

高等纺织院校教材

LI LUN LI XUE

理论力学

纺织工业出版社

高等纺织院校教材

理论力学

王惠予 项靖安 胡允祥 等编

纺织工业出版社

$\lambda =$
3N

$-\frac{P}{Qr}$

$v =$

) L

i ω

M

14-

1-8

(京) 新登字037号

内 容 提 要

本书根据国家教委力学课程教学委员会制订的高等工业学校《理论力学课程教学基本要求》(中学时类型)而编写,全书分三篇:静力学、运动学和动力学。在内容上提高了起点,例如在汇交力系、点的运动学和质点动力学等部分作了较大精简,并注重培养学生分析问题和解决实际问题的能力。本书引进了电算。每章附有习题,书末附有习题答案。

本书可作为高等学校工科中学时各专业的教学用书,也可供工程技术人员参考。

责任编辑:王 颖

高等纺织院校教材

理 论 力 学

王惠予 项靖安 胡允祥 等编

纺织工业出版社出版发行

(北京东直门南大街4号)

纺织工业出版社印刷厂印刷

各地新华书店经售

850×1168毫米 1/32 印张, 13字数, 337千字

1993年6月第一版第一次印刷

印数: 1—1500 定价: 5.95元

ISBN 7-5064-0827-9/TH·0004 (课)

前 言

理论力学是一门系统性强、理论性严密，且与生产实践紧密联系的学科。在教材编写过程中着重考虑了理论的系统性和正确贯彻理论联系实际的原则。着重基础理论、基本方法的理解，着重理论的应用和解题方法的训练，使学生能运用力学知识对一般工程技术中的力学问题进行科学抽象、理论分析及计算。

根据当前学生入学水平的提高以及大学高等数学和普通物理的教学情况，本书适当提高了教学的起点，避免了不必要的重复。例如在汇交力系、点的运动学和质点动力学等部分作了较大的精简，并删去了重心的内容。

本书在阐明力学的基本概念和基本理论的基础上，特别强调力学的分析方法，例如物体的受力分析和运动分析的方法，正确画出物体的受力图等。以往学生反映理论力学的理论不难懂，但解题困难。根据编者的教学经验，其原因一方面在于学生未能深入理解力学的基本概念和理论；另一方面是没有熟练掌握力学的分析方法。为此，在本书的各例题中，首先按题意要求，分析解题思路，根据解题思路提出解题的方法和步骤，从而使学生在运用力学理论求解力学问题方面得到严格的训练。

为了适应力学在近代工程技术中应用的需要，本书引进了电算。把电算作为一种计算的手段，在需要的场合下使用，例如解线性代数方程组、超越方程、二阶非线性微分方程以及机构的运动分析、动力分析等方面。

本书中凡标有*号的部分系非基本部分，可根据教学的实际需要确定取舍。

本书由中国纺织大学理论力学教研室王惠予编写第一、二、三章

和第十四章的部分内容，项靖安编写第五、七章，顾永校编写第四章和第十四章的部分内容，王道云编写第六章，胡允祥编写第八、十二和十三章，叶兴华编写第九、十和十一章，王惠予负责全书统稿，项靖安协助工作。习题答案由陈亲民校核。

本书经纺织高等院校基础学科教育委员会力学教材评审组于1990年3月评审通过。

本书承上海交通大学吴镇教授及天津纺织工学院汪群教授审阅，提出不少宝贵意见。在编写和试用过程中，还得到不少兄弟院校老师的支持和帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平所限，书中还会存在错误和缺点，恳切希望读者批评指正。

编者

1990年12月

目 录

绪论	(1)
----	-----

第一篇 静力学

引言	(3)
第一章 静力学的基本概念和物体的受力分析	(5)
第一节 力的概念及其基本性质	(5)
第二节 约束和约束反力	(7)
第三节 受力分析和受力图	(11)
习题	(15)
第二章 汇交力系	(17)
第一节 汇交力系合成与平衡的几何法	(17)
第二节 三力平衡汇交定理	(18)
第三节 力在坐标轴上的投影	(20)
第四节 汇交力系合成与平衡的解析法	(22)
习题	(28)
第三章 平面一般力系	(31)
第一节 平面问题中的力对点之矩	(31)
第二节 力偶与平面力偶系	(34)
第三节 平面一般力系的合成与简化	(38)
第四节 平面一般力系的平衡方程	(42)
第五节 平面平行力系的平衡方程	(48)
第六节 物体系统的平衡	(49)
第七节 滑动摩擦	(56)
第八节 滚动摩擦阻力的概念	(66)

习题	(69)
第四章 空间一般力系	(82)
第一节 力矩	(82)
第二节 空间力偶系	(87)
第三节 空间一般力系的简化	(88)
第四节 空间一般力系的平衡方程	(90)
习题	(101)

