



21st CENTURY

十一五规划

21世纪全国应用型本科

大机械系列 实用规划教材



数控加工技术

主 编 王 彪 张 兰
副主编 王明红 蓝海根
主 审 韩建海

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材

数 控 加 工 技 术

主 编	王 彪	张 兰	
副主编	王明红	蓝海根	
参 编	李 猛	王振宁	孙旭东
	常晓俊	姚瑞敏	
主 审	韩建海		

中国林业出版社
China Forestry Publishing House



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据“21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材”研讨会提出的大纲要求编写的。全书共 9 章, 主要内容包括数控加工概论、数控加工工艺设计、数控加工程序编制、数控车床的操作与加工、数控铣床的操作与加工、数控加工中心的操作与加工、数控电火花线切割机床操作与加工、数控机床的管理、数控加工 CAD/CAM 简介。

全书以先进性、实用性和系统性为指导, 内容详简得当、层次分明、实例丰富, 并且每章均附有教学提示、教学要求及习题供教学参考。

本书可作为高等院校本、专科机电类的相关专业教材, 也可供从事数控工程技术与维修的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/王彪, 张兰主编. —北京: 中国林业出版社; 北京大学出版社, 2006.8

(21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材)

ISBN 7-5038-4450-7

I. 数… II. ①王… ②张… III. 数控机床—加工—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 072810 号

书 名: 数控加工技术

著作责任者: 王 彪 张 兰 主编

策 划 编 辑: 李昱涛

责 任 编 辑: 郭穗娟 郑铁志

标 准 书 号: ISBN 7-5038-4450-7

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: 涿州市星河印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社 中国林业出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 476 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 29.00 元

21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材

参编学校名单 (按拼音排序)

- | | |
|-------------|---------------|
| 1 安徽建筑工业学院 | 30 黄石理工学院 |
| 2 安徽科技学院 | 31 吉林工程技术师范学院 |
| 3 安徽农业大学 | 32 江苏大学 |
| 4 北华大学 | 33 九江学院 |
| 5 北京建筑工程学院 | 34 军事交通学院 |
| 6 北京联合大学 | 35 兰州理工大学 |
| 7 长春大学 | 36 辽宁工程技术大学 |
| 8 长沙理工大学 | 37 鲁东大学 |
| 9 重庆工学院 | 38 内蒙古工业大学 |
| 10 重庆交通学院 | 39 南华大学 |
| 11 德州学院 | 40 南昌航空工业学院 |
| 12 东北林业大学 | 41 青岛科技大学 |
| 13 东华理工学院 | 42 山东理工大学 |
| 14 福建工程学院 | 43 上海工程技术大学 |
| 15 甘肃农业大学 | 44 上海水产大学 |
| 16 桂林工学院 | 45 上海理工大学 |
| 17 河北大学 | 46 沈阳大学 |
| 18 河北建筑工程学院 | 47 四川农业大学 |
| 19 河北农业大学 | 48 潍坊学院 |
| 20 河南工业大学 | 49 武汉工业学院 |
| 21 河南科技学院 | 50 武汉科技大学 |
| 22 湖北汽车工业学院 | 51 武汉理工大学 |
| 23 湖南工程学院 | 52 湘潭大学 |
| 24 湖南工学院 | 53 徐州师范大学 |
| 25 湖南工业大学 | 54 郑州航空工业管理学院 |
| 26 湖南理工学院 | 55 中北大学 |
| 27 江西理工大学 | 56 中国农业大学 |
| 28 华北水利水电学院 | 57 中南林业科技大学 |
| 29 华东交通大学 | |

《21 世纪全国应用型本科犬机械系列实用规划教材》

专家编审委员会

名 誉 主 任 胡正寰

主 任 委 员 殷国富

副主任委员 (按拼音排序)

戴冠军 江征风 李郝林 梅 宁 任乃飞

王述洋 杨化仁 张成忠 张新义

顾 问 (按拼音排序)

傅水根 姜继海 孔祥东 陆国栋

陆启建 孙建东 张 金 赵松年

委 员 (按拼音排序)

