

力学教学·学习辅导系列
教 学 学 习 考 研

理论力学 教与学

蔡泰信 和兴锁 编著



高等教育出版社

力学教学·学习辅导系列

理论力学教与学

蔡泰信 和兴锁 编著

高等教育出版社

内容提要

本书是“高等教育百门精品课程教材建设计划”的研究成果,主要是配合哈尔滨工业大学理论力学教研室编写的《理论力学》(第6版)教材而撰写的教学和学习指导用书。全书每章包括五部分内容:教材内容剖析(理论内容提要,知识结构框图,要求·重点·难点),教学策略·学习方法和要点提示(对教学和学习方法提出建议,并对深层次内容加以提示和说明),习题分类·解题步骤·解题要求,典型题分析和精解(多数例题采用多种方法求解,有助于读者融会贯通所学内容),课后习题选解。本书力求把基本问题交代清楚,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和方法,激发学习兴趣,更好地掌握本课程的知识,提高解题能力。

本书可作为高等学校大学生和考研者的学习和应试指导书,以及从事本课程教学的青年教师的教学指导书。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学教与学/蔡泰信,和兴锁编著. —北京:高等教育出版社,2007.6

ISBN 978-7-04-021269-3

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(2007)第 050910 号

策划编辑	姜 凤	责任编辑	张玉海	封面设计	李卫青	责任绘图	朱 静
版式设计	马静如	责任校对	杨雪莲	责任印制	毛斯璐		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京宏伟双华印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 32.5
字 数 800 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007年6月第1版
印 次 2007年6月第1次印刷
定 价 40.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21269-00

前言

应高等教育出版社的约请,希望我们主要结合哈尔滨工业大学理论力学教研室编写的《理论力学》(第6版)教材,为教师和学生编写一本理论力学教学和学习指导用书,供学习理论力学课程的大学生、有志考研复习本课程的考生,以及从事本课程教学的青年教师参考。

目前,社会上已出版了多种理论力学教材和教学、学习指导书,近几年来我们也合作编写了几套有关本课程的教材和参考书。为了不辜负高等教育出版社的重托,我们认真分析了同行们的著作特色,虚心学习其优点,同时保持和发扬我们受读者好评的编写风格,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。

本书包含了“理论力学课程基本要求”的全部内容。每章均包括五部分内容,即:教材内容剖析,教学策略·学习方法和要点提示,习题分类·解题步骤·解题要求,典型题分析和精解,课后习题选解。教材内容剖析又包括三部分内容,即:理论内容提要,知识结构框图,要求·重点·难点。在教学策略·学习方法和要点提示中,作者根据几十年的教学经验,对教学和学习方法提出了一些建议,并对各章深层次的内容加以提示和说明。书中的例题都是精选的典型题,除对例题进行深入分析和讨论外,多数例题都采用多种方法求解,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和解题方法,激发学习兴趣,更好地掌握所学的知识,提高解题能力。另外,希望读者在自我思考做题的基础上,有针对性地参阅“课后习题选解”,提高解题能力,而不要单纯地依赖题解。

本书包括静力学、运动学和动力学三大部分,书末附有本课程的要求·重点·难点·考点,以及本课程考试模拟试题及其答案等。引申和加选内容用“*”号标出。

本书由蔡泰信、和兴锁编著,是在我们近几年合作编写的几部理论力学教材和教学参考书的基础上编写的,最后,由蔡泰信修改定稿。本书由北京航空航天大学谢传锋教授审阅,并提出了很多宝贵意见。在编写过程中,曾参阅哈尔滨工业大学、西北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、文献和光盘等,并得到许多教师的大力支持。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

2006年9月

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_{Ie} 牵连惯性力
 F_{IC} 科氏惯性力
 F_Φ 附加推力或反推力
 $F_{\max}$ 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
 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
 r 矢径
 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
 v 质点的速度
 v_a 绝对速度
 v_e 牵连速度
 v_r 相对速度
 v_c 质心速度

v_{MO} 动点 M 绕点 O 转动的速度	δ_{st} 弹簧静变形, 静伸长
W 力的功	δr 虚位移
x, y, z 直角坐标	δW 虚功
x_c, y_c, z_c 质心的直角坐标	η 机械效率
$\alpha(\alpha)$ 角加速度(角加速度矢)	$\omega(\omega)$ 角速度(角速度矢), 激振力频率
$\alpha, \beta, \gamma, \varphi, \theta, \psi$ 角度	ω_0 固有频率
φ_f 摩擦角	ω_a 绝对角速度
ρ 曲率半径, 密度	ω_e 牵连角速度
δ 滚动摩擦系数, 弹簧变形量, 阻尼系数, 变分符号	ω_r 相对角速度

