

《建筑力学》

学习与实验指导

主编 陈德先

Jianzhu Lixue Xuexi yu
Shiyan Zhidao



四川大学出版社

《建筑力学》

学习与实验指导

主编 陈德先

Jianzhu Lixue Xuexi yu
Shiyan Zhidao



四川大学出版社

责任编辑:梁 平
责任校对:林鹏飞
封面设计:米茄设计工作室
责任印制:王 炜

图书在版编目(CIP)数据

《建筑力学》学习与实验指导 / 陈德先主编. —成都: 四川大学出版社, 2014. 8
ISBN 978-7-5614-7981-0

I. ①建… II. ①陈… III. ①建筑力学—高等学校—
教学参考资料 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 197578 号

书名 《建筑力学》学习与实验指导

主 编	陈德先
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
书 号	ISBN 978-7-5614-7981-0
印 刷	郫县犀浦印刷厂
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	8
字 数	192 千字
版 次	2014 年 9 月第 1 版
印 次	2014 年 9 月第 1 次印刷
定 价	22.00 元

◆读者邮购本书,请与本社发行科联系。
电话:(028)85408408/(028)85401670/
(028)85408023 邮政编码:610065

◆本社图书如有印装质量问题,请
寄回出版社调换。

◆网址:<http://www.scup.cn>

版权所有◆侵权必究

前 言

陈德先主编的主要适用于第二专业学生文化基础的《建筑力学》教材自 2013 年 9 月出版发行以来,受到这一层面上师生的普遍欢迎。应读者的需要,我们精心编写了与之配套的学习与实验指导书。

全书分为七个项目,即《建筑力学》学习方法、《建筑力学》学习指导、《建筑力学》思考题参考答案、《建筑力学》实验指导、《建筑力学》期末考试模拟试卷与参考答案、《建筑力学》课程教学大纲及超静定结构分析简介。《建筑力学》学习指导按主教材的章节顺序编写,每章分为教学目标、解题方法与典型例题三个部分,其中“解题方法”部分深入细致地介绍解题思路、解题方法、解题技巧与注意点,以提高学生分析问题和解决问题的能力;“典型例题”部分精选主教材习题与例题中没有涉及的典型题进行分析,以拓展学生的视野。超静定结构分析简介是主教材中没有的内容,目的是满足文化基础好、有从事结构设计愿望的学生深入学习的需要。

本书的编写以应用为目的,以必须、够用、实用为原则,突出针对性和应用性。

本教材在编写过程中,参考了相关的资料文献,在此对各位资料文献的作者及为本教材的编写、出版提供支持和帮助的所有同志诚表感谢。

本书由南充职业技术学院陈德先副教授主编,南充职业技术学院王静杰讲师与严先辉建造师参编。

本书由南充职业技术学院苏登信副教授主审。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

目 录

项目一 《建筑力学》学习方法	(1)
项目二 《建筑力学》学习指导	(2)
第一章 静力学基础	(2)
第二章 平面汇交力系	(6)
第三章 力对点的矩与平面力偶系	(10)
第四章 平面任意力系	(12)
第五章 材料力学的基本概念	(17)
第六章 轴向拉伸和压缩	(18)
第七章 剪切与扭转	(24)
第八章 平面图形的几何性质	(31)
第九章 弯曲内力	(34)
第十章 弯曲应力与强度计算	(40)
第十一章 弯曲变形与刚度计算	(45)
第十二章 梁的应力状态与强度理论简介	(48)
第十三章 组合变形简介	(53)
第十四章 压杆稳定简介	(57)
第十五章 工程中常见结构简介	(62)
项目三 《建筑力学》思考题参考答案	(65)
项目四 《建筑力学》实验指导	(75)
项目五 《建筑力学》期末考试模拟试卷与参考答案	(93)
项目六 建筑力学课程教学大纲	(105)
项目七 超静定结构分析简介	(115)
附录一 建筑力学课程课外考察报告单	(119)
附录二 《建筑力学》主教材更正	(120)
参考文献	(121)

