



普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

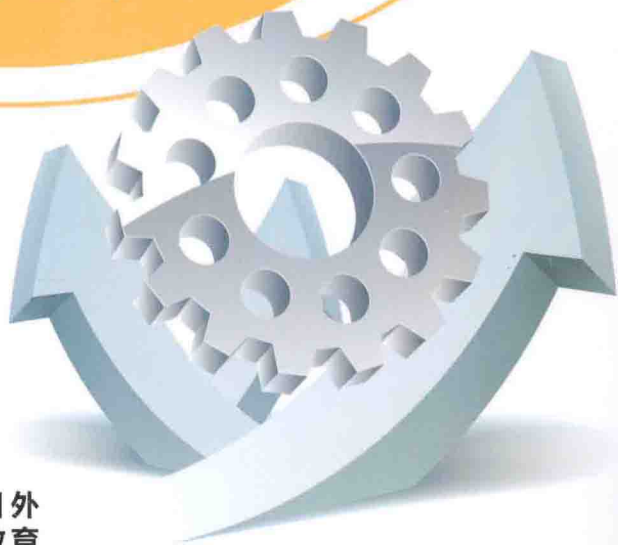
# 机械工程学科 专业概论

○ 许崇海 主 编  
○ 黄传真 主 审

➤ 详述机械  
工程教育知识  
体系、学生能  
力结构与培养

➤ 兼顾国外  
机械工程教育  
和国内外机械  
工程前沿技术

➤ 引导学生正确  
认识专业，培养创  
新思维，开阔视野



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

# 机械工程学科专业概论

许崇海 主 编  
王仁人 沈敏德 王静波 许树勤 副主编  
张 玮 肖光春 高立营 胡洋洋 参 编  
黄传真 主 审



电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry  
北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材之一，主要包括机械工程概述、现代设计技术、先进制造工艺技术、先进制造自动化技术、机械工程技术的新发展、现代机械工程教育六部分内容。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，主要面向大学一年级新生，系统介绍机械工程的相关基础知识、应用及最新前沿进展，引导学生正确认识专业，提高专业兴趣，促进学生主动学习。

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

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容  
版权所有，侵权必究。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程学科专业概论 / 许崇海主编. —北京: 电子工业出版社, 2015. 1

普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

ISBN 978-7-121-25099-6

I. ①机… II. ①许… III. ①机械工程—高等学校—教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 290886 号

策划编辑: 郭穗娟

责任编辑: 陈韦凯 文字编辑: 顾慧芳

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市京南印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 12.25 字数: 314 千字

版 次: 2015 年 1 月第 1 版

印 次: 2015 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

# 《普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材》

## 专家编审委员会

主任委员 黄传真

副主任委员 许崇海 张德勤 魏绍亮 朱林森

委员 (排名不分先后)

李养良	高 荣	刘良文	郭宏亮	刘 军
史岩彬	张玉伟	王 毅	杨玉璋	赵润平
张建国	张 静	张永清	包春江	于文强
李西兵	刘元朋	褚 忠	庄宿涛	惠鸿忠
康宝来	宫建红	宁淑荣	许树勤	马言召
沈洪雷	陈 原	安虎平	赵建琴	高 进
王国星	张铁军	马明亮	张丽丽	楚晓华
魏列江	关跃奇	沈 浩	鲁 杰	胡启国
陈树海	王宗彦	刘占军	刘仕平	姚林娜
李长河	杨建军	刘琨明		

# 前 言

2010年6月启动的“卓越工程师教育培养计划”是教育部贯彻教育规划纲要精神率先启动的一项重大改革计划，主要目标是培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的高质量各类型工程技术人才。2014年，教育部又明确提出了关于地方本科高校转型发展的指导意见，着力培养应用型人才。本书正是在这样的背景下，为适应卓越工程师和应用型人才培养需要而编写的。

本书是一门“导论类”课程，也是一门专业基础课，是机械类专业学生认识机械工程学科、培养工程素质的必修课。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，主要面向大学一年级新生，系统地介绍机械工程的相关基础知识、应用及最新前沿进展，引导学生正确认识机械工程类专业，提高其专业兴趣，促进其主动学习。

