



面向21世纪高等职业教育精品课程规划教材
高等职业教育课程改革项目优秀教学成果

(第2版)

数控加工 工艺与编程

主编◎杨建明

The Processes
Handicraft &
Programming of NC



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

面向 21 世纪高等职业教育精品课程规划教材
高等职业教育课程改革项目优秀教学成果

数控加工工艺与编程

(第 2 版)

主 编 杨建明



 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

全书共分成六章,全面介绍了数控加工的切削基础、数控加工的工艺基础、数控机床的编程基础、数控车削加工工艺与编程、数控铣削加工工艺与编程、数控加工中心加工工艺与编程。

本书简明扼要,浅显易懂,理论结合实践,是一本针对性和实用性较强的教材。书中将数控机床必备的数控加工工艺规程的制订与数控编程有机联系在一起,所选实例具有较强的实用性和代表性。所有实例均经过模拟验证,并配有模拟结果,读者可以举一反三。

本书可作为数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造及自动化专业、模具设计与制造专业、计算机辅助设计与制造专业的教学用书或者技能培训用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工工艺与编程/杨建明主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社, 2009. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 0758 - 4

I. 数… II. 杨… III. ①数控机床 - 加工工艺 - 高等学校 - 教材
②数控机床 - 程序设计 - 高等学校 - 教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 139922 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中国美凯印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 24.5

字 数 / 462 千字

版 次 / 2009 年 8 月第 2 版 2009 年 8 月第 7 次印刷

印 数 / 17001 ~ 21000 册

定 价 / 39.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

再版说明

为适应制造业的深层次发展和数控技术的广泛应用，北京理工大学出版社根据高等职业教育发展与改革的新形势，于2006年组织知名专家、学者，与生产制造企业的技术人员反复研讨，以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的若干意见》等文件对高职高专人才培养的要求为指导思想，确立了“满足制造业对人才培养的需求，适应行业技术改革，紧跟前沿技术发展”的思路，编写了“21世纪高职高专机电类系列规划教材”。

出版两年多来，中国社会发生着巨大的变化，中国制造业不断地发展前进，中国的职业教育也在不断地进步和成熟，同时，我社接到许多读者和教师的来函来电，给我们提出了许多宝贵的意见。为了适应社会需求和教育思想的转变，也为了改进我们的工作，我社于2008年集中优秀的作者力量对本系列教材进行了再版，并在2009年陆续予以出版。

随着我国职业教育的不断发展，高职教育正处于摸索和改革的重要阶段，使课程建设与职业需求有效地接轨，是我国高职教育改革的重点。当今，职业教育课程改革止步不前的原因在于课程微观内容的设计与编排远未跳出学科体系的藩篱，因而在这一传统观念束缚下编写的教材始终不能适应职业工作的需要。一般来说，课程内容可分为两大类：一类是涉及事实、概念以及理解、原理方面的“陈述性知识”，主要解决“是什么”（事实、概念等）和“为什么”（原理、规律等）的问题；一类是涉及经验以及策略方面的“过程性知识”，主要解决“怎么做”（经验）和“怎么做更好”（策略）的问题。显然，就业导向的职业教育首先要解决的是内容的取舍问题，应以过程性知识为主、陈述性知识为辅，即以实际应用的经验和策略的习得为主、以适度够用的概念和原理的理解为辅。

基于这一理念，此次再版本着“紧跟课改、理念先进、内容实用、教师好教、学生爱学”的理念，在形式和内容上进行了改进，如：

1. 在目录之后加上该门课程对应岗位及岗位需求知识点，让学生明确学习目的和目标；

2. 通过加强图表的应用，来增强教学过程中的直观性，以达到理论够用、突出实践的目的；
3. 加强案例和实践项目在教学中的运用，以达到提高学生技能的目的；
4. 灵活运用知识拓展模块，给有学习兴趣的学生提供更多的知识；
5. 协同企业共同打造应用性更强、实践性更好的应用型教材；
6. 打造丰富的立体教学资源平台，简化教师的教学和学生的预习复习过程。

本套教材适用于作为高职高专机电一体化、数控技术、机械制造与自动化、模具设计与制造等专业的课程教学和技能培训。

由于我们的能力有限，并且深感知识世界的广袤无垠，谬误之处在所难免，恳请读者批评指正。

北京理工大学出版社

第1版前言

本书是根据国家教育部数控技术应用专业技能紧缺型人才培养方案与劳动和社会保障部制定的有关国家职业标准及相关的职业技能鉴定规范,结合编者多年的教学实践经验编写而成。

数控加工工艺是数控编程与操作的基础,合理的工艺是保证数控加工质量、发挥数控机床效能的前提条件。本书以理论联系实际为指导,其内容丰富,详简得当,并有较强的实用性。本书内容体系符合高职高专教学规律,既有系统的理论,又有相关的实例,并配有相对应的思考题。

