

793286

3321

266

理论力学

程 畏 编
王 铎 审

四川科学技术出版社

责任编辑：王 晓

封面设计：李文金

技术设计：崔泽海

理 论 力 学

程 畏 编 王 铎 审

四川科学技术出版社出版

(成都盐道街三号)

四川省新华书店发行

宜宾地区印刷厂排版

资 中 县 印 刷 厂 印 刷

统一书号：7298·213

1986年7月第一版 开本850×1168 1/32

1986年7月第一次印刷 字数400千

印数1—3,000册 印张15.5

定价：3.10元

编 者 说 明

本书可作为高等工业专科学校、职业大学、职工大学大专三年制机械或土建等专业 90~100 学时理论力学课程的教学用书，也可作为本科函授生、电大学生的试用教材，或供其它专业和有关工程技术人员参考。

根据地方大学、职业大学要培养应用型人才，注重能力培养的特色，在本书编著过程中，本着精讲多练的原则，注意理论简明清晰，主线条突出，并联系实际，着重于工程应用，习题类型多样、灵活，各章都附加了思考题，书末给出了答案。

本书第一章至第十七章由哈尔滨工业大学王铎教授审阅，第十八章和第十九章由沈阳大学副校长魏泽明审阅，全书由王铎教授主审。参加审稿的同志对本书提出了许多宝贵意见，对此，编者表示衷心的感谢。

书中凡标有*号的部分系选择内容，可根据教学的实际需要确定取舍。

编 者

一九八六年三月于鞍山大学

序

至今国内出版的理论力学教科书已经很多，但专供大学专科及各类职工大学使用的并不多，这些学校只好在一般教材中删去一部分以适应其教学需要。由于任何一本教科书都是一个整体，编者在编排、习题选择及内容深广度等方面都有统一的、针对性的考虑，因此采用删去本科教科书中的一部分来适应专科教学的方法并不很好。

本书则解决了上述问题，没有搞多、全、深。其内容包括了大学专科尤其是各类职工大学机械、电机、动力类理论力学教学大纲要求的内容，自成体系。该书内容编排较为合理，习题难易适中，书中的思考题也有助于加深学生对基本概念的理解。

本书特别适于作各类职工大学、大学专科及成人教育的理论力学教材。

由于这类教材尚不很多，如何使之编排的更好，需要读者多提意见。

王 铎

一九八六年三月

目 录

绪论

第一篇 静力学

第一章 静力学基础

- § 1—1 静力学基本概念..... (1)
- § 1—2 静力学公理..... (3)
- § 1—3 约束和约束反力..... (6)
- § 1—4 受力分析与受力图..... (10)
- 思考题·习题..... (16)

第二章 平面汇交力系

- § 2—1 平面汇交力系的合成与平衡——几何法..... (24)
- § 2—2 平面汇交力系的合成与平衡——解析法..... (29)
- 思考题·习题..... (37)

第三章 力矩和平面力偶理论

- § 3—1 力矩的概念与计算..... (42)
- § 3—2 平面力偶理论..... (47)
- 思考题·习题..... (55)

第四章 平面任意力系

- § 4—1 力线平移定理..... (61)
- § 4—2 平面任意力系向作用面内一点简化·主矢和
主矩..... (63)
- § 4—3 简化结果的分析·合力矩定理..... (66)
- § 4—4 平面任意力系的平衡条件与平衡方程..... (70)
- § 4—5 平面平行力系的平衡方程..... (75)

