

高等学校教学参考书

理论力学

陈维新 陆钟瑞 于天祺 陆金柱 编
陈维新 主编

人民教育出版社

书

高等学校



理 论 力 学

陈维新 陆钟瑞 于天谔 陆金柱 编
陈 维 新 主 编

人 民 教 育 出 版 社

本书内容分静力学、运动学和动力学三部分，其中运动学和动力学仅述及平面问题。静力学部分有：静力学的基本概念和公理，平面汇交力系，平面力偶系，平面任意力系，空间力系。运动学部分有：点的运动，刚体的基本运动，点的复合运动，刚体的平面运动。动力学部分有：动力学导论，动量定理，动量矩定理，动能定理，达朗伯原理。

本书按各专业要求，主要用数量法分析问题。

本书可供高等工业学校化工、轻工业、地质勘探及采矿类各专业等选作理论力学课程的教学参考书。

简 装 本 说 明

目前 850×1168 毫米规格纸张较少，本书暂以 787×1092 毫米规格纸张印刷，定价相应减少 20%。希鉴谅。

理 论 力 学

陈维新 陆钟瑞 于天祺 陆金柱 编

陈维新 主 编

人民教育出版社出版（北京沙滩后街）

国营五二三厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 15012·0039 开本 787×1092 1/32 印张 6 12/16

字数 175,000 印数 11,901—91,900 定价(5) 0.52 元

1964 年 7 月第 1 版 1978 年 3 月第 5 次印刷

序

本书是根据 1962 年 5 月高等工业学校教学工作會議的精神編写的。

我們认为学好理論力学，必須首先抓住理論力学中基本概念和基本定律的实质，理解从基本概念和基本定律导出的基本定理和結論的物理意义，并掌握由这些定理和結論引出的基本方法以及它們的最典型的应用。

显然，如果不把这些基本方法和它們的最典型的应用跟实践联系起来，还是不能解决实际問題的。

根据我們以往的教学經驗，把理論力学中的問題分成几大类型，并对每个类型的问题所应采取的求解方法加以詳細介紹，这样对提高学生的解題能力，效果較好。

因此，理論力学的教材內容，应注意：第一，明确指出基本概念和基本定律的实质，詳細說明基本定理和結論的物理意义，从而能使学生准确地掌握基本方法及其应用；第二，把理論跟实践联系起来，反复应用基本方法求解力学問題。

对少学时类型理論力学的各专业來說，为了达到上述要求，在教材內容方面我們还采取了如下的措施：

1. 根据专业的需要，以靜力学的平面力系、运动学的点的复合运动、动力学的质心运动定理和达朗伯原理作为主要章节，并加以詳細叙述；对其他次要章节則相应地作了削減。

2. 通过以下四个方面来加强基本訓練：

- 1) 反复分析把实际問題抽象为理論力学模型的方法；

- 2) 詳述取分离体的方法，并定出作受力图的規律，便于掌

握和应用;

3) 詳述建立力系平衡方程的方法;

4) 指明主要的基本概念和基本定律的实际意义(如約束、力矩、力偶矩、慣性力、第一定律等等),詳述基本定理的物理意义(如质心运动定理)和基本方法的应用(如动静法)。

3. 随时提出在教学实践中所遇到的对学生容易混淆的各种問題,并加以詳細說明。

4. 例题尽量联系工程实际中的基本問題,以掌握解题原則为主,并介紹对不同問題所应采取的解题方法。

最后对本书內容还須作如下的說明:

1. 本书的例题数量較多,但不一定要全部讲解,主要是供教师选择和讀者自学之用。

2. 按照教学大綱(草案),力偶矩矢的概念、空間力偶系的合成和平衡条件、空間任意力系的平衡条件和平衡方程三节都是附有“*”号的加选題材。我們认为,空間力系的平衡条件在后继課程和实际工作中常会遇到,因此把該节的“*”号取消了。但是这部分內容是否需要讲授,各校可根据具体情况灵活掌握。

3. 物体系的平衡問題原来不屬於大綱的內容。我們觉得,在运动学和动力学中所談的問題多数是物体系的問題,所以我們在靜力学中也把这一节加了进去,并附有“*”号作为加选題材。这样該节中有些名詞和概念与动力学部分的质点和质点系一节有重复,在讲解时应予注意。

