



“十二五”江苏省高等学校重点教材

机械制造基础

第三版

主编 任家隆 刘志峰

主审 陈关龙

高等教育出版社

“十二五”江苏省高等学校重点教材

机械制造基础

Jixie Zhizao Jichu

第三版

主编 任家隆 刘志峰

主审 陈关龙

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是“十二五”江苏省高等学校重点教材（项目编号：2014-1-19）。

本书在第二版的基础上，根据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会制订的本课程教学基本要求，结合机械设计制造及其自动化等专业的教学改革，汲取编者多年的教学实践经验修订而成。

全书除绪论外分为8章，内容包括：机械制造概论、金属切削过程与控制、金属切削机床、机械加工方法、机床夹具、机械加工质量分析与控制（加工精度、表面质量、机械加工振动的分析与控制）、工艺规程设计（机械加工工艺、机械装配工艺、GT与CAPP）、机械制造技术的发展（机械制造系统自动化、精密与超精密加工、绿色制造、智能制造）。全书结构严谨，系统性强。

为便于教学和学生自学、扩充学生视野，本书配有相应的学生版CAI课件。

本书是高等工科院校机械类、近机类专业的教材，亦可供高职高专及成人高校选用，也可供对机械工程类知识有兴趣的读者作为自学和参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

机械制造基础 / 任家隆, 刘志峰主编. -- 3版. --
北京: 高等教育出版社, 2015.9
ISBN 978-7-04-043357-9

I. ①机… II. ①任… ②刘… III. ①机械制造 - 高等学校 - 教材 IV. ①TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第155112号

策划编辑	李文婷	责任编辑	李文婷	封面设计	王 鹏	版式设计	马敬茹
插图绘制	杜晓丹	责任校对	王 雨	责任印制	毛斯璐		

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 100120
印 刷 国防工业出版社印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 22.5
字 数 540千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

版 次 2004年1月第1版
2015年9月第3版
印 次 2015年9月第1次印刷
定 价 40.80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 43357-00

第三版前言

本书第二版自2009年6月出版以来,于2011年7月被评为江苏省高等学校精品教材,2014年9月被评为“十二五”江苏省高等学校重点教材。

结合我校和兄弟院校使用本书第二版五年多的教学实践经验,依据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会修订的本课程教学基本要求,进行了本次修订工作。

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的内容。
2. 将本书第二版第2章“机械加工装备与方法”拆分为4个章节,分别为:第2章金属切削过程与控制、第3章金属切削机床、第4章机械加工方法、第5章机床夹具。
3. 修订了第2章金属切削过程与控制的内容,重写了切削液一节;修订了第5章机床夹具的内容,增加部分例题,加强了定位误差分析内容。
4. 在第4章机械加工方法中增加了高速加工、绿色加工内容。
5. 修订了第6章机械加工质量分析与控制,增加了机械加工过程中振动的基本概念的内容。
6. 重写了第8章机械制造技术的发展,增加了绿色制造、智能制造两节内容。
7. 除上述外,全书其他内容都作了审定或不同程度的修订。

本次修订重点参考了参考文献3至14的内容,也汲取了其他文献的部分内容,感谢本书第一、二版的主审及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。

第三版由任家隆、刘志峰统稿并任主编,参与修订人员有任家隆(绪论、第1章、第7章部分),刘志峰(第2章、第8章部分),吴爱胜、苏宇(第3章),范君艳、杨林初(第4章),赵礼刚、张春燕(第5章),任近静、管小燕(第6章),袁伟(第7章部分),任近静(第8章部分),范君艳、任和、管小燕负责插图及CAI课件和部分文稿的整理工作。

本书由上海交通大学博士生导师陈关龙教授主审,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中受到清华大学王先逵教授及常州大学丁建宁教授的指导,同时得到高等教育出版社、江苏科技大学、合肥工业大学、东南大学、常州大学、上海理工大学、上海师范大学天华学院等院校的有关领导、教务部门及同行的帮助,在此表示衷心的感谢。

