



教育部高职高专规划教材

机械基础

● 曾宗福 主编

 化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

机 械 基 础

曾宗福 主编

化 学 工 业 出 版 社
教 材 出 版 中 心
· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

机械基础/曾宗福主编. —北京: 化学工业出版社,
2002.12
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-4212-4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 109570 号

教育部高职高专规划教材

机 械 基 础

曾宗福 主编

责任编辑: 高 钰

文字编辑: 张燕文

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

北京市燕山印刷厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 18½ 字数 459 千字

2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4212-4/G·1101

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

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;第十三章由贾可存硕士编写;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

2002 年 9 月于南京

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,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性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性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

2001年4月3日

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	第三章 力矩与平面力偶	23
第一节 静力学的基本概念	6	第一节 力对点之矩	23
第二节 静力学公理	7	第二节 力偶及其性质	24
第三节 约束和约束反力	9	第三节 平面力偶系的合成与平衡	25
第四节 研究对象及其受力图	11	本章小结	26
本章小结	13	思考题	27
思考题	13	习题	27
习题	13	第四章 平面一般力系	29
第二章 平面汇交力系	15	第一节 平面一般力系向作用平面内任意	
第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法		点的简化	29
.....	15	第二节 平面一般力系的平衡	32
第二节 平面汇交力系合成与平衡的解析法		第三节 均布载荷和固定端约束	34
.....	18	第四节 考虑摩擦的平衡问题	35
本章小结	21	本章小结	39
思考题	21	思考题	40
习题	21	习题	40

第二篇 材 料 力 学

第五章 材料力学概论	42	第二节 挤压和挤压时的强度条件	65
第一节 概述	42	本章小结	67
第二节 杆件变形的的基本形式	44	思考题	68
第三节 内力、截面法和应力	44	习题	68
本章小结	46	第八章 扭转	70
思考题	46	第一节 外力偶矩和扭矩的计算与扭矩图	70
第六章 轴向拉伸与压缩	47	第二节 圆轴扭转时的应力	72
第一节 拉伸与压缩时横截面上的内力和		第三节 圆轴扭转时的强度条件	73
应力	47	第四节 圆轴扭转时的变形和刚度条件	75
第二节 拉伸与压缩时的强度计算	50	本章小结	77
第三节 材料在拉伸与压缩时的力学性能	53	思考题	77
第四节 杆件拉伸与压缩时的变形	57	习题	77
本章小结	59	第九章 弯曲	79
思考题	60	第一节 梁的类型及载荷简化	79
习题	60	第二节 梁弯曲时的内力	80
第七章 剪切和挤压	62	第三节 梁纯弯曲时的强度条件	84
第一节 剪切和剪切时的强度条件	62	第四节 提高梁强度的主要措施	87

