



21世纪高等学校新理念教材建设工程

理论力学学习指导

辽宁工业大学力学教研室 编



东北大学出版社
Northeastern University Press



21 世纪高等学校新理念教材建设工程

理论力学学习指导

辽宁工业大学力学教研室 编

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 辽宁工业大学力学教研室 2005

图书在版编目 (CIP) 数据

理论力学学习指导 / 辽宁工业大学力学教研室编. —沈阳: 东北大学出版社, 2005.8
(2008.6 重印)

(21 世纪高等学校新理念教材建设工程)

ISBN 978-7-81102-171-4

I. 理… II. 辽… 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 (2005) 第 075930 号

内容提要

本书主要为工科高等院校机械类、土建类专业本科生学习多学时理论力学而编写, 同时兼顾了部分学生学习中、少学时理论力学的需求, 也可以作为理论力学授课教师的参考书。

本书分为静力学、运动学和动力学三部分, 每一章节都对本章节的主要内容进行了精辟的概括总结, 同时详细列举了各种类型的例题, 并附有一定数量的练习题。列举的题目 (例题和练习题) 具有多样性、典型性和代表性。对于理论力学的教学人员及正在学习理论力学的学生具有一定的参考和指导意义。

出版者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印刷者: 沈阳市第六印刷厂书画彩印中心

发行者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 7.875

字 数: 202 千字

出版时间: 2005 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2008 年 6 月第 2 次印刷

责任编辑: 王兆元

责任校对: 李 莉

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-171-4

定 价: 12.00 元

前 言

本书由辽宁工业大学出版基金资助出版。

理论力学是一门理论性很强的技术基础课，是大多数理工类学生的重要必修课。编写本书是为了帮助学生解决理论力学学习过程中的困难，引导学生将所学理论知识与书后习题紧密联系起来，达到能应用理论知识解决实际问题的目的。

本书分静力学、运动学和动力学三个部分，其中第 1 章至第 5 章是静力学部分，第 6 章至第 9 章是运动学部分，第 10 章至第 15 章是动力学部分。每一章又分为主要内容、例题和练习题三个部分。

本书对各章节所学基本概念、基本理论进行了系统、详细、精辟的概括总结，这有助于学生系统掌握理论知识。同时，列举了一定数量的、相对比较简单的、且基本概念和基本理论性较强的例题，目的在于帮助学生加深对理论知识的进一步理解，同时达到初步应用的目的。并附有一定量的练习题，大都是一些难度不太大的基本题目，旨在帮助学生将理论知识过渡到应用上来，为解决较难问题打下基础。

参加本书编写的有韩英仕（第 1, 2, 3, 4, 5 章）、张东兴（第 6, 7, 8, 9 章）、董傲霜（第 10, 11, 12, 13 章）、周永源（第 14, 15 章），全书由周永源统稿。本书在编写过程中，刘颖等同志曾给予大力支持，在此表示谢意。

我们总结多年从事理论力学教学工作的经验，吸收同类书籍的长处，编写此书。但由于时间仓促，编者水平所限，不妥之处在所难免，恳请广大读者批评、指正。

编 者

2005 年 5 月

目 录

静力学	1
第1章 静力学公理和物体的受力分析.....	3
第2章 平面汇交力系与平面力偶系.....	9
第3章 平面任意力系	14
第4章 空间力系	21
第5章 摩擦	28
运动学	35
第6章 点的运动学	37
第7章 刚体的简单运动	41
第8章 点的合成运动	45
第9章 刚体的平面运动	54
动力学	67
第10章 质点动力学的基本方程.....	69
第11章 动量定理.....	72
第12章 动量矩定理.....	80
第13章 动能定理.....	90
第14章 达朗贝尔原理	102
第15章 虚位移原理	111
参考文献	119

静力学

- 第 1 章 静力学公理和物体的受力分析
- 第 2 章 平面汇交力系与平面力偶系
- 第 3 章 平面任意力系
- 第 4 章 空间力系
- 第 5 章 摩擦

静力学主要研究的是物体平衡时作用其上的力系所应满足的条件，同时也要研究物体的受力分析，以及力系的简化方法。

静力学的前两章中，对于静力学公理和一些基本概念要求理解；掌握平面汇交力系和平面力偶系的合成方法，能熟练应用平面汇交力系和平面力偶系的平衡方程求解问题；必须掌握物体的受力分析方法，并能正确画出物体的受力图。平面任意力系是静力学的核心内容，会对平面任意力系进行简化，能熟练应用平面任意力系的平衡方程求解单个物体和简单物系的平衡问题。空间力系要求会求力在轴上的投影、力对点的矩和力对轴的矩，掌握各种空间力系的平衡方程并能求解简单的平衡问题，而对空间力系的简化要求一般了解。了解有关滑动摩擦的概念，会求解简单的摩擦平衡问题。

