

865334

3321

高等学校教材

2138

理论力学

伍洪泽 贾永善 刘又文 张伟 黎立云

编 著

中南工业大学出版社

3321

2133

865334

3321
2133

高等学校教材

理论力学

伍洪泽 贾永善 刘又文 张 伟 黎立云 编著

中南工业大学出版社

内 容 提 要

本书是根据多年来的教学改革实践,参考高等学校理论力学课程教学基本要求编写而成的。与传统教材体系相比有较大变化。

本书分静力学和运动力学两篇共十二章。

本书可作为高等工科院校 100 学时左右类专业理论力学课程的教材,也可供其他学时的专业和有关技术人员参考。

高等学校教材

理 论 力 学

伍洪泽 贾永善 刘又文 张 伟 黎立云 编著

责任编辑:田荣璋

*

中南工业大学出版社出版发行

娄底地区印刷厂印装

湖南省新华书店经销

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 13.1875 字数: 308千字

1988年9月第1版 1988年9月第1次印刷

印数: 0001—6000 定价: 2.15元

*

ISBN 7-81020-169-7/C·025

序

本书是在多年来教学改革实践的基础上，结合我校机械、采矿、压力加工等专业对理论力学课程的实际需要，并参考高等工科院校理论力学课程教学基本要求编写而成。

本书与传统理论力学教材相比较，在体系上有较大变动。全书分静力学和运动力学两篇，有鲜明特色和新颖风格。

静力学中变传统教材中的“特殊到一般”为“一般到特殊”，即只讲空间一般力系的简化和由此导出的空间一般力系的平衡方程。其他力系的简化不再赘述。力系的平衡方程仅作为特例写出。应用重点放在平面一般力系的物系平衡问题上。桁架、重心作为应用实例略加说明。

运动力学则把传统教材中的“运动学”和“动力学”作有机合并。对物理课程中已学过的质点运动力学采用归纳、复习、加深方式进行阐述，简明扼要，另具新意。刚体和质点系的运动力学则作为重点内容进行研究。按题型给予较多的例题分析并注重解题方法，以利于提高学生的解题能力。

本书适当地提高了教学的起点，减少了不必要的重复，突出了重点，缩减了篇幅。多年来我们按这种体系进行教学，实践表明是可以满足教学基本要求的。由于编者水平有限，体系又作大的变化，定有不妥之处，恳请读者提出意见，不胜感激！

本书适合机械、土建、采矿、压力加工等专业100学时左右的理论力学课程使用。也可以供其他专业选用。亦可供有关

工程技术人员参考。

参加本书编写工作的有：

伍洪泽（序、第三、四、五、六、八、九章），**贾永善**（第一、二、七、十二章及第十二章习题），**刘又文**（第十、十一章及第九、十、十一章习题），**张伟**（第一、二、三、四章习题），**黎立云**（第五、六、七、八章习题）。

全书由**伍洪泽**修改定稿。**林拜松**教授对书稿进行了审阅，在此表示感谢。

编者 1988年元月

目 录

第一篇 静力学

第一章 静力学基础和物体受力分析	(2)
§ 1—1 力和刚体的概念.....	(2)
§ 1—2 静力学公理.....	(3)
§ 1—3 约束与约束反力.....	(9)
§ 1—4 受力图.....	(12)
习题.....	(15)
第二章 力矩和力偶理论	(24)
§ 2—1 力在坐标轴上的投影·合力投影定理··	(24)
§ 2—2 力对点的矩·合力矩定理.....	(29)
§ 2—3 力对轴的矩·力对点的矩和力对轴的矩 之间的关系定理.....	(33)
§ 2—4 力偶理论.....	(37)
习题.....	(45)
第三章 力系的简化和平衡	(53)
§ 3—1 力线平移定理.....	(53)
§ 3—2 力系的简化·主矢与主矩.....	(54)

§ 3—3 简化结果分析·····	(57)
§ 3—4 力系的平衡·平衡方程与应用·····	(59)
习题·····	(77)

第四章 摩擦····· (95)

§ 4—1 滑动摩擦·····	(95)
§ 4—2 有摩擦时的平衡问题·····	(96)
§ 4—3 滚动摩擦阻力的概念·····	(104)
习题·····	(106)

第二篇 运动力学

第五章 质点运动力学····· (116)

