

高等学校试用教材

理论力学

上册

同济大学理论力学教研室编

人民教育出版社

高等学校试用教材

理 论 力 学

上 册

同济大学理论力学教研室编

人民教育出版社

高等学校试用教材

理 论 力 学

上 册

同济大学理论力学教研室编

*

人 民 教 育 出 版 社 出 版

新华书店上海发行所发行

上海新华印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 12 14/16 字数 310,000

1979年12月第1版 1980年5月第1次印刷

印数 1—12,000

书号 15012·0228 定价 1.05 元

编者说明

本书分上、下两册,上册为静力学和运动学,下册为动力学。为了便于教学,各章配有思考题、习题,并附有习题答案。书中带“*”号的内容(包括习题),可根据专业的需要决定取舍。

本书可作为高等学校工科土建、水利类各专业的试用教材,也可供其他专业和有关工程技术人员参考。

本书由同济大学理论力学教研室编写,并由天津大学和哈尔滨建筑工程学院负责主审。参加审稿的还有清华大学、大连工学院、合肥工业大学、西南交通大学、湖南大学、重庆建筑工程学院、华东水利学院、武汉水利电力学院、兰州铁道学院和西安冶金建筑学院。参加审稿的同志对本书提出了许多宝贵的意见,对此我们表示衷心的感谢。

限于编者水平,加以编写时间比较仓促,书中的缺点和错误在所难免,希望读者批评指正。

编 者

一九七九年十一月

上册目录

绪 论	1
-----	---

第一篇 静 力 学

绪 言	7
第一章 静力学基本定律与物体的受力分析	10
§1-1 力的概念	10
§1-2 静力学基本定律	12
§1-3 约束与约束反力	16
§1-4 受力分析与受力图	23
习 题	27
第二章 平面汇交力系与力偶系	32
§2-1 平面汇交力系的合成与平衡的几何法	33
§2-2 三力平衡定理	37
§2-3 力的分解	39
§2-4 力在坐标轴上的投影·合力投影定理	40
§2-5 平面汇交力系的合成与平衡的解析法	43
§2-6 力对点之矩	47
§2-7 力偶·力偶的等效	49
§2-8 平面力偶系的合成与平衡	52
习 题	55
第三章 平面任意力系	63
§3-1 平面任意力系实例	63
§3-2 力线的平移	65
§3-3 平面任意力系向作用面内任一点简化	67
§3-4 平行分布荷载的抽象与简化	74
§3-5 平面任意力系的平衡	77
§3-6 平面平行力系的平衡	83
§3-7 物体系统的平衡·静定与超静定问题的概念	86

§3-8 平面任意力系的图解法	95
习 题	105
第四章 平面桁架与悬索	120
§4-1 平面桁架的基本概念	120
§4-2 桁架杆件内力的计算——节点法	124
§4-3 桁架杆件内力的计算——截面法	132
* §4-4 悬索	135
习 题	146
第五章 摩擦	152
§5-1 摩擦现象	152
§5-2 滑动摩擦	154
§5-3 考虑摩擦时物体的平衡	160
* §5-4 螺旋摩擦与胶带摩擦	167
§5-5 滚动摩擦的概念	174
习 题	180
第六章 空间汇交力系与力偶系	187
§6-1 空间汇交力系的合成与平衡的几何法	188
§6-2 力在空间坐标轴上的投影	188
§6-3 力沿空间坐标轴的分解	191
§6-4 空间汇交力系的合成与平衡的解析法	193
§6-5 力对点之矩用矢量表示	197
§6-6 力偶矩用矢量表示·空间力偶的等效	199
§6-7 空间力偶系的合成与平衡	201
习 题	205
第七章 空间任意力系	212
§7-1 力对轴之矩	212
§7-2 力对点之矩与力对通过此点的轴之矩之间的关系	214
§7-3 空间任意力系向任一点简化	217
§7-4 空间任意力系简化结果的几种情形	221
§7-5 空间任意力系的平衡	224
§7-6 重心	231

§7-7 简单形状均质物体的重心	236
§7-8 复合形状均质物体的重心	240
习 题	244

第二篇 运 动 学

绪 言	255
第八章 点的运动	257
§8-1 点的直线运动	257
§8-2 点的运动的矢量法	266
§8-3 点的运动的直角坐标法	268
§8-4 点的运动的自然法	276
* §8-5 点的运动的极坐标法	288
习 题	294
第九章 刚体的基本运动	301
§9-1 刚体的平行移动	301
§9-2 刚体的定轴转动	303
§9-3 转动刚体内各点的速度和加速度	307
§9-4 定轴轮系的传动比	312
§9-5 角速度用矢量表示·以矢积表示转动刚体内点的速度、 切向加速度和法向加速度	318
习 题	322
第十章 点的合成运动	328
§10-1 点的合成运动的概念	328
§10-2 点的速度合成定理	332
§10-3 矢量对时间的绝对导数和相对导数	341
§10-4 牵连运动为移动时点的加速度合成定理	344
§10-5 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成定理	347
习 题	356
第十一章 刚体的平面运动	364
§11-1 刚体的平面运动方程	364
§11-2 平面运动分解为移动和转动	366

