



21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国应用型本科

土木建筑系列

实用规划教材



理论力学

主 编 张俊彦 黄宁宁
副主编 蒋元平 徐春艳
主 审 张淳源



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

031
120

21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材

理 论 力 学

主 编	张俊彦	黄宁宁
副主编	蒋元平	徐春艳
参 编	刘 宏	洪彩霞
	康颖安	段朝程
主 审	张淳源	



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据全国高等学校土木工程专业指导委员会 2001 年 11 月制定的土木工程专业本科培养目标组织编写的, 内容包含静力学、运动学和动力学三部分。

为适应新世纪教学改革形势, 在沿用传统体系的基础上, 对部分内容进行了精简, 加强了与专业及工程应用相结合, 强调实用性。

本书可作为高等院校土建类的建筑学、城市规划、土木工程、建筑环境与设备工程、给水排水工程等专业的理论力学(中、少学时)教材, 也可供水利、机械等其他专业和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/张俊彦, 黄宁宁主编. —北京: 北京大学出版社, 2006. 1

(21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材)

ISBN 7-301-10474-X

I. 理… II. ①张… ②黄… III. 理论力学—高等学校—教材 IV. 031

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 000716 号

书 名: 理论力学

著作责任者: 张俊彦 黄宁宁 主编

策划编辑: 吴 迪 李昱涛

责任编辑: 徐 凡

标准书号: ISBN 7-301-10474-X/TU · 0029

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667

电子信箱: pup_6@163.com

排 版 者: 北京东方人华北大彩印中心 电话: 62754190

印 刷 者: 北京汇林印务有限公司印刷

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19 印张 441 千字

2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 26.00 元

《21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 彭少民

副主任 (按拼音顺序排名)

陈伯望 金康宁 李 忱 李 杰

罗迎社 彭 刚 许成祥 杨 勤

俞 晓 袁海庆 周先雁

委 员 (按拼音顺序排名)

邓寿昌 付晓灵 何放龙 何培玲

李晓目 李学罡 刘 杰 刘建军

刘文生 罗 章 石建军 许 明

严 兵 张泽平 张仲先

丛书总序

我国高等教育发展迅速,全日制高等学校每年招生人数至2004年已达到420万人,毛入学率19%,步入国际公认的高等教育“大众化”阶段。面临着大规模的扩招,教育事业的发展与改革坚持以人为本的两个主体:一是学生,一是教师。教学质量的提高是在这两个主体上的反映,教材则是两个主体的媒介,属于教学的载体。

教育部曾在第三次新建本科院校教学工作研讨会上指出:“一些高校办学定位不明,盲目追求上层次、上规格,导致人才培养规格盲目拔高,培养模式趋同。高校学生中‘升本热’、‘考研热’、‘考博热’持续升温,应试学习倾向仍然比较普遍,导致各层次人才培养目标难于全面实现,大学生知识结构不够合理,动手能力弱,实际工作能力不强。”而作为知识承载体的教材,在高等教育的发展过程中起着至关重要的作用,但目前教材建设却远远滞后于应用型人才培养的步伐,许多应用型本科院校一直沿用偏重于研究型的教材,缺乏针对性强的实用教材。

近年来,我国房地产行业已经成为国民经济的支柱产业之一,随着本世纪我国城市化的大趋势,土木建筑行业对实用型人才的需求还将持续增加。为了满足相关应用型本科院校培养应用型人才的教學需求,从2004年10月起北京大学出版社第六事业部就开始策划本套丛书,并派出10多位编辑分赴全国近30个省份调研了两百多所院校的课程改革与教材建设的情况。在此基础上,规划出了涵盖“大土建”六个专业——土木工程、工程管理、建筑学、城市规划、给排水、建筑环境与设备工程的基础课程及专业主干课程的系列教材。通过2005年1月在湖南大学的组稿会和2005年4月在三峡大学的审纲会,在来自全国各地几十所高校的知名专家、教授的共同努力下,不但成立了本丛书的编审委员会,还规划出了首批包括土木工程、工程管理及建筑环境与设备工程等专业方向的40多个选题,再经过各位主编老师和参编老师的艰苦努力,并在北京大学出版社各级领导的关心和第六事业部的各位编辑辛勤劳动下,首批教材终于在2006年春季学期前夕陆续出版发行了。

