

高等学校教学和考研复习参考书

理论力学 辅导与题解

景荣春 编 著



清华大学出版社

高等学校教学和考研复习参考书

理论力学辅导与题解

景荣春 编 著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书包含普通高等教育“十一五”国家级规划教材《理论力学》(I、II)(第7版)(哈尔滨工业大学理论力学教研室编)各章理论要点和课程基本要求外,还包含书后全部习题详解。

本书的特色是例题分析突出启发式,习题解答思路清晰,步骤详细,符号和插图规范,文字叙述易懂。

本书可供高等学校从事理论力学课程教学的教师教学参考,同时特别适合作为学生进行理论力学课程复习考试和报考研究生复习考试的参考书,也可供其他专业的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

理论力学辅导与题解/景荣春编著. —北京:清华大学出版社, 2010.6

ISBN 978-7-302-22579-9

I. ①理… II. ①景… III. ①理论力学—高等学校—教材参考资料 IV. ①O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 074957 号

责任编辑:张 瑜

封面设计:杨玉兰

版式设计:北京东方人华科技有限公司

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:34.75 字 数:837 千字

版 次:2010 年 6 月第 1 版 印 次:2010 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:48.00 元

产品编号:036005-01

前 言

哈尔滨工业大学理论力学教研室编、高等教育出版社 2009 年 7 月出版的“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”《理论力学》(I、II)(第 7 版)(以下简称**主教材**)为高等教育出版社“百门精品”品牌产品之一,很多高校用作教科书,全国同类教材市场占有率最高,影响最深,大多数高校将其列为硕士研究生入学考试科目参考书。

主教材第 7 版与其第 6 版相比,内容和体系作了少许修改,书后共有画受力图题 3 大题(33 小题)、计算题(含证明题)468 题,其中有 20%的新题,使题型更全面,且这些新题概念性很强,考核训练的知识点又常常是各类考试命题的范围。由于“理论力学”向来有“理论看似好懂,习题确实难做”的说法,为方便教学和各类考试复习需要、节省备课和学习时间,特编写本《理论力学辅导与题解》,它是与主教材配套的教学参考书。

本书每章含 4 个部分。其第 1 部分为“理论要点”,是主教材的内容提要;第 2 部分“基本要求”参考“教育部力学基础课程教学指导分委员会”2008 年编制的“理论力学课程教学基本要求(A 类)”编写,其中要求“掌握”和“熟练”的内容为各类考试命题的重点;第 3 部分例题中的“解题步骤”是针对全部书后习题的;第 4 部分包含主教材书后各章全部习题详解,所给解答思路清晰、符号规范、图文并茂、步骤详细,便于阅读;限于篇幅,一般只提供用本章知识求解的 1 种方法,少数习题给出一题多解,以便比较。对于主教材的“思考题”解答,请参阅本书“参考文献 6 和 7”。考虑到目前课内学时紧张,编者认为,教学和考试复习的重点在主教材第 I 册(这是理论力学的“基础部分”,对应于本书的第 1~3 篇,即第 1~14 章),其题型和数量均足够;若是考研,只有少数高校会考到主教材第 II 册(这是理论力学的“专题部分”,对应于本书的第 4 篇,即第 15~20 章)部分内容(可参阅其往年命题范围)。学生在使用本书每章第 4 小节“习题详解”时,千万不要先阅读每道题的题解,而应先每章选做 1/3 以上的习题,做好后再参阅题解,并进行总结思考该题类型,解题思路,涉及的概念、定理和公式等;若遇到有的题实在不会,可看看题解,想想原来卡在何处,再合上题解,看是否能正确写出解答,同时要增加同样数量的习题独立完成。只有多练、多思考、多归纳,才能消化课程要点,克服眼高手低的困境。再将其余的习题详解认真阅读思考一下。需要注意的是本书给出的题解结果与第 6 次印刷的主教材(I)的答案(只有题 6~10 的第 3 问答案不同)和第 3 次印刷的主教材(II)的答案相同,若有的学生使用的主教材是前几次印刷本,则书后少数答案有误。

