



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



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

第三版

张世昌 李旦 张冠伟 主编

高等教育出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
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

Jixie Zhizao Jishu Jichu

第三版

张世昌 李 旦 张冠伟 主编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,是根据教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导委员会建议的指导性教学计划和课程大纲,在第二版的基础上修订而成。

本次修订,增加了机床夹具设计的有关内容,对部分章节进行了调整,使内容更加衔接、紧凑。本书共7章,第1章机械制造技术概论,第2章机床与夹具,第3章切削过程及其控制,第4章机械加工质量,第5章机械加工工艺过程设计,第6章机器的装配工艺,第7章机械制造技术的发展。

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,以较少的篇幅传递较多信息,以易于读者理解和掌握。

本书主要作为普通高等学校机械设计制造及其自动化专业的教材,也可作为普通高等学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, 张冠伟主编.

-- 3 版. -- 北京: 高等教育出版社, 2014. 12

ISBN 978 - 7 - 04 - 041458 - 5

I. ①机… II. ①张… ②李… ③张… III. ①机械制造工艺 - 高等学校 - 教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 261048 号

策划编辑 卢广 责任编辑 卢广 封面设计 李卫青 版式设计 王艳红
插图绘制 黄建英 责任校对 胡美萍 责任印制 田甜

| | | | |
|------|---------------------|------|---|
| 出版发行 | 高等教育出版社 | 网 址 | http://www.hep.edu.cn |
| 社 址 | 北京市西城区德外大街4号 | | http://www.hep.com.cn |
| 邮政编码 | 100120 | 网上订购 | http://www.landaco.com |
| 印 刷 | 北京铭成印刷有限公司 | | http://www.landaco.com.cn |
| 开 本 | 787mm × 1092mm 1/16 | 版 次 | 2001年8月第1版 |
| 印 张 | 22 | | 2014年12月第3版 |
| 字 数 | 540千字 | 印 次 | 2014年12月第1次印刷 |
| 购书热线 | 010-58581118 | 定 价 | 34.50元 |
| 咨询电话 | 400-810-0598 | | |

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 41458-00

前 言

机械制造技术基础是将原来多门制造类课程整合而成的一门机械类主干学科基础课程,计划学时多为64,与之相配合的还有实验、生产实习及课程设计等教学环节。本书即为该课程的课堂教学而编写。

本书以教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导委员会建议的指导性教学计划和课程大纲为依据,并充分结合各院校近年来的教学实践和教改成果,有较好的普适性。

本书一版、二版、三版分别是普通高等教育“十五”、“十一五”和“十二五”国家级规划教材。第三版是在第二版的基础上,广泛征询和吸纳了使用院校的意见和建议修订而成。主要修订内容如下:

1. 增加了机床夹具设计的内容。相应的,对第二版1、2、3章内容安排进行了调整:将机械制造过程的基础知识移到第1章;第2章专门介绍机床和夹具,重点是夹具设计;有关刀具知识则移到第3章,与切削原理一起介绍,使内容衔接更加紧密。

2. 重新编写了第7章“机械制造技术的发展”,对原有结构进行了调整,对原有内容进行了更新,加强了精密加工、微细加工的内容,并增加了有关微机电系统及其制造技术以及工业机器人的介绍。

3. 在坚持“强调基础,重视实践,注意最新发展”方针的基础上,继续贯彻“少而精”的原则,对第二版某些内容做了局部整合、修改和更新,对一些非核心内容以及某些文字叙述做了精简,使全书内容更加充实,而篇幅基本不变。

4. 更新和规范了全书使用的标准、符号、术语。

本书主要用作普通高等学校“机械工程及自动化”和“机械设计制造及其自动化”专业的教材,也可作为普通高等学校其他相关专业的教材或参考书,还可作为自学考试、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使用。

