

HEADSPRING

源泉

高等学校经典教材配套辅导丛书

理论力学 (I)

辅导及习题精解

哈工大第六版

Chattanooga
Greenville S C

陈平 主编

- ★ 习题全解
- ★ 名师编著
- ★ 精准解答
- ★ 知识归纳
- ★ 经典例题与全真考题详解

新版



陕西师范大学出版社
SHAANXI NORMAL UNIVERSITY PRESS



高等学校经典教材配套丛书

理论力学(I)

辅导及习题精解

(哈工大第六版)

主 编：陈 平

副主编：孙 鹰 杜茂林

参加编写（以姓氏笔画为序）：

于世海 韦忠瑄 孙 鹰 闫凤国

杜茂林 杨绪普 陈 平 陈国良

程洪阵 蒋 斌



陕西师范大学出版社
SHAANXI NORMAL UNIVERSITY PRESS

图书代号:JF6N0566

图书在版编目(CIP)数据

理论力学辅导(Ⅰ)及习题精解/陈平主编. —西安:陕西师范大学出版社,2006.6

(高等学校经典教材配套辅导丛书)

ISBN 7-5613-3025-1/O·73

Ⅰ.理… Ⅱ.陈… Ⅲ.理论力学—高等学校—教学参考资料
Ⅳ.031

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 047528 号

责任编辑 陈光明

装帧设计 王静婧

出版发行 陕西师范大学出版社

社 址 西安市陕西师大 120[#](邮政编码:710062)

网 址 <http://www.snuph.com>

经 销 新华书店

印 刷 南京金阳彩色印刷有限公司

开 本 850×1168 1/32

印 张 20.375

字 数 500 千

版 次 2006 年 6 月第 2 版

印 次 2006 年 6 月第 1 次印刷

定 价 32.00 元(共 2 册,本册 23.00 元)

开户行:光大银行西安电子城支行 账号:0303080-00304001602

读者购书、书店添货或发现印装问题,请与本社营销中心联系、调换。

电 话:(029)85307864 85233753 85251046(传真)

E-mail:if-centre@snuph.com

前 言

理论力学是现代许多学科和工程技术的基础,是理工科院校的一门重要的技术基础课。但对许多高等学校的学生来讲,学习理论力学并不是一个轻松的过程,普遍反映“理论易懂,解题困难”,甚至有人将之称为“头疼力学”。究其主要原因,是因为理论力学的基本概念、基本理论和分析方法看起来都不复杂,有许多还在物理课程中接触过,因此很多学生总是处于一种似懂非懂的状态,没有对所学内容深刻理解。再之,理论力学的定理、公式往往是“非构造性”的,不能用简单代公式的方法来计算,而是必须要有分析的过程,没有清晰的概念就无从下手。

为了深刻理解和牢固掌握理论力学的基本理论和原理,多实践是一个非常有效的方法,它包括了多见例题和多做习题两个方面。本书的目的,就是为了帮助读者在较短的时间里,接触到尽量多类型的题目,从而加深对理论的理解,熟练掌握各类分析方法。本书各章节是按照哈尔滨工业大学理论力学教研室编写的《理论力学(I)》及《理论力学(II)》(第六版)的顺序编排的。在各章节中,首先对理论要点给予综述,指出重点和难点以及解题要点;接着给出了数量众多的例题,其中大部分来自近年来的各重点大学研究生入学试题和竞赛题;最后对《理论力学(I)》及《理论力学(II)》(第六版)的全部习题给出了较详细的参考解答。

解放军理工大学应用力学教研室的许多同志都参加了本书的

编写工作,因此本书也是长期从事一线力学教学工作的教师们集体智慧的结晶。

希望通过阅读本书,有助于帮助读者巩固和加深对理论力学的基本理论的理解,拓宽解题思路,领会解题方法,掌握解题技巧,提高分析问题和解决问题的能力。

限于编者的水平,书中错误是难免的,欢迎读者批评指正。另外,对书中题目的解答,如果读者有更好的方法,望不吝赐教,编者将万分感谢。

祝读者朋友学业有成!

