



教育部高职高专规划教材



机械基础

第二版

曾宗福 主编

Chemical Industry Press

 化学工业出版社

教育部高职高专规划教材

机 械 基 础

第 二 版

曾宗福 主编

邹茜茜 杨印安 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书根据教育部制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》，以及教学改革发展的要求和当前高职院校学生的实际，重新做了较大幅度的修订。本书突出了高等职业教育的特点，反映了编者多年的教学经验，并采用当前最新国家标准。本书基本理论以“必需”和“够用”为度，突出应用性，强化培养学生分析问题和解决问题的能力，以期达到培养高等技术应用性专门人才之目的。此外，为了便于学生熟悉专业英语词汇，在本书第一次出现专有名词时，力求注出相应的英语词汇。全书主要包括：绪论、静力学基础知识、力矩和力偶、力系基础知识、平面力系；材料力学概论、构件的内力分析、构件的应力和强度、构件的变形和刚度；钢和铸铁、非铁金属材料、非金属材料、新型工程材料；平面机构的自由度、平面四连杆机构、凸轮机构、间歇运动机构、齿轮机构、齿轮系；联接、挠性件传动、轴、轴承、联轴器和离合器；支承和导轨、弹性元件、示数装置。每章后均附有本章小结、思考题和习题。

本书可作为高职高专院校三年制、二年制及（初中后）五年制化工类、电气电子类、工业自动化类、热能类、精密机械及仪器类、经济管理类等各专业及其他非机械类各专业的教学用书，也可供成人高校、中专相应专业选用，还可供有关工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械基础/曾宗福主编. —2 版. —北京：化学工业出版社，2007.4

教育部高职高专规划教材

ISBN 978-7-122-00118-4

I. 机… II. 曾… III. 机械学-高等学校：技术学院-教材 IV. TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 036664 号

责任编辑：高 钰

文字编辑：项 激

责任校对：陶燕华

装帧设计：郑小红

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 479 千字 2007 年 5 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：28.00 元

版权所有 违者必究

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

第二版前言

本书是在总结第一版使用经验的基础上修订的,根据几年来各院校的使用情况,特别是近几年来高职院校学生基础知识的实际,对原书的内容做了进一步的精选和更新,删去了一些偏难而对非机械类专业人员在实际工作中又很少用到的内容。第二版修订的原则是:以继承为主,既保持原版本的特色和风格,又考虑“拓宽基础,加强素质教育和能力培养”等新的教改精神,对全书内容进行整体优化与整合,总体上降低了难度,以增强教材的适应性。

这次修订,主要进行了以下几项工作:

1. 使全书整体风格进一步统一,进一步突出应用性;原书中叙述详略不当之处进行必要的删减或补充;文字进一步推敲和润色;精选“三基”内容,合理处理传统教学内容与现代教学内容的关系,淡化公式的演绎与推导,尽量避免重复;各章后面全部补齐了习题,其中包括培养学生论文写作能力的写小论文的习题。

2. 改革教材内容,以培养学生学习能力、思维能力为主线。例如第一篇静力学和第二篇材料力学,在内容编排上,打破了传统的编写顺序,重新有机组合,使力学概念由易到难,逐步深入,更加符合学生对新知识、新概念(如力学概念)的认识规律,更加有利于学生对力学概念的理解和对力学知识的掌握,也有利于培养学生的科学思维能力。

3. 适当扩大知识面,增加了反映当代科学和技术成果的内容。例如工程材料部分,增加表面强化新技术、工业陶瓷、新型工程材料等新内容;常用机械零部件部分,增加直齿条和直齿圆柱内齿轮概念,新增在自动机械中应用更多的凸轮式间歇运动机构;精密机械及仪器常用零部件部分,增加标准直线轴承和导轨等。

4. 适当降低学习难度。例如,静力学部分删除了公理五;材料力学部分弯矩图中删除了有二次曲线的例题和习题;常用机构部分,不再要求“机构运动简图绘制”,仅要求看懂简图,删除不完全齿轮机构、渐开线齿轮的加工原理及变位齿轮的概念、普通减速器、混合齿轮系传动比计算等节,删除从动杆“余弦加速度运动规律”、移动凸轮轮廓曲线设计及设计凸轮轮廓曲线时应注意的问题,删除各章难度较大的例题和习题,另补充难度适宜的例题和习题。

5. 删繁就简。例如,常用机械零部件部分,轴、滚动轴承做较大调整,各编成一节。

6. 材料的标准和标准机械零件的标准,一律采用当前最新的国家标准。

7. 更正了第一版中文字、图、表及计算中的疏漏和印刷错误。

本书带“*”的章节为选学内容或延伸内容,使用时可酌情取舍。

参加本次修订工作的有:曾宗福(绪论,第十一章第六节,第十七、十九、二十章,第六篇),朱红雨(第一、二篇),邹茜茜(第九、十章,第十一章第一、二、三、四、五、七节),陆文灿(第十二、十五、十六章),涂杰(第十三、十四章),杨印安(第十八章),孙笪忠(第二十一章)。全书由曾宗福担任主编,邹茜茜、杨印安担任副主编。

本书虽经修订,但由于编者水平有限,加之时间所限,不妥之处殷切希望广大师生和读者对本书提出批评指正和改进意见。

编 者

2007年1月

第一版前言

高等职业技术教育在我国兴起于 20 世纪 80 年代初,现在已如雨后春笋,在全国各地蓬勃发展起来。高等职业技术教育是我国高等教育改革和发展的新生事物,是我国高等教育不可缺少的重要组成部分。为了适应 21 世纪高等职业技术教育的发展需要,特别是适应我国加入 WTO 后的新形势,更好地满足当前高职高专教学工作的需要,在有关部门的大力支持下,由部分职业技术学院的教师编写了这本高职高专非机械类专业的《机械基础》教材。

