

中等职业学校教学用书

土木工程力学 学习指导与练习

主编 宋小壮



高等教育出版社

中等职业学校教学用书

土木工程力学学习指导与练习

主编 宋小壮

高等教育出版社

内容提要

本书是与由宋小壮主编的中等职业教育国家规划教材《土木工程力学》(本书中简称主教材)配套使用的教学辅助用书。

本书按主教材章节顺序编排,全书共9章,包括力和力偶、受力分析基础、物体的平衡问题、物体平衡时的内力、构件失效分析基础、构件的应力与强度计算、杆件的变形与刚度计算、压杆稳定、工程结构的组成规律。每章有学习指南、补充例题、补充习题等内容。在第5、6、7、9章有阅读材料,包括应力状态分析、强度理论、广义胡克定律、静定结构的位移计算、力法等内容,以帮助学习者更深入更全面地掌握《土木工程力学》。

本书可作为中等职业学校、五年制高等职业技术学校“土木工程力学”或“建筑力学”课程的教学辅助用书,也可作为各类职业技术教育“工程力学”课程的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程力学学习指导与练习/宋小壮主编. —北京:
高等教育出版社, 2005.7
ISBN 7-04-017349-2

I. 土... II. 宋... III. 土木工程-工程力学-专业学校-教学参考资料 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 051696 号

策划编辑 梁建超 责任编辑 张玉海 封面设计 于涛 责任绘图 朱静
版式设计 王莹 责任校对 杨雪莲 责任印制 孔源

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

开 本 787×1092 1/16
印 张 7.25
字 数 170 000

版 次 2005年7月第1版
印 次 2005年7月第1次印刷
定 价 9.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17349-00

前 言

本书是与由宋小壮主编的中等职业教育国家规划教材《土木工程力学》(本书中简称主教材)配套使用的教学辅助用书。

本书按主教材章节顺序编排,每章有学习指南、补充例题、补充习题等内容。“学习指南”中简明扼要地强调了知识间的关系,有针对性地介绍了部分学习方法和解题方法,不追求面面俱到,只起画龙点睛的效果,以引导学习者对所学知识进行归纳、总结和提升。“补充例题”中选用了有代表性的并具有一定思考价值的习题,并对此作了详细的分析与解答,供学习者和教师在教学中选用,着重培养学习者分析问题和解决问题的能力。“补充习题”是为了使学习者能够得到更全面的训练而设置的,因为要学好工程力学这门课程必须经过一定数量的习题训练,故在主教材习题的基础上,增加了习题的数量,拓展了习题的广度和深度,在教学中应根据专业的特点有选择性地使用。通过对解题的训练,巩固所学知识,提高知识的应用能力,以形成创新能力。在第5、6、7、9章中有“阅读材料”,主要是介绍主教材中没有涉及的力学知识,以适应多种专业及中高级工程技术人员对力学知识的需求。

本书可作为中等职业学校、五年制高等职业技术学校“土木工程力学”或“建筑力学”课程的教学辅助用书,也可作为各类职业技术教育“工程力学”课程的参考用书。考虑到近年来计算机软件在解决超静定问题的发展,本书未介绍除力法外求解超静定问题的其他方法。

本书由宋小壮主编,袁春树、宋小玉、申宁参加了编写工作。

本书由河海大学徐道远教授主审。徐教授认真细致地审阅了全书,提出了许多的宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中难免会有不足之处,敬请读者指正。

编 者

2005年1月

目 录

第 1 章 力和力偶	1	一、学习指南	48
一、学习指南	1	二、补充例题	48
二、补充例题	1	三、阅读材料	55
三、补充习题	4	四、补充习题	59
第 2 章 受力分析基础	7	第 7 章 杆件的变形与刚度计算	65
一、学习指南	7	一、学习指南	65
二、补充例题	7	二、补充例题	65
三、补充习题	10	三、阅读材料	66
第 3 章 物体的平衡问题	15	四、补充习题	76
一、学习指南	15	第 8 章 压杆稳定	80
二、补充例题	15	一、学习指南	80
三、补充习题	19	二、补充例题	80
第 4 章 物体平衡时的内力	27	三、补充习题	82
一、学习指南	27	第 9 章 工程结构的组成规律	85
二、补充例题	27	一、学习指南	85
三、补充习题	36	二、补充例题	85
第 5 章 构件失效分析基础	42	三、阅读材料	87
一、学习指南	42	四、补充习题	97
二、阅读材料	42	补充习题答案	101
三、补充习题	45	主要参考书目	109
第 6 章 构件的应力与强度计算	48		

第1章 力和力偶

一、学习指南

主教材在本章中重点阐述了力和力偶的性质及其运算方法，是学习工程力学的基础，因此必须牢固掌握。

在本章的学习中应认识到：

(1) 力和力偶是力学运算中两个最基本的元素。

(2) 力的平行四边形法则、作用与反作用定律和平衡力系的条件是工程力学的理论基础，应认真理解。

(3) 投影是将矢量运算转化为代数运算的方法，故力在直角坐标轴上的投影是工程力学运算中常采用的方法，必须熟练掌握。

(4) 力矩是力对点的矩，描述了力对物体的转动效应，故力矩是工程力学运算中必不可少的力学量，必须熟练掌握。

力在直角坐标轴上的投影、力沿直角坐标轴上的分力和力对点的矩是本章学习中的重点和难点，通常初学者在学习这些内容时会有一定的困难，应注意以下几点：

(1) 首先，掌握力在直角坐标轴上的投影，正确运用主教材中式(1-2)，如在习题中没有直接给出力和 x 轴之间的夹角，可根据一定的几何关系求出，具体可参考补充例题。

