



普通高等教育规划教材

数控加工技术

王令其 张思弟 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

数控加工技术

主编 王令其 张思弟
副主编 雷学东 于杰
主审 韩秋实

图例 (CIP) 自拟

数控加工技术 / 王令其, 张思弟主编. — 北京: 机械工业出版社, 2007.1
ISBN 7-111-20290-2

Ⅰ. 数... Ⅱ. 王... Ⅲ. 数控加工技术—高等学校—教材
Ⅳ. TG629

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第124708号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑: 王小求 封面设计: 张 颖
文字编辑: 张 颖 责任印制: 张 颖

北京中林教育咨询有限公司

2007年1月第1版 2007年1月第1次印刷

184mm×260mm 31.25印张 252千字

定价: 30.00元



凡购本书, 即赠样张, 赠完即止

北京市丰台区右安门外大街22号 机械工业出版社

机械工业出版社

电话: (010) 88379011

电邮: jcb@163.com

网址: www.cmpbook.com

本书从数控加工技术应用角度出发,系统地介绍了数控机床、数控加工工艺、数控加工编程的基础知识,重点阐述了数控车床、数控铣床与加工中心的机械结构、加工工艺与工装、加工程序指令及编程方法,给出了典型零件的加工程序编制实例。同时还叙述了数控特种加工技术、数控高速切削技术、精密与超精密加工技术和计算机辅助编程技术。为了使读者对数控加工有一个全面的了解,本书还对数控钻削加工、数控齿轮加工、数控冲压、数控折弯等相关技术作了简明的介绍。

本书的特点:一是全书宗旨明确,紧密围绕数控加工技术这一主题展开;二是全书内容系统、完整,且编排轻重有度,在强化基础知识的同时,注重先进技术的介绍;三是取材新颖、实例丰富,强调理论与实际紧密结合。

本书可作为高等院校机电工程类专业的教材,可作为培训教材供各数控培训机构使用,也可供各工矿企业中从事机床数控加工技术的工程技术人员、研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/王令其,张思弟主编. —北京:机械工业出版社,2007.1
普通高等教育规划教材
ISBN 7-111-20290-2

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124708号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:王小东 版式设计:霍永明 责任校对:刘志文
封面设计:陈沛 责任印制:洪汉军

北京汇林印务有限公司印刷

2007年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm ·21.25印张 ·523千字

定价:30.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话(010)88379727

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育应用型人才培养规划教材

编审委员会名单

主任：刘国荣 湖南工程学院

副主任：左健民 南京工程学院

陈力华 上海工程技术大学

鲍 泓 北京联合大学

王文斌 机械工业出版社

委员：（按姓氏笔画排序）

刘向东 华北航天工业学院

任淑淳 上海应用技术学院

何一鸣 常州工学院

陈文哲 福建工程学院

陈 峻 扬州大学

苏 群 黑龙江工程学院

娄炳林 湖南工程学院

梁景凯 哈尔滨工业大学（威海）

童幸生 江汉大学

数控技术应用专业分委员会委员名单

单名会员委审

主任：朱晓春 南京工程学院

副主任：赵先仲 华北航天工业学院

龚仲华 常州工学院

委员：（按姓氏笔画排序）

卜云峰 淮阴工学院

汤以范 上海工程技术大学

朱志宏 福建工程学院

李洪智 黑龙江工程学院

吴祥 盐城工学院

宋德玉 浙江科技学院

钱平 上海应用技术学院

谢骐 湖南工程学院

刘 利

林 杰

林 杰

(戴) 滕景策

王 童

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据IMD1998年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第36位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于2001年、2002年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的冯·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并做出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息学科的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展,培养更多优秀的工程技术人员,我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材,满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是:

1. 保证基础,确保后劲

科技的发展,要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此,从内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色，强化应用

