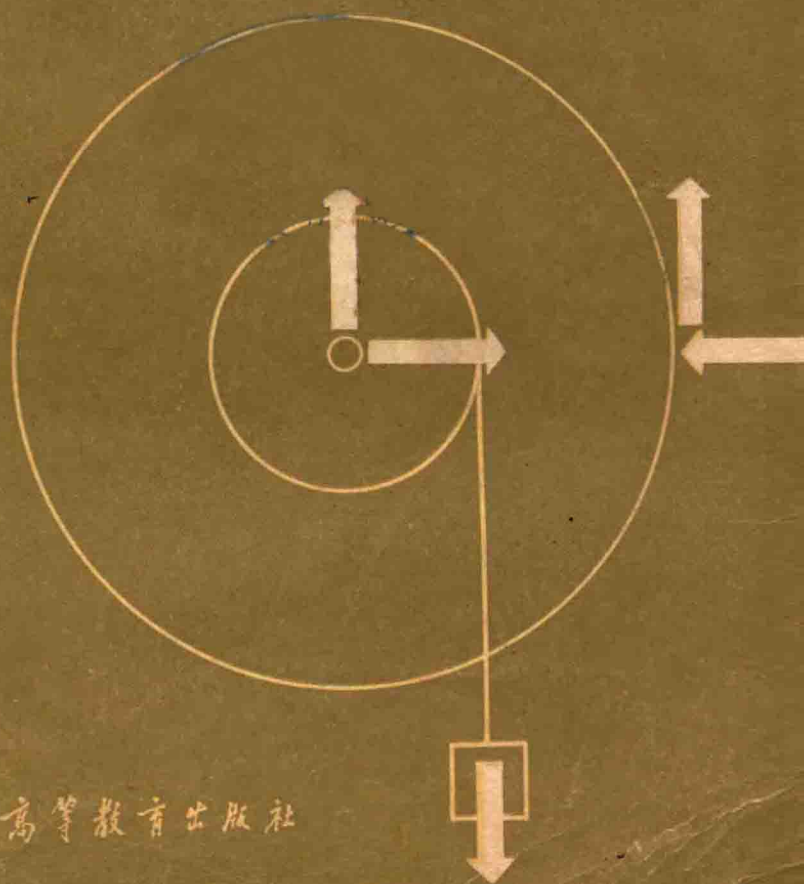


高等学校试用教材

理论力学

上册

西北工业大学 北京航空学院 南京航空学院 合编
西北工业大学 主编



高等教育出版社

中国科学院力学研究所

理论力学

上册

中国科学院力学研究所 理论力学教研室 编

清华大学出版社



中国科学院力学研究所

高等学校试用教材

理论力学

上册

西北工业大学 北京航空学院 南京航空学院 合编
西北工业大学 主编

高等教育出版社

本书责任编辑 蒋 鉴

本书原由人民教育出版社出版。1983年3月9日，上级同意恢复“高等教育出版社”。本书今后改用高等教育出版社名义继续印行。

高等学校试用教材

理 论 力 学

上 册

西北工业大学 北京航空学院 南京航空学院 合编

西北工业大学 主编

•

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

•

开本850×1168 1/32 印张12.25 字数290 000

1980年9月第1版 1989年4月第7次印刷

印数90 131—92 390

ISBN 7-04-002518-3/TB·147

定价 2.95 元

编者的话

本书是根据一九七七年十一月由教育部委托召开的高等学校工科基础课力学教材会议上拟定的编写大纲编写的，可作为高等学校工科机械、航空类理论力学课程的试用教材，也可供有关工程技术人员参考。

本书分上、下两册，上册包括静力学和运动学，下册包括动力学和专题。

全书内容大致分为基本、引伸和加选三个部分。所谓引伸是指对基本内容的加深和扩大。例如，哥氏加速度和哥氏力的概念和运算是基本内容，而哥氏定理的一般证明和在落体偏东等问题中的应用则是引伸。引伸部分作为因材施教的内容。至于加选部分，一般应根据某些专业的特殊需要，在增加的学时内选讲，对这些专业的学生应有共同的要求，不要因加选而减削基本内容的讲习时间。加选内容大都在动力学部分。引伸和加选内容的正文一般用“*”号标出，有些地方用小号字排印。基本学时的分配可参考一九八〇年修订的《理论力学教学大纲》(草案)。

