



通高等教育本科国家级规划教材
育“十三五”规划教材

机械制造技术

MECHANICAL MANUFACTURING TECHNOLOGY

第2版

主编 任家隆 任近静
主审 王先逵



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育“十三五”规划教材

机械制造技术

(第2版)

主 编 任家隆 任近静
副主编 赵礼刚 管小燕 吴爱胜
参 编 苏 宇 刘宏西 张春燕
晏 飞 左 雪
主 审 王先逵



机械工业出版社

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

本书是结合作者多年来教与学两方面的实践和目前高等工科院校课程改革的需要编写而成的。

全书除绪论外分为10章,主要包括:机械制造概论、机械工程材料基础、钢的热处理及材料的表面工程、铸造、金属的塑性成形、材料的连接成形、切削加工工艺基础、特种加工、机械加工工艺规程设计、机械制造技术的发展。全书结构严谨,具有系统性和先进性等特点。

为便于教学,本书配有课件,请需要的老师到机械工业出版社教育服务网(www.cmpedu.com)注册、下载。

本书是高等工科院校近机械类、非机械类专业的教材,也兼顾了机械类机电一体化专业、机械类专科的教学要求,可供成人高等教育选用。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术/任家隆,任近静主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2018.7

普通高等教育“十三五”规划教材 “十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-111-59471-0

I. ①机… II. ①任…②任… 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(2018)第056628号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:刘小慧 李超 刘丽敏

责任校对:张晓蓉 封面设计:张静

责任印制:张博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2018年8月第2版第1次印刷

184mm×260mm·21印张·516千字

标准书号:ISBN 978-7-111-59471-0

定价:49.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

第2版前言

本书结合本校和兄弟院校五年多的教学实践经验，并依据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会提出的教学基本要求修订而成。

本次修订要点为：

- 1) 修订了绪论、第1章。在第1章中增加了机械制造及其生命周期、物流部分的内容。
- 2) 修订了第7章，增加了夹具应用知识和类型的内容。
- 3) 重写了第10章机械制造技术的发展，改写了机械制造系统自动化的发展、精密和超精密加工，增加了绿色制造、智能制造两节内容。
- 4) 对全书其他内容做了审定。

本次修订重点参考了参考文献[1]~[15]的内容，也汲取了其他参考文献的部分内容，感谢本书第1版的主审、所有作者付出的辛苦和努力，在此谨向学术界的前辈和同仁表示崇高的敬意。

本书由任家隆、任近静统稿并任主编；赵礼刚、管小燕、吴爱胜任副主编。修订分工如下：绪论由任近静、任家隆编写；第1章、第2章由管小燕、刘宏西编写；第3章由苏宇、晏飞编写；第4章由任家隆、赵礼刚编写；第5章由吴爱胜编写；第6章由赵礼刚、左雪编写，第7章由任家隆、赵礼刚、管小燕编写，第8章由张春燕、赵礼刚编写，第9章由任家隆、任近静、张春燕、苏宇编写，第10章由任近静编写。任近静对CAI课件和部分文稿进行了整理工作。

本书承请清华大学王先逵教授主审，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中得到了机械工业出版社、江苏科技大学、东南大学、上海理工大学、合肥工业大学、常州大学、江苏大学等单位的有关领导、教务部门及相关老师的鼓励、支持和帮助，在此对各位领导、老师以及有关参考文献的作者表示深深的敬意和衷心的感谢。

由于编者水平与经验所限，书中难免存在不妥之处，恳请广大同行及读者批评指正。

编 者

第 1 版前言

本书是根据高等工科院校机械类教学改革的基本要求,在总结各高校教改经验和编者多年的教学实践以及已毕业学生反馈意见的基础上编写而成的。本书以近机械类(非机械类也适用)为主的各专业师生为主要读者,与其他同类书籍相比,有较大的改革力度。本书在 2000 年、2005 年版的基础上,完善了机械工程材料、极限与配合及机械制造技术发展等内容;在内容上既考虑教学要求,又考虑知识体系结构和读者自学的需要,既努力避免教学过程中教材内容重复的现象,又力求符合人们认识事物的规律,有益于提高读者的创造性思维,以期在更大程度、更大范围内满足教学和社会的需要。本书具有以下特点:

1) 充分考虑近机械类、非机械类、机电类、管理类等专业教学时数需求。

2) 在知识体系上力求先给读者一个机械制造的总概念,然后再分述于各章节,这样有利于提高学习效果以及知识掌握的系统性。

3) 全书较好地处理了机械制造传统知识和新观念、新知识的关系,既便于基础知识讲授,又给出各章节内容有关的新知识点,有利于读者从学科的角度来掌握知识,提高创新意识。

4) 全书采用最新国家标准,并贯彻可持续发展的观点,运用系统工程理论方法进行内容的编排,便于学时少的师生和有兴趣的读者自学参考,有利于提高读者分析问题、解决问题的能力。

全书由任家隆任主编,王波、吴爱胜和任近静任副主编。具体编写分工如下:绪论及第 1 章、第 4 章由任家隆编写,第 2 章由王波、管小燕编写,第 3 章由王波编写,第 5 章由吴爱胜编写,第 6 章由吴爱胜、张春燕编写,第 7 章由任家隆、吴永祥、任近静编写,第 8 章由张春燕、赵礼刚编写,第 9 章由任家隆、任近静、张春燕、苏宇编写,第 10 章由任近静编写。任近静、龚元芳、陈小霞参与了 CAI 课件和部分文稿的整理工作。

本书由同济大学石来德教授主审,中国船舶重工集团公司中船建筑工程设计研究院李晓林、杨亚平两位老师仔细校对了本书稿,在此表示衷心感谢。

本书在编写过程中得到了江苏科技大学、上海理工大学、东南大学、常熟理工学院等单位的有关领导、教务部门及相关老师的鼓励、支持和帮助,在此对各位领导、老师以及有关参考文献的作者表示深深的敬意和衷心的感谢。