编 者

2006 年 4 月于江苏南京

目 录

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析	(1)
1.1 理论和方法要点	(1)
1.1.1 静力学公理	(1)
1.1.2 约束和约束反力	(1)
1.1.3 物体的受力分析和受力图	(4)
1.2 重点难点分析	(4)
1.3 解题指导	(4)
1.3.1 画受力图的步骤	(4)
1.3.2 注意事项	(5)
1.4 例题示范	(5)
1.5 习题全解	(8)
第 2 章 平面汇交力系与平面力偶系	(16)
2.1 理论与方法要点	(16)
2.1.1 力对点的矩	(16)
2.1.2 平面共点力系(汇交力系)	(16)
2.1.3 平面汇交力系的平衡条件	(17)
2.1.4 平面力偶系	(17)
2.2 重点难点分析	(17)
2.3 解题指导	(18)
2.3.1 解析法	(18)
2.3.2 几何法	(18)
2.4 例题示范	(18)

2.5 习题全解	(22)
第3章 平面任意力系	(35)
3.1 理论与方法要点	(35)
3.1.1 力的平移定理	(35)
3.1.2 平面任意力系的简化	(35)
3.1.3 平面任意力系的平衡方程	(35)
3.1.4 平面力系的平衡方程	(36)
3.1.5 求解平面静定桁架的内力	(36)
3.2 重点难点分析	(36)
3.3 解题指导	(36)
3.3.1 解题步骤	(36)
3.3.2 方法与技巧	(37)
3.4 例题示范	(39)
3.5 习题全解	(49)
第4章 空间力系	(100)
4.1 理论与方法要点	(100)
4.1.1 力对点的矩和力对轴的矩	(100)
4.1.2 空间力偶	(100)
4.1.3 空间任意力系的简化	(101)
4.1.4 空间任意力系平衡方程	(102)
4.1.5 重心	(102)
4.2 重点难点分析	(102)
4.3 解题指导	(103)
4.4 例题示范	(104)
4.5 习题全解	(114)
第5章 摩擦	(141)
5.1 理论与方法要点	(141)
5.1.1 滑动摩擦	(141)
5.1.2 摩擦角与自锁现象	(141)

5.1.3 滚动摩擦	(142)
5.2 重点难点分析	(142)
5.3 解题指导	(142)
5.3.1 摩擦平衡问题的特点	(142)
5.3.2 已知运动状态时的摩擦力分析	(142)
5.3.3 未知运动状态时摩擦力的分析	(143)
5.4 例题示范	(143)
5.5 习题全解	(155)
第6章 点的运动学	(184)
6.1 理论和方法要点	(184)
6.1.1 点的运动方程、速度和加速度	(184)
6.2 重点难点分析	(185)
6.3 解题指导	(185)
6.4 例题示范	(185)
6.5 习题全解	(193)
第7章 刚体的简单运动	(206)
7.1 理论和方法要点	(206)
7.1.1 平移	(206)
7.1.2 定轴转动	(206)
7.2 重点难点分析	(206)
7.3 解题指导	(206)
7.4 例题示范	(207)
7.5 习题全解	(210)
第8章 点的合成运动	(221)
8.1 理论和方法要点	(221)
8.1.1 基本概念	(221)
8.1.2 速度合成定理	(222)
8.1.3 加速度合成定理	(222)
8.2 重点难点分析	(222)

8.3	解题指导	(222)
8.4	例题示范	(223)
8.5	习题全解	(237)
第9章	刚体的平面运动	(266)
9.1	理论和方法要点	(266)
9.1.1	平面运动	(266)
9.1.2	求平面图形内各点速度的基点法	(266)
9.1.3	求平面图形内各点速度的投影法	(266)
9.1.4	平面图形的瞬时速度中心	(266)
9.1.5	求平面图形内各点速度的瞬心法	(267)
9.1.6	平面图形内各点加速度的计算	(268)
9.2	重点难点分析	(268)
9.3	解题指导	(268)
9.4	例题示范	(269)
9.5	习题全解	(317)
第10章	质点动力学	(373)
10.1	理论与方法要点	(373)
10.1.1	动力学基本定律	(373)
10.1.2	质点运动微分方程	(373)
10.2	重点难点分析	(374)
10.3	解题指导	(374)
10.3.1	质点动力学解两类基本问题	(374)
10.3.2	解题步骤	(375)
10.4	例题示范	(375)
10.5	习题全解	(389)
第11章	动量定理	(400)
11.1	理论与方法要点	(400)
11.1.1	动量与冲量	(400)
11.1.2	动量定理	(400)

