

“十三五”国家重点出版物出版规划项目  
现代机械工程系列精品教材  
普通高等教育3D版机械类规划教材



3D版



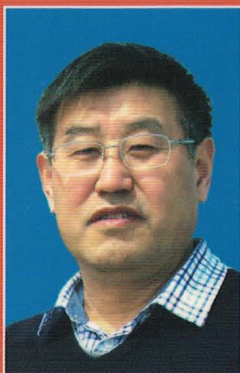
Foundation of Mechanical  
Manufacturing Technology

# 机械制造技术基础

李凯岭 © 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



**李凯岭** 山东大学教授。作为课程负责人，建设完成了“机械制造技术基础”“专业生产实习”两门课程的“省级精品课程”。针对机械加工工艺理论研究成果，首次提出并撰写、出版了《机械加工工艺过程尺寸链》专著，主编了《机械制造技术基础》《机械制造工艺学》《现代注塑模具设计制造技术》《计算机辅助设计制造技术高级教程》等八本专业教材。在国内外专业的高水平杂志发表数十篇科技论文（EI收录）。主持研究的“注塑模具智能设计数据库与推理机”项目获得山东省科技进步三等奖，“城市交通系统与建筑模式”软科学课题成果获得山东省软科学论文成果三等奖。

“十三五”国家重点出版物出版规划项目  
现代机械工程系列精品教材  
普通高等教育 3D 版机械类规划教材

# 机械制造技术基础 (3D 版)

李凯岭 主编  
李凯岭 迟京瑞 张 红 吕英波 编著  
尹玉亮 王志坤 陈清奎



机械工业出版社

本书综合了机械制造工艺学及机床夹具设计、金属切削机床概论、金属切削原理与刀具的基本内容，将机械制造技术的基础知识、基本理论、基本方法等有机整合后撰写而成。全书主要内容包括机械制造与工艺过程、金属切削加工基础知识、金属切削基本规律、金属切削机床基本知识、车床与车刀、其他金属切削机床及其常用刀具、磨削加工与磨削工具、机械加工工艺规程的制定、金属切削机床夹具设计、机械加工精度、机械加工表面质量、机械装配工艺基础、制造模式与制造技术的发展。本书结构严谨、叙述简明，体现了专业知识的传统性、系统性和实用性。

本书配套了利用虚拟现实（VR）技术、增强现实（AR）技术等开发的3D虚拟仿真教学资源。

本书可作为高等院校机械类各专业教材，也可作为高等专科学校、成人高校等相关专业的教学参考书，还可供相关工程技术人员参考使用。

## 图书在版编目（CIP）数据

机械制造技术基础：3D版/李凯岭主编. —北京：机械工业出版社，2017.7

“十三五”国家重点出版物出版规划项目 现代机械工程系精品教材  
普通高等教育3D版机械类规划教材

ISBN 978-7-111-57622-8

I. ①机… II. ①李… 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（2017）第189595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：蔡开颖 责任编辑：蔡开颖 张丹丹 刘丽敏

责任校对：肖琳 封面设计：张静

责任印制：孙伟

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2018年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·27.5印张·671千字

标准书号：ISBN 978-7-111-57622-8

定价：64.80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

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 普通高等教育 3D 版机械类规划教材 编审委员会

顾 问	艾 兴	中国工程院院士、山东大学教授
	林江海	山东省机械工程学会会长
主任委员	张进生	山东大学
	陈清奎	山东建筑大学
	冯春生	机械工业出版社
委 员	王 勇	山东大学
	张明勤	山东建筑大学
	赵玉刚	山东理工大学
	何 燕	青岛科技大学
	许崇海	齐鲁工业大学
	曹树坤	济南大学
	孙成通	临沂大学
	赵继俊	哈尔滨工业大学 (威海)
	孙如军	德州学院
	彭观明	泰山学院
	马国清	烟台大学
	徐 伟	枣庄学院
	李宏伟	滨州学院
	李振武	菏泽学院
	刘迎春	潍坊科技学院
	曹光明	潍坊学院
	刘延利	山东英才学院
秘 书	蔡开颖	机械工业出版社

# 序

虚拟现实（VR）技术是计算机图形学和人机交互技术的发展成果，具有沉浸感（Immersion）、交互性（Interaction）、构想性（Imagination）等特征，能够使用户在虚拟环境中感受并融入真实、人机和谐的场景，便捷地实现人机交互操作，并能从虚拟环境中得到丰富、自然的反馈信息。在特定应用领域中，VR 技术不仅可解决用户应用的需要，若赋予丰富的想象力，还能够使人们获取新的知识，促进感性和理性认识的升华，从而深化概念、萌发新的创意。

