

普通高等教育“十一五”规划教材  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



JIXIE GONGCHENG GAILUN

# 机械工程概论

朱从容 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



JIXIE GONGCHENG GAILUN  
**机械工程概论**

主 编 朱从容  
副主编 李振华 吕冰海  
编 写 胡晓珍  
主 审 袁巨龙



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



普通高等教育“十一五”规划教材  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYU WU SHI WU GAOJIAO  
普通高等教育“十一五”规划教材

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

本书以高等学校机械工程类学生的专业素质教育需要为目的,系统地介绍了机械工程的相关基础知识、应用及最新发展状况。全书共六章,主要内容包括机械工程概述、新材料及其工程应用、机械设计及现代设计方法、机械制造与先进制造技术、机械制造技术的新发展、现代机械工程教育等内容。

本书可作为高等学校机械工程类学生的相关教材,也可供其他专业学生和工程技术人员参考。

容 从 未 主

容 从 未 主

容 从 未 主

容 从 未 主

## 图书在版编目(CIP)数据

机械工程概论/朱从容主编. —北京:中国电力出版社, 2009

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-8334-7

I. 机… II. 朱… III. 机械工程—高等学校—教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 001022 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2009 年 2 月第一版 2009 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.25 印张 294 千字

定价 19.80 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



# 前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

“机械工程概论”是一门专题介绍机械工程学科领域科学、技术、工程等问题的概论性课程,旨在向广大学生展示机械工程学科对人类社会发展与进步的重要推动作用和机械工程的最新发展与未来,让广大学生了解机械工程科技人员所需的专业知识和技能,展望机械工程领域的美好前景,增加对专业学习的兴趣和积极性。

全书共分六章,第一章介绍机械工程概述,包括机械工程的基本概念、社会生产与机械工程、学科分类、发展历程和发展展望等;第二章介绍新材料及其工程应用,包括材料概论、纳米材料和超导材料等新材料及其工程应用;第三章介绍机械设计及现代设计方法,包括机械设计的基本概念和方法,计算机辅助设计、有限元分析方法等现代设计方法等;第四章介绍机械制造与先进制造技术,包括制造技术与制造系统的概念、先进制造技术的定义和体系结构、先进制造生产模式、先进制造工艺等;第五章介绍机械制造技术的新发展,包括精密与超精密加工技术、微细加工技术、纳米级加工技术、快速原型制造技术等;第六章介绍现代机械工程教育,包括中国的机械工程教育和国外的机械工程教育。

本书由浙江海洋学院朱从容任主编,由浙江海洋学院李振华、湖南大学吕冰海任副主编。具体编写分工如下:前言、第一章、第四章、第六章、附录由朱从容编写,第二章、第三章由李振华编写,第五章第一、二、三节由朱从容、吕冰海共同编写,第五章第四节由浙江海洋学院胡晓珍编写。

本书由湖南大学袁巨龙教授主审,并提出了许多宝贵意见和建议,在此表示感谢。

本书在编写过程中得到了许多专家、同仁的大力支持和帮助,在此,谨向他们表示衷心的感谢。

鉴于本书涉及的知识面非常广泛,加之编者水平所限,书中不足或错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2008年10月

## 目 录

前言	
第一章 机械工程概述	1
第一节 机械与机械工程	1
第二节 机械工程学科及其新方向	2
思考题	10
第二章 新材料及其工程应用	11
第一节 材料概论	11
第二节 新材料的发展	14
思考题	36
第三章 机械设计现代设计方法	37
第一节 机械设计概述	37
第二节 现代设计方法	44
思考题	78
第四章 机械制造与先进制造技术	79
第一节 制造技术与制造系统	79
第二节 先进制造技术	80
第三节 先进制造生产模式	82
第四节 先进制造工艺	97
思考题	120
第五章 机械制造技术的新发展	121
第一节 精密与超精密加工技术	121
第二节 微细加工技术	134
第三节 纳米级加工技术	140
第四节 快速原型制造技术	146
思考题	154
第六章 现代机械工程教育	155
第一节 中国的机械工程教育	155
第二节 国外的机械工程教育	167
思考题	173
附录 I 机械工程大事年表	174
附录 II 名词术语英汉对照表	184
参考文献	187

## 第一章 机械工程概述

### 第一节 机械与机械工程

人类成为“现代人”的标志是制造工具。石器时代的各种石斧、石锤、木质和皮质的简单粗糙工具是后来机械的先驱。从制造简单工具演进到制造由多个零件、部件组成的现代机械,经历了漫长的过程。

人类发展的历史证明,社会生产创造着人类的社会物质文明,推动了人类社会的发展。据统计,发达国家60%~70%的财富来源于制造业生产的产品,而制造业的主要支柱是机械。

#### 一、基本概念

##### 1. 工程

工程是应用科学和数学的原理、实践经验、判断、常识创造造福于人类产品的一门艺术。换句话说,工程是制造满足某一特定需求的技术产品或系统的过程。

传统的工程学分为五大学术领域:化学工程学、土木工程学、电子工程学、工业工程学、机械工程学。此外,还有更专业的工程领域,如太空工程学、原子工程学、生物医学工程学等。

