

21世纪高职高专“十二五”土木建筑类规划教材

# 建筑力学

主编/杨丽君  
副主编/包雯蕾 杨晓军



天津大学出版社  
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

# 建筑力学

第2版

中国建筑工业出版社

ISBN 7-112-11111-1

21 世纪高职高专“十二五”土木建筑类规划教材

# 建筑力学

主 编 杨丽君  
副主编 包雯蕾 杨晓军  
参 编 张兴兰 安 昶  
主 审 田树涛

 天津大学出版社  
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

## 内容提要

本教材是依据高职高专建筑力学课程教学基本要求,根据多年的教学实践经验专为高职高专院校中少学时(90~120学时)建筑力学课程而编写的。本教材体现了培养高等应用型人才的特点,坚持理论与实际相结合,注重实际动手能力的培养和综合素质的提高。本教材结合专业特点,依照土建类专业对建筑力学的要求,精选了理论力学、材料力学和结构力学的相关内容,形成了简练而相对完整的教学体系。

本书主要包括:绪论、静力学的基本概念、平面力系的合成与平衡、材料力学的基本概念、轴向拉伸和压缩、梁的弯曲、压杆稳定、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力分析、静定结构的位移计算、力法、力矩分配法、影响线。全书内容安排合理,理论概念阐述清楚,文字简明扼要,便于读者自学。各章均有小结、思考题、习题及习题答案。

本书适用于高职高专院校土建类专业,也可供建筑经济管理等专业使用,同时也可作为函授专科、自学考试、成人脱产教育以及工程技术人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/杨丽君主编. —天津:天津大学出版社,2012.1  
21世纪高职高专“十二五”土木建筑类规划教材  
ISBN 978-7-5618-4270-6

I. ①建… II. ①杨… III. ①建筑力学—高等职业教育—教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第001871号

出版发行 天津大学出版社  
出版人 杨欢  
地址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编:300072)  
电话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742  
网址 www.tjup.com  
印刷 河间市新诚印刷有限公司  
经销 全国各地新华书店  
开本 185mm×260mm  
印张 18  
字数 449千  
版次 2012年2月第1版  
印次 2012年2月第1次  
印数 1-3000  
定价 36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

# 前 言

教材建设是教学内容改革的重要基础。有关高职院校都十分重视教材建设,本教材就是根据高等职业院校的特点,在多年教学实践的基础上,为适应迅速发展的高等职业院校的教学需要而编写的中少学时建筑力学教材。

本教材一方面照顾到传统性,由静力学、材料力学、结构力学三部分的内容组成;另一方面又按建筑力学的统一性,对内容作了调整与选择。在内容取舍与安排上,尽量考虑使教材符合工程实际的需要,主要适用于建筑工程、工程监理、道路与桥梁等土建类专业,也可供建筑经济管理等专业人员使用,兼作同等专业的高等教育的函授教材、自学考试教材,还可作为相关专业工程技术人员的参考用书。

本教材在编写过程中,力求贯彻高等职业院校建筑力学课程教学的基本内容,并考虑到当前教材体制改革的要求及教学计划修改等因素,使其具有较为广泛的适用性,可供 90 ~ 120 学时选用。全书章节安排合理,充分考虑学生的知识水平和能力特点,体现高等职业教育力学课程的特色,理论推导从简,加强与实际工程的联系,着重基本理论的应用,把培养学生解决实际问题的能力放在首位。编写中力求概念准确清楚,理论推导简明扼要,突出重点,讲透难点,着重讲清解题思路与解题方法。本教材的特点是增大了例题和习题量,以此加深读者对基本概念的理解和解题的熟练程度,并提高读者综合应用理论和分析问题的基本素质。

本教材的编写人员从事多年力学教学工作,具有丰富的教学经验。参加本教材编写工作的有:甘肃建筑职业技术学院杨丽君(编写第 7、8、9、10、11 章和附录)、包雯蕾(编写绪论和第 1、2、6、12 章)、张兴兰(编写第 4、5 章),新疆农业职业技术学院杨晓军及安昶(编写第 3 章)。本教材由杨丽君副教授担任主编,田树涛副教授担任主审,包雯蕾、杨晓军担任副主编。