围绕培养目标，以工程应用为背景，通过理论与工程实际相结合，构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针：知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为：“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上，挑选出最基本的内容、方法及典型应用；“新”指将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容，以适应科学技术发展的需要。妥善处理传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容，并将这些按新的教学系统重新组织；“广”指在保持本学科基本体系下，处理好与相邻以及交叉学科的关系；“用”指注重理论与实际融会贯通，特别是注入工程意识，包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点，合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课（专业基础课、专业课）教材的建设，并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设，力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者，确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验，又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务，以确保教材质量。

我们相信，本套系列教材的出版，对我国工程应用型人才培养质量的提高，必将产生积极作用，为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光，高瞻远瞩，及时提出并组织编写这套系列教材，他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作，并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件，在此深表衷心感谢！

编委会主任

湖南工程学院院长

刘国荣教授

前 言

先进制造技术从广义上而言包括了现代的设计理论和方法、先进的加工技术、先进的制造自动化技术和先进的生产管理模式。而机床数控技术正是先进的制造自动化技术最核心的技术之一。机床数控技术已经历了五十多年的发展历程，它不仅给传统的制造业带来了革命性的变化，使制造业成为工业化的象征，而且随着其技术水平的持续提高和应用领域的不断扩大，对其他重要行业（如 IT、汽车、化工等）的发展也起着越来越重要的作用。当今世界各国制造业广泛采用并发展机床数控技术，提高制造能力与制造自动化水平，以期在激烈的国际竞争中处于领先地位。

机床数控技术主要由机床本体（含基础大件、运动部件与辅助装置）、数控系统（含数控装置、进给驱动、主轴驱动装置）和数控加工技术三部分组成。

数控加工是泛指在数控机床上进行零件加工的工艺方法，它是一种能高效、优质地实现产品零件（特别是复杂形状零件）加工的有关理论、方法与实践技术。数控加工技术是自动化、柔性化、敏捷化和数字化制造加工的基础与关键技术。数控机床的运动可控性为数控加工提供了硬件基础，但数控机床是按照提供给它的指令信息——加工程序来执行运动的，因此数控加工工艺的制定和零件加工程序的编制是实现数控加工的重要环节，是获得合格零件的保证。特别是对于复杂零件加工，其重要性甚至超过数控机床本身。本教材重点介绍数控加工技术，它主要涉及数控加工工艺、数控加工工艺装备与数控加工程序编制等技术。

本书内容从数控加工技术的应用角度出发，首先介绍了有关数控技术的基本概念、数控机床的分类与应用、机床数控技术的研究与发展热点，以及加工工艺分析与设计方法和数控加工编程的基础知识。由于数控车床、数控铣床与加工中心的加工工艺、工装及程序编制在数控加工中具有典型的代表性，故本教材进而分别重点阐述了它们的结构特点与技术参数、加工中使用的夹具与刀辅具、换刀与对刀方式及相应的加工工艺、常用编程指令与加工程序编制方法，并给出了典型零件的加工程序编制实例。对于内容丰富且在数控加工中极有使用价值的用户宏程序，则设专门章节加以介绍。

此外，本教材还系统地介绍了数控特种加工技术、数控高速切削技术、精密和超精密加工技术与计算机辅助编程技术。为使读者对数控加工有一个全面的了解，对其他的数控常规加工技术（数控钻削加工、数控齿轮加工、数控冲压、数控折弯等）也作了简明的叙述。

“数控加工技术”是一门实践性、技术性和综合性非常强的专业课程。为更好地适应教学培训与生产，本教材力求做到：一、全书宗旨明确，紧密围绕数控加工技术一个主题展开；二、全书内容系统、完整，且编排轻重有度，在强化基础知识的同时，注重先进技术的介绍；三、取材新颖、实例丰富，强调理论与实际紧密结合。

本书由王令其、张思弟担任主编，雷学东、于杰担任副主编。其中绪论、第六章由王令其编写，第一章由王令其、于杰编写，第二章、第四章由张思弟编写，第五章、第七章由雷学东编写，第三章由于杰编写。全书由王令其、张思弟统稿与定稿。北京信息科技大学韩秋实教授主审，提出了许多宝贵意见与建议。

