



高职高专基础课“十一五”规划配套教材

土木工程力学

学习指导

(少学时)

林贤根 © 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高职高专基础课“十一五”规划配套教材

土木工程力学(少学时) 学习指导

主 编 林贤根
副主编 宋小壮 钱培翔
参 编 周赵凤 沈青青
主 审 缪炳祺



机械工业出版社

本书是机械工业出版社出版的《土木工程力学》(少学时)第2版的配套用书。各章都配有学习导航、例题解析和习题解。学习导航是对教材内容简明扼要的总结;例题解析选择了一些典型例题并进行了求解,是对教材很好的补充;习题解是对教材中习题的详细解答。本书在编排顺序上与教材完全相同。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程力学学习指导:少学时/林贤根主编. —北京:机械工业出版社,2007.8

高职高专基础课“十一五”规划配套教材

ISBN 978-7-111-21767-1

I. 土… II. 林… III. 土木工程—工程力学—高等学校:技术学校—教学参考资料 IV. TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第094761号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:李大国 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:王伟光 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷(北京双新装订有限公司装订)

2007年8月第1版第1次印刷

169mm×239mm · 6.125印张 · 234千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-21767-1

定价:15.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)68354423

封面无防伪标均为盗版

前 言

土木工程力学是一门重要的技术基础课，在相关工程专业课程中占据重要的地位。为了帮助学生能够较好地掌握这门课程，我们特别编写了本指导书。

本书是机械工业出版社出版的《土木工程力学》（少学时）第2版的配套用书。各章都配有学习导航、例题解析和习题解。学习导航是对教材内容简明扼要的总结；例题解析选择了一些典型例题并进行了求解，是对教材很好的补充；习题解是对教材中习题的详细解答。本书在编排顺序上与教材完全相同。

参加本书编写工作的有：浙江树人大学林贤根、周赵凤，南京高等职业技术学校宋小壮，浙江建设职业技术学院的沈青青、钱培翔。本书由林贤根任主编，宋小壮、钱培翔任副主编，由浙江工业大学缪炳祺教授任主审。

由于编者水平有限，书中难免存在一些不足和欠妥之处，望批评指正。

编 者

目 录

前言	
第1章 静力学分析基础	1
1.1 学习导航	1
1.2 例题解析	2
1.3 习题解	5
第2章 力系的平衡问题	11
2.1 学习导航	11
2.2 例题解析	14
2.3 习题解	21
第3章 平面体系的几何组成分析	44
3.1 学习导航	44
3.2 例题解析	44
3.3 习题解	45
第4章 静定结构的内力	50
4.1 学习导航	50
4.2 例题解析	54
4.3 习题解	63
第5章 构件的应力与强度	98
5.1 学习导航	98
5.2 例题解析	102
5.3 习题解	109
第6章 压杆的稳定计算	123
6.1 学习导航	123
6.2 例题解析	125
6.3 习题解	127
第7章 静定结构的位移计算与刚度校核	132
7.1 学习导航	132
7.2 例题解析	135
7.3 习题解	138
第8章 超静定结构的内力计算	147
8.1 学习导航	147
8.2 例题解析	148
8.3 习题解	153
参考文献	189

第1章 静力学分析基础

1.1 学习导航

1. 学习要点

- (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基础。
- (3) 投影是将矢量运算转化为代数运算的方法，是力学运算中常采用的方法。
- (4) 力对点的矩是描述力对物体的转动效应，故力矩和投影是力学计算的基础，必须熟练掌握。
- (5) 当力臂不是很明确时，可利用合力矩定理计算力对点的矩。
- (6) 集中力、集中力偶和分布荷载是工程力学中三个常见的荷载形式，求它们对坐标轴的投影和对点的矩是工程力学运算的重要内容。
- (7) 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成一个集中力形式的合力，其合力大小为荷载图形的面积（集度为高，分布长度为长），作用位置于图形的形状中心（形心），再运用集中力的运算方法来求解。
- (8) 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。
- (9) 主动力通常是已知的，应根据题意正确标上。
- (10) 约束力要根据约束类型并参考力系形式来确定，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形式，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。
- (11) 对由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。
- (12) 画受力图时只画外力，不画内力，所谓内力是研究对象内部物体之间的相互作用力。
- (13) 相同的约束力在不同的研究对象上表示的形式要完全相同。

