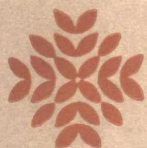


高等学校试用教材

简明工程力学



陕西人民教育出版社

简明工程力学

杨曼宏 李章成
冯 宸 李建勋 编

陕西人民教育出版社

简明工程力学

杨曼宏 李章成
冯 宸 李建勋 编

陕西人民出版社出版

(西安和平门外标新街2号)

陕西省新华书店发行 国营五二三厂印刷

850×1168 毫米 1/32 开本 16.75印张 370千字

1987年8月第1版 1987年8月第1次印刷

印数: 1—10,690

统一书号: 7387.457 定价: 3.65元

前 言

近年来，高等工程院校在教改的过程中，不少专业规定的《工程力学》教学时数仅为70~100学时。因此，根据理论力学教材编审组昆明会议及材料力学福州会议精神所编写的少学时理论力学及材料力学教材，已不适应当前教学的需要。为了满足目前工程力学教学的需要，我们在若干院校自编教材使用经验的基础上，编写了这本《简明工程力学》，作为试用教材，供非机、非土类的冶金、地质、轻工、化工、电力、纺织、材料及管理等专业使用。亦可供机、土类专科、电大、职大各类专业使用。

本书对工程力学最基本的概念及理论作了简明扼要的阐述，包括：静力学基础，平面力系，空间力系，点的合成运动，刚体的平面运动，质点系动力学普遍定理、达朗伯原理、材料力学基本概念，轴向拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲、应力状态理论及强度理论、组合变形、压杆稳定及动应力问题等十六章。其中带“*”号的章节，可根据不同专业的需要决定取舍。每章后均附有复习思考及题可供不同专业选择使用的习题。参加本书编写的有李章成(1~3章)、杨曼宏(4~7章)李建勋(8~12章)、冯宸(13~16章)。全书由李建勋、杨曼宏负责统稿。在编写本书的过程中，西北大学、西安交大及西安工业学院有关领导及同志，给予了大力支持，在此一并表示深切的谢意。

限于编者的水平，加之时间仓促，书中难免有不少缺点及谬误，敬请读者批评指正。

编 者

一九八七年、元月于西安

目 录

第一章 静力学的基本概念和公理	(1)
第一节 静力学基本概念.....	(1)
第二节 静力学公理.....	(4)
第三节 约束与约束力.....	(8)
第四节 物体的受力分析与受力图.....	(12)
复习思考题.....	(17)
练 习 题.....	(19)
第二章 平面力系	(21)
第一节 平面力矩与力偶.....	(21)
第二节 力的平移定理.....	(29)
第三节 平面力系向一点简化、主矢与主矩.....	(30)
第四节 平面力系的平衡.....	(35)
第五节 考虑摩擦时的平衡问题.....	(41)
复习思考题.....	(50)
练 习 题.....	(51)
第三章 空间力系	(61)
第一节 力沿空间坐标轴的分解和在空间坐标轴上 的投影.....	(61)
第二节 力对点之矩、力对轴之矩.....	(64)
第三节 空间力偶.....	(68)

第四节	空间力系向一点简化、主矢与主矩	(70)
第五节	空间力系的平衡	(72)
第六节	物体重心	(79)
复习思考题		(86)
练 习 题		(86)
第四章	点的合成运动	(93)
第一节	点的曲线运动	(93)
第二节	刚体的平行移动	(100)
第三节	绝对运动、相对运动、牵连运动	(102)
第四节	点的速度合成定理	(104)
第五节	牵连运动为平动时的加速度合成定理	(107)
复习思考题		(111)
练 习 题		(114)
第五章	刚体平面运动	(119)
第一节	刚体平面运动的概念和运动的分解	(119)
第二节	平面图形上各点的速度	(122)
第三节	平面图形上各点的加速度	(132)
复习思考题		(135)
练 习 题		(137)
第六章	质点系动力学普遍定理	(143)
第一节	质点系动量定理	(143)
第二节	质点系动量矩定理	(153)
第三节	质点系动能定理	(166)
复习思考题		(179)
练 习 题		(183)
第七章	达朗伯原理	(194)

