

普通高等院校“十三五”规划教材

普通高等院校“十二五”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

先进制造技术

XIANJIN ZHIZAO JISHU

(第三版)

任小中 贾晨辉 主编

宾鸿赞 主审



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

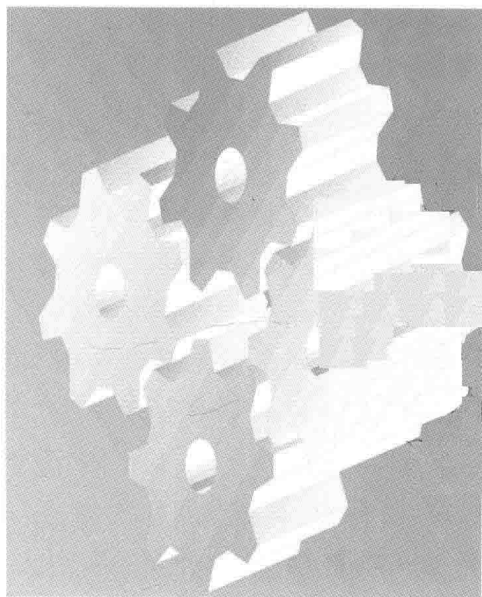


普通高等院校“十三五”规划教材
普通高等院校“十二五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材

顾问 杨叔子 李培根

先进制造技术

(第三版)



主 编 任小中 贾晨辉
副主编 王宗彦 赵让乾
编 委 苏建新 于俊娣 杜少杰
何国旗 熊 伟 谢志平
主 审 宾鸿赞



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国 武汉

内 容 简 介

本书是普通高等院校“十三五”规划教材,也是面向应用型大学机械学科本科专业的立体化精品系列教材之一。

本书是在综合国内外最新研究成果和相关参考文献的基础上,结合作者在先进制造技术领域多年的教学和科研实践经验编写而成的。本书从科学思维、学科综合和技术集成的角度,系统介绍了各种先进制造技术的理念、基本内容、关键技术和最新成果,旨在使读者了解国内外先进制造前沿技术,拓宽知识面,掌握先进制造技术的理念和方法,培养科学创新和工程实践的能力。全书除绪论外共6章,内容包括先进制造技术概论、先进设计技术、先进制造工艺、制造自动化技术、现代制造企业的信息管理技术和先进制造模式,各章后均附有一定量的思考题与习题。

本书体系完整、内容新颖、知识面宽,既可作为高等院校机械工程、工业工程、管理工程、车辆工程等各类与制造技术有关的学科及专业的本科生和研究生教材或参考书,也可作为高等职业学校、成人高校相关专业的教材或参考书,并可供制造业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/任小中,贾晨辉主编. —3版. —武汉:华中科技大学出版社,2017.3

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5680-2603-1

I. ①先… II. ①任… ②贾… 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(2017)第 034162 号

先进制造技术(第三版)

Xianjin Zhizao Jishu(Di-san Ban)

任小中 贾晨辉 主编

策划编辑:俞道凯

责任编辑:姚同梅

封面设计:原色设计

责任校对:刘 竣

责任监印:朱 玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×960mm 1/16

印 张:22 插页:2

字 数:470千字

版 次:2017年3月第3版第1次印刷

定 价:45.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

普通高等院校“十三五”规划教材
普通高等院校“十二五”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 景德镇陶瓷大学

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 湖北理工学院

卢道华 江苏科技大学

鲁屏宇 江南大学

梅顺齐 武汉纺织大学

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 华北水利水电大学

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 武汉纺织大学

赵大兴 湖北工业大学

赵天婵 江汉大学

赵雪松 安徽工程大学

郑青春 天津理工大学

周广林 黑龙江科技大学

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,联合了全国几十个没有应用型机械专业的院校,在教育部高等学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。特别要提出的是,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、多样化绝不是降低质量,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教学指导委员会主任

