

经典 Classics

经典教材辅导用书 ■ 力学系列

知识要点

解题方法、技巧

习题解答

高教版《理论力学》(第6版)(哈工大)

理论力学辅导与习题解答

赵治枢 尹长城 沈勇 编著  
华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>

031/33-3C5

**图书在版编目(CIP)数据**

理论力学辅导与习题解答/赵诒枢 尹长城 沈 勇 编著. —武汉:华中科技大学出版社,2008年2月

ISBN 978-7-5609-4355-8

I. 理… II. ①赵… ②尹… ③沈… 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193817号

**理论力学辅导与习题解答**

赵诒枢 尹长城 沈 勇 编著

策划编辑:周芬娜

责任编辑:周芬娜

封面设计:潘 群

责任校对:陈 骏

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华大图文设计室

印 刷:湖北新华印务有限公司

开本:710mm×1000mm 1/16

印张:21.75

字数:400 000

版次:2008年2月第1版

印次:2008年2月第1次印刷

定价:30.00元

ISBN 978-7-5609-4355-8/O·431

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

## 内 容 提 要

本书对高等教育出版社出版、哈尔滨工业大学理论力学教研室编写的《理论力学》(第6版)一书的习题作了较详细的解答,在习题详解之前还列出了各章的知识要点和解题步骤,以便读者自学或复习。全书共19章,计有静力学公理和物体的受力分析,平面汇交力系与平面力偶系,平面任意力系,空间力系,摩擦,点的运动学,刚体的简单运动,点的合成运动,刚体的平面运动,质点动力学的基本方程,动量定理,动量矩定理,动能定理,达朗贝尔原理,虚位移原理,非惯性系中的质点动力学,碰撞,分析力学基础,机械振动基础等内容。全书共410题。

本书可供高等工科大学的本科生和专科生学习理论力学时参考,也可供成教、函授、电大及自学考试等学生学习理论力学时参考,还可作为报考相关专业研究生者的复习资料,以及作为教师的教学参考书。

# 前 言

哈尔滨工业大学理论力学教研室编写的《理论力学》，自1961年第1版起，历经30余年的教学实践和多次修订，因其理论严谨、逻辑性强而深受广大教师和学生欢迎，曾获国家优秀教材奖。为了适应21世纪教学需要，2002年又修订出版了第6版，被定为普通高等学校“十五”国家级规划教材。我们在理论力学课程的教学一直用它作为教科书。

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。为了深刻理解和牢固掌握理论力学的基本理论和原理，学生除了必须完成一定数量的习题外，还应再多做一些各种类型的习题。大专院校的学生，在学习理论力学过程中，普遍反映“理论易懂，解题困难”，究其原因，主要是学生对理论力学的基本概念、基本理论和方法理解不够深刻，在校学习期间，又缺少足够多的时间去解算各种类型的习题。阅读本书，有助于巩固和加深对理论力学的基本理论和方法的理解，拓宽解题思路，掌握解题技巧，从而提高分析问题和解决问题的能力。

书中的“习题详解”部分是对哈尔滨工业大学理论力学教研室编写的《理论力学》(第6版)习题作出的解答。第6版理论力学分为两册：第I册共15章，为基础部分；第II册共6章，为专题部分。第II册的后两章内容(第5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；第6章，变质量运动)因超出了教育部颁布的“高等学校本科基础课程教学基本要求”中关于多学时理论力学教学的要求，所以，这两章的习题(共29题)没纳入本书之内。为了便于读者自学或复习，本书在每一章“习题详解”之前，都列出该章的“知识要点”及“解题步骤”。“习题详解”是结合我们的教学实践，针对学生在解题中经常遇到的疑难和困惑，对每一道习题的解答，着重解题思路的分析，给出了较详细的解答步骤，并说明每一步骤的理论依据和使用公式的出处，尽可能多地给出一题多解。