§ 5—1 质点运动学性质·····	(116)
§ 5—2 质点动力学方程·····	(126)
习题·····	(136)

第六章 刚体运动力学····· (143)

§ 6—1 刚体绕定轴转动的运动力学·····	(144)
§ 6—2 刚体平行移动的运动力学·····	(156)
§ 6—3 刚体平面运动的运动力学·····	(164)
习题·····	(184)

第七章 质点相对运动力学····· (195)

§ 7—1 质点相对运动的运动学性质·····	(195)
§ 7—2 质点相对运动的动力学方程·····	(217)

习题.....	(226)
第八章 动力学普遍定理.....	(231)
§ 8--1 动量定理.....	(233)
§ 8--2 动量矩定理.....	(243)
§ 8--3 动能定理.....	(256)
§ 8--4 碰撞问题.....	(274)
习题.....	(283)
第九章 达朗伯原理.....	(297)
§ 9--1 运动刚体惯性力系的简化.....	(297)
§ 9--2 质点系达朗伯原理.....	(302)
§ 9--3 定轴转动刚体对轴承的动反力.....	(307)
习题.....	(313)
第十章 虚位移原理.....	(320)
§ 10--1 约束分类.....	(320)
§ 10--2 虚位移原理.....	(322)
§ 10--3 势力场中的虚功方程.....	(331)
§ 10--4 广义坐标形式的虚功方程.....	(332)
习题.....	(341)
第十一章 拉格朗日方程.....	(347)
§ 11--1 动力学普遍方程.....	(347)
§ 11--2 拉格朗日方程.....	(350)
§ 11--3 拉格朗日方程的首次积分.....	(358)

习题.....	(365)
第十二章 机械振动基础	(369)
§ 12—1 振动系统力学模型.....	(369)
§ 12—2 阻尼自由振动.....	(370)
§ 12—3 阻尼受迫振动.....	(382)
§ 12—4 减振和隔振措施.....	(389)
习题.....	(389)
附录 习题答案.....	(396)

第一篇 静力学

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的科学。

力系是指作用在同一物体上的一群力。

平衡是指物体相对于地面保持静止或匀速直线运动的状态。

静力学主要研究三个问题。

1、物体的受力分析 即分析结构或构件所受到的各个力的大小、方向和作用线的位置。

2、力系的简化 即研究作用在物体上一个复杂力系用简单力系来等效替换寻求其合力的规律。

3、力系的平衡条件 即寻求物体处于平衡状态时作用其上的各种力系应满足的条件。

合力是指与某力系等效的一个力。而力系中的各力称为此合力的分力。

可以相互替换而不改变对物体作用效应的两个力系称为等效力系。

使物体处于平衡状态的力系称为平衡力系。

应该指出，静力学的中心问题是力系的平衡问题。研究力系的简化主要是为了探求力系的平衡条件。

工程上许多机器零件、构件以及工程结构的设计，必须运

用静力学的知识进行受力分析，并根据平衡条件求这些力。因此，静力学是工程设计的基础，在工程技术中有着广泛的应用。

第一章 静力学基础和物体受力分析

§ 1—1 力和刚体的概念

一 力

力是指物体间相互的机械作用。

力的效应 力使物体运动状态发生改变（外效应）或使物体发生变形（内效应）。

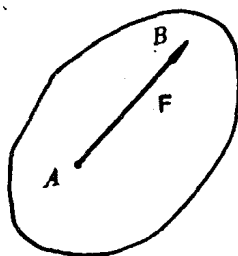


图1—1

力的表示 力的效应取决于力的大小，方向和作用点，即力的三要素。常用一带有箭头的线段表示，如图1—1所示。线段长短表示力的大小，箭头指向表示力的方向，始端A表示力

的作用点。力服从矢量加法法则，所以力是矢量，并用黑体字母 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{P}$... 表示力的矢量。而用非黑体字母 F 、 P ... 表示力的大小。

力的单位 在国际单位制中力的单位是牛顿(N)或千牛 顿(kN)。在工程单位制中力的单位是公斤力(kgf) 或 吨力(tf)。两种单位制的关系是 $1 \text{ (kgf)} = 9.8 \text{ (N)}$ 。

二 刚体

刚体是指在力的作用下不发生变形的物体。

在力的作用下，任何物体都会发生变形。但在静力学所研究的问题中，物体的变形都很微小，可以略去不计，则将物体抽象为刚体对所研究的问题没有影响。所以静力学又称刚体静力学。