方 新 郭秀云 韩健海 洪 波

侯书林 胡如风 胡亚民 胡志勇

华 林 姜军生 李自光 刘仲国

柳舟通 毛 磊 孟宪颐 任建平

陶健民 田 勇 王亮申 王守城

魏 建 魏修亭 杨振中 袁根福

曾 忠 张伟强 郑竹林 周晓福

丛书总序

殷国富*

机械是人类生产和生活的基本工具要素之一,是人类物质文明最重要的一个组成部分。机械工业担负着向国民经济各部门,包括工业、农业和社会生活各个方面提供各种性能先进、使用安全可靠的技术装备的任务,在国家现代化建设中占有举足轻重的地位。20 世纪 80 年代以来,以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代科学技术的发展及其在机械工程领域中的广泛渗透、应用和衍生,极大地拓展了机械产品设计制造活动的深度和广度,改变了现代制造业的产品设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生产组织模式,产生了一大批新的机械设计制造方法和制造系统。这些机械方面的新方法和系统的主要技术特征表现在以下几个方面:

(1) 信息技术在机械行业的广泛渗透和应用,使得现代机电产品已不再是单纯的机械构件,而是由机械、电子、信息、计算机与自动控制等集成的机电一体化产品,其功能不仅限于加强、延伸或取代人的体力劳动,而且扩大到加强、延伸或取代人的某些感官功能与大脑功能。

(2) 随着设计手段的计算机化和数字化, CAD/CAM/CAE/PDM 集成技术和软件系统得到广泛使用,促进了产品创新设计、并行设计、快速设计、虚拟设计、智能设计、反求设计、广义优化设计、绿色产品设计、面向全寿命周期设计等现代设计理论和技术方法的不断发展。机械产品的设计不只是单纯追求某项性能指标的先进和高低,而是注重综合考虑质量、市场、价格、安全、美学、资源、环境等方面的影响。

(3) 传统机械制造技术在不断吸收电子、信息、材料、能源和现代管理等方面成果的基础上形成了先进制造技术,并将其综合应用于机械产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务的机械产品制造全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产,提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力。

(4) 机械产品加工制造的精密化、快速化,制造过程的网络化、全球化得到很大的发展,涌现出 CIMS、并行工程、敏捷制造、绿色制造、网络制造、虚拟制造、智能制造、大规模定制等先进生产模式,制造装备和制造系统的柔性可重组已成为 21 世纪制造技术的显著特征。

(5) 机械工程的理论基础不再局限于力学,制造过程的基础也不只是设计与制造经验及技艺的总结。今天的机械工程学科比以往任何时候都更紧密地依赖诸如现代数学、材料科学、微电子技术、计算机信息科学、生命科学、系统论与控制论等多门学科及其最新成就。

上述机械科学与工程技术特征和发展趋势表明,现代机械工程学科越来越多地体现着知识经济的特征。因此,加快培养适应我国国民经济建设所需要的高综合素质、机械工程专业人才的意义十分重大、任务十分繁重。我们必须通过各种层次和形式的教育,培养出适应世界机械工业发展潮流与我国机械制造业实际需要的技术人才与管理人才,不断推动我国机械科学与工程技术进步。

为使机械工程学科毕业生的知识结构由较专、较深、适应性差向较通用、较广泛、适

*殷国富教授:现为教育部机械学科教学指导委员会委员,现任四川大学制造科学与工程学院院长

应性强方向转化,在教育部的领导与组织下,1998 年对本科专业目录进行了第 3 次大的修订。调整后的机械类专业变成 4 类 8 个专业,它们是:机械类 4 个专业(机械设计制造及其自动化、材料成型及控制工程、过程装备与控制、工业设计);仪器仪表类 1 个专业(测控技术与仪器);能源动力类 2 个专业(热能与动力工程、核工程与核技术);工程力学类 1 个专业(工程力学)。此外还提出了面向更宽的引导性专业,即机械工程及自动化。因此,建立现代“大机械、全过程、多学科”的观点,探讨机械科学与工程技术学科专业创新人才的培养模式,是高校从事制造学科教学的教育工作者的责任;建立培养富有创新能力人才的教学体系和教材资源环境,是我们努力的目标。

要达到这一目标,进行适应现代机械学科发展要求的教材建设是十分重要的基础工作之一。因此,组织编写出版面向大机械学科的系列教材就显得很有意义和十分必要。北京大学出版社和中国林业出版社的领导和编辑们通过对国内大学机械工程学科教材实际情况的调研,在与众多专家学者讨论的基础上,决定面向机械工程学科类专业的学生出版一套系列教材,这是促进高校教学改革发展的重大决策。按照教材编审委员会的规划,本系列教材将逐步出版。

本系列教材是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,合理定位,由长期在教学第一线从事教学工作的教师立足于 21 世纪机械工程学科发展的需要,以科学性、先进性、系统性和实用性为目标进行编写,以适应不同类型、不同层次的学校结合学校实际情况的需要。本系列教材编写的特色体现以下几个方面:

(1) 关注全球机械科学与工程技术学科发展的大背景,建立现代大机械工程学科的新理念,拓宽理论基础和专业知识,特别是突出创造能力和创新意识。

(2) 重视强基础与宽专业知识面的要求。在保持较宽学科专业知识的前提下,在强化产品设计、制造、管理、市场、环境等基础理论方面,突出重点,进一步密切学科内各专业知识面之间的综合内在联系,尽快建立起系统性的知识体系结构。

(3) 学科交叉与综合的观念。现代力学、信息科学、生命科学、材料科学、系统科学等新兴学科与机械学科结合的内容在系列教材编写中得到一定的体现。

(4) 注重能力的培养,力求做到不断强化自我的自学能力、思维能力、创造性地解决问题的能力以及不断自我更新知识的能力,促进学生向着富有鲜明个性的方向发展。

总之,本系列教材注意了调整课程结构,加强学科基础,反映系列教材各门课程之间的联系和衔接,内容合理分配,既相互联系又避免不必要的重复,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。当然,本系列教材还需要在内容的精选、音像电子课件、网络多媒体教学等方面进一步加强,使之能满足普通高等院校本科教学的需要,在众多的机械类教材中形成自己的特色。

最后,我要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,也要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,使之在我国机械工程类学科专业的教学改革和课程体系建设中起到应有的促进作用。

2006 年 1 月

前 言

随着先进制造技术的发展,数控技术已成为机械制造业技术改造和技术更新的核心内容,它的广泛应用和发展正在改变着机械制造业的面貌,因此加速培养掌握数控加工技术的应用型人才已成为当务之急。本书即根据“21 世纪全国高等院校应用型本科机械系列实用规划教材研讨会”提出的大纲要求而编写的。

全书力求取材新颖实用,注重内容的先进性、实用性和系统性。围绕数控机床加工技术的能力培养,尽可能全面地介绍数控加工技术各方面的内容。在叙述上力求层次分明,详简得当,既有理论又有实例,以便于讲授与自学,并且每章均附有教学提示、教学要求及习题供教学参考。

全书共 9 章,主要内容包括数控加工概论、数控加工工艺设计、数控加工程序编制、数控车床的操作与加工、数控铣床的操作与加工、数控加工中心的操作与加工、数控电火花线切割机床操作与加工、数控机床的管理、数控加工 CAD/CAM 简介。

本书由王彪、张兰担任主编,王明红、蓝海根担任副主编。其中第 1 章由张兰编写,第 2、4 章由李猛编写,第 3 章由王明红编写,第 5 章及 6.4.2 部分实例由常晓俊、姚瑞敏编写,第 6 章由王振宁编写,第 7、8 章由蓝海根、王彪编写,第 9 章由孙旭东编写。

全书由教育部高等学校机械学科教学指导委员会委员韩建海教授主审。韩建海教授对全书进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵的意见。另外,本书在编写过程中参考和借鉴了诸多同行的相关资料、文献,在此一并表示诚挚感谢!

由于编者的水平所限,书中难免有欠妥和错误之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006 年 4 月

目 录

第1章 概论	1	2.2.1 数控加工零件图样分析	27
1.1 数控机床的产生	1	2.2.2 零件的结构工艺性分析	28
1.1.1 数控机床的产生	1	2.3 数控加工的工艺路线设计	31
1.1.2 我国数控机床的现状与特点	2	2.3.1 选择加工方法	31
1.2 数控机床的概念及组成	3	2.3.2 划分加工阶段	36
1.2.1 数控机床的基本概念	3	2.4 数控加工的工序设计	37
1.2.2 数控机床加工零件的过程	4	2.4.1 工序划分、加工余量的选择 与工序尺寸公差	37
1.2.3 数控机床的组成	4	2.4.2 加工路线的确定	39
1.3 数控机床的种类划分	8	2.4.3 数控加工刀具的选择	43
1.3.1 按加工方式分类	8	2.4.4 切削用量的确定	44
1.3.2 按机床运动的控制轨迹分类	9	2.4.5 工件装夹方式与夹具的选择	44
1.3.3 按伺服控制的方式分类	10	2.5 数控加工的工艺文件	45
1.3.4 按数控系统功能水平分类	13	2.5.1 数控加工工序卡	45
1.3.5 按联动轴数分类	13	2.5.2 数控加工程序说明卡	47
1.3.6 按数控装置类别分类	14	2.5.3 数控加工走刀路线图	47
1.4 数控机床加工的特点及应用	14	习题	49
1.4.1 数控机床加工的特点	14	第3章 数控加工的程序编制	50
1.4.2 数控加工的应用范围	15	3.1 零件程序编制的内容与方法	50
1.5 数控机床的发展趋势	16	3.1.1 零件程序编制的内容与步骤	50
1.5.1 数控机床结构的发展	16	3.1.2 零件程序编制的方法	53
1.5.2 计算机控制性能的发展	17	3.2 数控机床的坐标系统	55
1.5.3 伺服系统的发展	17	3.2.1 数控机床的坐标系	55
1.5.4 以数控机床为基础的自动化 生产系统	18	3.2.2 数控机床上的有关点	59
习题	21	3.3 零件加工程序的指令代码与程序 结构	61
第2章 数控加工工艺设计	22	3.3.1 零件加工程序的有关功能 指令及其代码	61
2.1 数控加工的工艺特点与内容	22	3.3.2 零件加工程序的格式与组成	79
2.1.1 数控加工的工艺特点	22	3.4 数控加工编程实例	82
2.1.2 数控加工工艺处理的主要 内容	23	3.4.1 数控车床编程实例	82
2.1.3 数控加工的对象	24	3.4.2 数控加工中心编程实例	87
2.2 数控加工的工艺分析方法	27		

