

高等学校试用教材

工 程 力 学

上 册

上海化工学院
无锡轻工业学院

人 民 教 育 出 版 社

高等学校试用教材
工 程 力 学
上 册

上海化工学院 编
无锡轻工业学院

人民教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
湖北省新华印刷厂印装

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张 12 字数 290,000

1979年2月第1版 1979年7月湖北第1次印刷

印数 00,001—22,000

书号 15012·0114 定价 1.00 元

前 言

本教材是为化工、轻工类专业编写的。

全书共四篇，分上、下两册。第一、二、三篇是基本内容(对某些专业，第三篇较多的内容可不讲授)，第四篇及前三篇注*号的内容，供不同专业根据需要选学。

本书将断裂韧性一章作为必读内容，但考虑到介绍断裂韧性的概念要涉及应力状态理论，故放在第四篇里介绍。

书中例题数量较多，不一定全讲。教师授课时可进行选择，有的亦可供读者自学之用。

本书由上海化工学院和无锡轻工业学院编写。

编写分工如下：

上海化工学院：陈维新——前言、第三和第二十四章；贾宝范——第十、十一、十二章；于天祺——绪论、第一、二、四、五章；陆金柱——第十三、十四、二十二、二十三章。

无锡轻工业学院：吴家骥——第六、七、二十章；方汉英——第十五、十六、十九、二十一章；陆亚声——第十七、十八章；沈天娟——第八、九章。

陈维新负责主编。

本书由南京化工学院丘侃、孙谷宜、王牧和西北轻工业学院沈义明、张梦飞等同志主审；华南工学院和天津轻工业学院的教师参加了审稿会，他们提供了许多宝贵的意见，在此表示感谢。

限于我们的水平，而且时间仓促，书中缺点和错误在所难免，希望读者提出意见。

编 者

1978年12月

目 录

主要字符表	1
绪论	1

第一篇 静 力 学

第一章 静力学的基本概念	4
§ 1-1 力的概念	4
§ 1-2 刚体的概念	6
§ 1-3 平衡的概念	7
§ 1-4 力的可传性	8
§ 1-5 作用与反作用定律	9
§ 1-6 约束与约束反力	10
§ 1-7 分离体和受力图	15
习题	17
第二章 平面汇交力系	21
§ 2-1 平面汇交力系合成的几何法	21
§ 2-2 平面汇交力系平衡的几何条件	24
§ 2-3 三力平衡定理	24
§ 2-4 力的分解	26
§ 2-5 力在直角坐标轴上的投影 合力投影定理	27
§ 2-6 平面汇交力系合成的解析法	28
§ 2-7 平面汇交力系平衡的解析条件 平衡方程	29
习题	34
第三章 力矩和力偶	38
§ 3-1 力对点的矩	38
§ 3-2 力偶和力偶矩	41
§ 3-3 平面力偶系的合成和平衡条件	44
§ 3-4 力的平移	49
习题	51
第四章 平面一般力系	53
§ 4-1 平面一般力系实例	53

§ 4-2	平面一般力系向作用面内任一点简化	55
§ 4-3	平面力系简化结果分析 合力矩定理	56
§ 4-4	平面一般力系的平衡条件和平衡方程	60
§ 4-5	静定与静不定问题的概念	66
§ 4-6	物系的平衡	67
§ 4-7	滑动摩擦	70
§ 4-8	有摩擦时的平衡问题	74
§ 4-9	滚动摩擦的概念	77
	习题	80
第五章 空间力系		85
§ 5-1	力沿直角坐标轴的分解及其投影	85
§ 5-2	力对轴的矩	87
§ 5-3	空间一般力系的平衡条件	89
§ 5-4	平行力系中心和重心	93
	习题	103

第二篇 材料力学

第六章 材料力学的基本概念		108
§ 6-1	材料力学的任务	108
§ 6-2	变形体的性质及其基本假设	109
§ 6-3	构件及杆件变形的基本形式	111
第七章 拉伸与压缩		114
§ 7-1	轴向拉伸与压缩的概念和实例	114
§ 7-2	轴向拉伸与压缩时直杆横截面上的内力和应力	115
§ 7-3	许用应力 拉伸与压缩时的强度条件	121
§ 7-4	轴向拉伸与压缩时的变形	124
§ 7-5	拉伸时材料的机械性质	128
§ 7-6	压缩时材料的机械性质	135
§ 7-7	变形能的概念	137
*§ 7-8	温度对材料机械性质的影响	140
*§ 7-9	材料的蠕变	141
§ 7-10	应力集中现象的概念	141