2. 学习目标

通过本章的学习应掌握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等力学基本原理；掌握集中力、集中力偶和分布荷载对坐标轴的投影

和对点的矩的原理与方法；能够运用常见约束力的分析方法，正确作出研究对象的受力图。

3. 基本公式

(1) 力在直角坐标轴上的投影

$$F_x = \pm F \cos \alpha$$

$$F_y = \pm F \sin \alpha$$

(2) 合力投影定理

$$F_{Rx} = F_{1x} + F_{2x} + \cdots + F_{nx} = \sum_{i=1}^n F_{ix}$$

$$F_{Ry} = F_{1y} + F_{2y} + \cdots + F_{ny} = \sum_{i=1}^n F_{iy}$$

(3) 平面问题中力对点的矩

$$M_o(\mathbf{F}) = \pm Fd$$

(4) 合力矩定理

$$M_o(\mathbf{F}_R) = M_o(\mathbf{F}_1) + M_o(\mathbf{F}_2) + \cdots + M_o(\mathbf{F}_n) = \sum_{i=1}^n M_o(\mathbf{F}_i)$$

(5) 平面力偶系的合成

$$M = M_1 + M_2 + \cdots + M_n = \sum_{i=1}^n M_i$$

1.2 例题解析

【例 1-1】 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 1-1 所示。已知： $F_1 = 50\text{N}$ ， $F_2 = 100\text{N}$ ， $F_3 = 150\text{N}$ ， $F_4 = 220\text{N}$ 。求此力系合力在 x、y 轴上投影。

解

$$\begin{aligned} F_{Rx} &= \sum F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} \\ &= 0 + F_2 \cos \alpha - F_3 + F_4 \sin \beta \\ &= \left(0 + 100 \times \frac{16}{\sqrt{16^2 + 12^2}} - 150 \right. \\ &\quad \left. + 220 \times \frac{9}{\sqrt{12^2 + 9^2}} \right) \text{N} = 62\text{N} \end{aligned}$$

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

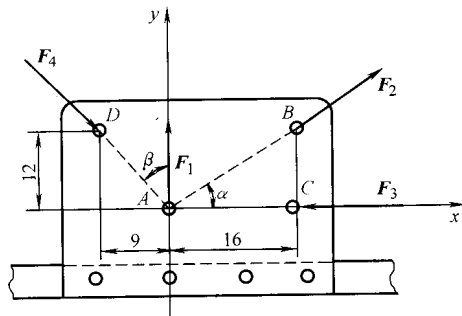


图 1-1

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

【例 1-2】 一轮在轮轴处受一切向力的作用，如图 1-2a 所示。已知 F 、 R 、 r 和 α 。试求此力对轮与地面接触点 A 的矩。

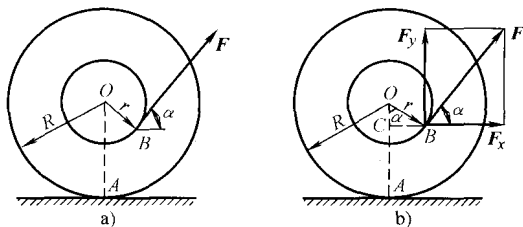


图 1-2

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 F_x 、 F_y 两个分力，如图 1-2b 所示，再应用合力矩定理，有