□ 第1章 静力学公理和物体的受力分析

(一) 主要内容

1. 基本概念

(1) 力——物体间的相互机械作用。这种作用可使物体的运动状态和形状发生改变。

(2) 刚体——物体受力作用后大小和形状保持不变的物体。其特征是刚体内任意两点的距离始终保持不变。

(3) 平衡——物体相对于地面保持静止或匀速直线运动的状态。平衡是机械运动的一种特殊形式。

2. 静力学公理

(1) 公理1(力的平行四边形法则) 作用于物体上某一点的两个力,可以合成为一个合力,合力也作用于该点上,合力的大小和方向可由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。

(2) 公理2(二力平衡公理) 作用在刚体上的二力使刚体平衡的充要条件是:大小相等、方向相反、作用在一条直线上。

(3) 公理3(加减平衡力系公理) 在作用于刚体的已知力系中加上或减去任何平衡力系,并不改变原力系对刚体的效应。

(4) 公理4(作用力与反作用力定律) 两物体间的相互作用力总是大小相等、方向相反,沿同一直线,分别作用在两个物体上。

(5) 公理5(刚化原理) 若将处于平衡状态的变形体刚化为刚体,则平衡状态保持不变。

3. 两个推论

(1) 推论1(力的可传性) 作用于刚体上的力可沿其作用线移至同一刚体内任意一点,并不改变其对于刚体的效应。

(2) 推论2(三力平衡汇交定理) 当刚体受三力作用而平衡时,若其中两力作用线相交于一点,则第三个力作用线必通过两力作用线的交点,且三力的作用线在同一平面内。

4. 约束和约束力

(1) 约束——事先对物体的运动所加的限制条件。

(2) 约束力——约束对被约束物体的作用力,它是一种被动力。

(3) 约束力方向——与约束所能阻止的物体的运动方向相反。

5. 物体的受力分析和受力图

画受力图的方法与步骤:

(1) 取分离体(研究对象);

(2) 画出研究对象所受的全部主动力(使物体产生运动或运动趋势的力);

(3) 在存在约束的地方, 按约束类型逐一画出约束力(研究对象与周围物体的连接关系).

(二) 例 题

1. 如图 1-1(a)所示. 已知: 物块重 P , 小球重 G , 滑轮重量不计, 各杆自重不计. 画出各个物块及整体的受力图.

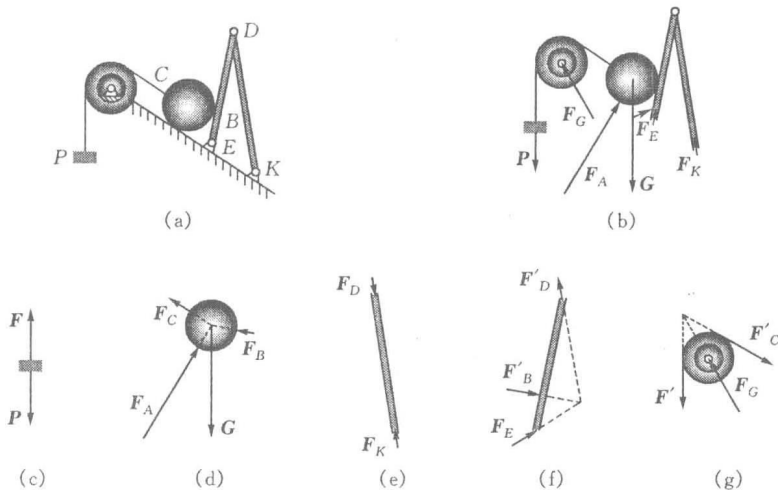


图 1-1

- 解** (1) 取物块为研究对象, 受力分析如图 1-1(c);
 (2) 取小球为研究对象, 受力分析如图 1-1(d);
 (3) 取 KD 杆为研究对象, 受力分析如图 1-1(e);
 (4) 取 DE 杆为研究对象, 受力分析如图 1-1(f);
 (5) 取滑轮为研究对象, 受力分析如图 1-1(g);
 (6) 取整体: 受力分析, 如图 1-1(b).