工程是科学发现和商业应用之间的桥梁。例如,X射线是著名科学家伦琴的一个重大科学发现,但需要通过工程师的努力,才有可能使其得到很好的应用,造福于人类。典型的应用有医用X光机、工业用X光探伤仪等。

##### 2. 机械

机械为机器和机构的泛称,是将已有的机械能或非机械能转换成便于利用的机械能,将机械能变换为某种非机械能或用机械能来做一定工作的装备或器具。第一类机械包括风力机、水轮机、汽轮机、内燃机、电动机、气动马达、液压马达等,统称为动力机械;第二类机械包括发电机、热泵、液压泵、压缩机等,统称为能量变换机械;第三类机械是利用人、畜或动力机械所提供的机械能以改变工作对象(原料、工件或工作介质)的物理状态、性质、结构、形状、位置等的机械,例如制冷装置、造纸机械、粉碎机械、物料搬运机械等,统称为工作机械。

各种机械的共同特征是:①均为人类制造的实体组合;②其组成件之间有确定的相对运动和力的传递;③进行机械能的转换或机械能的利用。还有一些装置或器械,其组成件间没有相对运动,也没有机械能的转换和利用,如蒸汽发生器、凝汽器、换热器、反应塔、精馏塔、压力容器等。但由于它们是通过机械加工而制成的产品,故也认为其属于机械范畴。

机械是现代社会进行生产和服务的五大要素(人、资金、能量、材料和机械)之一,并且能量和材料的生产必须有机械的参与。

##### 3. 机械工程

机械工程是以有关的自然科学和技术科学为理论基础,结合在生产实践中积累的技术经验,研究和解决在开发、设计、制造、安装、运用和修理各种机械过程中的全部理论和实际

问题的一门应用学科。

## 二、社会生产与机械工程

几千年前,人类已创制了用于谷物脱壳和粉碎的臼和磨,用来提水的辘轳,装有轮子的车,航行于江河的船、桨、橹、舵等。所用的动力,从人自身的体力发展到利用畜力、水力和风力,所用材料从天然的石、木、土、皮革发展到人造材料。最早的人造材料是陶瓷,制造陶瓷器皿的陶车,已是具有动力、传动和工作三个部分的完整机械。

人类从石器时代进入青铜时代,再到铁器时代,用于吹旺炉火的鼓风机的发展起了重要推动作用。有了足够强大的鼓风机,才能使冶金炉获得足够高的炉温,从而于矿石中炼得金属。公元前 1000~公元前 900 年,中国就已有冶铸用的鼓风机,逐渐从人力鼓风发展到畜力、水力鼓风。

15~16 世纪以前,机械工程发展缓慢。但在以千年计的实践过程中,在机械发展方面还是积累了相当多的经验和知识,成为后来机械工程发展的重要潜力。17 世纪以后,资本主义在英、法和西欧诸国出现使商品生产开始成为社会的中心问题。许多高才艺的机械匠师和有生产观念的知识分子,致力于改进各种产业所需的工作机械、研制新的动力机械——蒸汽机。18 世纪后期,蒸汽机的应用从采矿业推广到纺织、面粉、冶金等行业。制作机械的主要材料逐渐从木材改用更为坚韧,但难以用手工加工的金属。机械制造业开始形成,并在几十年中成为一个重要产业。机械工程通过不断扩大的实践,从分散性的、主要依赖匠师们个人才智和手艺的一种技艺,逐渐发展成为一门有理论指导的、系统的、独立的工程技术。机械工程是促成 18~19 世纪的工业革命以及资本主义机械化大生产的主要技术要素。

在当今社会,任何现代生产和工程领域都需要应用机械,如农业、林业、矿业等需要农业机械、林业机械、矿山机械;冶金、化学工业需要冶金机械、化工机械;纺织、食品加工工业需要纺织机械、食品加工机械;房屋建筑、道路、桥梁、水利等工程需要工程机械;电力工业需要动力机械;交通运输业需要各种车辆、船舶、飞机等;各种商品的计量、包装、储存、装卸需要各种相应的工作机械。在人们的日常生活中,也越来越多地应用各种机械,如汽车、自行车、缝纫机、钟表、照相机、洗衣机、冰箱、空调机、吸尘器等。

各个工程领域的发展也要求机械工程有与之相适应的发展,都需要机械工程提供所必需的机械。某些机械的发明和完善,又导致新的工程技术和新的产业出现和发展,例如大型动力机械的制造成功促成了电力系统的建立;机车的发明导致了铁路工程和铁路事业的兴起;内燃机、燃气轮机、火箭发动机等的发明、进步以及飞机和航天器的研制成功推进了航空、航天工程和航空、航天事业的兴起;高压设备(包括压缩机、反应器、密封技术等)的发展导致了許多新型合成化学工程的成功。机械工程就是在各方面不断提高需求的压力下获得发展动力,同时又从各个学科和技术的进步中得到改进和创新的能力。

## 第二节 机械工程学科及其新方向

### 一、机械工程学科分类

机械工程学科是研究机械产品(或系统)的性能、设计和制造的基础理论和技术的科学。机械系统从构思到实现要经历设计和制造两个不同性质的阶段。按照经历阶段的不同,

机械工程学科可分成两大分支学科：机械学和机械制造。

机械学是对机械进行功能综合并定量描述及控制其性能的基础技术科学。它的主要任务是把各种知识、信息注入设计，将其加工成机械系统能够接受的信息并输入机械制造系统，便于生产出满足使用要求和能被市场接受的产品。机械学包括机构学、机械振动学、机械结构强度学、摩擦学、设计理论与方法学、传动机械学、微机械学、机器人机械学等。

