

21世纪

高职高专教育统编教材

# 工程力学

主 编 杨慧丽

副主编 叶建海



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



高职高专教育统编教材

# 工程力学

主 编 杨慧丽

副主编 叶建海



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/杨慧丽主编. —北京: 中国水利水电出版社,  
2007

21 世纪高职高专教育统编教材  
ISBN 978 - 7 - 5084 - 4387 - 4

I. 工… II. 杨… III. 工程力学—高等学校: 技术学校—  
教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 020277 号

书 名	21 世纪高职高专教育统编教材 <b>工程力学</b>
作 者	主编 杨慧丽 副主编 叶建海
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E - mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 21.75 印张 516 千字
版 次	2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001 - 5000 册
定 价	<b>38.00 元</b>

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

## 内 容 提 要

本教材是 21 世纪高职高专教育统编教材, 针对高等职业技术教育水利水电工程建筑、水利工程施工、农田水利等水利类专业的教学特点编写而成, 也适用于工业与民用建筑、道路桥涵等其他土木建筑类专业。

全书共分 18 章。内容包括绪论、刚体静力学基础、平面力系、空间力系、轴向拉伸和压缩、截面的几何性质、扭转的强度和刚度计算、梁的内力分析、梁的强度和刚度计算、应力状态、组合变形、压杆稳定、结构的计算简图与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、位移法、力矩分配法、影响线。

本教材可用于高职、高专和职大的水利水电类专业及其他土建类专业工程力学课程教学, 亦可作为水利水电工程等建筑工程技术人员的参考用书。

# 前 言

本教材是根据教育部《关于加强高职、高专教育人才培养工作的若干意见》和《面向 21 世纪教育振兴行动计划》，在中央财政安排的“支持示范性职业技术学院建设”项目经费编写的第一版的基础上改编的。第一版教材从 2001 年出版，广泛应用于高职高专教学，向社会输送了大量的土建、水利工程等专业的专科毕业生。为适应社会发展对职业技术学院的要求，改编后的教材把造就应用型、技能型人才作为工程力学课程培养的目标，在优化课程体系、重组教学内容上进行了针对性的改进。

1. 注重与专业课程的贯通。以专业课教学大纲需要掌握的内容为编写教材的依据，在例题选择上注重工程实际中的示范性和典型性的示例，使其不仅符合课程的理论教学应服从专业培养目标的要求，也有利于学生掌握理论知识和工程实际应用。

2. 内容安排。结合专业的要求，进行了内容取舍，适度更新，适当降低理论难度，叙述深入浅出，强调本学科的基础性、科学性和时代性。全书分为静力学、材料力学、结构力学三部分。按教学大纲要求对原教材各章节进行了调整，把各种变形的计算放在同一章中。新改编的教材侧重于土建、水工、路桥等专业的使用要求，把原有的动力学、运动学内容删掉。

工程力学是土木、水利、路桥等专业极为重要的专业基础课。教材改编过程中，遵循由浅入深、重点突出、叙述清楚、循序渐进的基本原则，力求做到精选教材内容，紧扣培养目标，从而达到重点掌握基本理论、加强基本技能和基础知识训练的目的。本书共分为 18 章，每一章后都附有一定数量的思考题和练习题，以助于学习掌握有关知识。

本教材在改编工作中，杨慧丽改编绪论、第一章、第二章、第八章、第九章、第十五章；叶建海改编第三章、第四章；耿亚杰改编第七章、第十一章；高琦改编第五章、第六章；于光恩改编第十章；李舒瑶改编第十二章、第十八章；王俊改编第十三章、第十四章；孙五继改编第十六章、第十七章。

