

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

同济大学出版社

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

同济大学出版社

内 容 提 要

本书包含了1980年《理论力学教学大纲》(草案)(120学时)所规定的全部内容,并有所扩充。本书分上、下两册,上册为静力学和运动部分,下册为动力学部分。

各章均配有思考题、小结与习题,并在书末附有理论力学词汇汉、英对照表。

本书可作为高等学校土建、水利类、机械类专业的理论力学教材;也可作为电视大学、职工大学及函授大学等同类专业的教材,并可供工程技术人员学习参考。

责任编辑 解明芳

封面设计 李 伦

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

同济大学出版社出版

(上海四平路1239号)

新华书店上海发行所发行

同济大学印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 16.25 字数: 422 千

1990年8月第1版 1990年8月第1次印刷

印数: 1—4400 定价: 3.85 元

ISBN 7-5608-0213-4/R·13

前 言

本书是近年来我室教学实践的总结，并参考1980年《理论力学教学大纲》（草案）（120学时）及1987年《理论力学课程教学基本要求》（草案）（100~110学时）编写而成的。

本书在体系上的特点是：在第二章汇交力系、第三章力偶系中，对平面汇交力系、平面力偶系作为特殊情况处理；在第十三章动力学基本定律与质点运动微分方程中，包括了质点相对运动微分方程。本书除包括该教学大纲所规定的全部内容外，还扩充了一些内容。例如，牵连运动为一般运动时，点的加速度合成定理、质点运动微分方程的极坐标形式、刚体对任意轴的转动惯量、质点系相对于动矩心的动量矩定理、质点在有心力作用下的运动、碰撞对平面运动刚体的作用、哈密顿原理、两个自由度系统的自由振动及受迫振动与刚体的定点运动和一般运动等。

本书中有“*”号的章或节为加深内容。对第一、二、三篇中的“*”号内容可根据需要选学。

本书各章均配有思考题、小结与习题，并在书末附有理论力学词汇汉、英对照表。

参加本书编写的有陈祥銓（第一、二、三、四、六、七章）、黄骏（第五、十二、二十一、二十三章）、徐妙新（第八、九、十、十一章）、杨兆光（第十三、十四、十六、十七、二十二章）、沈桂荣（第十五、十八、十九、二十章），由杨兆光负责主编。

限于编者水平，本书可能存在不少缺点和错误，诚恳希望读者，特别是使用本书作为教材的师生提出批评和指正。

编 者

一九八七年八月

目 录

绪论.....	(1)
---------	-------

第一篇 静 力 学

绪言.....	(8)
第一章 静力学基本概念与公理	(9)
§ 1-1 静力学基本概念.....	(9)
§ 1-2 静力学公理.....	(11)
§ 1-3 约束的基本类型与约束反力.....	(15)
§ 1-4 物体的受力分析与受力图.....	(21)
习题.....	(28)
第二章 汇交力系	(33)
§ 2-1 汇交力系的实例.....	(33)
§ 2-2 汇交力系的合成.....	(34)
§ 2-3 汇交力系的平衡.....	(43)
§ 2-4 三力平衡定理.....	(46)
习题.....	(53)
第三章 力偶理论	(71)
§ 3-1 力对点的矩.....	(71)
§ 3-2 两平行力的合成.....	(76)
§ 3-3 力偶与力偶矩.....	(78)
§ 3-4 力偶的等效条件.....	(80)
§ 3-5 力偶系的合成与平衡.....	(83)
习题.....	(93)
第四章 平面任意力系	(102)
§ 4-1 平面任意力系的实例.....	(102)
§ 4-2 力线平移定理.....	(104)

