

理论力学

黄克累

上

张安厚

册

刘洁民

编

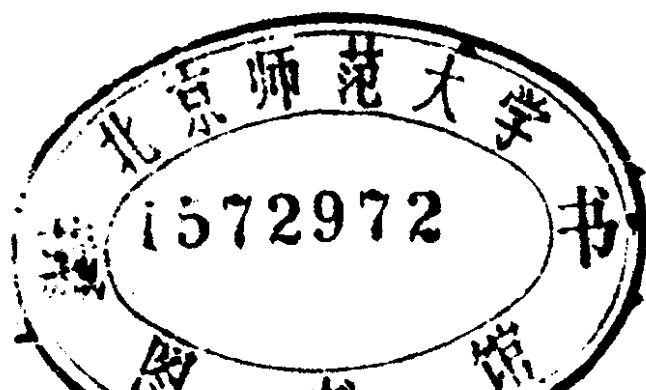
北京航空航天大学出版社

理论力学

(上册)

黄克累 张安厚 刘洁民 编

JY1/43/10



北京师范大学出版社

简 介

本书是根据《高等工业学校理论力学课程基本要求》编写的，可作为工科高等院校航空、航天、机械类90~100学时的理论力学课程教材，也可供其它专业或有关工程技术人员参考。本书分为上、下两册，全书采用国际单位制（SI）。

本册（上册）内容为静力学和运动学。静力学适当地提高了起点，减少了不必要的重复，并将力系简化理论和力学基本概念独立成章。运动学则按点的运动学，刚体运动学和复合运动编写。

书中各章配有数量充足的、联系工程实际的例题和习题，并对习题配有答案，以便自学。各章后附有思考题专栏，传授解题技巧和启发思考。

理 论 力 学

LILUN LIXUE

上册

黄克累 张安厚 刘洁民 编

责任编辑 郭维烈

北京航空航天大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

北京农业工程大学印刷厂印装

850×1168 1/32 印张：10.75 字数：288 千字

1991年3月第一版 1991年3月第一次印刷 印数：5000册

ISBN 7-81012-177-4/O·016 定价：3.10元

序 言

本书是由编者参考国家教育委员会理论力学课程教学指导小组制定的《高等工业学校理论力学课程教学基本要求》（1987年3月高等教育出版社出版）并考虑当前理论力学教学情况和今后发展的需要而编写的。

本书可作为高等院校本科航空、航天、机械类90~100学时理论力学课程的教材，也可供其它专业和有关工程技术人员参考。全书分为上、下两册，上册包括静力学和运动学，下册为动力学。书中选有一定数量的例题、思考题和习题，习题并附有答案。全书采用国际单位制（SI）。

编者鉴于近年来因教学计划改革所引起的理论力学课程学时的缩减以及学生水平的相应变化，在编写本书时考虑了以下问题：

一、为了适应近几年来学生的入学水平，大学物理和高等数学的教学内容和水平，适当地提高了静力学、运动学和动力学的起点，减少了不必要的重复。

二、采用了公理体系，但避免了公理化。在论证和推导中保持了对工程技术人员来说必不可少的严密性和逻辑性，编写时力求构思缜密、文字精练。

三、对原有体系有所变更，将力系简化理论和力学基本概念独立成章，这样对于（现有教材）在静力学中力系简化理论的练习较弱，力系平衡条件的应用相对而言过强的缺欠有所改进，因而突出了基本理论和基本概念的重要性。此外，这个改变还能提高学生开始学习理论力学时的兴趣。至于运动学则改变了以点的复合运动为中心的写法。

四、针对工科课程的特点，编排了联系工程实际的、由浅入深的、前后联系的较大数量例题和习题，以便学生自学和加强对理论、概念的深刻理解和应用，同时也便于教师的选题。

五、各章例题附有讨论和分析专栏，指出学生学习过程中经常出现的问题和容易忽视的概念，以启发学生加深对理论的理解，并传授解题技巧。

六、在运动学和动力学中选编了一部分与航空、航天类专业关系比较密切的内容，如落体偏东、流体对管壁的压力和转矩、变质量体运动、陀螺运动、刚体绕定点转动和刚体一般运动的分析。静力学中仍保留了传统的简单桁架分析，以适应有关结构设计专业的需要。

七、动力学习题中试选了少量不便于解析求解的问题，它们可用微机编程求解或用其他近似方法求解。

本书由黄克累同志担任主编。静力学和运动学全部内容，以及动力学第十四章、第二十三章由刘洁民同志编写。动力学其余部分，包括第十三章、第十五章至第二十二章全部内容由张安厚同志编写。田芴林同志也参加了编写工作。

