



普通高等教育“十三五”规划教材

# 工程力学

主 编 冯 旭 叶建海  
副 编 郭江涛 耿亚杰  
主 审 赵毅力



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

普通高等教育“十三五”规划教材

# 工程力学

主 编 冯 旭 叶建海  
副主编 郭江涛 耿亚杰  
主 审 赵毅力



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书是为高等职业院校水利水电工程专业国家级资源库编写的工程力学教材。本书基本理论满足专业要求,对传统静力学、材料力学和结构力学的内容进行了精选,对知识体系做了必要有效的调整,理论体系由浅入深,顺序架构符合认知规律;加强了实用性和针对性;内容表述简单直观,章节编排简洁明了。

全书共 11 章,主要内容有物体的受力分析、平面力系的合成与平衡、平面图形的几何性质、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力分析、杆件的应力与强度计算、应力状态与强度理论、杆件的变形和结构的位移计算、超静定结构的内力计算和压杆稳定。

本书可作为高职高专和成人教育高校的水利类、土建类、交通类专业的教材,也可作为广大自学者及相关专业工程技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 冯旭, 叶建海主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016. 1  
普通高等教育“十三五”规划教材  
ISBN 978-7-5170-4069-9

I. ①工… II. ①冯… ②叶… III. ①工程力学—高等学校—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第029875号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 <b>工程力学</b>
作 者	主编 冯旭 叶建海 副主编 郭江涛 耿亚杰 主审 赵毅力
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 20.75印张 492千字
版 次	2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	<b>48.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

本书是为高职高专院校水利水电工程专业国家级资源库编写的工程力学教材。按照国家高职高专人才培养目标对于本课程的要求,由杨凌职业技术学院、黄河水利职业技术学院、重庆水利电力职业技术学院组成的合作团队编写完成。本书的编写主要突出以下几个方面的特点:

1. 本书基本理论满足专业要求,对传统静力学、材料力学和结构力学的内容进行了精选,对知识体系做了必要有效的调整;理论体系由浅入深,顺序架构符合认知规律。不仅节省了篇幅和学时,而且便于学生自学和逻辑思维能力的培养。

2. 加强实用性和针对性。重视力学概念和理论知识的应用,对概念和理论知识的阐述尽量结合工程实际,对水利工程中较实用的内容列举了较多的例题。在理论证明和公式推导上适当从简。

3. 内容表述简单直观,章节编排简洁明了。本书只有章和节的划分,思考题、习题配置在相关节的后面。这种改法,一方面给读者留有自己进行总结和提炼重点的空间,另一方面可以加强课后训练。

4. 文字努力做到少而精,通俗易懂。书中配合图形与实例,尽量使抽象的概念变得直观。

另外,本书配套了相应的《工程力学习题与实验》,使学生可以在课外与教材结合进行学习检测,激发学生的学习热情。

本书由杨凌职业技术学院冯旭、黄河水利职业技术学院叶建海担任主编;杨凌职业技术学院郭江涛、黄河水利职业技术学院耿亚杰担任副主编;杨凌职业技术学院赵毅力担任主审。

参加编写工作的人员及分工为:杨凌职业技术学院李荣轶(第1章)、袁芙蓉(第4章)、杨磊(第8章8.1~8.6)、冯旭(绪论、第8章8.7~8.9)、郭江涛(第9章9.1~9.4)、宁翠萍(第9章9.5~9.7)、李萍萍(第9章9.8~9.9);黄河水利职业技术学院耿亚杰(第2章)、荆旭春(第3章、第6章

6.10)、管欣(第5章5.1~5.6)、闫纲丽(第5章5.7~5.9、第6章6.4)、叶建海(第6章6.1~6.3)、张翌娜(第6章6.5~6.9);重庆水利电力职业技术学院张杰(第7章)、程小龙(第10章)。本书摄影图片由杨凌职业技术学院王智民提供。