第五节 梁弯曲时的变形和刚度条件	87	思考题	93
第六节 梁的组合变形	89	习题	93
本章小结	93		
第三篇 工程材料			
第十章 钢和铸铁	95	第三节 轴承合金	110
第一节 金属材料的工程性能	95	第四节 粉末冶金材料	110
第二节 钢的热处理	96	第五节 金属零件的表面精饰	111
第三节 钢的分类与发展趋势	97	本章小结	112
第四节 结构钢	99	思考题	113
第五节 工具钢	101	第十二章 非金属材料	114
第六节 特殊性能钢	102	第一节 高分子材料	114
第七节 铸铁	103	第二节 常用工程塑料	116
本章小结	104	第三节 橡胶材料	117
思考题	105	第四节 矿物材料	119
第十一章 非铁金属材料	106	第五节 复合材料	121
第一节 铝及铝合金	106	本章小结	122
第二节 铜及铜合金	107	思考题	122
第四篇 常用机构			
第十三章 平面机构的自由度	124	第三节 不完全齿轮机构	156
第一节 平面运动副	124	本章小结	157
第二节 平面机构运动简图	125	思考题	157
第三节 平面机构的自由度	127	第十七章 齿轮机构	159
第四节 计算平面机构自由度时的注意事项	129	第一节 概述	159
本章小结	132	第二节 渐开线及渐开线齿轮	161
思考题	132	第三节 渐开线标准直齿圆柱齿轮的基本参数和几何尺寸	163
习题	133	第四节 渐开线直齿圆柱齿轮的啮合传动	168
第十四章 平面四连杆机构	134	第五节 齿轮机构的回差	170
第一节 平面四连杆机构的类型	134	第六节 渐开线齿轮的加工原理及变位齿轮的概念	172
第二节 铰链四连杆机构的基本性质	138	第七节 斜齿圆柱齿轮机构	175
本章小结	141	第八节 直齿圆锥齿轮机构	179
思考题	142	第九节 蜗杆蜗轮机构	182
习题	142	本章小结	185
第十五章 凸轮机构	143	思考题	185
第一节 凸轮机构的应用与分类	143	习题	186
第二节 从动件的常用运动规律	144	第十八章 齿轮系和减速器	187
第三节 移动从动件盘形凸轮轮廓曲线的图解法设计	147	第一节 概述	187
本章小结	150	第二节 定轴齿轮系的传动比	188
思考题	150	第三节 行星齿轮系的传动比	190
习题	151	第四节 混合齿轮系的传动比	192
第十六章 间歇运动机构	152	第五节 齿轮系的功用	193
第一节 棘轮机构	152	第六节 普通减速器	195
第二节 槽轮机构	154	本章小结	197

思考题	198	习题	198
-----------	-----	----------	-----

第五篇 常用机械零件

第十九章 联接	201	本章小结	229
第一节 键联接	201	思考题	229
第二节 销联接	205	第二十一章 轴、轴承、联轴器和离合器	230
第三节 螺纹联接	206	第一节 轴的分类、材料及热处理	230
第四节 螺栓联接的强度计算	209	第二节 轴的结构	231
第五节 仪器仪表零件的联接	212	第三节 轴的强度计算	235
本章小结	216	第四节 滑动轴承	236
思考题	217	第五节 滚动轴承的类型和代号	239
习题	217	第六节 滚动轴承类型的选择	243
第二十章 挠性件传动	219	第七节 滚动轴承的受力分析和失效形式	245
第一节 带传动理论基础	219	第八节 联轴器和离合器	245
第二节 普通 V 带标准和 V 带轮	222	本章小结	249
第三节 带传动的张紧、安装和维护	224	思考题	250
第四节 套筒滚子链传动	225	习题	250
第五节 链传动的布置和润滑	227		

第六篇 精密机械及仪器的常用零件

第二十二章 支承	252	第五节 游丝和张丝	271
第一节 概述	252	第六节 膜片和膜盒	272
第二节 圆柱支承	253	第七节 波纹管 and 弹簧管	274
第三节 圆锥支承	255	本章小结	276
第四节 轴尖支承	256	思考题	276
第五节 顶针支承和球支承	258	第二十四章 示数装置	277
第六节 滚动摩擦支承	259	第一节 概述	277
本章小结	262	第二节 标尺指针示数装置	278
思考题	263	第三节 示数装置的误差和精读	282
第二十三章 弹性元件	264	第四节 数字显示装置	285
第一节 概述	264	本章小结	285
第二节 弹性元件的常用材料	266	思考题	286
第三节 圆柱螺旋弹簧	267	参考文献	287
第四节 片簧和热双金属片簧	268		

绪 论

第一节 引 言

一、机器在社会主义现代化建设中的作用

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本领，发展了生产力，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，是生产力高度发展的重要标志。