2. 如图 1-2(a)所示的平面构架, 由杆 AB , DE 及 DB 铰接而成. A 为滚动支座, E 为固定铰链支座. 钢绳一端拴在 K 处, 另一端绕过定滑轮 I 和动滑轮 II 后拴在销钉 B 上. 物重为 W , 各杆及滑轮的自重不计.

- (1) 试分别画出各杆、各滑轮、销钉 B 以及整个系统的受力图;
 (2) 画出销钉 B 与滑轮 I 一起的受力图;
 (3) 画出杆 AB 、滑轮 I、滑轮 II、钢绳和重物作为一个系统时的受力图.

解 (1) 各部分受力图.

① 取杆 BD 为研究对象(B 处为没有销钉的孔) 由于杆 BD 为二力杆, 受力如图 1-2(b)所示.

② 取杆 AB 为研究对象(B 处为没有销钉的孔), 受力如图 1-2(c)所示.

③ 取杆 DE 为研究对象, 受力如图 1-2(d)所示.

④ 取轮 I 为研究对象(B 处为没有销钉的孔), 受力如图 1-2(e)所示.

⑤ 取轮 II 为研究对象, 受力如图 1-2(f)所示.

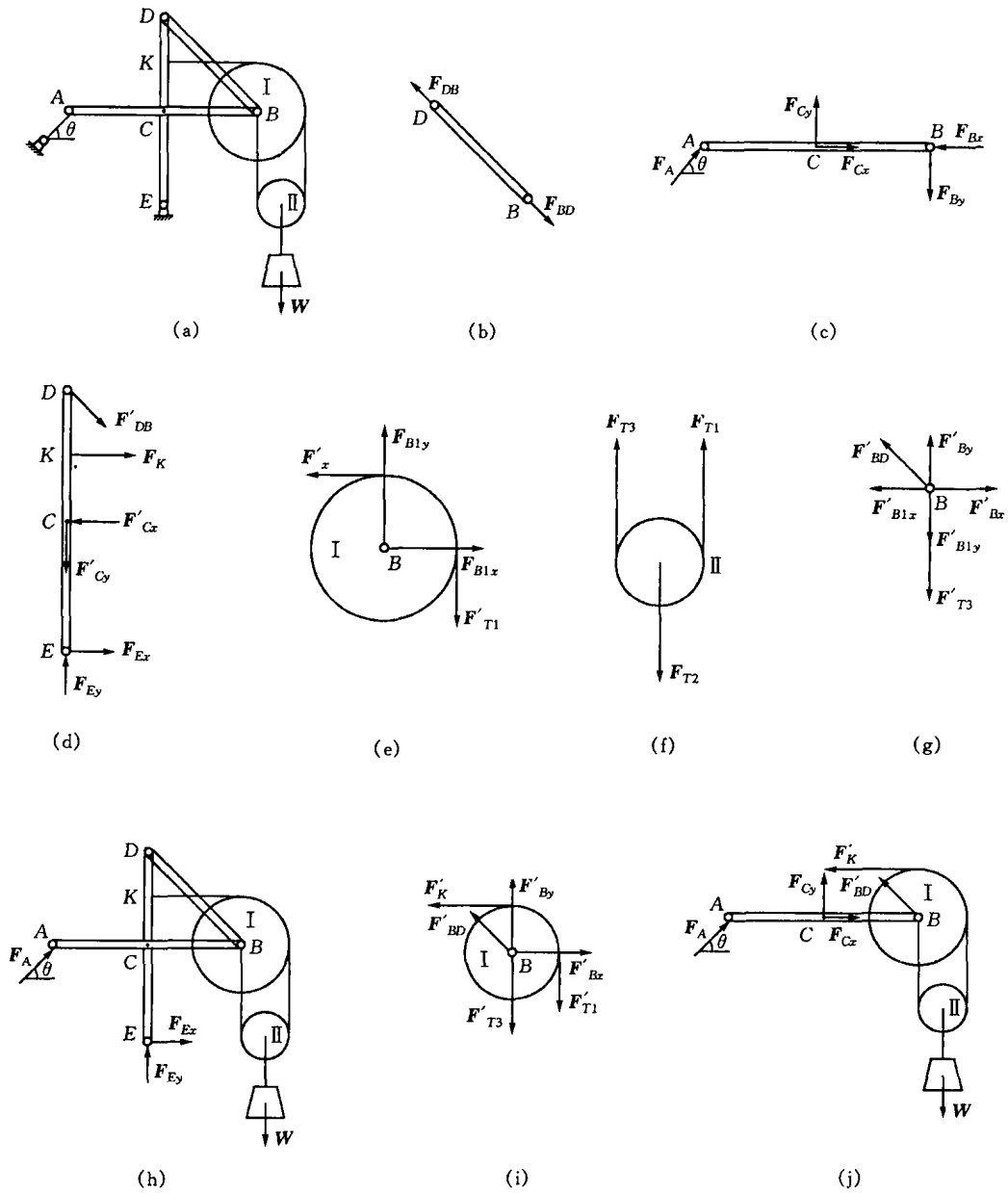


图 1-2

⑥ 单独取销钉 B 为研究对象 它与杆 DB, AB, 轮 I 及钢绳四个物体联接, 因此这四个物体对销钉都有力的作用. 二力杆 DB 对它的约束反力为 F'_{BD} ; 杆 AB 对它的约束反力为 F'_{Bx} , F'_{By} ; 轮 I 给销钉 B 的约束力为 F'_{B1x} 与 F'_{B1y} ; 另外还受到钢绳对销钉 B 的拉力 F'_{T3} . 销钉 B 的受力如图 1-2(g) 所示.

⑦ 取整体为研究对象 铰链 B, C, D 处受力及钢绳的拉力均为内力, 故可不画. 系统的外力除主动力 W 外, 还有约束力 F_A 与 F_{Ex} , F_{Ey} . 整体的受力如图 1-2(h) 所示.

(2) 取销钉 B 与滑轮 I 一起为研究对象 销钉 B 与滑轮 I 之间的作用与反作用力为内

力,故可不画.其上除受三绳拉力 F'_K , F'_{T1} 及 F'_{T3} 外,还受到二力杆 BD 及杆 AB 在 B 处对它的约束反力 F'_{BD} 及 F'_{Bx} , F'_{By} . 销钉 B 与滑轮 I 的受力如图 1-2(i) 所示.

(3) 取杆 AB , 滑轮 I , II 以及重物、钢绳(包括销钉 B) 一起为研究对象. 销钉 B 处受力及轮 I 、轮 II 间钢绳的拉力均为内力,故可不画.系统上的外力有主动力 W , 约束反力 F_A , F'_{BD} 及 F_{Cx} , F_{Cy} 外,还有 K 处的钢绳拉力 F'_K . 其受力如图 1-2(j) 所示.