本书主要内容包括机械工程概述、现代设计技术、先进制造工艺技术、先进制造自动化技术、机械工程技术的新发展、现代机械工程教育六大部分，不仅包含机械工程发展史等概述性内容，也包含机械工程教育知识体系、学生能力结构与培养，同时还拓展了国外机械工程教育简介。本书的重点是通过现代设计、先进制造工艺、先进制造自动化等技术的介绍，使学生了解现代机械工程技术的发展概况，明确专业定位与培养目标。在此基础上，进一步了解国内外机械工程技术的前沿进展（例如，增材制造与3D打印、纳米制造、生物制造、智能制造、“工业4.0”战略等），培养学生的创新思维，使其视野开阔。为了进一步巩固学生所学知识，培养学生分析问题的能力，本书每章最后都附有思考题供学生练习。

参加本书编写的有齐鲁工业大学的王仁人（第1章）、沈敏德（第2章）、张玮（第4章）、许崇海（5.1节、5.5节）、肖光春（5.4节）、高立营（5.3节），营口理工学院的王静波（第3章），北京工业大学耿丹学院的许树勤（第6章），山东大学的胡洋洋（第5.2节）。全书由许崇海担任主编并负责统稿，山东大学黄传真教授负责主审。

在本书编写过程中，电子工业出版社给予了热情的帮助和指导。同时，本书在编写过程中参考并引用了有关教材和文献的资料和插图，在此一并表示谢意。本书由齐鲁工业大学教材建设基金资助出版。

尽管编者为本书的编写付出了很多努力，但仍会存在一些疏漏和不足之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2014年11月

# 目 录

第 1 章 机械工程概述 .....	1
1.1 机械与机械工程 .....	1
1.1.1 机械概念与来源 .....	1
1.1.2 机械的特征及分类 .....	3
1.2 机械工程发展史 .....	5
1.2.1 古代机械工程史 .....	5
1.2.2 近代机械工程史 .....	5
1.2.3 现代机械工程史 .....	7
1.3 机械工程发展趋势 .....	8
本章小结 .....	12
习题 .....	12
第 2 章 现代设计技术 .....	13
2.1 概述 .....	13
2.1.1 机械产品的开发过程 .....	13
2.1.2 现代设计的内涵 .....	14
2.1.3 现代设计技术 .....	17
2.2 数字化设计 .....	18
2.2.1 数字化设计的基本概念 .....	18
2.2.2 工程数据的类型及其数字化处理方法 .....	18
2.2.3 数表的程序化处理 .....	21
2.2.4 线图的程序化处理 .....	23
2.2.5 产品数字化建模简介 .....	25
2.2.6 数字化设计软件简介 .....	34
2.2.7 数字化设计案例 .....	36
2.3 绿色设计 .....	38
2.3.1 可持续发展与绿色设计 .....	38
2.3.2 绿色设计的特点及意义 .....	39
2.3.3 绿色设计的设计原则 .....	42
2.3.4 绿色设计方法 .....	44
2.3.5 产品绿色设计案例 .....	50
本章小结 .....	52
习题 .....	52
第 3 章 先进制造工艺技术 .....	53
3.1 概述 .....	53

3.2	高速超高速加工技术 .....	57
3.2.1	高速加工技术 .....	58
3.2.2	超高速加工技术 .....	64
3.3	精密超精密加工技术 .....	67
3.3.1	简介 .....	67
3.3.2	精密超精密加工技术的现状及发展趋势 .....	67
3.3.3	几种常用的精密超精密加工方法及特点 .....	68
3.3.4	机床超精密加工精度的影响因素 .....	75
3.4	虚拟制造 .....	76
3.4.1	虚拟制造的发展历史 .....	76
3.4.2	虚拟制造的定义与特点 .....	77
3.4.3	计算机仿真、虚拟现实技术与虚拟制造 .....	78
3.4.4	虚拟制造模式与环境 .....	81
3.4.5	虚拟制造技术的作用及应用领域 .....	82
	本章小结 .....	84
	习题 .....	84
<b>第4章</b>	<b>先进制造自动化技术 .....</b>	<b>86</b>
4.1	先进制造自动化技术概述 .....	86
4.1.1	制造自动化技术的内涵 .....	86
4.1.2	制造自动化技术的发展历程 .....	87
4.1.3	先进制造自动化技术的发展趋势 .....	88
4.2	数控加工技术 .....	89
4.2.1	数控加工技术的发展历程 .....	89
4.2.2	数控机床的组成与特点 .....	89
4.2.3	数控机床的分类 .....	92
4.2.4	数控机床的坐标系 .....	96
4.2.5	数控系统的主要功能 .....	97
4.2.6	数控加工编程 .....	99
4.3	工业机器人 .....	100
4.3.1	简介 .....	100
4.3.2	工业机器人的结构 .....	101
4.3.3	工业机器人编程 .....	103
4.3.4	工业机器人的传感系统 .....	105
	本章小结 .....	106
	习题 .....	106
<b>第5章</b>	<b>机械工程技术的新技术 .....</b>	<b>107</b>
5.1	增材制造与3D打印 .....	107
5.1.1	概述 .....	107
5.1.2	增材制造技术 .....	107
5.1.3	广义增材制造技术 .....	113
5.1.4	3D打印 .....	116
5.1.5	发展趋势 .....	119