(2) 力沿直角坐标轴方向上的分力和力在直角坐标轴上的投影的不同点是：前者是有大小和方向的量——矢量；后者是代数量。对同一直角坐标轴，这两者的大小是相同的，投影的正负值表明了分力与坐标轴方向相同或相反，这样就可以运用投影来求力沿直角坐标轴方向上的分力。

(3) 力对某点的矩的运算，有时力臂不明确，可将力分解成两个相互垂直的分力，这时分力的力臂可通过平面几何关系求得，然后分别对该点取矩，再根据合力矩定理进行相加，即得出该力矩。

(4) 如某力与某坐标轴垂直，则该力在此坐标轴上的投影为零；如某力的作用线通过矩心，则该力对矩心的力矩为零。

要掌握好这部分内容，应在正确理解概念的基础上，多做练习，才能在今后的学习中熟练地运用投影和取矩这两个工具。

二、补充例题

[例1-1] 图1-1所示各力的大小均为 F ，已知 α_1 、 β 、 a 、 b 。试求各力在 x 、 y 轴上的投影。

[解] 由主教材中式(1-2)得

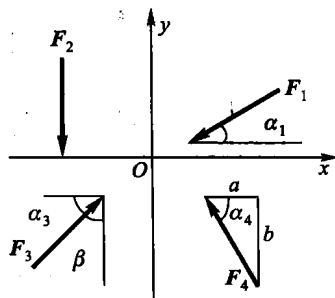


图 1-1

$$F_{1x} = -F \cos \alpha_1$$

$$F_{1y} = -F \sin \alpha_1$$

$$F_{2x} = 0$$

$$F_{2y} = -F$$

由直角互余的关系得

$$\sin \alpha_3 = \cos \beta, \quad \cos \alpha_3 = \sin \beta$$

$$F_{3x} = F \cos \alpha_3 = F \sin \beta$$

$$F_{3y} = F \sin \alpha_3 = F \cos \beta$$

因为 a 、 b 为直角三角形的两直角边，则

$$\sin \alpha_4 = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \quad \cos \alpha_4 = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$F_{4x} = -F \cos \alpha_4 = -F \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$F_{4y} = F \sin \alpha_4 = F \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

【例 1-2】 钢板在孔 A 、 B 、 C 和 D 处受四个力作用，孔间尺寸如图 1-2 所示。已知： $F_1 = 50 \text{ N}$ ， $F_2 = 100 \text{ N}$ ， $F_3 = 150 \text{ N}$ ， $F_4 = 220 \text{ N}$ 。试求此力系的合力在 x 、 y 轴上的投影。

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

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

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

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

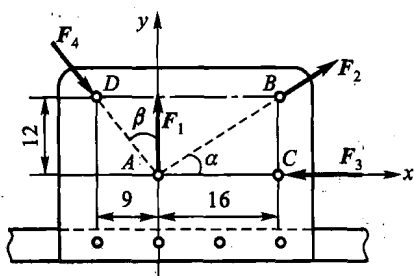


图 1-2

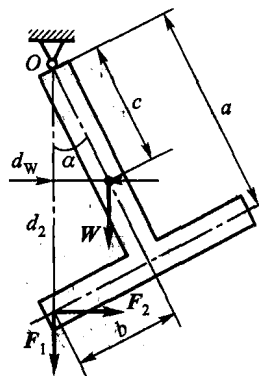


图 1-3

【例 1-3】 丁字杆与顶面铰接，受力情况如图 1-3 所示，设力 F_1 、 F_2 、 W 和距离 a 、 b 、 c 及角度 α 等均为已知。试求各力对转动中心之矩。

【解】 F_1 延长线通过 O 点，故

$$M_O(F_1) = 0$$

由勾股定理可知 $d_2 = \sqrt{a^2 + b^2}$, 则

$$M_O(F_2) = F_2 d_2 = F_2 \sqrt{a^2 + b^2}$$

由三角函数关系可知 $d_W = c \sin \alpha$, 则

$$M_O(W) = -W d_W = -W c \sin \alpha$$

【例 1-4】 一轮在轮轴处受一切向力的作用, 如图 1-4a 所示。已知 F 、 R 、 r 和 α 。试求此力对轮与地面接触点 A 的力矩。

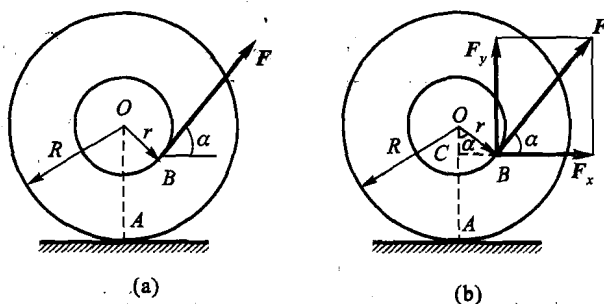


图 1-4

【解】 由于力 F 对矩心 A 的力臂未标明且不易求出, 故将 F 在 B 点分解为正交的两个分力 F_x 、 F_y , 再应用合力矩定理求解, 即

$$M_A(F) = M_A(F_x) + M_A(F_y)$$

$$M_A(F_x) = -F_x CA = -F_x(OA - OC) = -F \cos \alpha (R - r \cos \alpha)$$

$$M_A(F_y) = F_y r \sin \alpha = F \sin \alpha r \sin \alpha = F r \sin^2 \alpha$$

$$M_A(F) = -F \cos \alpha (R - r \cos \alpha) + F r \sin^2 \alpha = F(r - R \cos \alpha)$$

