

高等学校教材

# 工程力学

## 自学指导与解题指南

黄凤珠 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高等学校教材

# 工程力学

## 自学指导与解题指南

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 黄凤珠 |     |     |
| 副主编 | 张益飞 | 张 建 | 张排房 |
| 参 编 | 刘 琳 | 鲁照文 | 王鹏举 |
|     | 朱卫东 | 黄纲治 | 王国平 |
| 主 审 | 张秉荣 |     |     |



机械工业出版社

本书是与张秉荣教授主编的高等学校教材《工程力学 第3版》配套的辅助教材,全书通过对基本理论进行系统并有重点的总结,对解题方法的指导以及对典型例题的分析,提高读者分析和解题的能力。每章分为内容提要、解题指南、例题分析、习题解答、自测作业及自测作业答案等六部分。

与教材对应,本书共分十三章,即力的基本运算与物体受力图的绘制、平面问题的受力分析、空间问题的受力分析、点的运动与刚体的基本运动、点的合成运动与刚体的平面运动、动力学的基本方程与动静法、动力学普遍定理、拉伸(压缩)、剪切与挤压的强度计算、圆轴的扭转、直梁的弯曲、应力状态和强度理论、组合变形的强度计算、材料力学中几个专题的简介。

本书适合高等学校、高职工科院校机械类与近机类专业学生使用。通过使用本书,希望能减少学生在学习与解题中的困难。本书也适用于自考、成教、函授等学习“工程力学”的学生使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

工程力学自学指导与解题指南/黄凤珠主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 10

高等学校教材

ISBN 978-7-111-28167-2

I. 工… II. 黄… III. 工程力学—高等学校—教学参考资料  
IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 152495 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张金奎 赵爱宁 责任编辑:张金奎

版式设计:张世琴 责任校对:李 婷

封面设计:鞠 杨 责任印制:李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·12.75 印张·312 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-28167-2

定价:19.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

“工程力学”是机械工程类专业重要的专业基础课。学习“工程力学”必须提高解题与计算能力，这是学好该课程的关键，也是考核的主要方面。“工程力学”是一门较难以掌握的学科，对初学者来说，经常会感到教材似乎看懂了，但遇到具体问题，又无从下手，参加自考和函授的学生对这一点感受尤深。希望本书能为学习“工程力学”的学生提供帮助。

本书是依据张秉荣教授主编的高等学校教材《工程力学 第3版》而编写的，所有章节与该教材一一对应。本书对每章内容的重点进行了概括，提出了求解每章习题的主要方法，选择了少量与每章内容有关的典型例题，对教材中的习题作了解答，选择了少量自测作业题并给出了自测作业答案，以方便读者检验自己的学习成果。

参加本书编写工作的有黄凤珠、张益飞、张建、张排房、刘琳、鲁照文、王鹏举、朱卫东、黄纲治、王国平。其中，黄凤珠任主编；张益飞、张建、张排房任副主编；张秉荣教授任本书主审。

