

中等专业学校教材

理 論 力 学

吳凤才 張明忠 王宗五合編

人 民 教 育 出 版 社



本书系北京建筑工程学校理論力学教研組吳凤才、張明忠和王宗五等同志根据中华人民共和国建筑工程部教育局 1962 年 7 月頒布試行的土建类中等专业学校通用的理論力学教学大綱(草案)而編写的。

全书分靜力学、运动学和动力学三部分。靜力学包括靜力学的基本概念及公理,平面汇交力系,平面平行力系,平面力偶系,平面一般力系,图解靜力学基础,摩擦,空間力系及重心。运动学包括点的直綫运动,点的平面曲綫运动,剛体运动的基本形式,点的复合运动及剛体平面平行运动。动力学包括质点动力学基本概念及定律,质点运动微分方程式,动静法,剛体繞定軸轉动时的基本方程式,动力学基本定理及动能定理。此外每章末附有复习題和习題,可供参考。

本书可作为土建类中等专业学校教材,也可供其他专业师生和工程技術人員参考。

中等专业学校教材 土建类专业通用 理 論 力 学

吳凤才 張明忠 王宗五合編

北京市书刊出版业营业許可証出字第 2 号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店經售

統一书号 K13010·1103 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 8 $\frac{1}{2}$

字数 230,000 印数 0,001—3,000 定价(4) 0.70

1963 年 10 月第 1 版 1963 年 10 月北京第 1 次印刷

序 言

本书是以北京建筑工程学校 1959 年編写的理論力学讲义为基础，經過逐章整理改写而成，并在苏州建筑工程学校力学教研組教师中进行了討論，最后由西安建筑工程学校陈怀德同志对全书进行了审閱。

在編写过程中，一方面考虑了土建类专业的特点，同时也照顾了本門課程系統的完整性。教师在讲授过程中可以根据不同专业的具体要求，酌情取舍。此外各章配备了較多的习题，教师在布置作业时，可适当选择，要避免使学生負担过重。

由于我們政治水平和业务水平不高，缺乏編写經驗，錯誤之处，在所难免，誠恳地希望讀者們对本书提出宝貴的意見，以便进行修改。

編 者

1963 年 4 月

序言	vii
緒論	1

靜 力 学

第一章 静力学的基本概念及公理	6
§ 1-1. 静力学的基本概念	6
§ 1-2. 静力学公理	8
§ 1-3. 約束及其分类·示力图	11
复习題	17
习 題	17

第二章 平面汇交力系	21
I. 平面汇交力系的图解法	22
§ 2-1. 平面汇交力系的合成与分解	22
§ 2-2. 平面汇交力系平衡的图解条件	25
§ 2-3. 三力平衡定理	27
II. 平面汇交力系的数解法	29
§ 2-4. 力在坐标轴上的投影	29
§ 2-5. 数解法求平面汇交力系的合力	30
§ 2-6. 平面汇交力系平衡的解析条件	33
III. 平面汇交力系平衡条件的应用	37
§ 2-7. 桁架的一般概念	37
§ 2-8. 节点法求桁架各杆内力	38
复习題	40
习 題	41

第三章 平面平行力系	45
§ 3-1. 两个同向及反向平行力的合成	45
§ 3-2. 将一个力分解为与之平行的两个分力	49
§ 3-3. 力矩的概念	50
§ 3-4. 平面力系力矩定理	51
§ 3-5. 用力矩定理求平面平行力系的合力	55

复习题	56
习 题	56
第四章 平面力偶系	58
§ 4-1. 力偶的概念·力偶矩	58
§ 4-2. 平面力偶的互等定理	60
§ 4-3. 平面力偶系的合成和平衡条件	62
复习题	66
习 题	66
第五章 平面一般力系	68
I. 平面一般力系的简化	69
§ 5-1. 力向已知点的平行移动	69
§ 5-2. 平面力系向已知点简化	70
§ 5-3. 平面一般力系合成结果的讨论	73
II. 平面一般力系的平衡条件·约束反力的计算	74
§ 5-4. 平面一般力系的平衡方程式	74
§ 5-5. 平面平行力系的平衡方程式	81
§ 5-6. 超静定问题的概念	82
§ 5-7. 刚体系的平衡问题	83
III. 平面一般力系平衡条件的应用	86
§ 5-8. 截面法求桁架杆件的内力	86
复习题	90
习 题	90
第六章 图解静力学基础	96
I. 平面一般力系的合成	96
§ 6-1. 图解法求平面一般力系的合力	96
§ 6-2. 力系合成为力偶的情况	100
II. 平面一般力系的平衡条件·约束反力的计算	101
§ 6-3. 力系的平衡条件	101
§ 6-4. 用图解法求约束反力	102
III. 图解平衡条件的应用	105
§ 6-5. 桁架内力图解法	105
复习题	108
习 题	108