§ 7-11 安全系数的选择 许用应力的确定	143
§ 7-12 拉压超静定问题的简介	145
习题	148
第八章 剪切	152
§ 8-1 剪切的概念和实例	152
§ 8-2 剪切和挤压的假定计算及强度条件	153
习题	160
第九章 扭转	163
§ 9-1 扭转的概念和实例	163
§ 9-2 外力偶矩和扭矩的计算	165
§ 9-3 纯剪切 剪切虎克定律	170
§ 9-4 圆轴扭转时的应力和变形	173
§ 9-5 圆轴扭转时的强度和刚度条件	178
习题	182
第十章 平面弯曲	186
§ 10-1 弯曲的概念和实例	186
§ 10-2 梁的支座及其反力	188
§ 10-3 剪力和弯矩	191
§ 10-4 剪力图和弯矩图	195
*§ 10-5 弯矩、剪力和分布载荷集度之间的关系	200
§ 10-6 纯弯曲时梁的正应力	202
§ 10-7 常用截面的惯矩 平行移轴公式	208
§ 10-8 弯曲正应力的强度条件	215
*§ 10-9 直梁弯曲时的剪应力	221
§ 10-10 梁的合理截面	225
§ 10-11 梁的挠度和转角	227
§ 10-12 弹性曲线的近似微分方程	229
§ 10-13 用叠加法求梁的变形	233
§ 10-14 梁的刚度校核	238
*§ 10-15 用变形比较法解超静定梁	239
习题	243

第十一章	复杂应力状态及强度理论	251
§ 11-1	直杆受轴向拉伸或压缩时斜截面上的应力	251
§ 11-2	一点应力状态的概念	254
§ 11-3	复杂应力状态实例——圆筒形薄壁容器的计算	257
§ 11-4	平面应力状态的分析	258
§ 11-5	三向应力状态下一点的最大剪应力	267
§ 11-6	广义虎克定律	268
*§ 11-7	复杂应力状态下的能密度	271
§ 11-8	强度理论简介	272
	习题	280
第十二章	组合变形时杆件的强度计算	282
§ 12-1	概述	282
§ 12-2	弯曲与拉伸(或压缩)的组合	283
§ 12-3	扭转与弯曲的组合	294
	习题	300
第十三章	压杆稳定	306
§ 13-1	压杆稳定的概念和实例	306
§ 13-2	细长压杆临界压力的确定 欧拉公式	309
§ 13-3	临界应力 欧拉公式的适用范围	313
§ 13-4	压杆稳定的实用计算	319
§ 13-5	压杆截面形状的选择	325
	习题	328
第十四章	交变应力	331
§ 14-1	交变应力的概念和实例	331
§ 14-2	对称循环下构件的持久极限 提高构件 持久极限的方法	337
	习题	346
	习题答案	348
附录 I	型钢规格表	354
附录 II	主要材料的机械性质表	372

绪 论

一、工程力学的研究对象

工程力学是一门研究物体的机械运动以及构件的强度、刚度和稳定性的科学。它包括理论力学和材料力学两门课程中的有关内容。

理论力学是研究物体机械运动的一般规律的科学。

所谓机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。机械运动是物质运动最简单、最低级的形式。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，从简单的位置移动起直到思维。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和更复杂的形式有所阐明。”^① 恩格斯所说的“位置移动”就是机械运动。

在化工、轻工等工业生产中，有大量的结构物、设备和机器。它们有的作机械运动，如高速离心机转鼓的回转运动，往复式压缩机活塞及十字头的直线运动，包装机械的各种复杂运动等；有的是静止的。静止是机械运动的特例。研究机械运动的规律以及静止物体的受力分析和平衡问题，都要用到理论力学的知识。

