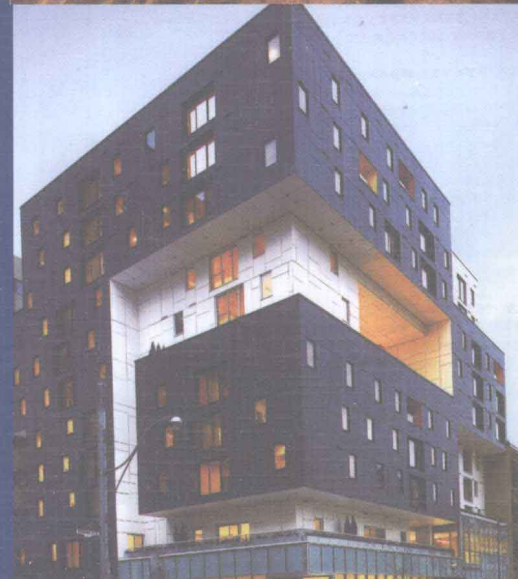
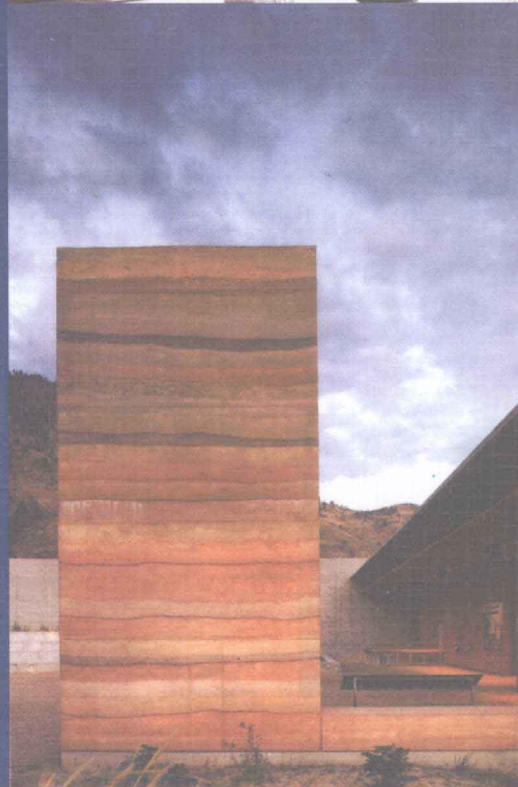
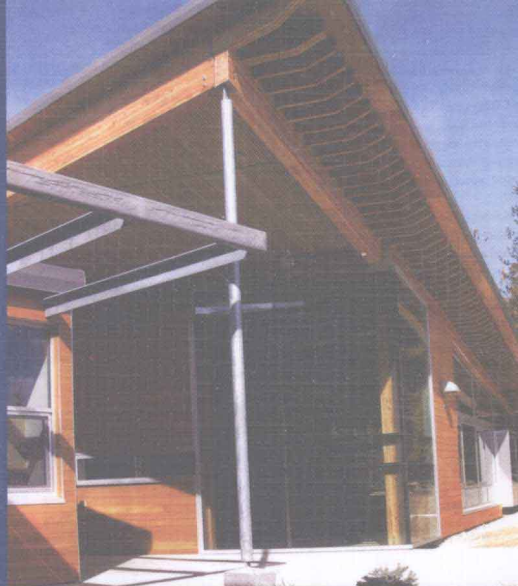


高等学校规划教材

理论力学 (第二版)