机械制造是将设计输出的指令和信息输入机械制造系统，加工出满足设计要求的产品的过程。机械制造科学是研究机械制造系统、机械制造过程和制造手段的科学。它包括机械制造冷加工和机械制造热加工两大部分。

如图 1-1 所示，在机械工程学科的系统，设计与制造是两个不可分割的统一体，机械学是基础，机械制造是中心，两者相互联系，相互依赖。

时至今日，机械工程的理论基础不再局限于力学，制造过程的基础也不仅是设计与制造经验和技艺的总结。今天的机械工程学科比以往任何时候更紧密地依赖数学、物理、化学、微电子、计算机、系统论、信息论、控制论、现代化管理等学科及其最新成就。

## 二、机械工程的服务领域与工作内容

### 1. 机械工程的服务领域

机械工程的服务领域广阔且多面，凡是使用机械、工具，甚至能源和材料生产的部门，无不需要机械工程的服务。概括说来，现代机械工程有五大服务领域。

(1) 研制并提供能量转换机械：包括将热能、化学能、原子能、电能、流体压力能和天然机械能转换为适合于应用的机械能的各种动力机械，以及将机械能转换为所需要的其他能量（电能、热能、流体压力能、势能等）的能量变换机械。

(2) 研制并提供用以生产各种产品的机械：包括应用于第一产业的农、林、牧、渔业机械和矿山机械，以及应用于第二产业的各种重工业机械和轻工业机械。

(3) 研制并提供从事各种服务的机械：包括交通运输机械、物料搬运机械、办公机械、医疗器械、通风、采暖和空调设备、除尘、净化、消声等环境保护设备等。

(4) 研制并提供家庭和个人生活中应用的机械：如洗衣机、冰箱、钟表、照相机、运动器械等。

(5) 研制并提供各种机械武器。

### 2. 机械工程的工作内容

不论服务于哪一领域，机械工程的工作内容基本相同，按其工作性质可分为六个方面。

(1) 建立和发展可以实际地、直接地应用于机械工程的工程理论基础。主要包括：研究力和运动的工程力学、流体力学；研究金属和非金属材料的性能及其应用的工程材料学；研究材料在外力作用下的应力、应变等的材料力学；研究热能的产生、传导和转换的燃烧学、传热学、热力学；研究摩擦、磨损和润滑的摩擦学；研究机械中各构件间相对运动的机构

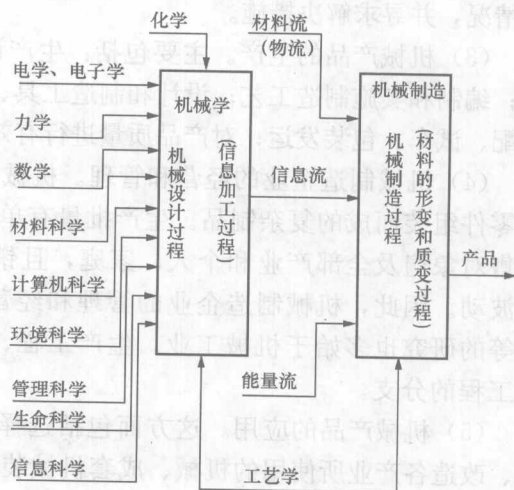


图 1-1 机械工程学科的组成



学；研究各类具有独立功能的机械元件的工作原理、结构、设计和计算的机械原理和机械零件学；研究金属、非金属的成形和切削加工的金属工艺学、非金属工艺学等。

(2) 研究、设计和发展新的机械产品，不断改进现有机械产品和生产新一代机械产品，以适应当前和将来的需要。主要包括：调研和预测社会对机械产品的新要求；探索应用机械工程和其他工程技术中出现的新理论、新技术、新材料、新工艺，进行必要的新产品试验、试制、改进、评价、鉴定和定型；分析正在试用的和正式使用的机械存在的缺点、问题和失效情况，并寻求解决措施。

(3) 机械产品的生产。主要包括：生产设施的规划和实现；生产计划的制订和生产进度；编制和实施制造工艺；设计和制造工具、模具；确定劳动定额和材料定额；组织加工、装配、试车、包装发运；对产品质量进行有效的控制。

(4) 机械制造企业的经营和管理。机械一般是由许多各有独特的成形、加工过程的精密零件组装而成的复杂制品。生产批量有单件和小批，也有中批、大批，乃至大量生产。销售对象遍及全部产业和个人、家庭，且销售量在社会经济状况的影响下可能出现很大的波动。因此，机械制造企业的管理和经营特别复杂、困难。企业生产管理、规划、经营等的研究也多始于机械工业。生产工程、工业工程等成为独立学科之前，都曾为机械工程的分支。

(5) 机械产品的应用。这方面包括选择、订购、验收、安装、调整、操作、维护、修理、改造各产业所使用的机械、成套机械装备，以保证机械产品在长期使用过程中的可靠性、经济性。

