



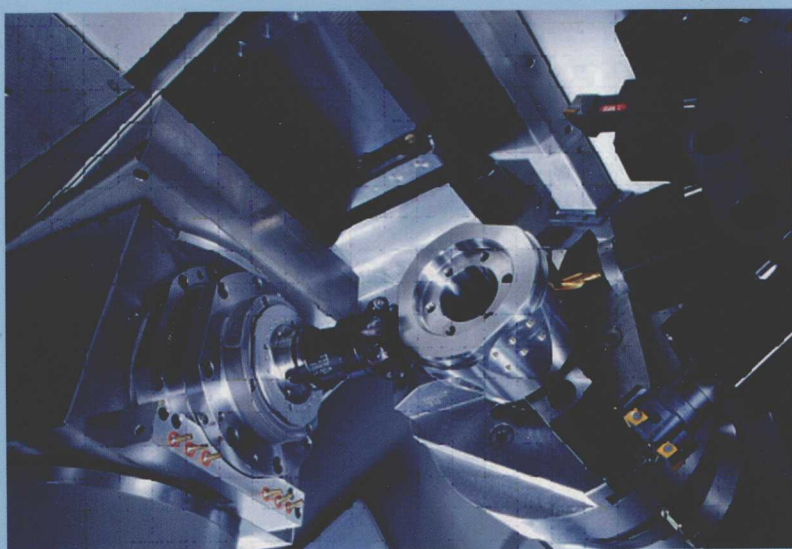
高等职业教育机电类专业规划教材  
国家技能型紧缺人才培养教材

# 数控加工工艺及装备

SHUKONG JIAGONG GONGYI JI ZHUANGBEI

高等职业教育机电类专业教学研究会 组编

主编：肖爱武 罗红专 副主编：陈本兴 聂笃伟 糜敏芳 彭永忠 主审：韩亚利



中南大学出版社

高等职业教育机电类专业规划教材

# 数控加工工艺及装备

高等职业教育机电类专业教学研究会 组编

主 编 肖爱武 罗红专  
副主编 陈本兴 聂笃伟

图书馆  
章



中南大学出版社

---

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺及装备/肖爱武编著. —长沙:中南大学出版社,  
2008. 5

ISBN 978-7-81105-671-6

I. 数... II. 肖... III. ①数控机床—加工工艺②数控机床—  
加工—设备 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 064098 号

---

数控加工工艺及装备

主 编 肖爱武 罗红专

副主编 陈本兴 聂笃伟

糜敏芳 彭永忠

主 审 韩亚利

---

☐责任编辑 谭 平

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 长沙市利君漾印刷厂

---

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 15.75 ☐字数 384 千字

☐版 次 2008 年 6 月第 1 版 ☐2008 年 6 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-671-6

☐定 价 30.00 元

---

图书出现印装问题,请与经销商调换



## 总 序

加入世贸组织后,我国机械制造业迎来了空前的发展机遇,我国正逐步变成“世界制造中心”。为了增强竞争能力,中国制造业开始广泛使用先进的数控技术、模具技术,21世纪机械制造业的竞争,其实是数控技术的竞争。随着数控技术、模具技术的迅速发展及数控机床的急剧增长,我国机械企业急需大批数控机床编程、操作、维修技术人才及模具设计与制造技术人才,而目前劳动力市场这种技术应用型人才严重短缺。为此,教育部会同劳动和社会保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部联合启动了“职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程”,明确了高等职业教育的根本任务就是要从劳动力市场的实际需要出发,坚持以就业为导向,以全面素质为基础,以能力为本位,努力造就数以千万计的制造业和现代服务业一线迫切需要的高素质技能型人才。并在全中国选择确定了90所高职院校、96所中职院校作为数控技术技能型紧缺人才培养培训工程示范院校,推荐403个企事业单位作为校企合作数控培养培训基地。计划2003~2007年向社会输送数控专业毕业生数十万人,提供短期培训数十万人次,以缓解劳动力市场数控技能型人才紧缺的现状。

大量培养技能型人才中的一个重要问题就是教材。在机电类专业高等职业教育迅速发展的同时,具有高职特色的机电类专业教材极其匮乏,不能满足技能型人才培养的需要。为了适应机电类高职教育迅速发展的形势,在湖南省教育厅职成处,湖南省教育科学研究院的支持、指导和帮助下,湖南省高等职业教育机电类专业教学研究会和中南大学出版社进行了广泛的调研,探索出版符合高职教育教学模式、教学方式、教学改革的新教材的路子。他们组织全国30多所高职院校的院系领导及骨干教师召开了多次教材建设研讨会,充分交流了教学改革、课程设置、教材建设的经验,把教学研究与教材建设结合起来。并对机电类专业高职教材的编写指导思想、教材定位、特色、名称、内容、篇幅进行了充分的论证,统一了思想,明确了思路。在此基础上,由湖南省高等职业教育机电类专业教学研究会牵头,成立了“湖南省机电类专业规划教材编委会”,组织编写出版了高等职业教育机电类专业系列教材,这套教材包括机电类所有专业的公共专业基础课教材及数控、模具专业的核心专业课教材。教材的编委会由业内权威教授、专家、高级工程师技术人员组成,作者都是具有丰富教学经验、较高学术水平和实践经验的教授、专家及骨干教师、双师型教师。编委会通过推荐、招标、遴选确定了每本书的主编,并对每本书的编写大纲、内容进行了认真的审定,还聘请了中南大学、湖南大学等高校的教授、专家担任教材主审,确保了教材的高质量及权威性和专业性。