目 录

序

前言

绪论	1	第六节 数控铣床与加工中心程序编制	172
第一章 数控加工技术基础	6	第七节 数控铣床与加工中心加工示例	192
第一节 数控技术的基本概念	6	思考与练习	204
第二节 数控机床的分类及应用	10	第四章 用户宏程序	206
第三节 机床数控技术的研究与发展热点	16	第一节 概述	206
第四节 数控加工坐标系	23	第二节 变量	206
第五节 程序结构与程序段格式	29	第三节 变量的运算与控制指令	208
第六节 数控编程中的数值计算与处理	36	第四节 宏程序调用	212
第七节 数控加工工艺概述	42	第五节 应用示例	215
第八节 数控加工工艺分析	44	思考与练习	224
第九节 数控加工工艺设计	47	第五章 其他数控加工技术	225
思考与练习	58	第一节 常规数控加工技术	225
第二章 数控车削编程加工技术	60	第二节 数控特种加工技术	237
第一节 数控车床	60	思考与练习	260
第二节 数控车床夹具	76	第六章 高速切削与精密和超精密加工技术	262
第三节 数控车削刀具	80	第一节 高速切削技术	262
第四节 数控车床换刀与对刀	87	第二节 精密和超精密加工	277
第五节 数控车削加工工艺	91	思考与练习	293
第六节 数控车削加工程序编制	99	第七章 计算机辅助数控程序编制技术	294
第七节 数控车削加工示例	131	第一节 计算机辅助数控程序编制技术概述	294
思考与练习	143	第二节 计算机辅助数控编程的几何造型	298
第三章 数控铣床与加工中心编程加工技术	145	第三节 数控加工刀具轨迹的生成	306
第一节 数控铣床与加工中心	145	第四节 刀具轨迹编辑与验证	322
第二节 数控铣床与加工中心夹具	147	第五节 后置处理	325
第三节 数控铣床与加工中心刀辅具	149	思考与练习	327
第四节 数控铣床与加工中心的换刀与对刀	157	参考文献	328
第五节 数控铣床与加工中心加工工艺	162		

绪 论

制造业是将可用资源（包括物料、能源等）通过相应过程转化为可供人们使用的工业品或生活消费品的产业，是我国国民经济的支柱。国际生产工程学会认为，制造业涉及制造业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务的一系列相关活动和工作。在这个大制造的概念下，制造包括了产品整个生命周期过程。因而先进制造技术从广义上而言包括了现代的设计理论和方法、先进的加工技术、先进的制造自动化技术和先进的生产管理模式。而数控加工技术正是先进的制造自动化技术最核心的技术之一，它的出现给传统制造技术带来了革命性的变化。当今世界各国制造业广泛采用并发展数控加工技术，提高制造能力与制造自动化水平，以期在激烈的国际竞争中处于领先地位。

一、数控加工技术产生及发展的起因

现代社会对制造业提出了如下的要求：

- 1) 社会产品需求呈现多样化和个性化，且产品经济寿命大大缩短，要求形成以多品种、变批量的生产方式为主流的制造环境。
- 2) 传统产业（如汽车、轻工等）的发展与新兴产业（如信息技术及其产业、航空航天产业等）的形成，要求有效地解决并持续地提高复杂、精密、多变零件的加工问题。
- 3) 在激烈的市场竞争环境下，衡量产业竞争能力的首要因素已由成本转变为交货期，要求具备高效快速生产的能力，以适应用户为中心的买方市场的需求。

为了顺应上述需求，随着科学技术的发展，一种新型的用数字化信息来控制机床进行产品加工的技术——数控（NC）加工技术产生，并得到迅速发展和广泛应用。这种技术解决了复杂、精密、多变零件的加工问题，并在产品的品种需求发生变化时，使企业具有做出灵活快速的响应且及时转换生产的能力。努力推广数控加工技术，并使之向更高层次推进，已是当前机械制造业发展的方向。

