

普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材

顾 问 杨叔子 李培根



机械制造技术基础

JIXIE ZHIZAO JISHU JICHU

赵雪松 赵晓芬 主编

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

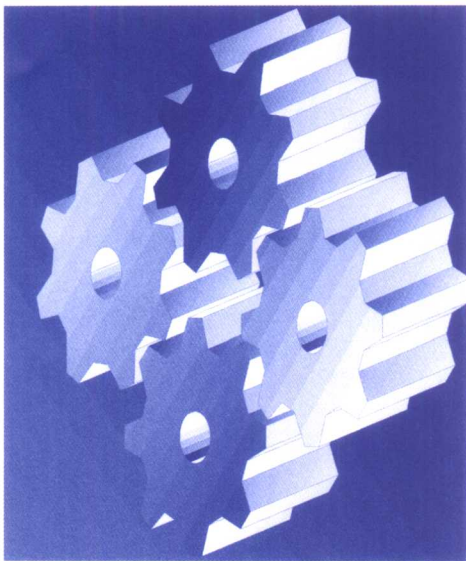




普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材

顾 问 杨叔子 李培根

机械制造技术基础



主 编	赵雪松	赵晓芬
副主编	任小中	吴 敏
	张向慧	
参 编	李明扬	范素香
	毛 玺	赵海霞
主 审	张福润	

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/赵雪松 赵晓芬 主编
武汉:华中科技大学出版社,2006年9月
ISBN 7-5609-3732-2

- I. 机…
- II. ①赵… ②赵…
- III. 机械制造工艺-高等学校-教材
- IV. TH16

机械制造技术基础

赵雪松 赵晓芬 主编

策划编辑:王连弟

责任编辑:万亚军

责任校对:刘 竣

封面设计:潘 群

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北省通山县九宫印务有限公司

开本:787×1092 1/16

印张:26 插页:2

字数:542 000

版次:2006年9月第1版

印次:2006年9月第1次印刷

定价:39.80元

ISBN 7-5609-3732-2/TH·151

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

普通高等院校“十一五”规划教材

普通高等院校机械类精品教材

编审委员会

顾问：杨叔子 华中科技大学

李培根 华中科技大学

总主编：吴昌林 华中科技大学

委员：（按姓氏拼音顺序排列）

崔洪斌 河北科技大学

冯浩 景德镇陶瓷学院

高为国 湖南工程学院

郭钟宁 广东工业大学

韩建海 河南科技大学

孔建益 武汉科技大学

李光布 上海师范大学

李军 重庆交通大学

黎秋萍 华中科技大学出版社

刘成俊 重庆科技学院

柳舟通 黄石理工学院

卢道华 江苏科技大学

鲁屏宇 江南大学

梅顺齐 武汉科技学院

孟逵 河南工业大学

芮执元 兰州理工大学

汪建新 内蒙古科技大学

王生泽 东华大学

杨振中 华北水利水电学院

易际明 湖南工程学院

尹明富 天津工业大学

张华 南昌大学

张建钢 武汉科技学院

赵大兴 湖北工业大学

赵天婵 江汉大学

赵雪松 安徽工程科技学院

郑清春 天津理工大学

周广林 黑龙江科技学院

内 容 简 介

本书是面向应用型大学机械学科本科专业的立体化精品规划教材。围绕高等学校“机械设计制造及其自动化”专业的人才培养目标,贯彻“重基础、少学时、低重心、新知识、宽面向”的改革思路,以机械加工工艺为主线,对有关机械制造技术的基础知识、基本理论、基本方法等内容进行有机整合,形成低重心、宽结构、重素质、强实践的课程结构体系。全书内容包括机械制造概论、机械加工装备、金属切削过程及控制、机械制造质量分析与控制、机械加工工艺规程设计、机械装配工艺基础和先进制造技术等7章。

本书可作为普通高等院校机械类专业本科主干技术基础课程教材,也可作为工业工程、管理工程、工业设计等有关专业本科生的教学参考书,还可供制造企业的工程技术人员参考和自学。