此题难度较大,是由于销钉 B 与四个物体联接,销钉 B 与每个联接物体之间都有作用力与反作用力关系,故销钉 B 上受的力较多,因此必须明确其上每一个力的施力物体.应当注意:当分析各物体在 B 处的受力时,应根据求解需要,将销钉单独画出或将它属于某一个物体.因为各研究对象在 B 处是否包括销钉的受力图是不同的,如图 1-2(e) 与图 1-2(i) 所示.遇到销钉与三个以上物体联接时,都应注意上述问题.

(三) 练习题

1. 判断题

- (1) 两端用光滑铰链连接的构件是二力构件. ()
- (2) 作用在一个物体上有三个力,当这三个力的作用线汇交于一点时,则此力系必然平衡. ()
- (3) 悬挂的小球静止不动是因为小球对绳向下的拉力和绳对小球向上的拉力相互抵消的缘故. ()
- (4) 作用在一个刚体上的任意两个力成平衡的必要与充分条件是:两个力的作用线相同、大小相等、方向相反. ()
- (5) 凡在两个力作用下的构件称为二力构件. ()
- (6) 根据力的可传性,图 1-3 中力 P 可以由 D 点沿其作用线移到 E 点. ()
- (7) 光滑圆柱形铰链约束的约束反力,一般可用两个相互垂直的分力表示,该两分力一定要沿水平和铅垂方向. ()
- (8) 力平衡条件中的两个力作用在同一物体上;作用力和反作用力分别作用在两个物体上. ()
- (9) 刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件,而非充分条件. ()
- (10) 约束力的方向必与该约束所阻碍的物体运动方向相反. ()

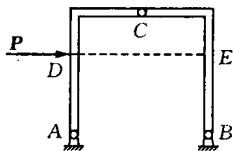


图 1-3

2. 选择题

- (1) 在下述原理、法则、定理中,只适用于刚体的有_____。
 (A) 三力平衡定理 (B) 力的平行四边形法则
 (C) 加减平衡力系原理 (D) 力的可传性原理 (E) 作用与反作用定律
- (2) 三力平衡定理是_____。
 (A) 共面不平行的三个力相互平衡必汇交于一点
 (B) 共面三力若平衡,必汇交于一点
 (C) 三力汇交于一点,则这三个力必互相平衡
- (3) 作用在一个刚体上的两个力 F_A , F_B , 满足 $F_A = -F_B$ 的条件,则该二力可能是_____。