本书按循序渐进的原则编排叙述顺序，例如，静力学采取先平面后空间的讲法。有时为了强调和重复运用，把某些内容相对地提前，例如，动力学的质点相对运动和动能定理。但是，考虑到使用的灵活性，对某些章节又在有关地方采取伏笔照应、复习重述，以便在更动讲述顺序时不影响连贯性。

本书仍沿用原有的公理体系，凡定理、推论等都给予适当的数学推导，或者至少作出相应的说明。由于理论力学的自然科学特征，这门课程在培养学生的正确思维方法方面应起到一定的作用，

所以在论证说理之中,比较注意力学现象的物理概念和内在联系,以及思路的严密性和逻辑性。

另一方面,对于工科专业,理论力学是一门重要的技术基础课。通过本课程应培养学生分析和解决具体的力学和工程问题的能力,包括把简单的工程实物抽象为力学模型的能力。这些能力也和理论力学的理论知识一样,是学生学习后继课程,直到毕业后从事科学、生产实践所必需的。

解题是理论力学学习中的一个重要环节,只有通过必要的解题训练,学生才能深刻地理解理论的细节和实际运用的灵活技巧。书中给出了较多的例题,而且对多数例题都有详细的分析;在有些例题中还引伸了理论。例题中约30%供学生自学,以便引导学生进一步加深理解,得到解题思路的启发。

书中附有相当数量的习题。大致分三类:一是消化、巩固对理论、概念的理解,以及学会基本运算的习题;二是训练灵活运用,培养熟练技巧,加深理解的习题;三是扩大眼界,启发思路,促进创造性的习题。最后一类习题约占10%(一般加有“*”号),前两类习题之比约为1:2。学生一般只需认真做完书中的半数习题,就可以达到基本要求。

在选题时兼顾了各方面的需要,侧重于一般工程实际中常见的力学问题;特别考虑了有关数据的来源。鉴于学生工程知识有限,避免了复杂的工程专题。由于书本习题类型难以求全,建议教师根据有关专业的特殊需要,另加选题,或者通过题设条件和数据的变化来增加练习的多样性。

在计算中,除个别情况外,本书一律采用国际单位制。如有需要,教师也可以自行增加工程单位制方面的训练。在下册书末附有两种单位制中力学基本量的换算表。

本书由西北工业大学、北京航空学院、南京航空学院合编,西

北工业大学主编。编写小组由西北工业大学吕茂烈、孙海润、蔡泰信、北京航空学院高为炳、谢传锋，南京航空学院李永尧、梁宝瑛等七人组成，吕茂烈、孙海润任主编。

本书的审稿工作由西安交通大学施明诚、陈守五，上海交通大学吴镇、费炜智等四人主持，参加审稿会的还有国防科技大学、华中工学院、西南交通大学、浙江大学、天津大学、南京工学院、重庆大学、哈尔滨工业大学、大连工学院、清华大学等院校的代表。会议对教材初稿的修订工作提出了许多宝贵意见，在此一并致谢。根据会议的要求，全书又经过吕茂烈统一修改定稿。

