



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校机械工程及自动化  
机械设计制造及其自动化



专业系列教材

# 机械制造 技术基础

(第二版)

张世昌 李旦 高航 主编

 高等教育出版社

TH16

30-2

2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校机械工程及自动化

机械设计制造及其自动化专业系列教材

# 机械制造技术基础

第二版

张世昌 李 旦 高 航 主编

高等教育出版社

内容简介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,同时也是高等教育百门精品课程教材建设计划内教材和教育部新世纪网络课程“机械制造技术基础”的主要参考书。本教材根据全国机械工程类专业教学指导委员会建议的指导性教学计划,并结合近几年的教学实践和教学改革成果编写而成。

本书主要介绍机械制造技术的基础知识、基本理论和基本方法。内容分为7章,包括机械制造基本理论和基础知识,机械加工方法与机械加工系统,切削与磨削原理,机械加工质量分析与控制,机械加工工艺过程设计,机械装配和机械制造技术的最新发展等。

本书力求理论联系实际,努力贯彻“少而精”的原则,通过较多的实例分析和图表运用,以较少篇幅传递较多信息,以使读者易于理解和掌握。

本书主要作为普通高等院校机械设计制造及其自动化专业的教材,普通高等院校其他相关专业以及自学考试、业余大学、职工大学、函授大学相关专业的教材或参考书,亦可供从事机械制造的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础 / 张世昌, 李旦, 高航主编. —2版.  
—北京: 高等教育出版社, 2007.5  
ISBN 978-7-04-021267-9

I. 机… II. ①张…②李…③高… 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(2007)第 047996 号

策划编辑 卢 广      责任编辑 杜惠萍      封面设计 刘晓翔      责任绘图 尹文军  
版式设计 王艳红      责任校对 张 颖      责任印制 韩 刚

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100011  
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16  
印 张 21.75  
字 数 540 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landraco.com>  
<http://www.landraco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2001 年 8 月第 1 版  
2007 年 5 月第 2 版  
印 次 2007 年 5 月第 1 次印刷  
定 价 27.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21267-00

## 郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人将承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序,保护读者的合法权益,避免读者误用盗版书造成不良后果,我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为,希望及时举报,本社将奖励举报有功人员。

**反盗版举报电话:** (010) 58581897/58581896/58581879

**传 真:** (010) 82086060

**E - mail:** dd@hep.com.cn

**通信地址:** 北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

**邮 编:** 100011

**购书请拨打电话:** (010)58581118

# 前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,同时也是高等教育百门精品课程教材建设计划内教材和教育部新世纪网络课程“机械制造技术基础”的主要参考书。

自1999年正式贯彻教育部颁布的新的专业目录以来,各高等院校对机械工程专业教学计划和课程体系进行了大的调整和改革,并取得了显著成果。在新的课程体系中,“机械制造技术基础”被列为机械制造系列课程中的主干学科基础课程,计划学时多安排为64学时,与之相配合的还有实验、练习、生产实习及课程设计等教学环节。本书是为该课程的课堂教学而编写的教材。

本书是在2001年高等教育出版社出版的、张世昌等主编的《机械制造技术基础》一书的基础上修订而成的。

修订时参考了全国机械工程类专业教学指导委员会建议的指导性教学计划,并充分结合各院校近年来的教学实践和教改成果,主要指导思想是:

1. 作为一门学科基础课,主要目标是通过本课程的学习,使学生掌握有关机械制造技术的基础知识、基本理论和基本方法,这是本书的重点内容所在。

2. 本课程的另一个重要目标是通过课程学习及相关的实验、练习、生产实习及课程设计等实践环节的训练,培养学生分析和解决机械制造实际工程问题的基本能力,这是本书的主要着力点。

3. 机械制造技术具有极强的实践性特点,为使便于学生掌握课程的基本内容,本书力求理论联系实际,尽可能多地引用生产实例进行分析,以加深学生对所述内容的理解。

4. 考虑到当今机械制造技术的迅速发展,本书在重点介绍有关机械制造技术的基础知识、基本理论和基本方法的同时,还兼顾了机械制造领域的最新成就和发展趋势,使学生通过本课程的学习对机械制造技术的发展有一个全面的了解和正确的认识。

5. 贯彻“少而精”的原则,尽量多用图、表来表达叙述性的内容,并力求以较少的篇幅重点突出地传递较多的信息。

本书的主要内容包括:制造技术与制造系统的基本概念,先进制造哲理,机械制造过程基础知识,切削与磨削加工原理,机械加工质量分析与控制,机械加工工艺过程设计,机械装配工艺,机械制造技术的最新发展等。

本书主要用作普通高等院校机械设计制造及其自动化专业的教材,普通高等院校其他相关专业以及自学考试、业余大学、职工大学、函授大学相关专业的教材或参考书,以及供从事机械制造的工程技术人员参考。