根据高职教育应用型人才培养目标,这套教材既具有高等教育的知识内涵,又具有职业教育的职业能力内涵,主要体现了以下特点。

(1) 以综合素质为基础,以能力为本位。

本套教材把提高学生能力放在突出的位置,符合教育部机电类专业教学基本要求和人才

培养目标,注重创新能力和综合素质培养。尽量做到理论与实践的零距离,教材的编写注重技能性、实用性,加强实验、实训、实习等实践环节,力求把学生培养成为机电行业一线迫切需要的应用型人才。

(2) 以社会需求为基本依据,以就业为导向。

适应社会需求是职业教育生存和发展的前提,也是职业教育课程设置的基本出发点。本套教材以机电企业的工作需求为依据,探索和建立根据企业用人“订单”进行教育与培训的机制,明确职业岗位对核心能力和一般专业能力的要求,重点培养学生的技术运用能力和岗位工作能力。教材选用了技术先进、占市场份额最大的FANUC(法那科)、SIEMENS(西门子)和华中典型数控系统,既具针对性,又兼适应性,使学生具有较强的就业岗位适应能力。

(3) 反映了机电领域的新知识、新技术、新工艺、新方法。

本套教材充分反映了机电行业内最新发展趋势和最新研究成果,体现了数控、模具领域的新知识、新技术、新工艺、新方法,克服了以往专业教材中存在的內容陈旧、更新缓慢的弊端,选择了目前最新的数控系统为典型实例,采用了最新的国家标准及相关技术标准。

(4) 贯彻学历教育与职业资格证书、技能证考试相结合的精神。

本套教材把职业资格证书、技能证考证的知识点与教材内容相结合,将实践教学体系与国家职业技能鉴定标准实行捆绑,设计了与数控(车、铣)等工种技能考证基本相同的教材体系和标准板块,安排了相应的考证训练题及考证模拟题,使学生在获得学分的同时,也能较容易地获得职业资格证书。

(5) 教材内容精炼。

本套教材以工程实践中“会用、管用”为目标,理论以“必需、够用”为度,对传统教材内容进行精选、整合、优化和压缩,能更好地适应高职教改的需要。由于作了统一规划,相关教材之间内容安排合理,基础课与专业课有机衔接,全套教材具有系统性、科学性。

(6) 教材体系立体化。

为了方便老师教学和学生学习,本套教材提供了电子课件、电子教案、教学指导、教学大纲、考试大纲、题库、案例素材等教学资源支持服务平台。

教材的生命力在于质量,而提高质量是永恒的主题。希望教材的编委会及出版社能做到与时俱进,根据高职教育改革的形势及机电类专业技术发展的趋势,不断对教材进行修订、改进、完善,精益求精,使之更好地适应高等职业教育人才培养的需要,也希望他们能够一如既往地依靠业内专家,与科研、教学、产业第一线人员紧密结合,加强合作,不断开拓,出版更多的精品教材,为高等职业教育提供优质的教学资源和服务。

王键

2006年1月于长沙

(序作者为湖南省教育厅副厅长,教授、博士生导师)



## 前言

21 世纪的世界正在发生着深刻的变化,以知识为主导、以高新技术及其产业为基础和支撑的新经济正在逐渐形成。随着我国经济全面与国际接轨,我国制造业进入了一个空前蓬勃发展的新时期,这必然对掌握现代信息化制造技术的技术人才、特别是对大量的一线技术工人形成了巨大需求。数控人才的匮乏,特别是高技能人才的需求对高职院校的人才培养提出了新的更高的要求。

为适应高等职业技术教育教学改革的要求,依据教育部高职高专应用性人才培养目标及相关课程基本要求,参照教育部数控技能型紧缺人才培养方案的指导思想,以增强实用性和加强能力与素质培养为指导,根据工程实践对制造技术知识和能力的要求,本教材将传统的《金属切削原理与刀具》、《机床夹具设计》、《机械制造工艺学》等几门课程中的核心教学内容进行有机整合而成为一门综合性课程教材。

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。本书正是从数控加工的实用角度出发,以数控加工的实际生产为基础,以掌握数控加工工艺为目标,在总结多年教学实践经验的基础上,认真吸取兄弟院校专业教学改革的成功经验,参阅了大量的相关资料和书籍,在内容上强调基本概念,在介绍数控加工切削基础、数控加工用刀具、数控加工中工件的定位与装夹以及数控加工工艺基础等基本知识的基础上,分析了数控车削、数控铣削及数控电加工等加工工艺。全书系统性、综合性强,前后各章联系紧密;注重实用,理论与实践相结合,增加了实用的例题、手册和图表;书中精选了大量的典型实例,均经过实践检验,具有很高的可信度和可操作性。同时还增加了一些新工艺新技术的应用及现代制造技术等机械制造业中前沿科学的内容,使学生除能掌握相关的专业知识外,也能了解现代制造技术的发展方向。