由于水平与经验所限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请广大同行及读者批评指正。

编 者

2014年12月19日

第二版前言

本书根据机械类专业教学改革的基本要求,在总结各高校教改经验和我们多年的教学实践以及已毕业学生反馈意见的基础上,编写了以满足机械设计制造及其自动化专业教学为主,兼顾工业设计、车辆工程等相关专业教学的机械制造基础教材,以期更大程度、更大范围地满足教学和社会的需要。

机械制造基础是我国高等院校工科专业工艺教育的一门重要的技术基础课。在汲取同类教材宝贵经验的基础上,本书对该课程的体系和结构进行了一定的改革,既努力避免教学过程中教材内容重复的现象,又考虑了知识体系结构和有兴趣的读者自学的需要,力求符合人们认识事物的规律,使之有益于培养读者的创造性思维,提高他们的创新能力。

本书有以下特点:

1. 充分考虑机械设计制造及其自动化、车辆工程、工业工程、物流工程等专业的教学,满足上述各类专业的要求。

2. 在知识体系上力求首先给读者一个机械制造的总概念,然后再分述,有利于提高学习效果以及掌握知识的系统性,且留有足够的内容供因缺少学时而又有学习兴趣的学生和读者选修、选学。

3. 全书较好地贯彻了既讲述技术基础知识又传授学习方法的教学思想,系统讲述了机械制造技术的基础知识,合理组合了知识结构,有利于读者从学科角度掌握知识,并提高创新意识。

4. 全书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,有利于提高读者分析问题、解决问题的能力。

全书由任家隆教授统稿,由任家隆、李菊丽和张冰蔚担任主编。编写分工如下:绪论及第1章由任家隆编写;第2章由刘苏、方喜峰、王波、黄传辉、任近静分别编写各节;第3章由李菊丽编写;第4章由张冰蔚、任家隆编写;第5章由张淑兰、任家隆编写;第6章由任近静、张淑兰编写;任近静、奚有丹、管小燕、余建华、王青仙参与了CAI课件和部分文稿的整理工作。

本书由博士生导师王贵成教授审阅。在本书编写过程中得到王贵成教授的全力帮助,也得到清华大学博士生导师王先逵教授的指导,同时还得到了高等教育出版社、江苏大学、江苏科技大学、郑州轻工业学院、淮海工学院、上海交通大学、东南大学等院校的有关领导、教务部门及相关同志的鼓励、支持和帮助,在此对各位领导、老师、同志以及有关参考教材、学术杂志和论文的作者表示深深的敬意和感谢。

教材的编写是一个探索和追求的过程。由于编者的水平与经验所限,书中难免存在错误和不妥之处,殷切地希望广大师生及读者提出宝贵意见。

主 编

2009年2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

绪论	1	思考题与习题	155
第 1 章 机械制造概论	4	第 5 章 机床夹具	156
1.1 机械制造及其生命周期	4	5.1 概述	156
1.2 机械产品的开发与构成	7	5.2 工件在夹具中的定位	158
1.3 制造过程与生产组织	13	5.3 定位误差的分析计算	168
思考题与习题	25	5.4 工件在夹具中的夹紧	173
第 2 章 金属切削过程与控制	26	5.5 夹具的连接元件、对刀装置和引 导元件	183
2.1 金属切削刀具基础	26	5.6 夹具与夹具设计	186
2.2 金属切削过程与切屑类型	41	思考题与习题	197
2.3 切削力	46	第 6 章 机械加工质量分析与控制	201
2.4 切削热与切削温度	52	6.1 机械加工精度	201
2.5 刀具的磨损、破损及使用寿命	55	6.2 机械加工表面质量	223
2.6 工件材料的切削加工性	61	6.3 机械加工过程中的振动	227
2.7 磨削过程与磨削机理	63	思考题与习题	234
2.8 金属切削条件的合理选择	70	第 7 章 工艺规程设计	237
思考题与习题	81	7.1 概述	237
第 3 章 金属切削机床	84	7.2 机械产品(零件)设计的工艺性 评价	241
3.1 机床的基本概念	84	7.3 机械加工工艺规程设计	249
3.2 几种典型机床传动系统简介	101	7.4 成组技术与计算机辅助工艺规程 设计	290
3.3 组合机床与自动线	111	7.5 机械装配工艺规程设计基础	297
3.4 数控机床	114	思考题与习题	310
思考题与习题	120	第 8 章 机械制造技术的发展	313
第 4 章 机械加工方法	121	8.1 机械制造系统自动化	313
4.1 零件的种类及组成	121	8.2 精密和超精密加工	319
4.2 常用切削加工方法	122	8.3 绿色制造	327
4.3 常用磨削加工方法	141	8.4 智能制造	341
4.4 其他精密加工方法	144	思考题与习题	347
4.5 特种加工	146	参考文献	348
4.6 加工方法选择	151		
4.7 高速加工和超高速加工	152		
4.8 绿色切削加工方法	154		