本书是与教材《理论力学》(第6版)配套的辅导书，为了方便读者阅读和自学，书中章、图的编号与原教材一致。

习题详解由赵诒枢(第I册1~5章)、沈勇(第I册6~10章，第II册第1章)和尹长城(第I册11~15章，第II册第2~4章)参加解答，全书由赵诒枢教授审阅、修改后定稿。

由于作者水平有限，书中缺点、错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2007年8月

# 目 录

## 理论力学(第 I 册)

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析 .....	(2)
知识要点 .....	(2)
解题步骤 .....	(4)
习题详解 .....	(4)
第 2 章 平面汇交力系与平面力偶系 .....	(10)
知识要点 .....	(10)
解题步骤 .....	(11)
习题详解 .....	(12)
第 3 章 平面任意力系 .....	(22)
知识要点 .....	(22)
解题步骤 .....	(22)
习题详解 .....	(23)
第 4 章 空间力系 .....	(56)
知识要点 .....	(56)
解题步骤 .....	(58)
习题详解 .....	(58)
第 5 章 摩擦 .....	(78)
知识要点 .....	(78)
解题步骤 .....	(78)
习题详解 .....	(79)
第 6 章 点的运动学 .....	(98)
知识要点 .....	(98)
解题步骤 .....	(99)
习题详解 .....	(99)
第 7 章 刚体的简单运动 .....	(107)
知识要点 .....	(107)
解题步骤 .....	(107)
习题详解 .....	(108)
第 8 章 点的合成运动 .....	(114)
知识要点 .....	(114)

解题步骤·····	(114)
习题详解·····	(115)
第9章 刚体的平面运动·····	(132)
知识要点·····	(132)
解题步骤·····	(132)
习题详解·····	(133)
第10章 质点动力学的基本方程·····	(164)
知识要点·····	(164)
解题步骤·····	(164)
习题详解·····	(164)
第11章 动量定理·····	(171)
知识要点·····	(171)
解题步骤·····	(172)
习题详解·····	(173)
第12章 动量矩定理·····	(183)
知识要点·····	(183)
解题步骤·····	(185)
习题详解·····	(185)
第13章 动能定理·····	(204)
知识要点·····	(204)
解题步骤·····	(206)
习题详解·····	(206)
综合问题习题详解·····	(218)
第14章 达朗贝尔原理(动静法)·····	(237)
知识要点·····	(237)
解题步骤·····	(238)
习题详解·····	(238)
第15章 虚位移原理·····	(257)
知识要点·····	(257)
解题步骤·····	(258)
习题详解·····	(258)

### 理论力学(第Ⅱ册)

第1章 非惯性系中的质点动力学·····	(270)
知识要点·····	(270)
解题步骤·····	(270)

---

习题详解	(270)
第2章 碰撞	(277)
知识要点	(277)
解题步骤	(278)
习题详解	(278)
第3章 分析力学基础	(288)
知识要点	(288)
解题步骤	(289)
习题详解	(289)
第4章 机械振动基础	(310)
知识要点	(310)
解题步骤	(312)
习题详解	(312)
主要参考文献	(339)

理论力学（第 I 册）



# 第1章 静力学公理和物体的受力分析

## 知识要点

**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以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,其平衡的必要和充分条件是,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。

公理4 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。

公理5 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6 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,则其平衡状态保持不变。

**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,则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。

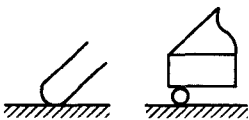
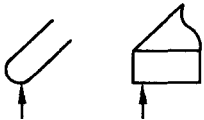

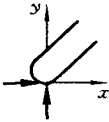
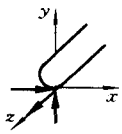

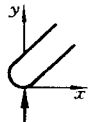
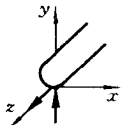
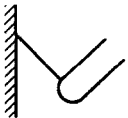