本教材适用于高职高专教育非机械类各专业,如高分子材料加工成型工艺、工业企业电气化、制冷与空调、电子技术应用、工业自动化及仪表、精密机械及仪器等专业及其他非机械类专业。本教材也可作为职工大学、夜大学、函授大学等专科层次的非机械类各专业的教学用书。

高等职业技术教育是与经济建设和社会发展关系最为密切的高等教育,也是与传统的学科型的高等教育不同的另一种类型的新型高等教育。高等职业技术教育的目标是“培养拥护党的基本路线,适应生产、建设、管理、服务第一线需要的,德、智、体、美等方面全面发展的高等技术应用性专门人才。”因此,本教材内容的编写,以应用为目的,以“必须、够用”为度,体现高等职业技术教育的特色,注意与生产实践相结合;同时要适当扩大学生的知识面,注意与人文素质教育相结合,并为学生的继续教育和终身教育打下一定的基础。此外,为了便于学生熟悉专业英语词汇,在本书第一次出现专有名词时,力求注出相应的英文词汇。

本书编写人员及分工如下:绪论,第五、六、七、十、十一章,第十二章第三节,第十七章,第十九章第二、四、五节,第二十二、二十三章由曾宗福副教授、高级工程师编写;第一、二、二十一章由孙成通副教授编写;第三、四、十六、二十四章由于宗保副教授编写;第八、九、十四章由张云新副教授、高级工程师编写;第十二章第一、二、四节,第十九章第一、三节,第二十章由蔡书成讲师编写;第十三章由贲可存硕士编写;第十五、十八章由杨印安讲师、工程师编写。全书由曾宗福担任主编并最后定稿,于宗保、张云新担任副主编。

本书由尹洪福副教授、高级工程师担任主审,参加审稿工作的还有陈志良副教授、陆本权副教授以及谷京云同志。他们认真仔细地审阅了全部书稿,并提出了许多宝贵的意见和好的建议。对此,我们表示衷心感谢。

本书的编写工作,始终得到了各有关院校的大力支持,在此谨向他们致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限,加之时间仓促,书中难免有不妥之处,诚望专家、同仁和广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1	方法	2
第一节 引言	1	第三节 机械科学发展简史	3
第二节 学习《机械基础》课程的目的和			

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基础知识	6	第二节 约束和约束反力	15
第一节 力的概念	6	第三节 研究对象及其受力图	18
第二节 静力学公理	7	第四章 平面力系	21
第二章 力矩和力偶	11	第一节 平面汇交力系	21
第一节 力对点之矩	11	第二节 平面力偶系	25
第二节 力偶及其性质	13	第三节 平面一般力系	26
第三章 力系基础知识	15	第四节 考虑摩擦时的平衡问题	30
第一节 力的平移定理	15		

第二篇 材 料 力 学

第五章 材料力学概论	37	第三节 杆件横截面上的切应力	57
第一节 概述	37	第四节 材料在拉伸与压缩时的力学性能	59
第二节 杆件变形的的基本形式	39	第五节 构件的强度计算	63
第六章 构件的内力分析	42	第八章 构件的变形和刚度	79
第一节 构件的内力和截面法	42	第一节 杆件拉伸与压缩时的轴向变形	79
第二节 杆件的内力和内力图	43	第二节 杆件剪切时的变形	82
第七章 构件的应力和强度	53	第三节 圆轴扭转时的变形和刚度条件	82
第一节 应力的概念	53	* 第四节 梁弯曲时的变形和刚度条件	84
第二节 杆件横截面上的正应力	53		

第三篇 工 程 材 料

第九章 钢和铸铁	88	第四节 金属零件的表面精饰	102
第一节 金属材料的工程性能	88	第十一章 非金属材料	106
第二节 钢的热处理	89	第一节 高分子材料	106
第三节 钢的分类与发展趋势	90	第二节 常用工程塑料	107
第四节 结构钢	92	第三节 橡胶材料	109
第五节 工具钢	94	第四节 工业陶瓷材料	110
第六节 特殊性能钢	94	第五节 粉末冶金材料	111
第七节 铸铁	95	第六节 矿物材料	112
第十章 非铁金属材料	98	第七节 复合材料	114
第一节 铝及铝合金	98	* 第十二章 新型工程材料	117
第二节 铜及铜合金	99	第一节 新型结构材料	117
第三节 轴承合金	101	第二节 新型功能材料	118

第三节 高分子功能材料	122	第四节 纳米材料	123
-------------------	-----	----------------	-----

第四篇 常用机构

第十三章 平面机构的自由度	128	第三节 凸轮式间歇运动机构	158
第一节 平面机构的组成	128	第十七章 齿轮机构	161
第二节 平面机构运动简图	129	第一节 概述	161
第三节 平面机构的自由度	131	第二节 渐开线及渐开线齿轮	163
第四节 计算平面机构自由度时的注意 事项	133	第三节 渐开线齿轮的各部分名称及标准 直齿圆柱齿轮的几何尺寸计算	165
第十四章 平面四连杆机构	138	第四节 一对渐开线直齿圆柱齿轮的啮合 传动	171
第一节 平面四连杆机构的类型及其应用	138	第五节 齿轮机构的回差	172
第二节 铰链四杆机构的基本性质	143	第六节 斜齿圆柱齿轮机构	174
第十五章 凸轮机构	148	第七节 直齿圆锥齿轮机构	178
第一节 概述	148	第八节 蜗杆蜗轮机构	180
第二节 常用的从动杆运动规律	149	第十八章 齿轮系	185
第三节 移动从动杆盘形凸轮轮廓曲线的 图解法设计	151	第一节 概述	185
第十六章 间歇运动机构	154	第二节 定轴齿轮系的传动比	186
第一节 棘轮机构	154	第三节 行星齿轮系的传动比	188
第二节 槽轮机构	157	第四节 齿轮系的功用	190

