

军队高等院校推荐教材

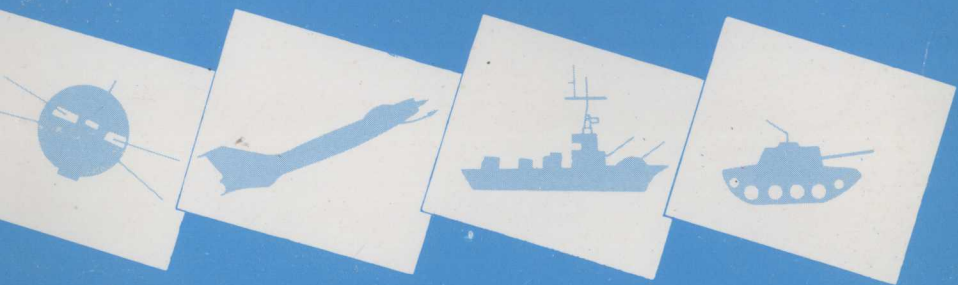
理论力学

(第二版)

中国人民解放军总参军训部组编

主 编 冯立富 徐新琦

谈志高 谢永亮



陕西科学技术出版社

军队高等院校推荐教材

理论力学

(第二版)

中国人民解放军总参军训部组编

主 编 冯立富 徐新琦

谈志高 谢永亮

副主编 朱晓波 孟 泉

汪秀君 夏毅锐



淮阴师院图书馆 580594

陕西科学技术出版社

(陕)新登字第002号

内 容 简 介

本书为第二版。第一版于1996年6月出版。

第二版是为了适应军队专业技术院校教学改革的需要,根据我国科学技术发展和生产建设的要求,在第一版的基础上修订而成的。与第一版相比,内容更加简明精炼。

全书分静力学、运动学和动力学三篇,共16章;另有附录。附录包括汉英名词对照、数值计算方法和习题答案三部分。

本书可作为军队高等院校和地方高等工业学校机械、建筑、航空、航海等专业理论力学课程的教材,也可供其它专业和有关工程技术人员参考。

理 论 力 学

冯立富 徐新琦 主编
谈志高 谢永亮

陕西科学技术出版社出版发行

(西安北大街131号)

空军工程大学工程学院印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 13.75印张 34.9万字

2001年5月第2版 2001年5月第1次印刷

印数: 3,000—8,000

ISBN 7-5369-2545-X/O·75

定 价: 19.50元

再 版 前 言

为了适应军队专业技术院校教学改革的需要,根据我国科学技术发展和生产建设的要求,我们对本书1996年6月的第一版进行了修订,作为第二版出版。

参加本书修订工作的有:海军航空工程学院徐新琦、杨晓冬,空军工程大学导弹学院汪秀君、陈兮,军事交通学院孟泉、王金和,海军航空工程学院青岛分院夏毅锐、李玲、沈国瑾,空军第二航空学院朱晓波、田华奇,空军后勤学院谢永亮、庄惠平、董宪强、陈太林、谢卫红、张伟,理工大学谈志高、陈国良、韦忠煊、杜茂林,空军工程大学工程学院冯立富、姚宏、郭书祥、徐春玉。由冯立富、徐新琦、谈志高、谢永亮担任主编,朱晓波、孟泉、汪秀君、夏毅锐担任副主编。

在本书修订过程中,得到了各有关院校的领导和、机关和教研室同志们的大力支持和帮助,特别是海军航空工程学院的有关领导、机关和教研室的同志们做了大量工作,谨此一并致谢。

由于我们水平所限,书中一定还有不少缺点和错误,热诚欢迎广大读者批评指正。

编 者

2001年4月

第一版前言

本书是受总参军训部的委托,为了适应军队专业技术院校教学改革的要求,根据国家教委高教司1995年修订的高等学校工科本科理论力学课程教学基本要求和总参军训部1990年颁发的军队院校工科本科理论力学课程教学基本要求编写的,可作为军队高等院校工科本科各专业的教学用书,也可供有关的工程技术人员参考。