杨红子

2006.1

第三版前言

本书是一本体系完整、内容新颖、知识面宽广、实践性强的先进制造技术教材。第一、二版自出版以来,已被全国十几所院校选用,深受任课教师、学生以及其他读者的欢迎。许多教师和读者也通过各种途径给我们提出了一些宝贵的意见和建议,在此,向热心支持和帮助我们的教师和读者表示衷心感谢。

作为“先进制造技术”课程的教材,本书要保持其先进性,必须与时俱进,不断更新、扩展内容。根据选用该教材的任课教师的建议,结合近几年国内外制造业的发展,我们对本书的第三版做了较大幅度的修订。从章节安排上,增加了“绪论”,其余各章名称基本上与第二版教材对应,但各章内容都有不同程度的增、删,具体如下:第1章内容做了大的调整,补充介绍了世界经济强国发展先进制造技术的概况;第2章增加了“计算机辅助工程分析”和“全生命周期设计”两节内容,对“计算机辅助设计技术”一节做了改编;第3章增加了“近净成形工艺”和“生物加工制造技术”两节内容,改编了其余多个小节中的内容;第4章主要改编了“现代数控加工技术”和“工业机器人技术”两节内容;第5章更名为“现代制造企业的信息管理技术”,并重新进行了编写;第6章删除了“并行工程”一节,增加了“大批量定制”和“网络化制造”两节内容,改编了“智能制造”一节的内容。其余未提及的章节也从内容或文字上做了必要的修订。另外,删除了第二版每章开头的一段引述。

参加本次修订的教师主要来自主编单位和一些曾经选用该教材的高等院校。他们是:河南科技大学任小中、贾晨辉、苏建新、于俊娣,中北大学王宗彦,河南工程学院赵让乾,黄河交通学院杜少杰,湖南工业大学何国旗,湖北文理学院熊伟,贵州师范大学谢志平。具体分工为:绪论,第1章,第2章的2.5节,第3章的3.5节、3.8节,第5章的5.1节和5.4节由任小中修订;第2章的2.1~2.4节和2.6节由赵让乾修订;第2章的2.7节、2.8节,第4章的4.4节,第6章的6.2节由王宗彦修订;第3章的3.1~3.3节和3.9节由苏建新修订;第3章的3.4节由谢志平修订;第3章的3.6节、3.7节由熊伟修订;第4章的4.1~4.3节、4.5节和第6章的6.6节由贾晨辉修订;第5章的5.2节、5.3节和5.5节由于俊娣修订;第6章的6.1节、6.3节、6.4节、6.7节、6.8节由杜少杰修订,6.5节由何国旗修订。本书由任小中和贾晨辉担任主编,王宗彦和赵让乾担任副主编。任小中负责全书的统稿工作。

本书在修订过程中参阅了同行专家、学者的著作和文献资料,在此表示诚挚的谢意。

本书承蒙华中科技大学宾鸿赞教授主审。在审阅过程中,宾教授对本书提出了很多珍贵的建议和意见,在此表示由衷的感谢。

由于先进制造技术是一门处在不断发展中的综合性交叉学科,涉及的学科多、知识面广,非编者等少数几个人的知识、能力所能覆盖,加之编者所积累资料和水平有限,不妥之处在所难免,恳请广大师生与读者不吝赐教。

编 者
2017 年 2 月

第二版前言

本书是一本综合性强、内容新颖、覆盖范围广的先进制造技术教材。第一版自出版以来,已被全国十几所院校选用,深受任课教师、学生以及其他读者的欢迎。许多教师和读者也通过各种途径给我们提出了一些宝贵的意见和建议,在此,向热心支持和帮助我们的兄弟院校的教师和读者表示衷心感谢。

要保持“先进制造技术”课程教材的先进性,就必须与时俱进,不断更新、扩展其内容。根据一些读者的建议,结合近几年的教学实践,我们对本书的第一版进行了修订。此次修订仍沿用第一版教材的体系架构,章节名称未变,以保持其原有特色。主要对第1章和第5章进行了较大的修订,增加了一些新的内容,删除了过时或不合适的内容。其余各章内容主要从文字上作了必要的修订。此外,根据现实情况对某些数据进行了更新。