机械工程教育与 VR 技术的结合，为机械工程学科的教与学带来显著变革：通过虚拟仿真的知识传达方式实现更有效的知识认知与理解。基于 VR 的教学方法，以三维可视化的方式传达知识，表达方式更富有感染力和表现力。VR 技术使抽象、模糊成为具体、直观，将单调乏味变成丰富多变、极富趣味，令常规不可观察变为近在眼前、触手可及。通过虚拟仿真的实践方式实现知识的呈现与应用。虚拟实验与实践让学习者在创设的虚拟环境中，通过与虚拟对象的主动交互，亲身经历与感受机器拆解、装配、驱动与操控等，获得现实般的实践体验，增加学习者的直接经验，辅助将知识转化为能力。

教育部编制的《教育信息化十年发展规划（2011—2020 年）》（以下简称《规划》），提出了建设数字化技能教室、仿真实训室、虚拟仿真实训教学软件、数字教育教学资源库和 20000 门优质网络课程及其资源，遴选和开发 1500 套虚拟仿真实训实验系统，建立数字教育资源共建共享机制。按照《规划》的指导思想，教育部启动了包括国家级虚拟仿真实验教学中心在内的若干建设工程，力推虚拟仿真教学资源的规划、建设与应用。近年来，很多学校陆续采用虚拟现实技术建设了各种学科专业的数字化虚拟仿真教学资源，并投入应用，取得了很好的教学效果。

“普通高等教育 3D 版机械类规划教材”是由山东高校机械工程教学协作组组织驻鲁高等学校教师编写的，充分体现了“三维可视化及互动学习”的特点，将难于学习的知识点以 3D 教学资源的形式进行介绍，其配套的虚拟仿真教学资源由济南科明数码技术股份有限公司开发完成，并建设了“科明 365”在线教育云平台（[www.keming365.com](http://www.keming365.com)），提供了适合课堂教学的“单机版”、适合集中上机学习的“局域网版”、适合学生自主学习的“手机版”，构建了“没有围墙的大学”“不限时间、不限地点、自主学习”的学习资源。



古人云，天下之事，闻者不如见者知之为详，见者不如居者知之为尽。

本系列教材的陆续出版，为机械工程教育创造了理论与实践有机结合的条件，很好地解决了普遍存在的实践教学条件难以满足卓越工程师教育需要的问题。这将有利于培养制造强国战略需要的卓越工程师，助推中国制造 2025 战略的实施。

张进生  
于济南

# 前言

本书是山东高校机械工程教学协作组组织编写的“普通高等教育3D版机械类规划教材”之一。

本书在内容安排上侧重机械制造方面冷加工领域的基本知识、基本原理和基本方法，突出了专业基础内容；在章节安排上既考虑了专业知识本身的内在联系，又遵循了专业基础与专业知识前后贯通的原则；集基础性、传统性、应用性、适应性、系统性、学以致用等特点于一身。本书内容的取材，包括金属切削加工、磨削过程中的物理现象及其规律，金属切削刀具的功用、性能和常用金属切削机床的传动、特点，以及有关制造过程中的加工质量、加工精度、工装夹具、工艺规程等方面的必备知识；此外，也包括了现代制造技术的基础内容。本书内容对从事机械加工、加工控制及有关工程管理的技术人员来说，都是必不可少的知识。本书体系经过多所高等院校的机械制造与自动化等专业的试用，效果良好。全书内容简明扼要，重点突出，便于学生自学，也给主讲教师留有发挥的余地。本书的编写充分利用虚拟现实（VR）、增强现实（AR）等技术开发的虚拟仿真教学资源，体现“三维可视化及互动学习”的特点，将难于学习的知识点以3D教学资源的形式进行介绍，力图达到“教师易教、学生易学”的目的。本书配有手机版的3D虚拟仿真教学资源，图中标有图标表示免费使用，标有图标表示收费使用。本书提供免费的教学课件，欢迎选用本书的教师登录机工教育服务网（[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)）下载。济南科明数码技术股份有限公司还提供有互联网版、局域网版、单机版的3D虚拟仿真教学资源，可供师生在线下载（[www.keming365.com](http://www.keming365.com)）使用。

本书的体系和内容体现了系统、基础、全面、实用的特点，既可作为高等院校机械类专业教材，也可作为高等专科学校、成人高校等相关专业的教学参考书，还可供相关工程技术人员参考使用。

本书由山东大学李凯岭主编。具体参加编写的人员有：山东大学李凯岭（负责绪论、第1章、第6章、第8章、第9章、第12章、第13章），山东科技大学迟京瑞（负责第2~4章），山东建筑大学吕英波（负责第5章，参与第6章编写），烟台南山学院张红（负责第7章），德州学院王志坤（参与第9章编写），临沂大学尹玉亮（负责第10章、第11章）。本书配套的3D虚拟仿真教学资源由济南科明数码技术股份有限公司开发完成，并负责网上在线教学资源的维护、运营等工作，主要开发人员包括陈清奎、马仲依、秦现磊、刘海、何强、孙宏翔、栾飞、李晓东等。