全书由天津大学张世昌、张冠伟、李佳,哈尔滨工业大学李旦、韩荣第,大连理工大学高航,东南大学程序,哈尔滨理工大学郑敏利和北京科技大学张世荣共同编写,由张世昌、李旦、高航担任

主编。各章编写分工为:第1章——张世昌;第2章——程序;第3章——郑敏利;第4章——李旦、韩荣第;第5章——张世荣、李佳;第6章——高航;第7章——张冠伟、张世昌。本书由张世昌统稿,清华大学王先逵教授主审。

由于编者水平的限制,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2007年3月

# 目 录

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| <b>第 1 章 机械制造技术概论</b> .....         | 1   |
| 1.1 制造与制造技术 .....                   | 1   |
| 1.2 机械制造业的发展及其在国民<br>经济中的地位 .....   | 6   |
| 1.3 先进制造哲理与先进生产模式 ...               | 9   |
| 1.4 机械制造方法总论 .....                  | 35  |
| 习题与思考题 .....                        | 40  |
| <b>第 2 章 机械制造过程基础知识</b> .....       | 42  |
| 2.1 机械制造工艺过程 .....                  | 42  |
| 2.2 零件机械加工方法 .....                  | 46  |
| 2.3 基准与装夹 .....                     | 56  |
| 2.4 机床与夹具 .....                     | 71  |
| 2.5 刀具与磨具 .....                     | 81  |
| 习题与思考题 .....                        | 91  |
| <b>第 3 章 切削与磨削原理</b> .....          | 94  |
| 3.1 切削过程 .....                      | 94  |
| 3.2 切削力 .....                       | 103 |
| 3.3 切削热与切削温度 .....                  | 107 |
| 3.4 刀具磨损、破损与使用寿命 ...                | 110 |
| 3.5 金属切削条件的合理选择 .....               | 116 |
| 3.6 磨削原理 .....                      | 126 |
| 3.7 高速切削与磨削 .....                   | 133 |
| 习题与思考题 .....                        | 144 |
| <b>第 4 章 机械加工质量</b> .....           | 146 |
| 4.1 机械加工质量概述 .....                  | 146 |
| 4.2 工艺系统原有误差对加工<br>精度的影响及其控制 .....  | 152 |
| 4.3 加工过程中原始误差对加工<br>精度的影响及其控制 ..... | 164 |
| 4.4 加工误差的统计分析 .....                 | 172 |
| 4.5 机械加工表面质量的影响<br>因素及改善措施 .....    | 180 |
| 4.6 机械加工过程中的振动<br>及其控制 .....        | 192 |
| 习题与思考题 .....                        | 199 |
| <b>第 5 章 机械加工工艺过程设计</b> ...         | 204 |
| 5.1 制订机械加工工艺规程的<br>步骤和方法 .....      | 204 |
| 5.2 定位基准的选择 .....                   | 208 |
| 5.3 工艺路线的拟定 .....                   | 214 |
| 5.4 数控加工工艺 .....                    | 229 |
| 5.5 加工余量、工序尺寸及工序<br>公差确定 .....      | 236 |
| 5.6 工艺尺寸链 .....                     | 241 |
| 5.7 计算机辅助工艺过程设计<br>(CAPP) .....     | 253 |
| 5.8 工艺过程经济分析 .....                  | 260 |
| 习题与思考题 .....                        | 264 |
| <b>第 6 章 机器的装配工艺</b> .....          | 269 |
| 6.1 机器装配概述 .....                    | 269 |
| 6.2 保证装配精度的工艺方法 .....               | 274 |
| 6.3 机器的自动装配 .....                   | 288 |
| 习题与思考题 .....                        | 299 |
| <b>第 7 章 机械制造技术的发展</b> .....        | 302 |
| 7.1 先进制造技术概述 .....                  | 302 |
| 7.2 机械制造自动化技术 .....                 | 306 |
| 7.3 非传统加工方法 .....                   | 315 |
| 7.4 精密加工技术 .....                    | 323 |
| 习题与思考题 .....                        | 337 |
| <b>参考文献</b> .....                   | 338 |

# 第 1 章 机械制造技术概论

## 本章要点

本章首先从大制造的概念出发,介绍关于生产、制造、制造技术、制造系统等基本概念,机械制造业的发展简况及其在国民经济中的地位,然后重点介绍与现代制造技术密切相关的制造哲理和生产模式,最后对机械制造方法从宏观上进行说明。本章旨在使学习者建立一个系统的观点,并能从全局把握住制造技术的基本问题。

学习本章内容,应深刻理解“大制造”概念的内涵和实质,正确认识“大制造”与“小制造”之间的关系,了解现代制造哲理,并学会用系统的观点和方法来分析和解决机械制造中的实际问题。