项目一 《建筑力学》学习方法

一、注意和其他课程的关系

在《建筑力学》教材的学习过程中，经常会遇到高等数学、物理学中的一些知识，因此，在学习时应根据需要对相关内容进行必要的复习，并在运用中得到巩固和提高。在后续课程中，建筑力学又是建筑结构、土力学与地基基础、水力学和建筑施工技术等课程的基础，如果学不好建筑力学，对后续课程的学习，将带来很大的难度。

二、注意理论联系实际

力学与工程是紧密相连的。工程技术的发展，不断提出新的力学问题；力学研究的发展又不断应用于工程实际并推动其进步。因此在学习中必须理论联系实际，学会观察、了解结构的性能和使用情况，能够使用所学理论知识来解决实际问题。

三、注意分析方法和解题思路

在《建筑力学》中讲述的是各种具体的计算方法，学习时要着重理解力学的思维方法，掌握其常用的解题思路。特别是要熟悉从这些具体计算方法中归纳出分析问题的过程和步骤，从已知条件探讨未知领域的途径，把整体分解为局部和局部合成整体的手段，等等。

四、注意多预习、复习和练习

建筑力学是一门理论性和实践性都很强的课程。单凭教师讲课很难完整地理解和掌握，所以学生在上课前应先把有关章节的内容进行预习，带着问题听教师讲课，能够有目的地解决问题；复习又起到巩固和加强理解所学知识的作用；而多做练习，则对总结力学规律、归纳学习方法、掌握解题技巧起到事半功倍的作用。

注：本书中力矢量与力矢量大小均用白体字母表示。

项目二 《建筑力学》学习指导

第一章 静力学基础

【教学目标】

1. 掌握力的概念。
2. 牢固掌握静力学基本公理。
3. 掌握约束及约束反力的概念。
4. 掌握几种常见平面约束类型反力的画法。
5. 掌握分离体和受力图的概念。
6. 掌握画受力图的方法与步骤。
7. 会画单个物体的受力图。

【解题方法】

本章习题主要是画指定物体的受力图。

一、画指定物体的受力图的基本步骤

1. 取分离体

解除指定物体所受的全部约束，将其从周围物体中分离出来，并单独画出其简图。

2. 画主动力

在指定物体的分离体简图上，画出其所受到的主动力（荷载）。

3. 画约束反力

在指定物体的分离体简图上,画出其所受到的约束反力。

二、画受力图的注意点

(1) 明确研究对象并取分离体。根据需要,可取单个物体为研究对象,也可取由几个物体组成的系统为研究对象。研究对象大到可以是整个系统,小到系统上一个点。不同的研究对象的受力图是不同的。

(2) 搞清研究对象受力的数目,既不要多画又不要漏画。由于力是物体间的相互机械作用,因此,对于每一个力,都存在着施力者和受力者。

(3) 正确表达约束反力。凡是研究对象与周围其他物体接触的地方,都一定存在着约束反力,约束反力的表达方式应根据约束的类型来确定。画受力图时采用解除约束代之以力的方法,即受力图上不能再画上约束。

(4) 正确表达作用力与反作用力之间的关系。分析两物体间相互作用时,应遵循作用力与反作用力定律。作用力的方向一经假定,反作用力的方向必须与之相反。

(5) 受力图上只画外力,不画内力(应该称为内部约束反力)。在画物体系统的受力图时,由于内力成对出现,组成平衡力系,因此不必画出。一个力,属于外力还是内力,可能因研究对象的不同而不同。当将物体系统拆开来分析时,系统中的有些内力就会成为作用在被拆开物体上的外力。

(6) 同一物体系统中各研究对象的受力图必须协调一致。同一力在不同的受力图中的表示应完全相同。某处的约束反力一旦确定,则无论是在整体、局部还是单个物体的受力图上,该约束力的表示必须完全一致,不能相互矛盾。

(7) 正确判断二力杆。由于二力杆上两个力的方向可以根据二力平衡公理确定,从而简化受力图,因此,二力杆的正确判断对于受力分析意义重大。

(8) 销钉问题。

两个杆件用铰链连接,若铰链中心无荷载作用,则两个杆件间的作用力相当于作用力与反作用力关系(不是真正的作用力与反作用力),若铰链中心有荷载作用,则两个杆件间的作用力不相当于作用力与反作用力关系。

(9) 二力杆问题。

二力杆指的是两点受力处于平衡状态的杆件,而不一定是指受两个力作用而处于平衡状态的杆件。

【典型例题】

【例 1】如何准确地理解力的概念?应注意些什么问题?