本教材是数控专业、机电一体化专业、机械制造专业等机电类专业的一门综合性技术基础教材,总学时数为 70~90 学时。

本教材由湖南化工职业技术学院肖爱武、娄底职业技术学院罗红专任主编,参加编写的有肖爱武(绪论、第一章、第五章)、永州职业技术学院彭永忠(第一章)、娄底职业技术学院罗红专(第二章)、湖南生物机电职院糜敏芳(第三章)、湖南大学熊高荣(第四章)、湖南怀化职业技术学院聂笃伟(第六章)、湖南机电职业技术学院陈本兴(第七章)。

本教材在编写过程中得到了各级领导和有关院校同行们的大力支持,谨表示衷心感谢!

由于本教材编写是一次教学改革,更限于编者水平,书中的缺点和错误恳请各位同仁及读者不吝批评指正。

编者

2008 年 6 月



# 目 录

|                                         |      |
|-----------------------------------------|------|
| 绪 论 .....                               | (1)  |
| 第 1 章 数控加工工艺基础 .....                    | (4)  |
| 1.1 工艺过程的基本概念 .....                     | (4)  |
| 1.1.1 生产过程与工艺过程 .....                   | (4)  |
| 1.1.2 加工余量及工序尺寸的确定 .....                | (6)  |
| 1.2 机械加工工艺规程设计 .....                    | (11) |
| 1.2.1 生产纲领和生产类型 .....                   | (11) |
| 1.2.2 零件图的审查 .....                      | (13) |
| 1.2.3 毛坯的确定 .....                       | (18) |
| 1.2.4 定位基准的选择 .....                     | (20) |
| 1.2.5 加工路线的制定 .....                     | (23) |
| 1.2.6 典型零件机械加工工艺规程的制订 .....             | (29) |
| 1.3 数控加工工艺设计 .....                      | (32) |
| 1.3.1 数控加工的基本过程 .....                   | (32) |
| 1.3.2 数控加工工艺设计的主要内容 .....               | (33) |
| 1.3.3 数控加工工艺文件的编制 .....                 | (38) |
| 1.4 机械加工质量分析 .....                      | (42) |
| 1.4.1 加工精度 .....                        | (42) |
| 1.4.2 机械加工表面质量 .....                    | (49) |
| 1.5 时间定额和提高生产效率的途径 .....                | (51) |
| 1.5.1 时间定额( $T_T$ ) .....               | (51) |
| 1.5.2 提高劳动生产率的工艺途径 .....                | (52) |
| 1.6 数控加工与机械制造自动化 .....                  | (52) |
| 1.6.1 数控加工的发展趋势 .....                   | (52) |
| 1.6.2 成组技术 .....                        | (53) |
| 1.6.3 计算机辅助工艺设计系统的体系结构 .....            | (54) |
| 1.6.4 柔性制造系统(FMS)及计算机集成制造系统(CIMS) ..... | (57) |
| 本章小结 .....                              | (58) |
| 巩固练习 .....                              | (59) |
| 第 2 章 数控加工的切削基础 .....                   | (61) |
| 2.1 金属切削加工的基本知识 .....                   | (61) |

|                            |             |
|----------------------------|-------------|
| 2.1.1 切削运动 .....           | (61)        |
| 2.1.2 工件上形成的几个表面 .....     | (61)        |
| 2.1.3 切削用量 .....           | (62)        |
| 2.2 刀具的几何参数 .....          | (63)        |
| 2.2.1 刀具切削部分的表面与刀刃 .....   | (63)        |
| 2.2.2 确定刀具角度的参考系 .....     | (64)        |
| 2.2.3 刀具标注角度 .....         | (65)        |
| 2.3 金属切削过程 .....           | (65)        |
| 2.3.1 金属在切削过程中的变形 .....    | (65)        |
| 2.3.2 积屑瘤与鳞刺 .....         | (67)        |
| 2.4 金属切削过程的基本规律 .....      | (69)        |
| 2.4.1 切削力 .....            | (69)        |
| 2.4.2 切削热与切削温度 .....       | (70)        |
| 2.4.3 刀具的磨损与耐用度 .....      | (71)        |
| 2.5 切削条件的合理选择 .....        | (74)        |
| 2.5.1 刀具几何参数的选择 .....      | (74)        |
| 2.5.2 数控加工切削要素的选择 .....    | (80)        |
| 2.6 切削液 .....              | (83)        |
| 2.6.1 切削液的作用 .....         | (83)        |
| 2.6.2 切削液的种类 .....         | (84)        |
| 2.6.3 切削液的选用 .....         | (84)        |
| 本章小结 .....                 | (85)        |
| 巩固练习 .....                 | (86)        |
| <b>第3章 数控刀具及工具系统 .....</b> | <b>(87)</b> |
| 3.1 概述 .....               | (87)        |
| 3.1.1 数控刀具的类型 .....        | (87)        |
| 3.1.2 数控刀具的特点 .....        | (88)        |
| 3.2 数控刀具材料 .....           | (88)        |
| 3.2.1 切削用刀具材料应具备的性能 .....  | (88)        |
| 3.2.2 常用刀具材料 .....         | (89)        |
| 3.2.3 刀具材料选用的基本原则 .....    | (92)        |
| 3.3 可转位刀片 .....            | (93)        |
| 3.3.1 可转位刀片的代码及断屑槽 .....   | (93)        |
| 3.3.2 可转位刀片的夹紧机构 .....     | (94)        |
| 3.4 常用数控刀具 .....           | (98)        |
| 3.4.1 数控车削刀具 .....         | (98)        |
| 3.4.2 铣削刀具 .....           | (105)       |
| 3.4.3 孔加工刀具 .....          | (110)       |

