

高等学校教材

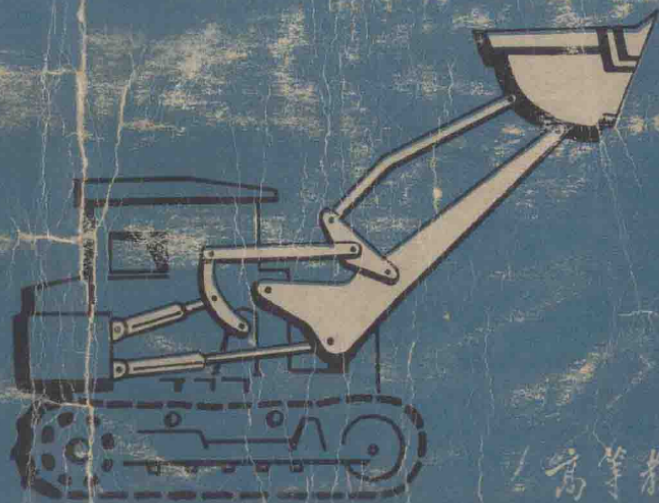
理论力学

上册

(第二版)

华东水利学院工程力学教研室

《理论力学》编写组 编



高等教育出版社

高

理论力学

上册

(第二版)

华东水利学院工程力学教研室
《理论力学》编写组编

高等教育出版社

本版是根据四年多的教学实践和兄弟院校的意见,参照 1980 年审订的《理论力学教学大纲》(草案)(120 学时),在第一版的基础上修改、补充而成。

本版与第一版相比,其内容和讲述方法都有不少改变,较为显著的有:(1)适当提高了起点,压缩了某些与数学、物理的重复内容;(2)调整并增加了一些内容,能适应较多的专业;(3)加强了与工程实际的结合;(4)掉换并增加了不少习题。

本版仍分上、下两册。上册为静力学、运动学,并有矢量运算作为附录;下册为动力学。书中带*的内容,可根据专业需要,酌情取舍。

本版可作为高等学校工科土建、水利类等多学时用教材,也可供其它专业以及职工大学等教学参考。

高等学校教材

理 论 力 学

上 册

(第 二 版)

华东水利学院工程力学教研室

《理论力学》编写组编

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海新华印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 13.875 字数 333,000

1979 年 3 月第 1 版

1984 年 3 月第 2 版 1984 年 9 月第 1 次印刷

印数 140,501—153,000

书号 15010·0585 定价 2.15 元

第二版前言

本版是参照 1980 年审订的《理论力学教学大纲》(草案)(120 学时),在第一版的基础上修改、补充而成的。

本书第一版出版以来,经过四年多的教学实践,发现原来的内容和某些讲述方法,不尽能适应日益发展的形势,许多兄弟院校也对此提出了不少宝贵意见和希望,我们就是根据四年多的实践经验和兄弟院校的意见进行修改的。

比起第一版来,本版的内容和讲述方法都有不少改变。较为显著的改变有:(1)鉴于数学、物理等先修课程有所加强,因而适当提高了起点,并压缩了某些与数学、物理重复的内容;(2)第一版主要适用对象为土建、水利类专业,本版适当调整并增加了一些内容,使能适应较多专业的要求;(3)加强了与工程实际的结合,以培养学生的工程观点和将实际问题抽象成为力学模型的能力;(4)掉换并增加了不少习题,特别是概念性、理论性和结合实际的题目所占的比例大大增加了。

书中有些加有*的内容,对多数专业来说,不是必修的,可根据专业要求,斟酌取舍。

一些关于矢量运算的内容,因用得较多,特作为附录编入上册,教师可视学生学习情况,决定是否需要进行讲授。

本书由华东水利学院工程力学教研室《理论力学》编写组修订,教研组全体同志参加了讨论和习题收集的工作。

本书由罗远祥和黄安基初审,王铎复审。他们对原稿提出了许多宝贵的意见。谨向他们和在修订过程中对我们提出过宝贵意见的兄弟院校的同志们,致以深切的谢意!