在首批教材的编写出版过程中,得到了越来越多的来自全国各地相关兄弟院校的领导和专家的大力支持。于是,在顺利运作第一批土建教材的鼓舞下,北京大学出版社联合全国七十多家开设有土木建筑相关专业的高校,于2005年11月26日在长沙中南林学院召开了《21世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》(第二批)组稿会,规划了①建筑学专业;②城市规划专业;③建筑环境与设备工程专业;④给排水工程专业;⑤土木工程专业道路、桥梁、地下、岩土、矿山课群组近60多个选题。至此,北京大学出版社规划的“大土木建筑系列教材”已经涵盖了“大土建”的6个专业,是近年来全国高等教育出版界唯一一套完全覆盖“大土建”6个专业方向的系列教材,并将于2007年全部出版发行。

我国高等学校土木建筑专业的教育,在国家教育部和建设部的指导下,经土木建筑专业指导委员会六年来的研讨,已经形成了宽口径“大土建”的专业发展模式,明确了土木建筑专业教育的培养目标、培养方案和毕业生基本规格,从宽口径的视角,要求毕业生能从事土木工程的设计、施工与管理工作。业务范围涉及房屋建筑、隧道与地下建筑、公路

与城市道路、铁道工程与桥梁、矿山建筑等,并且制定一整套课程教学大纲。本系列教材就是根据最新的培养方案和课程教学大纲,由一批长期在教学第一线从事教学并有过多年工程经验和丰富教学经验的教师担任主编,以定位“应用型人才培养”为目标而编撰,具有以下特点:

(1) 按照宽口径土木工程专业培养方案,注重提高学生综合素质和创新能力,注重加强学生专业基础知识和优化基本理论知识结构,不刻意追求理论研究型教材深度,内容取舍少而精,向培养土木工程师从事设计、施工与管理的应用方向拓展。

(2) 在理解土木工程相关学科的基础上,深入研究各课程之间的相互关系,各课程教材既要反映本学科发展水平,保证教材自身体系的完整性,又要尽量避免内容的重复。

(3) 培养学生,单靠专门的设计技巧训练和运用现成的方法,要取得专门实践的成功是不够的,因为这些方法随科学技术的发展经常在改变。为了了解并和这些迅速发展的方法同步,教材的编撰侧重培养学生透析理解教材中的基本理论、基本特性和性能,又同时熟悉现行设计方法的理论依据和工程背景,以不变应万变,这是本系列教材力图涵盖的两个方面。

(4) 我国颁发的现行有关土木工程类的规范及规程,系1999-2002年完成的修订,内容有较大的取舍和更新,反映了我国土木工程设计与施工技术的发展。作为应用型教材,为培养学生毕业后获得注册执业资格,在内容上涉及不少相关规范条文和算例。但并不是规范条文的释义。

(5) 当代土木工程设计,越来越多地使用计算机程序或采用通用性的商业软件,有些结构特殊要求,则由工程师自行编写程序。本系列的相关工程结构课程的教材中,在阐述真实结构、简化计算模型、数学表达式之间的关系的基础上,给出了设计方法的详细步骤,这些步骤均可容易地转换成工程结构的流程图,有助于培养学生编写计算机程序。

(6) 按照科学发展观,从可持续发展的观念,根据课程特点,反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺,以社会发展和科技进步的新近成果充实、更新教材内容,尽最大可能在教材中增加了这方面的信息量。同时考虑开发音像、电子、网络等多媒体教学形式,以提高教学效果和效率。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者,没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践,要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台,为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生,不吝指正,随时给我们提出宝贵的意见,以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

本系列教材配套的PPT电子教案在出版社相关网站上提供下载。

《21世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006年4月

前 言

理论力学是现代工程技术的基础,是高等学校各工科专业一门重要的技术基础课,并在许多工程技术领域中有着广泛的应用,其重要性不言而喻。通过学习,要求学生掌握质点、质点系和刚体机械运动(包括平衡)的基本规律和研究方法,学会应用理论力学的理论和方法分析、解决一些简单的工程实际问题;同时培养学生建立力学模型的初步能力和辩证唯物主义的世界观。