第七章 摩擦	111
§ 7-1. 摩擦的一般概念	111
§ 7-2. 滑动摩擦的试验及定律	112
§ 7-3. 摩擦系数和摩擦角	113
§ 7-4. 考虑摩擦力时物体的平衡问题	115
* § 7-5. 滚动摩擦	119
复习题	121
习 题	121
第八章 空间力系	124
§ 8-1. 力在空间坐标轴上的投影	125
§ 8-2. 空间汇交力系的合成	126
§ 8-3. 空间汇交力系的平衡条件	127
* § 8-4. 空间力偶系	130
§ 8-5. 力对点之矩和力对轴之矩	134
* § 8-6. 空间一般力系的合成	137
* § 8-7. 空间一般力系的平衡条件	140
复习题	143
习 题	143
第九章 重心	148
§ 9-1. 平行力系中心	148
§ 9-2. 重心概念及其计算公式	150
§ 9-3. 均质薄板的重心, 静力矩的概念	151
§ 9-4. 简单物体重心	152
§ 9-5. 组合图形重心的求法	154
§ 9-6. 型钢组合截面重心的求法	157
复习题	159
习 题	160
运 动 学	
第十章 点的直线运动	165
§ 10-1. 点的直线运动·运动方程式	165
§ 10-2. 直线运动的速度和加速度	166
§ 10-3. 动点的匀速运动和匀变速运动	170
复习题	173
习 题	173
第十一章 点的平面曲线运动	175

§ 11-1. 点的运动方程式	175
§ 11-2. 平面曲线运动的速度	177
§ 11-3. 平面曲线运动的加速度	180
复习题	187
习 题	188
第十二章 刚体运动的基本形式	190
§ 12-1. 刚体的平行移动	190
§ 12-2. 刚体绕固定轴转动	192
§ 12-3. 转动刚体上各点的速度·加速度	196
复习题	200
习 题	200
第十三章 点的复合运动	202
§ 13-1. 点的绝对运动、相对运动和牵连运动的概念	202
§ 13-2. 点的相对、牵连和绝对速度·速度合成定理	203
复习题	207
习 题	207
第十四章 刚体平面平行运动	209
§ 14-1. 刚体平面平行运动时的运动方程式	209
§ 14-2. 平面图形运动时各点速度的分析	211
§ 14-3. 瞬时速度中心法	213
复习题	216
习 题	216
动 力 学	
第十五章 质点动力学基本概念及定律	220
§ 15-1. 动力学的基本定律	220
§ 15-2. 工程单位制	223
复习题	224
第十六章 质点运动微分方程式	225
§ 16-1. 质点运动微分方程式	225
§ 16-2. 质点动力学两类问题的解法	226
复习题	231
习 题	231
第十七章 动静法	233
§ 17-1. 惯性力的概念	233

§ 17-2. 动静法(达朗贝尔原理).....	234
复习题.....	236
习 题.....	236
*第十八章 刚体绕定轴转动时的基本方程式	238
§ 18-1. 刚体绕定轴转动的动力学基本方程式.....	238
§ 18-2. 刚体转动惯量的计算.....	239
复习题.....	244
习 题.....	244
第十九章 动力学基本定理——动量定理	245
§ 19-1. 质点的动量定理.....	245
*§ 19-2. 质点系的动量定理.....	249
复习题.....	251
习 题.....	252
第二十章 动能定理	253
§ 20-1. 功的概念与计算.....	253
§ 20-2. 功率.....	256
§ 20-3. 质点的动能定理.....	257
*§ 20-4. 质点系的动能定理.....	259
复习题.....	262
习 题.....	262