习题	90	5.4.2 数控铣床的基本操作	174
第4章 数控车床的操作与加工	93	5.5 零件加工实例	184
4.1 数控车床概述	93	习题	186
4.1.1 数控车床的组成与布局	93	第6章 数控加工中心的操作与加工	188
4.1.2 数控车床的分类	95	6.1 数控加工中心概述	188
4.1.3 数控车床的加工对象及特点	97	6.1.1 数控加工中心的组成	188
4.2 数控车削加工工艺处理	99	6.1.2 数控加工中心的分类	189
4.2.1 加工顺序的确定	99	6.1.3 数控加工中心的加工对象及特点	191
4.2.2 走刀路线的确定	100	6.2 数控加工中心的刀库系统	191
4.2.3 车削用夹具的选择	104	6.2.1 数控加工中心的自动换刀装置	191
4.2.4 车削类刀具的选择	110	6.2.2 数控加工中心的自动换刀	192
4.2.5 切削用量的选择	113	6.3 数控加工中心的工艺处理	192
4.3 数控车床对刀	115	6.3.1 加工顺序的确定	193
4.3.1 数控车床对刀概念	115	6.3.2 走刀路线的确定	193
4.3.2 数控车床对刀方法	115	6.3.3 加工工艺参数	195
4.4 数控车床的基本操作	117	6.3.4 夹具的选择	196
4.4.1 操作面板	117	6.4 加工中心的基本操作	198
4.4.2 基本操作	127	6.4.1 操作面板与基本操作	198
4.5 零件加工实例	136	6.4.2 零件加工实例	205
4.5.1 轴类零件的数控车削加工	136	习题	220
4.5.2 盘类零件的数控车削加工	143	第7章 数控电火花线切割机床的操作与加工	222
4.5.3 复杂零件的数控车削加工	148	7.1 数控电火花线切割机床概述	222
习题	151	7.1.1 线切割机床的加工原理与特点	222
第5章 数控铣床的操作与加工	153	7.1.2 线切割机床的组成	224
5.1 数控铣床概述	153	7.1.3 线切割机床的分类与加工对象	227
5.1.1 数控铣床的组成与布局	153	7.2 数控电火花线切割加工工艺处理	229
5.1.2 数控铣床的分类	154	7.2.1 模坯准备	229
5.1.3 数控铣床的加工对象及特点	156	7.2.2 加工路线的选择	229
5.2 数控铣削加工工艺处理	161	7.2.3 穿丝孔位置的确定	231
5.2.1 走刀路线的确定	161	7.2.4 切入点位置的确定	231
5.2.2 铣削用夹具的选择	164	7.2.5 工件的装夹与找正	232
5.2.3 切削类刀具的选择	165	7.2.6 电极丝的选择与对刀	233
5.2.4 切削用量的选择	169		
5.3 数控铣床对刀	170		
5.4 数控铣床的基本操作	171		
5.4.1 机床操作面板的组成及功能说明	171		

