

中等专业学校教材

# 理论力学

(第二版)

胡仰馨 主编

● LILUN LIXUE

高等教育出版社



中等专业学校教材

# 理论力学

(机械类)

第二版

张秉荣 林 延 胡仰馨 合编  
胡仰馨 主编

高等教育出版社

## (京) 112 号

本书根据国家教委 1990 年 3 月颁发的中专工科机械类专业适用的“理论力学教学大纲”(85学时)修订而成。

根据本书第一版四年多的教学实践和一些学校的使用意见,作者对部分内容作了修改,注意了内容的精简,并对例、习题进行了删改,降低了深度、难度,增强了教学适用性,更切合中专学生的特点。

全书分静力学、运动学和动力学三篇。

本教材是按照国家教育委员会颁发的中等专业学校招收初中毕业生,学制为四年工科机械类专业“理论力学教学大纲”(85学时)编写的。经全国中等专业学校力学课程组审定推荐为全国通用教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

理论力学/胡仰馨主编.—2版.—北京:高等教育出版社,  
1994.4(1996重印)

中等专业学校教材

ISBN 7-04-004840-X

I.理… II.胡… III.理论力学-专业学校-教材 IV.031

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第01033号

高等教育出版社出版  
新华书店上海发行所发行  
江苏淮安印刷厂印装

\*

开本 850×1168 1/32 印张 10.625 字数 255 000

1989年8月第1版

1994年4月第2版 1996年3月第3次印刷

印数 124817—194824

定价 9.10 元

## 第二版前言

本书第一版自1989年出版后,为广大中专学校采用。四年来,编者收到一些学校的反馈意见及全国中专力学课程组关于本书使用情况的评价报告。编者分析了他们提出的意见和建议,按照国家教委1990年3月颁发的中专工科机械类专业“理论力学教学大纲”(85学时),对第一版进行了修订。

本书较之第一版在体系上未加更改,但注意了内容的精简,尽量减少不必要的推导、论证。例如,空间力系一章适当删减了空间汇交力系、空间平行力系的平衡方程及其应用的内容,突出了空间问题的平面解法;删去了轮系传动的内容及惯性力系主矢、主矩的推导过程等。为使论述较为完整和严谨,对部分内容作了修改和补充,如静力学基础、力矩与平面力偶系、摩擦等章节。考虑到中专教学的特点,删减了不少繁琐、难解之例、习题。

参加本书修订编写工作的有张秉荣(静力学部分)、林延(运动学部分)和胡仰馨(动力学部分),由胡仰馨统稿。

本书由刘森主审,并受主编委托对书稿作最后的修改及内容取舍,为本书的定稿做了大量的工作。南昌铁路机械学校朱成九老师和内蒙古工业学校常守敬老师为本书的修改提出许多宝贵的意见和建议,谨此一并表示感谢。

编 者

1993年5月

## 第一版前言

本书系根据1987年4月国家教育委员会颁发的中等专业学校工科机械类专业适用的《理论力学教学大纲》(85学时)编写的,可作为招收初中毕业学生入学的四年制中等专业学校理论力学课程的试用教材。

全书内容:静力学部分包括静力学基本概念和公理,平面汇交力系,平面力偶系,平面任意力系,摩擦,空间力系,重心。运动学部分包括点的运动,刚体的基本运动,点的合成运动,刚体的平面运动。动力学部分包括质点动力学基本方程,刚体绕定轴转动动力学基本方程,动能定理,动静法和机械振动基础。按教学大纲规定,机械振动基础为选学内容。本书采用我国法定计量单位制。

本书习题为适应不同专业可以有所选择舍取,故习题量较大,不要求学生学习时完成全部习题量。部分题目有提示,书末附有单数题的答案。

参加本书编写的有张秉荣(第一至七章),林延(第八至十一章),胡仰馨(第十二至十六章)。本书由胡仰馨主编。

本书由包广珪、臧尔信同志主审,刘森同志参加了审稿会。他们对本书稿提出不少宝贵的修改意见,特此致谢。

限于编者的水平,书中可能存在不少缺点和错误,希读者批评指正。

编 者

1988.10.

