



全国高等职业教育规划教材

数控加工 工艺

苏建修 杜家熙 主编

- ◎ 内容丰富、语言精炼、图文并茂、实用性强
- ◎ 通过典型实例分析，培养学生的综合实践能力
- ◎ 章后附有大量习题

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



免费下载电子课件
<http://www.cmpedu.com>

全国高等职业教育规划教材

数 控 加 工 工 艺

主 编	苏建修	杜家熙
副主编	庞子瑞	
参 编	高 虹	王艳凤
	杨存生	张学铭



机械工业出版社

本书是根据全国高等职业教育机电类教材编审委员会审定的“数控加工工艺”课程的教学基本要求编写的。

本书内容详实、体系新颖，突出了实用性、综合性和先进性。通过本课程的学习，学生能够较全面地掌握数控加工工艺基本知识，并能够独立编制数控机床加工工艺规程。全书共分8章，内容包括：数控加工工艺概述、数控切削原理、数控机床夹具、数控加工工艺规程、数控车削加工工艺、数控铣削加工工艺、加工中心加工工艺、数控电火花和线切割加工工艺。

本书可作为高职高专数控专业及其他机电类专业的教材，也可作为中职、技校数控专业的教学用书，还可供从事机械制造方面的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

数控加工工艺/苏建修、杜家熙主编. —北京：机械工业出版社，2009.5
全国高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-111-26252-7

I. 数… II. ①苏…②杜… III. 数控机床—加工工艺—高等学校：技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 019533 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：祝伟 严远波 版式设计：张世琴

责任校对：陈延翔 责任印制：洪汉军

北京瑞德印刷有限公司印刷（三河市胜利装订厂装订）

2009 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14 印张·343 千字

0001—4000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-26252-7

定价：25.00 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）88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有:“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- (1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- (2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- (3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- (4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- (5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

本书是根据全国高等职业教育机电类教材编审委员会审定的“数控加工工艺”课程的教学基本要求编写的。

本教材具有以下特点：

- 1) 内容丰富、语言精炼、图文并茂，具有很强的实用性和可操作性。
- 2) 通过典型实例分析，培养学生的综合实践能力。
- 3) 章后附有习题，帮助学生巩固学习内容。

本教材参考学时数为 80 学时，分三大部分内容：

- 1) 数控加工工艺规程设计所需的基本知识。
- 2) 数控切削原理基本知识、数控切削刀具的选择与使用，机床夹具设计基本原理、通用机床夹具选择与使用等基本知识。
- 3) 几种常用数控机床的典型零件数控加工工艺分析，包括数控车削加工工艺分析、数控铣削加工工艺分析、加工中心加工工艺分析及数控电火花与线切割加工工艺分析。

本书由河南科技学院苏建修教授、杜家熙副教授主编。

参加本书编写的有苏建修（绪论、第 2 章）、杜家熙（第 1 章、第 5 章）、杨存生（第 3 章）、庞子瑞（第 4 章）、高虹（第 6 章）、王艳凤（第 7 章）、张学铭（第 8 章）。

本书在编写过程中，参考了有关教材、手册等资料，并得到众多同志的支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明	
前言	
绪论	1
第1章 数控加工工艺概述	4
1.1 数控加工工艺的内容与特点	4
1.1.1 数控加工工艺的主要内容	4
1.1.2 数控加工的特点	4
1.2 数控加工工艺过程的基本概念	5
1.2.1 生产过程与工艺过程	5
1.2.2 工件加工精度的获得方法	9
1.2.3 生产纲领与生产类型	13
第2章 数控切削原理	15
2.1 概述	15
2.1.1 切削运动	15
2.1.2 工件上的加工表面	15
2.1.3 切削用量	16
2.1.4 刀具的几何参数	16
2.1.5 切削层参数	20
2.2 金属切削过程的基本规律及其应用	21
2.2.1 切屑的形成及种类	21
2.2.2 积屑瘤	22
2.2.3 切削力	23
2.2.4 切削热与切削温度	26
2.3 刀具磨损与刀具耐用度	27
2.3.1 刀具的磨损形式	27
2.3.2 刀具磨损的原因	28
2.3.3 刀具的磨损过程及磨钝标准	28
2.3.4 刀具耐用度	29
2.4 数控加工刀具及其几何参数的选择	30
2.4.1 刀具材料的选择	30
2.4.2 刀具几何参数的选择	31
2.5 切削用量及切削液的选择	35
2.5.1 切削用量合理选择	35
2.5.2 切削液的选择	37
习题	39
第3章 数控机床夹具	40
3.1 概述	40
3.1.1 机床夹具的分类	40
3.1.2 机床夹具的组成	40
3.1.3 机床夹具的作用	41
3.2 工件在夹具中的定位	42
3.2.1 基准及其分类	42
3.2.2 工件定位的基本原理	43
3.2.3 常见定位方式及其所用定位元件	48
3.3 定位误差	55
3.3.1 产生定位误差的原因	55
3.3.2 定位误差的计算	56
3.4 工件在夹具中的夹紧	60
3.4.1 夹紧装置的组成及基本要求	61
3.4.2 夹紧力的确定	61
3.4.3 典型夹紧机构	64
习题	68
第4章 数控加工工艺规程	71
4.1 概述	71
4.1.1 机械加工工艺规程的作用	71
4.1.2 机械加工工艺规程的制定程序	71
4.1.3 常用工艺文件的格式	72
4.2 制订零件加工工艺规程的基础知识	76
4.2.1 零件图的审查	76
4.2.2 毛坯的确定	81
4.2.3 定位基准的选择	82
4.2.4 加工余量的确定	84
4.2.5 工序尺寸及公差的确	87
4.2.6 加工工艺路线的制订	93
4.3 数控加工工艺设计	98
4.3.1 数控加工的基本过程	98
4.3.2 数控加工工艺设计基本内容	99