【解答】力的概念是力学中最基本的概念之一。力是物体之间相互的机械作用,其作用效果是使物体的运动状态发生变化,或者使物体发生变形。

理解力的概念应注意下述几点。由于力是物体之间相互的机械作用,因此可知:

1. 力不能脱离物体而单独存在;
2. 既有力存在,就必定有施力物体和受力物体;

3. 力是成对出现的，既有作用力就必有其反作用力存在。

力有两种作用效果，即力可以使物体的运动状态发生变化，也可以使物体发生变形。力的前一种效果称为力的外效应，后一种效果称为力的内效应。这两种效应通常是同时发生的，只是有的明显有的不明显罢了。在静力学中，我们只研究力的外效应。

【例 2】力的可传性原理指出：作用在刚体上的力可沿其作用线移动而不会改变它对刚体的外效应。那么如图 2-1-1 和如图 2-1-2 所示中力沿其作用线的移动是否可以？

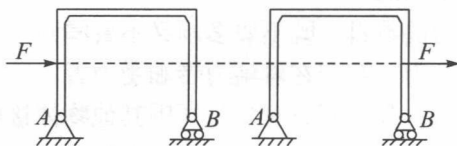


图 2-1-1

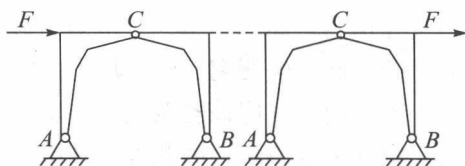


图 2-1-2

【解答】力的可传性原理是针对同一刚体而言的，即作用在同一刚体上的力可沿其作用线移动到该刚体上任一点而不会改变此力对该刚体的外效应。所以如图 2-1-1 所示的移动是可以的。但如图 2-1-2 所示的移动是错误的，因为这时力已由刚体 AC 移动到另一刚体 BC 上去了，这是不允许的。如果我们对如图 2-1-2 所示中的两个刚体作一下受力分析，也就知道力由一个刚体沿其作用线移动到另外一个刚体上是不对的。如图 2-1-3 所示，在移动前刚体 AC 是受三个力作用而平衡的，刚体 BC 则是二力构件，即受两个力作用而平衡；但移动后刚体 AC 和刚体 BC 的受力情况都发生了变化，如图 2-1-4 所示。刚体 AC 原受三力平衡现在变为二力而平衡，即为二力构件。而刚体 BC 原受二力平衡现在变为受三力平衡。此外，在铰链 C 点处，两个刚体相互作用力的方向在力移动之后也发生了改变。移动前刚体 AC 与 BC 在 C 点处相互作用力的方向沿 B 点与 C 点的连线，移动后两个刚体在 C 点处相互作用力的方向沿 A 点与 C 点的连线。因此，力只能在同一个刚体上沿其作用线而移动，而绝不允许力由一个刚体移动到另一个刚体上。否则力对刚体的外效应就要发生变化。