虽然我们力求把修订工作做得好一些，使本书能适应日益发展的教学要求，但限于水平，难免有不足或者欠妥之处，竭诚欢迎广大教师和读者们批评指正。

编 者

一九八四年一月

第一版前言

本书分上、下两册，上册包括静力学与运动学，下册为动力学。

本书适用于高等学校工科土建、水利类各专业，可作为教材和教学参考书。

本书由华东水利学院工程力学教研组《理论力学》编写组编，并由清华大学负责主审。天津大学、大连工学院、同济大学、西南交通大学、合肥工业大学、武汉水利电力学院、河北水利水电学院、太原工学院、西安公路学院和哈尔滨建筑工程学院用书面提出了修改意见。主审单位和各兄弟院校提出的宝贵意见，对我们帮助很大，我们谨在此表示深切感谢。

由于水平所限，编写时间也比较匆促，书中一定有不少缺点，恳请读者批评指正。

编 者

一九七八年九月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 静 力 学

绪言	12
----------	----

第 一 章 基本概念及基本原理	14
-----------------------	----

§1-1 质点、刚体及质点系	14
----------------------	----

§1-2 力的概念 共点的两个力的合成	15
---------------------------	----

§1-3 静力学基本原理	19
--------------------	----

§1-4 约束与约束力	21
-------------------	----

§1-5 计算简图和示力图	28
---------------------	----

习题	34
----------	----

第 二 章 汇交力系	38
------------------	----

§2-1 汇交力系的合成 平衡条件	39
-------------------------	----

§2-2 共面不平行的三个力的平衡	44
-------------------------	----

§2-3 力的分解和力的投影	46
----------------------	----

§2-4 汇交力系合成的解析计算 平衡方程	49
-----------------------------	----

习题	55
----------	----

第 三 章 力矩 力偶理论	66
---------------------	----

§3-1 力对一点的矩 汇交力系的合力矩定理	66
------------------------------	----

§3-2 力偶与力偶矩 力偶的等效条件	70
---------------------------	----

§3-3 力偶系的合成及平衡	76
----------------------	----

§3-4 共面的一个力和一个力偶的合成 力的平移定理	79
----------------------------------	----

习题	81
----------	----

第 四 章 平面力系	87
------------------	----

§4-1 平面力系的简化	89
--------------------	----

§4-2 平面力系简化结果的解析计算	92
--------------------------	----

§4-3	沿直线分布的平行力的简化	94
§4-4	平面力系的平衡条件 平衡方程	98
§4-5	静定与超静定问题	107
§4-6	物体系统的平衡	108
§4-7	平面力系图解法	114
习题		123
第 五 章	桁架与悬索	140
§5-1	静定桁架	140
§5-2	桁架内力分析的节点法	144
§5-3	平面桁架内力分析的截面法	147
*§5-4	荷载沿水平跨度均匀分布的悬索	151
*§5-5	荷载沿索长均匀分布的悬索	156
习题		160
第 六 章	空间任意力系	167
§6-1	力对于一轴的矩	168
§6-2	力对点的矩与对轴的矩之关系	171
§6-3	空间力系向一点简化	172
§6-4	空间力系简化结果讨论	176
§6-5	空间力系的平衡条件 平衡方程	181
§6-6	重心和形心	187
§6-7	一般平行分布力	194
习题		197
第 七 章	摩擦	210
§7-1	引言	210
§7-2	滑动摩擦	211
§7-3	滚动摩擦	221
习题		225

第二篇 运 动 学

绪言	233
第 八 章 点的运动	236

§8-1	点的运动的矢量表示法	236
§8-2	点的运动的直角坐标表示法	238
§8-3	点的运动的自然表示法	248
*§8-4	点的运动的极坐标表示法	259
习题		264
第九章	刚体的平行移动与定轴转动	273
§9-1	刚体的平行移动	273
§9-2	刚体的定轴转动	275
§9-3	转动刚体内各点的速度和加速度	277
§9-4	角速度与角加速度的矢量表示 以矢积表示点的速度和 加速度	284
习题		287
第十章	点的合成运动	294
§10-1	绝对运动、相对运动和牵连运动	294
§10-2	点的速度合成	297
§10-3	牵连运动为平动时点的加速度合成	302
§10-4	牵连运动为定轴转动时点的加速度合成	308
习题		321
第十一章	刚体的平面运动	330
§11-1	运动方程 平面运动作为平动和转动的合成	330
§11-2	平面图形内各点的速度 速度瞬心	333
§11-3	平面图形内各点的加速度 *加速度瞬心	344
习题		349
*第十二章	刚体的定点运动与一般运动	362
§12-1	刚体定点运动的运动方程	362
§12-2	位移定理 转动瞬轴 无限小角位移合成定理	365
§12-3	角速度及角加速度	368
§12-4	作定点运动的刚体内一点的速度及加速度	371
§12-5	刚体的一般运动	374
§12-6	牵连运动为一般运动时点的加速度合成	377
习题		380