(6) 研究机械产品在制造过程中，尤其是在使用过程中所产生的环境污染和自然资源过度耗费方面的问题及其处理措施。这是现代机械工程的一项特别重要的任务，且其重要性与日俱增。

### 三、机械工程的发展历程

#### 1. 动力机械的发展

动力是发展生产的重要因素。17世纪后期，随着各种机械的改进和发展，随着煤和金属矿石的需要量的逐年增加，人们感到依靠人力和畜力不可能将生产提高到一个新的阶段。在英国，纺织、磨粉等产业越来越多地将工场设在河边，利用水轮来驱动工作机械。然而当时已有一定规模的煤矿、锡矿、铜矿矿井中的地下水，仍只能用大量畜力来提升和排除。在这样的生产需要下，18世纪初出现了丁·纽科门的大气式蒸汽机，用以驱动矿井排水泵。但是这种蒸汽机的燃料消耗率很高，基本上只应用于煤矿。1765年J·瓦特发明了具有分开的凝汽器的蒸汽机，降低了燃料消耗率。1781年J·瓦特又创制出提供回转动力的蒸汽机，扩大了蒸汽机的应用范围。蒸汽机的发明和发展，使矿业生产、工业生产、铁路、航运都得以机械动力化。蒸汽机几乎是19世纪唯一的动力源，但蒸汽机及其锅炉、凝汽器、冷却水系统等体积庞大、笨重，应用十分不方便。19世纪末，电力供应系统和电动机开始发展和推广。20世纪初，电动机已在工业生产中取代了蒸汽机，成为驱动各种工作机械的基本动力。生产的机械化已离不开电气化，而电气化则通过机械化才对生产发挥作用。

电站初期应用蒸汽机为原动机。20世纪初期，出现了高效率、高转速、大功率的汽轮机，也出现了适用于各种水力资源的大、小功率的水轮机，促进了电力供应系统的蓬勃发展。

19 世纪后期发明的内燃机经过逐年改进,成为轻而小、效率高、易于操纵、且可随时启动的原动机。它先被用于驱动没有电力供应的陆上工作机械,后又应用于驱动汽车、移动机械(如拖拉机、挖掘机械等)和轮船,到 20 世纪中期开始用于铁路机车。随着汽轮机和内燃机的发展,蒸汽机已不再是重要的动力机械。内燃机及以后发明的燃气轮机、喷气发动机的发展,是飞机、航天器等成功发展的基础技术因素之一。

## 2. 机械加工技术的发展

工业革命以前,机械大都是木结构的,由木工用手工制成。金属(主要是铜、铁)仅用以制造仪器、锁、钟表、泵和木结构机械上的小型零件。金属加工则主要靠机匠的精工细作,以达到需要的精度。蒸汽机动力装置的推广,以及随之出现的矿山、冶金、轮船、机车等大型机械的发展,需要成形加工和切削加工的金属零件越来越多,越来越大,要求的精度也越来越高。应用的金属材料从铜、铁发展到以钢为主。机械加工包括铸造、锻压、钣金、焊接、热处理等技术及其装备,及切削加工技术和机床、刀具、量具等,都得到了迅速发展,保证了各产业发展生产所需机械装备的供应。

社会经济的发展,对机械产品的需求猛增。生产批量的增大和精密加工技术的进展,促进了大量生产方法(如零件互换性生产、专业分工和协作、流水生产线、流水装配线等)的形成。

简单的互换性零件和专业分工协作生产,在古代就已出现。在机械工程中,互换性最早出现在莫兹利于 1797 年利用其创制的螺纹车床所生产的螺栓和螺母。同时期的美国工程师惠特尼用互换性生产方法生产的火枪,也显示了互换性的可行性和优越性。这种生产方法在美国逐渐推广,形成了所谓的“美国生产方法”。20 世纪初期,福特在汽车制造上创造了流水装配线。大量生产的技术加上 F. W. 泰勒在 19 世纪末创立的科学管理方法,使得汽车和其他大批量生产的机械产品的生产效率很快达到了过去无法想象的高度。

20 世纪中、后期,机械加工的主要特点有以下几点。

- (1) 不断提高机床的加工速度和精度,减少对手工技艺的依赖。
- (2) 发展少无切削加工工艺。
- (3) 提高成形加工、切削加工和装配的机械化、自动化程度。自动化从机械控制的自动化发展到电气控制的自动化、计算机程序控制的完全自动化,直至无人车间、无人工厂。
- (4) 利用数字控制机床、加工中心、成组技术等,发展柔性加工系统,使中小批量、多品种生产的生产效率接近于大量生产的水平。
- (5) 研究、改进难加工的新型金属、非金属材料的成形和切削加工技术。

## 3. 机械工程基础理论的发展

18 世纪以前,机械匠师全凭经验、直觉、手艺进行机械制作,与科学几乎不发生联系。到 18~19 世纪,在新兴资本主义经济的促进下,掌握科学知识的人士开始注意生产,且直接进行生产的匠师也开始学习科学文化知识。他们之间的交流和互相启发取得了很大的成果。在这个过程中,逐渐形成一整套围绕机械工程的基础理论。