主编 张淑芬

中国建筑工业出版社

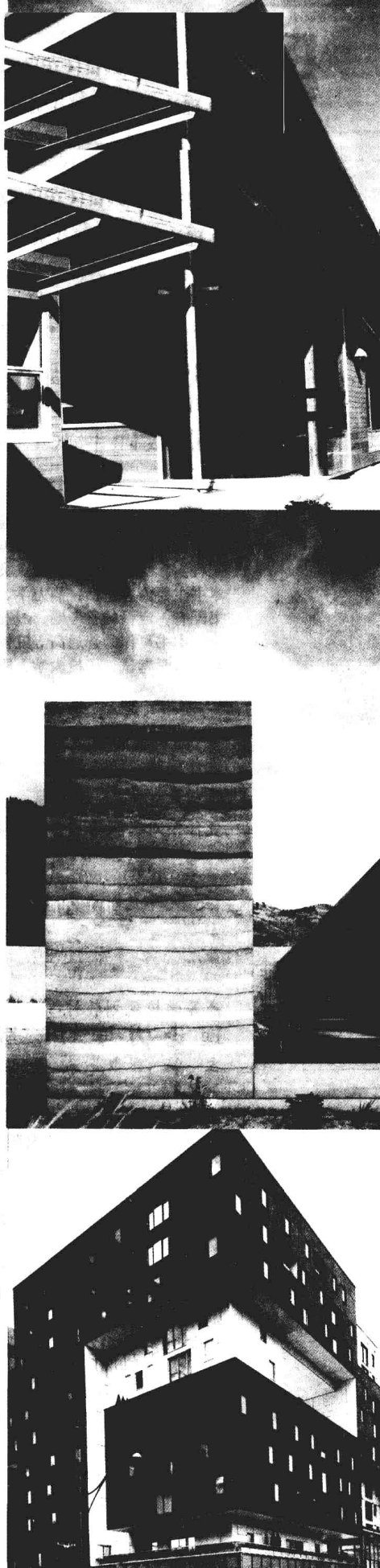


高等学校规划教材

理论力学 (第二版)

主编 张淑芬

中国建筑工业出版社



图书在版编目(CIP)数据

理论力学/张淑芬主编.—2版.—北京:中国建筑工业出版社,2011.7

(高等学校规划教材)

ISBN 978-7-112-13202-7

I. ①理… II. ①张… III. ①理论力学-高等学校-教材 IV. ①031

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 085304 号

本书是为适应新世纪普通高等教育本科院校工科专业的教学需求,结合近年来力学教学改革成果及学生的特点而编写的。教材内容编排以够用为度,兼顾理论体系完整,注重与工程实际问题的联系,重点突出,文字简练。格式、符号力求清晰、规范,符合国家标准。本书主要内容包括:静力学、运动学、动力学普遍定理、达朗贝尔原理、虚位移原理等。本书配有一定量的思考题、习题及以框图形式对各章知识点进行概括的小结,书末附有答案。

本书可作为普通高等院校工科各专业中、多学时理论力学课程的教材,也可作为成人教育、自学考试、函授大学、职工大学相应专业的教材,还可供有关工程技术人员参考。

* * *

责任编辑:王 跃 吉万旺

责任设计:张 虹

责任校对:王雪竹 关 健

高等学校规划教材

理 论 力 学 (第二版)

主 编 张淑芬

副主编 梁 斌 王彦生 徐红玉

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:23½ 字数:580千字

2011年7月第二版 2011年10月第五次印刷

定价:39.00元

ISBN 978-7-112-13202-7

(20620)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第二版前言

现代科学技术的迅速发展和市场经济对高等工科院校人才培养提出了更高的要求。为适应新形势的需要,本书对前一版进行了修订。通过多年的教学实践,本书的体系和风格已经比较成熟,本版仍保持前一版的风格,坚持理论严谨,逻辑清晰,由浅入深的原则,对原有教学内容进行一定调整,适当提高起点,增加部分新内容,拓宽内容的深广度,如增加了虚位移原理等,为学有余力者创造深入学习的条件;精练了对点的运动学、质点动力学普遍定理等与大学物理有关内容的叙述,加强应用,较好地处理了衔接问题;更新并精选例题、习题,加强对工程实例分析;注重对工程意识、科学思维方法和建模能力的培养。修订后的教材更有利于激发学习兴趣,启发并提高思维能力,为培养其创新精神和创新能力奠定基础。各章后面均附有以串联、并联形式概括体现的知识结构框图小结,有利于学生对所学内容的梳理、归纳。

本书可作为普通高等工科院校四年制土建、机械、交通、动力、水利等专业中、多学时理论力学课程的教材,也可供其他专业选用,或作为自学、函授教材,也可供工程技术人员学习参考。

本书由张淑芬主编和统稿,梁斌、王彦生、徐红玉任副主编,全书分为三篇共十五章,第一篇静力学由李作良、徐红玉、张淑芬编写,第二篇运动学由王彦生、徐红玉、刘宗发编写,第三篇动力学由刘宗发、梁斌、张淑芬编写。张彦斌、侯中华、虞跨海参加了该教材的修订工作。