绪论

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,才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的能力,实现由制造大国向制造强国的历史跨越。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。

1949年以来,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,为繁荣国内市场,扩大出口创汇,推动国民经济的发展起了重要作用。

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,制造业为人类创造了辉煌的物质文明,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,先后制定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。目前,美国政府再次面对美国制造业地位衰落的状况,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少”,于是于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。

机械制造业经过近几十年的发展,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(如南海海洋石油981平台)、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,从经营规模上来说,我国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代价。由于拥有自主知识产权和自主品牌的技术和产品少,在一些高端

产品领域未能掌握核心关键技术,因而对外依存度仍较高。如高档数控机床、高档数控系统和机器人不同程度地依赖进口;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、高端产品和关键基础件对外依存度仍较高。同时,我国现代制造服务业发展仍比较缓慢,机械工业的发展过度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、回收再制造等的服务业尚未得到充分的培育发展,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。

为此,应和各工业化国家一样把现代制造技术列为国家关键技术和优先发展领域,为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的投入和献身,为使我国的制造业达到工业发达国家的技术水平而奋斗。

“工业4.0”的提出,寓意着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,必将掀起新一轮的研究与实践热潮。这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,其关键问题是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。

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。

制造从远古时代就形成一套技术,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,有了飞跃的发展及革命性的变化,但这绝不是削弱了传统制造业的重要性,而是将制造技术从单元的研究发展到制造系统的研究。

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。

机械制造科学是国家建设和社会发展的支柱学科之一,是研究机械制造系统、机械制造过程和制造手段的科学。机械制造可分为热加工和冷加工两部分,其中热加工部分已在材料成形学相关教材中讲授,机械制造冷加工部分主要沿着机械制造工艺方法进一步完善与开拓、加工技术向高精及微极端方向发展、制造系统向自动化及智能化方向发展三条主线进行,而机械制造(冷加工)是一门研究各种机械制造冷加工过程和方法的科学,其主要研究内容包括:

- 1) 机械制造的基础理论。
- 2) 机械制造和装配的工艺过程、工艺装备、工艺方法等。
- 3) 机械制造系统的自动化、柔性化、集成化及智能化。

目前,信息化、知识化、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且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7大机械工程技术问题:复杂系统的创意、建模、优化设计技术,零件精确成形技术及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,应创造条件,鼓励大批有志于制造业的莘莘学子投入和献身于制造业,为使我国的制造业达到工业发达国家的技术水平而奋斗。

3. 本课程的主要内容和学习方法

(1) 本课程的教学内容和要求

本课程主要介绍机械产品的生产过程和生产活动的组织,机械加工方法,机械加工过程及机械加工系统。包括金属切削过程及其基本规律,机床、刀具、夹具的基本知识,机械加工和装配工艺规程的设计,以及机械加工精度及表面质量的基本概念及控制方法,制造技术与现代生产管理模式,制造技术的发展趋势等。

通过本课程的学习,要求学生能对制造活动有一个总体的了解与把握,初步掌握金属切削过程的基本规律和机械加工的基本知识,了解金属切削机床的基本原理,能选择机械加工方法与机床、刀具、夹具及切削加工参数;初步具备制定工艺规程、设计简单夹具的能力并掌握机械加工精度和表面质量的基本理论和基本知识;初步具备分析解决现场工艺问题的能力;了解当今先进制造技术和制造模式的发展概况;初步具备对制造系统、制造模式进行选择 and 决策的能力。