鉴于水平与经验所限,书中疏漏及不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2011 年 11 月

## 目 录

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| 绪论 .....                      | (1)  |
| 0.1 建筑力学的研究对象 .....           | (1)  |
| 0.2 建筑力学的基本任务 .....           | (2)  |
| 0.3 建筑力学的研究内容 .....           | (3)  |
| 0.4 建筑力学与其他课程的关系及学习意义 .....   | (4)  |
| 第1章 静力学的基本概念 .....            | (5)  |
| 1.1 力及力系的基本知识 .....           | (5)  |
| 1.2 静力学基本公理 .....             | (10) |
| 1.3 约束与约束反力 .....             | (12) |
| 1.4 结构的计算简图及分类 .....          | (15) |
| 1.5 物体的受力分析与受力图 .....         | (21) |
| 本章小结 .....                    | (25) |
| 思考题 .....                     | (27) |
| 习题 .....                      | (27) |
| 习题答案 .....                    | (30) |
| 第2章 平面力系的合成与平衡 .....          | (31) |
| 2.1 平面汇交力系合成与平衡的解析法 .....     | (32) |
| 2.2 平面力偶系的合成与平衡 .....         | (37) |
| 2.3 平面一般力系的简化 .....           | (40) |
| 2.4 平面一般力系的平衡条件及其应用 .....     | (43) |
| 2.5 物体系统的平衡及静定和超静定问题的概念 ..... | (50) |
| 本章小结 .....                    | (53) |
| 思考题 .....                     | (55) |
| 习题 .....                      | (55) |
| 习题答案 .....                    | (59) |
| 第3章 材料力学的基本概念 .....           | (61) |
| 3.1 变形固体及其基本假设 .....          | (61) |
| 3.2 杆件变形的基本形式 .....           | (62) |
| 3.3 内力、截面法、应力 .....           | (63) |
| 本章小结 .....                    | (65) |
| 思考题 .....                     | (65) |
| 第4章 轴向拉伸和压缩 .....             | (66) |
| 4.1 轴向拉伸和压缩时的内力及应力 .....      | (66) |
| 4.2 轴向拉(压)杆的变形及胡克定律 .....     | (72) |

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| 4.3 轴向拉(压)杆的强度条件及其应用 .....        | (74)         |
| 4.4 剪切与挤压 .....                   | (78)         |
| 本章小结 .....                        | (80)         |
| 思考题 .....                         | (82)         |
| 习题 .....                          | (82)         |
| 习题答案 .....                        | (84)         |
| <b>第5章 梁的弯曲</b> .....             | <b>(86)</b>  |
| 5.1 平面弯曲 .....                    | (86)         |
| 5.2 梁的弯曲内力 .....                  | (87)         |
| 5.3 用内力方程法绘制剪力图和弯矩图 .....         | (92)         |
| 5.4 用内力变化规律绘制剪力图和弯矩图 .....        | (97)         |
| 5.5 用叠加法画弯矩图 .....                | (101)        |
| 5.6 与应力分析相关的截面图形的几何性质 .....       | (105)        |
| 5.7 梁弯曲时的应力及强度条件 .....            | (109)        |
| 5.8 梁的变形 .....                    | (114)        |
| 5.9 组合变形 .....                    | (119)        |
| 本章小结 .....                        | (122)        |
| 思考题 .....                         | (123)        |
| 习题 .....                          | (124)        |
| 习题答案 .....                        | (128)        |
| <b>第6章 压杆稳定</b> .....             | <b>(129)</b> |
| 6.1 压杆稳定的概念 .....                 | (129)        |
| 6.2 临界力和临界应力 .....                | (130)        |
| 6.3 压杆的稳定计算 .....                 | (135)        |
| 6.4 提高压杆稳定性的措施 .....              | (140)        |
| 本章小结 .....                        | (141)        |
| 思考题 .....                         | (142)        |
| 习题 .....                          | (142)        |
| 习题答案 .....                        | (142)        |
| <b>第7章 平面体系的几何组成分析</b> .....      | <b>(144)</b> |
| 7.1 几何组成分析的目的、几何不变体系、几何可变体系 ..... | (144)        |
| 7.2 自由度和约束的概念 .....               | (144)        |
| 7.3 平面体系的几何组成基本规则 .....           | (147)        |
| 7.4 平面体系的几何组成分析举例 .....           | (149)        |
| 7.5 静定结构与超静定结构的概念 .....           | (153)        |
| 本章小结 .....                        | (154)        |
| 思考题 .....                         | (154)        |
| 习题 .....                          | (155)        |
| 习题答案 .....                        | (156)        |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 第 8 章 静定结构的内力分析 .....     | (157) |
| 8.1 多跨静定梁 .....           | (157) |
| 8.2 静定平面刚架 .....          | (160) |
| 8.3 静定平面桁架 .....          | (168) |
| 8.4 三铰拱 .....             | (174) |
| 本章小结 .....                | (179) |
| 思考题 .....                 | (180) |
| 习题 .....                  | (180) |
| 习题答案 .....                | (183) |
| 第 9 章 静定结构的位移计算 .....     | (185) |
| 9.1 计算结构位移的目的 .....       | (185) |
| 9.2 变形体的虚功原理 .....        | (186) |
| 9.3 结构位移计算的一般公式 .....     | (188) |
| 9.4 静定结构在荷载作用下的位移计算 ..... | (190) |
| 9.5 图乘法 .....             | (192) |
| 9.6 静定结构支座移动时的位移计算 .....  | (197) |
| 9.7 互等定理 .....            | (199) |
| 本章小结 .....                | (200) |
| 思考题 .....                 | (202) |
| 习题 .....                  | (203) |
| 习题答案 .....                | (205) |
| 第 10 章 力法 .....           | (207) |
| 10.1 超静定结构概述 .....        | (207) |
| 10.2 力法基本原理 .....         | (208) |
| 10.3 超静定次数的确定 .....       | (211) |
| 10.4 力法典型方程 .....         | (212) |
| 10.5 力法计算举例 .....         | (215) |
| 本章小结 .....                | (222) |
| 思考题 .....                 | (223) |
| 习题 .....                  | (223) |
| 习题答案 .....                | (225) |
| 第 11 章 力矩分配法 .....        | (227) |
| 11.1 房屋建筑中的连续梁 .....      | (227) |
| 11.2 力矩分配法计算连续梁 .....     | (227) |
| 11.3 多跨连续梁的计算 .....       | (238) |
| 11.4 计算实例 .....           | (240) |
| 本章小结 .....                | (246) |
| 思考题 .....                 | (246) |
| 习题 .....                  | (246) |