- (A) 作用力与反作用力或一对平衡力 (B) 一对平衡力或一个力偶
(C) 一对平衡力或一个力和一个力偶 (D) 作用力与反作用力或一个力偶

(4) 图 1-4 所示系统只受 F 作用而平衡, 欲使 A 支座约束力的作用线与 AB 成 30° 角, 则斜面倾角应为_____。

- (A) 0° (B) 30° (C) 45° (D) 60°

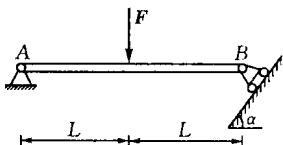


图 1-4

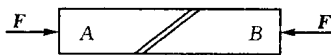


图 1-5

(5) 图 1-5 所示楔形块 A, B 自重不计, 接触处光滑, 则_____。

- (A) A 平衡, B 不平衡 (B) A 不平衡, B 平衡
(C) A, B 均不平衡 (D) A, B 均平衡

3. 填空题

(1) 作用力与反作用力大小_____, 方向_____, 作用在_____。

(2) 作用在同一刚体上的两个力使物体处于平衡的充分必要条件是这两个力_____, _____, _____。

(3) 在力平行四边形中, 合力位于_____。

(4) 图 1-6 所示结构, 自重不计, 接触处光滑, 则图(a)的二力构件是_____, 图(b)的二力构件是_____。

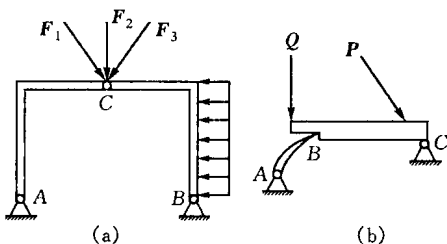


图 1-6

4. 画图题

(1) 画出图 1-7 所示各物体的受力图, 未画重力的物体自重不计, 并假设所有接触处都是光滑的。

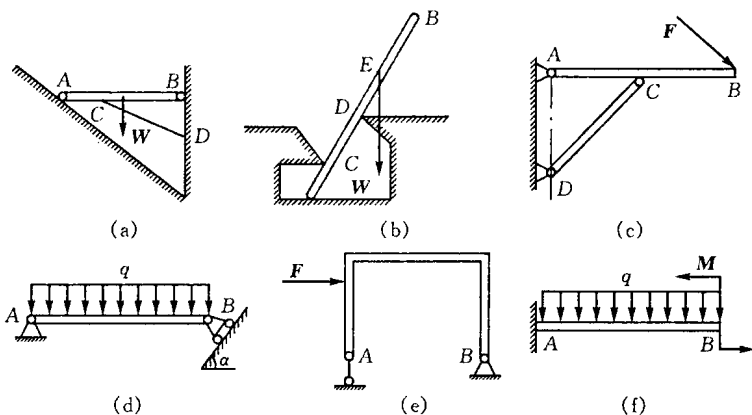


图 1-7

(2) 试画出图 1-8 中各物体及整体的受力图. 未画重力的物体的重量均不计, 所有接触处均为光滑接触.