本书可供高等学校从事理论力学课程教学的教师教学参考,同时特别适合作为学生进行理论力学课程复习考试和报考研究生复习考试的参考书,也可供其他专业的工程技术人员参考。

由于编者水平所限,不足之处在所难免,恳请广大用户提出宝贵意见。编者的联系邮箱是: jingrongchun@yahoo.com.cn

编 者

主要符号表

a	加速度	f	频率, 动摩擦因数
a_{AB}	点 A 相对点 B 的加速度	f_s	静摩擦因数
a_{AB}^n	点 A 相对点 B 的法向加速度	F^e	外力
a_{AB}^t	点 A 相对点 B 的切向加速度	F_i	第 i 个力
a_a	绝对加速度	F^i	内力
a_a^n	法向绝对加速度	F_l	惯性力
a_a^t	切向绝对加速度	F_{lc}	科氏惯性力
a_c	科氏加速度	F_{le}	牵连惯性力
a_C	点 C 的加速度, 质心加速度	F_n	法向分力
a_e	牵连加速度	F_N	法向约束力
a_e^n	法向牵连加速度	F_r	径向力
a_e^t	切向牵连加速度	F_R	主矢, 合力
a_n	法向加速度	F_s	静摩擦力
a_r	相对加速度	F_t	圆周力, 切向力
a_r^n	法向相对加速度	g	重力加速度
a_r^t	切向相对加速度	h	高度
a_t	切向加速度	i	轴 x 的基矢量
A	面积, 自由振动振幅	j	轴 y 的基矢量
b	距离, 宽度	J_z	对轴 z 的转动惯量
c	距离, 宽度, 常数	J_{xy}	对轴 x 、 y 的惯性积
C	质心, 重心	J_C	对质心的转动惯量
d	距离, 直径	k	弹簧刚度系数
D	直径	k	轴 z 的基矢量
E	弹性模量, 能	l	长度
E_k	动能	L	长度, 拉格朗日函数, 动量矩
E_p	势能	L_C	对质心的动量矩
e	恢复因数, 偏心距	L_O	对点 O 的动量矩
F	力, 动摩擦力	L_z	对轴 z 的动量矩

m	质量	W	重量
M	平面力偶矩	x	直角坐标
M_z	对轴 z 的矩	y	直角坐标
$\boldsymbol{M}$	力偶矩矢, 主矩	z	直角坐标
$\boldsymbol{M}_I$	惯性力的主矩	α	角加速度, 角度
$\boldsymbol{M}_O(\boldsymbol{F})$	力 $\boldsymbol{F}$ 对点 O 的矩	$\boldsymbol{\alpha}$	角加速度矢量
n	质点数目, 每分钟转速, 弹簧圈数	β	角度, 振幅比
O	参考坐标系的原点	δ	滚阻系数, 阻尼系数, 厚度, 位移
P	功率	φ	角度, 初相角, 相位差
$\boldsymbol{p}$	动量	φ_f	摩擦角
Q_k	广义力	γ	角度
q	载荷集度, 广义坐标	η	减缩因数, 效率, 隔振因数
q_V	体积流量	Λ	对数减缩
q_m	质量流量	θ	角度
R	半径	ρ	密度, 曲率半径
r	半径	ρ_A	面密度
$\boldsymbol{r}$	矢径	ρ_l	线密度
$\boldsymbol{r}_C$	质心的矢径	ζ	阻尼比
$\boldsymbol{r}_O$	点 O 的矢径	ω	角速度
s	弧坐标, 频率比	$\boldsymbol{\omega}$	角速度矢量
t	时间, 温度	ω_n	固有角频率
T	周期, 温度, 动能	ω_a	绝对角速度
V	体积, 势能	$\boldsymbol{\omega}_a$	绝对角速度矢量
$\boldsymbol{v}$	速度	ω_e	牵连角速度
$\boldsymbol{v}_a$	绝对速度	$\boldsymbol{\omega}_e$	牵连角速度矢量
$\boldsymbol{v}_C$	质心速度	ω_r	相对角速度
$\boldsymbol{v}_e$	牵连速度	$\boldsymbol{\omega}_r$	相对角速度矢量
$\boldsymbol{v}_r$	相对速度	ψ	角度
W	力的功		