|                                         |       |
|-----------------------------------------|-------|
| 习题答案 .....                              | (248) |
| <b>第 12 章 影响线</b> .....                 | (249) |
| 12.1 移动荷载和影响线的概念 .....                  | (249) |
| 12.2 静力法作单跨静定梁的影响线 .....                | (250) |
| 12.3 间接荷载作用下的主梁影响线 .....                | (255) |
| 12.4 影响线的应用 .....                       | (257) |
| 12.5 简支梁的包络图和绝对最大弯矩 .....               | (261) |
| 本章小结 .....                              | (265) |
| 思考题 .....                               | (266) |
| 习题 .....                                | (266) |
| 习题答案 .....                              | (267) |
| <b>附录</b> .....                         | (268) |
| 附录 A 《金属材料 室温拉伸试验方法》性能名称、符号新旧标准对照 ..... | (268) |
| 附录 B 型钢表 .....                          | (269) |
| <b>参考文献</b> .....                       | (280) |

# 绪 论

## 【学习重点】

- 了解建筑力学的研究对象、内容及任务；
- 了解建筑力学与其他课程的关系及其地位和作用。

人们在生产和生活中,需要建造各种各样的建筑物和构筑物。只要日常稍加注意建筑物的施工过程,便可看到这些建筑物是由许许多多的部件组合起来的。一个庞大的建筑物在建造之前,设计人员将对它的所有部件一一进行受力分析,部件尺寸的大小、所用的材料、排列的位置都要通过结构计算来确定。这样才能保证建筑物的牢固和安全。建筑力学就是提供这些建筑物和构筑物设计中受力分析和计算理论依据的一门课程,它将为读者打开进入结构设计和解决施工现场许多受力问题的大门。

## 0.1 建筑力学的研究对象

在土木工程中,由建筑材料按照一定的方式构成,用来承受各种作用的物体或体系称为**建筑结构(简称结构)**。组成结构的每一个部件称为**构件**。整栋房屋、整座桥是结构,一根梁、一根柱也是结构,如单跨梁、独立柱等。结构在建筑物中起着承受和传递荷载的骨架作用,它对建筑物的安全和耐久性起决定作用。

一个建筑结构通常由许多构件组成。例如图 0-1 是一个单层工业厂房承重骨架的示意图,它由屋面板、屋架、吊车梁、柱子及基础等构件组成,每一个构件都起着承受和传递荷载的作用。如屋面板承受屋面上的荷载并通过屋架传给柱子,吊车荷载通过吊车梁传给柱子,柱子将其受到的各种荷载传给基础,最后传给地基。又如桥梁、水坝、电视塔、房屋等都是结构的典型例子。任何建筑物在施工过程中和建成后的使用过程中,都要受到各种各样力的作用。例如建筑物各部分的自重、人和设备的重力、外墙上的风力等。这些直接施加在结构上的力在工程上统称为**荷载**。当对建筑物进行结构设计时,一般的做法是先对结构进行整体布置,把结构分为一些基本构件,对各构件进行设计计算,再通过构造处理把各个构件联系起来构成一个整体结构。