5.2 纳米制造 .....	121
5.2.1 概述 .....	121
5.2.2 纳米制造的加工原理 .....	122
5.2.3 纳米制造的加工技术 .....	127
5.3 生物制造 .....	134
5.3.1 生物制造的概念 .....	135
5.3.2 生物制造的主要研究领域 .....	136
5.3.3 生物制造的未来主要研究方向 .....	146
5.4 智能制造 .....	147
5.4.1 智能制造的概念 .....	148
5.4.2 智能制造系统 .....	149
5.4.3 智能制造的关键技术 .....	150
5.4.4 智能制造的发展现状 .....	152
5.4.5 我国智能制造的发展方向 .....	154
5.5 “工业 4.0” 战略 .....	156
5.5.1 概述 .....	156
5.5.2 “工业 4.0” 战略的主要内容 .....	157
5.5.3 “工业 4.0” 战略的目的与意图 .....	161
5.5.4 “工业 4.0” 战略对中国制造业未来发展的影响 .....	162
本章小结 .....	164
习题 .....	164
<b>第 6 章 现代机械工程教育 .....</b>	<b>165</b>
6.1 机械工程教育体系 .....	165
6.1.1 科学、技术和工程 .....	165
6.1.2 机械工程教育发展历程 .....	166
6.1.3 机械工程教育体系 .....	167
6.2 学生能力结构与培养 .....	168
6.2.1 工科学生的工程能力结构 .....	168
6.2.2 当前工程教育中遇到的问题 .....	170
6.2.3 机械工程专业学生的能力结构 .....	171
6.2.4 机械工程专业学生能力的培养 .....	173
6.3 国外机械工程教育简介 .....	175
6.3.1 美国高等工程教育 .....	175
6.3.2 德国高等工程教育 .....	179
6.3.3 日本高等工程教育 .....	181
6.3.4 CDIO 工程教育模式 .....	184
本章小结 .....	186
习题 .....	186
<b>参考文献 .....</b>	<b>187</b>



# 第1章 机械工程概述

机械工程是众多工程学科中应用范围最广的一个学科。从宏观角度来看，我们生活中所接触的每一件物件，都可以说与机械工程有关。

## 1.1 机械与机械工程

### 1.1.1 机械概念与来源

机械始于工具，工具即是简单的机械。人类最初制造的工具是石器，如石刀、石斧、石锤等。随着时代发展和社会进步，人类依靠自己的智慧使工具在种类、材料、工艺、性能等方面不断丰富、完善并日趋复杂，现代各种精密复杂的机械都是从古代简单的工具逐步发展而来的。

20世纪后，机械（machine）是指机器与机构的总称，machine 源自于希腊语词 *mēchanē* 及拉丁语词 *machina*，原指“巧妙的设计”。它的定义最早来自机械工程学，是人为的实物构件的组合，主要是利用能量达到某一特定的目的，机械中一般会有可以移动的物体（可动件）。广义的机械是利用能量达到某一特定目的的装置或设备，不一定符合上述的定义，例如肌肉中的分子马达肌球蛋白并不满足人为实物构件的定义；电机机械包括马达、发电机及变压器等（变压器中就没有可动件）。

西方最早的“机械”定义可以追溯到古罗马时期。古罗马建筑师维特鲁威（Vitruvii）在其著作《建筑十书》中给定了一般性的机械概念：“机械是把木材结合起来的装置，主要对于搬运重物发挥效力”。

最早在1世纪古希腊学者希罗就讨论了机械的基本要素，他认为机械的要素有五类：轮与轴、杠杆、楔及螺旋，并且描述其润滑及使用方式。他的论述反映了西方古典机械的特征，至今仍有意义。不过古希腊时代对机械的了解仅限于简单机械的静力学及力平衡，未曾包括机械动力学及功的概念。

