

21世纪独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

机械工程导论

谢黎明 沈浩 靳岚 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

21世纪独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

机械工程导论

谢黎明 沈浩 靳岚 主编

常州大学图书馆
藏书章



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械工程导论/谢黎明,沈浩,靳岚主编. —武汉:武汉大学出版社,2011.8
21世纪独立学院应用型创新人才培养系列规划教材
ISBN 978-7-307-09114-6

I. 机… II. ①谢… ②沈… ③靳… III. 机械工程 IV. TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第168365号

责任编辑:黄汉平 责任校对:黄添生 版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:崇阳县天人印刷有限责任公司

开本:787×1092 1/16 印张:15.5 字数:389千字 插页:1

版次:2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

ISBN 978-7-307-09114-6/TH·25 定价:29.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

内容提要

机械是人类生产和生活的基本要素之一，是人类物质文明最重要的组成部分。

本书较全面地介绍了机械工程学及其相关知识，主要包括机械工程的过去与现在、机械工程的基础理论，具体叙述了机械制造业的最新设计手段、加工方法、服务领域，最后展望了机械制造的未来及其发展方向。

本书共分 13 章，将机械工程与社会发展、人们的日常生活以及现代高科技紧密结合起来。本书涵盖面广、面向新世纪，讲解精练、通俗易懂，具有较强的可读性与实用性。本书既适合各相关领域工作者（大专院校教师、科研人员、管理人员）阅读，也可以供机械爱好者参考，又可作为高等院校文科及理工科各专业所开设的相关任选课的教材，以扩大学生知识面。

前 言

机械工程是人类科学技术发展史上历史最为悠久的学科之一，也是对人类社会进步具有巨大贡献的工程领域之一。纵观近 300 多年来世界经济社会发展史，可以说是一部灿烂辉煌的工业文明史，是一部技术革命和技术创新的历史，也是一部机械工程持续扮演主要角色的发展史。18 世纪的产业革命，实现了社会分工的变革并改变了人们的生活方式，但机械学科和以此为基础的制造业始终是一个国家的支柱产业。在世界进入知识经济时代的今天，由于微电子技术、计算机技术、网络技术、信息技术的迅猛发展，制造业已发生了而且还在继续发生更为深刻的变化：制造技术与信息技术的紧密结合，特别是制造技术与计算机技术的紧密结合，使现代制造技术所拥有的技术较之以往更为高、更为新、更为广，更为复杂而先进。

21 世纪制造业的发展和变化将是令人炫目、令人无法想象的，设计手段、制造理论、工艺方法不断推陈出新，微电子技术、控制技术、信息与计算机技术、传感技术、生物技术与机械学科的交叉、渗透、融合，逐步形成了制造科学与技术的许多新理论、新观念、新方法、新成果，从一个侧面给人们描绘了一幅未来信息社会的壮丽图景。

本书试图向读者展示机械工程的发展历史，当今制造业的设计手段、加工方法、服务领域，机械制造业未来的发展方向。希望读者在详细阅读和学习本书后，能够对制造这一概念有一种豁然开朗和回味无穷之感。

全书共分为 13 章，由谢黎明完成部分章节编写并主审。参加本书编写的人员有谢黎明（总体策划并撰写第 1、2、13 章）、靳岚（第 3、4 章）、姚引婧（第 5 章）、高双（第 6 章）、邢冠梅（第 7 章）、王得蛟（第 8、9 章）、陈艳丽（第 10 章）、沈浩（第 11、12 章）。全书由沈浩负责统稿。

本书既适合各相关领域工作者（大专院校教师、科研人员、管理人员）阅读，也可以供机械爱好者参考，又可作为高等院校文科及理工科各专业所开设的相关任选课的教材，以扩大学生知识面。