工程中,结构与构件的形状是多种多样的。按照几何特征,结构可分为杆件结构、薄壁结构和实体结构。**杆件**是指长度方向的尺寸远大于截面的高度(长度)和宽度的构件,如房屋建筑中的梁、柱等。由杆件组成的结构称为**杆系结构**。薄壁结构是指其厚度远小于其他两个尺度的结构。平板状薄壁结构称为薄板(图 0-2),如楼板;具有曲面外形的薄壁结构称为薄壳(图 0-3),如屋面。实体结构是指其三个方向的尺度大约为同一量级的结构(图 0-4),如挡土墙、块式基础、水坝等。

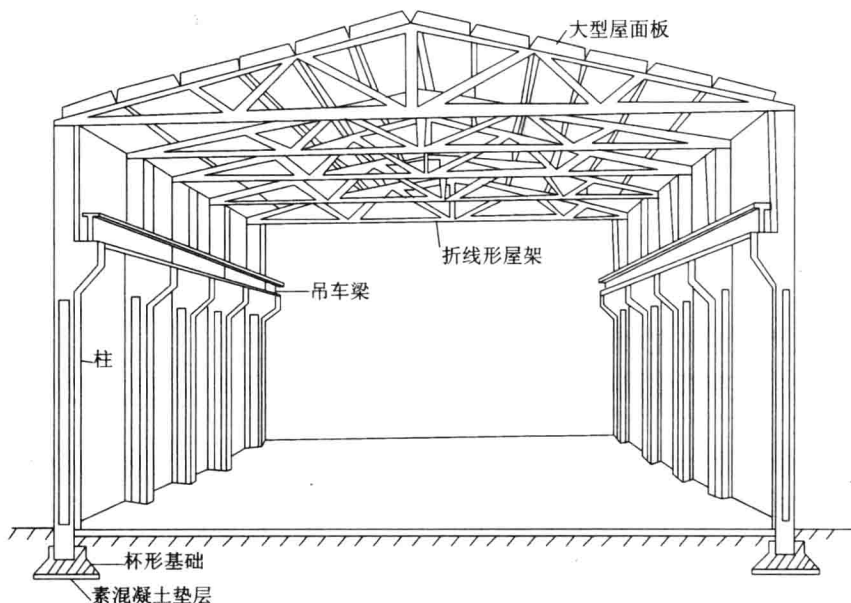


图 0-1

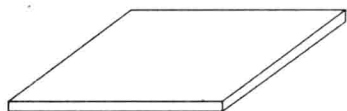


图 0-2



图 0-3

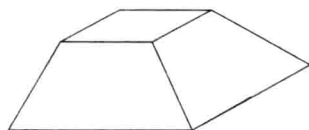


图 0-4

建筑力学的主要研究对象就是组成结构的构件和构件体系。但本书只以杆件和杆件组成的杆系结构为研究对象。它是应用最广的一种结构。常见的房屋结构很多是属于杆件结构。（本书仅研究和讨论平面杆系结构）

## 0.2 建筑力学的基本任务

无论是工业厂房或是民用建筑、公共建筑，它们的结构及组成结构的各构件都相对于地面保持静止状态，这种状态在工程上称为平衡状态。

当结构承受和传递荷载时，各构件都必须能够正常工作，这样才能保证整个结构的正常使用。为此，首先要求构件在承受荷载作用时不发生破坏。如当吊车起吊重物时荷载过大，会使吊车梁发生弯曲断裂。有时构件虽然不发生破坏但并不一定能保证正常工作，例如：吊车梁的变形如果超过一定的限度，吊车就不能正常行驶；楼板变形过大，其上的抹灰层就会脱落。此外，有一些构件在荷载作用下，其原来形状的平衡可能丧失稳定性。例如，细长的中心受压柱子，当压力超过某一限定值时，会突然改变原来的直线平衡状态而发生弯曲，以致结构倒塌，这种现象称为“失稳”。由此可见，要保证构件的正常工作必须同时满足三个要求：

①在荷载作用下构件不发生破坏，即应具有足够的强度；

②在荷载作用下构件所产生的变形在工程的允许范围内,即应具有足够的刚度;