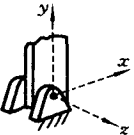
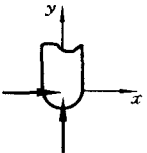
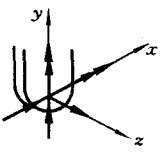
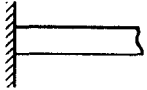
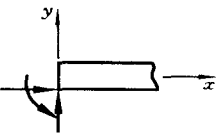
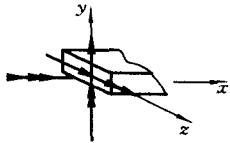
(3) 光滑圆柱铰链约束 只能限制沿径向的相对移动,不能限制绕轴的相对转动。约束反力在垂直于转轴的平面内,并通过铰链中心,其方位和指向未定。

(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。


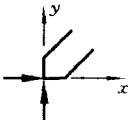
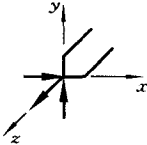
(5) 固定端(插入端)支座约束 既限制相对移动,又限制相对转动,约束反力是分布力系,可简化为一个反力和一个反力偶矩。

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
 <p>光滑表面或滚珠</p>	 <p>垂直于表面的单力 (1个未知数)</p>	<p>和二向载荷情况相同</p>
 <p>粗糙表面</p>	 <p>法向力及摩擦力 (2个未知数)</p>	 <p>法向力和两个摩擦分量 (3个未知数)</p>
 <p>滚轴、滚柱或摇轴</p>	 <p>垂直于表面的单力 (1个未知数)</p>	 <p>法向力和摩擦力 (2个未知数)</p>
 <p>绳、索、链、金属丝等</p>	 <p>沿着绳的轴向单力 (1个未知数)</p>	<p>和二向载荷情况相同</p>
 <p>光滑销钉或铰链</p>	 <p>两个正交分力 (2个未知数)</p>	 <p>三个正交分力和两个力偶 (5个未知数)</p>
 <p>固定端</p>	 <p>两个正交分力和一个力偶 (3个未知数)</p>	 <p>三个正交分力和三个力偶 (6个未知数)</p>

续表

支座或连接	反作用力	
	二向载荷	三向载荷
 <p>球铰链</p>	 <p>两个正交分力 (2个未知数)</p>	 <p>三个正交分力 (3个未知数)</p>

### 3. 受力图

求解静力学问题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动力(如重力、水压力等)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。

## 解题步骤

### 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。

### 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,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给分离体的力(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。内力总是成对出现,并且等值、反向、共线,故不影响物体的平衡。

(2) 必须正确地判断未知力(包括未知力偶)的方向,至于它们的指向可以任意假设。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。