党的十一届三中全会以来，“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”，提出了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，大大地提高劳动生产率和产品质量，大大地促进国民经济的飞速发展。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。我国已经能制造国民经济各行各业以及国防和科学研究所需要的各种机械设备，国产的汽车和火车机车奔驰在祖国的大地，国产的飞机翱翔在祖国的蓝天，国产的舰艇巡逻在祖国的海疆，自行设计建造的原子能发电站正在源源不断地输送电力，我国还拥有自己的“两弹一星”，发射了宇宙飞船等。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；也有利于逐步消灭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，对于机器，无论在产品的品种上、数量上和质量上，都不断地提出了更高的要求，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，只有机械工业才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进步的重要作用，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实现四个现代化的基础，机械工业将为建设有中国特色的社会主义事业做出重要贡献。

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，确定各未知力的大小和方向，是构件工作能力计算的基础。

第二篇 材料力学 材料力学为机器和设备的零件、部件确定合理的材料、截面形状和尺寸，为达到既安全又经济的目的提供理论基础。

第三篇 工程材料 主要介绍常用的钢铁材料、非铁金属材料和非金属材料的性能，它

将有助于正确、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,是认识和设计机器与机构的第一步。

第五篇 常用机械零件 学习机械零件是正确设计零件、改进零件、选用(标准)零件的基础。

第六篇 精密机械仪器仪表常用零件 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,机器设计的一般程序大致如下:首先,将构件按照机构的组成原理组成机构;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,并合理地选择材料、热处理及制造工艺;最后,绘制零件工作图,待加工。由此可以看出,本课程所研究的内容,都是机械方面的基础知识,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

一、《机械基础》课程的性质

《机械基础》是非机械类专业的一门重要的专业基础课。它与已经学习过的《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,特别是工程上的实际问题,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。《机械制图》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》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。

二、《机械基础》课程的学习目的

对于非机械专业的学生来说,学习《机械基础》课程非常必要,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、工业自动化装置和许多仪器仪表都是由不同的机构组成的。具有必要的机械方面的基础知识,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,即提高学生的综合素质。例如,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,这对人的一生将有更重要的意义。本课程后三部分内容的特点是实践性很强,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,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须具备的条件。在科学技术高速发展的今天,促进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越来越密切。因此,对于高素质的第一线的非机械类专业的应用性技术人员和管理人员来说,具备一定的机械方面的基础知识,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

三、《机械基础》课程的学习方法

鉴于本课程的特点,我们在学习这门课程时,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;在学习本课程的后面内容的时候,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。只要这样做,就能有较大收获。

第三节 机械科学发展简史

(本节内容为阅读材料。)

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”。机械科学的产生和发展,都与社会生产力和文明的发展有着密切联系。

在古代,人类为了生存和发展,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,古希腊、古罗马、古埃及,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(Archimedes,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。

中华民族有着五千多年的悠久历史。考古发现,在六七千年前,浙江河姆渡遗址中就有木结构的建筑遗迹;六千年前的西安半坡人已经使用了草泥混合的复合材料;四千多年前我们的祖先就已经开始冶炼青铜,并创造出了灿烂的青铜文化。早在西周时期(约公元前1066年~前771年)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。春秋时期(公元前770年~前476年),我国发明了冶铁技术,开始用铸铁制造农具,比欧洲早1800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等,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。

进入漫长的封建社会后直到明朝,我国的机械科学已有相当大的成就,并造就了许多杰

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。

出的科学家。考古发现,西安秦(公元前221年~前207年)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,说明当时对零件的受力、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年代出土了秦代的金属铸造的人字齿轮,而西方采用人字齿轮,还是近百余年的事。公元纪年初年(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127~200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。我国古代人民充分发挥了创造性,在建筑方面具有独特的建筑风格,现在还存在的宏伟的古建筑足以证明这一点。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),是一座无墩单孔弧拱券形石桥,全长50.82m,宽9.6m,大拱跨度37.4m,桥高7.23m,设计巧妙,受力合理,它不仅发挥了石料的抗压性能,而且有美观的外形,是世界上有名的石拱桥,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。这都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,这实为我国古代人民对机器人的研究。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,才得以组织当时最大规模的天文测量工作,也才使他和王恂编制的《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。总之,直到17世纪,我国机械科学的水平一直在欧洲之上,并一直处于领先地位。

