

清华大学机械工程及其自动化系列教材

现代制造技术

Modern Manufacturing Technology

郁鼎文 陈 恳 编著

Yu Dingwen Chen Ken

清华大学出版社

清华大学机械工程及其自动化系列教材

现代制造技术

Modern Manufacturing Technology

郁鼎文 陈 愚 编著

Yu Dingwen Chen Ken

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为高等院校“现代制造技术”课程教材。它以制造信息为主线,较全面地论述了现代制造技术的基础理论、方法和支持技术,制造信息化、自动化和现代生产管理技术等,荟萃了现代制造技术有关的科研成果和发展方向,体现了制造学科领域当今的发展。

全书共分8章,包括绪论、基础理论与方法、现代制造支持技术、制造信息化技术、制造自动化技术、现代生产管理技术、现代制造生产模式和现代制造技术应用。

本书可作为高等学校机械制造及其自动化专业的专业课教材,也可供相关专业的本科生、研究生以及工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

现代制造技术/郁鼎文,陈恩编著. —北京:清华大学出版社,2006.8

(清华大学机械工程及其自动化系列教材)

ISBN 7-302-13332-8

I. 现… II. ①郁… ②陈… III. 机械制造工艺—高等学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第073972号

出 版 者:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦

邮 编:100084

客户服务:010-62776969

责任编辑:张秋玲

印 装 者:清华大学印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:25 字数:528千字

版 次:2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-13332-8/TH·211

印 数:1~4000

定 价:38.00元

序言

随着科学技术的发展和经济全球化,当今人类已进入知识经济社会和信息社会。我国经济体制将进一步由计划经济向社会主义市场经济转轨,经济的竞争性、变动性大大加强。过去在计划经济下形成的对口专业教育的观念,需要转向适应不断变化的社会需求,也就是说由对口性转向适应性。由于技术进步迅速发展,知识更新的周期缩短,现代教育观念将转变为终身教育。

认清当前教育改革的发展趋势,进一步转变教育思想和教育观念,需要培养“高层次、高素质、多样化、创新型”人才。高层次人才要具有良好的素质,包括政治思想素质、业务素质和文化素质。通识教育给学生以宽广的知识面,为进一步深造和就业打下坚实的基础。

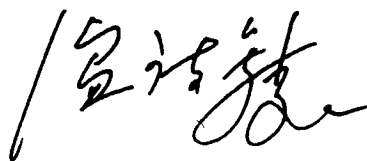
通识教育是当代学科发展趋势的需要,通过多学科的交叉和本硕统筹教育模式,把通与专结合起来。使学生既具有本学科的坚实基础,又通晓相关学科的发展趋势和知识。在综合学科的基础上,培养出多样化创新型的人才。我国当前国情与发达国家不尽相同,我国现状是工业化与知识化并存,所以不能照搬国外的培养模式。大学教育应成为提供高素质人才的基础,为我国的经济的发展做出贡献。所以通过课程结构调整、教学内容更新和教学方法改革,改善人才的知识结构才能创出具有特色的一流人才培养模式。

教材在培养人才中起着举足轻重的作用,是深化课程体系和教学内容改革和教学

II 现代制造技术

方式改革成果的总结。清华大学精密仪器与机械学系组织编写了一套系列教材,它主要涉及机械工程学科本科生和研究生课程中的基础课、专业课和实践课。本着“先进性,创新性,实用性”的宗旨,力争反映当代机械科学技术的基本内容和发展趋势,尽可能地将最新的生产和科研成果纳入到教材中。在编写中力图符合教学特点和学生的认识规律,全面提升教材质量,创出新的教学体系。

中国科学院院士

A handwritten signature in black ink, likely belonging to Fan Zhen, a Chinese Academy of Sciences Academician. The signature is stylized and cursive.

2003年2月24日

清华大学机械工程及其自动化系列教材

编 委 会

顾 问 (按姓氏笔画排序)

金国藩(中国工程院院士)

温诗铸(中国科学院院士)

主 任 李庆祥

副主任 丁天怀 贾惠波 申永胜

委 员 刘朝儒 陈 愚 王东生 王伯雄

毛文炜 郁鼎文 郝智秀 季林红

秘 书 冯 涓 陆体军

前言

现代制造技术所涵盖的内容极其广泛,是信息技术、自动化技术、计算机技术、系统工程技术、管理工程、生物智能工程同传统制造技术相结合的综合技术。现代制造技术主要包括 3 方面的内容:先进制造工艺与装备、制造信息化与自动化、先进组织与管理。由于课程体系的安排,先进制造工艺与装备已在(或将在)其他课程中讲授,本课程教材主要侧重制造信息化与自动化以及先进组织与管理。