本书由天津大学张世昌、张冠伟、李佳、倪雁冰,哈尔滨工业大学李旦、韩荣第,大连理工大学高航,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、张冠伟担任主编。各章编写分工:第1章——张世昌;第2章——张世昌,张冠伟;第3章——郑敏利,张冠伟;第4章——李旦,韩荣第;第5章——张世荣,李佳;第6章——高航,张世昌;第7章——张冠伟,倪雁冰。全书由张世昌统稿,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

2014年10月

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进行严厉打击。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 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

| | |
|---------------------------------|------------|
| 第 1 章 机械制造技术概论 | 1 |
| 1.1 制造与制造技术 | 1 |
| 1.2 先进制造哲理与先进生产模式 | 7 |
| 1.3 机械制造工艺过程与工艺方法 | 27 |
| 1.4 机械加工工艺过程 | 37 |
| 习题与思考题 | 44 |
| 第 2 章 机床与夹具 | 47 |
| 2.1 机床 | 47 |
| 2.2 工件的装夹与机床夹具概述 | 55 |
| 2.3 工件在夹具上的定位 | 60 |
| 2.4 工件的夹紧 | 74 |
| 2.5 各类机床夹具 | 80 |
| 2.6 专用机床夹具设计步骤和方法 | 90 |
| 习题与思考题 | 95 |
| 第 3 章 切削过程及其控制 | 98 |
| 3.1 切削刀具基础知识 | 98 |
| 3.2 切削过程 | 106 |
| 3.3 切削力 | 114 |
| 3.4 切削热与切削温度 | 118 |
| 3.5 刀具磨损、破损与使用寿命 | 122 |
| 3.6 金属切削条件的合理选择 | 128 |
| 3.7 磨削原理 | 138 |
| 3.8 高速切削与磨削 | 147 |
| 习题与思考题 | 152 |
| 第 4 章 机械加工质量 | 154 |
| 4.1 机械加工质量概述 | 154 |
| 4.2 工艺系统原有误差对加工精度的影响及其控制 | 159 |
| 4.3 加工过程中原始误差对加工精度的影响及其控制 | 170 |
| 4.4 加工误差的统计分析 | 177 |
| 4.5 机械加工表面质量的影响因素及改善措施 | 185 |
| 4.6 机械加工过程中的振动及其控制 | 197 |
| 习题与思考题 | 204 |
| 第 5 章 机械加工艺过程设计 | 209 |
| 5.1 制订机械加工艺规程的步骤和方法 | 209 |
| 5.2 定位基准的选择 | 213 |
| 5.3 工艺路线的拟定 | 219 |
| 5.4 数控加工工艺 | 233 |
| 5.5 加工余量、工序尺寸及工序公差的确定 | 239 |
| 5.6 工艺尺寸链 | 244 |
| 5.7 计算机辅助工艺过程设计(CAPP) | 257 |
| 5.8 工艺过程经济分析 | 262 |
| 习题与思考题 | 267 |
| 第 6 章 机器的装配工艺 | 271 |
| 6.1 机器装配概述 | 271 |
| 6.2 保证装配精度的工艺方法 | 276 |
| 6.3 机器的自动装配 | 290 |
| 习题与思考题 | 299 |
| 第 7 章 机械制造技术的发展 | 302 |
| 7.1 非传统加工方法 | 302 |
| 7.2 精密加工技术 | 313 |
| 7.3 机械制造自动化技术 | 332 |
| 习题与思考题 | 342 |
| 参考文献 | 344 |

第 1 章 机械制造技术概论

本章提要

首先,本章从“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,并阐述与现代制造技术密切相关的制造哲理和生产模式;然后,对机械制造方法与制造过程进行概括说明,并给出零件表面切削加工成形方法及成形运动,为后续内容展开进行铺垫。

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,以便能用系统的观点从全局上把握制造技术的基本问题。同时应对机械制造过程的基本概念和切削加工方法有深刻理解。

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 50 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。