本书修订工作是由第一版教材的主要作者完成的。具体分工为:第1章由任小中修订;第2章由苏建新(主要执笔人)、任小中修订;第3章由任小中(主要执笔人)、李晓冬修订;第4章由贾晨辉(主要执笔人)、吴斌方修订;第5章由韩彦军修订;第6章由何国旗(主要执笔人)、贾晨辉修订。全书由任小中教授担任主编并统稿。

在本书修订过程中参阅了同行专家、学者的著作和文献资料,在此表示诚挚的谢意。

本书承蒙华中科技大学宾鸿赞教授主审。在审阅过程中,宾教授提出了很多珍贵的建议和意见,在此表示由衷的感谢。

由于先进制造技术是一门处于不断发展中的综合性交叉学科,涉及的学科多、知识面广,非编者等少数几个人的知识、能力所能覆盖,加之编者所积资料和水平有限,不妥之处在所难免,恳请广大师生与读者不吝赐教。

编 者
2013年1月

第一版前言

制造业是国民经济的支柱产业和经济增长的发动机,是高新技术产业化的基本载体,是社会可持续发展的基石,是国家安全的重要保障。制造技术是制造业为国民经济建设和人民生活生产各类必需物资所使用的一切生产技术的总称,是制造业的技术支撑和可持续性发展的根本动力。当前,在经济全球化的进程中,制造技术不断汲取计算机、信息、自动化、材料、生物及现代管理技术的研究与应用成果并与之融合,使传统意义上的制造技术有了质的飞跃,形成了先进制造技术的新体系,有利于从总体上提升制造企业对动态和不可预测市场环境的适应能力和竞争能力,实现优质、高效、低耗、敏捷和绿色制造。因此,我国制造业要想在激烈的国际市场竞争中求得生存和发展,必须掌握和科学运用最先进的制造技术,这就要求培养一大批满足制造业发展需要、掌握先进制造技术、具有科学思维和创新意识以及工程实践能力的高素质专业人才。

为了拓宽学生的知识面,掌握先进制造技术的理念和内涵,了解先进制造技术的最新发展,培养学生的创新思维与工程实践能力,促进先进制造技术在我国的研究和应用,全国众多工科院校纷纷开设了“先进制造技术”必修或选修课程。本书是多位编者在各自教学和研究的基础上共同编写完成的。全书共分6章。第1章先进制造技术概论,概述了制造业与制造技术的发展,介绍了先进制造技术的内涵、特征、体系结构及分类;第2章先进工程设计技术,主要介绍了计算机辅助设计技术、模块化设计、逆向工程以及其他一些先进设计方法;第3章先进制造工艺,在总体概括先进制造工艺内容的基础上,主要介绍了超精密加工技术、微细/纳米加工技术、高速加工技术、现代特种加工技术、快速原型制造技术、绿色制造技术等,这些都是先进制造技术的核心技术;第4章制造自动化技术,在概述制造自动化的发展历程和趋势的基础上,介绍了现代数控加工技术、工业机器人技术、柔性制造技术和自动检测与监控技术;第5章先进生产管理技术,主要介绍了先进生产管理信息系统、产品数据管理技术、准时制生产技术等;第6章先进制造模式,概述了制造模式的发展和先进制造模式的类型,主要介绍了计算机集成制造系统、并行工程、精益生产、敏捷制造、虚拟制造、智能制造等几种先进制造的理念和模式。

本书是普通高等院校“十一五”规划教材和机械类精品教材,具有以下几个特色。
①内容全面,综合性强。囊括了先进工程设计技术、先进制造工艺、制造自动化技术、先进生产管理技术和先进制造模式等各种先进制造技术的主要方面。
②体系新颖,启迪性强。每章均以“引入案例”开头,引人入胜,章后设置有“本章重点、难点以及知识拓展”板块,并附有一定的习题,有助于学生抓住重点、深化学习。
③重点突出,详略得当。先进工程