全书由山东大学李凯岭完成统稿。山东大学汤红杰、臧淑华，烟台南山学院张红，对本书稿的统稿做了大量工作。采用过本书内容体系的主讲教师对书稿和内容提出了许多宝贵的建议，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

主编联系方式：13001737226，[likailing@foxmail.com](mailto:likailing@foxmail.com)。

编者  
于济南



# 目 录

序	
前言	
绪论	1
0.1 机械制造业在国民经济中的地位	1
0.2 机械制造业的发展	2
0.3 中国机械制造业的机遇与挑战	4
0.4 本课程的内容、特点和学习方法	8
习题与思考题	10
第1章 机械制造与工艺过程	11
1.1 生产与制造	11
1.2 工艺过程	14
1.3 工件的装夹	15
1.4 机械加工工艺过程的组成	16
1.5 工艺系统	18
1.6 表面切削成形理论	18
1.7 生产纲领与生产类型	19
习题与思考题	22
第2章 金属切削加工基础知识	23
2.1 工件表面和切削运动	23
2.2 刀具的结构要素	26
2.3 刀具角度	28
2.4 切削层参数与切削方式	40
2.5 刀具材料	41
习题与思考题	46
第3章 金属切削基本规律	48
3.1 金属切削过程中的变形规律	48
3.2 切削力	55
3.3 切削热与切削温度	59
3.4 刀具的磨损与刀具寿命	63
3.5 刀具几何参数的选择	71
3.6 切削用量的选择	78
3.7 工件材料的可加工性	81
3.8 切削液及其选择	84
习题与思考题	87
第4章 金属切削机床基本知识	88
4.1 金属切削机床的分类与编号	88
4.2 机床的运动分析及传动	92
4.3 机床的基本组成及技术性能	99
习题与思考题	100
第5章 车床与车刀	102
5.1 车床的用途与运动	102
5.2 CA6140型卧式车床传动系统	104
5.3 CA6140型卧式车床主要结构	111
5.4 车刀	118
习题与思考题	121
第6章 其他金属切削机床及其常用 刀具	123
6.1 拉床与拉刀	123
6.2 钻床与普通孔加工刀具	127
6.3 镗床与镗刀	135
6.4 铣床与铣刀	138
6.5 齿轮加工机床与齿轮加工刀具	146
6.6 刨床与插床	158
6.7 组合机床及刀具简介	160
6.8 数控机床简介	163
习题与思考题	167
第7章 磨削加工与磨削工具	169
7.1 磨削加工	169
7.2 磨削工具	176
7.3 磨削机理	180
7.4 常用磨床种类及其功用	185
7.5 表面光整加工	193
7.6 砂带磨削	197
习题与思考题	197
第8章 机械加工工艺规程的制定	199
8.1 机械加工工艺规程	199



8.2 制定机械加工工艺规程的要求与步骤 .....	202	10.5 加工误差的统计分析 .....	331
8.3 零件加工工艺性分析与毛坯的选择 .....	204	10.6 提高和保证加工精度的途径 .....	341
8.4 工件定位的基本原理 .....	207	习题与思考题 .....	345
8.5 机械加工工艺规程设计中的主要定性问题 .....	210	<b>第 11 章 机械加工表面质量</b> .....	347
8.6 加工余量及其确定方法 .....	218	11.1 机械加工表面质量的含义 .....	347
8.7 加工工艺尺寸的分析计算 .....	220	11.2 已加工表面成形机理 .....	350
8.8 工艺方案的生产率及技术经济性分析 .....	230	11.3 影响加工表面质量的因素 .....	351
8.9 提高机械加工生产率的工艺措施 .....	234	11.4 机械加工过程中的振动 .....	356
习题与思考题 .....	237	11.5 控制加工表面质量的途径 .....	366
<b>第 9 章 金属切削机床夹具设计</b> .....	241	习题与思考题 .....	368
9.1 机床夹具的基本概念 .....	241	<b>第 12 章 机械装配工艺基础</b> .....	370
9.2 定位方式与定位元件 .....	243	12.1 机械装配概述 .....	370
9.3 定位误差的分析与计算 .....	254	12.2 装配尺寸链及其概率解法 .....	376
9.4 工件的夹紧 .....	261	12.3 获得装配精度的装配方法 .....	381
9.5 典型机床夹具 .....	271	12.4 装配工艺规程的制定 .....	389
9.6 数控机床夹具 .....	290	习题与思考题 .....	394
习题与思考题 .....	295	<b>第 13 章 制造模式与制造技术的发展</b> .....	398
<b>第 10 章 机械加工精度</b> .....	298	13.1 先进制造工艺技术 .....	398
10.1 机械加工精度概述 .....	298	13.2 微机械和微机电系统制造技术的进展 .....	410
10.2 工艺系统的几何误差 .....	301	13.3 机械制造自动化技术 .....	413
10.3 工艺系统的受力变形 .....	313	13.4 先进制造生产模式 .....	419
10.4 工艺系统的热变形 .....	325	习题与思考题 .....	428
		<b>参考文献</b> .....	429