二、数控加工技术的沿革

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加工技术，它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。1952 年美国 PARSONS 公司与麻省理工学院（MIT）合作研制了第一台可进行连续空间曲面加工的三坐标立式数控铣床，开创了数控加工的先河。1958 年美国又在世界上首先研制成功了带自动换刀装置的数控机床（现代加工中心（Machine Center）的雏形），将数控加工技术推向了一个新的领域。

20 世纪 60 年代，德国、日本和英国等先进工业国家紧随美国也陆续开发、生产和使用了数控机床。但由于当时数控系统（数控机床的控制核心）刚从电子管、晶体管时代发展到小规模集成电路时代，系统尚属于采用专用控制计算机的硬逻辑数控，故机床性能水平不高，加工能力较弱，可靠性较低，所以全世界实际使用的数控机床中 85% 是实现简单点位

控制加工的数控钻床和数控冲床。

20世纪70年代初期,出现了大规模集成电路和小型计算机,数控系统得以快速发展,小型计算机数控率先开始取代专用计算机的硬逻辑数控。到了1974年,美、日等国首先研制出以微处理器为核心的数控系统,这种体积小、运算速度快、处理能力强、可靠性高的微机数控系统给数控机床的发展注入了新的活力,加之数控机床机械结构与性能的改进与完善,使数控机床总体性能与质量有了很大提高。这一时期全世界数控机床的门类增多,产量增长,数控加工的范围与技术得到了很大的提升。特别是20世纪70年代,商品化了的加工中心已可将不同的加工工艺集成到一台机床上完成,促使其在工业中获得更广泛的应用,并开始成为当今机床工业的主流产品。

20世纪80年代以后,随着控制理论与方法取得突破性的进展、微处理器的性能不断提高、电力电子器件不断更新,以及检测和换刀等配套技术的广泛应用,作为数控加工的硬件基础——数控机床进入了成熟和普及期。除数控铣床、数控钻床、数控车床和加工中心外,起步较晚的数控磨床、数控齿轮加工机床、数控电加工机床、数控锻压机床和数控重型机床等也得到了较快发展。这一时期,由多台数控机床与自动物料传输装置相结合,由计算机集中控制的加工综合体——柔性制造系统(FMS)也进入了实用化阶段。其间还出现了更适应市场需求的柔性制造单元(FMC),它在加工中心基础上增加了托盘自动交换装置、刀具和工件的自动检测装置、加工过程自动监测功能等,因此具有更高的制造柔性、更高的生产效率与更良好的可扩展性。

进入20世纪90年代,世界范围内以发展门类齐全、品种规格系列化的高性能数控单机为基础,加快了向FMC、FMS及CIMS(计算机集成制造系统)全面发展的步伐。21世纪的数控加工技术正向高速和高精加工、多轴和复合加工、智能化和网络化,以及开放式的方向迈进。

值得指出的是,数控加工中关键技术之一的编程技术,几十年来也取得了巨大的进展。自1953年,美国空军与麻省理工学院协作,开始从事计算机辅助编程研究以来,迄今世界上已开发了多种自动编程语言,尤其是CAD/CAM(计算机辅助设计与制造)技术的引入,数控加工程序已由手工编制逐渐发展到采用计算机辅助编程,大大提高了编程质量与效率,数控加工技术水平得到全面提升。

我国数控加工技术的发展与工业发达国家时间上基本同步,但由于相关工业基础较差,尤其是作为数控系统的支撑领域——电子工业的薄弱,致使数控机床技术水平提高速度缓慢。直至20世纪80年代国家对数控机床的科技攻关与产业化给予了极大的支持,使数控加工技术水平有了很大的发展与提高。目前我国已经奠定了数控技术发展的基础,基本掌握了现代数控技术,并已具备商品化开发数控装置、驱动装置、数控主机的能力,形成了一批数控产业基地。数控机床的年产量与消费量与日俱增,仅2000年到2004年数控机床的消费量就增长了3倍,产量年增速近40%。从纵向看,我国数控技术发展的速度很快,但与发达工业国家比较,在技术水平、产业化水平、可持续发展能力上都有较大差距,仍需不懈的努力。