设计技术、先进制造工艺和制造自动化技术一起构成先进制造技术的主体,先进生产管理技术和先进制造模式是先进制造技术的软环境,而先进制造工艺技术又是先进制造技术的核心。④在突出技术“先进性”的同时,更注重其在工程上的应用。本书介绍了国内外机械工程领域进行科学研究的制造技术,并汇集了编者在多年科研工作中的实践成果。⑤注重介绍先进制造的理念和科学方法,培养学生的科学思维和技术创新能力。

本书是在任小中教授为本科生开设的“先进制造技术”和为硕士研究生开设的“先进制造工程”讲义的基础上,联合多所高等院校中任教该门课程的教师,经过认真讨论、确定编写大纲后共同编写完成的。全书由河南科技大学任小中担任主编并统稿,湖南工业大学何国旗、湖北工业大学吴斌方任副主编。参加编写的还有长春工程学院李晓冬,石家庄铁道学院韩彦军,南京工程学院葛英飞,安徽工程科技学院于华,成都理工大学孙未,河南工业大学陈兴州,河南科技大学贾晨辉、苏建新、段明德、杨晓英等老师。具体编写分工是:任小中编写前言、第1章、第2章的2.1节~2.5节、第3章的3.7节以及各章的“引入案例”和“本章重点、难点以及知识拓展”;何国旗编写第6章的6.2节~6.5节;吴斌方编写第4章的4.1节和4.2节;贾晨辉编写第4章的4.3节~4.5节、第6章的6.6节和6.7节;韩彦军编写第5章的5.1节~5.3节;李晓冬编写第3章的3.4节~3.6节;葛英飞编写第3章的3.2节和3.3节;苏建新编写第2章的2.6节;孙未编写第3章的3.1节;陈兴州编写第5章的5.4节;于华编写第6章的6.1节;段明德、杨晓英等老师参与了本书编写大纲的制订以及部分章节的审校工作。

在编写本书的过程中,得到了多所高等院校老师的鼎力协助,以及华中科技大学出版社的大力支持和帮助,在此谨向有关人士表示诚挚的谢意。

本书承蒙华中科技大学宾鸿赞教授主审,在审阅过程中,宾鸿赞教授提出了很多珍贵的建议和意见,在此表示由衷的感谢。

由于先进制造技术是一门处于不断发展中的综合性交叉学科,涉及的学科多、知识面广,非编者等少数几个人的知识、能力所能覆盖,加之资料和编者水平有限,不妥之处在所难免,恳请广大师生与读者不吝赐教。

编 者
2009年2月

目 录

第 0 章 绪论	(1)
0.1 制造技术与制造系统	(1)
0.2 制造业的发展与作用	(3)
0.3 我国制造业的成就、现状和发展方向	(6)
0.4 本书的主要内容和学习要求	(10)
第 1 章 先进制造技术概论	(11)
1.1 先进制造技术的产生	(11)
1.2 先进制造技术的体系结构和分类	(17)
1.3 先进制造技术的发展趋势	(21)
本章重点、难点和知识拓展	(25)
思考题与习题	(25)
第 2 章 先进设计技术	(26)
2.1 先进设计技术概述	(26)
2.2 计算机辅助设计技术	(29)
2.3 计算机辅助工程分析	(36)
2.4 计算机辅助工艺规程设计	(43)
2.5 模块化设计	(51)
2.6 逆向工程	(58)
2.7 全生命周期设计	(68)
2.8 其他先进设计方法	(76)
本章重点、难点和知识拓展	(94)
思考题与习题	(95)
第 3 章 先进制造工艺	(96)
3.1 先进制造工艺的发展及其内容	(96)
3.2 近净成形工艺	(97)
3.3 超精密加工	(104)
3.4 微细/纳米加工技术	(119)
3.5 高速加工技术	(127)
3.6 现代特种加工技术	(137)
3.7 快速原型制造技术	(151)