目 录

绪论	1
----------	---

第1篇 静 力 学

第1章 静力学公理和物体的受力分析	2	第3章 空间力系	69
1.1 理论要点	2	3.1 理论要点	69
1.1.1 基本概念	2	3.2 基本要求	70
1.1.2 静力学公理	2	3.3 例题	71
1.1.3 约束和约束力	3	3.4 习题详解	74
1.2 基本要求	3	第4章 摩擦	91
1.3 例题	3	4.1 理论要点	91
1.4 习题详解	4	4.1.1 滑动摩擦	91
第2章 平面力系	17	4.1.2 摩擦角与自锁现象	91
2.1 理论要点	17	4.1.3 滚动摩阻的概念	91
2.2 基本要求	19	4.2 基本要求	92
2.3 例题	19	4.3 例题	92
2.4 习题详解	23	4.4 习题详解	98

第2篇 运 动 学

第5章 点的运动学	122	第7章 点的合成运动	153
5.1 理论要点	122	7.1 理论要点	153
5.2 基本要求	123	7.2 基本要求	154
5.3 例题	124	7.3 例题	154
5.4 习题详解	126	7.4 习题详解	159
第6章 刚体的简单运动	139	第8章 刚体的平面运动	183
6.1 理论要点	139	8.1 理论要点	183
6.1.1 平移	139	8.1.1 平面运动	183
6.1.2 定轴转动	139	8.1.2 平面图形上各点的 速度分析	183
6.2 基本要求	140	8.1.3 平面图形上各点的加速度 分析(基点法)	184
6.3 例题	140	8.1.4 运动学综合应用	184
6.4 习题详解	143		

8.2 基本要求	184	8.4 习题详解	190
8.3 例题	184		

第3篇 动力学

第9章 质点动力学的基本方程	231	12.1.5 势能	303
9.1 理论要点	231	12.2 基本要求	303
9.2 基本要求	232	12.3 例题	303
9.3 例题	232	12.4 习题详解	307
9.4 习题详解	233	第12z章 动力学普遍定理综合应用	322
第10章 动量定理	249	12z.1 理论要点	322
10.1 理论要点	249	12z.2 基本要求	322
10.1.1 基本概念	249	12z.3 例题	322
10.1.2 基本定理	250	12z.4 习题详解	327
10.2 基本要求	251	第13章 达朗贝尔原理	360
10.3 例题	252	13.1 理论要点	360
10.4 习题详解	255	13.1.1 惯性力与达朗贝尔原理	360
第11章 动量矩定理	267	13.1.2 刚体惯性力系的简化	360
11.1 理论要点	267	13.1.3 绕定轴转动刚体的 轴承动约束力	361
11.1.1 动量矩	267	13.2 基本要求	361
11.1.2 转动惯量	268	13.3 例题	361
11.1.3 动量矩定理	269	13.4 习题详解	364
11.1.4 刚体定轴转动微分方程	269	第14章 虚位移原理	384
11.1.5 质点系相对质心的 动量矩定理	269	14.1 理论要点	384
11.1.6 刚体平面运动微分方程	270	14.1.1 基本概念	384
11.2 基本要求	270	14.1.2 虚位移原理	385
11.3 例题	270	14.2 基本要求	385
11.4 习题详解	273	14.3 例题	386
第12章 动能定理	301	14.4 习题详解	390
12.1 理论要点	301	第15章 分析力学基础	405
12.1.1 力的功	301	15.1 理论要点	405
12.1.2 动能	302	15.2 基本要求	407
12.1.3 质点系动能定理	302	15.3 例题	407
12.1.4 功率和功率方程	302	15.4 习题详解	412

第 16 章 非惯性系中的质点动力学435	第 19 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 513
16.1 理论要点.....435	19.1 理论要点..... 513
16.2 基本要求.....435	19.1.1 刚体绕定点运动..... 513
16.3 例题.....435	19.1.2 自由刚体运动..... 513
16.4 习题详解.....438	19.1.3 刚体运动的合成..... 514
第 17 章 碰撞446	19.1.4 陀螺仪近似理论..... 514
17.1 理论要点.....446	19.2 基本要求..... 515
17.1.1 碰撞的特点和分类.....446	19.3 例题..... 515
17.1.2 用于碰撞的基本定理.....446	19.4 习题详解..... 518
17.1.3 恢复因数 k447	第 20 章 变质量动力学 533
17.1.4 撞击中心.....447	20.1 理论要点..... 533
17.2 基本要求.....448	20.1.1 基本结论..... 533
17.3 例题.....448	20.1.2 动力学普遍定理在变质量系统中的表述..... 533
17.4 习题详解.....450	20.2 基本要求..... 533
第 18 章 机械振动基础 464	20.3 例题..... 533
18.1 理论要点.....464	20.4 习题详解..... 535
18.2 基本要求.....468	参考文献 542
18.3 例题.....468	
18.4 习题详解.....473	

