

● 本讲内容聚焦

● 典型例题

● 课后习题选解

理论力学

辅导讲案

主讲教材《理论力学》(西工大·哈工大)

蔡泰信 和兴锁 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是配合分别由西北工业大学和哈尔滨工业大学编写的两个版本的教材《理论力学》而编写的课程学习辅导和应试用书。全书共 18 讲,每讲均包括本讲内容聚焦、典型例题、课后习题选解三部分内容。例题都是精选的典型题,除了对例题进行深入分析和讨论外,很多例题采用了多种方法求解,这有助于读者融会贯通所学的知识,并逐步掌握不同题型的解题思路、方法和技巧,提高读者的解题和应试能力。书末附有本课程的要求、重点、难点、考点,以及本课程考试真题和答案。

本书可供学习理论力学课程的大学生、考研者和教师使用,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学辅导讲义/蔡泰信,和兴锁编著. —西安:西北工业大学出版社,2008. 4

(精品课程·名师讲堂丛书)

ISBN 978-7-5612-2353-6

I. 理… II. ①蔡…②和… III. 理论力学—高等学校—教学参考资料 IV. O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 021251 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电话:(029)88493844 88491757

网址:www.nwpu.com

印刷者:陕西向阳印务有限公司

开本:850 mm×1 168 mm 1/32

印张:13.75

字数:450 千字

版次:2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷

定价:20.00 元

前 言

应西北工业大学出版社的约请，希望为大学生编写理论力学课程简明的辅导和应试用书。我们根据《高等工业学校理论力学课程基本要求》和当前教学需要，并在近年来笔者主编的多部本课程的教材和参考书的基础上提炼并编写了本书，力求做到正确、简明、实用，选题典型、一题多解、融会贯通、富有启发，达到举一反三的效果。

全书共 18 讲，每讲均包括三部分内容，即本讲内容聚焦、典型例题、课后习题选解。内容聚焦又包括四部分内容，即内容要点精讲、知识结构图解、习题分类·解题步骤、重点与难点。例题都是精选的典型题，除对例题进行深入分析和讨论外，很多例题采用了多种方法求解，这有助于读者融会贯通所学的内容。本书力求首先把基本问题交代清楚，启发读者积极思考，并不断加大难度，使读者逐步掌握不同类型题目的解题思路、解题方法和技巧，激发学习兴趣，掌握所学的知识，提高解题和应试能力。

本书包含了“理论力学课程基本要求”的全部内容，书末附有本课程的要求、重点、难点、考点，以及本课程考试真题和答案。引申和加选内容用“*”号标出。

本书由蔡泰信、和兴锁编著，由蔡泰信统一修改定稿。在编写过程中，曾参阅西北工业大学、哈尔滨工业大学和其他兄弟院校的有关理论力学教材、教学参考书、专著和文献等，并得到许多教师的支持。在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免有不妥和疏漏之处，敬请读者批评指正。

作 者

2008 年 2 月

于西北工业大学

主要符号表

a	加速度
a_C	质心加速度
a_n	法向加速度
a_t	切向加速度
a_a	绝对加速度
a_r	相对加速度
a_e	牵连加速度
a_c	科氏加速度
a_{At}	点 A 的切向加速度
a_{An}	点 A 的法向加速度
a_{MO}^t	动点 M 绕基点 O 相对转动的切向加速度
a_{MO}^n	动点 M 绕基点 O 相对转动的法向加速度
A	自由振动的振幅, 面积
C	重心, 速度瞬心
dr	实位移
$d'W$	元功
e	碰撞恢复因数
F	力
F_x, F_y, F_z	力 F 在轴 x, y, z 上的投影
F_R	力系的合力
F'_R	力系的主矢
F_s	静滑动摩擦力
F_N	法向约束力
F_I	惯性力