全书由杨慧丽主编，叶建海副主编。

由于我们的水平有限，本教材编写中难免存在缺点和疏漏，恳请广大读者批评指正。

作 者

2006年12月

# 目 录

前言	
绪论	1
<b>第一章 刚体静力学基础</b>	<b>5</b>
第一节 力的概念及其性质	5
第二节 荷载的分类	8
第三节 约束与约束反力	8
第四节 物体的受力分析与受力图	11
思考题	14
习题	14
<b>第二章 平面力系</b>	<b>16</b>
第一节 平面汇交力系	16
第二节 力矩·平面力偶系	20
第三节 平面一般力系	24
第四节 平面平行力系	29
第五节 物体系统的平衡	30
第六节 考虑摩擦时物体的平衡	32
思考题	35
习题	35
<b>第三章 空间力系</b>	<b>39</b>
第一节 概述	39
第二节 力在空间直角坐标轴上的投影	40
第三节 力对轴之矩	42
第四节 空间力系的平衡	44
第五节 物体的重心	48
思考题	51
习题	52
<b>第四章 轴向拉伸和压缩</b>	<b>55</b>
第一节 轴向拉伸和压缩的概念	55
第二节 内力·截面法·轴力及轴力图	55
第三节 应力·拉(压)杆内的应力	59
第四节 拉(压)杆的变形·虎克定律	63
第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	67
第六节 拉(压)杆的强度计算	72

第七节	应力集中的概念	76
第八节	连接件的强度计算	77
	思考题	83
	习题	84
<b>第五章</b>	<b>截面的几何性质</b>	87
第一节	面积矩	87
第二节	惯性矩和惯性积	88
第三节	组合截面的惯性矩	91
第四节	主惯性轴和主惯性矩	94
	思考题	95
	习题	96
<b>第六章</b>	<b>扭转的强度和刚度计算</b>	97
第一节	扭转的概念及工程实例	97
第二节	扭矩和扭矩图	98
第三节	圆轴扭转时的应力和变形	100
第四节	圆轴扭转时的强度和刚度计算	103
第五节	矩形截面杆扭转简介	105
	思考题	107
	习题	107
<b>第七章</b>	<b>梁的内力分析</b>	109
第一节	平面弯曲和梁的形式	109
第二节	梁的内力	110
第三节	剪力图和弯矩图	113
第四节	弯矩、剪力、荷载集度间的微分关系	117
第五节	叠加法作剪力图和弯矩图	122
	思考题	126
	习题	127
<b>第八章</b>	<b>梁的强度和刚度计算</b>	129
第一节	梁横截面上的正应力	129
第二节	梁横截面上的剪应力	133
第三节	梁的强度计算	137
第四节	梁的变形和刚度计算	146
	思考题	152
	习题	152
<b>第九章</b>	<b>应力状态</b>	156
第一节	应力状态的概念	156
第二节	平面应力状态分析	157
第三节	主应力迹线的概念	163
第四节	强度理论	164



思考题 .....	165
习题 .....	166
<b>第十章 组合变形</b> .....	168
第一节 概述 .....	168
第二节 斜弯曲 .....	169
第三节 拉伸(压缩)与弯曲的组合 .....	172
第四节 偏心压缩(拉伸) .....	174
思考题 .....	178
习题 .....	178
<b>第十一章 压杆稳定</b> .....	181
第一节 压杆稳定的概念 .....	181
第二节 细长压杆的临界力 .....	182
第三节 压杆的临界应力 .....	183
第四节 压杆的稳定计算 .....	185
第五节 提高压杆稳定性的措施 .....	188
思考题 .....	189
习题 .....	190
<b>第十二章 结构的计算简图和平面体系的几何组成分析</b> .....	192
第一节 结构的计算简图和分类 .....	192
第二节 体系的几何组成分析概述 .....	196
第三节 几何不变体系的组成规则 .....	199
第四节 几何组成分析的方法和举例 .....	201
第五节 静定结构和超静定结构 .....	203
思考题 .....	204
习题 .....	204
<b>第十三章 静定结构的内力分析</b> .....	206
第一节 多跨静定梁 .....	206
第二节 静定平面刚架 .....	209
第三节 三铰拱 .....	217
第四节 静定平面桁架 .....	225
第五节 组合结构 .....	231
第六节 静定结构小结 .....	231
思考题 .....	232
习题 .....	233
<b>第十四章 静定结构的位移计算</b> .....	237
第一节 结构位移计算概述 .....	237
第二节 虚功和虚功原理 .....	237
第三节 单位荷载法计算位移 .....	239
第四节 结构在荷载作用下的位移计算 .....	241