第十三章 刚体的合成运动	384
§13-1 绕平行轴转动的合成	384
§13-2 绕相交轴转动的合成	391
§13-3 平动与转动的合成	394
习题	397
附录一 矢量代数与矢量导数	400
§1 矢量的投影和投影定理	400
§2 两矢量的标积	401
§3 两矢量的矢积	403
§4 矢量的三重积	405
§5 变矢量与矢量导数	405
§6 变矢量的绝对导数和相对导数	409
附录二 国际单位制(SI)与工程单位制	411

绪 论

一、理论力学的内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门学科。

按照辩证唯物主义的观点,运动是物质存在的形式,是物质的固有属性,它包括宇宙中发生的一切现象和过程——从简单的位置变化直到人的思维活动。机械运动则是所有运动形式中最简单的一种,指的是物体在空间的位置随时间的变化。例如,车辆的行驶,机器的运转,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。

平衡(例如相对于地球处于静止的状态)是机械运动的特殊情况,也包括在理论力学研究内容之中。

理论力学属于古典力学的范围,是以牛顿定律为基础的。所谓“古典”力学,是相对于在本世纪初出现和发展起来的相对论力学和量子力学而言的。相对论力学研究速度可与光速(30万千米/秒)相比的运动,量子力学研究微观粒子的运动,而古典力学则研究运动速度远小于光速的宏观物体的运动。这固然说明古典力学有局限性,但是,在现代科学技术中,古典力学仍然起着重大作用。因为,不仅在一般工程中,就是在一些尖端科学技术(如火箭,宇宙航行等)中,所考察的物体都是宏观物体,运动速度也都远远小于光速,所以,有关的力学问题,仍然用古典力学的原理来解决。

本书内容分为静力学、运动学及动力学三篇,每篇的研究对象及其在工程中的作用将在以后分别说明。

二、力学发展简史

在开始研究具体内容之前，了解一些有关力学发展的历史过程，对于帮助我们认识学习理论力学的目的，掌握理论力学的研究方法，将是很有益的。

力学是一门历史悠久的学科，从一开始就与生产实践密切结合，并随生产的发展而发展。

由于农业上的需要，人们早就使用了灌溉设备；由于建筑上搬运重物的需要，使用了杠杆、斜面和滑轮；由于运输的需要而造车、造船。这些生产工具的制造和使用，使得人类对物体的机械运动有了些初步认识。经过长期的经验积累，感性知识越来越丰富，于是产生了质的飞跃，出现了早期的力学理论。

迄今为止，已发现的有关力学理论的最早记载，是我国的墨子（公元前 468—前 376）^① 在《墨经》中关于力的概念的说明和对杠杆（称）平衡原理的论述。后来，希腊的阿基米德（公元前 287—前 212）以更明确的方式表述了杠杆平衡问题，并解决了另一些属于静力学范围的问题，为静力学的奠基工作作出了贡献。

在中世纪一千多年的漫长岁月里，虽然在力学的应用方面也有一些进展，但由于封建统治，生产发展停滞不前，学术上又深受经院哲学（烦琐哲学，因产生于天主教的学院，故名）影响，因而一切科学的发展都差不多陷于停顿，力学也不例外。直到十五世纪末，欧洲进入文艺复兴时期，商业资本兴起，工场手工业、城市建筑、航海和军事工业等各个方面，都提出了许多急待解决的问题，同时又为科学研究提供了大量的资料和有效的试验手段，从而促进了科学的发展。

^① 关于墨子的生卒年代，记载不一，这里是以杨宽著《战国策》为根据。

在力学领域里,意大利艺术家、物理学家和工程师辽·达·芬奇(1452—1519)提出了力矩的概念,荷兰物理学家斯蒂芬(1548—1620)得出平行四边形原理,法国科学家伐里农(1654—1722)提出力矩定理,布安索(1777—1859)提出力偶的概念及有关的理论,使静力学理论渐趋完善。

大家都知道伊萨克·牛顿(1643—1727)在动力学上的伟大贡献。事实上,牛顿的重大成就是与前人的努力分不开的。哥白尼(1473—1543)的太阳中心说引起了宇宙观的大革命;刻卜勒(1571—1630)根据哥白尼的学说和大量的天文观测资料,得出行星运行三大定律,成为后来牛顿万有引力定律的基础;伽利略(1564—1642)通过试验得出了落体在真空中运动的定律,并引进了加速度的概念,还建立了动力学基本定律之一的惯性定律。牛顿总结了前人的成就,以及他自己观察、实验的结果,在他的名著《自然哲学的数学原理》中发表了有名的运动定律,使动力学成为严密的理论科学。