序

“爆竹一声除旧，桃符万户更新。”在新年伊始，春节伊始，“十一五规划”伊始，来为“普通高等院校机械类精品教材”这套丛书写这个“序”，我感到很有意义。

近十年来，我国高等教育取得了历史性的突破，实现了跨越式的发展，毛入学率由低于10%达到了高于20%，高等教育由精英教育而跨入了大众化教育。显然，教育观念必须与时俱进而更新，教育质量观也必须与时俱进而改变，从而教育模式也必须与时俱进而多样化。

以国家需求与社会发展为导向，走多样化人才培养之路是今后高等教育教学改革的一项重要任务。在前几年，教育部高等学校机械学科教学指导委员会对全国高校机械专业提出了机械专业人才培养模式的多样化原则，各有关高校的机械专业都在积极探索适应国家需求与社会发展的办学途径，有的已制定了新的人才培养计划，有的正在考虑深刻变革的培养方案，人才培养模式已呈现百花齐放、各得其所的繁荣局面。精英教育时代规划教材、一致模式、雷同要求的一统天下的局面，显然无法适应大众化教育形势的发展。事实上，多年来许多普通院校采用规划教材就十分勉强，而又苦于无合适教材可用。

“百年大计，教育为本；教育大计，教师为本；教师大计，教学为本；教学大计，教材为本。”有好的教材，就有章可循，有规可依，有鉴可借，有道可走。师资、设备、资料（首先是教材）是高校的三大教学基本建设。

“山不在高，有仙则名。水不在深，有龙则灵。”教材不在厚薄，内

容不在深浅,能切合学生培养目标,能抓住学生应掌握的要言,能做到彼此呼应、相互配套,就行,此即教材要精、课程要精,能精则名、能精则灵、能精则行。

华中科技大学出版社主动邀请了一大批专家,联合了全国几十个应用型机械专业,在全国高校机械学科教学指导委员会的指导下,保证了当前形势下机械学科教学改革的发展方向,交流了各校的教改经验与教材建设计划,确定了一批面向普通高等院校机械学科精品课程的教材编写计划。特别要提出的,教育质量观、教材质量观必须随高等教育大众化而更新。大众化、多样化决不是降低质量,而是要面向、适应与满足人才市场的多样化需求,面向、符合、激活学生个性与能力的多样化特点。“和而不同”,才能生动活泼地繁荣与发展。脱离市场实际的、脱离学生实际的一刀切的质量不仅不是“万应灵丹”,而是“千篇一律”的桎梏。正因为如此,为了真正确保高等教育大众化时代的教学质量,教育主管部门正在对高校进行教学质量评估,各高校正在积极进行教材建设、特别是精品课程、精品教材建设。也因为如此,华中科技大学出版社组织出版普通高等院校应用型机械学科的精品教材,可谓正得其时。

我感谢参与这批精品教材编写的专家们!我感谢出版这批精品教材的华中科技大学出版社的有关同志!我感谢关心、支持与帮助这批精品教材编写与出版的单位与同志们!我深信编写者与出版者一定会同使用者沟通,听取他们的意见与建议,不断提高教材的水平!

特为之序。

中国科学院院士
教育部高等学校机械学科指导委员会主任

杨红子

2006.1

前 言

本书是普通高等院校“十一五”规划教材,内容包括金属切削原理与刀具、机械制造工艺学、金属切削机床及机床夹具设计的基本内容以及先进制造技术,根据教学改革实践和新的课程体系编写而成。

本书将切削加工的基本理论与制造工艺内容进行有机结合,目的是使学生能掌握机械制造技术的基础理论,培养分析和解决实际生产问题的能力。书中简明扼要地将目前较成熟且有发展前景的先进制造技术的理念、模式与实施效果作了介绍,以求启发学生的创新思维,对制造技术的新发展有所了解。书中带*号的部分供学生课外自学,如学时允许也可课堂讲授。本书按课内60~80学时设计,可根据学时的多少进行删减。