§ 4-3 平面任意力系向一点简化	(107)
§ 4-4 平行分布的线荷载	(115)
§ 4-5 平面任意力系的平衡条件与平衡方程	(121)
§ 4-6 平面平行力系的平衡	(128)
§ 4-7 静定与静不定问题 · 物体系统的平衡	(131)
习题	(146)
第五章 桁架与悬索	(161)
§ 5-1 平面桁架	(161)
§ 5-1 悬索	(171)
习题	(182)
第六章 摩擦	(188)
§ 6-1 摩擦现象	(188)
§ 6-2 滑动摩擦	(190)
§ 6-3 考虑滑动摩擦时物体的平衡问题	(196)
§ 6-4 滚动摩擦的概念	(204)
习题	(214)
第七章 空间任意力系	(223)
§ 7-1 空间任意力系的实例	(223)
§ 7-2 力对轴的矩	(224)
§ 7-3 力矩关系定理	(226)
§ 7-4 空间任意力系向一点简化	(229)
§ 7-5 空间任意力系简化结果的几种情形	(233)
§ 7-6 空间任意力系的平衡	(236)
§ 7-7 物体的重心	(246)
习题	(261)

第二篇 运动学

绪言	(275)
第八章 点的运动	(277)

§ 8-1 点的运动的矢量法	(277)
§ 8-2 点的运动的直角坐标法	(280)
§ 8-3 点的运动的自然法	(294)
* § 8-4 点的运动的极坐标法	(308)
习题	(314)
第九章 刚体的基本运动	(325)
§ 9-1 刚体的平行移动	(325)
§ 9-2 刚体的定轴转动	(326)
§ 9-3 转动刚体内各点的速度和加速度	(333)
§ 9-4 定轴轮系的传动比	(341)
习题	(349)
第十章 点的合成运动	(359)
§ 10-1 点的合成运动的概念	(359)
§ 10-2 点的速度合成定理	(365)
§ 10-3 矢量对时间的绝对导数和相对导数	(376)
§ 10-4 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	(370)
§ 10-5 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成定理	(386)
习题	(402)
第十一章 刚体的平面运动	(415)
11-1 刚体的平面运动方程	(415)
11-2 平面运动分解为平动和转动	(417)
11-3 平面图形上各点的速度	(420)
§ 11-4 速度瞬心	(425)
§ 11-5 平面图形上各点的加速度	(436)
* § 11-6 加速度瞬心	(447)
§ 11-7 刚体绕平行轴转动的合成	(450)
习题	(460)
*第十二章 刚体的定点运动和一般运动	(474)
§ 12-1 刚体定点运动的实例	(474)
§ 12-2 位移定理 · 定点运动刚体的角速度和角加	

速度.....	(475)
§ 12-3 定点运动刚体内各点的速度和加速度.....	(477)
§ 12-4 刚体绕相交轴转动的合成.....	(478)
§ 12-5 欧拉角·欧拉运动学方程.....	(482)
§ 12-6 刚体的一般运动.....	(487)
§ 12-7 牵连运动为一般运动时点的加速度合成定 理.....	(489)
习题.....	(492)
附录	(497)
附录 I 国际单位制(SI)与工程单位制.....	(497)
附录 II 标积·矢积·三重积·矢量导数.....	(498)
附录 III 理论力学词汇汉、英对照表.....	(505)

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。

自然界中的物质都处在运动中。运动是物质存在的形式，是物质的固有属性，它包括物质运动中发生的一切变化和过程，从单纯的位置变化起直到人类的思维活动。机械运动是物质运动的最简单、最初级的一种形式。所谓机械运动，是指物体在空间的位置随时间的变化。例如，河水的流动，车辆、轮船的行驶，机器的运转，房屋、机械的振动，火箭、人造卫星、航天飞机的运行等，都是机械运动。

理论力学以伽利略(G. Galilei, 1564—1642)和牛顿(I. Newton, 1642—1727)所总结的动力学基本定律为基础的，称为古典力学。由于近代物理的发展，在19世纪后半期，发现古典力学的规律不适用于接近光速(30万千米/秒)的宏观物体的运动，也不适用于微观粒子的运动，因而对前、后者分别产生了相对论力学和量子力学。这说明古典力学有局限性。但是，在一般工程技术问题中，物体都是运动速度远小于光速的宏观物体，于是仍可应用古典力学的规律去解决。古典力学是在15至17世纪中逐步形成其体系，后来不断发展与完善。目前，它的分支，例如分析力学、振动理论、运动稳定性、多刚体动力学等正在迅速发展。

