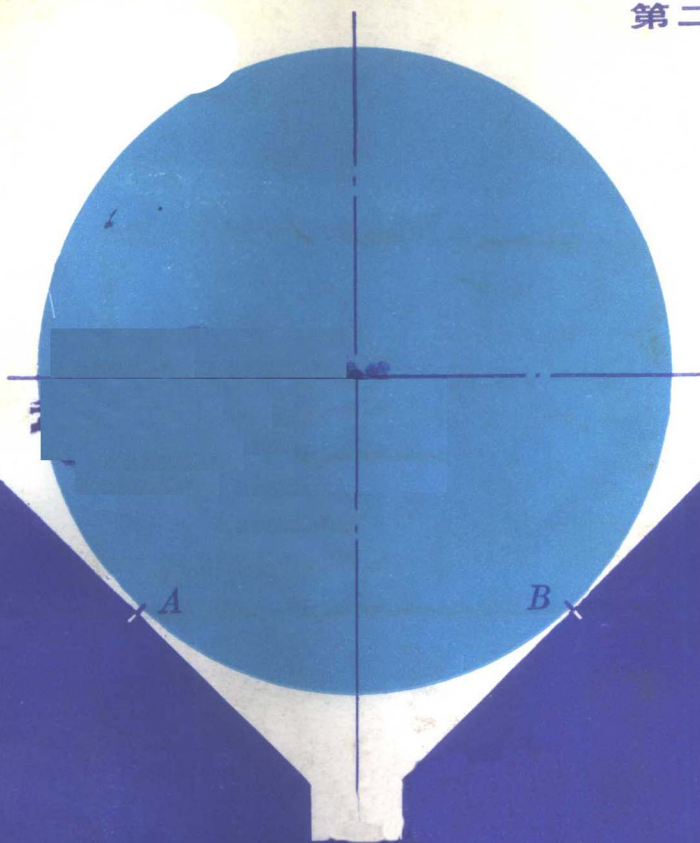


第二版



高等学校教材

理论力学

【静力学】

纪炳炎 屈 革 编
刘思汉 殷汝珍

刘思汉 主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本教材是在北京钢铁学院与东北工学院合编的《工程力学》的基础上,参照一九八〇年五月在南京审订的《工程力学教学大纲》(草案)中理论力学部分(60学时)修订而成的。此次修订,将原《工程力学》分为《理论力学》和《材料力学》,独立分册出版。理论力学部分又分成静力学、运动学和动力学两册。

本教材与原《工程力学》比较,适当提高了起点,加强了矢算法的应用,编排了较多的例题和习题,各章之后有小结和思考题。

本教材主要适用于地质、冶金、轻工、材料、石油、热加工等专业少学时理论力学课程,也可供有关工程技术人员参考。

高等学校教材

理 论 力 学

[静力学]

第 二 版

纪炳炎 屈 革 刘思汉 殷彦 编

刘思汉 主编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

开本850×1168 1/32 印张6.25 字数156,000

1979年7月第1版 1987年2月第2版 1987年2月第1次印刷

印数 00,001—6,150

书号 15010·0748 定价 1.05元

第二版序

本教材是在北京钢铁学院与东北工学院合编的《工程力学》的基础上，参照一九八〇年五月在南京审订的《工程力学教学大纲》(草案)中理论力学部分(60学时)修订而成的。根据一九八二年理论力学教材编委扩大会议和材料力学教材编委扩大会议的建议，将《工程力学》分为《理论力学》和《材料力学》，理论力学又分成静力学、运动学和动力学，并独立成册出版，以利配合使用。

本教材适用于高等学校工科冶金、地质、轻工、材料、石油等类专业的少学时理论力学课程，也可供有关工程技术人员参考。

本教材的内容都是本学科的基本内容，是教学大纲所要求的。但为适应各类专业的不同要求，本教材还编写了一些带“*”号的选修内容。考虑到当前学生入学的水平、大学普通物理和高等数学的教学情况，本教材适当地提高了起点，加强了矢算法的应用。为了便于教师选用和学生自学，本教材各章编排了较多的例题和习题，较难的题目附有“*”号。此外，各章之后还附有小结和思考题，以期帮助读者总结收获和澄清概念。