第五篇 常用机械零部件

第十九章 联接	194	第三节 带传动的张紧、安装和维护	218
第一节 键联接	195	第四节 套筒滚子链传动	218
第二节 销联接	198	第五节 链传动的失效形式、布置和润滑	221
第三节 螺纹联接	199	第二十一章 轴、轴承、联轴器和 离合器	224
第四节 螺栓联接的强度计算	203	第一节 轴	224
第五节 仪器仪表零件的联接	206	第二节 滑动轴承	228
第二十章 挠性件传动	213	第三节 滚动轴承	231
第一节 带传动的理论基础	213	第四节 联轴器和离合器	237
第二节 普通 V 带标准和普通 V 带轮	216		

第六篇 精密机械和仪器中常用零部件

第二十二章 支承和导轨	243	第三节 圆柱螺旋弹簧	258
第一节 圆柱支承	244	第四节 片簧和热双金属片簧	259
第二节 圆锥支承	246	第五节 游丝和张丝	261
第三节 轴尖支承	247	第六节 膜片和膜盒	263
第四节 其他滑动支承	248	第七节 波纹管 and 弹簧管	265
第五节 滚动摩擦支承	250	第二十四章 示数装置	268
第六节 导轨	253	第一节 概述	268
第二十三章 弹性元件	255	第二节 标尺指针示数装置	269
第一节 概述	255	第三节 示数装置的误差和精读	273
第二节 弹性元件常用材料	257	第四节 数字显示装置	276

参考文献	278
------------	-----

绪 论

第一节 引 言

马克思主义认为,物质资料的生产,是人类赖以生存和发展的基础。在古代,人类通过长期的生产实践活动,创造了各种劳动工具和机械,增强了同大自然斗争的能力,发展了生产,推动了社会进步。自18世纪60年代英国工业革命以来,世界各国都先后大量采用机器生产,生产力得到了迅速发展。现代化的机器生产,是生产高度发展的重要标志。

一、机器在社会主义现代化建设中的作用

我国经过50多年的恢复和发展,已经建立起了包括机械工业在内的门类齐全的现代工业体系。党的十一届三中全会以来,党中央提出“把全党工作的着重点和全国人民的注意力转移到社会主义现代化建设上来”,提出实现社会主义现代化建设分三步走的战略目标。实现四个现代化,就是大量采用先进技术,广泛使用高效能的现代化机器和设备,实现生产过程的机械化和自动化,大大提高劳动生产率和产品质量,大大促进国民经济的发展。到2000年,我国已经实现了社会主义现代化建设的前两个战略目标。我国已经能制造各行各业以及国防和科学研究所需要的各种机械装备,如汽车、飞机、万吨巨轮、火车机车,各种机床、各种机械、工业机器人;在世界屋脊修建了铁路;还在多个城市设计建造地下铁路;建造了原子能发电站;拥有自己的“两弹一星”,神舟五号、六号载人飞船遨游太空并顺利返回等。如果没有我国机械工业的雄厚实力,所有这些成就都是不可能取得的。

广泛使用机器进行大批量生产,并对生产进行严格的分工与科学管理,有利于实现产品的标准化、系列化和通用化,有利于实现生产的高度机械化、电气化和自动化;有利于进一步促进国民经济的繁荣,并增强综合国力;也有利于逐步消除脑力劳动和体力劳动之间的差别、城市和乡村之间的差别。现代化生产和科学技术的日益发展,无论在产品的品种上、数量上和质量上,都对机器提出了更新更高的要求,同时也为机械工业的发展创造了更好的条件,开辟了更广阔的途径。简而言之,机械工业能够起到为国民经济各部门、为国防和科学研究提供技术装备和促进技术改造的重要作用,从而为实现我国工业、农业、国防和科学技术现代化提供重要的保证。因此,从某种意义上说,机械工业是促进国民经济发展和全面建设小康社会的基础,将为我国实现社会主义现代化做出重要贡献。

二、《机械基础》课程研究的内容

《机械基础》课程研究的内容包括六大部分。

第一篇 静力学 静力学研究物体在力作用下处于平衡的问题,即根据力系平衡条件分析平衡物体的受力情况,确定各力的大小和方向,是构件的强度、刚度、稳定性计算的基础。

第二篇 材料力学 材料力学为机械的零件、部件,选定合理的材料、截面形状和尺寸,以达到既安全又经济的目的,提供理论基础。

第三篇 工程材料 工程材料主要介绍常用的钢和铸铁材料、非铁金属材料和非金属材料的性能,它将有有助于我们正确、合理地选择工程材料。

第四篇 常用机构 了解机器中常用的机构,是认识、设计机器和机构的第一步。

第五篇 常用机械零部件 学习机械零(部)件是正确设计零件、改进零(部)件、选用

标准零部件的基础。

第六篇 精密机械仪器仪表常用零部件 本篇介绍在精密机械和仪器仪表中常用的专用零部件的结构特点、常用材料等基础知识。

工程上,设计一台机器的一般程序大致如下:第一,将构件按照机构的组成原理组成(设计成)机构(可以是一个或多个);第二,分析各构件的运动情况及构件在外力作用下的平衡问题;第三,分析构件在外力作用下的内力及变形问题;第四,确定构件(零件)的形状、具体结构及几何尺寸,与此同时合理地选择构件(零件)的材料、热处理及制造工艺;最后绘制零件图,待加工。由此可以看出,本课程所研究的基本内容,都是机械工程方面的基础知识,在工程技术中,它们是一个不可分割的整体。