第五节	图乘法	244
第六节	静定结构支座移动和温度改变引起的位移计算	250
第七节	线性变形体系的互等定理	253
	思考题	255
	习题	255
<b>第十五章</b>	<b>力法</b>	259
第一节	超静定结构概述	259
第二节	超静定次数的确定	260
第三节	力法基本原理与典型方程	261
第四节	用力法计算超静定梁、刚架、排架、桁架	264
第五节	对称性利用	269
第六节	超静定结构位移计算、内力图校核及特性	273
第七节	等截面单跨超静定梁的杆端内力	275
	思考题	279
	习题	279
<b>第十六章</b>	<b>位移法</b>	282
第一节	位移法的基本原理	282
第二节	位移法的基本未知量	284
第三节	用位移法计算超静定结构	286
	思考题	292
	习题	293
<b>第十七章</b>	<b>力矩分配法</b>	295
第一节	力矩分配法的基本原理	295
第二节	用力矩分配法计算连续梁和无结点线位移刚架	298
第三节	无剪力分配法简介	305
第四节	超静定结构在支座移动和温度改变时的计算	308
	思考题	311
	习题	311
<b>第十八章</b>	<b>影响线</b>	314
第一节	影响线的概念	314
第二节	静力法作静定梁的影响线	314
第三节	影响线的应用	317
第四节	简支梁的内力包络图和绝对最大弯矩	319
第五节	连续梁的内力包络图	322
	思考题	324
	习题	325
<b>附录</b>	<b>型钢规格和截面特性</b>	327

# 绪 论

工程力学是研究工程结构的受力分析、承载能力的基本原理和方法的科学。它是工程技术人员从事结构设计和施工所必须具备的基础。在水利建设、房屋建筑和桥梁工程等方面都涉及到工程力学问题。本书根据工程力学各部分所涉及的研究对象不同，把工程力学分为三部分：静力学、材料力学、结构力学。静力学研究的是刚体静止时的基本规律；材料力学研究的是单根杆件的强度、刚度和稳定性问题；而结构力学则是研究杆件体系的组成规律、强度、刚度和稳定性问题。

## 第一部分 静 力 学

静力学知识是进行工程力学计算的基础。在静力学中，研究对象是“刚体”。所谓刚体是指物体中各点间的距离在任何情形下都不发生改变，即物体在任何情形下都能保持其本身的形状而不发生变形。刚体是对实际存在的各种结构和构件的抽象与简化。

静力学研究作用在刚体上力的简化（即合成）和平衡。它主要解决两类问题：一是将作用在刚体上的很多力进行简化，即用最简单的力系代替较复杂的力系。这类问题简称为“力系的简化问题（或称力系的合成问题）”；二是建立物体在各种力系作用下的平衡条件。这类问题简称为“力系的平衡问题”。所以静力学是一门研究物体平衡规律的科学。

所谓物体的平衡，是指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动的状态。如在静荷载作用下工程建筑物中的桥梁、水坝、挡土墙、房屋等均处于平衡状态；还有作匀速直线运动的工程机械，如匀速吊运的重物等。

静力学知识是进行力学计算的基础。本部分将介绍静力学公理、力、力矩、力偶、约束以及约束反力等基本概念；介绍物体受力分析方法、受力图的绘制；研究平面汇交力系、平面力偶系、平面一般力系的合成与平衡问题。