全书共分成六章,全面介绍了数控加工的切削基础、数控加工的工艺基础、数控机床的编程基础、数控车削加工工艺与编程、数控铣削加工工艺与编程、数控加工中心加工工艺与编程等。

根据培养岗位适应性较强、需求量和紧缺性较大、有较强实际操作技能和较丰富加工工艺知识的数控技术人才的目标,本书对数控加工编程知识体系进行了整体优化,选取数控加工编程与操作中最基本的概念及大量编程实例,通过典型数控机床加工编程与操作,将各部分教学内容有机联系、互相渗透和互相贯通。本书既满足理论教学要求,又满足操作技能训练要求,既满足专业知识的要求,又满足技能鉴定的要求,体现了教学与技能鉴定的有机结合,具有广泛的实用性及适用性。书中将数控机床必备的数控加工工艺规程的制订与数控编程有机联系在一起,所选实例具有较强的实用性和代表性。所有实例均经过模拟验证,并配有模拟结果,读者可以举一反三。

本书可作为数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造及自动化专业、模具设计与制造专业、计算机辅助设计与制造专业的教学用书或者技能培训用书。

本书由江苏联合职业技术学院无锡交通分院杨建明任主编，邹军任副主编。其中第 1 章、第 4 章由杨建明编写；第 2 章、第 3 章由邹军编写；第 5 章、第 6 章由崔元刚编写。

由于编者水平有限，加上编写较为匆忙，谬误欠妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

第 2 版前言

制造自动化技术是先进制造技术中的重要组成部分，其核心技术是数控技术。从 20 世纪中叶数控技术出现以来，数控机床给机械制造业带来了革命性的变化。数控机床的特点及其应用范围使其成为国民经济和国防建设发展的重要装备。

进入 21 世纪，我国制造业在世界上所占的比重越来越大，随着我国逐渐成为“世界制造业中心”进程的加快，社会急需大批熟悉并掌握数控加工工艺、数控编程、操作和维护的应用型高级技术人才。国家相关部门对此极为重视，采取了一系列相应的措施。例如，教育部启动了“实施制造业和服务业技能型紧缺人才培养工程”，劳动和社会保障部也实施了“国家高技能人才培养工程”。

为了适应国家对数控高技能人才的需求，根据“高等职业教育机械类专业人才培养目标及基本规格”的要求编写了本书。结合目前高等职业教育、职业技能培训特点，“以职业能力为本位，以应用为核心”，本书完全面向生产第一线所需要的应用型技术人才的工程素质培养要求，知识内容选择上体现以“必需、够用、实用”为度的原则，抓住高等职业技术教育的本质，应用实例紧密结合生产实际。

世界上知名数控系统的种类较多，如法那科（FANUC）、西门子（SIEMENS）、法格（FAGOR）等，其功能及编程方法虽有不同，但都大同小异，学会一种系统的编程，就可达到触类旁通的效果。

全书共分 6 章，全面介绍了数控加工的切削基础、数控加工的工艺基础、数控机床的编程基础、数控车削加工工艺与编程、数控铣削加工工艺与编程、数控加工中心加工工艺与编程等。

本书对数控加工编程知识体系进行了整体优化，选取数控加工编程与操作中最基本的概念及大量编程实例，通过典型数控机床加工编程与操作，将各部分教学内容有机联系、互相渗透和互相贯通。本书既满足理论教学要求，又满足操作技能训练要求，既满足专业知识的

要求，又满足技能鉴定的要求，体现了教学与技能鉴定的有机结合，具有广泛的实用性及适用性。书中将数控机床必备的数控加工工艺规程的制订与数控编程有机联系在一起，所选实例具有较强的实用性和代表性。所有实例均经过模拟验证，并配有模拟结果，读者可以举一反三。

本书可作为数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造及自动化专业、模具设计与制造专业、计算机辅助设计与制造专业的教学用书或者技能培训用书。