緒 論

一、理論力学的任务和內容

理論力学是研究物体机械运动一般規律的科学。

物体在空間的位置随時間的变化(包括一物体对于其他物体的相对平衡)都称为机械运动。如机器的运转、星球的运行以及房屋、桥梁等相对于地球的静止,都是机械运动的例子。

我們知道,宇宙中的一切物质都是处在不断的运动中,物质运动的形式是多种多样的,除机械运动外,还有物理变化,化学变化,以至于人們的思維活动等。机械运动是物质运动中的一种最简单的形式。

理論力学一般包括靜力学、运动学和动力学三部分。靜力学是研究物体平衡时作用力之間的关系的;运动学只研究物体运动的几何性质,不牵涉到力的作用;动力学則研究普遍的情况,研究物体的运动和作用力之間的关系。

二、学习理論力学的目的

学习理論力学的主要目的是:

1. 在工程技术的許多領域中,普遍存在着机械运动的各种問題。学习理論力学后,便于我們利用理論力学的基本原理和方法,解决工农业生产 and 日常生活中的简单力学問題。

2. 理論力学闡述了力学中最基本的知識,因而学习它可以为以后学习材料力学、結構力学和建筑結構等課程打下必要的力学基础。

3. 通过理論力学的学习,有助于培养辯证唯物主义的世界观,領会本門科学的研究方法,可以提高对問題的分析能力。

此外,通过理論力学的学习,还可以鍛炼运算的技巧。

三、理論力學發展史概述

力學是一門古老的科學。力學的產生、成長和發展，是與社會生產力的發展分不開的。生產的需要推動了力學的發展，同時力學的理論又反過來指導和促進生產。力學的理論是勞動人民長期生產實踐的總結。在歷史發展過程中湧現出了許多科學家，他們集中了勞動人民的智慧，總結了前人的經驗，對力學發展作出了卓越的貢獻。社會制度與科學的發展是相互影響的。我國解放後的成就充分說明了社會主義制度對促進科學發展的無比優越性。

勤勞智慧的祖國人民，在很早的年代裡對力學理論就有了很好的認識，並應用在實際工程中。在力學理論方面，戰國時代墨翟（公元前468—376年）在他的著作《墨經》中，討論了力和槓桿平衡等內容，是世界上最早的有关力學理論的著作。在水利工程方面，戰國秦昭王（公元前300年）時代偉大的水利學家李冰父子修建的都江堰，距今雖已有兩千多年的歷史，但仍然在農業上發揮很大的作用。在機械工程方面，如指南車、記里鼓車、槓桿、水磨、滑車及輪軸等很早就廣泛地被人們應用。在建築工程方面，有偉大的萬里長城、無數雄偉壯麗的宮殿和橋梁建築等。以上事實可以充分地說明我國人民具有高度的智慧和豐富的發明創造能力，只是由於受到長期的封建社會制度的束縛，使勞動人民在生產實踐中所取得的輝煌成就未能總結成系統的理論。

從十五世紀末葉起，歐洲商業資本開始發達。由於生產力激劇地向前發展，力學亦相應地獲得了發展，不僅靜力學日趨完善，而且動力學也開始形成。如意大利科學家伽利略（公元1564—1642年），從觀察落體運動而提出了加速度的概念，並在研究物體沿斜面的運動中建立了慣性定律。英國科學家牛頓（公元1643—1727年），全面總結了前人的研究成果，建立了動力學基本定律，從而奠定了動力學的基础。

十八世紀，為了適應機械工業發展的需要，力學沿着新的方向發

展。1743 年达侖貝爾提出的動靜法和 1788 年拉格朗日發表的分析力學等都達到了很高的水平。

在十九世紀，由於工業建設與現代航空技術的發達，使力學開始向專門化方向發展，如彈性力學、流體力學和氣體動力學等各方面都有了很大的進步。

十月革命以來，蘇聯科學技術以很高的速度向前發展着。1957 年 10 月蘇聯成功地發射了第一顆人造地球衛星，开辟了人類進入宇宙空間的新紀元。1961 年 4 月又成功地發射了世界上第一艘載人的宇宙飛船。這些事實說明了蘇聯在這方面的科學技術成就。