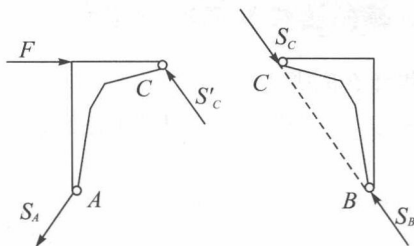


图 2-1-3

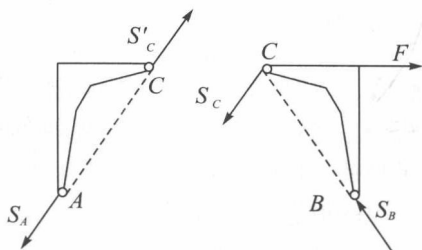


图 2-1-4

【例 3】一简易起重机如图 2-1-5 (a) 所示, 起吊重物的重量为 Q , 机架自重不计, 试画出水平梁 CD 和立柱 AB 的受力图。

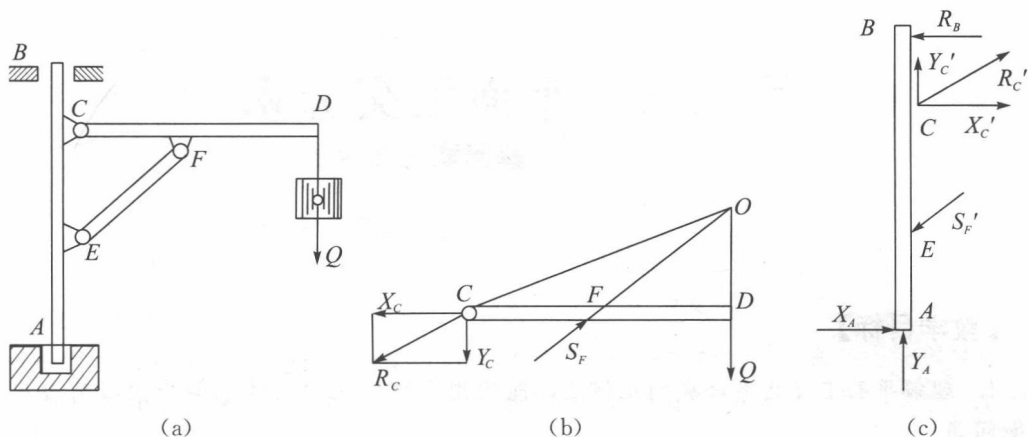


图 2-1-5

【解答】

1. 画横梁 CD 的受力图, 如图 2-1-5 (b) 所示。

(1) 将 CD 梁单独画出。

(2) 画主动力: 重物的重量为 Q , CD 梁自重不计。

(3) 画约束反力: C 处为铰链约束, 其约束反力的方向不能预先确定, 因此用两个互相垂直的分力 X_C 、 Y_C 表示。 EF 是二力杆, 所以 CD 梁上铰链 F 处的约束反力 S_F 的方向沿 EF 杆。如果考虑横梁 CD 受到 Q 、 S_F 和 R_C 三个力作用而平衡, 则按照三力平衡汇交定理, Q 和 S_F 的方向已知, 可找到其交点 O , 那么, 第三个力 R_C 的作用线也通过 O 点, 由此可确定 R_C 的方位, 而不必将其分解成 X_C 和 Y_C 。

2. 画立柱 AB 的受力图, 如图 2-1-5 (c) 所示。

(1) 将立柱 AB 单独画出。

(2) 画立柱所受的力:

AB 自重不计; C 处约束反力可用 X_C' 、 Y_C' 或用 R_C' 表示; E 处约束反力 S_F' 沿 EF 杆, 且 $S_F = -S_F'$ (二者相当于作用力与反作用力关系); B 处为滑动轴承, 其约束反力可用 R_B 表示, R_B 的方向与 AB 垂直; A 处为止推轴承, 其约束反力用 X_A 和 Y_A 表示。

第二章 平面汇交力系

【教学目标】

1. 理解平面汇交力系合成的几何法，能运用平衡的几何条件求解平面汇交力系的平衡问题。
2. 能熟练地计算力在坐标轴上的投影，理解合力投影定理。
3. 理解平面汇交力系合成的解析法，能熟练运用平衡的解析条件（即平衡方程）求解平面汇交力系的平衡问题。

【解题方法】

本章习题主要有力系合成与平衡两种类型，每种类型有几何法与解析法两种解决方法。几何法是一种定性的粗略的计算方法，但简单、直观；解析法是一种精确的计算方法，且将复杂的矢量运算转化为简单的代数运算。

一、求平面汇交力系的合力

1. 几何法解题步骤

- (1) 选取作图比例尺。
- (2) 按照所选定的比例尺，将力系中的各个分力依次首尾相连，画出开口力多边形。
- (3) 作出开口力多边形的封闭边矢量，即得合力矢。
- (4) 按照所取比例尺，量合力矢的大小和方向，或者利用三角公式求出合力矢。

2. 解析法解题步骤

- (1) 选取直角坐标轴。
- (2) 计算合力的投影。
- (3) 计算合力的大小

$$F_R = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2}$$

- (4) 确定合力的方向

$$\tan\alpha = \left| \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \right|$$