限于编者水平，错漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者  
2009 年 4 月

# 目 录

## 前言

## 第一篇 理论力学

### 第一章 力的基本运算与物体受力

#### 图的绘制 ..... 1

#### 一、内容提要 ..... 1

#### 二、解题指南 ..... 2

#### 三、例题分析 ..... 2

#### 四、习题解答 ..... 4

#### 五、自测作业 ..... 10

#### 六、自测作业答案 ..... 10

### 第二章 平面问题的受力分析 ..... 12

#### 一、内容提要 ..... 12

#### 二、解题指南 ..... 13

#### 三、例题分析 ..... 14

#### 四、习题解答 ..... 14

#### 五、自测作业 ..... 38

#### 六、自测作业答案 ..... 39

### 第三章 空间问题的受力分析 ..... 40

#### 一、内容提要 ..... 40

#### 二、解题指南 ..... 40

#### 三、例题分析 ..... 41

#### 四、习题解答 ..... 42

#### 五、自测作业 ..... 53

#### 六、自测作业答案 ..... 54

### 第四章 点的运动与刚体的基本运动 ..... 55

#### 一、内容提要 ..... 55

#### 二、解题指南 ..... 56

#### 三、例题分析 ..... 56

#### 四、习题解答 ..... 58

#### 五、自测作业 ..... 62

#### 六、自测作业答案 ..... 63

### 第五章 点的合成运动与刚体的

#### 平面运动 ..... 64

#### 一、内容提要 ..... 64

#### 二、解题指南 ..... 64

#### 三、例题分析 ..... 65

#### 四、习题解答 ..... 68

#### 五、自测作业 ..... 76

#### 六、自测作业答案 ..... 77

### 第六章 动力学的基本方程与动静法 ..... 78

#### 一、内容提要 ..... 78

#### 二、解题指南 ..... 79

#### 三、例题分析 ..... 79

#### 四、习题解答 ..... 81

#### 五、自测作业 ..... 92

#### 六、自测作业答案 ..... 92

### 第七章 动力学普遍定理 ..... 93

#### 一、内容提要 ..... 93

#### 二、解题指南 ..... 94

#### 三、例题分析 ..... 95

#### 四、习题解答 ..... 99

#### 五、自测作业 ..... 111

#### 六、自测作业答案 ..... 111

## 第二篇 材料力学

### 第八章 拉伸(压缩)、剪切与挤压的强度

#### 计算 ..... 113

#### 一、内容提要 ..... 113

#### 二、解题指南 ..... 114

#### 三、例题分析 ..... 114

#### 四、习题解答 ..... 118

|                             |            |                             |            |
|-----------------------------|------------|-----------------------------|------------|
| 五、自测作业 .....                | 130        | 四、习题解答 .....                | 165        |
| 六、自测作业答案 .....              | 132        | 五、自测作业 .....                | 170        |
| <b>第九章 圆轴的扭转 .....</b>      | <b>133</b> | 六、自测作业答案 .....              | 170        |
| 一、内容提要 .....                | 133        | <b>第十二章 组合变形的强度计算 .....</b> | <b>172</b> |
| 二、解题指南 .....                | 134        | 一、内容提要 .....                | 172        |
| 三、例题分析 .....                | 134        | 二、解题指南 .....                | 172        |
| 四、习题解答 .....                | 134        | 三、例题分析 .....                | 172        |
| 五、自测作业 .....                | 141        | 四、习题解答 .....                | 174        |
| 六、自测作业答案 .....              | 141        | 五、自测作业 .....                | 182        |
| <b>第十章 直梁的弯曲 .....</b>      | <b>142</b> | 六、自测作业答案 .....              | 182        |
| 一、内容提要 .....                | 142        | <b>第十三章 材料力学中几个专题</b>       |            |
| 二、解题指南 .....                | 143        | <b>的简介 .....</b>            | <b>183</b> |
| 三、例题分析 .....                | 144        | 一、内容提要 .....                | 183        |
| 四、习题解答 .....                | 146        | 二、解题指南 .....                | 184        |
| 五、自测作业 .....                | 160        | 三、例题分析 .....                | 184        |
| 六、自测作业答案 .....              | 161        | 四、习题解答 .....                | 187        |
| <b>第十一章 应力状态和强度理论 .....</b> | <b>162</b> | 五、自测作业 .....                | 195        |
| 一、内容提要 .....                | 162        | 六、自测作业答案 .....              | 196        |
| 二、解题指南 .....                | 163        | <b>参考文献 .....</b>           | <b>197</b> |
| 三、例题分析 .....                | 163        |                             |            |

# 第一篇 理论力学

## 第一章 力的基本运算与物体受力图的绘制

### 一、内容提要

#### 1. 力的概念

力是物体间的相互作用，这种作用将引起物体机械运动状态发生变化。力是矢量，具有大小、方向、作用点三个要素。

#### 2. 平面汇交力系的合成

(1) 几何法：将力系中各力依次首尾相接，形成一条不封闭的折线，其封闭边为合力的大小、方向，合力仍作用于汇交点。此法称为力多边形法则。

(2) 解析法：

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2}$$
$$\tan\alpha = \left| \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} \right| = \left| \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \right|$$

式中， $F_{Rx}$ 为合力在 $x$ 轴上的投影； $F_{Ry}$ 为合力在 $y$ 轴上的投影； $\alpha$ 为合力 $F_R$ 与 $x$ 轴正向间的夹角。

#### 3. 力对点之矩的概念

力使物体绕某点转动效应的量称为力对点之矩（简称力矩）。其值为力与力臂之乘积，记作 $M_O(\mathbf{F}) = \pm Fd$ 。

#### 4. 力偶的概念

力偶为一对等值、反向且不共线的平行力。力偶有三个要素：力偶矩的大小、力偶的转向、力偶的作用面。只要保证力偶的三要素不变，力偶可在其作用面内任意移动，而不改变其对物体的转动效应。平面力偶系之合力偶矩为各组成力偶矩之代数和，即 $M = \sum M_i$ 。

#### 5. 合力矩定理

力系的合力对某点之矩为各分力对同点之矩的代数和，这就是合力矩定理。

#### 6. 力的平移定理

作用于刚体上的力可以平移到刚体内任一点，但必须附加一力偶。此附加力偶的力偶矩等于原力对平移点之矩。

#### 7. 作用于物体上的力可分为主动力与约束力

约束力是限制被约束物体运动的力，它作用于物体的约束接触处，方向与物体被限制的运动方向相反。

#### 8. 画物体受力图的步骤

- (1) 取分离体。将研究对象从与其联系的周围物体中分离出来，单独画出。
- (2) 画主动力。画出作用于研究对象上的全部主动力。
- (3) 画约束力。解除约束，根据约束类型补上作用于研究对象上的全部约束力。

## 二、解题指南

1. 用解析法解决平面汇交力系的合成与平衡问题时，对指向不明的力要虚拟它的一组正交分力来替换。

2. 力偶运算的两个特性：

- (1) 力偶在任何轴上，力的投影和为零。
- (2) 力偶对其作用面内任一点之矩，始终等于它的力偶矩大小。

3. 画受力图的注意事项：

- (1) 只画分离体所受到的力，不画它施于其他物体的力。
- (2) 在解除约束处，按约束类型画出可能存在的约束力。
- (3) 对物体系统只画外力，不画内力。
- (4) 检查所画每一力的来源，检查所取对象与其他物体的联系，不要遗漏任何一个其他物体可能给予的主动力与约束力。

## 三、例题分析

**例 1-1** 在例 1-1 图所示平面汇交力系中， $F_1 = 30\text{N}$ ， $F_2 = 100\text{N}$ ， $F_3 = 20\text{N}$ 。 $O$  点为力系的汇交点，求该力系的合力。

**解** 取力系汇交点  $O$  为坐标原点，建立坐标轴如图。合力在各轴上的投影分别为

$$F_{Rx} = F_1 \cos 30^\circ - F_2 \cos 60^\circ + F_3 \cos 45^\circ = -9.87\text{N}$$

$$F_{Ry} = F_1 \sin 30^\circ + F_2 \sin 60^\circ - F_3 \sin 45^\circ = 87.46\text{N}$$

则合力的大小和方向分别为

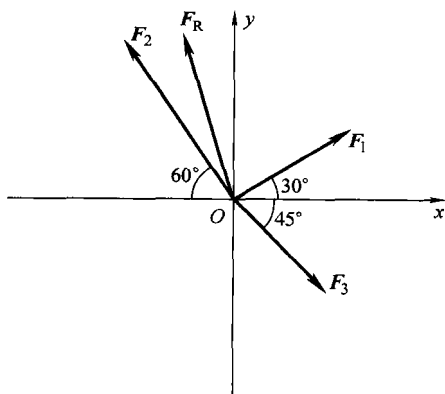
$$F_R = \sqrt{(F_{Rx})^2 + (F_{Ry})^2} = \sqrt{(-9.87)^2 + 87.46^2}\text{N} = 88.02\text{N}$$

$$\tan \beta = \left| \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} \right| = \frac{87.46}{9.87} = 8.86$$