§ 4—6 物体系统的平衡·静定和超静定问题的概念	(77)
---------------------------	--------

§ 4—7 平面简单静定桁架的内力计算	(85)
---------------------	--------

思考题·习题	(90)
--------	--------

第五章 摩擦

§ 5—1 滑动摩擦	(102)
------------	---------

§ 5—2 摩擦角和自锁现象	(104)
----------------	---------

§ 5—3 考虑摩擦时物体的平衡问题	(106)
--------------------	---------

§ 5—4 滚动摩擦的概念	(113)
---------------	---------

思考题·习题	(116)
--------	---------

第六章 空间力系

§ 6—1 空间汇交力系	(126)
--------------	---------

§ 6—2 空间力偶理论	(132)
--------------	---------

§ 6—3 力对轴的矩和力对点的矩	(135)
-------------------	---------

§ 6—4 空间任意力系向一点简化·主矢和主矩	(140)
-------------------------	---------

§ 6—5 空间任意力系简化结果的讨论	(143)
---------------------	---------

§ 6—6 空间任意力系的平衡方程	(145)
-------------------	---------

思考题·习题	(153)
--------	---------

第七章 重心

§ 7—1 平行力系中心	(161)
--------------	---------

§ 7—2 重心和形心	(163)
-------------	---------

§ 7—3 匀质物体重心位置的求法	(166)
-------------------	---------

思考题·习题	(171)
--------	---------

第二篇 运动学

第八章 点的运动

§ 8—1 点的运动方程	(174)
--------------	---------

§ 8—2 点的速度和加速度	(178)
----------------	---------

§ 8—3 求点的速度和加速度的直角坐标法	(179)
-----------------------	---------

§ 8—4 求点的速度和加速度的自然法	(181)
---------------------------	---------

思考题·习题	(188)
--------------	---------

第九章 刚体的基本运动

§ 9—1 刚体的平行移动	(194)
---------------------	---------

§ 9—2 刚体绕定轴的转动	(196)
----------------------	---------

§ 9—3 转动刚体内各点的速度和加速度	(199)
----------------------------	---------

§ 9—4 定轴轮系传动比	(201)
---------------------	---------

§ 9—5 以矢量表示角速度和角加速度·以矢积表示 点的速度和加速度	(205)
---	---------

思考题·习题	(208)
--------------	---------

第十章 点的复合运动

§ 10—1 点的绝对运动、相对运动和牵连运动	(213)
-------------------------------	---------

§ 10—2 点的速度合成定理	(215)
-----------------------	---------

§ 10—3 牵连运动是平动时点的加速度合成定理	(220)
--------------------------------	---------

§ 10—4 牵连运动是转动时点的加速度合成定理· 科氏加速度	(224)
--	---------

思考题·习题	(232)
--------------	---------

第十一章 刚体的平面运动

§ 11—1 刚体平面运动的概念及其分解	(241)
----------------------------	---------

§ 11—2 平面图形上各点的速度	(244)
-------------------------	---------

§ 11—3 平面图形上各点的加速度	(255)
--------------------------	---------

§ 11—4 刚体绕平行轴转动的合成	(260)
--------------------------	---------

思考题·习题	(264)
--------------	---------

第三篇 动力学

第十二章 质点运动微分方程

§ 12—1 动力学基本定律	(276)
----------------------	---------

§ 12—2 质点的运动微分方程	(280)
------------------------	---------

§ 12—3 质点动力学的两类基本问题	(281)
---------------------------	---------

思考题·习题	(290)
第十三章 质点沿直线的振动	
§ 13—1 引言	(296)
§ 13—2 质点的自由振动	(298)
§ 13—3 质点的衰减振动	(304)
§ 13—4 质点的强迫振动	(309)
思考题·习题	(315)
第十四章 动量定理	
§ 14—1 质点动量定理	(319)
§ 14—2 质点系的动量定理	(323)
§ 14—3 质心运动定理	(328)
§ 14—4 流体在管内流动时产生的动压力	(333)
思考题·习题	(337)
第十五章 动量矩定理	
§ 15—1 质点的动量矩定理	(343)
§ 15—2 质点系的动量矩定理	(346)
§ 15—3 刚体绕定轴转动微分方程	(350)
§ 15—4 刚体对轴的转动惯量	(352)
* § 15—5 质点系相对于质心的动量矩定理	(359)
§ 15—6 刚体平面运动微分方程	(362)
思考题·习题	(366)
第十六章 动能定理	
§ 16—1 力的功	(374)
§ 16—2 质点的动能定理	(380)
§ 16—3 质点系的动能定理	(384)
§ 16—4 功率 功率方程 机械效率	(392)
§ 16—5 势能 机械能守恒定律	(395)
§ 16—6 质点系普遍定理综合应用举例	(399)
思考题·习题	(403)

