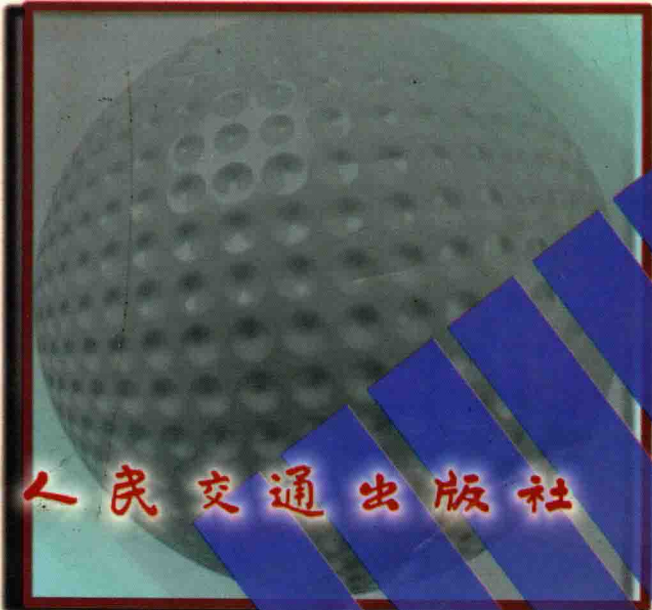


理论力学

李晋三 主编
顾成军
诸关炯 主审



人民交通出版社

理论力学

Lilun Lixue

李晋三 主编
顾成军
诸关炯 主审

人民交通出版社

理论力学

李晋三 顾成军 主编

诸关炯 主审

版式设计:刘晓方 责任校对:刘素燕 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 11.25 字数: 291 千

1999年10月 第1版

1999年10月 第1版 第1次印刷

印数: 0001-2100册 定价: 31.00元

统一书号:15114·0323

内 容 提 要

本书根据原国家教育委员会工科力学课程教学指导委员会制定的“理论力学课程教学基本要求”编写而成。

全书共分三篇十四章,内容包括:绪论、静力学的基本概念与公理、平面汇交力系、平面力偶系、平面任意力系、摩擦、空间力系与重心;点的运动、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动;质点运动微分方程、动力学普遍定理、达朗伯原理和虚位移原理。每章末均附有该章小结、思考题和习题。

本书可作为高等工程专科学校建筑工程、道桥、港航、工程监理等各专业(60~70学时)的理论力学教材,亦可作为职工大学、函授及电视大学的理论力学教材,同时也可供其他专业及有关工程技术人员参考。

前 言

本书是根据原国家教育委员会工科力学课程教学指导委员会制定的“理论力学课程教学基本要求”所编写的。本书适合作为高等专科学校建筑工程、道桥、港航、工程监理等专业的教学用书。

在本书的编写过程中,力求体现当前教育改革的经验,体现专科教学特色,体现从应试教育向素质教育转变这一时代要求。从培养应用型人才这一总目标出发,认真体现基础理论、基本知识和基本技能及掌握概念、强化应用的原则。考虑到适应专科学校力学课程教学时数不断减少的具体情况,本书中对一些原理的论证、公式的推导酌情从略或以小字印刷,以力求做到文字简明,内容精炼,并注意加强与工程实际的联系,以达到培养学生分析和解决实际问题的能力,提高其综合素质的目的。

为便于读者加深对内容的理解、掌握和自学,本书各章均附有小结、思考题和习题,以及习题解答。

参加本书编写的有:南京交通高等专科学校李晋三、顾成军、胥明、姜益军,济南交通高等专科学校刘建忠。全书由李晋三、顾成军任主编,东南大学诸关炯教授负责主审。南京交通高等专科学校力学教研室的老师们对本书的编写提出了许多宝贵的意见。全书插图由蔡家藩副教授绘制。另外,本书的编写还得到南京交通高等专科学校教材科许华、孙惠兰老师的大力支持。在此深表谢意。

由于编者的水平有限,书中难免有错误或欠妥之处,深望广大教师和读者批评指正。

编 者

1998年7月

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 静 力 学

第一章 静力学的基本概念与公理	4
§ 1-1 静力学的基本概念	4
§ 1-2 静力学公理	7
§ 1-3 约束与约束反力	11
§ 1-4 物体的受力和受力图	17
本章小结	20
思考题	21
习 题	21
第二章 平面汇交力系	24
§ 2-1 平面汇交力系的合成与平衡——几何法	24
§ 2-2 平面汇交力系的合成与平衡——解析法	28
本章小结	34
思考题	35
习 题	36
第三章 平面力偶系	39
§ 3-1 力矩的概念与计算	39
§ 3-2 力偶与力偶矩	42
§ 3-3 平面力偶系的合成与平衡	46
本章小结	48
思考题	49
习 题	50