书中所用例题,由于我們对其他专业了解不深,难免有偏于化工方面的傾向,采用本书的教师可結合自己学校的具体情况,加以必要的增删。

限于水平和時間,本书不妥之处,在所难免,希望大家指正,使本书质量得以提高。

本书系由华东化工学院力学教研组陈維新、陆钟瑞、于天祺和陆金柱合編，陈維新主編。

本书由浙江大学王仁东同志审閱，西北工业大学季文美、呂茂烈等同志对本书提供了許多宝貴意見，一并致謝。

編者

1964年2月

序	vii
緒論	1

第一篇 靜力學

第一章 靜力學的基本概念和公理	5
§ 1-1 靜力學的对象	5
§ 1-2 剛體的概念	5
§ 1-3 力的概念	6
§ 1-4 靜力學公理	8
§ 1-5 約束及約束反作用力	11
§ 1-6 分離體和受力圖	17
第二章 平面匯交力系	21
§ 2-1 平面匯交力系合成的幾何法	21
§ 2-2 平面匯交力系平衡的幾何條件	23
§ 2-3 力的分解	24
§ 2-4 力在軸上的投影·合力投影定理	25
§ 2-5 平面匯交力系合成的解析法	26
§ 2-6 平面匯交力系平衡的解析條件·平衡方程	27
§ 2-7 平面匯交力系平衡問題的解題步驟	28
第三章 平面力偶系	33
§ 3-1 同向和反向兩平行力的合成	33
§ 3-2 力對點的矩	35
§ 3-3 力偶矩·等效力偶	35
§ 3-4 力的平移和力對點取矩	37
§ 3-5 平面力偶系的合成和平衡條件	40
第四章 平面任意力系	43
§ 4-1 平面任意力系向作用面內任一點的簡化	43
§ 4-2 平面任意力系合成為合力的情況·合力矩定理(伐里農定理)	45
§ 4-3 平面任意力系合成為力偶的情況	46
§ 4-4 平面任意力系的平衡條件和平衡方程	48
§ 4-5 平面任意力系平衡問題的解題方法	49
§ 4-6 平面平行力系的合成和平衡方程	56

§ 4-7	靜定和靜不定問題的概念	57
* § 4-8	物体系的平衡	58
§ 4-9	滑动摩擦	64
§ 4-10	有摩擦时的平衡問題	67
第五章	空間力系	72
§ 5-1	空間汇交力系的合成和平衡条件	72
* § 5-2	力偶矩矢的概念	75
* § 5-3	空間力偶系的合成和平衡条件	76
§ 5-4	力对軸的矩	78
§ 5-5	空間平行力系的合成和平衡方程	80
§ 5-6	空間任意力系的平衡条件和平衡方程	83
§ 5-7	平行力系中心和重心的概念	87
第二篇 运动学		
第六章	点的运动	96
§ 6-1	运动学基本概念	96
§ 6-2	平面曲綫运动中动点位置的決定法·运动方程	98
§ 6-3	点的速度和加速度在直角坐标軸上的投影	101
§ 6-4	点的速度和加速度在自然坐标軸上的投影	104
第七章	刚体的基本运动	112
§ 7-1	刚体的平动	112
§ 7-2	刚体繞定軸的轉动	114
§ 7-3	轉动剛体内各点的速度和加速度	121
第八章	点的复合运动	117
§ 8-1	点的复合运动的意义	121
§ 8-2	点的速度合成定理	123
§ 8-3	点的速度合成問題举例	125
§ 8-4	两个互不相关的动点的相对速度	128
第九章	刚体的平面运动	131
§ 9-1	刚体平面运动的概述	131
§ 9-2	平面运动分解为平动和轉动	132
§ 9-3	平面图形内各点的速度	133
§ 9-4	平面图形的速度瞬心	137

第三篇 动力学

第十章	动力学导論	144
------------	--------------	------------

§ 10-1	动力学研究对象	144
§ 10-2	质点和质点系	145
§ 10-3	动力学的基本定律	146
§ 10-4	质点和质点系的运动微分方程	148
第十一章	动量定理	153
§ 11-1	动力学普遍定理的概述	153
§ 11-2	动量和冲量	153
§ 11-3	动量定理	156
§ 11-4	质点系的质量中心·质心运动定理	160
第十二章	动量矩定理	165
§ 12-1	质点和质点系对轴的动量矩	165
§ 12-2	动量矩定理	167
§ 12-3	刚体绕定轴转动的微分方程	170
§ 12-4	刚体的转动惯量	171
第十三章	动能定理	177
§ 13-1	功和功率的概念	177
§ 13-2	动能的概念	183
§ 13-3	动能定理	185
第十四章	达朗伯原理	192
§ 14-1	惯性力的概念	192
§ 14-2	达朗伯原理·动静法	193
§ 14-3	刚体作基本运动时惯性力的合成	197
§ 14-4	刚体绕定轴转动时的约束反力·*转动刚体的动均衡概念	200