§11-3 平面图形上各点的速度	368
§11-4 速度瞬心	372
§11-5 平面图形上各点的加速度	381
习 题	389
附录 I 国际单位制 (SI) 与工程单位制	397
附录 II 标积 · 矢积 · 矢量导数	398

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一般规律的科学。

所谓机械运动，是指物体在空间的位置随时间的变化。恩格斯说：“运动，就最一般的意义来说，就它被理解为存在的方式、被理解为物质的固有属性来说，它包括宇宙中发生的一切变化和过程，从单纯的位置移动起直到思维。”^① 物质的运动有各种各样，它表现为位置的变动、发热、发光、发生电磁现象、化学过程，以至于人们头脑中的思维活动等不同的运动形式。机械运动是物质运动的最简单、最初级的一种形式，它是人们在生产和生活中经常遇到的。例如，各种交通工具的运行，机器的运转，大气和河水的流动，人造卫星和宇宙飞船的运行，建筑物的振动，等等，都是机械运动。

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。十九世纪后半期，由于近代物理的发展，发现许多力学现象不能用古典力学的定律来解释，因而产生了研究高速物质运动规律的相对论力学和研究微观粒子运动规律的量子力学。在这些新的研究领域内，古典力学内容已不再适用。但是应该肯定，在研究速度远小于光速(30 万千米/秒)的宏观物体的运动，特别是研究一般工程上的力学问题时，古典力学的足够准确性已为实践所证实。同时，在古典力学基础上诞生的各个新的力学分支正在迅速地发展。

本课程内容为静力学、运动学和动力学三个部分。

^① 恩格斯：自然辩证法，人民出版社，1971年，第53页。

静力学：研究物体在力作用下的平衡规律的科学。同时也研究力的一般性质及其简化的规律。

运动学：从几何学的观点来研究物体运动的规律，而不研究引起运动的物理原因。

动力学：研究物体的运动与其所受力之间的关系。

二、学习理论力学的任务

毛泽东同志指出：“……十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。”^①学习理论力学的目的，就在于掌握机械运动的客观规律，能动地改造客观世界，迅速地发展社会主义建设。

理论力学是解决工程实际问题的重要基础理论，它的定律和结论被广泛地应用于各种工程技术中。例如，建筑物和机械的设计，飞行器和火箭的运动原理的研究等，都要用到理论力学的知识。

理论力学也是学习后继课程的基础。例如，材料力学、结构力学、弹性力学、流体力学、机械原理和振动理论等课程，都要以理论力学为基础。在很多专业课程中，也要用到理论力学的知识。因此，学好理论力学是掌握各个工程专业所需的完整知识中的一个重要组成部分。

同时，学习理论力学也有助于培养学生辩证唯物主义的世界观，提高对问题的分析能力和树立正确的思想方法。

三、理论力学的研究方法

研究任何一门学科的过程，都是认识客观世界的过程。毛泽东

^① 毛泽东选集第一卷，人民出版社，1966年，第268页。

同志说：“通过实践而发现真理，又通过实践而证实真理和发展真理。”^①这是辩证唯物主义的认识事物的方法。理论力学的研究方法也毫不例外，即从实践出发，经过抽象、综合、归纳，建立了一些基本概念和定律，再用数学演绎和逻辑推理而得到定理和结论，然后再通过实践来证实并发展这些理论。

观察和实验是理论力学发展的基础。在力学的萌芽时期，人类通过从事建筑和农业等劳动，以及对自然现象的直接观察，建立了力的概念，并得出杠杆原理等一些力学的规律。实验是力学研究的重要一环，理论力学中的摩擦定律和惯性定律等就是直接建立在实验的基础上的。从近代力学的研究和发展来看，实验更是重要的研究方法之一。