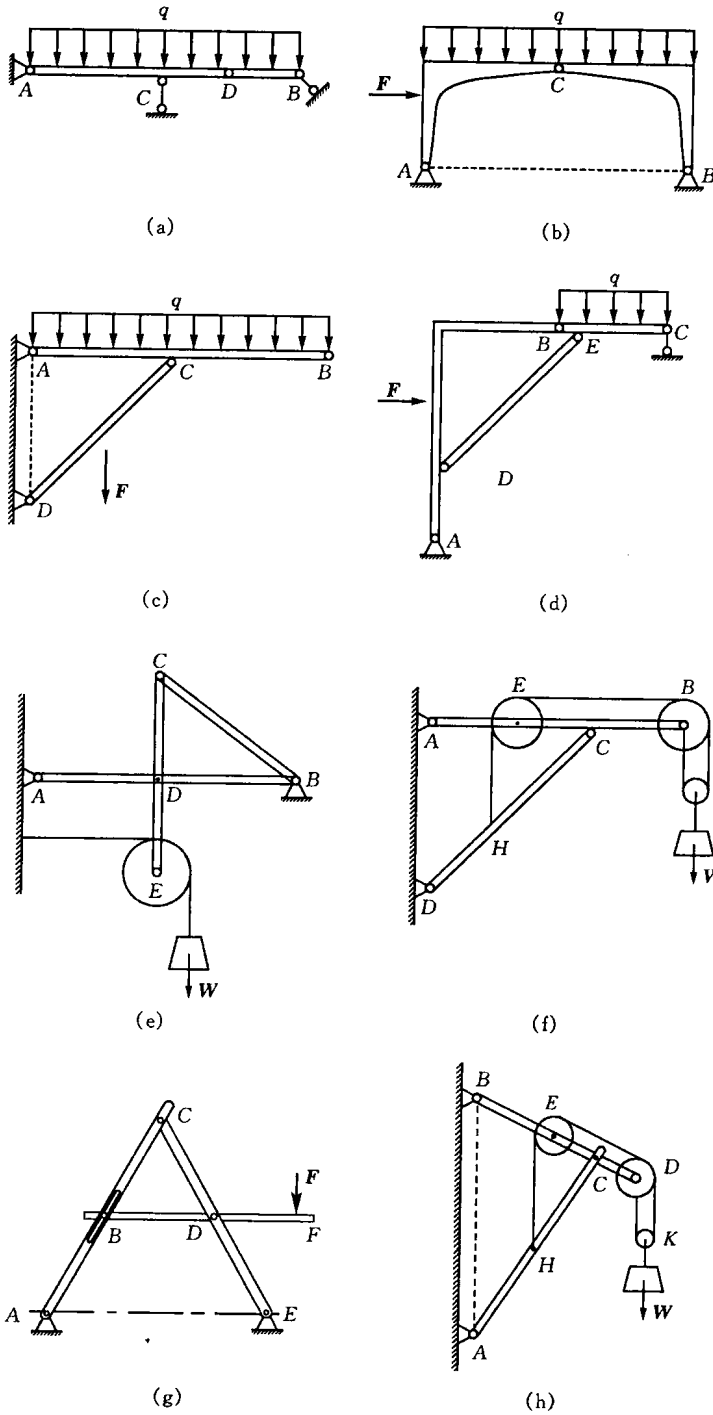


图 1-8

□ 第 2 章 平面汇交力系与平面力偶系

(一) 主要内容

1. 平面汇交力系的合成

(1) 几何法. 合力矢为: $\mathbf{F}_R = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i$

合力矢是力多边形的封闭边, 合力作用线通过汇交点.

(2) 解析法. 合力的大小和方向为

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2}$$

$$\cos(\mathbf{F}_R, \mathbf{i}) = \frac{\sum F_{ix}}{F_R}$$

$$\cos(\mathbf{F}_R, \mathbf{j}) = \frac{\sum F_{iy}}{F_R}$$

2. 平面汇交力系的平衡

(1) 平衡的几何条件: 平面汇交力系的力多边形自行封闭.

(2) 平衡的解析条件(平衡方程):

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

3. 平面力对点之矩

$$M_O(\mathbf{F}) = \pm Fh = \pm 2A_{\triangle ABO}$$

或用解析式:

$$M_O(\mathbf{F}_R) = \sum (x_i \cdot F_{iy} - y_i \cdot F_{ix})$$

4. 力偶和力偶矩

大小相等、方向相反但不共线的两个平行力组成的力系, 称为力偶.

力偶矩是一个代数量, 其绝对值等于力的大小与力偶臂的乘积, 即 $M = \pm Fd$.

正负号表示力偶的转向: 逆时针转向为正, 反之则为负.

力偶对平面内任意点的矩等于力偶矩, 力偶矩与矩心位置无关.

5. 平面力偶的等效定理

在同一平面内, 力偶矩相等的两力偶等效.

6. 平面力偶的合成与平衡

合力偶矩等于各分力偶矩的代数和, 即 $M = \sum M_i$.

平面力偶系的平衡条件为 $\sum M_i = 0$.

(二) 例题

1. 已知: 支架 ABC, A, B 处为铰支座, 在 C 处用销钉连接, 在销上作用 $P = 20\text{kN}$, 杆自重不计. 如图 2-1(a) 所示. 求: AC 和 BC 杆所受的力.