本教材内容分为静力学、运动学和动力学三个部分，每一内容的理论及应用在以后分别说明。

二、学习理论力学的目的

在日常生活和工程技术中，广泛地存在着机械运动。学习理论力学，掌握机械运动的客观规律，就能够理解机械运动现

象，把这些规律应用到生产实践中去，为社会主义建设服务。例如，土建、水利工程的结构物的设计与施工，机械的制造，人造地球卫星的发射和运行，都存在力学问题。有些简单的力学问题可以由理论力学的原理去解决，而在解决较复杂的力学问题时，理论力学的知识是不可缺少的基础。

理论力学也是后继课程的基础。例如，材料力学、结构力学、弹性力学、塑性力学、流体力学、振动理论、机械原理等课程，都以理论力学为基础。在很多专业课中，例如工程结构、机械的设计等，也要用到理论力学的原理。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。

理论力学与其他学科一样，也在不断地发展。为了使我国的理论力学学科迅速发展，达到先进水平，这就需要熟练掌握现有的理论，刻苦钻研，使我们在理论上有所发现，有所前进。

学习理论力学也有助于培养我们的唯物主义世界观和树立正确的思想方法，提高分析问题和解决问题的能力。

三、力学发展简史和我国在力学方面的成就

在开始学习理论力学时，首先了解力学发展的历史过程，有利于我们进一步认识学习理论力学的目的及掌握理论力学的研究方法。

人类的生产实践是促使力学发展的源泉和动力。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，例如斜面、杠杆等。并在使用和改进这些工具和机械中，积累了丰富的经验，从经验里获得知识，形成了力学规律的起点。我国的墨翟（公元前468—382）及其学派的《墨经》里，已叙述力、重心等概念，可以说是世界上最早的有关力学的论述。由此可见，我国古代勤劳勇敢的劳动人民在很早已积累了丰富的力学知识。在欧洲，比《墨经》晚一些时期，古希腊的亚里士多德（Aristotle，公元前384—322）、阿基米德（Archimedes，公元前287—212）等提出关于杠杆平衡等力学规律，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。直到15世纪的后半期，欧洲进入文艺复兴时期，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发展，提出了许多急待解决的问题，从而促使力学和其他科学随之迅速发展。

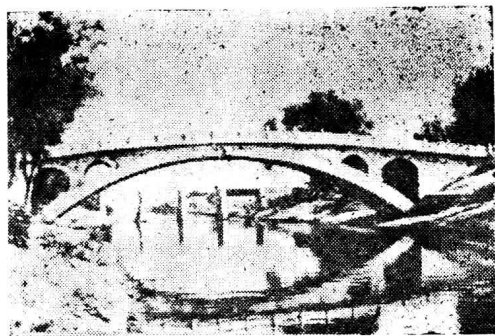
从16到17世纪，力学开始形成一门独立的系统的学科。伽利略根据实验，提出了惯性定律和加速度的概念，从而奠定了动力学的基础。牛顿总结并发展了前人的研究成果，于1687年在他的名著《自然哲学的数学原理》中，完备地提出了动力学的三个基本定律，并从这些定律出发将动力学作了系统的叙述。牛顿运动定律是整个古典力学的基础。

十八、十九世纪是理论力学发展成熟的时期，相继提出了重要的原理、方程等。伯努利(J. Bernoulli, 1667—1748)提出了虚位移原理。达朗伯(J. D' Alembert, 1717—1783)建立了达朗伯原理。拉格朗日(J. L. Lagrange, 1736—1813)在他的名著《分析力学》中发表了著名的拉格朗日方程，成为分析力学的奠基人。

二十世纪以来，由于工业建设、现代国防技术和其他新技术的需要，各门学科迅速发展，而且许多学科之间的相互渗透，产生了所谓边缘学科。以理论力学为例，振动理论、运动稳定性、分析力学、多刚体系统动力学、陀螺系统动力学、飞行力学等都取得巨大的发展，并逐渐成为独立的分支。理论力学还与别的学科相结合，形成一些边缘学科，例如生物力学、地质力学、工程控制、化学流体力学等。

我国力学的发展是很早的，除上述《墨经》是世界上最早的有关力学论述外，还可以举出三个世界上最早的成就：东汉（公元25—220）张衡（公元78—139）发明了世界上第一台地震仪；夏代（约公元前21世纪—16世纪）时已出现世界上第一辆车；隋朝（公元581—618）工匠李春主持建造的赵州桥是世界上第一座最大的石拱桥，该桥在河北赵县（照片0-1），至今仍保持完