目 录

静 力 学

第 1 章	静力学公理和物体的受力分析	3
1.1	教材内容剖析	3
1.2	教学策略·学习方法和要点提示	5
1.3	习题分类·解题步骤·解题要求	6
1.4	典型题分析和精解	7
1.5	课后习题选解	11
第 2 章	平面汇交(共点)力系与平面力偶系	16
2.1	教材内容剖析	16
2.2	教学策略·学习方法和要点提示	19
2.3	习题分类·解题步骤·解题要求	20
2.4	典型题分析和精解	21
2.5	课后习题选解	26
第 3 章	平面任意力系	30
3.1	教材内容剖析	30
3.2	教学策略·学习方法和要点提示	33
3.3	习题分类·解题步骤·解题要求	34
3.4	典型题分析和精解	35
3.5	课后习题选解	42
第 4 章	空间力系	53
4.1	教材内容剖析	53
4.2	教学策略·学习方法和要点提示	59
4.3	习题分类·解题步骤·解题要求	60
4.4	典型题分析和精解	60
4.5	课后习题选解	65
第 5 章	摩擦	72
5.1	教材内容剖析	72
5.2	教学策略·学习方法和要点提示	74

5.3	习题分类·解题步骤·解题要求	75
5.4	典型题分析和精解	76
5.5	课后习题选解	86

运 动 学

第 6 章	点的运动学	97
6.1	教材内容剖析	97
6.2	教学策略·学习方法和要点提示	101
6.3	习题分类·解题步骤·解题要求	102
6.4	典型题分析和精解	103
6.5	课后习题选解	109
第 7 章	刚体的简单运动	113
7.1	教材内容剖析	113
7.2	教学策略·学习方法和要点提示	117
7.3	习题分类·解题步骤·解题要求	118
7.4	典型题分析和精解	118
7.5	课后习题选解	120
第 8 章	点的合成运动	123
8.1	教材内容剖析	123
8.2	教学策略·学习方法和要点提示	125
8.3	习题分类·解题步骤·解题要求	126
8.4	典型题分析和精解	131
8.5	课后习题选解	145
第 9 章	刚体的平面运动与综合题	157
9.1	教材内容剖析	157
9.2	教学策略·学习方法和要点提示	161
9.3	习题分类·解题步骤·解题要求	162
9.4	典型题分析和精解	165
9.5	课后习题选解	178

动 力 学

第 10 章	质点动力学的基本方程	199
10.1	教材内容剖析	199
10.2	教学策略·学习方法和要点提示	201
10.3	习题分类·解题步骤·解题要求	202

10.4	典型题分析和精解	202
10.5	课后习题选解	209
第 11 章	动量定理	214
11.1	教材内容剖析	214
11.2	教学策略·学习方法和要点提示	218
11.3	习题分类·解题步骤·解题要求	219
11.4	典型题分析和精解	220
11.5	课后习题选解	226
第 12 章	动量矩定理	231
12.1	教材内容剖析	231
12.2	教学策略·学习方法和要点提示	235
12.3	习题分类·解题步骤·解题要求	237
12.4	典型题分析和精解	238
12.5	课后习题选解	247
第 13 章	动能定理·动力学普遍定理综合应用举例	255
13.1	教材内容剖析	255
13.2	教学策略·学习方法和要点提示	261
13.3	习题分类·解题步骤·解题要求	263
13.4	典型题分析和精解	264
13.5	课后习题选解	281
第 14 章	达朗贝尔原理和动静法	299
14.1	教材内容剖析	299
14.2	教学策略·学习方法和要点提示	303
14.3	习题分类·解题步骤·解题要求	304
14.4	典型题分析和精解	305
14.5	课后习题选解	314
第 15 章	虚位移原理	324
15.1	教材内容剖析	324
15.2	教学策略·学习方法和要点提示	327
15.3	习题分类·解题步骤·解题要求	328
15.4	典型题分析和精解	329
15.5	课后习题选解	339
第 16 章	非惯性系中的质点动力学	349
16.1	教材内容剖析	349
16.2	教学策略·学习方法和要点提示	350