本书吸取了军队院校在教学和教材改革方面的经验,结构合理,内容紧凑;注重概念物理意义的阐述,且力求引入自然;尽量利用学生已有的数学和普通物理基础,适当提高了起点;注意联系工程实际,特别是联系军事工程实际,培养学生分析和解决具体的力学和工程问题的能力;习题数量适中,类型较全。书中还附有应用计算机解题的数值计算程序和动态图象显示资料,以及汉英力学词汇对照表,可供查阅。

本书中凡标有*号的部分,均为选修内容。应当指出,即使是基本内容,也不一定要完全讲授。各校可结合本校的实际情况作一些必要的取舍。

参加本书编写工作的同志有:武警技术学院李印生,运输工程学院靳志国,二炮工程学院李学东、廖天宇,空军后勤学院庄惠平、顾红军,工程兵工程学院谈志高、杨效中,装甲兵工程学院王丹杰、潘学琴,武警部队学院孙庭立、周永年,军械工程学院刘协权,空军导弹学院夏之英、张远,海军工程学院王良桂、王德石,空军工程学院冯立富、姚宏、郭书祥。由冯立富、王良桂、夏之英、刘协权、孙庭立担任主编。

应本书编写组的邀请,西北工业大学蔡泰信教授和空军工程学院王永正教授承担了本书的审稿工作。二位教授都分别提出了

许多宝贵的修改意见,我们在此表示衷心感谢。根据二位教授的审稿意见,全书最后由冯立富统一修改定稿。

在本书编写过程中,得到了参编各院校有关领导、机关和理论力学教研室(组)同志们的大力支持和帮助,特别是空军工程学院和武警部队学院的有关领导、机关和教研室的同志们做了大量的工作,谨此一并致谢。

由于我们水平所限,书中一定还有不少缺点,恳请广大读者批评指正。

编者

1996年5月

目 录

(08)	绪论	(1)
(48)	第一篇 静力学	
(08)	第一章 静力学基础	(16)
(20)	§ 1.1 静力学公理	(16)
(801)	§ 1.2 力矩	(24)
(801)	§ 1.3 力偶理论	(28)
(801)	思考题	(32)
(801)	习题	(32)
(801)	第二章 力系的简化	(36)
(801)	§ 2.1 力的平移定理	(36)
(801)	§ 2.2 力系向一点的简化	(37)
(801)	§ 2.3 平行力系中心和重心	(44)
(801)	思考题	(50)
(801)	习题	(50)
(801)	第三章 物体的受力分析	(53)
(801)	§ 3.1 约束和约束反力	(53)
(801)	§ 3.2 物体的受力分析和受力图	(59)
(801)	思考题	(62)
(801)	习题	(64)
(801)	第四章 力系的平衡	(66)
(801)	§ 4.1 空间力系的平衡方程	(66)
(801)	§ 4.2 平面力系的平衡方程	(70)
(801)	§ 4.3 物系平衡问题	(74)

§ 4.4 桁架	(80)
思考题	(84)
习题	(86)
第五章 摩擦	(95)
§ 5.1 滑动摩擦	(95)
§ 5.2 滚动摩擦	(103)
思考题	(105)
习题	(106)

第二篇 运 动 学

引言	(110)
第六章 运动学基础	(112)
§ 6.1 点的运动学	(112)
§ 6.2 刚体的基本运动	(127)
思考题	(134)
习题	(134)
第七章 点的合成运动	(139)
§ 7.1 点的绝对运动、相对运动和牵连运动	(139)
§ 7.2 速度合成定理	(142)
§ 7.3 加速度合成定理	(146)
思考题	(152)
习题	(153)
第八章 刚体的平面运动	(160)
§ 8.1 刚体平面运动的简化和分解	(160)
§ 8.2 平面图形上各点的速度分析	(163)
§ 8.3 平面图形上各点的加速度分析	(171)
思考题	(177)
习题	(179)