(2) 本课程的学习方法

本课程是一门实践性很强的课程,应采取理论教学和实践教学相结合的方法,系统掌握机械制造的基础知识和基本技能。没有足够的实践基础,对制造原理与管理模式及金属切削理论和机械制造工艺的知识很难有准确的理解和把握。所以在学习本课程时,必须注意实践性教学环节,即通过实验、实习、设计及工厂调研来加深对课程内容的理解。通过本课程及后续课程的学习,并进行反复的实践和认识,才能逐步掌握机械制造的理论与实践知识,为将来的实际工作打下坚实的基础,为机械工业的振兴与发展作出贡献。

各类学校、不同专业在应用本教材时,不必完全按照章节顺序进行,而可以根据需要取舍、穿插进行教学。本书的有些章节可以与实践环节穿插进行教学。

第1章

机械制造概论

机械制造业是国民经济的基础产业,机械产品中相当一部分将成为国民经济各部门的机械装备。机械产品的生产通常围绕新产品的开发、产品制造、产品销售和服务三个阶段进行。新产品的开发主要是在市场导向下,根据技术的发展和企业的资源特征,通过设计、试制、生产准备等一系列活动完成,它保证了企业的发展与未来;产品的制造活动主要是根据市场和订单所确定的批量,通过包括毛坯制造、加工、装配、检验以及制造过程的组织和管理等过程和方式完成的;产品的销售和服务主要是把生产出来的产品以一定的渠道推向市场,提供促进销售的服务,把产品变成企业实际的利润,实现制造活动、产品本身的价值。

机械制造是一个将制造资源(物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力等)通过制造系统转化为可供人们使用或利用的产品的过程。现代制造越来越倾向于将系统论、信息论和控制论所形成的科学和方法论与机械制造科学结合起来,形成包含产品设计、制造、管理和技术等问题的一体化制造系统概念。机械制造正逐渐由一门技艺成长为一门工程科学。

和世界上的一切财富一样,机械制造也是人类开发自然资源的过程,在人类实施可持续发展战略的今天,以最小的资源消耗、最低限度的环境污染产生最大的社会及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在创造和应用制造机械产品的加工原理,研究工艺过程、方法和相应设备时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、机械制造及其机械制造业

机械(machinery)是指机器与机构的总称。机械一般是指能够帮助人们降低工作难度或达到省力目的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,机构和机器一般统称为机械。

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,制造的范围和规模在不断扩大,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音速飞机的发展,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,其有两方面的含义:其一是用机械来加工零件(或工件),更确切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、工具机或母机;另一种是指制造某种机械,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、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的同时,也对自然环境起破坏作用。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,这严重制约了制造行业的发展,对机械制造技术提出了更高的要求。在人类实施可持续发展战略的今天,机械新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、报废到回收的循环过程,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即下一代、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。

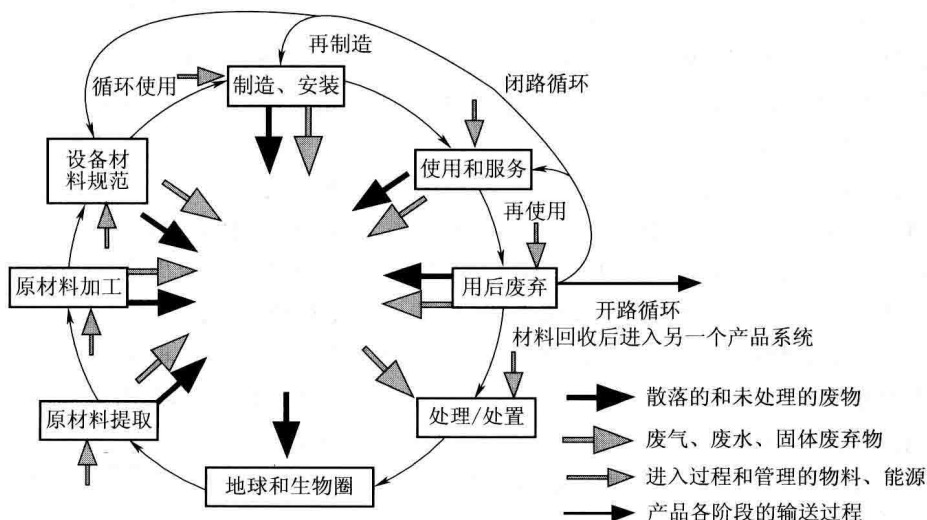


图 1-1 机械产品生命周期框架

机械产品生命周期设计是从并行工程思想发展而来的,其目标是使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,生命周期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,它要求实现产品所具有的全部功能,还要考虑其可生产性、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,在产品的设计时,应综合考虑各类保障的问题,提出保障要求,制定保障方案,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、使用直至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将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 Internet 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去实施加工。