综合问题习题	(410)
--------------	---------

第十七章 碰撞

§ 17—1 碰撞现象·碰撞冲量·冲量方程.....	(414)
----------------------------	---------

§ 17—2 两物体对心正碰撞.....	(415)
----------------------	---------

§ 17—3 两物体对心正碰撞时动能的损失.....	(418)
----------------------------	---------

§ 17—4 碰撞时质点系的动量与动量矩的改变.....	(420)
------------------------------	---------

§ 17—5 撞击中心.....	(422)
------------------	---------

思考题·习题	(423)
--------------	---------

第十八章 达朗伯原理

§ 18—1 惯性力.....	(427)
-----------------	---------

§ 18—2 达朗伯原理.....	(428)
-------------------	---------

§ 18—3 刚体中惯性力系的简化.....	(434)
------------------------	---------

§ 18—4 定轴转动刚体的动反力.....	(443)
------------------------	---------

思考题·习题	(446)
--------------	---------

第十九章 虚位移原理

§ 19—1 约束的分类.....	(453)
-------------------	---------

§ 19—2 虚位移.....	(455)
-----------------	---------

§ 19—3 虚位移原理.....	(457)
-------------------	---------

思考题·习题	(464)
--------------	---------

习题答案	(468)
------------	---------

第一篇 静力学

第一章 静力学基础

§ 1—1 静力学基本概念

（一）平衡的概念

在工程实际中，平衡是指物体相对地球静止或作匀速直线运动。如桥梁，机床的床身和主轴，作匀速直线飞行的飞机等等，都处于平衡状态。

（二）刚体的概念

所谓刚体是指受任何外力后大小和形状始终不变的物体，这是一个理想化的力学模型。实践表明，任何物体受力时多少总要产生一些变形。但是，实际工程中许多物体变形都非常微小，例如一般机械中的轴，其允许的最大挠度都在轴承间距的万分之五以下，最大扭转角每米轴长不超过 $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 。在许多情况下，这样的微小变形对物体的机械运动影响甚微，可以忽略不计，从而使问题的研究得以简化，这样就将实际物体抽象简化为理想的力学模型——刚体。

我们在静力学中所研究的物体只限于刚体，所以又称**刚体静力学**。

(三) 力的概念

通过长期的生产实践和科学实验，人们建立起力的概念，即：力是物体之间的相互机械作用。

力对物体的作用将产生两种效应：一是受力物体产生运动状态的改变，称为力的运动效应，或外效应；二是受力物体产生变形，称为力的变形效应，或内效应。若将物体看成刚体，就意味着不考虑力的内效应。理论力学主要研究力的外效应。

力对物体的效应取决于以下三个要素：

(1) 力的大小：指物体间相互作用的强弱程度。本书采用国际单位制。力的单位为牛顿，简写牛(N)；或千牛(kN)；在工程单位制中，力的单位为公斤(kg)。换算关系为 $1\text{kg} = 9.8\text{N}$ 。

(2) 力的方向：通常包含其作用线的方位和指向两个涵义。例如重力方向“铅垂向下”，“铅垂”是方位，“向下”是指向。

(3) 力的作用点：指力对物体的作用位置，实际上不是一个点而是一块面积或一块体积；当作用面积或体积很小时可近似看作一点，称为力的作用点，而此力称**集中力**。

力是矢量，本书中用箭头（图中用黑体字母）标记矢量。矢量的大小称它的模，用时应以普通字母去箭头表示。

力的三要素可用一带箭头的有向线段来表示，如图 1—1。

$\overrightarrow{AB}$ 线段的长度 AB 按一定比例尺表示力的大小；线段的方位(θ 角)和箭头的指向表示力的方向；线段的起点表示力的作用点。通过作用点沿力的方向画出的直线 KL 称**力的作用线**。

