

高等学校教材

工程力学

自学与解题指南

宋小壮 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等学校教材

工程力学

自学与解题指南

大

主 编	宋小壮	
副主编	邸建国	曾慧萍
参 编	邱金创	曹智梅
	杨秀文	刘静予
	张益飞	
主 审	张秉荣	



机械工业出版社

本书是为高等学校工程力学课程配套的辅助教材,旨在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,以突出工程力学的重点内容,减少初学者学习上的困难。

本书共分二十章:静力学基础、平面力系、空间力系、摩擦、点的运动、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动、动力学基础、动静法、动能定理、轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、扭转、弯曲内力、梁弯曲时的强度与刚度计算、应力状态和强度理论、组合变形的强度计算、动载荷以及压杆稳定。每章有知识要点、解题指南、典型例题、习题解答、自测练习及自测练习答案。

本书是高等学校、高等专科院校、高等职业院校以及职业大学机械类与近机类专业理论力学和材料力学或工程力学课程的教学辅导用书,适用于学习各类相应课程的学生或自学者,有利于读者更深入地理解工程力学。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学自学与解题指南/宋小壮主编. —北京:机械工业出版社, 2003.8

高等学校教材

ISBN 7-111-12684-X

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 061601 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: 赵爱宁

责任编辑: 赵爱宁 版式设计: 张世琴 责任校对: 姚培新

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 闫 焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·13.5 印张·331 千字

定价: 18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

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。要掌握好该学科，必须进行一定数量的习题演算。相对于其他学科，工程力学是一门较为难以掌握的学科，初学者尤其会感到对求解习题的困惑。本书是依据张秉荣、章剑青主编的高等学校教材《工程力学》编写的，可帮助读者解决学习工程力学过程中遇到的困难。

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《工程力学》中的习题作了解答，并选择了少量有代表性的自测练习题并给出了自测练习答案，作为读者对自己学习成果的检验。

作为教学辅导参考书，本书立足给予读者最基本的帮助。在知识要点中，只是本章内容重点的概括，不能视为全部内容；解题指南部分介绍了求解本章习题的主要和基本的方法；在习题解答中，只选择一种基本或简洁的解题方法，读者可在此基础上运用自己学过的知识举一反三，不应拘泥于书中的解法。由于篇幅有限，对习题的解答不同于例题，尽量减少了语言叙述，读者如遇到困难可参考典型例题。

参加本书编写工作的有韶关大学鄢建国、邱金创、曹智梅、杨秀文，南京交通职业技术学院刘静予，南京农业大学曾慧萍，南京工程学校张益飞，南京职业教育中心宋小壮。本书由宋小壮担任主编，鄢建国、曾慧萍担任副主编，并由南京工业大学张秉荣担任主审。江苏省力学学会固体力学学会委员陈志椿、南京职业教育中心洪安宁为本书做了许多工作，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，难免会有错漏之处，敬请读者指正。

编 者

2003 年 1 月

目 录

前言

第一章 静力学基础	1
知识要点	1
解题指南	1
典型例题	2
习题解答	4
自测练习	10
自测练习答案	12
第二章 平面力系	13
知识要点	13
解题指南	13
典型例题	14
习题解答	15
自测练习	30
自测练习答案	31
第三章 空间力系	32
知识要点	32
解题指南	33
典型例题	33
习题解答	35
自测练习	46
自测练习答案	47
第四章 摩擦	48
知识要点	48
解题指南	48
典型例题	48
习题解答	49
自测练习	55
自测练习答案	56
第五章 点的运动	57
知识要点	57
解题指南	57
典型例题	58
习题解答	59
自测练习	62
自测练习答案	63
第六章 刚体的基本运动	64

知识要点	64
解题指南	64
典型例题	64
习题解答	65
自测练习	66
自测练习答案	67
第七章 点的合成运动	68
知识要点	68
解题指南	68
典型例题	68
习题解答	70
自测练习	74
自测练习答案	74
第八章 刚体的平面运动	75
知识要点	75
解题指南	75
典型例题	76
习题解答	77
自测练习	83
自测练习答案	83
第九章 动力学基础	84
知识要点	84
解题指南	85
典型例题	85
习题解答	87
自测练习	93
自测练习答案	94
第十章 动静法	95
知识要点	95
解题指南	95
典型例题	96
习题解答	97
自测练习	104
自测练习答案	105
第十一章 动能定理	106
知识要点	106

解题指南	106	知识要点	162
典型例题	107	解题指南	163
习题解答	108	典型例题	163
自测练习	117	习题解答	165
自测练习答案	118	自测练习	171
第十二章 轴向拉伸与压缩	119	自测练习答案	172
知识要点	119	第十七章 应力状态和强度理论	173
解题指南	119	知识要点	173
典型例题	120	解题指南	174
习题解答	122	典型例题	174
自测练习	133	习题解答	176
自测练习答案	134	自测练习	181
第十三章 剪切与挤压	135	自测练习答案	182
知识要点	135	第十八章 组合变形的强度计算	183
解题指南	135	知识要点	183
典型例题	135	解题指南	183
习题解答	136	典型例题	183
自测练习	140	习题解答	185
自测练习答案	140	自测练习	193
第十四章 扭转	141	自测练习答案	193
知识要点	141	第十九章 动载荷	194
解题指南	141	知识要点	194
典型例题	141	解题指南	195
习题解答	142	典型例题	195
自测练习	149	习题解答	196
自测练习答案	149	自测练习	199
第十五章 弯曲内力	150	自测练习答案	200
知识要点	150	第二十章 压杆稳定	201
解题指南	150	知识要点	201
典型例题	151	解题指南	201
习题解答	152	典型例题	202
自测练习	161	习题解答	203
自测练习答案	161	自测练习	207
第十六章 梁弯曲时的强度与刚度		自测练习答案	208
计算	162	参考文献	209

