

869988

GONGCHENG LIXUE

上册

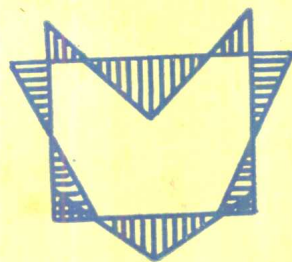
工程力学

杜白简

5(3)32

4428

1



成都科技大学出版社

工 程 力 学

(上册)

理 论 功 学

杜 白 简

成都科技大学出版社

一九八八年十二月

内 容 提 要

本教材分上、下两册。上册为理论力学部分，共十四章，包括：静力学、运动学、动力学。下册为材料力学部分，共十二章。并附有材料实验指导书。每章末都附有练习题及答案。

本书可作为大学专科教材，也可供工程技术人员参考。

工程力学 （上册）

杜白简编

成都科技大学出版社出版、发行

四川省新华书店经销

郫县印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 印张：11.4375

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

印数 1—2000 字数：247千字

ISBN·7-5616-0291-x/TB·12(课)

定价：2.70 元

前 言

大学专科教材，必须突出专科教学特点，既要有较系统的基础理论，更要着重于实际应用。

为了加强基础理论，本书着重介绍了力学模型的建立，强调受力图的作法，同时，突出矢量分析，直接用矢量分析解析力学问题；另外，对于力学的基本概念，既不搞繁杂的数学论证，又避免与中学的简单重复。

在理论联系实际方面，除了在基本理论讲述中注重以外，还将机械振动放到动态材料力学中组成弹性振动一章。另外，还专门编写试验指导书，以利自学，培养动手能力。

本书分上下两册出版，成独立体系，可以单独使用，但也注意了前后衔接。上册为理论力学，按60、70、80课时安排内容；下册为材料力学，按55、65、75课时编写。其中带*号的，适用于中等学时；带**号的，供多学时选用；不带*号的为基本内容。

例题和习题约按1:1.5的比例分配。上册选录101道例题，精选152道习题；下册选录67道例题，精选100道习题。习题都附有标准答案，学生可按教学进度、独立完成。这样做，在学生课外学习时间有限的情况下，既不搞题海战术，又可达到教学的基本要求。

教材力图创新，但系初步尝试，请读者多提意见。

编者

1988·7·

1574/02 02

目 录

绪论	(1)
----	-------

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基本概念	(3)
-------------	-------

§ 1—1 力的概念	(3)
------------	-------

§ 1—2 力的基本性质	(5)
--------------	-------

§ 1—3 力矩(力对点之矩)的概念	(12)
--------------------	--------

§ 1—4 力偶及其特性	(16)
--------------	--------

§ 1—5 力的平行移动定理	(20)
----------------	--------

练 习 题	(21)
-------	--------

第二章 受力图	(24)
---------	--------

§ 2—1 自由体, 约束体受力的概念	(24)
---------------------	--------

§ 2—2 牢固约束与约束力	(25)
----------------	--------

§ 2—3 摩擦约束力	(33)
-------------	--------

§ 2—4 用解除约束法画整个物体的受力图	(37)
-----------------------	--------

§ 2—5 用分离法画物体系的受力图	(40)
--------------------	--------

§ 2—6 用截面法, 画局部物体的受力图	(43)
-----------------------	--------

练 习 题	(46)
-------	--------

第三章 平面力系..... (49)

§3—1 力在坐标轴上的投影..... (49)

§3—2 合力投影定理..... (51)

§3—3 平面汇交力系平衡方程及其应用..... (53)

§3—4 平面力偶系平衡方程及其应用..... (56)

§3—5 平面一般力系的简化..... (57)

§3—6 平面一般力系的平衡方程..... (61)

§3—7 平面一般力系的特例, 静不定概念..... (63)

§3—8 考虑摩擦时的平衡问题解析..... (70)

* §3—9 平面铰结桁架的内力求法..... (75)

练习题 (80)

第四章 空间力系..... (81)

§4—1 力在空间坐标轴上的正投影..... (81)

§4—2 空间汇交力系的合成及平衡方程..... (85)

§4—3 空间力对轴之矩..... (90)

§4—4 空间一般力系的简化及平衡方程..... (94)

§4—5 空间力系平衡转化为平面力系平衡的
解法..... (99)

