概念、数控机床的分类、数控机床技术的发展进行介绍。第2章介绍数控机床典型结构。第3章介绍数控车床。第4章介绍数控铣床。第5章介绍加工中心。第6章介绍数控特种加工机床。第7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8章介绍数控机床伺服系统。第9章介绍数控机床检测装置。第10章介绍数控机床的压力控制与辅助系统。第11章介绍数控机床的应用,包括数控机床的故障诊断与维修、选用、安装调试及验收等。第12章简单介绍数控机床编程技术。第13章介绍机床的数控技术改造。

本书由柳州职业技术学院黄应勇任主编,庞元俊、陈华、钟俏灵、刘春哲、罗智军任副主编,其中第1章、第3章、第12章12.1、12.2节由黄应勇编写,第2章由罗智军编写,第4章4.4、4.5节、第5章由毛丹丹编写,第6章由李宏军编写,第7章、第8章由钟俏灵编写,第10章、第11章由陈华编写,第12章12.3节由曾林编写,第4章4.1、4.2、4.3节、第9章、第13章由平顶山工业职业技术学院庞元俊编写,全书由黄应勇负责统稿和定稿。

本书由柳州职业技术学院王世辉副教授主审。

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!

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
2007年6月

目 录

第 1 章 概论 1	
1.1 数控机床的产生和发展..... 1	
1.1.1 数控机床的诞生..... 1	
1.1.2 数控机床的发展过程..... 1	
1.1.3 我国数控机床的发展简介..... 2	
1.1.4 数控机床的发展趋势..... 3	
1.2 数控机床的基本组成及工作过程..... 5	
1.2.1 数控机床的组成..... 5	
1.2.2 数控机床的基本工作过程..... 7	
1.3 数控机床的分类..... 8	
1.3.1 按加工方式分类..... 8	
1.3.2 按控制运动的方式分类..... 10	
1.3.3 按同时控制轴数分类..... 10	
1.3.4 按伺服系统分类..... 11	
1.4 数控机床的加工特点及应用..... 12	
1.4.1 数控机床加工的特点..... 12	
1.4.2 数控机床的应用..... 13	
练习与思考题..... 14	
第 2 章 数控机床的典型结构 15	
2.1 数控机床的机械结构概述..... 15	
2.1.1 数控机床机械结构的主要组成..... 15	
2.1.2 数控机床机械结构的特点..... 15	
2.2 数控机床主轴系统..... 16	
2.2.1 数控机床对主轴系统的要求... 16	
2.2.2 主轴的传动方式..... 17	
2.2.3 主轴组件..... 21	
2.3 数控机床进给传动系统..... 32	
2.3.1 对进给传动机构的要求..... 32	
2.3.2 齿轮传动装置..... 33	
2.3.3 丝杠螺母副..... 36	
2.3.4 导轨..... 43	
2.4 机床支承件..... 51	
2.4.1 支承件的性能要求及其改善措施..... 51	
2.4.2 床身..... 53	
2.4.3 立柱..... 55	
练习与思考题..... 57	
第 3 章 数控车床 58	
3.1 概述..... 58	
3.1.1 数控车床的工艺范围..... 58	
3.1.2 数控车床的分类..... 58	
3.1.3 数控车床的组成..... 60	
3.1.4 数控车床的布局形式..... 61	
3.1.5 数控车床的特点与发展..... 63	
3.2 数控车床的传动与结构特点..... 64	
3.2.1 主传动系统及主轴箱结构..... 64	
3.2.2 进给传动系统..... 69	
3.2.3 尾座..... 71	
3.2.4 刀架..... 72	
3.3 车削中心..... 73	
3.3.1 车削中心的工艺范围..... 73	
3.3.2 车削中心的 C 轴..... 74	
3.3.3 车削中心的主传动系统..... 75	
3.3.4 车削中心自驱动力刀具典型结构..... 77	
练习与思考题..... 79	
第 4 章 数控铣床 80	
4.1 概述..... 80	
4.1.1 数控铣床的加工工艺范围..... 80	
4.1.2 数控铣床的分类..... 82	
4.1.3 数控铣床的结构特点..... 84	
4.2 数控铣床的使用要求与布局..... 85	
4.2.1 数控铣床的使用要求..... 85	
4.2.2 运动分配与部件的布局..... 86	