7.2.7 脉冲参数的选择.....	235	8.3.3 数控机床常见故障处理	277
7.2.8 补偿量的确定.....	236	8.4 数控机床的维护与保养	282
7.2.9 工作液的选配.....	237	习题	285
7.3 数控电火花线切割编程指令	237	第 9 章 数控加工 CAD/CAM 简介.....	286
7.3.1 ISO 代码格式	237	9.1 CAD/CAM 基本概念.....	286
7.3.2 3B、4B 代码格式	240	9.1.1 CAD 基本概念	286
7.4 数控电火花线切割机床的		9.1.2 CAM 基本概念	287
基本操作.....	243	9.2 CAD/CAM 技术特点与发展趋势.....	287
7.4.1 操作面板.....	244	9.2.1 CAD/CAM 技术特点	287
7.4.2 软件功能.....	246	9.2.2 CAD/CAM 技术的	
7.4.3 基本操作.....	248	发展趋势	288
7.4.4 加工步骤及故障预防.....	251	9.3 CAD/CAM 软件分类.....	289
7.5 零件加工实例	252	9.4 典型 CAD/CAM 软件介绍.....	289
习题	255	9.4.1 通用性系统	289
第 8 章 数控机床的管理.....	257	9.4.2 单功能系统	294
8.1 数控机床的选用	257	9.5 典型零件 CAD/CAM 应用实例.....	298
8.2 数控机床的安装调试与验收	265	9.5.1 零件的 CAD 造型实例	298
8.2.1 数控机床的安装调试.....	265	9.5.2 零件的 CAM 自动	
8.2.2 数控机床的验收.....	269	编程实例	303
8.3 数控机床的故障分析与处理	273	9.6 数控技术的新进展 STEP-NC.....	313
8.3.1 数控机床常见故障分类.....	273	习题	315
8.3.2 数控机床故障的常规		参考文献	317
检测方法.....	276		

第 1 章 概 论

教学提示：数控技术的应用范围很广，而数控机床则是数控技术在机械行业中的应用，是机电一体化的典型产品。数控和数控机床是两个基本概念，必须深刻领会。数控机床的产生、类型、特点、组成、发展以及加工过程是本章的重点。凡是采用数字化信息对机床的运动及其加工过程进行控制的方法，均称为数控，数控加工是一种具有高效率、高精度与高柔性特点的自动化加工方法，可有效解决复杂、精密、小批量多变零件的加工问题，充分适应现代化生产的需要，数控加工必须由控制机床来实现。

教学要求：通过本章的学习，让学生了解数控机床的产生、类型、特点、组成、发展以及加工过程。重点让学生了解针对不同的数控机床应用不同的编程方法，能针对具体情况进行分析，合理地、灵活地应用这些知识来解决后面章节中的编程问题。

制造业是所有与制造有关的行业的总称，是一个国家国民经济的支柱产业。它一方面为全社会日用消费品生产创造价值，另一方面也为国民经济各部门提供生产资料和装备。据估计，工业化国家 70%~80% 的物质财富来自制造业，约有 1/4 的人口从事各种形式的制造活动。可见，制造业对一个国家的经济地位和政治地位具有至关重要的影响，在 21 世纪的工业生产中具有决定性的地位与作用。

由于现代科学技术日新月异的发展，机电产品日趋精密和复杂，且更新换代速度加快，改型频繁，用户的需求也日趋多样化和个性化，中小批量的零件生产越来越多。这对制造业的高精度、高效率和高柔性提出了更高的要求，希望市场能提供满足不同加工需求、迅速高效、低成本地构筑面向用户的生产制造系统，并大幅度地降低维护和使用的成本。同时还要求新一代制造系统具有方便的网络功能，以适应未来车间面向任务和定单的生产组织和管理模式。

随着社会经济发展对制造业的要求不断提高，以及科学技术特别是计算机技术的高速发展，传统的制造业已发生了根本性的变革，以数控技术为主的现代制造技术占据了重要地位。数控技术集微电子、计算机、信息处理、自动检测及自动控制等高新技术于一体，是制造业实现柔性化、自动化、集成化及智能化的重要基础。这个基础是否牢固，直接影响到一个国家的经济发展和综合国力，也关系到一个国家的战略地位。因此，世界各工业发达国家均采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业。在我国，数控技术与装备的发展亦得到了高度重视，近年来取得了相当大的进步，特别是在通用微机数控领域，基于 PC 平台的国产数控系统，已经走在了世界前列。

1.1 数控机床的产生

1.1.1 数控机床的产生

社会需求是推动生产力发展最有力的因素。20 世纪 40 年代以来，由于航空航天技术

的飞速发展,人们对于各种飞行器的加工提出了更高的要求,这些零件大多形状非常复杂,材料多为难加工的合金。用传统的机床和工艺方法进行加工,不能保证精度,也很难提高生产效率。为了解决零件复杂形状表面的加工问题,1952年,美国帕森斯(Parsons)公司和麻省理工学院(MIT)研制成功了世界上第一台数控机床。半个世纪以来,数控技术得到了迅猛的发展,加工精度和生产效率不断提高。数控机床的发展至今已经历了两个阶段和六代产品。