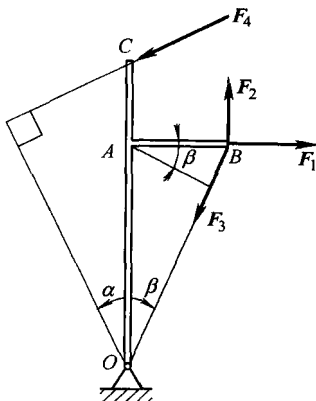
$$\beta = 83.56^\circ (\beta \text{ 为合力 } F_R \text{ 与 } x \text{ 轴负方向的夹角})$$

合力作用于  $O$  点，合力作用线位于选定坐标系的第二象限。

**例 1-2** 例 1-2 图所示构件  $O$  端与地面铰接，受力如图所示。求各力对  $O$  点之矩及力系



例 1-1 图



例 1-2 图

的合力对  $O$  点之矩。

解 (1) 各力对  $O$  点之矩

$$M_O(F_1) = -F_1 OA$$

$$M_O(F_2) = F_2 AB$$

$$M_O(F_3) = 0$$

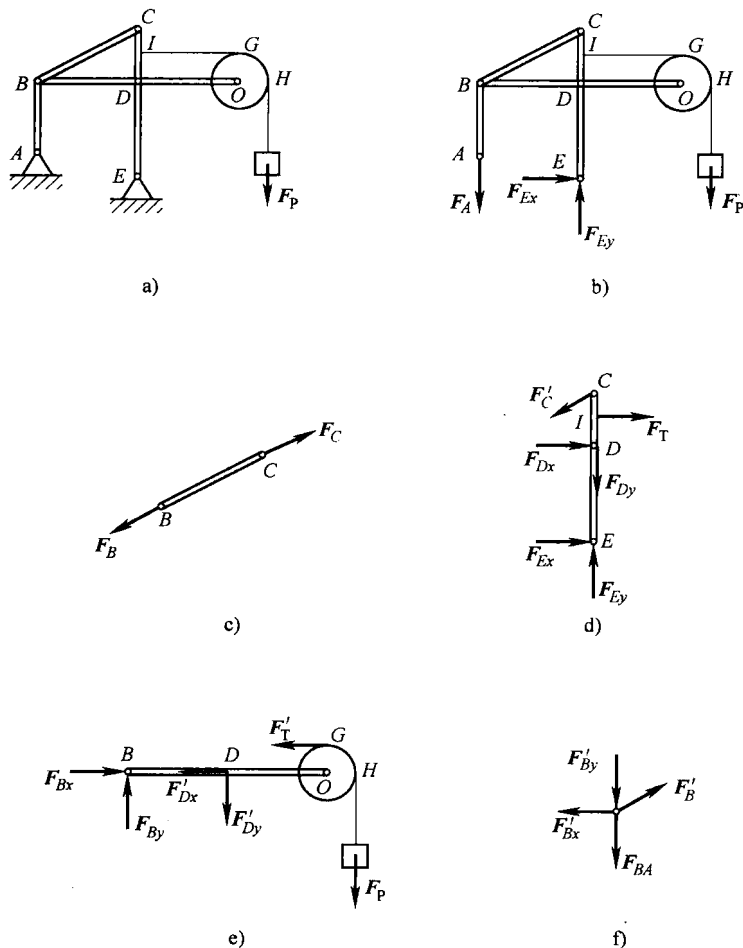
$$M_O(F_4) = F_4 OC \cos \alpha$$

(2) 力系的合力对  $O$  点之矩

$$\begin{aligned} M_O(F_R) &= M_O(F_1) + M_O(F_2) + M_O(F_3) + M_O(F_4) \\ &= -F_1 OA + F_2 AB + F_4 OC \cos \alpha \end{aligned}$$

**例 1-3** 例 1-3 图 a 所示由  $AB$ 、 $BC$ 、 $BDO$  及  $CDE$  四杆组成的结构中, 固结在  $I$  点的绳子绕过定滑轮  $O$ , 将重力为  $F_P$  的物体吊起。各杆之间用铰链连接, 杆重不计。试画出下列指定物体的受力图: (1) 整体; (2) 杆  $BC$ ; (3) 杆  $CDE$ ; (4) 杆  $BDO$  连同滑轮和重物; (5) 销钉  $B$ 。

解 (1) 取整体为研究对象, 受力如例 1-3 图 b 所示。先画主动力  $F_P$ , 再画  $A$ 、 $E$  处的



例 1-3 图

约束力。其中  $A$  处的反力  $F_A$  由二力杆  $AB$  确定,  $E$  处反力为  $F_{Ex}$ 、 $F_{Ey}$ 。

(2) 取  $BC$  杆为研究对象, 受力如例 1-3 图 c 所示。 $BC$  为二力杆, 只受约束力  $F_B$ 、 $F_C$  作用而平衡。

(3) 取  $CDE$  杆为研究对象, 受力如例 1-3 图 d 所示。 $C$  点受的力  $F'_C$  与例 1-3 图 c 中  $BC$  杆  $C$  点所受的力  $F_C$  是作用力与反作用力的关系。 $I$  点承受绳子的拉力  $F_T$ 。 $D$ 、 $E$  两处均为铰链, 均用正交反力表示,  $E$  处的反力应与整体受力图(例 1-3 图 b)一致。

(4) 取杆  $BDO$  和滑轮、重物部件为研究对象, 受力如例 1-3 图 e 所示。先画出重力  $F_P$ 。绳索截断处画拉力  $F'_T$ , 它与例 1-3 图 d 中  $I$  处的拉力是作用力与反作用力的关系。 $B$ 、 $D$  为铰链, 该杆在销钉  $D$  处的反力与  $CDE$  杆在销钉  $D$  处的反力是作用力与反作用力的关系, 用  $F'_{Dx}$ 、 $F'_{Dy}$  表示。 $B$  处反力用  $F_{Bx}$ 、 $F_{By}$  表示。

