

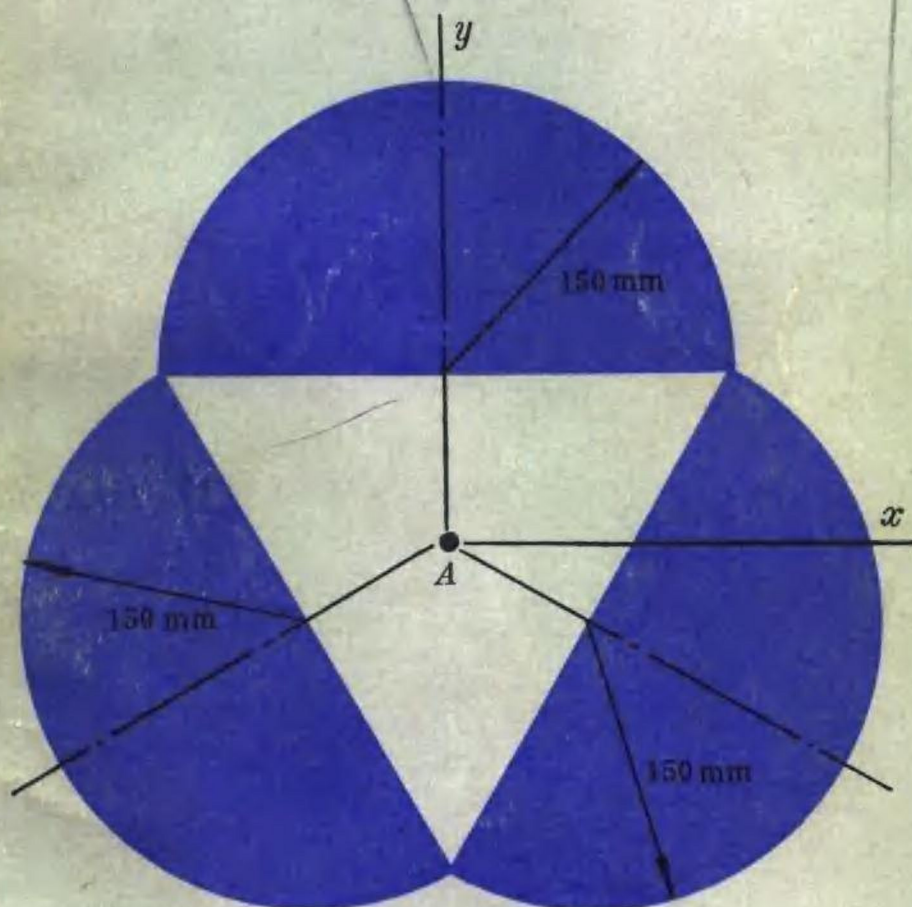
高等学校教材

理论力学

【第二版】上册

南京工学院 西安交通大学 主编

高等教育出版社



LILUN LIXUE

高等学校教材

理论力学

〔第二版〕 上册

南京工学院 西安交通大学 主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是南京工学院、西安交通大学等九所院校合编的《理论力学》的第二版,是在多年教学实践的基础上,广泛征求意见,参照一九八〇年审订的高等工业学校《理论力学教学大纲》(草案)(120学时)的要求进行修订的。

本版力求保持第一版的风格特点,适当提高起点,在体系上作了必要的调整、更新,并增加了相当数量的例题和习题。本书可作为高等工业学校机械类各专业多学时理论力学课程的教学用书,也可供其他类型专业及有关工程技术人员参考。

全书分上、下两册,上册为静力学与运动学,下册为动力学。本书每章附有习题,书末附有习题答案。

高等学校教材

理 论 力 学

〔第二版〕 上册

南京工学院 西安交通大学 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海新华印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 12.875 字数 310,000

1978年10月第1版

1986年4月第2版 1986年4月第1次印刷

印数 00,001—10,700

书号 15010·0731 定价 2.35 元

第二版前言

本书的第一版于一九七八年十月出版。本版是在多年教学实践的基础上,广泛征求各兄弟院校的意见,参照高等学校工科力学教材编审委员会理论力学编审小组一九八〇年审订的高等工业学校《理论力学教学大纲》(草案)(120学时)的要求进行修订的。

本版力求保持第一版的风格特点,并结合当前教学发展的需要,适当提高教材的起点,注意理论的严密性,避免和物理课内容不必要的重复,在体系方面也作了必要的调整,更新和增加了相当数量的例题和习题。本版包含了教学大纲规定的全部内容并略有扩充,但不另设专题部分,以使本书成为一本适用于机械类各专业的教材。