## 1.1 制造与制造技术

### 1.1.1 生产与制造

“制造”(manufacturing)一词源于拉丁语,原意是“手工制作”,即把原材料用手工方式制成有用的产品。近 30 年来,由于生产力和科学技术的高度发展,“制造”的含义有了很大的扩展。

现代“制造”的含义与“生产”密切相关。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,生产可被定义为是一个将生产要素转变为经济财富,并创造效益的输入输出系统,如图 1-1 所示。

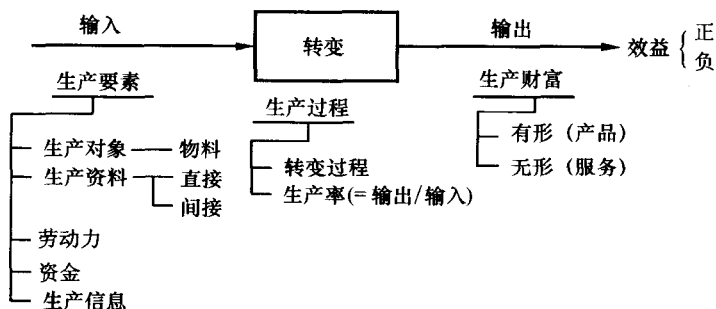


图 1-1 生产的定义

生产系统的输入是生产要素,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) 作为劳动力的主体人(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。

上述要素常被称为“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:正效益是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的限制。

有效地将生产要素转变成生产财富是十分重要的。转变过程效率的度量标准是生产率,生产率可以被定义为系统输出与输入之比。获得尽可能高的生产率,始终是生产企业经营者追求的目标,也是生产企业在激烈的市场竞争中得以生存和发展的重要条件。

生产企业通常可以划分为三种大的类别:第一产业、第二产业和第三产业。第一产业是指直接利用自然资源的种植业、养殖业和采矿业。第二产业是指将第一产业生产的原料转化为产品的企业。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、二、三产业的划分

| 第一产业 | 第二产业    | 第三产业        |
|------|---------|-------------|
| 农业   | 航天航空    | 银行          |
| 林业   | 纺织、服装   | 通信          |
| 渔业   | 汽车      | 教育          |
| 畜牧业  | 冶金、钢铁   | 娱乐          |
| 矿业   | 食品、饮料   | 金融服务        |
| 采石业  | 建材、家具   | 政府          |
| 石油业  | 化工、石油精炼 | 医疗、保健       |
|      | 计算机、半导体 | 旅馆          |
|      | 建筑      | 资讯          |
|      | 日用消费品   | 保险          |
|      | 电器      | 法律机构        |
|      | 装备、重型机械 | 房地产         |
|      | 金属制品    | 修理与维护       |
|      | 玻璃、陶瓷   | 餐饮          |
|      | 造纸      | 商业(零售业、批发业) |
|      | 制药      | 旅游          |
|      | 塑料制品    | 交通、运输       |
|      | 能源、电力   |             |
|      | 出版      |             |
|      | 橡胶      |             |

明确了生产的概念以及制造业的范围,也就明确了“制造”的含义:制造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,其输入是生产要素,输出是具有直接使用价值的产品。这是一个“大制造”的概念,是对“制造”的广义理解。按照这样的理解,制造应包括从市场分析、经营决策、工程设计、加工装配、质量控制、销售运输、售后服务直至产品报废处理的全过程。在当今的信息时代,制造的广义概念已为越来越多的人所接受。

但是,制造也常常被理解为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。这是一个“小制造”的概念,是对“制造”的狭义理解,按照这种理解方式,制造过程主要考虑企业内部生产过程中物料形态的转变过程,即物质流,而较少涉及生产过程中的信息流。

由于在新型的生产模式中,信息流和物质流是一个有机整体的两个侧面,是相互交融和密不可分的,因此狭义理解制造存在着严重不足。尽管如此,从专业和技术的角度出发,制造的狭义理解仍然是合理的,因为物料形态的变化始终是生产活动的核心,如何使物料形态按照人们预期的目标发生转变,是生产技术研究的永恒主题。

### 1.1.2 制造系统

制造作为一个系统,和所有的系统一样,由若干个具有独立功能的子系统构成,如图 1-2 所示。其主要子系统及其功能如下:

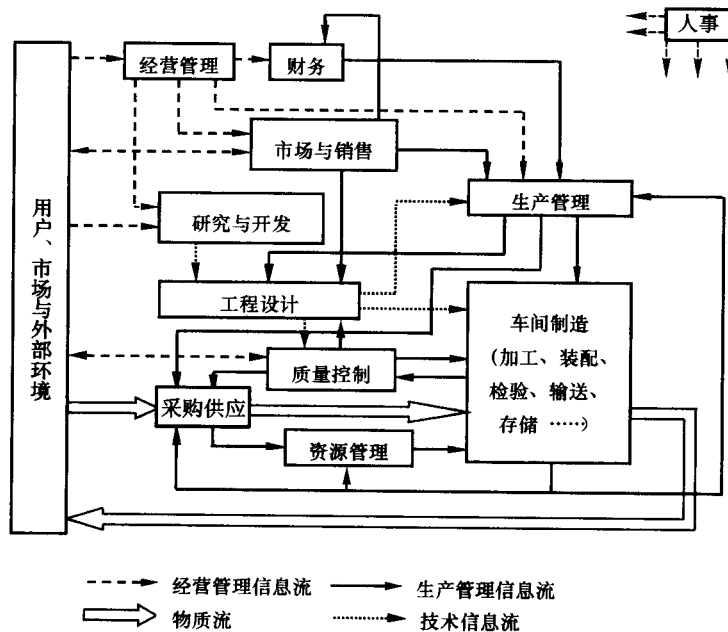


图 1-2 制造系统功能结构

- 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,制订销售计划,开展销售与售后服务。
- 3) 研究与开发子系统 制订开发计划,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,制订质量保证计划。

5) 生产管理子系统 制订生产计划、作业计划,进行库存管理、成本管理、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 制订财务计划,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。

制造作为一个系统,具有一般系统的共性,包括如下几个方面:

### 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(生产信息、制造技术等)支持,如图1-3所示。工厂设计中,有关人员和设备的合理配置与布局等,即是从系统结构方面对制造系统进行研究。

### 2. 转变特性

如前所述,制造系统是一个将生产要素转变成产品的输入输出系统,其主要功能便是转变功能。从技术的角度出发,制造是通过加工和装配把原材料变为产品的过程。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1-4a所示。这种转变不仅指物流,同时也包含了信息流和能量流。从经济的观点出发,制造过程的转变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1-4b所示。