制造指从市场分析、产品开发、产品的生产技术准备(含产品设计、编制产品工艺、设计和制造工艺装备等),到产品的生产(加工和装配)、产品的生产组织与计划管理、产品的质量保证以及产品的包装和发送等全部活动和过程。而在整个制造过程中,以制造信息为主线,利用多学科综合先进技术改造,提升传统制造业,使制造业产生深刻的变化,是现代制造技术的主要特征之一。

“现代制造技术”这门课程,是根据清华大学机械制造及其自动化专业的教学改革需要而设立的,它是作为进一步学习有关专业课程的一门集制造信息化、自动化、现代生产管理为一体的必修先导课程,课程的覆盖面广,力求在 48 学时内使学生掌握现代制造技术的基础知识,并通过实验和讨论,与其他课程结合,培养学生进一步学习和研究的能力。

本教材由清华大学精密仪器与机械学系郁鼎文和陈恳负责主编,在讨论编写大纲和编写过程中,得到了王立平和吴丹老师的大力支持。其中第 1,2,4 章和 6,7 章的部分内容由郁鼎文编写,第 3,5,8 章和 6,7 章的部分内容由陈恳和刘召编写。本教材在 2004 年和 2005 年两届学生使用后进行了较大的修订。

现代制造技术发展日新月异,人们对知识更新的期望值不断增加,再加上我们的水平有限,教材中难免存在不足,在此恳请读者提出宝贵意见。

作 者

2006 年 6 月 于清华园

目录

1 绪论	1
1.1 制造与制造技术	1
1.1.1 生产与制造	1
1.1.2 制造系统	3
1.1.3 制造技术	5
1.1.4 制造业在国民经济中的地位	6
1.2 制造技术的发展历程	6
1.2.1 传统制造技术的发展历程	6
1.2.2 现代制造技术的发展历程	7
1.3 现代制造技术概述	8
1.3.1 现代制造技术的主要领域	8
1.3.2 现代制造技术的分类	9
1.4 现代制造技术的特点及发展趋势	11
1.4.1 现代制造技术的特点	11
1.4.2 现代制造技术的发展趋势	11
2 基础理论与方法	15
2.1 现代制造系统	15
2.1.1 制造系统的基本构成	15
2.1.2 物料流	16
2.1.3 信息流	17
2.1.4 能量流	17
2.1.5 制造信息观	20

2.2	制造系统广义模型化方法	20
2.2.1	制造系统建模概述	20
2.2.2	广义模型化方法的提出	21
2.2.3	广义模型的概念	23
2.2.4	广义模型化方法	23
2.3	功能建模方法 IDEF0	26
2.3.1	IDEF0 的语法语义	26
2.3.2	IDEF0 的工作方法	31
2.4	信息建模方法 IDEF1X	35
2.4.1	数据库的数据模式	35
2.4.2	IDEF1X 的基本要素及其语法定义	36
2.4.3	IDEF1X 方法的建模过程	45
2.5	过程建模方法 IDEF3	51
2.5.1	IDEF3 方法概述	51
2.5.2	以过程为中心的视图——过程流程图	52
2.5.3	IDEF3 的基本元素	54
2.5.4	以对象为中心的视图——对象状态转换网图	55
2.6	Petri 网建模方法	57
2.6.1	Petri 网的定义	57
2.6.2	制造系统的若干基本 Petri 网模型	59
2.6.3	一个生产单元的 PN 建模	62
2.7	排队论方法	65
2.7.1	排队系统的组成和特征	65
2.7.2	M/M/1 系统	66
2.7.3	M/M/C 系统	68
2.7.4	M/M/1/k 系统	70
3	现代制造支持技术	73
3.1	数据标准和接口技术	73
3.1.1	产品数据交换方式	73
3.1.2	初始图形交换规范——IGES 标准	75
3.1.3	产品模型数据交换标准——STEP 标准	77
3.2	数据库技术	80
3.2.1	概述	80