# 目 录

|          |   |
|----------|---|
| 绪论 ..... | 1 |
|----------|---|

## 第一篇 静 力 学

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第一章 静力学基础 .....                 | 4  |
| §1-1 静力学基本概念 .....              | 4  |
| §1-2 静力学公理 .....                | 6  |
| §1-3 约束与约束反力 .....              | 11 |
| §1-4 结构与机构的简图及其受力图 .....        | 15 |
| 习题 .....                        | 21 |
| 第二章 平面汇交力系 .....                | 26 |
| §2-1 平面汇交力系合成的几何法与平衡的几何条件 ..... | 26 |
| §2-2 平面汇交力系合成的解析法与平衡的解析条件 ..... | 29 |
| 习题 .....                        | 37 |
| 第三章 力矩与平面力偶系 .....              | 42 |
| §3-1 力对点之矩 .....                | 42 |
| §3-2 力偶的概念 .....                | 46 |
| §3-3 力偶的性质 .....                | 48 |
| §3-4 平面力偶系的合成与平衡 .....          | 49 |
| §3-5 力的平移定理 .....               | 51 |
| 习题 .....                        | 55 |
| 第四章 平面任意力系 .....                | 59 |
| §4-1 平面任意力系的简化 .....            | 59 |
| §4-2 平面任意力系的平衡方程及其应用 .....      | 62 |
| §4-3 平面平行力系的平衡方程及其应用 .....      | 66 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| §4-4 物体系统的平衡问题 .....         | 68  |
| 习题 .....                     | 76  |
| <b>第五章 摩擦</b> .....          | 85  |
| §5-1 滑动摩擦 .....              | 86  |
| §5-2 有摩擦平衡问题的解法——解析法 .....   | 88  |
| §5-3 摩擦角的概念及自锁 .....         | 90  |
| §5-4 有摩擦平衡问题的解法——几何法 .....   | 92  |
| §5-5 滚动摩擦简介 .....            | 96  |
| 习题 .....                     | 101 |
| <b>第六章 空间力系</b> .....        | 107 |
| §6-1 力沿空间直角坐标轴的投影及分解 .....   | 107 |
| §6-2 空间汇交力系合成与平衡的解析法 .....   | 110 |
| §6-3 力对轴之矩 .....             | 112 |
| §6-4 空间任意力系的平衡条件及平衡方程 .....  | 115 |
| §6-5 空间力系问题的平面解法 .....       | 118 |
| 习题 .....                     | 123 |
| <b>第七章 重心</b> .....          | 129 |
| §7-1 平行力系中心与重心的概念 .....      | 129 |
| §7-2 平行力系中心、重心和形心的坐标公式 ..... | 130 |
| §7-3 重心及形心位置的求法 .....        | 132 |
| 习题 .....                     | 138 |

## 第二篇 运 动 学

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第八章 点的运动</b> .....      | 142 |
| §8-1 用自然法求点的速度、加速度 .....   | 142 |
| §8-2 用直角坐标法求点的速度、加速度 ..... | 149 |
| 习题 .....                   | 157 |
| <b>第九章 刚体的基本运动</b> .....   | 159 |
| §9-1 刚体的平行移动 .....         | 159 |

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| §9-2 刚体绕定轴转动 .....                        | 161 |
| §9-3 匀速及匀变速转动 .....                       | 164 |
| §9-4 定轴转动刚体上点的速度和加速度 .....                | 166 |
| 习题 .....                                  | 172 |
| <b>第十章 点的合成运动</b> .....                   | 175 |
| §10-1 点的合成运动的概念 .....                     | 175 |
| §10-2 绝对运动、相对运动、牵连运动 .....                | 176 |
| §10-3 点的速度合成定理 .....                      | 178 |
| 习题 .....                                  | 185 |
| <b>第十一章 刚体的平面运动</b> .....                 | 190 |
| §11-1 平面运动的概念 .....                       | 190 |
| §11-2 平面图形上各点的运动速度分析——速度合成法或基点<br>法 ..... | 192 |
| §11-3 平面图形上各点的运动速度分析——速度投影法 .....         | 196 |
| §11-4 平面图形上各点的运动速度分析——速度瞬心法 .....         | 198 |
| 习题 .....                                  | 203 |