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个系统工程,从产品设计开始就要充分考虑这个问题,并做系统分类处理。产品寿命终结后,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,能够以相同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 8.3 节绿色制造将作进一步阐述。

1.2 机械产品的开发与构成

1.2.1 机械产品的开发

1. 产品开发的意义

科学技术的发展与进步,为满足人类的更高消费提供了许多新的产品方案。随着生活水平的提高与社会环境的进步,消费者对产品的功能、质量、外观、价格提出了新的需求。这些都要求企业有可能也有必要不断地开发新产品。同时在市场经济和国际竞争环境中,利润较高的适销产品势必会吸引众多企业参与竞争、争夺市场。机械装备既是国民经济生产部门、国防工业和社会生活的重要物质基础,而且其自身也是商品。机械制造企业为了赢得竞争,也必须不断地推出新产品。工业发达国家都比较注重机械产品的开发,美国的汽车企业将销售收入的 5%~10% 投入到汽车产品的研发中。随着先进技术被应用到机械产品中,机械装备的综合性能不断地提高,机械产品的开发和升级换代加快,能否适时推出新产品是企业占领市场、获取最大利润的首要因素。

任何产品都有一定的生命周期,由于机械装备的投资较大,机械产品的生命周期相对较长。伴随着科学技术的发展和消费个性化的趋势,机械产品的市场寿命也在相对缩短。与其他产品一样,机械产品的市场生命周期一般分为介绍期、成长期、成熟期和衰退期四个阶段。

介绍期是为产品作市场宣传,改进产品以及为批量生产作准备的阶段。这时期的制造成本高,销售量有限,价格也比较高,销售产品还不能为企业带来利润。进入成长期,产品迅速占领市场,销售额扩大。由于进入批量生产,成本降低,利润迅速增加。当市场接近饱和时,产品进入成熟期,此阶段销售量大,但增幅趋缓,企业利润丰厚。当市场饱和后,激烈的市场竞争使产品的原有价格压到极低水平,销售额持续下降,企业无法获得利润,或市场出现升级换代的新产品,原有产品进入衰退期。

企业的首要经营目的是获得经济效益。要使一个企业长期取得良好的经济效益,就应该经营好处于成长期和成熟期的产品,并不断完善功能,提高质量,延长其市场寿命。同时要做到未雨绸缪,加强新产品的开发,尤其是创新产品的开发,及早抢占市场的制高点。企业只有不断地开发经营好有新的市场生命力的产品,才能使企业自身在激烈的市场竞争中不断获得新的生命力。

2. 新产品开发的决策

新产品按创新的改进程度可分为全新产品、换代产品、改进产品和仿制产品四类。

全新产品指应用新原理、新结构、新技术和新材料制造的前所未有的产品,往往成为科技史

上的重大突破,如最初的蒸汽机、飞机等。全新产品具有明显的技术经济优势,但其开发通常需要理论科学与应用技术的配合,需要企业、科研机构、高等院校的良好合作,开发周期较长。换代产品一般指由于采用新技术、新结构或新材料,使产品性能产生具有阶段性显著变化的新产品,如计算机发展过程中的386、486、586等。改进产品主要是对老产品的改进。仿制产品主要是模仿市场已有的其他产品而产生的,仿制产品可节省产品开发的大量资金、人力和时间,开发风险小,收效快,但承受着生产成熟厂家的竞争压力,并且容易造成知识产权的纠纷。

企业开发什么样的产品,必须来源于系统、全面的市场调查,认真的评价分析和科学的决策。通常,如果说产品开发的决策、技术开发、中试、生产上市几个阶段的资金投入比例是1:10:100:1 000,而它们对该产品开发是否成功,即市场前景和企业效益的影响度为70%:10%:10%:10%,由此可见,正确的决策至关重要。

