

高等学校试用教材

工程力学

上册 第一分册

上海纺织工学院等八院校合编

人民教育出版社

高等学校

工 程 力 学

上 册 第一分册

上海纺织工学院等八院校合编

人 民 教 育 出 版 社

本书是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讨论的《工程力学》教材(纺织类)编写大纲编写的。全书分上、下两册,上册为理论力学部分,下册为材料力学部分。本册内容包括:静力学的基本概念与公理,平面汇交力系,平面任意力系,摩擦,空间力系·重心,虚位移原理,点的运动学,刚体的基本运动,点的复合运动,刚体的平面运动等。

本书主要适用于纺织类专业,也可供有关专业和工程技术人员参考。

本书由上海纺织工学院、天津纺织工学院、西北轻工业学院、大连轻工业学院、无锡轻工业学院、苏州丝绸工学院、浙江丝绸工学院和上海纺织工业专科学校等八院校合编,由上海纺织工学院主编。

高等学校试用教材

工 程 力 学

上 册 第一分册

上海纺织工学院等八院校合编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

渭阳县印刷厂印刷

•

开本 787×1092 1/32 印张 11 2/16 字数 268,000

1979年3月第1版 1979年10月湖北第1次印刷

印数 1—14,000

书号 15012·0113 定价 0.92 元

编 者 的 话

工程力学是高等学校工科的一门技术基础课,是其它技术基础课和有关专业课的基础。同时,掌握必要的力学理论、实验技能和力学的分析方法也是为解决先进工程技术中有关的力学问题与从事这方面的科学研究奠定一定的基础。

工程力学是一门系统性强、理论性严密,但又与生产实践紧密联系的学科。为了使學生很好地掌握力学的基础理论、基本方法和基本实验技能,并能运用这些知识对一般工程实际中的力学问题进行科学抽象和理论分析,我们在教材编写中着重考虑了理论的系统性和正确贯彻理论联系实际的原则。

本书是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讨论的《工程力学》教材(纺织类)编写大纲编写的。全书分上、下册,上册为理论力学部分,下册为材料力学部分。上册附有“锭子的临界转速”专题;下册附有“断裂力学简介”和“实验应力分析概述”两个专题。各章并附有小结、复习思考题和习题及部分习题答案。本书基本部分是按照 200~240 学时的要求编写的,并兼顾到学时数相当的机械类专业的使用,其中带 * 号的内容及所附专题可根据专业的不同要求决定取舍。

本书由上海纺织工学院、天津纺织工学院、西北轻工业学院、大连轻工业学院、无锡轻工业学院、苏州丝绸工学院、浙江丝绸工学院和上海纺织工业专科学校等八院校合编,由上海纺织工学院主编,参加上册编写的有:西北轻工业学院陈兆民(第一、二、三章),苏州丝绸工学院陈世祿(第四章),上海纺织工业专科学校赵关康

(第五、十五、十六章),上海纺织工学院王惠予(第六章),大连轻工业学院汤伯慈、仇德仁(第七、八、九、十章),天津纺织工学院汪群、陶树林(第十一、十二、十三、十四章及专题),由王惠予主编。参加下册编写的有:天津纺织工学院汤宝润、冯德生(第一、二章及专题 I),浙江丝绸工学院周盛才(第三、四章),上海纺织工学院谢士忠(第五、六、七、八章),上海纺织工业专科学校陈贵令(第九、十、十一、十二章),无锡轻工业学院彭蕙苓(第十三章及附录),苏州丝绸工学院于昌荣(专题 II),由谢士忠主编。

本书由北京工业学院、北京化工学院和西安交通大学主审,参加审稿的还有华东石油学院和南京化工学院。审稿同志认真审阅了原稿并提出了许多改进意见,在此表示衷心的感谢。由于我们水平有限,书中一定存在缺点和错误,希望读者批评指正。