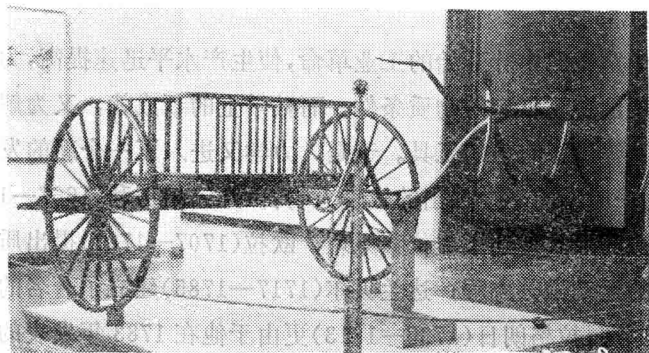
十八世纪中叶开始的工业革命,使生产水平迅速提高,为力学的发展创造了良好的物质条件。而数学上的新成就,又为解决力学问题提供了有力的工具。于是,力学又进入了一个新的发展时期。这一时期有不少杰出的代表人物,伊凡·伯努利(1667—1748)以普遍的形式表述了虚位移原理;欧拉(1707—1783)提出质点及刚体的运动微分方程;达兰贝尔(1717—1785)建立了著名的达兰贝尔原理;拉格朗日(1736—1813)更由于他在1783年发表的名著《分析力学》而成为分析力学的奠基人,并使得分析力学成为理论力学的重要组成部分。

二十世纪,特别是近三、四十年来,科学技术的发展更为迅速,各门学科都在不断充实、更新,而且许多学科之间互相渗透,出现了一些所谓边缘学科。就理论力学领域来说,振动理论、运动稳定

性、飞行力学等许多方面都取得巨大进展,并逐渐成为一些独立的分支。理论力学还与其它学科结合,形成一些新的学科,如地质力学、生物力学、工程控制等。今后,随着生产和科学技术的发展,理论力学也必会获得新的成就。

三、我国在力学方面的成就

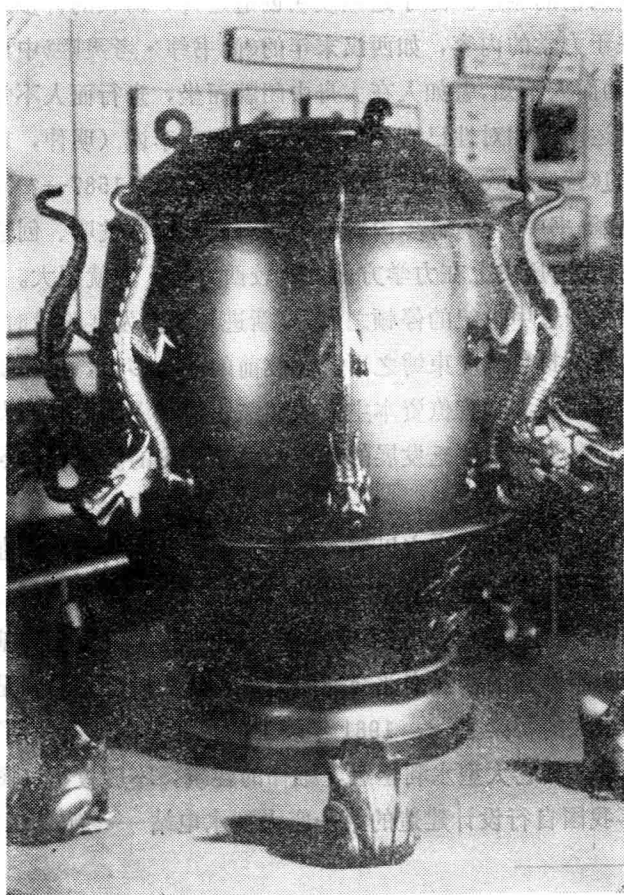
我国是世界上最古老的文明国家之一,生产和科学技术都发展得比较早。就力学方面来说,远在新石器时代,木架建筑已初具规模。世界上第一辆车子出现于我国夏代(约公元前 21 世纪—约前 16 世纪)。西周时期(约公元前 16 世纪—约前 771)已能制造精致的马车(图一)。到春秋战国时期(公元前 770—前 221),墨子在力学理论上的贡献,已如前述。与墨子同时代的鲁班(公输般,约公元前 507—?)在机械制造和建筑结构上的伟大成就,更是大家所熟悉的。