动力机械最先与当时的先进科学相结合。蒸汽机的发明人萨弗里、瓦特应用了物理学家帕潘、布莱克的理论。在蒸汽机实践的基础上,物理学家卡诺、兰金和开尔文建立起一门新的科学——热力学。内燃机最重要的理论基础是法国的罗沙在 1862 年创立的,1876 年奥托应用罗沙的理论,彻底改进了他原来创造的粗陋笨重、噪声大、热效率低的内燃机而奠定了

内燃机的地位。其他如汽轮机、燃气轮机、水轮机等都是在理论指导下得到了发展,且理论也在实践中得到改进和提高。

早在公元前,中国已在指南车上应用复杂的齿轮系统,古希腊亦有圆柱齿轮、锥齿轮、蜗杆传动的记载。但是,关于齿轮传动瞬时速比与齿形的关系及齿形曲线的选择,直到17世纪之后方有理论阐述。手摇把和踏板机构是曲柄连杆机构的先驱,在各文明古国都有悠久历史,但是曲柄连杆机构的形式、运动、动力的确切分析、综合,则是近代机构学的成就。机构学作为一个专门学科迟至19世纪初才第一次列入高等工程学院(巴黎的工艺学院)的课程。通过理论研究,人们方能精确地分析各种机构,如复杂的空间连杆机构的运动,并进而能按需要设计出新的机构。

机械工程的工作对象是动态的机械。它的工作情况会发生很大的变化。这种变化有时是随机的、不可预见的;实际应用材料的不完全均匀,可能存有各种缺陷;加工精度有一定的偏差等。与以静态结构为工作对象的土木工程相比,机械工程中的各种问题更难以用理论精确解决。因此,早期的机械工程只运用简单的理论概念,结合实践经验进行工作。设计计算多依靠经验公式,为保证安全,都偏于保守。结果制成的机械笨重而庞大、成本高、生产率低、能量消耗很大。

从18世纪起,设计计算从以下几个方面不断提高了精确度。

(1) 在材料强度方面。从早期按静强度除以安全系数(考虑一切不精确性和分散性因素的经验系数)的粗糙计算,提高到考虑材料的疲劳(19世纪后半期);从一律按材料的无限疲劳寿命进行设计,改为按照实际要求的寿命进行有限寿命设计(20世纪前半期);从认为材料原则上不能有裂纹,发展到以断裂力学理论为依据,考虑裂纹材料的强度和寿命。

(2) 在机械结构的力学分析方面。从应用经验公式和简化的力学分析来确定各种受力和力矩,发展到应用复杂的力学分析和数学计算方法。进入20世纪,又出现各种实验应力分析方法。人们已能用实验方法测出模型和实物上各部位的应力,在发现应力过高过低时,便可能作出必要的调整。20世纪后半叶,人们开始应用有限元法和电子计算机迅速可靠的数值计算,对复杂的机械及其零件、构件进行力、力矩、应力、应变等的分析计算。对于掌握有充分的实践或实验资料的机械或其元件,已经可以运用统计技术,按照要求的可靠度科学地进行机械设计,或者按机械的实际情况(实际的质量、实际的使用条件等)科学地判断其可靠度和寿命。但在许多机械工程中,仍应用一些经验方法、经验公式、经验系数等,不过其中的科学成分在不断增加,经验成分则不断减少。

(3) 在机械振动方面。20世纪以来,随着机器高速化、大型化的发展,振动问题越来越严重。专家们把线性振动、随机振动等理论用以研究分析机器运行过程中旋转不平衡引起的振动,热、流体诱发的振动等动因,同时对振动的减振、隔振及利用振动进行了研究,并应用到机械技术中。

(4) 摩擦、磨损和润滑。关于摩擦,18世纪建立了分子黏附理论和凹凸理论,到20世纪40年代统一为机械-分子理论;关于磨损,20世纪50年代提出黏着磨损理论和疲劳磨损理论;关于润滑,1886年英国学者雷诺提出了流体动压润滑理论,20世纪40~60年代前苏联与英国学者共同建立了弹性流体动压理论,这些对轴承等技术的提高起到了积极的作用。摩擦、磨损和润滑已发展成为摩擦学。近年来,许多国内外学者认为机械设计的发展已

由运动学设计、强度设计进入摩擦学设计的第三阶段。它强调以整体机械及其系统为对象,根据使用、运行条件,合理选择各摩擦副的结构尺寸、材料处理、表面质量、润滑剂与润滑方式等,使机械及其系统达到低耗能、长寿命的目标。

#### 四、机械工程的发展展望

在 21 世纪中,随着电子、信息等高新技术的不断发展,随着市场需求的个性化与多样化,未来机械工程和以此为基础的制造业将以增加生产、提高劳动生产率、提高生产的经济性为目标来研制和发展新的机械产品。机械制造技术发展的总趋势是向精密化、柔性化、网络化、虚拟化、智能化、清洁化、集成化、全球化的方向发展。在未来的年代,新产品的研制将以降低资源消耗,发展清洁的再生能源,治理、减轻以至消除环境污染作为超经济的目标任务。