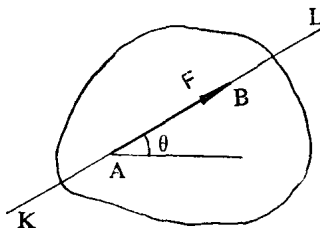


图 1—1

此外，还应提到如下的概念：

作用在物体上的一群力，称为**力系**。

使物体处于平衡状态的力系，称为**平衡力系**。作用效果相等的力系，称为**等效力系**。

与力系等效的一个力叫此力系的**合力**。

静力学研究的基本问题：1) 力系的简化；2) 力系的平衡。

§ 1—2 静力学公理

人们通过长期的观察和实验，根据大量的客观事实，对力的基本性质进行了概括和总结，得出了静力学公理。这些公理是静力学的基本规律，是力系的简化和平衡理论的依据。

公理一（二力平衡公理）

作用于同一刚体上的两个力，使刚体平衡的必要和充分条件是，这两个力大小相等，方向相反，作用在同一直线上。

公理一阐明了作用于刚体上的最简单力系的平衡条件。它是推证平衡条件的基础。必须注意，这里说的是刚体的平衡，对于变形体来说，以上所述只是必要条件，而不是充分条件。例如，软绳的两端若受到一对大小相等、方向相反的拉力就可以平衡，但若是压力，软绳将蜷曲而不能平衡。

推论：只受两个力作用并处于平衡的物体称为二力体（二力杆）。根据公理一，能够立刻确定这两个力的方位：必定沿两力作用点的连线，如图 1—2。

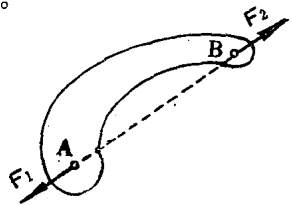


图 1—2

公理二（加减平衡力系公理）

在作用于刚体的任意力系中，加上或去掉任何一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

这个公理对研究力系的简化问题很重要。

推论1 (力的可传性原理)

作用于刚体上的力可沿其作用线移至刚体的任一点，而不改变此力对刚体的效应。

证明：设有力 $\vec{F}$ 作用在刚体上的点 A ，如图1—3(a)。根据加减平衡力系原理，可在力的作用线上任取一点 B ，并加上两个相互平衡的力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ ，使 $\vec{F} = \vec{F}_2 = -\vec{F}_1$ ，如图1—3(b)。由于力 $\vec{F}$ 和 $\vec{F}_1$ 也是一个平衡力系，故可除去；这样只剩下一个力 $\vec{F}_2$ ，如图1—3(c)所示。于是原来的这个力 $\vec{F}$ 与力系 $(\vec{F}, \vec{F}_1, \vec{F}_2)$ 以及力 $\vec{F}_2$ 互等。而力 $\vec{F}_2$ 就是原来的力 $\vec{F}$ ，只是作用点已沿作用线移动到了点 B 。

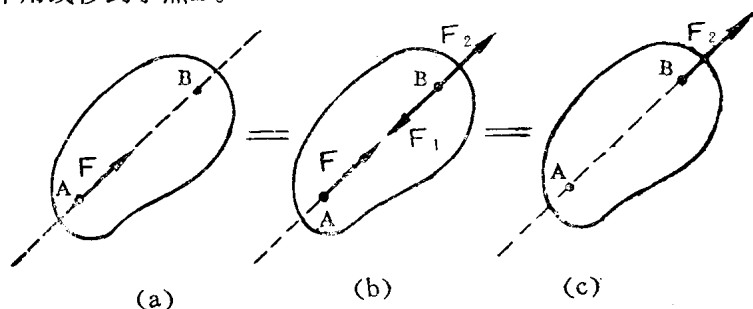


图 1—3

由此可见，对于刚体来说，力的作用点不是决定力的作用效果的要素，它已为作用线所代替。因此，作用于刚体上的力的三要素是：力的大小、方向和作用线。作用于刚体上的力矢可沿作用线移动，这种矢量称为滑动矢量。