## 第二部分 材 料 力 学

### 1. 材料力学的任务

建筑物中用以承受和传递力作用的物体都称为结构，而组成结构的各单独部分称为构件。土木、水利工程中经常遇到的结构，如桥梁、水闸、电站、渡槽、隧道、房屋等，都是由若干构件组成。材料力学就是研究构件承载能力的一门科学。承载能力就是承受荷载的能力。衡量构件是否具有足够的承载能力一般从强度、刚度、稳定性三方面考虑。

**强度**是指构件抵抗破坏的能力。满足强度要求即使构件在正常工作时不发生破坏。

**刚度**是指构件抵抗变形的能力。满足刚度要求即要使构件正常工作时产生的变形不超过允许范围。

**稳定性**是指构件保持原有平衡状态的能力。满足稳定性要求就是要使构件在正常工作时不突然改变原有平衡状态，以至因变形过大而破坏。

构件在正常工作的同时还应考虑经济条件，应充分发挥材料的性能，不至于产生过大的浪费，即设计构件合理形式。

## 2. 刚体、变形固体及其基本假设

静力学在研究物体各种力系的平衡问题时，略去物体的变形，将物体看成刚体。而材料力学主要研究物体在力的作用下的变形和破坏规律。变形成为主要研究的内容，所以材料力学把物体视为变形体。由于工程中的构件都是由固体材料制成，如钢、铸铁、木材、混凝土等，则材料力学研究的变形体通常称为变形固体。在进行结构的内力分析和杆件的承载能力计算时，物体变形是不可忽略的主要因素，这时应将物体作为理想变形固体。所谓理想变形固体，是对实际变形固体的材料作出一定假设，将其理想化。理想变形固体材料的基本假设有：

(1) 连续均匀假设：连续是指材料内部没有空隙，均匀是指材料的性质各处相同。连续均匀假设即认为物体的材料无空隙的连续分布，且各处性质均相同。

(2) 各向同性假设：是指材料的力学性质沿不同方向都一样，即认为材料沿不同方向的力学性质均相同，具有这种性质的材料称为各向同性材料。而各方向力学性质不同的材料称为各向异性材料。

(3) 小变形假设：变形固体受力作用产生变形。撤去荷载可完全消失的变形称为**弹性变形**。撤去荷载不能恢复的变形称为**塑性变形或残余变形**。在多数工程问题中，要求构件只发生弹性变形。工程中大多数构件在荷载作用下产生的变形量若与其原始尺寸相比很微小，称为小变形，否则称为大变形。引用这个假设的用途在于小变形构件受力后在计算平衡问题时，不需考虑构件尺寸的改变，而仍然按原来的尺寸和形状进行计算。

综上所述，材料力学中把所研究的构件作为连续、均匀、各向同性的理想变形固体，小变形情况下，研究其承载能力。由于采用以上假设，大大便利了理论的研究和计算方法的推导。尽管所得结果只具有近似的准确性，但其精确程度可满足一般的工程要求。应该指出：实践是检验真理的唯一标准。任何假设都不是主观臆断的，而必须建立在实践的基础之上。同时，在假设基础上得出的理论结果，也必须经过实践的验证。

## 3. 构件变形的基本形式

工程力学研究构件的形体，多数是一个方向的尺寸远大于其他两个方向的尺寸，这种构件称为杆件。例如，房屋中的梁、柱、屋架中的各根杆。材料力学中所研究的杆件都是由建筑构件抽象出来的力学模型。在工程结构中，外力常以不同的方式作用在杆件上，因此，杆件的变形也是多种多样的。但是，这些变形总不外乎是以下四种基本变形中的一种，或者是它们中的几种基本变形的组合。

