

— 高等学校教材 —

理 論 力 学

陈維新 陆钟瑞 于天祺 陆金柱編
陈 維 新 主 編

高 等 教 育 出 版 社

本书系根据1962年5月审訂的高等工业学校本科五年制化工、輕工业、地质勘探及采矿类各专业的理論力学教学大綱(参考草案)編写的。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問題。

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,空間力系。运动学部分有:点的运动,剛体的基本运动,点的复合运动,剛体的平面运动。动力学部分有:动力学导論,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,主要用数量法分析問題。

本书由华东化工学院力学教研組陈維新、陆钟瑞、于天祺和陆金柱合編,陈維新主編。初稿由浙江大学王仁东审閱。

本书暫作交流讲义印行,供高等工业学校本科五年制化工、輕工业、地质勘探及采矿类各专业选作理論力学課程的教材。

本书原由人民教育出版社出版。現經上級决定,自1965年1月1日起,另行成立“高等教育出版社”;本书今后改用高等教育出版社名义繼續印行。

理 論 力 学

陈維新 陆钟瑞 于天祺 陆金柱編

陈維新主編

北京市书刊出版业营业許可証出字第119号

高等教育出版社出版(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K15010·1136 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 6 $\frac{1}{2}$ ₁₆

字数 175,000 印数 3,401—9,400 定价(5) 0.65

1964年7月第1版 1966年2月北京第2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题能力，效果較好。

因此，理論力学的教材内容，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，在教材内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) 反复分析把实际问题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、吕茂烈等同志对本书提供了許多宝贵意見，一并致謝。

編者

1964年2月

目 录

序	vii
緒論	1

第一篇 靜力学

第一章 靜力学的基本概念和公理	5
§ 1-1 靜力学的对象	5
§ 1-2 剛体的概念	5
§ 1-3 力的概念	6
§ 1-4 靜力学公理	8
§ 1-5 約束及約束反作用力	11
§ 1-6 分离体和受力图	17
第二章 平面汇交力系	21
§ 2-1 平面汇交力系合成的几何法	21
§ 2-2 平面汇交力系平衡的几何条件	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 平面汇交力系合成的解析法	26
§ 2-6 平面汇交力系平衡的解析条件·平衡方程	27
§ 2-7 平面汇交力系平衡問題的解題步驟	28
第三章 平面力偶系	33
§ 3-1 同向和反向两平行力的合成	33
§ 3-2 力对点的矩	35
§ 3-3 力偶矩·等效力偶	35
§ 3-4 力的平移和力对点取矩	37
§ 3-5 平面力偶系的合成和平衡条件	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点的簡化	43
§ 4-2 平面任意力系合成为合力的情况·合力矩定理(伐里农定理)	45
§ 4-3 平面任意力系合成为力偶的情况	46
§ 4-4 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	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	55

§ 4-7	静定和静不定问题的概念	57
* § 4-8	物体系的平衡	58
§ 4-9	滑动摩擦	64
§ 4-10	有摩擦时的平衡问题	67
第五章	空间力系	72
§ 5-1	空间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	空间力偶系的合成和平衡条件	76
§ 5-4	力对轴的矩	78
§ 5-5	空间平行力系的合成和平衡方程	80
§ 5-6	空间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	平面曲线运动中动点位置的确定法·运动方程	98
§ 6-3	点的速度和加速度在直角坐标轴上的投影	101
§ 6-4	点的速度和加速度在自然坐标轴上的投影	104
第七章	刚体的基本运动	112
§ 7-1	刚体的平动	112
§ 7-2	刚体绕定轴的转动	114
§ 7-3	转动刚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	点的速度合成问题举例	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转动	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	动力学导论	144

§ 10-1 动力学的研究对象	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	158
§ 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

世界按其本质說来是物质的，一切物质又都按它們自己固有的規律不断地运动着。根据現代科学的認識，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，以至于思維活动等。不同形式的运动，有着不同的內容和研究方法，各門科学就是以各种不同的物质运动形式作为自己的研究对象的。