第二篇 运动学

引言	(107)
第五章 点的运动学	(109)
第一节 动点位置的确定和点的运动方程	(109)
第二节 点的速度和加速度	(110)
第三节 点的速度和加速度的直角坐标表示法	(112)
第四节 点的速度和加速度的自然表示法	(117)
习题	(125)
第六章 刚体运动学	(128)
第一节 刚体的平行移动	(128)
第二节 刚体绕固定轴的转动	(133)
第三节 用矢量表示角速度和角加速度	(139)
第四节 刚体平面运动的概述和运动的分解	(141)
第五节 平面图形上各点速度分析的合成法	(145)
第六节 平面图形上各点速度分析的速度瞬心法	(148)
第七节 平面图形上各点的加速度分析	(156)
习题	(163)
第七章 点的合成运动	(174)
第一节 点的合成运动	(174)
第二节 点的速度合成定理	(176)
第三节 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	(180)

第四节 牵连运动为转动时点的加速度合成定理.....	(186)
习题.....	(197)

第三篇 动力学

引言.....	(208)
第八章 质点动力学的基本方程.....	(210)
第一节 动力学基本定律.....	(210)
第二节 牛顿定律的应用和质点运动微分方程.....	(212)
• 第三节 质点相对运动动力学的基本方程.....	(221)
习题.....	(224)
第九章 动量定理.....	(227)
第一节 动量定理.....	(227)
第二节 质心运动定理.....	(233)
• 第三节 碰撞.....	(237)
习题.....	(240)
第十章 动量矩定理.....	(246)
第一节 动量矩定理.....	(246)
第二节 刚体定轴转动的动力学方程.....	(252)
第三节 转动惯量.....	(257)
• 第四节 质点系相对于质心的动量矩定理.....	(263)
• 第五节 刚体平面运动的动力学方程.....	(265)
• 第六节 碰撞时质点系动量矩的变化和撞击中心.....	(268)
习题.....	(271)
第十一章 动能定理.....	(279)
第一节 力的功.....	(279)
第二节 质点的动能定理.....	(283)
第三节 质点系的动能定理.....	(285)
第四节 势能和机械能守恒定律.....	(294)
第五节 动力学普遍定理的综合应用.....	(298)

习题	(302)
第十二章 达朗伯原理	(311)
第一节 质点的达朗伯原理	(311)
第二节 质点系的达朗伯原理	(313)
第三节 刚体惯性力系的简化	(317)
* 第四节 转动刚体对轴承的动压力以及静平衡和动平衡	(332)
习题	(336)
第十三章 振动基础	(344)
第一节 自由振动	(344)
第二节 阻尼对于自由振动的影响	(356)
第三节 强迫振动和共振	(360)
第四节 阻尼对于强迫振动的影响	(368)
习题	(372)
第十四章 虚位移原理	(377)
第一节 虚位移和虚功	(377)
第二节 虚位移原理	(380)
* 第三节 保守力系的平衡条件	(390)
习题	(391)
附录 求解线性代数方程组的子程序 (高斯消去法)	(398)
习题答案	(400)

绪 论

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门科学。

物体在空间的位置随时间而改变的现象称作机械运动，它是宇宙中物质运动的一种最简单的形式。机械运动在自然界和工程技术中最常见，无论是机器的运动、飞机的飞行、舰船的航行，或是日月星辰在天空的运行等都是机械运动。因为物体的平衡状态是机械运动的一种特殊情况，所以在理论力学中也研究物体的平衡规律。在现代工程技术的各个领域里，都普遍存在着大量的力学问题，学习理论力学的目的在于掌握机械运动的规律，并能运用这些规律去解决工程技术中有关的力学问题。

理论力学的内容可分为三部分：(1) 静力学：研究物体的平衡规律。(2) 运动学：研究物体运动的几何性质。(3) 动力学：研究物体的运动与作用在物体上的力之间的关系。

理论力学研究的内容是以伽利略和牛顿所建立的基本定律为基础的，一般称为古典力学或牛顿力学。由于近代物理学的发展，产生了相对论力学和量子力学。相对论力学揭示了物质与时间、空间的联系以及质量与能量的联系；量子力学揭示了微观粒子的运动规律。因此古典力学的应用范围是有局限性的，它不适用于速度接近光速的物体的运动，也不适用于微观粒子的运动。对于一般的工程技术问题，由于物体是宏观的，而且其运动速度远远小于光速，因此古典力学并未失去其重要意义。对于一般工程技术中的力学问题，应用古典力学来解决，其结果已足够精确。