第二节 学习《机械基础》课程的目的和方法

《机械基础》是非机械类专业的一门重要的专业基础课,与已经学习过的《高等数学》、《大学物理》等基础课程有一定的联系,是应用已学过的知识、方法,去研究新的问题,特别是工程实际问题。但这不是简单的套搬或引申,而是有自己的基本理论和体系的。《机械制图》课是本课程的先修课,读者应具有相应的读图能力和绘制简单机械图样的能力。此外,《金工实习》课也为本课程的学习创造了一定的条件,使读者对机械有了必要的感性认识。

一、学习《机械基础》课程的目的

对于非机械类专业的学生来说,学习《机械基础》课程非常必要,主要有三个方面的目的。

一是为学习专业课奠定基础,为从事专业工作创造必要的条件。众所周知,各行各业都离不开机器。例如,制冷与空调设备中有压缩机和其他机构,电气设备、精密机械、工业自动化装置和仪器仪表都是由不同的机构组成的。具有必要的机械基础知识,将有助于学生更好地学习和掌握专业课中的相关内容,有助于学好专业课。

二是学习《机械基础》课程,有助于培养学生的科学思维方法,提高分析问题和解决问题的能力,也就是提高学生的综合素质。例如,在研究力学问题时,是将实践中得到的力学数据,利用抽象化的方法进行分析、归纳、综合,得到最普遍的公理或定理,再通过严格的数学演绎和推理,得到工程上需要的力学计算式。在解决一般静力学和材料力学问题时的思路,都是先把所研究的问题抽象为力学模型,再根据力学量的数量关系建立方程,然后求解。因此,在学习静力学和材料力学的过程中,学生在学习力学知识的同时,还可以学到解决各种问题时所需要的逻辑思维方法,这往往比学到的力学知识本身更加重要。本课程后三部分内容的特点是实践性强,非常贴近生产实际。在应用所学习的理论知识去解决生产中的实际问题时,不能照搬照套,而必须具体情况具体分析,这就是理论联系实际。其中需要严密的逻辑思维、推理和判断。这个过程就是培养学生分析问题和解决问题能力的过程,也是培养学生严谨的工作作风的过程,是素质教育的根本所在。

三是掌握必要的机械方面的基础知识,是在生产第一线工作的优秀技术人员和管理人员所必需具备的条件。在科学技术高速发展的今天,促使各工业部门之间的技术交融,促进技术人员和生产管理人员知识结构的交融,已刻不容缓,各专业之间知识的联系也愈来愈密切。因此,对于生产和管理第一线的高素质非机械类专业的实用型技术人员和管理人员来说,具备一定的机械方面的知识,将有助于技术人员更好地使用、维护生产设备,提高产品的质量和产量,也有助于生产管理人员更有效地实施生产管理,他们才有可能成为优秀的工程技术人员和管理人员,也才有可能在所从事的工作中大有作为。

二、学习《机械基础》课程的方法

鉴于《机械基础》课程的特点，我们在学习本课程时，首先，要用辩证唯物主义的观点和方法认真理解课程的基本概念、基本公式（定律）和基本方法，并通过例题、思考题和习题予以巩固，以掌握基本的分析问题和解决问题的方法，提高分析问题和解决问题的能力及基本运算的能力。其次，在学习过程中，还要注意在学习本课程的同时，适时复习先修课程的相关内容，同时，还要适时复习本课程已学过的相关内容，使整个学习内容前后融会贯通。最后，要善于做好学习内容的阶段总结，对学习内容进行总结的过程，就是将厚书变成薄书的过程，更是复习、归纳、提高的过程。

第三节 机械科学发展简史

[阅读材料]

马克思主义认为“社会发展史首先便是生产发展史，数千百年来新陈代谢的生产方式发展史，生产力和人们生产关系的发展史”。^①邓小平同志指出，“科学技术是第一生产力。”科学技术的发展推动了生产力的发展，而机械科学及制造技术的产生和发展，与社会生产力和社会文明的发展有着密切联系。

从古猿到原始人类，石器一直是主要的工具，即石器时代。之后，古人类为了生存和发展，开始创造了一些原始的简单机械，并开始研究一些简单的力学问题，这便是古典力学的萌芽。例如，在古希腊、古罗马、古埃及时期，人们就已经知道应用杠杆、斜面、绞盘、滑车、滚筒等简单的机械来从事运输和建筑。古希腊哲学家亚里士多德（公元前 385 年～前 322 年）还研究过杠杆平衡问题。古希腊科学家阿基米德（公元前 287 年～前 212 年）在《比重论》中，总结了前人一千多年间积累起来的静力学知识，建立了有关杠杆平衡、重心、流体中浮体的平衡等问题，奠定了静力学的基础。