### 第三篇 动 力 学

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>第十二章 质点动力学基本方程</b> .....       | 212 |
| §12-1 质点动力学基本定律 .....             | 212 |
| §12-2 质点运动微分方程 .....              | 215 |
| §12-3 质点动力学第一类问题 .....            | 216 |
| §12-4 质点动力学第二类问题 .....            | 219 |
| 习题 .....                          | 223 |
| <b>第十三章 刚体绕定轴转动的动力学基本方程</b> ..... | 228 |
| §13-1 刚体绕定轴转动定律 .....             | 228 |
| §13-2 转动惯量 .....                  | 230 |
| 习题 .....                          | 239 |
| <b>第十四章 动能定理</b> .....            | 244 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| §14-1 功 .....              | 244 |
| §14-2 质点的动能定理 .....        | 250 |
| §14-3 质点系动能定理 .....        | 254 |
| §14-4 功率 .....             | 261 |
| 习题 .....                   | 268 |
| <b>第十五章 动静法</b> .....      | 275 |
| §15-1 质点的惯性力概念 .....       | 275 |
| §15-2 质点的达朗伯原理 .....       | 276 |
| §15-3 质点系的达朗伯原理 .....      | 279 |
| §15-4 刚体运动时惯性力系的简化 .....   | 280 |
| §15-5 轴承的动反力 .....         | 285 |
| 习题 .....                   | 288 |
| <b>*第十六章 机械振动基础</b> .....  | 295 |
| §16-1 自由振动 .....           | 295 |
| §16-2 自由振动固有频率的计算 .....    | 300 |
| §16-3 单自由度系统的有阻尼受迫振动 ..... | 305 |
| §16-4 消振与隔振 .....          | 314 |
| 习题 .....                   | 320 |
| <b>附录 部分习题答案</b> .....     | 323 |

## 绪 论

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。例如天体的运行,水的流动,机器的运转等。物体的平衡则是机械运动的一种特殊情况。机械运动又是所有运动形式中最简单且最基本的一种运动。它不仅存在于人类一切劳动生产过程之中,也广泛地存在于其他运动形式的各种学科之中,因而,研究机械运动的理论力学成为人类最早研究的古典学科之一,同时,它也是研究其他许多学科所必须具备的一门基础学科。

理论力学的内容通常分为静力学、运动学、动力学。

静力学研究物体在力作用下的平衡规律。

运动学是从几何学的角度来研究物体的运动规律。

动力学研究物体的运动与其所受力之间的关系。

理论力学是一门应用非常广泛的技术基础课,它一方面可以直接解决工程中的受力分析和运动计算问题,另一方面也为一系列后继课程如材料力学、机械原理、机械设计等提供必要的基础。随着科学技术的发展,很多科学领域的研究都需要理论力学的知识,所以,理论力学是工程技术人员必备的理论基础。

理论力学的分析和研究方法有助于培养辩证唯物主义的世界观,也有助于培养分析与解决问题的能力,为从事科学研究打好基础。



# 第一篇 静 力 学

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学。力系是指作用于同一物体上的一组力。

力系只有在一定条件下才能成为平衡力系。这个条件就称为力系的平衡条件。静力学所研究的主要内容之一就是建立力系的平衡条件,并通过它对物体进行受力分析。

静力学建立力系平衡条件的主要方法是力系的简化。所谓力系的简化就是用简单的力系来代替复杂的力系,这种替代当然必须在两力系对物体的作用效应完全相同的条件下进行。对同一物体作用效应相同的两力系,彼此可称为等效力系。若一个力与一力系等效,则此力就称为该力系的合力。

综上所述,静力学将研究的主要问题是:

1. 力系的简化。
2. 建立物体在各种力系作用下的平衡条件和它在工程中的应用。

# 第一章 静力学基础

本章将讨论静力学的一些基本概念、公理、约束及其基本类型,以及物体受力图的画法。静力学公理是静力学的理论基础。画受力图是解决静力学问题的前提。可见,从理论与实践两个方面,本章都是静力学的重要基础内容。