绪 论

1. 理论力学的研究对象

理论力学研究物体机械运动的基本规律。机械运动是指物体在空间的位置变化。

2. 理论力学的内容

理论力学研究的是速度远小于光速的宏观物体的机械运动，它以牛顿总结的 3 个基本定律和力的平行四边形法则为基础。本书分为 3 篇，主要内容如下：

- 第 1 篇为静力学(包括第 1~4 章)，主要研究力的基本概念、力系等效简化和平衡及其应用。
- 第 2 篇为运动学(包括第 5~8 章)，从几何角度研究物体运动。
- 第 3 篇为动力学(包括第 9~20 章)，研究物体的运动与所受力之间的关系。

3. 学习理论力学的目的

理论力学是一门许多专业都必修的理论性较强的技术基础课，又是学生接触工程实际的第一门课程，许多高校将其列为研究生入学考试科目。学习该课程的主要目的如下。

- (1) 理论力学是一切力学课程的基础，也是许多专业课程的基础。
- (2) 有些工程问题直接利用理论力学知识解决。因此，通过理论力学的学习，学生要初步学会近似处理工程实际问题的方法，包括工程实际问题的力学建模。
- (3) 理论力学是一门演绎性较强的课程，对训练逻辑思维颇有好处；同时，习题变化多端，可以培养学生的分析能力和灵活运用能力。

4. 学习理论力学的方法

理论力学属经典力学，理论性强，它是认识自然、解决实际问题的基础，也是一系列相关后续课程的基础，因此要求学生具备较好的数学物理基础，并且对力学模型的工程背景有较多的认识。学生在学习理论力学时，除了认真听课和精读主教材基本内容外，还要注意观察周围工程实际构件及其运动状态，同时一定要独立按时完成相应内容的习题作业，这是消化及掌握课程基本概念、基本理论、基本方法至关重要的一步。因此要求学生通过及时认真做习题来逐步掌握课程知识和提高解决问题的能力。

第 1 篇 静 力 学

本篇主要研究 3 个问题：物体的受力分析；力系的等效和简化；平衡力系作用下物体的受力。

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析

1.1 理 论 要 点

1.1.1 基本概念

(1) 力：力是物体间的相互机械作用，这种作用将使物体的运动状态发生变化(外效应)，或使物体变形(内效应)。对变形体而言，力是定位矢量，其三要素为大小、方向、作用点；而对刚体而言，力是滑移矢量，其三要素为大小、方向、作用线。

(2) 力系：力系是作用在物体上的一群力。按作用线所处位置划分，可分为平面或空间汇交力系、平行力系、力偶系、任意力系。

(3) 刚体：刚体是指受力不变形的物体。它是略去微小变形(这样能使问题研究大大简化，同时引起的误差又可忽略不计)后的理想化力学模型。除非特殊说明，一般理论力学的研究对象(模型)均为刚体。

(4) 平衡：物体相对惯性系(地面可近似看成惯性系)保持静止或做匀速直线运动。

思考：何谓集中力？何谓分布力？举例说明。何谓平衡力系？

1.1.2 静力学公理

(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一个合力，合力的作用点也在该点，大小和方向由这两个力为边构成的平行四边形的主对角线确定。

