

高等学校试用教材

理论力学

上册

南京工学院 西安交通大学 主编

南京工学院 西安交通大学 浙江大学
华中工学院 西北工业大学 陕西机械学院 合编
上海机械学院 镇江农业机械学院 华东工程学院

80

人民教育出版社

175
高等学校试用教材

理 论 力 学

上 册

南京工学院 西安交通大学 主编

南京工学院 西安交通大学 浙江大学
华中工学院 西北工业大学 陕西机械学院 合编
上海机械学院 镇江农业机械学院 华东工程学院

人民教育出版社

本书系根据一九七七年十一月教育部委托召开的高等学校工科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类各专业 120~180 学时理论力学课种的教学用书,也可供有关工程技术人员参考。

全书分上、下两册出版,上册为静力学与运动学,下册为动力学及专题。本书采用国际单位制(SI)每章附有习题,书末并附有习题答案。

理 论 力 学

上 册

南京工学院 西安交通大学 主编

南京工学院 西安交通大学 浙江大学
华中工学院 西北工业大学 陕西机械学院 合编
上海机械学院 镇江农业机械学院 华东工程学院

*

人民教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海新华印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 10 14/16 字数 262,000

1978年10月第1版 1983年2月第7次印刷

印数 640,001—790,000

书号 15012·080 定价 0.90 元

编 者 的 话

本书系根据一九七七年十一月在江苏镇江由教育部委托召开的“高等学校工科力学教材会议”上拟定的编写大纲编写的。在编写过程中,我们努力运用辩证唯物主义观点来阐述教材内容,注意加强基础理论,坚持理论联系实际的原则,同时,也注意到便于学生自学和培养学生将工程实际问题抽象简化为力学模型和进行力学计算的能力,以适应社会主义现代化建设的需要。

在编写中我们参考了许多兄弟院校的教材,同时也参考了一些国外的新教材。

本书由南京工学院、西安交通大学主编,主编负责人胡乾善。参加本书编写的主要有:南京工学院诸关炯、陈笃炎、庄铭毛,西安交通大学王充德、刘力行,浙江大学费学博,华中工学院尹肃秋,西北工业大学赵俊三,陕西机械学院陈虎,上海机械学院刘培俊,镇江农业机械学院滕子明,华东工程学院伍均科等;并由胡乾善、王充德、陈笃炎、刘力行、庄铭毛负责定稿。

本书承北京航空学院理论力学教研室马宗祥、程勉和重庆大学力学教研室朱庆祥、郭子仁进行了认真的审阅,提出了不少宝贵的意见。在编写过程中还得到了各兄弟院校的大力支持和帮助,对此我们表示衷心的感谢!

本书中凡标有*号的部分系非基本内容,可根据教学的实际需要确定取舍。

由于时间仓促和我们的水平有限,书中定有不少缺点和错误,诚恳希望使用本书的同志批评指正。

编 者

一九七八·八

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基础	8
§ 1-1 静力学基本概念	8
§ 1-2 力的基本性质	11
§ 1-3 约束与约束反力	17
§ 1-4 研究对象与受力图	24
习题	28
第二章 平面汇交力系	32
§ 2-1 平面汇交力系的合成与平衡——几何法	32
§ 2-2 平面汇交力系的合成与平衡——解析法	38
习题	45
第三章 力矩和平面力偶理论	52
§ 3-1 力矩的概念和计算	52
§ 3-2 两个平行力的合成	56
§ 3-3 平面力偶理论	59
§ 3-4 力的平移定理	66
习题	69
第四章 平面一般力系	75
§ 4-1 平面一般力系向一点简化 力系的主矢和主矩	76
§ 4-2 平面一般力系简化结果的讨论 合力矩定理	80
§ 4-3 平面一般力系的平衡方程	82
§ 4-4 平面平行力系的平衡方程	87
§ 4-5 静定与静不定问题的概念	89
§ 4-6 物体系统的平衡问题	90