在本书编写过程中,受到杨凌职业技术学院、黄河水利职业技术学院、重庆水利电力职业技术学院相关领导的大力支持,在此一并表示感谢。

在本书编写过程中,参考了部分相同学科的教材文献,在此向文献的作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2015年8月



# 目 录

前言	
绪论	1
第 1 章 物体的受力分析	5
§ 1.1 静力学基本概念	5
§ 1.2 静力学基本公理	6
§ 1.3 约束和约束力	9
§ 1.4 物体和物体系的受力分析	12
第 2 章 平面力系的合成与平衡	19
§ 2.1 力矢与力矩	19
§ 2.2 力偶	22
§ 2.3 平面汇交力系的合成与平衡	24
§ 2.4 平面力偶系的合成与平衡	28
§ 2.5 平面任意力系向一点简化	32
§ 2.6 平面任意力系的平衡	36
§ 2.7 物体系统的平衡	42
§ 2.8 考虑摩擦的平衡问题	48
第 3 章 平面图形的几何性质	54
§ 3.1 静矩	54
§ 3.2 极惯性矩	56
§ 3.3 惯性矩	57
§ 3.4 形心主惯性矩的概念	62
第 4 章 平面体系的几何组成分析	65
§ 4.1 几何组成分析概述	65
§ 4.2 平面体系的自由度和约束	66
§ 4.3 几何不变体系的组成规则	68
§ 4.4 几何组成分析方法	70
§ 4.5 静定结构和超静定结构	74
第 5 章 静定结构的内力分析	77
§ 5.1 杆件的基本变形及内力的概念	77

§ 5.2	轴向变形杆的内力分析	79
§ 5.3	静定平面桁架的内力计算	82
§ 5.4	扭转轴的内力分析	90
§ 5.5	单跨静定梁内力分析	94
§ 5.6	用简捷法绘制梁的剪力图和弯矩图	101
§ 5.7	用叠加法作梁的内力图	106
§ 5.8	多跨静定梁的内力分析	111
§ 5.9	静定平面刚架的内力分析	114
<b>第 6 章</b>	<b>杆件的应力与强度计算</b>	<b>124</b>
§ 6.1	轴向拉压杆的应力	124
§ 6.2	材料在拉伸和压缩时的力学性质	130
§ 6.3	拉压杆的强度计算	135
§ 6.4	连接件的强度计算	142
§ 6.5	扭转轴的应力和强度计算	148
§ 6.6	平面弯曲梁的正应力	156
§ 6.7	平面弯曲梁的切应力	163
§ 6.8	梁的强度条件	168
§ 6.9	提高梁弯曲强度的措施	174
§ 6.10	组合变形	177
<b>第 7 章</b>	<b>应力状态与强度理论</b>	<b>187</b>
§ 7.1	应力状态的概述	187
§ 7.2	平面应力状态	188
§ 7.3	应力极值与主应力	192
§ 7.4	强度理论	197
§ 7.5	特殊应力状态点的强度计算	201
<b>第 8 章</b>	<b>杆件的变形和结构的位移计算</b>	<b>205</b>
§ 8.1	轴向拉压杆的变形	205
§ 8.2	圆截面轴的扭转变形	207
§ 8.3	平面弯曲梁的变形	211
§ 8.4	梁的刚度条件	216
§ 8.5	结构位移计算的一般公式	221
§ 8.6	静定结构在荷载作用下的位移计算	225
§ 8.7	图乘法	228
§ 8.8	支座移动、温度改变所引起的结构位移	234
§ 8.9	互等定理	236
<b>第 9 章</b>	<b>超静定结构的内力计算</b>	<b>240</b>
§ 9.1	超静定结构概述	240
§ 9.2	力法的基本概念	241