我國解放後，在中國共產黨的領導下，科學技術獲得了很大的成就，力學也有了很大的發展。力學工作者的隊伍正在不斷成長和壯大。我國已建成的武漢長江大橋、佛子嶺等大中型水庫和人民大會堂等宏偉建築，都標誌着我國在力學方面的成就。今後隨着工農業生產的繼續發展，將會出現更新的力學課題，從而必將促使力學的不斷發展。可以斷言，在中國共產黨的領導下，在社會主義建設總路綫、大躍進、人民公社三面紅旗的光輝照耀下，在馬克思列寧主義、毛澤東思想的指導下，我國在力學科學上將獲得愈來愈多的成就。

靜 力 学

靜力学是研究作用于剛体上的力系的合成和分解以及力系的平衡条件的科学。为此在靜力学各章中主要研究下列两个問題:

1. 力系的合成和分解: 研究如何将作用于剛体上的力系, 用一个与原力系作用效果相同而便于分析的力系来代替。

2. 力系的平衡条件: 研究受力作用下的剛体平衡时各力之間應該滿足的条件。

研究力系的合成和分解既可以推导出力系的平衡条件, 又为以后研究动力学奠定了基础。

通过靜力学的学习, 将为建筑結構和机械零件等課程中进行受力的分析和計算奠定了必要的基础。

第一章 靜力学的基本概念及公理

为了系統地研究靜力学,首先要建立有关靜力学的一些基本概念,本章主要研究以下三个問題:

1. 靜力学的基本概念: 这些概念是人类經過长期反复实践,对一些問題由感性上升为理性阶段的总结,它反映了事物的一些最基本的客观規律。

2. 靜力学公理: 这些公理說明了作用在剛体上的力的一些基本性质。

3. 約束、約束反力和示力图: 它們能提供对剛体进行受力分析的基本方法。

以上三个問題对学习靜力学十分重要,必須很好地掌握。

§ 1-1. 靜力学的基本概念

平衡: 平衡是指物体相对于周围物体处于靜止或匀速直綫运动的状态。如桥梁和房屋等等,都是处于相对靜止的状态。

靜力学中所指的平衡,如果没有特別注明相对于哪个物体时,都是指相对于地球而言。

剛体: 剛体是指在任何外力作用下忽略其几何形状改变的物体。

人們都可以感觉到,自然界中受力的物体都有或大或小的变形,那为什么在理論力学中忽略其变形而假设为剛体呢? 这是首先因为我們研究問題时必須分清問題的主要方面和次要方面,要抓住其主要的因素,而把对我们所研究的問題影响不大的次要因素暂时忽略掉。目前对机械运动的研究是主要因素,而变形是次要因素,因此可把物体假设为剛体。其次也因为工程中的物体在外力作用下确实变形很小(如一

般的钢筋混凝土梁中部最大垂度也仅相当于梁的长度的 $\frac{1}{250} \sim \frac{1}{300}$ 。因此在理论力学中把物体按刚体处理所得出的结果与实际出入不大，这样就便于对问题的讨论。至于变形体的问题，有待材料力学等课程去解决。

力：力是物体间相互的机械作用，这种作用引起物体机械运动状态的变化或者使物体发生变形。

在自然界中物体间的相互作用是多种多样的，如两物体的碰撞作用，光和热的照射，辐射作用，电磁的感应作用等等。在这些作用中有这样一种作用，它的结果使物体的机械运动状态或运动趋势发生改变，只有这种作用才能用力来描写。例如地球对每个物体的作用，其结果就使物体产生加速度下落，这种作用就叫重力作用。再如机器刹车时由于摩擦力的作用使速度逐渐减小。

