

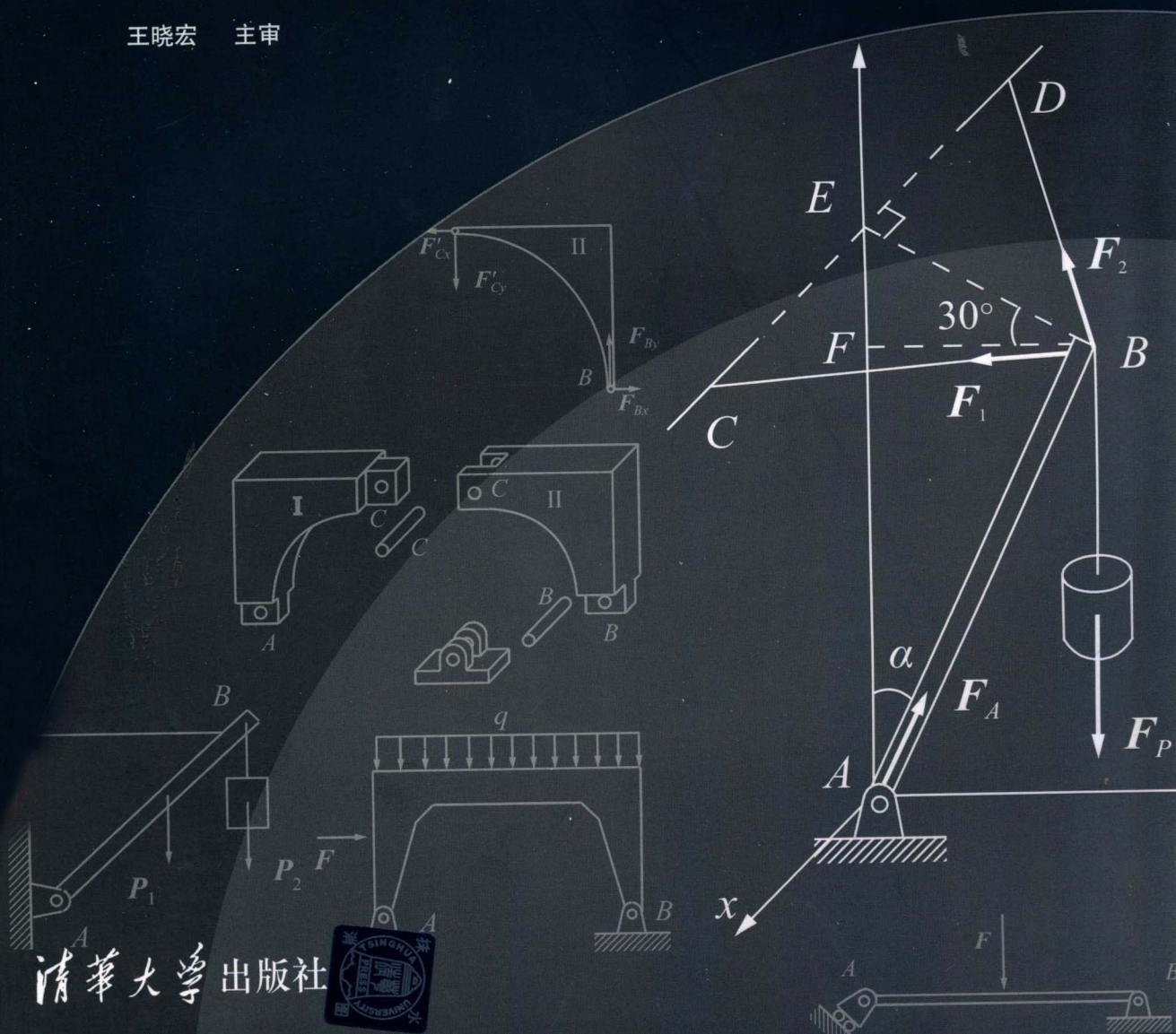


普通高等院校土木工程专业本科精品教材

理论力学

赵淑红 贾永峰 主编

王晓宏 主审



清华大学出版社



理 论 力 学

赵淑红 贾永峰 主 编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书内容是按照教育部力学基础课程教学指导分委员会最新制定的“理论力学课程教学基本要求(A类)”修订的。《理论力学》内容包括静力学(含静力学公理、物体的受力分析、平面力系、空间力系、摩擦等),运动学(运动学基础、点的合成运动、刚体的平面运动等)和动力学(含质点动力学的基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理、虚位移原理等)。各专业可根据需要来选取,全书配有大量思考题及习题。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