机械工程学科涉及的知识面非常广泛，由于作者水平限制，因此书中的错误、不妥和欠缺之处在所难免，恳请读者批评指正，作者不胜感激！

作 者

2011 年 6 月

目 录

第一章 机械工程史话	1
第一节 机械与机械工程.....	1
第二节 指南车与中国古代机械.....	7
第三节 蒸汽机与近代工业革命.....	10
第四节 “勇气”号火星车与现代机械工程.....	12
第二章 改变世界的制造技术	16
第一节 机器改变了世界.....	16
第二节 信息时代的制造业.....	21
第三节 精益求精的制造.....	26
第三章 机械工程基础	30
第一节 机械科学基础.....	30
第二节 机械运动的类型.....	32
第三节 典型机械零件的结构与应用.....	34
第四节 人机工程学.....	38
第四章 设计手段与计算机的完美结合	41
第一节 缩短新产品的开发周期——并行工程.....	41
第二节 降低新产品的开发成本——价值工程.....	45
第三节 保护生态环境——绿色设计与制造.....	47
第四节 提高产品的可信度——可靠性设计.....	51
第五节 产品与环境的整体和谐——工业造型设计.....	53
第五章 机电一体化技术	57
第一节 机电一体化系统.....	57
第二节 伺服驱动系统.....	61
第三节 可编程控制器.....	63
第四节 传感与检测技术.....	67
第六章 机械加工技术	71
第一节 切削加工.....	71
第二节 通用机床.....	77
第三节 专用机床.....	82

第四节	数控机床	84
第五节	加工中心	87
第六节	柔性制造系统	90
第七章	先进制造技术	93
第一节	高速切削技术	93
第二节	特种加工技术	96
第三节	水喷射加工	98
第四节	超声波加工	101
第五节	激光加工	105
第六节	光刻蚀加工	112
第八章	人类社会发展的动力	114
第一节	上天赐予的能量	114
第二节	“人造”的能量	122
第九章	运载机械与人类文明	139
第一节	汽车的身世	139
第二节	高铁的前世与今生	144
第三节	万户梦想	155
第四节	轮船的家族	166
第十章	生产机械与现代社会	171
第一节	挖掘机械	171
第二节	起重机械	175
第三节	农用机械	179
第四节	印刷机械	184
第五节	石油矿山机械	189
第十一章	微型机械	195
第一节	微型机械的兴起和应用	195
第二节	小机械，大机会	198
第三节	微机电系统	199
第四节	微型机械中的 IC 工艺	202
第五节	微型机械的设计	207
第十二章	“钢领工人”——工业机器人	210
第一节	工业机器人概述	210
第二节	工业机器人的构造	213
第三节	工业机器人的控制	217

第四节	工业机器人的应用	220
第五节	工业机器人的未来	223
第十三章	机械制造的未来	226
第一节	纳米制造	226
第二节	虚拟制造	229
第三节	制造的明天	232
参考文献		238



第一章 机械工程史话



第一节 机械与机械工程

一、机械概述

机械始于工具，工具即是简单的机械。机械的发明是人类区别其他动物的一项重要标志，人之所以成为地球的主宰，能够利用工具是重要的一条。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得工具在种类、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。

机械是人类生产和生活的基本要素之一，是人类物质文明最重要的组成部分。

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。机械技术在整个技术体系中占有基础和核心地位，机械技术的历史与人类社会的发展史一样源远流长。

什么是机械呢？许多中外机械专家都给机械下过不同的定义，由于机械所涵盖的内容非常广泛，要下一个简明的定义很难。一台简单的机器可以称作机械；一套复杂的成套设备也是机械；一个机件可以称作机械，多个构件组成的实现各种运动形式的机构也是机械。简单地说，机械就是实现某些工作任务的机具或装备，也是机器和机构的总称。