本版由郑州大学孙利民教授和兰州大学武建军教授审阅,他们提出了许多宝贵意见和建议,使本书得以完善和增色。中国建筑工业出版社对该书的出版给予了积极支持和帮助,特此致谢。

本教材在修订过程中,得到河南科技大学教务处和规划与建筑工程学院及力学系教师的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢。本书由河南科技大学教材出版基金资助。编写与修订中参考了国内外一些优秀教材,在此向教材的编著者们一并致谢。

限于编者水平和经验,本书难免有疏漏与不妥之处,恳请同行专家和使用本书的广大读者批评指正,并希望通过 E-mail 与我们联系(张淑芬:zsf@mail.haust.edu.cn;梁斌:liangbin@mail.haust.edu.cn;王彦生:wys@mail.haust.edu.cn;徐红玉:163xuhongyu@163.com)。

2011年2月



第一版前言

理论力学是高等院校工科专业的技术基础课,研究物体机械运动的一般规律及其在工程实际中的应用,同时也是后续力学课程和基础专业课程的理论基础。

本教材是为适应新世纪普通高等院校工科专业的教学需求,结合近年来力学教学改革成果及学生的特点而编写的。在编写过程中,继承了该门课程理论严密,逻辑性强,由浅入深的优点,适当提高起点,在删除与大学物理重复部分的同时,增加部分新内容。内容力求精练,以适应当前学时有所减少的状况。在加深物理概念阐述的同时也注重工程建模能力的培养。书中附有大量的例题和习题供教师选用和学生练习,设置的思考题可启发思维,培养其创新精神。

本书可作为高等工科院校四年制机械、土建、交通、动力等专业中学时理论力学课程的教材,也可供其他专业选用,或作为自学、函授教材,也可作为工程技术人员学习参考。

全书分为三篇共十四章。由张淑芬担任主编,梁斌和王彦生担任副主编,第一篇静力学由李作良、徐红玉、张彦斌编写,第二篇运动学由王彦生、徐红玉、刘宗发编写,第三篇动力学由刘宗发、梁斌、张淑芬编写。全书由张淑芬统稿。

本书由河南省力学学会秘书长、郑州大学孙利民教授和甘肃省力学学会秘书长、兰州大学武建军教授审阅,他们提出了许多宝贵意见。中国建筑工业出版社有关同志对本书的出版给予了支持和帮助,编者特此致谢。

本教材在编写过程中,得到了河南科技大学和建筑工程学院领导及专家的大力支持和帮助,力学研究所教师也提出了不少宝贵意见,在此表示衷心感谢。本书由河南科技大学教材出版基金资助。编写中参考了国内外一些优秀教材,在此向教材的编著者们一并致谢。

限于编者水平,书中难免有疏漏与不妥之处,敬请使用本书的广大师生和读者批评指正,并希望通过 E-mail 与我们联系(张淑芬: zsf@mail.haust.edu.cn; 梁斌: liangbin@mail.haust.edu.cn; 王彦生: wys@mail.haust.edu.cn)。

2006年8月

主要符号表

a	加速度	L_O	刚体对点 O 的动量矩
a_n	法向加速度	L_C	刚体对质心的动量矩
a_τ	切向加速度	m	质量
a_a	绝对加速度	M_z	力对 z 轴的矩
a_r	相对加速度	M	力偶矩, 主矩
a_e	牵连加速度	$M_O(F)$	力 F 对点 O 的矩
a_C	科氏加速度	M_I	惯性力的主矩
A	面积, 自由振动振幅	M_f	滚动阻力偶
f	动摩擦因数	n	质点数目
f_s	静摩擦因数	O	参考坐标系的原点
F	力	p	动量
F'_R	主矢	P	重量, 功率
F_s	静滑动摩擦力	r	半径
F_N	法向约束力	r	矢径
F_I	惯性力	r_O	点 O 的矢径
F_{Ie}	牵连惯性力	r_C	质心的矢径
F_{IC}	科氏惯性力	R	半径
g	重力加速度	s	弧坐标, 路程, 弧长
h	高度	t	时间
i	x 轴的基矢量	T	动能, 周期
I	冲量	v	速度
j	y 轴的基矢量	v_a	绝对速度
J_z	刚体对 z 轴的转动惯量	v_r	相对速度
J_{xy}	刚体对 x, y 轴的惯性积	v_e	牵连速度
J_C	刚体对质心的转动惯量	v_C	质心速度
k	弹簧刚度系数	V	势能, 体积
k	z 轴的基矢量	W	力的功
l	长度	x, y, z	直角坐标
d	力偶臂, 直径, 距离	α	角加速度
β	角度坐标	ϕ	角度坐标
δ	滚阻系数	ω_n	固有角频率
δ	变分符号	ω	角速度
ρ	密度, 曲率半径, 回转半径	ω_a	绝对角速度
φ	角度坐标	ω_r	相对角速度
φ_f	摩擦角	ω_e	牵连角速度
C	速度瞬心, 质心		