中华民族有着六千多年的悠久历史。据考古发现，在六七千年前，浙江省河姆渡遗址中就有木结构的建筑遗迹；在新石器时代晚期就开始使用天然金属，4000 多年前我们的祖先就已经开始使用天然存在的纯铜。殷商时代青铜冶炼与铸造技术已有较高的水平，人们用青铜制作各种工具、器皿、兵器和装饰品，并创造出了灿烂的青铜文化。铁器时代是人类极为重要的时代。我国出土的公元前 3000 年甘肃东乡马家窑文化的青铜刀（含 Sn 6%~10%），是我国迄今为止发现的最早的青铜器。春秋时期（公元前 770 年～前 476 年）开始，我国发明了冶铁技术，并开始大量使用铸铁制造农具，促进了农业的发展，同时还大量用于制造军事装备，比欧洲要早 1800 多年。

早在西周时期（约公元前 1066 年～前 771 年），我国就已应用绳索来带动纺车，这是最早的带传动，比西方早 2000 多年。还有应用杠杆原理的踏碓和桔槔，应用差动原理的起重辘轳，应用将转动变为直动的连杆机构的水排，这些都比西方早得多。在叙述我国古代伟大学者墨子（公元前 480 年～前 420 年）及其学说的著作《墨子》中，就有一部分涉及力学问题，他对于力的定义及杠杆平衡问题，提出了正确的见解，比亚里士多德要早几十年，比阿基米德早近 200 年。

据考古发现，西安秦陵出土的青铜马车，零件多达 3000 多个，并已有变截面的辐条、车轴和加强筋等结构，说明早在秦代（公元前 221 年～前 207 年）对零件的受力、强度、刚度、结构及制造工艺等问题的研究以及金属冶炼技术，已达到相当的水平。最早关于齿轮的记载是公元前 152 年，我国 20 世纪 50 年代还出土了秦代的金属铸造的人字齿轮，而西方采用人字齿

① 斯大林：《辩证唯物主义与历史唯物主义》，载《列宁主义问题》，人民出版社，1953 年版，第 802 页。

轮还是近百余年的事。公元纪元初年（汉朝），我国已有利用定轴齿轮系的指南车。东汉时期经学家郑玄（公元 127 年～200 年）首先发现了弹性定律，英国人虎克（Robert Hooke, 1635～1703 年）在 1678 年才发现此定律。晋朝（公元 265～420 年）时，应用齿轮系原理发明了记里鼓车。在建筑方面，我国古代人民充分发挥了创造性和独特的建筑风格，现在还存在的宏伟的古建筑足以证明这点。隋朝伟大工匠李春（公元 581～681 年）主持建造的赵州桥（即今河北省赵县洨河上的安济桥），是一座无墩单孔拱形石桥，全长 50.82m，宽 9.6m，大拱跨度 37.4m，桥高 7.23m，设计巧妙，受载合理，它不仅发挥了石料的抗压性能，而且有美观的外形，它比世界上同类型的石桥要早 1200 多年。山西省应县的宋代木塔，高达 66.49m，位于强烈地震带，具有优良的抗震性能。1305 年（元代）曾经受 6.5 级大地震，附近的民房坍塌净尽，而木塔仍完整存在至今。这些建筑表明，我国在当时对构件的受力、变形、材料的性能等都有较深的研究。北宋（公元 960～1127 年）科学家沈括（1031～1095 年）所著《梦溪笔谈》中记载有一个“自动木人抓老鼠”的故事，这实为我国古代对机器人的研究。

在青铜器时代，已经出现了金属切削加工的萌芽。元代（1206～1368 年）大科学家郭守敬（1231～1316 年），为了编制历书，创造了简仪、候极仪等 13 种当时较精密的天象观测仪器，组织了当时最大规模的天文测量工作，他和王恂编制的《授时历》实行长达 400 余年之久，他所采用的回归年长为 365.24258 天，与现代公历基本相同。明代已经具有多种简易的切削加工设备，1668 年曾经应用大直径的嵌齿铣刀，由牲畜带动旋转，用以加工天文仪器上的铜环。明代的机械科学家王征著的《诸器图说》和《远西奇器图说》是我国机械科学最早的专著；宋应星（1587～1661 年）的《天工开物》一书，是总结我国农业和手工业制造技术的重要科学文献，其中有钢铁及非铁金属的生产技术和热处理技术，如冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种工艺技术及方法，它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一。

总之，我国直到 17 世纪（明朝），生产力的发达程度一直处于世界的领先地位，我国在材料的生产和使用、机械制造技术已有相当大的成就，我国机械科学的水平也一直在欧洲之上，并一直处于世界领先地位。

欧洲从 15 世纪文艺复兴之后，商业资本开始发达，手工业、航海业和军事工业都得到了空前的发展。意大利科学家达·芬奇（Leonardo da Vinci, 1452～1519 年）曾在数学、刚体力学、机械学、建筑工程、水利工程等方面做了许多研究，并有不少创造和发明。伽利略（Galileo, Galilei, 1564～1642 年）对刚体力学进行了深入研究，开始建立动力学基本定律。英国科学家牛顿（Isaac Newton, 1642～1727 年）总结了前辈的成就，于 1687 年提出了动力学的三条基本定律，从而奠定了古典力学的基础。达·芬奇和伽利略还对很多结构和材料的强度、刚度问题进行过实验研究和理论分析，标志着材料力学这门学科的开始，但是直到 19 世纪末，才形成一门独立的学科。