(1) 开发调研

新产品开发的决策依据是开发调研。开发调研可以从以下几个方面进行,即科技调研、市场调研、竞争环境调研、企业内部调研。

1) 科技调研 主要是调研科技新动态,形成产品的技术源,如其技术的先进性、成熟度、技术可行性等。科技调研对企业新产品开发的走势有重要影响。如我国某企业1990年初引进日本“三洋”电视机按键生产线,没有注意到更先进的遥控器技术的出现,生产线建成后没有订货,面临破产困境。在注重技术先进性的同时,对技术的成熟度和可行性也必须认真对待。考虑企业自身的技术开发实力、可投入的资金和承担风险的能力,往往选择适用技术、渐进改进会是更稳妥的途径。全新产品的开发可能给企业带来高的效益,但成功率不高,企业要承担较大的风险。

2) 市场调研 主要是调查市场需求。通过细分市场的调查,分析产品可能达到的市场目标、市场可能接受的产品功能及价格。市场调研使产品的开发具有一定的针对性,要考虑消费市场的地域、人口、消费心理及消费行为等特点。例如,我国南方农村长期以来需要外形尺寸较小的联合收割机以适应小块田地的作业,而我国的农机管理部门、科研院所、生产企业没有注意到这一市场需求,直到日本产品进入我国市场后才意识到。

3) 竞争环境调研 一方面要研究了解国家的法律、法规、行业政策导向,如环境保护条例、国家在某些行业或产业的减免政策等;另一方面也要调查研究国内外竞争对手的情况,如竞争对手的产品功能、质量、价格、经营状况、产品开发趋势等,做到知己知彼,百战不殆。

4) 企业内部调研 主要是研究企业的资源。根据企业自身的设备、资金、人力、技术、管理等方面的情况来考虑在拟项目的长处与不足,确立企业的中长远目标和短期目标以及企业的经营策略等。企业为节约开发费用和生产组织费用,往往在相近的产品中进行开发。但有时企业为了在市场激烈变化的环境中立于不败之地而采用多种经营战略,专门选择领域差别较大的产品进行开发生产,以提高其抗风险能力。

(2) 立项决策

表1-1表示对一个新产品开发调查的结果,表中的每一项都是利用某一种方法调研得到的数据,再对每项统计出平均值。总体抽调结果可以根据各项结果加权平均,每一要素的权值可根据企业经营的战略思想来定。如果企业开发产品着眼于长远利益及高技术形象,技术评估各项可取较高的权值;如果企业着眼于经济效益,竞争能力的各项权值可高一些。表中的总得分应在

0~10 之间,总的得分越高,产品越值得开发。

表 1-1 新产品评估等级表

要素类	要素	等级	权值	得分
技术评估	先进新颖性	7	0.1	0.7
	成熟度	7	0.1	0.7
	技术独占度	9	0.15	1.35
	质量指标	6	0.05	0.3
适用性评估	与原有技术兼容性	3	0.05	0.15
	现有设备可用性	8	0.1	0.8
	现有人才可用性	6	0.05	0.3
	现有销售渠道可用性	4	0.05	0.2
竞争能力评估	市场宽度	3	0.1	0.3
	可达市场占有率	7	0.1	0.7
	与发展政策有关	9	0.05	0.45
	环境保护	9	0.1	0.9
总计			1	6.85

经过调研分析,如果对某一产品的开发有了初步认定,就可对产品的市场、功能设计、价格进行定位,然后进行产品概念设计,确定产品的各项指标,优化产品设计方案,并进行立项评估。

立项评估的内容是经济分析和风险分析。经济分析主要考虑产品开发的资金投入以及在投资回收期和盈亏平衡时产品的最小销售量等;风险分析主要考虑技术成功率、商业成功率和产品生命周期等。有关书籍对此有详细说明,在此不再赘述。一般来说高技术产品的成功率较低(来自美国的统计表明新产品的成功率约为 30%,而高技术产品的成功率只有 12%),但高技术产品有高的回报率,能给企业带来丰厚的总效益。机械产品的设计周期长,加工成本高,开发投资大,尤其是技术集成度高的高精度产品投资风险很高,但产品开发一旦成功,就能获得巨大的利润。

3. 新产品开发的方式

产品方案通过立项评估后,就可以计划并实施产品开发了。新产品的开发可以采用以下一些方式:

1) 独立研制 依靠本企业自身力量独立进行新产品开发。技术经济实力雄厚的企业往往采用这种方式。一般的企业在开发不太复杂的产品或开发仿制、改进产品时也比较适于采用这种方式。

2) 合作开发 由企业和高校或科研机构合作进行技术开发。由于新产品开发可能涉及较广阔的学术领域,需要各种检测设备、实验设备,需要各类人才进行创新工作,而高校和科研机构在这方面有比较强的优势。

3) 技术引进 通过购买专利、引进国外先进技术等方式,使企业的产品迅速赶上先进水平,

进入国际市场。对项目的引进应充分掌握国内外技术发展的状况,进行充分的市场分析,以减小风险和避免损失。

4. 新产品开发的步骤

新产品开发的顺序为概念设计、方案设计、详细设计、样机设计与评审、工艺设计、新产品鉴定、试销、生产准备、批量生产。

1) 产品概念设计 产品概念设计一般包括产品的基本特征、技术原理、主要结构形式、主要功能、市场定位、技术规格、主要参数、目标成本及与国内外类似产品的比较等。在立项决策时概念设计就基本形成了。产品的概念有狭义概念和广义概念。狭义概念是指具体产品;广义概念又称整体产品概念,如图1-2所示,它由核心部分、形式部分及延伸部分组成。

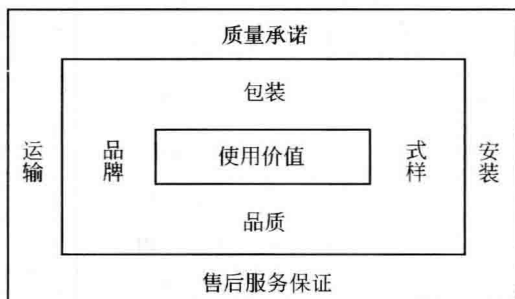


图1-2 整体产品概念

产品的核心部分是其使用价值,也就是实现其使用功能;形式部分指产品的品质、包装、品牌、式样等内容;产品的延伸部分主要是指服务,如运输、安装、质量承诺、售后服务保证等。

2) 产品方案设计 方案设计主要确定实现概念设计的总体方案,包括机械结构方案、电气控制方案、外形方案等,还有绘制产品总装图的工作原理草图,给出其主要尺寸,列出产品的特殊配套零部件和外购件的明细表。

3) 技术设计 技术设计是根据技术任务书,将方案设计中确定的基本结构和主要参数具体化,进一步确定产品结构和技术经济指标。技术设计的基本内容包括:①通过计算、分析和试验确定重要零部件的结构、尺寸和配合,并画出机器总图、重要零部件图、液压系统图、冷却系统图、电气系统图等;②编写部件、附件、通用件、标准件、外购件等明细表以及特殊材料表;③编写设计说明书,说明产品结构特点;④制定加工、装配以及产品验收和交货的技术条件;⑤确定产品的技术经济指标。

技术设计之后要组织设计部门、工艺部门、生产管理部门、销售部门的人员进行设计评审。评审后进行修改,然后完成样机制造。产品的许多性能往往要靠样机的试验才能真正确定下来。样机经测试后,连同设计资料及工艺设计一起进行新产品鉴定。

4) 生产设计 样机的制造方法与批量生产是不一样的,通过鉴定的新产品还要根据工艺设计进行生产设计。生产设计也叫工作图设计,是将经过审核和修正的前一段设计具体化为生产用的工作图。这一阶段是绘制全套施工图样,准备有关制造和使用所需的技术文件,为企业提供可靠的生产依据。生产设计必须考虑企业的具体条件及生产上的要求。根据生产设计确定生产的组织和生产设备的安排,设计制造专门的刀具、模具、夹具、检测器具等工艺设备,然后进入小批试制、销售,最后投产。

5. 产品开发的技术手段

产品的设计以图样或软件的形式确定下来。传统的产品开发往往借助于人力和通用设备,经过反复制作、试凑,信息的个性化因素较大。目前在一些企业中,便携产品开发用此方法。随着计算机在制造业中的广泛应用,计算机辅助设计(CAD)得到越来越普遍的应用。机械CAD软