【例 1-5】 试求图 1-5 所示力系的合力对 x 轴和 y 轴的投影及对 A 点和 B 点的力矩。

【解】 由直角三角形 CDF 可知:

$$\sin \alpha = 3/5, \cos \alpha = 4/5$$

(1) 合力对 x 轴和 y 轴的投影

$$F_{Rx} = \sum F_x = 30 \text{ kN} - 50 \text{ kN} \times \frac{4}{5} = -10 \text{ kN}$$

$$F_{Ry} = \sum F_y = -50 \text{ kN} \times \frac{3}{5} = -30 \text{ kN}$$

(2) 力系的合力对 A 点和 B 点的力矩

$$M_A(F_R) = \sum M_A(F)$$

$$= -30 \text{ kN} \times 2 \text{ m} - 20 \text{ kN} \cdot \text{m} + 50 \text{ kN}$$

$$\times \frac{4}{5} \times 7 \text{ m} - 50 \text{ kN} \times \frac{3}{5} \times 4 \text{ m} = 80 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_B(F_R) = \sum M_B(F)$$

$$= -30 \text{ kN} \times 2 \text{ m} - 20 \text{ kN} \cdot \text{m} + 50 \text{ kN} \times \frac{4}{5} \times 7 \text{ m} = 200 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

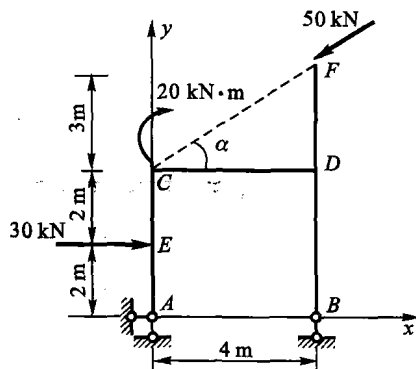


图 1-5

三、补充习题

1-1 已知: $F_1 = 200 \text{ N}$, $F_2 = 150 \text{ N}$, $F_3 = 200 \text{ N}$, $F_4 = 100 \text{ N}$, 各力的方向如图 1-6 所示。试求各力在 x 、 y 轴上的投影。

1-2 如图 1-7 所示力系, 已知: $F_1 = 100 \text{ N}$, $F_2 = 100 \text{ N}$, $F_3 = 150 \text{ N}$, $F_4 = 200 \text{ N}$ 。 F_1 水平向右, 其他各力方向如图示。试求该力系的合力对 x 轴和 y 轴的投影。

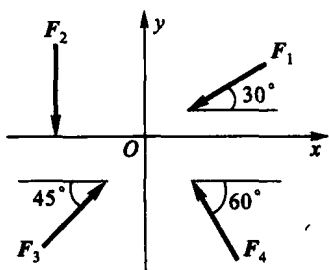


图 1-6

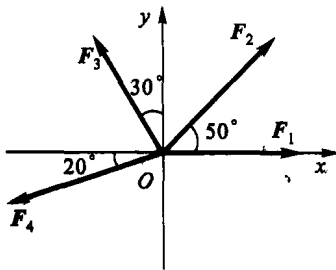


图 1-7

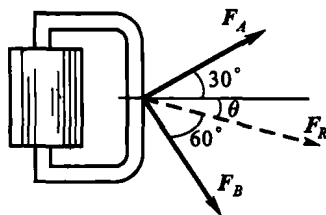


图 1-8

1-3 A、B 二人拉一压路碾子, 如图 1-8 所示, A 施拉力 $F_A = 400 \text{ N}$, 为使碾子沿相对正前方偏斜角 $\theta = 15^\circ$ 方向前进, B 需施力 F_B 沿相对正前方斜 60° 方向偏拉。试求 F_B 的值。(提示: 利用合力投影定理。)

1-4 试求图 1-9 所示各种情况下 F 对点 O 的力矩。

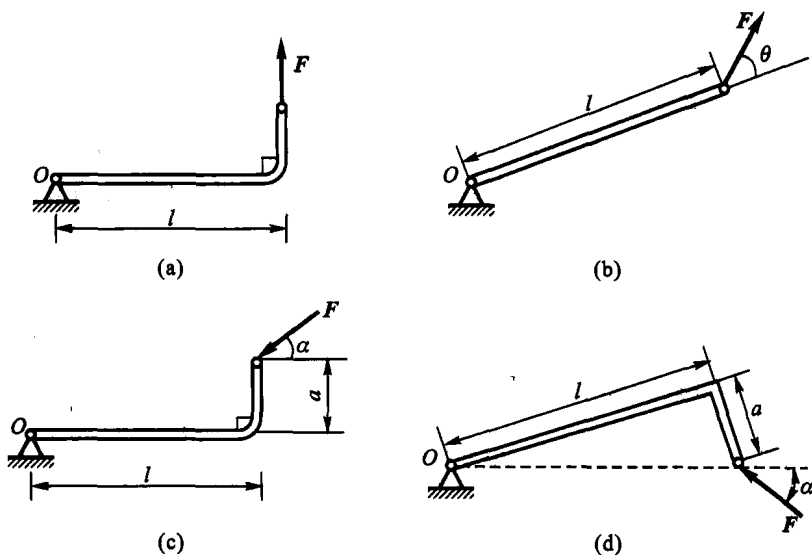


图 1-9

1-5 试计算图 1-10 所示两种情况下 W 与 F 对转心 A 之矩。

1-6 矩形钢板的边长为 $a = 4 \text{ m}$, $b = 2 \text{ m}$ (图 1-11), 作用力偶 (F, F') , 当 $F = F' = 200 \text{ N}$ 时, 才能使钢板转动。试考虑如何加力才能最省力地达到使钢板转一角度的目的, 并求出此力的值。