本书在编写过程中，西北工业大学、北京航空学院、南京航空学院理论力学教研室的许多同志参加了讨论、修改、选题、绘图、誊写等工作。

由于编者的水平有限，书中定有许多缺点，望广大读者批评指正。

编 者

一九八〇年六月

吴惠祥 李师

陈守五

2:30-4:30

8-202

南航

5901306

陈峰

上册目录

绪 论

第一篇 静 力 学

第一章 静力学的基本概念和公理	(9)
§ 1-1 静力学的任务·刚体的概念	(9)
§ 1-2 力的概念	(10)
§ 1-3 静力学公理	(12)
§ 1-4 约束·约束的基本类型	(16)
§ 1-5 受力分析和受力图	(21)
习题	(24)
第二章 平面共点力系和力偶系	(28)
§ 2-1 共点两力的合成·力的分解	(28)
§ 2-2 平面共点力系合成的几何法	(32)
§ 2-3 平面共点力系平衡的几何条件	(33)
§ 2-4 力在轴上的投影	(35)
§ 2-5 平面共点力系合成的投影法	(37)
§ 2-6 平面共点力系平衡的解析条件和平衡方程	(39)
§ 2-7 平行两力的合成	(43)
§ 2-8 力偶和力偶矩·平面内力偶的等效	(47)
§ 2-9 平面力偶系的合成和平衡	(50)
习题	(52)
第三章 平面任意力系	(62)
§ 3-1 力对点之矩	(62)
§ 3-2 力向一点的平移	(65)
§ 3-3 平面任意力系向一点的简化	(67)
§ 3-4 平面任意力系的合力·合力矩定理	(69)

§ 3-5	平面任意力系的平衡条件和平衡方程	(74)
§ 3-6	平衡方程应用举例	(76)
§ 3-7	物体系的平衡·静定和静不定问题	(82)
	习题	(89)
第四章	平面桁架	(103)
§ 4-1	概述	(103)
§ 4-2	求桁架内力的节点法	(106)
§ 4-3	求桁架内力的截面法	(110)
	习题	(113)
第五章	摩擦	(116)
§ 5-1	滑动摩擦的概念	(116)
§ 5-2	滑动摩擦定律	(117)
§ 5-3	摩擦角和摩擦锥	(120)
§ 5-4	有滑动摩擦时的平衡问题举例	(121)
§ 5-5	滚动摩擦	(130)
	习题	(135)
第六章	空间共点力系和力偶系	(144)
§ 6-1	空间共点力的合成和分解	(144)
§ 6-2	力在轴上和在平面上的投影	(145)
§ 6-3	空间共点力系的合成和平衡条件	(149)
§ 6-4	力偶矩矢·力偶等效条件	(154)
§ 6-5	空间力偶系的合成和平衡条件	(156)
	习题	(159)
第七章	空间任意力系	(164)
§ 7-1	力对轴之矩	(164)
§ 7-2	力对点之矩	(168)
§ 7-3	力对点之矩和对轴之矩间关系定理	(170)
§ 7-4	空间任意力系向一点的简化	(172)
§ 7-5	空间任意力系合成结果·合力矩定理的一般形式	(174)
§ 7-6	空间任意力系的平衡条件和平衡方程	(178)
	习题	(182)

第八章 重心	(194)
§ 8-1 平行力系中心.....	(194)
§ 8-2 重心.....	(197)
§ 8-3 匀质物体的重心.....	(198)
§ 8-4 简单几何形体重心求法举例.....	(200)
§ 8-5 组合物体的重心.....	(202)
§ 8-6 质心.....	(207)
习题.....	(208)

第二篇 运 动 学

第九章 点的运动	(213)
§ 9-1 运动学的任务和基本概念.....	(213)
§ 9-2 点的直线运动.....	(215)
§ 9-3 点的曲线运动描述方法·运动方程和轨迹方程.....	(223)
* § 9-4 变矢量和矢导数.....	(227)
§ 9-5 点的速度和加速度的矢量表示法.....	(229)
§ 9-6 点的速度和加速度在固定的直角坐标轴上的投影.....	(232)
§ 9-7 自然轴系.....	(236)
§ 9-8 点的速度和加速度在自然轴上的投影.....	(233)
习题.....	(240)

第十章 刚体的平动和定轴转动	(258)
§ 10-1 刚体的平动.....	(258)
§ 10-2 刚体的定轴转动.....	(260)
§ 10-3 定轴转动刚体上各点的速度和加速度.....	(263)
§ 10-4 角速度和角加速度的矢量表示法·定轴转动刚体上各点的速度和加速度的矢积表达式.....	(260)
习题.....	(273)

第十一章 点的复合运动	(277)
§ 11-1 绝对、相对和牵连运动·运动方程和轨迹.....	(278)
§ 11-2 绝对、相对和牵连运动中点的速度·速度合成定理.....	(282)
§ 11-3 绝对、相对和牵连加速度·当牵连运动是平动时的	