好。历史说明，到十四世纪我国在力学上已取得光辉的成就，走在世界的前列。但由于封建社会的长期延续，轻视科学技术，解放前一百多年来，深受帝国主义、封建主义和官僚资本主义的侵略、压迫和剥削，我国科学技术，包括力学的发展遭到严重阻碍，于是力学的发展也比西方落后了。



照片 0-1

中华人民共和国成立以后，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，各项社会主义建设与力学相互促进。例如，1968年建造的南京长江大桥，是世界上最大的桥梁之一。1960年我国自行设计与建造了第一座大型水电站——新安江水电站。1970年4月24日，我国成功地依

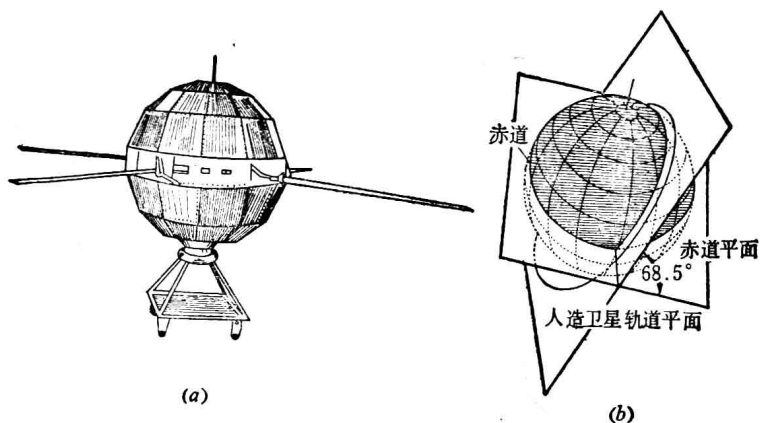


图 0-1

靠自己的力量发射了第一颗人造地球卫星（图 0-1）。1975 年以来，已多次实现卫星返回地面。1981 年 9 月 20 日用一枚运载火箭发射了三颗空间物理探测卫星。1984 年 4 月 8 日第一次发射了一颗通信卫星（同步卫星）。1988 年 3 月 7 日又成功地发射了一颗通信卫星。自 1980 年至 1987 年底之间，以北京图书馆新馆为首的北京 80 年代十大建筑先后建成，在设计造型上既体现出传统意识，又富有现代气息。自 1949 年以后建造的我国北京友谊宾馆等 43 幢建筑物，被作为全世界建筑史上的成功之作而首次写进新近修订并在英国出版的《世界建筑史》中。上述实例，既标志着我国的科学技术已达到一个新水平，也表明了我国力学水平的提高。随着社会主义建设的发展，将会有更多的力学课题需要我们去解决，从而将促进力学水平更快地提高。但是，与世界的力学先进水平比较，我们还存在不小的差距，还需要我们倍加努力，迅速赶上并超过世界水平。

四、理论力学的研究方法及学习方法

从力学发展简史可以看出，力学理论是在长期的生产实践和科学实验基础上总结出来的。理论力学的发展也是这样，从实践到理论，又从理论回到实践，用实践来检验理论，再通过实践使理论进一步发展。

观察和实验是理论力学发展的基础。在力学的萌芽时期，人类通过对自然现象的直接观察及参加生产劳动，建立了力的概念，并得出一些简单的力学规律。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基础上的。

来自实践的材料是复杂多样的，一时不易认识它的本质，这就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，通过现象看本质，理解事物的内在联系，这就是在力学中普遍采用的抽象化方法。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，就得到了刚体模型。如果客观条件改变了，就需要考虑新的主要因素，建立新的模型，使它更接近于实际。

通过抽象，进一步把人类长期以来从实践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，得到各种形式的定理或公式，这就是演绎法。它也是力学中广泛应用的方法。在解决力学的问题时，数学是一有效的工具，它不仅应用在逻辑推理方面，而且也运用于量的计算方面。因此，计算技术对力学的应用和发展起着巨大的作用。电子计算机的日益发展，促进了力学计算的现代化，使极复杂的力学问题有可能得到解决。