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| 3.4.4 工具系统 .....              | (113)        |
| 本章小结 .....                    | (118)        |
| 巩固练习 .....                    | (119)        |
| <b>第4章 工件的装夹与夹具设计基础 .....</b> | <b>(120)</b> |
| 4.1 机床夹具概述 .....              | (120)        |
| 4.1.1 机床夹具的分类 .....           | (120)        |
| 4.1.2 机床夹具的组成 .....           | (120)        |
| 4.1.3 机床夹具的作用 .....           | (121)        |
| 4.2 工件在夹具中的定位 .....           | (122)        |
| 4.2.1 工件的装夹 .....             | (122)        |
| 4.2.2 工件的定位 .....             | (122)        |
| 4.2.3 常见的定位方法及定位元件 .....      | (126)        |
| 4.2.4 工件的组合定位 .....           | (129)        |
| 4.2.5 定位误差的分析与计算 .....        | (130)        |
| 4.3 工件的夹紧 .....               | (135)        |
| 4.3.1 对夹紧装置的基本要求 .....        | (135)        |
| 4.3.2 夹紧力方向和作用点的选择 .....      | (135)        |
| 4.3.3 典型夹紧机构 .....            | (136)        |
| 4.3.4 气液传动装置 .....            | (138)        |
| 4.4 数控加工常用夹具 .....            | (140)        |
| 4.4.1 数控加工夹具简介 .....          | (140)        |
| 4.4.2 组合夹具 .....              | (141)        |
| 4.4.3 拼装夹具 .....              | (144)        |
| 本章小结 .....                    | (144)        |
| 巩固练习 .....                    | (145)        |
| <b>第5章 数控车削加工工艺 .....</b>     | <b>(148)</b> |
| 5.1 数控车削加工概述 .....            | (148)        |
| 5.1.1 数控车削的主要加工对象 .....       | (148)        |
| 5.1.2 工件在数控车床上的装夹 .....       | (150)        |
| 5.1.3 数控车削加工工艺的制订 .....       | (154)        |
| 5.2 典型工件的工艺分析 .....           | (166)        |
| 5.2.1 轴类零件数控车削工艺分析 .....      | (166)        |
| 5.2.2 套类零件数控车削工艺分析 .....      | (167)        |
| 5.2.3 盘类零件数控车削工艺分析 .....      | (170)        |
| 本章小结 .....                    | (173)        |
| 巩固练习 .....                    | (173)        |

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| <b>第6章 数控铣削与加工中心加工工艺</b> ..... | (175) |
| 6.1 数控铣削与加工中心加工概述 .....        | (175) |
| 6.1.1 数控铣削与加工中心的工艺特点 .....     | (175) |
| 6.1.2 数控铣床与加工中心加工的主要对象 .....   | (176) |
| 6.1.3 数控铣与加工中心加工工艺的制定 .....    | (177) |
| 6.1.4 装夹方案的确定 .....            | (179) |
| 6.1.5 刀具的选择及对刀 .....           | (180) |
| 6.1.6 对刀点与换刀点的选择 .....         | (184) |
| 6.1.7 加工工艺路线的拟订 .....          | (185) |
| 6.2 典型零件数控加工工艺的制订 .....        | (190) |
| 6.2.1 轮廓类零件的数控铣削加工工艺 .....     | (190) |
| 6.2.2 孔类零件的数控加工工艺 .....        | (193) |
| 6.2.3 型腔类零件的数控加工工艺 .....       | (197) |
| 6.2.4 箱盖类零件的数控加工工艺 .....       | (199) |
| 本章小结 .....                     | (203) |
| 巩固练习 .....                     | (203) |
| <b>第7章 数控电加工方法及加工工艺</b> .....  | (205) |
| 7.1 数控电火花加工及加工工艺 .....         | (205) |
| 7.1.1 电火花加工的原理和设备组成 .....      | (205) |
| 7.1.2 电火花加工工艺方法的分类 .....       | (213) |
| 7.1.3 电火花加工工艺 .....            | (214) |
| 7.1.4 影响电火花成形加工质量的因素 .....     | (218) |
| 7.1.5 电火花加工用工夹具 .....          | (220) |
| 7.2 数控电火花线切割加工及加工工艺 .....      | (220) |
| 7.2.1 数控线切割加工原理、特点及应用 .....    | (220) |
| 7.2.2 数控线切割加工工艺指标及影响因素 .....   | (222) |
| 7.2.3 数控线切割加工工艺的制订 .....       | (223) |
| 7.2.4 典型零件的数控线切割加工工艺分析 .....   | (232) |
| 本章小结 .....                     | (235) |
| 巩固练习 .....                     | (236) |
| <b>参考文献</b> .....              | (238) |