本书是根据全国高等学校土木工程专业指导委员会 2001 年 11 月制定的土木工程专业本科培养目标组织编写的,包含静力学——研究物体平衡时作用力之间的关系;运动学——研究运动物体的几何性质(如轨迹、速度和加速度等);动力学——研究作用于物体上的力与运动变化之间的关系共三部分内容。在沿用传统体系的基础上,对部分内容进行了精简,加强了与专业及工程应用相结合,强调实用性。内容安排上,由浅入深、循序渐进。章前有教学提示和教学要求,章后有大量精选习题,可上网下载答案,便于教学和自学。本教材适用于中、少学时(60~80 学时),少学时可根据需要取舍。

本书由湘潭大学张俊彦担任第一主编,江西科技师范学院黄宁宁担任第二主编,长江大学蒋元平、南昌工程学院徐春艳担任副主编,参编的有山西大学刘宏、洪彩霞,湖南工程学院康颖安、江西科技师范学院段朝程。具体分工如下,张俊彦编写第 12、13 章;黄宁宁编写绪论、第 2、5 章;蒋元平编写第 10、11 章;徐春艳编写第 8、9 章;刘宏编写第 3、4 章;洪彩霞编写第 6、7 章;康颖安编写第 14、15 章;段朝程编写第 1 章。全书由黄宁宁统稿,最后由张俊彦定稿并校核。

全书由湘潭大学张淳源教授主审。在本书的编写过程中,湘潭大学张平教授提出了许多宝贵意见,特此致谢。

本书编写人员长期担任理论力学的教学工作,书中融合了多年的教学经验与体会,是集体智慧的结晶。但由于水平有限,时间仓促,不妥之处在所难免,衷心希望广大读者批评指正。

编者

2006 年 4 月

目 录

绪论.....	1	2.4.4 平面力偶系的平衡条件	30
第 1 篇 静力学.....	3	2.5 思考题	31
第 1 章 静力学公理和受力分析.....	4	2.6 习题	33
1.1 刚体和力的概念	4	第 3 章 平面任意力系	38
1.1.1 刚体的概念.....	4	3.1 力的平移定理	38
1.1.2 力的概念.....	4	3.2 平面任意力系向已知点的简化	40
1.2 静力学公理	5	3.3 平面任意力系的简化结果	42
1.3 约束和约束反力	7	3.3.1 简化结果分析	42
1.4 物体的受力分析和受力图	11	3.3.2 合力矩定理	43
1.5 思考题	13	3.4 平面任意力系的平衡条件和平衡方程.....	45
1.6 习题	14	3.4.1 平面任意力系平衡的充要条件	45
第 2 章 平面汇交力系与平面力偶系	18	3.4.2 平面任意力系的平衡方程	45
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	18	3.4.3 平面平行力系的平衡方程	48
2.1.1 平面汇交力系合成的几何法.....	18	3.5 物体系统的平衡 静定和静不定问题.....	50
2.1.2 平面汇交力系平衡的几何条件.....	20	3.6 平面静定桁架的内力计算	54
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法.....	21	3.7 思考题	57
2.2.1 力在直角坐标轴上的投影.....	21	3.8 习题	59
2.2.2 平面汇交力系合成的解析法.....	21	第 4 章 空间力系.....	65
2.2.3 平面汇交力系平衡的解析条件.....	23	4.1 空间汇交力系	65
2.3 平面力对点之矩的概念及计算	25	4.1.1 力在空间直角坐标轴上的投影及分解	65
2.3.1 力对点之矩(力矩).....	25	4.1.2 空间汇交力系的合成与平衡	67
2.3.2 合力矩定理.....	26	4.2 力对点之矩和力对轴之矩	69
2.4 平面力偶理论	27	4.2.1 空间力系中力对点之矩的矢量表示	69
2.4.1 力偶与力偶矩.....	27	4.2.2 空间力系中力对轴之矩	70
2.4.2 力偶的等效定理.....	28	4.2.3 力对点之矩与力对通过该点的轴之矩间的关系	70
2.4.3 平面力偶系的合成.....	29		