# 绪 论

机械制造技术是以制造一定质量的产品为目标,研究如何以最少的消耗、最低的成本和最高的效率进行机械产品制造的综合性技术,是机械科技成果转化为生产力的关键环节,与国民经济各部门联系最广泛、最密切。

## 0.1 机械制造业在国民经济中的地位

### 1. 制造业

制造业是所有与制造有关的行业的总体。制造业为国民经济各部门和科技、国防提供技术装备,是整个工业、经济与科技、国防的基础,是现代化的动力源,是现代文明的支柱。人类从原始社会使用石器到现在应用现代化的机器装备和先进的工艺技术,逐步加强了控制、开发和利用自然的能力。制造业为人类创造着辉煌的物质文明。

制造业是一个国家的立国之本。工业化国家中以各种形式从事制造活动的人员约占全国从业人数的四分之一。美国约 68% 的财富来源于制造业,日本国民生产总值的约 50% 由制造业创造,我国的制造业在工业总产值中约占 40%。

### 2. 机械制造业

机械制造业是制造业最主要的组成部分,它是为用户创造和提供机械产品的行业,包括机械产品的开发、设计、制造生产、流通和售后服务全过程。

在整个制造业中,机械制造业占有特别重要的地位。因为机械制造业是国民经济的装备部,它以各种机器设备供应和装备国民经济的各个部门,并使其不断发展。国民经济各部门的生产水平和经济效益在很大程度上取决于机械制造业所提供的装备的技术性能、质量和可靠性。国民经济的发展速度,在很大程度上取决于机械制造工业技术水平的高低和发展速度。从总体上来讲,机械制造业是国民经济中的一个重要组成部分。因而,各发达国家都把发展机械制造业放在突出的位置。

机械制造技术水平的提高与进步将对整个国民经济的发展和科技、国防实力产生直接的作用和影响,是衡量一个国家科技水平的重要标志之一,在综合国力竞争中具有重要的地位。

纵观世界各国,任何一个经济强大的国家,无不具有强大的机械制造业,许多国家的经济腾飞,机械制造业功不可没。其中,日本最具有代表性。第二次世界大战后,日本先后提出“技术立国”和“新技术立国”的口号,对机械制造业的发展给予全面的支持,并抓住



机械制造的关键技术——精密工程、特种加工和制造系统自动化,使日本在战后短短 30 年里,一跃成为世界经济大国。与此相反,美国自 20 世纪 50 年代后,在相当长一段时间内忽视了制造技术的发展。美国政府历来认为生产制造是企业界的事,政府不必介入。而美国学术界则只重视理论成果,忽视实际应用,一部分学者还错误地主张应将经济重心由制造业转向高科技产业和第三产业,结果导致美国经济严重衰退,竞争力明显下降,在汽车、家电等行业被日本赶超。直到 20 世纪 80 年代初,美国开始认识到问题的严重性。白宫的一份报告指出:美国政府在进行深刻反省之后,重新树立制造业的地位,并对制造业给予实质性的和强有力的支持,制订并实施了一系列振兴美国制造业的计划,效果十分明显。至 1994 年,美国汽车产量重新超过日本,并重新占领了欧美市场。

## 0.2 机械制造业的发展

人类文明的发展与制造业的进步密切相关。早在石器时代,人类就开始利用天然石料制作工具,用其猎取自然资源为生。到了青铜器和铁器时代,人们开始采矿、冶金、铸锻工具,并开始制作纺织机械、水利机械、运输车辆等。

直至 18 世纪 70 年代,以瓦特改进蒸汽机为代表引发了第一次工业革命(图 0-1),蒸汽机的应用从采矿业推广到纺织、面粉、冶金等行业,产生了近代工业化的生产方式,机器生产方式逐步取代手工劳动方式,机械制造业逐渐形成规模,逐步成为一个重要的产业。19 世纪中叶,电磁场理论的建立为发电机和电动机的产生奠定了基础,从而迎来了电气化时代。以电力作为动力源,使机械结构发生了重大变化。与此同时,互换性原理和公差制度应运而生。所有这些使机械制造业发生了重大变革,机械制造业进入快速发展时期。



图 0-1 瓦特创新技术改良蒸汽机

19 世纪机械制造方面的重大技术进步是发展了零件的互换性。19 世纪下半叶,新的工具材料和新的动力来源促进了机床的发展。1850 年的碳素钢刀具只能在约  $12\text{m}/\text{min}$  以下的切削速度下工作。1868 年穆舍特发明了含有钨和钒的锰钢(合金工具钢),使得切削速度提高到  $18.3\text{m}/\text{min}$ 。1898 年泰勒等人用含铬的高速钢把切削速度提高到  $36.6\text{m}/\text{min}$ 。切削速度的提高反过来促进了机床各部分强度、轴承、变速机构的改进。

