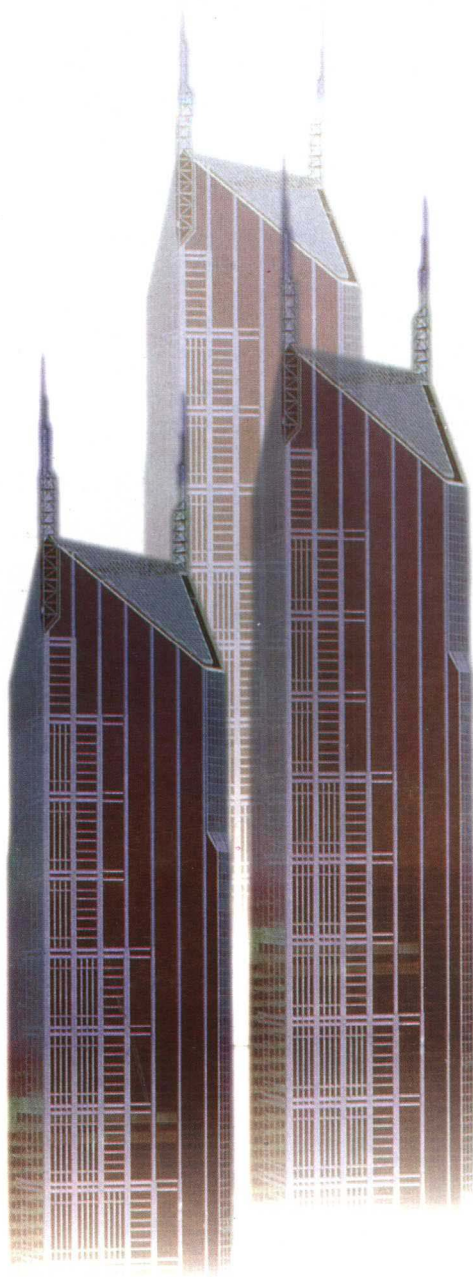


中等专业学校工业与民用建筑专业系列教材

# 建筑力学学习指导



武汉工业大学出版社

吴明军 主编  
葛建平 副主编  
樊瑜波 审编



中等专业学校“工业与民用建筑专业”系列教材

# 建筑力学学习指导

主 编 吴明军      副主编 葛建平  
主 审 樊瑜波



武汉工业大学出版社

· 武 汉 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

建筑力学学习指导/吴明军主编. —武汉:武汉工业大学出版社,2000.7

中等专业学校“工业与民用建筑专业”系列教材

ISBN 7-5629-1533-4

I. 建… II. 吴… III. 建筑力学-专业学校-教学参考资料 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 25099 号

## 内 容 简 介

本书是中等专业学校“工业与民用建筑专业”系列教材的配套教学参考书,旨在帮助学生深入理解力学概念,提高分析、解决工程结构中简单力学问题的能力。全书分静力学、材料力学、结构力学三部分,共 26 章。各章包括学习目标、疑难与释疑、解题指导、补充思考题等四项内容。书后附录编入了测试题 I ~ IV。

本书可作为中专土建类及同层次相关专业力学课辅导教材或自学读物。

武汉工业大学出版社出版发行

(武昌珞狮路 122 号 邮编:430070)

武汉工业大学出版社印刷厂印刷

新华书店经销

\*

开本:787×1092 1/16 印张:12.5 字数:321 千字

2000 年 7 月第 1 版 2000 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:15.00 元

(本书如有印装质量问题,可向承印厂调换)

# 中等专业学校“工业与民用建筑专业”系列教材

## 出版说明

为了适应中等专业学校“工业与民用建筑专业”教学,以及该专业中专层次各种形式办学和培训的需要,武汉工业大学出版社组织了部分建筑工程、建筑材料中等专业学校,邀请熟悉中专教学规律,有丰富教学实践经验和体会的教师,编写了中等专业学校“工业与民用建筑专业”系列教材。

这套教材依据建设部普通中等专业学校“工业与民用建筑专业”培养方案规定的培养目标、毕业生的业务范围和基本规格,各科内容按照培养方案提出的毕业生应具备的基础知识、专业知识和业务能力的要求进行编写。在编写中、力求做到理论联系实际,结构体系合理,取材恰当,叙述清楚,具有思想性、科学性、实用性、先进性的鲜明特点。在专业技术方面,采用国家颁发的现行规范、标准和规定。教材中的专业术语、符号和计量单位采用《建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语》国家标准,并应符合《中华人民共和国法定计量单位使用方法》及有关国家标准的规定。

这套教材主要用于中等专业学校工业与民用建筑专业和相关专业的课程教学,也可供中专层次的电教函授、自学考试、职工岗位技术培训等参考选用。我们诚恳期望广大读者在使用这套教材的过程中提出宝贵意见和建议,以便今后不断修改和完善。