在本书出版以后,我们殷切地希望读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

CONTENTS

第2版前言

第1版前言

绪论 1

第1章 机械制造概论 4

1.1 机械制造及其生命周期 4

1.2 机械产品的构成和产品使用的材料 7

1.3 机械制造过程与生产组织 9

第2章 机械工程材料基础 17

2.1 金属材料的主要性能 17

2.2 金属和合金的晶体结构与结晶 25

2.3 铁碳合金 31

2.4 常用金属材料 39

2.5 其他工程材料 52

2.6 机械零件选材的一般原则 57

2.7 材料技术的发展 59

复习思考题 62

第3章 钢的热处理及材料的表面工程 63

3.1 钢的热处理 63

3.2 材料的表面工程 77

复习思考题 84

第4章 铸造 85

4.1 铸造工艺基础 85

4.2 砂型铸造 94

4.3 特种铸造 99

4.4 常用铸造方法的比较 102

4.5 铸件结构的工艺性 103

4.6 铸造技术的发展 106

复习思考题 108

第5章 金属的塑性成形 109

5.1 金属塑性成形工艺基础 109

5.2 金属塑性成形方法 111

复习思考题 124

第6章 材料的连接成形 125

6.1 焊接工艺基础 125

6.2 常用的焊接方法 132

6.3 焊接结构设计的工艺性 139

6.4 焊接技术的发展 142

6.5 粘接技术 144

复习思考题 145

第7章 切削加工工艺基础 146

7.1 常用切削机床 146

7.2 工件的安装和机床夹具 153

7.3 刀具与刀具切削运动 165

7.4 切削加工概述 181

7.5 零件的加工质量与技术要求(含极限与配合) 196

复习思考题 238

第8章 特种加工 240

8.1 特种加工的分类 241

8.2 常用特种加工方法 241

8.3 其他特种加工简介 248

复习思考题 248

第9章 机械加工工艺规程设计 249

9.1 机械加工工艺过程及其组成 249

9.2 零件加工工艺分析 250

9.3 毛坯的选择 261

9.4 机械加工工艺规程的制订 262

9.5 典型零件加工工艺过程分析 283

9.6 工艺方案技术经济分析 290

9.7 装配与检验 294

复习思考题 300

第10章 机械制造技术的发展 305

10.1 机械制造系统自动化的发展 305

10.2 精密加工和超精密加工 310

10.3 绿色制造 317

10.4 智能制造 324

复习思考题 329

参考文献 330

绪 论

“机械制造技术”是一门讲述有关机械产品制造过程的综合性技术基础课程。根据新的教学改革精神，它在形式上浓缩了原有的机械工程材料、材料成形、极限与配合，以及机械加工工艺基础等内容，经过提炼、加工、综合、比较、取舍，初步形成了具有自身特色的技术基础课知识体系。

现代科学技术的发展，更新了机械制造的概念，使得传统的机械制造过程有了较大改变。因此本书并没有停留在传统知识的介绍上，而是将材料、工艺方法等知识放到现代机械制造这个系统中去，以期让读者用现代制造的观点去考虑、认识和学习机械制造所必需的基础知识；本书还从基础知识的根基上探索本领域某一知识点的发展方向（每一章都有技术发展的介绍），以期提高读者的创新能力。在知识点的具体讲述上，编者力求从大视角出发，如将焊接工艺方法放到连接技术这个材料成形的现代知识范畴去认识它，使读者具有更开阔的眼界；在知识层面分析上，编者从工艺方法理论的高度去解释某一工艺方法的成功与不足，比较各种工艺方法，根据当时条件，择其善而从之。恰当地运用这种思维方法，以本书作为学习工具，可以提高学生自身的学习能力。

1. 机械制造业在国民经济中的地位和作用

机械制造业担负着向国民经济各部门提供技术装备的任务。国民经济各部门的生产技术水平和经济效益在很大程度上取决于机械制造业所能提供装备的技术性能、质量和可靠性。在信息化时代，装备制造仍然是经济社会发展的基础性、战略性支柱产业。创新机械工程技术，发展先进制造产业，能提升国家的国际竞争力、可持续发展能力和保障国家安全，实现由制造大国向创造强国的历史跨越。因此，机械制造业的技术水平和规模是衡量一个国家工业化程度和国民经济综合实力的重要标志。

中华人民共和国成立以来，我国的制造业得到了长足发展，一个比较完整的机械工业体系基本形成。改革开放以来，我国的制造业充分利用国内外两方面的技术资源，有计划地进行企业技术改造，引导企业走依靠科技进步的道路，使制造技术、产品质量和水平以及经济效益有了很大提高，对繁荣国内市场，扩大出口创汇，推动国民经济发展起到了重要作用。

据国外统计，在经济发展阶段，制造业的发展速度要高出整个国民经济的发展速度。如美国 68% 的财富来源于制造业；日本国民总产值的 49% 是由制造业提供的；中国的制造业在工业总产值中也占有 40% 的比例。由此可见，制造业为人类创造着辉煌的物质文明，是一个国家的立国之本。

制造技术是制造业发展的后盾，先进的制造技术使一个国家的制造业乃至国民经济处于竞争力较强的地位。忽视制造技术的发展将会导致制造业的萎缩和国民经济的衰退。美国一

直是制造业的大国,但第二次世界大战以后,一度不重视制造业的发展以及制造技术的开发;而日本则十分重视制造技术的开发,政府大力支持制造业的发展。结果,在20世纪70年代和80年代,日本的汽车、家电等不仅大量抢占了美国原来的国际市场,而且大量进入美国国内市场,使美国制造业受到极大挑战,导致了20世纪90年代初期美国经济的衰退。这使美国决策层不得不重新调整自己的产业政策,先后制订并实施了一系列振兴制造业的计划,并特别将1994年确定为美国的制造技术年。美国政府曾再次面对美国制造业地位衰落的情况,并意识到“一个强大的先进制造部门对保持国家竞争力和国家安全必不可缺”,于是在2011年6月提出了“振兴美国先进制造业领导地位”的战略,其中关键的措施就是实施先进制造计划。