第四章 平面任意力系	52
§ 4-1 平面任意力系向作用面内一点简化	52
§ 4-2 平面任意力系简化结果分析	57
§ 4-3 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	61
§ 4-4 物体系统的平衡·静定与静不定问题的概念	69
§ 4-5 平面简单桁架的内力分析	74
本章小结	79
思考题	81
习 题	82
第五章 摩擦	89
§ 5-1 滑动摩擦	90
§ 5-2 具有滑动摩擦的平衡问题	94
§ 5-3 滚动摩擦的概念	97
本章小结	101
思考题	102
习 题	102
第六章 空间力系和重心	105
§ 6-1 空间汇交力系	105
§ 6-2 力对点之矩和力对轴之矩	110
§ 6-3 空间力偶	114
§ 6-4 空间任意力系向已知点的简化	117
§ 6-5 空间任意力系的平衡条件与平衡方程	120
§ 6-6 重心	124
本章小结	130
思考题	131
习 题	132

第二篇 运 动 学

第七章 点的运动	138
§ 7-1 点的运动的矢径表示法	138

§ 7-2 点的运动的直角坐标表示法	141
§ 7-3 点的运动的自然表示法	146
本章小结	154
思考题	155
习 题	155
第八章 刚体的基本运动	159
§ 8-1 刚体的平行移动	159
§ 8-2 刚体的定轴转动	161
* § 8-3 定轴轮系的传动比	169
本章小结	172
思考题	173
习 题	173
第九章 点的合成运动	178
§ 9-1 点的合成运动的概念	178
§ 9-2 点的速度合成定理	180
§ 9-3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	184
* § 9-4 牵连运动为转动时点的加速度合成定理	188
本章小结	191
思考题	191
习 题	191
第十章 刚体的平面运动	198
§ 10-1 刚体平面运动的基本概念	198
§ 10-2 平面运动分解为平动和转动 刚体平面 运动方程	199
§ 10-3 平面图形内各点的速度·速度投影定理 ·速度瞬心	201
* § 10-4 平面图形内各点的加速度	209
本章小结	211
思考题	211
习 题	212

第三篇 动 力 学

第十一章 质点运动微分方程	219
§ 11-1 引言	219
§ 11-2 动力学基本定律	220
§ 11-3 质点的运动微分方程	222
§ 11-4 质点动力学的两类基本问题	223
本章小结	231
思考题	232
习 题	232
第十二章 动力学普遍定理	237
§ 12-1 动力学普遍定理的概念	237
§ 12-2 动量定理	237
§ 12-3 动量矩定理	250
§ 12-4 动能定理	264
本章小结	281
思考题	283
习 题	284
第十三章 达朗伯原理	303
§ 13-1 惯性力的概念	303
§ 13-2 达朗伯原理	305
§ 13-3 刚体惯性力系的简化	310
本章小结	317
思考题	318
习 题	319
第十四章 虚位移原理	326
§ 14-1 自由度、约束与广义坐标	327
§ 14-2 虚位移与理想约束	330
§ 14-3 虚位移原理	331
§ 14-4 用虚位移原理求约束反力	335

* § 14-5 动力学普遍方程	337
本章小结	340
思考题	341
习 题	341

绪 论

一、理论力学的研究对象

理论力学是研究物体机械运动普遍规律的学科,它作为物理学的一个重要分支已发展成为一门独立的学科。

所谓机械运动,是指物体在空间的位置随时间的变化。平衡作为物体机械运动的特殊情况也将在理论力学中进行研究。

理论力学所研究的内容是以伽利略和牛顿所建立的基本定律为基础的,属于古典力学的范畴,因而不适用于速度接近光速的物体的运动,也不适用于微观粒子的运动。但是,在速度远小于光速的宏观物体的运动的研究中,古典力学仍具有足够的精度。因此,在日常生活和一般的工程技术问题中,古典力学仍然是研究机械运动的既准确又方便的工具。

二、理论力学的任务及其研究内容

由于机械运动是工程专业一般都要接触到的问题,所以理论力学是解决工程技术问题的基础。某些较为简单的工程实际问题可以直接应用理论力学的一些基本理论去解决,而有些较复杂的工程实际问题则要结合其他的专业知识共同来解决。

同时,由于理论力学是一门理论性较强的技术基础课,它所研究的内容是力学中最基本的普遍规律,因此理论力学课程又是学习一系列后续课程的重要基础。很多工程专业的后续课,例如材料力学、结构力学、机械原理、弹性力学等都要以理论力学为基础。很多专业课程也或多或少地要运用理论力学的知识。