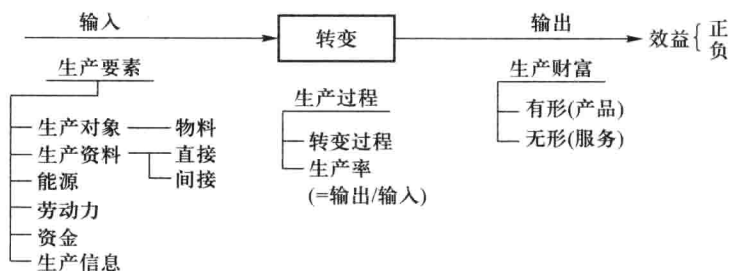


图 1-1 生产的定义

生产系统的输入是生产要素,包括:作为生产对象的原材料,作为直接生产资料的机器、设备、工具和间接生产资料的厂房、道路等,提供动力的能源,作为劳动力的主体人,资金,支持生产活动的信息、情报、知识和方法等。

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。

国民经济行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。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。

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:

- 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 制定人力资源计划,负责人事安排,招工与裁员。

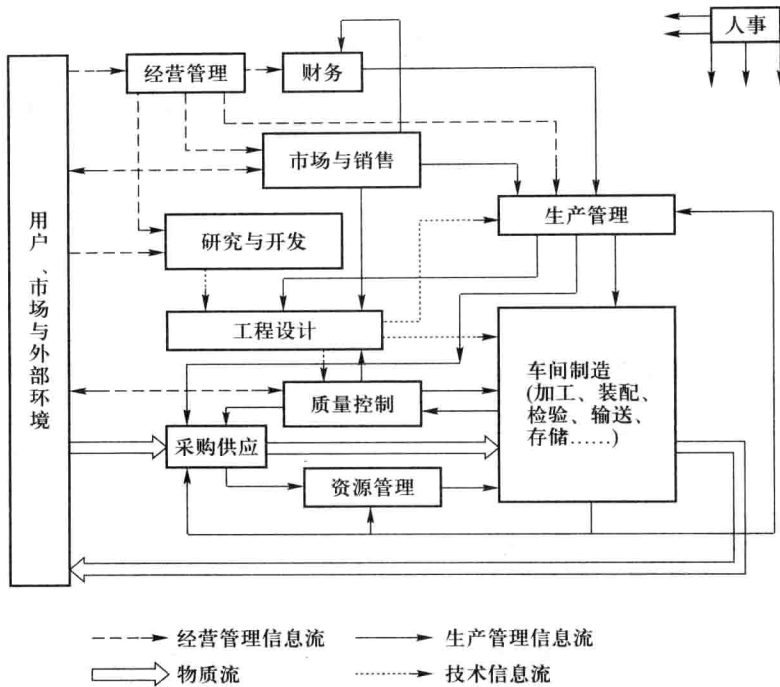


图 1-2 制造系统功能结构

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

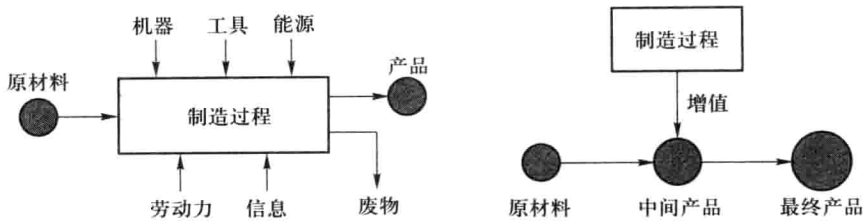
制造系统可视为若干硬件(生产设备、工具、运输装置、厂房、劳动力等)的集合体, 为使硬件充分发挥效能, 必须有软件(生产信息、制造技术等)支持。工厂设计中, 有关人员和设备的合理配置与布局等, 即是从系统结构方面对制造系统进行研究。

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 1-3a 所示。这种转变不仅指物质流, 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 1-3b 所示。

