

高等学校试用教材

理论力学

边宇虹 编



机
械

031
B68

社

机械工业出版社

0 31
B 68

390550

高等学校试用教材

理 论 力 学

边宇虹 编

陈继荣 审



机械工业出版社

本书根据国家教委力学课程教学指导委员会 1987 年制定的高等工业学校理论力学课程教学基本要求(50~60 学时)编写。内容包括静力学、运动学和动力学三部分。书中的许多例题和习题系编者根据多年来的教学经验,参考许多同类教材精选出来的。

本书可作为高等工业学校冶金、材料、管理工程、检测、地质和石油等类专业的少学时理论力学教材,可在 50~60 学时内授完。也可供有关工程技术人员参考。

DL61/06
图书在版编目(CIP)数据

理论力学/边宇虹编. —北京:机械工业出版社,
1996.4

高等学校试用教材

ISBN 7-111-05160-8

I. 理… II. ~~边宇虹~~ III. 理论力学—高等学校—教材
VI. 031

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 04774 号

出版人 马九荣 (北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑:吴关昌 版式设计:李松山 责任校对:丁丽丽

封面设计:郭景云 责任印制:侯新民

北京市昌平振南印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1996 年 5 月第 1 版·1996 年 5 月第 1 次印刷

850mm×1168mm^{1/32}·8 1/8 印张·211 千字

0 001—1 000 册

定价 13.90 元

前 言

本书系根据国家教委力学课程教学指导委员会 1987 年制定的高等工业学校理论力学课程教学基本要求(50~60 学时)编写的,适合于高等学校工科冶金、材料、管理工程、检测、仪表、石油、化工和地质等类专业的少学时理论力学课程。

在编写过程中,努力运用辩证唯物主义观点阐述理论力学的基本内容。在阐明基本理论的基础上,理论联系实际,注意培养学生将工程实际问题抽象简化为力学模型和进行力学计算的能力。编写中参考了许多兄弟院校的教材,同时也参考了一些国外的新教材。

为了适应某些专业的需要,本书在基本内容之外,增加了一些加深加宽的内容,以供选用。这些内容包括:静力学中的桁架和滚动摩擦,运动学中的牵连运动为平动时点的加速度合成定理和平面图形内各点的加速度等。加深加宽内容的章节号和习题号前都注有“*”号。

对有些在普通物理中讲授过的内容,本书只做简要叙述,作为必要的铺垫和衔接,而侧重于阐明如何应用这些内容的理论和方法去分析、解决工程实际问题,达到深化和提高自己的目的。

本书承陈继荣教授审稿。陈老师对本书提出了许多宝贵意见并对编者给予了多方面的关心和帮助,力学教研室的其他教师对本书的编写和出版给予了大力支持,编者在此一并表示衷心的感谢。

限于编者水平所限,本书中一定有不少缺点,诚恳希望广大读者批评指正。

编者

1995 年 10 月于燕山大学

目 录

前言

绪论 1

静 力 学

引言 5

第一章 静力学的基本概念 6

§ 1-1 静力学基本概念 6

§ 1-2 静力学公理 7

§ 1-3 约束和约束反力 11

§ 1-4 受力分析和受力图 15

习题 18

第二章 平面汇交力系 20

§ 2-1 平面汇交力系的合成与平衡——几何法 21

§ 2-2 平面汇交力系的合成与平衡——解析法 25

习题 30

第三章 力矩和平面力偶理论 33

§ 3-1 力矩·合力矩定理 33

§ 3-2 平面力偶理论 35

§ 3-3 平面力偶系的合成与平衡 38

习题 40

第四章 平面任意力系 43

§ 4-1 平面任意力系向作用面内一点简化 44

§ 4-2 平面任意力系的简化结果 48

§ 4-3 平面任意力系的平衡方程 49

§ 4-4 平面平行力系的平衡方程 53

§ 4-5 物体系的平衡·静定和静不定问题 55

* § 4-6 桁架 60

IV

习题	63
第五章 摩擦	69
§ 5-1 滑动摩擦	69
§ 5-2 摩擦角和自锁现象	71
§ 5-3 考虑摩擦时的平衡问题	73
* § 5-4 滚动摩阻	78
习题	81
第六章 空间力系和重心	85
§ 6-1 力在空间坐标轴上的投影	85
§ 6-2 力对轴之矩和力对点之矩	86
§ 6-3 空间力系的平衡方程	91
§ 6-4 平行力系中心和重心	96
习题	103