中等专业学校“工业与民用建筑专业”系列教材编委会

1997年5月8日

### 中等专业学校“工业与民用建筑专业”系列教材 编委会成员名单

顾问:周功亚

主任:高鸣涵

副主任:曹文聪 孙成林 范文昭

委员:周相玉 吴润华 高远 陈·英 朱永祥 毛小玲 余胜光

冯美宇 梁春光 赵爱民 范德均 王学通 范文昭 宫杰

张文祥 吴振旺 喻建华 杨太生 叶胜川 高文安 吴泽

丁卿 刘自强 胡兴福 吴明军 危道军 杜喜成 蔡德明

田道全 李梅 黄春 杨学忠

秘书长:杨学忠

## 前 言

本书是武汉工业大学出版社出版的中等专业学校“工业与民用建筑专业”系列教材《建筑力学》(上、下册)的配套教学参考书,也可作为土建类中专其他专业(如公路与桥梁专业、水工建筑专业等)和相应类别的职业高中、技工学校学生的力学课辅导教材或参考读物。

建筑力学(或工程力学)课是土建类专业的重要技术基础课程。由于其理论性较强,抽象性较高,学生普遍感到学习难度较大,教师感到难教,为此,编写了此配套教材。①明确提出各章节的学习目标,便于学生和教师把握;②对各章节的学习、教学和工程实践中的常见疑难问题给予深入浅出的解释,有助于力学概念的学习、教学和应用;③以精选的典型例题为线索,编写解题指导,便于学生学习解题方法,也供教师在解题教学中参考;④在前十六章选编了一些补充思考题,既是对教材思考题的补充,又是更具针对性的思考练习题目。我们希望本辅导教材能对学生克服力学的学习难点,提高应用力学概念的能力,以及分析解决工程结构中的简单力学问题起到良好的帮助作用。

本辅导教材的静力学部分由天津市建筑工程学校田金茹编写,材料力学部分以及第二十四章由四川省建筑工程学校吴明军编写,结构力学部分由太原城市建设学校葛建平、李贵生编写。吴明军任主编,葛建平任副主编。

本辅导教材由四川大学建筑学院副院长、力学教授樊瑜波博士负责审稿。樊教授对书稿提出了诸多宝贵的建设性意见,使本书更臻完善,在此表示最诚挚的感谢!

编 者

2000年1月

# 目 录

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 静力学 .....             | (1)   |
| 第一章 物体的受力分析 .....     | (1)   |
| 第二章 平面汇交力系 .....      | (6)   |
| 第三章 力矩和平面力偶系 .....    | (10)  |
| 第四章 平面任意力系 .....      | (14)  |
| 第五章 空间力系 .....        | (21)  |
| 材料力学 .....            | (24)  |
| 第六章 材料力学的基本概念 .....   | (24)  |
| 第七章 轴向拉伸与压缩 .....     | (26)  |
| 第八章 剪切与挤压 .....       | (41)  |
| 第九章 扭转 .....          | (49)  |
| 第十章 平面图形的几何性质 .....   | (62)  |
| 第十一章 梁的内力 .....       | (67)  |
| 第十二章 弯曲应力 .....       | (77)  |
| 第十三章 弯曲变形 .....       | (88)  |
| 第十四章 组合变形的强度计算 .....  | (94)  |
| 第十五章 压杆稳定 .....       | (100) |
| 第十六章 动荷应力 .....       | (105) |
| 结构力学 .....            | (109) |
| 第十七章 结构的计算简图 .....    | (109) |
| 第十八章 平面体系几何组成分析 ..... | (111) |
| 第十九章 静定结构内力分析 .....   | (114) |
| 第二十章 静定结构位移计算 .....   | (124) |
| 第二十一章 力法 .....        | (131) |
| 第二十二章 位移法 .....       | (140) |
| 第二十三章 力矩分配法 .....     | (147) |
| 第二十四章 迭代法 .....       | (152) |
| 第二十五章 $D$ 值法 .....    | (164) |
| 第二十六章 影响线 .....       | (168) |

附录 ..... (173)

    建筑力学测试题 I ..... (173)

    建筑力学测试题 II ..... (177)

    建筑力学测试题 III ..... (181)

    建筑力学测试题 IV ..... (184)

# 静 力 学

---

## 第一章 物体的受力分析

### 一、学习目标

#### 知识目标

- (1)理解平衡的概念、力的概念、刚体的概念。
- (2)理解、记熟约束、约束反力的定义以及几种常见的约束类型。
- (3)理解二力平衡公理,力的可传性原理,力的平行四边形公理,三力平衡汇交定理和作用力与反作用力公理,并了解以上各公理、定理的适用范围。

#### 能力目标

- (1)掌握力的图示法。
- (2)熟练掌握六种常见的约束类型,各种约束的特性,约束反力的画法及符号的选用。
- (3)能根据具体问题正确地选取研究对象,准确而熟练地画出研究对象的受力图。

### 二、疑难与释疑

#### 1. 如何理解平衡规律?

所谓平衡是指物体相对于地球处于静止或匀速直线运动状态。在自然界中,行人在走路,起重机在工作,火车在行驶,地球自转且绕太阳公转……可见,一切物体都在运动。运动是绝对的,但对运动的描述则是相对的,即描述运动要选取参照物。在不同的参照物下,对运动的描述则不同。平衡也是一种运动状态,是选取地球为参照物,是相对于地球的两种特殊运动状态:一种是静止,如房屋等建筑物、港口码头、水坝、桥梁等相对于地球处于静止不动的状态;另一种是匀速直线运动状态,如火车在直线轨道上匀速行驶,物件被起重机沿直线匀速起吊等。它们都属于平衡状态。