11.1.3	质心运动定理	(402)
11.2	重点难点分析	(403)
11.3	解题指导	(404)
11.4	例题示范	(404)
11.5	习题全解	(417)
第 12 章	动量矩定理	(431)
12.1	理论与方法要点:	(431)
12.1.1	质点和质点系的动量矩	(431)
12.1.2	动量矩定理	(432)
12.1.3	刚体绕定轴的转动微分方程	(432)
12.1.4	刚体对轴的转动惯量	(433)
12.1.5	质点系相对于质心的动量矩定理	(433)
12.1.6	刚体的平面运动微分方程	(434)
12.2	重点难点分析	(434)
12.3	解题指导	(435)
12.4	例题示范	(436)
12.5	习题全解	(449)
第 13 章	动能定理	(477)
13.1	理论与方法要点	(477)
13.1.1	力的功	(447)
13.1.2	质点和质点系的动能	(478)
13.1.3	动能定理	(478)
13.1.4	功率·功率方程·机械效率	(479)
13.1.5	势力场·势能·机械能守恒定律	(479)
13.1.6	普遍定理的综合应用	(480)
13.2	重点难点分析	(481)
13.3	解题指导	(481)
13.4	例题示范	(483)
13.5	习题全解	(500)

13.6 综合问题习题详解	(517)
第 14 章 达朗贝尔原理(动静法)	(547)
14.1 理论与方法要点	(547)
14.1.1 惯性力、质点的达朗贝尔原理	(547)
14.1.2 质点系的达朗贝尔原理	(547)
14.1.3 刚体惯性力系的简化结果	(547)
14.1.4 刚体绕定轴转动时轴承的动反力	(548)
14.2 重点难点分析	(549)
14.3 解题指导	(550)
14.4 例题示范	(550)
14.5 习题全解	(576)
第 15 章 虚位移原理	(609)
15.1 理论与方法要点	(609)
15.1.1 约束、约束的分类、广义坐标和自由度	(609)
15.1.2 虚位移、虚功,理想约束	(609)
15.1.3 虚位移原理(虚功方程)	(610)
15.2 重点难点分析	(610)
15.3 解题指导	(611)
15.4 例题示范	(612)
15.5 习题全解	(625)

第1章 静力学公理和物体的受力分析

>>> 1.1 理论和方法要点 <<<

►►► 1.1.1 静力学公理

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,其合力的大小和方向由此二力为邻边的平行四边形的对角线确定。

公理2 二力平衡公理

作用于同一物体上的两个力,其平衡的必要而又充分的条件是:此二力的大小相等,方向相反,作用在同一条直线上。

公理3 加减平衡力系公理

作用在同一物体上的许多力,称为力系。物体在力系作用下,保持平衡状态时,此力系称为平衡力系。在已知力系作用下,加上或减去一个平衡力系,并不改变物体的原有运动状态,即平衡力系等价于零。

推论1 力的可传性原理

作用于物体上某点的力,可以沿该力的作用线滑移到物体内的任一点而不改变该力对物体的作用效果。

推论2 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。

公理4 作用与反作用定律

两个物体之间的作用力与反作用力,总是同时出现,并且大小相等,方向相反,沿着同一条直线,分别作用在此二物体上。

公理5 刚化原理

若将在力系作用下处于平衡的变形体刚化为刚体,其平衡状态保持不变。

►►► 1.1.2 约束和约束反力

工程实际中的多数物体,往往受到一定限制而使其在某些方向上不能运动。

限制物体运动的条件称为约束,这种限制作用表现为力,称为约束反作用力,简称约束反力(包括约束反作用力偶)。

常见的约束类型有如下几种:

(1) 柔性约束。属于这类约束的有绳索、链条、皮带等。柔性约束只能承受张力,所以约束反力沿柔性构件的轴线方向,背离被约束物体。

(2) 光滑接触面约束。不论接触面是平面还是曲面,都不能限制物体沿接触面的切线方向运动,只能限制物体沿接触面的公法线方向进入接触面的运动,因此光滑接触面约束反力的方向应沿接触面在接触点处的公法线方向,指向被约束物体内部。若物体搁在光滑的固定面上形成尖点接触,应把尖点视为极小的圆弧,约束反力的方向仍是沿接触面的公法线,指向被约束物体,约束反力的作用点,就是接触点。

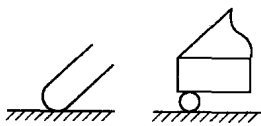
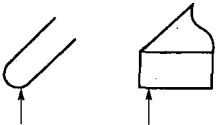
(3) 光滑圆柱铰链约束。只能限制沿径向的相对移动,不能限制沿轴向的相对位移和相对转动。约束反力在垂直于转轴的平面内,并通过铰链中心,其方位和指向未定。