本版修订工作由南京工学院诸关炯和西安交通大学陈守五主持,参加修订工作的有南京工学院诸关炯、陈笃炎、庄铭毛,西安交通大学陈守五、刘力行、王充德。全书由诸关炯负责统一定稿。

修订稿由西北工业大学吕茂烈,上海交通大学吴镇主审。北京航空学院马宗祥,重庆大学郭子仁,吉林工业大学刘尔铎,西北工业大学林擷仙、刘生培,上海交通大学杨长俊等参加了审稿会。审稿的同志对本书提出了许多宝贵意见,谨在此向他们表示衷心的感谢。

由于水平所限,书中必然还会有不少缺点和欠妥之处,恳请读者批评指正。

编者

一九八五年三月

第一版编者的话

本书系根据一九七七年十一月在江苏镇江由教育部委托召开的“高等学校工科力学教材会议”上拟定的编写大纲编写的。在编写过程中,我们努力运用辩证唯物主义观点来阐述教材内容,注意加强基础理论,坚持理论联系实际的原则,同时,也注意到便于学生自学和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,以适应社会主义现代化建设的需要。

在编写中我们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。

本书由南京工学院、西安交通大学主编,主编负责人胡乾善。参加本书编写的主要有:南京工学院诸关炯、陈笃炎、庄铭毛,西安交通大学王充德、刘力行,浙江大学费学博,华中工学院尹肃秋,西北工业大学赵俊三,陕西机械学院陈虎,上海机械学院刘培俊,镇江农业机械学院滕子明,华东工程学院伍均科等;并由胡乾善、王充德、陈笃炎、刘力行、庄铭毛负责定稿。

本书承北京航空学院理论力学教研室马宗祥、程勉和重庆大学力学教研室朱庆祥、郭子仁进行了认真的审阅,提出了不少宝贵的意见。在编写过程中还得到了各兄弟院校的大力支持和帮助,对此我们表示衷心的感谢!

本书中凡标有*号的部分系非基本内容,可根据教学的实际需要确定取舍。

由于时间仓促和我们的水平有限,书中定有不少缺点和错误,诚恳希望使用本书的同志批评指正。

编 者

一九七八、八

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 静力学

第 一 章 静力学基本概念和公理	6
§1-1 力、刚体和平衡的概念	6
§1-2 静力学公理	9
§1-3 约束与约束反力	14
§1-4 研究对象与受力图	21
习 题	25
第 二 章 汇交力系	31
§2-1 汇交力系合成的几何法	31
§2-2 汇交力系平衡的几何条件	34
§2-3 汇交力系合成的解析法	38
§2-4 汇交力系平衡的解析条件	44
习 题	52
第 三 章 力偶理论	59
§3-1 力偶 力偶矩	59
§3-2 力偶的等效变换	62
§3-3 力偶矩的矢量表示 相交平面内两力偶的合成	65
§3-4 力偶系的平衡条件	69
习 题	73
第 四 章 平面一般力系	77
§4-1 平面一般力系概述	77
§4-2 力对点的矩	78
§4-3 力的平移定理	81
§4-4 平面一般力系向一点简化 主矢和主矩	83
§4-5 平面一般力系简化结果的讨论	86
§4-6 平面一般力系的平衡方程	89

§4-7 静定与静不定问题的概念	96
§4-8 物体系统的平衡问题	97
§4-9 简单平面桁架的内力分析	103
习 题	108
第 五 章 摩 擦	121
§5-1 概述	121
§5-2 滑动摩擦	122
§5-3 摩擦角和自锁现象	124
§5-4 考虑摩擦时物体的平衡问题	128
§5-5 滚阻	137
习 题	143
第 六 章 空间一般力系	151
§6-1 力对点的矩用矢量表示	151
§6-2 力对轴的矩	152
§6-3 力对点的矩与力对通过该点的轴的矩之间的关系	153
§6-4 空间一般力系向一点的简化	156
§6-5 空间一般力系简化结果的讨论 合力矩定理	158
§6-6 空间一般力系的平衡方程	164
习 题	170
第 七 章 平行力系中心与重心	180
§7-1 平行力系中心	180
§7-2 物体的重心	182
§7-3 确定物体重心的几种方法	183
习 题	189