F_{le} 牵连惯性力

F_{lc} 科氏惯性力

F_{max} 最大静滑动摩擦力

f_s 静滑动摩擦因数

f 动滑动摩擦因数, 振动频率

G 重力

g 重力加速度

h 高度

i, j, k 沿正交轴 x, y, z 的单位矢量

I 冲量

J_x, J_y, J_z 刚体对轴 x, y, z 的转动惯量

J_{xy} 刚体对轴 x 和 y 的惯性积

J_{yz} 刚体对轴 y 和 z 的惯性积

J_{zx} 刚体对轴 z 和 x 的惯性积

k 弹簧的刚度系数, 曲率

L 拉格朗日函数

L_O 质点系对点 O 的动量矩

m 质点的质量

m_R 质点系的质量

M 力偶矩矢

M_R 合力偶矩矢

M_O 力系对点 O 的主矩

$M_z(F)$ 力 F 对轴 z 的矩

$M_O(F)$ 力 F 对点 O 的矩

M_{IO} 惯性力系对点 O 的主矩

$M_O(mv)$ 质点的动量 mv 对点 O 的动量矩

n 质点的数目

O 坐标系原点

p 动量

主要符号表

P	功率
Q	广义力
Q_j	对应于第 j 个广义坐标的广义力
q	载荷集度, 广义坐标
r	半径
$\boldsymbol{r}$	矢径
$\boldsymbol{r}_O$	点 O 的矢径
s	弧坐标
T	质点系的动能, 周期
t	时间
V	质点系的势能
$\boldsymbol{v}$	质点的速度
$\boldsymbol{v}_a$	绝对速度
$\boldsymbol{v}_e$	牵连速度
$\boldsymbol{v}_r$	相对速度
$\boldsymbol{v}_C$	质心速度
$\boldsymbol{v}_{MO}$	动点 M 绕点 O 转动的速度
W	力的功
x, y, z	直角坐标
x_C, y_C, z_C	质心的直角坐标
$\alpha(\boldsymbol{\alpha})$	角加速度(角加速度矢)
$\alpha, \beta, \gamma, \varphi, \theta, \psi$	角度
φ_f	摩擦角
ρ	曲率半径, 密度
δ	滚动摩擦系数, 弹簧变形量, 阻尼系数, 变分符号
δ_{st}	弹簧静变形, 静伸长
$\delta \boldsymbol{r}$	虚位移
δW	虚功
η	机械效率

$\omega(\omega)$ 角速度(角速度矢), 激振力频率

ω_0 固有频率

ω_a 绝对角速度

ω_e 牵连角速度

ω_r 相对角速度

目 录

第一篇 静力学

第 1 讲 静力学公理和物体受力分析	1
1.1 本讲内容聚焦	1
1.2 典型例题	5
1.3 课后习题选解	11
第 2 讲 平面基本力系	16
2.1 本讲内容聚焦	16
2.2 典型例题	20
2.3 课后习题选解	23
第 3 讲 平面任意力系	28
3.1 本讲内容聚焦	28
3.2 典型例题	33
3.3 课后习题选解	44
第 4 讲 摩擦	49
4.1 本讲内容聚焦	49
4.2 典型例题	53
4.3 课后习题选解	67
第 5 讲 空间力系	73
5.1 本讲内容聚焦	73

5.2 典型例题	80
5.3 课后习题选解	87

第二篇 运动学

第6讲 点的运动学	91
6.1 本讲内容聚焦	91
6.2 典型例题	97
6.3 课后习题选解	102
第7讲 刚体的基本运动	104
7.1 本讲内容聚焦	104
7.2 典型例题	108
7.3 课后习题选解	111
第8讲 点的复合运动	113
8.1 本讲内容聚焦	113
8.2 典型例题	122
8.3 课后习题选解	133
第9讲 刚体的平面运动·运动学综合应用	141
9.1 本讲内容聚焦	141
9.2 典型例题	151
9.3 课后习题选解	172

第三篇 动力学

第10讲 质点动力学基础	183
10.1 本讲内容聚焦	183

10.2	典型例题	187
10.3	课后习题选解	195
第 11 讲	动能定理	200
11.1	本讲内容聚焦	200
11.2	典型例题	207
11.3	课后习题选解	221
第 12 讲	动量定理和质心运动定理	227
12.1	本讲内容聚焦	227
12.2	典型例题	232
12.3	课后习题选解	238
第 13 讲	动量矩定理·动力学普遍定理综合应用	241
13.1	本讲内容聚焦	241
13.2	典型例题	248
13.3	课后习题选解	262
第 14 讲	碰撞	270
14.1	本讲内容聚焦	270
14.2	典型例题	275
14.3	课后习题选解	281
第 15 讲	达朗贝尔原理和动静法	286
15.1	本讲内容聚焦	286
15.2	典型例题	291
15.3	课后习题选解	302
第 16 讲	虚位移原理	308
16.1	本讲内容聚焦	308
16.2	典型例题	313
16.3	课后习题选解	324

第17讲 动力学普遍方程·拉格朗日方程·动力学综合

应用	333
17.1 本讲内容聚焦	333
17.2 典型例题	337
17.3 课后习题选解	371
第18讲 机械振动基础	382
18.1 本讲内容聚焦	382
18.2 典型例题	388
18.3 课后习题选解	400
附录A 理论力学课程的要求·重点·难点·考点	405
附录B 理论力学课程考试真题及其答案	411
参考文献	425