§ 1—2 静力学公理

公理是指经过实践的反复检验证明其是符合客观实际的普遍规律。静力学公理有五条，它们是研究静力学问题的理论基础。

公理一（二力平衡公理） 作用于刚体上二力平衡的必要和充分条件是等值，反向，共线。如图 1—2 所示，即

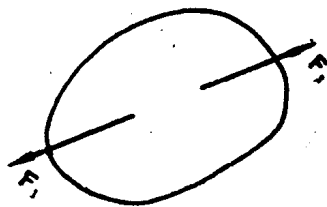


图1—2

$$\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2$$

公理一是研究力系平衡的基础。

公理二（加减平衡力系公理） 在作用于刚体上的力系中，加上或减去任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。如图 1—3 所示，其中 $\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2$ 。

公理二是研究力系简化的基础。

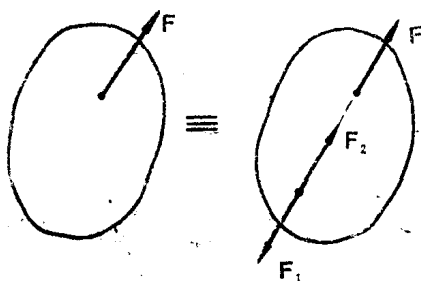


图1—3

公理三（平行四边形公理） 作用于刚体上同一点的两个力的合力仍作用在该点，合力的大小和方向是以这两个力为邻边所作的平行四边形对角线来表示。如图 1—4 (a) 所示。如以 $\mathbf{R}$ 表示 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 的合力，则

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

公理三表达了最简单情况下合力与分力间的关系，是力系

合成和分解的基础。

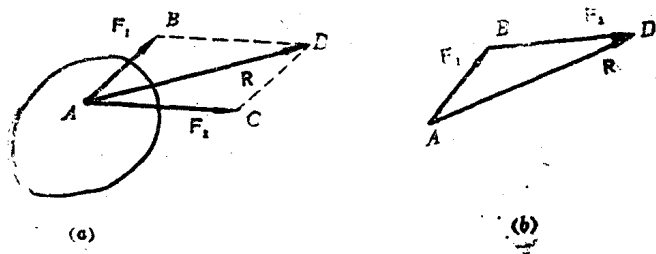


图 1—4

显然，求 R 时，只须画出平行四边形的一半就够了。即以力矢 F_1 的尾端 B 作为力矢 F_2 的首端画出 F_2 ，矢量 $\overrightarrow{AD}$ 就代表合力 R ，如图 1—4 (b) 所示。三角形 ABD 称为力三角形。这种合成法称为力三角形法则，或称为首尾相连法则。若有多个共点力，亦可连续应用力矢首尾相连求合力（见例 1—3）。

公理四（作用与反作用公理） 两个刚体间相互作用力总是等值，反向，共线，且分别作用在这两个刚体上。如图 1—5 (b) 所示，且

$$N = -N'$$

公理四揭示了两刚体间相互作用力的定量关系，它是刚体受力分析和研究由多个刚体所组成的系统（简称物系）平衡的基础。

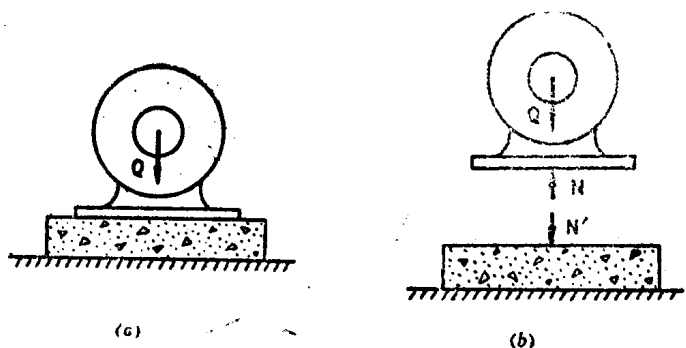


图1—5

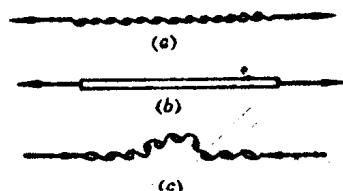


图 1—6

公理五（刚化公理） 变形体在某一力系作用下处于平衡，若将此变形体刚化为刚体则平衡状态不受影响。如图 1—6

(a) 所示绳索在两端拉力作用下处于平衡，则可将绳索刚化成刚性杆，如图 1—6 (b)，该杆仍平衡。若两端为压力，如图 1—6 (c)，则绳索不能刚化为刚体。可见刚体平衡条件只是变形体平衡的必要条件而非充分条件。