目 录

主要符号表	ix
绪论	1

第一篇 静 力 学

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析	5
§ 1.1 静力学公理	5
§ 1.2 约束和约束力	7
§ 1.3 物体的受力分析和受力图	11
小结 (知识结构图)	16
思考题	17
习题	17
第 2 章 平面力系	20
§ 2.1 平面汇交力系	20
§ 2.2 平面中力对点之矩 · 平面力偶	25
§ 2.3 平面任意力系向作用面内一点简化	31
§ 2.4 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	36
§ 2.5 物体系的平衡 · 静定和超静定问题的概念	41
§ 2.6 平面静定桁架的内力计算	45
小结 (知识结构图)	49
思考题	51
习题	53
第 3 章 空间力系	61
§ 3.1 空间汇交力系	61
§ 3.2 空间力偶	64
§ 3.3 力对轴的矩和力对点的矩	67
§ 3.4 空间任意力系向一点的简化 · 主矢和主矩	71
§ 3.5 空间任意力系的平衡方程	74
§ 3.6 平行力系的中心与重心	80
小结 (知识结构图)	86
思考题	88
习题	88

第4章 摩擦	93
§ 4.1 滑动摩擦	93
§ 4.2 摩擦角和自锁现象	95
§ 4.3 考虑摩擦时物体的平衡问题	98
§ 4.4 滚动摩阻的概念	103
小结(知识结构图)	106
思考题	106
习题	107

第二篇 运 动 学

第5章 点的运动学	112
§ 5.1 矢量法	112
§ 5.2 直角坐标法	113
§ 5.3 自然坐标法	117
* § 5.4 柱坐标法和极坐标法	123
小结(知识结构图)	126
思考题	127
习题	128
第6章 刚体的基本运动	131
§ 6.1 刚体的平行移动	131
§ 6.2 刚体绕定轴的转动	132
§ 6.3 转动刚体内各点的速度和加速度	133
§ 6.4 定轴轮系的传动比	135
* § 6.5 以矢量表示角速度和角加速度·以矢积表示点的速度和加速度	137
小结(知识结构图)	139
思考题	140
习题	140
第7章 点的合成运动	142
§ 7.1 相对运动·绝对运动·牵连运动	142
§ 7.2 点的速度合成定理	144
§ 7.3 牵连运动为平移时点的加速度合成定理	149
§ 7.4 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成定理·科氏加速度	153
小结(知识结构图)	162
思考题	163
习题	164
第8章 刚体的平面运动	168
§ 8.1 刚体平面运动的概念和运动分解	168
§ 8.2 平面图形上各点的速度分析	170
§ 8.3 平面图形上各点的加速度分析	177

§ 8.4 运动学综合应用举例	180
小结 (知识结构图)	186
思考题	187
习题	190

第三篇 动 力 学

第 9 章 质点动力学的基本方程	196
§ 9.1 动力学基本定律	196
§ 9.2 质点的运动微分方程	197
§ 9.3 质点动力学的两类基本问题	198
* § 9.4 质点在非惯性坐标系中的运动	202
小结 (知识结构图)	204
思考题	205
习题	205
第 10 章 动量定理	208
§ 10.1 质点和质点系的动量·力的冲量	208
§ 10.2 动量定理	209
§ 10.3 质心运动定理	214
小结 (知识结构图)	221
思考题	222
习题	223
第 11 章 动量矩定理	226
§ 11.1 质点和质点系的动量矩	226
§ 11.2 动量矩定理	228
§ 11.3 刚体的定轴转动微分方程	233
§ 11.4 刚体对轴的转动惯量	237
§ 11.5 质点系相对于质心的动量矩定理	244
§ 11.6 刚体的平面运动微分方程	246
小结 (知识结构图)	251
思考题	252
习题	253
第 12 章 动能定理	258
§ 12.1 力的功	258
§ 12.2 质点和质点系的动能	262
§ 12.3 动能定理	265
§ 12.4 功率、功率方程与机械效率	272
§ 12.5 机械能守恒定律	273
§ 12.6 动力学普遍定理的综合应用	277
小结 (知识结构图)	284