参加本教材修订工作的有，静力学部分：北京钢铁学院纪炳炎(第一章、第二章、第三章、第四章)，屈革(第五章、第六章)。运动学和动力学部分：东北工学院刘思汉(第一章、第二章、第五章、第六章、第七章、第九章)殷汝珍(第三章、第四章、第八章、第十章)。第二版序、绪论、各部分引言和附录由本书主编刘思汉执笔。

本教材承天津大学毕学涛同志、北京航空学院周耀珊同志主审，清华大学罗远祥同志复审。审稿的同志对本教材提出了许多宝贵意见。此外，在修订过程中还得到许多兄弟院校的帮助和支

持。东北工学院、北京钢铁学院理论力学教研室的同志也十分关心本教材的修订工作，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，本教材中必然存在不少缺点和错误，诚恳希望广大读者批评指正。

编 者

一九八五年五月

第一版序

本教材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的建议，按照 120 学时的教学要求编写的。本教材主要适用于地质、采矿、冶金、热加工、材料等专业；作适当增删后，也可适用于 100~130 学时的有关专业。

为适应各类专业的不同要求，本教材还编写了一些带有“*”号的选学内容。各章之后附有小结、思考题和习题，以期帮助读者总结收获，澄清概念和加强基本训练。习题的数量和类型已考虑了一定的选择范围和专业需要，不足之处可另作补充。

本教材采用国际单位制，同时也介绍了工程单位制及二者的换算关系。

为使用上的方便及适应不同专业的需要，本教材分为三册出版，上册为静力学，中册为材料力学，下册为运动学和动力学，并分别独立成章。各册之间有一定的配合，也有相对的独立性。根据不同的教学要求及安排，可采用本教材的全部或其中的某一册或两册；作少量内容调整后，也可先讲授上、下册，然后再讲授中册。

本教材在编写过程中，得到许多兄弟院校的帮助和支持。初

稿完成后，于一九七八年十月由教育部委托召开了审稿会议。参加会议的有中南矿冶学院、重庆大学、昆明工学院、中国矿业学院、西安交通大学、西安冶金建筑学院、武汉地质学院、河北矿冶学院、鞍山钢铁学院和上海工业大学等十个院校，由中南矿冶学院和重庆大学主审。在此一并表示谢意。

参加本教材编写的有：北京钢铁学院纪炳炎(上册第一、二、三、四章)，屈革(上册第五、六章，中册第二、三章)，马安禧(中册第一、四、五、六章)；东北工学院于绶章(中册第七、八、九章)、周康年(中册第十章)、刘思汉(下册第一、二、五、六、七、九章)、殷汝珍(下册第三、四、八、十章)；由刘思汉(上、下册)、马安禧(中册)主编。限于编者水平，同时由于编写时间匆促，本教材必然存在不少缺点和错误，殷切希望读者批评指正。

编者

一九七八年十二月

目 录

绪论	(1)
静力学引言	(3)
第一章 静力学的基本概念和公理	(5)
§ 1-1 静力学的基本概念	(5)
§ 1-2 静力学公理	(6)
§ 1-3 约束与约束反力	(10)
§ 1-4 物体的受力分析 受力图	(16)
小结	(19)
思考题	(21)
习题	(24)
第二章 平面汇交力系	(28)
§ 2-1 平面汇交力系合成的几何法	(28)
§ 2-2 平面汇交力系平衡的几何条件	(30)
§ 2-3 平面汇交力系合成的解析法	(33)
§ 2-4 平面汇交力系平衡方程及其应用	(35)
小结	(38)
思考题	(39)
习题	(41)
第三章 平面力偶系	(46)
§ 3-1 力对点之矩	(46)
§ 3-2 力偶与力偶矩	(48)
*§ 3-3 平面力偶的等效定理	(51)
§ 3-4 平面力偶系的合成与平衡	(53)
小结	(57)
思考题	(58)