第三篇 动力学

引言	(186)
第九章 动量定理	(189)
§ 9.1 动量定理	(189)
§ 9.2 质心运动定理	(195)
* § 9.3 变质量质点的运动微分方程	(201)
思考题	(204)
习题	(205)
第十章 动量矩定理	(210)
§ 10.1 动量矩定理	(210)
§ 10.2 刚体定轴转动微分方程	(220)
§ 10.3 刚体平面运动微分方程	(226)
* § 10.4 陀螺仪近似理论	(236)
思考题	(241)
习题	(242)
第十一章 动能定理	(250)
§ 11.1 力的功	(250)
§ 11.2 动能定理	(256)
§ 11.3 机械能守恒定律	(263)
§ 11.4 动力学普遍定理的综合应用	(268)
思考题	(272)
习题	(272)
第十二章 动静法	(281)
§ 12.1 惯性力的概念	(281)
§ 12.2 动静法	(284)
* § 12.3 定轴转动刚体的轴承动反力	(296)
思考题	(303)
习题	(304)
第十三章 质点的相对运动	(310)

§ 13.1 质点相对运动动力学基本方程	(310)
§ 13.2 地球自转对质点相对运动的影响	(314)
思考题	(319)
习题	(319)
第十四章 虚位移原理	(322)
§ 14.1 虚位移原理	(322)
§ 14.2 广义坐标形式的虚位移原理·广义力	(331)
思考题	(333)
习题	(334)
第十五章 拉格朗日方程	(339)
§ 15.1 动力学普遍方程	(339)
§ 15.2 拉格朗日方程	(341)
§ 15.3 拉格朗日方程的第一积分	(348)
思考题	(353)
习题	(354)
第十六章 振动理论基础	(358)
§ 16.1 单自由度系统的无阻尼自由振动	(360)
§ 16.2 单自由度系统的有阻尼自由振动——衰减振动	(367)
§ 16.3 单自由度系统的强迫振动	(371)
§ 16.4 二自由度振动理论	(381)
思考题	(390)
习题	(391)
附录一 汉英名词对照	(396)
附录二 数值计算方法	(404)
附录三 习题答案	(419)

绪 论

1. 为什么要学习理论力学?

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。它不考虑物体的弹塑性、流动性、压缩性、粘滞性等具体属性,只研究机械运动规律中的共性,即研究物体在力的作用下改变机械运动状态(或保持平衡状态)的规律。工程技术中的许多学科也都是研究物体机械运动的规律的,例如材料力学、结构力学、弹性力学、塑性力学、流体力学、空气动力学、飞行力学、岩土力学等。它们在理论力学的基础上,结合某些物性,或局限于某些具体对象(如工程结构、飞行器、岩土等),对机械运动规律作进一步的深入研究。因此,理论力学是这些学科的理论基础。为了学习上述各学科以及其他的有关专业课程,必须先学好理论力学。

普通物理中也有一部分力学内容,它主要讲述一些最基本的概念和规律的物理意义。而理论力学除对机械运动的一般规律作全面深入的探讨以外,着重讲述把这些规律用于解决工程技术实际问题的方法。与普通物理相比,理论力学是一门与工程技术结合更为紧密的课程。普通物理是基础课,理论力学则是技术基础课。有些工程技术实际问题可以直接应用理论力学的理论、方法去解决。有些比较复杂的工程技术实际问题则需要用理论力学和其他专门知识共同来解决。所以,学习理论力学将为解决工程技术实际问题打下一定的基础。

本课程理论严密,实用性较强。学习这门课程,不仅可以学到它的具体内容,还可以学到它的逻辑思维以及其中所包含的辩证唯物主义思想,提高我们全面、综合、灵活分析问题的能力。

本课程的内容包括以下三个部分:静力学,运动学和动力学。静力学专门研究物体受力分析的方法,以及力系简化和平衡的规

律。运动学专门研究物体运动分析的方法,以及描述物体运动几何性质的诸量(如速度、加速度、角速度、角加速度等)之间的关系;这时不涉及引起运动状态变化的物理原因(如力、惯性等)。动力学则把力和运动这两方面综合起来研究,即研究物体运动状态的变化与作用力之间的关系。

2. 怎样学习理论力学?