第一章 静力学基础

知 识 要 点

(1) 力是矢量, 具有大小、方向、作用点(对于刚体, 则为作用线)三个要素。

(2) 静力学公理是静力学的基础, 它们是: 二力平衡公理, 加减平衡力系公理, 力的平行四边形法和作用反作用定律。

(3) 平面汇交力系的合成

1) 几何法。利用力多边形法则求合力, 将力系中各力首尾相接, 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。即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \cdots + \mathbf{F}_n = \Sigma \mathbf{F}$$

若该力多边形自行封闭, 则该力系平衡。

2) 解析法。合力在直角坐标轴上的投影, 可由投影式

$$F_{Rx} = F_{1x} + F_{2x} + \cdots + F_{nx} = \Sigma F_x$$

$$F_{Ry} = F_{1y} + F_{2y} + \cdots + F_{ny} = \Sigma F_y$$

得出。合力的大小、方向, 可由

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

得出。

(4) 力对点之矩简称为力矩: $M_O(\mathbf{F}) = \pm F_s$, 是力使物体绕某一固定点转动效应的度量。合力矩定理: $M_O(\mathbf{F}_R) = \Sigma M_O(\mathbf{F})$, 可求合力对某一点之矩。

(5) 力偶是由等值、反向、不共线的一对平行力组成。力偶对物体的转动效应取决于力偶的三要素: 力偶矩的大小、力偶的转向和作用面。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, 不改变其对物体的转动效应。平面力偶系的合力偶矩: $M = M_1 + M_2 + \cdots + M_n = \Sigma M_i$ 。

(6) 力的平移定理: 作用于刚体上的力, 可平移到刚体内任一点, 同时须附加一个力偶, 附加力偶的力偶矩等于原力对该点之矩。

(7) 限制物体运动的限制物称为约束。约束对物体的作用力称为约束力, 作用在约束与被约束的接触处, 方向与被限制的运动或运动趋势方向相反。工程中常见的约束类型有: 柔性约束、光滑面约束、铰链约束和固定端约束。

(8) 受力图: 是通过受力分析在研究对象上画出所有主动力、约束反力的力学简图, 是进一步解决力学问题的重要手段。

解 题 指 南

(1) 当力臂不是很明确时, 可利用合力矩定理计算力对点之矩。

(2) 作受力图的步骤

- 1) 取研究对象(解除约束后的自由体)。
- 2) 在研究对象上,按已知条件画出主动力。
- 3) 在去掉约束处,按约束类型画约束反力。
- 4) 检查力是否多画、漏画和错画。

画受力图时,只画外力而不画内力。先检查是否有二力构件,若有二力构件应先画二力构件,其受力方向一定沿二力作用点的连线且反向;若有三力构件,检查此三力作用线是否汇交于一点;还应注意作用力与反作用力之间的关系。

典型例题

例 1-1 图 1-1a 所示为平面汇交力系, $F_1 = 100\text{N}$, $F_2 = 100\text{N}$, $F_3 = 150\text{N}$, $F_4 = 200\text{N}$ 。 F_1 水平向右,其他各力方向如图示。求该力系的合力的大小、作用位置。

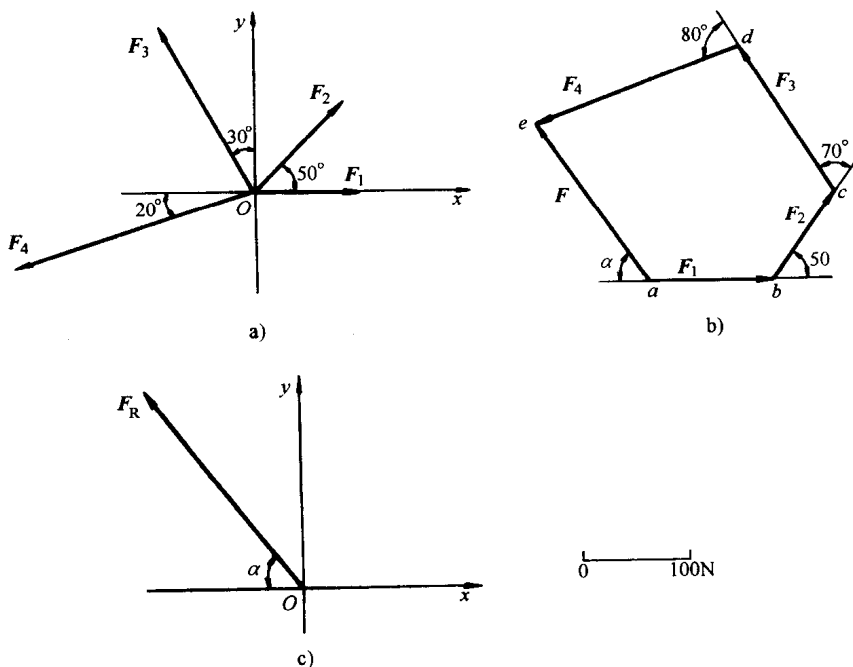


图 1-1

解一 几何法

- 1) 选比例尺。
- 2) 将各力首尾相接得到一折线 $abcde$, 连接封闭边 ae , 得合力 F_R (图 1-1b)。
- 3) 量得 $F_R = 170\text{N}$, $\alpha = 54^\circ$ 。