3.8 绿色制造技术	(164)
3.9 生物制造技术	(181)
本章重点、难点和知识拓展	(188)
思考题与习题	(188)
第4章 制造自动化技术	(189)
4.1 制造自动化技术概述	(189)
4.2 现代数控加工技术	(191)
4.3 工业机器人技术	(210)
4.4 柔性制造技术	(221)
4.5 自动检测与监控技术	(237)
本章重点、难点和知识拓展	(245)
思考题与习题	(246)
第5章 现代制造企业的信息管理技术	(247)
5.1 概述	(247)
5.2 企业资源计划	(250)
5.3 供应链管理	(266)
5.4 产品数据管理技术	(270)
5.5 制造执行系统	(277)
本章重点、难点和知识拓展	(284)
思考题与习题	(285)
第6章 先进制造模式	(286)
6.1 先进制造模式的概念	(286)
6.2 计算机集成制造系统	(291)
6.3 大批量定制	(297)
6.4 精益生产	(302)
6.5 敏捷制造	(309)
6.6 虚拟制造	(318)
6.7 网络化制造	(323)
6.8 智能制造	(331)
本章重点、难点和知识拓展	(339)
思考题与习题	(339)
参考文献	(341)

0.1 制造技术与制造系统

0.1.1 制造与制造技术

1. 制造的含义

制造(manufacturing)一词来源于拉丁语词根 manu(手)和 facere(做),这说明制造一开始是靠手工完成的(18 世纪之前一直是这样)。自第一次工业革命以来,手工劳动逐渐被机器生产所代替,制造技术实现了机械化。

制造的含义有广义和狭义之分。狭义制造仅指生产车间内与物流有关的加工和装配过程,而广义制造不仅包括具体的工艺过程,还包括市场分析、产品设计、质量控制、生产过程管理、营销、售后服务及产品报废处理等在内的整个产品寿命周期的全过程。国际生产工程学会(CIRP)1983 年将制造定义为:制造是制造企业中涉及产品设计、物料选择、生产计划、生产、质量保证、经营管理、市场营销和服务等一系列相关活动和工作的总称。目前,广义制造已为越来越多的人所接受。

制造的功能是通过制造工艺过程、物料流动过程和信息流动过程来实现的。制造工艺过程指直接改变被制造对象的形状、尺寸、性能的行为活动。物料流动过程指被制造对象在制造过程中的运输、存储、装夹等活动。信息流动过程指被制造对象在制造过程中的信息获取、分析处理、监控等活动。

2. 制造技术

制造技术是制造业为满足国民经济建设和人民生活需求而生产各类必需物资所使用的一切生产技术的总称,是将原材料和其他生产要素经济合理地转化为可直接使用的具有较高附加值的成品/半成品和技术服务的技术群。这些技术包括知识和技能的运用,物质、工具的利用,各种有效的策略、方法的应用等。

0.1.2 制造系统与制造工程

1. 制造系统

制造系统是指由制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员所组成的一个将制造资源转变为产品或半成品的输入/输出系统,它涉及产品全生命周期中,包括市场分析、产品设计、工艺规划、加工过程、装配、运输、产品销售、售后服务及回收处理等在内的全部或部分

环节。其中:硬件包括厂房、生产设备、工具、刀具、计算机及网络等;软件包括制造理论、制造技术(制造工艺和制造方法等)、管理方法、制造信息及其有关的软件系统等;制造资源包括狭义制造资源和广义制造资源,狭义制造资源主要指物能资源,如原材料、坯件、半成品、能源等,广义制造资源还包括硬件、软件和人员等。制造系统的功能结构如图 0-1 所示。