思考题	285
习题	287
综合应用习题	291
第 13 章 达朗贝尔原理	293
§ 13.1 达朗贝尔原理	293
§ 13.2 刚体惯性力系的简化	298
§ 13.3 绕定轴转动刚体的动反力	309
小结(知识结构图)	312
思考题	312
习题	313
第 14 章 虚位移原理	317
§ 14.1 约束和约束方程	317
§ 14.2 自由度和广义坐标	319
§ 14.3 虚位移	320
§ 14.4 虚位移原理	322
§ 14.5 以广义坐标表示的质点系的平衡条件	328
* § 14.6 保守系统平衡位置的稳定性	332
小结(知识结构图)	334
思考题	335
习题	336
第 15 章 拉格朗日方程	339
§ 15.1 动力学普遍方程	339
§ 15.2 拉格朗日方程	341
* § 15.3 拉格朗日方程的首次积分	346
小结(知识结构图)	350
思考题	350
习题	351
附录 习题参考答案	353
主要参考文献	365

绪 论

一、理论力学的研究对象和内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的学科。

机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。例如车辆、船只的行驶，飞行体的航行，机器的运转，建筑物的振动，大气和河水的流动等等，都是机械运动，平衡则是机械运动的一种特殊运动形式。除机械运动外，物质的发声、发光、发热、化学过程、电磁现象，以至人类的思维活动、生命现象等也都是物质的运动形式。在多种多样的运动形式中，机械运动是人们在日常生活和生产实践中最常见、最普遍、也是最简单的一种运动。

本课程的研究对象是速度远小于光速的宏观物体的机械运动，它属于以伽利略和牛顿总结的基本定律为基础的经典力学的范畴。至于物体的速度接近于光速的运动，则必须用相对论的理论进行研究，而基本粒子的运动，则须用量子力学的观点才能完善地予以解释。这固然说明经典力学的局限性，但是，经过长期的实践证明，不仅在一般工程中，就是在一些尖端科学技术（火箭、宇宙航行等）中，所考察的物体都是宏观物体，运动速度也都远远小于光速，应用经典力学来解决不仅方便，而且能够保证足够的精确性，所以经典力学至今仍有很大的实用意义，并且还在不断地发展。

理论力学的内容包括以下三个部分：

静力学——研究物体在力系作用下的平衡条件，同时还研究物体的受力分析及力系简化的方法等。

运动学——用几何的观点研究物体的运动（如轨迹、速度和加速度等），而不涉及引起物体运动的物理原因（作用力和物体的质量）。

动力学——研究物体的运动状态的变化与作用力之间的关系。

二、理论力学的研究方法

科学研究的过程，就是认识客观世界的过程，任何正确的科学研究方法，一定要符合辩证唯物主义的认识论。理论力学的研究和发展也必须遵循这个正确的认识规律。

1. 通过观察生活和生产实践中的各种现象，进行无数次的科学实验，经过分析、综合和归纳，总结出力学最基本的概念和定律。如“力”和“力矩”的概念，“加速度”的概念；摩擦定律以及动力学三定律等都是在大量实践和实验的基础上经分析、综合和归纳得到的。

2. 在对事物观察和实验的基础上，通过抽象化建立力学模型。客观事物总是复杂多样的，当我们拥有大量来自实践的资料之后，必须根据所研究的问题的性质，抓住主要的、起决定作用的因素，撇开次要的、偶然的因素，深入事物的本质，了解其内部联系，建立抽象化的力学模型。这就是力学中普遍采用的抽象