机械是现代社会进行生产和服务的五大要素（即人、资金、能量、材料和机械）之一。任何现代产业和工程领域都需要应用机械，就是人们的日常生活，也越来越多地应用各种机械了。从某种意义上讲，所有的机械、工具等都是人的某个或某些器官能力的延伸。今天，工具、机械已经渗透到我们生活中的每一个方面，清早醒来，打开窗户，你已经无意中启动了连杆机构；抬起手腕，看看时间，你也许不会意识到其中的齿轮正在传动；驾上爱车，匆匆赶路，你又能否想起发动机和摩擦力的作用呢？实际上，在我们的生活和工作中，机械无处不在。穿衣离不了纺织机械，吃饭离不了食品机械，住房离不了建筑机械，出行离不了交通机械，上天入地、出洋下海更是样样离不了机械。

正是18世纪中叶英国工业革命开辟了机械时代，用机器代替人工进行生产，从而造成生产方式的变革，才使我们的世界有了飞速的发展。

中国是世界上机械发展最早的国家之一。中国古代在机械方面有许多发明创造，在动力的利用和机械结构的设计上都有自己的特色。许多专用机械的设计和应用，如指南车、地动仪等，均有独到之处，为社会的发展进步做出了卓越的贡献，有些机械甚至至今还在发挥着作用。最典型的古代机械有辘轳、水车等提水机械；水磨、水转大纺车等水力机械；指南车、计里鼓车及各类车船交通机械；浑仪、简仪、地动仪、铜壶滴漏等天文、观测和计时机械；耕、犁、耨车、扇车等农业机械；缫车、纺车、织机等纺织机械；弓、弩、发石机等军



事机械；还有铸造、锻造、表面处理、切削加工等各种加工技术和加工机械等。这些机械与技术无一不透露出古代先民的智慧和创造力。

现代机械涵盖的范围更加广泛。按照能量转换角度划分，有动力机械，它把各种能源转换为便于利用的机械能，如风力机、汽轮机、内燃机、汽油机、电动机、液压马达、气动马达等；有能量变换机械，它把机械能转换为其他能源形式，如发电机、液压泵、压缩机等；还有工作机械，它利用人力、畜力和动力机械提供的机械能来改变工作对象的状态和位置。按功能可分为粉碎机械、物料搬运机械等。如果按照产业领域和服务对象划分，有工作母机（各类机床）、矿山机械、冶金机械、石油机械、农业机械、林业机械、交通运输机械、建筑机械、纺织机械、造纸机械、塑料机械、橡胶机械、造纸机械、印刷机械、仪器仪表等。也许你还能发现更多的种类。

二、机械工程

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、运用和修理各种机械中的理论和实际问题的一门应用学科。

各个工程领域的发展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，又会导致新的工程技术和新的产业的出现和发展。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；高压设备的发展导致了許多新型合成化学工程的成功等。机械工程就是在各方面不断提高的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。

机械的服务领域广阔而多面，凡是使用机械、工具，以至能源和材料生产的部门，都需要机械的服务。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、研制和提供各种先进的武器装备。

另外，机械在其研究、开发、设计、制造、运用等过程中都要经过几个工作性质不同的阶段。按这些不同阶段，机械工程又可划分为互相衔接、互相配合的几个分支系统，如机械科学、机械设计、机械制造、机械应用和机械维修等。

这些按不同方面分成的多种分支学科系统互相交叉，互相重叠，从而使机械工程可能分化成上百个分支学科。例如，按功能分为动力机械；按工作原理分为热力机械、流体机械、往复机械、蒸汽动力机械、核动力装置、内燃机、燃气轮机；按行业分的中心电站设备、工业动力装置、铁路机车、船舶轮机工程、汽车工程等都有复杂的交叉和重叠关系。船用汽轮机是动力机械，也是热力机械、流体机械和透平机械，它属于船舶动力装置、蒸汽动力装置。

不论服务于哪一领域，机械工程的内容基本相同：建立和发展机械工程的工程理论基础。例如，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；研究各类有独立功能的机械构件的工作原理、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等。