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

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

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

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

【例 1-3】 试求图 1-3 所示力系的合力对 x 轴和 y 轴的投影以及对点 A 和点 B 的矩。

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) 力系的合力对点 A 和点 B 的力矩。

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

$$= -F_{R1} \times a + F_P \times 2a + M$$

$$= -2qa^2 + 4qa^2 + qa^2 = 3qa^2$$

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

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

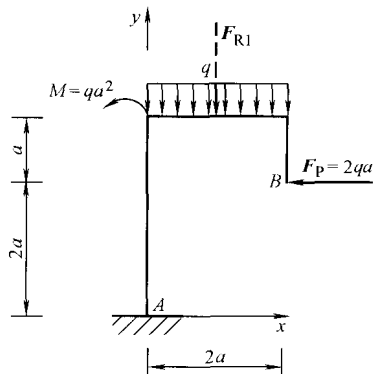


图 1-3

【例 1-4】 作出图 1-4a 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 处受柔体约束，在 B 、 C 处受光滑面约束，其约束力 F_{TA} 沿 AD 两点连线，分离研究对象， F_{NB} 、 F_{NC} 通过接触点

和接触面垂直，指向研究对象（对于点面接触如 B 、 C 处，公法线与接触面垂直），除去约束并标上约束力，如图 1-4b 所示。

【例 1-5】 分别作出图 1-5a 中 AD 杆、 AB 杆、 DE 杆及整个结构的受力图。

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 1-5b 所示。再依次取 AD 、 AB 、整体为研究对象，画出它们的主动力和约束力，其受力分别如图 1-5c、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 点的

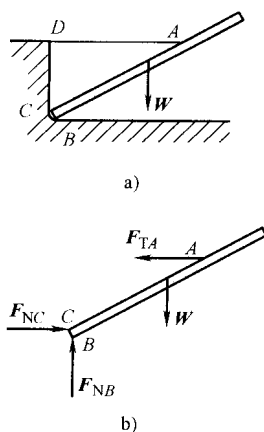


图 1-4

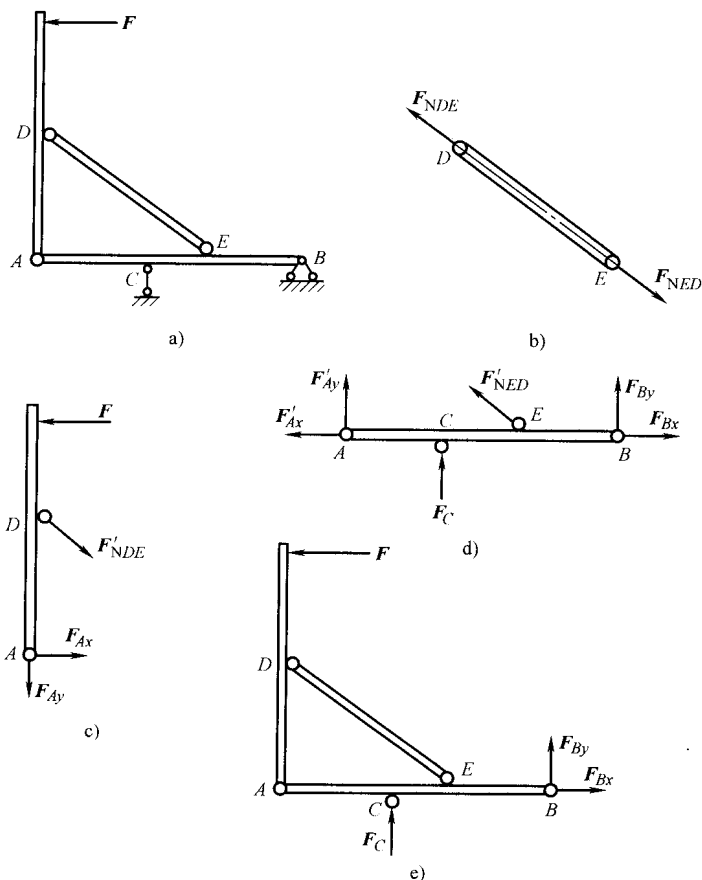


图 1-5

受力情况均为作用力与反作用力的关系。由于整体的受力图是最后所作，其上的力和前面的受力图中相同的应使用相同的表达方式。另外，如 F_{NDE} 、 F_{NED} 、 F_{Ax} 、 F_{Ay} 为整体的内力，不需画出。