§ 4-7 简单静定桁架的内力分析	96
习题	102
第五章 摩擦	111
§ 5-1 滑动摩擦	112
§ 5-2 摩擦角和自锁现象	116
§ 5-3 考虑摩擦时物体的平衡问题	119
§ 5-4 滚动摩擦	125
习题	128
第六章 空间力系	135
§ 6-1 空间汇交力系的合成	135
§ 6-2 空间力偶理论	140
§ 6-3 力对轴的矩	143
§ 6-4 力对点的矩用矢量表示	147
§ 6-5 力对点的矩与力对通过该点的轴的矩之间的关系	149
§ 6-6 空间一般力系的简化 合力矩定理	151
§ 6-7 空间力系的平衡方程及其应用	155
习题	164
第七章 平行力系中心和重心	174
§ 7-1 平行力系中心	174
§ 7-2 重心	176
§ 7-3 确定重心的实验方法	181
习题	185

第二篇 运 动 学

第八章 点的运动	192
§ 8-1 点的运动方程	192
§ 8-2 点的速度和加速度	199
§ 8-3 点的速度和加速度在直角坐标轴上的投影	202
§ 8-4 点的速度和加速度在自然轴上的投影	213
习题	223

第九章 刚体的基本运动	229
§ 9-1 刚体的平行移动	229
§ 9-2 刚体绕固定轴的转动 转动方程	232
§ 9-3 定轴转动的角速度和角加速度	234
§ 9-4 转动刚体上各点的速度和加速度	240
§ 9-5 定轴轮系的传动比计算	244
§ 9-6 角速度和角加速度矢量 用矢积表示点的速度和加速度	248
习题	252
第十章 点的合成运动	258
§ 10-1 相对运动、绝对运动和牵连运动	259
§ 10-2 速度合成定理	261
§ 10-3 牵连运动为平动时的加速度合成定理	270
§ 10-4 牵连运动为转动时的加速度合成定理	275
*§ 10-5 速度和加速度合成定理的矢量证明	285
习题	289
第十一章 刚体的平面运动	296
§ 11-1 平面运动的概念	296
§ 11-2 刚体平面运动方程 平面运动分解为平动和转动	298
§ 11-3 平面图形上各点的速度分析——合成法	301
§ 11-4 平面图形上各点的速度分析——速度瞬心法	307
§ 11-5 平面图形上各点的加速度分析	312
§ 11-6 刚体绕平行轴转动的合成	316
习题	319
附录一 矢量的乘法 变矢量及矢量导数	328
附录二 习题答案	332

绪 论

一、理论力学的研究对象和任务

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，就是物体之间在空间的相对位置随时间而变化(包括物体相对于其他物体的相对静止)。它是宇宙间一切物质运动的最简单的形式。

按照辩证唯物主义的观点，自然界一切的物质都是相互联系的、相互作用的。正是这种不同的相互作用，构成了物质世界的各种不同的运动形式，例如热、声、光、电磁、化学、力学等现象，也包括社会现象。因此恩格斯在《自然辩证法》中说：“运动，就最一般意义来说，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，从单纯的位置起直到思维。研究运动的性质，当然应当从这种运动的最低级、最简单的形式开始，先理解了这些最低级的最简单的形式，然后才能对更高级的更复杂的形式有所阐明。”由此可见，运动与物质是不可分割的，是物质的存在方式和固有属性。本课程所研究的机械运动是上述广泛意义下的物质运动形式之一，它与其他运动形式相比较，是人们更常见的，也是最简单的一种运动形式。物体的平衡(例如相对于地球静止、匀速直线运动)是机械运动的特殊情况，所以理论力学也研究物体的平衡规律。但应该指出：在宇宙中没有绝对的平衡，一切平衡都只是相对的和暂时的。

由于物体之间相互的机械作用，即力的作用，使物体的运动状态发生改变。理论力学研究物体机械运动的一般规律，具体地说就是研究力与机械运动改变之间的关系。

本课程所研究的内容是以伽俐略、牛顿所总结的基本定律为基础的,采用了与物质运动无关的所谓“绝对”空间、时间和质量的概念,因此属于古典力学的范畴。在本世纪初,由于近代物理学的重大发现和进展,产生了相对论力学和量子力学。相对论力学揭示了物质与时间、空间的联系以及质量与能量的联系。量子力学揭示了微观粒子的运动规律。这就说明了古典力学的应用范围是有局限性的。它不适用于速度接近光速的物体的运动,也不适用于微观粒子的运动。但是在广泛的工程问题中,由于物体是宏观的,而且其运动速度远远小于光速,因之古典力学不失其实用价值。对于速度远远小于光速的宏观物体的运动,应用古典力学其结果是足够精确的,而且它在日常生活和生产实际中具有非常广泛和重要的实际意义。