三、机械工程的发展历程

人类从石器时代进入青铜时代，再进而到铁器时代。在此漫长的历史进程中，用以吹旺炉火的鼓风器的发明和发展起了重要作用。有足够强大的鼓风器，才能使冶金炉获得足够高的炉温，从矿石中冶炼金属。在中国，公元前 1000 ~ 前 900 年就已有了冶铸用的鼓风器，并逐渐从人力鼓风发展到畜力和水力鼓风。

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基础。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。在 18 世纪中后期，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，逐步成为一个重要产业。

机械工程通过不断扩大的实践，从分散性的、主要依赖工匠们个人才智和手工艺的一种技艺，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。机械工程是促成 18 ~ 19 世纪的工业革命以及近代机械大生产的主要技术因素。

工业革命以前，机械大多是木质结构的，由木工用手工制成。金属（主要是铜、铁）仅用来制造仪器、锁、钟表、泵和木结构机械上的小型零件。金属加工主要靠机匠的精工细作达到所需要的精度。

随着蒸汽机动力装置的推广，矿山、冶金、轮船、机车等大型机械的发展，对机械产品的需求猛增，需要成形加工和切削加工的金属零件种类越来越多，数量越来越大，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。

19 世纪，机械加工的各个领域，包括锻造、锻压、钣金工、焊接、热处理等技术及装备，金属切削加工技术和机床、刀具、量具等，都得到迅速发展，保证了各产业发展生产所需的机械装备的供应。

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的形成，如零件互换性生产、专业分工和协作、流水加工线和流水装配线等。

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，互换性最早体现在英国人莫兹利于 1797 年利用其创制的螺纹车床所生产的螺栓和螺母。同时期，美国工程师惠特尼用互换性生产方法生产火枪，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”。

20 世纪初期，美国人福特在汽车制造上又创造了流水装配线。大量生产技术加上泰勒在 19 世纪末创立的科学管理方法对工业活动进行的分解与优化方法综合后，使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；提高成形加工、切削加工和装配的机械化和自动化程度；利用数控机床、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。

随着电子技术、信息处理、传输技术及自动控制技术的发展以及微型计算机的出现，给机械加工自动化技术带来了新的概念。用数字化信号对机械运动和工作过程进行控制，推动了机床自动化的发展。数控技术的应用不但给传统的机械制造业带来了革命性的变化，而且使制造业成为工业化的象征。

从 18 世纪起,新理论的不断诞生,以及数学方法的发展,使设计计算的精确度不断提高。进入 20 世纪,出现了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。

20 世纪后半叶,微型计算机和有限元法的广泛应用,使得对复杂的机械及其零件、构件进行力、力矩、应力等的分析和计算成为可能。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,按照要求的可靠性程度,科学地进行机械设计。

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,促进着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 CIMS、并行工 程、精益生产、敏捷制造、虚拟企业与虚拟制造,也无不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是:

(1) 设计手段的计算机化 在实现了计算机计算、绘图的基础上,数值仿真或虚拟现实技术在设计中已得到应用,现代产品建模理论的发展已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的、具体的、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、报废等阶段的产品的整个生命周期。

(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,而是注意考虑市场、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发展;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 1600m/min, 铸铁为 1500m/min, 超耐热镍合金为 300m/min, 钛合金为 200m/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设备的研究与开发, 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的加工位姿的变化。

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, 是使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, 并与物理模拟和专家系统相结合, 来确定工艺参数, 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与少量的实验验证结合, 以代替过去一切都要通过大量重复实验的方法, 不仅可以节省大量的人力和物力, 而且还可以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的准备工作(如铸造)也同时完成。

5. 成形制造技术向精密成型方向发展

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、从接近零件形状 (near net shape process) 向直接制成工件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。改性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、CAPP、CAM 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/零件制造 (rapid prototyping/parts manufacturing, RPM) 技术的产生, 是近 20 年制造领域的一个重大突破, 它可以自动而迅速地将设计思想物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 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型是同时完成的, 很难划清材料应用与制造技术的界限。这种趋势表现在生产上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, 绿色制造将是 21 世纪