期中20% 期末70% 平时10%
作业

加速度合成定理	(288)
§ 11-4 哥氏加速度·当牵连运动是定轴转动时点的加速度合成定理	(292)
习题	(303)
第十二章 刚体的平面运动	(313)
§ 12-1 刚体平面运动的运动方程	(313)
§ 12-2 平面图形的运动分解成平动和转动	(315)
§ 12-3 平面图形上各点的速度	(316)
§ 12-4 平面图形的瞬时速度中心	(321)
§ 12-5 平面图形上各点的加速度	(328)
习题	(332)
*第十三章 刚体的定点运动和一般运动	(343)
§ 13-1 欧拉角·刚体定点运动的运动方程	(343)
§ 13-2 定点运动刚体的位移定理·微小转角的矢量性质	(346)
§ 13-3 瞬时转动轴·定点运动刚体的角速度和角加速度	(350)
§ 13-4 定点运动刚体上各点的速度和加速度	(353)
§ 13-5 刚体的一般运动	(357)
§ 13-6 牵连运动是一般运动时点的加速度合成定理	(360)
习题	(362)
第十四章 刚体转动的合成	(365)
§ 14-1 刚体绕平行轴转动的合成	(365)
§ 14-2 刚体绕相交轴转动的合成	(374)
习题	(378)

学习方法: 1) 看书; 弄懂理论.

2) 多练.

3) 记笔记.

要求: 1) 掌握基本理论知识.

2) 培养分析问题能力.

3) 提出问题.

工程力学：编用工程应用。
物理：研究质点。

力学模型：质点
刚体

绪 论

性质：技术基础课

一、理论力学的研究对象

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

所谓机械运动就是通常意义下的物体运动，是指物体在空间的位置随时间的变化（包括物体对于其他物体的相对静止——平衡）。
对象：物体或物体系。

理论力学里只研究物体平衡问题的部分称为静力学。其余部分结合物理原因研究物体运动的变化，称为动力学。在动力学里有一个部分把运动的物理原因撇开而只从几何观点出发去描述物体运动的进行方式，这个部分被独立出来后形成了所谓的运动学。本书是按静力学、运动学、动力学的体系顺序进行阐述的。

本书理论力学的内容属于古典力学的范围。古典力学的基本定律早由伽利略和牛顿加以归纳。在全部科学中，古典力学最能把来自经验的物理理论，系统地表达成数学抽象的简明形式，它是人类才智和技术史上的伟大里程碑。实践表明，古典力学的定律有着极其广泛的适用性。这些定律就是这门课程的科学根据。

但是，另一方面，由于十九世纪末和二十世纪初以来物理学的辉煌成就，在电动力学、原子结构学说、原子内基本粒子的运动学说等各个领域内新的重大发现，说明了古典力学的适用性仍然是有限制的。古典力学的基本定律不适用于微观粒子的运动，也不适用于速度接近光速的宏观物体的运动。这样，在本世纪初出现

了较古典力学更为严谨的相对论力学和适用于微观粒子运动的量子力学。

相对论力学不同于古典力学的地方,在于它建立了空间、时间与物体运动之间的联系,以及质量与能量之间的联系,它能给出更符合实际的精确结果。但是,相对论力学原理的应用,较之古典力学来说是要困难得多,而且它对古典力学的结果所提出的数量修正,仅在物体速度大到可以与光速相比拟的情况下才有实际意义。因此,对于速度远小于光速的物体运动的研究,包括一般工程技术直至以宇宙速度进行的航天技术中力学问题的研究,仍得以古典力学的定律为依据。

二、理论力学的研究方法

任何一门科学的研究方法都不能离开认识过程的客观规律。理论力学也毫不例外。

在力学的萌芽时期,建立力学的基本概念和基本定律,都是以对自然的直接观察以及从生活和生产劳动取得的经验作为出发点的。之后,系统地组织实验,就成了科学研究的重要手段。从观察和实验中所获得的感觉经验上升到理性认识,必须抓住事物和现象的内部联系。这样,就必须在被观察到的现象中抽出最主要的因素和特征,而撇开其余次要的东西。这就是力学中的抽象化方法。