三、数控加工的特点与适应性

自20世纪50年代数控机床诞生以来,数控加工技术之所以得到了迅猛发展是因为与普

通机床加工相比，它具有以下几个方面的特点：

1. 具有加工复杂形状零件的能力

复杂形状零件在飞机、汽车、造船、模具、动力设备和国防军工等制造部门具有重要的地位，其加工质量直接影响整机产品的性能。数控加工运动的任意可控性使其能完成普通加工方法难以完成或者无法进行的复杂型面加工。

2. 具有良好的加工柔性

当加工对象改变时，数控加工几乎不需要制造与更换专用工装夹具，只需要选择相应的刀具和解决毛坯装夹方式后改变零件加工程序，即可适应不同品种的零件加工。这种加工方法体现出的良好的加工柔性，非常适应多品种、变批量、短周期的现代生产需要。

3. 加工精度高，质量稳定

数控机床是按预先编制好的加工程序自动进行工作的。目前编程中移动部件位移的设定当量普遍达到了 0.001mm ，且进给传动链的反向间隙、丝杠螺距误差、位置误差等均可由数控系统进行补偿校正。而对于需要多道工序完成的零件，使用数控机床（特别是加工中心）可实现一次安装连续加工，减少了安装误差。因此，数控加工能达到较高的加工精度。

此外，数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性，自动加工的方式又排除了生产者人为的操作误差，加工同一批零件的尺寸一致性好，产品合格率高，加工质量十分稳定。

4. 生产效率高，劳动强度低

零件加工所需要的时间包括机加工时间与辅助时间两部分。数控机床主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大，刚性比普通机床好，数控加工时每一道工序都能选用最佳的切削用量，以节省加工时间。数控机床在更换被加工零件时，只需改变加工程序而几乎不用重新调整机床，零件又安装在简单的定位夹紧装置中，大大降低了零件安装调整辅助时间。因此，数控机床的操作者只要熟练地掌握加工程序的编制技术，熟悉数控机床的操作，便能进行零件的自动加工，使生产效率大幅提升。

在生产效率提高的同时，数控机床在配有自动换刀装置、自动上下料装置和多种传感器的条件下，不仅具有全自动的加工功能，而且可对加工过程进行自动监控、检测、误差修正，故操作者的劳动强度与紧张程度均可减轻，劳动条件也得到了相应改善。

5. 有利于生产管理的现代化

数控加工可将CAD/CAM系统与数控机床紧密结合，形成设计与制造一体化的系统；数控加工能准确地计算零件加工工时、有效简化检验、工夹具和半成品管理；数控加工过程通过网络可实现远程故障诊断与维修，远程控制与调度。这些特点都加快了生产管理现代化进程。

数控加工的上述特点是以一定条件为前提的，尽管数控加工的适应范围在不断扩大，但目前还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。例如，对于装夹困难或完全靠找正定位来保证加工精度的零件；对加工余量很不稳定，而数控机床上又无在线检测系统可自动调节坐标位置的零件；对必须用特定的工艺装备协调加工的零件，以及生产批量大的零件（不排除其中个别工序采用数控加工），这些零件采用数控加工后，由于加工成本提高，加工中难以调整，维修困难等原因，在生产效率与经济性方面无明显改善，通常不应作为数控加

工的选择对象。

根据数控加工的特点与大量应用实践,最适应(广义上的适应,并非指某一具体种类的数控机床)数控加工的零件类型是:

- 1) 形状复杂,加工精度要求高或用数学模型描述的复杂曲线与曲面轮廓。
- 2) 必须在一次装夹中合并完成铣、镗、铰、钻及攻螺纹等多工序的零件。
- 3) 中、小批量生产,或一旦加工中受人为因素影响质量失控便造成重大经济损失的价值高的零件。
- 4) 在通用机床上加工时,要求设计制造复杂的专用工装夹具或需做长时间调整的零件。
- 5) 公差带小、互换性好、要求精确复杂的零件。

随着数控加工技术水平的不断发展与提高,加工适应性范围也随之不断拓宽,目前尚不适应的场合,以后很可能也进入适宜数控加工的范畴。

四、本课程的内容及学习目的

机床数控技术由机床本体(含基础大件、运动部件与辅助装置)、数控系统(含数控装置、进给驱动、主轴驱动装置)和数控加工技术三部分组成。本课程重点介绍数控加工技术,它主要涉及数控加工工艺、数控加工工艺装备与数控加工程序编制等技术。

本课程从数控加工技术的应用角度出发,首先介绍了有关数控技术的基本概念、数控机床的分类与应用、机床数控技术的研究与发展热点,以及加工工艺分析与设计方法和数控加工编程的基础知识。由于数控车床、数控铣床与加工中心的加工工艺、工装及程序编制在数控加工中具有典型的代表性,故本课程进而分别重点阐述了它们的结构特点与技术参数、加工中使用的夹具与刀辅具、换刀与对刀方式及相应的加工工艺、常用编程指令与加工程序编制方法,并给出了典型零件的加工程序编制实例。对于内容丰富且在数控加工中极有使用价值的用户宏程序,本课程则设专门章节加以介绍。

此外,本课程还系统地介绍了数控特种加工技术、数控高速加工技术、精密切削技术与计算机辅助编程技术。为使读者对数控加工有一个全面的了解,本课程还对其他的数控常规加工技术(数控钻削加工、数控齿轮加工、数控冲压、数控折弯等)作了简明的介绍。

“数控加工技术”是一门实践性、技术性和综合性非常强的专业课程,因此在学习本课程时必须注重课堂理论教学与实践环节(实验、课程设计及实习)密切配合,通过实践操作才能深入掌握本课程的知识,并具备灵活地运用所学的知识指导实际生产的能力。

通过本课程的学习,要求达到如下的目的:

- 1) 掌握数控加工工艺分析与设计、数控加工程序编制的基础知识。
- 2) 掌握数控车床加工及其程序编制技术。
- 3) 掌握数控铣床与加工中心加工及其程序编制技术。
- 4) 掌握用户宏程序在数控编程中的应用。
- 5) 熟悉数控特种加工技术。
- 6) 熟悉高速切削与精密切削技术。
- 7) 熟悉计算机辅助程序编制技术。
- 8) 了解数控机床的分类与应用,数控加工的特点与适应性。
- 9) 了解数控加工技术的沿革及发展趋势。

- 10) 了解其他常规数控加工技术。
- 11) 了解机床数控技术的研究与发展热点。

本书每章后都附有丰富的习题，通过这些习题的练习，学习者可更好地掌握本课程所介绍的内容。

第一章 数控技术基础

第一节 数控加工的发展概况

数控加工的发展概况，是指从20世纪40年代末开始，以计算机技术为核心的数控加工技术，在制造业中广泛应用，并不断向高精度、高效率、高柔性、高可靠性方向发展。数控加工技术的发展，是随着计算机技术、自动控制技术、精密加工技术等学科的交叉融合而实现的。数控加工技术的出现，是制造业发展史上的一个重要里程碑。它不仅提高了加工精度和效率，还实现了加工过程的自动化和智能化。随着计算机技术的不断进步，数控加工技术也在不断创新和发展，为现代制造业的发展提供了强有力的支撑。数控加工技术的发展，不仅改变了传统的加工方式，也推动了制造业的转型升级。在智能制造、工业4.0等概念的推动下，数控加工技术正朝着更加智能化、网络化和集成化的方向发展。未来，数控加工技术将继续在制造业中发挥越来越重要的作用，为人类社会的进步做出更大的贡献。