1.3 习题解

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

解 $F_{1x} = -F_1 = -200\text{N}$

$$F_{1y} = 0$$

$$\begin{aligned} F_{2x} &= -F_2 \cos 60^\circ = -200 \times 0.5\text{N} \\ &= -100\text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{2y} &= -F_2 \sin 60^\circ = -200 \times 0.866\text{N} \\ &= -173.2\text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{3x} &= F_3 \sin 60^\circ = 100 \times 0.866\text{N} \\ &= 86.6\text{N} \end{aligned}$$

$$F_{3y} = F_3 \cos 60^\circ = 100 \times 0.5\text{N} = 50\text{N}$$

$$F_{4x} = F_4 \cos 45^\circ = 100 \times 0.707\text{N} = 70.7\text{N}$$

$$F_{4y} = F_4 \sin 45^\circ = -100 \times 0.707\text{N} = -70.7\text{N}$$

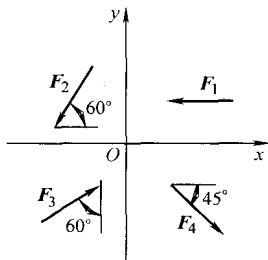


图 1-6

1-2 图 1-7 所示钢板在孔 A 、 B 和 C 处分别受到 F_1 、 F_2 和 F_3 三个力作用，其中 $F_1 = 160\text{N}$ ， $F_2 = 100\text{N}$ ， $F_3 = 70\text{N}$ 。试求这三个力的合力在 x 轴和 y 轴上的投影。

解 $F_{Rx} = \sum F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x}$

$$= 0 + F_2 \cos \alpha + F_3$$

$$= \left(0 + 100 \times \frac{60}{\sqrt{60^2 + 80^2}} + 70 \right) \text{N}$$

$$= 130\text{N}$$

$$F_{Ry} = \sum F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = F_1 + F_2 \sin \alpha + 0$$

$$= \left(160 + 100 \times \frac{80}{\sqrt{60^2 + 80^2}} \right) \text{N} = 240\text{N}$$

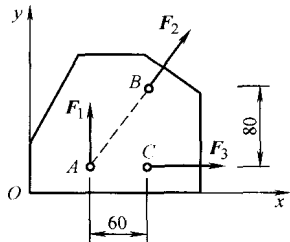


图 1-7

1-3 试计算图 1-8 中各图中力 F 对点 O 的矩。

解 a) $M_o(F) = M_o(F_x) + M_o(F_y) = 0 + Fl \sin \alpha = Fl \sin \alpha$

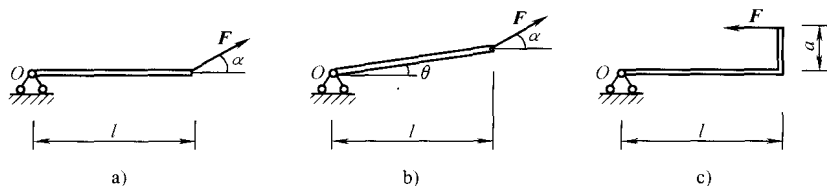


图 1-8

$$b) M_o(F) = -F \cos \alpha l \tan \theta + F \sin \alpha l = Fl \sin(\alpha - \theta) / \cos \theta$$

$$c) M_o(F) = Fa$$

1-4 图 1-9 所示力系中 $F_1 = F_2 = F$, $F_3 = F_4 = \sqrt{2}F$, 图中方格的边长为 a 。求图中力系的合力对 O 点的矩。

解

$$\begin{aligned} M_o(F_R) &= \sum M_o(F) = F_1 \times a - F_2 \times 2a - F_3 \\ &\quad \times \frac{\sqrt{2}}{2}a + F_4 \times \frac{\sqrt{2}}{2}a \\ &= Fa - F \times 2a - Fa + Fa = -Fa \end{aligned}$$