1. 数控(NC)阶段(1952~1970年)

早期的计算机运算速度低,不能适应机床实时控制的要求,人们只好用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统,这就是硬件连接数控,简称数控(NC)。随着电子元器件的发展,这个阶段经历了三代,即

1952年的第一代——电子管数控机床;

1959年的第二代——晶体管数控机床;

1965年的第三代——集成电路数控机床。

2. 计算机数控(CNC)阶段(1970年至今)

1970年,通用小型计算机已出现并投入成批生产,人们将它移植过来作为数控系统的核心部件,从此数控系统进入计算机数控阶段。这个阶段也经历了三代,即

1970年的第四代——小型计算机数控机床;

1974年的第五代——微型计算机数控机床;

1990年的第六代——基于PC的数控机床。

随着微电子技术和计算机技术的不断发展,数控技术也随之不断更新,发展非常迅速,几乎每5年更新换代一次,其在制造领域的加工优势逐渐体现出来。

1.1.2 我国数控机床的现状与特点

1. 现状

近年来,我国企业的数控机床占有率逐年上升,在大中企业已有较多的使用,在中小企业甚至个体企业中也普遍开始使用。在这些数控机床中,除少量机床以FMS(柔性制造系统)模式集成使用外,其他大都处于单机运行状态,并且相当一部分处于使用效率不高、管理方式落后的状态。

2004年,我国机床工业产值已升至世界第5名,机床消费额世界排名从2003年上升到第1位以来,已连续3年成为全球最大的机床消费市场,消费额在2005年达到110亿。2005年之前由于国产数控机床不能满足市场的需求,我国机床的进口额呈逐年上升态势,2004年进口机床跃升至世界第2位,达24.06亿美元,比上年增长27.3%,2005年我国数控机床产量约60000台,总消费量约在80000台。

目前,我国出口额增幅较大的数控机床有数控车床、数控磨床、数控特种加工机床、数控剪板机、数控成形折弯机及数控压铸机等,普通机床有钻床、锯床、插床、拉床、组合机床、液压压力机及木工机床等。出口的数控机床品种以中低档为主。

2. 特点

(1) 新产品开发有了很大突破,技术含量高的产品占据主导地位,已经出现一大批代

表数控机床技术最高水平的产品,如高速精密加工中心、五轴联动加工中心及镗铣床、五轴高速龙门加工中心及铣镗床、九轴五联动车铣复合加工中心、干式切削数控滚齿机、六轴五联动弧齿锥齿轮磨床、大重型数控机床、慢走丝线切割机、数控板材冲压生产线及冲剪复合柔性生产线等。

例如,全长 33km 的上海磁悬浮快速列车线,是“十五”期间国家重点建设项目,其中组成列车线的 2550 根轨道梁是整个工程的最关键部分,对加工轨道梁的精度提出了相当高的要求。2002 年初,沈阳机床集团机床股份有限公司中捷友谊厂以工期 6 个月、标的 6200 万元在磁悬浮轨道专用数控机床项目公开招标中折桂,并于 8 月底将一次性验收合格的 8 台数控镗铣床组成的轨道梁生产线一次试车成功,目前,这套镗铣加工中心已加工出轨道梁 1100 根,确保了轨道梁的加工精度和速度,为实现当年年底试车打下了良好的基础。

(2) 数控机床产量大幅度增长,数控化率显著提高。2005 年国内数控金切机床产量已达 6.0 万台,同比增长 17.7%。金切机床行业产值数控化率从 2003 年的 17.4% 提高到 2005 年的 35.2%。

(3) 数控机床发展的关键配套产品有了突破。

近年来通过政府的支持,数控机床“套餐”开始摆上“餐桌”。如北京航天机床数控系统集团公司建立了具有自主知识产权的新一代开放式数控系统平台;烟台第二机床附件厂开发了为数控机床配套的多种动力卡盘和过滤排屑装置;湖南普来得机械技术有限公司基于中外合作技术生产的适用于数控机床特别是数控磨床的 HOB 系列流体悬浮支承(液体动静压混合轴承及主轴系统)产品等 30 多个系列 100 多个品种的数控“套餐”,引起了人们的广泛关注。

1.2 数控机床的概念及组成

1.2.1 数控机床的基本概念

1. 数控(Numerical Control, NC)

数控是采用数字化信息对机床的运动及其加工过程进行控制的方法。

2. 数控机床(Numerically Controlled Machine Tool)