α 为合力 F_R 与 x 轴所夹的锐角。合力 F_R 的指向由 $\sum F_y$ 和 $\sum F_x$ 的正负号来确定，合力的作用线通过原力系各力的汇交点。

注意点：

- (1) 力在直角坐标轴上的投影为代数量，力在平面上的投影为矢量。
- (2) 解析法比几何法常用。

二、求解平面汇交力系的平衡问题

1. 几何法解题步骤（了解）

- (1) 选取研究对象。
- (2) 画受力图。
- (3) 作封闭的力多边形：选择适当的比例尺，将研究对象上的各个分力依次首尾相连，作出封闭的力多边形。作图时应从已知力开始，根据矢序规则和封闭特点，就可以确定未知力的方位与指向。

- (4) 确定未知量：按照选定的比例尺量取未知量，或者利用三角公式求出未知量。

2. 解析法解题步骤

- (1) 选取研究对象。
 - (2) 画受力图。
 - (3) 选取坐标轴，列平衡方程。
 - (4) 联解平衡方程，求出未知量。
- 注意点：
- (1) 选取研究对象的一般原则为：所选取物体上既包含已知力又包含待求的未知力；先选受力情况较为简单的物体，再选受力情况相对复杂的物体；选取的研究对象上所包含的未知量的数目一般不要超过力系的独立平衡方程的数目。本章的研究对象大到可以是整个结构，小可以小到结构上一个点。

- (2) 受力图是求解平衡问题的基础，不能出现任何差错，更不能省略不画。

- (3) 在选取坐标轴时，应使尽可能多的未知力与坐标轴垂直，同时还要便于计算投影。因土木工程中常见荷载一般位于水平与竖直方位，所以一般水平方位选为 x 轴，竖直方位选为 y 轴。

- (4) 本章画物体受力图，必要时需用二力平衡共线、三力平衡汇交等条件确定某些反力的指向或作用线的方位。

- (5) 求解平面汇交力系的平衡问题，常用的是解析法，但当力系中只含有三个力时，采用几何法往往更为方便。

【典型例题】

【例 1】平面汇交力系的平衡条件如何表达？

【解答】平面汇交力系的平衡条件有两种表达方式。一种为几何条件，即平面汇交力系平衡的必要与充分条件是力多边形自行封闭；另一种为解析条件，即平面汇交力系

平衡必要与充分条件是所有各力在 x 轴和 y 轴上投影的代数和分别等于零, 即

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

通常把上述解析条件称为平面汇交力系的平衡方程。

【例 2】 A, B 两人拉一压路碾子, 如图 2-2-1 所示, $F_A = 400 \text{ N}$, 为使碾子沿图中所示的方向前进, B 应施加多大的力 ($F_B = ?$)。

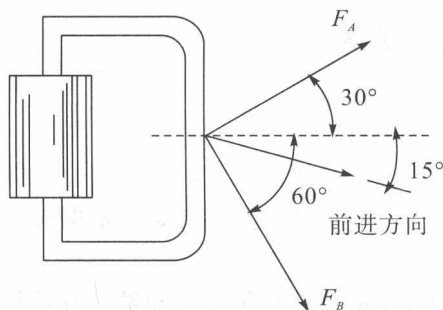


图 2-2-1

【解答】 因为前进方向与力 F_A, F_B 之间均为 45° 夹角, 要保证二力的合力为前进方向, 则必须 $F_A = F_B$ 。所以: $F_B = F_A = 400 \text{ N}$ 。

【例 3】 如图 2-2-2 所示固定环, 受三根钢绳拉力 $F_1 = 0.5 \text{ kN}$, $F_2 = 1 \text{ kN}$, $F_3 = 2 \text{ kN}$, 求固定环受钢绳作用的合力 F_R 。