(3) 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。

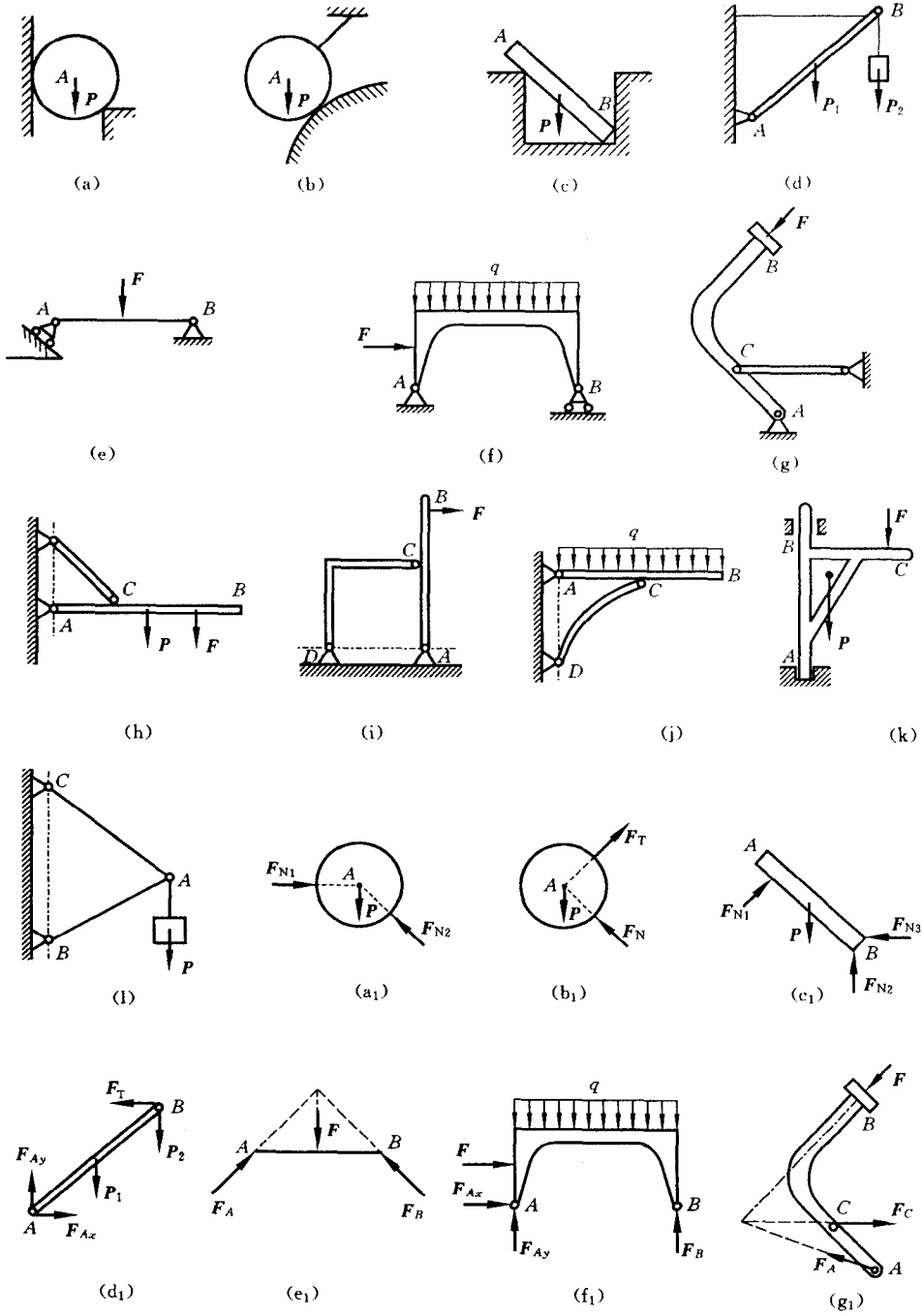
## 习题详解

**【1-1】** 画出题1-1图中物体A、ABC或构件AB、AC的受力图。未画重力的各物体的自重不计,所有接触处均为光滑接触。

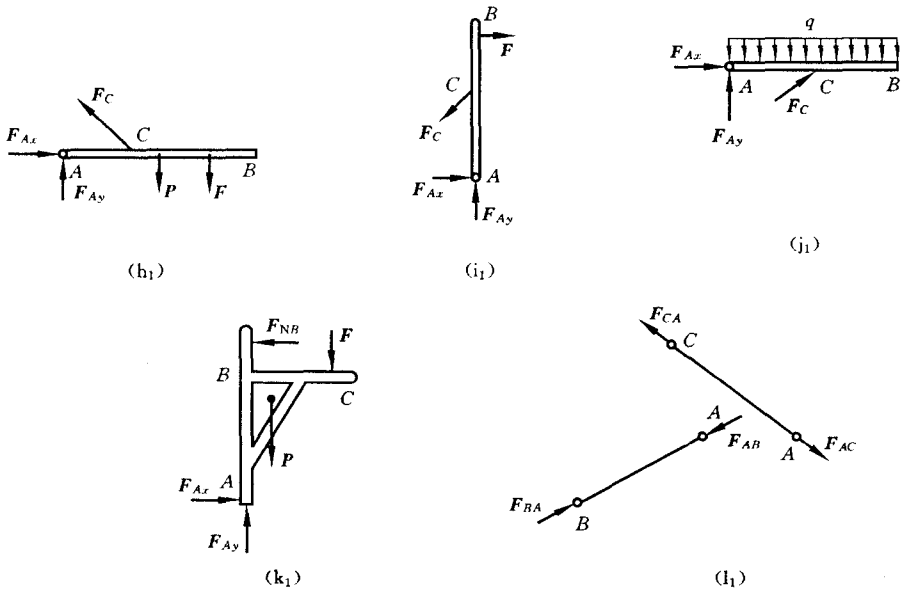
解 题1-1图(a)、(b)、…、(l)中物体的受力图,分别表示在题1-1图(a<sub>1</sub>)、(b<sub>1</sub>)、…、(l<sub>1</sub>)中。