本书由杨建明任主编，邹军任副主编，其中第1章、第4章由杨建明编写，第2章、第3章由邹军编写，第5章、第6章由崔元刚编写。

由于编者水平有限，时间仓促，本书难免有不足之处，望读者和同仁提出宝贵意见。

编 者

目 录

第 1 章 数控加工的切削基础	(1)
1.1 概述	(2)
1.1.1 切削运动和工件上的加工表面	(2)
1.1.2 切削要素	(4)
1.2 金属切削过程的一般规律	(6)
1.2.1 金属切削过程中的变形	(6)
1.2.2 切屑的形成、种类及控制	(8)
1.2.3 金属材料的切削加工性	(11)
1.2.4 积屑瘤与鳞刺	(13)
1.2.5 切削力	(14)
1.2.6 切削热与切削温度	(17)
1.3 刀具及参数的选择	(19)
1.3.1 刀具简介	(19)
1.3.2 刀具材料及刀具磨损	(26)
1.3.3 刀具几何参数的选择	(32)
1.4 切削用量和切削液的选择	(38)
1.4.1 切削用量的选择	(38)
1.4.2 切削液及其选择	(40)
1.5 夹具的选择	(42)
1.6 工件的定位	(46)
1.6.1 工件定位的基本原理	(46)
1.6.2 常用的定位方式	(49)
1.6.3 定位误差	(52)
1.7 工件的夹紧	(56)
1.7.1 工件夹紧概述	(56)
1.7.2 数控机床常用夹紧机构	(59)

1.8 先导案例解决	(61)
思考题一	(61)
第2章 数控加工的工艺基础	(63)
2.1 基本概念	(63)
2.1.1 生产过程	(63)
2.1.2 工艺过程的组成	(65)
2.1.3 生产纲领、生产类型及其工艺特征	(67)
2.2 机械加工工艺流程的制定	(69)
2.2.1 机械加工工艺流程制定的作用、基本要求、主要依据、步骤和格式	(70)
2.2.2 零件的工艺分析	(78)
2.2.3 零件毛坯的选择	(81)
2.2.4 工件的定位和定位基准的选择	(82)
2.2.5 工艺路线的拟定	(88)
2.2.6 机床与工艺装备的选择	(96)
2.2.7 切削用量与工时定额的确定	(97)
2.3 加工余量的确定	(99)
2.3.1 加工余量的概念	(99)
2.3.2 确定加工余量的方法	(101)
2.4 工序尺寸及公差确定	(103)
2.4.1 工艺基准与设计基准重合时	(103)
2.4.2 工艺基准与设计基准不重合时	(104)
2.5 加工精度及表面质量	(113)
2.5.1 加工精度	(113)
2.5.2 表面质量	(122)
2.6 先导案例解决	(125)
思考题二	(128)
第3章 数控机床的编程基础	(132)
3.1 程序编制的基本步骤和内容	(132)
3.2 手工编程与自动编程	(134)
3.2.1 手工编程	(134)
3.2.2 自动编程	(134)
3.3 程序的结构与格式	(135)

3.3.1	程序的结构	(135)
3.3.2	程序段的格式	(136)
3.4	数控机床的坐标系	(151)
3.4.1	坐标系的确定原则	(151)
3.4.2	坐标轴的确定	(152)
3.4.3	机床坐标系与工件坐标系	(153)
3.4.4	对刀点和换刀点的确定	(156)
3.5	常用编程指令	(157)
3.5.1	有关坐标系的指令	(157)
3.5.2	快速定位和插补指令	(159)
3.5.3	暂停(延时)指令	(163)
3.5.4	等螺距螺纹加工指令	(163)
3.5.5	返回参考点指令	(165)
3.5.6	单位转换的相关指令	(167)
3.5.7	刀具补偿指令	(168)
3.6	子程序的应用	(171)
3.7	宏程序的应用	(173)
3.7.1	宏程序的基本知识	(173)
3.7.2	宏程序的调用	(181)
3.7.3	宏程序及其应用实例	(184)
3.8	先导案例解决	(187)
	思考题三	(189)
第4章	数控车削加工工艺与编程	(191)
4.1	数控车床及其加工对象	(192)
4.1.1	数控车床的类别及主要技术参数	(192)
4.1.2	数控车床的结构特点	(194)
4.1.3	数控车床的主要加工对象	(195)
4.1.4	数控车床的加工特点	(196)
4.2	数控车削加工的工艺特点及内容	(199)
4.2.1	数控加工的工艺特点	(199)
4.2.2	数控车削加工的主要内容	(200)
4.3	数控车削加工工艺的制定	(202)
4.3.1	分析零件图	(202)