4.3.3 数控加工工艺文件的编写	109	7.3 加工中心加工工艺分析	177
习题	113	7.3.1 加工内容的选择	177
第5章 数控车削加工工艺	114	7.3.2 加工中心加工零件的工艺分析	177
5.1 数控车削的主要加工对象	114	7.3.3 加工中心的工艺设计	178
5.2 数控车削加工常用刀具及 选择	115	7.3.4 加工进给路线的确定	182
5.3 数控车削加工工艺的制定	120	7.4 典型零件的加工中心加工工艺 分析	184
5.3.1 零件图工艺分析	120	习题	189
5.3.2 工序和装夹方式的确定	120	第8章 数控电火花和线切割加工 工艺	190
5.3.3 加工顺序的确定	122	8.1 数控电火花成形加工概述	190
5.3.4 进给路线的确定	123	8.2 数控电火花成形加工工艺	192
5.3.5 切削用量的选择	127	8.2.1 数控电火花成形加工的主要工艺 指标	192
5.4 典型零件的数控车削加工工艺 分析	130	8.2.2 影响工艺指标的主要因素与参数 选择	192
习题	133	8.2.3 数控电火花成形加工工艺	194
第6章 数控铣削加工工艺	135	8.3 数控线切割加工工艺	198
6.1 数控铣削的主要加工对象	135	8.3.1 数控线切割加工原理	198
6.2 常用刀具的选择	137	8.3.2 数控线切割加工的特点	199
6.2.1 常用铣刀简介	137	8.3.3 数控线切割加工的应用	200
6.2.2 数控铣刀的选择	142	8.4 数控线切割加工工艺指标及影响 因素	200
6.3 数控铣削加工工艺的制定	144	8.4.1 数控线切割加工主要工艺指标	200
6.3.1 数控铣削加工工艺性分析	144	8.4.2 影响数控线切割加工速度的主要 因素	201
6.3.2 铣削方式的合理使用	148	8.4.3 影响数控线切割加工精度的主要 因素	203
6.3.3 数控铣削加工工艺路线的确定	149	8.4.4 影响数控线切割加工表面粗糙度的 主要因素	205
6.3.4 常用切削用量的选择	156	8.5 数控线切割加工工艺	206
6.4 典型零件的数控铣削加工工艺 分析	158	8.5.1 工艺准备	207
习题	160	8.5.2 加工路线的选择	209
第7章 加工中心加工工艺	162	8.5.3 加工参数的选择	211
7.1 加工中心工艺特点及其加工 对象	162	8.6 数控线切割编程与加工方法	212
7.1.1 工艺特点	162	参考文献	215
7.1.2 加工中心的主要加工对象	162		
7.2 加工中心的刀具	164		
7.2.1 加工中心常用的刀具	165		
7.2.2 加工中心刀具的装夹	170		
7.2.3 刀库及自动换刀	174		

绪 论

1. 机械制造业在国民经济中的地位、作用及发展概况

机械制造业是国民经济的基础。据西方工业国家统计,制造业创造了60%的社会财富和45%的国民经济收入。如果没有机械制造业提供质量优良、技术先进的技术装备,那么信息技术、新材料技术、海洋工程技术、生物工程技术以及空间技术等新技术群的发展将会受到严重的制约。可以说,机械制造业的发展水平是衡量一个国家经济实力和科学技术水平的重要标志之一。