1724年德国莱比锡机械师廖波尔特（Leopold）给出的定义为“机械或工具是一种人造的设备，用它来产生有利的运动；同时在不能用其他方法节省时间和力量的地方，它能做到节省，使其一个构件运动，其余构件将发生一定的运动。”

1841年英国机械学家威利斯（R. Willis）在其《机构学原理》所给的定义是“任何机械都是由用各种不同方式连接起来的一组构件组成，使其一个构件运动，其余构件将发生一定的运动，这些构件与最初运动之构件的相对运动关系取决于它们之间的连接性质。”

1875年德国机械学家勒洛（F. Reuleaux）在其《理论运动学》中的定义为“机械是多个具有抵抗力之物体的组合体，其配置方式使得能够借助它们强迫自然界的机械力做功，同时伴随着一定的确定运动。”

在古代中国，“机械”一词由“机”与“械”两个汉字组成。“机”原指局部的关键机件；“械”原指某一整体器械或器具。这两字连在一起，组成“机械”一词，便构成古代一般性的机械概念。关于机械的最早定义，可见于《庄子·外篇·天地》记载。文中孔子的学生子贡在向老人介绍桔槔及其结构时（见图 1-1），子贡曰：“有械于此，一日浸百畦，用力甚寡而见功多”。这段子贡与老人的对话给出了机械的概念界定：能使人“用力甚寡而见功多”。

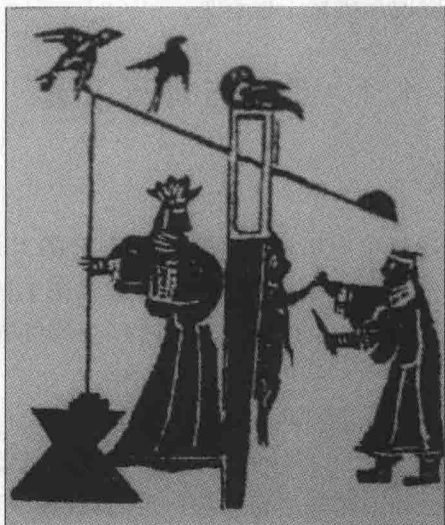


图 1-1 古代的桔槔（俗称“吊杆”或“称杆”，是一种原始的汲水工具）

《韩非子》卷十五《难》二中有类似的论述：“审于地形、舟车、机械之利，用力少，致功大，则人多。”故此中国最迟在战国时期已形成了与现代机械工程学之“机械”涵义较相近的概念。

我国古代有许多机械发明，为社会发展进步做出了卓越的贡献。最典型的古代机械有桔槔、翻车、筒车等提水机械；指南车、计里鼓车（见图 1-2）等交通机械；浑仪（见图 1-3）、简仪、地动仪、铜壶滴漏等天文、观测和计时机械；缫车、纺车等纺织机械；弓、弩、发石机等军事机械。

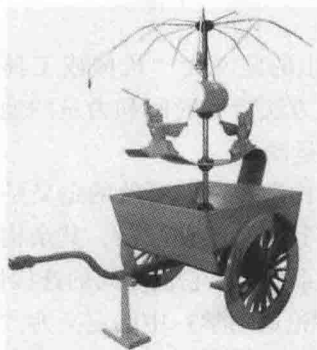


图 1-2 汉代的计里鼓车

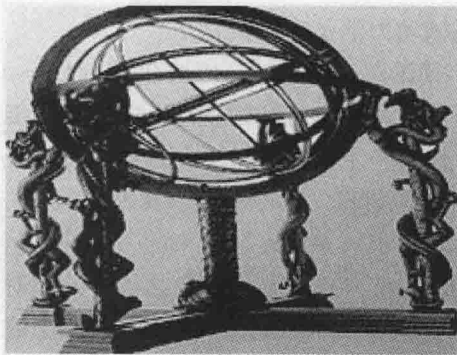


图 1-3 汉代的浑仪

鉴于机械对生产与社会发展的重要作用，历代思想家都对它有过不同的思考。

《庄子》中说：“有机械者必有机事，有机事者必有机心。机心存于胸中，则纯白不备”。这句可能是“机械”一词最早出现于古籍中的话，颇令“机械”有些尴尬。其哲学含义虽然可以理解，但是“机械”却逐渐背上了一个“机巧、巧诈”的恶名。以至于后来封建统治者将其发挥，视大量机械发明为奇技淫巧，严重阻碍了机械科学的发展，否则我们就不会有看不到诸如“木牛流马”之类伟大机械的遗憾了。