解二 解析法

- 1) 建立坐标系(图 1-1a)。

- 2) 由合力投影定理得

$$F_{Rx} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} = F_1 + F_2 \cos 50^\circ - F_3 \sin 30^\circ - F_4 \cos 20^\circ = -98.66\text{N}$$

$$F_{Ry} = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} = 0 + F_2 \sin 50^\circ + F_3 \cos 30^\circ - F_4 \sin 20^\circ = 138.1\text{N}$$

3) 合力大小、方向(图 1-1c)

$$\text{大小: } F_R = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} = 169.69\text{N}$$

$$\text{方向: } \tan\alpha = \left| \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \right| = 1.3997, \alpha = 54^\circ$$

例 1-2 图 1-2 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 分别作出图 1-3a 中 AD 杆、AB 杆和 DE 杆的受力图。

解 分别取 AD、AB、DE 为研究对象, 画出它们的主动力和约束反力, 其受力如图 1-3b、c、d 所示。

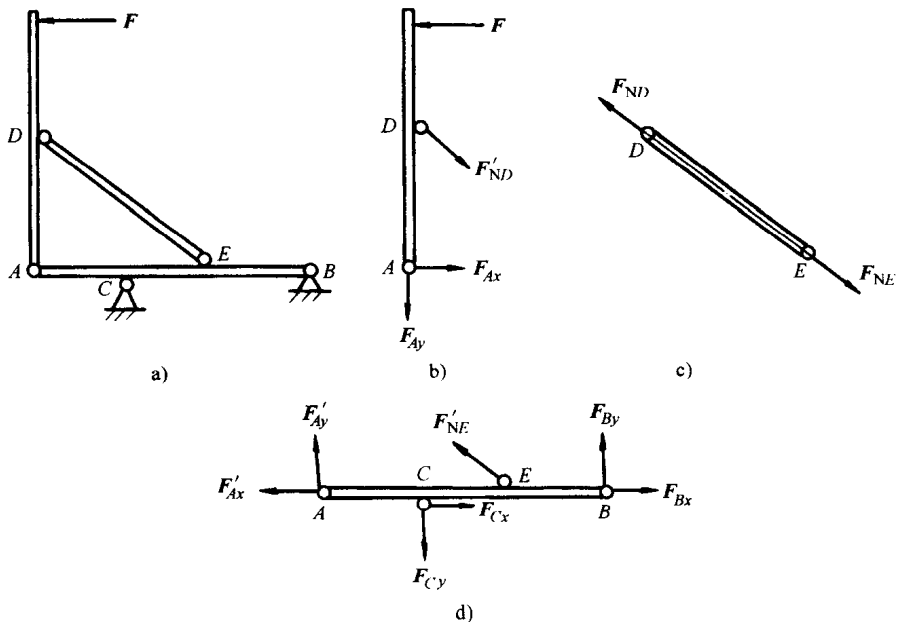


图 1-3

DE 杆为二力构件, 其反力 F_{ND} 、 F_{NE} 沿 D、E 两点的连线, 方向相反。AD 杆上的 D 点与 DE 杆上的 D 点、AB 杆上的 E 点与 DE 杆上的 E 点、AD 杆上的 A 点与 AB 杆上的 A 点的受力情况, 均为作用力与反作用力的关系。

习题解答

1-1 已知: $F_1=2000\text{N}$, $F_2=150\text{N}$, $F_3=200\text{N}$, $F_4=100\text{N}$, 各力的方向如图 1-4 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

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

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

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

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

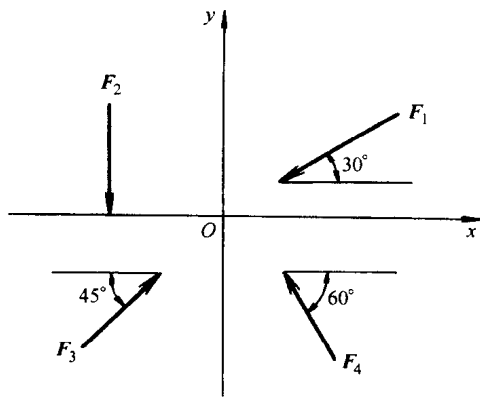


图 1-4

1-2 铆接薄钢板在孔 A、B、C 和 D 处受四个力作用, 孔间尺寸如图 1-5a 所示。已知: $F_1=50\text{N}$, $F_2=100\text{N}$, $F_3=150\text{N}$, $F_4=220\text{N}$ 。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, 如图 1-5b 所示, 则

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

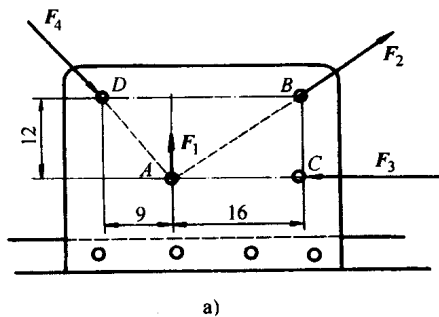
$$= \left(0 + 100 \frac{16}{\sqrt{16^2 + 12^2}} - 150 + 220 \frac{9}{\sqrt{12^2 + 9^2}} \right) \text{N} = 62\text{N}$$