16.3	习题分类·解题步骤·解题要求	351
16.4	典型题分析和精解	352
16.5	课后习题选解	355
第 17 章	碰撞	361
17.1	教材内容剖析	361
17.2	教学策略·学习方法和要点提示	365
17.3	习题分类·解题步骤·解题要求	366
17.4	典型题分析和精解	367
17.5	课后习题选解	376
第 18 章	动力学普遍方程·拉格朗日方程·动力学综合应用	380
18.1	教材内容剖析	380
18.2	教学策略·学习方法和要点提示	382
18.3	习题分类·解题步骤·解题要求	383
18.4	典型题分析和精解	385
18.5	课后习题选解	408
第 19 章	机械振动基础	420
19.1	教材内容剖析	420
19.2	教学策略·学习方法和要点提示	428
19.3	习题分类·解题步骤·解题要求	429
19.4	典型题分析和精解	430
19.5	课后习题选解	441
第 20 章	刚体定点运动、自由刚体运动、刚体运动的合成·陀螺仪近似理论	452
20.1	教材内容剖析	452
20.2	教学策略·学习方法和要点提示	455
20.3	习题分类·解题步骤·解题要求	456
20.4	典型题分析和精解	457
20.5	课后习题选解	468
第 21 章	变质量动力学	475
21.1	教材内容剖析	475
21.2	教学策略·学习方法和要点提示	476
21.3	习题分类·解题步骤·解题要求	477
21.4	典型题分析和精解	478
21.5	课后习题选解	479
附录		482
附录 A	理论力学课程的要求·重点·难点·考点	482

附录 B 理论力学课程考试模拟试题及其答案 485

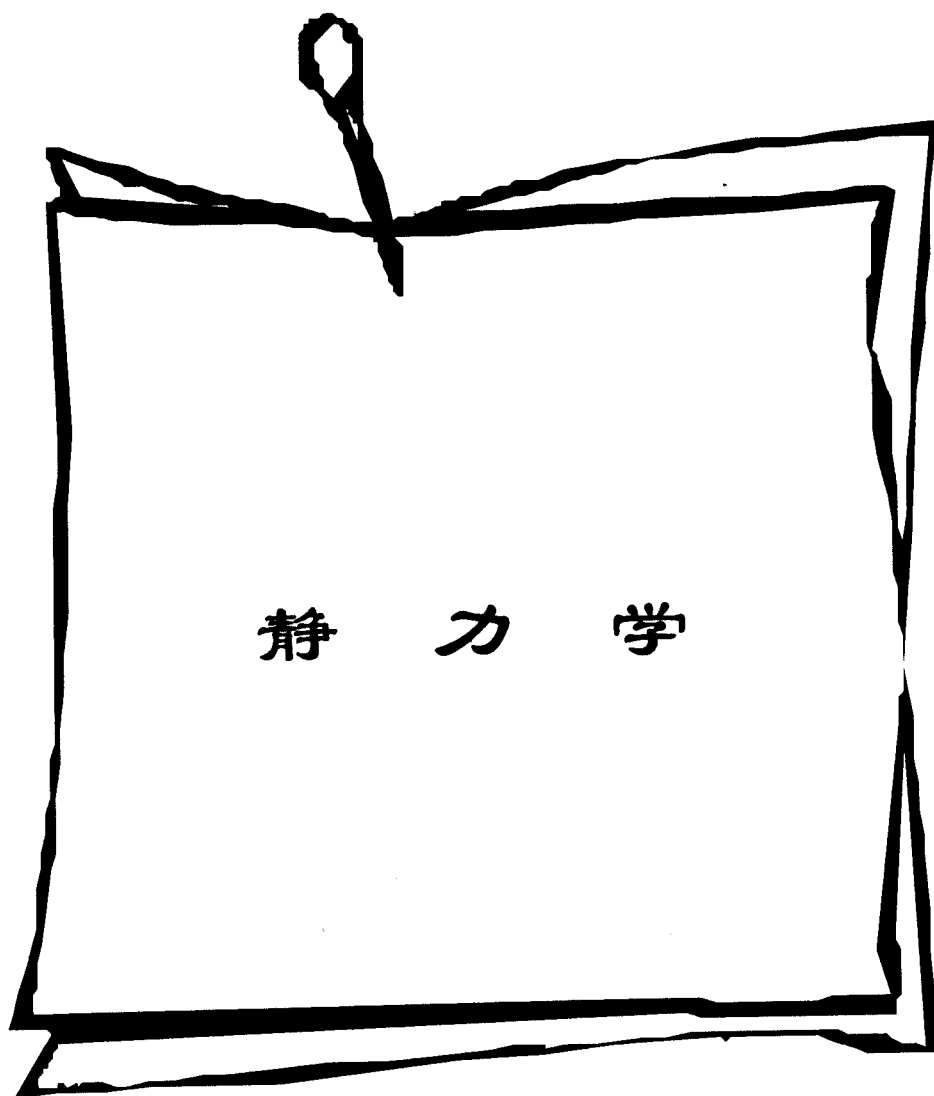
附录 C 相对于动矩心的动量矩定理 497

附录 D 相对于速度瞬轴的动量矩定理 499

附录 E 同青年教师谈讲课——理论力学教学的一些体会 500

参考文献 505

作者简介 506



第1章 静力学公理和物体的受力分析

1.1 教材内容剖析

1.1.1 理论内容提要

1.1.1.1 静力学的基本概念

1. 力的概念 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. 刚体的概念 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. 平衡的概念 平衡是指物体相对于惯性参考系保持静止或作匀速直线运动，它是机械运动的特殊情况。