(1) 轴向拉伸或压缩。这种变形是由作用线与杆轴重合的外力引起的，杆件的主要变形是长度的改变 [图 1 (a)]。如起吊构件的钢索、桁架中的杆件、桥墩等。

(2) 剪切。这种变形是由一对大小相等、方向相反、作用线很近的横向外力引起的。

杆件的主要变形是横截面沿外力作用方向发生相对错动 [图 1 (b)]。例如, 用作连接件的螺栓、销钉、键等都产生剪切变形。

(3) 扭转。这种变形是由一对大小相等、方向相反、作用平面垂直于杆轴线的力偶产生的力偶矩引起的 [图 1 (c)]。机械中的传动轴就是受扭杆件。

(4) 弯曲。这种变形是由垂直于杆件轴线的横向力或作用在杆件的纵向对称平面内的力偶引起的。在这种受力情况下, 杆件的轴线变成曲线 [图 1 (d)]。在建筑工程中, 受弯构件是最常见的。例如, 梁就是典型的受弯构件。

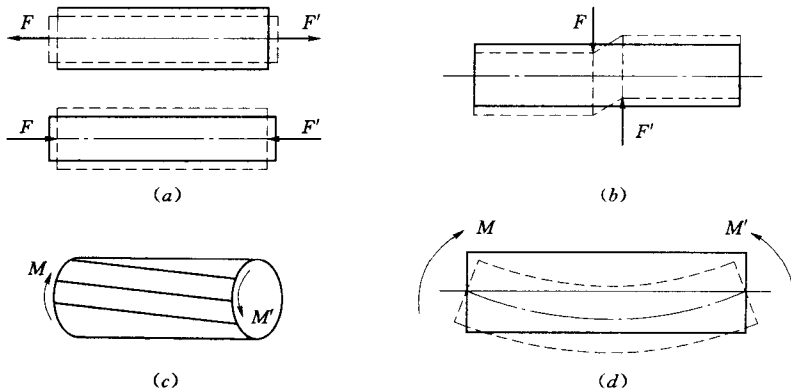


图 1

(a) 轴向拉伸与压缩; (b) 剪切; (c) 扭转; (d) 弯曲

还有一些构件同时产生两种或两种以上的基本变形, 这种情况称为组合变形。材料力学将分别研究杆件在各种基本变形时的强度、刚度以及压杆的稳定性问题。

## 第三部分 结 构 力 学

### 1. 结构力学的研究对象

结构力学的研究对象是结构。建筑物中能承受荷载而起骨架作用的物体或体系称为结构。如水利工程中的水闸、水坝、水电站厂房、渡槽、桥梁、隧道等; 工业与民用建筑中的屋架、梁、板、柱和塔架等。例如: 图 2 (a) 所示的厂房结构就是由屋架、柱、吊车梁及基础等构件组成的结构, 它们起着支承荷载的骨架作用。

结构按其几何特征可分为三种类型:

(1) 杆系结构: 由若干杆件组成, 杆件的几何特征是杆件的长度远远大于其横截面的宽度和厚度。如图 2 所示的厂房结构。

(2) 薄壁结构: 由薄板或薄壳构成。板或壳的几何特征是厚度远小于另两个方向的尺寸。如图 3 (a) 所示的连拱坝中的拱。

(3) 实体结构: 其几何特征是在三个方向的尺寸基本为同一数量级。如图 3 (b) 所示的挡土墙。

结构力学的研究对象主要是杆系结构。

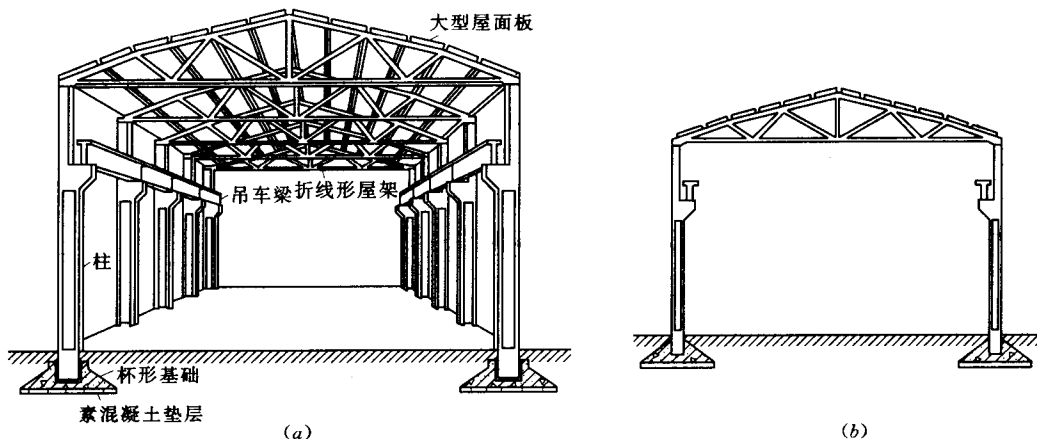


图 2  
(a) 立体图；(b) 平面图

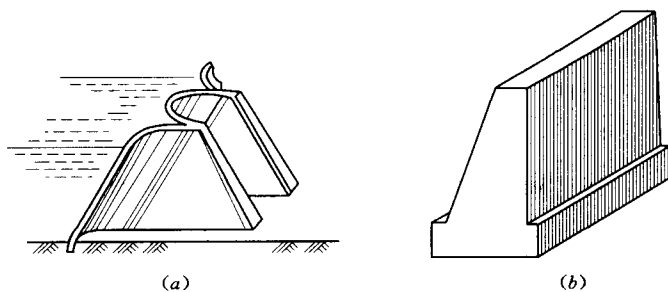


图 3  
(a) 连拱坝；(b) 挡土墙

## 2. 结构力学的研究任务

结构力学是静力学和材料力学的后续课程。材料力学研究单个杆件的强度、刚度和稳定性。结构力学仍研究上述三方面的问题，但所考虑的对象则是由若干杆件组成的体系。当然，这种区分并不是绝对的，结构的形式是多种多样的。它可以是一个单一的整体（例如，挡土墙和整体式基础），也可以是由多个构件组装而成的体系（例如屋架，以至整个房屋的骨架）。

根据高职高专水利水电工程等专业的教学大纲要求，本教材结构力学研究的主要任务是：

(1) 研究杆系结构的组成规律、受力特性和合理形式，以及结构计算简图的合理选择。

(2) 在外界因素影响下研究结构的内力和位移的计算方法。为结构的强度设计和刚度校核提供依据。

在学习结构力学的过程中经常要运用数学、理论力学、材料力学等选修课程的知识。并在后续课程中，又为钢筋混凝土结构、钢木结构、水工结构等专业课程提供力学基础。

# 第一章 刚体静力学基础

## 第一节 力的概念及其性质

### 一、力的概念

#### 1. 力的概念

力是物体之间相互的机械作用，这种作用会使物体的机械运动状态发生变化，或使物体产生变形。例如，水力发电是靠水流的冲力推动水轮机旋转；轧钢机的机械力使高温的钢锭变形等。

力作用于物体将同时产生两种效应：一是使物体的机械运动状态发生变化，称为力的外效应（平衡则是其特殊情形）；另一是使物体产生变形，称为力的内效应（刚体不发生变形则是在特定条件下的一种简化）。静力学中只研究力的外效应，故将研究对象作为刚体，也称为刚体静力学。

#### 2. 力的三要素

实践证明，力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点三个因素（力对刚体的作用效应则取决于力的大小、方向和作用线的位置），通常称之为力的三要素。三要素中任何一个的改变，都会使力对物体的作用效应发生变化，只有三个要素完全相同的力，对物体的作用效应才会相同。

#### 3. 力的表示方法

力是矢量，矢量的模为力的大小，矢量的始端或末端为力的作用点，矢量所在的直线为力的作用线，矢量的指向即为力的方向；如图 1-1 所示。力一般用文字符号黑体字如  $F$  代表力矢量。并以同一字母非黑体字  $F$  代表力的大小。力的大小是指物体间相互机械作用的强弱程度。衡量力大小的单位，在国际单位制中采用牛顿（N）或千牛（kN）。