③承受荷载作用时,构件在其原有形状下的平衡应保持稳定,即应具有足够的稳定性。

构件的强度、刚度和稳定性统称为构件的承载能力。其高低与构件的材料性质、截面的几何形状及尺寸、受力性质、工作条件及构造情况等因素有关。在结构设计中,如果构件截面设计得过小,构件会因刚度不足导致变形过大而影响正常使用,或因强度不足而迅速破坏;如果构件截面设计得过大,即其能承受的荷载远大于所受的荷载,则又会不经济,造成人力、物力上的浪费。因此,结构和构件的安全性与经济性是矛盾的。建筑力学的任务就在于力求合理地解决这种矛盾。即:研究和分析作用在结构(或构件)上力与平衡的关系,结构(或构件)的内力、应力、变形的计算方法以及构件的强度、刚度和稳定条件,为保证结构(或构件)既安全可靠又经济合理提供计算理论依据。

### 0.3 建筑力学的研究内容

为了使读者对建筑力学内容有一个总体概念,下面就以图 0-5(a) 所示的梁为例作简单介绍。

①确定梁所受的力,哪些是已知力,哪些是未知力,并计算这些力的大小。梁  $AB$  搁在砖墙上,受到已知荷载  $P_1$ 、 $P_2$  作用,在这两个力的作用下,梁  $AB$  有向下坠落的趋势,但由于墙的支承作用才使梁没有落下而维持平衡状态。在梁的支承处,墙对梁产生支承力  $R_A$ 、 $R_B$ ,如图 0-5(b) 所示。荷载  $P_1$ 、 $P_2$  与支承力  $R_A$ 、 $R_B$  之间存在着一定的关系,这种关系称为平衡条件。若知道了平衡条件,便可由荷载  $P_1$  和  $P_2$  求出支承力  $R_A$  和  $R_B$ 。

解决这一问题的关键就在于研究力的平衡条件。

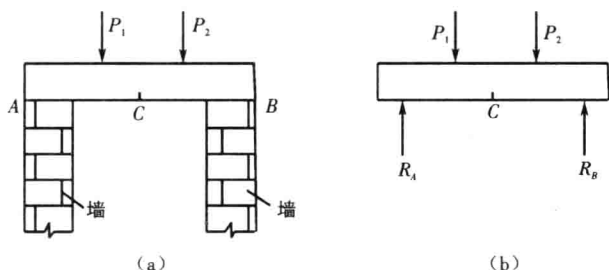


图 0-5

②荷载  $P_1$  和  $P_2$  与支承力  $R_A$  和  $R_B$  统称为梁  $AB$  的外力。当梁上的全部外力求出后,可进一步研究这些力是怎样使梁发生破坏或变形的。如图 0-5 的梁  $AB$ ,在  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $R_A$ 、 $R_B$  作用下会产生弯曲,同时梁的内部有一种内力产生,内力过大就会造成梁的破坏。如果梁的跨中截面  $C$  首先开裂继而断裂,就说明  $C$  截面处有引起破坏的最大内力存在,是梁的危险截面。

解决这一问题的关键就在于研究外力与内力的关系,它是分析承载能力的依据。

上述问题相当于找出梁的破坏因素。为了使梁不发生破坏,就需要进一步研究引起梁破坏的因素和梁抵抗破坏的能力之间的关系,从而合理地选择梁的材料和截面尺寸,使梁既具有足够的承载能力,又使材料用量为最少。

各种不同的受力方式会产生不同的内力,因而有不同承载能力的计算方法,这些方法的

研究构成了建筑力学的内容。

建筑力学的内容可分为三大部分:本书第1章和第2章为静力学部分,研究物体受力的分析方法和物体在力作用下的平衡问题;第3章至第6章为材料力学部分,研究构件的强度、刚度和稳定性计算问题;第7章至第12章为结构力学部分,研究杆件结构的几何组成规律及杆件结构的反力、内力和位移的计算方法。

## 0.4 建筑力学与其他课程的关系及学习意义

建筑力学是研究建筑结构的力学计算理论和方法的一门科学。它是建筑结构、建筑施工技术、地基与基础等课程的基础,它将为读者打开进入结构设计和解决施工现场许多受力问题的大门。显然,作为结构设计人员,必须掌握建筑力学知识,才能正确地对结构进行受力和力学计算,保证所设计的结构既安全可靠又经济合理。