从经验可知，机械运动的改变有大小和方向两个方面，因此描写一个力应具有下面三个因素：1. 力的大小；2. 力的方向；3. 力的作用点。这三个因素通称为力的三要素。

为了表示力的大小，我们必须规定力的单位。在工程中常采用公斤作为力的基本单位。力常用弹簧秤来测量(图 1-1)。

力是具有大小和方向的量，我们用一个带有箭头的线段来描写它。

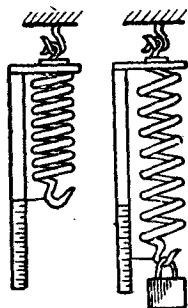


图 1-1

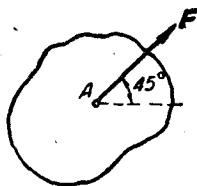


图 1-2

力的大小(或称模)由线段的长度来表示,方向由线段的方位和指向来表示,力的作用点由线段的起点或终点来确定。如图 1-2 表示了一个力 F 。

在自然科学中常遇到的量有有向量与无向量的区别,例如力、速度等有一定的方向,我们称之为有向量;另一些量如距离、面积、温度等只用大小来说明,我们称之为无向量。

在力学中的力,可以分为外力和内力,外力是指其他物体对所研究的物体的作用力。内力是指在物体系内各物体间相互作用的力。外力和内力的区分并非绝对的,将由研究对象的不同而异。如将图 1-3 中所示的粉笔盒和桌子同时看作研究对象,那么粉笔盒与桌子间的作用力就是内力。如单独研究桌子,那么粉笔盒对桌子的作用就是外力。

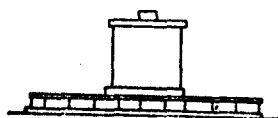


图 1-3

§1-2. 静力学公理

为了便于以后的研究,首先明确静力学中的几个基本定义。

力系: 同时作用在一个刚体上的一群力。

等效力系: 两个力系对同一个刚体分别作用后,其效果相同时,这两个力系互称为等效力系。

如果力系与一个力等效,这个力就称为此力系的合力。力系中其他各力称为这个合力的分力。

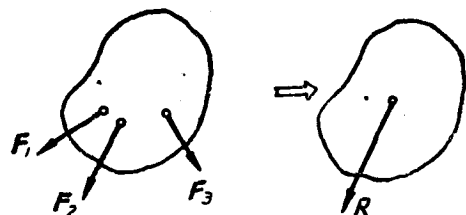


图 1-4

如图 1-4 所示,力系 $(F_1, F_2, \dots, F_n)$ 与 R 等效, R 称为力系的合力。

平衡力系: 如物体在已知力系作用下,处于平衡状

态, 则此力系称为平衡力系。

为了研究力系的合成和分解以及平衡的条件, 需要先对力系某些基本性质进行了解。静力学公理是人们经过长期观察和分析而得到的力的一些最基本的规律, 这些规律为我们研究静力学的主要问题提供了必要的基础。

公理 1: 作用在一个刚体上的两个力, 若使刚体处于平衡, 其必要和充分的条件是: 两力大小相等, 方向相反, 且作用线在同一直线上。此公理说明了一个刚体受两个力平衡时所应满足的条件(图 1-5)。

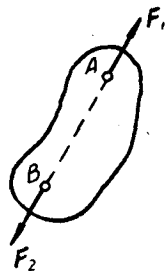


图 1-5

公理 2: 作用在一个刚体上的已知力系, 若在其力系中加上一个或减掉一个平衡力系, 对刚体的作用效果不变。

因为平衡力系对物体运动状态是没有影响的, 所以增加一个或去掉一个平衡力系对刚体运动的效果是不会改变的。需要指出的是这里的效果是指机械运动效果。

推论: 由公理 1 和公理 2 我们可以得到如下推论:

作用于刚体上力的作用点可沿其作用线移动而不改变它对刚体的作用效果。

$$(F) \longrightarrow (F, F_1, F_2) \longrightarrow (F_1).$$

如图 1-6 所示, 在力 F 的作用线上任取一点 B , 加一对 $F_1 = -F_2 = F$ 的平衡力系, 则由公理 2 知刚体的运动状态是不变的, 即力系 (F, F_1, F_2) 与力 (F) 等效。但 F 与 F_2 是大小相等方向相反沿同一直线的平衡力系, 所以可以去掉, 因此力 (F_1) 与

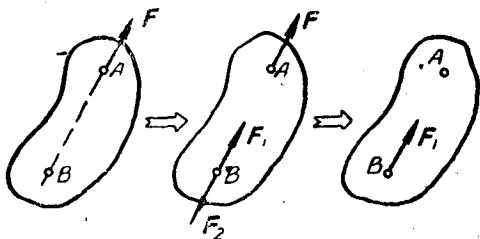


图 1-6