英国发明家瓦特（James Watt, 1736～1819 年）发明的蒸汽机，促使欧洲发生了工业革命，大大推动了机械科学的发展。

瓦特的蒸汽机经过一系列改进，在棉纺织业、食品加工业、木器加工工业等行业得到应用，带动了钢铁工业、机械制造业的发展。1806 年，美国发明家富尔顿在纽约建造了第一艘蒸汽轮船“克勒蒙特号”。1814 年，英国建造了世界上第一台可使用的蒸汽机车。1829 年，世界上出现了第一台渐开线齿轮插齿机，解决了大批量生产齿轮的问题，促进了各行各业的发展。1908 年 3 月 19 日，亨利·福特推出了首批 T 型车，并使大多数的机床实现了自动化。到 20 世纪初，机械学逐渐发展成为一门完整的科学。1961 年世界上第一台工业机器人的诞生，显示了它强盛的生命力。进入 21 世纪以来，随着电子、信息等高新技术的不断发展，现代制造技术信息化、设计技术现代化、精密制造、成型制造和绿色制造是制造技术的发展方向。

20 世纪以来,西方各国由于经济、军事、科技的飞速发展,向机械科学提出了许多新的问题和要求,促使机械科学又出现了许多新的分支,一些边缘学科(交叉学科)相继产生。物理学家爱因斯坦(Albert Einstein, 1879~1955 年)创立了相对论,否定了绝对空间和绝对时间的概念,为科学的进一步发展做出了划时代的贡献。

但这个时期的中国,由于清朝政府闭关锁国的政策,束缚了生产力的发展和科学技术的进步,经济十分落后。自 1840 年鸦片战争以来,我国逐渐沦为半殖民地半封建社会,根本谈不上自己的科学技术,更没有自己独立的机械制造业。

中华人民共和国成立以来,我国的科学技术事业和国民经济建设都进入了一个崭新的历史时期。我国建立起了完整的科学研究体系和门类齐全的现代工业体系,机械制造业也得到了空前的发展,现代化建设成就日新月异。国产的汽车随处可见,国产的火车奔驰在祖国大地,国产的飞机在祖国的蓝天上翱翔,国产的舰艇巡逻在祖国的海疆,打着“中国制造”字样的巨轮正驶向世界各地,几十座大桥横跨长江黄河将“天堑变通途”,成功爆炸了原子弹和氢弹,发射了几十颗人造卫星为民造福,两艘载人宇宙飞船遨游太空并返回地面,原子能电站安全运行,世界瞩目的长江三峡水电站已经输电等。

我国机械制造业的飞速发展,为国民经济的高速、持续、稳步发展,提供了可靠的保证和坚实的基础。我国的国际地位日益提高,综合国力进一步增强,1997 年 7 月 1 日和 1999 年 12 月 20 日先后顺利完成了香港和澳门回归祖国的伟大事业。2000 年我国国内生产总值(GDP)为 89404 亿元(按当时汇率计算突破 1 万亿美元),比上年增长 8.0%^①,实现了社会主义现代化建设的前两个战略目标,人民生活总体达到小康水平;2003 年我国国内生产总值达到 116694 亿元^②,人均突破 1000 美元,2006 年国内生产总值 209407 亿元,比上年增长 10.7%^③,跨上了一个新的台阶。

历史和现实告诉我们:没有高度人文素质的民族,将丧失民族精神,必然亡国;没有高度科学技术的民族,是愚昧的民族,必然落后挨打。我们坚信,在党的十六大精神的鼓舞下,在党中央的正确领导下,我们一定能把伟大的祖国建设成为富强、民主、文明的社会主义现代化国家。

① 国家统计局. 2000 年国民经济和社会发展统计公报 [OL]. (2001-03-31). <http://www.stats.gov.cn/tjgb>

② 国家统计局. 2003 年国民经济和社会发展统计公报 [OL]. (2004-02-26). <http://www.stats.gov.cn/tjgb>

③ 国家统计局. 2006 年国民经济和社会发展统计公报 [OL]. (2007-02-28). <http://www.stats.gov.cn/tjgb>

第一篇 静 力 学

静力学是研究刚体在力系 (system force) 作用下平衡规律的科学。

刚体，就是在任何外力作用下，大小和形状始终保持不变的物体。事实上，刚体是不存在的，它是一种抽象的力学模型。静力学的研究对象是刚体。力系是指作用于物体上的一群力。平衡 (balance)，是指物体相对于惯性参考系保持静止或做匀速直线运动的状态。“平衡”和“运动”都是物体的运动状态，是相对的。若物体处于平衡状态，则作用于物体上的力系必须满足一定的条件，这些条件称为力系的平衡条件。在研究一个复杂的力系对物体的作用效应时，常需将一个复杂的力系简化为一个简单的力系，而作用效应不变，称为力系的简化。若两个力系对物体的作用效应相同，则称此两力系为等效力系。

由上所述可知，静力学研究的主要问题是：受力分析；简化力系；建立物体在各种力系作用下的平衡条件等内容。

第一章 静力学基础知识

静力学的基本概念是从长期的生产实践和科学实验中总结概括而得来的，它们是研究力系简化和平衡问题的基础，也是工程力学的基础部分。本章主要研究力的基本概念和静力学公理。

第一节 力的概念

力 (force) 的概念是人们在生产和生活实践中，通过反复的实践、观察和分析逐渐形成的。例如，用手推小车，小车就由静止开始运动；受到地球引力作用自高空落下的物体，速度越来越大；锻压加工时，工件受到锻锤的打击而产生变形；挑担时肩膀感觉受到压力的作用，同时扁担发生弯曲变形等。