#### 2. 如何理解刚体的概念(刚体与物体的关系)?

所谓刚体,是指在力的作用下,大小和形状保持不变的物体。实际上任何物体受力后,都会产生不同程度的变形,绝对不变形的物体是不存在的。刚体是理想化的力学模型。在静力学中,我们把物体视为刚体,这样的抽象化,可使对问题的研究大为简化,而计算结果足以满足工程实践的需要,因此,是具有现实意义的科学的研究方法。然而,在所研究的问题中,当变形居于

主要地位时,就不能再把物体视为刚体,而应视为变形体。

### 3. 约束反力与反作用力有何区别?

约束作用于被约束物体上的力称为约束反力。当物体解除约束后有运动或运动趋势时,阻碍这种运动或运动趋势的力就是约束反力。有主动力才能产生约束反力。反作用力则是与作用力同时出现,分别作用在两个相互作用物体上的大小相等、方向相反,沿同一作用线作用的一对力。可见,约束反力与主动力是作用在同一物体上的一群力系;反作用力和作用力则是分别作用在两个物体上的一对力。我们用叠放在桌面上的两个物体的受力分析来说明约束反力与反作用力的差异。图 1-1 中  $A$  物体重  $G_A$ ,  $B$  物体重  $G_B$ 。

取  $A$  物体为研究对象: $A$  物体所受的主动力为本身的重力  $G_A$ ,约束反力则为  $B$  物体给予的反力  $N_B$ 。

取  $B$  物体为研究对象: $B$  物体所受的主动力为本身的重力  $G_B$  以及  $A$  物体给  $B$  物体的力  $N_B'$ ,它是  $N_B$  的反作用力,约束反力则为桌面给  $B$  物体的反力  $N$ 。

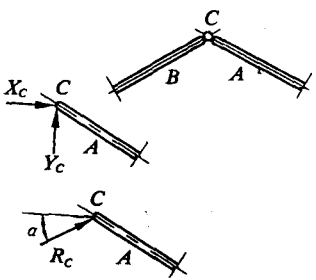
从图中可见,在同一个物体上同时存在的只有主动力和约束反力,而在我们分别拆开的两个物体之间才能出现反作用力和作用力,即在拆开的  $A$ 、 $B$  两物体的接触面上的  $N_B$ 、 $N_B'$  才是作用力与反作用力的关系。

### 4. 如何理解约束的性能? 怎样画约束反力?

学习静力学的重点之一是要准确迅速地画出研究对象的受力图,这是解决力学问题的关键。由于主动力一般是已知的,所以画受力图主要在于正确地分析约束反力。而约束反力由约束的性能确定。对约束性能的理解是初学力学的一个难点。现将教材中所列常见几种类型约束的特征列一简表,供参考(表 1-1)。

几种常见约束类型简表

表 1-1

| 约束名称   | 反力特点                    | 反力代表符号 | 简化后约束                                                                               | 工程中可简化此种约束举例                        |
|--------|-------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 柔体约束   | 通过接触点,其方向沿着柔体中心线,是拉力    | $T$    |                                                                                     | 工程中的绳索、链条、胶带、皮带等                    |
| 光滑面约束  | 通过接触点,其方向沿着接触面公法线,是压力   | $N$    |                                                                                     | 轨道对于车轮的约束,托轮对管模的约束等,或当接触面摩擦力很小,忽略不计 |
| 圆柱铰链约束 | 在垂直销钉轴线的平面内,通过销钉中心,方向未定 |        |  | 门窗用的合页,活塞销,起重杆与拨杆的连接等               |

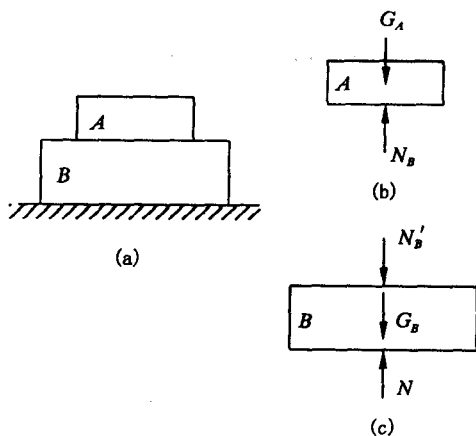
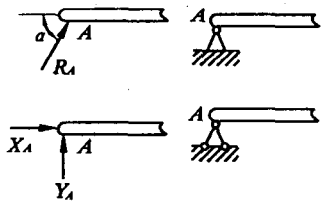
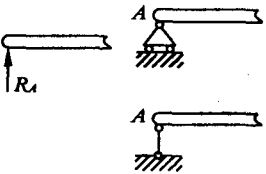
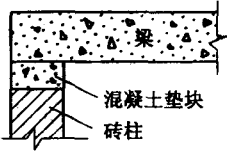