现代生产的日益发展和科学技术的日益进步对力学提出了更多更高的要求。例如人造卫星和人造天体的发射,就要考虑火箭的控制、结构、制导等问题。又如工业生产过程自动化的发展,要求在自动控制理论和调节理论方面有相应的发展。以上问题的研究都涉及理论力学的基本概念。因此理论力学是现代工程技术的重要理论基础之一。它与其他有关专业知识结合在一起,可以帮助我们解决实际的工程技术问题,探索技术革命的途径,促进科学技术的发展。我们必须牢固地掌握这些理论基础,才有可能去掌握不断出现的新理论、新技术,以适应现代化的要求。

正是由于理论力学是现代工程技术的基础,所以它是工科院校各类专业教学计划中一门重要的技术基础课程。它为学习一系列后继课程(包括技术基础课和专业课)提供基础,如材料力学、机械原理、机械零件、流体力学、弹塑性力学和振动学等课程中的理论推导和计算,都常常用到本课程中所阐述的原理和方法。因此对于培养一个工程技术人员来说,理论力学的知识是不可缺少的。

此外，理论力学的分析和研究方法在科学研究中有一定的典型性，有助于培养学生的辩证唯物主义世界观以及分析问题和解决问题的能力，使学生在整个学习过程中，逐步形成正确的逻辑思维，和对待实际问题具有抽象、简化和正确地进行理论分析的能力。

为了便于研究，理论力学通常分为三部分，即静力学、运动学和动力学。

静力学研究物体平衡时作用力之间的关系。

运动学是从几何观点研究点和刚体的运动，而不考虑作用于点和刚体上的力。

动力学研究作用于物体上的力与运动变化之间的关系。

二、理论力学的研究方法

力学是最古老的科学之一，它的产生和发展的过程就是人类对于物体机械运动认识的深化过程，而这种认识是通过长期的生产实践和无数次的科学实验而形成的。经过无数次的“实践——理论——实践”的循环反复过程，使认识不断提高和深化，逐步地总结和归纳出物体机械运动的一般规律。

为了系统地、全面地阐述理论力学的基本理论，我们以公理或定律为依据，应用数学推演的方法导出其他定理和结论。这是我们接受前人实践经验成果的有效途径之一，因为这一方法以统一的观点深刻地揭示了力学诸定理之间的内在联系，形成了一定的逻辑系统，便于学习、掌握和运用。本书就是按这样的系统编写的。对于读者来说，我们接受这种书本知识是完全必要的；同时在接受这种书本知识以后，还必须在生产实践中去应用它、验证它、发展它。通过实践而发现真理，又通过实践而证实真理和发展真理，这是科学技术发展的正确途径。我们必须重视实践，因为实

实践是真理的源泉,实践是检验真理的唯一标准,因而轻视实践是完全错误的。反之,以为理论不重要,只满足于局部的经验,显然也是错误的。我们既要重视学习理论,同时也要重视运用理论指导去解决实际问题。要正确处理好理论和实践的辩证关系。

在日常生活和工程实际中,作机械运动的物体是多种多样的,我们不可能一个一个地分别给以研究;这就要求我们从具体事物的复杂现象中抓住共性,找出主要矛盾,略去次要因素,从而把作机械运动的物体抽象为所谓力学模型。本课程中提到的质点、刚体等都是把真实物体加以抽象化的结果。例如在研究弹道曲线和卫星轨道等问题时,考虑到炮弹和卫星本身的大小与它们运动范围比较起来是相对地很小,而且也不必考虑炮弹和卫星本身各点间运动的差别,因而把它们看作一个点,这样就可使所研究的问题大为简化。如果要考虑炮弹和卫星本身的旋转运动,那就必须以别的力学模型——刚体来代替质点。因此,正确的抽象不是离开客观实际,而是更深刻地反映了实际。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。”

数学与力学有着极其密切的关系。解决一般力学问题通常是先把研究的问题抽象为力学模型,再根据力学量的数量关系建立方程,然后进行求解。因此数学是研究力学不可缺少的工具。现代高速电子计算机的发展大大促进了数学在力学研究中的应用。另外,在本课程中广泛地应用数学理论进行演绎和推理,得出定理和结论,以揭示各个物理量间的联系和变化规律。当然这些定理和结论,不能看作是单纯地从数学推导出来的。例如动力学中的动量守恒、动量矩守恒和机械能守恒定律都是各自单独地被人们在实践中所发现的。在本课程的学习中我们不能仅仅满足于对数