作为制造系统转变过程实例, 图 1-4 给出了汽车生产物质流过程的示意图。

研究系统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。



(a) 从技术角度定义制造过程

(b) 从经济角度定义制造过程

图 1-3 制造系统的转变特性

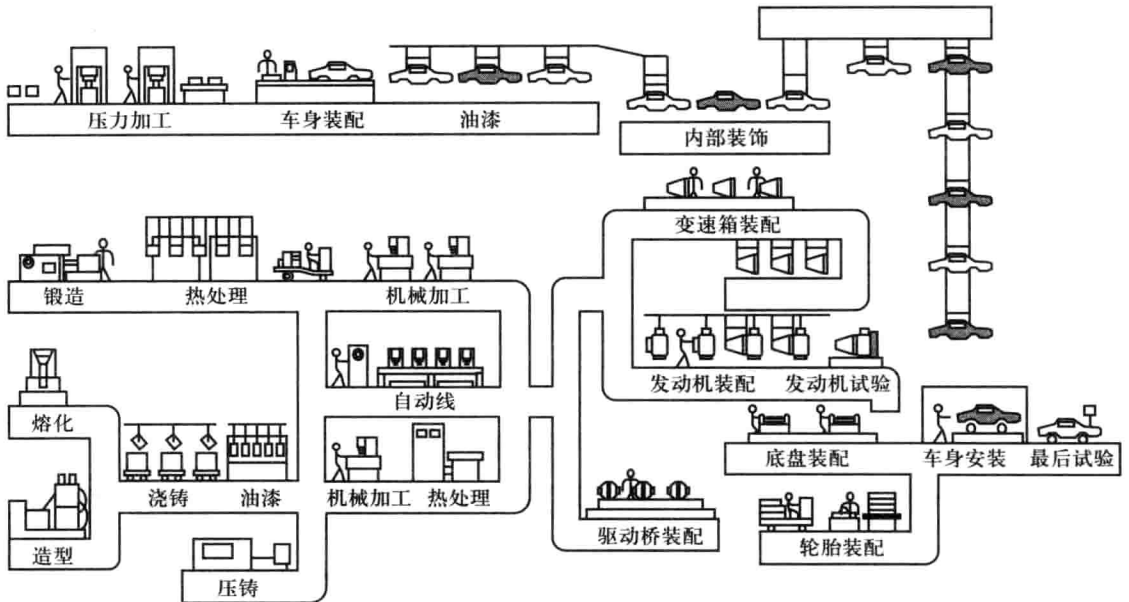


图 1-4 汽车生产物流示意图

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,制造系统可视为一个生产产品的工作程序,如图 1-5 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。

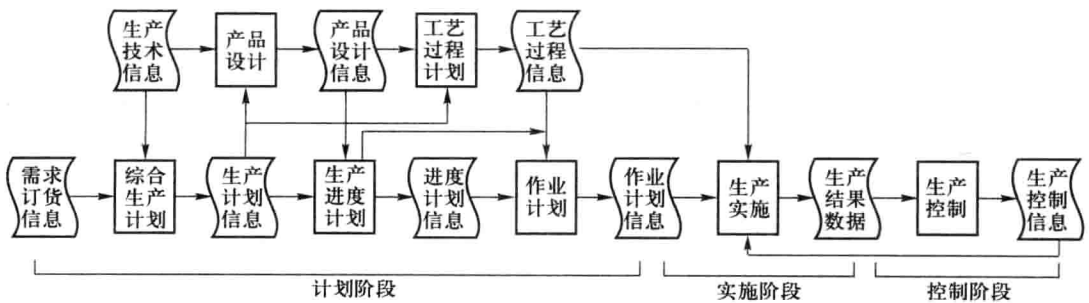


图 1-5 制造系统的程序特性

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。

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结合起来,使系统的硬件和软件有机结合起来,使制造工艺和生产管理有机结合起来,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的角度出发,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。

本书机械制造技术概论一章的前两节主要采用“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。

1.1.4 制造业的发展及其在国民经济中的地位

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。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。

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,充足的能源供给,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1-6显示了当今制造业的社会功能。