20 世纪初,内燃机的发明,使汽车开始进入欧美家庭,引发了机械制造业的又一次革命。流水生产线的出现和泰勒科学管理理论的产生,标志着机械制造业进入“大批量生产”(Mass Production)的时代。以汽车工业为代表的大批量自动化生产方式使得生产率获得极大提高,迅速发展的汽车工业和后来的飞机工业,促进了机械制造技术向高精度、大型化、专用化和自动化的方向发展,机械制造业有了更迅速的发展,并开始成为国民经济的支柱产业。



第二次世界大战后，计算机和集成电路的出现，以及运筹学、现代控制论、系统工程等软科学的产生和发展，使机械制造业产生了一次新飞跃。传统的大批量生产方式难以满足市场多变的需要，多品种、中小批量生产日渐成为制造业的主流生产方式。传统的自动化生产方式只有在大批量生产的条件下才能实现，而数控机床的出现使中小批量生产自动化成为可能，科学技术的高速发展，促进了生产力的进一步提高。而当今以智能制造技术为特征的第四次工业革命浪潮，掀起了机械制造技术和理念的新飞跃。

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；提高成形制造、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，使得中小批量、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、传输技术和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机床工作过程进行控制，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。

伴随着计算机的出现，机械制造自动化从刚性自动化向柔性自动化、智能制造方向发展：自动化专机→自动化生产线（Production Line）→数控机床（CNC）→加工中心（MC）→柔性加工单元（FMC）→柔性制造系统（FMS）→智能制造与智能生产（IMS）。同时机械设计、工艺规程编制、计算机辅助数控加工编程、车间调度、车间和工厂管理、成本核算等都用计算机管理，这样出现了 ERP/PDM、PLM 全生命周期的大数据技术和制造技术、CAD/CAPP/CAM 一体化技术。

20 世纪 80 年代以来，信息产业的崛起和通信技术的发展加速了市场的全球化进程，市场竞争呈现新的方式，更加激烈。为了适应新的形势，在机械制造领域提出了许多新的制造哲理和生产模式，如计算机集成制造（CIM）、精益生产（LP）、快速原型制造（RPM）、并行工程（CE）和敏捷制造（AM）等。

20 世纪 90 年代随着因特网的出现及应用，提出了敏捷制造（或网络制造）的新制造模式。应用因特网，可使不同地区的单位间实现快速大信息量的传输交流，使机械制造业可以将不同地区的工厂、设计单位和研究所通过因特网组合在一起，分工协作，发挥各单位特长，共同开发、研制并生产大型新产品。敏捷制造是多单位的协作生产（有一单位是主持的主导单位），可以包含基层单位中局部的计算机控制管理自动化（CIMS）、FMS、CAD/CAM，可以灵活机动地采用虚拟制造、虚拟装配、并行工程等各种先进工艺和管理方法，最终达到快速、优质、低成本地进行生产或研制新产品。

波音 777 大型民用客机的研制是综合应用敏捷制造的实例。美国研制波音 777 大型民用客机以西雅图为中心，集中南北 51 英里（mile，1 mile = 1609.344m），11 个地区的多个工厂、研究所协作研制，参加人员包含制造、供应、用户等共 7000 多人。全部研制工作实现无图纸生产，采用各种计算机控制管理、虚拟设计和虚拟制造、并行工程、CAD/CAM 一体化技术等一切能采用的自动化设计、制造、管理等生产办法。最后，波音 777 大型民用客机一次研制试飞成功，全部设计研制周期仅 27 个月。而此前，同样复杂程度的波音 767 大型民用客机的研制周期为 40 个月。

计算机技术的发展，借助于计算机仿真和虚拟制造技术开发，CAD/CAM 技术得到加



强。在计算机上进行加工过程碰撞仿真、加工精度仿真、调度仿真、制造过程仿真（虚拟制造）、装配过程仿真（虚拟装配），对机械制造业中的设计、制造、调度管理都有极大帮助。

进入 21 世纪，机械制造业正向自动化、柔性化、集成化、智能化、绿色化和清洁化的方向发展。现代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，机械制造技术与材料科学、电子科学、信息科学、生命科学、环保科学、管理科学等交叉、融合。在机械制造业，综合考虑社会、环境、资源等可持续发展因素的绿色制造技术将朝着能源与原材料消耗最小，所产生的废弃物最少并尽可能回收利用，在产品的整个生命周期中对环境无害等方向发展。