緒 論

1. 理論力学的对象及其在自然科学中的地位

世界按其本质說來是物質的，一切物質又都按它們自己固有的規律不斷地運動着。根據現代科學的認識，物質運動的形式是多種多樣的，除機械運動外，還有物理變化，化學變化，以至於思維活動等。不同形式的運動，有着不同的內容和研究方法，各門科學就是以各種不同的物質運動形式作為自己的研究對象的。

理論力學是研究物體機械運動的一般規律的一門科學。

所謂機械運動是指物體在空間的位置隨時間所發生的改變。機械運動是物質運動的一種最簡單、最基本的形式，它是人們在自然界和生產實踐中最經常和最普遍遇到的。水的流動、天體的運行、各種機器的運動等等，都是機械運動的例子。

平衡是機械運動的一種特殊形式，所以理論力學也研究物體的平衡規律。但應注意：在宇宙中沒有絕對的平衡，一切平衡只是相對的和暫時的。

由於機械運動的規律比較簡單，而且在生產實踐中又經常遇到，所以理論力學的產生、形成和發展先於其他自然科學。同時，較高級、較複雜的運動形式，總是伴有位置的變動，所以理論力學的規律和研究方法也在一定程度上滲透到其他自然科學的領域中去。但是，應該指出，各種形式的運動，有着質的差別和自己的獨特規律，理論力學遠不能包羅或代替其他自然科學。

理論力學包括靜力學，運動學和動力學三個部分。靜力學研究力系的簡化和物體的平衡問題；運動學研究物體運動的幾何性質而不涉及力的作用；動力學則研究物體的運動和作用力之間

的关系。

本課程所研究的内容，以伽利略和牛頓所归納的基本定律为基础，属于古典力学的范围。古典力学是区别于相对論力学而言的。对于解决一般的工程技术問題，古典力学有着足够的精确度，而古典力学的应用却比相对論力学簡便得多。因此，古典力学仍然有着强大的生命力。

2. 力学在現代工程技术中的地位·

学习理論力学的目的

力学从它誕生开始就和生产技术相結合，生产技术經常向力学提出各种新的問題。这些問題的解决，不仅推动了生产，而且也促进了力学的发展。在今天，力学更是現代工程技术所必需的理論基础。工程結構的受力平衡問題，机械的运动規律和受力分析問題，化工設備的設計計算問題等等，都和理論力学有着密切的关系。至于近代的尖端科学技术，例如自动化、远距离控制、火箭技术、宇宙飞行等等，更需要丰富的理論力学知識。現代工程技术正越来越多地向力学提出大量的复杂的新問題。因此，每一个工程技术人員都必須掌握一定的理論力学知識，以适应祖国社会主义建設日益增长的需要。

作为一門課程，理論力学在化工、輕工业、地质勘探及采矿类专业教学計劃中，是一門技术基础課。学习本課程的目的是使学生了解物体机械运动的基本規律及其研究方法，初步学会运用这些規律解决实际問題的方法，并为学习一系列后继課程，如材料力学、机械原理以及其他与力学有关的专业課程准备条件。此外，由于理論力学本身的特点，理論力学的学习，有助于培养学生的辩证唯物主义世界观和提高学生正确分析問題的能力。

3. 力學規律的客觀性質·研究理論力學的方法

一切科學的任務，都在于正確地認識客觀世界的規律性，并運用這種對客觀世界的規律性的認識去能動地改造世界。而正確的認識世界和改造世界，必須以辯證唯物主義的認識論作為指導原則。毛主席在“實踐論”中明確地指出：“通過實踐而發現真理，又通過實踐而證實真理和發展真理。”任何科學的研究方法都不能離開毛主席所揭示的“實踐——理論——實踐”的規律。