第二节 数控加工系统的组成

数控加工系统的组成，是指由数控装置、伺服驱动、机械传动、刀具、工件、冷却液等组成的一个完整的加工系统。数控加工系统的组成，是随着数控技术的发展而不断完善的。一个完整的数控加工系统，通常包括以下几个部分：数控装置、伺服驱动、机械传动、刀具、工件、冷却液等。数控装置是数控加工系统的核心，它负责接收加工指令并控制加工过程。伺服驱动是数控加工系统的动力源，它负责驱动机械传动部件的运动。机械传动是数控加工系统的执行机构，它负责将伺服驱动的动力传递给刀具。刀具是数控加工系统的加工工具，它负责去除工件上的多余材料。工件是数控加工系统的加工对象，它通过机械传动的运动而被加工。冷却液是数控加工系统的辅助材料，它用于冷却刀具和工件，防止加工过程中产生过多的热量。数控加工系统的组成，是一个相互协作、相互影响的有机整体。只有各个部分都正常工作，才能保证数控加工系统的正常运行。随着数控加工技术的不断发展，数控加工系统的组成也在不断优化和升级。未来，数控加工系统将朝着更加智能化、网络化和集成化的方向发展，为制造业的发展提供更加高效、精准的加工服务。

第一章 数控加工技术基础

第一节 数控技术的基本概念

一、数控、数控机床及数控加工技术

数控即数字控制 (Numerical Control, NC), 是数字程序控制的简称, 数控技术是一种通过特定处理方式下的数字化信息去实现自动化控制的技术。从广义上看, 数控技术本身在工控与测量、理化试验与分析、物质与信息的传输、建筑以及科学管理等领域都有着广泛的应用, 而本书中的数控技术则具体指机床数控技术, 显然这是从狭义上而言的数控。

国家标准 (GB8129—1987) 把机床数控技术定义为“用数字化信息对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法”, 数控机床就是数控技术与机床相结合的产物。国际信息处理联盟 (International Federation of Information Processing) 第五技术委员会对数控机床作了以下定义: “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代码, 或其他符号编码指令规定的程序。”换言之, 数控机床是一种以计算机数控系统为核心, 利用数字化信息进行控制的, 能实现高效自动化加工的机床。它能够按照特定的指令代码把零件加工过程中各种机械位移量、工艺参数、辅助功能 (如换刀、切削液开与关等) 表示出来, 经过数控系统的逻辑处理与运算, 发出各种指令控制机床运动, 自动完成零件加工任务。所以数控机床是一种自动化程度很高的机电一体化加工设备。

数控加工是泛指在数控机床上进行零件加工的工艺方法。一般地说, 数控加工技术主要涉及数控机床加工工艺和数控编程技术两大方面, 数控加工中的刀具、夹具等工装也在其涉及的范畴之内。数控机床的运动可控性为数控加工提供了硬件基础, 但数控机床是按照提供给它的指令信息——加工程序来执行运动的, 因此数控加工工艺的制定和零件加工程序的编制是实现数控加工的重要环节, 是获得合格零件的保证。特别是对于复杂零件加工, 其重要性甚至超过数控机床本身。由此可见, 数控加工技术是一种能高效、优质地实现产品零件 (特别是复杂形状零件) 加工的有关理论、方法与实践技术, 是自动化、柔性化、敏捷化和数字化制造加工的基础与关键技术。

二、机床数控技术的组成

机床数控技术主要由机床本体、数控系统和数控加工技术三大部分组成, 如图 1-1 所示。

1. 机床本体

数控机床与普通机床在整体布局上有不少相似之处, 它主要由床身、立柱、导轨等基本大件, 主轴、工作台、拖板等运动部件, 自动换刀机构、自动上下料机构、自动排屑机构等辅助装置组成。但由于数控机床切削用量大, 连续加工发热量大, 切削速度、功率范围广,