面对世界经济技术发展的日益融合和开放趋势，为了在世界经济发展大潮中处于领先地位，世界各个工业化国家，先后都提出了振兴制造业技术发展的纲领性的计划。美国是世界制造业的头号大国，长期以来，美国制造业的规模和技术水平曾在全球市场中拥有绝对的优势，占全球制造业份额的 40% 左右，为美国的经济发展奠定了坚实基础。近十几年来，美国制造业竞争力明显下降。美国德勤会计事务所与美国竞争力委员会 2010 年联合发布报告，美国 2010 年制造业竞争力在全球排名降到第四位，2015 年美国的竞争力排名跌至第五位。美国制造业的领导地位正在受到威胁。奥巴马政府，振兴制造业作为其振兴美国经济的一项重要内容，出台实施了一系列促进制造业发展的政策和措施。2011 年 6 月 24 日，美国总统奥巴马宣布启动一项超过 5 亿美元的“先进制造业伙伴关系”（AMP）计划，以期通过政府、高校及企业的合作来强化美国制造业，共同帮助美国重夺全球制造业领先地位。该计划将联合企业、高校和联邦政府，为可以提供大量就业机会以及提高美国全球竞争力的先进技术进行投资，这些技术将帮助美国的制造商降低成本，提高品质，加快产品研发速度，形成良好的就业前景。德国政府出于领先意识、危机意识和机遇意识，为确保未来德国在世界上的经济竞争力和技术领先地位，于 2013 年在德国《高技术战略 2020》中提出国家发展战略。特朗普政府更是将重振美国制造业作为新一届政府“美国优先”的核心国策。德国政府在 2013 年 4 月的汉诺威工业博览会上正式推出“工业 4.0”高科技战略计划，其目的是提高德国工业的竞争力，在新一轮工业革命中占领先机。该计划由德国联邦教育局及研究部和联邦经济技术部联合资助，旨在提升制造业的智能化水平，建立具有适应性、资源效率及人因工程学的智慧工厂，在商业流程及价值流程中整合客户及商业伙伴。其技术基础是网络实体系统及物联网。通过工业 4.0 战略的实施，德国将成为新一代工业生产技术（即信息物理系统）的供应国和主导市场，在继续保持国内制造业发展的前提下再次提升全球竞争力。日本政府意识到，如果不积极推出机器人技术战略规划，将会威胁日本作为机器人大国的地位。2015 年 1 月 23 日，日本政府公布了《机器人新战略》。这一战略提出三大核心目标，即“世界机器人创新基地”“世界第一的机器人应用国家”“迈向世界领先的机器人新时代”。为实现上述三大核心目标，该战略制订了五年计划，旨在确保日本机器人领域的世界领先地位。

### 0.3 中国机械制造业的机遇与挑战

我国是一个世界文明古国，机械制造具有悠久的历史。考古研究发现，早在 50 万年以



前的远古时代，我国已开始使用石器和钻木取火的工具，如图 0-2 所示的弓形钻。弓形钻由燧石钻头、钻杆、窝座和弓弦等组成。往复拉动弓便可使钻杆转动，用来钻孔、扩孔和取火。公元前 16 世纪~公元前 11 世纪的商代，我国已出现可转动的琢玉工具，如图 0-3 所示的古代钻床。车（旋）削加工和车床雏形（图 0-4）的出现，我国比欧洲早近千年。到了明代（公元 1368~1644 年），在古天文仪器加工中，已采用铣削和磨削加工方法，如图 0-5 所示，并出现了铣床、磨床和切削刃刃磨机（图 0-6）的雏形。公元 260 年左右，创造了木制齿轮，应用轮系原理，成功地研制了以水为动力的机械，用于加工谷物。但是，近两个世纪帝国主义的入侵和腐朽的半封建半殖民地社会制度，严重束缚了中国社会的发展，使中国几千年的文明失去了光芒。至中华人民共和国成立前夕，中国的机械制造业几乎为零。

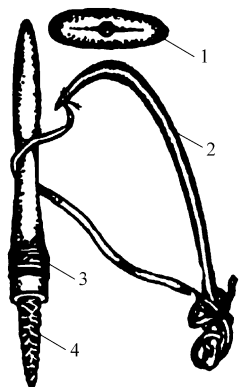


图 0-2 弓形钻

1—窝座 2—弓弦 3—钻杆 4—钻头

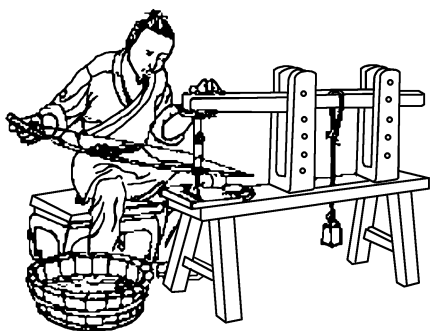
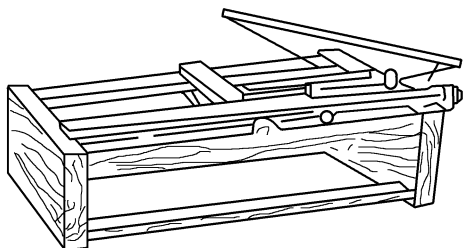
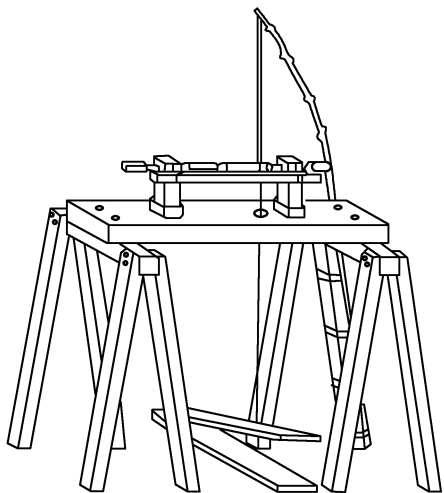