(2) **二力平衡公理**：作用于**刚体**上的两个力平衡的充要条件是等值、反向、共线。

(3) **加减平衡力系公理**：在给定力系上增加或减去任意的平衡力系，并不改变原力系对**刚体**的作用效果。

(4) **作用与反作用定律**：两**物体**间同时存在作用力与反作用力，该两个力等值、反向、共线，分别作用在这两个物体上。

(5) **刚化原理**：**变形体**在某力系作用下处于平衡，若将此变形体刚化(看作)为刚体，则其平衡状态不变。

思考：何谓合力？何谓分力？何谓平衡力？何谓等效力系？

推论 1 力的可传性 作用于**刚体**上的力可沿其作用线滑移至刚体内任意点而不改变它对刚体的作用效应。

推论 2 三力平衡汇交定理 作用于刚体上 3 个相互平衡的力，若其中两个力的作用

线汇交于一点, 则这3个力必在同一平面内, 且第三个力的作用线必通过汇交点。

1.1.3 约束和约束力

1. 约束

约束是限制物体(研究对象)位移的周围物体。

2. 约束力

约束力是约束物体对被约束物体的作用。约束力是一种被动的力, 其实际方向和大小不能预先确定, 只能由约束的性质和主动力的状况被动地确定。约束力的方向总是与该约束所能阻碍的运动方向相反。

3. 约束分类

- (1) 柔性约束: 缆索、工业带、链条等。只能承受拉力, 为**单侧约束**。
- (2) 刚性约束: 光滑铰链(径向轴承、圆柱形销钉(中间铰)、固定铰支座)、滚动支座、球铰、止推轴承、二力杆、固定端等, 均为**双侧约束**。

4. 物体的受力分析和受力图

画受力图是求解静力学和动力学问题的重要基础, 其基本步骤如下:

- (1) 选定研究对象, 并单独画出其分离体(分离体图中, 外约束不画出)。
- (2) 在分离体上画出所有作用于其上的主动力(一般皆为已知力)。
- (3) 在分离体的每一个外约束处, 根据约束特征画出其相应的**外约束力**。

当选择若干个物体组成的物体系为研究对象时, 作用于物体系上的力可分为两类: 物体系以外物体作用于物体系内各个物体的力称为**外力**; 物体系内物体间相互作用的力称为**内力**。应该指出, 内力和外力的区分不是绝对的, 内力和外力的区分只有相对于确定的研究对象才有意义。注意在物体系的整体、部分及单个物体的受力图中, 作用于物体上的力的符号、方向要彼此协调。下面通过例题加以说明。

1.2 基本要求

- (1) 掌握工程对象中力的概念及其性质(包括静力学公理)。
- (2) 掌握约束的概念和各种常见约束力的性质; 能熟练地画出单个刚体及刚体系的受力图。

1.3 例题

【例 1-1】 画出图 1.1(a)中标有字符的各构件的受力图, 均为光滑接触。

【分析】(1) 整体受力如图 1.1(b)所示。 A 为固定铰链, 画两个分力; K 处为辊轴支承, 有方向向上的约束力 F_K ; H 处为柔索, 画拉力 F_T 。

(2) 杆 CB 为二力杆, 受力如图 1.1(d)所示。其 C 、 B 端受力(设为拉力)与杆 CD 的 C 端及杆 AB 的 B 端受力为作用力与反作用力。

(3) 杆 CID 受力如图 1.1(c) 所示。 I 处为中间活动铰链，约束力画两个分力； D 处中间活动铰链画两个分力。

(4) 杆 AB 受力如图 1.1(e) 所示。 A 处和 K 处的约束力应与图 1.1(b) 所示一致；图 1.1(e) 中 I 处的约束力与图 1.1(c) 中 I 处的约束力为作用力和反作用力。

(5) 轮 D 与重物 W 受力如图 1.1(f) 所示。 H 处张力与图 1.1(b) 所示一致；图 1.1(f) 中 D 处的约束力与图 1.1(c) 中 D 处的约束力为作用力与反作用力。