结构物、设备和机器都是由构件组成的。构件在工作时，总要受到载荷的作用。为了使构件在载荷的作用下能正常工作而不损坏，也不发生过度的变形和不丧失稳定，就要求构件具有一定的

^① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971年版，第53页。

强度(构件抵抗载荷而不损坏的能力)、刚度(构件抵抗变形的能力)和稳定性(构件抵抗丧失稳定的能力)。

材料力学就是研究构件强度、刚度和稳定性等计算原理的科学。

本书的内容包括以下四篇:

第一篇:静力学——主要研究力系的简化和物体的平衡条件。它是研究物体机械运动和构件强度、刚度和稳定性计算的基础。

第二篇:材料力学——主要研究构件的强度、刚度和稳定性,为构件选取适当的材料和合理的截面形状及尺寸提供理论基础。

第三篇:运动学和动力学——运动学是从几何的观点研究物体的运动。动力学则研究物体的运动与所受的力之间的关系。

第四篇:专题——有单自由度系统的振动、动应力的计算、薄壁容器的力学基础、厚壁圆筒的力学基础、断裂韧性等五章。

二、工程力学在化工、轻工类专业中的地位 and 作用

工程力学是化工、轻工类专业的技术基础课,讲述力学的基础理论和基本知识,在基础课和专业课之间起桥梁作用。它为专业设备及机器的机械运动分析和强度计算提供必要的理论基础。

三、工程力学的研究方法

毛主席在《实践论》中指出“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这是认识客观世界的规律。任何正确的科学研究方法,都必须遵循这一规律。

进行现场观察和实验是认识力学规律的重要的实践性环节。

^① 《毛泽东选集》,第一卷,人民出版社,1966年竖排本,第285页。

通过反复观察和实验可以从许多因素和现象中，发现哪些是影响到问题本质的主要因素，哪些是次要因素。抓住主要因素，采用抽象化的方法，就可以将研究的对象抽象化为力学模型。例如，在研究物体的平衡时，物体的变形是次要因素，忽略这一次要因素就可用刚体这一模型来代替真实物体。再如，在研究物体的简谐振动时，起决定作用的是物体的质量和质心的位置，而物体的形状和尺寸是次要因素，忽略次要因素得到质点这一模型。又如，在研究物体的强度和变形规律时，变形是主要因素，不能忽略，则刚体这一模型已不能反映研究问题的本质，于是就用变形固体模型来代替真实物体。研究不同的问题，采用不同的力学模型，是研究工程力学问题的重要方法。正如列宁所说：“当思维从具体的东西上升到抽象的东西时，它不是离开——如果它是正确的——真理，而是接近真理。……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。”^①

将实践过程中所得结果，利用抽象化的方法，加以分析、归纳、综合，可得到一些最普遍的公理或定律，再通过严格的数学推演，可得到工程上需要的力学公式。当然，这些公式正确与否，还须经过实践的反复检验。正如毛主席指出的那样：“认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还须再回到实践去。”^②

学习工程力学，并不要求去重复经历力学的发展过程，而是要深刻理解工程力学中已被实践证明是正确的基本概念和基本定律，这些是力学的基础。由基本概念和基本定律导出的解决工程力学问题的定理和公式，必须熟练掌握。演算一定数量的习题，把学到的理论知识不断用到实践中去，是巩固和加深理解所学知识的重要途径。

① 列宁：《哲学笔记》，人民出版社，1956年版，第155页。

② 《毛泽东选集》，第一卷，人民出版社，1966年竖排本，第281页。

第一篇 静 力 学

静力学主要研究两个问题，即作用在刚体上的力系的简化方法和刚体在力系作用下的平衡条件。

(1) 力系的简化 作用在刚体上的一群力，称为力系。若作用在刚体上的力系可用另一力系来代替而不改变它对刚体的效应，则称这两个力系为等效力系或互等力系。所谓力系的简化，是用一个简单的等效力系，来代替作用在刚体上的一个复杂的力系，研究力系简化的目的，就是要简化刚体的受力情况，以便于进一步分析和研究。