4.3 空间力偶	71	6.3.2 自然轴系	120
4.3.1 空间力偶的等效定理	71	6.3.3 点的速度	120
4.3.2 空间力偶系的合成 与平衡	72	6.3.4 点的加速度	120
4.4 空间任意力系向一点的简化·主矢 和主矩	73	6.3.5 匀速和匀变速曲线运动 的情况	122
4.5 空间任意力系的简化结果分析	75	*6.4 点的速度、加速度在柱坐标和极 坐标中的投影	123
4.6 空间任意力系的平衡方程	77	6.4.1 运动方程	123
4.7 重心	81	6.4.2 点的速度在柱坐标和极 坐标中的投影	124
4.8 思考题	88	6.4.3 点的加速度在柱坐标和 极坐标中的投影	125
4.9 习题	89	6.5 思考题	126
第 5 章 摩擦	95	6.6 习题	127
5.1 滑动摩擦	95	第 7 章 刚体的基本运动	130
5.1.1 静滑动摩擦力与静滑动 摩擦定律	95	7.1 刚体的平行移动	130
5.1.2 动滑动摩擦力与动滑动 摩擦定律	97	7.2 刚体的定轴转动	131
5.2 考虑摩擦时的平衡问题	97	7.2.1 转动方程	131
5.3 摩擦角与自锁现象	100	7.2.2 角速度 ω	131
5.3.1 摩擦角	100	7.2.3 角加速度 α	132
5.3.2 自锁现象	101	7.2.4 匀速转动和匀变速转动 的情况	132
5.3.3 摩擦角的应用	102	7.3 转动刚体内各点的速度和加速度	132
5.4 滚动摩擦阻	103	7.3.1 M 点的运动方程	133
5.5 思考题	106	7.3.2 M 点的速度	133
5.6 习题	108	7.3.3 M 点的加速度	134
第 2 篇 运动学	112	7.4 轮系的传动比	135
第 6 章 点的运动学	113	7.5 以矢量表示角速度和角加速度	137
6.1 矢量法研究点的运动	113	7.5.1 以矢量表示角速度和 角加速度	137
6.1.1 运动方程	113	7.5.2 以矢积表示点的速度 和加速度	138
6.1.2 点的速度	113	7.6 思考题	139
6.1.3 点的加速度	114	7.7 习题	139
6.2 用直角坐标法研究点的运动	115	第 8 章 点的合成运动	142
6.2.1 点的运动方程	115	8.1 相对运动 牵连运动 绝对运动	142
6.2.2 点的速度 v	115	8.2 点的速度合成定理	143
6.2.3 加速度 a	116		
6.3 用自然法研究点的运动	119		
6.3.1 运动方程	119		

8.3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理.....	145	11.5 习题	194
8.4 牵连运动为转动时点的加速度合成定理	147	第 12 章 动量矩定理	198
8.5 思考题	150	12.1 转动惯量	198
8.6 习题	150	12.1.1 刚体对轴的转动惯量	198
第 9 章 刚体的平面运动	155	12.1.2 平行轴定理	200
9.1 刚体平面运动的分解	155	12.1.3 惯性积与惯性主轴	202
9.1.1 刚体平面运动的概念.....	155	12.2 动量矩	204
9.1.2 刚体平面运动的运动方程.....	155	12.2.1 质点的动量矩	204
9.1.3 刚体平面运动的分解.....	156	12.2.2 质点系的动量矩	205
9.1.4 基点的选择.....	156	12.2.3 刚体的动量矩	206
9.2 用基点法求平面图形内各点的速度	157	12.3 动量矩定理	207
9.3 用瞬心法求平面图形内各点的速度	160	12.3.1 质点的动量矩定理	207
9.3.1 速度瞬心法.....	160	12.3.2 质点系的动量矩定理	208
9.3.2 速度瞬心的确定.....	161	12.3.3 动量矩守恒定律	210
9.4 用基点法求平面图形内各点的加速度	163	12.4 刚体绕定轴转动的微分方程	211
9.5 思考题	164	12.5 质点系相对于质心的动量矩定理	212
9.6 习题	165	12.5.1 质点系相对质心的动量矩	212
第 3 篇 动力学	169	12.5.2 质点系相对于质心的动量矩定理	213
第 10 章 质点动力学基础方程	170	12.6 刚体平面运动微分方程	214
10.1 惯性坐标系定义	170	12.7 思考题	220
10.2 牛顿定律	170	12.8 习题	220
10.3 质点运动微分方程	171	第 13 章 动能定理	226
10.4 质点动力学的两类问题	172	13.1 力的功	226
10.5 动力学建模方法要点	176	13.2 动能	230
10.6 思考题	177	13.2.1 质点与质点系的动能	230
10.7 习题	177	13.2.2 刚体的动能	230
第 11 章 动量定理	181	13.3 动能定理	232
11.1 质点的动量定理	181	13.4 功率、功率方程、机械效率	239
11.2 质点系动量定理	183	13.5 势力场、势能、机械能守恒	242
11.3 质量中心 质心运动定理	188	13.6 综合应用	247
11.4 思考题	194	13.7 思考题	250
		13.8 习题	250
		第 14 章 达朗伯原理	257
		14.1 惯性力的概念	257
		14.2 质点的达朗伯原理	258