§ 9.3	力法典型方程 .....	244
§ 9.4	对称性的利用 .....	251
§ 9.5	等截面单跨超静定梁的杆端力 .....	259
§ 9.6	位移法的基本概念 .....	265
§ 9.7	位移法典型方程 .....	274
§ 9.8	力矩分配法的基本概念 .....	280
§ 9.9	力矩分配法基本原理 .....	282
<b>第 10 章</b>	<b>压杆稳定</b> .....	<b>293</b>
§ 10.1	压杆稳定性概念 .....	293
§ 10.2	细长压杆的临界荷载 .....	294
§ 10.3	压杆的临界应力 .....	297
§ 10.4	压杆的稳定计算 .....	300
§ 10.5	提高压杆稳定性的措施 .....	305
<b>附录</b>	<b>型钢表</b> .....	<b>308</b>
附表 1	热轧等边角钢 (GB/T 9787—1988) .....	308
附表 2	热轧不等边角钢 (GB/T 9788—1988) .....	311
附表 3	热轧工字钢 (GB/T 706—1988) .....	313
附表 4	热轧槽钢 (GB/T 707—1988) .....	314
	<b>部分习题参考答案</b> .....	<b>315</b>
	<b>参考文献</b> .....	<b>324</b>



# 绪 论

## 1. 工程力学的研究对象

在水利、交通、工业与民用建筑等工程中，为满足不同需求，建造了各式各样的建筑物。如图 0.1 所示渡槽，是引渡水流跨过沟槽的建筑物；图 0.2 所示是正在施工中的办公楼房。

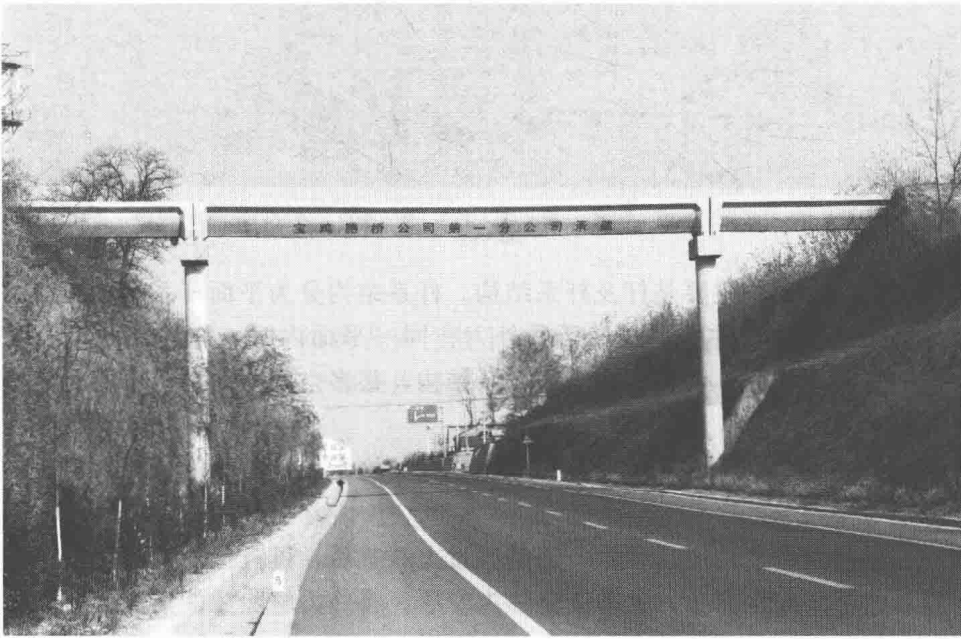


图 0.1

建筑物在施工和建成后的正常使用过程中，都要受到各种各样的力的作用，例如建筑物各部分的自重、人和设备的重量、风压和地震力的作用等，这些直接主动作用在建筑物上的外力，在工程上统称为荷载。

将建筑物中承受和传递荷载而起骨架作用的部分称为结构。图 0.1 所示渡槽的槽梁主要承受自身和水的重量，槽梁将力传到两端的支承柱上，而柱再将力传到下端的基础内。显然，图 0.1 所示建筑物中，槽梁、支承柱和基础构成渡槽的结构。楼板、梁、柱和地基构成的框架就是楼房的结构，如图 0.2 所示。将组成结构的各个部件称为构件。