我国目前的机械制造业技术水平和国外相比还有相当大的差距。我国的机械制造业是在1949年以后才逐步建立和发展起来的,60年来,我国的机械制造技术和材料加工工艺等都有了很大的发展,为工业、农业、科技、国防提供了大量的机械产品和设备,为我国的国民经济的发展做出了巨大的贡献。近年来,随着世界各国都把提高产业竞争力和发展高新技术作为科技工作的方向。我国也明确提出了要振兴机械工业,使之成为国民经济的支柱产业。我国机械制造业今后的发展,除了要不断提高常规机械生产的工艺装备和工艺水平外,还必须研究开发优质高效的精密装备与工艺,为高新技术产品的生产提供新工艺、新装备,同时还要加强基础技术研究,提高自主开发和创新能力。

随着现代科学技术的进步,特别是微电子技术和计算机技术的发展,使机械制造这个传统工业焕发了新的活力,增加了新的内涵。如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、成组技术(GT)、计算机数字控制(CNC)、计算机直接控制和分布式控制(DNC)、柔性制造系统(FMS)、工业机器人(ROBOT)、计算机集成制造系统(CIMS)等新技术已被人们了解和熟悉。这些新技术的引进和使用,使机械制造业无论在加工自动化方面,还是在生产组织、制造精度、制造工艺方法方面都发生了令人瞩目的变化。其发展方向及特点如下:

1) 伴随着机械制造自动化程度的提高,制造装备和测试手段的改善,机械制造精度也得到了极大的提高。从工业革命初期到现在,机械制造精度提高了几个数量级。在18世纪初蒸汽机发明时代,机械制造精度仅为1mm;19世纪初机械制造精度也仅为0.1mm;19世纪末达到0.05mm;到了20世纪60年代,加工精度很快提高到0.1 μ m。目前由于测试技术水平的提高和市场的需要,人们正积极从事超精密加工和超微细加工的研究,其精度可达0.005~0.01 μ m,如德国阿亨工业大学已研制出0.01~0.02 μ m精度级的驱动系统。不少的工业国家已开始向纳米级(1nm=0.001 μ m)加工精度冲刺,可望在不久的将来,机械制造业将能实现分子级或原子级的加工精度。

2) 随着刀具材料的发展和变革,在近一个世纪时期内,切削加工速度提高了100多倍。20世纪前,切削刀具是以碳素钢作为刀具材料,由于其耐热温度低于200 $^{\circ}$ C,所允许的切削速度不超过10m/min。20世纪初出现了高速钢,耐热温度为500~600 $^{\circ}$ C,可允许的切削速度为30~40m/min。到了20世纪30年代,硬质合金开始使用,其耐热温度达到800~1000 $^{\circ}$ C,切削速度很快提高到每分钟一百至数百米。近年来,相继出现了陶瓷刀具、金刚

石、立方氮化硼刀具，其耐热温度都在 1000℃ 以上，切削速度可高达每分钟一千多米。现代机械制造业正沿着高速切削的方向快速发展。

3) 随着新的工程材料的不断出现，有些工程材料的切削加工性能已超出了常规机械加工范围，如果仍然依靠传统的切削加工方法是很难完成加工过程的。这就迫使人们去探索、研究新的加工方法和先进制造技术。自 20 世纪 50 年代以来，人们研制出一系列的特种加工方法，如电火花加工、电解加工、超声波加工、电子束加工、离子束加工、激光加工、高速水射流切割加工等。近年来，人们还对精密成形技术和快速成形技术进行了研究和探索，并成功研制出精密成形和快速成形系统及其工艺，并投入了实际使用。这些新的加工方法和成形技术的出现，突破了几百年来所沿用的传统金属切削加工，使机械制造业增添了新的加工方法和手段。

随着电子信息等高新技术的不断发展，市场需求更加个性化与多样化，未来先进制造技术发展的总趋势是向数字化、精密化、极端化、自动化、集成化、网络化、智能化的方向发展。

2. 数控加工技术在机械制造业中的地位、作用及其发展状况

科学技术在推动制造技术进步的同时，以其高新技术成果，尤其是计算机技术、微电子技术、信息技术、自动化技术等技术的渗透、衍生和应用，促进和改变了制造业的生产方式、生产工艺、生产装备及生产组织体系。由于市场需求日益主体化、个性化和多样化，使生产模式从“标准化基础上的大批量生产”转化为“个性化报务基础上的客户化大规模定制生产”，从而使多品种小批量生产的比重明显增加。为了解决多品种、小批量及复杂零件机械加工的自动化，数控加工技术应运而生。