编 者
一九七八年十二月

前 言

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门科学。

物体在空间的位置随时间而改变的现象叫做机械运动。它是宇宙中物质运动的一种最简单的形式。因为物体的平衡状态是机械运动的一种特殊情形，所以在理论力学中也研究物体的平衡规律。机械运动在自然界和工程技术中是最常见的，无论是机器的运转、飞机的飞行、舰船的航行，或是日月星辰在天空的运行等都属于这种运动。在工程技术的许多领域里，都普遍存在着有关的机械运动问题。学习理论力学的目的在于掌握机械运动的规律，并能运用这些规律去解决工程技术中的实际问题，并为学习一系列后继课程如机械原理、机械零件以及其它与力学有关的专业课程提供重要的基础理论。此外理论力学的学习还有助于培养辩证唯物主义世界观，提高分析问题、解决问题的能力 and 树立正确的思想方法。

理论力学的发展与生产技术是密切联系着的。生产实践经常向力学提出各种问题，这些问题的解决，不仅促进了生产，同时也推动了力学的向前发展。现代技术向力学提出了大量复杂的新问题。因此，每一个工程技术人员都必须掌握足够的理论力学知识，以适应社会主义建设日益增长的需要。

理论力学分成三个部分进行讲述：

(一)静力学 主要研究物体受力平衡时，作用在物体上的力系所应满足的条件，亦即研究物体的平衡规律。

(二)运动学 研究物体运动的几何性质(如位移、速度、加速

度等),而不联系到这物体受到的力。

(三)动力学 研究作用在物体上的力与该物体的运动之间的关系。

目 录

前 言

第一篇 静 力 学

引言	1
第一章 静力学的基本概念与公理	2
§ 1-1 刚体的概念	2
§ 1-2 力的概念	3
§ 1-3 静力学的公理	4
§ 1-4 约束和约束反力	9
§ 1-5 分离体·受力图	15
小结	20
复习思考题	21
习题	23
第二章 平面汇交力系	28
§ 2-1 平面汇交力系实例	28
§ 2-2 平面汇交力系合成的几何法	29
§ 2-3 平面汇交力系平衡的几何条件	31
§ 2-4 力在坐标轴上的投影	35
§ 2-5 平面汇交力系合成的解析法	39
§ 2-6 平面汇交力系平衡的解析条件	40
小结	46
复习思考题	47
习题	49
第三章 平面任意力系	56
§ 3-1 平面任意力系实例	56
§ 3-2 力矩	58
§ 3-3 力偶与平面力偶系	60
§ 3-4 力的平移定理	69

§ 3-5 平面任意力系的简化	71
§ 3-6 平面任意力系合成为合力的情况·合力矩定理	73
§ 3-7 平面任意力系合成为一个力偶的情况	75
§ 3-8 平面任意力系的平衡条件和平衡方程式	75
§ 3-9 平面平行力系的平衡方程式	87
§ 3-10 物体系统的平衡	89
§ 3-11 静定与静不定问题的概念	97
小结	99
复习思考题	100
习题	102
第四章 摩擦	118
§ 4-1 摩擦现象	118
§ 4-2 滑动摩擦	119
§ 4-3 摩擦角与摩擦自锁	122
§ 4-4 考虑摩擦时的平衡问题	124
§ 4-5 柔体摩擦的概念	131
§ 4-6 滚动摩擦的概念	136
小结	139
复习思考题	141
习题	142
第五章 空间力系·重心	151
§ 5-1 力在直角坐标轴上的投影	151
§ 5-2 空间汇交力系	153
§ 5-3 力对轴之矩	156
§ 5-4 力对点之矩	159
§ 5-5 力对点之矩与力对于通过该点的轴之矩间的关系	160
§ 5-6 空间力偶系	161
§ 5-7 空间任意力系的简化	164
§ 5-8 空间任意力系的平衡条件和平衡方程式	166
§ 5-9 平行力系的中心	175
§ 5-10 重心	177
小结	185
复习思考题	187
习题	187

第六章 虚位移原理	194
§ 6-1 问题的提出	194
§ 6-2 约束·系统的广义坐标与自由度	195
§ 6-3 虚位移	198
§ 6-4 理想约束	200
§ 6-5 虚位移原理	201
小结	211
复习思考题	212
习题	212