(2) 刚体的平衡条件 刚体的平衡条件是指刚体处于平衡状态时作用于刚体上的力系应满足的条件。根据平衡条件，可以求出作用在平衡刚体上的某些未知力。

第一章 静力学的基本概念

§1-1 力的概念

力的概念是人们从长期的观察和实践中经过抽象而得到的。例如，当人们用手推、拉、掷或举起物体时，由于手的作用，可使物体的运动状态发生变化；滚动的车轮受到制动块的摩擦作用，可使滚动变慢，以至停止；空中落下的物体，由于地心引力的作用而越落越快。上述物体运动状态的变化，是由于物体间的相互作用而产生的，这种作用也称为机械作用。物体间相互的机械作用，还

能引起物体的变形，如杆件受拉力作用而伸长，受压力作用而缩短等。所以力的概念可概括为：力是物体间相互的机械作用，其结果使物体运动的状态发生变化，或使物体发生变形。

由此可知，物体受力后产生的效应有两种：一种是机械运动状态的变化；另一种是变形。前者是力对物体的外效应，后者是力对物体的内效应。

还应指出，力是物体间相互的机械作用，力是不能脱离物体而存在的。在分析物体的受力情况时，必须分清物体间相互作用的关系，不然就无法分析物体的受力情况。

由经验可知，作用于物体的力因大小、方向、作用位置的不同，将使物体产生不同的效应。因此，力的大小、方向和作用点是力的三要素。

表示力的大小，必须选择一个标准的力作为单位力。本书采用国际单位制，以牛顿（牛，N）作为力的计算单位。牛顿的一千倍，称为千牛顿（千牛，kN）。

力是有大小和方向的量，是矢量，能按矢量运算规则进行运算。上述力的三要素可以用一个矢量来表示。沿力的作用方位并通过力的作用点 A 画一条直线 mn （图 1-1），称为力的作用线。从点 A 开始，沿作用线按某一比例尺（例如 1 毫米代表 100 牛顿）

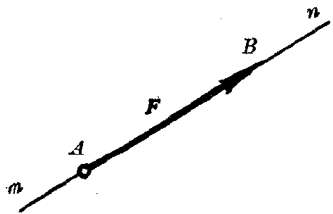


图 1-1

量取一线段，使其长度 AB 代表力的大小。在线段的末端 B 加上箭头，代表力的指向。方位和指向合起来，简称方向。代表力大小的线段 AB 加上箭头后，构成了表示该力的矢，称为力矢。力矢常用黑体字母例如 $\boldsymbol{F}$ 表示，而白体的同一字母 F 则代表力矢的大小（模）。

图 1-2a 上图表示杆件受拉力 F_1 和 F_2 拉伸时的情况, C 和 D 分别表示二力的作用点。当作用力是压力时, 常用力的矢端表示力的作用点, 如图 1-2a 下图, 即表示杆件受压力 F_3 和 F_4 压缩时的情况, 这时, 将两力矢的矢端分别放在两力的作用点 C 和 D 处。图 1-2b 所示管子受内压力 (单位面积上的压力为 p) 作用的情况。

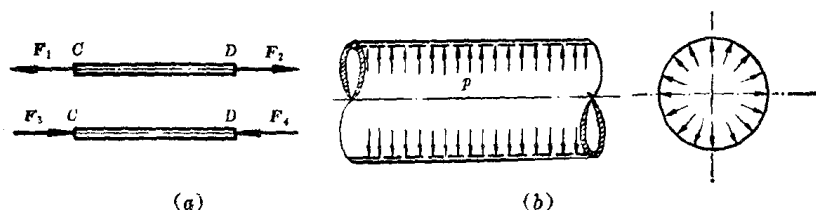


图 1-2

§ 1-2 刚体的概念

工程上常用的材料, 如钢、铸铁、混凝土、木材等, 在制成机器零件及设备部件后, 通常都有足够的抵抗变形的能力。例如图 1-8 所示的塔器, 在风载荷作用下, 塔器轴线上最大水平位移一般不超过塔高的 $1/1000 \sim 1/500$ 。因此, 对塔器进行受力分析时, 变形是一个次要因素, 可以忽略不计。再如, 当两人用直杆抬重物时, 直杆微小弯曲变形对两人所受压力的分配, 影响极小, 因此, 计算每人所受压力时, 可以忽略直杆的变形。在研究物体的受力情况时, 为了使问题简化, 忽略物体变形, 就可将原物体用一理想化的模型——刚体来代替。所谓刚体, 即在力的作用下不发生变形的物体。刚体是一个抽象化的概念, 这样的抽象, 不仅是解决实际工程问题所允许的, 也是认识力学规律所必需的。这样做, 就是先撇开研究问题的次要因素而抓住其主要因素。长期的实践证明, 引用“刚体”这一概念在许多情况下得到的结果是足够精确的。但应指