4.3 数控铣床的传动与结构特点.....	87	5.5.3 对刀方法和对刀工具.....	129
4.3.1 主传动系统.....	87	练习和思考题.....	130
4.3.2 数控铣床的换刀机构.....	89	第6章 数控特种加工机床	131
4.3.3 主轴轴承的常用配置形式及其 润滑与冷却.....	90	6.1 特种加工概述.....	131
4.3.4 进给系统.....	91	6.1.1 特种加工的产生及发展.....	131
4.4 XK714B 型数控立式铣床.....	92	6.1.2 特种加工的分类.....	131
4.4.1 XK714B 型数控立式铣床的 组成及技术参数.....	92	6.2 数控电火花成形加工机床.....	132
4.4.2 XK714B 型数控铣床传动 系统.....	93	6.2.1 电火花加工概述.....	132
4.4.3 XK714B 数控铣床的主要 结构.....	94	6.2.2 数控电火花成形加工机床.....	134
4.5 数控铣床的辅助装置.....	97	6.3 数控电火花线切割加工机床.....	138
4.5.1 润滑系统.....	97	6.3.1 电火花线切割加工机床的 工作原理.....	139
4.5.2 排屑装置.....	97	6.3.2 电火花线切割加工的特点.....	139
练习与思考题.....	98	6.3.3 电火花线切割机床的分类和 型号.....	140
第5章 加工中心	99	6.3.4 线切割机床的组成.....	141
5.1 概述.....	99	6.4 数控激光切割机床.....	145
5.1.1 加工中心的特点.....	99	6.4.1 激光加工的原理与特点.....	145
5.1.2 加工中心的分类.....	101	6.4.2 数控激光加工机床的组成.....	147
5.1.3 加工中心的构成.....	103	练习与思考题.....	151
5.1.4 加工中心的布局结构特点.....	104	第7章 数控系统	152
5.1.5 加工中心的发展.....	106	7.1 CNC 系统的总体结构及各部分 功能.....	152
5.2 加工中心的传动系统.....	108	7.1.1 CNC 系统的总体结构.....	152
5.2.1 主传动系统.....	108	7.1.2 数控系统各部分的功能.....	152
5.2.2 直线进给传动系统.....	113	7.2 CNC 装置的硬件.....	155
5.2.3 VMC650 立式加工中心.....	114	7.2.1 单微处理器结构.....	155
5.2.4 回转工作台.....	116	7.2.2 多微处理器结构.....	157
5.3 加工中心自动换刀装置.....	119	7.3 CNC 系统的软件功能及其实现.....	159
5.3.1 加工中心刀库的形式.....	121	7.3.1 CNC 系统的软件功能.....	160
5.3.2 几种典型换刀过程.....	124	7.3.2 CNC 系统的软件功能的 实现.....	160
5.4 加工中心支承系统.....	127	7.3.3 CNC 系统控制软件的结构 特点.....	161
5.4.1 支承件的功用和要求.....	127	7.4 插补原理.....	163
5.4.2 加工中心支承件典型结构.....	127	7.4.1 脉冲增量插补.....	163
5.5 对刀装置.....	128	7.4.2 数据采样插补.....	169
5.5.1 对刀装置的种类.....	128		
5.5.2 对刀装置的使用.....	128		