§4—6 重心, 质心, 形心 (105)

§4—7 组合图形面积重心的求法..... (108)

练习题 (113)

第二篇 运 动 学

第五章 质点 运动..... (118)

§5—1 质点运动的矢 量描述..... (119)

§5—2 直角坐标解析运动 方程..... (124)

§5—3 直角坐标解析质点的速度, 加 速度
..... (127)

§5—4 自然坐标解析质点运动方程及速度
..... (129)

§5—5 自然坐标解析质点的加 速度..... (132)

§5—6 自然坐标描述平面曲线运动的几种特
例..... (134)

练 习 题 (140)

第六章 刚体的基本 运动..... (143)

§6—1 刚体平动化为质点 运动..... (143)

§6—2 刚体绕固定轴转动的 描述..... (144)

§6—3 刚体绕固定轴转动的两种特殊 情况 (147)

§6—4 绕定轴转动刚体上各点的线 速度..... (151)

§6—5 绕定轴转动刚体上各点的线加 速度 (153)

§6—6 定轴轮系传动比 计算..... (158)

练 习 题 (163)

第七章 点的合成 运动..... (167)

§7—1	绝对运动、牵连运动和相对运动的概念.....	(168)
§7—2	点的速度合成定理.....	(170)
§7—3	牵连平动时点的加速度合成定理.....	(176)
• §7—4	牵连转动时点的加速度合成定理.....	(179)
练习題		(186)

第八章 刚体的平面运动 (191)

§8—1	刚体平面运动的概念.....	(191)
§8—2	刚体平面运动分解为平动与转动.....	(192)
§8—3	平面运动图形上各点速度的合成解法	(193)
§8—4	平面运动图形上各点速度的瞬心解法	(199)
• §8—5	平面运动图形上各点的加速度分析	(206)
练习題		(211)

第三篇 动 力 学

第九章 动力学基本方程 (216)

§9—1	动力学基本定理和基本方程.....	(216)
§9—2	质点动力学基本微分方程.....	(220)
§9—3	刚体绕定轴转动动力学基本微分方程.....	

.....	(227)
§9—4 转动惯量.....	(229)
练习題	(238)
第十章 动能定理	(242)
§10—1 力的功.....	(242)
§10—2 质点的动能定理.....	(247)
§10—3 质点系动能定理.....	(251)
§10—4 功率和功率方程.....	(256)
练习題	(263)
第十一章 动量定理*和动量矩定理	(267)
§11—1 质点的动量定理.....	(267)
§11—2 质点系动量定理.....	(270)
§11—3 质心运动定理	(276)
* §11—4 质点动量矩定理.....	(281)
* §11—5 质点系动量矩定理.....	(285)
练习題	(288)
第十二章 达朗伯原理	(292)
§12—1 质点的达朗伯原理.....	(292)
§12—2 质点系的达朗伯原理.....	(295)
§12—3 惯性力性质概述.....	(296)
§12—4 惯性力系的简化.....	(300)

绪 论

万事万物都在不停地变化，变化就是运动。分别研究各种运动的规律，就形成各种门类的自然学科和社会学科。

物体的空间位置随时间而变化，称为机械运动，它是人们日常生活和生产中最常见的一种运动。研究机械运动规律的科学称为力学。

工程中的各式各样的机械运动（简称运动），不是孤立的，总与周围其它物体相互作用而产生力，而且受力物体自身也会变形。结合工程实际寻找受力、运动、变形的规律，正是“工程力学”研究的课题。

研究工程实际中受力与运动两方面的关系，找出工程构件或机器的受力和运动规律，是理论力学的任务。侧重研究受力与变形两方面的关系，找出工程材料的变形和破坏的机理，以达到安全、经济地使用材料和生产构件、机器，是材料力学研究的内容。所以，《工程力学》按照传统包括理论力学和材料力学两部分。

在理论力学中，大多数情况都不顾及真实物体的变形，事实上这种变形也很小，从而抽象出刚体的概念。刚体就是一种不变形的物体。理论力学中提到的物体，都是刚体。

在材料力学中，真实材料受力时变形是比较复杂的，大部分变形在除去外力后能够恢复，称为弹性变形，小部分变形不能恢复，成为残余变形，称为塑性变形。在总变形不大的情况下，塑性变形可以忽略。因此材料力学研究的材料变