机械工程和以此为基础的制造业其发展趋势大致有以下几个方面。

##### 1. 信息技术的巨大作用

信息化是当今社会发展的趋势,信息技术正在以人们想象不到的速度向前发展。信息技术也正在向机械制造技术注入和融合,促进制造技术的不断发展。信息技术使制造技术的技术含量提高,使传统制造技术发生质的变化。信息技术对制造技术发展的作用目前已占据第一位。在 21 世纪对先进制造技术的各方面发展将起着更重要的作用。信息技术促进着设计技术的现代化,加工制造的精密化、快速化,自动化技术的柔性化、智能化,整个制造过程的网络化、全球化。各种先进生产模式的发展,如计算机集成制造、并行工程、精益生产、敏捷制造、虚拟企业与虚拟制造,也都以信息技术的发展为支撑。

##### 2. 设计技术不断现代化

产品设计是制造业的灵魂。现代设计技术的主要发展趋势如下。

(1) 设计手段的计算机化。在已实现计算机计算、绘图的基础上,当前突出反映在数值仿真和虚拟现实技术在设计中的应用以及现代产品建模理论的发展上,并且向智能化设计方向发展。

(2) 新的设计思想和方法不断出现。如并行设计、面向“X”的设计(Design For X, DFX)、健壮设计(Robust Design)、优化设计(Optimal Design)、反求工程技术(Reverse Engineering)等。

(3) 向全寿命周期设计发展。传统的设计只限于产品设计,全寿命周期设计则由简单、具体、细节的设计转向复杂的总体设计和决策,要通盘考虑包括设计、制造、检测、销售、使用、维修、报废等阶段的产品整个生命周期。

(4) 设计过程的全方位发展。设计过程由单纯考虑技术因素转向综合考虑技术、经济和社会因素,设计不只是单纯追求某项性能指标的先进和高低,并且还需注意考虑市场、价格、安全、美学、资源、环境等方面的影响。

##### 3. 制造技术向超精密、超高速等方向发展

(1) 超精密加工技术。目前,加工精度达到  $0.025\mu\text{m}$ , 表面粗糙度达  $0.0045\mu\text{m}$ , 已进入纳米级加工时代;超精切削厚度由目前的红外波段向可见光波段甚至更短波段靠近;超精加工机床向多功能模块化方向发展;超精加工材料由金属扩大到非金属。

(2) 超高速切削。目前,铝合金超高速切削的切削速度已超过  $1600\text{m}/\text{min}$ , 铸铁为  $1500\text{m}/\text{min}$ , 超耐热镍合金为  $300\text{m}/\text{min}$ , 钛合金为  $200\text{m}/\text{min}$ 。超高速切削的发展已转移

到一些难加工材料的切削加工。

(3) 新一代制造装备的发展。市场竞争和新产品、新技术、新材料的发展推动着新型加工装备的研究与开发,其中典型的例子是“并联桁架式结构数控机床”(或俗称“六腿”机床)的发展。它突破了传统机床的结构方案,采用六个轴长短的变化,以实现刀具相对于工件加工位置的变化。

#### 4. 新的工艺技术得到迅速发展

工艺设计由经验判断走向定量分析,加工工艺由技艺发展为工程科学。热加工过程的数值模拟与物理模拟是一个重要的发展方向,是热加工工艺由技艺走向科学的重要标志。应用数值模拟于铸造、锻压、焊接、热处理等工艺设计中,并与物理模拟、专家系统相结合,以确定工艺参数,优化工艺方案,预测加工过程中可能产生的缺陷及应采取的防止措施,控制和保护加工工件的质量。采用这种科学的模拟技术并配以少量的实验验证相结合,代替过去一切都要通过大量重复实验的方法,不仅节省大量的人力和物力,而且还通过数值模拟来解决一些目前无法在实验室进行直接研究的复杂问题。工艺模拟也发展并应用于金属切削加工过程、产品设计过程。最新的进展是在并行工程环境下,开展虚拟成形制造,使得在产品的设计完成时,成形制造的准备工作(如铸造)也同时完成。

#### 5. 成形制造技术向精密成形方向发展

成形制造技术是铸造、塑性加工、连接、粉末冶金等单元技术的总称。21世纪,成形制造技术正在从制造工件的毛坯、接近零件形状(Near Net Shape Process)向直接制成工件的精密成形或称净成形(Net Shape Process)的方向发展。据国际机械加工技术协会预测,塑性成形与磨削加工相结合,将取代大部分中小零件的切削加工。该成形技术主要包括热处理及表面工程各项技术。主要发展趋势是通过各种新型精密热处理和复合处理达到零件性能精确、形状尺寸精密以及获得各种特殊性能要求的表面(涂)层,同时大大减少了能耗及完全消除对环境的污染。

#### 6. 专业、学科间的界限逐渐淡化、消失

先进制造技术的不断发展,在冷热加工之间,加工、检测、物流、装配过程之间,设计、材料应用、加工制造之间,其界限均逐渐淡化,逐步走向一体化。例如,CAD(计算机辅助设计,Computer Aided Design)、CAPP(计算机辅助工艺规划,Computer Aided Process Planning)、CAM(计算机辅助制造,Computer Aided Manufacturing)的出现,使设计、制造成为一体;精密成形技术的发展,使热加工可能直接提供接近最终形状、尺寸的零件,它与磨削加工相结合,有可能覆盖大部分零件的加工,淡化了冷热加工的界限;快速原型(Rapid Prototyping, RP)技术的产生,是近20年来制造领域的一个重大突破,它可以自动、迅速地将设计思想物转化为具有一定结构和功能的原型或直接制造零件,淡化了设计、制造的界限;机器人加工工作站及FMS(柔性制造系统,Flexible Manufacturing System)的出现,使加工过程、检测过程、物流过程融为一体;现代制造系统使得自动化技术与传统工艺密不可分;很多新材料的配制与成形是同时完成的,很难划清材料应用与制造技术的界限。这种趋势在生产上的表现是专业车间的概念逐渐淡化,将多种不同专业的技术集成在一台设备、一条生产线、一个工段或车间里的生产方式逐渐增多。