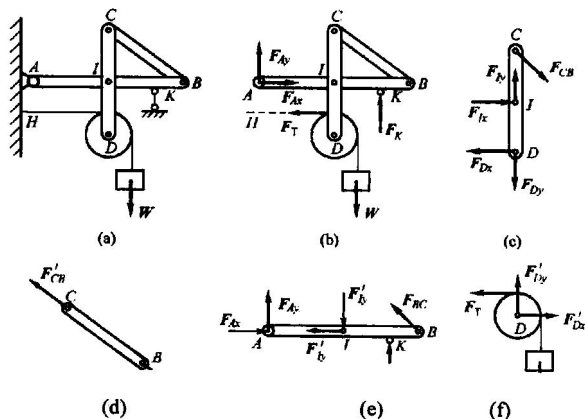


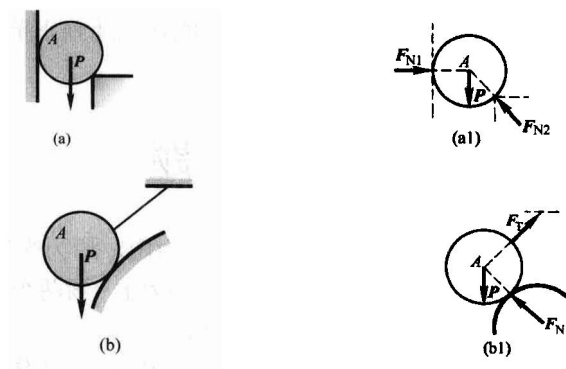
图 1.1

【解】 见图 1.1(b)~(f)。

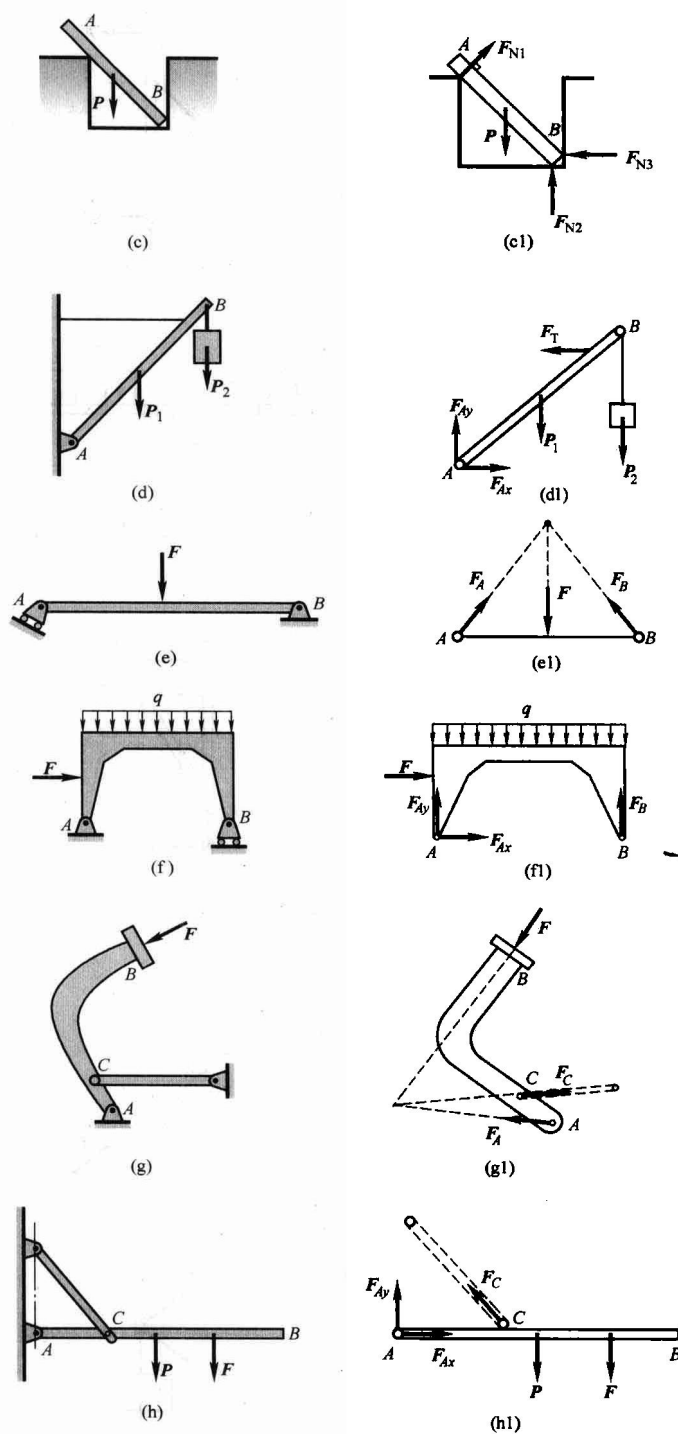
【讨论】 如果将杆 CD 与轮 D 一起组成研究对象(局部构件组合)，请读者画出其受力图。