作为制造系统转变过程实例,图1-5给出了汽车生产物流过程的示意图。

研究系统的转变特性的目的主要是从工程技术和经济的角度,研究如何使转变过程更有效地进行。

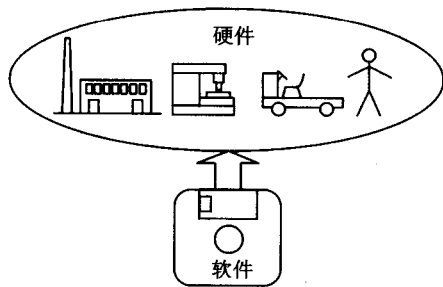


图 1-3 制造系统结构特性

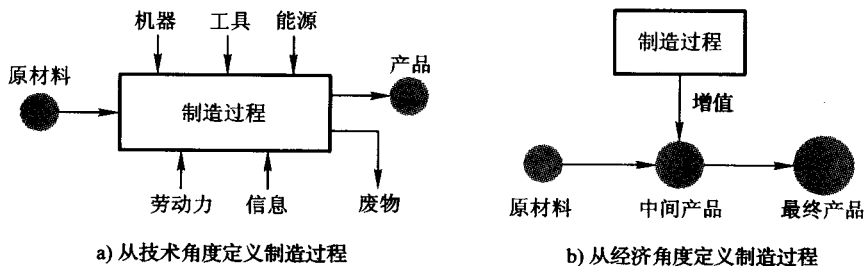


图 1-4 制造系统的转变特性

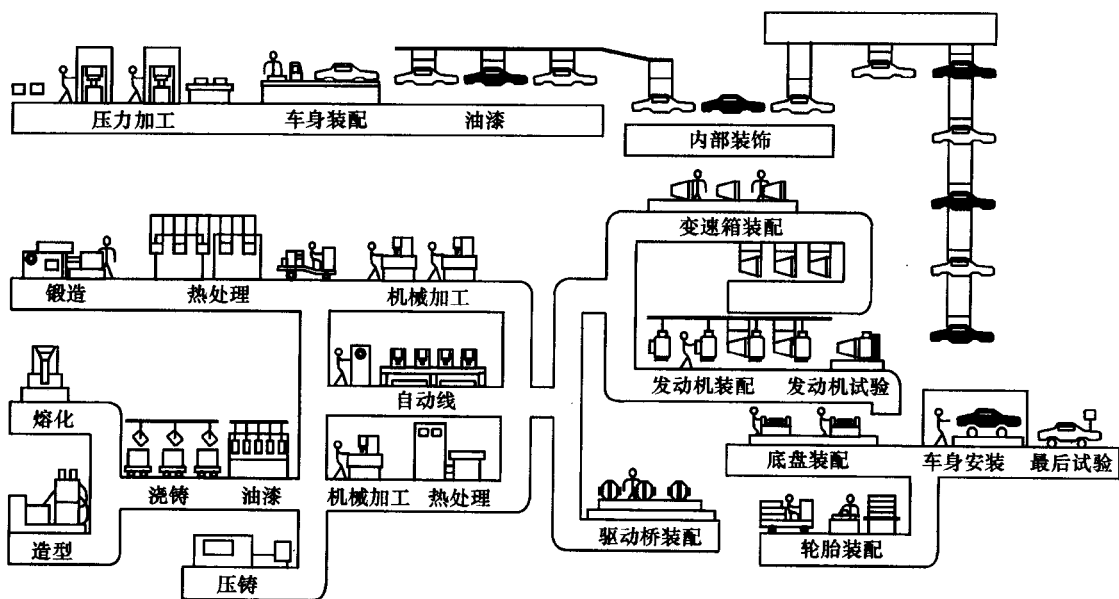


图 1-5 汽车生产物流示意图

### 3. 程序特性

所谓“程序”是指一系列按时间和逻辑安排的步骤。从这个意义出发,制造系统可视为是一个生产产品的工作程序,如图 1-6 所示。研究制造系统的程序特性,主要从管理角度研究如何使生产活动达到最佳化。

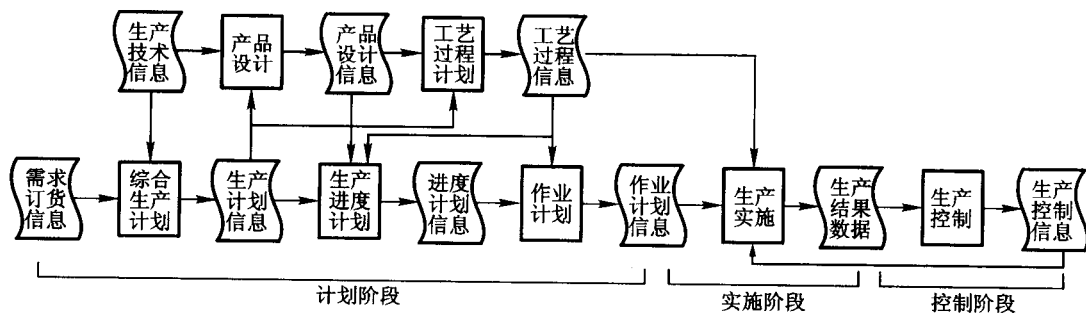


图 1-6 制造系统的程序特性

制造系统的各项功能及其活动按参与生产流程的职能和流向,可概括为物质流和信息流两类流动,如图 1-2 所示。物质流用于改变物料的形态与地点,信息流用以规划、指挥、协调与控制物料的流动,使制造系统有效地运行。信息流又可分为技术信息流和管理信息流,后者又可细分为经营管理信息流和生产管理信息流。

研究制造系统的功能结构和系统特性,其目的都是为了使制造系统中的物质流与信息流有机地结合起来,使系统的硬件和软件有机地结合起来,使制造工艺和生产管理有机地结合起来,以达到系统的最佳配置、最佳组合和最佳运行状态,获得整体最优效果。这便是从系统的观点研究制造和制造技术的基本出发点。

### 1.1.3 制造技术

制造技术是为了有效完成制造活动所施行的一切手段的总和。这些手段包括运用一定的知识、技能,操纵可以利用的物质、工具,采取各种有效的策略、方法等。制造技术是制造企业的技术支柱,是制造企业持续发展的根本动力。美国国家生产力委员会所作的一项调查表明,在企业生产力构成中,制造技术的作用约占62%。

这里有必要说明“科学”与“技术”的差别。科学的基本任务是认识世界,所采用的基本方法是“分析”,最终成果的基本表现形式是各种“发现、揭示”;技术的基本任务则是改造世界,所采用的基本方法是“综合”,而最终成果的表现形式是“发明、创造、改进”。但科学和技术的差别不是绝对的和一成不变的,特别是在商品经济高度发展的今天,科学与技术的界限开始变得模糊,纯粹的科学研究不断萎缩,其主要原因是得不到足够的经费支持。经济法则使得许多科学研究从一开始就有明确的应用前景,例如超导技术、克隆技术等。

正是由于存在上述差异,通常将对制造过程所进行的各种规划、控制和管理活动也统称为“制造技术”。

与大、小制造概念相对应,对于制造技术的理解也有广义和狭义之分。广义地理解制造技术,它涉及生产活动的各个方面和生产的全过程,制造技术被认为是一个从产品概念到最终产品的集成活动,同时制造技术又是一个实现制造企业目标的功能体系和信息处理系统。在新的生产模式中,广义的制造技术得到广泛认同和采纳。

狭义理解制造技术则重点放在加工和装配工艺上,即从原材料或半成品经加工和装配后形成最终产品的过程,以及在此过程中所施行的一切手段的总和。狭义地理解制造技术,主要是从专业和技术角度出发,研究如何使物料形态按照预期的方向发生变化,以及如何使这种变化更加有效。