从 1952 年美国麻省理工学院研制出第一台试验性数控系统，到现在已走过了 50 多年的历程。近十几年来，随着计算机技术的飞速发展，各种不同层次的开放式数控系统应运而生，发展很快。目前正朝着标准化开放体系结构的方向前进。就结构形式而言，当今世界上的数控系统大致可分为 4 种类型：传统数控系统、“PC 嵌入 NC”结构的开放式数控系统、“NC 嵌入 PC”结构的开放式数控系统及 SOFT 型开放式数控系统。

我国数控技术的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，已开始从试验阶段进入生产试用阶段。第三阶段为 1972 ~ 1979 年，是数控技术的生产和试用阶段，成功研制了集成电路数控系统，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。1980 年以后为第四阶段，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、四轴和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。

在现代制造系统中，数控技术是关键技术，它集微电子、计算机、信息处理、自动检测、自动控制等高新技术于一体，具有高精度、高效率、柔性自动化等特点，对制造业实现柔性自动化、集成化、智能化起着举足轻重的作用。目前，数控技术正在发生根本性变革，由专用型封闭式开环控制模式向通用型开放式实时动态全闭环控制模式发展。在集成化基础

上，数控系统实现了超薄型、超小型化；在智能化基础上，综合了计算机、多媒体、模糊控制、神经网络等多学科技术，数控系统实现了高速、高精、高效控制，加工过程中可以自动修正、调节与补偿各项参数，实现了在线诊断和智能化故障处理；在网络化基础上，CAD/CAM与数控系统集成为一体，机床联网，实现了中央集中控制的群控加工——网络化制造。

3. 本课程的内容、性质与任务

“数控加工工艺”课程的内容包括数控加工的切削基本知识、工件在数控机床上的装夹、数控加工的工艺基础、机械加工质量、数控车削加工工艺、数控铣削加工工艺、加工中心加工工艺、磨削加工、特种加工等。

“数控加工工艺”课程是数控技术应用专业和机电类专业的主要专业课之一，是一门实践性、综合性、灵活性强的专业技术课程。它的任务主要是以机械制造中的工艺基本理论为基础，结合数控加工工序的特点，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、正确地执行数控加工工序的工艺要求；能规范、正确地实施典型零件的数控加工工艺；能拟订出简单零件的数控加工工艺规程的目标。

通过本课程的学习，可以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。本课程的学习要求掌握以下几方面：

- 1) 了解加工工艺过程的基本概念。
- 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，同时了解数控刀具材料。
- 3) 熟悉工件在数控机床夹具上的定位和夹紧，了解常用的数控夹具。
- 4) 熟练掌握普通机械加工与数控加工工艺规程的设计，掌握加工余量的确定、刀具走刀路线的确定，基本掌握中等复杂类零件车、铣等的数控加工工艺编制的方法与技巧。

数控加工工艺课程实践性较强，数控加工工艺的知识是通过长期生产实践的理论总结形成的。它源于生产实践，服务于生产实践。因此，本课程的学习必须密切联系生产实践，在实践中加深对课程内容的理解，根据不同的现场条件灵活运用理论知识，以获得解决生产实践问题的最佳方案。通过本课程的学习，应基本掌握数控加工中的基本知识和基本理论，初步具有制订简单零件的数控加工工艺规程和分析解决生产中一般工艺问题的能力。

第1章 数控加工工艺概述

1.1 数控加工工艺的内容与特点

数控加工工艺是伴随着数控机床的产生、发展而逐步完善起来的一种应用技术，是大量数控加工实践的总结。所谓数控加工工艺，是指在数控机床上加工零件的一种工艺方法。数控加工技术除用于机械加工外，还用于电加工、激光加工、火焰加工、绘印加工及编织加工等。

1.1.1 数控加工工艺的主要内容

数控加工机床是一种高度自动化的机床，与普通机床在加工工艺和表面加工方法上有许多相似之处，最根本的区别主要表现在控制方式上。数控机床加工前，要把原来在普通机床上加工时需要操作人员考虑和决定的操作内容及动作（如工步的划分与顺序、走刀路线、位移量和切削参数等），按规定的数码形式编制程序并输入数控系统。数控机床加工时，数控系统按程序进行运算和控制，并不断向机床的伺服机构发送脉冲信号，然后由传动机构驱动机床严格按照所编程序进行动作，从而加工出所需要的零件。通常，数控加工主要包括以下几个方面的内容：

- 1) 选择并确定适合于数控加工的零件及内容。
- 2) 对零件图样进行数控加工的工艺分析。
- 3) 确定数控加工的工艺过程，进行工艺设计。
- 4) 对零件图样的数学处理（又称为数值计算）。
- 5) 编写零件加工程序单和校核。
- 6) 按编程单制作控制介质。
- 7) 程序校验和试切削以及现场问题的处理。
- 8) 数控加工工艺技术文件的定型与归档。