1.4 习题详解

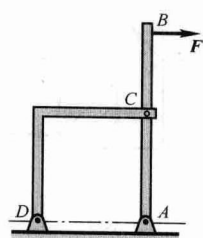
1-1 画出下列各图(编号中不含数字序号)中物体 A 、 ABC 或构件 AB 、 AC 的受力图(下列各分图中编号含数字序号的是题解，其他题目中与此类似，不再一一说明)。未画重力的各物体的自重不计，所有接触处均为光滑接触。



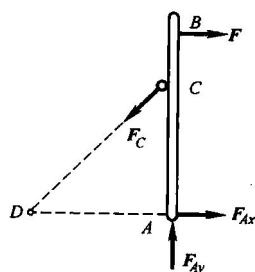
题 1-1 图



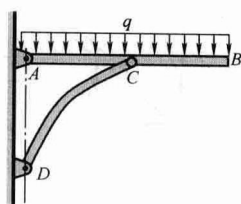
题 1-1 图 (续一)



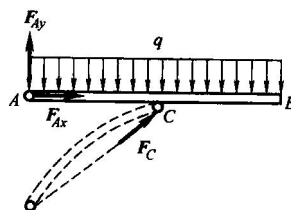
(i)



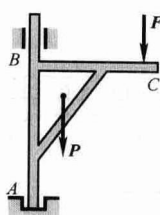
(i1)



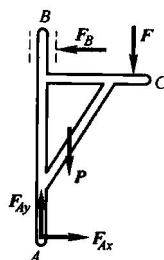
(j)



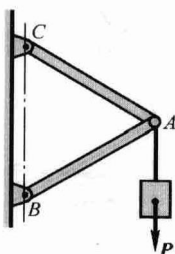
(j1)



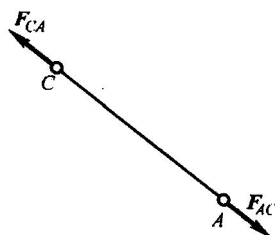
(k)



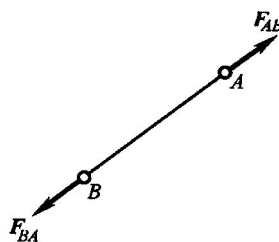
(k1)



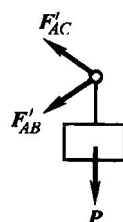
(l)



(11)