3.2.2	数据模型类型	81
3.2.3	工程数据库管理系统	84
3.2.4	CIMS 数据库	85
3.3	网络技术	87
3.3.1	概述	87
3.3.2	网络通信协议	89
4	制造信息化技术	92
4.1	制造信息化的特点与要求	92
4.1.1	传统制造的分析	92
4.1.2	制造信息化的分析	93
4.1.3	制造信息的规范化和标准化	95
4.2	制造信息	101
4.2.1	制造信息的总体结构	101
4.2.2	制造信息的分类及特点	101
4.2.3	制造信息编码	102
4.2.4	产品设计信息	112
4.2.5	工艺设计信息	124
4.2.6	生产管理信息	133
4.3	计算机辅助工艺规划	141
4.3.1	CAPP 系统的基本组成	141
4.3.2	CAPP 中零件信息描述	142
4.3.3	派生式 CAPP 系统	149
4.3.4	创成式 CAPP 系统	153
4.3.5	CAPP 工艺决策专家系统	160
4.3.6	CAPP 数据库	167
4.3.7	CAPP 技术的发展	168
4.4	制造信息系统集成	173
4.4.1	制造系统集成与信息集成	173
4.4.2	制造信息系统集成结构	174
4.4.3	集成平台技术	175
5	制造自动化技术	180
5.1	概述	180
5.1.1	制造自动化的定义与发展	180

5.2	制造自动化基础技术	186
5.2.1	装备数字控制技术	186
5.2.2	机器人化制造技术	208
5.2.3	信息检测与分析技术	218
5.3	制造自动化系统技术	221
5.3.1	柔性制造自动化系统	221
5.3.2	计算机集成制造系统	233
5.3.3	智能制造系统	237
5.4	制造过程自动化技术	240
5.4.1	制造自动化过程集成	240
5.4.2	物流输送自动化	244
5.4.3	基于网络的异地制造自动化	249
6	现代生产管理技术	253
6.1	概述	253
6.2	物料需求计划和制造资源计划	259
6.2.1	物料需求计划	259
6.2.2	制造资源计划	263
6.3	车间生产计划调度与控制	281
6.3.1	车间计划调度与控制的对象	282
6.3.2	车间计划调度与控制的框架模型	282
6.3.3	车间计划调度与控制的实现形式	286
6.4	制造质量管理技术	294
6.4.1	概述	294
6.4.2	制造质量管理方法	296
6.4.3	计算机辅助质量管理技术	307
7	现代制造生产模式	318
7.1	敏捷制造	318
7.1.1	敏捷制造产生的背景	318
7.1.2	敏捷制造的内涵及概念	318
7.1.3	敏捷制造的基本特点	319
7.1.4	敏捷制造企业的主要特征	320
7.1.5	敏捷制造战略体系	320
7.1.6	敏捷制造的实现技术	321

7.1.7	敏捷制造对制造业的影响	323
7.2	精益生产	323
7.2.1	精益生产的提出及发展背景	323
7.2.2	精益生产的内涵及体系	324
7.2.3	精益生产的主要内容	326
7.2.4	精益生产的看板系统	327
7.3	并行工程	328
7.3.1	并行工程产生的背景	328
7.3.2	并行工程的定义和特征	329
7.3.3	并行工程的理论基础与运行机理	330
7.3.4	并行工程的体系结构及关键技术	331
7.3.5	并行工程的支持工具	333
7.4	绿色制造	334
7.4.1	绿色制造的提出	334
7.4.2	绿色制造的定义及内涵	335
7.4.3	绿色制造的研究内容	336
7.4.4	绿色制造的评价	339
7.4.5	绿色制造的实施	341
7.5	虚拟制造	342
7.5.1	虚拟制造概念的产生背景	342
7.5.2	虚拟制造的内涵	343
7.5.3	虚拟制造的技术体系	345
7.5.4	虚拟制造系统的体系结构	347
7.5.5	虚拟制造环境与平台	348
8	现代制造技术应用	351
8.1	制造系统的实施	351
8.2	制造信息系统实例分析	355
8.2.1	CAPP 分系统需求分析	355
8.2.2	CAPP 系统结构设计及子系统划分	361
8.2.3	CAPP 系统功能详细设计	362
8.2.4	CAPP 系统界面设计	364
8.2.5	产品工艺信息模型	366
8.3	制造自动化系统实例分析	369

8.3.1	需求分析与可行性论证·····	369
8.3.2	类型选择的指导思想·····	371
8.3.3	零件族与生产量的确定·····	371
8.3.4	零件分析及工艺规程的确定·····	372
8.3.5	人机系统分析·····	372
8.3.6	系统组成及平面布局·····	373
8.3.7	单元计划调度系统软件·····	377
8.3.8	实施要点·····	379
8.3.9	效益分析·····	381
参考文献·····		382