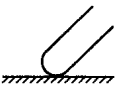
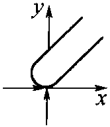
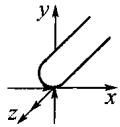
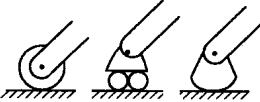
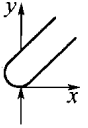
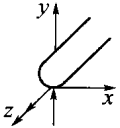
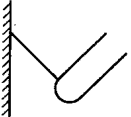
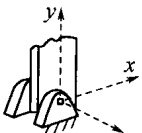
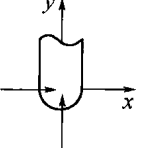
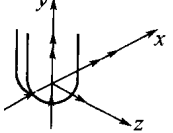
(4) 轴承约束。此类约束的约束反力的分析方法与铰链约束的相同。

(5) 固定端(插入端)支座约束。既限制相对移动,又限制相对转动,约束反力是分布力系,可简化为一个反力和一个反力偶矩。

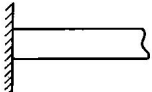
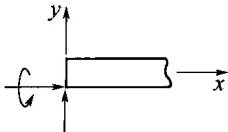
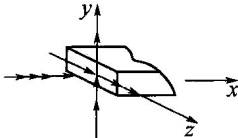
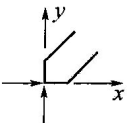
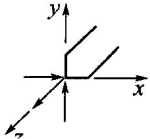
现将一些常见的约束类型和它们相对应的约束反力,列入表 1.1 中,供参考。

表 1.1

支座或连接	反作用力	
	二向载荷	三向载荷
 光滑表面或滚珠	 垂直于表面的单力 (1 个未知数)	和二向载荷情况相同

 粗糙表面	 法向力及摩擦力 (2 个未知数)	 法向力和两个摩擦力分量(3 个未知数)
 滚轴、滚柱或摇轴	 垂直于表面的单力 (1 个未知数)	 法向力和摩擦力 (2 个未知数)
 绳、索、链、金属丝等	 沿着绳的轴向单力 (1 个未知数)	和二向载荷情况相同
支座或连接	反作用力	
	二向载荷	三向载荷
 光滑销钉或铰链	 两个正交分力 (2 个未知数)	 三个正交分力和两个力偶(5 个未知数)

续表 1.1

 固定端	 两个正交分力和一个力偶(3个未知数)	 三个正交分力和三个力偶(6个未知数)
 球铰链	 两个正交分力(2个未知数)	 三个正交分力(3个未知数)

►►► 1.1.3 物体的受力和受力图

求解静力学的关键步骤是对物体进行受力分析。为了清晰地表示物体的受力情况,需要把所研究的物体(研究对象)从与它相关联的物体中分离出来,并画出它的简图,这个步骤叫做取分离体。在分离体上画出它所受的主动力及周围物体对它的约束反力,这种描述物体的全部受力情况的简图称为受力图。

>>> 1.2 重点难点分析 <<<

重点:静力学公理;受力分析。

难点:画受力图。

>>> 1.3 解题指导 <<<

►►► 1.3.1 画受力图的步骤

- (1) 选取分离体,画分离体图。
- (2) 在分离体上画上主动力(载荷、重力等)。
- (3) 根据约束的类型,画上相应的约束反力。

►►► 1.3.2 注意事项

(1) 被选定为分离体的可能是一个物体,也可能是几个物体构成的刚体系,不同的分离体的受力图是不同的。

(2) 受力图上只画外力。内力和外力是相对于分离体而言的,凡是分离体以外的物体作用于分离体的力(包括载荷、重力、支座或连接件的反作用力)都是外力,分离体内部之间的作用力为内力。内力总是等值、反向、共线的力,并且成对出现,故不影响物体的平衡。

(3) 必须正确的判断未知力(包括未知力偶)的方向,不能凭主观臆断。至于它们的指向一般可以任意假设。若由平衡方程计算得到的约束反力为正值,则说明假设指向与真实指向一致;若计算得到的约束反力为负值,则说明假设指向与真实指向相反。柔性约束与光滑面约束的反力方向不能任意假设。

(4) 在受力图中,有两种方法表示力和力偶:一种是用矢量表示;另一种是用它们的正交分量表示。如果根据静力学公理(二力平衡公理、三力汇交平衡定理、作用与反作用公理等)可确定约束力的方向,则用矢量表示。否则,可用正交分量表示。