习题	(60)
第四章 平面一般力系	(63)
§ 4-1 工程中的平面一般力系问题	(63)
§ 4-2 力线平移定理	(64)
§ 4-3 平面一般力系向一点简化主矢与主矩	(66)
§ 4-4 简化结果的分析 合力矩定理	(68)
§ 4-5 平面一般力系的平衡条件与平衡方程	(72)
§ 4-6 平面平行力系的平衡方程	(78)
§ 4-7 静定与静不定问题	(80)
§ 4-8 物体系的平衡	(81)
*§ 4-9 桁架	(90)
小结	(94)
思考题	(96)
习题	(98)
第五章 摩擦	(113)
§ 5-1 工程中的摩擦问题	(113)
§ 5-2 滑动摩擦	(114)
§ 5-3 考虑摩擦时的平衡问题举例	(116)
§ 5-4 摩擦角与自锁现象	(122)
*§ 5-5 滚动摩擦的概念	(128)
小结	(132)
思考题	(133)
习题	(134)
第六章 空间力系重心	(141)
§ 6-1 工程中的空间力系问题	(141)
§ 6-2 空间汇交力系	(141)
§ 6-3 空间力偶系	(145)
§ 6-4 力对轴之矩和力对点之矩	(148)
§ 6-5 空间一般力系向一点简化 主矢和主矩	(154)
§ 6-6 空间一般力系的平衡方程	(155)

§ 6-7 重心的概念	(162)
§ 6-8 重心坐标公式	(163)
§ 6-9 物体重心的求法	(166)
小结	(172)
思考题	(177)
习题	(177)
习题答案	(185)

绪 论

理论力学是研究物体机械运动规律的科学。

所谓机械运动,就是物体在空间的位置随时间而发生的改变。例如人造地球卫星的运行;各种机器的运转;空气、河水的流动等等,都是机械运动。

就最一般的意义来说,运动是物质的存在形式,是物质的固有属性,它包括宇宙中所发生的一切变化和过程。因此,物质的运动形式是多种多样、十分复杂的。机械运动则是物质的运动形式中最简单的一种。任何比较复杂的物质运动形式,总是与机械运动存在着或多或少的联系。

理论力学属于以牛顿定律为基础的古典力学的范畴。近代物理的研究表明,只有当研究宏观物体的运动而且它的速度远小于光速($3 \times 10^5 \text{km/s}$)时,古典力学才是正确的。如果物体运动的速度接近光速,或者研究的是微观粒子的运动,古典力学就不适用了,而是其它力学(相对论和量子力学)所研究的问题。

在工程实际问题中,我们所遇到的机械运动一般都是宏观物体的运动,而且物体运动速度远小于光速。因此,应用古典力学去解决工程问题是足够精确的,其计算也比较简单。所以,无论是在一般技术还是在新的技术领域,研究古典力学的规律,仍然是十分重要的。

与任何一门科学一样,理论力学的研究方法也遵循认识过程的客观规律,即实践——理论——实践的认识过程。这种方法简要说来就是,从实践出发,经过抽象化,综合、归纳,建立公理或定律,再用数学演绎和逻辑推理而得到定理和结论,然后再通过实

践来验证理论的正确性。

理论力学是现代工程技术的基础理论,它的定律,定理和推论被广泛应用于各种工程技术中。各种机械、设备和结构的设计,机器的振动和平衡问题,航空和航天技术等等,都是以理论力学的理论为基础。因此,工程技术人员必须具备理论力学的基础知识。在工科院校的教学计划中,理论力学是一门理论性较强的技术基础课。学习本课程时,应掌握物体机械运动的基本规律及其研究方法,初步学会运用这些规律和方法去分析工程实际中的力学问题,并为一系列后继课程,如材料力学、机械设计等的学习准备条件,为培养各专业工程技术人才,打好力学基础。

理论力学将分为以下三部分进行研究:

静力学——研究物体平衡的规律;

运动学——研究物体运动的几何性质;

动力学——研究物体的运动与物体所受的力的关系。

静力学引言

静力学是研究物体机械运动的特殊情况——物体的平衡问题的科学。所谓物体的平衡，是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动。例如桥梁、机床的床身、作匀速直线飞行的飞机等等，都是处于平衡状态。

若物体处于平衡状态，则作用于物体上的一群力(称为力系)必须满足一定的条件，这些条件称为力系的平衡条件。平衡时的力系称为平衡力系。研究物体的平衡问题，实际上就是研究作用于物体上的力系的平衡条件，并应用这些条件解决工程实际问题。

在研究物体的平衡条件或计算工程实际问题时，须将一些比较复杂的力系进行简化。也就是说，将一个复杂的力系简化为一个简单的力系，使其效应相同。另一方面，力系简化的结果也是建立平衡条件的依据。因此，在静力学中研究下面两个基本问题：

- (1) 力系的简化；
- (2) 物体在力系作用下的平衡条件。

静力学在工程技术中有着广泛的应用。例如在各种工程结构的构件或机械零件的设计计算中，常常先进行静力分析。所谓静力分析就是分析构件的受力情况和应用平衡条件求出未知力。静力分析所得的结果，是材料力学计算构件强度和刚度的依据。