第一节 惯性力的概念·····	(194)
第二节 达朗伯原理·····	(196)
第三节 刚体惯性力系的简化·····	(201)
复习思考题·····	(209)
练 习 题·····	(211)
第八章 材料力学的基本概念 ·····	(216)
第一节 材料力学的基本任务及研究对象·····	(216)
第二节 变形固体及其基本假设·····	(219)
第三节 外力、变形、变位·····	(221)
第四节 内力、截面法、应力·····	(224)
第五节 材料力学的主要研究对象、杆件的基本变 形型式·····	(227)
复习思考题·····	(229)
第九章 轴向拉伸与压缩 ·····	(230)
第一节 直杆的轴向拉伸与压缩·····	(230)
第二节 轴向拉伸(压)缩杆件的内力及应力·····	(231)
第三节 轴向拉伸(压)缩杆件的变形、虎克定律 ·····	(237)
第四节 材料在拉伸与压缩时的力学性能·····	(242)
第五节 许用应力、安全系数·····	(254)
第六节 轴向拉伸(压缩)时的强度计算·····	(257)
*第七节 拉伸与压缩时的简单超静定问题·····	(263)
复习思考题·····	(270)
练 习 题·····	(273)
第十章 剪切 ·····	(281)
第一节 剪切的基本概念·····	(281)

第二节	剪切及其实用计算	(282)
第三节	挤压及其实用计算	(285)
* 第四节	剪切、挤压计算实例	(287)
	复习思考题	(295)
	练 习 题	(296)
第十一章	扭转	(301)
第一节	扭转的基本概念	(301)
第二节	扭转外力偶矩及扭矩	(302)
第三节	薄壁圆筒扭转	(306)
第四节	圆轴扭转时的应力及变形	(311)
第五节	圆轴的扭转强度计算及刚度计算	(319)
	复习思考题	(324)
	练 习 题	(326)
第十二章	弯曲	(331)
第一节	弯曲的基本概念	(331)
第二节	弯曲内力	(333)
第三节	剪力图及弯矩图	(339)
第四节	梁的弯曲正应力	(348)
第五节	梁的正应力强度计算	(358)
第六节	提高梁的抗弯强度的措施	(364)
* 第七节	梁的弯曲剪应力	(369)
第八节	梁的变形	(377)
第九节	梁的变形计算	(380)
* 第十节	简单超静定梁	(396)
	复习思考题	(400)
	练 习 题	(405)

第十三章 应力状态理论和强度理论	(417)
第一节 应力状态的基本概念	(417)
第二节 平面应力状态分析	(420)
第三节 应力圆	(422)
* 第四节 空间应力状态分析的主要结论	(428)
* 第五节 广义虎克定律	(429)
第六节 弹性变形能	(431)
第七节 强度理论的概念	(434)
第八节 常用强度理论简介	(435)
复习思考题	(443)
练 习 题	(444)
第十四章 组合变形	(447)
第一节 组合变形的基本概念	(447)
第二节 弯曲与拉伸(压缩)的组合变形	(448)
第三节 弯曲与扭转的组合变形	(453)
复习思考题	(459)
练 习 题	(459)
第十五章 压杆稳定	(463)
第一节 压杆稳定的概念	(463)
第二节 细长压杆的临界压力	(465)
第三节 临界应力、临界应力总图	(469)
第四节 压杆的稳定计算	(474)
第五节 提高压杆稳定性的措施	(477)
复习思考题	(479)
练 习 题	(479)
第十六章 动应力计算	(483)

第一节	动载荷及动应力的一般概念·····	(483)
第二节	惯性力问题·····	(484)
第三节	构件受冲击时的应力计算·····	(487)
第四节	提高抗冲击能力的措施·····	(491)
第五节	交变应力的概念·····	(493)
第六节	对称循环下的持久极限·····	(496)
第七节	提高持久极限的措施·····	(499)
复习思考题	·····	(500)
练 习 题	·····	(501)
附录 I	工程常用量的单位换算表·····	(504)
附录 II	型钢表·····	(507)

第一章 静力学的基本概念和公理

第一节 静力学的基本概念

(一) 力的概念

力的概念是人们通过长期的生活、生产实践和科学试验，逐步建立起来的。**力是物体间相互的机械作用。其效应是使物体的运动状态发生改变或使物体的几何尺寸与形状发生改变。**

力使物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应。如以手推车，手以力作用于车，使车的运动状态发生变化（由静到动，由慢到快或由快到慢等）。而力使物体的几何形状与尺寸发生改变的效应则称为力的内效应。如手拉弹簧，使弹簧伸长的效应即为一例。