理論力学是研究物体机械运动的一般規律的一門科学。

所謂机械运动是指物体在空間的位置随時間所发生的改变。机械运动是物质运动的一种最简单、最基本的形式，它是人們在自然界和生产实践中最經常和最普遍遇到的。水的流动、天体的运行、各种机器的运动等等，都是机械运动的例子。

平衡是机械运动的一种特殊形式，所以理論力学也研究物体的平衡規律。但应注意：在宇宙中沒有絕对的平衡，一切平衡只是相对的和暫时的。

由于机械运动的規律比較簡單，而且在生产实践中又經常遇到，所以理論力学的产生、形成和发展先于其他自然科学。同时，較高級、較复杂的运动形式，总是伴有位置的变动，所以理論力学的規律和研究方法也在一定程度上滲透到其他自然科学的領域中去。但是，應該指出，各种形式的运动，有着质的差別和自己的独特規律，理論力学远不能包罗或代替其他自然科学。

理論力学包括靜力学，运动学和动力学三个部分。靜力学研究力系的簡化和物体的平衡問題；运动学研究物体运动的几何性质而不涉及力的作用；动力学則研究物体的运动和作用力之間

的关系。

本課程所研究的內容，以伽利略和牛頓所歸納的基本定律為基礎，屬於古典力學的范围。古典力學是區別於相對論力學而言的。對於解決一般的工程技術問題，古典力學有着足夠的精度，而古典力學的应用却比相對論力學簡便得多。因此，古典力學仍然有着強大的生命力。

2. 力學在現代工程技術中的地位 ·

學習理論力學的目的

力學從它誕生開始就和生產技術相結合，生產技術經常向力學提出各種新的問題。這些問題的解決，不僅推動了生產，而且也促進了力學的發展。在今天，力學更是現代工程技術所必需的理論基礎。工程結構的受力平衡問題，機械的運動規律和受力分析問題，化工設備的設計計算問題等等，都和理論力學有着密切的關係。至於近代的尖端科學技術，例如自動化、遠距離控制、火箭技術、宇宙飛行等等，更需要豐富的理論力學知識。現代工程技術正越來越多地向力學提出大量的複雜的新問題。因此，每一個工程技術人員都必須掌握一定的理論力學知識，以適應祖國社會主義建設日益增長的需要。

作為一門課程，理論力學在化工、輕工業、地質勘探及採礦類各專業教學計劃中，是一門技術基礎課。學習本課程的目的是使學生了解物體機械運動的基本規律及其研究方法，初步學會運用這些規律解決實際問題的方法，並為學習一系列後繼課程，如材料力學、機械原理以及其他與力學有關的專業課程準備條件。此外，由於理論力學本身的特点，理論力學的學習，有助於培養學生的辯證唯物主義世界觀和提高學生正確分析問題的能力。

3. 力学規律的客观性质·研究理論力学的方法

一切科学的任务,都在于正确地認識客观世界的規律性,并运用这种对客观世界的規律性的認識去能动地改造世界。而正确的認識世界和改造世界,必須以辯证唯物主义的認識論作为指导原則。毛主席在“实践論”中明确地指出:“通过实践而发现真理,又通过实践而证实真理和发展真理。”任何科学的研究方法都不能离开毛主席所揭示的“实践——理論——实践”的規律。

理論力学的研究方法,简单地說,是:从观察、实验出发,經過抽象化和归納,建立概念和公理,用数学演繹法推导出定理和結論,再回到实践中去,解决实际問題并驗證理論。

所謂抽象化就是从具体事物的复杂現象中找出主要因素,略去次要因素,从而可用一个較简单的模型来代替原来的具体的事物。例如本課程中讲到的剛体和质点都是把真实物体在一定情况下加以抽象化的結果;又如物体間的相互作用,因略去了这些作用中与机械运动无关或次要的多种多样的物理性质而抽象化为力的概念。

显然,学习理論力学,并不要求去重复經歷力学发展中的同样过程。但是,为了更好地掌握理論力学的知識,首先必須理解和深刻体会理論力学的基本概念和基本定律,因为它们是力学的基础,力学的一切理論都是建立在这个基础上的。要抓住它們的实质,首先必須多了解物体机械运动的現象,从这些現象中再来体会力学中的基本概念和基本定律所包含的实际意义。例如一个固定不动的物体受到外力作用时,这个外力总是通过該物体的各个約束而傳移^①到基础上去。由此可知,約束这一个概念有两个实际意