此外，力在物体平衡时所表现出来的基本性质，也同样表现于物体作一般运动的情形中。在静力学里关于力的合成、分解与力系简化的研究结果，可以直接应用于动力学。以后还将看到，动力

学问题还可以转化为具有静力学问题的形式来解。

由此可见,静力学是研究材料力学和动力学的基础,在工程中具有重要的实用意义。

第一章 静力学的基本概念和公理

本章将介绍静力学中的一些基本概念和公理，这些公理是静力学的理论基础。然后介绍物体的受力分析和受力图，物体的受力分析是力学中最重要的一环。

§ 1-1 静力学的基本概念

在静力学中，经常用到刚体和力两个基本概念。现分别阐述如下：

1. 刚体的概念

任何物体在力的作用下，或多或少总要产生变形，而工程实际中构件的变形，通常都是非常微小，在许多情形下，可以忽略不计。例如图 1-1 所示的桥式起重机，工作时由于起重物体与它自身的重量，使桥架产生微小的变形，大约在它长度的千分之几以内。这个微小的变形对于应用平衡条件求支座反力，几乎毫无影响。因此，就可把起重机桥架看成是不变形的刚体。

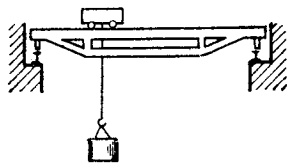


图 1-1

刚体是指在力作用下不变形的物体。显然，这是一个抽象化的理想模型，实际上并不存在这样的物体。这种抽象化的方法，在研究问题时是非常必要的。因为只有忽略一些次要的、非本质的因素，才能充分揭露事物的本质。

将物体抽象为刚体是有条件的，这与所研究问题的性质有关。

如果在所研究的问题中，物体的变形成为主要因素时，就不能再把物体看成是刚体，而要看成为变形体。

在静力学中，所研究的物体只限于刚体。因此，静力学又称刚体静力学，它是变形体力学的基础。

2. 力的概念

人们从长期的大量的生产实践和科学实验中，逐步建立起力的科学概念：力是物体间的相互机械作用，这种作用使物体的机械运动状态和形状发生变化。

力使物体的运动状态发生变化的效应称为外效应，而力使物体形状发生变化的效应则称为内效应。

由经验可知：力对物体的效应取决于力的大小、方向和作用点，通常称为力的三要素。当三要素中的任何一个改变时，力对物体的效应也随之变化。

力是一个既有大小又有方向的量，因此力是矢量，可记作 F ，并可用一个有向线段表示，如图 1-2 所示。线段的起点或终点表示力的作用点；线段的方位和箭头指向表示力的方向；线段的长度 AB 按一定的比例尺表示力的大小。通过力的作用点沿力的方向的直线称为力的作用线。作用点固定的矢量称为定位矢量，作用在物体上的力是定位矢量。本书中用粗体字母(如 F)表示矢量；用普通字母(如 F)表示矢量的模，即力的大小。

在国际单位制(SI)中，力的单位是“牛顿”，记作(N)；或“千牛顿”，记作(kN)。在工程单位制中，力的单位是“公斤力”，记作(kgf)；或吨力，记作(tf)。两者的换算关系是 $1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$ ，通常取 $1 \text{ kgf} = 9.8 \text{ N}$ 。

§ 1-2 静力学公理

人们在长期的生产实践和科学实验中，概括出静力学几个最基本的规律，称为静力学公理。

公理一 二力平衡公理 作用于刚体上的两个力使刚体平衡的必要和充分条件是：此两力大小相等，指向相反，并作用于同一直线上(图 1-3)。

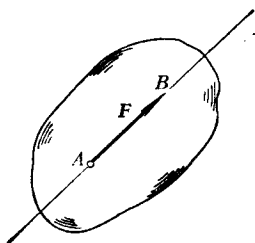


图 1-2

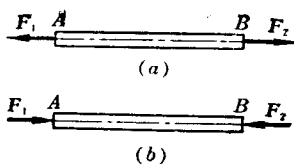


图 1-3

这个公理揭示了作用于物体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。对刚体来说，这个条件是必要与充分的；但是，对于变形体，这个条件是必要而不充分的。例如图 1-4 所示，软绳受两个等值反向的拉力可以平衡，当受两个等值反向的压力时，就不能平衡了。