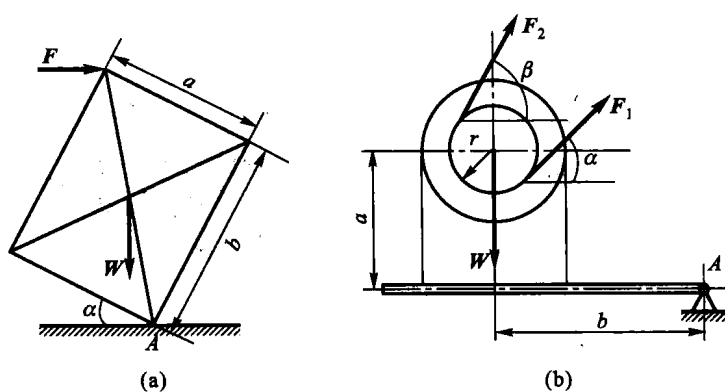


图 1-10

1-7 试求图 1-12 所示各力对 x 轴和 y 轴的投影及对 O 点和 A 点的力矩。已知 $F_1 = 10 \text{ N}$, $F_2 = 5 \text{ N}$, $F_3 = 4 \text{ N}$, $F_4 = 8 \text{ N}$, $F_5 = 6 \text{ N}$ 。图中坐标轴上每格的长度为 100 mm 。

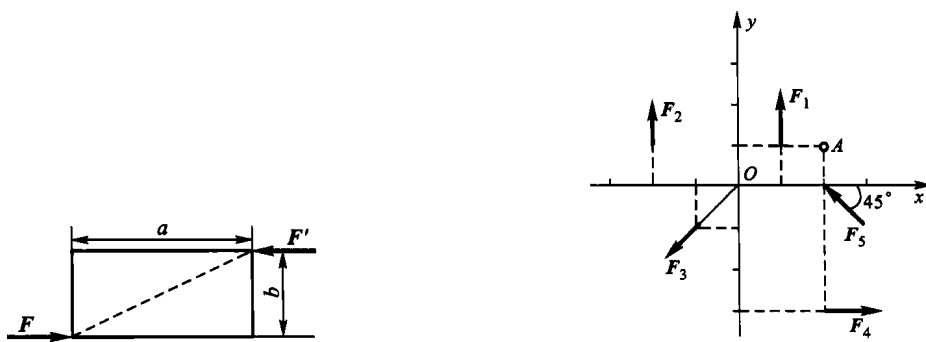
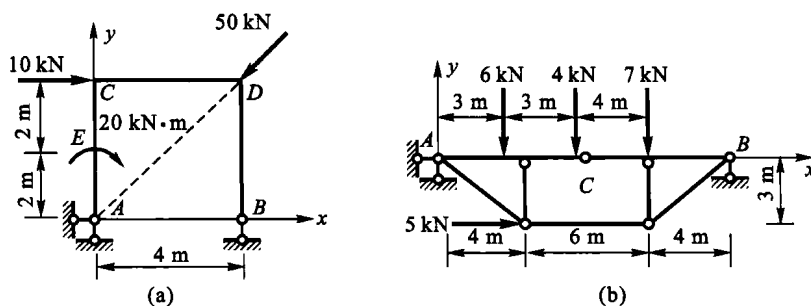


图 1-11

图 1-12

1-8 试求图 1-13 所示各种情况下力系的合力对 x 轴和 y 轴的投影, 以及对 A 点和 B 点的力矩。



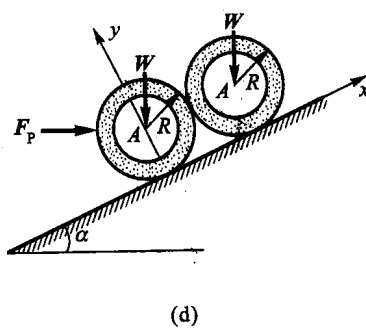
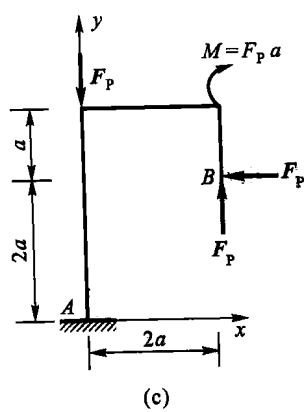


图 1 - 13

第2章 受力分析基础

一、学习指南

工程力学的主要任务是对计算简图进行力学分析。主教材在本章中阐述了力学建模的基本知识和如何对受力物体进行受力分析的方法。本章的重点是分布荷载对坐标轴的投影及其对点的矩，以及对受力物体进行受力分析并作受力图。这两部分内容是进一步学习工程力学理论和运算的基础之一，因此必须牢固掌握。

分布荷载对坐标轴的投影及对点的矩，应先将分布荷载等效为一个集中力形式的合力，其合力的大小为荷载图形的面积(荷载集度为图形的高，荷载分布长度为图形的长)，作用于图形的形状中心(形心)处，再运用集中力的运算方法求得。