图 0-3 古代钻床



a)



b)

图 0-4 古代车床

a) 弓形（长轴）车床 b) 脚踏车床

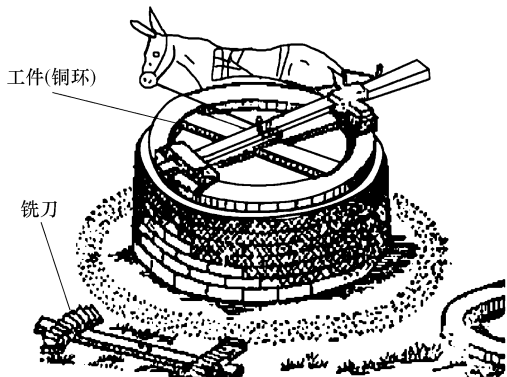


图 0-5 1668 年古天文仪器上铜环的铣削和磨削

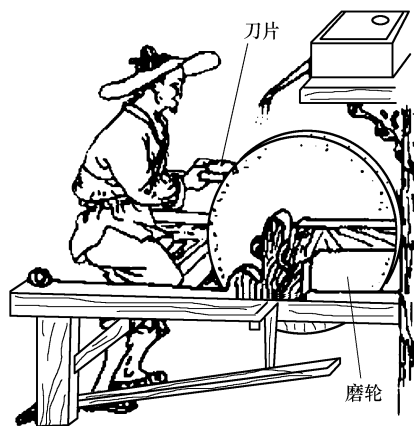


图 0-6 古代脚踏刃磨机

新中国成立以来 60 多年的发展,我国建立了自主独立、门类齐全的轻工业、重工业和机械制造业,机床装备制造业、汽车工业、航空航天工业等技术难度较大的机械制造工业得到快速发展,取得了举世瞩目的成就,建立了比较齐全的制造体系。我国自行设计制造的高铁系统和施工运营技术已经达到了世界先进水平的行列。

现代航空航天制造技术是集现代科学技术成果与技术密集型产品的高精尖先进制造技术之大成的机械制造技术。航空航天制造工程的技术水平,是衡量一个国家科技发展综合水平的重要标志。2003 年以来,我国先后自行设计制造发射了神舟系列载人飞船。其原型机神舟一号于 1999 年 11 月 20 日成功发射,而其发展型号神舟五号于 2003 年 10 月 15 日第一次完成载人飞行。2011 年 9 月 29 日我国在酒泉卫星发射中心发射第一个目标飞行器——天宫一号,如图 0-7a 所示为发射现场的情景。2011 年 11 月 3 日顺利实现天宫一号与神舟八号飞船的对接任务。2012 年 6 月 16 日神舟九号发射升空,并于 6 月 18 日与天宫一号实施载人自动交会对接,并于 2012 年 6 月 29 日安全返回地球,神舟九号开启了中国第一个宇宙实验室项目,为中国航天史上掀开极具突破性的一章。2013 年 6 月 11 日,神舟十号飞船发射升空,并且依次与天宫一号完成自动和人工交会对接任务,如图 0-7b 所示。中国计划 2020 年建成我国自己的太空家园,中国空间站届时将成为世界唯一的空间站。2013 年 12 月 14 日,我国嫦娥 3 号登月探测器成功实现在月球表面的软着陆,图 0-8 所示为着陆器与月球车互拍传回的照片。2013 年 1 月我国自行研发的重型战略运输机“运 20”飞机完成首次成功试飞,2015 年 11 月 2 日我国国产大飞机 C919 正式下线,标志着我国航空航天制造技术已经发展到新的水平。2016 年 6 月 25 日 20 点,我国自行开发的大型运载火箭“长征 7 号”从海南文昌航天发射中心首次点火发射升空,长征七号运载火箭将成为中国卫星计划的主力运载火箭,其运载能力达 13.5t,是原有运载火箭的 1.5 倍。2016 年 6 月 26 日,由长征七号运载火箭搭载升空的多用途飞船缩比返回舱在东风着陆场西南戈壁区安全着陆。