第二篇 运动学

第 八 章 点的运动	197
§8-1 点的运动的确定 运动方程	197
§8-2 点的速度和加速度	203
§8-3 点的速度和加速度在直角坐标轴上的投影	206
§8-4 自然轴系	214
§8-5 点的速度和加速度在自然轴系上的投影 点的切向与法向	

加速度	217
习 题	227
第 九 章 刚体的基本运动	236
§9-1 刚体的平行移动	236
§9-2 刚体绕固定轴转动	238
§9-3 转动刚体内各点的速度和加速度	243
§9-4 角速度和角加速度矢量 用矢积表示点的速度和加速度	248
习 题	252
第 十 章 点的合成运动	259
§10-1 相对运动、绝对运动和牵连运动	259
§10-2 速度合成定理	263
§10-3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	269
§10-4 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成定理	274
习 题	290
第十一章 刚体的平面运动	301
§11-1 刚体平面运动的运动方程	301
§11-2 刚体平面运动分解为平动和转动	303
§11-3 平面图形上各点的速度分析——合成法	306
§11-4 平面图形上各点的速度分析——瞬心法	312
§11-5 平面图形上各点的加速度分析	319
习 题	330
第十二章 刚体转动的合成	341
§12-1 刚体绕平行轴转动的合成	341
§12-2 刚体绕相交轴转动的合成	350
习 题	354
第十三章 刚体的定点运动和一般运动	359
§13-1 刚体定点运动的运动方程	359
§13-2 刚体定点运动的位移定理	362
§13-3 刚体定点运动的角速度和角加速度	368
§13-4 定点运动刚体上各点的速度和加速度	369
§13-5 刚体的一般运动	376

习 题	378
附录一 矢量的乘法 变矢量及矢量导数	384
附录二 习题答案	389

绪 论

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

机械运动是指物体之间的相对位置随时间而产生的变化（包括物体对其它物体的相对静止）。它是宇宙间物质运动最普遍、最简单的形式。

按照辩证唯物主义的观点，自然界中的一切物质都是相互联系、相互作用的。正是这种不同的相互作用，构成了物质世界的各种不同的运动形式。包括力、热、声、光、电磁、化学等现象，也包括社会现象。恩格斯在《自然辩证法》中说：“运动，就最一般意义来说，就它被理解为存在的方式、被理解为物质的固有属性来说，它包括宇宙中发生的一切变化和过程，从单纯的位置移动起直到思维。研究运动的性质，当然应当从这种运动的最低级、最简单的形式开始，先理解了这些最低级的最简单的形式，然后才能对更高级的和更复杂的形式有所阐明。”^①由此可见，运动与物质是不可分割的。运动是物质的存在方式和固有属性。本课程所研究的机械运动就是上述广泛意义下的物质运动形式之一，它与其他运动形式相比较，是人们更常见的，也是最简单的一种运动形式。物体的平衡（例如相对于地球的静止、匀速直线运动）是机械运动的特殊情况，所以理论力学也研究物体的平衡规律。在力学范围内通常把机械运动简称为运动。

由于物体之间的相互机械作用，即力的作用，使物体的运动状态发生改变。理论力学研究物体机械运动的一般规律，具体地说

^① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社 1971 年版，第 53 页。

是研究作用于物体上的力与物体运动之间的关系。

本课程所研究的内容是以伽利略、牛顿所总结的基本定律为基础的,采用了与物质运动无关的所谓“绝对”空间、时间和质量的概念,因此属于古典力学的范畴。在十九世纪末和本世纪初,由于近代物理学的重大发现和进展,产生了相对论力学和量子力学。相对论力学揭示了物质运动与时间、空间的联系以及质量与能量的关系。量子力学揭示了微观粒子的运动规律。这些规律的发现,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。但是在一般的工程问题中,物体都是宏观的,而且其运动速度远远小于光速,应用古典力学理论研究这些物体的运动是足够精确的。所以古典力学仍具有重大的实用价值。

理论力学和现代工程技术有着极为广泛的联系,现代生产的日益发展和科学技术的日益进步对力学提出了更多更高的要求。人造卫星的发射和航天飞机的研制,就要考虑火箭的轨道、制导等问题。工业生产过程自动化的发展,要求在自动控制理论和调节理论方面有相应的发展。以上问题的研究都涉及理论力学的基本概念。随着现代科学技术的发展,力学的内容已渗透到其它科学领域,出现了大批新的边缘学科,如生物力学、电磁流体力学、爆炸力学、物理力学等。因此理论力学不仅是一门基础科学,也是现代工程技术的重要理论基础之一。它与其它有关专业知识结合在一起,可以解决工程实际中的许多技术问题。我们必须掌握这些基础理论,才有可能去研究不断出现的新理论、新技术。