(5) 将销钉  $B$  单独取出来, 受力如图 f 所示。它分别与  $AB$ 、 $BC$ 、 $BDO$  三杆形成作用与反作用关系。 $BC$  杆给销钉  $B$  的作用力  $F'_B$  应与图 c 中的  $F_B$  为作用力与反作用力的关系; $BDO$  杆给销钉  $B$  的作用力  $F'_{Bx}$ 、 $F'_{By}$  与图 e 中的  $F_{Bx}$ 、 $F_{By}$  为作用力与反作用力的关系; $F_{BA}$  为杆  $AB$  给销钉  $B$  的反力。

#### 四、习题解答

1-1 已知:  $F_1 = 2000\text{N}$ ,  $F_2 = 150\text{N}$ ,  $F_3 = 200\text{N}$ ,  $F_4 = 100\text{N}$ , 各力的方向如题 1-1 图所示。试求各力在  $x$ 、 $y$  轴上的投影。

解 1) 求各力在  $x$  轴上的投影

$$F_{1x} = -F_1 \cos 30^\circ = -2000\text{N} \times 0.866 = -1732\text{N}$$

$$F_{2x} = F_2 \cos 90^\circ = 0$$

$$F_{3x} = F_3 \cos 45^\circ = 200\text{N} \times 0.707 = 141.42\text{N}$$

$$F_{4x} = -F_4 \cos 60^\circ = -100\text{N} \times 0.5 = -50\text{N}$$

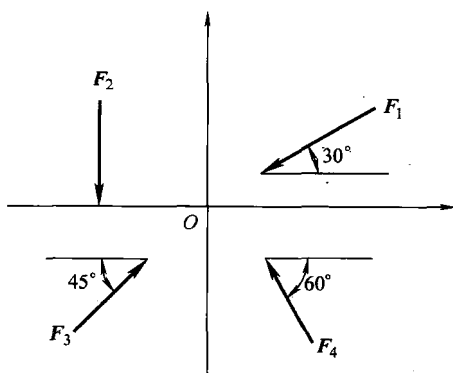
2) 求各力在  $y$  轴上的投影

$$F_{1y} = -F_1 \sin 30^\circ = -2000\text{N} \times 0.5 = -1000\text{N}$$

$$F_{2y} = -F_2 = -150\text{N}$$

$$F_{3y} = F_3 \sin 45^\circ = 200\text{N} \times 0.707 = 141.42\text{N}$$

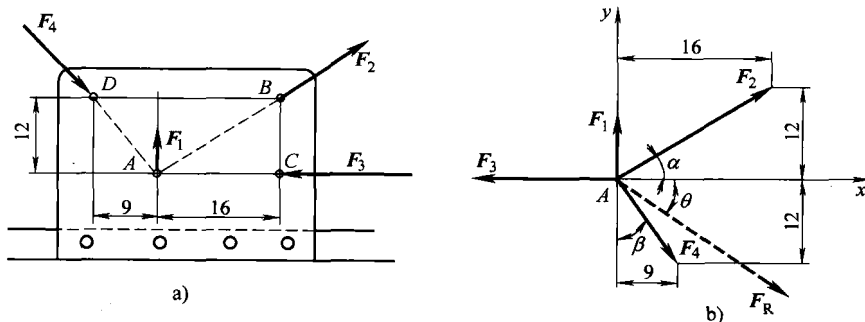
$$F_{4y} = F_4 \sin 60^\circ = 100\text{N} \times 0.866 = 86.6\text{N}$$



题 1-1 图

1-2 铆接薄钢板在孔  $A$ 、 $B$ 、 $C$  和  $D$  处受四个

力作用, 孔间尺寸如题 1-2 图 a 所示。已知:  $F_1 = 50\text{N}$ ,  $F_2 = 100\text{N}$ ,  $F_3 = 150\text{N}$ ,  $F_4 = 220\text{N}$ ,



题 1-2 图

求此汇交力系的合力。

解 建立直角坐标系  $Axy$ ，将各力沿其作用线移至  $A$  点，如题 1-2 图 b 所示，则

$$F_{Rx} = \sum F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} = 0 + F_2 \cos \alpha - F_3 + F_4 \sin \beta$$

$$= \left( 0 + 100 \frac{16}{\sqrt{16^2 + 12^2}} - 150 + 220 \frac{9}{\sqrt{12^2 + 9^2}} \right) \text{N} = 62 \text{N}$$

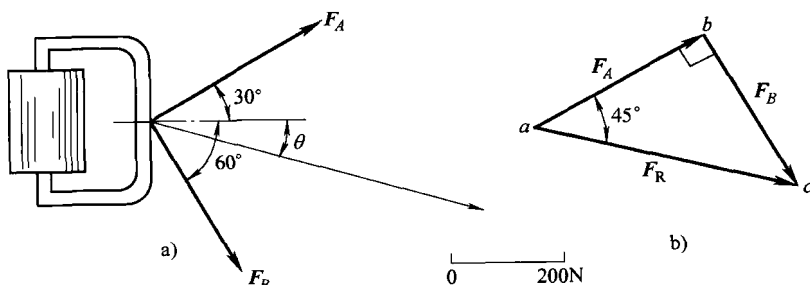
$$F_{Ry} = \sum F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} = F_1 + F_2 \sin \alpha + 0 - F_4 \cos \beta$$

$$= \left( 50 + 100 \frac{12}{\sqrt{16^2 + 12^2}} - 220 \frac{12}{\sqrt{12^2 + 9^2}} \right) \text{N} = -66 \text{N}$$

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2} = 90.6 \text{N}$$

$$\tan \theta = \left| \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}} \right| = 1.066, \quad \theta = 46.79^\circ$$