1.1.2 数控加工的特点

1. 数控加工的优点

(1) 自动化程度高 数控加工过程是按输入程序自动完成的，简化了工人的操作，也使操作时的紧张程度大为减轻。当然，对操作者的知识结构和文化程度要求相应提高。

(2) 提高加工精度 数控机床本身的定位精度和重复定位精度都很高，很容易保证零件尺寸的一致性，同时也消除了普通机床加工中操作者的人为误差，因此，数控加工零件的一致性很好，质量稳定，便于对加工过程实行质量控制。

(3) 生产效率高 使用数控机床加工，对工装夹具的要求降低，加工时能在一次装夹中加工出很多待加工的部位，既省去了通用机床加工时原有的不少中间工序（如划线、装

夹、检验等),避免了多次定位误差,缩短了辅助时间,同时也为后继工序(如装配等)带来了方便,生产效率的提高非常显著。

(4) 灵活性高、适应性强 数控加工一般不需要很多复杂的工艺装备,就可以通过编制程序把形状复杂和精度要求高的零件加工出来。而当设计更改时,可以通过改变相应的程序来实现,一般不需要重新设计制造工装。因此,数控加工能大大缩短产品研制周期,给新产品的研制开发、产品的改进和改型提供了很好的手段。

(5) 有利于实现计算机辅助制造 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)已成为航空航天、汽车、船舶及其他机械工业实现现代化的必由之路。而将用计算机辅助设计出来的产品图样及数据变为实际产品最有效的途径,就是采取计算机辅助制造技术直接制造出零部件。而数控机床使用数字量信号与标准代码输入,最适宜于与数字计算机连接,它是计算机辅助制造系统的基础。

2. 数控加工的缺点

(1) 加工成本一般较高 数控机床及其配套设备价格昂贵。数控机床的价格一般是同类通用机床的几倍甚至几十倍,再加上与之配套的编程设施、计算机及其外围设备等,使其产品加工成本大大高于通用机床,同时,数控机床维修成本也高。

(2) 只适宜于多品种小批量或中批量生产 由于数控加工对象一般为较复杂零件,又往往采用工序相对集中的工艺方法,在一次定位安装中加工出许多待加工面,势必将工序时间拉长。尽管目前在数控机床的设计制造方面作出了很多努力(如多轴化、自动交换工作台与柔性加工单元等),但与专用多工位组合机床或自动机形成的生产线相比,在生产规模与生产效率方面仍有较大差距,即占机械加工20%~30%的大批量零件生产,数控加工还难以适应。

(3) 加工中难以调整 由于数控机床是按程序运行自动加工的,一般很难在加工过程中进行适时的人工调整,即使可以做局部调整,但其可调范围也很有限。

(4) 对操作人员、维修人员的技术水平要求较高 数控机床是技术密集型的机电一体化产品,其操作和维修均较复杂,故要求操作、维修以及管理人员具有较高的文化水平和技术素质,一般均需配备技术素质较高的操作人员、维修人员与较好的维修装备。

1.2 数控加工工艺过程的基本概念

1.2.1 生产过程与工艺过程

1. 生产过程

工业产品的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。这些过程包括以下几个方面:

1) 生产技术准备过程。其中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。其中包括毛坯制造、零件加工、部件和产品的装配、调试、油漆和包装等。

3) 辅助生产过程。这是为使基本生产过程能正常进行所必经的辅助过程,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。其中包括原材料采购、运输、保管、供应及产品包装、销售等。

由上述过程可以看出机械产品的生产过程是相当复杂的，内容十分广泛，从产品开发、技术准备到毛坯制造、机械加工和装配，影响的因素和涉及的问题多而复杂。

为了使工厂具有较强的应变能力和竞争能力，现代工厂逐步用系统的观点看待生产过程的各个环节及它们之间的关系。将生产过程看成一个具有输入和输出的生产系统，用系统工程学的原理和方法组织和指导生产，能使工厂的生产和管理科学化，使工厂按照市场动态及时地改进和调节生产，不断更新产品以满足社会的需要，使生产的产品质量更好、周期更短、成本更低。因此，在现代化的制造工业中，机械产品的生产过程是一个系统工程，包括三个主要阶段：决策阶段、设计与研究阶段、制造阶段，如图 1-1 所示。