图 1-1

|             |                    |                                                                                   |                                                                                                                               |
|-------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 固定铰支座       | 与圆柱铰链相同            |  | 桥梁的支座,用沥青麻丝填实与插入杯形基础的柱底支座,焊接屋架与柱的连接节点                                                                                         |
| 可动铰支座(辊轴支座) | 通过销钉中心,垂直于支承面,指向未定 |  |  <p>混凝土垫块<br/>砖柱</p> <p>横梁通过混凝土垫块支承在砖柱上</p> |

### 三、解题指导

【例 1-1】试画出图 1-2 中物体的受力图,假定各接触面都是光滑的。

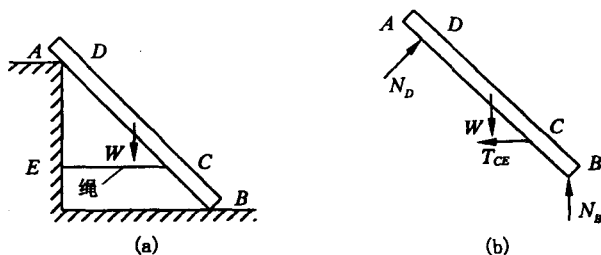


图 1-2

**解题指导** 首先选取研究对象,本题研究对象为图中物体  $AB$ 。将所有的约束去掉,把  $AB$  杆画出,然后先画出所有的主动力,再在解除约束处,根据约束的类型,画出相应的约束反力。

**解** ①取  $AB$  杆为研究对象。

②画出作用在  $AB$  杆上的主动力  $W$ 。

③画出约束反力。 $B$ 、 $D$  两点与杆是光滑面约束,所以反力应为沿着接触面的公法线指向  $AB$  杆的压力  $N_B$ 、 $N_D$ 。 $CE$  绳为柔体约束,柔体约束反力应为作用在  $C$  点,沿绳  $CE$  的中心线的拉力  $T_{CE}$ 。

④检查受力图,不要漏画力、多画力和错画力。

【例 1-2】图 1-3 所示刚架  $AB$ ,一端为固定铰支座,另一端为可动铰支座,试画出刚架的受力图(刚架的自重不计)。

**解题指导** 因刚架自重不计,主动力只有外力  $P$ 。 $A$ 、 $B$  两端为支座, $A$  端为可动铰支座,反力  $R_A$  的作用线可以确定。 $B$  端为固定铰支座,一般情况下可用分力来表示。但在本题中,刚架  $AB$  只受到三个力  $P$ 、 $R_A$ 、 $R_B$  的作用,处于平衡状态。由三力平衡汇交定理可知,三个力的作用

线必定汇交于一点,即可确定固定铰支座  $B$  的反力  $R_B$  作用线。

**解** ①取刚架为研究对象,去掉约束,单独画出刚架。

②画主动力。在原主动力  $P$  的作用点  $C$  画上主动力  $P$ 。

③画约束反力。 $A$  点为可动铰支座,反力垂直于支承面,指向假定为向上。 $B$  点为固定铰支座,反力一定通过  $B$  点。由三力平衡汇交定理可知, $B$  点反力  $R_B$  的作用线一定通过力  $P$  与  $R_A$  作用线的交点  $C$  点,所以  $B$  点反力的作用线为  $B$ 、 $C$  的连线,指向可以假定为斜向上,即可画出  $B$  点的反力  $R_B$ 。

④检查受力图是否正确。

**【例 1-3】** 试画出图 1-4 所示整个物系和物系中每个物体的受力图。图中未注明重力的物体,其自重不计。

**解题指导** 本题为物体系统的受力分析。以后研究问题时经常会遇到此类问题。这类问题有时需要画整个物系的受力图,有时又要取其某一部分为研究对象,这时研究对象的选取就相当重要了。画物体系统的受力图时如果要选整个物系为研究对象,只要把与外界连系的约束去掉即可。本题只把  $A$  点的固定铰支座去掉,将  $B$  点及挂重物的绳子去掉即可。整个物系是由重物  $E$ ,滑轮  $O$  及杆  $AB$  由约束连接而成。所以要将有约束的地方拆开,再分别画各物体的受力图。

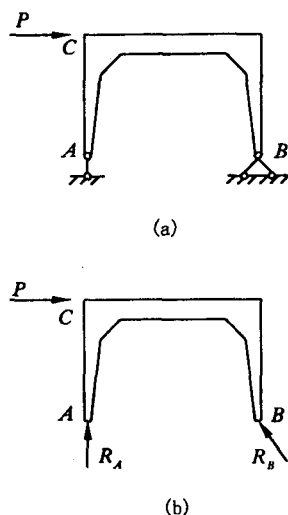


图 1-3

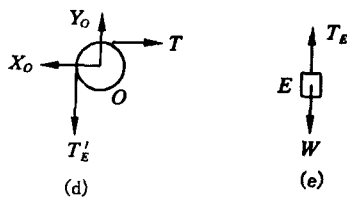
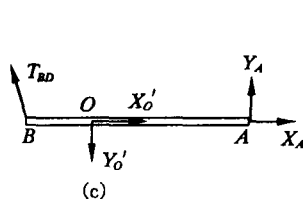
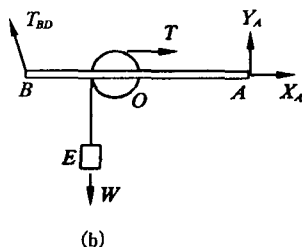
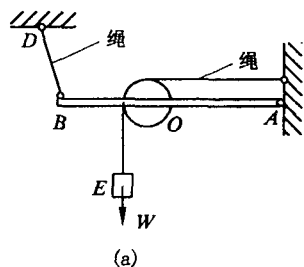