制造业的重要特征，与此相应，绿色制造技术也将获得快速的发展。主要体现在：

(1) 绿色产品设计技术 使产品在生命周期内符合环保、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，以及生态工厂的循环式制造技术。它主要包括生产系统工厂——致力于产品设计和材料处理、加工及装配等阶段，以及恢复系统工厂——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，首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，对其性能和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。虚拟企业的特点是功能上的不完整、地域上的分散性和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70年代、80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件、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受到人脑神经系统的限制，人工智能将会消除了这个限制。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大发展。

机械可以完成人用双手和双目，以及双足、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和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型与加工融为一体，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。



第二节 指南车与中国古代机械

一、中国古代机械

人类成为“现代人”的标志就是制造工具。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。

中国在四五百万年前就已出现加工粗糙的刮削器、砍砸器和三棱形尖状器等原始工具。4万~5万年前出现磨制技术，许多石器都已比较光滑，刃部也较锋利，并有单刃、双刃、凸刃、凹刃和圆刃之分。新石器时代晚期，人们已能用石范和泥范（用石或泥制的模子）铸造简陋的工具和武器。中国古代的弓箭是机械方面最早的一项发明；公元前8000~前2800年出现了陶轮（制陶用转台）；农具大约出现在公元前6000~前5000年，除石斧、石刀外，还有石锄、石铲、石镰、蚌镰、骨镰和骨耜（耜，古代农具名，形似锹）。石斧和石刀上已有用硬质砂子磨削而成的孔。中国古代金属冶铸技术发明时间较早，且技术精湛，已发现的中国最早的青铜器，如甘肃东乡马家窑出土的铜刀，距今已有4800年左右的历史。殷商时期，随着手工业生产的发展和技术水平的提高，形成了灿烂的青铜文化。青铜冶铸技术得到高度发展，春秋时期的青铜铸件曾侯乙尊盘已十分精细。商周时期的青铜器朴质雄浑，春秋时期的青铜器纤细精巧，形成了中国古代青铜器的独特风格。

中国是世界上机械发展最早的国家之一。中国古代在机械方面有许多发明创造，在动力的利用和机械结构的设计上都有自己的特色。许多专用机械的设计和应用，如指南车、地动仪等，均有独到之处。

夏代以前和夏代，先后出现了轮（古代无辐的木制车轮，有辐曰轮，无辐曰轮）和各种有辐条的车轮；殷商和西周时已有相当精致的两轮车；独木舟和筏等水上运输工具早就相继出现。

春秋至魏汉时期（公元前770~公元265年）是中国古代机械开始较快发展的时期。春秋时期铁器和生铁冶铸技术开始出现；黑心可锻铸铁、白心可锻铸铁和锻钢的出现，加速了由铜器向铁器时代的过渡；春秋中期以后发明了失蜡铸造法和低熔点合金铸焊技术；战国时期又有了叠铸和锚链铸造等工艺；西汉中期已炼出灰口铸铁，并出现了壁厚3~5mm的薄壁铸铁件。

春秋时期出现弩，控制射击的弩机已是比较灵巧的机械装置。到汉代，弩机的加工精度和表面光洁度已达到相当高的水平。汉弩有一石至十石等八种规格，这些规格的形成表明机械制造标准在汉代已初步确立。弩机上大多留有做工、锻工、磨工等的名字。