受力分析是本章学习的难点，应注意以下几个方面：

(1) 受力图必须有明确的研究对象，初学者应首先作出分离体图。

(2) 主动力通常是已知的，应根据题意正确标上。

(3) 约束力是根据约束类型并参考力系形式来确定的，约束是和研究对象有接触的物体，主教材已经介绍了七种常见约束及对应的约束力的形式。通常应先画出只有一个约束力的约束力，要注意的是有四种约束和光滑圆柱铰链有关，应正确区分，其中二力构件的判定尤为重要。

(4) 对多个物体组成的结构进行受力分析时，通常先以约束力最少的物体为研究对象，再逐个进行分析，尤其是二力构件、柔体和光滑面约束。还应注意作用力与反作用力之间的关系。

(5) 画受力图时只画外力，不画内力，所谓内力是研究对象内部各部分之间的相互作用力。

(6) 相同的约束力在不同的研究对象上，其表示的形式完全相同。

二、补充例题

【例2-1】 试求图2-1所示力系的合力对 x 轴和 y 轴的投影以及对 A 点和 B 点的力矩。

【解】 (1) 求分布荷载的合力 F_{R1}

$$F_{R1} = q \times 2a = 2qa$$

方向和作用点如图所示。

(2) 合力对 x 轴和 y 轴的投影

$$F_{Rx} = \sum F_x = -F_P = -2qa$$

$$F_{Ry} = \sum F_y = -F_{R1} = -2qa$$

(3) 力系的合力对 A 点和 B 点的力矩

$$\begin{aligned} M_A(F_R) &= \sum M_A(F) = -F_{R1} \times a + F_P \times 2a + M \\ &= -2qa^2 + 4qa^2 + qa^2 = 3qa^2 \end{aligned}$$

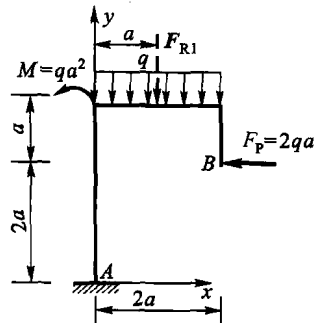


图2-1

$$M_B(F_R) = \sum M_B(F) = F_{R1}a + M$$

$$= 2qa^2 + qa^2 = 3qa^2$$

【例 2-2】 试求图 2-2 所示力系的合力对 x 轴和 y 轴的投影以及对 A 点和 B 点的力矩，其中 $F_1 = 50 \text{ kN}$ ， $F_2 = 60 \text{ kN}$ 。

【解】 由直角三角形 CDE 可知：

$$\sin \alpha = 3/5, \cos \alpha = 4/5。$$

(1) 求分布荷载的合力 F_{R1} ，对于分布荷载，其合力大小为荷载图形的面积，作用位置于图形的形心处。

$$F_{R1} = q_0 \times 6 \text{ m} / 2 = 10 \text{ kN/m} \times 6 \text{ m} / 2 = 30 \text{ kN}$$

其作用线通过 AE 杆距 A 点杆长的 $1/3$ 处 (G 点)，方向和作用点如图所示。

(2) 合力对 x 轴和 y 轴的投影

$$F_{Rx} = \sum F_x = F_{R1} + F_1 \cos \alpha - F_2$$

$$= 30 \text{ kN} + 50 \text{ kN} \times \frac{4}{5} - 60 \text{ kN} = 10 \text{ kN}$$

$$F_{Ry} = \sum F_y = -F_1 \sin \alpha = -50 \text{ kN} \times \frac{3}{5} = -30 \text{ kN}$$

(3) 力系的合力对 A 点和 B 点的力矩

$$M_A(F_R) = \sum M_A(F) = -F_{R1} \times 2 \text{ m} - F_1 \cos \alpha \times 6 \text{ m} + F_2 \times 1.5 \text{ m} + M$$

$$= -30 \text{ kN} \times 2 \text{ m} - 50 \text{ kN} \times \frac{4}{5} \times 6 \text{ m} + 60 \text{ kN} \times 1.5 \text{ m} + 80 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$= -130 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_B(F_R) = \sum M_B(F) = -F_{R1} \times 2 \text{ m} - F_1 \cos \alpha \times 6 \text{ m} + F_1 \sin \alpha \times 4 \text{ m} + F_2 \times 1.5 \text{ m} + M$$

$$= -30 \text{ kN} \times 2 \text{ m} - 50 \text{ kN} \times \frac{4}{5} \times 6 \text{ m} + 50 \text{ kN} \times \frac{3}{5} \times 4 \text{ m} + 60 \text{ kN} \times 1.5 \text{ m} + 80 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$= -10 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

【例 2-3】 试作出图 2-3a 中 AB 杆的受力图。

【解】 以 AB 杆为研究对象，画出它的主动力 W ， AB 杆在 A 处受柔索约束，在 B 、 C 处受光滑面约束，其约束力 F_{TA} 沿 AD 两点连线，指向离开研究对象的方向， F_{NB} 、 F_{NC} 通过接触