出,采用刚体这一模型时,要注意研究问题的条件和范围。如果条件改变了或研究范围扩大了,必须将模型作相应的改变。例如三人抬一根钢管时,尽管钢管的变形很小,但三人所受压力的分配却与之有关。因此,在分析各人所受的压力时,钢管的变形就成为主要因素,而必须以另一模型——变形固体来代替。本篇主要以刚体为研究对象,所以也称为刚体静力学。

§1-3 平衡的概念

物体受一力系作用,如物体相对于地球作匀速直线运动或静止,则称该物体处于平衡状态,作用于物体上的力系称为平衡力系。应该注意,绝对平衡和绝对静止是不存在的,正如恩格斯所说:“任何静止、任何平衡都只是相对的,只有对这种或那种确定的运动形式来说才是有意义的。”^①因此,平衡是有条件的。工程上所指的物体平衡,一般是相对于地球而言的。例如,某一物体相对于地球是静止的,但同时又随地球绕太阳运动。显然,平衡一般是取周围物体作参考的。

实践证明:如果刚体只受两个力的作用而处于平衡状态,则这两个力一定是大小相等、方向相反,且作用在同一直线上。这就是二力平衡原理。

如图 1-3,杆 AB 受到两个共线力 F_A 和 F_B 作用而处于平衡

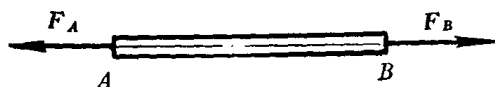


图 1-3

状态时,则必须

$$F_A = -F_B$$

F_A 和 F_B 称为作用在同一物体上的一对平衡力。

① 恩格斯:《反杜林论》,人民出版社,1970年版,第57页。

“二力平衡原理”是最简单也是最基本的原理，它是研究物体在受力复杂情况下平衡条件的基础。

工程上常用到如图 1-4 所示的一类构件，其特点是：构件只受到两个力作用而保持平衡，我们称之为二力构件。根据二力平衡原理可以断定：这两个力的方位，必定沿着两个作用点 A 、 B 的连线。

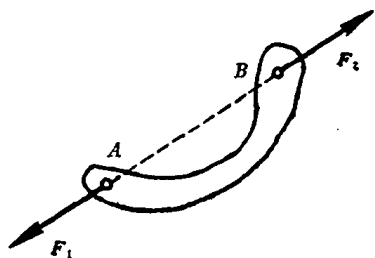


图 1-4

对刚体而言，加上一个平衡力系或是减去一个平衡力系，并不影响刚体的运动状态(不管是平衡还是加速运动)。这就是加减平衡力系原理。

§1-4 力的可传性

设力 F 作用于刚体上 A 点(图 1-5a)，沿该力作用线任取一点 B ，在 B 点加一对平衡力 F_1 和 F_2 ，且使 $-F_1 = F_2 = F$ (图 1-5b)，式中负号表示 F_1 的方向与 F_2 、 F 相反。由于 F_1 和 F 也是一对平衡力，根据加减平衡力系原理，可将它们从力系中去掉，而不改变刚体的运动状态。于是，刚体上只剩下力 F_2 (图 1-5c)，它的大小和方向与力 F 相同。这样相当于力 F 自 A 点沿其作用线移至任一点