14.3 质点系的达朗伯原理	260	15.1.2 自由度和广义坐标	275
14.4 刚体惯性力系的简化	261	15.2 虚位移	276
14.5 轴承的动反力	267	15.3 虚位移原理	277
14.6 思考题	268	15.4 思考题	280
14.7 习题	269	15.5 习题	282
第 15 章 虚位移原理	273	附录 主要符号表	286
15.1 约束、自由度和广义坐标	273	参考文献	288
15.1.1 约束与约束方程	273		

绪 论

1. 理论力学的研究对象

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门学科。所谓机械运动是指物体的空间位置随时间的变动,例如天体的运行,车辆、船只的行驶,各种机器的运转,空气、河水的流动等。平衡则是机械运动的特殊情况。

现代哲学指出,运动是物质存在的形式,是物质的固有属性,它包括宇宙中所发生的一切变化与过程。因此,物质的运动形式是多种多样的。除机械运动外,物理中的发热、发光和电磁现象,化学中的化合与分解,以及人的思维活动等都是物质的运动形式。在多种多样的运动形式中,机械运动是自然界和工程中最常见、最简单的一种。而在更为高级和复杂的运动中,往往也会伴随着机械运动。所以,理论力学的概念、规律和方法在一定程度上也被应用于自然科学的其他领域中,对它们的发展起到了积极的作用。

理论力学所研究的内容是以伽利略和牛顿所建立的基本定律为基础的,属古典力学范畴。在全部科学中,古典力学最能成功地把来自经验的物理理论,系统地表达成数学抽象的简明形式(定律),从而在一定程度上奠定了科学大厦的基础。这些定律就是理论力学课程的科学根据。尽管在 20 世纪初,由于物理学的重大发展,产生了相对论力学和量子力学,证明古典力学的定律不适用于物体运动速度接近于光速的情况,也不适用于微观粒子的运动。但在一般工程实际问题中,即使是一些尖端技术如火箭、宇宙航行等,我们研究的也还是宏观物体的低速(与光速比较)运动,古典力学仍然是既方便又足够精确的理论,一直未失去其应用价值。

为了便于研究,理论力学通常分为以下三部分:

静力学——研究物体平衡时作用力之间的关系。

运动学——研究运动物体的几何性质(如轨迹、速度和加速度等),而不考虑作用于物体上的力。

动力学——研究作用于物体上的力与运动变化之间的关系。

2. 理论力学的研究方法

任何一门科学的研究方法都不能离开认识过程的客观规律,理论力学也毫不例外。概括地说,理论力学的研究方法是从对事物的观察、实践和科学实验出发,经过分析、综合归纳和抽象化,建立力学模型,形成力学最基本的概念和定律;在基本定律的基础上,经过逻辑推理和数学演绎,得出具有物理意义和实用意义的结论和定理,从而将通过实践得来的大量感性认识上升为理性认识,构成力学的理论体系;然后再回到实践中验证理论的正确性,并在更高的水平上指导实践,同时从这个过程中获得新的材料、新的认识,再进一步完善和发展理论力学。