运 动 学

引言	107
第七章 点的运动	108
§ 7-1 点的运动方程	108
§ 7-2 点的速度和加速度	109
§ 7-3 点的速度和加速度在直角坐标轴上的投影	111
§ 7-4 点的速度和加速度在自然轴上的投影	116
习题	122
第八章 刚体的基本运动	126
§ 8-1 刚体的平动	126
§ 8-2 刚体绕定轴转动	127
§ 8-3 转动刚体上各点的速度和加速度	129
§ 8-4 定轴轮系的传动比	130
习题	133
第九章 点的合成运动	136
§ 9-1 合成运动的基本概念	136
§ 9-2 点的速度合成定理	138
* § 9-3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	142

习题	144
第十章 刚体的平面运动	149
§ 10-1 刚体平面运动的概述和运动分解	149
§ 10-2 求平面图形内各点速度的基点法	151
§ 10-3 求平面图形内各点速度的瞬心法	154
* § 10-4 平面图形内各点的加速度	158
习题	160

动 力 学

引言	165
第十一章 质点动力学基本方程	166
§ 11-1 动力学基本定律	166
§ 11-2 质点运动微分方程	168
§ 11-3 质点动力学的两类基本问题	169
习题	174
第十二章 动量定理	177
§ 12-1 质点的动量定理	177
§ 12-2 质点系的动量定理	180
§ 12-3 质心运动定理	183
习题	187
第十三章 动量矩定理	190
§ 13-1 质点的动量矩定理	190
§ 13-2 质点系的动量矩定理	193
§ 13-3 刚体对轴的转动惯量	195
§ 13-4 刚体定轴转动的微分方程	199
习题	202
第十四章 动能定理	205
§ 14-1 力的功	205
§ 14-2 质点的动能定理	209
§ 14-3 质点系的动能定理	211
§ 14-4 功率和功率方程	218
习题	220

第十五章 达朗伯原理	225
§ 15-1 惯性力·质点的达朗伯原理	225
§ 15-2 质点系的达朗伯原理	227
§ 15-3 刚体惯性力系的简化	229
* § 15-4 刚体定轴转动时轴承的动反力	235
习题	237
习题答案	242

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科学。

所谓机械运动,是指物体在空间的位置随时间的变化(包括物体对于其他物体的相对静止——平衡)。

本课程研究的内容是速度远小于光速的宏观物体的机械运动,它以伽利略和牛顿总结的基本定律为基础,属于古典力学的范畴。但是,在本世纪初,由于物理学的辉煌成就,在电动力学、原子结构学说、原子内基本粒子的运动学说等各个领域内新的重大发现,说明了古典力学的应用范围是有局限性的。它不适用于速度接近光速的宏观物体的运动,也不适用于微观粒子的运动。至于速度接近于光速的物体和基本粒子的运动,必须用相对论和量子力学的观点才能完善地予以解释。但是,经过长期的实践证明,一般工程中所遇到的大量力学问题,用古典力学来解决,不仅方便,而且能够保证足够的精确性,而且它在日常生活和生产实际中具有非常广泛和重要的实际意义。

本课程的内容包括以下三个部分:

静力学研究物体平衡时作用力之间的关系。

运动学是只从几何的角度来研究物体的运动,而不研究引起物体运动的物理原因。

动力学研究作用于物体上的力与运动变化之间的关系。

二、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。理论力学也不例外。

1. 通过观察生活和生产实践中的各种现象,进行多次的科学实验,经过分析、综合和归纳,总结出力学最基本的规律。

2. 在对事物观察和实验的基础上,经过抽象化建立力学模型。

抽象化的方法就是在研究复杂的客观事物的过程中,抓住起决定作用的主要因素,舍弃次要的、局部的和偶然的因素,深入现象的本质,明确事物间的内在联系。例如,在研究物体的机械运动时,忽略物体受力要变形的性质,得到刚体的模型;忽略物体的几何尺寸,得到质点的模型;忽略摩擦对物体运动的影响,得到理想约束的模型,等等。这种抽象化的方法,一方面简化了所研究的问题,另一方面也更深刻地反映了事物的本质。正如列宁所指出的:“物质的抽象,自然规律的抽象,价值的抽象等等,一句话,那一切科学的(正确的、郑重的、不是荒唐的)抽象,都更深刻、更正确、更完全地反映着自然。”