理论力学在解放前后是一门难教难学的课程，而现在已经成为一门成熟的课程，它是全体理论力学教师们心血的结晶。本书积累了北京航空航天大学（前北京航空学院）理论力学教研室全体教师的经验和体会。我们由衷地感谢北京航空航天大学理论力学教研室主任谢传铎教授的大力帮助和其他老师在繁忙的教学工作中所提供的支援，以及其他有关同志们热情关怀。

本书由清华大学工程力学系钟一谔教授审阅，编者对他所提出的许多宝贵意见表示深切的感谢。

编 者

上册 目 录

绪 论

第一篇 静 力 学

引 言	(4)
-----	-------

第一章 静力学的基本概念和公理

§ 1-1 静力学基本 概念	(5)
§ 1-2 静力学公 理	(7)
§ 1-3 约束和约束 反作用力	(10)
§ 1-4 研究对 象 和受力图	(16)
思考题	(20)
习 题	(21)

第二章 力系理论

§ 2-1 力在坐标 轴 上的投影	(24)
§ 2-2 力矩、力对点之矩、力 对 轴之矩	(26)
§ 2-3 力偶、力偶的 性 质、力偶的等效	(35)
§ 2-4 力偶系 的 合成	(40)
§ 2-5 力系的简化、简化结果的讨论、合 力 矩定理	(43)
思考题	(56)
习 题	(57)

第三章 平面力系的平衡

§ 3-1 平面任意力系的平衡条件、平衡方程的各种形式	(71)
§ 3-2 平面汇交力系、平面平行力系和平面力偶系的平衡方程	(78)
§ 3-3 物体系的平衡问题、静定、静不定概念	(84)
§ 3-4 简单平面桁架的内力计算	(91)
思考题	(97)
习题	(98)

第四章 摩 擦

§ 4-1 滑动摩擦定律	(114)
§ 4-2 考虑滑动摩擦平衡问题的解法	(117)
§ 4-3 滚动摩擦概念	(126)
思考题	(130)
习题	(130)

第五章 空间力系的平衡

§ 5-1 空间任意力系的平衡条件、平衡方程的各种形式	(139)
§ 5-2 空间汇交、平行力系和空间力偶系的平衡方程	(143)
思考题	(150)
习题	(151)

第六章 平行力系中心与重心

§ 6-1 平行力系中心	(159)
§ 6-2 刚体重心坐标公式	(161)
§ 6-3 复合形体重心的计算	(165)

§ 6-4 重心的实验测定 (168)

习 题..... (170)

第二篇 运 动 学

引言 (176)

第七章 点的运动学

§ 7-1 描述点运动的基本方法、点的运动方程 (177)

§ 7-2 点的速度与加速度 (180)

§ 7-3 速度与加速度的矢径法表示 (183)

§ 7-4 速度与加速度的直角坐标法表示 (184)

§ 7-5 速度与加速度的自然法表示 (185)

§ 7-6 速度与加速度的极坐标法表示 (191)

思考题 (204)

习 题..... (205)

第八章 刚体的基本运动

§ 8-1 刚体的平行移动 (213)

§ 8-2 刚体绕定轴的转动 (215)

思考题 (224)

习 题..... (225)

第九章 刚体的平面运动

§ 9-1 刚体平面运动的简化 (230)

§ 9-2 刚体平面运动的运动方程 (231)

§ 9-3 平面图形上各点的速度 (233)

§ 9-4 平面图形上各点的加速度 (239)

思考题 (250)

习 题.....	(250)
----------	-------

第十章 刚体的绕定点运动和一般运动

§ 10-1 刚体的绕定点运动	(264)
§ 10-2 刚体的一般运动	(275)
思考题	(280)
习 题.....	(280)

第十一章 点的复合运动

§ 11-1 绝对运动、相对运动、牵连运动	(288)
§ 11-2 点的速度合成定理	(290)
§ 11-3 点的加速度合成定理	(291)
思考题	(305)
习 题.....	(306)

第十二章 刚体的复合运动

§ 12-1 刚体绕平行轴转动的合成运动	(316)
§ 12-2 刚体绕相交轴转动的合成运动	(319)
思考题	(324)
习 题.....	(325)

下 册 目 录

第三篇 动 力 学

- 第十三章 质点动力学
- 第十四章 质点的振动
- 第十五章 动量定理
- 第十六章 动量矩定理
- 第十七章 刚体的平面运动和定点运动
- 第十八章 动能定理
- 第十九章 动静法
- 第二十章 质点相对运动动力学
- 第二十一章 虚位移原理
- 第二十二章 拉格朗日方程
- 第二十三章 碰 撞