公理五是研究变形体平衡问题的基础。

例 1—1 试证明：作用于刚体上的力可沿其作用线移至刚体内任意一点，并不改变该力对刚体的作用。

证明：设力 F 作用在刚体上 A 点，如图1—7 (a)。根据公理二，在该力作用线上的 B 点加上 F_1 与 F_2 ，并使 $F_1 = -F_2 = F$ ，如图1—7 (b)。然后又减去 F_2 与 F ，余下力 F_1 ，如图1—7 (c)。显然这三种情况等效，但力的作用点已由点 A 移到了点 B ，这就是所证明的。这个结论又称为力的可传性原理。这一原理说明了力对刚体的效应与力在其作用线上的位置无关。所以力是滑移矢量。

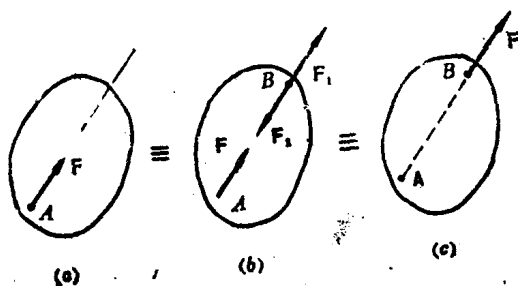


图 1—7

例 1—2 试证明：刚体受三个力作用且平衡，若其中两个力的作用线相交，则该三个力必共面，且第三个力的作用线通过汇交点。

证明：设力 F_1, F_2, F_3 作用在刚体的 A, B, C 三点上且平衡，如图1—8。根据力的可传性，将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O 。又由公理三得合力 $R_{12} = F_1 + F_2$ 。根据公理一， $R_{12} = -F_3$ ，即 F_3 的作用线必通过 O 点且与力 F_1 和 F_2 共面，这就是所证明的。这个结论又称为三力平衡汇交定理。

例 1—3 位于同一平面内且交于点 O 的四个力的大小分别为 $F_1 = 40\text{N}$ ， $F_2 = 50\text{N}$ ， $F_3 = 60\text{N}$ ， $F_4 = 20\text{N}$ ，方向如图

1—9 (a) 所示, 求合力。

解 选力比例尺: 以 1 厘米代表 20N。任选一点 O , 根据公理三中所述力三角形法则或力矢首尾相连法则, 自 O 点作矢量 $\vec{OA} = F_1$, 从 A 点作 $\vec{AB} = F_2$, 从 B 点作 $\vec{BC} = F_3$, 从 C 点作 $\vec{CD} = F_4$, 连接 OD , 便得合力 $R = \vec{OD}$, 如图 1—9 (b)。量得合力 $R = 66\text{N}$, 与水平线夹角 $\alpha = 41^\circ$, 作用点仍在刚体上的 O 点。

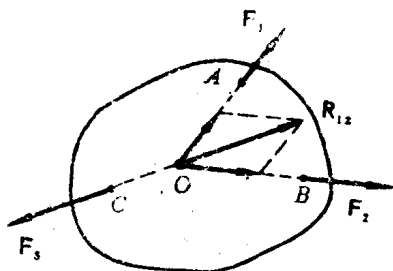
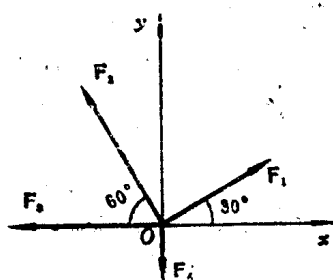
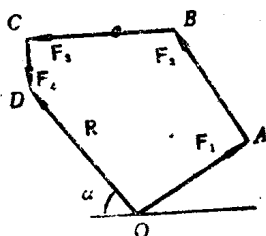


图 1—8



(a)



(b)

图 1—9

多边形 $OABCD$ 称为力多边形, OD 为力多边形的封闭边。读者自行证明封闭边 OD 的大小和方向与各力矢排列的顺