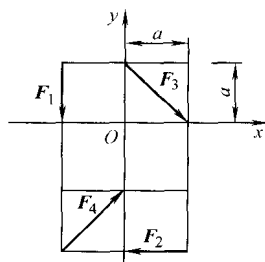


图 1-9

1-5 试求图 1-10 所示力系的合力在 x 轴和 y 轴上的投影以及对 A 点和 B 点的矩。

解 (1) 合力对 x 轴和 y 轴的投影

$$F_{Rx} = \sum F_x = -F$$

$$F_{Ry} = \sum F_y = -F$$

(2) 力系的合力对 A 点和 B 点的力矩

$$\begin{aligned} M_A(F_R) &= \sum M_A(F) = -F \times a + F \\ &\quad \times 2a - M \\ &= -Fa + 2Fa - Fa = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_B(F_R) &= \sum M_B(F) = F \times a + F \\ &\quad \times 2a - M \\ &= Fa + 2Fa - Fa = 2Fa \end{aligned}$$

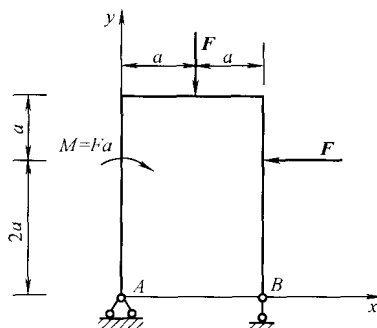


图 1-10

1-6 力偶的三要素是力偶矩的大小、转向和作用面。

1-7 试求图 1-11 所示力系的合力在 x 轴和 y 轴上的投影以及对 A 点和 B 点

的力矩, 其中 $F_P = qa$ 。

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 1-11 所示。

(2) 合力对 x 轴和 y 轴的投影。

$$F_{Rx} = \sum F_x = 0$$

$$F_{Ry} = \sum F_y = -F_P - F_{R1} = -3qa$$

(3) 力系的合力对 A 点和 B 点的力

矩。

$$M_A(F_R) = \sum M_A(F) = -F_{R1} \times 3a + F_P \times a = -6qa^2 - qa^2 = -7qa^2$$

$$M_B(F_R) = \sum M_B(F) = F_{R1} \times a + F_P \times 3a = 2qa^2 + 3qa^2 = 5qa^2$$

1-8 试分别画出图 1-12 ~ 17a 所示物体的受力图。假定所有接触面都是光滑的, 图中凡未标出自重的物体, 自重不计。

解 各物体的受力图分别如图 1-12 ~ 17b 所示。

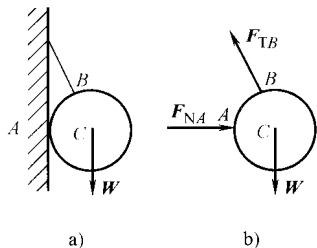


图 1-12

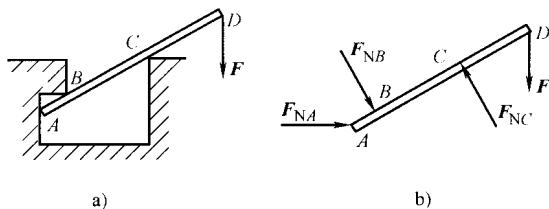


图 1-13

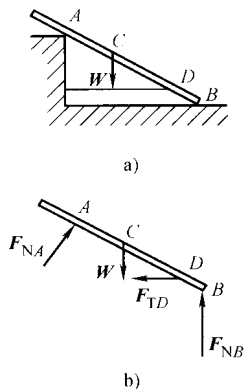


图 1-14

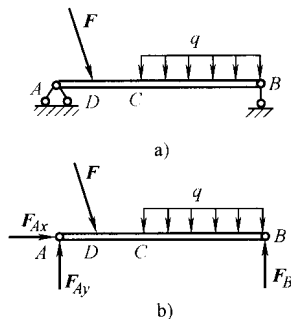
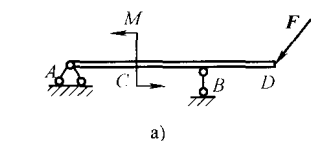
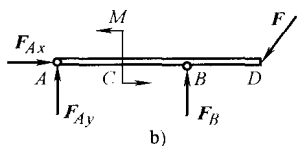