战国时期流传的《考工记》是现存最早的手工艺专著，其中记有车轮的制造工艺。对弓的弹力、箭的射速和飞行的稳定性等都作了深入的探索。

1980年出土的秦始皇陵铜车马（图1-1），铜制，高1.042m，全长3.284m。马高0.92m，总重约1200kg，车马结构完整，挽具齐全。装饰物和一些小型构件由金银制成，显得异常富丽堂皇。铜车结构十分精密，镂雕成菱形花纹格的车窗启闭自如，金属鞍轡上雕有精美的花纹装饰，轡绳婉转灵活。整个车通体彩绘，工艺精湛，气魄恢弘，反映出秦代铸造技术、金属加工和组装工艺的高超水平。同时，它是目前发现年代最早、形体最大、保存最

完整的铜铸车马，对研究中国古代冶炼技术、机械加工技术等，都具有极其重要的历史价值。

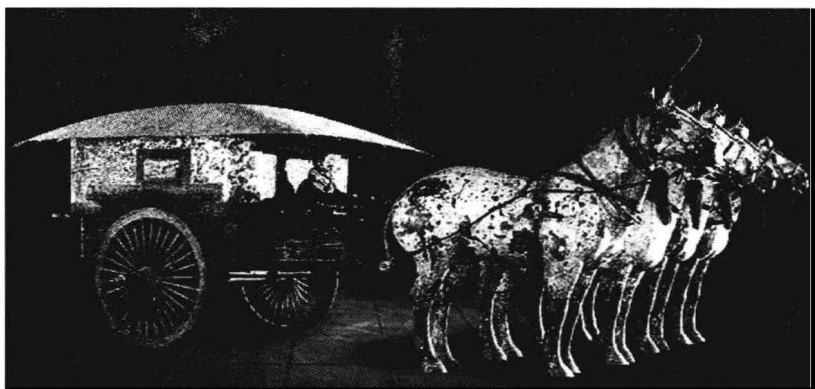


图 1-1 秦始皇陵铜车马

汉代已有各类舰艇和大量的三四层舱室的楼船。有些舰船已装备了艏舵和高效率的推进工具橹。西汉时的被中香炉构造精巧，无论球体香炉如何滚动，其中心位置的半球形炉体都能保持水平状态。

汉代张衡利用漏壶的等时性制成水运浑象，以漏水为动力通过齿轮系统使浑象每天等速旋转一周。公元 132 年张衡创制了世界上第一台地震仪，即候风地动仪。汉代纺织技术和纺织机械也不断发展，绫机已成为相当复杂的纺织机械。汉代的农具铁犁已有犁壁，能起翻土和碎土的作用，汉武帝时已创制三脚耨，一天能播种一顷地。在这一时期，大型铜铁铸件和大型机械结构陆续出现。

唐末时期机械制造已有较高水平。如西安出土的唐代银盒，其内孔与外圆的不同心度很小，子母口配合严紧，刀痕细密，说明当时机械加工精度已达到新的水平。水力机械方面，唐代已有筒车，从人力提水发展为水力提水。在运输工具方面，人力和水力并用，在技术上有进一步发展。南朝祖冲之所造日行百里的所谓千里船和南朝梁侯景军中的 160 桨快艇，都是人力推进的快速舰艇，南北朝时期出现了车船。唐代的李皋对车船的改进起了承前启后的作用。

水力机械也有新的进展，唐代已有筒车，从人力提水发展为水力提水。南宋末期又创造出先进的水转大纺车，三摧、五摧（锭）手摇纺车曾是当时世界上比较先进的人力纺纱机具。元代薛景石所著《梓人遗制》是木工名家总结亲身经验之作，并详细记述了当时通行的纺织机具和车辆，以古代著名的木制机械技术专著而留世。

北宋苏颂和韩公廉等制成的木构水运仪象台，能用多种形式表现天体时空的运行。它由水力驱动，其中有一套擒纵机构。水运仪象台代表了当时机械制造的水平，是当时世界上先进的天文钟。元代的滚柱轴承也属当时世界上先进的机械装置。