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

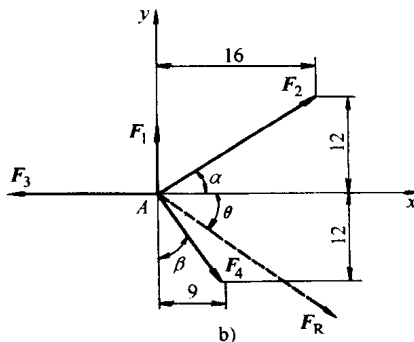
$$= \left(50 + 100 \frac{12}{\sqrt{16^2 + 12^2}} - 220 \frac{12}{\sqrt{12^2 + 9^2}} \right) \text{N} = -66\text{N}$$

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

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



a)



b)

图 1-5

1-3 A、B 二人拉一压路碾子，如图 1-6a 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° 方向施力 F_B 偏拉。试求 F_B 的值。

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(图 1-6b)。
- 3) $\overline{ac}$ 为 F_A 、 F_B 的合力 F_R ，即碾子前进的方向； $\overline{bc}$ 即为 F_B 的大小。量得 $F_B = 400\text{N}$ 。

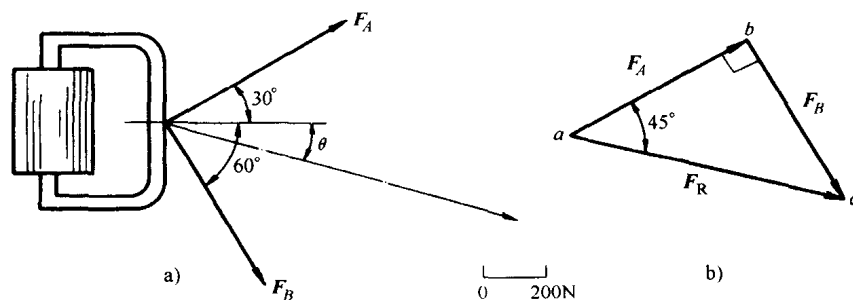


图 1-6

1-4 求图 1-7 所示各种情况下 F 对点 O 的力矩。

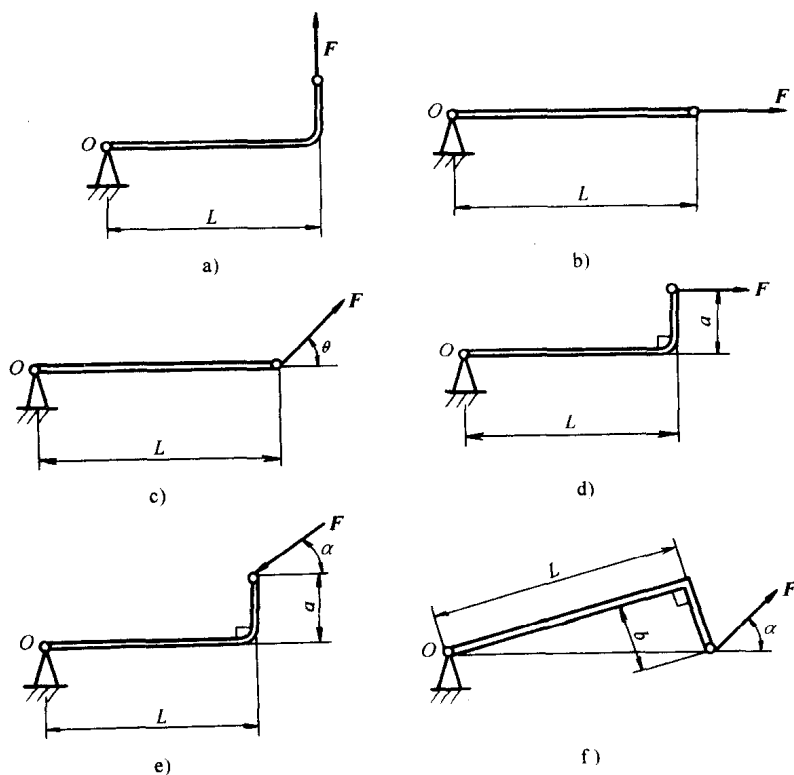


图 1-7

- 解 a) $M_O(\mathbf{F}) = FL$ b) $M_O(\mathbf{F}) = 0$
 c) $M_O(\mathbf{F}) = F \sin \alpha L$ d) $M_O(\mathbf{F}) = -Fa$
 e) $M_O(\mathbf{F}) = F \cos \alpha a - F \sin \alpha L$ f) $M_O(\mathbf{F}) = F \sin \alpha \sqrt{L^2 + b^2}$

1-5 计算图 1-8 所示两种情况下 $\mathbf{G}$ 与 $\mathbf{F}$ 对转心 A 之矩。

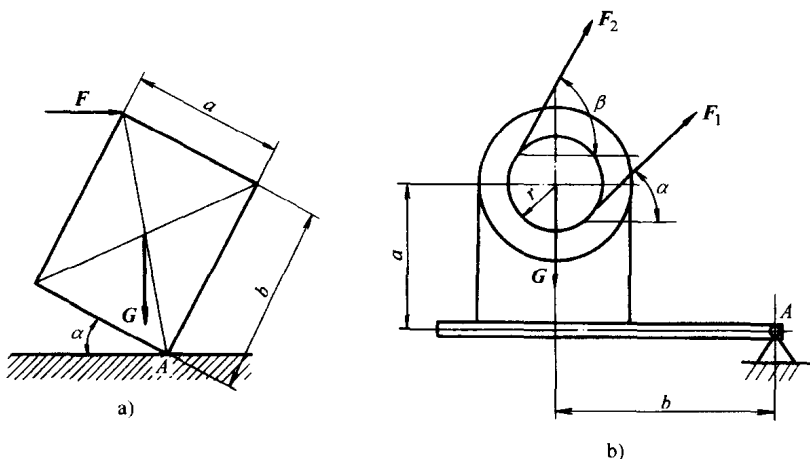


图 1-8

解 图 1-8a: $M_A(\mathbf{F}) = -F \cos \alpha b - F \sin \alpha a = -F(a \sin \alpha + b \cos \alpha)$