本书由赵雪松、赵晓芬任主编,任小中、吴敏、张向慧任副主编。绪论、第2章2.1节由安徽工程科技学院李明扬编写,第1章由华北水利水电学院范素香编写,第2章2.2、2.3节由黄石理工学院赵晓芬编写,第3章3.1节、第7章由北方工业大学张向慧编写,第3章3.2~3.5节由金陵科技学院赵海霞编写,第3章3.6、3.7节由湖北教育学院吴敏编写,第4章4.1、4.2节由安徽工程科技学院赵雪松编写,第4章4.3、4.4节由河南科技大学毛玺编写,第5章及第6章由河南科技大学任小中编写。全书由安徽工程科技学院赵雪松、李明扬统稿。

本书力求结构清晰、取材新颖、便于施教。由于编者水平有限,缺点错误在所难免,敬请广大师生、读者多提宝贵意见,以求改进。

编 者

2006年5月

目 录

绪论	(1)
第 1 章 机械制造概论	(5)
1.1 机械制造过程的基本术语及概念	(6)
1.2 机械加工表面的成形	(11)
1.3 机械加工方法	(17)
思考题与习题	(28)
第 2 章 机械制造装备	(30)
2.1 金属切削机床	(30)
2.2 金属切削刀具	(78)
2.3 机床夹具	(109)
思考题与习题	(152)
第 3 章 金属切削过程及控制	(157)
3.1 切削过程及切屑类型	(157)
3.2 切削力	(166)
3.3 切削热、切削温度、切削液	(175)
3.4 刀具磨损及刀具耐用度	(183)
3.5 工件材料的切削加工性	(193)
3.6 切削用量的合理选择	(196)
3.7 磨削过程及磨削机理	(204)
思考题与习题	(215)
第 4 章 机械制造质量分析与控制	(217)
4.1 机械加工精度	(217)
4.2 加工误差的统计分析	(250)
4.3 机械加工表面质量	(268)
* 4.4 机械加工过程中的振动	(276)
思考题与习题	(284)
第 5 章 机械加工工艺规程设计	(287)
5.1 概述	(287)
5.2 机械加工工艺规程设计	(291)

5.3 计算机辅助工艺规程设计(CAPP)	(333)
思考题与习题	(345)
第6章 机械装配工艺基础	(348)
6.1 概述	(348)
6.2 保证装配精度的方法	(350)
6.3 装配工艺规程设计	(364)
思考题与习题	(366)
第7章 先进制造技术	(370)
7.1 概述	(371)
7.2 机械制造自动化技术	(375)
7.3 先进制造生产模式	(388)
思考题与习题	(406)
参考文献	(407)

绪 论

1. 制造业和机械制造技术

制造业是一个国家经济发展的重要支柱,是一个国家经济的命脉,其整体能力和发展水平标志着一个国家的经济实力、国防实力、科技水平和生活水准,也决定着一个国家,特别是发展中国家实现现代化和民族复兴的进程。没有强大的制造业,一个国家将无法实现经济快速、健康、稳定的发展,人民的生活水平也难以提高。

机械制造业是制造业的核心,是为国民经济各部门提供各种技术装备的工业部门,带动性强,涉及面广,其生产能力和发展水平不仅决定了相关产业的质量、效益和竞争力的高低,而且成为传统产业借以实现产业升级的基础和根本手段。

制造技术支撑着制造业的健康发展,是现代国家经济上获得成功的关键技术。世界上所有国家,特别是经济比较发达的国家都非常重视制造技术的发展。美国一直是制造业的大国,但是在 20 世纪 50 年代时,由于只重视高技术和军用技术的发展,忽视了制造技术的发展,从而严重影响其在国际经济竞争中的竞争力,在汽车、家电等产业上受到了日本有力的挑战,丧失了许多市场,导致了 20 世纪 90 年代初的经济衰退。这一严重局面无疑引起了美国决策层的重视,他们开始重新审视和反省自己的产业政策,认为在重要的高速增长的技术市场上失利的一个重要原因就是美国没有把自己的技术应用到制造业上,随后制定了一系列振兴制造业的计划,使先进制造技术在美国迅速发展,从而促进了美国经济的全面复苏。