此外,通过本课程的学习,能够进一步培养学生分析问题和解

决问题的能力,为今后解决生产实际问题,服务于社会主义现代化建设打下基础。

本课程的内容分为**静力学**、**运动学**和**动力学**三个部分。

静力学主要研究受力物体平衡时的作用力所应满足的条件、物体受力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),而不考虑引起运动的原因。

动力学研究物体的运动及其变化与物体所受的力之间的关系。

三、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。通过实践去发现真理,又通过实践而证实和发展真理,这是任何科学技术发展的正确途径。力学的发展历史表明,与任何其他科学一样,理论力学的研究方法也遵循辩证唯物主义认识过程的客观规律。概括地说,理论力学的研究方法是从观察、实践和科学实验出发,经过分析、综合和归纳,总结出力学的最基本的概念和规律。在这个过程中,抽象化和数学演绎这两种方法起着重要的作用。

客观事物总是复杂多样的。在我们占有大量来自实践的材料后,必须根据所研究问题的性质,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。这就是力学中普遍采用的抽象化方法。抽象化的力学现象也称为力学的理想模型。例如,在某些问题中撇开物体的变形,就得到刚体这种力学模型,撇开摩擦的作用就得到理想约束的概念,撇开流体的粘性就得到理想流体的概念,等等。

通过抽象化,将长期实践和实验所积累的感性材料加以分析、综合、归纳,得到一些基本的概念和定律或原理后,再在此基础上建立起系统的理论。在这个过程中,数学演绎是广泛应用的方法。即以基本概念和定律或原理为基础经过严密的数学演绎,得到一些定理和公式,构成系统的理论。但是,应当注意,数学演绎是在

经过实践证明其为正确的理论基础上进行的,并且,由此导出的定理或公式,还必须回到实践中去检验,证明其为正确时才能成立。我们知道理论力学的许多定理都是以牛顿定律为基础,经过严密的数学推导得到的。这些定理揭示了力学中的一些物理量之间的内在联系,并经实践证明是正确的。但是,我们也知道,这些定理只是相对真理,只在一定的范围内才成立。所以,对数学演绎既要重视,又不能错误地把数学演绎绝对化,不能把力学理论当作只是数学演绎的结果而忽视实践的作用。

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,再回到实践,如此不断地循环往复,每一循环都比原来的提高一步,这是每门科学发展的共同道路,理论力学也是沿着这条道路向前发展的。

怎样将工程实际问题抽象成为力学问题,然后在已有的力学理论的基础上,运用数学工具求得解决,进而发展力学理论,正是我们应当学会并在今后工作中努力做到的。

第一篇 静 力 学

第一章 静力学的基本概念与公理

§ 1-1 静力学的基本概念

本章将阐述在研究静力学时首先要遇到的几个基本概念,并介绍作为静力学理论基础的几个公理,最后介绍物体的受力分析和受力图。

一、平衡的概念

静力学研究物体机械运动的特殊情况,即物体的平衡问题。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。例如桥梁、房屋、作匀速直线行驶的汽车等等,都是处于平衡状态。值得强调的是,由于宇宙中一切物体无不在永远的运动,因此一切平衡都只是相对的和暂时的。运用静力学理论来研究物体相对于地球的平衡问题,其分析计算的结果是足够精确的。

二、刚体的概念

在理论力学中我们把物体看作刚体,所谓刚体,就是在任何情况下都不变形的物体。这一特征表现为刚体内任意两点的距离永远保持不变。刚体是一个理想化的力学模型。实际上宇宙间并不

存在刚体,任何物体,在力的作用下都将发生不同程度的变形,但在许多情况下,这种变形是极其微小的。理论力学在研究物体的平衡或运动时,将这种微小的变形忽略不计,从而建立了刚体的模型。显然这种抽象简化是必要的,合理的。在静力学中研究的对象只限于刚体,因此静力学有时也称为刚体静力学。应该指出,把物体抽象化为刚体时,要注意所研究问题的内容和条件,当变形这一因素在所研究的问题中转化为主要因素时,就不能再把物体看成刚体了。这种问题将在变形体力学(如材料力学、结构力学、弹性力学及流体力学等)中研究。

三、质点及质点系的概念

在理论力学中随着问题的不同,除了将实际物体抽象化为刚体外,另外还有两个理想模型,即质点和质点系。

所谓质点,是指具有一定质量而其形状与大小可以忽略不计的物体。在力学中被视为质点的物体大小是相对的,例如,在研究行星绕太阳运动的问题时,虽然行星本身体积很大,但是相对于它们运动的范围来说却是很小的,因此可以把行星视为质点。可是在研究行星的自转时,就不能把它们视为质点了。