图 1-4

**解** ①取物系为研究对象,画出重物  $E$ ,滑轮  $O$  和杆  $AB$  构成的整体。

②画主动力。系统主动力只有重物  $E$  的重力  $W$ 。

③画约束反力。在  $B$  点和滑轮上面是柔体约束,约束反力是沿柔体中心线的拉力  $T_{BD}$  和  $T$ 。 $A$  点是固定铰支座,可用通过  $A$  点的两个分力  $X_A$ 、 $Y_A$  表示,指向可假设。

④画重物的受力图。取物块  $E$  为研究对象,先画主动力  $W$ ,再画绳子的拉力  $T_E$ 。

⑤画滑轮的受力图。取滑轮为研究对象,在轮上都是约束对滑轮的约束反力,没有主动力。滑轮边缘上有绳子的力  $T$  及  $T_E'$ ,轮心上有圆柱铰给滑轮的力,可用两个分力  $X_O$ 、 $Y_O$  表示,指向可假设。

⑥画杆  $AB$  的受力图。取  $AB$  杆为研究对象。 $B$  点有绳  $BD$  的拉力  $T_{BD}$ ； $A$  点有固定铰支座的反力，可用通过  $A$  点的分力表示，但指向要与整体图的假设一致。轮  $O$  对杆  $AB$  的作用是主动力，它与轮  $O$  在轮心所受的力是作用力与反作用力的关系。轮心所受力的方向已经假设，这里就应画出与轮  $O$  在轮心所受的力大小相等、方向相反的力，如图中  $Y_o'$  与  $X_o'$ 。

这里需要说明，画物系受力图时应注意以下问题：

- (1) 物体系统受力图与分离体的受力图中，同一约束处的反力方向假设必须一致。
- (2) 在分析两物体之间的相互作用力时，必须注意作用力与反作用力的关系。作用力的方向一经确定(或假定)，反作用力的方向就必须与它方向相反、作用线共线或平行、代号相同。
- (3) 画物体系统受力图时，只画外力，不画内力。

#### 四、补充思考题

1. 两个大小相等的力对物体的作用效果是否相同？为什么？
2. “二力平衡公理”与“作用力与反作用力公理”都是二力等值、反向、共线，它们有何区别？
3. “两个分力的合力总是大于每个分力”这句话对吗？为什么？
4. 试在图 1-5 构件上的  $A$ 、 $B$  两点上各加一个力，使构件处于平衡。

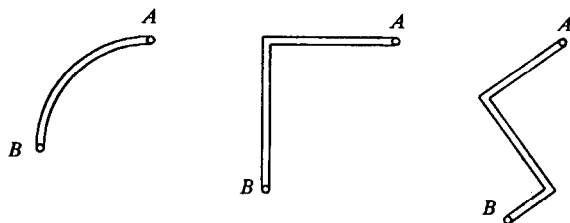


图 1-5

5. 指出下列受力图(图 1-6)中的错误，并改正之。

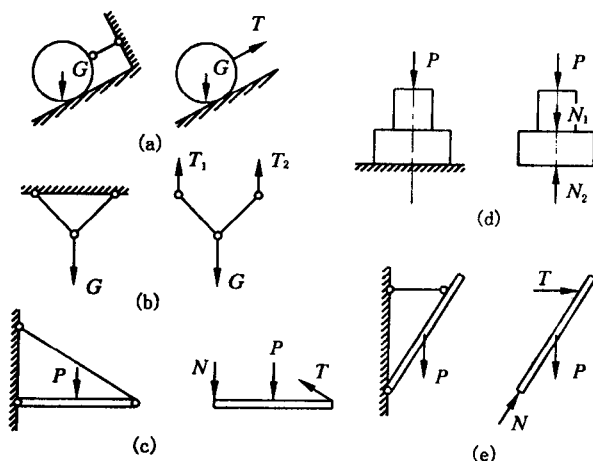


图 1-6

## 第二章 平面汇交力系

### 一、学习目标

#### 知识目标

- (1)了解力系的定义及分类,平面汇交力系的定义,理解力的多边形法则。
- (2)理解、记熟力在坐标轴上的投影定义,以及正、负符号的规定。
- (3)理解、记熟平面汇交力系平衡的必要和充分条件(几何法和解析法)。
- (4)理解平面汇交力系合力投影定理。

#### 能力目标

- (1)掌握平面汇交力系的力多边形做法。
- (2)熟练掌握力在坐标轴上的投影计算。
- (3)掌握用解析法求平面汇交力系的合力。
- (4)掌握用几何法求解平面汇交力系的平衡问题。
- (5)熟练掌握用解析法求平面汇交力系的平衡问题。

### 二、疑难与释疑

#### 1. 力多边形与几何多边形有何异同?

相同点:都是由一定的线段组成的几何图形。

不同点:几何多边形与力多边形中的线段表示的意义不同。力多边形中的线段不仅表示力的大小而且还表示力的方向。用力多边形法则求合力时,若按不同顺序画各分力,则力多边形的形状将不相同,但不会影响合力的大小和方向,即力多边形的意义不变。若几何多边形的形状改变,则该图形的意义也随之发生变化。

2. 力的投影与分力有什么不同?在什么情况下,力沿坐标轴的分力才与力在同一坐标轴上的投影在数值上相等?