3. 在建立力学模型的基础上,从基本规律出发,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。

数学与力学有着极其密切的关系,数学是研究力学不可缺少的工具。现代高速电子计算机的发展大大促进了数学在力学研究中的应用。在本课程中广泛地应用数学理论进行演绎和推理,得出定理和结论,以揭示各个物理量间的联系和变化规律。当然这些定理和结论,不能看作是单纯从数学推导出来的。

科学研究的目的在于认识世界,更重要的是在于改造世界。从实践到理论是认识过程的一个飞跃,而由理论到实践则是更重要的一个飞跃。任何科学理论,包括力学,都必须在它指导实践时加以验证。只有当它足够精确地符合客观实际时,才能被认为正确可靠,也只有这样的理论才有实际意义。

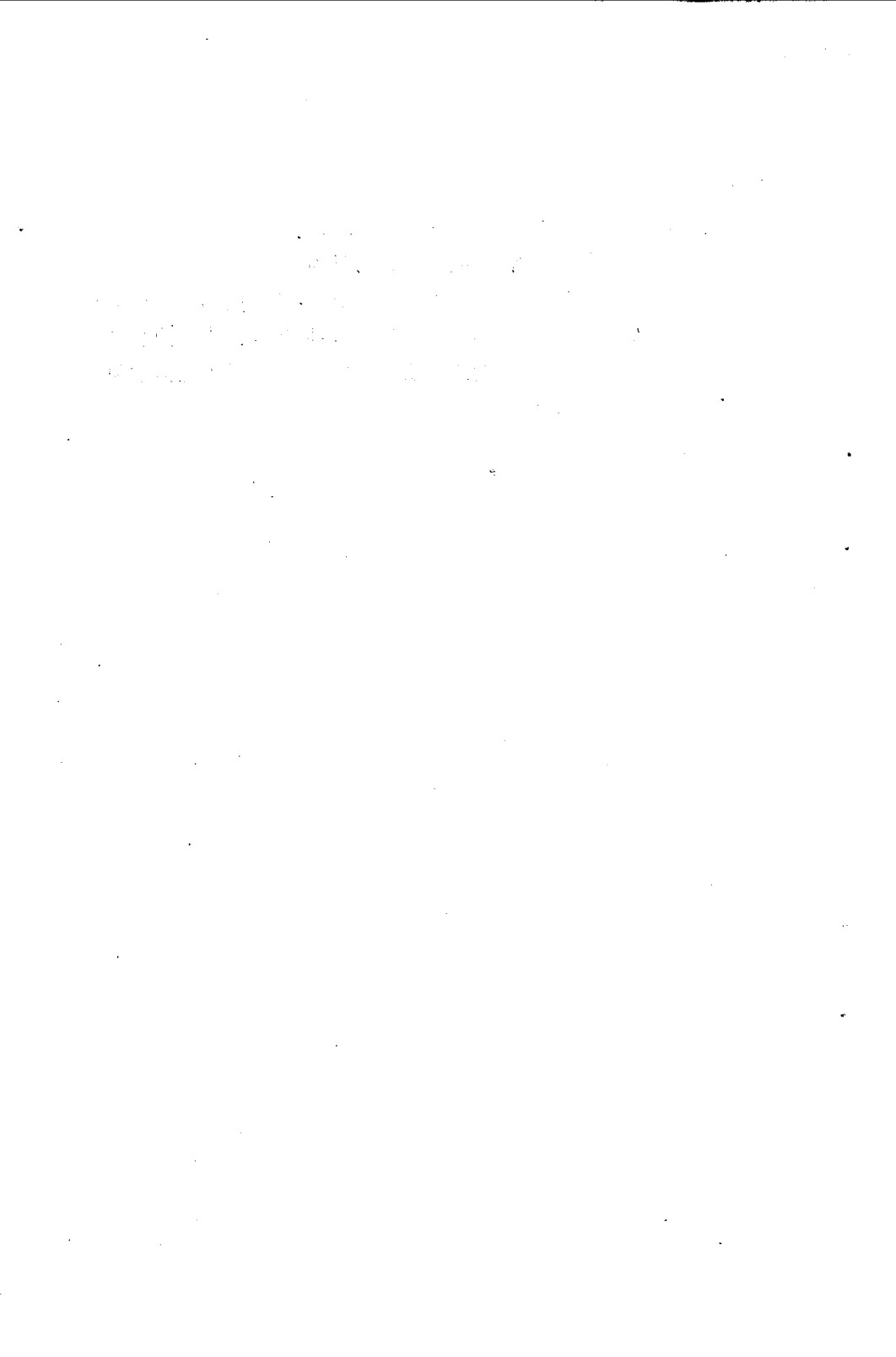
三、学习理论力学的目的

理论力学是一门理论性较强的技术基础课。学习理论力学有下述任务。

1. 学习理论。包括概念、定义、公理、定律、定理等,以培养学生分析问题和解决问题的能力,包括逻辑推理能力。

2. 为后续课打基础。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、机械零件、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。

3. 为解决工程实际问题打基础。工程专业一般都要接触机械运动的问题。有些工程实际问题可以直接应用理论力学的基本理论去解决,有些比较复杂的工程实际问题,则需要用理论力学和其它专门知识共同来解决。



静力学

引言

静力学是研究物体在力系作用下的平衡条件的科学。

所谓力系,是指作用于物体上的一群力。

在静力学中,我们将研究以下三个问题:

(1) 物体的受力分析。即分析某个物体共受几个力,以及每个力的作用线位置、大小和方向。