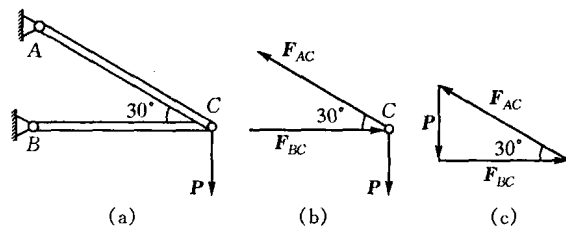


图 2-1

- 解 (1) 取研究对象销钉 C;
 (2) 受力分析如图 2-1(b) 所示;
 (3) 作自行封闭的力多边形, 如图 2-1(c) 所示;
 (4) 解三角形

$$\frac{P}{\sin 30^\circ} = \frac{F_{AC}}{\sin 90^\circ} = \frac{F_{BC}}{\sin 60^\circ}$$

解得 $F_{AC} = 40\text{kN}$ (拉), $F_{BC} = 34.64\text{kN}$ (压)

2. 已知: 图 2-2(a) 所示三铰拱不计自重, 结构尺寸为 a , 在 D 点作用水平力 P , 求支座 A, B, C 的约束力.

- 解 (1) 以 BCD 为研究对象;
 (2) 受力分析如图 2-2(b) 所示;

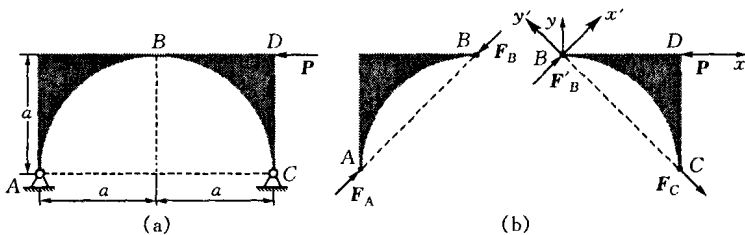


图 2-2

(3) 列方程, 求解

$$\sum F_{ix} = 0, -P + F_B \cos 45^\circ - F_C \cos 45^\circ = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0, F_C \cos 45^\circ + F_B \sin 45^\circ = 0$$

求得 $F_B = \frac{\sqrt{2}}{2}P$, $F_C = -\frac{\sqrt{2}}{2}P$.

也可在 $Bx'y'$ 系中:

$$\sum F_{iy'} = 0, -F_C - F_B \cos 45^\circ = 0$$

$$\sum F_{ix'} = 0, F_B - P \sin 45^\circ = 0$$

可知: 选择合适的坐标系, 可以简化计算.

3. 结构如图 2-3(a) 所示, 已知: $P = 20\text{kN}$, 不计杆重和滑轮尺寸. 求: 杆 AB 与 BC 所受的力.

- 解 (1) 研究对象: 滑轮;
 (2) 受力分析如图 2-3(b) 所示;
 (3) 列方程求解

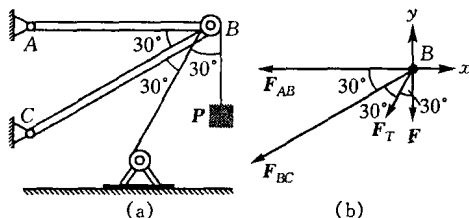


图 2-3

$$\sum F_{ix} = 0, -F_{BA} - F_{BC}\cos 30^\circ - F_T\sin 30^\circ = 0$$

$$\sum F_{iy} = 0, -F_{BC}\sin 30^\circ - F_1\cos 30^\circ - F = 0$$

其中 $F = F_T = P$.

解得 $F_{BC} = -74.64\text{kN}$ (压), $F_{AB} = 54.64\text{kN}$ (拉).

4. 在一钻床上水平放置工件, 在工件上同时钻四个等直径的孔, 每个钻头的力偶矩为 $15\text{N}\cdot\text{m}$, 如图 2-4 所示. 求工件的总切削力偶矩和 A, B 端约束力.

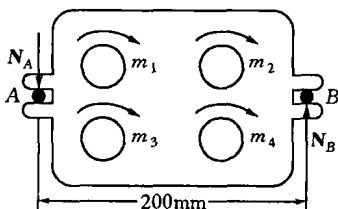


图 2-4

解 各力偶的合力偶距为

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 = 4 \times (-15) = -60\text{N}\cdot\text{m}$$

由力偶只能与力偶平衡的性质, 力 N_A 与力 N_B 组成一力偶.

根据平面力偶系平衡方程有:

$$N_B \times 0.2 - m_1 - m_2 - m_3 - m_4 = 0$$

$$N_B = \frac{60}{0.2} = 300\text{N}$$

$$N_A = N_B = 300\text{N}$$

5. 结构如图 2-5(a)所示, A, B, C 处为铰链连接. 已知 a, m , 杆重不计. 求铰 A, C 的约束力.