### 二、力系的概念

作用于物体上的一组力称为力系。

对同一物体作用效应完全相同的两力系，彼此称为等效力系。若一个力与一个力系等效，则此力称为该力系的合力，而力系中所有各力都称为这个合力的分力。把力系的作用效应用一个力表示的过程，称为力系的合成；把一个力作用效应用几个分力表示的过程，称为力的分解。

刚体静力学中为便于进行物体的受力分析，通常先

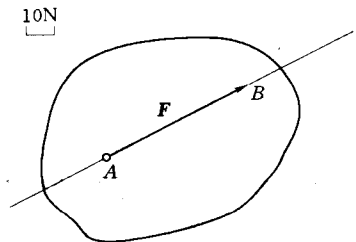


图 1-1

将力系进行简化,即用简单的力系代替复杂的力系。当然这种替代必须是完全等效的,即等效力系间的代换。

使某物体处于平衡状态的力系称为平衡力系。欲使物体处于平衡状态,则作用于物体上的力系必须满足一定条件,这些条件称为力系的平衡条件。研究力系的平衡条件及其应用是刚体静力学的主要任务。

### 三、力的性质

力的性质是人们从长期的生活和生产实践中,对客观现实经过观察、分析、抽象、归纳和总结而得出的结论。力的性质是静力学的理论基础,所以也称静力学公理。

#### 1. 公理一(二力平衡公理)

作用于同一刚体上的两个力,使刚体保持平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上(图1-2)。

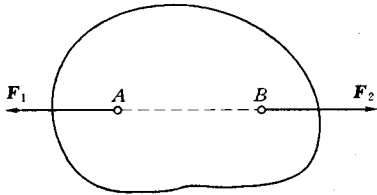


图 1-2

公理一说明,两个等值、反向、共线的力构成最简单的平衡力系,这是推证其他力系平衡条件的基础。

在建筑结构中常常会遇到承受两个力的作用而处于平衡的各种形状的构件,它们必须满足二力平衡条件,这类构件称为“二力构件”或“二力杆”。对于二力杆,如果已知二力的作用点,即可根据二力平衡条件确定二力的作用线,如图1-3(a)所示支架中,不计杆件自重作用时,AC、BC杆均为二力杆[图1-3(b)、(c)]。

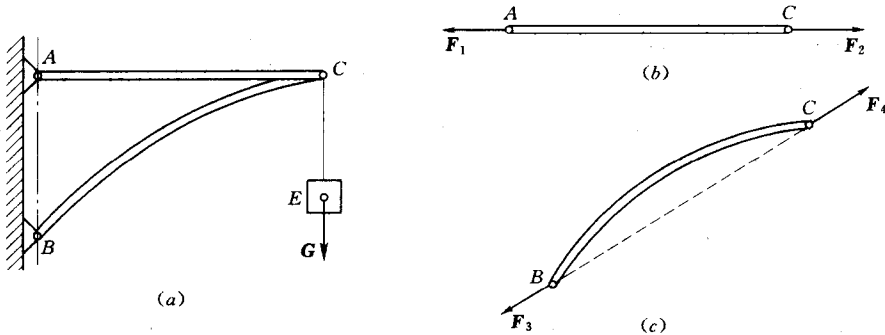


图 1-3

#### 2. 公理二(加减平衡力系公理)

在作用于刚体上的任一力系中,加上或减去任意一个平衡力系,都不改变原力系对刚体的作用效应。

此公理表明,加减平衡力系后,新力系与原力系等效。公理二常被用来简化已知力系和推导一些定理。

推论(力的可传性原理):作用于刚体上的力,可以沿其作用线滑移至该刚体上任一点,而不改变该力对刚体的作用效应。

证明:设刚体上A点作用一力 $F$ ,见图1-4(a)。根据公理二,在力 $F$ 作用线上任一点B加上一个平衡力系( $F_1$ 、 $F_2$ ),且使 $F_1 = F_2 = F$ ,如图1-4(b)所示。由于力 $F$ 与 $F_1$ 等值、反向、