## §1-1 静力学基本概念

### 一、刚体的概念

在外力作用下永不发生变形的物体称为刚体。实际生活中的物体都是可变形体。一般情况下,物体受力之后所产生的变形相对于物体的几何尺度而言是极微小的。在理论力学中,研究物体的整体的平衡或运动情况时,物体受力产生变形的影响是可以忽略不计的,即将物体视为刚体所得的结果已具有足够的精确度。刚体是实际物体的理想模型。引进刚体概念有助于突出研究对象的主要特征,从而简化了研究方法。

理论力学的研究对象是刚体或刚体组。

### 二、力的概念

#### 1. 力的定义

力是物体间的相互作用,这种作用会使物体的机械运动状态发生变化,或使物体产生变形。

力的概念产生于人类从事生产劳动之中。当人们用手握、拉、掷、举物体时,由于肌肉紧张而感受到力的作用,这种作用广泛地存在于人与物及物与物之间。例如奔腾的水流会推动水轮机旋转,

锤子的敲打会使烧红的铁块变形等等。

力作用于物体将产生两种效果：一是使物体的机械运动状态发生变化，称为力的外效应；另一是使物体产生变形，称为物体的内效应。由于理论力学以刚体为研究对象，故本课程只讨论力的外效应。

## 2. 力的三要素

实践证明，力对物体的作用效应，由力的大小、方向和作用点的位置所决定，这三个因素称为力的三要素。例如，用扳手拧螺母时(图 1-1)，作用在扳手上的力，因大小不同，或方向不同，或作用点位置不同，产生的效果就不一样。

## 3. 力的单位

本书采用我国法定计量单位，力的单位用  $N$  或  $kN$ 。

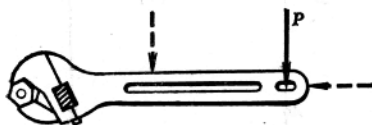


图 1-1

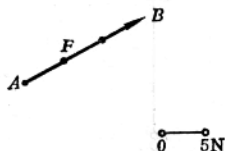


图 1-2

## 4. 力的矢量表示

力是一个具有大小和方向的矢量，图示时，常用一个带箭头的线段表示(图 1-2)，线段长度  $AB$  按一定比例代表力的大小，线段的方位和箭头表示力的方向，其起点或终点表示力的作用点。文字符号用黑体字如  $\boldsymbol{F}$  代表力矢量，并以同一字母非黑体字  $F$  代表力的大小。书写时则在表示力的字母上加一横线，如  $\overline{F}$  表示力矢量。

## 三、平衡的概念

物体的平衡是指物体相对于地球处于静止或匀速直线运动状

态。在理论力学中，将相对于地球作匀角速转动的情况也视为平衡状态予以研究。总之，在工程中将物体处于惯性运动状态统称为平衡状态。

静力学是研究刚体在外力作用下的平衡问题的学科。

## §1-2 静力学公理

### 公理一（两力平衡公理）

刚体若仅受两力作用而平衡，其必要与充分条件为：此两力必等值、反向、共线。

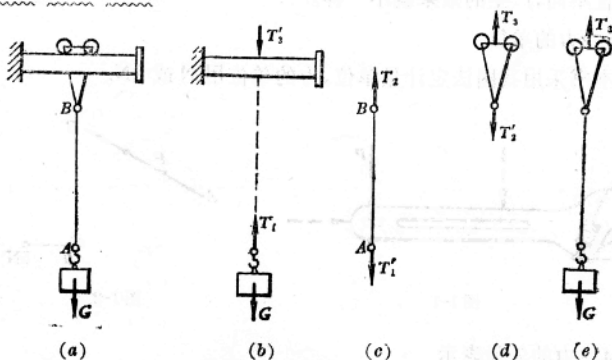


图 1-3

例如图 1-3 所示，物体受重力  $G$  及绳拉力  $T_1$  作用，在平衡时， $T_1$  与  $G$  必等值、反向、共线。绳  $AB$  段在  $A, B$  两点受  $T_1'$  与  $T_2$  作用而呈平衡状态，故  $T_1'$  与  $T_2$  必均沿  $AB$  线，且等值、反向。