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

图 1-8b: $M_A(\mathbf{F}_1) = -F_1 \sin \alpha (b - r \sin \alpha) - F_1 \cos \alpha (a - r \cos \alpha)$

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

$$M_A(\mathbf{F}_2) = -F_2 \sin \beta [r \cos(90^\circ - \beta) + b] - F_2 \cos \beta [r \sin(90^\circ - \beta) + a]$$

$$= -F_2 r (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta) - F_2 (b \sin \beta + a \cos \beta) = -F_2 (r + b \sin \beta + a \cos \beta)$$

$$M_A(\mathbf{G}) = Gb$$

1-6 矩形钢板的边长为 $a = 4\text{m}$, $b = 2\text{m}$ (图 1-9), 作用力偶 $M(\mathbf{F}, \mathbf{F}')$, 当 $F = F' = 200\text{N}$ 时, 才能使钢板转动。试考虑如何加力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 $M(\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_1') = M(\mathbf{F}, \mathbf{F}')$, 即

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

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

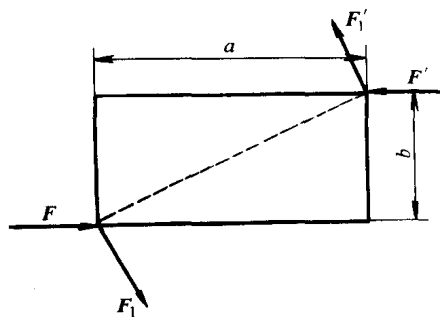


图 1-9

1-7 试画出图 1-10 所示受柔性约束物体的受力图。

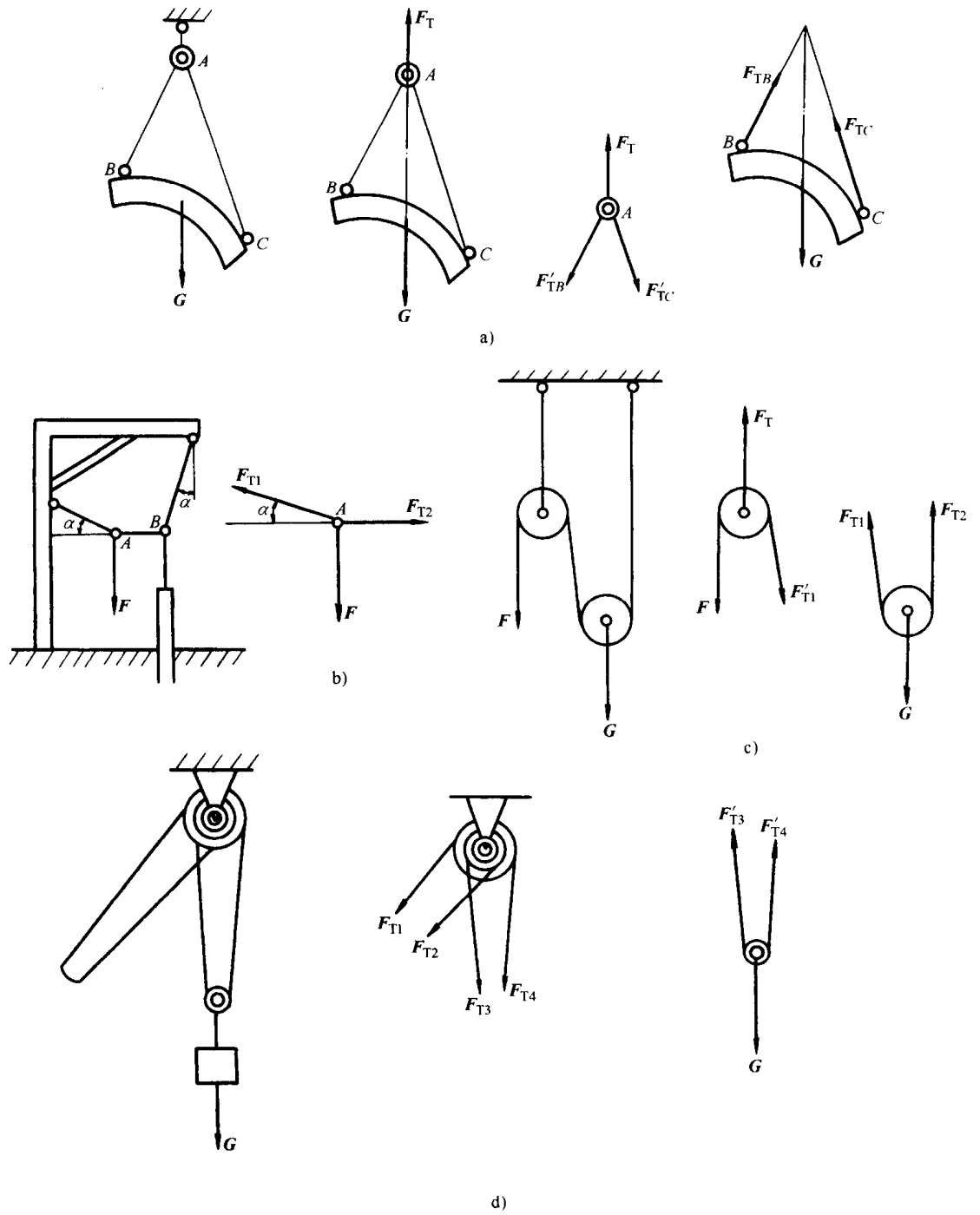


图 1-10

1-8 试画出图 1-11 所示各受光滑面约束物体的受力图。

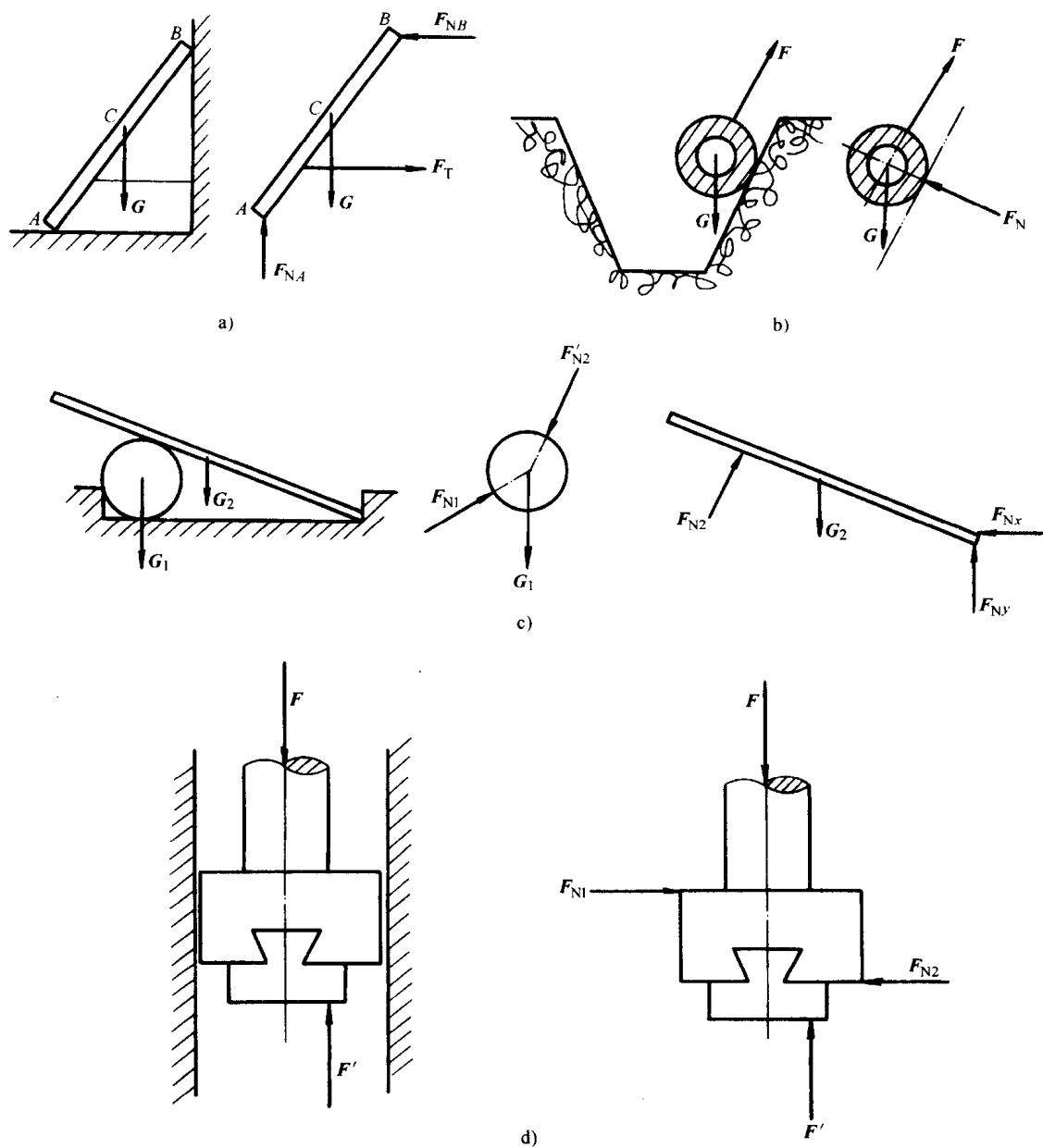


图 1-11

1-9 试画出图 1-12 所示各铰链约束物体的受力图。

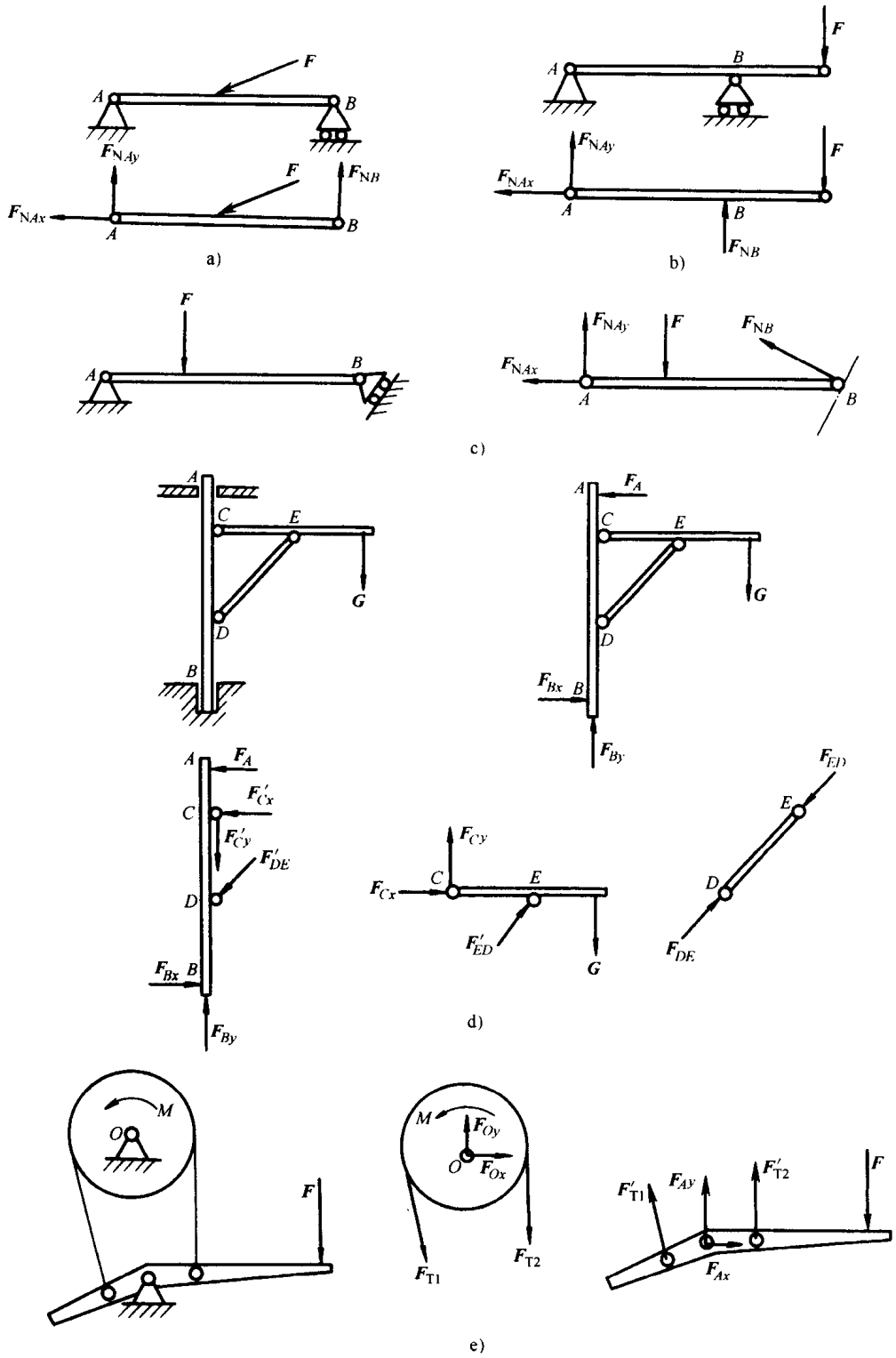


图 1-12

1-10 试画出图 1-13 所指定的分离体的受力图。