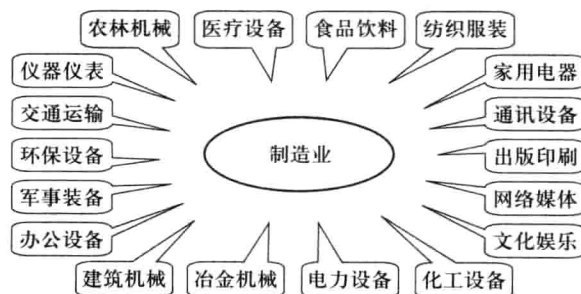


图 1-6 当今制造业的社会功能

制造业是国民经济的支柱产业。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。近年来出现的“次贷危机”、“欧债危机”则从另一方面说明了制造业的重要地位。

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。

3. 我国机械制造业面临的机遇和挑战

改革开放以来,我国机械制造业取得了长足的进步和令人瞩目的成就,已成为真正的制造大国。据统计,2012年我国汽车产量已超过1 900万辆,大约相当于当年美国和日本汽车产量的总和。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,我国汽车产量虽已雄踞全球榜首,但自主品牌寥寥无几。我国许多制造企业还处于产业链的低端,受人盘剥。

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。技术落后,资源短缺,以及管理体制和周边环境还存在许多问题,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。

1.2 先进制造哲理与先进生产模式

1.2.1 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。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。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,便于采用专用、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。

2) 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。

3) 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。

4) 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“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1-7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

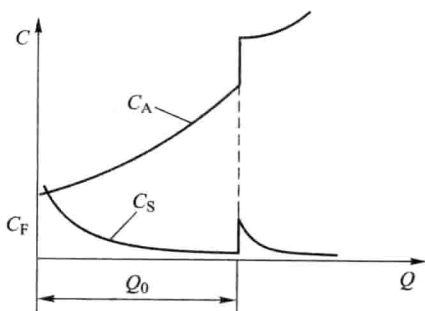


图 1-7 生产成本与生产量的关系

产是一种行之有效的方法。

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,这种全能工厂模式不符合“批量法则”。为扩大生产批量,提高工作的专业化程度,应全面理解和实施“批量法则”,通常可采取如下方法:

1) 在全面规划、统筹安排的原则下,积极开展和大力推进工业生产的专业化协作,包括产品专业化、零部件专业化、工艺专业化和辅助生产专业化等多种形式的生产协作,以减少重复生产,增加同类产品的产量。

2) 加强产品及零部件系列化、标准化、通用化工作。合理减少零部件种类,扩大同类零部件产量,并广泛采用标准件和通用件。

3) 采用成组技术(详见 1.2.2 节),按零件工艺相似性,组织同类型零件的集中生产,实施成组工艺。

4) 加强生产计划、作业计划和生产调度工作,力求做到“同期大批量、少品种”安排。改善生产过程组织,按生产对象专业化原则建立生产单位;改进劳动组织,增加必要的设备和工人,提高工作的专业化水平。

1.2.2 成组技术

1. 成组技术的由来和发展

随着市场需求多样化和多变性的不断增长,多品种、中小批量生产在各类机器生产中所占的比重越来越大,现已超过 70%,且有继续增大的趋势。传统的多品种、中小批量生产方式存在着许多问题,如:难以采用先进、高效的生产设备和生产工艺,生产手段落后,生产率低下;生产准备工作量大,生产周期较长;设备利用率低,大材小用的现象十分普遍。

为了解决多品种、中小批量生产方式生产率低下和经济效益差的问题,人们一直在寻求各种有效的方法,最终发展了成组技术。

最早系统提出成组技术思想的是苏联科学院院士 Митрофанов,他在 20 世纪 50 年代,发表了“成组工艺科学原理”一书,对机械零件的成组加工和成组工艺进行了系统的总结和论述。到了 20 世纪 60 年代,西欧各国研究成组技术形成高潮,代表人物当首推德国阿亨工业大学的 Opitz 教授。由他所领导的研究小组在进行了大量调查研究工作的基础上,全面地发展了成组技术,使其成为一门完整的科学理论。由他领导制订的分类编码系统至今仍有重要的影响和参考价值。20 世纪 70 年代以后,美国、日本等国家开始接受成组技术思想,并与计算机技术联系起来,使之得到更深入发展和更普遍应用。20 世纪 80 年代以后,成组技术作为一种制造哲理(manufacturing philosophy)已被人们普遍接受,并与其他制造思想和制造技术相结合,成为现代制造技术的重要理论基础之一。