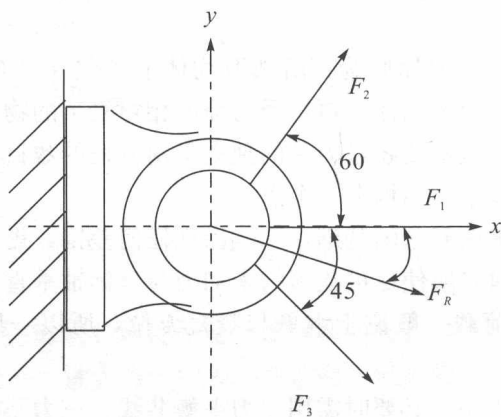


图 2-2-2

【解答】

1. 建立坐标系, 求力系合力的投影:

$$F_{Rx} = \sum F_x = F_1 + F_2 \cos 60^\circ + F_3 \cos 45^\circ = 2414 \text{ N}$$

$$F_{Ry} = \sum F_y = -548 \text{ N}$$

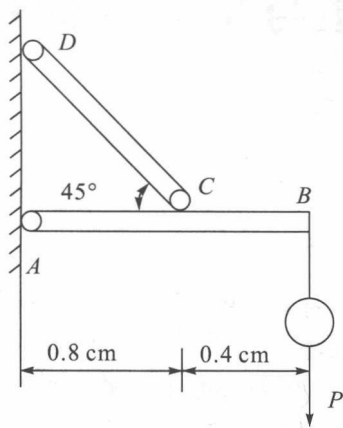
2. 求合力:

$$\text{大小: } F_R = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} = \sqrt{2414^2 + 548^2} = 2475(\text{N})$$

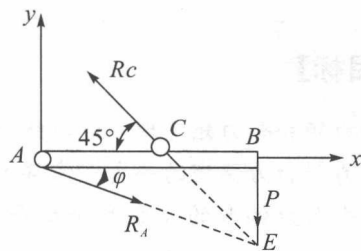
$$\text{方位: } \tan \alpha = \left| \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \right| = \frac{548}{2414} = 0.227 \quad \alpha = 12.8^\circ$$

指向: 如图 2-2-2 所示。

【例 4】如图 2-2-3 (a) 所示结构, 已知 $P=2 \text{ kN}$, 求支座 A 与 CD 杆的反力。



(a)



(b)

图 2-2-3

【解答】

1. 取 AB 杆为研究对象。
2. 将 CD 杆作为链杆约束, 依据三力平衡汇交定理, 画出 AB 杆的受力图, 建立坐标系如图 2-2-3 (b) 所示。

3. 列平衡方程, 得

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 & R_A \cos \varphi - R_C \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \\ \sum F_y = 0 & -P - R_A \sin \varphi + R_C \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \end{cases}$$

4. 解方程:

$$\text{因 } BC = BE, \text{ 所以 } \tan \varphi = \frac{EB}{AB} = \frac{0.4}{1.2} = \frac{1}{3}$$

解方程得 $R_A = 3.16 \text{ kN}$, $R_C = 4.24 \text{ kN}$ 。

第三章 力对点的矩与平面力偶系

【教学目标】

1. 理解力矩和合力矩定理，能熟练地计算力对点的矩。
2. 理解力偶和力偶矩的概念，掌握力偶的性质。
3. 理解平面力偶系的合成和平衡条件，能应用平衡条件求解平面力偶系的平衡问题。

【解题方法】

本章习题的主要类型是求解平面力偶系的平衡问题。求解平面力偶系平衡问题的步骤与用解析法求解平面汇交力系的平衡问题步骤相比，除不需建立坐标系外，其他方面基本相同。

注意点：

1. 由于平面力偶系独立的平衡方程数目为 1，所以本章画物体受力图要根据力偶只能与力偶平衡的性质来画，使受力图上的未知数一般不超过一个。
2. 平面问题中的力矩为代数量，空间问题中的力矩为矢量。

【典型例题】

【例 1】力与力偶有什么异同？

【解答】如前所述，力是物体之间相互的机械作用，其作用效果可使物体的运动状态发生变化或者使物体发生变形。而力偶是由两个大小相等、方向相反、作用线平行但不重合的力所组成的力系。但力偶也是物体之间相互的机械作用，其作用效果也是使物体的运动状态发生变化（外效应）或者使物体发生变形（内效应）。