从观察和实验中获得的材料，必须经过思考，把这些丰富的感觉材料去伪存真，去粗取精，由此及彼，由表及里地进行改造，才能上升到理论。由于人们所观察到的材料是复杂多样的，一时不易认识它的本质，所以，必须从这些复杂的现象中，抓住主要的因素，撇开次要的、局部的、偶然的因素，才能深入到现象的本质，理解事物的内在联系，这就是抽象的过程。通过抽象，把所研究的对象简化为理想模型。例如，在研究物体的机械运动时，略去了物体的变形，就得到了刚体的模型；略去了物体的几何尺寸，就得到了质点的概念。正确的抽象，不仅简化了所研究的问题，而且更深刻地接近了实际。正如列宁所说：“物质的抽象，自然规律的抽象，价值的抽象及其他等等，一句话，那一切科学的（正确的、郑重的、不是荒唐的）抽象，都更深刻、更正确、更完全地反映着自然。”^②如果客观条件改变了，事物的内在矛盾就会转化，这时，就需要计入新的主要因素，建立新的模型，使它更接近于实际。

① 毛泽东选集第一卷，人民出版社，1966年，第273页。

② 列宁：哲学笔记，人民出版社，1974年，第181页。

通过抽象,进一步把人类长期以来从直接观察、实验,以及生产活动中得来的经验与认识到的个别特殊规律,加以分析、综合、归纳,找出事物的普遍规律,从而建立起一些最基本的普遍定律作为本学科的理论基础。

根据这些基本理论,借助于严密的数学工具进行演绎推理,得出了各种形式的定理和结论。在理论力学中,广泛地利用数学这一有效的工具。数学不仅用在逻辑推理方面,而且运用于量的计算方面。力学现象之间的关系是通过数量来表示的。因此,计算技术对力学的应用和发展有着巨大的作用。当今电子计算机的日益发展,必将促进力学计算的现代化,使越来越复杂的力学问题有可能逐步得到解决。当然,数学决不能脱离具体研究的对象,只有将数学运算与力学现象的物理本质紧密地联系起来,才能得出符合实际的正确结论。

实践是检验真理的唯一标准。我们从实践得到的理论,必须再回到实践中去,接受实践的检验。只有当理论正确地反映了客观实际时,才能认为这个理论是正确的。

四、理论力学发展简史

人类的生产实践是促使力学发展的源泉和动力,辩证唯物主义世界观是研究力学的唯一正确的思想武器。

远在奴隶社会时代,人们通过生产劳动,创造了一些简单的工具和机械(如斜面、杠杆等),并在不断使用和改进这些工具和机械中,积累了不少经验,从经验里获得知识,形成了力学规律的起点。我国古代在“墨经”、“考工记”、“论衡”和“天工开物”等书籍文献中,对于力的概念、杠杆原理、滚动摩擦、功的概念、材料的强度,以及天文学等方面的知识都有相当多的记载。由此可见,我国古代勤劳勇敢的劳动人民在很早就积累了丰富的力学知识。在欧洲,比

“墨经”晚一些时期，相继出现了阿里斯多德的“物理学”和阿基米德的“论比重”等著作，奠定了静力学的基础。

欧洲在漫长的中世纪里，经历了黑暗的封建统治，生产力和科学的发展受到了严重的阻碍。及至十五世纪的后半期，由于商业资本的兴起，手工业、航海工业和军事工业等都得到了空前的发展，从而促使力学和其他科学随之迅速发展。

在十六到十七世纪，力学开始形成一门独立的系统的学科。伽里略根据实验，提出了惯性定律的内容和加速度的概念，从而奠定了动力学的基础。在这个基础上，经过笛卡儿、惠更斯等的努力，后来由牛顿总其大成。牛顿于一六八七年在他的名著《自然哲学的数学原理》中，完备地提出了动力学的三个基本定律，并从这些定律出发将动力学作了系统的叙述。牛顿运动定律是整个古典力学的基础。

十八、十九世纪是理论力学发展成熟的时期，相继提出了重要的虚位移原理、达朗伯原理以及著名的拉格朗日方程，这时以动力学普遍方程为基础的分析力学发展起来了。十九世纪上半期，由于大量机器的使用，促使功和能的概念形成，并发现了能量守恒与转化定律。这个定律不仅在工程技术问题中具有重大的意义，而且沟通了机械运动与其他形式的运动之间的联系。另外，在刚体动力学、运动稳定性和变质量质点动力学等方面也有许多重要的成就。

二十世纪来，由于工业建设、现代国防技术和其他新技术的需要，理论力学向着专门的方向发展。例如，非线性振动、陀螺力学、飞行力学、可控系统动力学、外弹道学、变质量力学等方面都在飞速发展。