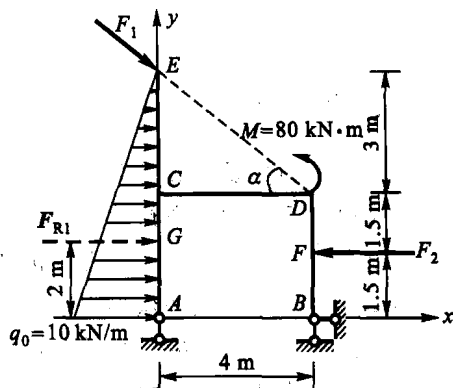


图 2-2

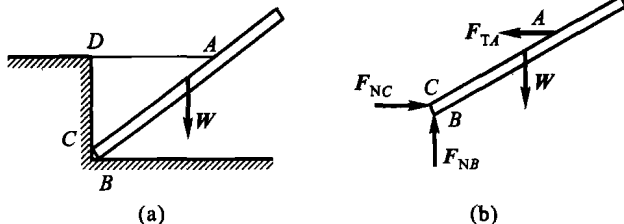


图 2-3

点与接触面垂直，指向研究对象，除去约束面，标上约束力如图 2-3b 所示。

【例 2-4】 试分别作出图 2-4a 中梁 AB 的受力图。

【解】 以梁 AB 为研究对象，画出它的主动力 F 、 M ，梁 AB 在 A、B、C 处受二力构件约束，约束力作用线和二力构件杆一致，除去约束，标上约束力 F_A 、 F_B 、 F_C ，如图 2-4b。

【例 2-5】 分别作出图 2-5a 中 AD 杆、AB 杆、DE 杆和整体的受力图。

【解】 首先判断出 DE 杆为二力构件，其反力 F_{NDE} 、 F_{NED} 沿 D、E 两点连线，方向相反，其受力如图 2-5b 所示。再依次取 AD、AB 和整体为研究对象，画出它们的主动力和约束力，其受力如图 2-5c、d、e 所示。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 点受力情况均为作用力与反作用力的关系。对于整体来说 F_{NDE} 、 F_{NED} 、 F_{Ax} 、 F_{Ay} 为内力，则这些力不在其受力图中画出。