2. 成组技术基本原理

成组技术的一般性定义是:成组技术是一门生产技术科学,研究和发掘生产活动中有关事物的相似性,并充分利用它,即把相似的问题分类成组,寻求解决这一组问题的相对统一的最优方案,以取得期望的经济效果。

在机械制造领域中,成组技术可以被定义为:将多种零件按其相似性分类成组,并以这些零

件组为基础组织生产,实现多品种、中小批量生产的产品设计、制造工艺和生产管理的合理化。

由上述定义可见,机械制造中成组技术的基本原理是将零件按其相似性分类成组,使同一类零件分散的小批量生产,汇合成较大批量的成组生产(图1-8),从而使多品种、中小批量生产可以获得接近大批量生产的经济效果。

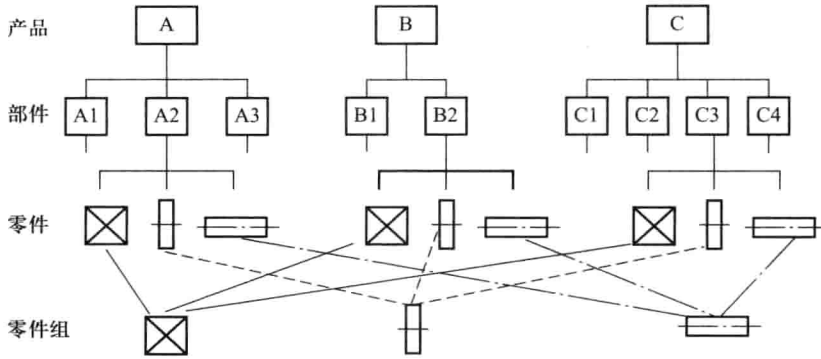


图1-8 成组技术基本原理

在“订单生产”方式情况下,形成“成组批量”有一定困难。此时,实施成组技术的效益主要来自“重复使用原则”。制造资源的重复使用可以节省物资与工作时间,作业熟练程度的提高可以提高生产效率。

在机械制造中实施成组技术有其客观基础,主要表现在两方面:

1) 机械零件之间存在着相似性,这种相似性主要表现在零件结构特征(零件形状、形状要素及其布置、尺寸、精度……)相似性、零件材料特征(零件材质、毛坯、热处理……)相似性和零件制造工艺(加工方法、加工过程、加工设备……)相似性三个方面。前两者是零件所固有的,因此又称为“一次相似性”,后者取决于前两者,因此又称为“二次相似性”。

2) 机械产品中零件出现频率有明显的规律性和稳定性,如图1-9所示。图中横坐标表示零件的复杂程度,纵坐标表示机械产品中相应复杂程度零件出现的频率。由图可见,机械产品中约5%~10%的零件属于复杂件,例如机床中的床身、主轴箱、溜板等。这类零件为数不多,但复杂程度较高,制造难度较大,再现性低。此类零件多为决定机械产品性能的重要零件,故又称为关键件。机械产品中约20%~25%的零件属于简单件,如螺钉、螺母、销、键等。这类零件的特点是结构简单,再用性高,一般已标准化和已形成大批量生产,故又称为标准件。机械产品中超过2/3(约70%)的零件属于中等复杂程度的零件,如轴、齿轮、盖板、法兰盘等。这类零件数量较大,彼此之间存在着显著的相似性,故称为相似件。正是由于机械产品中大多数零件是相似件,成组技术才有可能得以实施。

3. 机械零件相似特征的描述——零件分类编码系统

如前所述,利用零件的相似性将其分类成组,是成组技术的基本方法。为了便于分析零件的相似性,首先需对零件的相似特征进行描述和识别。目前,多采用编码方法对零件的相似特征进行描述和识别,零件分类编码系统就是用字符(数字、字母或符号)对零件有关特征进行描述和识别的一套特定的规则和依据。