图 1-4

仅受二力作用而处于平衡的构件称为二力构件或二力杆，工程结构和机构中经常存在着二力构件。二力构件的受力特点是：此二力等值、反向、共线，二力必沿两力作用点的连线。例如，房屋、厂房及矿井巷道支护中的三铰拱结构(图 1-5)，当不计拱的自重时，拱段 BC 是二力构件。

公理二 加减平衡力系公理 在作用于刚体的任一力系上，加上或减去任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的效应。

这个公理常被用来简化力系。

推论 力的可传性原理 作用于刚体上的力，可以沿其作用

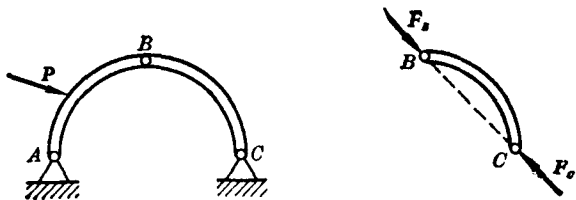


图 1-5

线移至刚体上任一点，而不改变它对刚体的效应。

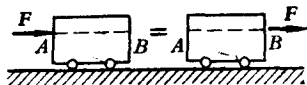


图 1-6

例如，人们在车后A点推车，与在车前B点拉车，效果相同（图1-6），也可从公理二推证此原理。

可见，作用于刚体上的力的三要素是：力的大小、方向和作用线。作用点可以在作用线上任意位置的矢量称为滑动矢量。作用在刚体上的力是滑动矢量。

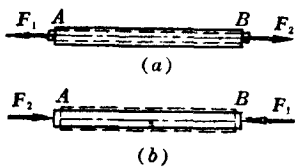


图 1-7

值得注意的是：力的可传性原理只适用于一个刚体，而不适用于变形体。例如图1-7a所示的变形杆AB，受到等值、反向、共线的拉力作用，杆被拉长。

如果把这两个力沿作用线分别移到杆的另一端，如图1-7b所示，此时杆就被压短。

公理三 力的平行四边形法则 作用于物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点仍在该点，合力的大小和方向以这两个力为边所作的平行四边形的对角线矢量来表示（图1-8）。

这种合成的方法，称为矢量加法，合力称为这两力的矢量和

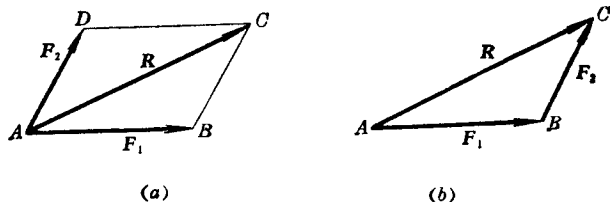


图 1-8

(或几何和)。可用公式表示为

$$R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

应该指出,式(1-1)是矢量等式,它与代数等式 $R = F_1 + F_2$ 的意义完全不同,不能混淆。

在用矢量加法求合力时,往往不必画出整个平行四边形,如图 1-8 b 所示,可从 A 点作一个与力 F_1 大小相等、方向相同的矢量 \overline{AB} , 再过 B 点作一个与力 F_2 大小相等、方向相同的矢量 \overline{BC} 。则 \overline{AC} 即表示为 F_1 与 F_2 的合力 R 。这种求合力的方法,称为力三角形法则。但应注意,力三角形只表明各力的大小和方向,它不表示力的作用点或作用线位置。应用力三角形法则求解力的大小和方向时,可应用数学中的三角公式。

平行四边形法则也是力的分解的法则。

推论 三力平衡汇交定理

定理 刚体受不平行的三力作用而平衡,则三力作用线必汇交于一点且位于同一平面内(图 1-9)。

证明: 设有不平行的三个力 F_1 、 F_2 和 F_3 , 分别作用于刚体上的 A、B、C 三点,使刚体处于平衡。

根据力的可传性原理,将力 F_1 、 F_2 沿其作用线移到 O 点,并按力的平行四边形法则,合成一合力 R_{12} , 则力 F_3 应与 R_{12} 平衡。根据二力平衡条件,力 F_3 必定与 R_{12} 共线,所以力 F_3 必通过力 F_1 与 F_2 的交点 O。且 F_3 必与 F_1 和 F_2 在同一平面内。