形都属于弹性变形。

显然，系统地学习《工程力学》，对掌握各种结构，机械设备的正常运转、维修、挖潜、革新，乃至设计制造，都是相当重要的，值得学员们重视。

应该指出，解决工程实际中的力学问题时，掌握必要的数学理论和方法，不能坐等读者学完这些数学知识后才来研究力学，要在教学中，把学习力学与掌握数学工具看成是统一任务。

第一篇 静 力 学

平衡的概念。平衡是物体运动中的一种特殊情况，是指物体对于某个参考系（例如地面）保持静止，或保持匀速直线运动状态。换句话说，物体没有加速度运动，所以又叫惯性运动。就宇宙的全局而论，尚未发现绝对静止，绝对平衡的物体。因此，静止或平衡是相对的，暂时的。例如，从局部看，地面上的房屋或水坝，坐在车箱里面的乘客，都处于相对静止或平衡状态，但从较大范围看，它们都随地球绕着太阳运动。

理论力学中的静力学，就是研究物体平衡条件的力学。

第一章 静力学基本概念

从实践中知道，有两种最基本的施力形式，产生两种最基本的力学元素——力及力偶。不论多么复杂的力学问题，都是由这两种力学元素机械组合成的。

§1—1 力的概念

力的产生 两个物体相互机械作用就产生力，静力学中涉及的作用有两类：一类是地心引力作用产生重力；另一类是物体之间相互接触作用而产生的接触力。

在地表上具有质量 m 的物体，产生重力 mg ，其方向竖直向下指向地心。各种构件在重力作用下都能以重力加速度 g 下落，或有下落趋势，因此重力属于主动力。

接触力是两个物体直接接触，产生相互吸引或排斥的力，就是常说的作用力、反作用力、阻力。因此接触力有时属主动力、有时属被动力，要看具体情况而定。

力的效应 不论是重力还是接触力，人眼是看不见的，但可以看到力作用的两种效应：外效应，沿着力作用的方向使物体的运动状态改变，产生加速度；内效应，力的作用使物体变形。

力的定义 我国古书《墨经》给力下的定义是“力，形

之所以奋也”，意思是说，力是物体运动状态改变的原因，这对刚体来说，是完全正确的。若要考虑变形，力的定义应该是：力的作用使物体运动状态改变，使物体变形。反过来说也行，物体的运动状态改变了，物体变形了，就必定有力在起作用。

力的三要素 由实践知道，力对物体作用的效应取决于三个要素：力的大小（作用的强烈程度）；力的方向（作用的指向）；力的作用点（在物体上作用的部位）。今后说已知一个力，就是指大小、方向、作用点这三个要素都知道了。要是其中某一个要素不确定，这个力就是未知力。

力的图示法 力是具有大小和方向的量，是矢量，用线段AB的长按比例

来代表力的大小，箭头表示力的方向。在矢量的始端或者末端加描黑点，表示力的作用点。矢量的延长线L称为力的作用线，如图1—1所示。在

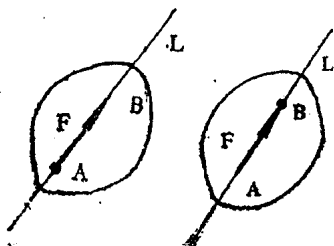


图 1—1

图上标以F表示力的名称，叫做F力或AB力。在书写时要用 $\overrightarrow{AB}$ 或黑体字F表示。

除了矢量之外，还有一种物理量，只有大小，没有方向的量称为标量。例如物体的长度L、面积A、体积V、力的大小F（ $F = |\mathbf{F}|$ ）、质量m等，按平常的办法书写（不用黑体字）。矢量运算要照顾到大小，还要照顾到方向要按几何法则运算，而标量只按代数法则运算。

力的测量 在作用点和作用方向相同的条件下，利用力

的作用的效应做成各种测力计用来测量力的大小。例如利用弹簧受力变形的内效应做成弹簧秤；利用钢环受力变形做成压力环；利用杠杆受力作用而使指针摆动的外效应做成各种测力计。

力的单位 本书主要采用国际单位(S T)制计量，如牛顿(代号N)、千牛顿(代号KN)。个别地方也采用工程单位制计量，如公斤力(代号kgf)、吨力(代号Tf)。两者的换算关系为 $1\text{ kgf}=9.8\text{ N}$ 。