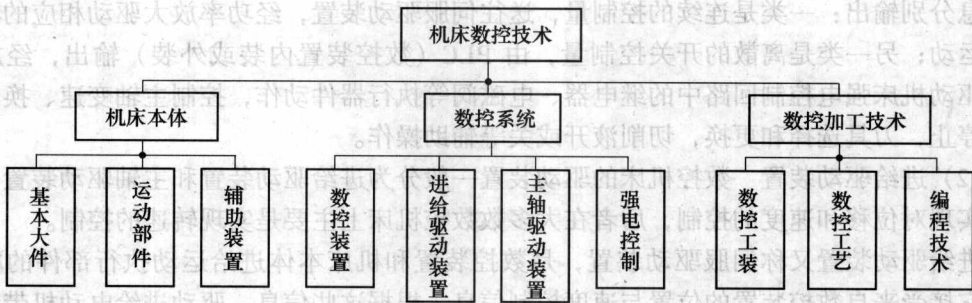


图 1-1 机床数控技术组成

故在设计中相对普通机床作了重大的调整，这些调整集中体现在：

- 1) 采用了高性能的主轴及伺服传动系统，机床传动系统机械结构大为简化。
- 2) 采用了滚珠丝杠、滚动导轨等高效、无间隙的传动部件，机床各个运动副间的摩擦系数较小，传动精度较高。
- 3) 机床的机械结构具有较高的刚度、阻尼精度及耐磨性，热变形降低。
- 4) 机床功能部件、辅助装置增多，形成了多功能集成化和工艺复合化的新结构。

这些变化很好地满足了机床数控技术的要求，并充分适应了数控机床加工的特点。

2. 数控系统

数控系统是一种程序控制系统，它严格按照外部输入的数控加工程序控制机床运动。由于按规定标准编制的加工程序，记载了机床加工所需的全部信息（刀具轨迹信息、工艺信息等），故数控机床可自动加工出符合图样要求的零件。

数控系统主要由输入输出装置、数控装置、进给驱动装置、主轴驱动装置、电器控制装置等部分组成。其结构如图 1-2 所示。

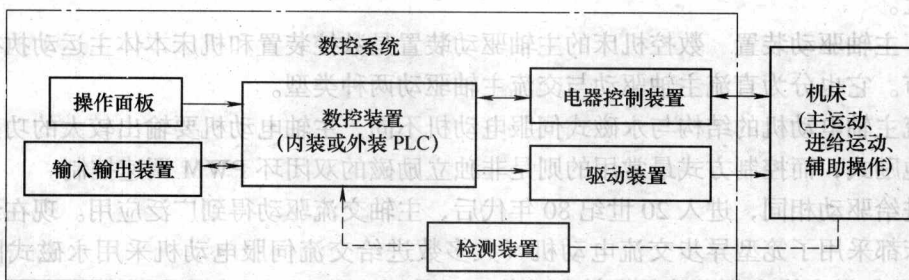


图 1-2 数控系统组成

(1) 数控装置 数控装置是数控系统的核心。目前的数控装置大多由基于微型计算机的硬件和软件来实现其功能，所以称之为计算机数控 (CNC) 装置。CNC 装置一方面具有一般微型计算机的基本硬件结构，如 CPU、存储器、输入/输出接口等，另一方面则具有数控机床完成特有功能所需要的功能模块和接口单元，如手动数据输入 (Manual Data Input, MDI) 接口，可编程逻辑控制器 (PLC) 接口等。

CNC 装置的系统软件由管理和控制两部分组成。通过 MDI 方式直接从键盘输入，或通过软驱、USB 接口、RS232C 接口等输入的数控加工程序，由数控装置软件加以识别与解释，并对解释结果的各类数据进行运算和逻辑处理。运算与处理后的数控加工程序按两类控