## 绪 论

### 1 数控加工在制造业中的地位、作用和发展状况

人类物质文明的发展与制造业的进步息息相关,而制造业的进步又必然以制造技术的提升作为依托。达芬奇在15世纪就有过包括飞行器在内的许多理论上正确并留有草图的设计。但是只有通过制造,将这些构思和设计变成了物质产品以后,才能取得实际效果,体现出它的价值。更重要的是,制造技术的每次突破,都会引起产品设计的新的飞跃,有力地推动社会的发展和进步。

瓦特发明的蒸汽机,引发了第一次工业革命。但他在制造蒸汽机时遇到了汽缸内孔加工的困难,由于没有适当的技术,直径 $\phi 710\text{ mm}$ 的孔,其加工后的尺寸误差竟高达 $13\text{ mm}$ ,无法使活塞和汽缸之间既能灵活地相对运动又无严重漏气,因此蒸汽机不能正常工作而体现不出其效能。直到由维尔金森改进了镗床,使直径为 $\phi 1828\text{ mm}$ (72in)的内孔,加工后的直径误差仅为 $1\text{ mm}$ ,这在220多年前的当时是很高的加工精度,使蒸汽机取得了真正的成功,有了很好的实用价值;更有意义的是这种技术保证了蒸汽机稳定地批量生产,从而真正开始了取代水车作为动力来源的蒸汽机时代,给纺织业和机器制造提供了可靠的动力来源,进而推动了重工业和交通运输业的发展,引发了工业革命。

随着科学技术的飞速发展,社会对产品多样化的要求日益强烈,产品更新越来越快,多品种、中小批量生产的比重明显增加;同时随着航空工业、汽车工业和轻工消费品生产的高速增长,形状复杂的零件越来越多,精度要求也越来越高;此外,激烈的市场竞争要求产品研发生产周期越来越短,传统的加工设备和制造方法已难于适应这种多样化、柔性化与复杂形状的高效高质量加工要求。因此,近几十年来,能有效解决复杂、精密、小批多变零件加工问题的数控(NC)加工技术得到了迅速发展和广泛应用,使制造技术发生了根本性的变化。努力发展数控加工技术,并向更高层次的自动化、柔性化、敏捷化、网络化和数字化制造方向推进,是当前机械制造业发展的方向。

数控技术是机械加工现代化的重要基础与关键技术。应用数控加工可大大提高生产率、稳定加工质量、缩短加工周期、增加生产柔性、实现对各种复杂精密零件的自动化加工,易于在工厂或车间实行计算机管理,还使车间设备总数减少、节省人力、改善劳动条件,有利于加快产品的开发和更新换代,提高企业对市场的适应能力并提高企业综合经济效益。数控加工技术的应用,使机械加工的大量前期准备工作与机械加工过程连为一体,使零件的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规划(CAPP)和计算机辅助制造(CAM)的一体化成为现实,使机械加工的柔性自动化水平不断提高。数控加工技术也是发展军事工业的重要战略技术。因为许多先进武器装备的制造,如飞机、导弹、坦克等的关键零件,都离不开高性能的数控机床加工。

我国数控技术发展过程可分为四个阶段：第一阶段是1958~1965年，开始研究数控铣床（电子管控制、步进电动机和液力放大器拖动的开环系统），处于试制、试用阶段。第二阶段是从1965年开始，研制晶体管数控系统，直到20世纪60年代末和70年代初。这一阶段的特点是，虽然数控机床的数量和品种不多，但在少数复杂零件的加工中，已开始进入试验阶段并进入生产试用阶段。第三阶段是1972~1979年，是数控技术的生产和试用阶段，例如，研制成功集成电路数控系统；数控技术在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、电加工领域开始研究或应用；数控加工中心机床研制成功；数控线切割机床也取得了较大的发展；等等。第四阶段，是1980年以后稳定发展阶段。通过研究和引进国外的先进技术，我国的数控技术水平发展很快，已自行研制开发了三轴、四轴、五轴联动的数控系统，研制了具有工艺处理能力的加工中心等，数控机床的品种已超过500种，其中金属切削机床品种的数控化率已达20%以上。