化方法。这种抽象化、理想化的方法,一方面简化了所研究的问题,另一方面也更深刻地反映出事物的本质。例如,在某些问题中忽略实际物体受力后的微小变形,建立形状大小均不改变的刚体模型;在另一些问题中则忽略物体的大小和形状,得到质点的模型等等。一个物体究竟应该作为质点还是作为刚体看待,主要决定于所讨论问题的性质,而不决定于物体本身的大小和形状。例如机器上的零件,尽管尺寸不大,当要考虑它的转动时,就须作为刚体模型看待。火车的长度虽然以百米计,当我们将列车作为一个整体来研究它沿铁道线路运行的距离、速度和加速度时,却可以作为一个点来看待。即使同一个物体,随着研究问题性质的不同,有时可作为质点,有时则要作为刚体。例如地球半径为 6370km,但当研究它在绕太阳公转的轨道上的运行规律时,可以当做质点,而当考察它的自转时,却必须当做刚体。当然,任何抽象化的模型都是相对的。当条件改变时,必须再考虑到影响事物的新的因素,建立新的力学模型。例如:要分析物体内部的受力状态或解决一些复杂物体体系的平衡问题时,必须考虑到物体的变形,建立弹性体模型。

3. 在建立力学模型的基础上,从基本定律出发,用数学演绎和逻辑推理的方法,得出正确的具有物理意义和实用价值的定理和结论,在更高的水平上指导实践,推动生产的发展。

从实践到理论,再由理论回到实践,通过实践进一步补充和发展理论,然后再回到实践,如此循环往复,每一个循环都在原来的基础上提高一步。和其他学科一样,理论力学正是沿着这条道路不断向前发展的。

三、学习理论力学的目的

理论力学是一门理论性较强的技术基础课。学习理论力学的目的有以下三个方面:

1. 为解决工程实际问题打好基础。工程中有些简单的机械、设备和结构的静力计算和设计,以及机构的运动分析等可以直接应用理论力学的基本理论和方法去解决,有些比较复杂的问题,例如机器的自动控制和稳定性及振动的研究等,则需要运用理论力学和其他专门知识共同来解决。所以学好理论力学有助于解决工程实际中的有关力学问题。

2. 为后继课程的学习奠定基础。理论力学是研究力学中最普遍、最基本的规律。很多工程专业的课程,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、断裂力学以及许多专业课程等,都要以理论力学为基础,所以理论力学是学习一系列后续课程的重要基础。随着现代科学技术的发展,理论力学的研究内容渗透到其他学科领域,形成了一些新的边缘学科,例如:理论力学用于研究人体的运动而形成运动力学;理论力学与固体力学、流体力学结合用来研究人体内骨骼的强度、血液流动的规律、人体的力学模型以及植物中营养的输送问题等,形成了生物力学;此外还有电磁流体力学、爆炸力学、物理力学等等。总之,为了探索新的科学领域必须打下坚实的理论力学基础。

3. 为培养辩证唯物主义世界观和提高分析问题、解决问题的能力创造一定

条件。理论力学的理论来源于实践又服务于实践，既抽象而又紧密结合实际，研究的问题涉及面广，而且系统性和逻辑性很强。这些特点，对培养我们辩证唯物主义世界观，培养逻辑思维能力和提高正确的分析问题、解决问题的能力，也起着重要作用，为今后解决生产实际问题、从事科学研究工作打下良好的基础和创造一定的条件。

第一篇 静 力 学

静力学研究刚体在力系作用下处于平衡的条件。静力学中的所谓平衡是指刚体相对于地面（惯性坐标系）保持静止或匀速直线运动的状态。可见，平衡是物体机械运动的一种特殊状态。

静力学中的研究对象是刚体。所谓**刚体**是指在力的作用下大小和形状保持不变的物体，这一特征表现为刚体内任意两点之间的距离始终保持不变。这是一个理想的力学模型，实际中并不存在。但是，如果物体受力作用时，变形很小且不影响所要研究问题的实质，就可以忽略其变形，将其视为刚体，这是一种科学的抽象，可以使运算简化。故静力学又称为刚体静力学。

力，是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的机械运动状态发生变化。实践表明，力对物体的作用效果决定于三个要素：（1）力的大小；（2）力的方向；（3）力的作用点。故力应以矢量表示，本书中用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量，而用普通字母 F 表示力的大小。在国际单位制中，力的单位是“N”或“kN”。

静力学研究的主要问题是：

1. 物体的受力分析

分析所研究物体受有哪些力作用，以及每个力的作用位置和方向。

2. 力系的等效替换（或简化）

力系，是指作用于物体上的一群力。将作用在物体上的一个力系用另一个与它等效的力系来代替，这两个力系互为**等效力系**。力系的简化就是用一个简单的力系等效地替换一个复杂的力系。如果某力系与一个力等效，则此力称为该力系的合力，而该力系的各力称为此力的分力。研究力系的简化，可以了解力系对刚体的作用效应。