7.5 可编程序控制器	175	9.3.2 感应同步器的应用	210
7.5.1 PLC 的结构	175	9.4 光栅	211
7.5.2 PLC 的特点	178	9.4.1 直线透射式光栅	211
7.5.3 数控机床中 PLC 的分类	178	9.4.2 光栅的特点	213
7.5.4 数控系统中 PLC 的信息 交换	179	9.5 磁尺	214
练习与思考题	180	练习与思考题	216
第 8 章 数控机床伺服系统	181	第 10 章 数控机床的压力控制与辅助 系统	217
8.1 概述	181	10.1 数控机床的液压与气动系统	217
8.1.1 对伺服系统的基本要求	181	10.1.1 液压系统和气压系统的组成 及工作原理	217
8.1.2 伺服系统的分类	182	10.1.2 液压系统与气压系统的应用 范围	218
8.2 步进电动机伺服系统	183	10.1.3 液压及气压系统在数控机床 中的辅助功能	218
8.2.1 步进电动机的分类	183	10.1.4 液压系统在数控机床上的 应用实例	219
8.2.2 步进电动机的工作原理和 主要特性	184	10.2 数控机床的润滑与冷却系统	222
8.2.3 开环控制步进电动机伺服 系统的控制原理	192	10.2.1 数控机床的润滑系统	222
8.3 直流电动机伺服系统	192	10.2.2 数控机床的冷却系统	225
8.3.1 直流伺服电动机的结构与 工作原理	192	练习与思考题	227
8.3.2 直流伺服电动机的速度控制 方法	193	第 11 章 数控机床的应用	228
8.4 交流电动机伺服系统	196	11.1 数控机床的选型	228
8.4.1 交流伺服电动机的结构与 工作原理	197	11.1.1 典型零件的确定与机床的 选择	228
8.4.2 交流伺服电动机的速度控制 方法	198	11.1.2 数控机床规格的选择	228
练习与思考题	202	11.1.3 数控机床精度的选择	229
第 9 章 数控机床的检测装置	203	11.1.4 数控机床系统的选择	230
9.1 旋转编码器	203	11.1.5 数控机床驱动电动机的 选择	230
9.1.1 增量式光电编码器	203	11.1.6 自动换刀装置的选择	231
9.1.2 绝对式旋转编码器	204	11.1.7 技术服务	231
9.1.3 编码器在数控机床中的 应用	206	11.2 数控机床的安装与调试	231
9.2 旋转变压器	207	11.2.1 数控机床的安装	232
9.3 感应同步器	208	11.2.2 数控机床的调试	233
9.3.1 感应同步器的工作原理	208	11.3 数控机床的验收	235
		11.3.1 数控机床几何精度的检查 ...	235

11.3.2 机床定位精度的检查.....	236	12.1.4 对刀点和换刀点的确定	251
11.3.3 机床切削精度的检查.....	236	12.1.5 程序编制中的数学处理	251
11.3.4 机床性能及数控系统性能 检查	236	12.2 数控车床编程.....	252
11.3.5 数控机床外观检查.....	238	12.2.1 数控车床概述.....	252
11.4 数控机床的保养与维修.....	238	12.2.2 数控车床程序的编制.....	254
11.4.1 使用数控机床应注意的 问题	239	12.3 数控铣床编程.....	263
11.4.2 数控机床的日常维护保养.....	239	12.3.1 数控铣床概述.....	263
11.4.3 数控机床的故障诊断与维修 基本方法	240	12.3.2 数控铣床坐标系.....	264
11.4.4 数控机床故障诊断与维修 实例	243	12.3.3 数控铣床编程指令	264
练习与思考题	244	练习与思考题	273
第 12 章 数控机床的编程技术	245	第 13 章 机床的数控技术改造	275
12.1 数控机床的编程基础.....	245	13.1 机床数控改造概述.....	275
12.1.1 数控机床的编程内容、步骤 及方法	245	13.2 机床的数控技术改造实例	277
12.1.2 数控机床的程序结构与 格式	246	13.2.1 机械结构改造	277
12.1.3 数控机床的坐标系.....	249	13.2.2 数控系统配置	279
		13.2.3 调试.....	283
		练习与思考题	283
		参考文献	284

第1章 概 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(由程序输入装置、数控装置、伺服系统、强电控制装置、检测装置和主机等六部分组成)。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。

1.1 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。

1.1.1 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。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。

1.1.2 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 的通用型 CNC 数控系统(20 世纪 90 年代以后)等六个发展阶段。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贮能力和控制功能,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)。

1.1.3 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。

我国的数控技术与国际先进水平相比,存在的差距主要表现在两个方面。

一是数控系统和数控机床的稳定性差,两者与国外产品比较见表 1-1。

表 1-1 国内外数控系统和数控机床平均无故障时间(h)

国 内		国 外	
数控系统	数控机床	数控系统	数控机床
1 万~2 万	300	7 万~10 万	500

二是我国数控系统成套性差, 数控装置、驱动、电机不配套, 伺服驱动、主轴驱动的性能和可靠性比国外产品的性能和可靠性低, 高精度、高速度及重型设备数控系统的性能、功能比国外产品的性能、功能差。