1-3  $A$ 、 $B$  二人拉一压路碾子，如题 1-3 图所示。 $A$  施拉力  $F_A = 400 \text{N}$ ，为使碾子沿相对正前方偏斜  $\theta = 15^\circ$  方向前进，沿相对正前方斜  $60^\circ$  方向施力  $F_B$  偏拉。试求  $F_B$  的值。



题 1-3 图

解 为使碾子沿相对正前方偏斜  $\theta = 15^\circ$  方向前进，只要使  $F_A$ 、 $F_B$  的合力沿该方向即可。且由题知  $F_A \perp F_B$ ，故可由力多边形法则：

1) 选取比例尺

2) 作力多边形(题 1-3 图 b)

3)  $\vec{ac}$  为  $F_A$ 、 $F_B$  的合力  $F_R$ ，即碾子前进的方向； $bc$  即为  $F_B$  的大小。量得  $F_B = 400 \text{N}$ 。

1-4 求题 1-4 图所示各种情况下  $F$  对点  $O$  的力矩。

解 a)  $M_O(F) = Fl$

b)  $M_O(F) = 0$

c)  $M_O(F) = F \sin \theta L$

d)  $M_O(F) = -Fa$

e)  $M_O(F) = F \cos \alpha a - F \sin \alpha L$

f)  $M_O(F) = F \sin \alpha \sqrt{L^2 + b^2}$

1-5 计算题 1-5 图所示两种情况下  $G$  与  $F$  对转心  $A$  之矩。

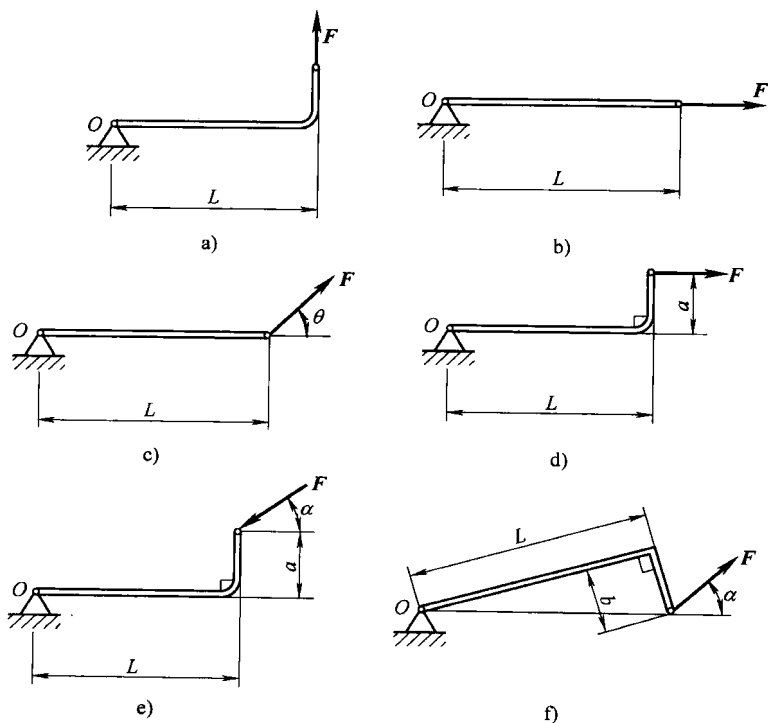
解 图 a:  $M_A(F) = -F \cos \alpha b - F \sin \alpha a = -F(a \sin \alpha + b \cos \alpha)$

$$M_A(G) = G \cos \alpha \frac{a}{2} - G \sin \alpha \frac{b}{2} = \frac{G}{2}(a \cos \alpha - b \sin \alpha)$$

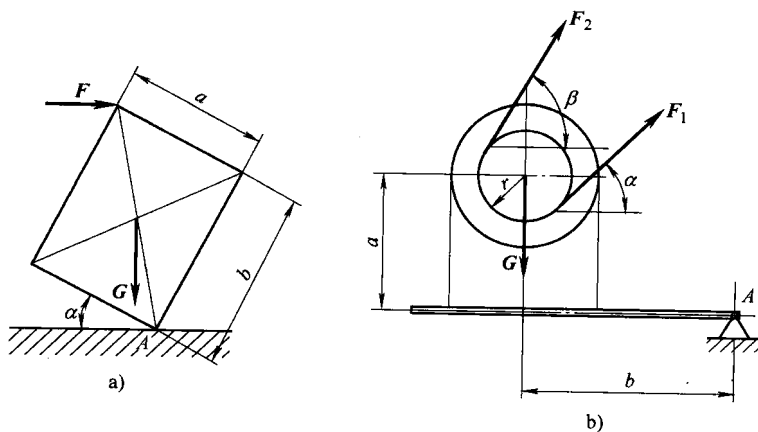
图 b:  $M_A(F_1) = -F_1 \sin \alpha (b - r \sin \alpha) - F_1 \cos \alpha (a - r \cos \alpha)$

$$= -F_1 [b \sin \alpha + a \cos \alpha - r(\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)]$$

$$= -F_1 (b \sin \alpha + a \cos \alpha - r)$$



题 1-4 图



题 1-5 图

$$\begin{aligned}
 M_A(F_2) &= -F_2 \sin \beta [r \cos(90^\circ - \beta) + b] - F_2 \cos \beta [r \sin(90^\circ - \beta) + a] \\
 &= -F_2 r (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta) - F_2 (b \sin \beta + a \cos \beta) \\
 &= -F_2 (r + b \sin \beta + a \cos \beta)
 \end{aligned}$$

$$M_A(G) = Gb$$

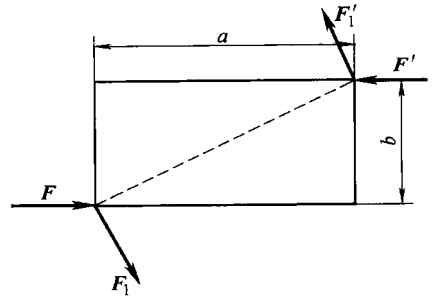
1-6 矩形钢板的边长为  $a=4\text{m}$ ,  $b=2\text{m}$  (题 1-6 图), 作用力偶  $M(F, F')$ 。当  $F=F'=200\text{N}$  时, 才能使钢板转动。试考虑如何选择加力的位置与方向才能使所费力为最小而达到使钢板转一角度的目的, 并求出此最小力的值。