理论力学是一门理论性和实践性都很强的学科。它从一些最基本的概念和规律出发,用逻辑推理和数学演绎的方法,导出许多其他的概念和规律,并用以分析解决实际问题。我们在学习理论力学这门课程时,应注意以下几点:

2.1 作为本课程出发点的一些最基本的概念(如力、质量等)和规律(称为“公理”或“定律”,如静力学公理、牛顿三定律等),是前人在实践中通过大量的观察和实验,分析、综合、归纳得到的。虽然在学习本课程时不再重复那些观察和实验,但是不要忘记,这些概念、公理、定律都是从实践中总结出来的。

2.2 抽象化的方法是各门学科研究问题的基本方法之一。实际事物是复杂的,人们在认识过程中往往不能一下子就把握它的一切方面和一切深度,而必须分阶段、分层次。在每一阶段、每一层次上,抓住事物中起决定作用的主要因素,舍弃次要的、局部的、偶然的因素,从而形成一些简化模型。理论力学也是这样。例如在研究物体的机械运动时,忽略物体受力要变形的性质,得到刚体的概念。当然,实际上是不存在这种绝对不变形的物体的。不过在许多情况下,物体变形对整体的机械运动影响很小,可以忽略不计,从而可抽象出刚体这种简化模型。抽象化方法,一方面简化了所研究的问题,另一方面也更深刻地反映了事物的本质。正如列宁所指出的:“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。”^①当然,任何抽象化模型都是有条件

^① 列宁:《黑格尔《逻辑学》一书摘要》,北京:人民出版社,1956,155

的、相对的。如果所研究的问题和条件改变了,原来被舍弃的因素可能成为主要因素,那么原来的模型就不再适用,而必须考虑新的主要因素,建立新的模型。这时,人们的认识随之进到了新的阶段、新的层次。例如在研究强度问题时,刚体模型就不再适用,而必须代之以考虑变形的理想弹性体模型,这是材料力学研究的对象。

2.3 在抽象化模型的基础上,从最基本的概念、公理和定律出发,用逻辑推理和数学演绎的方法,得到许多概念、定理和公式,这是本课程理论部分的精华。学习这些概念、定理和公式时,要弄清楚它们的来龙去脉、准确含义和适用条件。

2.4 学习理论力学,不仅要学习它的理论,熟悉它所包含的概念、定理和公式,更重要的是要学会应用这些理论去分析和解决实际问题。我们学习理论的目的就是为了应用,而且只有在应用中才能更深刻、更牢固地掌握理论,培养正确分析问题和解决问题的能力。初学理论力学时,常会感到“理论易懂做题难”。究其原因,无非是“理论没有吃透,方法没有掌握”。为了解决这个问题,除了扎扎实实地搞清楚每一个概念、定理和公式外,还应该注意以下几点:

2.4.1 练好基本功。受力分析(画受力图)、运动分析(画速度图和加速度图)以及各种基本量(矢量的投影、力矩、重心的位置、速度、加速度、角速度、角加速度、动量、动量矩、动能、冲量、功、势能、转动惯量、惯性力等)的计算是解题的基础,必须经常练习,正确、熟练地掌握。

2.4.2 重视解题步骤。解题步骤反映了分析问题的思路 and 逐步求解问题的方法。尤其在刚开始学习理论力学时,有些习题比较简单,可能用已有的物理知识也能求解。这时,我们决不应轻视理论力学的解题步骤,而应该按照本课程的要求去逐步求解。

2.4.3 消化例题中的解题思路和方法。例题具有典型性。在动手做习题之前,必须先消化好每一个例题,搞清楚其求解的思路和每一个步骤,以及为什么要这样求解。题目是千变万化的,不能

指望通过几个例题就能照猫画虎地解出所有的习题。我们学习例题的目的,主要是学会分析问题的方法,以便做题时灵活运用。

2.4.4 认真做好每一个习题。一般地说,题目做得越多,对内容的掌握就越熟、越好。但是,由于教学时数有限,我们所能做的习题数量也是有限的,所以必须认真做好每一个习题。每解出一道题,不以得到正确的答案就算完结,而应回头看看这道题是怎样作出的?每一步的依据是否清楚?有没有更简捷的方法?争取每作一道习题,总结出一点体会,前进一步。