我国的机械制造业经过几十年的发展,高速铁路大型成套系统装备及其工程建设、深水海洋石油装备、百万千瓦级的核电机组和水电机组、百万伏级特高压交流输变电设备等大型成套装备达到国际领先水平,百万吨级乙烯装置关键设备、高速龙门五轴加工中心、大型民用飞机等一大批高技术、大型系统成套装备的成功制造和出口大大提升了我国的制造能力和综合国力。目前,一大批装备产品产量位居世界第一,从经营规模上来说,已成为制造业的大国,制造技术也已进入发展最迅速、实力增强最快的新阶段,正在向制造强国努力奋斗。但是,我国的发展模式仍比较粗放,技术创新能力薄弱,产品附加值较低,同时也付出了巨大能源、资源消耗和生态环境污染的代价。拥有自主知识产权和自主品牌的技术和产品相对较少,在一些高端产品领域还未能完全掌握核心关键技术,对外依存度较高,突出表现在先进产能不足、高端产品短缺、落后产量过剩、中低端产品富余、结构性矛盾突出。如芯片约80%依赖进口,2012年进口用汇1920.6亿美元;资源利用效率偏低,单位国内生产总值(GDP)能耗远高于先进国家;工厂自动控制系统、高端医疗仪器、科学仪器和精密测量仪器等对外依存度仍较高。同时,我国现代制造服务业仍有待进一步发展,机械工业的发展仍依赖单机制造实物量的增长,而为用户提供系统设计、系统成套、远程诊断维护、软硬件升级改造、回收再制造等服务业尚未得到充分的培育和发展,绝大多数制造企业的服务收入占比低于10%。综观世界,随着经济全球化,贸易自由化程度的不断加深,国际市场竞争更加激烈,我国制造业正承受着前所未有的巨大压力。

“工业4.0”的提出,寓意人类将迎来以生产高度数字化、网络化、机器自组织为标志的第四次工业革命。这一工业发展新概念一经发布,立即在全球引发极大关注,必将掀起新一轮研究与实践热潮,也同样会冲击制造技术。同任何社会重大变革一样,工业4.0也不是一蹴而就的,它既对制造工业及制造技术提出了新的要求,又为制造技术提供了强大的发展动力,使制造技术这一永恒主题得到持续不断的发展。鉴于机械产品是装备国民经济各部门的物质基础,强大而完备的机械工业是实现国家现代化和社会进步的重要条件;而基础机械、基础零部件、基础工艺的发展缓慢又是机械工业产品上不去的重要原因之一,因此,我们同样要优先发展现代制造技术,使我国从制造大国走向制造强国。

目前,信息化、知识化、现代化、城镇化、全球化发展势不可挡,个性化设计制造和全球规模化制造服务相结合成为重要的生产方式,使社会生产方式发生了重大变革。20世纪90年代以来,信息网络技术的广泛应用,推动规模化大生产方式向柔性制造、网络制造和全球制造发展。计算和网络能力的跨越式提升,新的以信息和知识创新为基础的高科技产业、服务业、文化产业和智能创意产业等快速发展。未来20年机械工程技术最重要的是:

产品设计、成形制造、智能制造、精密与微纳制造、再制造和仿生制造 6 个技术领域, 以及在我国机械工业发展中处于基础地位、对主机和成套设备性能产生重大影响的流体传动与控制、轴承、齿轮、模具、刀具 5 个基础领域; 上述 11 个领域又集中反映了影响我国制造业发展的 8 大机械工程技术问题: 复杂系统的创意、建模、优化设计技术, 零件精确成形技术, 大型结构件成形技术, 高速精密加工技术, 微纳器件与系统 (MEWS), 智能制造装备, 智能化、集成化传动技术和数字化工厂。并且, 未来的机械工程技术 and 制造产业将呈现以下特征: 绿色、智能、超常、融合、服务。为此, 应对在发达国家之间展开的一个以现代制造技术为中心的科技竞争创造条件, 鼓励大批有志于制造业的莘莘学子投入和献身, 为使我国的制造业达到工业发达国家的技术水平而奋斗。

2. 机械制造科学的发展

机械制造过程是一种离散的生产过程, 它主要表现在制造过程中的各个环节, 各环节之间是可以彼此关联或不关联的, 因此完全实现机械制造过程自动化的难度比较大。另外, 机械制造过程的实施对个人的经验和技能有一定程度的依赖, 一般难以用数学的方法、规律、逻辑进行描述。这就使得机械制造科学发展较为缓慢。

制造从远古时代起就形成了一套技术, 蒸汽机与电力革命使其发生了很大变化, 形成了基于大批量生产的制造技术。同样, 现代电子技术、计算机技术、信息技术的发展, 使传统制造业改变了它原来的面目, 有了飞跃式的发展及革命性的变化; 但这绝没有削弱了传统制造业的重要性, 而是使制造技术从对单元的研究发展到对制造系统的研究。

机械制造科学是国家建设和社会发展的支柱学科之一, 制造系统是指覆盖全部产品生命周期的制造活动所形成的系统, 即设计、制造、装配及市场乃至回收的全过程。由系统论、信息论和控制论所形成的系统科学与方法论, 从系统各组成部分之间的相互联系、相互作用、相互制约的关系来分析对象, 使制造技术不再仅是以力学、切削理论为主要基础的一门学科, 而是一门涉及机械科学、材料科学、系统科学、信息科学和管理科学的综合学科。