建筑施工的主要任务是将设计图变成实际建筑物。作为一个施工技术组织者,应该懂得施工结构物中各种构件的作用;知道它们会受到哪些力的作用、各种力的传递途径以及构件在这些力的作用下会发生怎样的破坏等。这样,在施工中才能理解设计图纸的意图与要求,保证工程质量,避免发生工程事故。另一方面,懂得这些力学知识,就更容易采取既便于施工又保证构件受力要求的改进措施。

在施工现场,有许多临时设施和机具。修建这些临时设施,要进行结构设计,设计者便是施工技术人员本身。这时,懂得力学知识,就可以合理地、经济地完成设计任务,否则不但经济合理,有时还会酿成事故。至于机具和设备的使用也需要具有力学知识,才能使用得合理。

在建筑施工中,工程事故时有发生。其中很多事故是由于施工者缺少或不懂得受力知识造成的。例如,由于不懂力矩的平衡要求,造成阳台的倾覆;不懂梁的内力分布,将钢筋错误配置而引起楼梯折断;不懂结构的几何组成规则,少加必要的支承,而导致结构发生“几何可变”,甚至倒塌等。

房屋建筑工程是一门严谨科学。所以,建筑力学知识在建筑工程中是设计人员和施工技术人员必不可少的基础知识。学好建筑力学知识,对工作大有益处,也是现代施工技术所必需的。

# 第1章 静力学的基本概念

## 【学习重点】

- ☞ 熟练掌握力、力矩和力偶、刚体和平衡的概念；
- ☞ 了解力系、平衡力系和力系的平衡条件等概念；
- ☞ 熟悉静力学的基本公理；
- ☞ 熟悉各种常见约束的特点及约束反力的形式；
- ☞ 能熟练地对物体系统进行受力分析,并画出其受力图；
- ☞ 了解荷载杆系结构的分类；
- ☞ 了解结构的计算简图。

## 1.1 力及力系的基本知识

### 1.1.1 力的概念

#### 1. 力

力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的运动状态或形状发生改变。力使物体运动状态发生改变称为力的外效应,而力使物体形状发生改变称为力的内效应。

力既然是物体间相互的机械作用,就不能脱离周围的物体而单独存在,某一物体受到力的作用时,一定有另一物体对它施加这种作用。因此,在进行物体的受力分析时,一定要分清清楚哪个是受力物体,哪个是施力物体。

#### 2. 力的三要素

力对物体的作用效应取决于力的大小(物体间相互作用的强烈程度)、方向(包含方位和指向)和作用点(力在物体上的作用位置),简称为力的三要素。这三个要素中,有任何一个要素改变,力的作用效应就会改变。因此,在描述力时,必须表明力的三要素。

#### 3. 力的图示

在力学中有两种量:标量和矢量。只考虑大小的量称为标量,长度、时间、质量都是标量。既考虑大小又考虑方向的量称为矢量。力是矢量,矢量可用一有向线段表示,如图 1-1 所示。线段的长度(按一定的比例)表示力的大小;线段的方位和箭头的指向表示力的方向;线段的起点或终点表示力的作用点。常用黑体字母  $F$  表示力的矢量,用普通字

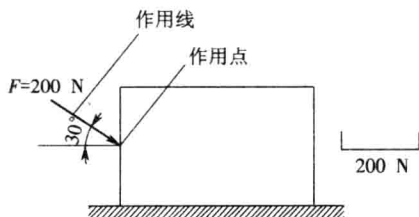


图 1-1

母  $F$  表示力的大小。

#### 4. 力的单位

为了测定力的大小,必须确定力的单位。采用国家法定计量单位制时,力的单位用牛顿(牛, N)或千牛顿(千牛, kN)。

### 1.1.2 力对点的矩

从生活和生产实践中知道,力除了能使物体移动外,还能使物体转动。例如用扳手拧紧螺母时,加力可使扳手绕螺母中心转动;其他如杠杆、滑车、绞盘等机械搬运或提升重物,也是加力使它产生转动效应的实例。力使物体产生转动效应与哪些因素有关呢? 现以扳手拧紧螺母为例,如图 1-2 所示,螺母绕中心  $O$  转动,力  $F$  的数值越大或力  $F$  的作用线距螺母中心越远,则越容易拧紧。由此可见,力  $F$  使物体绕某点  $O$  转动的效应,不仅与力  $F$  的大小成正比,而且还与力  $F$  的作用线到  $O$  点的垂直距离  $d$  成正比。因此,可用两者的乘积  $F \cdot d$  来度量力  $F$  对扳手的转动效应。