理论力学有着严密的逻辑系统,它与数学的关系非常密切,数学不仅是推理的工具,同时还是计算的工具。力学现象之间的关系总是通过数量表示的。因此,计算技术在力学的

应用和发展上有巨大的作用。现代电子计算机的出现,为计算技术在工程技术问题中的应用开辟了广阔的前景,大大促进了数学在力学中的应用。处理力学问题的一般途径是:先将所研究的问题抽象为力学模型,这些模型既要能反映问题的矛盾主体,又要便于求解;再按力学的基本原理和各力学量间的数学关系建立方程;然后运用一定的数学工具求解;最后根据具体问题,对数学解进行分析讨论,甚至确定取舍。其中,建立力学模型的抽象化过程是很重要的一步,它包含对所研究的问题和对象的认真周密的观察和了解,确定问题的要点,忽略问题的次要因素,用一理想的模型来反映客观事物的本质。当然,力学模型的建立也并非绝对的。同一事物,同一问题,由于在不同情况下着重反映它本质的不同方面,因而也就可能建立起不同的力学模型。

3. 理论力学的学习目的

既然机械运动是自然界和工程中最常见的一种运动,那么也就不难理解理论力学对现代自然科学和工程技术起着何等重要的作用。我们掌握了物体机械运动的规律,就可以解决在工程上所遇到的有关问题。当然,有些工程问题可以直接应用理论力学的基本理论去解决,有些则需要用理论力学和其他专门知识来共同解决。因此,学习理论力学是为解决工程问题打下一定的基础。

由于理论力学是现代工程技术的基础,所以它是工科院校各专业的教学计划中的一门重要的技术基础课,它为学习一系列后续课程打基础。例如,材料力学、机械原理、机械设计、结构力学、弹塑性力学、流体力学、飞行力学、振动理论以及许多专业课程等,都要以理论力学为基础。另外,随着现代科学技术的发展,力学与其他学科相互渗透,形成了许多边缘学科,它们也都是以理论力学为基础的。可见学习理论力学,也有助于学习其他的基础理论,掌握新的科学技术。

此外,理论力学的分析和研究方法在科学研究中有一定的典型性,有助于培养学生对工程实际问题抽象、简化和正确地进行分析的能力;有助于培养学生的辩证唯物主义世界观,树立正确的思想方法,并能自觉地运用科学规律来改造自然,提高分析问题和解决问题的能力,为以后参加生产实践和从事科学研究打下良好的基础。

第1篇 静力学

引言

静力学研究物体在力系的作用下处于平衡的条件。所谓力系，是指作用在物体上的一群力；而所谓平衡，则是指物体相对于惯性参考系（在工程中习惯上将地面作为惯性参考系）保持静止或作匀速直线运动。例如，房屋结构、桥梁、作匀速直线飞行的飞机等，都处于平衡状态。平衡是物体运动的一种特殊形式。

静力学主要研究以下三方面的问题：

1. 物体的受力分析

根据物体受到的约束情况，对物体所受外力进行分析，并以受力图的形式反映出来，称为**物体的受力分析**。即分析物体共受几个力的作用，以及每个力的作用位置和方向。事实上，物体的受力分析不仅是静力学的基本问题，也是整个理论力学的一个基本问题。

2. 力系的简化

如果两个力系对物体的作用效果相同，则此二力系互为**等效力系**。力系的简化就是一个简单的力系等效地替换一个复杂的力系，从而抓住不同力系的共同本质，明确力系对物体作用的总效果。如果某力系与一个力等效，则此力称为该力系的**合力**，而该力系的各个力称为此力的**分力**。力系简化是分析力系平衡条件的一种简捷方法，其应用绝不仅限于静力学，在动力学中同样得到重要应用。

3. 物体在力系作用下的平衡条件

当物体处于平衡时，其所受的力系称为**平衡力系**。研究物体平衡时，作用在物体上的各种力系所应满足的条件，则称为**平衡条件**。力系的平衡条件是静力学研究的主要问题。