理论力学 / 赵淑红,贾永峰主编. —北京:清华大学出版社,2012.9

ISBN 978-7-302-29919-6

I. ①理… II. ①赵… ②贾… III. ①理论力学 IV. ①O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 202664 号

责任编辑:封秀敏

封面设计:张 玥

责任校对:王 瑶

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:天津泰宇印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19.25 字 数:456 千字

版 次:2012 年 9 月第 1 版 印 次:2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:39.00 元

产品编号:046447-01

编写委员会

主 审	王晓宏		
主 编	赵淑红	贾永峰	
副主编	张文姣	袁 威	贾 杰
编 委	王晓宏	赵淑红	贾永峰
	张文姣	袁 威	贾 杰
	刘 瑶	金大桥	赵立军
	刘长喜		

前 言

理论力学是高等院校理工科类专业一门必修的专业基础课,主要教授物体机械运动的一般规律及其在工程中的实际应用问题。其中的概念、理论和方法既可用于解决现代科技问题,又是其他专业课程的基础。

本书是为满足 21 世纪对大学生素质拓展的需要,结合高等院校理论力学课程的基本要求而编写的。本书坚持理论严谨、逻辑清晰、由浅入深的原则,同时注重工程实践,加大实践教学内容。在编写过程中,吸收了有关院校的教学内容和课程体系改革的成果,又吸收了各编者的教学经验和教学改革成果。在内容编排上,按照科学的教学体系顺序编排:静力学、运动学、动力学三大基本定理,达朗贝尔原理,虚位移原理,做到各章知识点融会贯通,系统完整。

全书由赵淑红教授、贾永峰副教授担任主编,张文姣、袁威、贾杰担任副主编。参加教材编写工作的有:东北农业大学袁威(第 1 章、第 3 章),东北农业大学张文姣(第 0 章、第 2 章、第 4 章),东北林业大学贾杰(第 5 章、第 6 章、第 8 章),东北林业大学贾永峰(第 7 章、第 11 章),东北林业大学刘瑶(第 9 章、第 10 章),黑龙江工程学院金大桥(第 12 章、第 13 章),东北农业大学赵立军及黑龙江工程学院刘长喜也参与编写。

担任本教材主审的黑龙江工程学院王晓宏对稿件进行了认真的修改,提出了许多宝贵意见。本教材的编写和出版,得到东北农业大学以及参编院校的大力支持和帮助,谨此,致以衷心的感谢。书中的例题、习题选自各种版本的教材,恕在此不一一列出,在此向全体作者致谢。

本书适用于高等工科院校四年制土建、机械、交通、水利、动力、航空航天等专业使用,也可供其他专业选用,或作为自学、函授教材。

限于编者的时间和水平有限,书中不当之处在所难免,恳请广大读者批评指正,使本书不断提高和完善。

编 者

2012 年 8 月

目 录

0 绪论	1
------------	---

静力学

引言	7
1 静力学公理和物体的受力分析	9
1.1 基本概念	9
1.2 静力学公理	9
1.3 约束和约束力	12
1.4 物体的受力分析和受力图	16
2 平面力系	23
2.1 力的投影定理——平面汇交力系	23
2.2 平面力对点之矩——平面力偶	26
2.3 平面任意力系的简化	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	39
2.6 平面简单桁架的内力计算	44
3 空间力系	60
3.1 空间汇交力系的简化与平衡	60
3.2 力对点的矩和力对轴的矩	64
3.3 空间力偶	66
3.4 空间力系的主矢和主矩	69
3.5 空间力系的平衡方程	72
3.6 重心	76
4 摩擦	88
4.1 滑动摩擦	88
4.2 滚动摩擦	91
4.3 考虑摩擦时物体的平衡问题	92

运动学

引言	105
5 运动学基础	107

5.1 点的运动学	107
5.2 刚体的简单运动	115
6 点的合成运动	129
6.1 运动简化分析	129
6.2 点的速度合成定理	131
6.3 点的加速度合成定理——科氏加速度	133
7 刚体的平面运动	147
7.1 刚体平面运动的概述与运动分解	147
7.2 求平面图形内各点速度的基点法	149
7.3 求平面图形内各点速度的瞬心法	152
7.4 用基点法求平面图形内各点的加速度	155
7.5 运动学综合应用举例	158

动力学

引言	169
8 质点动力学的基本方程	171
8.1 动力学基本定律	171
8.2 质点的运动微分方程	173
9 动量定理	185
9.1 动量与冲量	185
9.2 动量定理	188
9.3 质心运动定理	191
10 动量矩定理	202
10.1 质点和质点系的动量矩	202
10.2 动量矩定理	205
10.3 刚体绕定轴转动微分方程	209
10.4 刚体平面运动微分方程	215
10.5 动量矩定理应用举例	218
11 动能定理	232
11.1 力与功	232
11.2 质点和质点系的动能	235
11.3 动能定理	237
11.4 功率、功率方程和机械效率	240
11.5 势力场、势能和机械守恒定律	241
11.6 普遍定理的综合应用举例	243
12 达朗贝尔原理(动静法)	255
12.1 惯性力的概念	255
12.2 质点及质点系的达朗贝尔原理	255