图 1-15

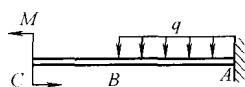


a)

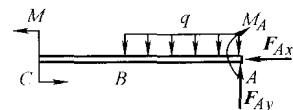


b)

图 1-16



a)

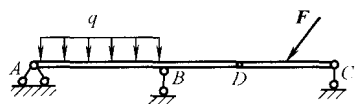


b)

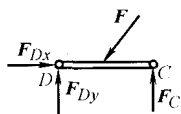
图 1-17

1-9 试分别画出图 1-18 ~ 23a 所示物体中各组成部分及整体的受力图。
假定所有接触面都是光滑的，图中凡未标出自重的物体，自重不计。

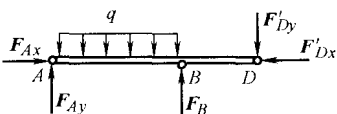
解 各物系中的部分及整体的受力图分别如下所示。



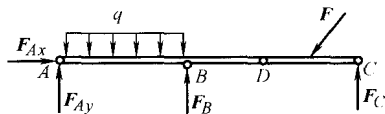
a)



b)



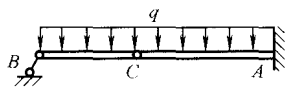
c)



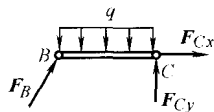
d)

图 1-18

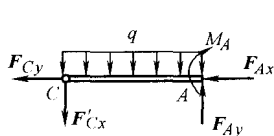
a) 梁 CD、梁 ABD、整体 b) 梁 CD c) 梁 ABD d) 整体



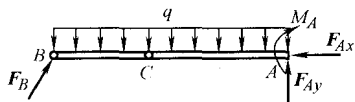
a)



b)



c)



d)