>>> 1.4 例题示范 <<<

例 1.1 试对图 1.1(a) 所示结构的主要构件进行受力分析,画受力图。

【解】 结构中的主要构件,是起主要承载作用的构件,或是作用有已知载荷的构件。本题的构架由 AB 和 CD 两构件用铰链和铰支座连接而成,从计算构件受力角度看,应该分析 AB 构件的受力。

(1) 对 AB 杆拆除 B 铰支座及 CD 构件,根据 B 、 D 处铰链的性质,可画出 AB 构件受力图如图 1.1(b) 所示。

(2) 如果注意到 CD 构件受力特点(不考虑重力),可判断其为二力平衡构件,它所受的力 F_C 、 F_D' 之作用线应沿 CD 连线。 AB 杆的受力 F_{Dx} 和 F_{Dy} 的合力 F_D 与 F_D' 是作用力与反作用力的关系,于是可画出如图 1.1(c) 所示的受力图。

(3) 再对 AB 杆受力作进一步分析思考,可知 B 铰的约束力 F_{Bx} 和 F_{By} 可合成为一个力,因而 AB 是受 3 个不平行的力作用而平衡,且三力作用线汇交点由 F_D 和 F 的交点确定,最后画出 AB 杆的受力图如图 1.1(d) 所示。

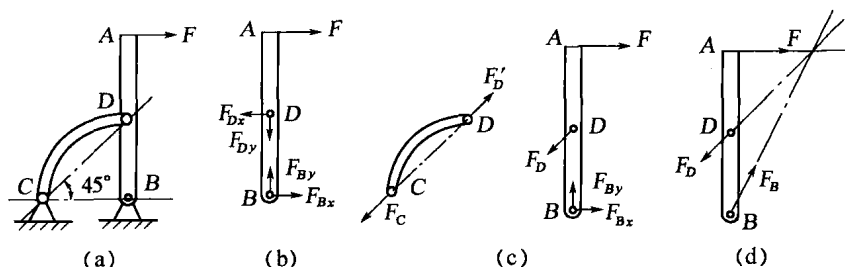


图 1.1

例 1.2 图 1.2(a) 所示球 C 重 W , A 处是固定铰链支座, 杆 B 和绳 BH 的重量都忽略不计。试分别画出球 C 和杆 AB 的受力图。

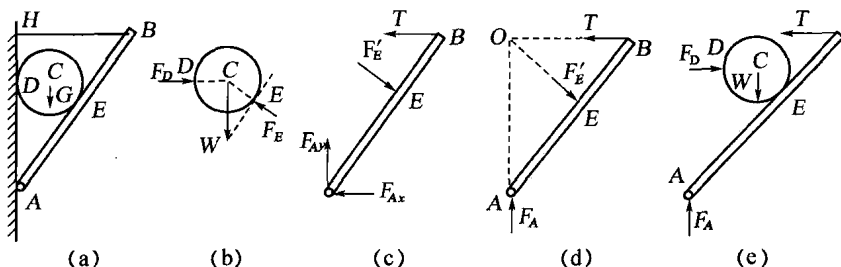


图 1.2

【解】 球 C 除受主动力 W 作用外, 在 D、E 两处还受光滑支承面对球的约束力 F_D 和 F_E 的作用(图 1.2(b))。这 3 个力的作用线显然交于球心 C。

杆 AB 在 E、B、A 三处受力作用。杆在点 E 受球对它的作用力 $F_E' = -F_E$ 。在点 B 受绳索作用的拉力 F_T 。固定铰链 A 对杆的约束力, 一般可用两个正交分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示(图 1.1(c))。但根据三力汇交定理, 由于力 F_T 和 F_E' 的作用线交于点 O, 可以判断支座 A 对杆的约束力 F_A 必沿通过 A、O 两点连线, 如图 1.2(d) 所示。

【评注】 (1) 杆 AB 受力图 1.2(c) 和(d) 的差别仅是对问题分析的角度不同, 但两图都是正确的。

(2) 如果要画由球和杆组成系统的受力图, 这时只须画出该系统所受外力 W , F_T , F_A 和 F_D , 而不画该系统的内力 F_E' 和 F_E 。如图 1.2(e) 所示。

例 1.3 图 1.3(a) 所示机构中, 固结在点 I 的绳子绕过定滑轮 O, 将重为 W 的物块吊起。各杆之间用铰链连接, 不计杆重。试画出下列指定物体的受力图。