**【1-2】** 画出题1-2图(a)、(b)、…、(o)中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。

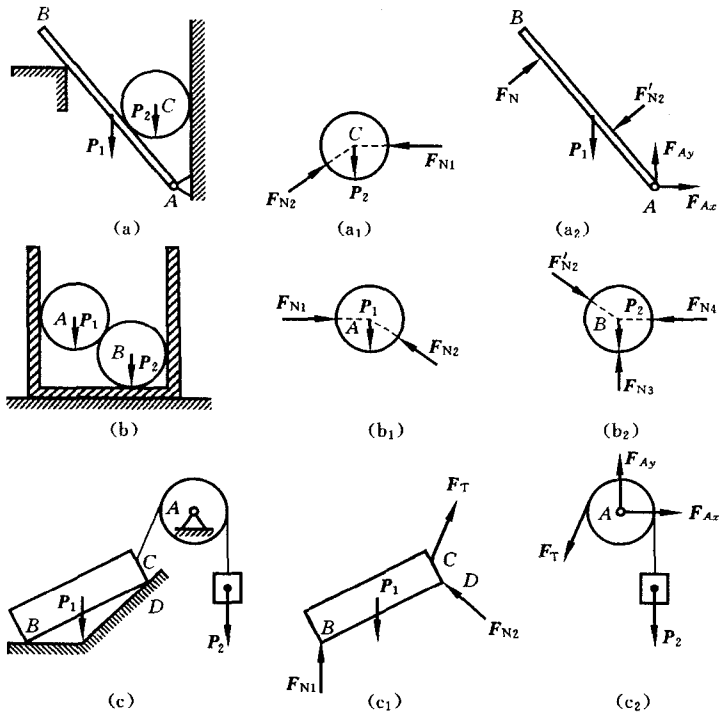
解 题1-2图(a)、(b)、…、(o)中物体的受力图分别表示在题1-2图(a<sub>1</sub>)、(b<sub>1</sub>)、…、(o<sub>1</sub>)中。