当今世界上使用的分类编码系统不下百种,较著名的有德国的Opitz系统、瑞士的Sulzer系

统、荷兰的 MiClass 系统、日本的 KK 系统、我国的 JLBM-1 系统等。下面仅就 JLBM-1 系统进行说明。

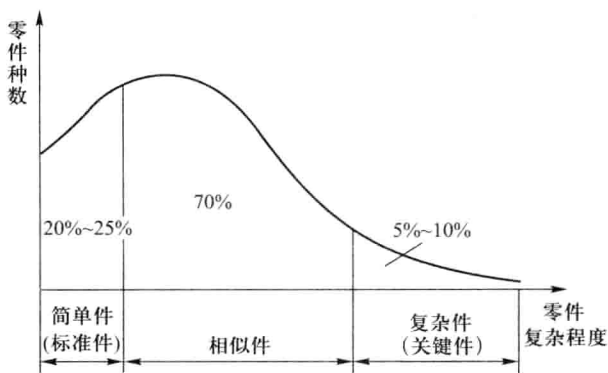


图 1-9 不同复杂程度的零件在机械产品中出现的规律

JLBM-1 系统的含义是机械零件编码系统,该系统是我国机械工业部于 1984 年颁发的一项指导性技术文件,其总体结构如图 1-10 所示。

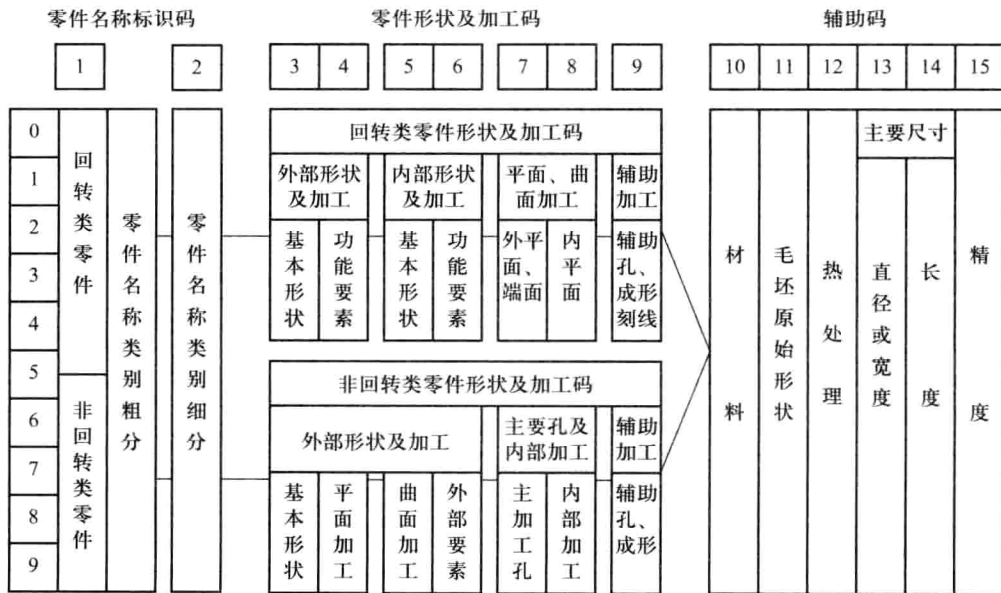


图 1-10 JLBM-1 编码系统总体结构

由图 1-10 可见, JLBM-1 系统由 15 个码位组成。其中第 1、2 码位表示零件的名称类别,采用零件的功能和名称作为标志,以矩阵表形式表示。其特点是信息容量大,同时也便于设计部门检索,见表 1-1。

JLBM-1 系统第 3~9 码位是形状与加工码。依次表示回转体零件和非回转体零件的外部形状、内部形状、平面、孔及辅助加工的情况,见表 1-2 和表 1-3。