但要注意: 本课程是有关学科知识的渗透和综合, 并不是兼收并蓄、包罗万象的, 它仍以属于工艺学的范畴去发展。

3. 本课程的学习

“机械制造技术”是有关专业必修的技术基础课程。通过本课程学习, 学生应能对制造活动有一个总体的了解和把握, 初步掌握金属切削过程基本规律和机械加工的基本知识, 能选择材料成形、机械加工方法, 具有产品质量、极限与配合的基本知识, 初步具有解决生产现场工艺问题、决策制造模式方面的能力。

本书内容具有很强的实践性, 需要有一定的实践基础, 以便对全书知识有准确的把握和理解。所以在学习本书时, 必须注意实践性教学环节的安排, 必要时可将实习活动穿插于其中。这样有利于更好地学习本课程, 更好地掌握机械制造的理论和应用知识, 为将来的工作打下坚实的基础。

各类学校、不同专业在使用本书作为教材时, 不必局限于章节顺序, 可以根据需要取舍、穿插进行教学。本书的有些章节, 可以和实践环节穿插进行。

第 1 章

机械制造概论

机械制造是各种机械、机床、工具、仪器、仪表制造过程的总称。它是一个将制造资源（物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力等）通过制造系统转变为可供人们使用或利用的产品的过程。机械制造过程是人力资源开发自然资源的过程。在人类实施可持续发展战略的今天，力争以最少的资源消耗、最低限度的环境污染产生最大的社会、经济效益，是制造业的根本宗旨，也是所有从事机械制造技术的科学研究人员和工程技术人员创造和应用制造机械产品的加工原理、研究工艺过程和方法以及研发相应设备的主要任务和奋斗目标。

1.1 机械制造及其生命周期

1.1.1 机械、机械制造及机械制造业

机械（Machinery）是指机器与机构的总称。机械一般是指能够帮助人降低工作难度或省力并提高工作效率的工具或装置。像锯子、榔头等一类的物品都可以被称为机械，但它们是简单机械，而复杂机械就是由两种或两种以上的简单机械构成的。通常把这些比较复杂的机械称为机器。从结构和运动的观点来看，机构和机器一般泛称为机械。

制造是一个永恒的主题，人类的发展过程就是一个不断制造的过程，在人类发展的初期，为了生存，制造了石器，以便于狩猎。此后，相继出现了陶器、铜器、铁器和一些简单的机械，如刀、剑、弓、箭等兵器，锅、壶、盆、罐等用具，犁、磨、碾、水车等农具。随着社会的发展，制造的范围和规模不断扩大，蒸汽机的问世带来了工业革命和大工业生产，喷气涡轮发动机的制造促进了现代喷气客机和超声速飞机的发展，集成电路的每一步发展都提升了现代计算机的装备和应用水平，微纳米技术的出现开创了微型机械的先河。机械制造是指将机械方法用于制造过程，有两方面的含义：其一是指用机械来加工零件（或工件），更明确地说是在一种机器上用切削方法来加工，这种机器通常称为机床、工具体或母机；其二是指制造某种机械，如制造汽车、涡轮机等。综上所述，机械制造就是将制造资源通过系统转化为可供人们使用或利用的产品的过程，也是人类不断开发自然资源的过程。力争以最小的资源消耗、最低限度的环境污染，产生最大的社会效益和经济效益，是机械制造发展的根本宗旨。

机械制造业是指从事各种动力机械、起重运输机械、农业机械、冶金矿山机械、化工机械、纺织机械、机床、工具、仪器、仪表及其他机械设备等生产的行业。机械制造业为整个

国民经济提供技术装备，其发展水平是国家工业化程度的主要标志之一，是国家重要的支柱产业。

机械制造技术的发展在提高人类物质文明和生活水平的同时，也对自然环境有所破坏。20 世纪中期以来，最突出的问题是资源，尤其是能源的大量消耗和对环境的污染，严重制约制造业的发展，对机械制造技术提出了更新的要求。在人类实施可持续发展战略的今天，机械产品的研制将以降低资源耗费，发展纯净的再生能源，治理、减轻以至消除环境污染作为重要任务。

1.1.2 机械产品的生命周期

任何物质形态的产品都将经历从材料的获取、设计、制造、销售、使用和用后废弃再回到土壤中的循环过程。人类生活和生产就是以这样的方式与地球生物圈发生联系的。机械产品的生命周期包括单生命周期和多生命周期两种含义。机械产品单生命周期是指产品从设计、制造、装配、包装、运输、使用到报废为止所经历的全部时间。机械产品多生命周期则不仅包括本代产品生命周期的全部时间，而且还包括本代产品报废或停止使用后，产品或其有关零件在换代——下一代、再下一代……多代产品中的循环使用和循环利用的时间，如图 1-1 所示。