通过抽象化,使我们能够建立物质对象的一些初步近似的模型。例如,撇开物体的变形,就得到刚体的概念;撇开物体的尺寸大小,则得到质点的概念,等等。当问题在所采取的简化条件下解决后,重新考虑那些在初步近似中忽略掉的因素,建立起更接近真实的模型,以便进行更深入的研究。例如,当我们研究了刚体的平衡后,考虑物体的变形性,建立起弹塑性物体的模型,进而研究变形体的平衡,使我们能够解决刚体平衡理论所不能解决的问题。

这种由简到繁、由粗到精的研究方法，是一切科学包括力学所不可缺少的。正如列宁所指出的：“当思维从具体的东西上升到抽象的东西时，它不是离开——如果它是正确的……——真理，而是接近真理。物质的抽象，自然规律的抽象，价值的抽象及其它等等，一句话，那一切科学的（正确的、郑重的、不是荒唐的）抽象，都是更深刻、更正确、更完全地反映着自然”^①。

通过抽象化进一步把人类长期从直接观察、实验以及生产活动中获得的经验和认识到的个别特殊规律加以分析、综合、归纳，将使我们能够找出事物的普遍规律性，从而建立起一些最基本的普遍公理（或定律、原理），作为整个古典力学的基础。这个工作已由牛顿总其成。

建立起作为理论力学依据的公理后，就可据以通过推理而得出反映力学规律性的各个侧面的普遍定理和各种适用于特殊情形的新的结论。当然，在推理过程中往往需要引入一些新的概念，这些概念反映了人们对事物的新的认识，理论力学里的推理工作广泛地利用数学这种有效工具。利用数学进行推理，亦即采用数学演绎的方法，有助于我们更深入地理解力学规律的实质，从而发掘出隐藏其间的内在联系。数学不只是推理工具，而且是计算工具，是力学走向应用的重要手段之一。力学现象之间的关系要用数量来表示。因此，计算技术对力学的应用有着十分重要的作用。在今天电子计算机的时代，由于计算技术的重大发展，使得有可能解决越来越复杂的问题。自然，力学不只单方面地受惠于数学，它反过来也对数学的发展有很大的促进。

在力学今后的研究中，还必须与物质对象更加深入地联系起来，以便更深入地探索力学现象的物理本质，进一步发掘事物的特

^① 列宁：“黑格尔《逻辑学》一书摘要”，见列宁《哲学笔记》，第155页，人民出版社，1956年版。

征，从而建立起更符合实际的新模型和相当的力学规律。只有这样，力学的内容才能不断地丰富起来。

科学的目的是不只在认识世界，更重要的是在于改造世界。从实践到理论是认识过程的一个飞跃，而由理论到实践则是更重要的一个飞跃。实践既是认识的唯一目的，同时又是认识的唯一标准。任何科学理论，包括力学，都必须在它指导实践时加以验证。只有当它足够精确地符合客观实际时，才能被认为正确可靠，也只有这样的理论才有实际意义。

这样，理论力学的研究方法就是列宁所指出的“从生动的直观到抽象的思维，并从抽象的思维到实践”的“认识真理、认识客观实在”^①的方法。

三、力学发展简史

一切科学的发展过程都是与社会生产力的发展紧密地联系着的。历史完全证实了“科学之有赖于生产、更甚于生产之有赖于科学”。在力学发展史中也充分反映了这个特点。

力学是最早形成并获得发展的科学之一。远古人类在首创第一批简单工具的过程中，就已开始通过劳动积累经验知识，并且在生产中使这些知识逐渐传播。正是这些纯经验性的原始知识，形成了人们认识力学规律的最初起点。从现存古代的伟大大建筑物（例如古埃及的金字塔和我国的万里长城）可以推知，当时的建筑者已具备许多得自经验的静力学知识，已能使用一些简单的机械装置如斜面、杠杆、滑轮等去提升和搬运巨大的重物。根据我国出土文物的考证，车辆的发明远在史前时代。