力可以使物体平动，也可以使物体转动；但是力偶只能使物体转动，而不能使物体平动。即力与力偶的内效应与外效应并不等同。力偶没有合力，因此它不能用一个力来代替，也不能用一个力与其平衡。力偶只能用力偶来代替，也只能与力偶平衡。力与力偶是物体之间相互作用的两种最简单的、最基本的形式。换句话说，不管两个物体之间的相互作用多么复杂，归根到底不外乎是一个力，或者是一个力偶，或者是力与力偶的组合。

【例 2】铰链四链杆机构 $OABO_1$ 在如图 2-3-1 所示位置平衡，已知 $OA=0.4\text{ m}$ ，

$O_1B=0.6\text{ m}$, 作用在曲柄 OA 上的力偶矩 $M_1=1\text{ N}\cdot\text{m}$, 不计杆重, 求力偶矩 M_2 的大小及链杆 AB 所受的力。

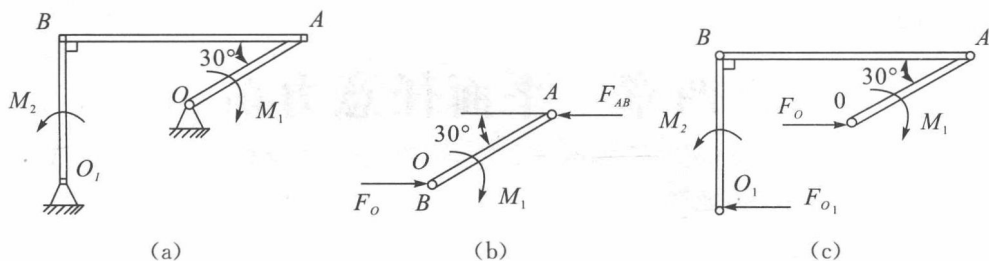


图 2-3-1

【解答】

1. 求杆 AB 受力:

(1) 取曲柄 OA 画受力图如图 2-3-1 (b) 所示。杆 AB 为二力杆。

(2) 列平衡方程:

$$\sum M = 0, -M_1 + F_{AB} \times OA \sin 30^\circ = 0$$

(3) 求解未知量。

将已知条件 $M_1=1\text{ N}\cdot\text{m}$, $OA=0.4\text{ m}$, 代入平衡方程, 解得:

$$F_{AB}=5\text{ N}, AB \text{ 杆受拉。}$$

2. 求力偶矩 M_2 的大小。

(1) 取铰链四链杆机构 $OABO_1$ 画受力图如图 2-3-1 (c) 所示。 F_O 和 F_{O_1} 构成力偶。

(2) 列平衡方程:

$$\sum M = 0, -M_1 + M_2 - F_O \times (O_1B - OA \sin 30^\circ) = 0$$

(3) 求解未知量。

将已知条件 $M_1=1\text{ N}\cdot\text{m}$, $OA=0.4\text{ m}$, $O_1B=0.6\text{ m}$ 代入平衡方程, 解得:

$$M_2=3\text{ N}\cdot\text{m}$$

第四章 平面任意力系

【教学目标】

1. 掌握力的平移定理。
2. 理解平面任意力系向任一点简化的方法，会计算平面任意力系的主矢、主矩及简化的最后结果。
3. 熟悉平面任意力系和平面平行力系各种形式的平衡方程及其限制条件。能熟练地运用平面任意力系的平衡方程求解单个物体和简单物体系统的平衡问题。

【解题方法】

本章习题主要有下列两种类型。

一、平面任意力系的简化与合成

解题步骤：

(1) 选取简化中心和直角坐标系。

(2) 确定主矢：

$$F'_R = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2}, \tan \alpha = \left| \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \right|$$

(3) 确定主矩：

$$M_O = \sum M_O = M_O(F_1) + M_O(F_2) + \cdots + M_O(F_n) = \sum M_O(F)$$

(4) 确定合成结果：对简化结果进行讨论，确定平面任意力系的最终合成结果。若主矢与主矩均不为零，则需根据 $d = \frac{|M_O|}{F_R}$ ，确定合力作用线的位置。

注意点：

(1) “简化”是指用一个较为简单的力系，来等效代替一个较为复杂的力系；而“合成”则是指用一个力或一个力偶，来等效代替一个力系。两者概念不同，要注意区分。

(2) 平面平行力系的简化依据、一般结果与最终结果均与平面任意力系相同。