新中国成立后,经过 50 多年、几代人的前赴后继,数亿人的奋发努力,我国的制造业和制造技术得到了长足进步和发展,为国民经济各部门提供重大装备的能力不断提高,一个具有相当规模和水平的制造体系已经形成,使得中国成为世界瞩目的制造业大国。目前我国制造业总体的生产规模排在美国、日本、德国之后居世界第 4 位,中国制造的许多产品遍布世界各地,中国品牌开始走向世界。许多经济学家预测,中国将成为继英国、美国和日本之后的又一个“世界工厂”。但是,应该看到我国的制造业和制造技术与西方工业发达国家、制造业强国的制造业和制造技术相比还存在着明显的差距,自主开发和技术创新能力还比较薄弱。当今高新技术的迅猛发展,正悄然改变着人类的的生活方式,推动着世界迈入了知识经济时代,而知识经济的本质与核心就是创新。如何用高新技术改造传统的制造业,特别是机械制造业,不断进行概念创新、技术创新、产品创新和管理创新,以适应更快、更好、更便宜、更能满足特殊要求的市场需求,是摆在我国制造业,特别是机械制造业面前的一个十分艰巨的任务。为此,必须紧紧抓住机械制造业的薄弱环节,紧扣战略重点,以先进的技术装备和机电一体化产品为突破口,加速机械制造业的发展,使我国

能成为真正意义上的制造业强国。

2. 机械制造技术的发展

机械制造技术是人类历史上最早发展起来的实用技术之一。1775年,英国人威尔肯逊为了生产瓦特发明的蒸汽机制造了汽缸镗床,自此,人类用机器代替手工的机械化时代步入了新的时期。从20世纪20年代起到第二次世界大战结束,各国为了赢得战争,不计成本地大力发展军火工业,使制造业取得飞速发展。20世纪50年代,人类进入了和平发展时期,那种不计成本的生产制造模式已经不能为企业所接受。为了降低成本,提高效率,人们广泛采用了“少品种、大批量”的做法,强调的是“规模效益”,从而为社会提供了大量价廉物美的产品。这种“刚性”的生产制造模式,很快为人们所接受,并被誉为制造业的最佳模式。

20世纪70年代以后,随着市场竞争的加剧,各企业为了击败竞争对手,主要通过提高产品质量,降低生产成本来实现,其基本原则是“消灭一切浪费”和“不断改善品质”,将最优质量和最低成本的产品提供给市场,提出了一种新的生产制造模式,即后来总结的被称为“精益生产”的制造模式。

20世纪80年代,随着世界经济和人民生活水平的提高,市场环境发生了巨大的变化,一方面表现为消费者需求日趋主体化、个性化和多样化,另一方面是制造企业之间竞争逐渐全球化。制造业若仍沿用传统的做法,即企图依靠制造技术的改进和管理方法的创新来适应这种变化已不再可能。此时,以单项的先进制造技术,如计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、计算机辅助工艺设计(CAPP)、成组技术(GT)、数控技术(CNC)、并行工程(CE)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)、全面质量管理(TQC)等作为工具与平台来缩短生产周期,提高产品质量,降低生产成本和改善服务质量应运而生。这种单项的先进制造技术和全面质量管理的采用为企业带来不少效益。但是,这些单项的技术对整个制造业的改造还只停留在具体的制造技术和管理方法上,而对不适应当前时代要求的、传统的、大批量封闭式的生产制造模式并没有进行改造。

20世纪90年代,信息科学和技术的发展使全球经济打破了传统的地域经济发展模式,全球经济一体化的进程加快。在这种形势下,快速响应市场需求成为制造业发展的一个主要方向。敏捷制造(AM)、精益-敏捷-柔性(LAF)生产系统、快速可重组制造、动态制造联盟、基于网络的制造、全球制造等模式就是在这种形势下产生的新的生产制造模式。其中,LAF生产系统是在全面吸收精益生产、敏捷制造和柔性制造的精髓后产生的一种全新的生产制造模式,是21世纪极有发展前景的先进制造模式。这种模式的主要特征是:以用户需求为中心,制造的战略重点是时间和速度,并兼顾质量和品种,以柔性、精益和敏捷为竞争的优势,把技术进步、人因改善和组织创新作为三项并重的基础工作,实现资源快速有效的集成是其中心任务,集成对象涉及技术、人员、组织和管理,组织形式采用如“虚拟公司”在内的多种类型。