12.3 刚体惯性力系的简化·····	258
13 虚位移原理 ·····	271
13.1 约束虚位移虚功·····	271
13.2 虚位移原理·····	274
13.3 虚位移应用举例·····	275
习题答案·····	287
参考文献·····	296

0 绪 论

1. 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的一般规律的学科。

按照辩证唯物主义的观点,运动是物质存在的形式,是物质的固有属性,它包括宇宙中发生的一切现象和过程——从简单的位置变化到人的思维活动。机械运动则是所有运动形式中最简单的一种,指的是物体在空间的位置随时间的改变。机械运动是人们生活和生产实践中最常见的一种运动。例如,车辆的行驶、机器的运转、空气和水的流动、人造卫星和宇宙飞船的运行、建筑物的振动等,都是机械运动。平衡则是机械运动的特殊情况。

本课程以伽利略和牛顿总结的基本定律为基础,以速度远小于光速的宏观物体的机械运动为研究内容,属于经典力学的范畴。至于速度接近于光速的物体和基本粒子的运动,则必须用相对论和量子力学的观点才能完善地予以解释。这虽然说明经典力学有一定的局限性,但是,长期的实践证明,不仅在一般工程中,就是在一些高尖端科学技术研究中,所考察的物体都是宏观的,运动速度也远远小于光速,用经典力学解决,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,并处于不断的发展过程中。理论力学所研究的则是这种运动中最一般、最普遍的规律,是各门力学分支的基础。

研究物体机械运动的普遍规律有两种基本方法,从而形成理论力学的两大体系,一是用矢量的方法研究物体机械运动的普遍规律,称为矢量力学;二是用数学分析的方法进行研究,称为分析力学。本书以矢量的方法为主。

本课程的研究内容包括静力学、运动学、动力学三个部分。

静力学主要研究受力物体平衡时作用力所应满足的条件,同时也研究物体受力的分析方法以及力系简化的方法等。

运动学只从几何的角度来研究物体的运动(如轨迹、速度和加速度等),而不研究引起物体运动的物理原因。

动力学主要研究受力物体的运动与作用力之间的关系。

2. 理论力学的研究方法

任何一门科学由于研究对象的不同而有不同的研究方法,但是,通过实践发现真理,再通过实践证实真理并发展真理,这是任何科学技术发展的正确途径。理论力学也必须遵循这个正确的认识规律进行研究和发 展。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,建立起力学模型,总结出力学的最基本概念和规律;从基本规律出发,利用数学推理演绎,得出具有物理意义和实用

意义的结论和定理,构成力学理论;然后再回到实践中去验证理论的正确性,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。

理论力学是伴随着人类生产实践的历史发展起来的,现在已经是一门历史悠久的、成熟的学科。整个理论力学以为数不多的几条公理、定律为基础,以统一的观点深刻地揭示了力学各定理之间的内在联系,形成一定的逻辑系统,便于学习、掌握和应用。但值得注意的是,因为理论力学的概念、公理和定律来自实践,其中有的是在生活和生产实践中与我们形影不离的,因而它们并不是抽象的和难以理解的,但是我们已有的一些感性认识,有的可能是片面的,有的可能甚至是一种错觉。这就要求在学习理论力学的过程中,勤于思考,深刻理解基本概念和基本原理,克服片面,避免主观臆断,不断提高自己的理论水平。

在我国古代,人们通过各种实践对于机械运动已经有了初步的认识,形成了一些基本的力学概念。墨子所著的《墨经》就是最早记载有关力学理论的著作,书中提到的“力,刑之所以奋也”就明确表达了力是物体运动的原因,对于古代的提水工具桔槔的记录就明确表达了杠杆原理,这比欧洲的要早几百年。而理论力学大多数的定理公理都是来源于实践和实验,可以说实践和实验是形成理论的主要基础。

一般解决力学问题时所应遵循的方法步骤如下所述。

(1) 将所要研究的问题抽象化为一定的力学模型,这些力学模型既要反映问题的矛盾主体,又要便于求解。

(2) 应用力学原理把有关的力学问题书写成数学形式。

(3) 运用一定的数学工具求解。

(4) 根据具体问题,对数学解进行分析讨论,甚至决定取舍。

这是在解决具体的力学问题时的步骤,而课本上给出的是在解决所有问题时所应把握的思想以及采用的方法。首先作为解决理论力学问题最基本的方法实验,是我们在解决任何问题时都应重视的。理论力学中所要学到的一些基本概念以及一些基本规律都是建立在大量实验基础上的,而由实验得到的结论又是解决实际问题的依据。根据这些结论,我们就可以经过抽象化建立起力学模型,这就与上述关于一些具体问题的解决方法相吻合。最后还要指出的一点是我们解决任何问题都是为了指导实践。所以不管我们得到的结论如何完善,都必须放到实践中去检验,只有通过实践验证的结论才可以称之为真理。