虽然我国力学的发展是很早的，到十四世纪已经得到光辉的成就，走在世界的前列。但由于封建社会的长期延续，直至国民党

统治时期，仍然是一个半封建半殖民地的社会，生产力停滞不前，经济极端落后，力学的发展受到阻碍。解放后，在中国共产党的领导下，我国社会主义建设蓬勃发展，科学事业获得了无比的生命力，力学也取得了飞速的进展，力学研究的队伍正在不断成长。现在，全国人民意气风发，斗志昂扬，树雄心，立壮志，向科学技术现代化进军，为在本世纪内把我国建设成为农业、工业、国防和科学技术现代化的伟大的社会主义强国而奋斗！在这新长征的历史时期内，我国的科学事业，包括力学科学在内，必将获得新的飞跃，迅速跨入世界的先进行列。

第一篇 静 力 学

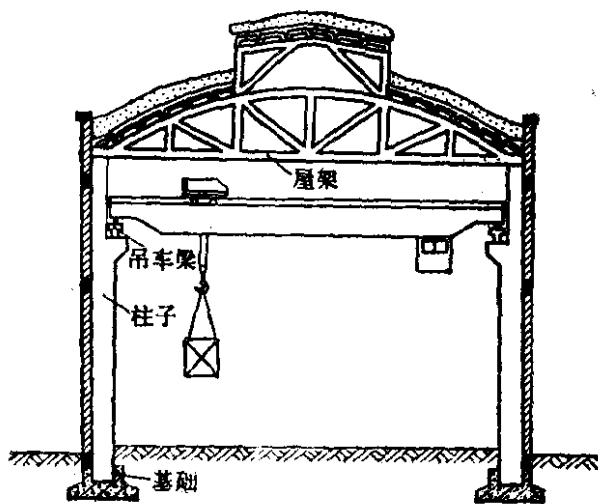
绪 言

静力学是研究物体在力作用下的平衡规律的科学。

所谓平衡，一般是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态，它是机械运动的特殊情形。例如，静止在地面上的房屋、桥梁、水坝等建筑物，在直线轨道上作匀速运动的火车等，都是处于平衡状态。

实际上，宇宙间任何物体都在永恒地运动着，一切平衡都是相对的。上述在地面上看来是静止的建筑物或作匀速直线运动的火车，实际上仍然随着地球的自转和公转在太阳系中运动。因此，平衡只有相对于所选作参考的物体而言才有意义。关于平衡的更完全的概念，应该理解为物体相对于惯性坐标系处于静止或作匀速直线运动的状态。这将在本书的第三篇动力学中详细讨论。

在工程实际中，平衡问题的研究有着广泛的应用，特别对于土建工程，经常遇到的建筑物都是处于静止状态，对于这些建筑物的设计都需进行静力学的分析。例如，在设计图一-1所示厂房结构时，首先就要分析和计算各个构件（如屋架的各杆



图一-1

件、吊车梁、柱子和基础等)所受的力;然后,根据它们的受力情况和选用的材料,确定所需的尺寸,以满足安全和经济的要求。前者就联系到静力学的问题,后者则将在材料力学和工程结构中研究。此外,各种机器的设计,也都需要静力学的知识。因此,静力学在工程实际中有着广泛的应用。

通常,一个物体总是受到许多力的作用。例如,图 1-1 中厂房屋架就受到重力、风雪压力的作用。我们把作用于一物体上的一群力,称为力系。

为了便于研究各种力系对物体作用的总效应,并导出力系的平衡条件,在静力学中将主要研究两类问题:

(1) 力系的简化 就是把作用在物体上的较复杂的力系,用一个最为简单的与其作用效应相等的力系来代替。

(2) 力系的平衡条件 即物体处于平衡状态时,作用于物体上的力系所应满足的条件。

其中,以研究力系的平衡条件为静力学的主要问题。当然,研究力系的简化,不仅仅是为了在静力学中导出力系的平衡条件,而且也为动力学的研究打下基础。

在静力学中,所研究的物体都是指刚体。所谓刚体,就是在任何外力作用下,物体的大小和形状始终保持不变,也就是说,物体内任意两点之间的距离都保持不变。显然,在自然界中,任何物体在受力作用后,都将发生变形,刚体实际上是不存在的,它只是实际物体抽象化的模型。但是,实践表明,在工程实际中的许多物体,它们的变形一般都非常微小。例如,房屋建筑中常用的钢筋混凝土梁,在设计时梁中央的最大变形(挠度)就控制在梁长的 $1/250 \sim 1/300$;在机械中,各零部件所允许的最大变形更是极为微小的。因此,在很多情况下,物体这些微小的变形,对于平衡问题的研究影响很小,可以忽略不计,而把物体视为刚体。实际物体经

过这样的抽象以后，将使静力学所研究的问题大为简化。以后我们还将看到，对于那些必须考虑物体变形的平衡问题的研究，也是以刚体静力学为基础的，只不过还要考虑更复杂的力学现象并加上一些补充条件罢了。