现今，为了满足各方面的需求，人类期望能够把在追求手足延长的同时，得到一种“有头脑”的手足的延长，或者在潜意识中把头脑的延长也列为机器的任务。传统上关于机械仅仅是由机械结构构成的概念已经陈旧。

(1) 由于各种器件的微小化和相互嵌入，相关学科研究领域的相互影响和渗透，严格划分几乎已经不可能，如微型光学电子机械系统（MOEMS）。

(2) 在 market 需求的驱动下，机械的品种、结构、材料、用途以及相关理论及实现方法正在日新月异地变化和发展。例如，家庭生活用各种机器：电视机、机器宠物、数码相机、CT扫描机、汽车；各种办公机器：打印机、扫描机、碎纸机、复印机等；以及各种现代化战争机器等。

### 1.1.2 机械的特征及分类

机械作为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，具有相当重要的基础地位。

生活中接触的各种物理装置，如电灯、电话、电视机、冰箱、电梯等都包含有机器的成分，或者包含在广义的机械之中，各种机床、自动化装备、飞机、轮船、航天装置等都少不了机械。

#### 1. 机械的特征

传统机械的三大特征：

- (1) 机械是一种人为的实物构件的组合；
- (2) 机械各部分之间具有确定的相对运动；
- (3) 能代替人类的劳动，以完成有用的机械功或转换机械能。

然而，随着现代社会的高速发展，现代机械又增加了三个新的特征。

(1) 机械应当是一种“有头脑”的手足的延长。如磁浮系统、电控汽油喷射汽车。图 1-4 所示为磁悬浮列车，图 1-5 所示为高灵敏度的自动机械手，可代替人工进行危险的操作。

(2) 机械不但要处理物质和能量，而且要处理信息。大量的一代又一代新的机械产品都是为了处理信息而不是为了处理物质和能量而设计开发的。

(3) 机械将具有更强的智能。所谓智能是指学习、记忆、思维、认识客观事物和解决实际问题的能力。其核心是思维能力，即处理信息和应用信息的能力。

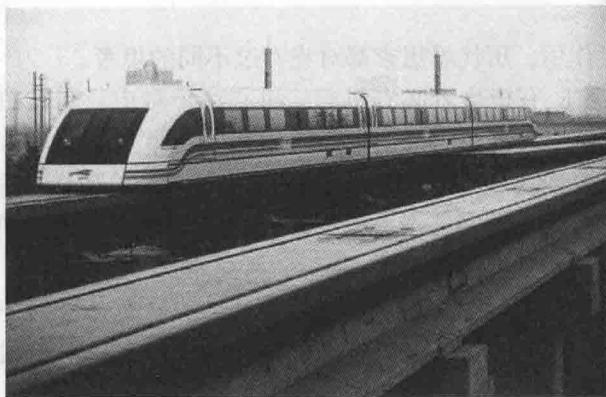


图 1-4 磁悬浮列车

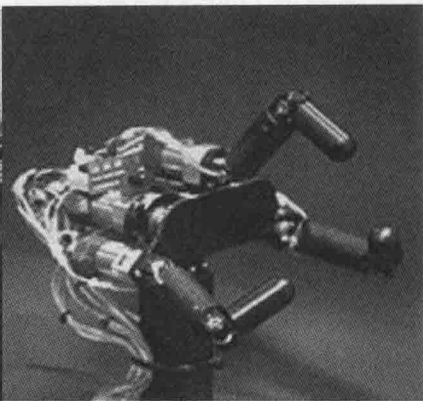


图 1-5 高灵敏度的自动机械手

## 2. 机械的分类

机械拥有一个非常庞大的家族，内容广泛，种类繁多，其分类方式也多种多样。

机械科学可分为机械学和机械工程。其中，机械学是机械科学中的基础理论部分，而机械工程则是机械科学中的应用技术部分。这里我们仅对机械工程作简要论述。

所谓机械工程就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、使用和修理各种机械中的理论和实际问题的一门应用学科。

各个工程领域都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，会导致新工程技术和新产业的出现和发展。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和进步，以及飞机和航天器的研制成功导致了航空、航天事业的兴起等。