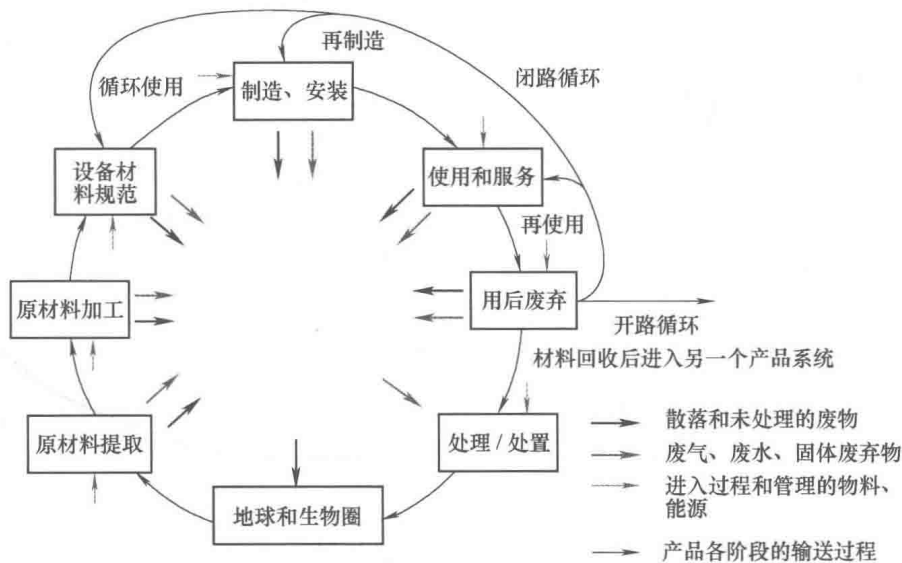


图 1-1 机械产品生命周期框架

机械产品生命周期设计是从并行工程思想发展而来的，它的目标是产品对社会的贡献最大，而危害和成本达到最小。在制造领域，是产品从自然中来到自然中去的全部过程，是“从摇篮到坟墓”的整个生命周期各个阶段的总和，包括了产品从自然中获得的最初资源、能源，原材料经过开采、冶炼、加工等过程，直至产品报废或处理，从而构成一个物质循环的生命周期。产品全生命周期包括产品价值的设计方法，它要求达到产品所需的全部功能，还有其可生产性、可装配性、可测试性、可维修性、可运输性、可循环利用性和环境友好性。产品全生命周期设计的主要内容是可靠性、维修性、保障性、测试性和安全性。可靠性是指产品在规定的条件下和规定的使用期限内，发生故障或失效的概率；故障或失效有不同

的后果,研究可靠性就是为了预防或消除故障及其后果。维修性是指产品在发生故障时,排除故障恢复功能的难易程度,衡量维修性最主要的指标是完成维修的时间和概率。保障性是指为了使产品正常运行所需人力、物力的复杂程度和苛刻性;在产品设计时,应综合考虑各类保障的问题,提出保障要求,制订保障方案,以便在产品使用阶段以最低费用提供所需的保障资源。测试性是指能通过测试了解系统自身状态的可能性和难易程度。安全性是指产品在规定条件下不发生事故的能力,全生命周期设计强调在设计阶段必须考虑安全性,以保证在以后的试验、生产、运输、储存、使用直到报废阶段对操作人员、产品本身和环境都是安全的。

通过加工才能形成机械产品,加工过程的优化程度影响机械产品生命周期的质量。大量的研究和实践表明,产品制造过程的工艺方案不一样,物料和能源的消耗将不一样,对环境的影响也不一样。绿色工艺规划就是要根据制造系统的实际,尽量研究和采用物料和能源消耗少、废弃物少、对环境污染小的工艺方案和工艺路线。这种工艺规划方法分为两个层次:①基于单个特征的微规划,包括环境性微规划和制造微规划;②基于零件的宏规划,包括环境性宏规划和制造宏规划。应用基于互联网的平台对从零件设计到生成工艺文件中的规划问题进行集成。在这种工艺规划方法中,对环境规划模块和传统的制造模块进行同等考虑,通过两者之间的平衡协调,得出优化的加工参数后实施加工。

装配是形成产品的最后一个环节。装配不仅是物料流中的重要环节,而且往往是多条物料流的汇合点。它是一种制造技术,但又不同于单个工作的加工技术。装配作业应注意从环保的角度出发,强调少产生废品、副产品、废料等固体废弃物以及排放物,以便于下一个生命周期的拆卸、再装配。为保证机械产品全生命周期质量,装配作业一般应注意以下三方面:

- 1) 装配是决定最终产品质量和可靠性的关键环节,因此要特别强调装配质量。
- 2) 装配具有系统性和综合性强的特点,要特别强调整体优化。
- 3) 装配场地或装配线上集中或流过的零部件种类、数量多,要特别强调秩序性。

产品报废后的回收处理是产品单生命周期的结束,又可能是多生命周期的开始。目前的研究认为面向环境的产品回收处理是一个系统工程,从产品设计开始就要充分考虑这个问题,并进行系统分类处理。产品使用寿命终结后,可以有多种不同的处理方案,如再使用、再利用、废弃等,各种方案的处理成本和回收价值都不一样,需要对各种方案进行分析与评估,确定出最佳的回收处理方案,从而以最少的成本代价获得最高的回收价值,即要进行绿色产品回收处理方案设计。评价产品回收处理方案设计主要考察三个方面:效益最大化、废弃部分尽可能少、重新利用的零部件尽可能多,即使尽可能多的零部件进入下一代生命周期。

再制造是一个以产品全生命周期设计和管理为指导,以优质、高效、节能、节材、环保为目标,以先进技术和产业化生产为手段,来修复或改造废旧产品并使之达到甚至超过原产品技术性能的技术措施或工程活动的总称。再制造是以废旧产品作为毛坯原料开始进行加工的,从而使原本到单生命周期结束生命的零部件及产品,通过再制造的先进技术和产业化生产手段,能够以相等于新的零部件及产品的“资格”踏上多生命、全生命的征程。

了解绿色制造有助于更好地理解机械产品的生命周期,本书 10.3 绿色制造将进一步介绍。

1.2 机械产品的构成和产品使用的材料

1.2.1 机械产品的构成

根据功能需要,机械产品主要由采用适当材料和加工工艺制造的零部件构成。

下面以汽车(轿车)为例对机械产品的构成加以说明。一辆普通的汽车由车身、发动机、驱动装置、车轮和电、液及控制等部分组成。组成汽车的各个部分应具有可充分发挥其性能的最佳形状,所选用的材料应考虑到对强度和功能的要求。特殊汽车如无人驾驶汽车除了上述机械构件外,强大的自动控制、计算机、网络通信等功能就显得更为重要。

图1-2所示为轿车的车身总成图,图1-3所示为轿车的发动机、驱动装置和车轮部分。图中各部分的名称、所用材料和加工方法见表1-1。由表1-1可知,汽车的零件是用多种材料制成的,采用的加工方法有铸造、锻造、冲压、注射成形等。另外还有一些加工方法没有列出来,如焊接(用于板料、棒料的连接)、切削和磨削(用于机械零件的精加工)等。