进入 21 世纪,世界经济、科学技术和人类社会的发展将呈现出新的特点,如随着经济全球化进程、国际经济分工和产业结构调整加速推进,随着关税壁垒的消失,“全球制造”将成为合理的选择。新材料(纳米材料、复合材料、智能材料、环境友好材料等)技术的不断进展,将进一步改变未来机器和产品的结构和特性。

21 世纪的制造技术将普遍采用以计算机和现场总线局域网为核心,对物流、工艺、质量、成本等信息进行综合管理与控制的 CIMS 系统,并依托超级宽带 Internet,实行全球化虚拟制造和经营管理。它不但将继续制造常规条件下运行的机器和设备,而且将制造出极端环境下运行的设备,并将制造出可部分地模拟人类智慧的人造脑与机器人。同时,21 世纪的制造技术与制造产业将是绿色技术,是可持续发展的技术与产业,仍然是创造人类物质文明的支柱,是人类精神文明和国家竞争力的基础。

3. 本课程的内容和学习要求

本课程主要介绍机械产品的生产过程及生产活动的组织,机械加工过程及其系统,内容包括机械制造概论、机械加工装备、金属切削过程及控制、机械制造质量分析与控制、机械加工工艺流程设计、机械装配工艺基础和先进制造技术等。

本课程是机械类本科相关专业一门主干技术基础课,涵盖了“金属切削原理与刀具”、“金属切削机床概论”、“机械制造工艺学”等课程中的基本内容,并将这些课程中最基本的概念和知识要点有机整合形成本课程的要点。本书在内容编排和体系结构上进行了较大的调整和变动,遵循学生认识机械制造技术的认知规律,首先介绍机械制造的基本概念,继而介绍机械制造中所用装备(机床、刀具和夹具),然后进一步深入介绍金属切削过程及控制,机械制造质量分析与控制、机械制造工艺规程的设计和机械装配工艺基础,最后介绍机械制造技术的发展——先进制造技术的有关知识。

通过课程的学习,要求学生能对整个机械制造活动有一个总体的了解与把握,初步掌握金属切削过程的基本规律和机械加工的基本知识。具体应达到如下几项要求。

(1) 认识制造业、特别是机械制造业在国民经济中的作用,了解机械制造技术的发展。

(2) 认识并掌握金属切削过程的基本规律,并能按具体工艺要求选择合理的加工条件。

(3) 了解机械加工所用装备(机床、刀具、机床夹具)的基本概念、结构,具有根据具体加工工艺要求选择机床、刀具和夹具的能力。

(4) 掌握机械加工过程中影响加工质量(加工精度和表面质量)的因素,能针对具体的工艺问题进行分析。

(5) 掌握制定机械加工工艺流程和机器装配工艺流程的基本理论(包括定位和基准理论、工艺和装配尺寸链理论等),初步具备制定中等复杂零件机械加工工艺流程的能力。

(6) 了解当今先进制造技术的发展概况,初步具备对制造单元以及制造系统选择决

策的能力。

4. 本课程的特点和学习方法

“机械制造技术基础”是机械设计制造及其自动化专业的一门重要的专业基础课程，具有“综合性、实践性、灵活性”强的特点。

1) 综合性

机械制造技术是一门技术性很强的技术，要用到多种学科的理论和方法，包括物理学、化学的基本原理，数学、力学的基本方法，以及机械学、材料科学、电子学、控制论、管理科学等多方面的知识。而现代机械制造技术的发展则更是有赖于计算机技术、信息技术和其他高技术的发展，反过来机械制造技术的发展又极大地促进了这些高技术的发展。