机械工程的服务领域具有多面性，凡是使用机械、工具以及能源、材料生产的部门，都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：研制和提供能量转换机械，研制和提供用以生产各种产品的机械，研制和提供从事各种服务的机械，研制和提供家庭和个人生活中应用的机械，研制和提供各种机械武器。但是，不论服务于哪一领域，它的主要工作内容都包括以下几方面。

(1) 建立和发展机械工程的理论基础。例如，研究力和运动的工程力学和流体力学；研究金属和非金属材料的性能及其应用的工程材料学；研究热能的产生、传导和转换的热力学；研究各类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设计学；研究金属和非金属的成形和切削加工的金属工艺学和非金属工艺学等。

(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求。

(3) 机械产品的生产，包括生产设施的规划和实现，生产计划的制订和调度，编制和贯彻制造工艺，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、试车和包装发运，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。现代机械一般是由许多具有独特的成形、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量,也有中批量、大批量,直至大量生产。销售对象遍及全部产业和个人、家庭。而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,企业的生产管理、规划和经营等的研究也多是始于机械工业。

(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、修理和改造各产业所使用的机械和成套机械装备,以保证机械产品在长期使用中的可靠性和经济性。

(6) 研究机械产品在制造过程中,尤其是在使用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,而且其重要性与日俱增。

## 1.2 机械工程发展史

在许多研究机械工程史的著作中,都将机械工程发展史分为三个阶段:古代机械工程史、近代机械工程史、现代机械工程史。

### 1.2.1 古代机械工程史

人类成为“现代人”的标志是制造工具。石器时代的各种石斧、石锤和木质、皮质的简单粗糙的工具是后来出现的机械的先驱。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。

几千年前,人类已经创造了用于谷物脱壳和粉碎的臼和磨,用来提水的桔棒和辘轳,装有轮子的车,航行于江河的船及其桨、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,再进而到铁器时代,用以吹旺炉火的鼓风机的发展起了重要作用。有足够强大的鼓风机,才能使冶金炉获得足够高的炉温,才能从矿石中提炼金属。在中国,公元前1000—前900年就已有了冶铸用的鼓风机,并渐渐从人力鼓风发展到畜力和水力鼓风。

早在公元前,中国已在指南车上应用了复杂的齿轮系统,在被中香炉中应用了能保持水平位置的十字转架等机件。古希腊已有圆柱齿轮、圆锥齿轮和蜗杆传动的记载。但是,关于齿轮传动瞬时速比与齿形的关系和齿形曲线的选择,直到17世纪后才有理论阐述。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,而曲柄连杆机构的形式、运动和动力的确切分析和综合,则是近代机构学的成就。

### 1.2.2 近代机械工程史

十五六世纪以前,机械工程发展缓慢。但在近千年的实践中,人类在机械发展方面还

是积累了相当多的经验和知识，这成为后来机械工程发展的重要动力。

1750—1900年，机械工程在世界范围内出现了飞速的发展，并获得了广泛的应用。17世纪以后，资本主义在英、法和西欧诸国出现，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产业所需的工作机械和研制新的动力机械——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。机械工程是促成18—19世纪的工业革命及资本主义机械大生产的主要技术因素。纺织机械、动力机械（蒸汽机、内燃机、汽轮机和水利机）、生产机械和机械工程理论都获得了飞跃发展，如图1-6所示为工业革命时期的蒸汽机。

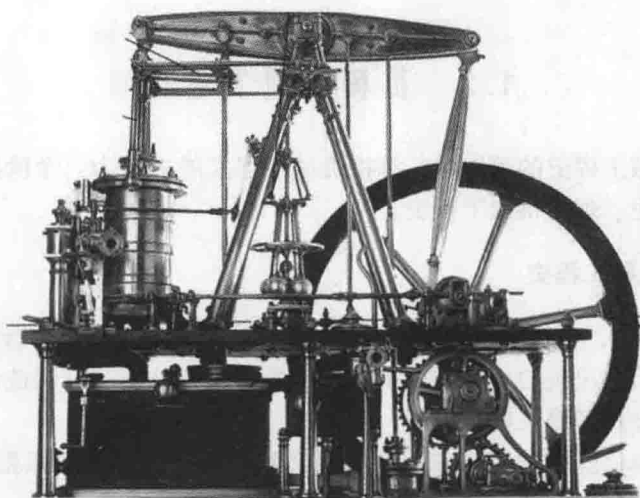


图 1-6 工业革命时期的蒸汽机

机械工程通过不断扩大的实践，从分散性的、主要依赖匠师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、系统的和独立的工程技术。1847年，英国伯明翰成立了机械工程师学会，机械工程作为工程技术的一个分支得到了正式的承认。后来，世界其他国家也陆续成立了机械工程的行业组织。