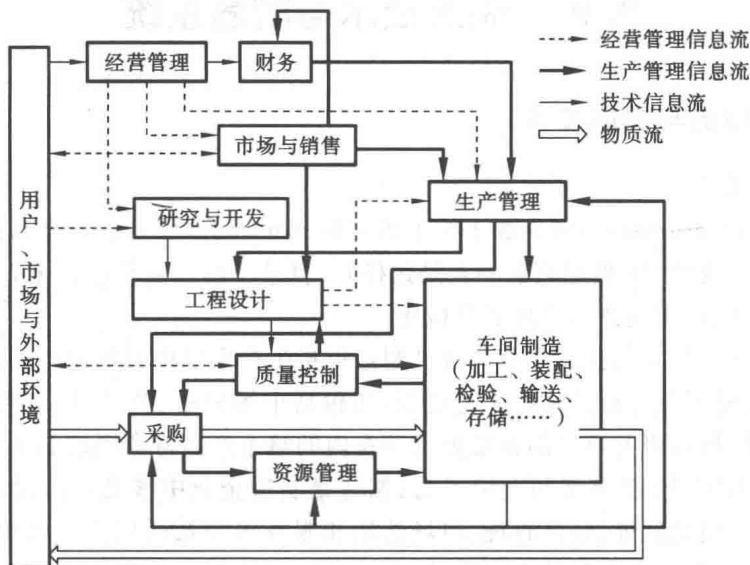


图 0-1 制造系统的功能结构

以某轿车生产为例,其生产物流布局如图 0-2 所示。从狭义制造的观点来看,该制造系统主要由毛坯生产、机械加工、装配与调试三大环节组成。从广义制造的观点来看,该制造系统涵盖了从原材料到成品的整个过程,大致分为三个阶段。第一阶段为获取阶段,包含原材料的获取、库存和初步加工;第二阶段为转变阶段,包含零件加工、零件库存、装配与调试;第三阶段为分配阶段,包含成品库存、销售和售后服务。

2. 制造工程

制造工程是一个以制造科学为基础、由制造模式和制造技术构成的、对制造资源和制造信息进行加工处理的有机整体。它是传统制造工程与计算机技术、数控技术、信息技术、控制论及系统科学等学科相结合的产物。制造工程的功能最初仅限于使用工具制造物品,而后逐渐将制造过程同与其有关的因素作为一个整体来考虑。随着科学技术的进步,制造工程概念有了新的含义。除了设计和生产以外,现代制造工程的功能还包括企业活动的其他方面,如产品的研究与开发、市场和销售服务等。制造工程学科的研究对象除了包含工程材料、成形技术、加工工艺外,还包含制造自动化及相应的传感测试和监控技术等。机械工程、电子工程、化学工程等均属于制造工程。制造工程随着国民经济的发展