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力，合力也作用于该点，合力的大小和方向由以两分力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

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

图 1—4 所示, 力的平行四边形法则是力系简化的基础。

推论 (三力平衡汇交定理)

作用于刚体上三个相互平衡的力, 若其中两个力的作用线汇交于一点, 则此三力必在同一平面内, 且第三个力的作用线通过汇交点。

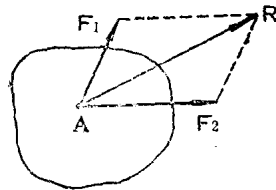


图 1—4

证明: 图 1—5 所示, 在刚体的 A 、 B 、 C 三点上, 分别作用三个相互平衡的力 $\vec{F}_1$ 、 $\vec{F}_2$ 、 $\vec{F}_3$ 。根据力的可传性, 将力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 移到汇交点 O , 然后根据力的平行四边形规则, 得合力 $\vec{R}_{12}$ 。则力 $\vec{F}_3$ 应与 $\vec{R}_{12}$ 平衡。由于两个力平衡必须共线, 所以力 $\vec{F}_3$ 必定与力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 共面, 且通过力 $\vec{F}_1$ 与 $\vec{F}_2$ 的交点 O 。于是定理得证。

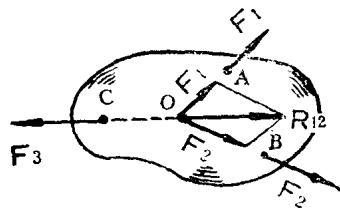


图 1—5

公理四 (作用与反作用定律)

两物体间的作用力和反作用力, 总是大小相等, 方向相反, 沿同一直线并分别作用在这两个物体上。

公理四指出, 力总是成对出现的, 有作用力必有一反作用力, 但分别作用在两个不同物体上, 因此不是一对平衡力。

公理五 (刚化原理)

若变形体在某个力系作用下处于平衡状态, 则将此物体刚化为刚体时, 其平衡不受影响。

公理五提供了把变形体抽象成刚体模型的条件, 刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件, 而非充分条件。关于这一点, 前面已就二力平衡的简单情形以软绳平衡为例作了说明。

§ 1—3 约束和约束反力

工程中大多数物体，一般都受到其它物体的阻碍限制，而不能自由运动，称非自由体。例如在钢轨上行驶的火车，安装在轴承中的电机转子等等，都是非自由体。限制物体运动的条件（一般指周围阻碍物）称为**约束**。在上述例子中，钢轨是对火车的约束，轴承是对电机转子的约束，等等。约束作用在被约束物体（非自由体）上的力称为**约束反力**，它作用在物体与约束接触的表面，其方向与约束类型有关。

下面介绍几种在工程实际中常见的约束类型和确定约束反力的方法。

1. **柔体约束（包括绳索、链条、胶带等）** 柔体只能承受拉力（张力），而不能抵抗压力和弯曲。约束反力 $\vec{T}$ 的方向沿柔索离开被约束的物体，如图 1—6 所示。

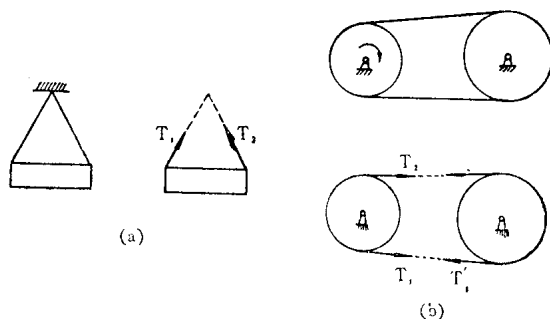


图 1—6

2. **光滑接触面约束** 例如，支持物体的固定平面或轨道对车轮的约束；啮合齿轮的齿面；机床中的导轨等。当接触处的摩擦力很小可以略去不计时，就是光滑接触面约束。这种约束不管光滑