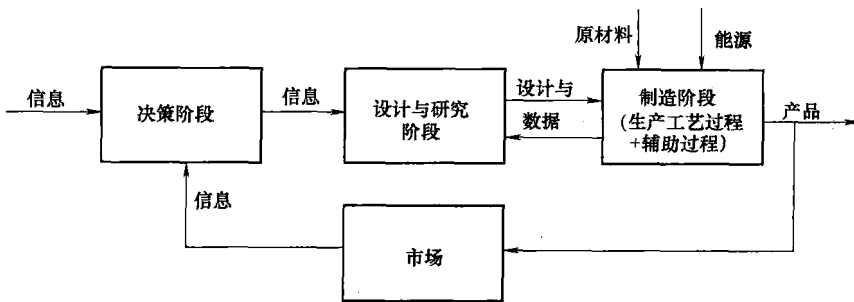


图 1-1 机械产品生产过程图

根据产品复杂程度不同，其生产过程可以由一个车间或一个工厂完成，也可由多个车间或工厂联合完成。

原材料和成品是一个相对的概念，一个车间或工厂的产品可以是另一个车间或工厂的原材料或半成品。比如铸造车间的产品就是机加工车间的原材料或半成品，而机加工车间的产品是装配车间的原材料。

2. 工艺过程

所谓“工艺”，就是制造产品的方法。在生产过程中直接改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性能等，使其成为半成品或成品的过程称为工艺过程。工艺过程是生产过程中的主要部分。

利用机械加工方法，直接改变毛坯的形状、尺寸、相对位置和性能等，使其转变为成品的过程称为机械加工工艺过程。机械加工工艺过程直接决定零件和产品的质量，对产品的成本和生产周期都有较大的影响，是整个工艺过程的重要组成部分。

在机械加工中，一台结构相同、要求相同的机器，一个要求相同的机械零件，可以采用几种不同的工艺过程来完成，但其中总有一种在某一特定的具体条件下是最合理的。那么，这种在具体条件下最合理或较合理的工艺过程，我们把它用文字的形式或按规定的表格形式书写下来，形成工艺文件，这种工艺文件就称为机械加工工艺规程，简称工艺规程。

工艺规程是依据工艺理论、生产实践经验和工艺试验制定的，是保证产品质量和提高经济效益的指导性文件，是组织和管理生产的基本依据。

然而，工艺规程也不是一成不变的。随着科学技术的进步，新的加工方法、加工设备的

出现，会有更合理的工艺规程代替旧的相对不合理的工艺规程。但工艺规程的修订必须经过充分的试验论证，并经过严格的审批手续。

为了便于工艺规程的编制、执行和生产的组织管理，需要把工艺过程划分为不同层次的单元，即工序、安装、工位、工步和走刀。其中，工序是工艺过程中的基本单元。机械加工工艺过程是由一个或若干个顺次排列的工序组成的。在一个工序中可能包含一个或几个安装，每一个安装可能包含一个或几个工位，每一个工位可能包含一个或几个工步，每一个工步可能包括一个或几个走刀。

(1) 工序 工序是指一个（或一组）工人，在一个工作地点（或一台机床上），对同一个（或同时对几个）工件进行加工所连续完成的那一部分工艺过程。划分工序的主要依据是工作地点（或机床）是否变动和加工是否连续。如图1-2所示的阶梯轴，其工艺过程将包括下列加工内容：

- ①切一端面；②打中心孔；③切另一端面；④打另一端中心孔；⑤车大外圆；⑥大外圆倒角；⑦车小外圆；⑧小外圆倒角；⑨铣键槽；⑩去毛刺。

当单件小批生产时，其工艺过程及工序的划分如表 1-1 所示，共有三个工序。当大批大量生产时，其工艺过程及工序的划分如表 1-2 所示，共分为五个工序。

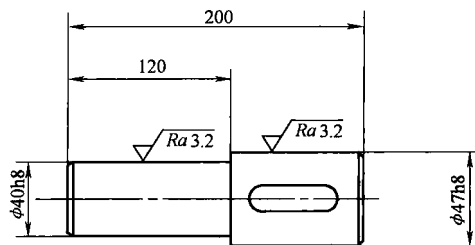


图 1-2 阶梯轴零件

表 1-1 阶梯轴零件单件小批生产的工艺过程

工序号	工序内容	设备
1	车一端面，钻中心孔；调头车另一端面，钻中心孔	车床
2	车大外圆及倒角，调头车小外圆及倒角	车床
3	铣键槽；去毛刺	铣床

表 1-2 阶梯轴大批大量生产的工艺过程

工序号	工序内容	设备
1	铣两端面，钻中心孔	组合机床
2	车大外圆及倒角	车床
3	车小外圆及倒角	车床
4	铣键槽	键槽铣床
5	去毛刺	钳工台

(2) 工步 工步是指在一个工序中，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。以上三种因素中任一因素改变后，即成为新的工步。一个工序可以只包括一个工步，也可以包括几个工步。如图 1-3 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。这种用几把不同刀具同时加工一个零件的几个表面的工步，称为复合工步，在工艺文件中视为一个工步。对于在一次安装中连续进行的若干个相同的工步，为了简化工序内容的叙述，也