## 2 本课程的性质、任务和内容

“数控加工工艺与装备”是高职高专院校机械类、机电类、近机类、数控技术及应用专业的专业课程。它的实践性、综合性、灵活性较强。本课程的任务主要是以机械制造中的工艺基本理论为基础，结合数控加工特点，综合运用多方面的知识解决数控加工中的工艺问题，以达到学生能规范、正确地实施典型零件的机械加工工艺，能规范、正确地执行数控加工工序的工艺要求，能编制出简单零件的机械加工工艺规程和数控加工工艺规程。

数控加工工艺与装备内容包括：数控加工工艺基础；金属切削原理与刀具；数控机床夹具上工件的定位和夹紧、常用夹具的介绍；普通机械加工、数控加工工艺规程设计；数控车削、数控铣削与加工中心的加工工艺；电脉冲数控加工方法等。

数控加工工艺与装备课程实践性强，其理论源于生产实际，是长期生产实践的总结。学习本课程必须注重理论同生产实践的结合，多深入生产实际，根据不同的现场条件灵活运用理论知识，以获得解决生产实际问题的最佳方案。通过本课程的学习，应基本掌握数控加工中的基本知识和理论，达到本课程要求的任务。

## 3 学习本课程的目的和要求

通过本课程的学习，使学生掌握数控加工工艺的基本理论和方法以及先进制造技术的有关知识，从而为将来胜任不同职业和不同岗位上的专业技术工作，掌握先进制造技术手段的应用，具备突出的工程实践能力奠定良好的基础。为实现这一目的，本课程的学习要求主要有以下几方面：

- (1) 了解工艺过程的基本概念和数控加工工艺系统。
- (2) 掌握金属的切削过程、基本规律、切削参数的选择以及切削过程基本规律的应用。
- (3) 掌握常用数控刀具的特点、材料、类型及选用。
- (4) 熟悉数控机床夹具上工件的定位和夹紧，了解常用的数控夹具。
- (5) 熟练掌握普通机械加工、数控加工工艺规程的设计；基本掌握中等复杂类零件车、铣类及电脉冲的数控加工工艺编制的方法与技巧。

- (6) 了解机械加工质量的概念及提高机械加工质量的措施。
- (7) 了解数控加工及机械制造自动化的发展趋势。

## 4 本课程的学习方法

本课程既是高职高专院校机械类、机电类、近机类、数控技术及应用专业一门重要的专业课程,又是综合多门先修课程知识应用、解决生产实际问题的归结性的课程,在内容中反映了理论密切结合实际、分析重于计算,贯穿了质量、生产率和经济性的辩证关系,在能力培养上应力图由浅入深,由表及里,强调科学分析、试验验证和择优决策的能力培养。因此,学习本课程要求学生在掌握普通机械加工工艺知识的基础上,抓住数控加工的特点,加深对数控加工工艺的理解,为综合运用所学的知识,合理、实用、高效地进行数控加工作准备。

必须指出,数控加工工艺的知识是通过长期生产实践经理论总结而形成的。它源于生产实践,服务于生产实践。因此,本门课程的学习必须重视实验、生产实习和现场教学等实践性环节,密切联系生产实践,在实践中发现问题,解决问题,提出关键之所在并找到有效解决问题的措施,从而加深对课程内容的理解,在实践中强化对所学知识的应用。



# 第1章 数控加工工艺基础

## 1.1 工艺过程的基本概念

产品制造的重点是零件制造。零件制造的实质是“用适当的方法，使原材料发生符合要求的改变”。“成形”与“精度”是零件制造的两个重点。制造工艺本质上是材料的成形工艺，精度取决于所采用的成形工艺，并在成形过程中加以实现。而产品制造者的任务是从制造的角度研究和分析零件，安排并实施合理的制造工艺。

### 1.1.1 生产过程与工艺过程

#### 1. 生产过程

生产过程是指由原材料到成品之间的各个相互联系的劳动过程的总和。这些过程包括：

- (1) 生产技术准备过程 包括产品投产前的市场调查分析，产品研制，技术鉴定等。
- (2) 生产工艺过程 包括毛坯制造，零件加工，部件和产品装配、调试、油漆和包装等。
- (3) 辅助生产过程 为使基本生产过程能正常进行所必须提供的辅助过程，包括工艺装备的设计制造、能源供应、设备维修等。

(4) 生产服务过程 包括原材料采购运输、保管、供应及产品包装、销售等。

#### 2. 工艺过程

在生产过程中，那些与原材料转变为产品直接相关的过程称为工艺过程。它包括毛坯制造、零件加工、热处理、质量检验和机器装配等。在工艺过程中，以机械加工方法按一定顺序逐步地改变毛坯形状、尺寸、相对位置和性能等，直至成为合格零件的那部分过程称为机械加工工艺过程。

#### 3. 机械加工工艺过程的组成

在机械加工工艺过程中，针对零件的结构特点和技术要求，要采用不同的加工方法和装备，按照一定的顺序依次进行加工才能完成由毛坯到零件。因此，工艺过程是由一系列顺序安排的加工方法即工序组成。工序又由安装、工位、工步和走刀组成。