一、力的定义

力是物体间的相互机械作用。这种作用的结果使物体的机械运动状态发生改变，或使物体的形状发生改变，即物体受力后产生两种效应。

(一) 力的外效应

力的外效应即力改变物体的机械运动状态，又称运动效应。如机床的启动；行驶的汽车刹车时，摩擦力使它停止下来等。力的外效应是静力学研究的内容。

(二) 力的内效应

力的内效应即力使物体产生变形，又称变形效应。如弹簧受力会伸长或缩短；起重机在起吊重物时，横梁会产生弯曲变形等。它属于第二篇材料力学的研究范畴。

应当指出，既然力是物体间的相互机械作用，因此力不能脱离物体而存在。力虽然看不见，但它的作用效应完全可以通过直接观察或感受到，也可用仪器测量出来。

二、力的表示法

实践证明，力对物体的效应取决于力的大小、方向和作用点，简称为力的三要素。力的三

要素表明：力是一个矢量（vector），它用一条具有方向的线段来表示，如图 1-1 所示。有向线段的起点（或终点）表示力的作用点，即力作用在物体上的部位；有向线段的方位和箭头指向表示力的方向，它包括力的作用线在空间的方位和力沿作用线的指向；线段的长度（按一定的比例尺）表示力的大小。在国际单位制中，力的单位是牛顿（N）或千牛顿（kN）。在静力学中，用黑体字母 $\mathbf{F}$ 表示力的矢量，而用普通字母 F 表示力的大小。

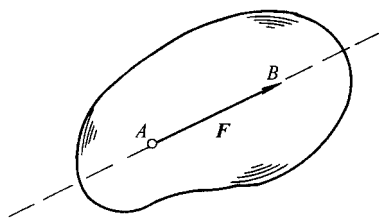


图 1-1 力的表示

三、力的类型

作用在物体上的力按其作用方式可分为两大类：体积力和表面力。连续分布在物体内部各点的力，称为体积力，如重力、磁力等；作用在物体边界上的力，称为表面力，如齿轮啮合力、水闸受到的压力等。

当力的作用面积很小时，可以简化为作用在一点上的一个力，称为集中力，如图 1-2(a) 所示，其表示和单位如前所述。当力的作用面积比较大时，称为分布力，体积力和表面力都可以简化为分布力。均质长杆的自重可以简化为作用在轴线的分布力，称为线分布力，其大小用分布力集度 $q(x)$ 来表示，即单位长度的力，如图 1-2(b) 所示，单位为千牛/米（kN/m）。 $q(x)$ 是常数时，称为均布力或均布载荷（homogenous distribution load），如图 1-2(c) 所示。显然，沿长度分布的均布载荷可用作用于分布范围中点的合力 $Q(=ql)$ 来代替。图 1-2(d) 所示的是水闸受到静水压力作用时线分布力的示意图。容器受内压力作用，内压力可以简化为面分布力，用 p 表示，如图 1-2(e) 所示，单位为牛顿/米²（N/m²）。

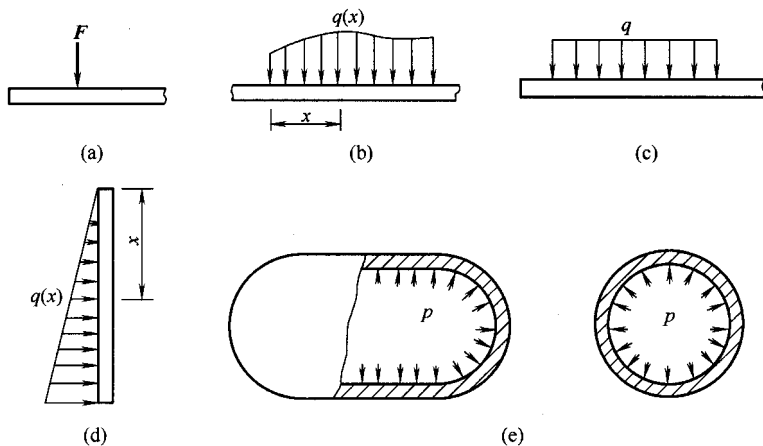


图 1-2 力的类型

第二节 静力学公理

公理（generally acknowledged truth），就是符合客观现实的真理。静力学公理是人类从反复实践中总结出来的，正确性已被人们所公认，它是静力学的基础。

公理一（二力平衡公理）

作用在刚体上的两个力，大小相等，方向相反，且作用在同一直线上，是刚体保持平衡的必要和充分条件。这一性质揭示了作用于刚体上最简单的力系平衡时所必需满足的条件。对于变形体来说，公理一给的只是必要条件，而不是充分条件。如图 1-3(c)、(d) 所示，软绳只能

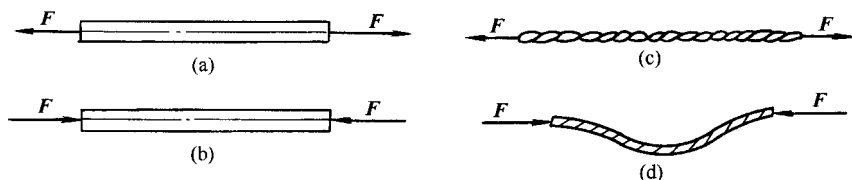


图 1-3 二力平衡条件

受拉力，不能受压力作用。

公理二（加减平衡力系公理）

在已知力系上加上或者减去任意一个平衡力系，不会改变原力系对刚体的效应。

推论一（力的可传性原理）

作用在刚体上某点的力，可以沿其作用线移向刚体内任一点，不会改变它对刚体的作用效应，如图 1-4 所示。

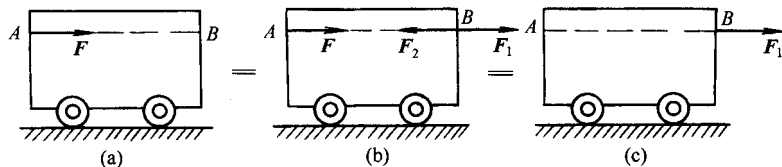


图 1-4 力的可传性

应当指出，加上或者减去一个平衡力系，或使力沿着作用线移动，不会改变力对物体的外效应，但会改变力对物体的内效应。对于变形杆件，沿杆的轴线受到两个大小相等、方向相反的力的作用，会伸长或缩短，这说明虽然变形体外效应未改变，但内效应却改变了。所以，公理二及推论一都只适用于刚体而不适用于变形体。