3. 力学发展简史

马克思主义认为,“科学的发生和发展一开始就是由生产决定的。”^①“社会一旦有技术上的需要,则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。”^②同时,科学也是一种生产力。科学的发展和运用,能大大地促进生产力的发展。整个力学发展史,令人信服地证明了这一点。人类最初的力学知识就直接来源于生产实践活动。力学的每一重大发展都是生产实践推动的结果。力学只有应用于生产实践,才能成为一门富有生气的科学。当然,力学的发展也不是孤立的,它与数学、天文学、物理学以及工程技术的发展有着密切的联系。

力学是人类最古老的科学之一。在古代埃及、中国、希腊,由于农业、建筑业、运输业发展的需要,人们已经积累了不少关于天文学、数学和力学的知识。例如在6千年前的西安半坡遗址中,发现一种尖底提水壶,空壶在水面上会倾倒,壶装满了水就自动恢复直立状态。这说明我们的祖先在实践中很早就知道利用重心和定倾中心的相对位置与浮体平衡稳定性的关系。春秋战国时期,出了一位伟大的科学家墨翟(公元前468~376)。在他所著的《墨经》中,表现出他对力的概念已经有了初步的认识。他定义力是“刑之所以

① 恩格斯·自然辩证法·北京:人民出版社,1971,162

② 恩格斯·致瓦·博尔吉乌斯·见:马克思恩格斯选集(第4卷),北京:人民出版社,1970,505

奋也”。这就是说，力是人使运动发生转移和变化的原因。他还明确地表述了杠杆原理，说明他已具有关于力臂和力矩的初步概念。比墨翟稍晚的古希腊科学家亚里士多德(Aristotle, 公元前 384~322)，在其著作中记述了很多关于力学的见解。他是第一个采用“力学”这个名词的人。但是，他的论断往往是不正确的。例如他认为：“体积相等的两个物体，较重的下落得较快”。他甚至说，物体下落的快慢精确地与它们的重量成正比。他还认为：“凡运动着的事物必然都有推动者在推着它运动”，为了保持直线匀速运动，就必须有经常作用于其上的力。杰出的古希腊学者阿基米德(Archimedes, 公元前 287~212)被推崇为使静力学成为一门真正科学的奠基者。他给出了许多求几何图形重心的方法。他根据几条显而易见的假设，导出了杠杆平衡条件：若杠杆两臂与其上的物体的重量成反比，则此二物体必处于平衡状态。他还证明了物体在液体中所受的浮力等于它所排开的液体的重量。

在漫长的中世纪，由于封建制度和哲学、科学中神权统治的结果，与其他自然科学一样，力学的发展也停止了。这个时期的大多数学者都盲目地遵循亚里士多德得到的一切结果，即使不正确也认为是绝对正确的。一切反对亚里士多德的言论，都被认为是对神圣著作的基础的破坏。直到 15 世纪后半叶，欧洲进入了文艺复兴时期，这时封建制度开始解体，资本主义兴起，随着商业、手工业、航海和军事的发展，力学也开始迅速发展起来。著名的意大利艺术家、物理学家和工程师里奥纳多·达·芬奇(Leonardo da Vinci, 1452~1519)是首先跳出中世纪烦琐哲学的人们中的一个。他认为实验和运用数学对解决力学问题有巨大意义。他应用虚位移原理的概念分析起重机构中的滑轮和杠杆系统。根据实验首先得出结论：滑动摩擦力和物体互相摩擦时的接触面大小无关。他也是最先用实验来决定结构材料强度的人。荷兰科学家斯蒂文(Simon Stevinus, 1548~1620)通过斜面力学性质的研究，论证了力的平行四边形法则。他还第一次用实验否定了亚里士多德关于轻重物