分力是矢量,其效果与作用点(或作用线)有关;而力在坐标轴上的投影是代数量,无所谓作用点(或作用线)。所以不能将分力和投影混为一谈。只有当采用直角坐标系时,力沿坐标轴分力才与力在同一坐标轴上的投影在数值上相等。

#### 3. 如何理解力的方向与其投影正负号的规定?力在坐标轴上的投影有哪几种特殊情况?

力的投影正负号规定为:当从力矢的尾端的投影到首端的投影的方向与投影轴的正向一致时,力的投影取正值;反之,取负值。从直观上可以理解为力的指向与轴的正方向趋于一致(夹角小于 $90^\circ$ )时,则力的投影为正值;反之为负值。通常都用直观判断的方法来确定投影的正负。力在坐标轴上的投影有两种特殊情况:一是当力与坐标轴垂直时,力在该轴上的投影等于零;另一是当力与坐标轴平行时,力在该轴上投影的绝对值等于力的大小。

### 三、解题指导

【例 2-1】某混凝土大坝施工时,模板用四个钢筋拉条系在埋设的钢环上(通常称鸭脚

环),如图 2-1 所示。已知四根钢筋拉条受到的拉力分别为: $T_1=T_4=700\text{N}$ , $T_2=T_3=600\text{N}$ 。四根钢筋拉条的位置如图所示。试用几何法求出这四个力的合力。

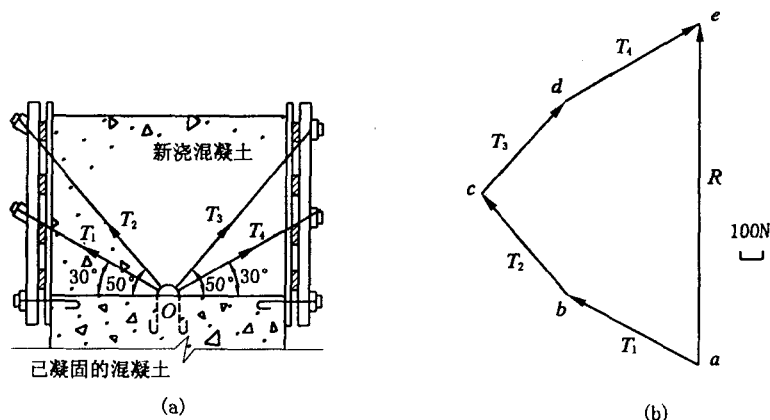


图 2-1

**解题指导** 题中  $T_1, T_2, T_3, T_4$  四个力都作用在钢环上,即可认为四力汇交于钢环中心  $O$ 。以  $O$  点为研究对象,用几何法求平面汇交力系的合力,作题时要注意选好比例尺,作图要尽量准确。

**解** 选定比例尺如图,按力的多边形法则在适当的位置选一点  $a$  (所谓适当位置是指画出的图形不要偏离太远,甚至画出纸外),作  $\vec{ab}=T_1, \vec{bc}=T_2, \vec{cd}=T_3, \vec{de}=T_4$ ,连接  $T_1$  的起点  $a$  和  $T_4$  的终点  $e$ ,则矢量  $\vec{ae}$  就是合力  $R$ 。依比例尺量得: $R \approx 1620\text{N}$ ,方向铅直向上,合力  $R$  的作用线通过各力的汇交点  $O$ 。

**【例 2-2】** 起吊双曲拱桥的拱肋时,在图 2-2 所示位置成平衡,用几何法求钢索  $AB$  和  $AC$  的拉力。设  $W=30\text{kN}$ 。

**解题指导** 本题为用几何法求平衡问题。平面汇交力系的平衡条件只能求两个未知量,欲求钢索  $AC, AB$  的拉力,应先求出  $T$  力的大小。为此我们先从整体(图 2-2a)可以看到只受到两个力的作用,由二力平衡知  $T=W=30\text{kN}$ 。然后再取  $A$  点为研究对象进行分析。 $A$  点受三力作用, $T$  力已知, $T_{AB}, T_{AC}$  的方向已知,求  $T_{AB}, T_{AC}$  的大小。两个未知量,即可用力多边形法则求出。