4.3.2	制定工艺方案	(203)
4.4	数控车床的编程	(217)
4.4.1	单一固定循环	(217)
4.4.2	多重复合循环	(220)
4.5	先导案例解决	(226)
	思考题四	(236)
第5章	数控铣削加工工艺与编程	(239)
5.1	数控铣床及其加工对象	(239)
5.1.1	数控铣床类型	(240)
5.1.2	数控铣床组成结构和主要技术参数	(241)
5.1.3	数控铣床或加工中心的选用	(244)
5.1.4	数控铣削加工对象	(245)
5.2	数控铣削工艺基本知识	(246)
5.2.1	数控铣削加工工艺过程	(246)
5.2.2	数控铣削刀具路径拟定	(247)
5.2.3	铣削方式的选择	(252)
5.2.4	数控铣削用量的选用	(254)
5.3	CNC 铣床的偏置与补偿	(256)
5.3.1	CNC 铣床坐标系	(256)
5.3.2	设定工件坐标系	(258)
5.3.3	基于零点偏置的对刀方法	(258)
5.4	平面铣削工艺与编程	(260)
5.4.1	平面铣削加工的内容与要求	(260)
5.4.2	平面铣削方法	(260)
5.4.3	面铣刀及选用	(261)
5.4.4	平面铣削的路线设计	(263)
5.4.5	平面铣削用量	(264)
5.4.6	单次面铣的加工实例	(265)
5.4.7	大平面铣削时的刀具路线	(267)
5.5	轮廓铣削工艺与编程	(268)
5.5.1	轮廓周铣	(268)
5.5.2	立铣刀及选用	(268)
5.5.3	轮廓周铣削用量	(270)

5.5.4	轮廓分层铣削	(271)
5.5.5	正六边形轮廓铣削实例	(273)
5.6	槽铣削工艺与编程	(277)
5.6.1	铣槽加工简介	(277)
5.6.2	铣槽刀具及选用	(278)
5.6.3	精确沟槽铣削刀具路线设计	(279)
5.6.4	铣削用量选用特点	(281)
5.6.5	半开放窄槽加工实例	(281)
5.6.6	封闭窄槽加工工艺实例	(283)
5.7	型腔铣削加工工艺与编程	(285)
5.7.1	型腔铣削加工的内容与要求	(285)
5.7.2	型腔铣削方法	(285)
5.7.3	刀具选用	(285)
5.7.4	型腔铣削的路线设计	(286)
5.7.5	型腔铣削用量	(286)
5.7.6	型腔铣削加工实例	(287)
5.8	先导案例解决	(291)
5.8.1	零件加工工艺规程	(291)
5.8.2	数控铣凸轮轮廓工序工艺设计	(292)
	思考题五	(297)
第6章	加工中心加工工艺与编程	(300)
6.1	加工中心概述	(301)
6.1.1	加工中心的概念和主要优势	(301)
6.1.2	镗铣加工中心的两种类型	(302)
6.1.3	加工中心的组成和特点	(305)
6.2	加工中心的自动换刀	(306)
6.2.1	刀库形式	(306)
6.2.2	刀具的选择方式	(307)
6.2.3	刀具换刀装置和交换方式	(310)
6.2.4	换刀程序的编制	(312)
6.3	孔加工及固定循环	(315)
6.3.1	孔加工概述	(315)
6.3.2	孔加工固定循环格式	(316)

6.3.3	钻孔加工循环及应用	(319)
6.4	钻孔、扩孔、铰孔加工工艺与编程	(324)
6.4.1	实体上钻孔加工	(324)
6.4.2	扩孔加工	(330)
6.4.3	铰孔加工	(330)
6.4.4	孔加工工艺与编程实例	(332)
6.5	攻丝加工工艺与编程	(336)
6.5.1	攻丝加工的内容与要求	(336)
6.5.2	丝锥及选用	(337)
6.5.3	CNC 机床攻丝工艺与编程的要点	(339)
6.5.4	攻内螺纹工艺与编程实例	(342)
6.6	铰孔加工工艺与编程	(344)
6.6.1	铰孔加工工艺	(344)
6.6.2	铰孔工艺与编程实例	(348)
6.7	镗孔加工工艺与编程	(353)
6.7.1	镗孔加工概述	(353)
6.7.2	镗刀及选用	(354)
6.7.3	镗孔循环	(355)
6.7.4	镗孔工艺与编程实例	(358)
6.8	加工中心 Z 向对刀方案设计	(361)
6.8.1	机床、刀具、工件的位置点及 Z 向对刀问题	(361)
6.8.2	机床、刀具、工件在 Z 方向相对位置值及寄存	(362)
6.8.3	基于机外对刀的 Z 向方案 (方案 1)	(363)
6.8.4	接触法测量刀具 Z 向长度补偿的对刀方法 (方案 2)	(364)
6.8.5	设定基准刀的接触法 Z 向对刀 (方案 3)	(365)
6.8.6	优化的基准刀对刀 (方案 4)	(365)
6.8.7	机外对刀仪上的刀具测量	(366)
6.9	先导案例解决	(367)
6.9.1	壳体零件加工工艺规程	(367)
6.9.2	加工中心工序工艺设计	(367)
6.9.3	拟定数控铣削加工工序卡片	(370)
6.9.4	编写加工程序	(371)
	思考题六	(375)
	参考文献	(377)