通过物体的受力分析和力系的简化可以更为清楚地分析物体的静力平衡问题，同时为进一步研究物体的运动提供基础。在工程实际中，许多问题都是物体的平衡问题，例如，在土木工程中，为了保证梁的正常工作，在设计时必须分析梁所受的外力，并对其进行力系简化，根据平衡条件计算出这些力，然后才能选择梁的材料以及设计梁的截面尺寸。此外，机械设计中零部件的静强度计算，桥梁、水坝、闸门、船体、车体的强度设计等等也是如此。对于一些速度变化不大的物体，也可以近似按静力学方法分析研究，得到满足一定精度要求的结果。静力学在工程技术中有着广泛的应用，是许多后续课程的基础。

第1章 静力学公理和受力分析

教学提示：学习静力学，首先必须弄清楚一些基本的力学概念和静力学公理。同时，工程上大量的研究对象都受有约束，故还必须熟悉工程中常见的典型约束的性质及其所提供的约束反力的特征。在此基础上，才能正确分析物体的受力，并画出物体的受力图。这是解决力学问题的基础环节，也正是本章所要介绍的内容。

教学要求：掌握力、刚体的基本概念和静力学公理；熟悉工程中常见的典型约束的特点及其约束反力的表示方法；能熟练地进行受力分析和正确画出受力图。

1.1 刚体和力的概念

刚体和力是静力学中的两个基本概念，下面分别加以阐述。

1.1.1 刚体的概念

刚体是静力学所研究的主要对象。所谓刚体，就是在力的作用下，其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体，即刚体是不发生变形的物体。显然，任何物体在力的作用下，都会发生或多或少的变形。但是，有许多物体，如机器和工程结构的构件，在受力后所产生的变形很小，在研究力对物体作用下的平衡问题时，其影响极小，可以忽略不计。这样就可以把物体视为不变形的刚体，使问题的研究得以简化。所以说刚体是一个经过简化和抽象后的理想模型。

必须指出的是，不能将刚体的概念绝对化，这与所研究的问题的性质有关。在所研究的物体产生变形且变形是主要因素的情形下，就不能把该物体视为刚体，而应当成变形体来分析。例如，在计算工程结构的位移时，就常常要考虑各种因素所引起的变形。这类问题将在今后的材料力学、结构力学、弹性力学、塑性力学以及流体力学等学科中进行研究。

在理论力学中，由于静力学所研究的对象仅限于刚体，因而又称为**刚体静力学**。它是分析变形体力学的理论基础。

1.1.2 力的概念

人类对力的认识是在生活和生产的实践中产生的。经过长期实践，从感性到理性，人们逐步建立起了力的概念。**力是物体之间的相互机械作用，其效应是使物体的机械运动状态发生变化，或者使物体发生变形。**对于不变形的刚体而言，力只改变其机械运动状态。

力使物体的运动状态发生改变的效应称为力的外效应，而力使物体发生变形的效应称为力的内效应。理论力学只研究力的外效应。

力对物体的作用效应取决于力的三个因素：大小、方向、作用点，通常称为力的三要素。

素。力是有方向的量，可以用矢量表示，如图 1.1 所示。力可以表示为一个有方向带箭头的线段，线段的长度表示力的大小，线段所在的方位和箭头表示力的作用方向，线段的起点或终点表示力的作用点。

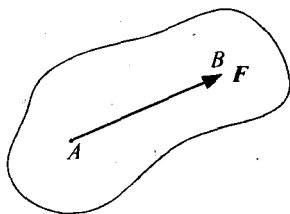


图 1.1 力的矢量表示

在国际单位制(SI 制)中，力的单位是牛[顿]或者千牛[顿]，符号为牛(N)或千牛(kN)。在工程单位制中，力的常用单位是千克力或吨力，符号为千克力(kgf)或吨力(tf)。两者的换算关系为

$$1\text{kgf} = 9.8\text{N}$$

1.2 静力学公理

静力学公理是人们在长期的生活和生产实践中积累并总结出来的为人们所公认的客观真理。它经过了实践的检验，符合客观实际，是研究力系简化和平衡条件的理论基础。

公理一 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点，合力的大小和方向由这两个力为边所构成的平行四边形的对角线所确定，如图 1.2(a)所示。这种合成方法称为力的平行四边形法则。用矢量加法表示为