转动中心  $O$  称为矩心,矩心  $O$  到力  $F$  作用线的垂直距离  $d$  称为力臂。此外,扳手的转向可能是逆时针方向,也可能是顺时针方向。所以,用力的大小与力臂的乘积  $F \cdot d$  再加上正负号来表示力  $F$  使物体绕  $O$  点的转动效应,称为力  $F$  对  $O$  点之矩,简称力矩,以符号  $M_o(F)$  表示,如图 1-3 所示。习惯规定:使物体产生逆时针转动(或转动趋势)的力矩取正值;反之,则取负值。所以力对点的矩是代数量,即

$$M_o(F) = \pm F \cdot d \quad (1-1)$$

按国家法定计量单位制,力矩的单位是  $\text{N} \cdot \text{m}$  或  $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

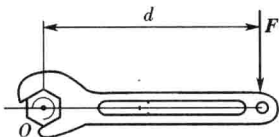


图 1-2

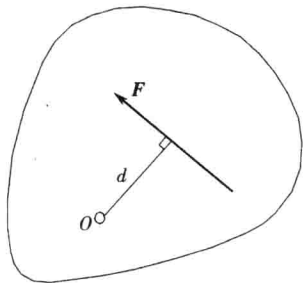


图 1-3

计算力矩时应注意以下几点:

①力矩不仅与力的大小有关,还与矩心的位置有关,计算力矩时必须明确力是对哪一点之矩;

②力对任一点之矩,不会因力沿其作用线任意移动而改变,这是因为力沿其作用线任意移动后,其大小、方向及力臂都没改变;

③当力的大小为零或力的作用线通过矩心时,力矩为零。

【例 1-1】如图 1-4 所示,  $F_1 = 250 \text{ kN}$ ,  $F_2 = 200 \text{ kN}$ ,  $F_3 = 100 \text{ kN}$ 。试求各力对  $O$  点的力矩。

【解】由  $M_o(F) = \pm F \cdot d$ , 得

$$M_O(\mathbf{F}_1) = F_1 d_1 = 250 \times 1$$

$$= 250 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_O(\mathbf{F}_2) = -F_2 d_2 = -200 \times 2 \sin 30^\circ$$

$$= -200 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

因为  $\mathbf{F}_3$  的作用线通过矩心  $O$ , 所以  $d_3 = 0$ ,

$$\text{故 } M_O(\mathbf{F}_3) = 0$$

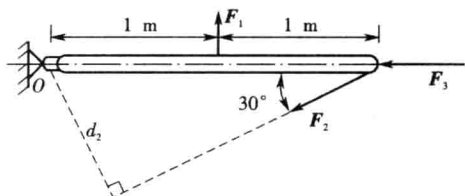


图 1-4

### 1.1.3 力偶

在生产实践和日常生活中,经常遇到大小相等、方向相反、作用线不重合的两个平行力所组成的力系。这种力系只能使物体产生转动效应而不能使物体产生移动效应。例如,司机操纵方向盘、木工钻孔以及开关自来水龙头或拧钢笔套等。这种由大小相等、方向相反、作用线不重合的两个平行力组成的力系称为**力偶**,用符号  $(\mathbf{F}, \mathbf{F}')$  表示。力偶的两个力的作用线间的垂直距离  $d$  称为**力偶臂**,如图 1-5 所示,力偶的两个力所构成的平面称为**力偶作用面**。

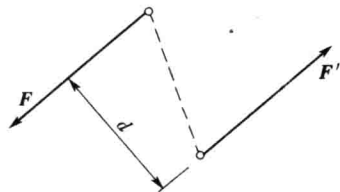


图 1-5

力偶不同于力,它具有一些特殊的性质,现分述如下。

①力偶没有合力,不能用一个力来代替。

由于力偶中的两个力大小相等、方向相反、作用线平行,如果求它们在任一轴  $x$  上的投影,如图 1-6 所示,设力与轴  $x$  的夹角为  $\alpha$ ,可得

$$\sum X = F \cos \alpha - F' \cos \alpha = 0$$

这说明,力偶在任一轴上的投影等于零。

既然力偶在轴上的投影为零,则力偶对物体不会产生移动效应,只产生转动效应;而一个力在一般情况下,对物体可产生移动和转动两种效应。

力偶和力对物体的作用效应不同,说明力偶不能用一个力来代替,即力偶不能简化为一个力,因而力偶也不能与一个力平衡,力偶只能与力偶平衡。

②力偶对其作用面内任一点之矩都等于力偶矩,与矩心位置无关。

力偶的作用是使物体产生转动效应,所以力偶对物体的转动效应可以用力偶的两个力对其作用面某一点的力矩的代数和来度量。设有力偶  $(\mathbf{F}, \mathbf{F}')$ , 力偶臂为  $d$ , 如图 1-7 所示。在该力偶作用面内任选一点  $O$  为矩心, 设矩心与  $\mathbf{F}'$  的垂直距离为  $x$ 。显然力偶对  $O$  点的力矩