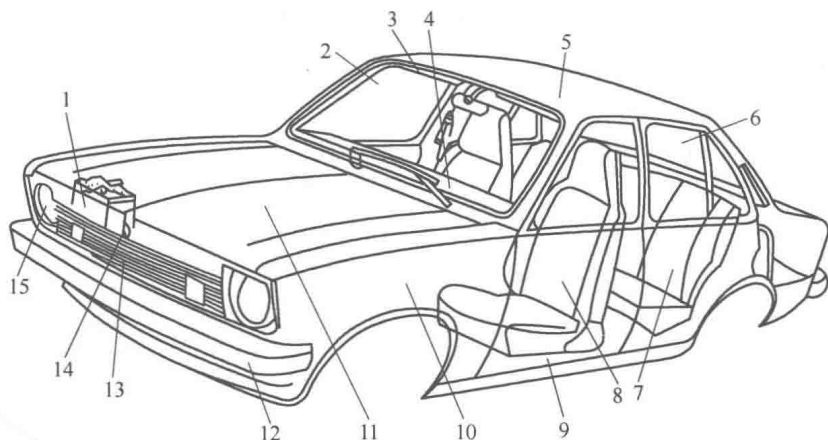


图1-2 轿车的车身总成图(图注见表1-1)

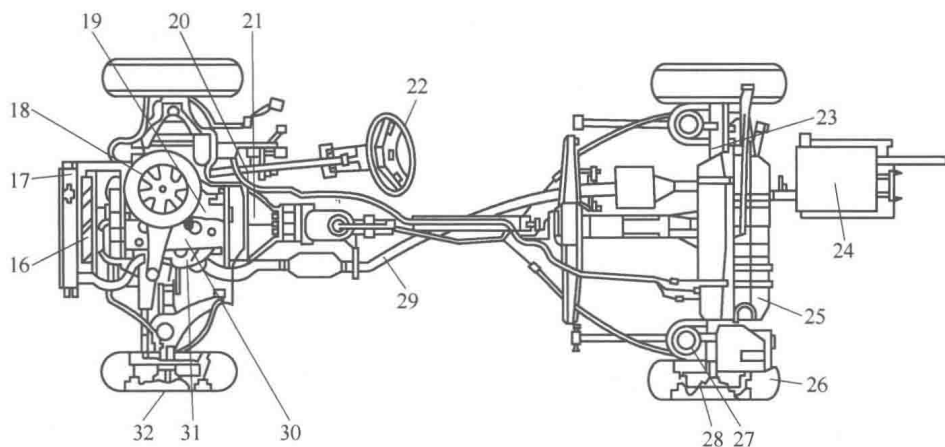


图1-3 轿车的发动机、驱动装置和车轮部分(图注见表1-1)

表 1-1 轿车零部件

件号	名 称		材 料	加工方法	件号	名 称		材 料	加工方法
1	蓄 电 池	壳体	塑料	注射成形	16	冷却风扇		塑料	注射成形
		极板	铅板		17	散热器		铜	冲压
		液体	稀硫酸		18	空气滤清器		钢板	
2	风窗玻璃		钢化玻璃 或夹层玻璃		19	进气总管		铝	铸造
3	遮阳板		聚氯乙烯、 烯薄板+脲烷泡沫		20	操纵杆		钢管	
					21	离合器壳体		铝	
4	仪表板		钢板	22	转向盘		塑料	注射成形	
			塑料	注射成形	23	后桥壳		钢板	冲压
5	车身		钢板	24	消声器		钢板		
6	侧窗玻璃		钢化玻璃	25	油箱		钢板		
7	座垫包皮		乙烯或纺织品	26	轮胎		合成橡胶		
8	缓冲垫		脲烷泡沫	27	卷簧		弹簧钢		
9	车门		钢板	28	制动鼓		铸铁	铸造	
10	挡泥板		钢板	29	排气管		钢管	铸造	
11	发动机罩		钢板	30	发 动 机	气缸体	铸铁		
12	保险杠		钢板			气缸盖	铝		
13	散热器格栅		塑料			注射成形	曲轴		碳钢
							凸轮轴		铸铁
14	标牌		塑料	注射成形、 电镀	盘	钢板	冲压		
15	前照 灯	透镜	玻璃	冲压、电镀	31	排气总管		铸铁	铸造
		聚光罩	钢板		32	制动盘		铸铁	

1.2.2 机械产品使用的材料

现代机械产品多是机、计、电、仪的集成，几乎使用了常用类型的所有材料，许多特殊的产品还采用了最新开发的材料，如复合材料、功能材料等。随着现代科学技术的发展，材料的使用更有针对性，如发动机使用陶瓷缸套，耐热度有所提高，使得功率有较大增长。有关材料的论述可详见本书后面的有关章节，这里仍以上述汽车（轿车）为例予以概述。

制造汽车使用了多种材料，从现阶段汽车零件的质量构成比来看，黑色金属占 75%~80%，有色金属占 5%，非金属材料占 15%~20%。汽车使用的材料大多为金属材料。

黑色金属材料有钢材和铸铁。钢材的种类有钢板、圆钢和各种型钢，钢板大多采用冲压成形，用于制造汽车的车身和大梁；用圆钢作坯料，采用锻造、热处理、切削加工等方法来制造曲轴、齿轮、弹簧等零件；铸铁用于铸造气缸体，进、排气管，变速器箱体等。

黑色金属的强度较高，价格低廉，故使用较多。按其使用场合的不同，对其性能的要求也不同。例如，对于汽车车身，需使钢板做较大的弯曲变形，应采用易变形的钢板；如果外观不美观，则会影响销售，故应采用表面美观、易弯曲的钢板。与之相反，车架厚而强度

高，价格应低廉，所以采用表面不太美观的较厚的钢板。

圆钢（横截面为圆形）和型钢（横截面为 L、T、I 形的型材）用途广泛。例如，将具有特殊性能的圆钢卷绕成螺旋形弹簧，或将圆钢切削加工后再使表面硬化，可制成回转轴等。