§ 1—2 力的基本性质

人们在长期实践中，认识和归纳了力的几条基本性质，已为公理。应用这些简明的公理，经过必要的逻辑推理，就能分析更复杂的力学问题。

公理一 二力平衡公理 作用在同一个刚体上的两个力，平衡的必要和充分条件是，这两个力大小相等(等值)，指向相反(反向)，作用在同一条直线上(共线)

(图1—2)。

设a、b二刚体(不计变形)，各受两个等值、反向、共线的力作用，用黑体字书写为 $F_1 = -F_2$ ，

外效应相互抵消，刚体平衡。a、b二刚体无任何差别。这条

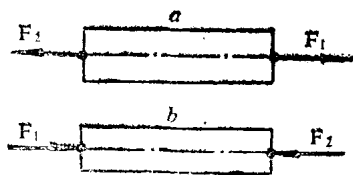


图 1—2

公理对于刚体平衡即是必要的，也是充分的。

设a、b二物体是变形体，必须考虑力作用的内效应，虽然 F_1, F_2 二力的外效应相互抵消了，变形体仍然能平衡，但是内效应却大不相同，a物受拉伸长，b物受压缩短，差别明显。因此，公理一对变形体平衡虽然是必要的，但不充分。

公理一是由物体的平衡推论出力系的平衡。最简单的平衡力系是，在同一物体上作用有等值、反向、共线的二力（ $F_1 = F_2$ ）。或者说，在平衡刚体上作用的力系，必然是平衡力系。平衡力系合力的外效应等于零，合力为零。

使用公理一，要特别注意二力是作用在同一个刚体上。例如，以细绳悬吊重物而平衡，对重物而言，受到重力 G ，绳的拉力 T 而平衡，符合公理一，必然有 $T = -G$ ，即 T 与 G 二力等值反向共线。作简单推理，重力沿绳中心线作用，重力的作用点重心必定在绳中心的延长线上。若分别在物体的A、B两点悬吊两次，两次绳中心的延长线交于C点，就是物体的重心，图1—3(a)。

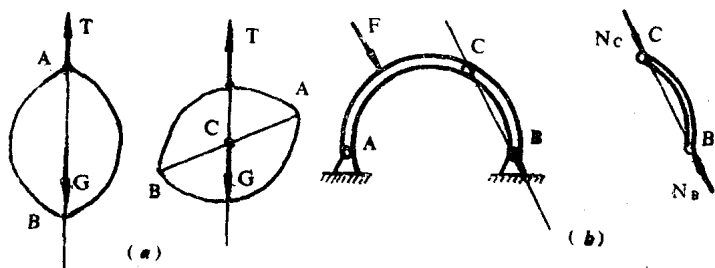


图 1—3

例如工程结构ABC，由两根弯曲刚杆组成而平衡，若构件BC的重量轻而略去，只有在B、C处有两个接触力 N_B 、 N_C ，称为二力构件，必然符合二力平衡公理， $N_B = -N_C$ ，得知二力等值、反向、共直线，图1—3(b)，就能定出这两个力的作用线。在分析复杂结构的受力时，寻出这种二力构件是非常有用的。

公理二 加减平衡力系公理 在作用于同一个刚体的原力系上，加上或者减去任意一个平衡力系后，并不改变原力系对刚体作用的外效应。

由于平衡力系的外效应是相互抵消了的，因此加入或者减去平衡力系，对于原有的外效应无丝毫影响。

推论一 力的可传性原理 作用点在刚体上的力，可以沿其作用线移至刚体上的任意点，而不会改变力对刚体作用的外效应。

容易证明：图1—4(a) 力 F 作用于A点，(b) 沿作用线的B点上加上一个平衡力系 F_1 、 F_2 ，且使 $F_1 = -F_2 = F$ ，外效应不变，(c) 再把 F_2 与 F 视为平衡力系而减

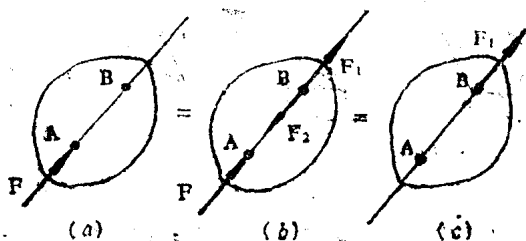


图 1—4