4. 约束和约束力的概念 对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束。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。

1.1.1.2 静力学的基本公理

公理是人们在生活和生产实践中长期积累、总结，又经实践反复检验而确认的符合客观实际的公认道理。

公理1 力的平行四边形法则 作用在物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点，合力的大小和方向，由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定，即合力为原两个力的矢量和。

公理2 二力平衡条件 作用在刚体上的两个力(如 F_1 、 F_2)，使刚体保持平衡的必要和充分条件是：这两个力的大小相等、方向相反，且作用在同一直线上。

公理3 加减平衡力系原理 可以在作用于刚体的已知力系上加上或减去任意的平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

推理1 力的可传性 作用在某刚体上的力，它的作用点可沿其作用线在该刚体内任意移动，并不改变该力对刚体的作用。

推理2 三力平衡汇交定理 作用在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，则此三个力必在同一平面内，且第三个力的作用线也通过该点。

公理4 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、方向相反，沿

同一直线并分别作用在这两个物体上。

公理5 刚化原理 设变形体在某力系作用下处于平衡状态，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。

1.1.1.3 工程上常见的约束类型及其约束力

1. 具有光滑接触表面的约束

其约束力作用在接触点处，方向沿接触表面的公法线，并指向被约束的物体。这种约束力称为法向约束力，通常用 F_N 表示。

2. 由柔软的绳索、链条或胶带等构成的约束

其约束力作用在接触点，方向沿绳索而背离物体。

3. 光滑铰链约束

这类约束有向心轴承、圆柱形铰链和固定铰链支座等。

(1) 向心轴承(径向轴承) 其约束力作用在接触点，并沿公法线指向轴心，或者用两个大小未知的正交分力表示。

(2) 圆柱铰链和固定铰链支座 其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，故通常用通过圆心而大小未知的两个正交分力表示。