1

绪 论

1.1 制造与制造技术

1.1.1 生产与制造

1. 生产

生产活动是人类赖以生存和发展的最基本活动。从系统观点出发,生产可被定义为一个将生产要素转变为生产财富,并创造效益的输入输出系统,如图 1-1 所示。

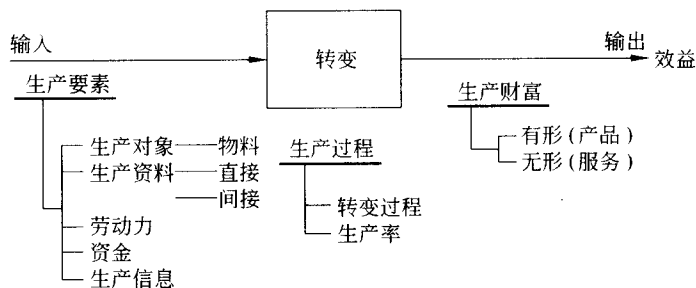


图 1-1 生产的定义

生产系统的输入是生产要素。它包括：①作为生产对象的原材料(Material)；②作为直接生产资料的机器(Machine)、设备、工具和间接生产资料的厂房、道路等；③作为劳动力主体的人(Man)；④资金(Money)；⑤作为支持生产活动的信息、情报(Message)、知识和方法等。上述要素常称为“5M”要素。

生产系统的输出是生产财富,包括有形的财富(产品)和无形的财富(服务)。在创造生产财富的同时,必然伴随着一定的经济效益和社会效益的产生。效益有“正效益”和“负效益”之分:正效益指生产的财富能够满足人们物质生活和精神生活的需要,生产活动本

身能够促进社会健康发展;而负效益则指生产活动给社会带来的负面影响,如对于自然生态环境的破坏、各种各样的污染(其中也包括精神污染)等。对于生产活动中的负效益,政府及社会必须加以严格限制。

2. 生产企业的划分

生产企业通常划分为 3 大类别,即第一产业、第二产业和第三产业。第一产业指直接利用自然资源的种植业、养殖业和采矿业。第二产业指将第一产业生产的原料转化为产品的行业。制造业属于第二产业的范畴,并通常将第二产业中除了建筑业和能源工业以外的其他行业均视为制造业。第三产业通常指金融和服务行业。美国对第一、第二、第三产业的划分见表 1-1。

表 1-1 第一、第二、第三产业的划分

第一产业	第二产业		第三产业	
农业	航空、航天	电器	银行	保险
林业	纺织、服装	装备、重型机械	通信	法律机构
渔业	汽车	金属制品	教育	房地产
畜牧业	冶金、钢铁	玻璃、陶瓷	娱乐	修理与维护
矿业	食品、饮料	造纸	金融服务	餐饮
采石业	建材、家具	制药	政府	商业
石油业	化工、石油精炼	塑料制品	医疗、保健	旅游
	计算机、半导体	能源、电力	旅馆	交通、运输
	建筑	出版	信息	
	日用消费品	橡胶		

3. 制造

制造是人类所有经济活动的基石,是人类历史发展和文明进步的动力。制造是人类按照市场需求,运用主观掌握的知识和技能,借助于手工或利用客观物质工具,采用有效的工艺方法和必要的能源,将原材料转化为最终物质产品并投放市场的全过程。制造也可以理解为制造企业的生产活动,即制造也是一个输入输出系统,其输入也是生产要素,输出是具有使用价值的产品。制造的概念有广义和狭义之分:狭义的制造是指生产车间与物流有关的加工和装配过程;而广义的制造,则包括市场分析、经营决策、工程设计、加工装配、质量控制、生产过程管理、销售运输、售后服务直至产品报废处理等整个产品生命周期内一系列相互联系的生产活动。在当今的信息时代,广义制造的概念已为越来越多的人所接受。这也是本书采用的观点。

国际生产工程学会 1990 年将制造定义为:制造是一个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的总称。

4. 制造业

制造业指将制造资源,包括物料、设备、工具、资金、技术、信息和人力等,通过制造过程转化为可供人们使用和消费的产品。制造业是所有与制造有关的企业群体的总称。制造业涉及国民经济的许多部门,包括一般机械、食品工业、化工、建材、冶金、纺织、电子电器、运输机械等。

制造业是国民经济的支柱产业,它一方面创造价值,生产物质财富和新的知识,另一方面为国民经济各个部门提供先进的手段和装备。在工业化国家中,约 25% 的人口从事各种形式的制造活动。在非制造业部门中,约有一半人数的工作性质与制造业密切相关。