共线,形成一个新的平衡力系,由公理二,减去平衡力系( $F_1$ 、 $F$ ),则刚体上所剩力  $F_2$  的作用,就相当于将  $A$  点作用力  $F$  沿其作用线滑移到任意点  $B$ ,如图 1-4(c)所示。

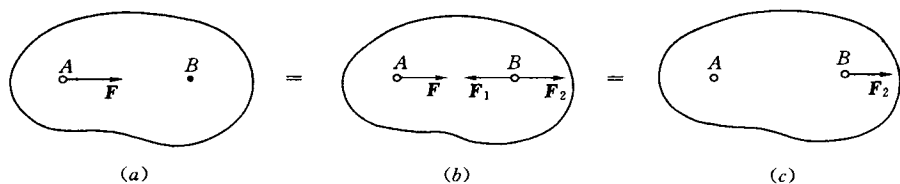


图 1-4

必须注意:公理二及其推论,都是针对运动效应而言的,因而只适用于刚体。如图 1-5 所示的直杆 ( $F=F'$ ),当研究其平衡时,图 1-5 (a)、图 1-5 (b) 两种情况都是等效的,即运动效应皆为零;但当研究变形效应时,图 1-5 (a) 杆件产生压缩变形,而图 1-5 (b) 杆件则将产生拉伸变形。

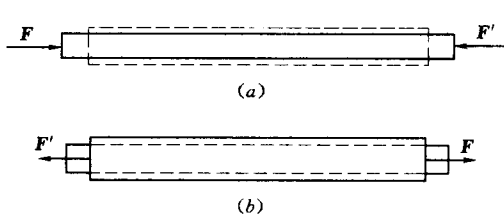


图 1-5

### 3. 公理三 (力的平行四边形法则)

作用于物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,其合力亦作用于该点,合力的大小与方向可由这两个力所构成的平行四边形的对角线来表示,如图 1-6 (a) 所示。

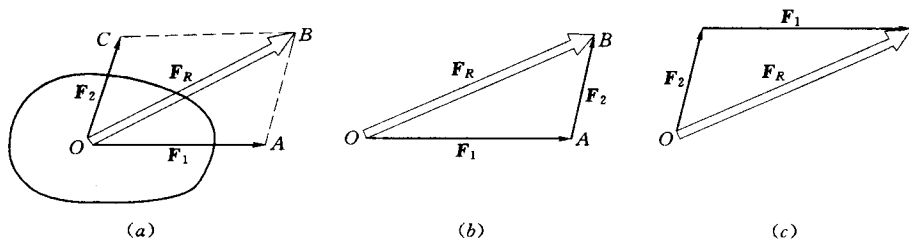


图 1-6

其矢量表达式为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

用合力代替分力和,则刚体运动效果不变,即它们是等效的。

根据这一公理,已知两个分力的大小和方向,可以求得合力的大小和方向;反之,已知合力亦可求得它在两个已知方向上的分力的大小。

为计算方便,用矢量加法求合力时,可将力的平行四边形法则简化为三角形法则,即只取力平行四边形其中一个三角形求合力。方法是先从汇交点  $O$  作力  $F_1$  的矢量  $\overline{OA}$ ,再从  $A$  点作力  $F_2$  的矢量  $\overline{AB}$ ,则矢量  $\overline{OB}$  即  $F_1$ 、 $F_2$  的合力  $F_R$ 。 $F_R$  的方向为从  $F_1$  的起点指向  $F_2$  的终点方向 [图 1-6 (b)]。如果先从  $O$  点作力矢量  $F_2$ ,再作力矢量  $F_1$ ,同样可得合力  $F_R$  [图 1-6 (c)]。

### 4. 公理四 (作用与反作用定律)

两个物体间相互作用的力,总是同时存在,并且必定等值、反向、共线,分别作用在