人类开始研究力学理论，大约可以追溯到二千五百年以前。叙

^① 列宁：“黑格尔《逻辑学》一书摘要”，见列宁《哲学笔记》，第155页，人民出版社，1956年版。

述我国古代伟大学者墨子(公元前 468~382)学说的《墨经》是有关科学的最古老文字记载,其中在力学方面有“称”的原理。古希腊学者亚里斯多德(公元前 384~322)也曾作过有关力学的研究。杰出的西拉库兹(在西西里岛)学者阿基米德(公元前 287~212)总结了古代的静力学知识,莫立了静力学基础。

但是,在以后直到公元十四世纪的漫长时期中,由于封建和神权的统治,生产力受到束缚,科学的发展陷于停顿状态。其间虽然出现过不少优异的学者和技术发明,但未促成力学理论的系统发展。

十五世纪后半期,欧洲进入了文艺复兴时期。由于商业资本的兴起,手工业、城市建筑、航海造船和军事技术等方面提出了许多迫切的问题,促进了科学的迅速发展。出现了一些多才多艺、学识渊博的伟人。意大利艺术家、物理学家和工程师辽纳多·达·芬奇(1452~1519)就是其中的杰出代表。他曾研究过物体沿斜面的运动和滑动摩擦,并由实验得出了滑动摩擦力与物体间接触面大小无关的结论。在研究称杆的平衡时,他引入了力矩的概念。

不久,波兰学者哥白尼(1473~1543)创立了宇宙的太阳中心学说,推翻了托勒密的陈旧的地球中心学说,引起了宇宙观的根本变革。约翰·开普勒(1571~1630)根据哥白尼的学说,以及大量的天文观测,发现了行星运动三定律。这些定律是后来牛顿发现万有引力定律的基础。

意大利学者伽利略(1564~1642)首先在力学中应用了有计划的科学实验,创立了科学的研究方法。他根据实验明确地提出了惯性定律的内容,得出了真空中落体运动的正确结论,引进了加速度的概念并解决了真空弹道问题。他把抛射体的运动看成是水平匀速运动和铅直匀变速运动的合成,由此可以看到力的独立作用定律的萌芽。

由伽利略开始的动力学奠基工作, 经过法国学者笛卡儿(1596~1650)、荷兰学者惠更斯(1629~1695)等人的努力, 后来由英国物理学、数学家伊萨克·牛顿(1642~1727)完成。牛顿在其名著《自然哲学的数学原理》(1687)中完备地建立了古典力学的基本定律, 并从这些定律出发, 将动力学理论作了系统的叙述。牛顿运动定律是整个古典力学的基础。牛顿发现的万有引力定律给后来天体力学的发展奠定了基础。牛顿解决了许多新的数学和力学问题, 创立了物体在阻尼介质中运动的理论。

在力学史上, 十七世纪被看成是动力学的奠基时期, 与此同时, 在十七世纪到十九世纪初, 静力学也获得了进一步的成熟。曾由达·芬奇研究过的力平行四边形定律经过荷兰学者斯蒂芬(1548~1620)、德国学者罗伯瓦尔(1602~1675)的工作最后确立。达·芬奇引入的力矩概念, 则经过法国学者伐里农(1654~1722)加以发展, 最后建立了完整的力矩定理。法国学者布安索(1777~1859)创立了完整的力偶理论, 他制定了静力学的现代形式, 他的工作使力学中的几何法得到巨大进展。

十八世纪转入动力学的发展时期, 这是在一系列实际问题的推动下进行的。一方面工业革命后生产水平的迅速提高给力学发展创造了极为有利的条件; 与此同时, 德国学者莱伯尼兹(1646~1716)和牛顿彼此独立地发明的微积分原理, 对十八世纪力学朝分析方向的发展提供了基础。

伯努里(1667~1748)最先提出了以普遍形式表达的力学基本定律之一——虚位移原理。欧拉(1707~1783)把牛顿第二定律表达为分析形式的微分方程。达朗伯(1717~1785)给出了一个解决动力学问题的普遍原理即所谓的达朗伯原理, 从而奠定了非自由质点系动力学的基础。

力学在分析方向的最大进展首先归功于法国数学、力学家拉