$$M_O(\mathbf{F}, \mathbf{F}') = F(d+x) - F'x = m$$

由此可知,力偶的作用效应决定于力的大小和力偶臂的长短,与矩心的位置无关。力与力偶臂的乘积称为**力偶矩**。

力偶在平面内的转向不同;作用效应也不相同。一般规定:若力偶使物体作逆时针方向转动时,力偶矩为正;反之为负。在平面力系中,力偶矩是代数量,用  $m$  表示,即

$$m = \pm Fd \quad (1-2)$$

力偶矩的单位是  $\text{N} \cdot \text{m}$  或  $\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

于是可得:力偶对物体的转动效应,可用力偶矩来度量,力偶矩等于力与力偶臂的乘积

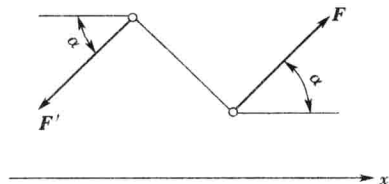


图 1-6

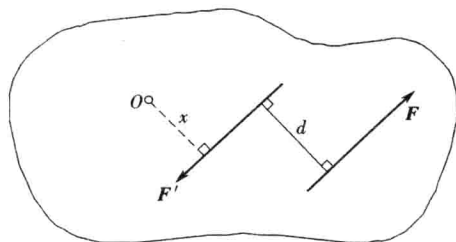


图 1-7

并加上正负号。即：力偶对作用面内任一点的矩恒等于力偶矩，而与矩心的位置无关。

③同一平面内的两个力偶，如果它们的力偶矩大小相等、力偶的转向相同，则这两个力偶等效，称为力偶的等效性。（其证明从略）

如图 1-8 所示各力偶均为等效力偶。

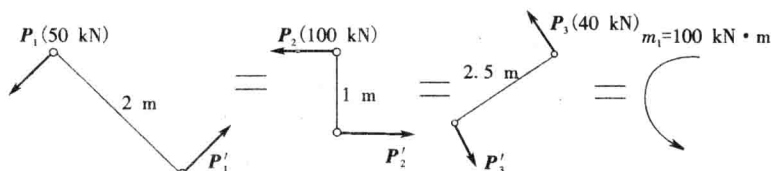


图 1-8

从以上性质还可得出以下两个推论。

①保持力偶矩的代数值不变，力偶可在其作用面内任意移动和转动，而不会改变力偶对物体的转动效应。因此，力偶对物体的作用与力偶在其作用面内的位置无关。例如图 1-9 (a) 所示作用在方向盘上的两个力偶 ( $F_1, F'_1$ ) 与 ( $F_2, F'_2$ )，只要它们的力偶矩大小相等，转向相同，作用位置虽不同，但转动效应是相同的。

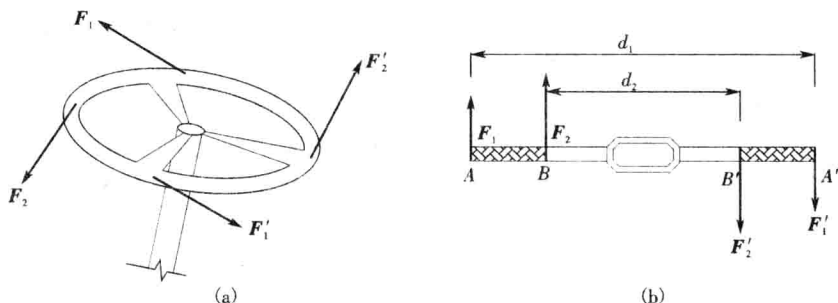


图 1-9

②保持力偶矩的大小和力偶的转向不变，可以同时改变力偶中力的大小和力偶臂的长短，而不改变力偶对物体的转动效应。例如图 1-9 (b) 所示，在攻螺纹时，作用在纹杆上的力偶 ( $F_1, F'_1$ ) 或 ( $F_2, F'_2$ )，虽然  $d_1$  和  $d_2$  不相等，但只要调整力的大小，使力偶矩  $F_1 d_1 = F_2 d_2$ ，则两力偶的作用效果是相同的。

由此可见，力偶的臂和力的大小都不是力偶的特征量，只有力偶矩是力偶作用的唯一