理论力学将给出质点、刚体和任意质点系运动的基本规律。这些理论知识也为学习一系列后继课程,如材料力学、机械原理、机械零件、结构力学、流体力学、飞行力学、弹塑性力学和振动学等技术基础课和专业课提供理论基础。这些课程中的理论推导和分析

计算,都经常用到理论力学中的概念、原理和方法。因此,理论力学是工科院校各类专业教学计划中一门重要的技术基础课程。对于培养一个工程技术人员来说,理论力学知识是不可缺少的。

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,有助于培养学生的辩证唯物主义世界观以及分析问题和解决问题的能力。使学生在整个学习过程中,逐步形成科学的逻辑思维和对实际问题的抽象、简化和正确地进行理论分析的能力。

总之,本课程的任务是使学生了解和掌握机械运动的基本规律和研究方法,并能初步应用这些理论和方法去解决工程实际中的技术问题。

为了系统地、全面地阐述理论力学的基本理论,我们以公理和定律为依据,应用数学演绎导出其他定理和结论,这是我们研究力学的基本方法。这一方法以统一的观点深刻地揭示了力学诸定理之间的内在联系,形成了严密的逻辑系统,便于学习、掌握和运用。

在日常生活和工程实际中,力学问题往往是很复杂的,我们不可能一个一个地分别加以研究,这就要求我们应用抽象简化的方法从具体事物的复杂现象中找出反映事物本质的主要因素,略去次要因素,从而把作机械运动的实际物体抽象为力学模型。

理论力学的研究与数学有着极其密切的关系。解决力学问题时通常是把研究的实际问题抽象为力学模型,再根据力学原理建立力学量的数量关系(即建立方程),然后用数学方法求解。因此数学是力学研究不可缺少的工具。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。

为了便于学习,理论力学通常分为三部分,即静力学、运动学和动力学。

静力学研究物体在力系作用下平衡的普遍规律。

运动学是从几何观点研究点和刚体的运动，而不考虑作用于点和刚体上的力。

动力学研究作用于物体上的力与物体运动之间的关系。

第一篇 静 力 学

静力学研究物体在力系作用下平衡的普遍规律，或者说研究物体平衡时作用在物体上的力所应满足的条件。在静力学中我们把物体视为刚体，因此这一部分内容也称为刚体静力学。刚体静力学研究以下两个主要问题：

（一）将作用于刚体上的力系代换为与它等效的另一简单的力系，称为力系的简化或力系的等效代换。所谓力系就是指作用在物体上的一组力。

（二）推证刚体在力系的作用下处于平衡时力系应满足的条件，称为力系的平衡条件。

静力学中关于力系等效代换的研究不仅是为了推证力系的平衡条件，它也为以后研究动力学问题提供基础。

静力学在工程中有着广泛的应用，工程中有许多机器的零件和结构构件，如机器的传动轴、机架、机床的主轴、起重机的起重臂等，它们在工作时处于平衡状态或可近似地看作处于平衡状态。为了合理地设计这些零件和构件的形状、尺寸，选用恰当的材料，往往需要对它们进行强度、刚度和稳定性的分析计算，这些问题的分析和解决，都是以静力学的基本知识作为基础的。

第一章 静力学基本概念和公理

本章首先介绍力、刚体、平衡等几个基本概念,然后阐述作为静力学基础的五个公理,最后介绍约束、约束类型、约束反力的分析和物体受力图的画法。这些内容是研究静力学的基础。

§1-1 力、刚体和平衡的概念

(一) 力的概念

人们通过长期的生产实践和科学实验,建立了力的概念。力是物体间的相互机械作用,这种作用使物体的运动状态和形状发生改变。例如人推车的力使车子改变它的运动状态(如由静到动,由慢到快等);地球对月球的引力使月球不断改变运动方向而绕着地球运转;手对排球的打击力使排球的运动状态和形状都发生变化等。

力使物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应,而力使物体形状发生改变(即变形)的效应称为力的内效应。理论力学主要研究力的外效应,而力的内效应则留待材料力学研究。在本课程中,如果不特别指明,则力对物体的效应都是指外效应。