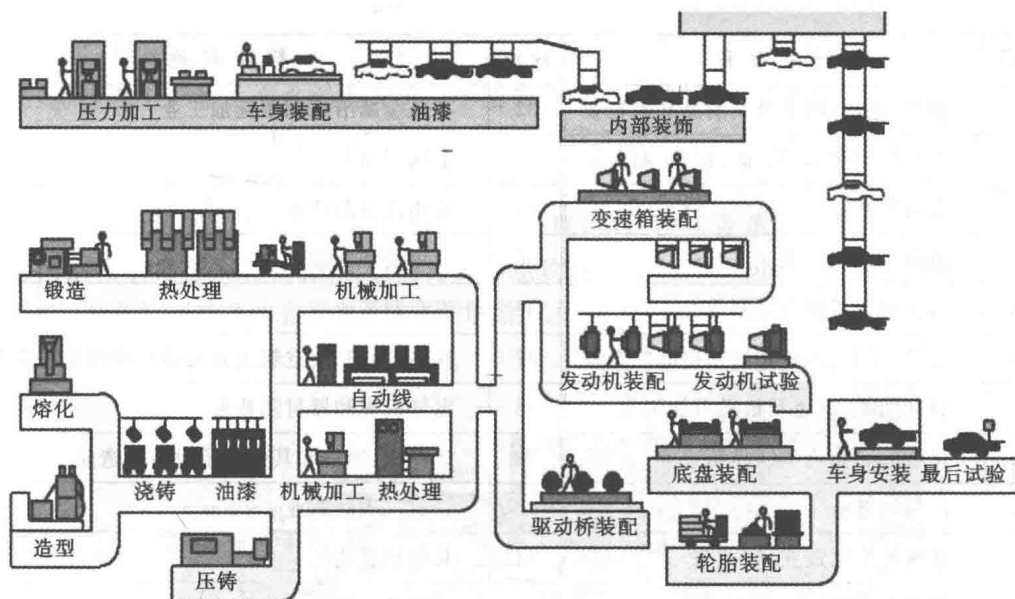


图 0-2 轿车制造系统物流示意图

及多学科的交叉渗透在不断地发展,主要表现在将制造技术应用于生产实践之中这一方面。

0.2 制造业的发展与作用

0.2.1 制造业的概念及其分类

制造业是将制造资源通过制造过程转化为可供人和社会使用或利用的工业产品或生活消费品的行业。制造业是所有与制造有关的行业群体的总称。根据国家标准《国民经济行业分类》(GB/T 4754—2011)标准可知,制造业涵盖多达 30 个行业,如表 0-1 所示。由于不同制造行业的加工对象不同,因此制造技术差异很大。本书主要涉及机械制造领域的制造问题。

表 0-1 我国制造业的细分

序号	行业名称	序号	行业名称
13	农副食品加工业	16	烟草制品业
14	食品制造业	17	纺织业
15	酒、饮料、精制茶制造业	18	纺织服装、服饰业

续表

序号	行业名称	序号	行业名称
19	皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	32	有色金属冶炼和压延加工业
20	木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	33	金属制品业
21	家具制造业	34	通用设备制造业
22	造纸及纸制品业	35	专用设备制造业
23	印刷和记录媒介复制业	36	汽车制造业
24	文教、工美、体育和娱乐用品制造业	37	铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业
25	石油加工、炼焦及核燃料加工业	38	电气机械和器材制造业
26	化学原料和化学制品制造业	39	计算机、通信和其他电子设备制造业
27	医药制造业	40	仪器仪表制造业
28	化学纤维制造业	41	其他制造业
29	橡胶和塑料制品业	42	废弃资源综合利用业
30	非金属矿物制品业	43	金属制品、机械和设备修理业
31	黑色金属冶炼和压延加工业		

0.2.2 制造业的发展历程

在古代,人们利用原始工具(如石刀、石斧、石锤)进行有组织的石料开采和加工,形成了原始制造业。到了 5000 多年前的青铜器时代和之后的铁器时代,制造以手工作坊的形式出现,主要是利用人力进行纺织、冶炼、铸造各种农耕器具等原始制造活动。

工业革命是现代文明的起点,人类生产方式从此发生了根本性变革。回顾人类工业发展史,科学和技术的每一次革新,都首先体现在制造业上,并极大地促进了人类生产方式的改变和创新。自 18 世纪以来,制造业的发展经历了三个发展阶段。

18 世纪末的第一次工业革命创造了机器工厂的“蒸汽时代”,蒸汽动力实现了生产制造的机械化,人类进入工业 1.0 时代。

20 世纪初的第二次工业革命将人类带入大量生产的“电气时代”,电力的广泛运用推动了生产流水线的出现。福特汽车装配生产线,实现了以刚性自动化制造技术为特征的大规模生产方式,工业进入 2.0 时代。

20 世纪中期计算机的发明、可编程控制器的应用不仅延伸了人的体力,而且延伸了人的脑力,开创了数字控制机器的新时代,使人机在空间和时间上可以分离,人不再是机器的附属品,而真正成为机器的主人。机械自动化生产制造方式逐步取代了人类作业,这