(2) 力系的等效替换。在研究物体的平衡条件或计算工程实际问题时,须将一些比较复杂的力系进行简化。即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。如果用一个简单力系等效地替换一个复杂力系,则称为力系的简化。另一方面,力系简化的结果也是建立平衡条件的依据。

(3) 建立各种力系的平衡条件。即研究物体平衡时,作用在物体上的各种力系所需满足的条件。

静力学在工程技术中有着广泛的应用。例如在各种工程结构的构件或机械零部件的设计计算中,常要先进行静力分析。所谓静力分析包括受力分析和应用平衡条件求出未知力。静力分析所得的结果是构件强度和刚度计算的依据。由此可见,静力学是研究材料力学和动力学的基础。

第一章 静力学的基本概念

静力学的基本概念是从长期的生产实践和科学实验中概括总结出来的,它们是研究力系简化和平衡问题的基础。本章将介绍静力学中的一些基本概念和几个公理,最后,介绍物体的受力分析和受力图。

§ 1-1 静力学基本概念

1. 力的概念

力的概念是人们在生活和生产实践中,通过长期的观察和分析而形成的。例如:用手推小车,小车就由静止开始运动;抬物体的时候,物体压在肩上,由于肌肉紧张而感受到力的作用;受地球引力作用自高空落下的物体,速度越来越大;挑担时扁担发生弯曲;锻锤锻压工件时,工件产生变形,等等。人们就是从这样大量的实践中,从感性到理性,逐步地建立起力的概念。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,或者使物体发生变形。力使物体的运动状态发生变化的效应,叫做力的外效应。而力使物体发生变形的效应,则叫做力的内效应。静力学只研究力的外效应,而材料力学将研究力的内效应。

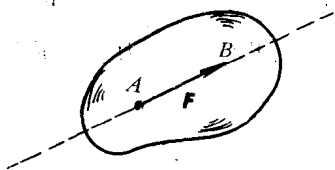


图 1-1

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。

力是矢量。用一个矢量来表示力的三个要素,如图 1-1 所示。矢量的长度(按一定的比例尺)表示力的大小;矢量的方向表示力的方向;矢量的起点或终点表示力的作用点;矢量所沿着的直