本书在机械制造技术概论一章中,主要采用“大制造”的概念,旨在给读者一个全局的观点。而在其余部分内容讨论中,则以“小制造”概念为基础,这是由本课程的内容和性质所决定的。

## 1.2 机械制造业的发展及其在国民经济中的地位

### 1.2.1 制造业的发展

人类文明的发展与制造业的进步密切相关。早在石器时代,人类就开始利用天然石料制作工具,用其猎取自然资源为生。到了青铜器和铁器时代,人们开始采矿、冶炼、铸锻工具,并开始制作纺织机械、水利机械、运输车辆等,来满足以农业为主的自然经济的需要。在绵延几千年的农业经济发展进程中,制造技术的创新与进步始终是生产发展和人类文明进步的支柱和推动力。但由于农业经济本身的束缚,当时的制造业只能采用作坊式手工业的生产方式,生产原动力主要是人力,局部利用水力和风力。

直至18世纪70年代,蒸汽机的改进和纺纱机的诞生,引发了第一次工业革命,产生了近代工业化的生产方式,手工劳动逐渐被机器生产所代替。到了19世纪中叶,电磁场理论的建立为发电机和电动机的产生奠定了基础,从而迎来了电气化时代。以电力作为动力源,使机器的结构

和性能发生了重大的变化。与此同时,互换性原理和公差制度应运而生。所有这些使制造业发生了重大变革,并进入了一个快速发展时期。

20 世纪初,内燃机的发明,使汽车开始进入欧美家庭,引发了制造业的又一次革命。自动生产线的出现和泰勒科学管理理论的产生,标志着制造业进入了“大量生产”(mass production)的时代。以汽车工业为代表的大批量自动化生产方式使生产率获得极大提高,从而使制造业有了更迅速的发展,并开始在国民经济中占据主导地位。

第二次世界大战后,通信技术的发展,电子计算机和集成电路的出现,以及运筹学、现代控制论、系统工程等软科学的产生和发展,使制造业产生了一次新的飞跃。传统的自动化生产方式只有在大批量生产的条件下才能实现,而数控机床的出现则使中小批量生产自动化成为可能。科学技术的高速发展,促进了生产力的极大提高和生产方式的重大变革。市场的全球化和需求的多样化,使得市场竞争日益激烈。传统的大批量生产方式已难以满足市场多变的需要,多品种、中小批量生产日渐成为制造业的主流生产方式。

20 世纪 80 年代以来,信息产业的崛起和通信技术的发展加速了市场的全球化进程。为了适应新的形势,在制造领域提出了许多新的制造哲理和生产模式,如计算机集成制造(CIM)、精良生产(LP)、并行工程(CE)、敏捷制造(AM)等。

进入 21 世纪,制造业将与其他高新技术更紧密地结合,并不断朝着自动化、精密化、柔性化、集成化、智能化和清洁化的方向发展。

### 1.2.2 机械制造业在国民经济中的地位

如前所述,制造业生产的是具有直接使用价值的产品,而这些产品与社会的生产活动和人民生活息息相关。当今制造业不仅是科学发现和技术发明转换为现实规模生产力的关键环节,并已成为为人类提供生活所需物质财富和精神财富的重要基础。良好的居住环境,充分的能源供给,便捷的交通和通信设施,丰富多彩的印刷出版、广播影视和网络媒体,优良的医疗保健手段,可靠的国家和社区安全以及抵抗自然灾害的能力等,均需要制造业的支持。图 1-7 显示了当今制造业的社会功能。

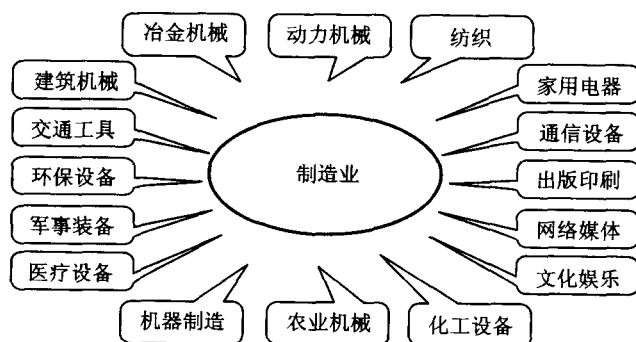


图 1-7 当今制造业的社会功能

制造业及机器制造技术在国民经济中的地位可以用以下几个简单的数字来进行说明:在先进的工业化国家中,国民经济总收入的 60% 以上来源于制造业。从就业人口比例来看,约有 1/4 的人口从事于制造业,而在非制造业部门中,又有约半数人员的工作性质与制造业密切相关。

纵观世界各国,任何一个经济强大的国家,无不具有发达的制造业,许多国家的经济腾飞,制造业功不可没。其中,日本最具有代表性。第二次世界大战后,日本先后提出“技术立国”和“新技术立国”的口号,对制造业的发展给予全面的支持,并抓住制造领域的关键技术——精密工程、特种加工和制造系统自动化,使日本在战后短短30年里,一跃成为世界经济大国。