视为一个工步。如图 1-4 所示零件，如用一把钻头连续钻削四个 $\phi 15\text{mm}$ 的孔，可写成一个工步。

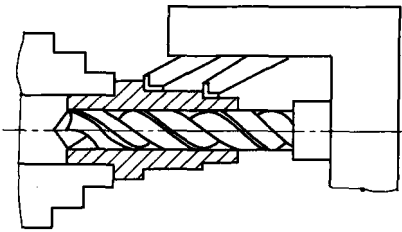


图 1-3 复合工步

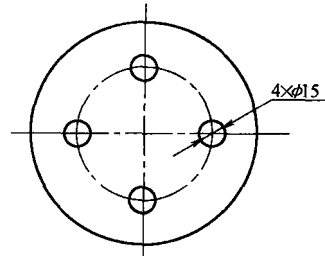


图 1-4 加工四个相同表面的工步

(3) 走刀 走刀是指在一个工步内，如果被加工表面需切去的金属层很厚，一次切削无法完成，则应分几次切削，每进行一次切削就是一次走刀。一个工步可以包括一次或几次走刀，如图 1-5 所示。

(4) 安装 安装是指工件在加工之前，在机床或夹具上占据正确的位置（即为定位），然后加以夹紧的过程。在一个工序中，工件可能安装一次，也可能需要安装几次。如表 1-1 中的工序 1 和工序 2 均有两次安装，而表 1-2 中的工序只有一次安装。为了减少误差和辅助时间，在一个工序中应尽量减少安装次数。

(5) 工位 为了减少安装次数，常采用转位（移位）夹具、回转工作台，使工件在一次安装中先后处于几个不同的位置进行加工。工件在一次安装下相对于机床或刀具每占据一个加工位置所完成的那部分工艺过程称为一个工位。如图 1-6 所示为回转工作台上一次安装完成工件的装卸、钻孔、扩孔和铰孔四个工位的加工实例。采用这种多工位加工方法，可以提高加工精度和生产率。

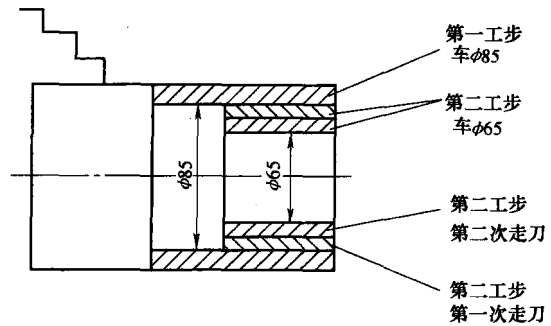


图 1-5 阶梯轴的走刀

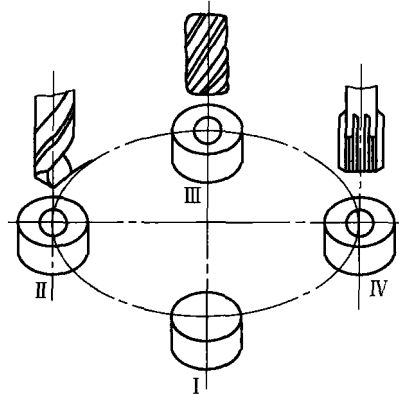


图 1-6 多工位加工

I—装卸工件 II—钻孔
III—扩孔 IV—铰孔

表 1-3 是一个带半封闭键槽阶梯轴的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。

表 1-3 阶梯轴加工工序划分方案比较

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	1	1	1		1	1	1	1
			2	1				2	1
			3	1				1	1
			2	1				1	2
								2	1
			3	1				1	2
								2	1
								3	1
			4	1				1	2
								2	1
								3	1
			2	1				1	1
2	1	1	1						
		2	1						
3	1	1	2						
		2	1						
		3	1						
4	1	1	1						
		2	1						
		3	1						

1.2.2 工件加工精度的获得方法

人们在长期的生产实践中，创造出许多机械加工方法。这些方法的目的是使工件获得一定的尺寸精度、形状精度、位置精度和表面质量。

1. 获得尺寸精度的方法

(1) 试切法 这种方法是先试切出很小一部分加工表面，测量试切所得的尺寸，按照加工要求适当调整切削刃相对工件的位置，再试切，再测量，如此经过两三次试切和测量，当被加工尺寸达到要求后，再切削整个待加工表面。