体下落不一样快的错误观点。伟大的意大利学者伽利略(Galileo, 1564~1642)的工作,开拓了力学发展史上的新时代。他经过长久的实验观察和数学推算,得到了单摆微幅摆动的等时性定律。他在比萨斜塔上作了有名的自由落体实验,否定了统治千余年的亚里士多德的“落体运动法则”,确立了正确的“自由落体定律”。他第一次明确地提出了加速度的概念,从而使动力学得以建立在科学基础之上。伽利略还非正式地提出过惯性定律和外力作用下物体的运动规律。这为牛顿正式提出运动第一、第二定律奠定了基础。注意,惯性定律是对亚里士多德的“保持运动必须有力”的论断的否定。伽利略在力学研究中系统地应用了实验的方法,后人尊称他为实验科学之祖。和伽利略同时代的德国天文学家开普勒(Kepler, J. 1571~1630)在他的丹麦老师第谷(Tycho, B. 1546~1601)多年观察行星运动所得到的大量数据的基础上,总结出了行星绕日运动的三大定律。这三个定律成为后来牛顿发现万有引力定律的基础。

从伽利略开始的建立动力学基本定律的工作,最后是由伟大的英国科学加牛顿(Newton, I. 1642~1727)完成的。他在力学方面的研究成果都包含在1687年出版的《自然哲学的数学原理》一书中。他建立了动力学三大定律,其中第三定律(作用与反作用定律)是牛顿发现的。他还在开普勒三大定律的基础上证明了著名的万有引力定律。由于牛顿建立了这些基本定律,使力学从此有了完整的理论,成为一门系统严密的自然科学,我们称之为牛顿力学或古典力学。牛顿还与德国的莱布尼兹(Leibniz, G. W. 1646~1716)同时创建了微积分,并运用这一强有力的数学工具,根据力学基本定律,解决了许多实际问题。

从牛顿发表他的《原理》直到十九世纪末,这二百余年是古典力学蓬勃发展的时期。古典力学发展的一个突出特点是与数学发展的密切结合。这一时期的许多力学家同时也是数学家,许多数学家同时也是力学家。例如瑞士的雅·伯努利(Bernoulli Jacob—

1654~1705)、约·伯努利(Bernoulli John, 1667~1748)、丹·伯努利(Bernoulli Daniel, 1700~1782)、欧拉(Euler, L. 1707~1783)、法国的达朗伯(D'Alembert Jean Le Rond, 1717~1783)、拉格朗日(Lagrange, J. L. 1736~1813)、柯西(Cauchy, A. L. 1789~1857)、英国的哈密顿(Hamilton, W. R. 1805~1865)等。许多数学分支都是随着相应的力学分支的发展而产生和发展的。例如,质点动力学和刚体动力学的发展导致了常微分方程理论的诞生和发展;弹性力学和水动力学的发展导致了偏微分方程理论的诞生和发展;分析力学的发展导致了变分法的诞生和发展等。正是由于这个特点,使古典力学逐步走上了数学化、精确化的道路,并且取得了光辉的成就。能用来说明其成就的一个典型例子,就是海王星的发现。19世纪40年代,人们只知道离太阳最远的行星是天王星。但是,天文学家们发现,天王星的运动与摄动理论计算的结果之间存在着明显分歧。以英国的亚当斯(Adams, J. C. 1819~1892)和法国的勒威耶(Le Verrier, U. J. J. 1811~1877)为代表的一些天文学家认为,必定还有一个尚未发现的大行星影响着天王星的运动。1845年,亚当斯和勒威耶分庖根据天王星运动的差异计算出了那颗未知行星的质量和运动规律。1846年9月18日,勒威耶给柏林天文台的伽勒(Galle, J. G. 1812~1910)写信说:“请您将你们的望远镜指向黄道上黄经326度宝瓶座内的一点上,您将在此点约1度左右的区域内发现一颗亮度相当于9等的新行星。”伽勒于9月23日在距勒威耶所指定点的52分处,果然发现了一个新天体。第二天这个天体移动了,证明它是一颗行星。它就是太阳系的第八颗大行星——海王星。这说明古典力学在天体力学方面已经发展到了何等精确的程度!现在我们在工科院校里学习的理论力学和材料力学课程,其大部分内容都是古典力学在18、19世纪所取得的研究成果。这些内容至今在工程技术中仍有着重要应用。

古典力学虽然取得了巨大的发展,但是到了19世纪后期,由于它过分地强调数学的严密、逻辑的完美,而逐渐出现了忽略应用