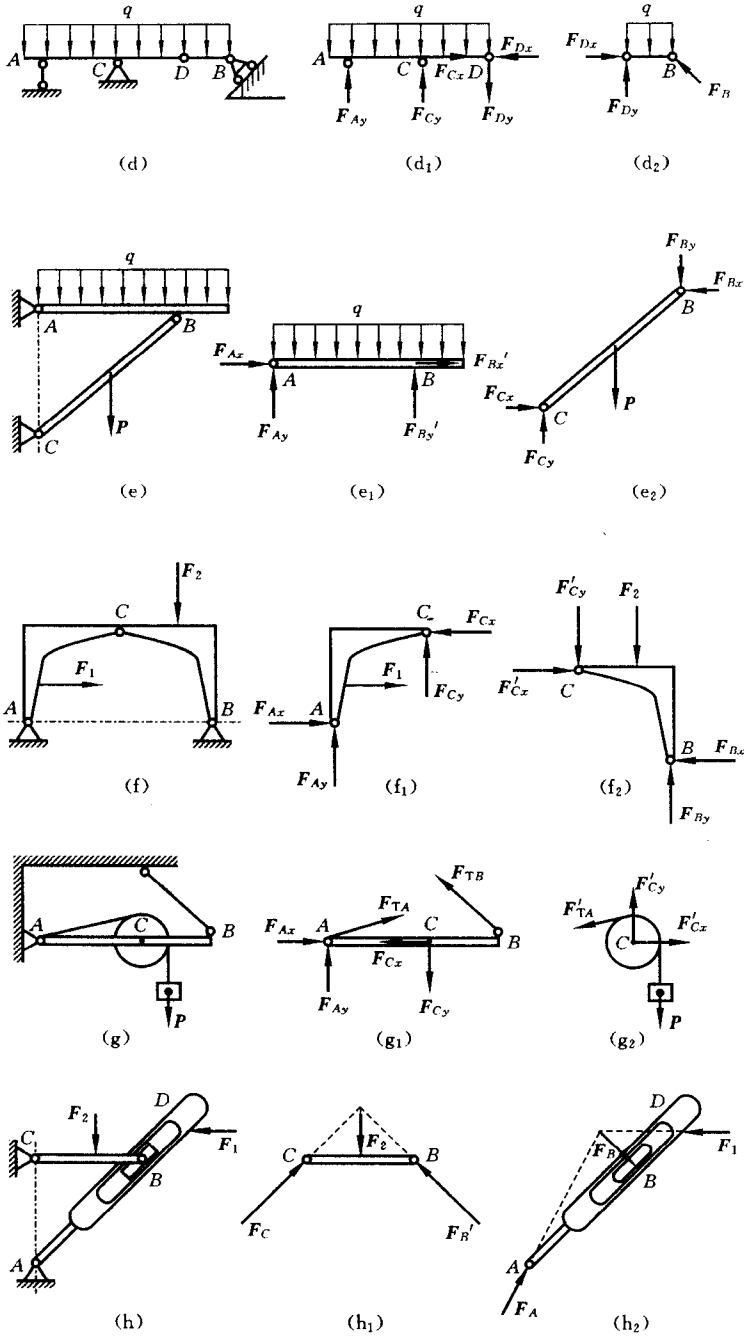
题 1-1 图



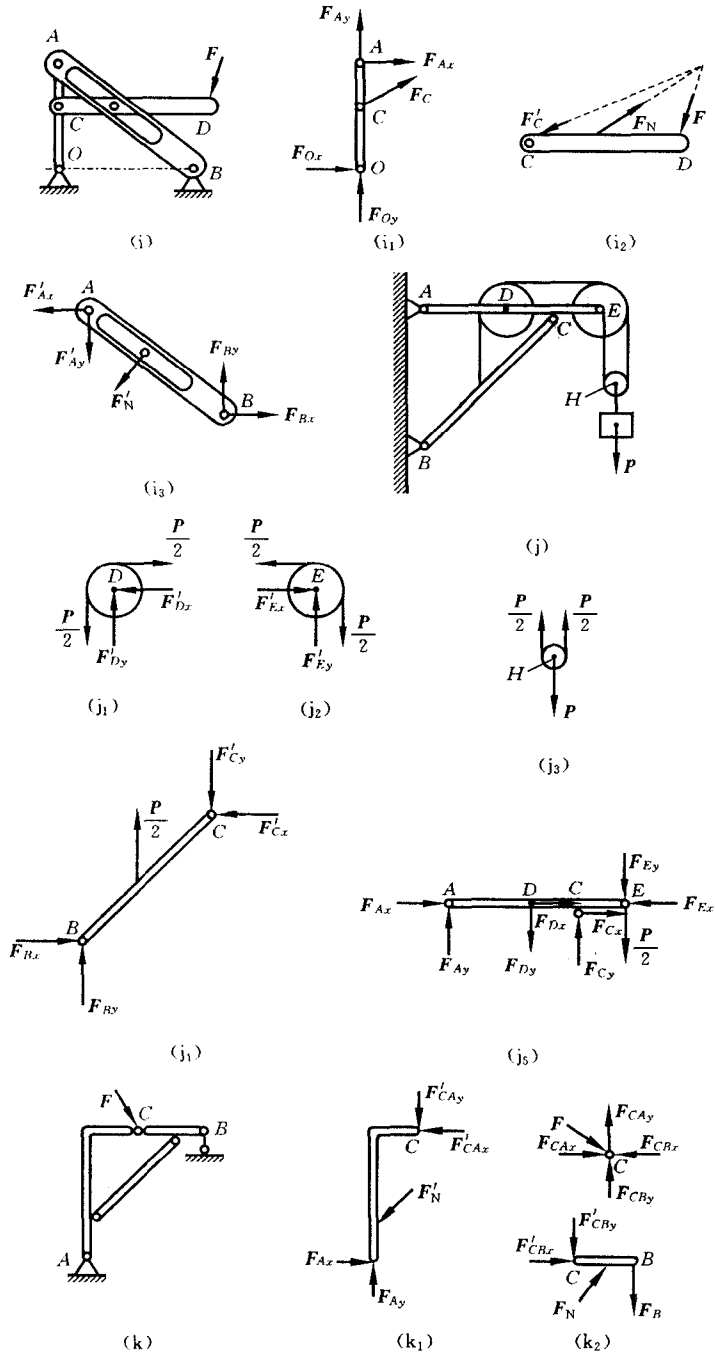
续题 1-1 图



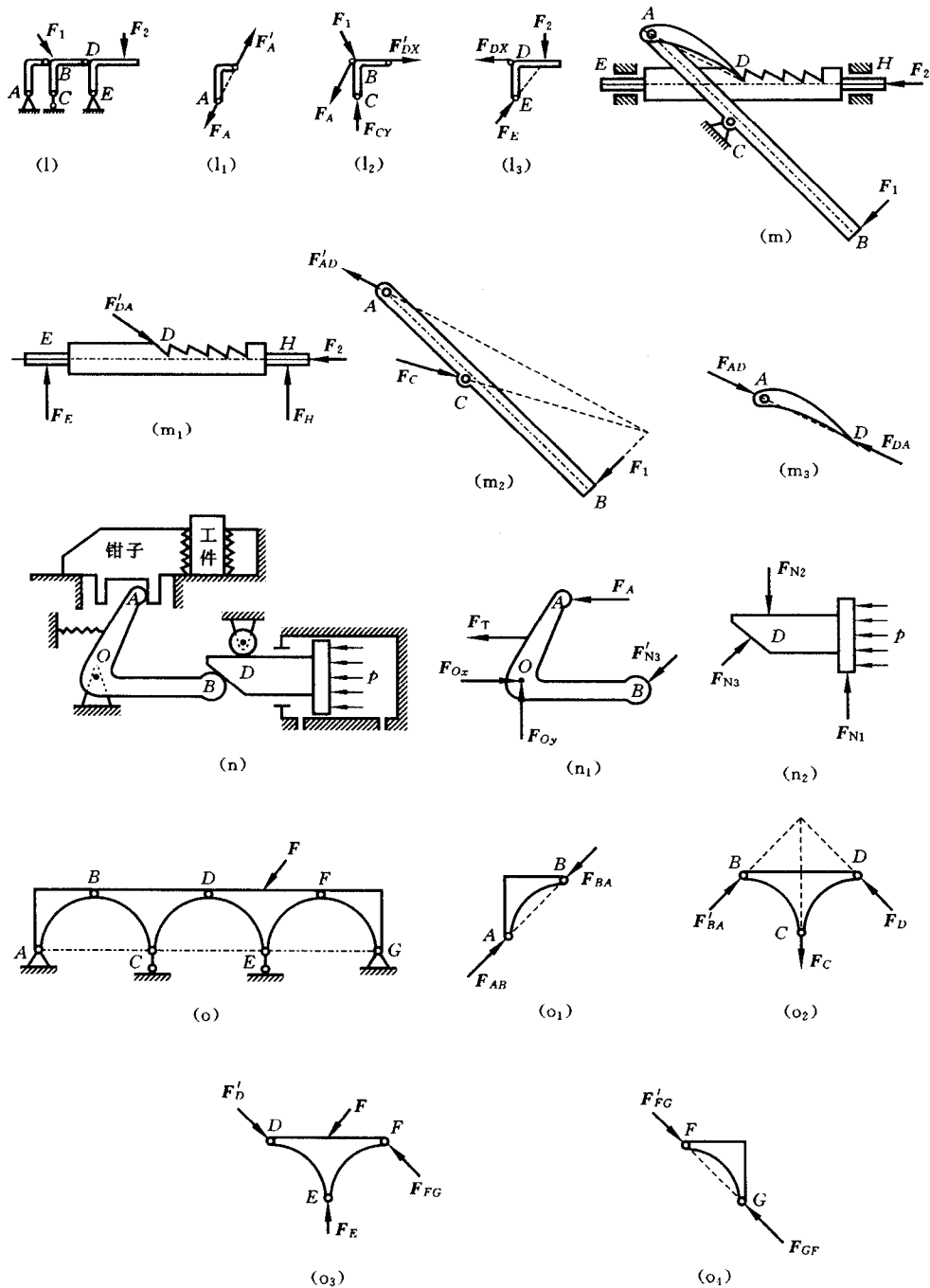
题 1-2 图



续题 1-2 图



续题 1-2 图



续题 1-2 图



## 第2章 平面汇交力系与平面力偶系

### 知识要点

#### 1. 平面汇交力系的合成

各力的作用线都在同一平面内且汇交于一点的力系,称为平面汇交力系。平面汇交力系总可以用一个单力来代替它的作用效果,这个单力就叫做平面汇交力系的合力。求合力的过程,叫做力的合成。求合力大小和方向的方法有几何法、解析法。

##### (1) 几何法

$$F_R = F_1 + F_2 + \cdots + F_n = \sum F \quad (2-1)$$

力的合成遵循力的平行四边形法则或力的三角形法则。对于平面汇交力系,只要连续用平行四边形法则逐一合成,则最后一个平行四边形的对角线的大小和方向便是合力的大小和方向,合力的作用线通过力系的汇交点。利用力的多边形法则求合力,最为简便,只要将力系中的各力,首尾相接,力的多边形封闭边便确定了合力的大小和方向,其指向为从力的多边形起点指向终点。