#### 7. 更加注重绿色制造

日趋严格的环境与资源的约束,使绿色制造业显得越来越重要,它将是21世纪制造业

的重要特征,与之相应,绿色制造技术也将获得快速的发展。绿色制造业的特征主要体现在以下几点。

(1) 绿色产品设计技术。使产品在生命周期符合环保、人类健康、能耗低、资源利用率高的要求。

(2) 绿色制造技术。在整个制造过程,使得对环境负面影响最小,废弃物和有害物质的排放最小,资源利用效率最高。绿色制造技术主要包含了绿色资源、绿色生产过程和绿色产品三方面的内容。

(3) 产品的回收和循环再制造。例如,汽车等产品的拆卸和回收技术及生态工厂的循环式制造技术。它主要包括:生产系统工厂——致力于产品设计、材料处理、加工、装配等阶段;恢复系统工厂——主要对产品(材料使用)生命周期结束时的材料处理循环。

#### 8. 虚拟现实技术不断完善

虚拟现实技术(Virtual Reality Technology)主要包括虚拟制造技术和虚拟企业两个部分。虚拟制造技术将从根本上改变设计、试制、修改设计、规模生产的传统制造模式。在产品真正制出之前,先在虚拟制造环境中生成软产品原型(Soft Prototype)代替传统的硬样品(Hard Prototype)进行试验,对其性能、可制造性进行预测和评价,从而缩短产品的设计与制造周期,降低产品的开发成本,提高系统快速响应市场变化的能力。

虚拟企业是为了快速响应某一市场需求,通过信息高速公路,将产品涉及的不同企业临时组建成为一个没有围墙、超越空间约束、靠计算机网络联系、统一指挥的合作经济实体。虚拟企业的特点是企业的功能上的不完整、地域上的分散性、组织结构上的非永久性,即功能的虚拟化、组织的虚拟化、地域的虚拟化。

虚拟现实技术在制造业中将获得越来越多的应用。

#### 9. 先进制造生产模式不断发展

制造业在经历了少品种小批量—少品种大批量—多品种小批量生产模式的过渡后,20世纪七八十年代开始采用计算机集成制造系统(CIMS)进行制造的柔性生产模式,并逐步向智能制造技术(IMT)和智能制造系统(IMS)的方向发展。精益生产(LP)、敏捷制造(AM)等先进制造模式相继出现。21世纪,先进制造模式必将获得不断发展。

新兴的电子计算机软硬件科学使人类开始有了加强并部分代替人脑的科技手段,这就是人工智能。人工智能与机械工程之间的关系近似于脑与手之间的关系,其区别仅在于人工智能的硬件还需要利用机械制造出来。过去各种机械离不开人的操作和控制,其反应速度和操作精度都受到人脑神经系统的限制,人工智能将会消除这个限制。计算机科学与机械工程之间的互相促进,平行前进,将使机械工程在更高的层次上开始新一轮的大发展。

机械可以完成人用双手、双目、双足、双耳直接完成和不能直接完成的工作,而且完成得更快、更好。现代机械工程创造出越来越精巧、越来越复杂的机械和机械装置,使过去的许多幻想成为现实。

进入21世纪,科学技术以更加迅猛的速度发展,以因特网为代表的信息技术得到广泛应用,人类社会正开始走向知识经济的新时代;纳米科技将会掀起新一轮的技术浪潮,纳米材料学、纳米加工学有朝一日将把机器零件的成形与加工融为一体;以分子、原子等为对象的纳米制造和以基因技术为核心的生物制造将闪亮登场,机械工程及机械制造业将进入一个崭新的发展阶段。

思考题

1-1 什么是机械工程?

1-2 简述机械工程学科的分类。

1-3 简述机械工程的服务领域和工作内容。

## 第二章 新材料及其工程应用

### 第一节 材料概论

#### 一、概述

材料是用来制造人类社会所能接受的有用器具的物质。材料是人类生存和发展的重要物质基础。在工业领域及人们日常生活中，普遍使用的材料有木材、混凝土、砖、钢铁、塑料、玻璃、橡胶、铝、铜、纸张等。随着科学技术的飞速进步与发展，各种新材料正不断涌现。

材料科学主要研究材料的成分、组织、性能及其三者之间关系；同时，还要研究各种加工方法对材料组织性能的影响和作用规律，从而保证不断开发出新型材料，以满足人类社会进步与发展的各种需要。