(1) 工序 一个或一组工人，在一个工作地或一台机床上对一个或同时对几个工件连续完成的那一部分工艺过程称为工序。划分工序的依据是工作地点是否变化和工作过程是否连续。例如，在车床上加工一批轴，既可以对每一根轴连续地进行粗加工和精加工，也可以先对整批轴进行粗加工，然后再依次对它们进行精加工。在第一种情形下，加工只包括一个工序；而在第二种情形下，由于加工过程的连续性中断，虽然加工是在同一台机床上进行的，但却成为两个工序。

工序是组成工艺过程的基本单元，也是生产计划的基本单元。

(2) 安装 安装是工序中的一个部分。把工件在机床上或在夹具中占据某一正确位置并

被夹紧的过程,称为安装。有时,工件在机床上需经过多次安装才能完成一个工序的工作内容。例如,在车床上加工轴,先从一端加工出部分表面,然后调头再加工另一端,这时的工序内容就包括两个安装。但多一次安装,就多一次安装误差而且增加了安装工件的辅助时间,故应尽量减少安装次数。

(3)工位 是安装中的一个部分。在一次安装中,工件在夹具或机床中所占据的每一个确定的位置称为工位。图1-1是在一台三工位回转工作台机床上加工轴承盖螺钉孔的示意图。操作者在上下料工位Ⅰ处装上工件,当该工件依次通过钻孔工位Ⅱ、扩孔工位Ⅲ后,即可在一次装夹后把四个阶梯孔在两个位置加工完毕。这样,既减少了装夹次数,又因各工位的加工与装卸是同时进行的,从而节约安装时间使生产率可以大大提高。

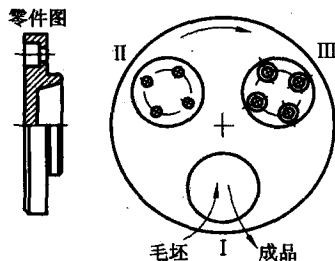


图1-1 轴承盖螺钉孔的三工位加工

(4)工步 在一个工序中,当加工表面不变,切削工具不变、切削用量中的进给量和切削速度不变的情况下所完成的那部分工艺过程称为工步。以上三个因素中任一因素改变后,即成为新的工步。每一个工步通常包括一个工作行程,也可包括几个工作行程。

为了提高生产率,用几把刀具同时加工几个加工表面的工步,称为复合工步,也可以看作一个工步,如图1-2所示,在多刀车床、转塔车床上,经常有用一把车刀和一个钻头同时加工外圆和孔的情况。

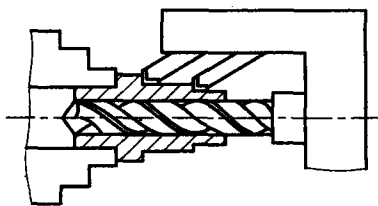


图1-2 同时加工外圆和孔

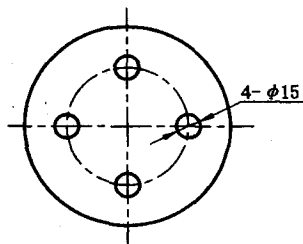


图1-3 加工四个相同孔的工步

(5)走刀 加工刀具在加工表面上加工一次所完成的工步部分称为走刀。例如轴类零件如果要切去的金属层很厚,则需分几次切削,这时每切削一次就称为一次走刀。因此在切削速度和进给量不变的前提下刀具完成一次进给运动称为一次走刀。

随着车间加工条件和生产规模的不同,可以采用不同的方案来完成工件的加工。图1-4是一个带半封闭键槽阶梯轴两种生产类型的工艺过程实例,从中可看出各自的工序、安装、工位、工步、走刀之间的关系。

| 单件生产工艺过程  |    |    |    |    | 成批生产工艺过程       |    |    |       |        |   |
|-----------|----|----|----|----|----------------|----|----|-------|--------|---|
| 工序        | 安装 | 工位 | 工步 | 走刀 | 工序             | 安装 | 工位 | 工步    | 走刀     |   |
| 1 车(各部成形) | 1  | 1  | 1  | 1  | 三工位铣端面钻中心孔专用机床 | 1  | 1  | 1 装卸  | 1      |   |
|           |    |    | 2  | 1  |                |    |    | 2 铣端面 | 1      |   |
|           | 2  | 1  | 1  | 1  |                | 2  | 1  | 1     | 3 钻中心孔 | 1 |
|           |    |    | 2  | 1  |                |    |    |       | 1      | 1 |
|           | 3  | 1  | 1  | 2  |                | 3  | 1  | 1     | 2      | 1 |
|           |    |    | 2  | 1  |                |    |    | 2     | 1      |   |
|           | 4  | 1  | 1  | 2  |                | 4  | 1  | 1     | 2      | 1 |
|           |    |    | 2  | 1  |                |    |    | 2     | 1      |   |
|           |    |    | 3  | 1  |                |    |    | 3     | 1      | 1 |
|           |    |    |    |    |                |    |    |       |        |   |
| 2 铣槽      | 1  | 1  | 1  | 2  | 1              | 1  | 1  | 1     |        |   |
|           |    |    | 1  |    |                |    | 1  | 1     | 1      |   |