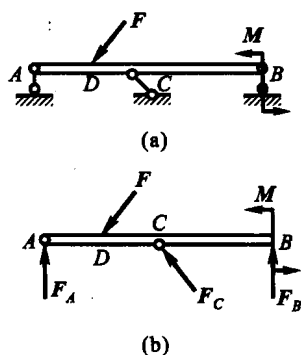


图 2-4

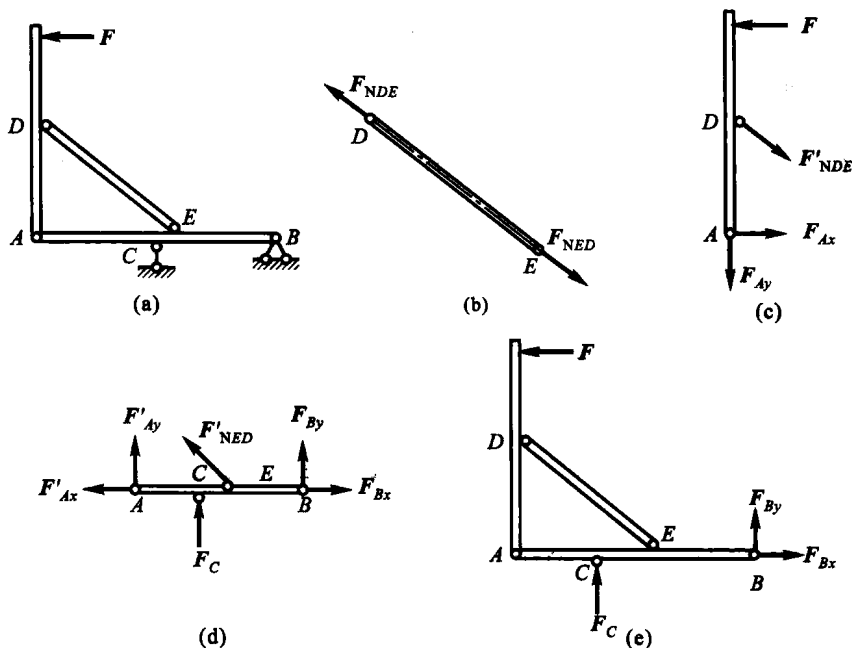


图 2-5

【例 2-6】 试分别作出图 2-6a 中 AC、BC 和整体的受力图。

【解】 首先，判断出 AB 杆为二力构件，依次取 AC、BC 和整体为研究对象，画出它们的主动力和支座反力，其受力如图 2-4b、c、d 所示。

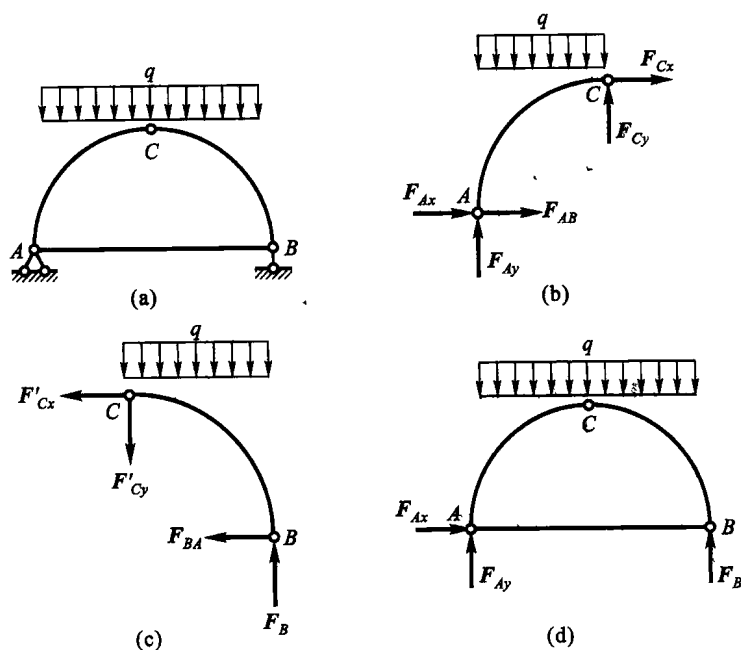


图 2-6

三、补充习题

2-1 试求图 2-7 所示各种情况下力系的合力对 x 轴和 y 轴的投影以及对 A 点和 B 点的力矩。