理论力学的发展与生产技术的发展有密切联系。生产实践经常向力学提出各种问题，这些问题的解决，不仅促进了生产，同时也推动了力学的发展。

由于理论力学是现代工程技术的基础，所以它是工科院校各类专业教学计划中一门重要的技术基础课。它为学习材料力学、机械原理、机械零件、流体力学、振动学以及有关的专业课程提供重要的基础理论。

此外，理论力学的学习还有助于培养辩证唯物主义的世界观，提高分析问题和解决问题的能力，使学生在在学习理论力学的过程中逐步形成正确的逻辑思维，对待实际问题具有抽象、简化和正确地进行理论分析和计算的能力，为今后解决工程技术问题，从事科学研究工作打下基础。

第一篇 静力学

引言

静力学研究物体的平衡规律。物体的平衡是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动。

静力学中所采用的力学模型是刚体。刚体是指在力的作用下不变形的物体。实际上任何物体受力后都会变形，但许多物体，例如结构物的构件或机器的零件，受力后的变形非常小，不影响研究物体的运动或平衡规律，可将它忽略，即将物体抽象为刚体，这样可使问题的研究大为简化，得出的结论也具有普遍意义。

由于静力学的研究对象是刚体，所以静力学又称为刚体静力学。以后文中的“物体”都指刚体。

作用在刚体上的一组力称为力系。一个力系作用于刚体而不改变其运动状态，则该力系称为平衡力系。如果一个力系能用另一个力系代替，而对刚体能产生同样的效应，则此两力系等效。若一个力和一个力系等效，则这个力称为这个力系的合力。一个力系必须满足某些条件才能成为平衡力系，这些条件称为平衡条件。研究刚体的平衡问题，实际上就是研究作用于刚体上的力系的平衡条件及其应用。

在研究力系的平衡条件时，总是先把力系合成或简化，即用一个与原力系等效的但比较简单的力系代替原力系，这样将很容易地得出力系的平衡条件，所以静力学研究力系的合成（或者简化）及力系的

平衡两个问题。

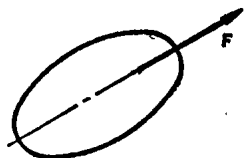
静力学在工程技术中有广泛的应用。设计工程结构的构件时，首先必须对其进行受力分析和计算，在分析计算时，要应用力系的平衡条件。计算的结果是构件强度和刚度计算的依据。

第一章 静力学的基本概念和 物体的受力分析

第一节 力的概念及其基本性质

力是物体之间相互的机械作用，这种作用的效应是使物体的机械运动状态发生变化，或者使物体发生变形。力使物体的运动状态改变的效应称为力的外效应，而使物体发生变形的效应称为力的内效应。在理论力学中，只研究力的外效应。下面介绍力的基本性质：

1. 力的三要素 实践表明，力对物体作用的效应取决于力的大小、方向和作用点三个要素。由于力既有大小、方向，又服从矢量的运算规则，所以力是矢量，它可用一个有向线段表示，如图1-1所示。线段的长度按一定的比例尺表示力的大小；线段的起点（或终点）表示力的作用点；线段的方位、指向表示力的方向。力为定位矢量。



在国际单位中，力的单位是牛顿 (N) 或千牛顿 (kN)。

图1-1 力的图示

2. 两力平衡条件 受两个力作用的刚体处于平衡的必要和充分条件是：这两个力大小相等、方向相反、且沿着同一作用线。此条件与刚体的形状无关。只受两个力作用而平衡的刚体称为两力构件或两力杆。根据两力平衡条件，这两个力的方位必沿着这两个力的作用点的连线。这个结论很重要，因为工程上经常遇到两力构件。

3. 力的可传性 从物理学中可知，作用于刚体上的力可沿其作用

线移到刚体内任一点而不改变此力对刚体的效应。例如用力 F 推车或拉车，对车产生的运动效应相同。力的这种性质称为力的可传性。

因此，作用在刚体上的力的三要素是：力的大小、方向和作用线。在这种情况下，力为滑动矢量。

4. 力的平行四边形法则 作用于刚体上同一点的两个力 F_1 、 F_2 可合成为一个合力，合力的作用点也在该点，合力的大小和方向以此两力为边所构成的平行四边形的对角线来表示，如图1-2 (a) 所示。这一法则称为力的平行四边形法则。此法则表明，共点的两个力的合力等于此两力的矢量和，即

$$R = F_1 + F_2$$

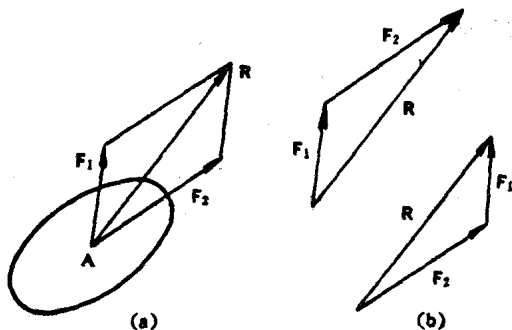


图1-2 力的平行四边形法则

如果只确定合力 R 的大小、方向，则只要作力三角形即可。作力三角形时，可先画 F_1 ，再画 F_2 ；也可先画 F_2 ，再画 F_1 ，如图1-2(b)所示。当然，在力三角形上的每一个力矢量，只具有大小、方向的意义，并不表示力的作用线位置。