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1.1)$$

合力 $\mathbf{F}$ 与两力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的共同作用等效。如果求合力 $\mathbf{F}$ 的大小和方向，可以不必作出整个平行四边形，而是将两力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的首尾相联构成开口的力三角形，而合力 $\mathbf{F}$ 就是力三角形的封闭边，如图 1.2(b)所示。这种求合力的方法又称为力的三角形法则。

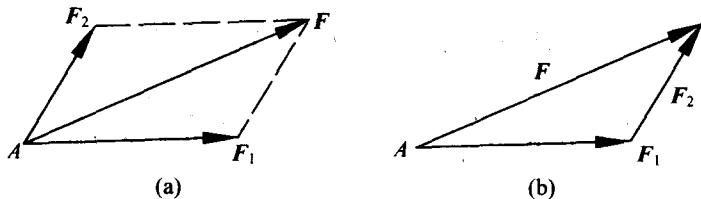


图 1.2 力的平行四边形法则和三角形法则

注：印刷时矢量用黑斜体字母表示如 $\mathbf{F}$ ——黑斜体，书写时用上面加箭头的字母表示如 $\vec{F}$ ——斜体。

公理二 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等、方向相反,且沿同一直线,如图 1.3 所示,即

$$\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2 \quad (1.2)$$

这是最简单的力系平衡条件。但是,应当指出,对于刚体来说,这个条件是充分和必要的,而对于变形体来说,此二力的平衡条件只是必要条件而非充分条件。如图 1.4(a)、(b)所示,软绳受两个等值、反向、共线的拉力时可以平衡,但如受到两个等值、反向、共线的压力时就不能平衡了。



图 1.3 二力平衡条件

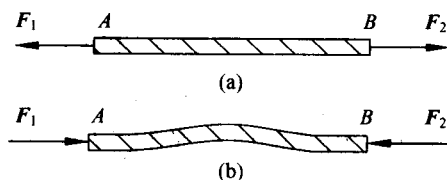


图 1.4 作用于变形体上的二力

公理三 加减平衡力系原理

在作用于刚体的任意力系上,加上或减去任意的平衡力系,不改变原力系对刚体的作用。显而易见,这个公理是研究力系的等效替换的重要依据。由此可以得出两个推论,即

推论一 力的可传性

作用于刚体上某点的力,可以沿其作用线移至刚体上的任意一点,而不改变它对刚体的作用。

证明 设力 $\boldsymbol{F}$ 作用于刚体上的 A 点,如图 1.5(a)所示。在力的作用线上任取一点 B ,加上一对等值、反向、并沿同一直线相互平衡的力 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$,并使 $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_2 = -\boldsymbol{F}_1$ 。根据公理三,加减平衡力系,并不影响原力 $\boldsymbol{F}$ 对刚体的作用,由公理二可知,力 $\boldsymbol{F}$ 和 $\boldsymbol{F}_1$ 平衡,除去后只剩下一个力 $\boldsymbol{F}_2$ 。所以力 $\boldsymbol{F}_2$ 与原来的力 $\boldsymbol{F}$ 等效。但是,这个力的作用点由 A 点沿作用线移到了 B 点,如图 1.5(b)所示。

所以,作用在刚体上的力的三要素是:大小、方向和作用线。力的作用点就不再是决定力的作用的主要因素。力矢量可以从它的作用线上的任一点画出,因而作用在刚体上的力是滑动矢量。以人们在车后推车和车前拉车为例可知,这两个力的作用是一样的。

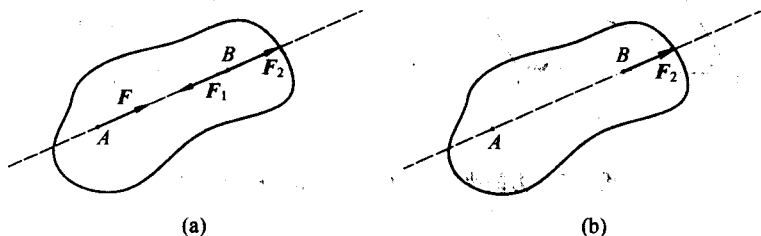


图 1.5 力的可传性示意图