第二篇 运 动 学

引言	216
第七章 点的运动学	219
§ 7-1 点的直线运动	219
§ 7-2 用矢径法和直角坐标法研究点的曲线运动	229
§ 7-3 用自然坐标法研究点的曲线运动	236
小结	243
复习思考题	245
习题	246
第八章 刚体的基本运动	252
§ 8-1 刚体的平动	252
§ 8-2 刚体的定轴转动	254
§ 8-3 定轴转动刚体内各点的速度和加速度	260
§ 8-4 定轴轮系的传动比	265
§ 8-5 角速度用矢量表示·用矢积表示线速度、法向加速度及切向加速度	268
小结	271
复习思考题	272
习题	272
第九章 点的复合运动	277
§ 9-1 基本概念	277
§ 9-2 速度合成定理	279
§ 9-3 动参考系作平动时的加速度合成定理	288
§ 9-4 动参考系作转动时的加速度合成定理	291
*§ 9-5 用矢量分析法证明动参考系作转动时的加速度合成定理	295

小结	303
复习思考题	305
习题	308
第十章 刚体的平面运动	317
§ 10-1 刚体平面运动的特点及其简化	317
§ 10-2 平面运动分解为平动和转动	319
§ 10-3 平面运动刚体上各点的速度	322
§ 10-4 速度瞬心	327
§ 10-5 平面运动刚体上各点的加速度	332
小结	336
复习思考题	337
习题	339

第一篇 静力学

引言

静力学所研究的是物体机械运动的一种特殊情况，即物体处于平衡状态时的情况。在静力学中，我们把物体处于平衡状态理解为所考虑的物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动。例如机床的床身、细纱机或织布机的墙板、房屋、桥梁等就是处于平衡状态的具体物体。这些处于平衡的物体实际上都是在一群力的作用下处于平衡的。设计机器或建筑物时，首先必须对它们进行受力分析和计算，然后才能据此来选择材料及确定各部分的尺寸等。而在分析计算时，就须应用物体在平衡时这些力所必须满足的平衡条件，因此静力学在工程上有着广泛的应用。

静力学主要研究以下两个问题：

(一)力系的简化 就是将作用于物体上的已知力系进行简化，用另一较简单的与之等效的力系来代替。研究力系简化的目的，就是要简化物体的受力情况，使之便于分析和讨论。

(二)力系的平衡 就是建立物体在各种力系作用下的平衡条件。根据这些条件，求出作用在处于平衡状态的物体上的某些未知力和物体平衡时所处的位置。静力学的中心问题是力系的平衡。

第一章 静力学的基本概念与公理

§ 1-1 刚体的概念

本章将介绍作为静力学基础的几个公理，并阐述学习静力学时首先要遇到的刚体、力和约束等几个基本概念。

在理论力学里我们把物体看作刚体，所谓刚体就是受力后不变形的物体，也就是说，受力后刚体中任意两点间的距离保持不变。它是实际物体的抽象化模型，实际上并不存在绝对的刚体。在力的作用下，物体总要发生或大或小的变形，变形的大小决定于作用力的大小、材料的性质、物体的形状和尺寸等因素。象钢、铁、木、石等常用的工程材料，在力的作用下，它们的变形一般都很小。这样微小的变形，在某些问题中，对物体的运动或平衡几乎不产生什么影响，因而成为一个次要因素，可以将其略去不计，以简化对问题的研究而又不影响问题的实质，所以在理论力学里，我们把实际物体看作刚体。长期的实践证明，刚体这个概念在许多情况下是正确的。但应指出，在采用刚体这一简化模型时要注意所研究的问题的内容和条件。在某些情况下，微小的变形就有可能具有重要意义并转化为主要因素，而必须加以考虑。例如机器中某根受载荷的轴搁在两个轴承上，轴的弯曲变形对左右两个轴承所受压力的分配，影响极小，因此我们把轴的弯曲变形视为次要因素而忽略不计，而将轴视为刚体。但是，若轴搁在三个轴承上，轴的变形虽仍很小，但三个轴承所受压力的分配却与之有关，在此情况下，微小的变形转化为主要因素，我们必须以另一模型——变形体来代