2) 实践性

机械制造技术本身是机械制造生产实践的总结，因此具有极强的实践性。机械制造技术是一门工程技术，它所采用的基本方法是“综合”。机械制造技术要求对生产实践活动不断地进行综合，并将实际经验条理化和系统化，使其逐步上升为理论；同时又要及时地将其应用于生产实践之中，用生产实践检验其正确性和可行性，并用经检验过的理论和方法对生产实践活动进行指导和约束。

3) 灵活性

生产活动是极其丰富的，同时又是各异的和多变的。机械制造技术总结的是机械制造生产活动的一般规律和原理，将其应用于生产实际要充分考虑企业的具体情况，如生产规模的大小，技术力量的强弱，设备、资金、人员的状况，等等。对于不同的生产条件，所采用的生产方法和生产模式可能完全不同。而在基本相同的生产条件下，针对不同的市场需求和产品结构以及生产进行的实际情况，也可以采用不同的工艺方法和工艺路线。这充分体现了机械制造技术的灵活性。

针对上述特点，在学习本课程时，要特别注意紧密联系和综合应用以往所学过的知识，应用多种学科的理论和方法来分析和解决机械制造过程中的实际问题；同时要特别注意紧密联系生产实际，充分理解机械制造技术的基本概念。只有具备较多的实践知识，才能在学习时理解得深入透彻。因此，在学习本课程时，必须加强实践性环节，即通过生产实习、课程实验、课程设计、电化教学、现场教学及工厂调研等来更好地体会和加深理解所学内容，并在理论与实际的结合中培养分析和解决实际问题的能力。

第 1 章 机械制造概论

典型案例

机械产品的制造是把原材料通过加工变为产品的过程,确切地说是从原材料或半成品经加工和装配后形成最终产品的具体操作过程,包括毛坯制作、零件加工、检验、装配、包装、运输等过程。机器零件的加工过程是在金属切削机床上通过刀具与工件间的相对运动,从毛坯上切除多余金属,从而获得所需的加工精度和表面质量的过程。生产如图 1-1 所示的零件,应采用何种制造过程和工艺过程? 采用何种生产类型和组织方式? 需要什么成形运动? 采用什么机械加工方法? 通过本章的学习应清楚上述这些基本理论和概念。

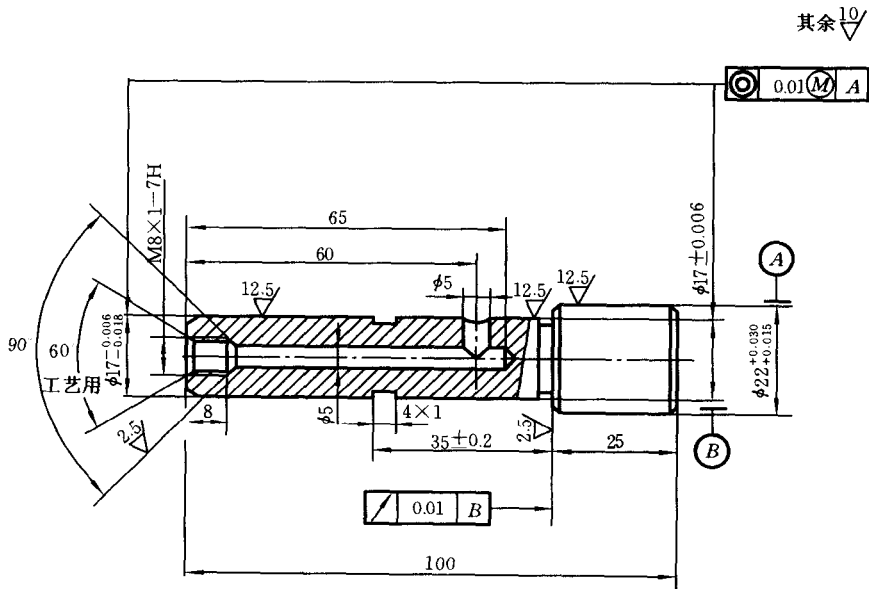


图 1-1 小轴零件图

1.1 机械制造过程的基本术语及概念

1.1.1 生产过程

机械产品的生产过程是指从原材料(或半成品)开始直到制造成为产品之间的各个相互联系的全部劳动过程的总和。它不仅包括毛坯制造、零件的加工及热处理、装配及检验、油漆、包装过程等直接生产过程,还包括原材料的运输和保管,以及设备、工艺装备(刀具、夹具、量具)等的制造、维修等生产技术准备工作。