明初的造船业已有很大进展。郑和下西洋的船队是当时世界上最大的船队。郑和所乘宝船长约 137m，张 12 帆，舵杆长 11m，是古代最大的远洋船舶。当时的机械制造主要仍靠手工操作，故船用机件，大者如千钧锚，是靠人工先锻成四爪，然后依次逐节锻接；小者如制针用的钢丝，也用手工制成。



明代已有活塞风箱。它是宋元木风扇的进一步发展，风箱靠活塞推动和空气压力自动启闭活门，成为金属冶铸的有效的鼓风设备。

机械技术的进步促进了古代学术研究。王微于1627年编译和出版了《远西奇器图说录最》，介绍了西方机械工程的概况。来自西方的自鸣钟表等也在一定范围内得到流传。

1634—1637年，明朝的宋应星编著和出版了《天工开物》，记录了许多先进的工艺技术和科学创见。它反映出当时的农业和手工业的生产技术水平。记载了不少有关机械制造和产品性能的情况。内容涉及泥型铸釜、失蜡法铸造以及铸币等铸造技术，还记述了千钧锚和软硬绣花针的制造方法、提花机和其他纺织机械以及车船等各种交通工具的性能和规格等。《天工开物》被称为中国17世纪的工艺百科全书。

清乾隆年间宫廷造办处曾制造大更钟，它依靠悬锤的重力驱动，并增添了精确的报更机构，加工精致，富有中国民族特色。明清两朝中国钟表工匠创制了不少新奇的钟表。当时的广州、苏州、南京、扬州等，成为有名的制造钟表的城市。

二、指南车

早在商代，我国工匠已经能制造相当高级的两轮车，车轮有辐条，结构精致华美。周代已经采用油脂作为轴承润滑材料。春秋战国时期除了出现高架车辆巢车等新型车辆以外，还特别注意薄弱环节的加强，如车轮上出现夹辅（车旁横木。辅所以益辐，使之能重载）等。

在汉魏时期，盛行独轮车。独轮车在当时是一种极经济而应用很广的交通运输工具，在交通运输史上是一项十分重要的发明。《三国演义》中所着力描述的“木牛流马”，据许多专家考证，所谓的木牛，就是四轮车；所谓流马，就是独轮车，木牛流马是独特的独轮车，其车形似牛似马，具有特殊的运输功能。

指南车在汉魏时期就已经出现。根据历史记载，我国东汉杰出的科学家张衡发明过指南车，可是他的制造方法不久就失传了。到了三国时候，有个叫马钧的发明家，曾经重新造出了指南车。

指南车是用一辆双轮独辕（辕，车前驾牲口的直木），由马来拉动（图1-2）。车厢内采用一种能自动离合的齿轮系统。车厢外壳上层，置有一个木刻的仙人，无论车朝哪个方向转弯，它的伸臂都指向南方。从三国时期开始，历代史书差不多有记里鼓车和指南车的记载，但是比较简略。直到宋元时期，《宋史》才详细地记载了它们的内部齿轮构造。

至于指南车的制法，主要是采用差动齿轮的机械原理。车里面装有9个大小不同的齿轮，当两个齿轮组合在一起时，一个齿轮向右转，相邻一个便相反地向左转。利用这个道理，可以使指南车上木人的那只手指向南方，当车轮向东转时，有的齿轮就反转，使手仍保持向南，所以不管车轮怎么转，手指可以永远指向南方。据考证，其构造大体是：车中水平地安装着一个大平轮（有48个齿），其中心竖一长轴，上面立着一个木雕仙人。车轮直径6尺，两轮间的距离也是6尺。两个车轮内侧各装有一个小齿轮（有24个齿）。它们能随着车轮一起转动。在大平轮和小齿轮之间的空隙上方用绳子各悬着一个小平轮（有12个齿），绳子的另一端系在车辕的后端。

指南车结构简单，能使木人的手臂始终指向南方，关键就在于差动齿轮系的设计。指南车体现了两千年前我国机械工程技术的先进水平，是我国古代技术的卓越成就。