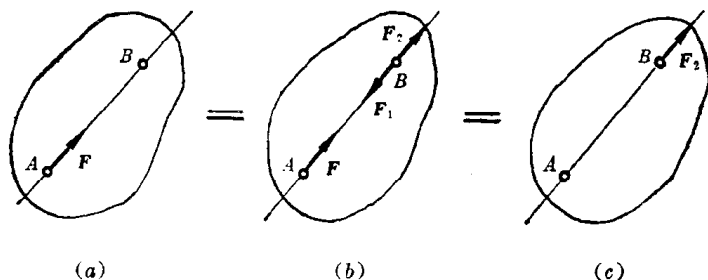


图 1-5

B , 而不改变它对刚体的作用, 这就是所谓力的可传性。

对刚体而言, 由于力的可传性, 力的作用点已不是决定力的作用效果的要素, 已为作用线所代替。因此, 在研究力对物体的运动效应时, 力矢可沿其作用线滑动, 故可将力视为滑动矢量。

必须注意, 力的可传性不适用于研究力对物体的变形效应。例如一根直杆受到一对平衡拉力 F 和 F' 作用时, 它将沿轴线伸长 (图 1-6a); 若将两力互相易位, 则杆将受压力作用而沿轴向缩短

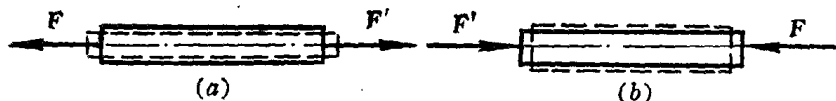


图 1-6

(图 1-6b)。显然, 伸长和缩短是两种完全不同的效应。因此, 在这种情况下, 力的作用点是决定力的作用效果的要素, 必须将力视为固定矢量。

§ 1-5 作用与反作用定律

设有两个相互作用的物体 A 和 B , 物体 A 对物体 B 有一作用力时, 物体 B 对物体 A 必有一反作用力。作用力与反作用力大小相等、方向相反, 且作用于同一直线上。这就是作用与反作用定律。

如图 1-7a, 将两弹簧秤钩在一起, 若施以一对拉力, 则两弹簧秤的读数相等, 这表示右弹簧秤施于左弹簧秤的作用力 F , 与左弹簧秤施于右弹簧秤的反作用力 F' 数值相等, 显然, 二者方向相反,

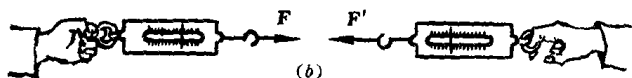
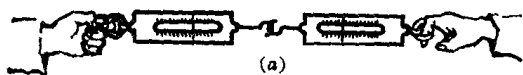


图 1-7

并作用于同一直线上(图 1-7b)。

作用与反作用定律是一个普遍性的定律。在研究由几个物体构成的系统——物系的受力关系时，常常用到这个定律。这个定律指出，所有的力都是成对存在的，有作用力必有反作用力，单方面的作用是不存在的。

还应注意，作用力和反作用力，不能与二力平衡原理中的一对平衡力相混淆。一对平衡力是作用在同一物体上的，而作用力与反作用力则是分别作用在两个不同物体上的。

§ 1-6 约束与约束反力

凡能主动引起物体运动状态改变或使物体有运动状态改变趋势的力，称为主动力。例如物体所受的重力、风力，人们作用于物体上的拉力、推力等等，都是主动力。为了便于叙述，对于承受主动力作用的研究对象，有时称为主_体。凡主动力，都是物体的外力。

能在空间任意运动的物体，称为自由_体。例如在空中飞行的飞机，能在空中任何方向运动，故为自由_体。如果物体受到某些条件的限制，在某些方向不能运动，则这种物体称为非自由_体。例如在轨道上行驶的火车，受到钢轨的限制，只能沿轨道方向运动，故为非自由_体。凡阻碍物体运动的一切装置，总称为约_束。约束可能是基础、地面、轨道，也可能是一些其它物体，如地脚螺栓、轴承、撑架或绳索等。这些约束在与被约束物体相联接的地方，对被约束物体的某些运动起了阻碍作用。如图 1-8 所示的塔器，是用

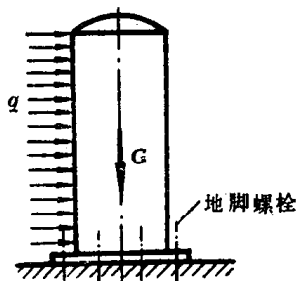


图 1-8

地脚螺栓固定在基础上的。塔受到的重力 G 和塔的侧面在单位面