第 1 章 数控加工的切削基础

本章知识点

1. 切削加工运动的相关基本概念
2. 金属切削过程的一般规律及相关概念
3. 刀具的结构、刀具材料的种类及选用
4. 刀具几何参数的选择
5. 切削用量和切削液的选择方法
6. 夹具的作用、分类、组成及选用
7. 工件的定位方法与夹紧

先导案例

图 1-1 所示零件图为一数控车床高级工考工图纸，零件外形椭圆长轴为 30，短轴为 20。该零件件一毛坯为一 $\Phi 50 \times 65$ 的棒料，件二毛坯为一 $\Phi 50 \times 40$ 的棒料，现要求在数控车床上完成该零件的加工，试写出该零件加工工序的划分。

在数控机床上加工零件，是由事先编制好的数控加工程序来控制。能否充分发挥数控机床的加工特点，关键在于程序是否正确，加工工艺是否合理。数控加工工艺具有工艺内容具体、工艺设计严密和工序相对集中的特点，要想编写合理的工艺、正确的程序，要求编写人员具有全面、扎实的数控加工工艺基础知识和一定的工作经验。本章将对数控加工工艺基础知识进行较为全面的介绍。

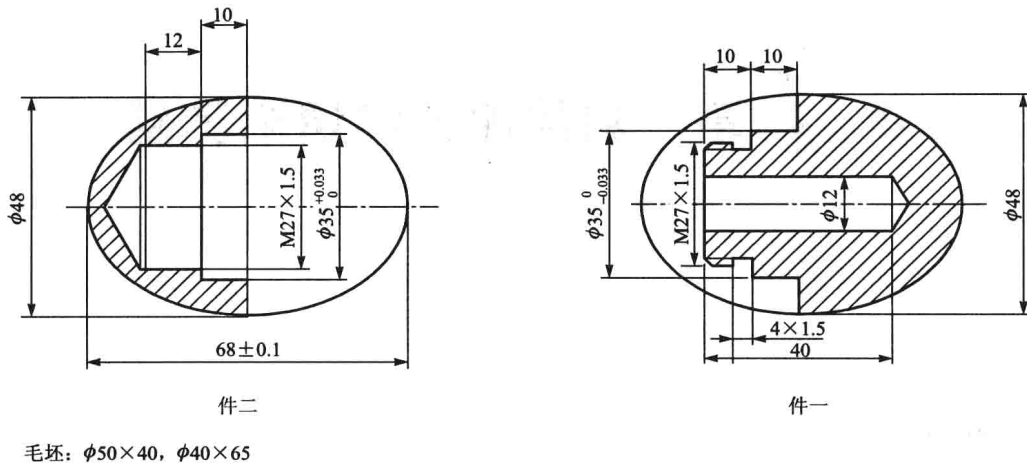


图 1-1 零件图

1.1 概 述

1.1.1 切削运动和工件上的加工表面

在金属切削加工过程中，数控机床的运动主要包括金属切削运动和辅助运动。

1. 金属切削运动

金属切削加工就是用金属刀具把工件毛坯上的余量（预留的金属材料）切除，获得图样所要求的零件。在切削过程中，刀具和工件之间必须有相对运动，这种相对运动就称为切削运动。切削运动是由金属切削机床通过两种运动单元组合而成的，其一是产生切削力的运动，其二是保证切削工作连续进行的运动，按照它们在切削过程中所起的作用，通常分主运动和进给运动。

(1) 主运动

主运动是由机床提供的主要运动，它使刀具和工件之间产生相对运动，为切削加工提供切削力。主运动一般只有一个，可以是旋转运动，如车削时工件的旋转运动（见图 1-2）、铣削时铣刀的旋转运动；也可以是直线运动，如刨削时刀具或工件的往复直线运动。其特点是切削速度（ v_c ）最高，消耗的机床功率也最大。

(2) 进给运动

进给运动是由机床提供的使刀具与工件之间产生的相对运动，加上主运动即可不断地或