数控机床是指装备了计算机数控系统的机床,简称 CNC 机床。

3. 数控技术(Numerical Control Technology)

数控技术是指用数字化的信息对某一对象进行控制的技术,控制对象可以是位移、角度及速度等机械量,也可以是温度、压力、流量及颜色等物理量,这些量的大小不仅是可测量的,而且可以经 A/D 或 D/A 转换,用数字信号来表示。数控技术是近来发展起来的一种自动控制技术,是机械加工现代化的重要基础与关键技术。

4. 数控加工(Numerical Control Manufacturing)

数控加工是指采用数字信息对零件加工过程进行定义,并控制机床进行自动运行的一

种自动化加工方法。数控加工技术是 20 世纪 40 年代后期为适应加工复杂外形零件而发展起来的一种自动化技术。1947 年,美国帕森斯公司为了精确地制作直升机机翼、桨叶和飞机框架,提出了用数字信息来控制机床自动加工外形复杂零件的设想。他们利用电子计算机对机翼加工路径进行了数据处理,并考虑到刀具直径对加工路径的影响,使得加工精度达到 $\pm 0.0015\text{in}(0.0381\text{mm})$,这在当时的水平来看是相当高的。1949 年美国空军为了能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件,与帕森斯公司和麻省理工学院伺服机构研究所合作,于 1952 年研制成功世界上第一台数控机床——三坐标立式数控铣床,可控制铣刀进行连续空间曲面的加工,揭开了数控加工技术的序幕。

数控加工是一种高效率、高精度与高柔性特点的自动化加工方法,可有效解决复杂、精密、小批量多变零件的加工问题,充分适应现代化生产的需要,数控加工必须由控制机床来实现。

1.2.2 数控机床加工零件的过程

利用数控机床完成零件加工的过程,如图 1.1 所示。加工过程主要包括以下内容:

- (1) 根据零件加工图样进行工艺分析,确定加工方案、工艺参数和位移数据。
- (2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单,或用自动编程软件直接生成零件的加工程序文件。
- (3) 程序的输入或传输。由手工编写的程序,可以通过数控机床的操作面板输入程序;由编程软件生成的程序,通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元(Machine Control Unit, MCU)。
- (4) 将输入或传输到数控单元的加工程序,进行刀具路径模拟、试运行。
- (5) 通过对机床的正确操作,运行程序,完成零件的加工。