理论力学是其他力学的基础，是第一门力学课程，正确的学习方法将有利于理论力学的学习。因此，要学好理论力学，掌握学习方法是十分重要的。

理论力学是理论性较强的课程，它的概念多、定理多、公式多，如何掌握它是十分重要的。在学习基本理论时要多思考，多问几个“为什么”。例如对于某定理，要理解它的基本根据是什么？要弄清它的推导过程。在了解推导过程时，可以加深对已学内容的理解及建立思考问题的方法。对定理的结论要着重理解它的物理意义，最后还要明白定理应如何应用。在学习例题时，要密切联系理论，进一步体会理论的意义，了解在例题中如何去应用它，还可以比较例题的不同求解方法。

要正确处理阅读教材与做习题的关系。二者不能忽视。做习题是本课程的一个十分重要的基本训练，它的水平反映对本课程的掌握程度，所以一定要做相当数量的习题。在解题时要注意独立思考、认真、踏实，要注意计算能力的提高，要注意解题方法，使解题能力不断提高。

理论力学广泛应用数学、物理等课程知识，在学习时可复习与这些课程有关内容，加深理解。理论力学与一些后继课程（例

如材料力学、机械原理等)也有密切关系。因此,注意理论力学与其他课程的联系,对学习理论力学及后继课程是很有帮助的。

理论力学中大量的例题与习题都是从工程实际问题中抽象出来的。在学习时要注意将本课程密切联系工程实际这个特点。同时,在我们的生活、工作中也常碰到与本课程有关的许多问题。因此,在学习理论力学时既要联系实际,去关心、发现有关问题,又要逐步学会从实际问题中抽象出力学问题,进行理论分析,这样做对提高解决实际问题的能力大有好处。

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匀速直线运动状态，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视为质点，都是处于平衡状态。

大家知道，运动是物体的固有属性。物体的平衡总是相对的、暂时的。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，实际上还随着地球的自转和绕太阳的公转而运动。因此，平衡是相对于所选作参考的物体而言的。

作用于物体上的一群力，称为力系。若一个力系作用于物体并使其保持平衡，则此力系称为平衡力系。

静力学主要研究以下两类问题：

（一）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果相同的力系来代替。这种简单力系称为原力系的等效力系。

（二）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。

研究力系的平衡条件是静力学的主要问题。研究力系的简化，在静力学中主要为导出力系的平衡条件，又为动力学的研究打下基础。

在工程实际中，静力学问题有着广泛的应用。例如，当设计土建或机械工程时，首先就要分析和计算各构件或零部件所受的力。然后根据它们的受力情况和选用的材料，确定所需的截面尺寸，以满足安全和经济的要求。

第一章 静力学基本概念与公理

本章将阐述力、刚体、平衡、约束等基本概念和几个公理，这些概念和公理是静力学的基础。最后介绍约束基本类型、物体的受力分析和受力图。

§ 1-1 静力学基本概念

(一) 力的概念

人们在长期的生产实践中，经过科学的抽象，形成了力的概念：力是物体间的相互作用，这种作用使物体的运动状态和物体的形状发生改变。例如，人推车的力使车子由静止进入运动，由慢到快(运动状态发生改变)；太阳对地球的引力使地球不断改变运动方向而绕着太阳运转；锻锤对工件的冲击力使工件变形等。

在理论力学中只研究物体的机械运动。上述物体间的相互作用称为机械作用。

应当指出，既然力是物体间的相互作用，所以力不能脱离物体而存在。有一个力，就必然有一个施力体和一个受力体，离开了物体间的相互作用是不能进行受力分析的。

在理论力学中，不研究产生力的物理本质，而只研究力对物体作用的效果，即所谓力的效应。力有使物体的运动状态发生改变的效应，也有使物体发生变形的效应。前者称为力的外效应，后者称为内效应。理论力学只讨论力的外效应。至于力的内效应将在材料力学、结构力学等课程中讨论。

从观察和试验可知，力对物体作用的效应完全取决于力的三要素。力的三要素是：(1) 力的大小；(2) 力的方向；(3) 力的作用点。其中任何一个要素发生变化，力的作用效应也随之变化。

力是具有大小和方向的量，所以力是矢量。它可以用一带箭