图一 河南浚县辛村出土的西周马车的复原模型(据中国历史博物馆稿)

在秦汉以后的两千多年中,我国在力学方面也有很多发明创造,其中比较著名的有:秦代(公元前 221—前 206)完成的万里长城,迄今仍是誉满寰宇;在李冰父子领导下修建的水利史上有名的都江堰,对川西平原的农业生产,至今还继续发挥着重要作用。在

修建这些工程时,都必须解决材料运输、建筑物的稳定等与力学有关的问题。西汉(公元前 206—公元 23)时期的文献所记载的指南车和记道车(自动记里程的车),都使用了复杂的齿轮传动系统。东汉(公元 25—220)张衡(78—139)制造的“地动仪”(图二)是世界上第一台测震的仪器,“形似酒樽……。中有都柱,……外有八龙,首衔铜丸。下有蟾蜍,张口承之,……如有地动,樽则振,龙机发吐



图二 地动仪复原模型(据中国历史博物馆稿)

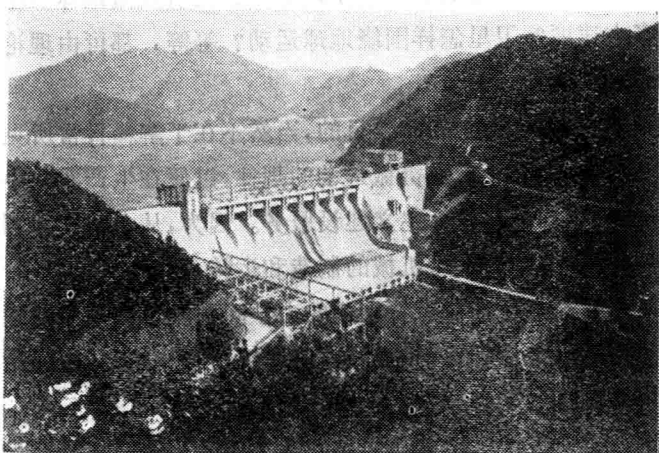
丸而蟾蜍衔之，……虽一龙发机而七首不动，寻其方面，乃知震之所在。”^①曾在洛阳测出陇西(今甘肃)于公元138年发生的一次地震。隋朝(581—618)李春主持建造的赵州桥是世界上第一座最大的石拱桥，桥的设计完全符合力学原理，经过多次地震，至今仍保持完好，技术的高超，令人叹服。宋朝(960—1279)在发明火药之后，出现了使用火药的多种兵器，其中“突火枪”和“火箭”，可说是现代枪炮和火箭的雏形。除了这些发明创造之外，历代的许多著作中都有关于力学的内容，如西汉末年的《尚书纬·考灵曜》中记载着“地恒动而人不知，譬如人在大舟中闭牖而坐，舟行而人不觉也”，表明对运动的相对性已有一定的认识。宋朝李诚(明仲，1060—1110)的《营造法式》、明朝(1368—1644)宋应星(1587—?)的《天工开物》等书中，也有许多内容与力学有关。这些发明、创造和著作，表明我国历史上在力学方面发展较西方早，成就很大。但是，当欧洲在经过中世纪的停顿之后，重新进入新的发展阶段时，我国却仍然处于封建制度束缚之下。解放前的一百多年，更深受帝国主义、封建主义和官僚资本主义的残酷压迫和剥削，生产发展极其缓慢，科学技术缺乏发展的基础，力学理论的发展也比西方落后了。

中华人民共和国成立以后，情况发生了根本的变化。在中国共产党的领导下，生产建设蓬勃发展，逐步建立了现代机械工业、汽车工业、造船工业、航空工业、……，并进行了大规模的基本建设。1968年修建的沟通南北交通的南京长江大桥(图三)，是世界上最大的桥梁之一。1981年竣工的长江葛洲坝第一期工程，举世瞩目。其它大型水利枢纽、雄伟的建筑，不胜枚举(图四是1960年我国自行设计建造的第一座大型水电站——新安江水电

^① 见《后汉书·张衡传》。



图三 南京长江大桥



图四 新安江水电站

站)。1970年4月24日,我国完全依靠自己的力量,发射了第一颗人造地球卫星。1975年以来,多次实现了卫星的回收。1981年