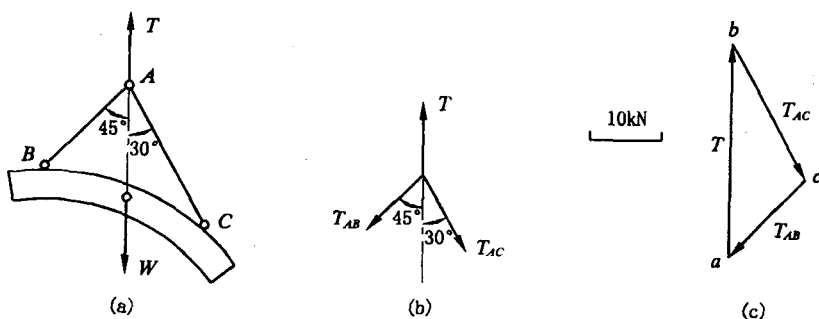


图 2-2

**解** 取整体分析, 只受两个力  $T$ 、 $W$  作用而平衡, 由二力平衡条件得  $T=W=30\text{kN}$ 。选比例尺如图 2-2c, 画出  $A$  点的受力图。任选一点  $a$ , 作  $\vec{ab}=T$ 。过  $b$  点作  $T_{AC}$  作用线的平行线, 过  $a$  点作  $T_{AB}$  作用线的平行线, 它们交于  $c$  点, 即得一力三角形  $abc$ 。按比例尺量得  $T_{AC}=bc=22\text{kN}$ ,  $T_{AB}=ac=15.5\text{kN}$ 。

应该指出, 应用力多边形闭合条件求解未知力时, 如未知力的指向未定, 在画研究对象受力图时, 也可不假设其指向, 暂只画其作用线, 待闭合的力多边形作出后, 根据各力首尾相接的条件来确定其指向, 然后再把它画在受力图上。

**【例 2-3】** 套环  $C$  可在铅直杆  $AB$  上滑动。套环受三个力  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_3$  作用, 如图 2-3 所示。已知  $F_1=2.0\text{kN}$ ,  $F_2=1.6\text{kN}$ , 要使这三个力的合力沿水平方向, 问  $F_3$  应等于多少? 并求此时三力的合力。

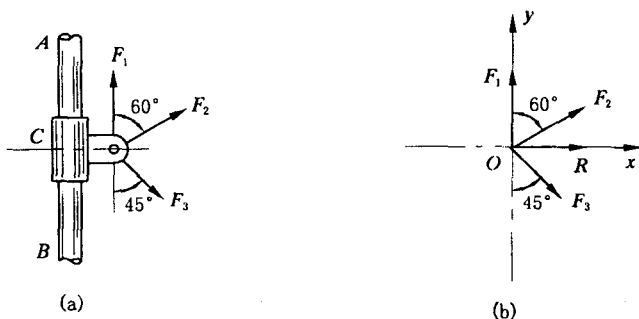


图 2-3

**解题指导** 本题已知  $F_1$ 、 $F_2$  的大小和方向,  $F_3$  和  $R$  的方向, 求  $F_3$  和  $R$  的大小。力在坐标轴投影的一种特殊情况是当力与坐标轴垂直时, 力在该轴上的投影等于零。以三力汇交点为原点, 水平线为  $x$  轴, 竖直线为  $y$  轴, 建立直角坐标系(图 2-3)。由于合力  $R$  在水平方向上, 垂直于  $y$  轴, 因此合力  $R$  在  $y$  轴上的投影为零, 由此就可以求出  $F_3$  的大小。已知  $F_3$ , 就可求出合力  $R$  的大小。

**解** 首先选三个力的汇交点  $O$  为研究对象, 画出研究对象的受力图, 如图 2-3 所示。选取如图所示的直角坐标系  $Oxy$ 。因为合力  $R$  垂直于  $y$  轴, 所以  $R$  在  $y$  轴上的投影为零, 即得:

$$R_y = \sum y = F_1 + F_2 \cos 60^\circ - F_3 \cos 45^\circ = 0$$

故

$$F_3 = \frac{F_1 + F_2 \cos 60^\circ}{\cos 45^\circ} = \frac{2 + 1.6 \times 0.5}{0.707} = 3.96\text{kN}$$

因  $R$  在  $x$  轴上, 故  $R$  在  $x$  轴上投影的绝对值就是该力, 即

$$R_x = R = \sum x = F_2 \sin 60^\circ + F_3 \sin 45^\circ = 1.6 \times 0.866 + 3.96 \times 0.707 = 4.19\text{kN}$$

结论: 要使这三个力的合力沿水平方向,  $F_3$  应等于  $3.96\text{kN}$ ; 此时合力大小为  $4.19\text{kN}$ 。

**【例 2-4】** 球重  $W_1=100\text{N}$ , 置于光滑水平面上, 受力情况如图 2-4a 所示(不计摩擦)。当球处于平衡时, 试求拉力  $T$  和平面对球的约束反力  $N$ 。已知物体  $M$  重  $W_2=150\text{N}$ 。

**解题指导** 由定滑轮知识知, 绳  $CD$  对球的拉力  $T_{CD}=T$ , 平面对小球的约束反力  $N$  也作用在小球上, 所以可取小球为研究对象。小球所受力系为作用在球心的平面汇交力系。重物  $M$  受到两个力的作用而平衡, 由二力平衡可求出  $T_{ME}=W_2$ 。因不计摩擦, 故绳  $BE$  对球的拉力  $T_{BE}=T_{ME}=W_2$ 。于是, 所求的拉力  $T$  和反力  $N$  即可由球上的平面汇交力系的平衡方程求出。