解 由力偶性质  $M(F_1, F'_1) = M(F, F')$ , 即

$$F_1 \sqrt{a^2 + b^2} = Fb$$

得

$$F_1 = \frac{Fb}{\sqrt{a^2 + b^2}} = 89.44 \text{ N}$$

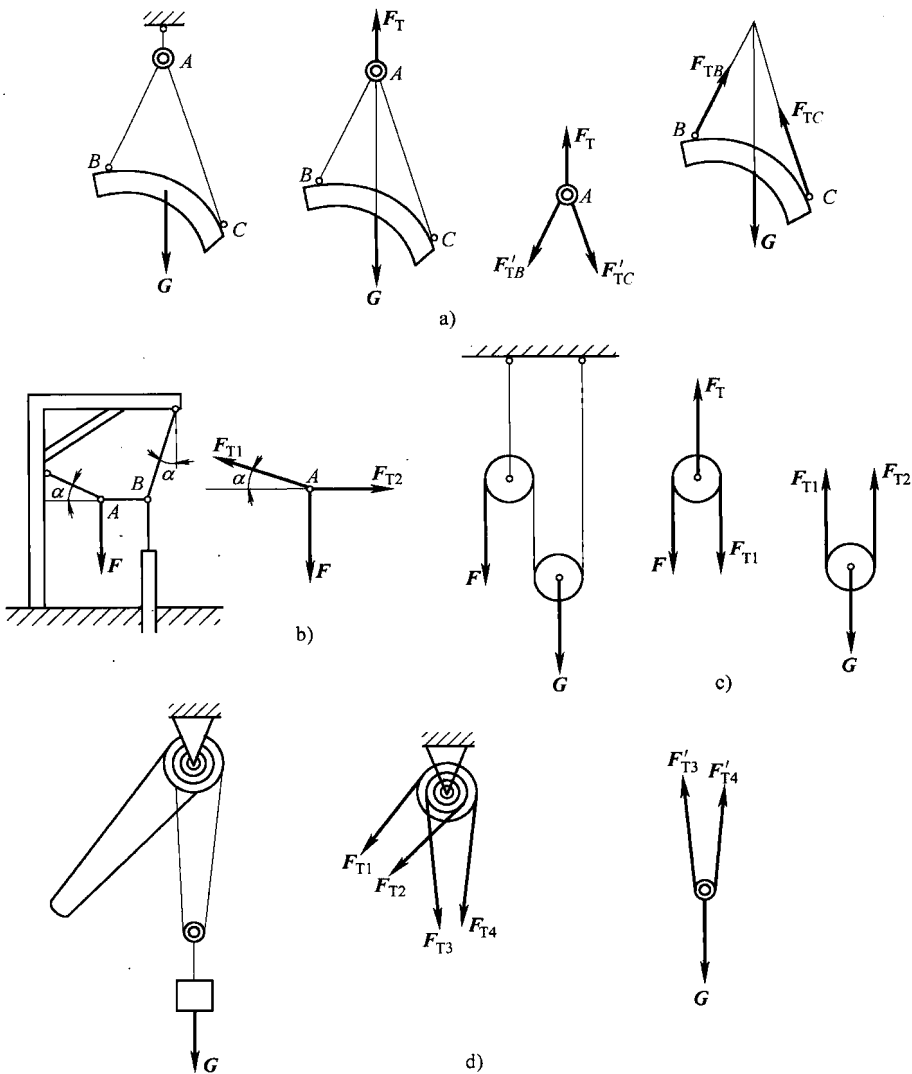


题 1-6 图

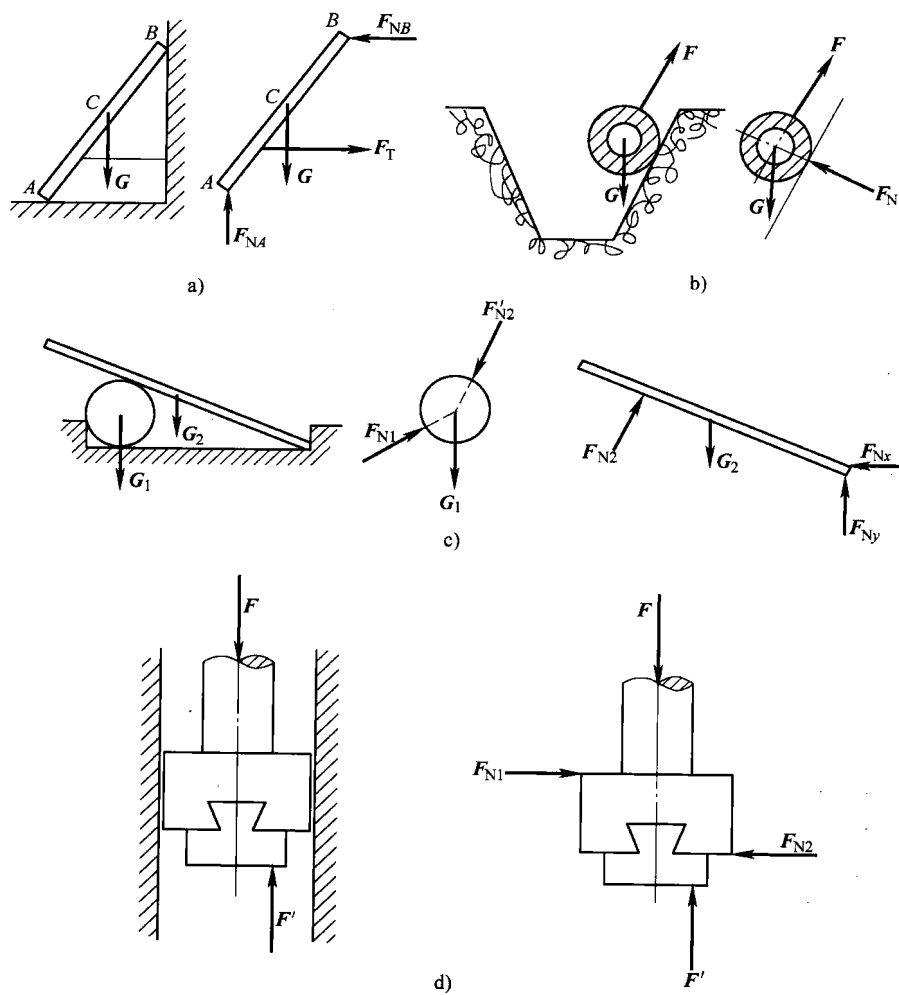
1-7 试画出题 1-7 图所示各受柔性约束物体的受力图。

1-8 试画出题 1-8 图所示各受光滑面约束物体的受力图。