研究力系等效替换并不限于分析静力学问题，也为学习动力学奠定基础。

3. 力系的平衡条件及其应用

研究作用在物体上的各种力系所需满足的平衡条件。工程中常见的力系，按其作用线所在的位置，可以分为**平面力系**和**空间力系**两大类；又可以按其作用线的相互关系，分为**共线力系**、**平行力系**、**汇交力系**和**任意力系**。满足平衡条件的力系称为**平衡力系**。

力系的平衡条件在工程中有着十分重要的意义，是设计结构、构件和机械零件时静力计算的基础。因此，静力学在工程中有着广泛的应用。

第1章 静力学公理和物体的受力分析

§ 1.1 静力学公理

本章将阐述静力学公理，并介绍工程中常见的约束和约束反力的分析及物体的受力图。

静力学公理是人们在生活和生产实践中长期总结出来的力的基本性质，它们又经过实践的反复检验，被确认是符合客观实际的最普遍规律。这些性质无需证明而为人们所公认，并可作为证明中的论据，是静力学的理论基础。

公理1 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：这两个力的大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。

这个公理表明了作用于刚体上最简单力系的平衡的平衡条件。对于变形体来说，这个条件是必要的，但不是充分的。例如，软绳受两个等值反向共线的拉力作用可以平衡，但若将拉力改变为压力就不能平衡了。工程上常遇到只受两个力作用而平衡的构件，称为二力构件或二力杆。根据公理1，作用于二力构件上的两力必沿两力作用点的连线，如图1-1所示。

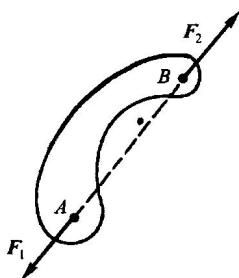


图 1-1

公理2 加减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系，并不改变原力系对于刚体的作用。

这个公理是研究力系等效替换的理论依据。

推论 力的可传性原理

作用于刚体上某点的力，可以沿其作用线移到刚体内任意一点，并不改变该力对刚体的作用。

证明：在刚体上的点A作用一个力 F ，如图1-2(a)所示。根据加减平衡力

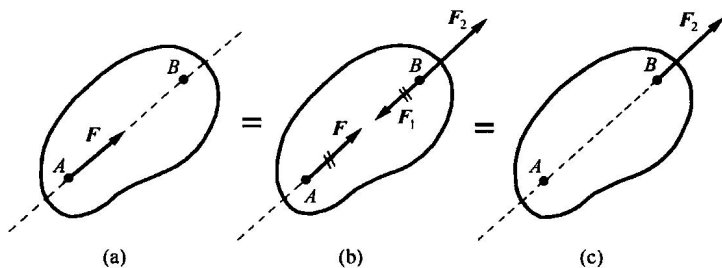


图 1-2

系公理, 可在力的作用线上任取一点 B , 并加上两个平衡力 F_1 和 F_2 , 使 $F = F_2 = -F_1$, 如图 1-2 (b) 所示。由于力 F_1 和 F 也是一个平衡力系, 故可除去; 这样只剩下一个力 F_2 , 如图 1-2 (c) 所示, 即原来的力 F 沿其作用线移到了点 B 。

由此可见, 对于刚体来说, 力的作用点已不是决定力的作用效应的要素, 它已被作用线所代替。因此, 作用于刚体上的力的三要素是: 力的大小、方向和作用线。

作用于刚体上的力可以沿着作用线移动, 这种矢量称为滑动矢量。

公理 3 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力, 可合成为一个合力, 合力的作用点仍在该点, 合力的大小和方向, 由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定。或者说, 合力等于这两个分力的矢量和, 即

$$F_R = F_1 + F_2$$

如图 1-3 所示, 此公理给出了力系简化的基本方法。

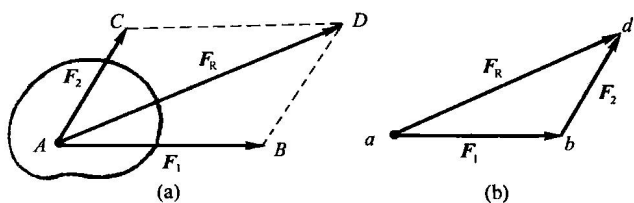


图 1-3

推论 三力平衡汇交定理

作用于刚体上三个相互平衡的力, 若其中两个力的作用线汇交于一点, 则此三力必在同一平面内, 且第三个力的作用线通过汇交点。

证明: 如图 1-4 所示, 在刚体的 A, B, C 三点上, 分别作用三个相互平衡的力 F_1, F_2 和 F_3 。根据力的可传性, 将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O , 然后根据力的平行四边形法则, 得合力 F_R 。则力 F_3 应与 F_R 平衡。由于两个力平衡必须共线, 所以力 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 共面; 且通过力 F_1 和 F_2 的交点 O 。于是定理得证。