公理三（力的平行四边形法则）

作用于物体上某一点的两个力的合力（composite force），作用点也在该点，大小和方向由以这两个力为邻边所作的平行四边形的对角线确定。

如图 1-5 所示，力 F_1 、 F_2 汇交于 A 点，以 F_1 和 F_2 两力的力矢为平行四边形的两个边，作出平行四边形 ABCD，则对角线 AC 即表示合力 R 的大小和方向。用矢量式表示为：

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

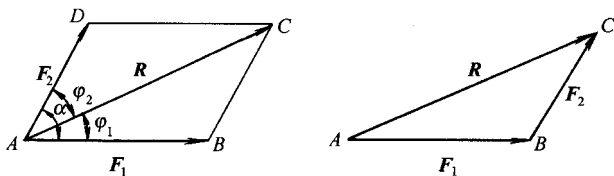


图 1-5 力的合成

已知 F_1 和 F_2 及其夹角 α ，可以利用几何关系求出合力 R 的大小和方向。合力的大小为

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha} \quad (1-2)$$

合力的方向可由下列二式之一确定

$$\sin\varphi_1 = \frac{F_2 \sin\alpha}{R}, \quad \sin\varphi_2 = \frac{F_1 \sin\alpha}{R} \quad (1-3)$$

应当注意, 式(1-1) 是矢量等式, 它与代数等式 $R=F_1+F_2$ 的意义完全不同。

推论二 (三力平衡汇交定理)

当刚体受同一平面内互不平行的三个力作用而平衡时, 此三力的作用线必汇交于一点。

证明 如图 1-6 所示, 处于平衡状态的刚体上 A 、 B 、 C 三点处, 分别作用着三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 , 它们的作用线都在平面 ABC 内, 但不平行。 F_1 与 F_2 的作用线交于 O 点, 根据力的可传性原理, 可将此二力分别移至 O 点, 则此二力的合力 R 必定在此平面内且通过 O 点, 而 R 必须与 F_3 平衡, 由公理一知 F_3 与 R 必共线, 所以, F_3 的作用线亦必通过力 F_1 、 F_2 的交点 O , 即三个力的作用线汇交于一点。

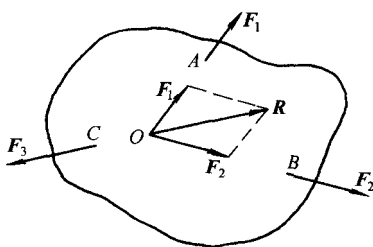


图 1-6 三力平衡汇交

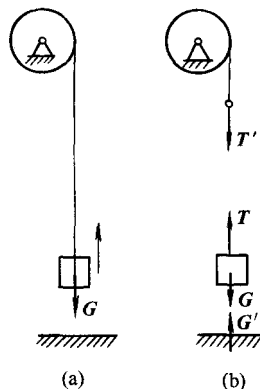


图 1-7 作用力与反作用力

公理四 (作用与反作用公理)

两个相互作用的物体上的力, 总是同时存在, 这两个力大小相等、方向相反, 沿同一直线分别作用在这两个物体上。这个公理概括了自然界中物体间相互作用的关系, 说明力永远是成对出现的, 有作用力就有反作用力。

必须注意, 作用力与反作用力是作用在两个物体上的, 而一对平衡力则是作用在同一物体上的, 不要把公理四与公理一混同起来。例如, 在图 1-7(a) 中用钢丝绳悬挂一重物, G 为重物所受的重力, T 为钢丝绳对重物的拉力, 它们都作用在重物上, 如图 1-7(b) 所示。所以, G 和 T 不是作用力和反作用力的关系, 而是一对平衡力。钢丝绳给重物拉力 T 的同时, 重物必给钢丝绳以反作用力 T' , T 作用在重物上, T' 作用在钢丝绳上, 因此, T 和 T' 是作用力和反作用力。同理, G 的反作用力是重物吸引地球的力 G' , 该力作用于地球上, 与力 G 大小相等、方向相反、沿同一直线。

本章小结

本章主要介绍了静力学的基本概念和公理, 是静力学的理论基础, 应认真理解。

(1) 力是物体之间的相互机械作用, 力使物体改变原来的运动状态 (外效应) 或形状 (内效应)。静力学只研究力的外效应。力的三要素是: 力的大小、方向及作用点。力分为集中力和分布力。

(2) 静力学公理揭示力的基本性质, 它是静力学的理论基础。二力平衡公理同作用与反作用公理中力的要素相同, 但力的作用对象不同。加减平衡力系公理是力系等效代换和简化的理论基础。三力平衡汇交定理是: 如果刚体受同一平面的三个相互不平行的力作用而处于平衡, 则这三个力必定汇交于一点。力是矢量, 它的合成和分解遵循平行四边形法则。