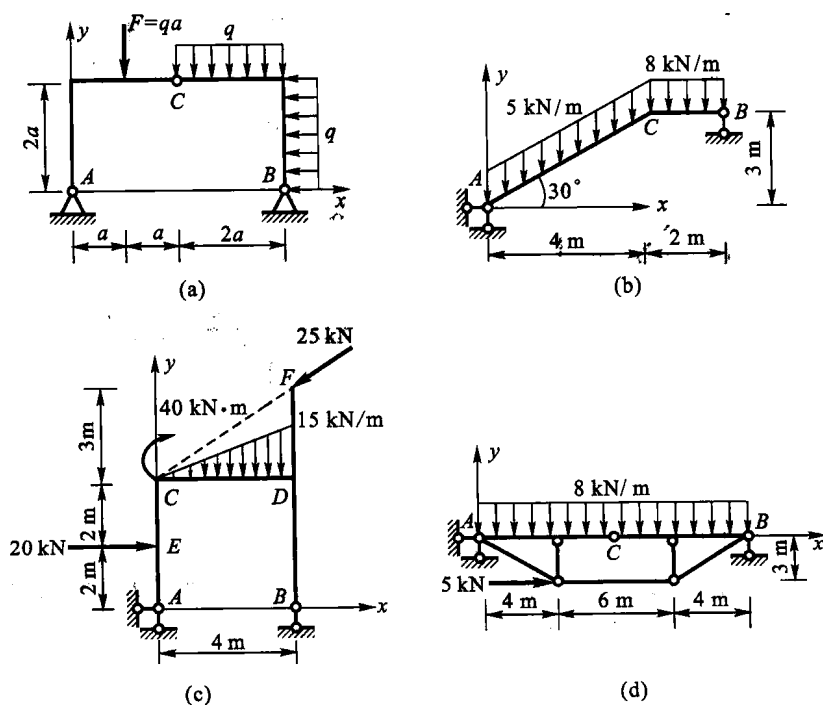


图 2-7

2-2 试画出图 2-8 所示受柔索约束物体的受力图。

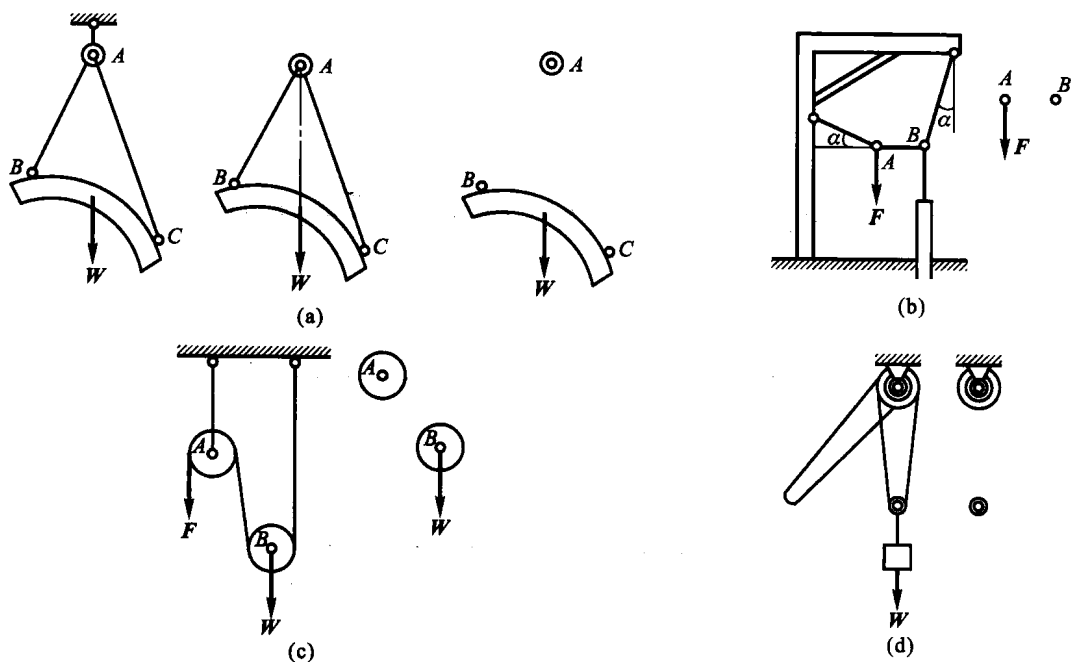


图 2-8

2-3 试画出图 2-9 所示各受光滑面约束物体的受力图。

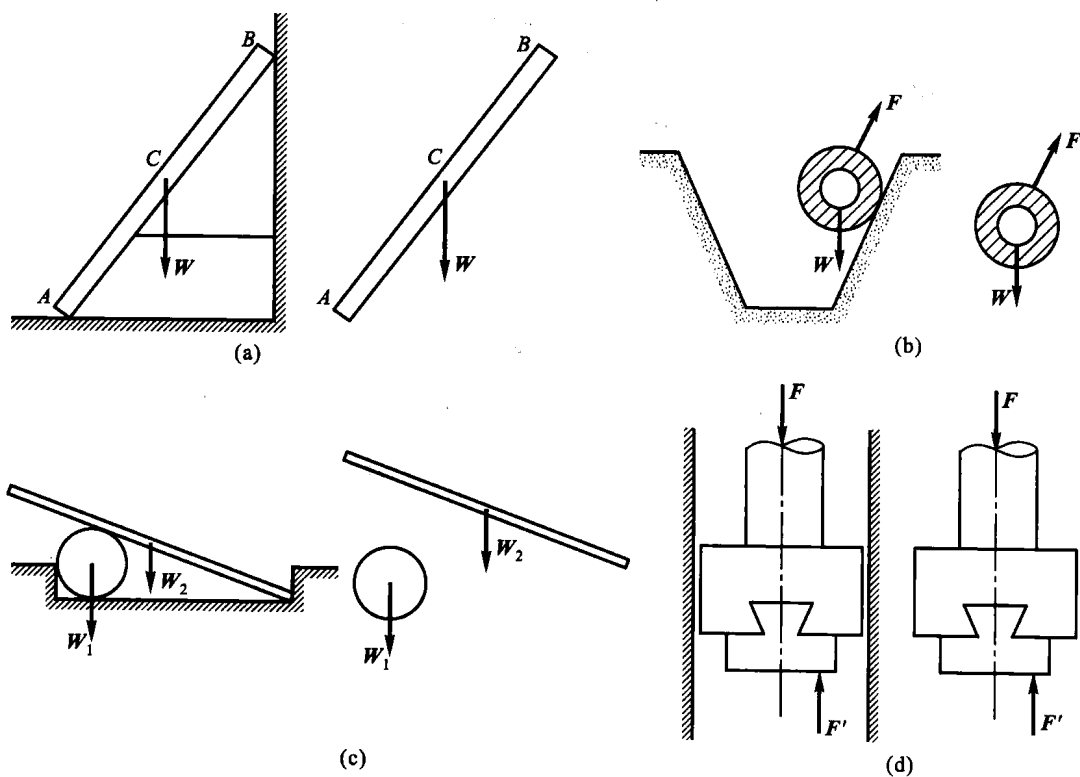


图 2-9

2-4 试画出图 2-10 所示各铰支座约束物体的受力图。

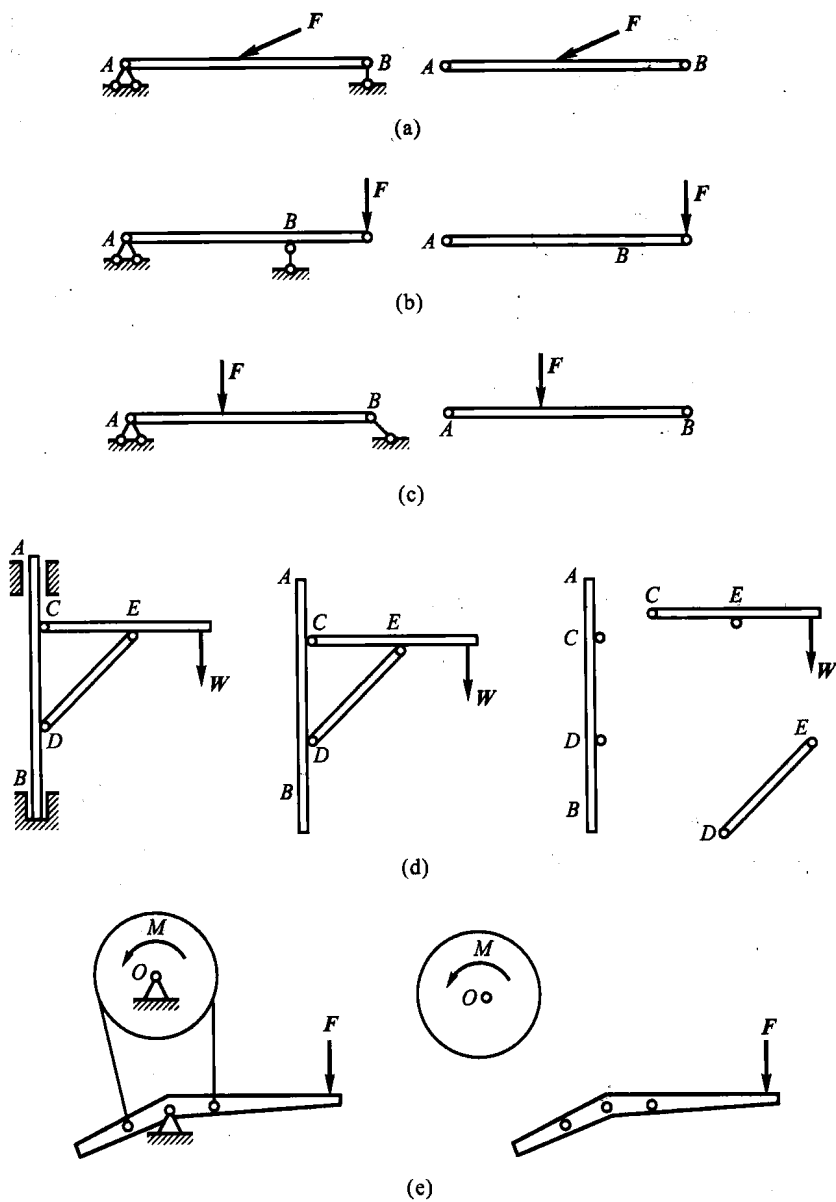


图 2-10