1.1.4 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 24 m/min ; 分辨率为 $0.01\mu\text{m}$, 进给速度可以达到 $400\sim 800\text{ mm/min}$ 。提高主轴转速是提高切削速度最直接、最有效的方法。近二十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 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 15000 r/min 、 20000 r/min , 30000 r/min , 50000 r/min , 目前国外用于加工中心的电主轴转速已达到 75000 r/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 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 20000 r/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 10000 r/min , 双向定位精度为 $2\mu\text{m}$ 。

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两个方向努力:一是提高数控机床的单机柔性化,另一方面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,是提高加工效率,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,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。

1.2 数控机床的基本组成及工作过程

数控机床又称 CNC 机床,是由电子计算机或专用电子计算装置对数字化的信息进行处理而实现自动控制的机床。

国际信息处理联盟(IFIP)第五技术委员会对数控机床定义如下: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号码或其他符号编码指令规定的程序。定义中所说的程序控制系统即数控系统。也可以这么说:把数字化了的刀具移动轨迹的信息输入数控装置,经过译码、运算,从而实现控制刀具与工件的相对运动,加工出所需要零件的一种机床即为数控机床。

1.2.1 数控机床的组成

数控机床一般由程序输入装置、数控装置、伺服系统、强电控制装置、检测装置和主机六部分组成,如图 1.1 所示。

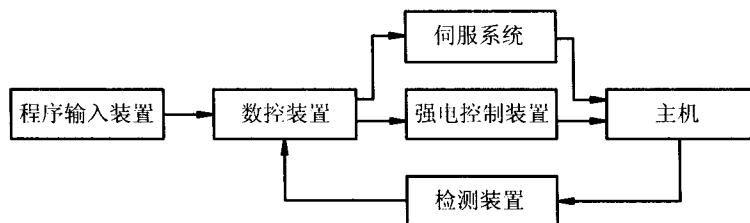


图 1.1 数控机床的组成

1. 程序输入装置

程序输入装置的作用是将程序载体(包括穿孔纸带、磁带、磁盘)上的数控代码信息转换成相应的电脉冲信号传送至数控装置。

现在对于微机控制的数控机床可用操作面板上的键盘直接把加工程序输入数控装置。

2. 数控装置(CNC 装置)

数控装置是数控机床的控制核心,其功能是接受程序输入装置输入的加工信息,经译码、处理与计算,发出相应的脉冲送给伺服系统,通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动。一般一台机床专用计算机包括:印制电路板、各种电器元件、屏幕显示器和键盘等部分。

数控装置的基本工作过程如下。

(1) 译码。将程序段中的各种信息,按一定语法规则翻译成数控装置能识别的语言,并以一定的格式存放在指定的内存专用区间。

(2) 刀具补偿。刀具补偿包括刀具长度补偿、刀具半径补偿。

(3) 进给速度处理。编程所给定的刀具移动速度是加工轨迹切线方向的速度,速度处理就是将其分解成各运动坐标方向的分速度。

(4) 插补。一般数控装置能对直线、圆弧进行插补运算。一些专用或较高档的 CNC 装置还可以完成椭圆、抛物线、正弦曲线和一些专用曲线的插补运算。

(5) 位置控制。在闭环 CNC 装置中,位置控制的作用是在每个采样周期内,把插补计算得到的理论位置与实际反馈位置相比较,用其差值去控制进给电动机。

3. 伺服系统

机床伺服系统是数控系统的执行部分,是以机床移动部件(工作台)的位置和速度作为控制量的自动控制系统。它是由速度控制装置、位置控制装置、驱动伺服电机和相应的机械传动装置组成。其功能是接受数控装置输出的脉冲信号指令,使机床上的移动部件做相应的移动。每一个脉冲信号指令使机床移动部件产生的位移量称为脉冲当量,常用的脉冲当量为 0.01mm/脉冲或 0.001mm/脉冲。

伺服系统应满足的要求是,进给速度范围要大(如 0.1mm/min 低速趋近, 24m/min 快速移动),位移精度要高,工作速度响应要快以及工作稳定性要好。

伺服系统由驱动装置和执行机构组成。驱动装置是执行机构(工作台、主轴)的驱动部件,它由伺服驱动器与伺服电动机组成。

数控机床的伺服系统按其控制方式,可分为开环伺服系统、半闭环伺服系统、闭环伺服系统三大类。