所谓质点系,是指由有限个或无限个有着一定联系的质点所组成的质点群。有时也称为机械系统。质点系中各质点间的距离保持不变的系统为不变质点系。刚体就是由无限个质点组成的不变质点系。

由若干个刚体组成的系统,称为物体系统,简称物系。

四、力的概念

力的概念是人们从长期的观察和实践中经过抽象而得到的,可概括为:力是物体与物体之间的相互机械作用,这种作用的效应使物体的运动状态和形状发生变化。

物体受到力的作用后,一方面改变了运动状态即改变了速度,另一方面也改变了物体原来形状即发生了变形,前者称为力的外

效应或运动效应,后者称为力的内效应或变形效应。在理论力学中主要研究力的外效应。

力对物体的效应取决于力的大小、方向和作用点(作用位置),通常称为力的三要素。力的大小是指物体间相互作用的强度。在国际单位制(SI)中力的单位是牛顿(N)。力的方向用方位和指向合起来表明,如铅垂向下,水平向左等。力的作用点指的是力在物体上的作用位置,是一个经抽象后得到的概念。一般来说,力的作用位置并不是一个点而是一定的面积。但是,当作用面积很小时就可以近似地看作一个点,这个点就是力的作用点,而作用于这个点的力称为**集中力**。过力的作用点代表力的方位的直线称为力的作用线。如果力的作用范围不能抽象化为一个点时则为**分布力**。这种分布力在理论力学中常用与之等效的集中力来代替。

根据以上所述,既然一个力可由三个要素即大小、方向和作用点来表示,因此力具有矢量所具备的条件,即**力是矢量**,且为**定位矢量**,可用一具有方向的线段来表示,如图 1-1 所示。线段的方位和箭头的指向表示力的方向,线段的起点(或终点)表示力的作用点,而与线段重合的直线表示力的作用线。在本书中用黑体字母表示矢量(如 $\boldsymbol{F}$),矢量的大小(又称模)则用相应的普通字母(如 F)来表示。

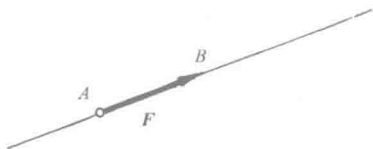


图 1-1

通常,作用于物体上的力不只是一个而是若干个,这若干个力称为力系。

力系依作用线分布情况的不同有下列几种:若所有力的作用线在同一平面内时,称为**平面力系**;否则称为**空间力系**。若所有力的作用线汇交于一点时,称为**汇交力系**;而所有力的作用线都相互平行时,称为**平行力系**;否则称为**任意力系**。

若两个力系分别作用于同一物体而效应相同时,则这两力系称为**等效力系**。若力系与一力等效,则此力就称为该力系的合力,

而力系中的各力,则称为此合力的分力。

在一定条件下,物体受到力系作用时可以保持运动状态不变,即处于平衡状态。作用于物体上使其处于平衡状态的力系称为平衡力系;平衡力系应满足的条件称为平衡条件。静力学中研究刚体的平衡规律,就是研究作用于刚体的力系的平衡条件。

为了弄清已知力系对刚体的作用效应,静力学中还研究力系的简化。所谓简化就是将作用于刚体的力系代换为与它等效的比较简单力系。通过力系的简化,就可以进一步来研究力系的平衡条件。

综上所述,静力学研究的基本问题为:(1)力系的简化;(2)力系的平衡。在本篇中,将按照力系中各力作用线在空间的分布情况,由特殊到一般,逐步深入地讨论这两个基本问题。

§ 1-2 静力学公理

公理是人类经过长期的观察和反复的实践而得到的结论,它已为实践所证实,并为大家所公认。静力学公理是人们关于力的基本性质的概括和总结,它们是静力学理论的基础。

公理 1——二力平衡公理

要使作用于一个刚体上的两个力平衡,其必要与充分条件是:这两个力的大小相等,方向相反,且作用于同一直线上。

公理 1 揭示了作用于物体上最简单的力系平衡时必需具备的条件。对于刚体来说,这个条件是必要与充分的;但对于变形体来说,则仅是必要条件而不是充分条件。例如,软绳的两端受到等值、反向、共线的两力拉伸时处于平衡状态;而如改为受压,则即使两力仍等值、反向、共线,软绳也将蜷曲而失去平衡。

图 1-2 表示了满足公理 1 的两种情况。

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,该二力的方位必沿二力作用点的连线。

公理 2——加减平衡力系公理