与此相反,美国自20世纪50年代以后,曾在相当的一段时间内忽视了制造技术的发展。美国政府历来主张产业技术通过市场竞争,由企业自主发展。而美国学术界一度只重视理论成果,忽视实际应用,一部分学者还错误地认为制造业是“夕阳工业”,错误地主张将经济重心由制造业转向高科技产业和第三产业。结果导致美国经济严重衰退,竞争力明显下降,贸易逆差剧增,日本家电、汽车大量涌入并占领了美国市场。

直到20世纪80年代初,美国政府才开始认识到问题的严重性,白宫的一份报告指出:美国在重要的、高速增长的技术市场上失利的一个重要原因是美国没有把自己的技术应用到制造上。自此,美国政府在进行深刻反省之后,重新确立了制造业的地位,并对制造业给予了实质性的和强有力的支持,制订并实施了一系列振兴美国制造业的计划。其效果十分显著,至1994年,美国汽车产量重新超过日本,并重新占领了欧美市场。

### 1.2.3 我国机械制造业面临的机遇和挑战

在整个制造业中,机械制造业占有特别重要的地位。因为机械制造业是国民经济的装备部,国民经济各部门的生产水平和经济效益在很大程度上取决于机械制造业所提供的装备的技术性能、质量和可靠性。因而,各发达国家都把发展机械制造业放在了突出的位置上。

我国是一个文明古国,在机械制造领域有着悠久的历史。早在50万年以前的远古时代,我们的祖先就已开始使用石器和钻木取火的工具。公元前两千年左右,制成了纺织机械,并出现可转动的琢玉工具。车(旋)削加工和车床雏形在我国出现也早于欧洲近千年。到了明代(1368—1644年),在古天文仪器加工中,已采用铣削和磨削加工方法,并出现了铣床、磨床和刀刃刃磨机床的雏形。

但近百年来,由于帝国主义的侵入和腐朽的半封建半殖民地社会制度,严重束缚了中国社会的发展,使中国几千年的文明失去了光芒。中华人民共和国成立以前,中国的机械制造业基础十分薄弱。从1865年清政府在上海创办机械制造局起到1949年近一百年间,全国只有屈指可数的少数城市有一些机械工厂,且只能修配和生产一些简单的机电产品。

新中国成立以来,我国机械制造业有了很大地发展,开始能够独立自主地生产汽车、机床、飞机、工程机械、农业机械、石油化工机械、仪器仪表等重要机械产品,并初步形成了一个门类比较齐全、具有一定规模和技术水平的机械制造工业体系。特别是改革开放以来,我国机械制造业充分利用国内外两方面的资金和技术,进行了较大规模的技术改造,使制造技术、产品质量和水平及经济效益有了很大提高,为推动国民经济发展起了重要作用。

但与工业发达的国家相比,我国机械制造业的水平还存在阶段性的差距,主要表现在产品质量和水平不高,技术开发能力不强,基础元器件和基础工艺不过关,生产率低下,科技投入严重不足等。例如,我国机械制造业拥有300多万台机床,2000多万职工,堪称世界之最。但由于产品结构和生产技术相对落后,致使我国许多高、精、尖设备和成套设备仍需大量进口,机械制造业人均产值仅为发达国家的几十分之一。

面对越来越激烈的国际市场竞争,我国机械制造业面临着严峻的挑战。我们在技术上已经落后,加上资金不足,资源短缺以及管理体制和周边环境还存在许多问题,需要改进和完善。这些都给我们迅速赶超世界先进水平带来极大的困难。但另一方面,随着我国改革的不断深入,对外开放的不断扩大,也为我国机械制造业的振兴和发展提供了前所未有的良好条件。

当今,制造业的世界格局正在发生重大的变化,欧、亚、美三分天下的局面正在形成,世界经济重心开始向亚洲转移已出现征兆,制造业的产品结构、生产模式也在迅速变革之中。所有这些又给我们带来了难得的机遇。挑战与机遇并存,我们必须正视现实,面对挑战,抓住机遇,深化改革,把握方向,奋发图强,以使我国的机械制造业在不太长的时间内,赶上世界先进水平。

## 1.3 先进制造哲理与先进生产模式

### 1.3.1 批量法则 (batch rule)

#### 1. 大批量生产方式的产生

工业革命以后,至20世纪初,以机器代替人力成为生产的主要方式,大大促进了生产力的发展,并形成了现代意义上的机械制造业。但生产方式仍以作坊式的单件生产为主,由于机器精度不高,产品质量主要靠从业人员的技艺来保证,故称为“技艺”型生产时代。此时的工厂组织结构较分散,管理层次较简单,通常由业主或代办直接与顾客、雇员和协作商联系。这种生产方式的生产率较低,且生产周期较长,产品价格居高不下。