线表示力的作用线。我们常用黑体字母 F 表示力的矢量,而用普通字母 F 表示力的大小。

力的国际制单位(SI)是牛顿,或千牛顿,记作(N),或(kN)。力的工程制单位是公斤力或吨力,记作(kgf)或(tf)。两者的换算关系是

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

2. 刚体的概念

所谓刚体是这样的物体,在力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变。这是一个理想化的力学模型。实际物体在力的作用下,都会产生程度不同的变形。但是,如果物体的变形很小,不影响所研究问题的实质,就可以忽略变形,把它看作刚体。这种处理问题的方法,是科学抽象所必需的。一个物体能否看作为刚体,不仅取决于变形的大小,而且和问题本身的要求有关。同一物体,在理论力学问题里被看作刚体,而在材料力学问题中,当需要了解作用力和变形之间的关系时,却被看成弹性体。例如,在研究飞机的平衡问题或飞行规律时,可以把飞机看作刚体;可是在研究飞机的颤振问题时,机翼等的变形虽然非常微小,但必须把飞机看作弹性体。

在理论力学的静力学中,所研究的物体只限于刚体,故又称刚体静力学,它是研究变形体力学的基础。

3. 平衡的概念

平衡是物体机械运动的一种特殊形式。所谓物体的平衡,是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。但是,在宇宙中没有绝对的平衡,一切平衡都只是相对的和暂时的。

§ 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总结概括出来的。这些公理简单而明显,无需证明而为大家所公认。它们是静力学的基础。

公理 1 力的平行四边形规则 作用于物体上同一点的两个

力,可以合成为一个合力。合力的作用点仍在该点,合力的大小和方向是以这两个力为边所作的平行四边形的对角线来确定,如图 1-2 所示。或者说,合力矢等于这两个力矢的几何和,即

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

这个公理总结了最简单的力系简化规律,它是较复杂力系简化的基础。

公理 2 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,且在同一直线上,如图 1-3 所示,即

$$\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2 \quad (1-2)$$

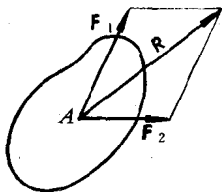


图 1-2

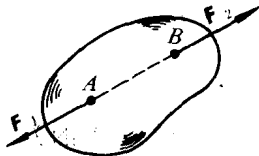


图 1-3

这个公理总结了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。对于刚体这个条件是既必要又充分的;但对于非刚体,这个条件是不充分的。例如:软绳受两个等值反向的拉力作用可以平衡,而受两个等值反向的压力作用就不能平衡。

只在两个力作用下处于平衡的构件,称为二力构件(或二力杆)。这种情形在工程实际中经常遇到。二力构件所受力的特点是,两个力必沿作用点的连线。例如,矿井巷道支护的三铰拱,如图 1-4 所示,其中当 BC 杆不计自重时,就可以看成是二力构件。

公理 3 加减平衡力系原理 在已知力系上加上或减去任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。

这是显而易见的,因为平衡力系对于刚体的平衡或运动状态没有影响。这个公理常被用来简化某一已知力系。

推论 1 力的可传性 作用于刚体上某点的力,可以沿其作

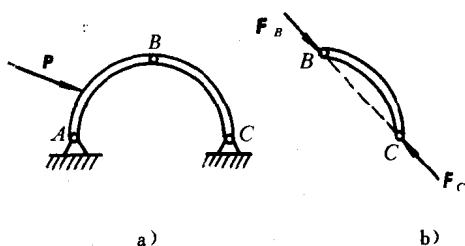


图 1-4

用线移到刚体上任意一点，而不改变它对刚体的作用。

大家都有这样的体会，在水平道路上用水平力推车（看作刚体）或拉车，可以产生同样效果，如图 1-5 所示。

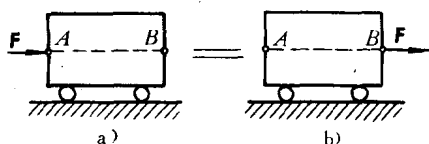


图 1-5

由此可见，作用于刚体的力是滑动矢量。这时力的作用点已不是决定力的作用效果的要素，它已为作用线所代替。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。

推论 2 三力平衡汇交定理 若刚体在三个力的作用下处于平衡，且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：设在同一平面内有不平行的三个力 F_1 、 F_2 和 F_3 ，分别作用于刚体上的 A、B、C 三点，使刚体处于平衡。根据力的可传性，将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O，并按力的平行四边形规则，得合力 R_{12} ，如图 1-6 所示。则力 F_3 应与 R_{12} 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

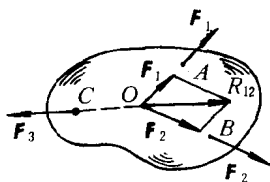


图 1-6