#### 二、材料的分类

随着材料科学与技术的发展，材料的种类日益繁多。据估计，到 20 世纪末，材料的种类已超过 40 万种。材料的分类方法众多，最常见的分类方法如图 2-1 所示。

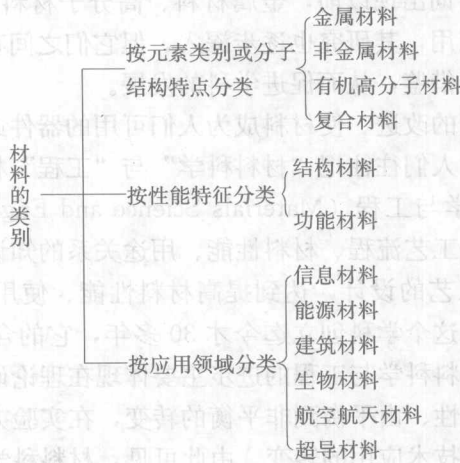


图 2-1 材料的分类

材料按照构成的元素类别或分子结构特点，可分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料和复合材料。金属材料又可分为黑色金属材料和有色金属材料。黑色金属材料是铁基金属合金，包括铸铁、铸钢、合金钢等；其余金属材料都属于有色金属材料，包括轻金属及其合金、重金属及其合金等。无机非金属材料包括金属和有机物以外的几乎所有材料，如陶瓷等。有机高分子材料是由相对分子质量很大，并以碳、氢元素为主的有机化合物组成的材料。工程中常见的有塑料、橡胶和胶黏剂等。复合材料是由两种或两种以上材料，即基体材料和增强材料复合而成的一类多相材料，包括金属基和非金属基两类。金属基主要有铝、镁、钛、铜等及其合金；非金属基主要有合成树脂、碳、石墨、橡胶、陶瓷、水泥等。

材料按照其性能特征可分为结构材料和功能材料两大类。结构材料通常指工程上对硬



度、强度、塑性、耐磨性等力学性能有一定要求的材料，主要包括金属材料、陶瓷材料、高分子材料、复合材料等。功能材料是指具有光、电、磁、热、声等功能和效应的材料，包括半导体材料、磁性材料、光学材料、电介质材料、超导体材料、非晶和微晶材料、形状记忆合金等。

材料按其应用领域还可分为信息材料、能源材料、建筑材料、生物材料、航空航天材料、超导材料等多种类别。

### 三、材料科学的历史

材料科学是研究材料的科学。人类所使用或制作物品的物质虽然被称为材料，但作为科学研究对象的材料，则是指那些制造有用器件或物品的人造物质。“材料科学”(Materials Science)的提出是在20世纪60年代初。1957年前苏联的人造卫星率先上天，美国朝野上下为之震惊，认为自己落后的主要原因之一便是材料落后，于是在一些大学相继成立了十余个材料研究中心，采用先进的科学理论与实验方法对材料进行深入的研究，并取得了重要成果。从此，“材料科学”这个名词便开始流行。

材料科学的形成实际是科学技术发展的结果。固体物理、无机化学、有机化学、物理化学等学科的发展及对物质结构和特性的深入研究，推动了对材料本质的了解。同时，冶金学、金属学、陶瓷学、高分子科学等的发展也使对材料本身的研究大大加强，从而对材料的制备、结构、性能，及它们之间相互关系的研究愈来愈深入，为材料科学的形成打下了坚实的基础。在材料科学这一名词出现以前，金属材料、高分子材料与陶瓷材料都已自成体系，当前复合材料也获得广泛应用，其研究也逐步深入，但它们之间存在着颇多相似之处，对不同类型材料的研究可以相互借鉴，从而促进学科的发展。

由于材料的获得、质量的改进、使材料成为人们可用的器件或构件都离不开生产工艺和制造技术等工程知识，所以人们往往把“材料科学”与“工程”相提并论，并称为“材料科学与工程”。因此，材料科学与工程(Materials Science and Engineering, MSE)就是研究有关材料组成、结构、制备工艺流程、材料性能、用途关系的知识及其运用，其工作目标是通过材料组成、结构及工艺的设计，达到提高材料性能、使用效能、节约资源、减少污染、降低成本的最佳状态。这个学科创立迄今才30多年，它的含义和内容只初具概念，有待不断探索和完善。当代材料科学与工程的进步主要体现在理论研究方面由宏观到微观、由经典到量子、由线性到非线性、由平衡到非平衡的转变，在实验方面由定性到定量、由单一常规技术应用到综合性精细技术应用的转变。由此可见，材料科学与工程已成为一门新兴的边缘学科。

### 四、材料及其在人类社会进程中的地位 and 作用

材料是人类文明的里程碑，是人类赖以生存和得以发展的重要物质基础。正是材料的使用、发现和发明，才使人类在与自然界的斗争中，走出混沌蒙昧的时代，发展到科学技术高度发达的今天。因此，在材料学家看来，人类的文明史就是材料的发展史，并往往以不同特征的材料划分人类不同的历史时期，诸如石器时代、青铜器时代、铁器时代、高分子材料时代等，由此可见材料的发展对人类社会的影响。

在石器时代(大约250万年前)，从树上下到地面、开始直立行走的人类祖先，为了生存、抵御猛兽袭击和猎取食物，逐渐学会使用天然的材料——木棒、石块等。然而，这种纯天然的材料，使用起来并不得得心应手，也不够犀利。于是，先民们开始人工打制石器——石