第一篇 静力学

第 1 讲

静力学公理和物体受力分析

1.1 本讲内容聚焦



一、内容要点精讲

1. 静力学基本概念

(1) 力。力是物体间相互的机械作用。这种作用可使物体的运动状态和形状发生改变。前者称为力的运动效应或外效应，后者称为力的变形效应或内效应。

(2) 刚体。刚体是指在力的作用下形状和大小都始终保持不变的物体。或者说，刚体内任意两点间的距离保持不变。刚体是实际物体抽象化的一个力学模型。

(3) 平衡。平衡是指物体相对于某个惯性参考系处于静止或作匀速直线运动，它是机械运动的特殊情况。

(4) 约束和约束力。限制非自由体运动的条件，称为加于该非自由体的约束。为方便起见，把构成约束条件的周围物体，也称为约束。约束力是约束作用在被约束物体上的力，其方向与约束类型有关。约束力的方向恒与非自由体被约束所阻碍的位移方向相反。约束力可简称为反力。

2. 静力学公理

静力学公理概括了力的基本性质，是静力学的理论基础。

公理一（二力平衡公理）要使刚体在两个力作用下维持平衡的必要和充分条件：这两个力的大小相等，沿同一直线作用，而指向相反。

公理二（加减平衡力系公理）可以在作用于刚体的任何一个力系上加上或减去几个平衡力系，而不改变原力系对该刚体的作用。

推理一（力在刚体上的可传性）作用在刚体上的力，它的作用点可沿其作用线在该刚体内任意移动，而不改变这力对该刚体的作用。

公理三（力的平行四边形法则）作用于物体上任一点的两个力，可以合成为作用于同一点的一个合力。合力的矢由原两力的矢为邻边而作出的力平行四边形的对角矢来表示。即合力为原两力的矢量和。

推理二（三力平衡汇交定理）当刚体在三个力作用下平衡时，设其中两个力的作用线相交于某点，则此三个力必在同一平面内，且第三个力的作用线必定也通过该点。

公理四（作用和反作用定律）任何两个物体相互作用的力，总是大小相等，作用线相同，但指向相反，并分别作用在这两个物体上。

公理五（刚化公理）设变形体在某力系作用下处于平衡状态，则如将这个已变形的平衡物体变成刚体（刚化），其平衡状态保持不变。

注 公理一和公理二仅适用于刚体，而公理三和公理四对任何物体都适用。

3. 几种基本约束类型及其约束力

(1) 柔软的绳索（链条或胶带等）构成的约束。约束力只能是拉力，作用在接触点，其方向沿着绳索而背离被约束的物体。

(2) 光滑接触表面的约束。约束力作用在接触处，方向沿接触表面的公法线，并指向被约束的物体。

(3) 光滑圆柱铰链和固定铰链支座。约束力的作用线必在垂直于圆柱轴线的平面内并通过圆心，而它的方向则不能预先独立确定。它可用通过圆心而大小未知的 2 个正交分力表示。

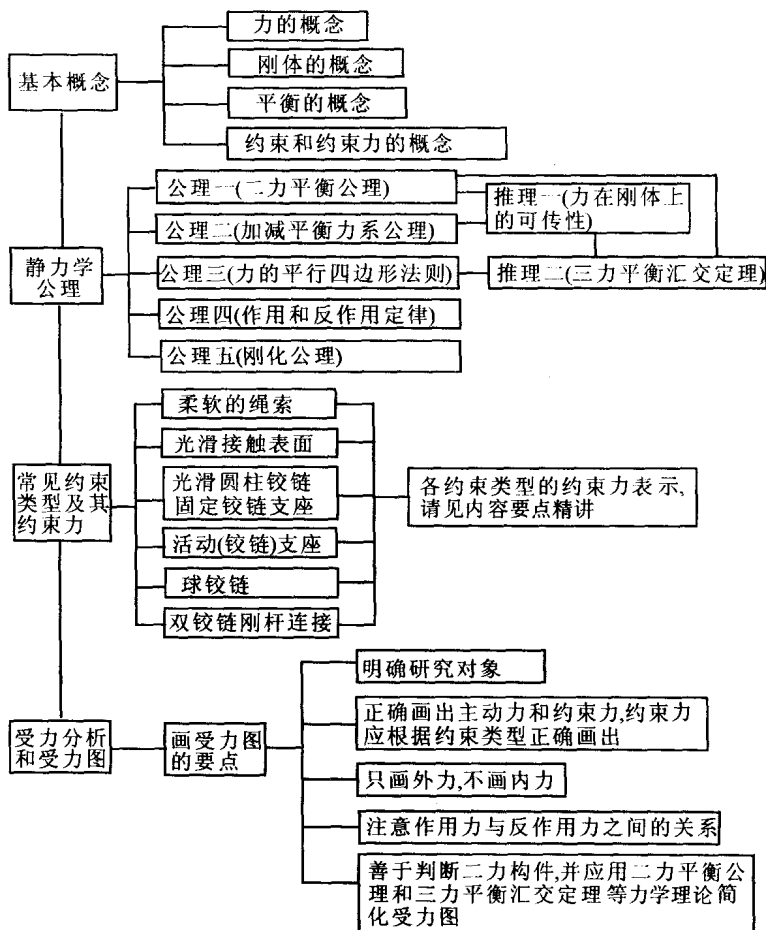
(4) 活动（铰链）支座。约束力与支承面垂直，其作用线通过铰链的轴心。这类支座也可不用铰链而用单个滚子来实现。