研究机械中机构的结构和运动等的机构学作为一个专门学科，19世纪初第一次列入高等工程学院（巴黎工艺学院）的课程。通过理论研究，人们能精确地分析各种机构，包括复杂空间连杆机构的运动，并进而按需要综合制造出新的机构。从19世纪后半期起已开始在设计计算时考虑材料的疲劳。随后断裂力学、实验应力分析、有限元法、数理统计、电子计算机等相继被用在设计计算中。

### 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求量的逐年增加，人们感到依靠人力和畜力不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。但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。

在这样的生产需求下,18世纪初出现了纽科门大气式蒸汽机,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年英国人瓦特发明了有分开的凝汽器的蒸汽机,降低了燃料消耗率。

1781年瓦特又研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,使矿业和工业生产、铁路和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,应用很不方便。19世纪末,电力供应系统和电动机开始发展和推广。1873年,电动机成为机床的动力,开始了电力取代蒸汽动力的时代。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。

发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,也出现了适应各种水力资源的大、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、并可随时启动的原动机。它先被用以驱动没有电力供应的陆上工作机械,以后又用于汽车、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。蒸汽机在汽轮机和内燃机的排挤下,已不再是重要的动力机械。内燃机和以后发明的燃气涡轮发动机、喷气发动机,还是飞机、航天器等成功发展的基础技术之一。

## 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。金属加工主要靠工匠的精工细作,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,以及切削加工技术和车床、刀具、量具等,得到迅速发展,保证了各产业发展生产所需的机械装备的供应。

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(零件互换性生产、专业分工和协作、流水加工线和流水装配线等)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,互换性最早体现在莫兹利·H于1797年利用其创造的螺纹车床所生产的螺栓和螺帽。同时期,美国工程师E.惠特尼用互换性生产方法生产了火枪,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“美国生产方法”。

### 1.2.3 现代机械工程史

第二次世界大战前40年,机械工程继承了19世纪延续下来的传统技术,并不断改进、提高和扩大其应用范围。例如农业和采矿业的机械化程度有了显著提高;动力机械功率增大,效率进一步提高,内燃机的应用普及到几乎所有的移动机械。随着工作母机设计水平

的提高及新型工具材料和机械式自动化技术的发展,机械制造工艺水平有了极大的提高。

1939—1945年历时6年的第二次世界大战是一场非常典型的机械化战争:空中火力支援、依赖坦克集群高速大纵深突击、登陆与抗登陆作战、潜艇战与反潜战、航母编队作战、战略轰炸与防空作战、空降与反空降作战等,可以说“机械”发挥了主导作用。

第二次世界大战以后的30年间,除原有技术的改进和扩大应用外,机械工程与其他科技领域的结合和相互渗透明显加深,形成了机械工程的许多新分支。机械工程的领域空前扩大,发展速度加快。生产和科研工作的系统性、成套性、综合性大大增强。

从20世纪60年代开始,计算机逐渐在机械工业的科研、设计、生产及管理中普遍应用。过去机械工程中许多不便计算和分析的工作,已能用计算机加以科学地计算,为机械工程向更复杂、更精密的方向发展创造了条件。

进入20世纪70年代以后,机械工程与电工、电子、冶金、化学、物理等技术相结合,创造了许多新工艺、新材料和新产品,使机械产品的精密化、高效化和制造过程的自动化等达到了前所未有的水平。

到20世纪中后期,机械加工的主要特点是:不断提高机床的加工速度和精度,减少对手工技艺的依赖;发展少无切削加工工艺;提高成形加工、切削加工和装配的机械化和自动化程度。自动化从机械控制的自动化发展到电气控制的自动化和计算机程序控制的完全自动化,直至无人车间和无人工厂;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提高到近于大量生产的水平;研究和改进难加工的新型金属和非金属材料的成形和切削加工技术。