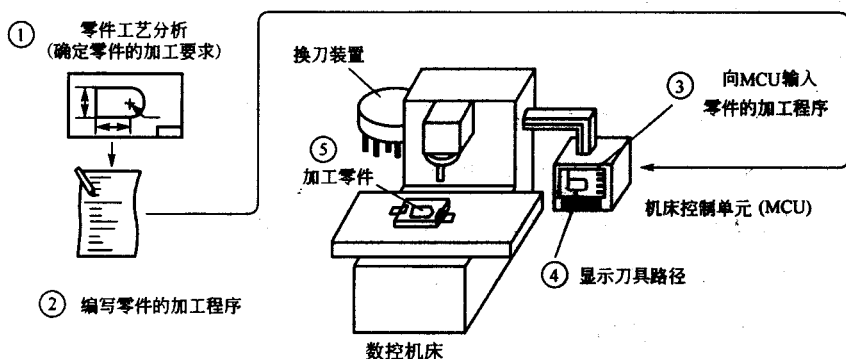


图 1.1 数控机床加工零件的过程

1.2.3 数控机床的组成

数控机床由输入输出装置、计算机数控装置(简称 CNC 装置)、伺服系统和机床本体等

部分组成, 其组成框图如图 1.2 所示。其中输入输出装置、CNC 装置、伺服系统合起来就是计算机数控系统。

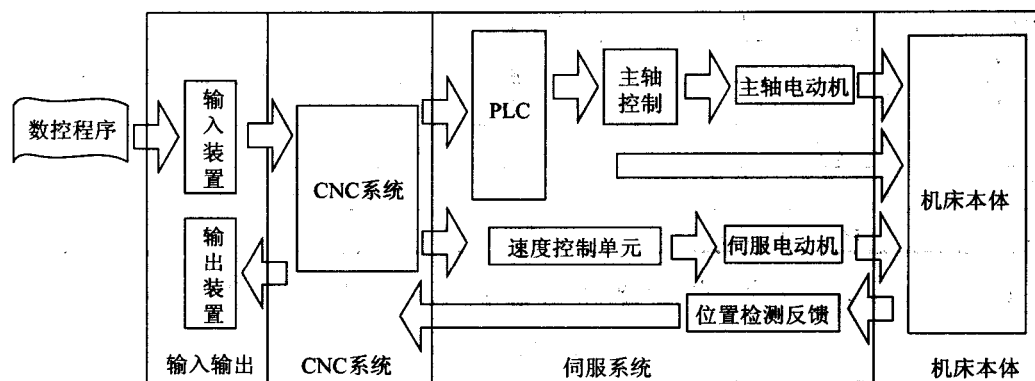


图 1.2 数控机床的组成

1. 输入输出装置

在数控机床上加工零件时, 首先根据零件图样上的零件形状、尺寸和技术条件, 确定加工工艺, 然后编制出加工程序, 程序通过输入装置, 输送给机床数控系统, 机床内存中的零件加工程序可以通过输出装置输出。输入输出装置是机床与外部设备的接口, 常用的输入装置有软盘驱动器、RS-232C 串行通信接口、MDI 方式等, 具体见表 1-1。

表 1-1 输入装置

种 类	代 码	外部设备	特 点
加工程序单	G、M 代码	手写或打印机	可见、可读、可保存, 信息用于输入, 容易出错
穿孔纸带	ISO 或 EIA	穿孔机、纸带阅读机	可读, 多次使用会磨损, 信息传输较快
磁带		磁带机或录音机	本身不可读, 需防磁, 信息传输较快
软磁盘		磁盘驱动器	本身不可读, 需防磁, 信息传输较快
硬磁盘		相应计算机接口	本身不可读, 需防振, 信息传输较快
Flash(闪存)盘 (U 盘)		计算机 USB 接口	本身不可读, 信息传输很快, 存储量大

2. 计算机数控装置

计算机数控(CNC)装置是数控机床的核心, 它接受输入装置送来的数字信息, 经过控制软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后, 将各种指令信息输出给伺服系统, 使设备按规定的动作执行。现在的 CNC 装置通常由一台通用或专用微型计算机构成。

(1) 硬件: 由 CPU、存储器、输入装置、输出、接口等组成。硬件分为专用计算机和工业用 PC, 各自特点见表 1-2。

表 1-2 CNC 装置硬件

项 目	专用计算机	工业用 PC
价格	批量小时价格高	批量大, 价格较低
可靠性	高	一般很高; 偶尔有死机的可能性
软件升级	受一定限制	升级余地较大
技术发展	受限制	能吸收计算机新技术
通用性	差	共用平台上开发各种机床的控制软件
模块化	硬件可模块化	软件可模块化

(2) 软件主要控制功能: 实现人机界面的操作, 其主要功能见表 1-3。

表 1-3 软件主要功能

控制类别	主要功能
程序管理	接受并存储加工程序, 列程序清单, 调出程序进行加工或进行修改、删除、更名等
参数管理	机床参数: 参考点、机床原点、极限位置、刀架相关点、零件参数、零件原点 刀具参数: 刀号、刀具半径、长度补偿 机床特征参数: 图形显示
程序执行	译码、数据处理、插补运算、进给速度计算、位置控制
机床状态监控	接受并处理各传感器反馈信息
诊断	开机自诊、配合离线诊断、遥测诊断
图形模拟	验证加工程序、实时跟踪模拟
补偿	热变形补偿、运动精度补偿等

3. 伺服系统

伺服系统是数控机床的执行部分, 其作用是把来自 CNC 装置的脉冲信号转换成机床的运动, 使机床移动部件精确定位或按规定的轨迹做严格的相对运动, 最后加工出符合图样要求的零件。每一个脉冲信号使机床移动部件产生的位移量称做脉冲当量(也称最小设定单位), 常用的脉冲当量为 $10\mu\text{m}/\text{脉冲}$ 。每个进给运动的执行部件都有相应的伺服系统, 伺服系统的精度及动态响应决定了数控机床加工零件的表面质量和生产率。伺服系统一般包括驱动装置和执行机构两大部分, 常用执行机构有步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机等。

1) 对进给伺服系统的要求

- (1) 精度高: 一般 $10\mu\text{m}$, 稍高为 $1\mu\text{m}$, 最高为 $0.1\mu\text{m}$ 。
- (2) 快速响应: 一般 200ms , 短的几十毫秒。
- (3) 调速范围宽: 在脉冲当量为 $1\mu\text{m}/\text{脉冲}$ 情况时, 有的系统达到 $0\sim 240\text{ m/min}$ 连续可调。
- (4) 低速大转矩。

2) 驱动电动机

包括步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机和直线电动机。