试切法通过“试切→测量→调整→再试切”，反复进行直到达到要求的尺寸精度为止。例如，箱体孔系的试镗加工。

试切法达到的精度可能很高，它不需要复杂的装置，但这种方法费时（需作多次调整、试切、测量、计算），效率低，依赖工人的技术水平和计量器具的精度，质量不稳定，所以只用于单件小批生产。

作为试切法的一种类型——配作，是以已加工件为基准，加工与其相配的另一工件，或将两个（或两个以上）工件组合在一起进行加工的方法。配作中最终被加工工件尺寸达到的要求是与已加工件的配合要求为准的。

(2) 调整法 预先用样件或标准件调整好机床、夹具、刀具和工件的准确相对位置，用以保证工件的尺寸精度。因为尺寸事先按样件或标准件调整到位，所以加工时不用再试切，尺寸自动获得，并在一批零件加工过程中保持不变，这就是调整法。例如，采用铣床夹

具时，刀具的位置靠对刀块确定。调整法的实质是利用机床上的定程装置、对刀装置或预先调整好的刀架，使刀具相对于机床或夹具达到一定的位置精度，然后加工一批工件。

在机床上按照刻度盘进刀，然后切削，也是调整法的一种。这种方法需要先用试切法决定刻度盘上的刻度。大批量生产中，多用定程挡块、样件、样板等对刀装置进行调整。

调整法比试切法的加工精度的稳定性好，有较高的生产率，对机床操作工人的要求不高，但对机床调整工人的要求高，常用于成批生产和大量生产。

(3) 定尺寸法 用刀具的相应尺寸来保证工件被加工部位尺寸的方法称为定尺寸法。它是利用标准尺寸的刀具加工，加工面的尺寸由刀具尺寸决定，即用具有一定尺寸精度的刀具（如铰刀、扩孔钻、钻头等）来保证工件被加工部位（如孔）的精度。定尺寸法操作方便，加工精度比较稳定，几乎与工人的技术水平无关，生产率较高，在各种类型的生产中应用广泛，例如钻孔、铰孔等。

(4) 主动测量法 在加工过程中，边加工边测量加工尺寸，并将所测结果与设计要求的尺寸比较后，或使机床继续工作，或使机床停止工作，这就是主动测量法。

目前，主动测量中的数值已可用数字显示。主动测量法把测量装置加入工艺系统（即机床、刀具、夹具和工件组成的统一体）中，成为其中的第五个因素。

主动测量法质量稳定，生产率高。

(5) 自动控制法 这种方法是把测量装置、进给装置和控制系统组成一个自动加工系统，加工过程依靠系统自动完成。尺寸测量、刀具补偿调整和切削加工以及机床停车等一系列工作自动完成，自动达到所要求的尺寸精度。例如，在数控机床上加工零件时，就是通过程序的各种指令控制加工顺序和加工精度。

自动控制的具体方法有两种：

1) 自动测量。机床上有自动测量工件尺寸的装置，在工件达到要求的尺寸时，测量装置即发出指令使机床自动退刀并停止工作。

2) 数字控制。机床中有控制刀架或工作台精确移动的伺服电动机、滚动丝杠螺母副及整套数字控制装置，尺寸的获得（刀架的移动或工作台的移动）由预先编制好的程序通过计算机数字控制装置自动控制。

初期的自动控制法是利用主动测量和机械或液压等控制系统完成的。目前已广泛采用按加工要求预先编排程序的程控机床、数控机床和自适应控制机床。程控机床由控制系统发出指令进行工作，数控机床由控制系统发出数字信息指令进行工作，适应控制机床能适应加工过程中加工条件的变化，自动调整加工用量，按规定条件进行自动控制加工，实现加工过程最佳化。

自动控制法加工质量稳定、生产率高、加工柔性好，能适应多品种生产，是目前机械制造的发展方向 and 计算机辅助制造（CAM）的基础。

2. 获得形状精度的方法

(1) 轨迹法 依靠刀尖的运动轨迹获得加工工件形状精度的方法称为轨迹法，也称刀尖轨迹法。刀具相对于工件作有规律的运动，以其刀尖轨迹获得所要求的表面几何形状。刀尖的运动轨迹取决于刀具和工件的相对成形运动，因而所获得的形状精度取决于成形运动的精度。数控车床、普通车削和刨削等均属轨迹法。图 1-7 所示为用轨迹法车圆锥面。

(2) 成形法 利用成形刀具对工件进行加工的方法称为成形法，即用成形刀具取代普通刀具，而成形刀具的切削刃就是工件外形。成形法可以简化机床或切削运动，提高生产