图 1-4 阶梯轴加工工序划分方案比较

### 1.1.2 加工余量及工序尺寸的确定

#### 1. 加工余量的概念

加工余量是指加工过程中所切去的金属层厚度。由毛坯转变为零件的过程中,在某加工表面上切除金属层的总厚度,称为该表面的总加工余量(亦称毛坯余量);每道工序所切除的金属层厚度称为该工序加工余量(简称工序余量)。工序余量是相邻两工序的工序尺寸之差,毛坯余量是毛坯尺寸与零件图样的设计尺寸之差。

由于工序尺寸有公差,故实际切除的余量大小不等。

图 1-5 表示工序余量与工序尺寸的关系。

由图 1-5 可知,工序余量的基本尺寸(简称基本余量或公称余量) $Z$ 可按下式计算。

对于被包容面: $Z = \text{上工序基本尺寸} - \text{本工序基本尺寸}$

对于包容面: $Z = \text{本工序基本尺寸} - \text{上工序基本尺寸}$

为了便于加工,工序尺寸都按“人体原则”标注极限偏差,即被包容面的工序尺寸取上偏差为零;包容面的工序尺寸取下偏差为零。毛坯尺寸则按双向布置上、下偏差。

工序余量和工序尺寸及其公差计算公式:

$$Z = Z_{\min} + T_a \quad (1-1)$$

$$Z_{\max} = Z + T_b = Z_{\min} + T_a + T_b \quad (1-2)$$

式中  $Z_{\min}$ ——最小工序余量;

$Z_{\max}$ ——最大工序余量;

$T_a$ ——上工序尺寸的公差;

$T_b$ ——本工序尺寸的公差。

由于毛坯尺寸、零件尺寸和各道工序的工序尺寸都存在误差,所以无论是总加工余量,还是工序加工余量都是一个变动值,出现了最大和最小加工余量,它们与工序尺寸及其公差的关系可用图1-6说明。

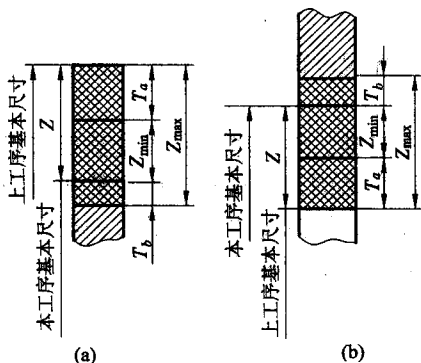


图1-5 工序余量与工序尺寸及其公差的关系

(a) 被包容面(轴); (b) 包容面(孔)

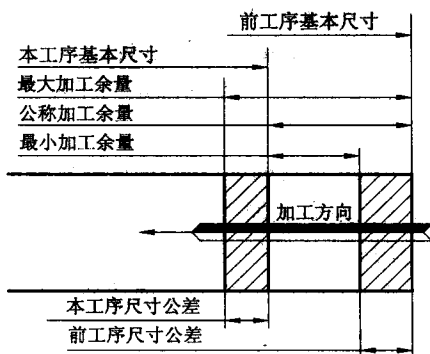


图1-6 工序加工余量及其公差

由图1-6可以看出,公称加工余量为上工序和本工序尺寸之差,最小加工余量为上工序尺寸的最小值和本工序尺寸的最大值之差;最大加工余量为上工序尺寸的最大值和本工序尺寸的最小值之差。工序加工余量的变动范围(最大加工余量与最小加工余量之差)等于上工序与本工序的工序尺寸公差之和。

## 2. 影响加工余量的因素

加工余量的大小对零件的加工质量和制造的经济性均有较大的影响。加工余量过大,必然增加机械加工的劳动量、降低生产率;增加原材料、设备、工具及电力等的消耗。加工余量过小,又不能确保切除上工序形成的各种误差和表面缺陷,影响零件的质量,甚至产生废品。影响工序加工余量的因素可归纳为下列几点:

- (1) 上工序的工序尺寸公差( $T_a$ )。
- (2) 上工序形成的表面粗糙度和表面缺陷层深度( $R_a + D_a$ )。
- (3) 上工序形成的形状误差和位置误差( $\Delta x$ 、 $\Delta w$ )。
- (4) 本工序的装夹误差( $\varepsilon_b$ )。
- (5) 热处理后出现的变形。

## 3. 确定加工余量的方法

(1) 查表修正法 根据生产实践和试验研究,已将毛坯余量和各种工序的工序余量数据列于手册。确定加工余量时,可从手册中获得所需数据,然后结合工厂的实际情况进行修正。这种方法目前应用最广。

(2) 经验估计法 根据实践经验确定加工余量。为防止加工余量不足而产生废品,往往估计的数值总是偏大,因而这种方法只适用于单件、小批生产。

(3) 分析计算法 根据加工余量计算公式和一定的试验资料,通过计算确定来加工余量。采用这种方法确定的加工余量比较经济合理,但必须有比较全面可靠的试验资料及先进的计算手段方可进行,故目前应用较少。