接触面的形状如何，它都只能限制物体沿着光滑面的公法线而指向光滑面的运动，而不能限制沿表面切线的位移。因此，光滑面的约束反力沿接触处的公法线方向并指向被约束的物体，即为压力，用 $\vec{N}$ 表示，如图1—7，图1—8所示。

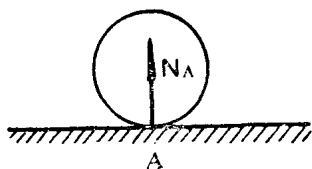


图 1—7

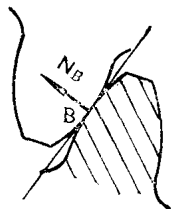


图 1—8

在桥梁、屋架和其它工程结构上经常采用滚动支座。图1—9(a)为桥梁上采用的滚动支座，这种支座中有几个圆柱形滚子，可以沿固定面滚动，以便当温度变化而引起桥梁跨度伸长或缩短时，允许两支座间的距离有微小的变化。显然，这种滚动支座的约束性质与光滑接触表面相同，其约束反力必垂直于固定面。用图1—9(b)的简图来表示滚动支座，用 $\vec{N}_D$ 表示滚动支座D的法向反力，或用图1—9(c)的简图来表示。

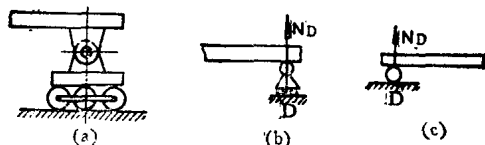


图 1—9

3. 光滑圆柱形铰链约束 圆柱形铰链简称铰链。例如，门窗上的合页、机器上的轴承、活塞销等等。理想的圆柱铰链由一个

圆柱形销钉插入两个物体的圆孔中构成，如图 1—10(a)、(b)，且认为销钉与圆孔的表面都是完全光滑的。圆柱铰链的简图见图 1—10(c)。此类约束的特点是只能限制沿径向的相对移动，不能限制沿轴向的相对位移及相对转动。约束反力 $\vec{R}$ 的作用线方位在垂直转轴的平面内并通过铰链中心，其方位和指向未定。在平面问题中，一般用两个大小未知的正交分力 $\vec{X}$ 、 $\vec{Y}$ 表示。图 1—10(d)：当物体相对于另一物体有运动趋势时，销钉与孔壁便在某处接触（见图 1—10(d)中的D点），由于接触处一般不能预先知道，又因接触处是光滑的，所以约束反力作用于接触点，垂直于销钉轴线，并过销心，而方向未定。可用 R_c 表示（图 1—10(e)，也可用两个互相垂直的分力 $\vec{X}_c$ 和 $\vec{Y}_c$ 来表示（见图 1—10(f)）。

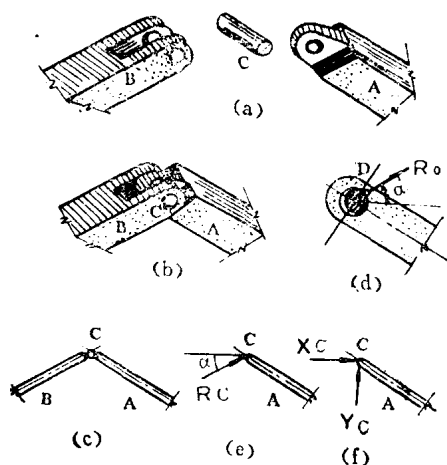


图 1—10

工程上常见的以铰链约束构成的支座有**辊轴支座**和**铰支座**。
 辊轴支座即前面介绍过的滚动支座(光滑面约束)，下面介绍铰支座（固定铰支座）。

用光滑圆柱销把结构物或构件与底座连接，并把底座固定在