在西方,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(1452~1519年)曾在机械学、刚体力学等方面做了许多研究,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。

自英国发明家瓦特(James Watt, 1736~1819年)发明蒸汽机以来,促使欧洲发生了产业革命,大大推动了机械学的发展,在20世纪初,机械学形成了一门完整的学科。

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。伟大的物理学家爱因斯坦(Albert Einstein, 1879~1955年)还创立了相对论力学,否定了绝对空间和绝对时间的概念,为科学的发展做出了划时代的贡献。

我国长期的封建制度,尤其是清朝政府闭关锁国的政策,严重束缚了我国生产力的发展和科学技术的进步。1840年鸦片战争,清政府腐败无能,于1842年8月29日同英国政府签订了丧权辱国的《中英江宁(南京)条约》,我国丧失了领土(割让香港岛)和司法、关税等主权。从此,各帝国主义国家接踵而来地入侵,使我国逐渐沦为半殖民地半封建社会的国家,根本谈不上自己的科学技术,直至1949年全国解放前夕。

新中国成立以来,我国的科学事业进入了一个崭新的历史时期,并得到了空前的发展,

建立起了完整的科学研究体系和工业体系，这些无不与力学、材料学和机械学的研究成果和机械制造业的飞速发展相关。特别是经过 20 余年的改革开放，我国科学技术有了更大发展，现代化建设的成就日新月异，综合国力进一步增强，人民生活水平进一步改善，国际地位进一步提高。1997 年 7 月 1 日和 1999 年 12 月 20 日，我国先后顺利完成了香港和澳门回归祖国的伟大事业。

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。

第一篇 静 力 学

静力学是研究物体在力系 (system force) 作用下的平衡规律的科学。

所谓力系是指作用于物体上的一群力。所谓物体的平衡 (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。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。满足平衡条件的力系称为平衡力系。当研究一个复杂的力系对物体的作用效应和力系的平衡条件时, 常需将复杂的力系进行简化, 就是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, 这叫做力系的简化。若两个力系对物体的作用效应相同, 则称此两个力系是等效的。若一个力与一个力系等效, 则此力称为力系的合力 (composite force)。研究力系的简化是为了建立力系的平衡条件。

由上所述可知, 静力学研究的主要问题是: ①物体的受力分析; ②力系的简化; ③建立物体在各种力系作用下的平衡方程。

第一章 静力学基础知识

静力学是工程力学的基础部分, 主要学习力学的基本概念和公理, 以及物体的受力分析, 它是工程中设计构件的结构和机器零件时进行设计计算的基础。

第一节 静力学的基本概念

一、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、观察和分析而逐渐形成的。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, 等等。力是物体间相互的机械作用, 其结果是物体的机械运动状态发生改变, 或使物体的形状发生改变。

由上可知, 物体受力后产生两种效应。

(1) 力的外效应 力的外效应即力改变物体的机械运动状态。如机床的启动; 行驶的汽车刹车时, 摩擦力使它停止下来等。有时几个力作用在物体上并不改变它的运动状态, 这是由于作用在物体上的这些力的作用效果互相抵消的缘故。

(2) 力的内效应 力的内效应即力使物体产生变形。如弹簧受力会伸长或缩短, 起重机横梁在起吊重物时会产生弯曲变形。

静力学只研究力的外效应, 而材料力学研究力的内效应。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。

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

小表示物体之间机械作用的强弱，它可通过力的效应来度量。在国际单位制中，力的单位是牛顿（N）或千牛顿（kN）。力的方向表示物体的机械作用具有方向性。力的方向包括力的作用线在空间的方位和力沿作用线的指向。力的作用点是力作用在物体上的部位。实际上，当两个物体相互作用时，力总是分布在被作用的一定的面积上。