图 1-19

a) 梁 BC、梁 AC、整体 b) 梁 BC c) 梁 AC d) 整体

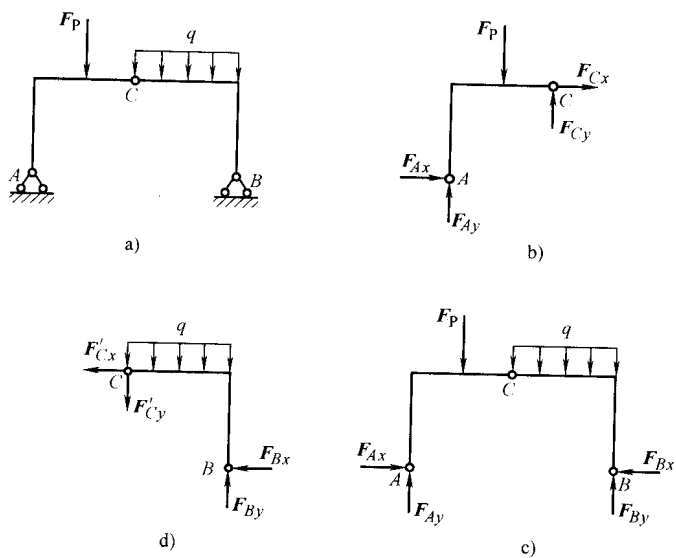


图 1-20

a) 杆 AC、杆 BC、整体 b) 杆 AC c) 杆 BC d) 整体

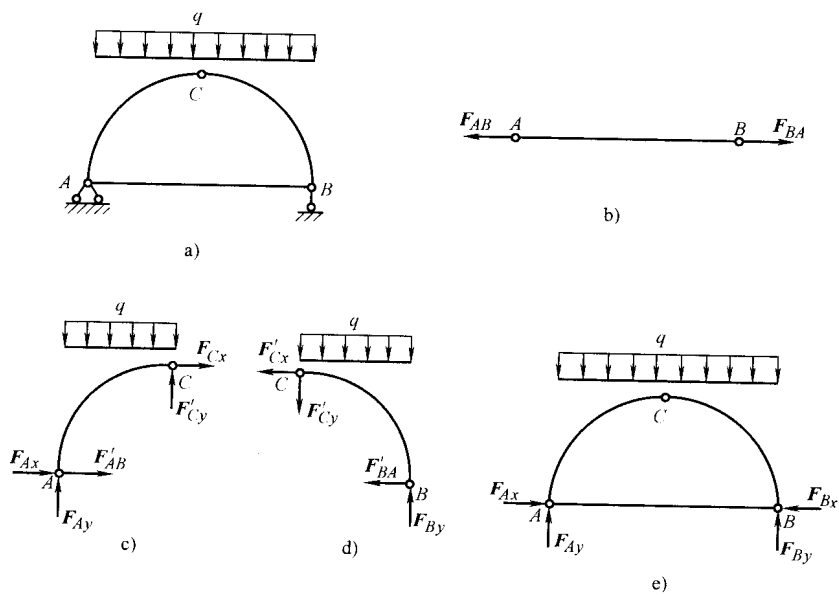


图 1-21

a) 拉杆 AB、曲杆 AC、曲杆 BC、整体 b) 拉杆 AB c) 曲杆 AC d) 曲杆 BC e) 整体

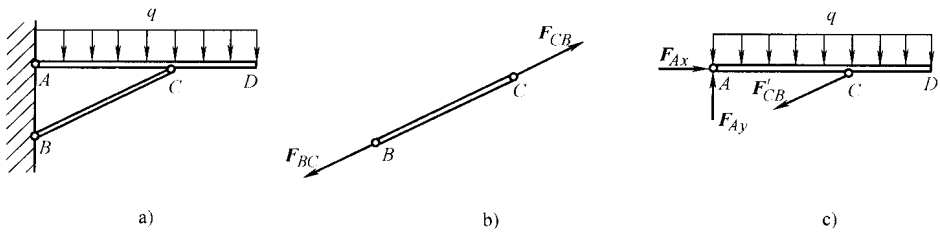


图 1-22

a) 杆 BC、杆 ACD b) 杆 BC c) 杆 ACD

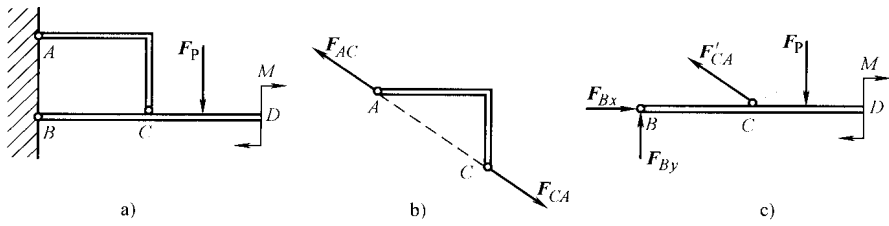


图 1-23

a) 杆 AC、杆 BCD b) 杆 AC c) 杆 BCD

第2章 力系的平衡问题

2.1 学习导航

1. 学习要点

(1) 力的平移定理

作用在刚体上的力可以平移到刚体上任意一个指定位置，但必须在该力与指定点所决定的平面内附加一个力偶，附加力偶的矩等于原力对指定点之矩。

(2) 力系的简化 四种简化结果的讨论

力系的简化：平面一般力系向作用面内任意一点简化的结果，一般是一个力和一个力偶。这个力的作用线通过简化中心，其大小和方向决定于原力系中各力的矢量和，即等于原力系的主矢，与简化中心的具体位置无关；这个力偶的矩等于原力系中各力对简化中心之矩的代数和，即等于原力系对简化中心的主矩，它一般随简化中心位置的变化而变化。