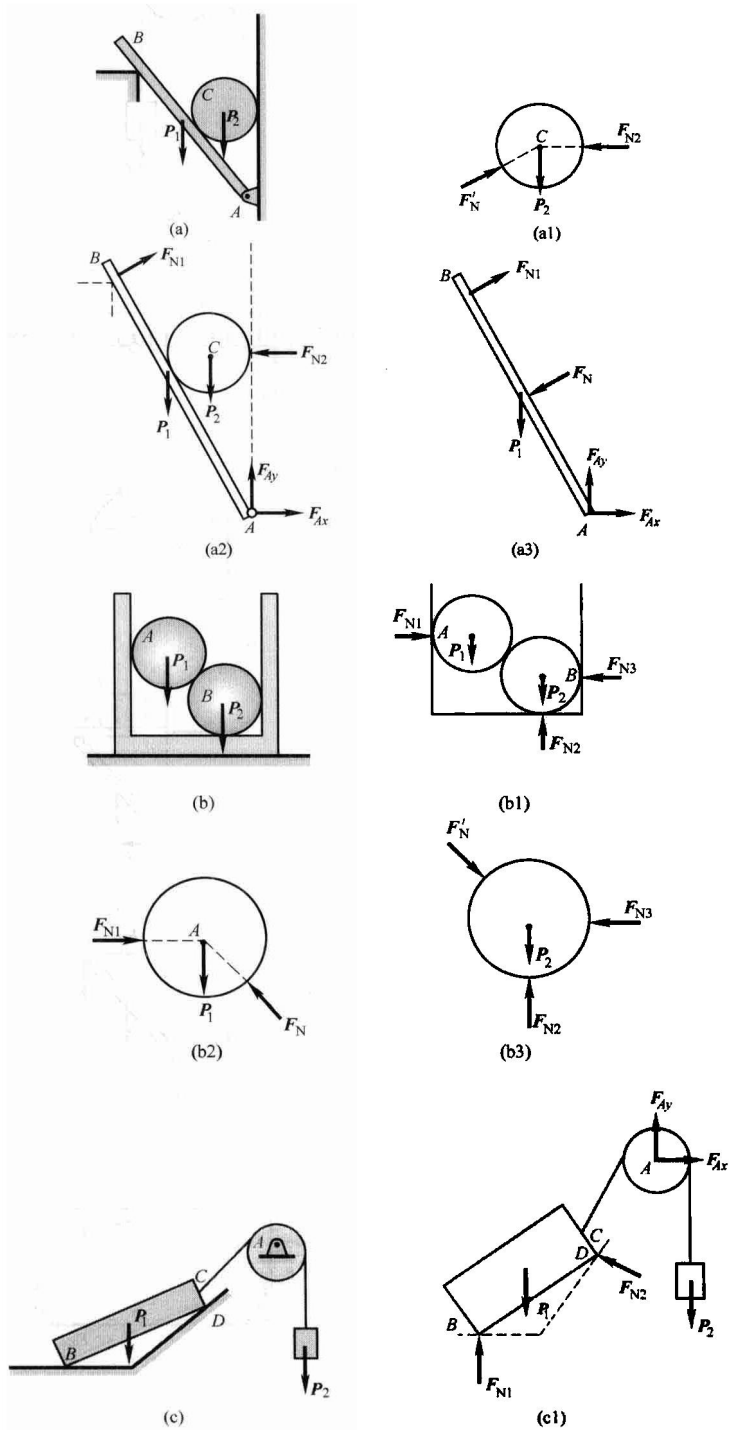
(12)



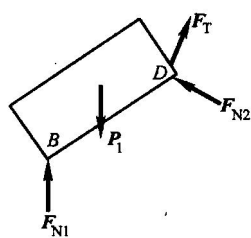
(13)

题 1-1 图 (续二)

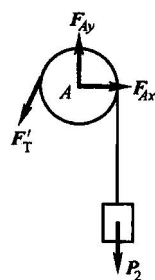
1-2 画出下列每个标注字符的物体的受力图。题图中未画重力的各物体的自重不计，所有接触处均为光滑接触。



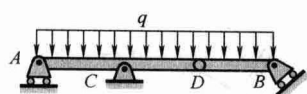
题 1-2 图



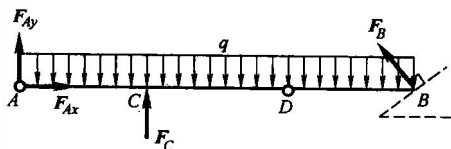
(c2)



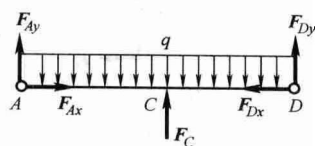
(c3)



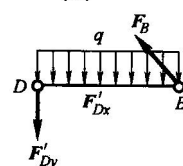
(d)



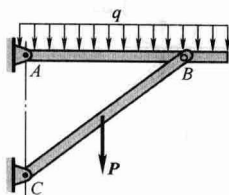
(d1)



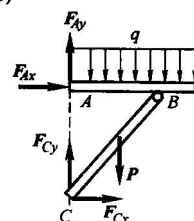
(d2)



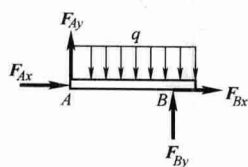
(d3)



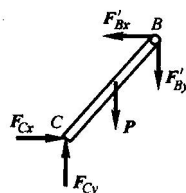
(e)



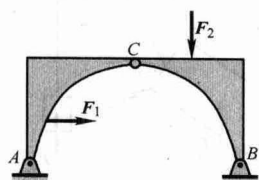
(e1)



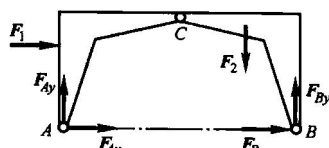
(e2)



(e3)



(f)



(f1)

题 1-2 图 (续一)