理論力學的研究方法，簡單地說，是：從觀察、實驗出發，經過抽象化和歸納，建立概念和公理，用數學演繹法推导出定理和結論，再回到實踐中去，解決實際問題并驗證理論。

所謂抽象化就是從具體事物的複雜現象中找出主要因素，略去次要因素，從而可用一個較簡單的模型來代替原來的具體的事物。例如本課程中講到的剛體和質點都是把真實物體在一定情況下加以抽象化的結果；又如物體間的相互作用，因略去了這些作用中與機械運動無關或次要的多種多樣的物理性質而抽象化為力的概念。

顯然，學習理論力學，并不要求去重複經歷力學發展中的同樣過程。但是，為了更好地掌握理論力學的知識，首先必須理解和深刻體會理論力學的基本概念和基本定律，因為它們是力學的基础，力學的一切理論都是建立在这个基礎上的。要抓住它們的實質，首先必須多了解物體機械運動的現象，從這些現象中再來體會力學中的基本概念和基本定律所包含的實際意義。例如一個固定不動的物體受到外力作用時，這個外力總是通過該物體的各個約束而傳移^①到基礎上去。由此可知，約束這一個概念有兩個實際意

^① 所謂力的傳移應理解為力對物體的作用的傳移，并非是把一個力從其原始作用位置搬到另一個位置上去。

义，即限制物体的运动和傳移外力，这样就得到了这个概念的实质。

由基本概念和基本定律导出的基本定理和結論是力学的主要部分，从这些定理和結論引出的基本方法以及它們的最典型的应用是解决一切力学問題的關鍵。只有彻底地理解了这些定理和結論的物理概念之后，才能正确地掌握基本方法和它們的应用范围。

要学好理論力学，还必须掌握抽象化的方法，因为抽象化是解决一切力学問題的基本环节，只有从正确抽象化了的模型才能得出正确的結論。

把所学到的理論知識不断地用到实际中去，也是学好理論力学的一个重要步骤，因为对一个缺少实践經驗的理論力学的初学者來說，这些知識在一定程度上还是片面的，只有通过經常的实践，例如多做习题，并进一步应用理論力学的知識去解决工程技术問題，才能熟悉理論的运用，从而使所学的知識得以发展和深化。

第一篇 靜力学

第一章 靜力学的基本概念和公理

§ 1-1 靜力学的对象

靜力学主要研究两个問題，即作用在物体上的力系的簡化規律和物体在力系作用下的平衡条件。本篇以研究第二个問題为主要內容。現在分述如下：

1) 力系的簡化 作用在物体上的若干个力或力群，称为力系。若作用在物体上的力系可用另一力系来代替而不改变它对物体的效应(即物体的运动情况)，則称这两个力系为等效力系。所謂力系的簡化，即将作用在物体上的一个复杂的力系，用一个較簡單的等效力系来代替。研究力系簡化的目的，就是要簡化物体的受力情况，便于分析和討論。

2) 物体的平衡条件 平衡是机械运动的一种特殊形式。若物体作匀速直綫运动或者处于靜止，則这两种状态都是理論力学中所指的平衡。在靜力学中，平衡系相对于地球而言；而且，在大部分情况下，平衡系指相对于地球的靜止。

所謂物体的平衡条件是指物体处于平衡状态时作用于物体上的力系所应滿足的条件。根据这些条件，可以求出作用在处于平衡状态的物体上的某些未知力和物体平衡时所处的位置。在本书中以求未知力为主。

§ 1-2 剛体的概念

剛体是指在任何力作用下都不发生变形的物体。剛体是一个

抽象化的概念,实际上并不存在真正的刚体。在力的作用下,物体总要发生或大或小的变形,但是在很多情况下,物体的变形很小,它成为一个次要的因素,可以将其略去不計,以簡化对問題的研究,而且又不影响問題的实质。因此,可以将刚体这一簡化模型来代替真实的物体。长期的实践证明,“刚体”这一概念在許多情况下是正确的。但应指出,采用刚体这一簡化模型时,要注意問題的条件和范围。如果条件改变了,或范围扩大了,必須将模型作进一步的修正。例如两人用杠杆抬一重物,杠杆的弯曲变形对两人所受压力的分配,影响极小,我們把杠杆的弯曲变形视为次要因素而忽略不計,将其视为刚体。这样,对求解两人所受压力的問題,就可以簡化。但是,若改用三个人来抬,則杠杆的变形虽仍然是很小的,但三人所受压力的分配却与之有关。在此情况下,杠杆的变形轉化为主要因素,我們必須以另一模型——变形固体来代替。变形固体問題将在材料力学中研究。在靜力学中主要研究刚体,所以也称为剛体靜力学。