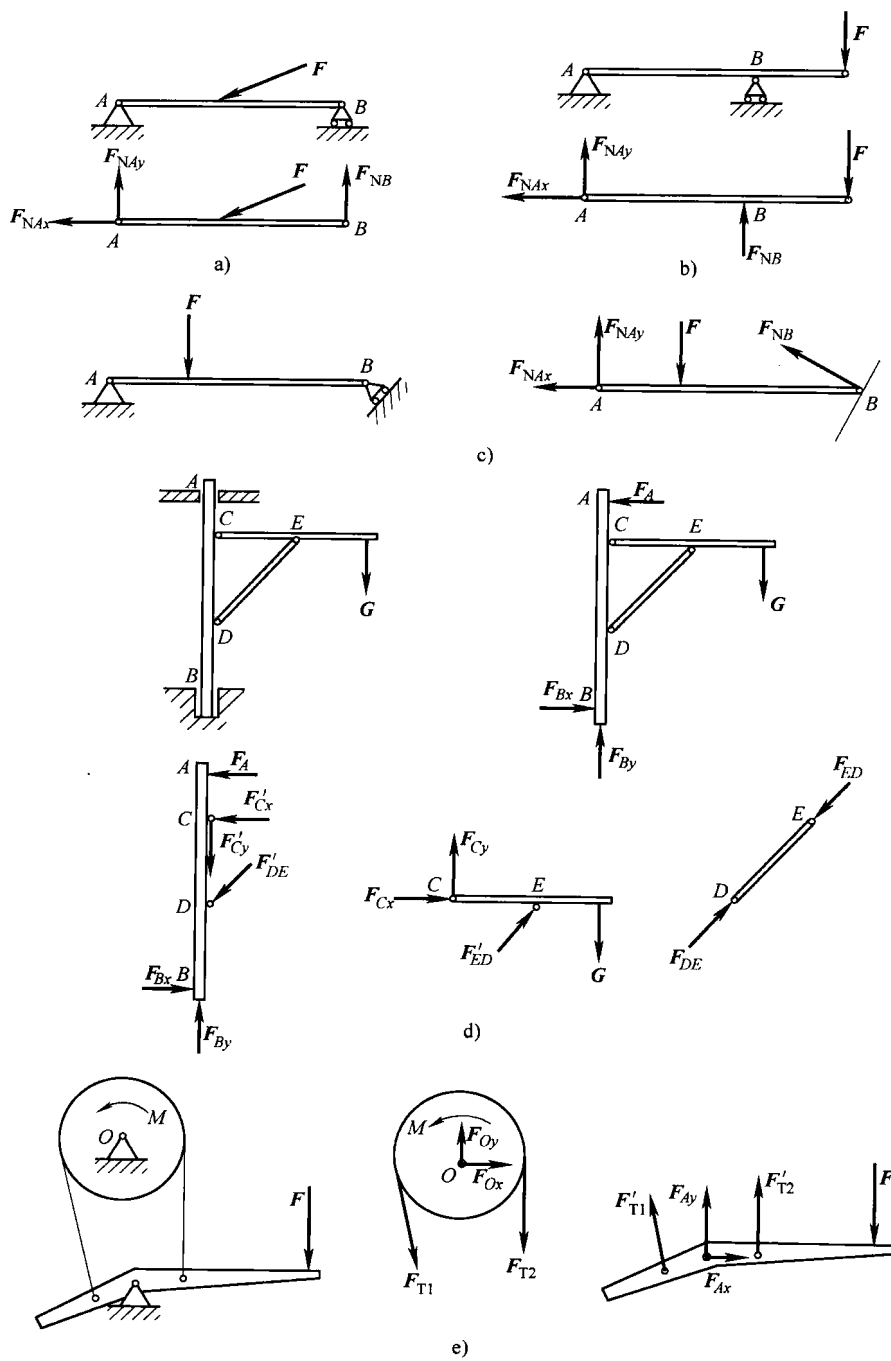
1-9 试画出题 1-9 图所示各铰链约束物体的受力图。



题 1-7 图

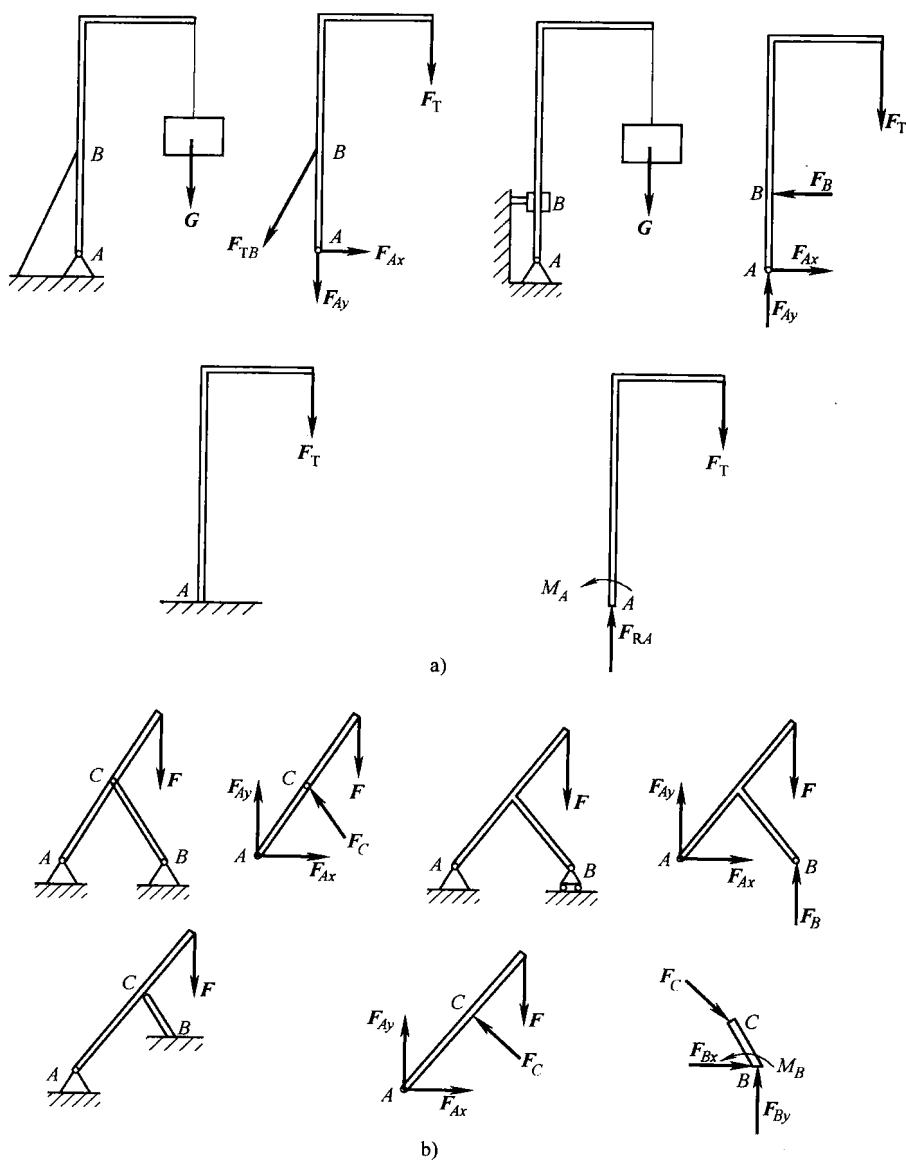


题 1-8 图



题 1-9 图

1-10 试画出题 1-10 图所示指定的分离体的受力图。



题 1-10 图

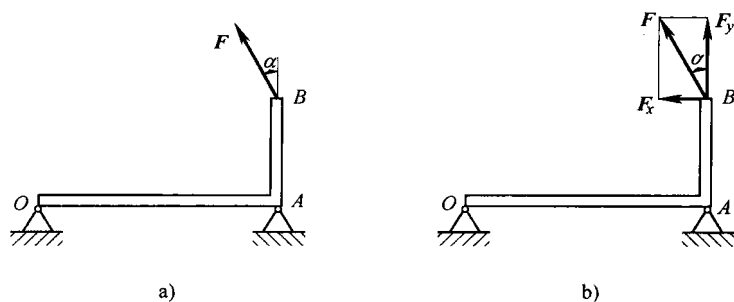