四种简化结果的讨论：

1) $F_R' = 0$ 、 $M_O' \neq 0$ 此时原力系只与一个力偶等效，此力偶称为原力系的合力偶。 M_O' 与简化中心的选择无关。

2) $F_R' \neq 0$ 、 $M_O' = 0$ 此时原力系只与一个力等效，此力称为原力系的合力。

3) $F_R' \neq 0$ 、 $M_O' \neq 0$ 此时可根据力的平移定理的逆过程，将作用线通过 O 点的力 F_R' 及矩为 M_O' 的力偶合成为一个作用线通过 O' 点的一个力，此力称为原力系的合力。合力 F_R 的大小、方向与 F_R' 相同，其作用线的位置由 $d = \left| \frac{M_O'}{F_R'} \right|$ 及 M_O' 的转向而定。

4) $F_R' = 0$ 、 $M_O' = 0$ 此时原力系是一个平衡力系。

(3) 平面力系的平衡

平衡力系：若力系对物体的作用使物体处于平衡状态，则此力系称为平衡力系。

平衡条件：平面力系平衡的必要和充分条件是力系的主矢 F_R' 和对任意一点 O 的主矩 M_O' 均为零。

平面一般力系的平衡方程：力系中各力在任意两个相交坐标轴上投影的代数和等于零，且各力对任意一点之矩的代数和也等于零。其平衡方程形式有一矩式、二矩式、三矩式。

(4) 平面力系的几种特殊情况

平面汇交力系：平面力系中各力的作用线均汇交于一点，则此力系称为平面汇交力系。

平面平行力系：平面力系中各力的作用线均相互平行，则此力系称为平面平行力系。

(5) 物体系统的平衡

物体系统：由若干个物体通过一定的约束方式连接而成的系统，称为物体系统。

静定问题：当研究单个物体或物体系统的平衡问题时，若未知量的数目小于或等于独立的平衡方程数目，就能够利用平衡方程求解出全部未知量。这类问题称为静定问题。

超静定问题：在实际工程中，有时为了提高构件的刚度或调整其内力分布，常给结构或构件增加一些“多余”的约束，从而使得在研究单个物体或物体系统的平衡问题时，这些结构或构件的未知量数目超过了独立的平衡方程数目，无法仅利用平衡方程求解出全部未知量。这类问题称为超静定问题。

(6) 考虑摩擦的平衡问题

滑动摩擦：当相互接触的两物体之间有相对滑动或有相对滑动的趋势时，在两物体的接触面上就有阻止它们作相对滑动的力出现。这种阻止它们作相对滑动的力就称为滑动摩擦力，而这种现象则称为滑动摩擦。

静滑动摩擦定律：最大静摩擦力的大小与法向反力（正压力）的大小成正比，即 $F_{\max} = \mu_s F_N$ ，最大静摩擦力的方向与物体相对滑动趋势的方向相反。

动滑动摩擦定律：动滑动摩擦力的大小与法向反力成正比，即 $F_d = \mu F_N$ ，动摩擦力的方向与物体相对速度的方向相反。

非临界状态的静平衡问题：画受力图时，静滑动摩擦力沿两接触面的公切线方向，其指向可以任意假设，其大小则由平衡方程来确定。

处于静平衡的临界状态的平衡问题：画受力图时，最大静滑动摩擦力 $F_{\max}$ 的指向必须与相对滑动趋势的方向相反而不能任意假设，其大小为 $F_{\max} = \mu_s F_N$ 。

平衡范围的问题：静滑动摩擦力 F 的值应满足 $0 \leq F \leq F_{\max}$ ，即静滑动摩擦力的值有一定的范围，而不是一个确定的值，因此其解答也存在一定的范围，对于这一类问题，一般可以先求出静平衡的临界情况，然后对结果进行分析，从而得出其平衡范围。

摩擦角：当物块处于临界平衡状态时，静滑动摩擦力 F_f 达到最大值 $F_{f\max}$ ，全反力 F_{Rm} 与法向反力 F_N 之间的夹角 φ 也达到最大值 φ_m ，则 φ_m 称为摩擦角。

自锁：若作用于物体的全部主动力的合力 F_R 的作用线位于摩擦角之内，那么无论力 F_R 多么大，接触面总能产生一个全反力 F_{Rm} 与之平衡，因而物体总能