替。又例如当研究上述轴的强度、刚度问题时，也必须考虑变形。变形体问题将在材料力学部分中研究。在静力学中研究的对象是刚体，所以，静力学也称为刚体静力学。

§ 1-2 力的概念

力的概念是人们在长期的生活和生产实践中逐步形成的。最初人们在用手推、拉、举或抛掷物体时，从人体肌肉的紧张收缩中感到对物体施加了“力”，以后随着生产的发展，人们对力的认识逐步深化与完善。这样，人们从最初的直观感觉，通过抽象化的过程，建立了力的概念：力是物体与物体之间的相互机械作用，这种作用的效应是使物体的机械运动状态发生变化，或者使物体发生变形。

必须指出，由于力是物体与物体之间的相互机械作用，故力不能脱离实际物体而存在。在我们作受力分析时，首先要明确哪一个物体是我们所要研究的“受力物体”，哪些物体是“施力物体”，离开了物体的相互作用来分析受力情况，就要发生错误。

在力学中，我们不研究力的物理来源，而只研究力的表现，即力对物体作用的效应。理论力学中，凡是谈到力的效应，都是就力对于物体平衡或运动的影响而言的，这种效应称为力的外效应，至于力对物体的变形的影响，则称为力的内效应，将在材料力学部分中讨论。

我们都有这样的经验：用手推、拉在地面上的重物，或织布机中投梭棒通过皮结打击梭子时，施力大小不同，或按不同的方向施力，或施力于重物或梭子上不同的位置，这些都会使重物或梭子产生不同的效应。大量的观察和实验证明，力对物体作用的效应，完全取决于上述力的三要素：力的大小、方向和作用点，其中任一要素改变了，力对物体作用的效应就随之而变。

由于力既有大小、方向，又服从矢量的运算规则(下面就要讲到)，所以力是矢量，它可以用一个有方向的线段来表示(图 1-1)。

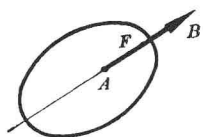


图 1-1

图中线段的长度按选定的比例尺表示力的大小；线段的起点(或终点)表示力的作用点；通过力的作用点沿力的方向作一直线表示力的方位，此直线称为力的作用线(或方位线)，而线段的终点标出的箭头就表示了力的指向(方位与指向合起来表明方向)。

在国际单位制(SI)中，力的单位是牛顿(N)或千牛(kN)， $1\text{kN}=1000\text{N}$ 。在工程单位制中，力的单位是公斤(kg)或吨(t)， $1\text{t}=1000\text{kg}$ 。两者的换算关系为 $1\text{kg}=9.8\text{N}$ ， $1\text{t}=9.8\text{kN}$ 。

本书规定，矢量用黑体字母表示，而以同一个普通字母表示这个矢量的大小。例如设 $\boldsymbol{F}$ 表示某个力，则 F 表示这个力的大小(模)。有时也用顶上画一横线的两个字母代表一个矢量，其中第一个字母表示矢量的始端，第二个字母表示矢量的末端，例如图 1-1 中的力 $\boldsymbol{F}$ ，也可用 $\overline{AB}$ 来表示。

作用于物体上的一群力称为力系。

如力系中各力对物体作用的效应互相抵消，从而使物体保持平衡或原有运动状态不变，这样的力系称为平衡力系。

如二力系分别作用于同一物体而能产生相同的效应，此二力系称为等效力系。

如果一个力和一个力系等效，此力称为该力系的合力，而力系中的各力则称为此合力的分力。

§ 1-3 静力学的公理

静力学全部理论是以下述五个公理为基础的，这些公理是人

们从长期的实践与经验中总结出来的客观真理。

公理 1 两力平衡公理 作用于刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等,方向相反,且沿着同一作用线。

例如图 1-2 中,刚体在力 F_1 及 F_2 的作用下保持平衡,则 F_1 和 F_2 的大小必须相等,方向必定相反,且沿着作用点的连线 AB 。

这是最简单的力系的平衡条件,也是刚体受较复杂力系的平衡的理论基础。

图 1-2 中所示的一类构件,它们的特征是只受到两个力的作用并保持平衡。我们把它们称为两力构件。根据公理 1,这两个力的方位必定沿着这两个力的作用点的连线。这个结论很重要,因为工程上经常会遇到两力构件。