学推导的一般了解，只有深入地理解其全过程及其所得出的这些定理的物理意义，才能正确地运用理论去分析和解决各种生产和科学研究中提出的实际问题。

三、四个现代化对力学的要求

随着我国社会主义革命和社会主义建设的发展，科学技术也正在一日千里地飞速前进，党的十一大、五届人大和全国科学大会号召全党全军全国各族人民和全体科技工作者向科学技术现代化进军，为实现遵照毛主席的指示，周总理在第三届和第四届全国人民代表大会上提出的在本世纪内把我国建设成为具有现代农业、现代工业、现代国防和现代科学技术的伟大的社会主义强国的宏伟目标而奋斗。

我国是世界文明发达最早的国家之一。我国古代的劳动人民曾经创造过光辉灿烂的科学文化，为人类社会的进步作出过杰出的贡献。指南针、造纸、火药、印刷术等四大发明以及力学上作为宇宙航行的基本技术——火箭原理都是我国劳动人民的伟大贡献，它对于人类科学技术的发展占有极重要的地位。解放以来，在毛主席、党中央的英明领导和亲切关怀下，全国各族人民和广大科技工作者艰苦奋斗、辛勤劳动，打破了帝国主义和社会帝国主义的封锁垄断，建立和发展了一系列新兴科学技术。原子弹、氢弹、导弹的多次试验成功，人造地球卫星的发射和准确回收，集中标志着我国科学技术的发展达到了新的水平。

实现四个现代化为力学的研究和发展开辟了更加广阔的前景。现代机械向着高速、高效、精密的方向发展，要求在运动稳定性、结构振动方面的研究相应地发展，如转子的均衡问题，临界转速问题，压缩机管道中的气流脉动和管道振动问题，机床的动、静刚度问题。又如我国火力发电设备向大型化、自动化方向发展，对

动态性能要求越来越高,影响因素也更为复杂,如轴承的油膜振荡问题严重地影响着机组的正常运行,涡轮机的叶片振动也是关系到机组能否正常运行的重要问题.其他如汽车、拖拉机等交通运输工具的振动问题,特别是高速汽车的随机振动,严重地影响着行驶的安全和机件的寿命.此外在矿山设备、冶金锻压设备和风动工具等方面,对力学也提出了许多迫切要求解决的课题.

第一篇 静 力 学

平衡是物体机械运动的一种特殊形式。在工程上，物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动的状态称为平衡。静力学研究物体在力的作用下处于平衡的规律，建立各种力系的平衡条件。静力学还研究力系的简化和物体受力分析的基本方法。这些知识对于研究物体运动状态的变化也是有用的。

工程上有许多机器的零件和结构构件，如机床的主轴、丝杠、起重机的起重臂等，它们在工作时处于平衡状态或可近似地看作处于平衡状态。为了合理地设计这些零件和构件的形状、尺寸，选用恰当的材料，往往需要对它们进行强度、刚度或稳定性的分析计算。为此，必须首先运用静力学知识，对零件和构件进行受力分析，并根据平衡条件求出这些力。学习静力学还为学习许多后继课程准备基础。此外，静力学知识在工程技术中还有直接的应用。例如，通过对轴上零件的受力分析来合理地布置轴承；应用平衡条件求出轴承反力，作为选用轴承的一个依据；对考虑摩擦力的平衡问题进行分析，得出某些零件的自锁条件，以便正确地设计这些零件，等等。

第一章 静力学基础

§ 1-1 静力学基本概念

(一) 力的概念

自古以来,人们从生产劳动和日常生活中,通过推、拉、提、掷等活动,由于肌肉的紧张收缩,感到人对物体加了力,因而使物体的运动状态发生变化。后来人们进一步观察到物体与物体之间也有这样的相互作用。通过长期的生产实践和科学实验,人们建立了力的概念: 力是物体间的相互机械作用,这种作用使物体的运动状态发生改变(包括变形)。例如人推车的力使车子改变它的运动状态(如由静到动、由慢到快等);地球对月球的引力使月球不断改变运动方向而绕着地球运转;锻锤对锻件的冲击力使锻件改变形状等。

力使物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应,而力使物体产生变形的效应称为力的内效应。理论力学主要研究力的外效应。