5. 作用与反作用定律 两个物体间相互作用的力，总是同时存在，大小相等、方向相反，且沿同一作用线。

此定律是由牛顿提出的，即牛顿第三定律，它概括了自然界中物体间相互作用力的关系，表明一切力总是成对地出现，有作用力必有反作用力。根据此定律，已知作用力，则可得反作用力，它是分析物

体受力时必须遵循的原则，为研究由一个物体的受力分析过渡到物体系的受力分析打下了基础。

第二节 约束和约束反力

在机械或工程结构中，每个构件都根据工作要求以一定方式和周围其他构件有联系，因而每个构件的运动都受到一定的限制。由周围物体构成的、限制物体运动的条件在力学中称为约束。构成约束条件的周围物体有时也称为约束。例如对放在桌面上的物体来说，桌面就是约束，因为桌面阻碍物体向下运动。又如对由轴承支承的转轴来说，轴承就是约束，因为轴承限制了转轴的运动，使转轴只能旋转而不能发生径向运动。

约束既然限制物体的运动，因此约束必然承受物体对它的作用力，同时给予物体以大小相等、方向相反的反作用力。这种力称为约束力或约束反力，简称为反力。例如物体放在桌面上，桌面对物体作用的力就是约束反力。与约束反力相对应，那些主动地使物体运动或使物体有运动趋势的力称为主动力。如重力、风力、切削力、水压力等都是主动力，工程上常称为载荷。约束反力的方向总是与该约束所能阻碍的运动方向相反。根据这个准则可以确定约束反力的方向或方位。至于约束反力的大小则总是未知的，它取决于作用在物体上的主动力和约束的性质，在静力学中将由平衡方程求出。

静力学中所研究的问题几乎都是受有约束的物体的平衡问题。这种物体受了主动力的作用，虽有运动趋势，但由于受到约束，即受到约束反力的作用而保持平衡。因此，任何物体的平衡可认为是在作用于其上的主动力及约束反力的共同作用下保持的，主动力往往是已知的，而约束反力则是未知的。因此，正确地分析约束条件，根据约束性质确定约束反力的方向很重要。下面介绍工程上常见的几种约束类型，并根据约束的特性说明其反力的表示方法。

1. 柔索约束 见图1-3。由于柔索只能承受拉力，因此柔索对物体

的约束反力作用在与物体的连接点，其方向沿着柔索而背离物体。柔索的约束反力一般以符号 T 表示。工程上的钢丝绳、皮带、链条都可简化为柔索。

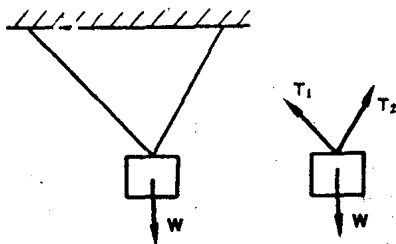


图1-3 柔索约束

2. 光滑接触面约束 见图1-4。当两物体接触面上的摩擦力可忽略不计时，可认为接触面是光滑的。光滑接触面约束只能限制物体沿接触面的公法线朝向支承面的运动。因此光滑接触面对物体的约束反力通过接触点，沿接触面在该点的公法线且指向物体。光滑接触面的约束反力一般以符号 N 表示。

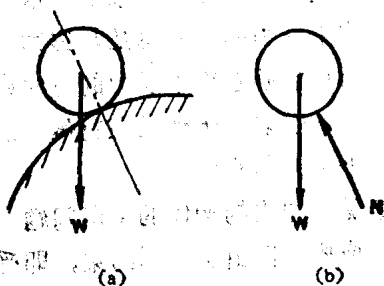


图1-4 光滑接触面约束

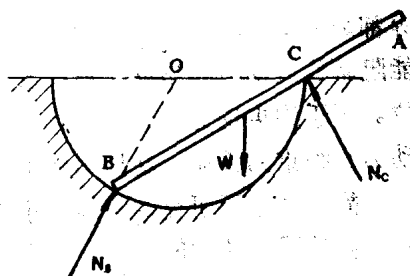


图1-5 杆在半圆弧槽内的光滑接触面约束

对于如图1-5所示的杆 AB ，半圆弧槽 C 处对其约束反力 N_C 应垂直于杆 AB ；在 B 处对其约束反力 N_B 应沿着半圆弧槽在 B 处的法线方向，即 BO 方向。