目前我国机械工业无论是行业规模、产业结构、产品水平,还是国际竞争力都有了大幅度的提升。我国的机械制造业已具有相当规模和一定的技术基础,成为我国工业体系中最大的产业之一。随着科技、经济、社会的日益进步和快速发展,日趋激烈的国际竞争及不断提高的人民生活水平对机械产品的性能、价格、质量、服务、环保及多样性、可靠性、准时性

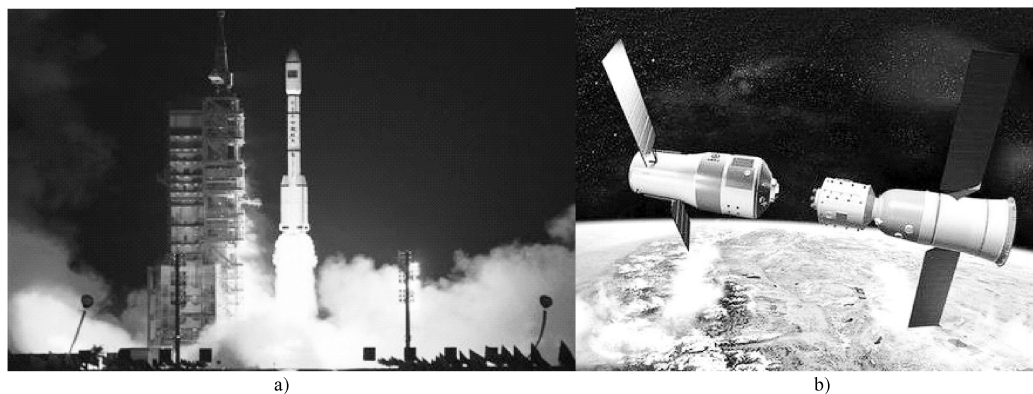


图 0-7 天宫一号发射的场景及与神舟飞船对接

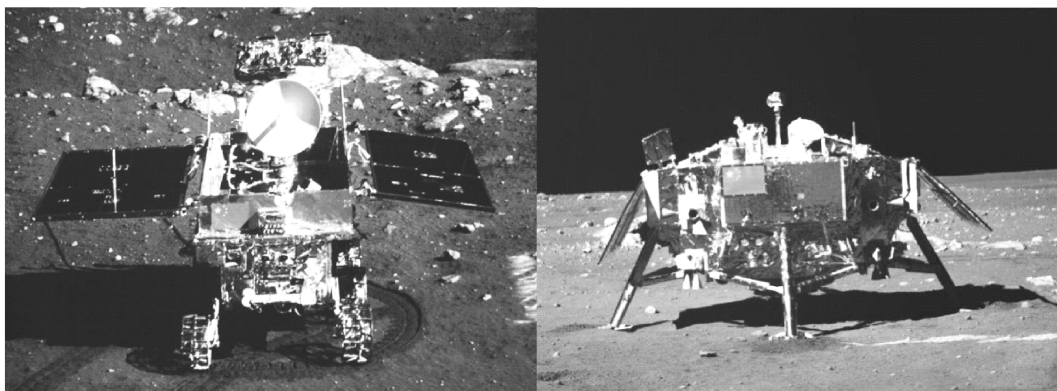


图 0-8 嫦娥 3 号着陆器与月球车互拍传回的照片

等方面提出的要求越来越高，对先进的生产技术装备、科技与国防装备的需求越来越大，机械制造业面临着新的发展机遇和挑战。

2010 年机械工业增加值占全国 GDP 的比重已超过 9%；在全国工业中的比重从 16.6% 提高到 20.3%；规模以上企业已达 10 万多家，比“十五”末增加了近 5 万家，从业人员数达到 1752 万人，资产总额已达到 10.4 万亿元，比“十五”末翻了一番。2009 年，我国机械工业销售额达到 1.5 万亿美元，超过日本的 1.2 万亿美元和美国的 1 万亿美元，跃居世界第一，成为全球机械制造第一大国。但是，中国的制造业大而不强，仍然是一个制造技术水平较低的国家。与工业发达国家相比，我国机械制造业的水平还存在明显的差距，主要表现为产品质量和技术水平不高，自主知识产权的产品少，而且制造技术落后，基础零部件和基础工艺不过关，技术创新能力落后，制造业的劳动生产率低，市场竞争力不强，产业主体技术仍然依赖国外，产品开发能力和科技投入不足，装备制造业缺乏核心技术，低水平的生产能力过剩，高水平的生产能力不足等。由于产品结构和生产技术相对落后，致使我国许多高精尖设备和成套设备仍需要大量进口，我国机械制造业人均产值仅为发达国家的几十分之一。

我国基本上承担了国际分工中的劳动密集部分，还不是世界制造业的中心。当今，制造业的世界格局中欧、亚、美三分天下的局面已经形成，制造业的产品结构、生产模式也在迅速变革之中。所有这些又给我国的机械工业带来了难得的发展机遇。挑战与机遇并存，我们