实践表明,力对物体的效应决定于三个要素: (1)力的大小, (2)力的方向, (3)力的作用点。

力的作用点就是力对物体作用的位置。力的作用位置,一般说并不是一个点,而往往是物体的某一部分面积或体积。例如两物体接触时,它们之间的相互压力分布在接触表面上,重力分布在物体的整个体积上。但在很多情况下,我们可以把分布力简化为作用于一个点上的集中力。例如当分布力作用的面积不大时,可以把该面积抽象为一个点,而认为力作用在这一点上。又如在研

究力对物体的外效应时，可把重力简化为集中作用于物体的重心。

为了度量力的大小必须先确定力的单位。在国际单位制中力的单位是牛顿(N)。目前工程上还采用公制，力的单位则是公斤力和吨力(=1000 公斤力)，习惯上简写为公斤(kg)和吨(t)。牛顿和公斤力的换算关系是

$$1(\text{kg})=9.807(\text{N})$$

在力学中要区别两类量：标量和矢量。如果在确定某种量时，只要考虑它的大小，这类量称为**标量**。例如长度、时间、质量都是标量。如果在确定某种量时，不但要考虑它的大小，而且要考虑它的方向，这类量称为**矢量**(或**向量**)。力对物体的效应不仅决定于它的大小，而且还决定于它的方向，所以力是矢量。

力是矢量，可用有向线段(矢线)把力的三要素表示出来。矢线的始端(或末端)表示力的作用点，沿着力矢顺着箭头的指向表示力的方向，力矢的长度按比例尺代表力的大小。通过力的作用点沿力的方向的直线，称为**力的作用线**。图 1-1 中表示工人(未画出)推小车的力。这个力作用在 B 点，它的方向由线段

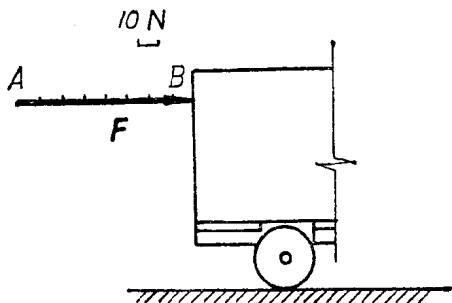


图 1-1

和箭头表示，是水平向右，大小为 80(N)。通过 AB 的直线为力的作用线。本书中用黑体字母表示矢量，而以普通字母表示这矢量的模(即大小)。例如用 **F** 表示力的矢量(图 1-1)，*F* 表示这个力的大小，在图 1-1 中 $F=80(\text{N})$ 。始端为 A，末端为 B 的矢量也可记为 $\overrightarrow{AB}$ 。

一个物体所受的力往往有好几个。同时作用在同一物体上的许多力称为力系。作用于物体上的力系如果可以用另一个适当的力系来代替而效应相同，那么这两个力系互称**等效力系**。

(二)刚体的概念

力对物体的效应，除了使物体的运动状态发生变化外，还使物体发生变形。在正常情况下，工程上的机械零件和结构构件在力的作用下发生的变形是很微小的，甚至只有用专门的仪器才能测量出来。例如一般机械中的轴，其最大挠度都在轴承间距的万分之五以下，最大扭转角为每米轴长不超过 $0.5 \sim 1^\circ$ 。这种微小的变形对于力对物体外效应的研究影响极小，因此可以略去不计。这样就可把物体看作是不变形的。在受力情况下保持形状和大小不变的物体称为刚体。刚体是理论力学中对物体进行抽象简化后得到的一种理想模型。这种简化是必要的，也是实际所许可的。

然而当变形这一因素在所研究的问题中跃居主要地位时（例如在材料力学中），一般就不再把物体看作是刚体了。

(三)平衡的概念

前面已经提到，在工程上物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动的状态称为平衡。平衡只是物体机械运动的特殊形式。必须注意，运动是绝对的，而平衡、静止则是相对的。所谓相对，就是暂时的，有条件的。例如固定于基础上的机床床身，只是相对于地球处于静止状态，实际上床身随着地球在宇宙空间以极高的速度运行着。如果作用于物体上的力系满足一定条件，物体可以处于平衡状态，但一旦物体所受的力发生变化，平衡的条件被破坏，物体就由平衡状态转化为不平衡状态。

如果物体在力系作用下处于平衡状态，这种力系称为**平衡力系**。力系平衡所满足的条件称为**平衡条件**。

作用于刚体上的平衡力系中各力的外效应彼此抵消，所以对