20世纪初,美国福特汽车公司首先在底特律建立了世界上第一条自动生产线,标志着大批量生产方式(mass production)的开始。由于机器精度的提高,工件加工质量容易得到保证,工人的技艺变得不再那么重要了。加上互换性原理的推行,汽车装配不再使用锉刀或刮刀,工人只需进行一些诸如按按钮、拧螺钉、焊接、涂漆等基本操作。装配流水线按一定的节拍运转,每个工人日复一日地重复一种简单的机械动作,完成一种固定的操作。与“技艺”型生产方式相比,在大批量生产方式下,多数从业人员不再需要很高的技术水平,而只需进行简单的培训,即可上线工作。这种生产方式大大缩短了生产周期,提高了生产效率,降低了生产成本,并使产品质量容易得到保证。大批量生产方式的推行,促进了生产力的巨大发展,使美国一跃成为世界一流经济强国。大批量生产方式也一度成为先进生产力的代表和当代工业化的象征。

#### 2. 大批量生产的特点及批量法则

大批量生产与多品种、中小批量生产相比具有以下特点:

1) 生产的产品产量大而品种少,重复生产一种或少数几种相类似的产品,工艺过程和生产条件稳定,大多数工作是固定完成一、二道工序,专业化程度高。

2) 多采用专用、高效设备和工艺装备,生产过程机械化、自动化程度及设备利用率较高,生产周期较短,零件加工质量易于保证。

3) 工人作业分工细,多数工人长期从事一、两种简单和重复性的操作,对工人的技术水平要



求不高。

4) 产品设计通用化、系列化、标准化程度高,零件互换性好,广泛采用互换装配法装配。

5) 产品社会需求量大,需求稳定。企业根据用户需求和科技发展水平,进行产品设计和制造。订货程序通常是先设计、生产,再面向用户。

6) 按产品组织专业化生产,多采用流水生产、自动生产线等生产组织形式,生产计划细致周密,生产过程易于控制。

由于以上特点,使得大批量生产可以获得较高的生产效率和较低的生产成本。当市场竞争以产品质量和生产成本为决定因素时,大批量生产方式显示了巨大的优越性。与中小批量生产相比,大批量生产可取得明显的经济效果,这就是所谓的“批量法则”(batch rule)。

批量法则以成本分析为基础。产品在其全生命周期内的总生产成本可近似表达为:

$$C_A = C_F + C_V \cdot Q^k \quad (1-1)$$

式中,  $C_A$ ——产品全生命周期总生产成本;

$C_F$ ——固定成本;

$C_V$ ——生产单位产品可变成本;

$Q$ ——生产产品总数量;

$k$ ——大于1的指数。

单件产品平均生产成本  $C_s$  为:

$$C_s = \frac{C_F}{Q} + C_V \cdot Q^{k-1} \quad (1-2)$$

对式(1-2)求导,并令其导数为0,可得到最低单件成本对应的产量  $Q_0$ :

$$Q_0 = \left[ \frac{C_F}{C_V(k-1)} \right]^{\frac{1}{k}} \quad (1-3)$$

$Q_0$ 称为最优生产规模。这一现象首先在汽车工业生产中被发现。图1-8表示了总生产成本和单件生产成本与生产规模之间的关系。由图可见,随着产量  $Q$  的增加,总生产成本  $C_A$  从固定成本点  $C_F$  开始上升,而平均单件生产成本  $C_s$  则呈下降趋势,两者均为非线性变化。当  $Q$  增大到  $Q_0$  后再继续增加时,  $C_A$  和  $C_s$  均发生突跳。这表示  $Q_0$  点对应该生产系统最大生产能力下的产量,越过该点再增加产量,由于原生产系统已饱和,必须再投资扩大生产规模。

需要指出的是,运用上面规律的前提条件是所生产的产品有大的市场需求。在目前条件下,脱离市场需求而盲目追求生产规模是不适宜的。

### 3. 专业化协作与扩散生产

根据批量法则,为了取得良好的经济效益,除合理地扩大产品的产量外,组织专业化协作生产是一种行之有效的办法。

计划经济时期,我国一直按“全能工厂”模式进行工业建设,工业企业或是“大而全”,或是“小而全”。实践表明,这种生产模式投资大,效率低,管理困难,经济效益差。究其原因,这种全

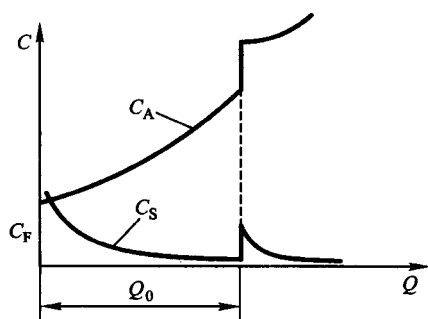


图1-8 生产成本与生产量的关系