3. 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,在诸多工程技术领域有着广泛的应用。学习理论力学有如下目的。

(1) 掌握机械运动的规律,为解决工程问题打下一定的基础。从水利、土木工程中结构物的设计和施工、机械的制造和运转,到宇宙飞船的发射和运行,都有着大量的力学问题,理论力学在解决这些问题时有着广泛的应用。

(2) 为学习后续课程作准备。理论力学是材料力学、结构力学、水利学、流体力学、

弹性力学、振动理论、机械原理、机械设计等课程的基础。随着现代科学技术的飞速发展,理论力学的研究内容已渗透到其他科学领域,如生物力学、电磁流体力学、爆炸力学等。

(3) 训练逻辑思维、培养分析问题和解决问题的能力,为今后解决生产实际问题、从事科学研究工作打下基础。理论力学的理论来源于实践又服务于实践,既抽象又紧密结合实际,研究的问题涉及面广,且系统性、逻辑性强,这有助于培养辩证唯物主义世界观,更有助于培养正确的分析问题和解决问题的能力。

静力学

引言

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律(或问题)。从引入力、刚体、平衡等基本概念入手,引入静力学基本公理,在此基础上深入地讨论物体的受力分析、力系的等效简化、物体在力系作用下的平衡条件等基本问题。在以上问题的分析中,采用由浅入深、由简单到复杂的顺序,在简单、特殊力系的基础上研究一般复杂力系的合成与平衡。

静力学是整个力学体系的基础,在工程实际中有着广泛的应用。例如,机械设计中零部件的受力计算,土木工程中房屋、桥梁、水坝、闸门的强度设计等,都需要先分析构件的受力情况,再应用静力学的平衡条件求出未知力,最后利用后续知识进一步考虑选择什么样的材料、设计构件的几何尺寸等。不仅如此,静力学中的力系简化理论和物体的受力分析方法,还是研究动力学问题的基础。

1 静力学公理和物体的受力分析

内容提要

静力学基本概念和公理是从长期的生产实践和科学实验中总结出来的,是研究力系简化和平衡的基础。本章将介绍静力学中的一些基本概念和静力学公理,对工程中常用的约束与约束力进行分析,总结物体的受力分析方法和受力图的画法。

1.1 基本概念

(1) 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。力使物体的运动状态或形状尺寸发生改变。改变物体形状、状态或尺寸的效应称为内效应,也称变形效应,而使物体的运动状态发生改变的效应称为外效应,也称运动效应。力的作用效果取决于力的三要素,即力的大小、方向和作用点。力是矢量,常用粗体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示。力的国际单位是牛顿(N)。

(2) 刚体:在任意外力作用下,大小和形状保持不变的物体,称为刚体。特征是刚体内任意两点的距离始终保持不变。在静力学部分,把所讨论的物体都看做是刚体。刚体是实际受力物体的理想抽象,是一种理想化的力学模型。实际的物体在力的作用下,都会产生不同程度的变形。但是,如果物体的变形很小,且不影响所研究问题的实质,就可以忽略变形,把物体视为刚体。在静力学中,所研究的物体只限于刚体,故又称为刚体静力学,它是研究变形体力学(材料力学、结构力学)的重要基础。

(3) 平衡:指物体相对于地面保持静止或匀速直线运动的状态,平衡是机械运动的一种特殊形式。例如:静止在地面上的房屋、桥梁、水坝等建筑物,在直线轨道上匀速运动的火车等物体,都处于平衡状态。但运动是物体的固有属性,是绝对的,物体的平衡是相对的、暂时的,是相对于所选参考系而言的。

(4) 力系:作用在物体上的一群力,记为 $(\boldsymbol{F}_1, \boldsymbol{F}_2, \dots, \boldsymbol{F}_n)$ 。

(5) 等效力系:若两个力系对物体的效应完全相同,则称这两个力系为等效力系。等效的两个力系可以相互代替,称为力系的等效替换。

(6) 力系的简化:用一个简单的力系等效替换一个复杂的力系。

(7) 合力:一个力的作用效应同一个力系的作用效应相同。

(8) 平衡力系:使物体处于平衡状态的力系。

1.2 静力学公理

静力学基本公理是人类在长期的生产和生活实践中,经过反复观察和实验总结出来的普遍规律。它阐述了力的一些基本性质,是静力学部分的基础。