##### (2) 解析法

$$F_R = F_{Rx}i + F_{Ry}j = \sum F_x i + \sum F_y j \quad (2-2)$$

式中, $i, j$ 为沿正交坐标轴 $x, y$ 的单位矢量; $F_{Rx}$ 和 $F_{Ry}$ 为合力 $F_R$ 在 $x, y$ 轴上的投影,即

$$\begin{cases} F_{Rx} = F_{1x} + F_{2x} + \cdots + F_{nx} = \sum F_x \\ F_{Ry} = F_{1y} + F_{2y} + \cdots + F_{ny} = \sum F_y \end{cases} \quad (2-3)$$

合力的大小为 
$$F_R = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \quad (2-4)$$

合力的方向由两个方向余弦确定,即

$$\cos\alpha = \frac{\sum F_x}{F_R}, \quad \cos\beta = \frac{\sum F_y}{F_R} \quad (2-5)$$

#### 2. 平面汇交力系的平衡

平面汇交力系平衡的充分必要条件是其合力等于零,即

$$F_R = 0 \quad (2-6)$$

或 
$$\sum F = 0 \quad (2-7)$$

(1) 平面汇交力系平衡的几何条件 由力系各力组成的力的多边形自行封闭。

(2) 平面汇交力系平衡的解析条件 力系的各力在 $x$ 轴和 $y$ 轴上投影的代数和分别等于零,即

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0 \quad (2-8)$$

上式称为平面汇交力系的平衡方程。

(3) 三力平衡定理 三力平衡时,此三力必定共面,并且三力的作用线或者相交于一点,或者互相平行。

对于三力平衡问题,当三力共点时,应满足方程 $\sum F_x = 0$ 及 $\sum F_y = 0$ ;当三力平行时,应满足方程 $\sum F_n = 0$ 及 $\sum M_P = 0$ 。 $n$ 指任意方向, $P$ 指任意点。