实践证明,力对物体的效应(包括内、外效应)决定于三个要素:(1)力的大小;(2)力的方向;(3)力的作用点。

力的作用点表示力对物体作用的位置。力的作用位置,一般说并不是一个点,而往往是物体的某一部分面积或体积。例如两个物体接触时,它们之间的相互压力分布在接触面上;物体的重力则分布在整个物体的体积上。这种分布作用的力称为分布力。但是,有时力的作用面积不大,例如钢索吊起重物,当忽略钢索的粗

细时,可以认为二者连接处是一个点,此时钢索拉力可简化为集中作用在这个点上的一个力。这样的力称为集中力。可见,力的作用点是力的作用位置的抽象化。

为了度量力的大小必须先确定力的单位。在国际单位制(SI)中力的单位用“牛顿”(N),有时也用“千牛顿”(kN)。目前工程技术部门还采用工程单位制,力的单位用“公斤力”(kgf)表示。有时也采用“吨力”(tf)。1吨力即等于1000公斤力。牛顿和公斤力的换算关系是:

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

本书采用国际单位制。

在力学中要区别两类量:标量和矢量。在确定某种量时,只需一个数就能确定的量称为标量。例如长度、时间、质量都是标量。在确定某种量时,不但要考虑它的大小,而且要考虑它的方向,这类量称为矢量(也称向量)。矢量有两方面的含义:第一,它具有大小和方向,可以用一个“矢”来表示;第二,要按特定的运算规则进行运算,其中最基本的就是矢量的加法规则——平行四边形规则。

力对物体的效应不仅决定于它的大小,而且还决定于它的方向和作用点,所以力是矢量。

力矢量可用有向线段(矢线)把力的三要素表示出来,矢线的始端(或末端)表示力的作用点,沿着力矢顺着箭头的指向表示力的方向,力矢的长度按比例尺代表力的大小。通过力的作用点而沿力的方向的直线,称为力的作用线。图1-1中 F 表示推小车的力。这个力作用在小车上的 B 点,它的方向由线段和箭头表示,是水平向右,大小为50(N)。通过 AB 的直线为力的作用线。本书中用黑体字母表示矢

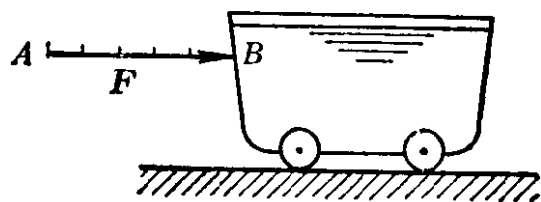


图 1-1

量,而以普通字母表示这矢量的模(即大小)。例如用 F 表示力矢量(图 1-1), F 表示这个力的大小。始端为 A ,末端为 B 的矢量也可记为 $\vec{AB}$ 。

前面已经指出,力系是指作用在物体上的一组力。作用于物体上的力系如果可以用另一个力系来代替而效应相同,那么这两个力系互为等效力系。若一个力与一个力系等效,则这个力称为该力系的合力。

(二) 刚体的概念

力对物体的效应,除了使物体的运动状态发生变化外,还使物体变形。在通常情况下,工程上的机械零件和结构构件在力的作用下产生的变形是很微小的,甚至只有用专门的仪器才能测量出来。在很多工程问题中,这种微小的变形对于研究物体的平衡问题影响极小,可以略去不计。这样忽略了物体微小的变形后便可把物体看成刚体。刚体是指在力的作用下保持其形状和大小不变的物体,或者说,在力的作用下其内任意两点之间的距离保持不变的物体。刚体是对物体加以抽象后得到的一种理想模型。在研究平衡问题时,将物体看成刚体会大大简化问题的研究。然而也应当注意,当研究另一类性质的问题时,例如研究物体内力分布规律时,即使变形很小,也不能把物体视为刚体,而必须作变形体来处理。所以,一个物体能否看作刚体,不仅取决于物体变形的大小,而且与要解决问题的要求有关。

(三) 平衡的概念

在静力学中,我们可以把物体的平衡状态理解为所考虑的物体相对于地球处于静止或匀速直线平动的状态。物体的平衡是物体机械运动的特殊形式。平衡的规律远比一般的运动规律简单。在工程中,人们在设计各种机器的零件或结构构件时,往往会碰到静力分析和计算,因此,平衡的规律在工程中有着广泛的应用。