**解** 因物体  $M$  受到两个力的作用。由二力平衡可知,  $T_{EM}=W_2=150\text{N}$ 。又因不计摩擦, 于是  $T_{BE}=T_{EM}=150\text{N}$ 。

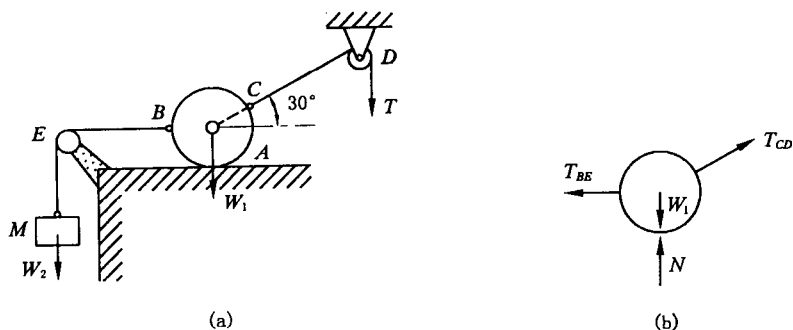


图 2-4

取小球为研究对象,画出小球受力图。选取直角坐标系如图 2-4b。由平衡条件得:

$$\begin{aligned}\sum x &= 0, & -T_{BE} + T_{CD}\cos 30^\circ &= 0 \\ & & T_{CD} &= 173.2\text{N} \\ \sum y &= 0, & T_{CD}\sin 30^\circ - W_1 + N &= 0 \\ & & N &= 13.4\text{N}\end{aligned}$$

因不计摩擦,故  $T = T_{CD} = 173.2\text{N}$ 。

结论:拉力  $T = 173.2\text{N}$ ,方向如图;

反力  $N = 13.4\text{N}$ ,方向如图。

#### 四、补充思考题

1. 应用力多边形法则求平面汇交力系的合力时,力的次序对合力有无影响?为什么?
2. 两个力在同一坐标轴上的投影相等,这两个力是否一定相等?同一个力在两个互相平行的轴上的投影有何关系?
3. 图 2-5 所示的平面汇交力系中,  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_1'$ 、 $F_2'$ 、 $F_3'$  分别组成力三角形,试说明它们各代表什么意义?

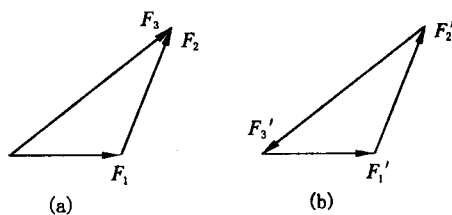


图 2-5

## 第三章 力矩和平面力偶系

### 一、学习目标

#### 知识目标

- (1)理解、记熟力对点之矩的定义及其正、负符号的规定。
- (2)理解、记熟力偶的定义,力偶的三要素及其基本性质,力偶矩的计算及其正、负符号的规定。
- (3)理解平面力偶系的合成结果及平衡方程。
- (4)理解力的平移定理和合力矩定理。

#### 能力目标

- (1)能熟练计算力矩,并能应用合力矩定理来简化力矩的计算。
- (2)能求解平面力偶系的平衡问题。

### 二、疑难与释疑

#### 1. 试说明力矩与力偶的异同?

力矩与力偶的相同点:力矩和力偶都是度量力对物体转动效应的物理量,它们采用的是相同的单位及正、负符号的规定。

力矩和力偶的不同点:力矩是一个力对物体的作用,使物体绕矩心转动的作用效果取决于力和力臂的大小,即与矩心有关。力偶则是两个同时作用的等值、反向、平行(不共线)的力,物体的转动效果与矩心无关。

#### 2. 如何理解力偶的基本性质?

理解力偶的基本性质,对于平面一般力系的计算很有益处,要理解、记熟以下几个要点:

(1)力偶没有合力,即不能用一个力来代替。不通过物体重心的一个力对物体有移动和转动两种效应,而力偶作用在物体上任一处都只有转动效应,没有移动效应。所以力偶既不能合成一个力,也不能和一个力平衡。力偶只能与力偶平衡。由于力偶中的两个力互相平行、大小相等、方向相反,因此它们在任一轴上的投影代数和等于零。

(2)力偶对其作用面内任一点之矩恒等于力偶矩,而与矩心的位置无关,这是显而易见的。对力偶的这两个特性一定要理解掌握,在以后的计算中大有益处。

### 三、解题指导

【例 3-1】 一个 1kN 的力作用在 A 点,方向如图 3-1。求:

- ①此力对 O 点之矩;
- ②在 A 点应作用多大的水平力,可使它对 O 点之矩与①中的力矩相同;
- ③要得到与①中对 O 点的同样力矩,求在 A 点应加的最小力;
- ④2.4kN 的铅垂力应加在杆上哪一点,它对 O 点之矩可与①相同。

**解题指导** 本题是巩固、理解力对点之矩的概念。①问可直接根据定义求力矩;其他几问