在机械或结构中凡只受二力作用而处于平衡状态的构件，因其具有所受的二力必在两个力的作用点的连线上的特征，称为二力构件。如图 1-4a 中起重机的撑杆  $BC$ ，图 1-4 b 中三铰拱桥中

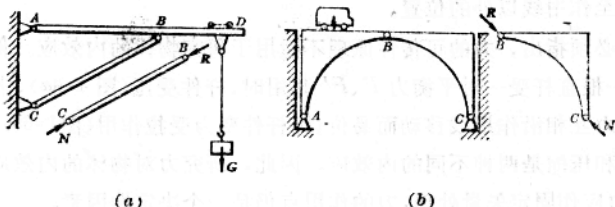


图 1-4

的构件  $BC$ ，若不计自重，则  $B$ 、 $C$  两点所受力  $R$ 、 $N$  必定在两力作用点的连线  $BC$  上。

### 公理二（加减平衡力系公理）

在任意一个已知力系上，可随意加上或除去一平衡力系，不会改变原力系对刚体的作用效应。

本公理成为力系简化的基本方法之一。

推理一（力的可传性原理） 作用于刚体上的力，可沿其作用线滑移到任何位置，不会改变此力对刚体的作用效应。

此原理证明如下：

1. 设力  $F$  作用于刚体上  $A$  点（图 1-5a）。

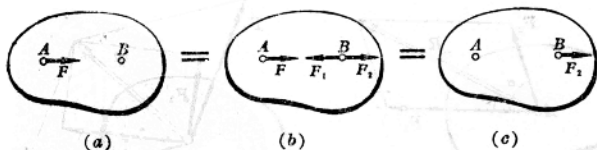


图 1-5

2. 在力  $F$  的作用线上任选一点  $B$ ，并在  $B$  点加一组沿  $AB$  线的平衡力  $F_1$  和  $F_2$ ，且使  $F_2 = F = -F_1$ （图 1-5b）。

3. 除去  $F$  与  $F_1$  所组成的一对平衡力，刚体上只剩  $F_2$ ，且  $F_2 = F$ （图 1-5c）。

此原理说明力是滑移矢量。它只能沿其作用线滑移而不能任

意移至作用线以外的位置。

必须指出，力的可传性原理不适用于研究物体的内效应。例如，一根直杆受一对平衡力  $F$ 、 $F'$  作用时，杆件受压(图 1-6a)，若将两力互相沿作用线移动而易位，则杆件变为受拉作用(图 1-6b)，拉伸和压缩是两种不同的内效应。因此，研究力对物体的内效应时，力应作固定矢量处理，力的作用点仍是一个决定性因素。

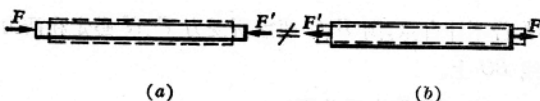


图 1-6

### 公理三 (力的平行四边形法则)

作用于刚体上某一点的两力，其合力亦作用于该点，合力的大小与方向可由这两个力所构成的平行四边形的对角线来表示。

设在刚体上的  $A$  点有力  $F_1$ 、 $F_2$  作用(图 1-7)，以  $R$  表示它们的合力，则可写成矢量表达式

$$R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

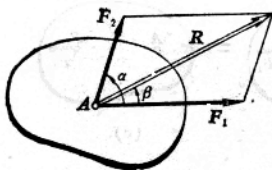


图 1-7

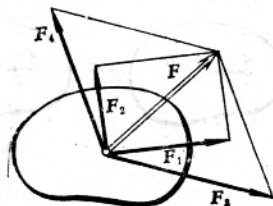


图 1-8

合力大小  $R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$ ，合力方向  $\sin\beta = \frac{F_1}{R}\sin\alpha$ 。

反之，一个力也可以分解为两个力。力的分解仍按力的平行