1.1.2 制造系统

制造系统指由制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员组成的一个具有特定功能的有机整体。制造过程即为产品的经营规划、开发研制、加工制造和控制管理的过程;硬件包括生产设备、工具和材料、能源以及各种辅助装置;软件包括制造理论、制造工艺和方法以及各种制造信息等。

1. 制造系统的组成及功能

制造作为一个系统,由若干个具有独立功能的子系统构成,见图 1-2,其主要子系统及其功能如下:

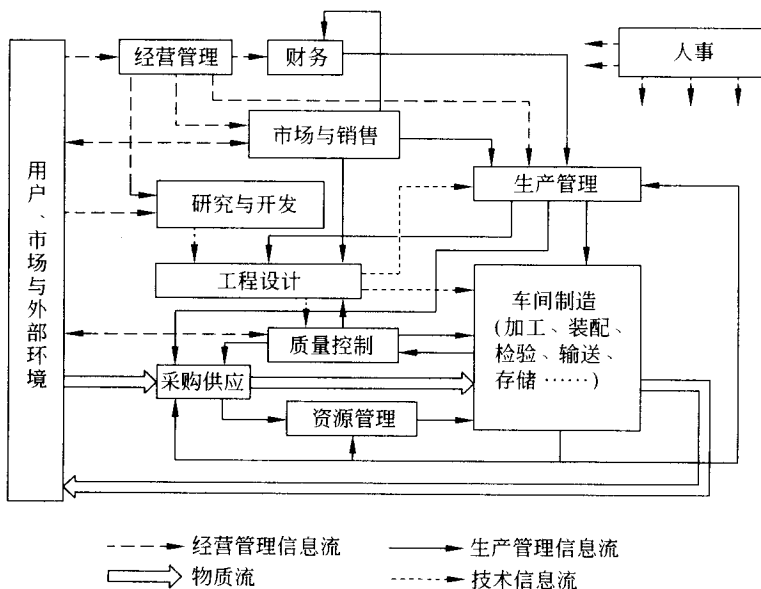


图 1-2 制造系统功能结构

- (1) 经营管理子系统 确定企业经营方针和发展方向,进行战略规划、决策。
- (2) 市场与销售子系统 进行市场调研与预测,制定销售计划,开展销售与售后服务。
- (3) 研究与开发子系统 制定开发计划,进行基础研究、应用研究与产品开发。
- (4) 工程设计子系统 进行产品设计、工艺设计、工程分析、样机试制、试验与评价,制定质量保证计划。
- (5) 生产管理子系统 制定生产计划、作业计划,进行库存管理、成本管理、资源管理(设备管理、工具管理、能源管理、环境管理)、生产过程控制。
- (6) 采购供应子系统 负责原材料及外购件的采购、验收、存储。
- (7) 质量控制子系统 收集用户需求与反馈信息,进行质量监控和统计过程控制。
- (8) 财务子系统 制定财务计划,进行企业预算和成本核算,负责财务会计工作。
- (9) 人事子系统 人力资源管理、人事安排、招工与裁员。
- (10) 车间制造子系统 零件加工、部件及产品装配、检验、物料存储与输送、废料存放与处理。

上述各功能子系统既相互联系又相互制约,形成一个有机的整体,从而实现从用户订货到产品发送的生产全过程。

2. 制造系统的特性

1) 结构特性

制造系统可视为若干硬件(生产设备、工具、运输装置、厂房、劳动力等)的集合体,为使硬件充分发挥效能,必须有软件(制造科学、生产信息、制造技术等)支持。

2) 转换特性

制造系统是一个将生产要素转换成产品的输入输出系统,其主要功能便是转换功能——科学、合理、充分、有效地开发利用各种资源,高效、优质、低耗、廉价、灵活、清洁地进行资源转换,即生产制造,提供客户需要的产品、服务和相关的社会责任。从技术的角度出发,制造是通过加工和装配将原材料转换为产品的过程。该过程总是伴随着机器、工具、能源、劳动力和信息的作用,如图 1-3 所示。这种转换不仅指物流,同时也包含信息流和能量流。从经济的观点出发,制造过程的转换可以被理解为通过改变物料形态或性质而使其不断增值的过程,如图 1-4 所示。研究系统转换特性的目的,主要是从技术和经济的角度,研究如何使转换过程更有效地进行。

3) 过程特性

制造系统的资源转换本质上是一个过程,是一个面向客户需求、不断适应环境变化、不断改进的动态过程。这个大过程又由若干子过程和子子过程组成,如经营决策子过程、研究开发子过程、生产制造子过程等。