1.1.2 生产系统的概念

为了提高生产企业的管理和控制水平,用系统工程学的原理和方法来组织与指挥,则可以把生产企业看成是一个具有输入和输出的生产系统。一个生产系统又由多层次的子系统所组成,如决策系统、经营管理系统和制造系统。在系统中,存在信息流、物质流和能源流的运作。通过计算机辅助管理,使各子系统之间互相协调,可实现生产系统的最优化。图 1-2 所示为生产系统的基本框图。

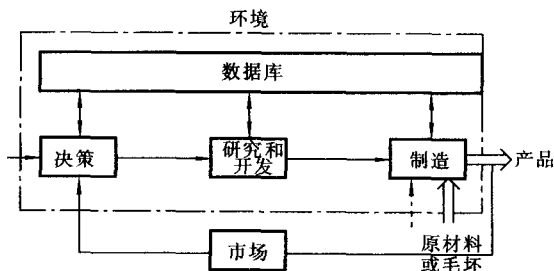


图 1-2 生产系统的基本框图

⇒物质流; →信息流; ---能量流

1.1.3 工艺过程及其组成

1. 工艺过程

在生产过程中,改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等使之成为成品或半成品的过程,称为工艺过程。它包括毛坯制造、零件加工、部件或产品装配、检验和涂装、包装等。其中,采用机械加工的方法直接改变毛坯的形状、尺寸、表面质量和性能等,使其成为零件的过程,称为机械加工工艺过程。

2. 工艺过程的组成

机械加工工艺过程由若干个按顺序排列的工序组成,而工序又可依次细分为安装、工位、工步和走刀等几个层次。

1) 工序

一个或一组工人,在一个工作地对一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分工艺过程,称为工序。工序是组成工艺过程的基本单元。划分工序的主要依据是工作地是否变动和工作是否连续,以及操作者和加工对象是否改变四个要素。在加工过程中,只要有其中一个要素发生变化,即换了一个工序。如图 1-3 所示的阶梯轴,其工序划分如表 1-1 所示。在工序 1 中,对轴的一端车端面、钻中心孔后,要调头车另一端面(含取长度)、钻中心孔。假如把一批工件的一端先全部加工好,再加工全部工件的另一端,那么同样是这些加工内容,由于对每个工件而言加工过程是不连续的,因此应算作两道工序。

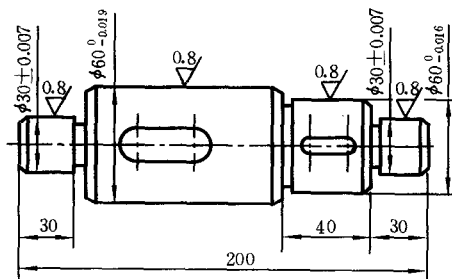


图 1-3 阶梯轴简图

表 1-1 阶梯轴工艺过程

工 序 号	工 序 内 容	设 备
1	车端面,钻中心孔	车床
2	车外圆、槽、倒角	车床
3	铣键槽,去毛刺	铣床
4	磨外圆	磨床

2) 安装

工件经一次装夹后所完成的那一部分工序称为安装。在工件加工前,先要将工件在机床上放置准确,并加以固定。使工件在机床上占据一个正确的工作位置的过程称为定位。工件定位后将其固定,使其在加工过程中不发生变动的操作称为夹紧。定位和夹紧的过程称为安装。在表 1-1 所示的工艺过程中,工序 1、2、4 都要调头一次,即都有两次安装。

3) 工位

工件在一次安装后,在机床上所占据的每一个工作位置,称为工位。生产中为了减少