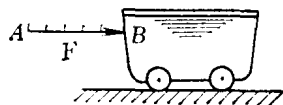


图 1-1

又如两球相碰，两球各受到对方的撞击力而各自的运动状态和形状均发生变化。可见，力的作用实质是物体间运动转移或变形过程中相互的机械作用。

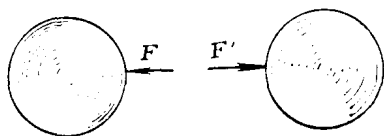


图 1-2

实践表明，力对物体的效应（包括外效应和内效应），取决于力的以下三个

要素，即力的三要素，包括：

1. 力的大小。

2. 力的方向。

3. 力的作用点(对刚体为作用线)。

力的大小反映了物体间机械作用的强弱程度。可以用测力仪器予以测定。在国际单位制 (SI 制) 中, 力的单位是“牛顿”(N) 或千牛顿(KN)。目前在一些工程部门, 仍有采用工程单位制 (LFT) 的, 力的单位用公斤力 (kgf) 或吨力 (Tf)。力的不同单位之间有如下的换算关系:

$$1(\text{kgf}) = 9.8(\text{N})$$

$$1(\text{Tf}) = 9.8(\text{KN})$$

力的作用点是表示力对物体的作用位置的抽象概念。实际上力的作用位置, 并不是一个点, 而是物体的一部份面积或体积。但当这部份面积或体积与整个物体的几何尺寸相比很小时, 则可抽象为一个点。若力的作用位置可以抽象为一个点时, 则此力称为集中力, 否则就把它抽象为分布在一定表面上的力, 或分布在某体积上的力, 这种力则称之为分布力。即根据力的作用位置状况, 可将力区分为:

1. 集中力

2. 分布力

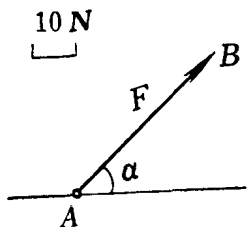


图 1-3

应当指出: 力是一个既有大小, 又有方向的量, 即矢量。力可用一个带箭头的有向线段表示。矢线的始端 (或末端) 表示力的作用点, 箭头的指向表示力的方向, 过作用点的矢线则称之为力的作用线, 而按一定比例

尺绘制的力矢线长度表示力的大小。如图 1-3 所示。一般可书写为 **F** 或 **AB**。

还应指出，一般在力学中将矢量区分为

1. **定位矢量**—除大小方向外并具有一定作用点的矢量。
2. **滑动矢量**—除大小方向外，作用点的位置可沿作用线任意移动的矢量。
3. **自由矢量**—除大小方向外，作用位置可以任意选定的矢量。

在本学科中，把作用在物体上的若干个力的总合称之为力系。工程中，物体一般均将受到各种不同力系的作用。一般来讲，力系可依作用线分布情况加以分类。如若构成力系的各个力的作用线位于同一平面内，则称此力系为**平面力系**，若不在同一平面内时，则称之为**空间力系**。在平面力系或空间力系中又可根据构成力系的诸力作用线的具体分布情况，将其区分为**汇交力系**、**平行力系**、**力偶系**及**任意力系**。

作用于物体上的力系若能用另一力系代替而效应不变，则这两个力系互称为**等效力系**。若一个力与一个力系等效，则这个力称为该力系的**合力**。

（二）平衡的概念

若物体相对于地球处于静止或匀速直线运动的状态时，则物体所处的状态，谓之**平衡**。平衡规律在工程技术中有广泛的应用。物体在特定的力系作用下才能保持平衡，这种力系称平衡力系。力系平衡应满足的条件称为**平衡条件**。

（三）刚体的概念

在理论力学中，把所研究的固体视为刚体。所谓刚体，就是在任何力的作用下其大小和形状不产生任何改变的物体。

实际上，宇宙中并无刚体存在，只是在工程实际中，构件的变形一般都很微小，这种微小的变形对研究物体的平衡问题

影响甚小，因此在研究物体平衡规律的静力学中，可予略去，从而把物体看成为刚体。应当指出，刚体只是把实际物体经过科学抽象而得到的理想模型，这种科学抽象可使问题的研究得以简化。