有色金属材料中的铝合金应用最广，它可用作发动机的活塞、变速器壳体、带轮等。铝合金由于重量轻且美观，故将更多地用于制造汽车零件。

铜用于制造电气产品、散热器。铅、锡与铜构成的合金用作轴承合金，锌合金用作装饰品和车门手柄（表面电镀）。

非金属材料包括工程塑料、橡胶、石棉、玻璃、纤维等。由于工程塑料具有密度小、成型性和着色性好、不生锈等性能，故可用作薄板、手轮、电气零件、内外装饰品等。

随着塑料性能的不断改善，纤维强化塑料（FRP）有可能用于制造车身和发动机零件。

1.3 机械制造过程与生产组织

1.3.1 机械制造过程

现代机械制造以控制论和系统工程为先导，综合考虑物质流（指物料经过制造工艺过程所产生的形状、尺寸和位置的转变）、信息流（指相关图样、工艺文件、软件等生产信息、生产管理技术及其处理系统）和能量流（指电能、机械能、热能和化学能等以及能量的变换系统等）三者的关系，将现代工业生产与产品的决策、质量评价、市场信息等有效地融为一体。新材料、新结构和新工艺使机械制造超出了“金属”切削加工的范畴，使机械制造业向着高效、自动、精密的方向迅速发展，经济核算也相应地从传统的大批量生产方式转变为适应竞争机制的中小批量生产方式。

生产系统（见图 1-4）是指将大量设备、材料、人和加工过程有序地结合，用系统的观点正确处理输入和输出，即全面考虑国家经济政策、技术情报、市场动态、生产条件及环境保护等因素，进行产品设计、制造、装配和经济核算，直至产品输出的过程。

现代机械制造以生产系统为主要组成部分，以传统机械加工为基础，延伸到应用越来越广泛的机械制造系统自动化（NC、GT、CAD/CAM、FMS、工业机器人及 CIMS 等），以适应精密、超精密和特种加工的要求，并将局限于“金属”的切削加工扩展到各种材料的加工。在经济管理中，将核算工时和生产率扩展到设计、制造的整个生产过程，以实现高度统一的综合管理，形成一个优化的、完整的生产系统。

图 1-5 所示为仅以材料流来说明一般金属制品的生产流程（含冶金）。

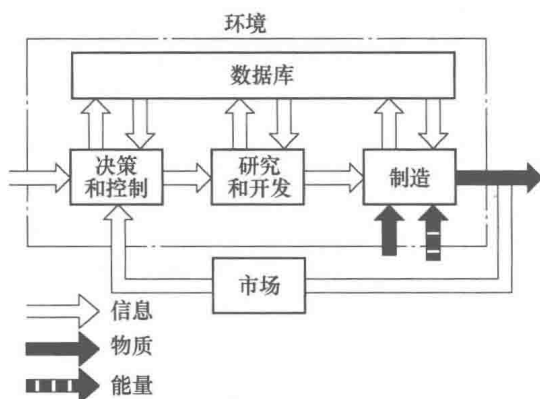


图 1-4 生产系统的基本框图

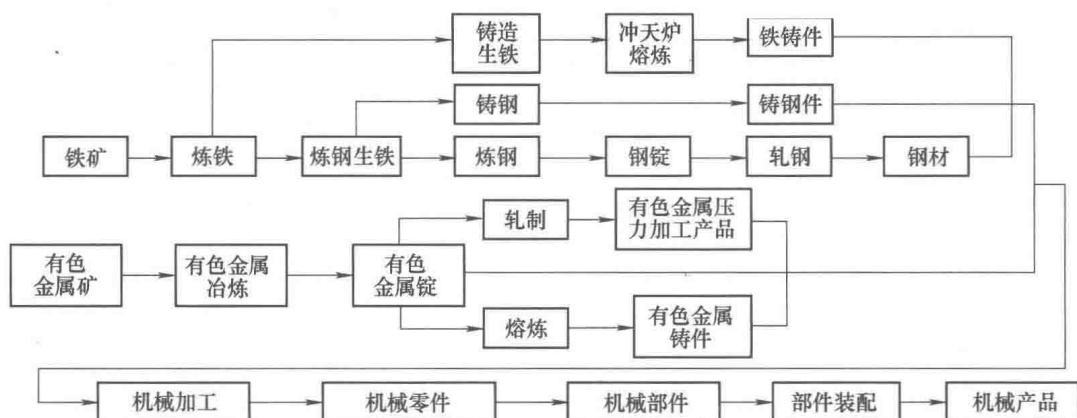


图 1-5 一般金属制品的生产流程示意图

制造过程的实质是一个资源向零件或产品转变的过程，如图 1-6 所示，但这个过程是不连续的（或称离散性），其系统状态是动态的，故机械制造系统是离散的动态系统。

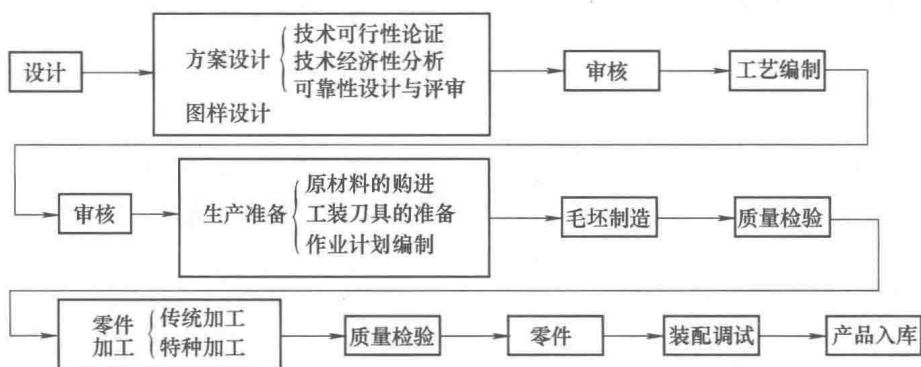


图 1-6 机械制造过程

本节仍以汽车的制造过程为例进行讲述。汽车的制造过程大致如图 1-7 所示，分别采用不同的工序制造出车身、发动机、变速器、悬架系统、车轴等，再将它们装配成汽车。

1) 车身是由冲压加工成形的几块板件接合而成的。将经冲压加工而成的车顶、挡泥板焊接在车身上，将加工完成的车门和发动机罩安装在车身本体上。装配完成以后进行涂装，再装上玻璃、刮水器、内装品等。