图 2-5

解 AB 为二力构件. 对 BC 构件, 受力分析如图 2-5(b)所示. 由力偶平衡有

$$N_C \cdot d = m$$

$$N_C = N_B = \frac{m}{d} = \frac{\sqrt{2}m}{3a}$$

$$N_A = N_B = \frac{\sqrt{2}m}{3a}$$

(三) 练习题

1. 选择题

(1) 如图 2-6 所示, 将大小为 100N 的力 F 沿 x, y 方向分解, 若 F 在 x 轴上的投影为 86.6N , 而沿 x 方向的分力的大小为 115.47N , 则 F 在 y 轴上的投影为_____.

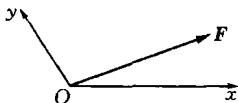


图 2-6

- (A) 0 (B) 50N (C) 70.7N (D) 86.6N

(2) 图 2-7 所示结构受力 F 作用, 杆重不计, 则 A 支座约束力的大小为_____.

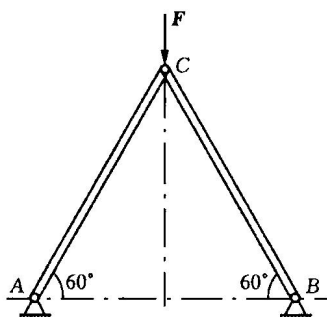


图 2-7

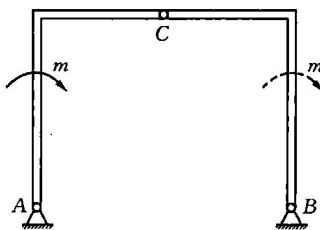


图 2-8

- (A) $\frac{F}{2}$ (B) $\frac{\sqrt{3}F}{2}$ (C) $\frac{\sqrt{3}F}{3}$ (D) 0

(3) 在图 2-8 所示结构中, 如果将作用于构件 AC 上的力偶 m 搬到构件 BC 上, 则 A, B, C 三处反力的大小_____。

- (A) 都不变 (B) A, B 处反力不变, C 处反力改变
(C) 都改变 (D) A, B 处反力改变, C 处反力不变

(4) 平面力系向点 1 简化时, 主矢 $R' = 0$, 主矩 $M_1 \neq 0$, 如将该力系向另一点 2 简化, 则_____。

- (A) $R' \neq 0, M_2 \neq 0$ (B) $R' = 0, M_2 \neq M_1$
(C) $R' = 0, M_2 = M_1$ (D) $R' \neq 0, M_2 = M_1$

(5) 杆 AF, BE, CD, EF 相互铰接, 并支承, 如图 2-9 所示. 今在 AF 杆上作用一力偶 (F, F'), 若不计各杆自重, 则 A 支座处反力的作用线_____。

- (A) 过 A 点平行于力 F (B) 过 A 点平行于 BG 连线
(C) 沿 AG 直线 (D) 沿 AH 直线

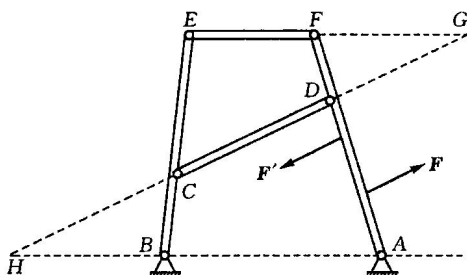


图 2-9

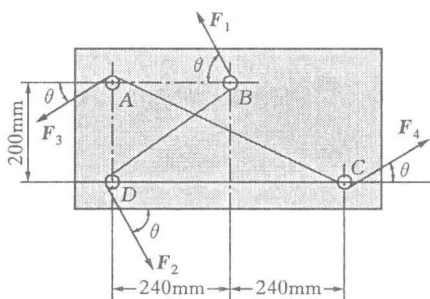


图 2-10

2. 计算题

(1) 图 2-10 所示 A, B, C, D 均为滑轮, 绕过 B, D 两滑轮的绳子两端的拉力 $F_1 = F_2 = 400\text{N}$, 绕过 A, C 两滑轮的绳子两端的拉力 $F_3 = F_4 = 300\text{N}$, $\theta = 30^\circ$. 试求此两力偶的合力偶矩的大小和转向. 滑轮大小忽略不计.

(2) 直角弯杆 ABCD 与直杆 DE 及 EC 铰接如图 2-11 所示. 作用在 DE 杆上力偶的力偶矩 $M = 40\text{kN}\cdot\text{m}$, 不计各杆件自重, 不考虑摩擦, 尺寸见图. 求支座 A, B 处的约束力及 EC 杆受力.