第二节 静力学公理

公理是无须论证的为人们所公认的自明的命题。静力学公理是力的性质的概括，是静力学的理论基础。

（一）二力平衡公理（公理一）

一刚体受二力作用而平衡的必要与充分条件是：此二力的

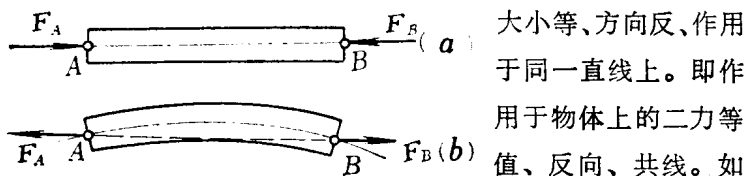


图 1-4

的形状无关。

公理一表达了最简单力系平衡时所必须满足的条件，是研究刚体平衡条件的基础。

对于刚体，上述条件是其平衡的充要条件，然而对非刚体，上述条件则仅仅是必要条件而不一定是充分条件。如柔索只有受等值、反向、共线的二拉力时可以平衡，而受等值、反向、共线的压力作用时就不能平衡。

工程中常遇到受二力作用而平衡的物体（或构件）、称为二力体或二力构件。无论构件形状如何，当其受二力作用而平衡时，必符合此公理。

(二) 加减平衡力系公理 (公理二)

在一个力系上添加或取去任何平衡力系，并不改变原力系对刚体的效应。这个公理表明，两个力系之间相差一个或几个平衡力系，它们对刚体的作用是等效的。可以相互等效代换。应当指出，这个公理是力系简化的重要依据，今后将经常使用，应予充分注意。

推论 力的可传性原理：作用于刚体的力可以沿其作用线移至刚体内任一点，不改变它对刚体的效应。

以下仅以图 1-5 所示例，证明如下：

欲把作用力 F ，沿作用线由 A 移至 B 点。在 B 点沿力 F 的作用线加以由二力构成的平衡力系，且 $F_1 = F = F'$ 。若取去平衡力系 F 、 F_1 ，则留下作用于 B 点的 F' ，应与原来作用于 A 的力 F 等效。由此可见，对于刚体，力是滑动矢量。

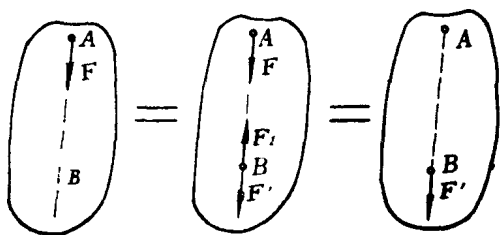


图 1-5

(三) 力的平行四边形法则 (公理三)

作用于物体同一点的两个力的合力，也作用于同一点。合力的方向和大小由这两个力矢所构成的平行四边形的共点对角线矢线所表示。如图 1-6 (a) 所示。亦可用矢量式表达为：

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

普通物理实验验证了公理三的正确性，它反映了力的方向

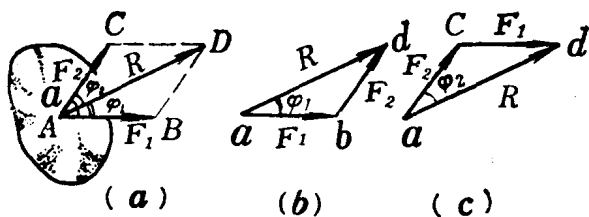


图 1-6

性的特征。此公理表明合力与分力之间的基本关系，是力系简化的基础

实际上，在求合力的大小和方向时，无需作整个平行四边形。只需作表示力的大小和方向的分力矢和合力矢所构成的力三角形，即可确定合力的大小与方向，如图 1-6 (b)、(c)。这种求合力的方法称力的三角形法则。

若求作用于同一点的一组力（汇交力系）的合力 R ，只需连续应用平行四边形法则，就可推得求汇交于一点的诸力合力的力多边形。作法是，先选一始点，由始点开始，将力系诸分力矢逐个首尾相接画出，再由始点作指向最后一个分力矢末端的封闭边矢量，即为力系的合力矢（大小和方向）。可以证明，汇交于一点诸力合成结果为一个力，作用在汇交点，其大小和方向是力系诸力的矢量和（即力多边形封闭边），即：

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \cdots + \mathbf{F}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i$$

图 1-7 表示一平面汇交力系用作力多边形法求合力的简化过程。得到合力矢 $\mathbf{R} = \vec{ac}$ ，作用点仍在 O 点。

由图知：当 $\mathbf{F}_4$ 末端 e 与始点 a 重合时，力多边形自行封闭，这时力系的合力为零，即 $\mathbf{R} = 0$ ，力系平衡（无外效应）。所以汇交力系的平衡条件是合力等于零，或力系的力多边形自