§ 1-3 力的概念

力的概念是人們从长期的观察和实践中經過抽象化而得到的。例如,当人們用手推、拉、擲或举起物体时,由于手的作用,可使物体的运动发生变化;当滚动的車輪受到制动块的摩擦作用时,可停止滚动;在空中的物体,由于地心引力的作用,使物体加速向下降落,等等。上述物体运动状态的变化,是由于物体間的相互作用,这种作用也称为机械作用。經驗证明,物体間相互的机械作用,除了能使物体发生运动状态的变化之外,还能引起物体的变形,例如,杆受拉伸作用而伸长,受压缩作用而縮短等。这样,就可把力的概念概括为:力是物体間相互的机械作用,其結果使物体机械运动的状态发生变化,或使物体发生变形。

由此可知,物体受力后产生的效应有两种:一种是机械运动状态的变化;另一种是变形。前者是力对物体的外效应,而后者是力对物体的内效应。在理論力学中只研究力对物体的外效应,而内效应将在材料力学中研究。以后本书中提到力的效应时都是指力的外效应而言。

还应指出,既然力是物体間相互的机械作用,所以力不能脱离物体而存在。我們在分析物体的受力情况时,必須认清哪个是施力物体,哪个是受力物体。离开了物体的相互作用,就无法分析物体的受力情况。

由經驗可知,不同大小、不同方向、施于物体不同位置的力,将使物体产生不同的效应。因此,力的大小、方向和作用点是力的三个要素。力的大小,亦称为力的模。

由于物体的运动状态基本上可分为平动^①和轉动两种,而从实践中又得知,根据力作用于物体上的位置不同,一个自由物体可能产生平动和轉动,或是一个單純的平动。但是,无論如何,一个单独的力所引起的物体运动,总有平动的成分。这說明,使物体产生平动的效应,总是由力所引起的(以后在动力学 §14-4 中还要讲到)。为了使讀者易于掌握后面的动力学問題,本书中我們將力視為一个产生物体平动的基本因素(决定于力的大小和方向),而把力对物体的轉动效应(决定于力的大小、方向和作用位置),归并到另一个对物体产生轉动效应的基本因素中去(見后面 §3-4)。

欲表示力的大小,必須选择一个标准的力作为单位力。本书中,将采用工程单位制中所規定的单位,以公斤(kg)或吨(t)作为力的計算单位。

力是有大小和方向的量,而且又服从矢量的运算規則,所以力

① 关于物体平动的概念将在运动学部分 § 7-1 中給出。

是矢量，它可用矢量来表示。沿力的方向并通过力的作用点 A 画的一条直线 $m-n$ (图 1-1)，称为力的作用线，它代表力作用的方

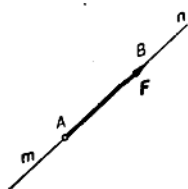


图 1-1

位。从 A 点开始，沿作用线按一定的比例尺 (例如 1 厘米代表 100 公斤) 量取一段长度 AB 代表力的大小。在线段的末端 B 加上箭头，代表力的指向。方位与指向合起来，简称方向。力的作用线加箭头后构成力矢。力矢除可用图表示外，在文字中用黑体字 F 或用

$\overline{AB}$ 表示，而 F 或 AB 则只代表力矢的大小 (模)。

§ 1-4 静力学公理

在 § 1-1 中曾说明了等效力系的定义。事实上不但两个力系能够等效，就是一个力也能和一个力系等效。在此情况下，该力即称为力系的合力。

若物体在一个力系作用下处于平衡状态，则这个力系称为平衡力系。

下面介绍静力学中的几个公理。静力学公理是根据大量的客观事实，经过长期总结和概括，并为实践所证实的。它是静力学的基础。

公理 1 (二力平衡公理) 作用于一个刚体上的两个力，使刚体处于平衡状态的必要条件和充分条件是：两个力大小相等，方向相反，而且在同一直线上。

二力平衡公理是刚体受最简单的力系作用时的平衡条件。如果一个物体受两力作用而保持平衡，则此物体常称为二力杆件。根据公理 1 可知，作用于二力杆件上的两力的方位必定沿此两力作用点的连线

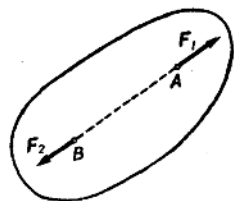


图 1-2