4. 其他约束

(1) 滚动支座 滚动支座的约束力 F_N 垂直于支承面，且通过铰链中心。

(2) 球铰链 球铰链的约束力通过接触点与球心，但方向不能预先确定，通常用三个正交分力表示。

(3) 止推轴承 其约束力也可用三个正交分力表示。

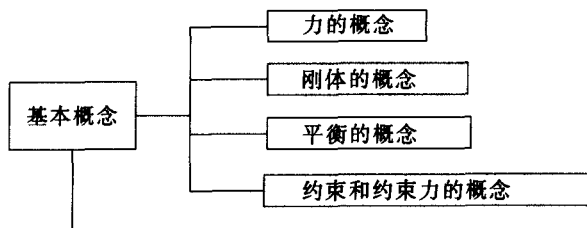
1.1.1.4 物体的受力分析和受力图

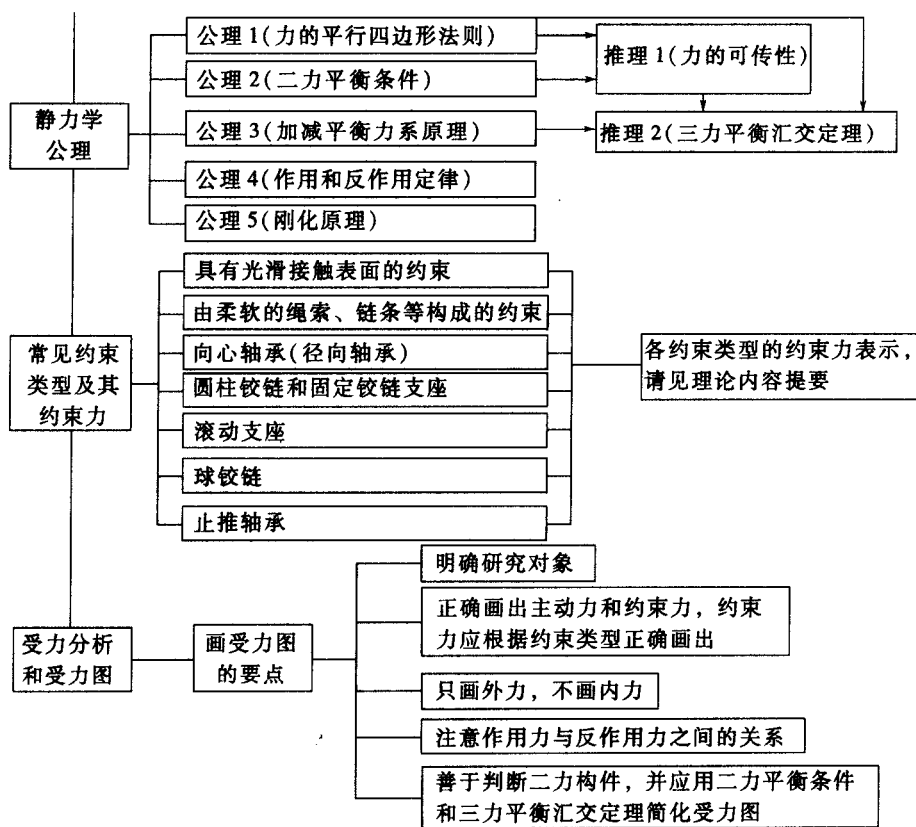
1. 物体的受力分析 在工程实际中，为了求出未知的约束力，需要根据已知力，应用力学方程求解。为此首先要确定构件承受几个力，每个力的作用位置和力的作用方向，这种分析过程称为物体的受力分析。

2. 物体的受力图

作用在物体上的力可分为两类：一类是主动力，另一类是约束力(即未知的被动力)。把需要研究的物体(受力体)从周围的物体(施力体)中分离出来，单独画出它的简图的步骤叫做取研究对象或取分离体。然后，把施力物体对研究对象的作用力(包括主动力和约束力)全部画出来。这种表示物体受力的简明图形称为受力图。

1.1.2 知识结构框图





1.1.3 要求·重点·难点

1.1.3.1 要求

准确理解力、刚体、平衡、约束等基本概念和静力学基本公理。掌握常见约束的特征及约束力的表示方法。能正确地对单个物体及物体系进行受力分析并画出受力图。

1.1.3.2 重点

1. 力的概念，刚体的概念，平衡的概念，约束和约束力的概念。
2. 静力学公理及其应用。
3. 工程上几种常见约束的特征及其约束力的画法。
4. 受力分析和受力图(单个物体及物体系)。

1.1.3.3 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 教学策略·学习方法和要点提示

1.2.1 教学策略

1. 本章中静力学的基本概念和静力学公理应结合工程实例给学生讲解清楚，但约束及其

特征、约束力的画法应结合模型教具或课件讲解。特别是铰链约束，应将铰链拆开，在分析各组成构件及其装配方式的基础上进行受力分析，指出其约束力的画法。例如连接两个以上物体的固定铰链、活动铰链及中间铰链的销钉的受力分析。关于各类约束力的分析和受力图的画法是本章的难点，也是重点，因此在教学安排上可将难点分散并反复练习以逐步使学生掌握。告诉学生画受力图时只画外力、不画内力，并严格按照约束类型画出相应的约束力。受力图画完后，应能明确指出每个约束力是由哪些约束施加的。不要漏画力，不要多画力，不要画错力的方向。

2. 本章所涉及一些理论和概念(特别是约束和约束力,刚化原理等),不可能使学生学完本章就能完全掌握,必须通过以后的章节来巩固和深化,这是教学规律。

3. 本章宜安排4学时,前2学时为讲课,后2学时安排课堂讨论或习题课。

1.2.2 学习方法和要点提示

1. 约束和约束力是本章的难点,要学会严格按照约束的类型和特征确定约束力的方向。约束力的方向永远与该约束所能阻碍的运动方向相反,约束力的大小要由以后的力学方程确定。

2. 正确画出物体或物体系的受力图,是解决力学问题的首要前提,也是本章的重点和难点。力是物体间相互的机械作用,因此受力图上的每一个力都应是两个物体间相互的机械作用。

3. 画受力图时一定要先取研究对象,即分离体。取分离体的目的是为显示物体之间的相互作用力。另外,工程上所要分析的结构或机构往往很复杂,如果不取分离体来画受力图,往往分不清内力和外力,施力物体和受力物体,这样很容易出错。

4. 画受力图应注意下列问题:

(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,这些力的箭头应符合作用力与反作用力的关系。

(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,并根据二力平衡条件和三力平衡汇交定理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。

1.3 习题分类·解题步骤·解题要求

1.3.1 习题分类

画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。