2) 发动机、变速器、悬架系统、车轴等部件，其零件的毛坯为铸件或锻件，是在不同的车间制造的。发动机的气缸体是由从铸造车间得到的铸件毛坯，在机械加工车间经切削加工而成的。在气缸体中装入活塞、连杆、曲轴等零件，完成整个发动机部件的装配。连杆和曲轴是由锻造车间生产的锻件毛坯，经过机械加工、热处理和精加工后制成的。

变速器部件是把变速齿轮装入变速器箱体中。它的作用是将发动机的动力传递给车轴。齿轮为锻件，用齿轮机床加工而成；变速器箱体为铸件。

悬架系统中支承车体用的弹簧以及汽车的车轴都是由钢材加工而成的。

3) 在已安装内装品的车身上安装发动机、变速器、悬架系统、车轴，再装上轮胎、座垫、转向盘、蓄电池等，就完成了汽车的装配。

装配完毕的汽车进行检查后，再进行道路行驶检验，就可作为成品出厂了。

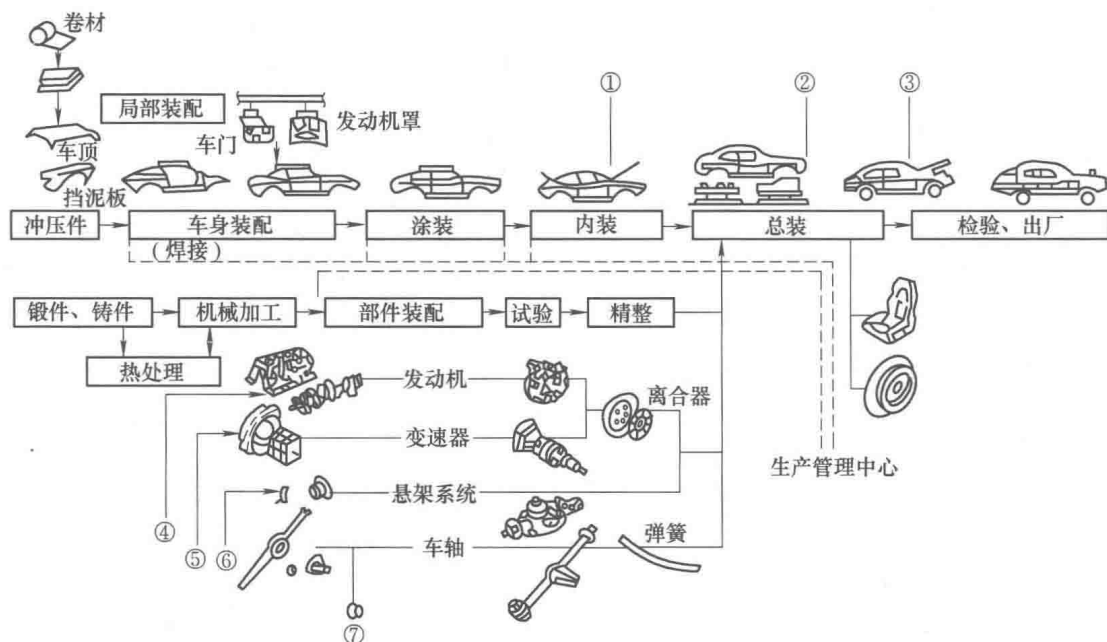


图 1-7 汽车的制造过程

- ①—玻璃、镜、车门衬垫、计量仪表、刮水器、车灯、收音机、仪表板、格栅、油箱
 ②—排气管、消声器、驱动轴、减振器、保险杠、轮胎、制动液管
 ③—驾驶装置、蓄电池、散热器、工具、底板
 ④—活塞、连杆、轴承、风扇、传动带、油泵、配油器、油底壳、滤清器、发电机
 ⑤—拨叉、轴承、密封圈
 ⑥—车架横架、连杆、弹簧、稳定器
 ⑦—轴承、油封、制动装置、联轴器

以上简单地说明了汽车的制造过程，其他机械大致也可按以上的方法制造，只是结构简单的机械，制造所需的加工工序较短。像汽车那种大量生产的产品，应采用流水作业方式，即将完成某道加工工序的加工件依次移到下一道工序进行加工。装配时也应采用流水作业方式，先进行部件装配，再将若干个已装配好的部件进行总装配。但单件生产或小批量生产的产品，其装配地点是固定的。

随着社会的进步，多品种、中小批量生产已逐步成为生产的主要形式，成组技术将企业多品种的零部件按一定的相似性准则进行分类编组，并以此为基础组织生产各环节，极大地提高了多品种、中小批量产品的生产率。随之兴起的独立制造岛、并行工程等一系列先进的生产方式与各种 NC、FMC 自动化设备的结合，使机械制造过程发生了较大的改变。由此可见，机械制造过程是一个因产品类型、品种数量、交货期以及设备、人员素质状况等综合因素变化的动态过程。

1.3.2 零件加工方法

制造机械零件有若干种加工方法。按其发展过程大致可分为三种：传统的加工方法、特种加工方法以及一些在 20 世纪 80 年代兴起的高技术加工方法，如激光加工、3D 打印 (Three Dimensional Printing, TDP) 等。