(5) 球铰链。约束力的作用线恒通过铰链球心，其方向不能预先独立确定。它可用通过球心而大小未知的 3 个正交分力表示。

(6) 双铰链刚杆连接。本身不受主动力作用的双铰链刚杆的约束力，其方向必定沿两端铰链中心的连线。



二、知识结构图解



4444



三、习题分类·解题步骤

1. 习题分类

受力图大致可分为以下两大类型：

- (1) 画单个物体平衡时的受力图。
- (2) 在物体系平衡时，画单个物体、物体系中某些物体的组合体，以及整个物体系的受力图。

2. 解题步骤

正确地研究对象(或分离体)进行受力和画出相应的受力图，是分析和解决力学问题的前提和关键，它贯穿于静力学和动力学研究的整个过程。画受力图的步骤如下。

(1) 明确研究对象。根据题目要求，可以取单个物体为研究对象，也可以取由几个物体组成的系统为研究对象。将研究对象从约束中分离出来，故研究对象也称为分离体。

(2) 对研究对象进行受力分析，首先画出全部的主动力。

(3) 根据约束的类型，正确画出相应的约束力。不要凭主观臆测或片面地按主动力的方向错误推想约束力的方向。

3. 注意事项

(1) 不要多画力。由于力是物体间相互的机械作用，因此，应明确研究对象上所受的每一个力是由周围哪个物体施加的。

(2) 不要漏画力。必须明确研究对象与周围哪些物体接触，在接触处必有相应的约束力。

(3) 不要画错力的方向。除应根据不同约束正确画出约束力以外，在分析两物体之间的相互作用时，这些力的箭头方向应彼此相反。

(4) 在研究物体系平衡问题时，只画研究对象上所受的外力，不画成对出现的内力。

(5) 要善于判断二力构件，并根据二力平衡公理和三力平衡汇交定理以及其他力学理论简化受力图。

(6) 受力图必须完全正确，不允许发生任何错误，不要多画、漏画、错画任何力，否则将导致以后的力学分析和计算错误。从本章起向读者介绍约束和约束力以及受力分析和受力图，这些内容将贯穿到静力学和动力学所有各章，并不断丰富和深化这些内容，它们也是读者学习理论力学的重点和难点，从现在

起应引起读者高度重视。



四、重点与难点

1. 重点

- (1) 力、刚体、平衡、约束和约束力的概念。
- (2) 静力学公理及其应用。
- (3) 基本约束的特征及其约束力的画法。
- (4) 受力分析和受力图。

2. 难点

- (1) 约束的概念及其特征。
- (2) 物体系的受力分析及其受力图。

1.2 典型例题

例 1.1 平面刚架 ABCD 的 A 端为光滑固定铰链支座, D 端为活动铰链支座, 在 E 处作用水平力为 F , 如图 1.1(a) 所示。如果不计刚架重量, 试画出该刚架的受力图。

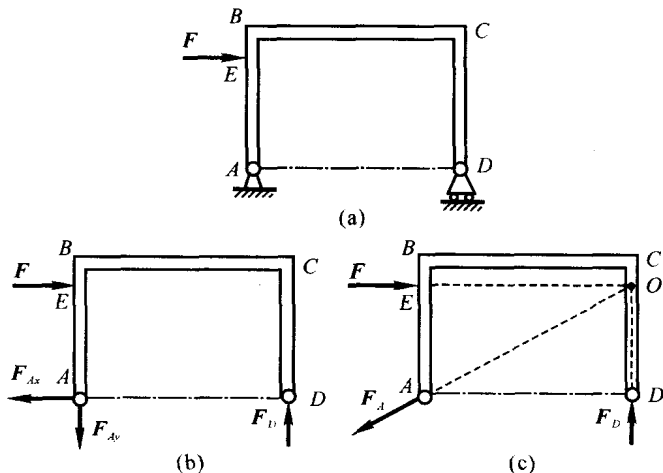


图 1.1