公理 4 作用与反作用定律

两物体间的相互作用力, 大小相等, 方向相反, 作用线沿同一直线。

此公理概括了物体间相互作用的关系, 表明作用力与反作用力总是成对出现, 有作用力必有其反作用力, 并分别作用在不同的物体上。这是分析物体间相互作用力的一条重要规律, 为研究由多个物体组成的物系问题提供了理论基础。

公理 5 刚化公理

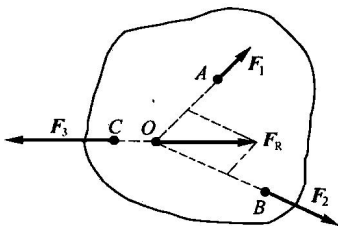


图 1-4

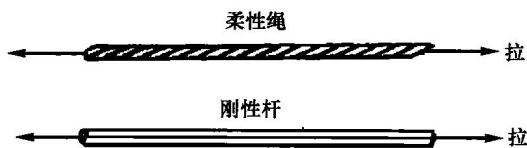


图 1-5

变形体在某一力系作用下处于平衡时,如将其刚化为刚体,其平衡状态保持不变。

此公理提供了将变形体看作刚体的条件。刚体平衡条件是变形体平衡的必要条件而非充分条件。如图 1-5 所示,绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡,如将绳索刚化成刚体,其平衡状态保持不变。反之就不一定成立。如刚体在两个等值反向的压力作用下平衡。若将它换成绳索就不能平衡了。

§ 1.2 约束和约束力

一、约束和约束力

如果一个物体在空间的位移不受任何限制而自由运动,例如空中可以自由飞行的飞机,则称为**自由体**;反之,如一个物体在空间的位移受到一定的限制,例如用绳子悬挂的物体,支承于墙上而静止不动的屋架等,则称为**非自由体**。

在力学中,把这种事先对于物体的运动(位置和速度)所施加的限制条件称为**约束**。机械的各个构件如不按照适当的方式相互联系从而受到限制,就不能恰当地传递运动实现所需要的动作;工程结构如不受到某种限制,便不能承受荷载以满足各种需要。限制物体运动的其他物体则称为**约束**。约束是以物体相互接触的方式构成的,构成约束的周围物体称为**约束体**,有时也称为**约束**。例如,沿轨道行驶的车辆,轨道限制了车辆的运动,它就是约束体;摆动的单摆,绳子就是约束体,它事先限制摆锤只能在不大于绳长的范围内运动,而通常是作以绳长为半径的圆弧运动。

约束体阻碍限制物体的自由运动,改变了物体的运动状态,因此约束体必须承受物体的作用力,同时给予物体以等值、反向的反作用力,即约束对于物体的作用力称为**约束反力**或**约束力**,简称为**反力**,属于被动力。除约束反力外,物体上受到的各种力如重力、风力、切削力、顶板压力等,它们是促使物体运动或有运动趋势的力,属于主动力,工程上常称为**荷载**。在设计工作中,荷载可根据设计指标决定,分析、研究确定或用实验测定。

约束反力取决于约束本身的性质、主动力以及物体的运动状态。约束反力阻止物体运动的作用是通过约束体与物体间相互接触来实现的,因此它的作用点应在相互接触处,约束反力的方向总是与约束体所能阻止的运动方向相反,这是我们确定约束反力方向的原则。至于它的大小,在静力学中将由平衡条件求出。

我们将工程中常见的约束理想化,并将其归纳为几种基本类型。下面介绍几种常见的约束类型和确定约束力方向的方法。

二、几种常见类型的约束反力

1. 柔性体约束

绳索、链条和胶带等属于柔性约束。例如绳索吊住重物,如图 1-6 (a) 所示。由于绳索本身只能承受拉力,故它给物体的约束力也只可能是拉力(图