^① 所謂力的傳移应理解为力对物体的作用的傳移,并非是把一个力从其原始作用位置搬到另一个位置上去。

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,还必須掌握抽象化的方法,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驟,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的力系来代替。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剛体。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,可以将剛体这一簡化模型来代替真实的物体。长期的实践证明,“剛体”这一概念在許多情况下是正确的。但应指出,采用剛体这一簡化模型时,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視為次要因素而忽略不計,将其視為剛体。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剛体,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,受压縮作用而縮短等。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。在理论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。我们在分析物体的受力情况时,必须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和转动两种,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转动,或是一个单纯的平动。但是,无论如何,一个单独的力所引起的物体运动,总有平动的成分。这说明,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)。为了使读者易于掌握后面的动力学问题,本书中我们将力视为一个产生物体平动的基本因素(决定于力的大小和方向),而把力对物体的转动效应(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转动效应的基本因素中去(见后面 §3-4)。

欲表示力的大小,必须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规定的单位,以公斤(kg)或吨(t)作为力的计算单位。

力是有大小和方向的量,而且又服从矢量的运算规则,所以力

① 关于物体平动的概念将在运动学部分 § 7-1 中给出。

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 画出一条直线 $m-n$ (图 1-1)，称为力的作用线，它代表力作用的方向。

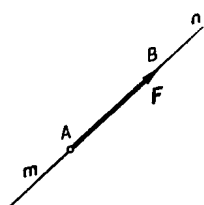


图 1-1

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

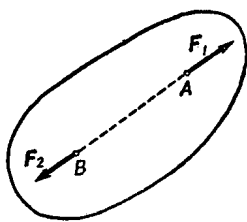


图 1-2

(图 1-2), 它们可以是拉力, 也可以是压力。图 1-2 所示为拉力。结构中的拉杆、撑杆等, 在略去其自重的情况下, 都可视为二力杆件(见 § 1-5 所述支杆约束)。

公理 2 (加减平衡力系公理) 在已知力系上加上或减去任意一个平衡力系, 并不改变原力系对物体的效应。

推论 (力的可传性) 作用于刚体上的力, 可沿其作用线任意移动而不改变对原刚体的效应。

证: 设力 F 作用于刚体的点 A (图 1-3)。沿力的作用线任取一点 B , 在此点加一对平衡力 F_1 和 F_2 , 且使 $-F_1 = F_2 = F$ 。由于 F_1 和 F 也是一对平衡力, 根据公理 2, 可将它们从力系中去掉, 而并不改变物体的原有状态。这样, 刚体上只剩下力 F_2 了, 它的大小和方向与 F 相同, 相当于力 F 自作用点 A 移到了作用点 B 。

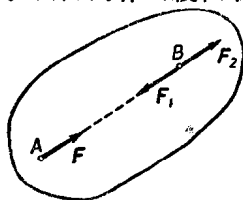


图 1-3

由于力的可传性, 力的作用点已由作用线所代替。因此, 在研究力对刚体的外效应时, 可不考虑力的作用点的特征。这时, 力矢可沿其作用线滑动, 故为滑动矢量。

必须指出, 力的可传性不适用于研究力对物体的内效应。例如一根直杆受到一对平衡的拉力 F 和 F' 作用时, 它将沿轴向伸长(图 1-4a); 若将两力互相传递而易位, 则杆将受压力作用而沿轴向缩短(图 1-4b)。显然, 伸长和缩短是两种完全不同的效应。因此, 在这种情况下, 力的作用点还是重要的特征, 这时必须将力视为固定矢量。

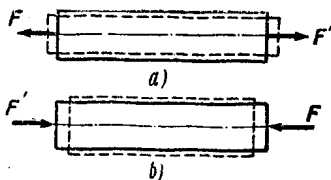


图 1-4

在理论力学中, 因为只讨论力的外效应问题, 故所有力矢都属于滑动矢量, 而符合上述可传性的推论。