公理 2 加减平衡力系公理 在已知力系内添加或除去任意平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。

这是显而易见的,因为平衡力系对刚体的平衡或运动状态没有影响。这个性质对于力系的简化很有用处。

应用公理 2 可以得到一个很重要的推论——力的可传性。

设力 F 作用于刚体上的 A 点(图 1-3a),今在刚体内沿此力

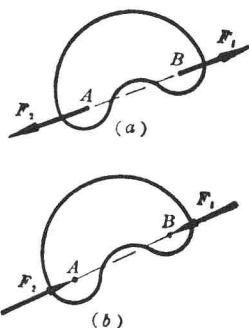


图 1-2

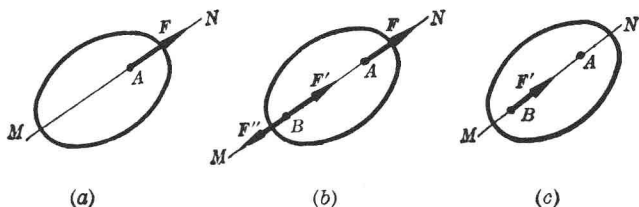


图 1-3

的作用线 MN 上任取一点 B , 并在 B 点沿作用线 MN 加上一对相互平衡的力 $\boldsymbol{F}'$ 与 $\boldsymbol{F}''$, 且令 $\boldsymbol{F}' = \boldsymbol{F}'' = \boldsymbol{F}$ (图 1-3b)。根据公理 2, 图 1-3b 中三个力对刚体作用的效应, 与图 1-3a 中一个力对刚体作用的效应是相等的。但在图 1-3b 中, 力 $\boldsymbol{F}$ 与 $\boldsymbol{F}''$ 也是一对等值反向的力, 即 $\boldsymbol{F}$ 、 $\boldsymbol{F}''$ 也组成一对相互平衡的力, 故可将 $\boldsymbol{F}$ 、 $\boldsymbol{F}''$ 这一对相互平衡的力从刚体上取去, 并不影响对刚体作用的效应 (图 1-3c)。这样, 刚体就只受到作用在 B 点的一个力 $\boldsymbol{F}'$ 的作用, 而作用在 B 点的一个力 $\boldsymbol{F}'$ 对刚体的作用, 与原来作用在 A 点的力 $\boldsymbol{F}$ 对刚体的作用是等效的。但将图 1-3c 与图 1-3a 比较, 可以看出, 力 $\boldsymbol{F}$ 与 $\boldsymbol{F}'$ 的大小与方向是完全一致的, 仅是把作用在 A 点的力沿其作用线移动到 B 点而已。因此可得结论如下: 作用在刚体上的力, 可沿其作用线在刚体内任意移动, 而不改变此力对刚体的作用。这就是力的可传性。

这样, 力的三要素中的作用点问题, 在刚体静力学中可用作用线去代替, 即刚体静力学中力的三要素可以是: 大小、方向、作用线。

必须注意, 公理 2 与力的可传性只适用于刚体, 只是对于刚体的平衡或运动而言才是正确的。如果考虑到物体的变形, 则添加

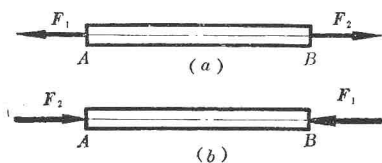


图 1-4

或除去一个平衡力系, 或将力沿其作用线移动, 都将使物体的变形情况改变。例如图 1-4a 中可明显看出, 构件受到一对大小相等、方向相反, 而作用线

共线的力 $\boldsymbol{F}_1$ 与 $\boldsymbol{F}_2$ 的作用而处于平衡。如应用公理 2, 将这个平衡力系取去, 该构件虽仍保持平衡, 但变形消失。又如根据力的可传性, 将力 $\boldsymbol{F}_1$ 沿其作用线从作用点 A 移到作用点 B , 将力 $\boldsymbol{F}_2$ 沿其作用线从作用点 B 移到作用点 A (图 1-4b), 根据公理 1, 构件