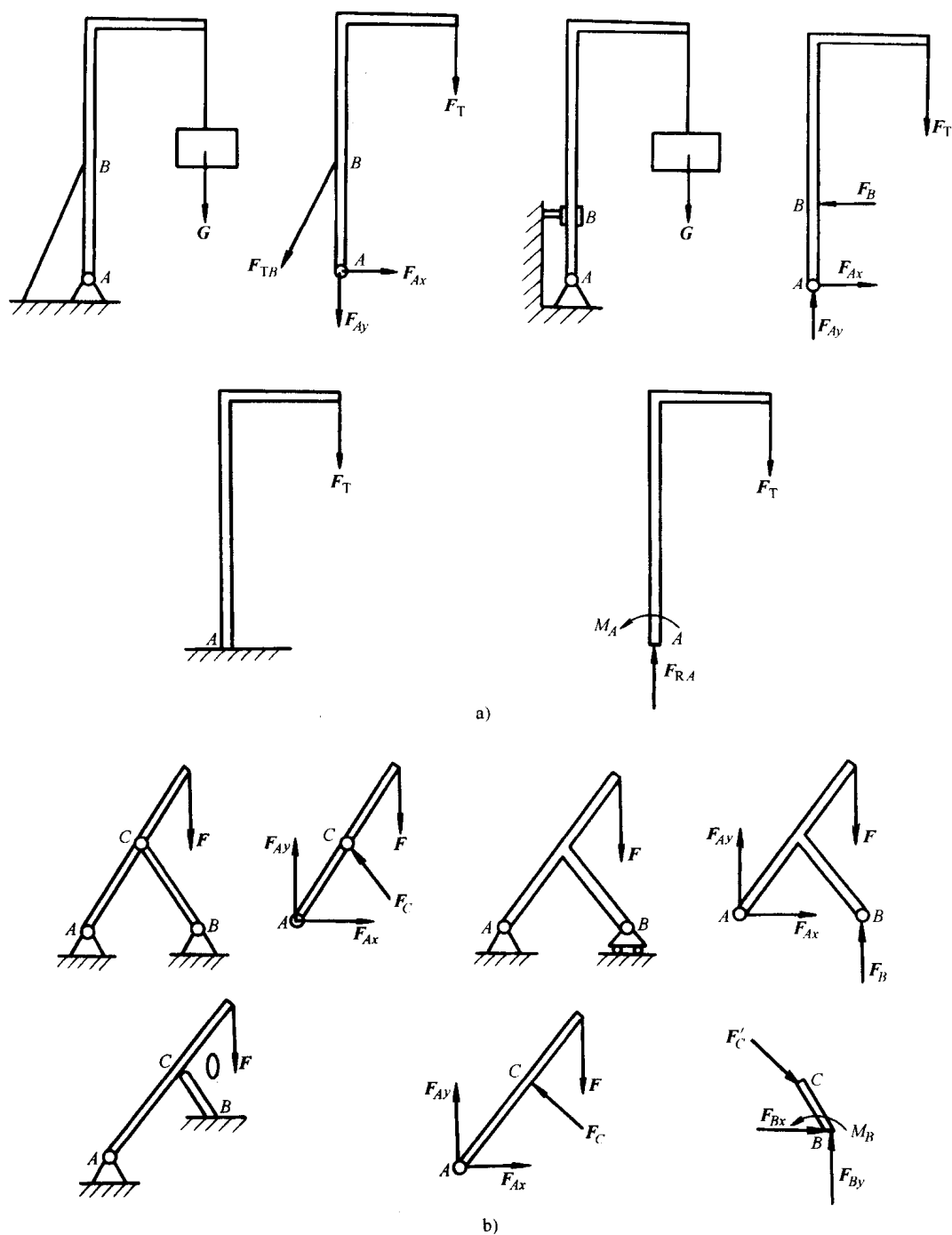


图 1-13

自测练习

1-1 画出图 1-14 所示结构中各构件的受力图。各接触面及铰链均光滑，未画重力的物体，其重力忽略不计。

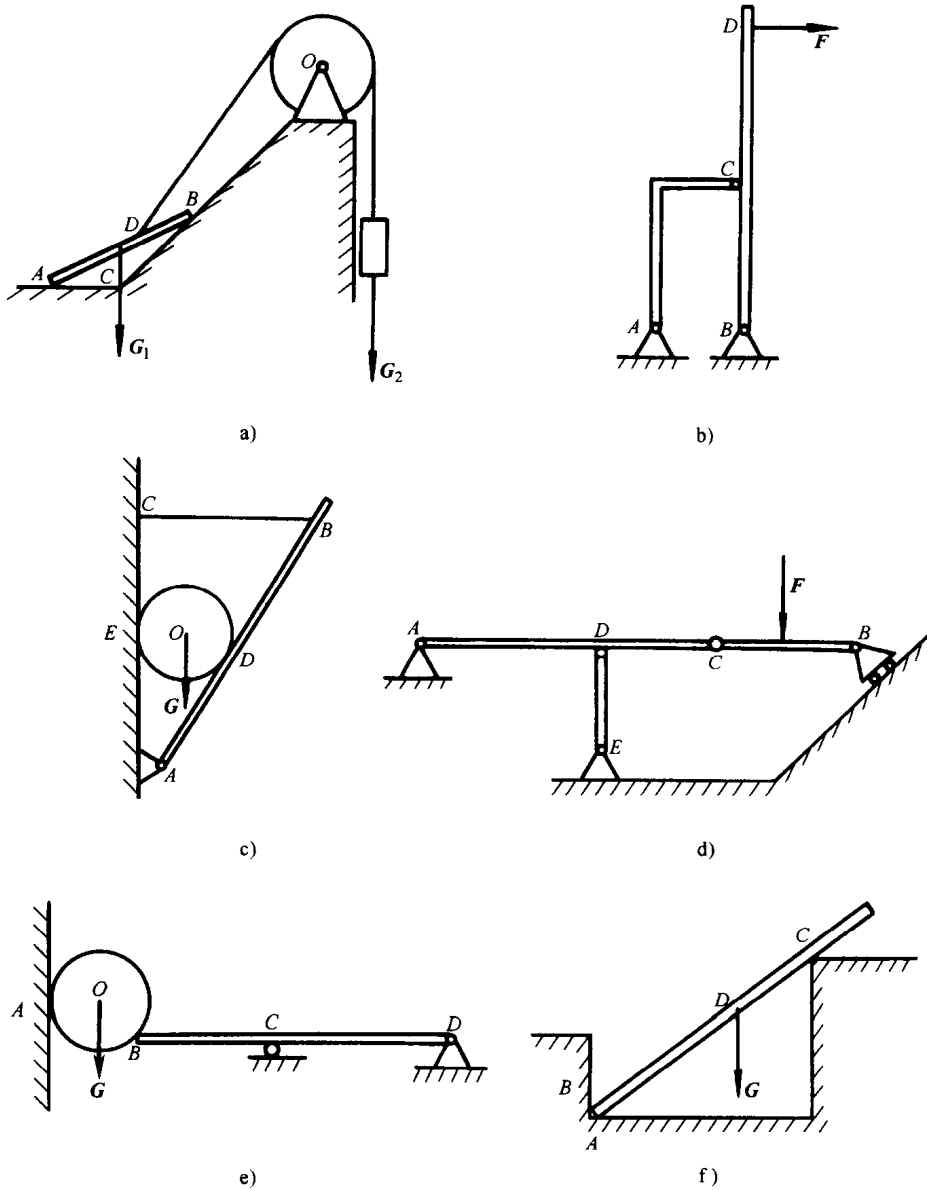


图 1-14

1-2 求图 1-15 所示诸力的合力 F_R 。已知 $F_1 = 100\text{N}$, $F_2 = 100\sqrt{2}\text{N}$, $F_3 = 200\text{N}$, $F_4 = 400\text{N}$ 。

1-3 求图 1-16 所示各力对 O 点及 A 点的力矩。 $F_1 = 10\text{N}$, $F_2 = 5\text{N}$, $F_3 = 4\text{N}$, $F_4 = 8\text{N}$, $F_5 = 6\text{N}$ 。图中坐标轴上每格的长度为 100mm 。