绪 论

力学是研究物质机械运动规律的科学。机械运动亦称力学运动，它的实质是物质在时间、空间中的位置变化——移动、转动、变形、流动、波动、扩散等。一般力学乃是力学的一个分支，它研究牛顿力学和哈密顿力学的一般原理、宏观离散系统的力学现象，包括与某些现代工程技术有关的新兴学科，如陀螺力学、姿态动力学、多刚体系统动力学、外弹道学中的力学现象等。

理论力学在我国则是一般力学理论在高等院校中讲授的一种形式，是一门基础课程。但是这门课程不同于数学、物理等基础理论课程，在工科院校中，它把牛顿力学的理论紧密地同工程实际连系起来，成为工科学生接触工程计算的第一门课程，它的任务是为学生学习后修的有关工科专业课程和以后开展科学研究打下坚实的力学基础。理论力学的内容通常分为静力学、运动学和动力学三部份，它的研究对象是质点、质点系和刚体。理论力学是一门理论严密和逻辑性很强的课程，它以静力学公理、牛顿运动定律和万有引力定律为出发点，应用数学工具进行数学演绎，推导出各种以数学形式表达的结论和定理，例如刚体和质点系平衡的必要、充分条件；质点系的动量定理和动量矩定理；拉格朗日方程等，这是一门很成熟的课程。

然而，由于数学学科的发展，人们掌握的数学工具亦日新月异，因而理论力学课程内容的数学表达亦在变化。半个世纪前，这门工科课程的前身还被称为工程力学或应用力学，其所用的数学仅限于三角、代数、几何、微积分运算；进入五十年代后，矢量、张量、矩阵、线性代数、常微分方程和一些定性理论概念开始跨

入理论力学的门槛。现在,工科理论力学教材已经无一不用矢量这一方便的工具了,教师讲课也常常用到上述的数学概念和方法。

由于学时数目及一、二年级学生数学水平的限制,对工科学生只要求有准确、清楚的力学概念以及连系、解决实际力学问题的能力和方法。静力学在结构构件或机械另件的静力分析和计算中有着广泛的应用;而运动学则是动力学和机构运动分析的基础;动力学中包括动量、动量矩、动能定理的普遍定理和工程技术人员常用的动静法是教学重点,它使学生对动力学基本特征量与力之间的关系有深刻的了解,并要求对一般的工程问题能熟练运用所学理论。拉格朗日方程则是作为进入分析动力学的钥匙而交给工科学生的。上述动力学内容为工科学生提供了建立动力学微分方程的方法和对动力学问题初步分析和求解的能力。至于更深入的力学理论和数学方法,本书则完全没有涉及,譬如以级数展开技术为主的定量方法和以相图的几何性质为基础的定性方法。

随着现代科学技术的发展,力学与其他学科结合而形成的边缘科学名目繁多,另外随着生产的发展也给力学提出了愈来愈复杂的课题,这些问题已为广大力学工作者,包括力学教师所关注。当前,微型计算机的逐步普及正日益深入地影响着理论力学的教学方法和内容,图象显示和较复杂方程的编程求近似解深化了学生的力学概念和计算能力。从长远看,计算机辅助教学已是必然趋势,但限于当前的设备条件,进展比较缓慢,全面普及尚需待以时日。

经典力学作为一般力学和理论力学的基础,近三、四十年来在数学方法上已有很大的变化,几何方法或定性方法有了很大发展,受到物理学家和工程技术人员的注意。因此,今后学习经典力学常需要一些有关微分方程、相流、拓扑、李群、映射、微分流形和近代微分几何等方面的知识,对于工科学生这些当然不是必要的,但是作为一个力学工作者或教师开拓和建立这些方面的知识总是有益的。

第一篇 静 力 学

引 言

静力学是理论力学中建立较早的部分，静力学是研究物体的受力分析；力系的简化理论；各种力系的平衡条件及平衡条件应用的科学。

静力学理论在工程实际中得到广泛的应用，它是机械零件及结构构件进行静力计算及设计的理论基础，另外静力学中建立的概念和理论又是学习动力学和某些后继课程（如材料力学、结构力学等）的基础。

下面介绍静力学中的某些基本概念及公理。

第一章 静力学的基本概念和公理

§ 1-1 静力学基本概念

引言中所述的**平衡状态**是指物体相对于惯性参考系保持静止或作匀速直线运动的状态。工程实际中大多数问题可把固连于地球的参考系近似认为是惯性参考系。

刚体 是指在力的作用下不变形的物体——任意两点之间的距离保持不变的物体。刚体是根据所研究的问题的性质及要求，对物体进行科学地、正确地抽象而得到的力学模型。事实上，物体受力作用总会发生或大、或小的变形，当物体变形很小并对所研究的问题影响甚微时，就可以忽略变形，视物体为刚体。这样，在初步研究中会使问题得到简化。物体能否被视为刚体还与被研究问题的性质有关，例如在研究飞机的稳定性与操纵性时，可将飞机视为刚体；但是在研究飞机颤振时，又必须把飞机视为变形体。静力学中研究的物体主要是刚体，故又称为**刚体静力学**。