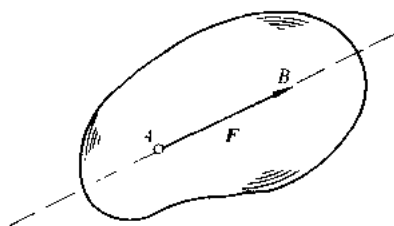


图 1-1 力的表示

力的要素表明力是一个矢量（vector），它可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；有向线段的方位和箭头指向表示力的方向；线段的长度（按一定的比例尺）表示力的大小。通过力的作用点沿力的方向的直线，称为力的作用线。在静力学中，用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量，而用普通字母 F 表示力的大小。

二、刚体的概念

所谓刚体（rigid body），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。任何物体受力后，都将或多或少地改变形状，即发生变形。但微小变形对研究物体的平衡问题不起主要作用，可以略去不计，这样可使问题的研究大为简化。这种抓住主要因素、忽略次要因素的做法是科学的抽象。静力学中研究的物体均视为刚体。

第二节 静力学公理

所谓公理（generally acknowledged truth），就是符合客观现实的真理。静力学公理就是人类从反复实践中总结出来的，它的正确性已被人们所公认。静力学的全部理论，就是以静力学公理为依据推导出的，所以，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，使刚体保持平衡的必要和充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。只受两个力的作用而平衡的构件，称为二力构件，简称二力杆，如图 1-2（a）和（b）所示。对于变形体来说，公理一给出的只是必要条件，但不是充分条件。显然，软绳只受拉力，不能受压力作用，如图 1-2（c）和（d）所示。

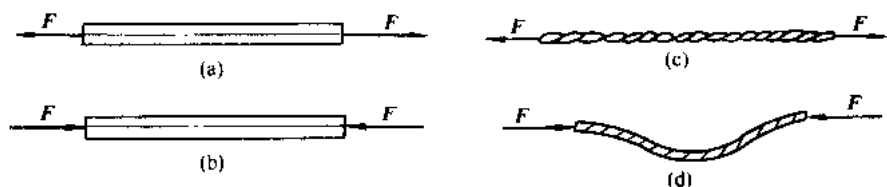


图 1-2 二力平衡条件

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（力的可传性质原理）

作用在刚体上某点的力，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。在实践中，人们有这样的体会，以等量的力在车后 A 点推和在车前 B 点拉，效果是一

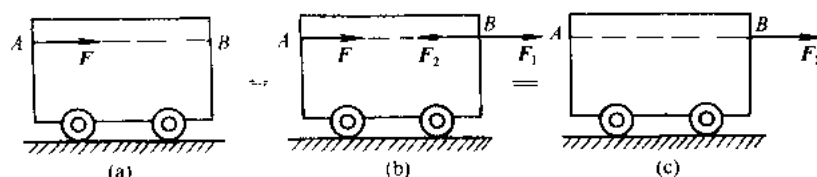


图 1-3 力的可传性

样的 (如图 1-3 所示)。

由力的可传性原理可以看出, 对刚体而言, 力的作用点已不再是决定其效应的要素之一, 而由作用线取代。

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。所以, 公理二及推论一都只适用于刚体而不适用于变形体。对于变形杆件, 沿杆的轴线受到两个大小相等、方向相反的力作用, 会伸长或缩短, 这说明变形体虽然其外效应未改变, 但内效应却改变了。这个问题将在第六章中讨论。

公理三 (力的平行四边形公理)

作用于物体上某一点的两个力的合力, 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 1-4 (a) 所示]。

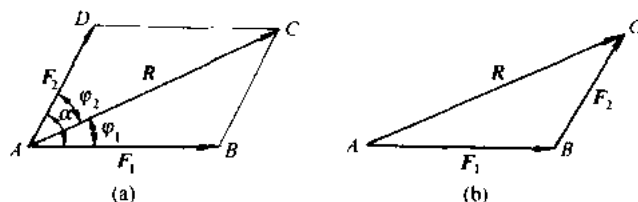


图 1-4 力的合成

这个公理也称为平行四边形法则, 根据这个公理作出的平行四边形, 称为力平行四边形。这种求合力的方法, 称为矢量加法, 合力矢等于原来两力的矢量和 (几何和), 可用公式表示:

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

应当注意, 上式是矢量等式, 它与代数等式 $R = F_1 + F_2$ 的意义完全不同。过点 A 作一个与 F_1 大小相等方向相同的矢量 $\mathbf{AB}$, 过 B 点作一个与力 F_2 的大小相等方向相同的矢量 $\mathbf{BC}$, 连接 $\mathbf{AC}$, 就是力 F_1 与 F_2 的合力 $\mathbf{R}$ 。这种求合力的方法, 称为力的三角形法则 [如图 1-4 (b) 所示]。

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 1-5 所示, 刚体上 A, B, C 三点处, 分别作用着相互平衡的三个力 F_1, F_2, F_3 , 它们的作用线都在平面 ABC 内, 但不平行。 F_1, F_2, F_3 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 $\mathbf{R}$ 必定在此平面内且通过 O 点, 而 $\mathbf{R}$ 必须与 F_3 平衡, 由公理一知 F_3 与 $\mathbf{R}$ 必共线, 所以, F_3 的作用线亦必通过力 F_1 与 F_2 的交点 O, 即三个力的作用线汇交于一点。

公理四 (作用与反作用公理)

两物体相互作用的力, 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。这个公理说明力永远是成对出现的，物体间的作用总是相互的，有作用力就有反作用力，两者总是同时存在，又同时消失。

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，图 1-6 (a) 所示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 [如图 1-6 (b) 所示]，它们都作用在重物上。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' 作用在钢绳上， 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。

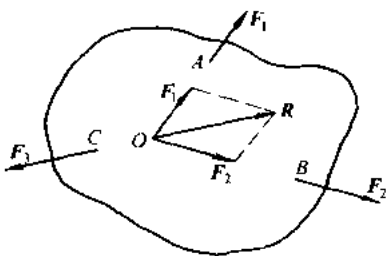


图 1-5 三力汇交

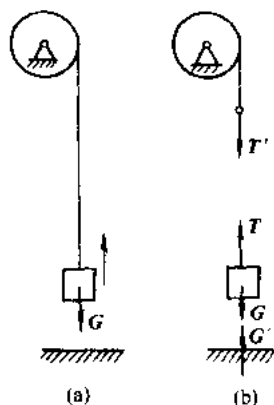


图 1-6 作用力与反作用力

公理五（刚化原理）

变形体在某一力系作用下处于平衡，若将此变形体刚化为刚体，则平衡状态保持不变。这个公理建立了刚体的平衡条件和变形体的平衡条件之间的联系。应该指出，刚体的平衡条件对于变形体来说，只是必要条件，而非充分条件。

第三节 约束和约束反力

在工程上，如飞行的飞机、炮弹等，它们在空间的位移不受任何限制；而机车受铁轨的限制，只能沿轨道运动；电机转子受轴承的限制，只能绕其轴线转动等。位移不受限制的物体称为自由体，位移受到限制的物体称为非自由体。对非自由体在某些方向上的位移起限制作用的周围物体称为约束（constraint），例如轨道对于机车，轴承对于电机转轴等。

约束对物体的作用，实际上是力的作用，它阻碍物体的运动。这种阻碍物体运动的力称为约束反力，简称反力。因此，约束反力的方向必定与该约束所能够阻碍的运动方向相反。

物体除受约束反力外，还受其他一些力的作用，例如结构和机器中常见的重力、水压力、油压力、弹簧力和电磁力等。这些力促使物体的运动状态发生改变或使物体有改变运动状态的趋势，故称为主动力。而一般情况下，约束反力是由主动力的作用而引起的，故它是一种被动力。在工程上，主动力通常是给定的或可测定的，而约束反力是未知的。确定未知的约束反力，这是静力学的重要任务之一。下面讨论几种常见约束类型的性质及其约束反力。