### 五、自测作业

1-1 如自测 1-1 图所示, 曲杆上作用一力  $F$ , 已知  $OA = a$ ,  $AB = b$ , 试分别计算力  $F$  对点  $O$  和点  $A$  之矩。

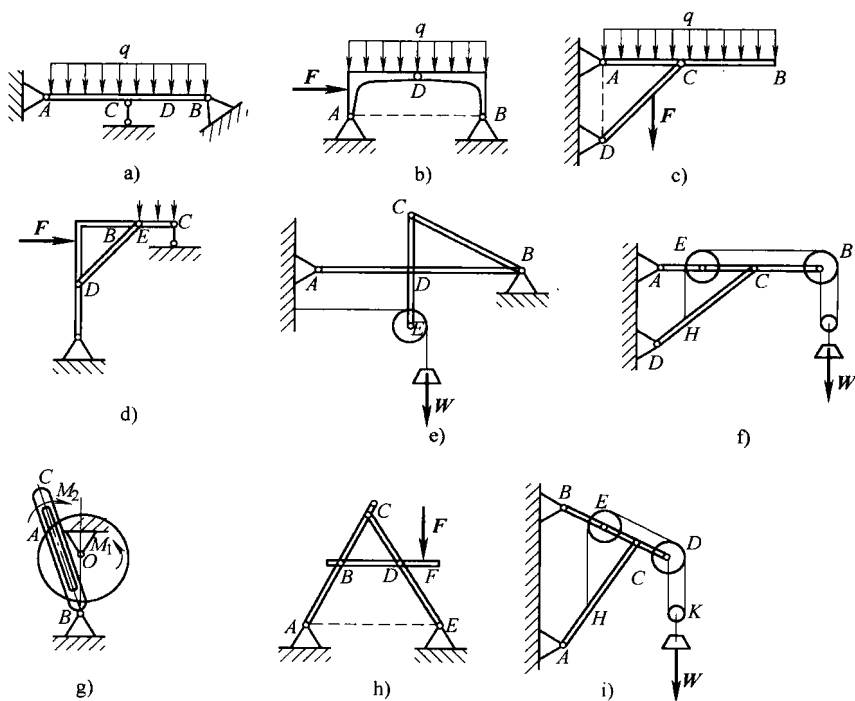
1-2 试画出自测 1-2 图中各物体及整体的受力图。未画重力的物体的重量均不计, 所有接触处均为光滑接触。

### 六、自测作业答案

1-1  $M_O(F) = Fb\sin\alpha + Facos\alpha$ ,  $M_A(F) = Fb\sin\alpha$



自测 1-1 图



自测 1-2 图