力 是物体间的相互机械作用，其作用效应是使物体的运动状态或形状发生改变。力的作用效应由力的大小、方向和作用点——**力的三要素**决定，故力是定位矢量，称为**力矢量**。作图时，力矢量用有向线段 $\vec{F}$ 表示；书写时，用 $\vec{F}$ 或黑体字 $\mathbf{F}$ 表示。在理论力学中谈到力对刚体的作用效应是指力的运动效应，或称**力的外效应**。力在国际单位制中的单位是牛顿（N），在工程单位制的单位是公斤力（kgf），两者换算关系为

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

力系 是指作用于物体上的一群力。假设某力系由 n 个力 $\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_n$ 组成, 则该力系表示为:

$$(\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_n)$$

力系的简化 是指在保持对刚体作用效应不变的前提下, 用一个简单力系代替一个复杂力系。

平衡力系 是指使物体保持原有运动状态不变的力系。

等效力系 是指对同一个刚体作用效应相同的两个力系, 称该两力系互为等效力系。表示为

$$(\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_n) \sim (\bar{Q}_1, \bar{Q}_2, \dots, \bar{Q}_m)$$

若一个力与一个力系等效, 则称该力为力系的**合力**, 力系中各力称为合力的**分力**。表示为

$$\bar{R} \sim (\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_n)$$

力系按作用线分布特点可分为

一、平面力系 所有力的作用线在同一平面内的力系。平面力系又可分为

1. **平面汇交力系** 所有力的作用线汇交于同一点的平面力系。

2. **平面平行力系** 所有力的作用线都相互平行的平面力系。

3. **平面任意力系** 所有力的作用线既不汇交于同一点, 又不相互都平行的平面力系。

二、空间力系 所有力的作用线不在同一平面内的力系。空间力系又可分为

1. **空间汇交力系** 所有力的作用线汇交于同一点的空间力系。

2. **空间平行力系** 所有力的作用线都相互平行的空间力系。

3. **空间任意力系** 所有力的作用线既不汇交于同一点, 又不相互都平行的空间力系。

§ 1-2 静力学公理

静力学公理是人类在长期实践中，对力的基本性质逐步认识、不断积累而得到的结论。公理无需证明而被公认，它是静力学的理论基础。

公理一（二力平衡公理） 作用于刚体上的二力平衡的必要与充分条件是：二力的大小相等、方向相反且作用在同一直线上。

公理一中所述二力可有图1-1(a)(b)两种情况。

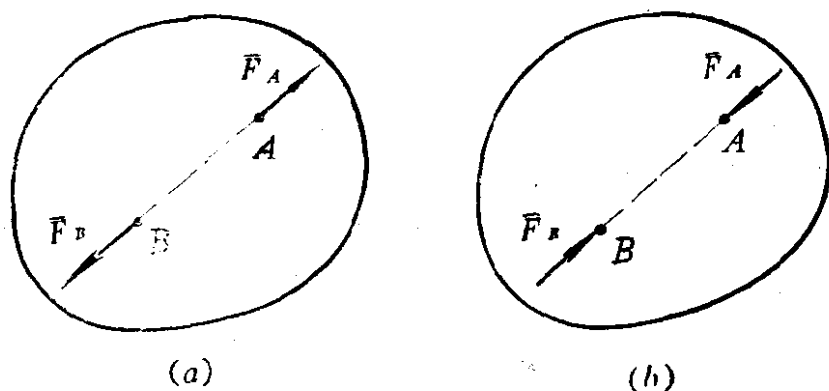


图 1-1

应该指出，对于刚体，公理一给出的平衡条件是必要与充分的。但是，对于变形体，公理一给出的平衡条件是不充分的。例如绳子受等值、反向、共线的压力作用，就不能平衡。

公理二（加减平衡力系公理） 在作用于刚体的任意力系上添加或去掉任何平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。

推论（力的可传性） 作用于刚体上的力可沿其作用线、在刚体内移至任一点，而不改变对刚体的作用效应。

证明 设力 F 作用于刚体上的 A 点（图1-2(a)）。在 F 的作用线上任一点 B ，添加一对等值、反向、共线的力 $\bar{F}_1$ 和 $\bar{F}_2$ ，并令 $\bar{F}_1 = -\bar{F}_2 = \bar{F}$ （图1-2(b)）。根据公理二可知

$$\bar{F} \sim (\bar{F}_1, \bar{F}_2, \bar{F})$$