### 1.3 机械工程发展趋势

机械工程学科以自然科学为基础,研究机械系统与制造过程的结构组成、能量传递与转换、构件与产品的几何与物理演变、系统与过程的调控、功能形成与运行可靠性等,并以此为基础构造机械与制造工程中共性和核心技术的基本原理和方法。机械工程是以增加生产、提高劳动生产率、提高生产的经济性为目的来研制和发展新机械产品的。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。未来,为了应对资源环境的压力和全球竞争合作的要求,机械工程技术和制造产业都将会发生重大的变化。新产品的研制将以降低资源消耗,发展清洁再生资源,治理和减轻以至消除环境污染作为其目标任务。

近年来美国、日本、德国等都对机械工程技术的未来进行了预测,并制定了产业振兴战略和技术路线图。中国机械工程学会对未来20年中国机械工程技术的发展趋势进行了研究、预测与展望,制定了面向2030年中国机械工程技术的路线图。这个路线图对我国装备制造业包括产品设计、成形制造、智能制造、精密与微纳制造、仿生制造、再制造以及液压气动密封、轴承、齿轮、模具、刀具等11个领域的内容进行了研究,对未来20年的发展趋势进行预测。

以满足个性需求为宗旨的一场以大制造、全过程、多学科为特征的新的制造业革命展开。21世纪知识经济新时代下制造业的趋势可概括为数字化、智能化、超常化、融合化、



生态化、生命化和服务化。

## 1. 数字化

数字化就是指以数字计算机为工具，科学地处理机械制造信息的一种行为状态。当今时代是信息化时代，而信息的数字化也越来越为研究人员所重视。

若没有数字化技术，就没有当今的计算机，因为数字计算机的一切运算和功能都是用数字来完成的。数字、文字、图像、语音，包括虚拟现实和可视世界的各种信息，实际上通过采样定理都可以用0和1来表示，这样数字化以后的0和1就是各种信息最基本、最简单的表示。软件中的系统软件、工具软件、应用软件等，信号处理技术中的数字滤波、编码、加密、解压缩等都是基于数字化实现的。数字化技术还正在引发一场范围广泛的产品革命，各种家用电器设备、信息处理设备都将向数字化技术方向变化。有人把信息社会的经济说成是数字经济，这足以证明数字化对社会的影响是多么大。

我国在数字化制造技术和数字化制造装备方面具有一定的研究基础并取得了很大进展。近年来，我国政府启动了一批重大项目和重点项目，针对先进制造技术、重大装备等前沿领域开展专项研究，这些计划的实施为数字制造的研究奠定了较好的基础。

## 2. 智能化

在人类的整个进化过程中，以及每个人的成长过程中，脑和手是和平进化的。与此同时，人工智能和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机械工程制造出来。过去各种机械都离不开人的操作与控制，所以其反应速度和操作精度受到人脑和神经系统的控制，而人工智能将会消除这个限制。计算机科学与人工智能之间相互促进，平行前进，将使机械工程在更高层次上有更为广阔的发展前景。人类现在已能上游天空和宇宙，下潜大洋深层，远窥百亿光年，近察细胞和分子。新兴的电子计算机硬、软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。这一新发现已经显示出巨大的影响，而在未来它还将会不断地创造出人们无法想象的奇迹。

20世纪50年代诞生的数控技术，以及随后出现的机器人技术和计算机辅助设计技术，解决了制造产品多样化对柔性制造的要求；传感技术的发展和普及，为大量获取制造数据和信息提供了便捷的技术手段；人工智能技术的发展，为生产数据与信息的有效分析提供了有效的方法。如果说绿色制造是资源环境能源的要求，那么智能制造应该说是新的技术起到了主要的推动作用。智能制造技术是研究制造活动中各种数据与信息的感知与分析，经验与知识的表示与学习，以及基于数据、信息、知识的智能决策以及执行的一类综合交叉技术。智能制造技术涵盖了产品全生命周期，包括设计、生产、管理和服务等环节。复杂、恶劣、危险、不确定的生产环境，熟练工人的短缺和劳动力成本的上升，呼唤着智能制造技术与智能制造产业的发展和运用。21世纪将是智能制造技术获得大发展和广泛应用的时代，智能制造体系包括制造智能、智能制造装备、智能制造系统和智能制造服务。

在21世纪，基于知识的产品设计、制造和管理将成为知识经济的重要组成部分，是制造科学和技术最重要和最基本的特征之一。智能化正是在这一背景下提出并得到了学术界