组成结构的构件按其形状和尺寸可分为三类。构件的长度远大于截面宽度和厚度的称杆件；构件的长度和宽度远大于截面厚度的称薄壁构件；构件的长度、宽度、厚度为同量级尺寸的称实体构件。由杆件组成的结构称为杆系结构，如图 0.3 所示的移动式喷灌支

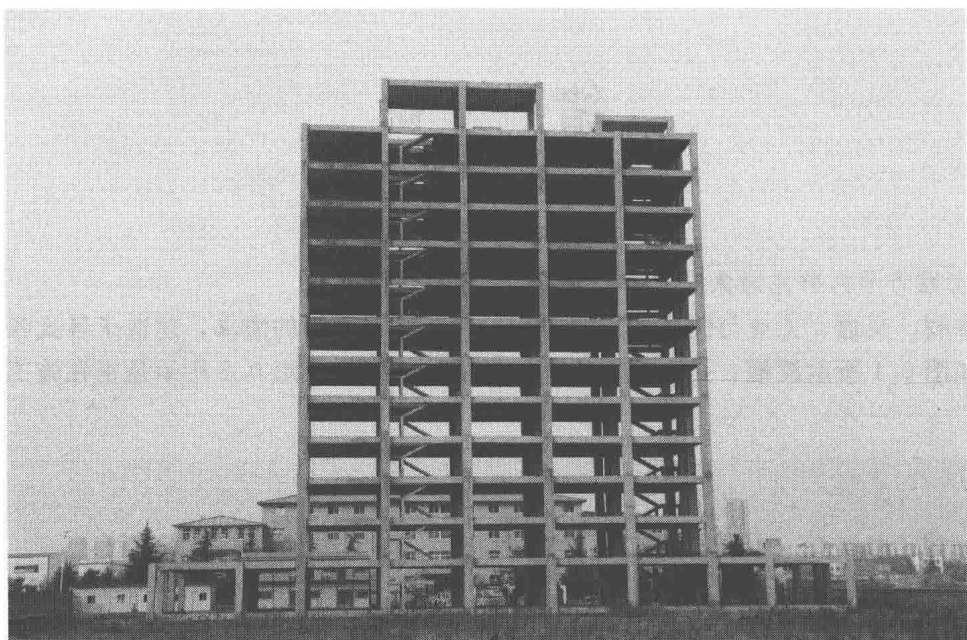


图 0.2

架。工程力学的研究对象主要是杆及杆系结构。杆系结构分为平面杆系结构和空间杆系结构，当组成结构的所有构件的轴线及所受外力在同一平面内时，称为平面杆系结构；否则，便是空间杆系结构。本书仅研究平面杆系结构，很多空间杆系结构可简化为平面杆系结构进行分析计算。

由薄壁构件和实体构件组成的薄壁结构和实体结构是弹性力学的研究对象。

## 2. 工程力学的任务

结构或构件在建造及使用过程中，当受到过大荷载后，可直接发生断裂；在一般情况下其尺寸与形状都要发生变化，这种变化称为变形。将外力解除后能消失的变形称为弹性变形，将外力解除后不能消失的变形称为塑性变形。

结构或构件在建造及使用过程中，必须使其具有足够的承载能力，才能保证结构及构件安全正常的工作。在工程力学范畴内，承载能力主要包括强度、刚度和稳定性三方面的要求。

构件应具备足够的强度（即抵抗破坏的能力），以保证在规定的使用条件下不发生意外断裂或显著塑性变形。

构件应具备足够的刚度（即抵抗变形的能力），以保证在规定的使用条件下不产生过大的弹性变形。

构件应具备足够的稳定性（即保持原有平衡形式的能力），以保证在规定的使用条件下构件在某种外力（例如轴向压力）作用下，其平衡形式不发生突然转变。

结构及构件的安全性和经济性是矛盾的，前者要求用好的材料、大的截面尺寸，而后者则要求用低廉的材料最经济的截面尺寸。要使两者达到完美的统一，就需要依靠科学理论和实践来探索材料的受力性能、确定构件的受力计算方法，使设计出的结构和构件既安

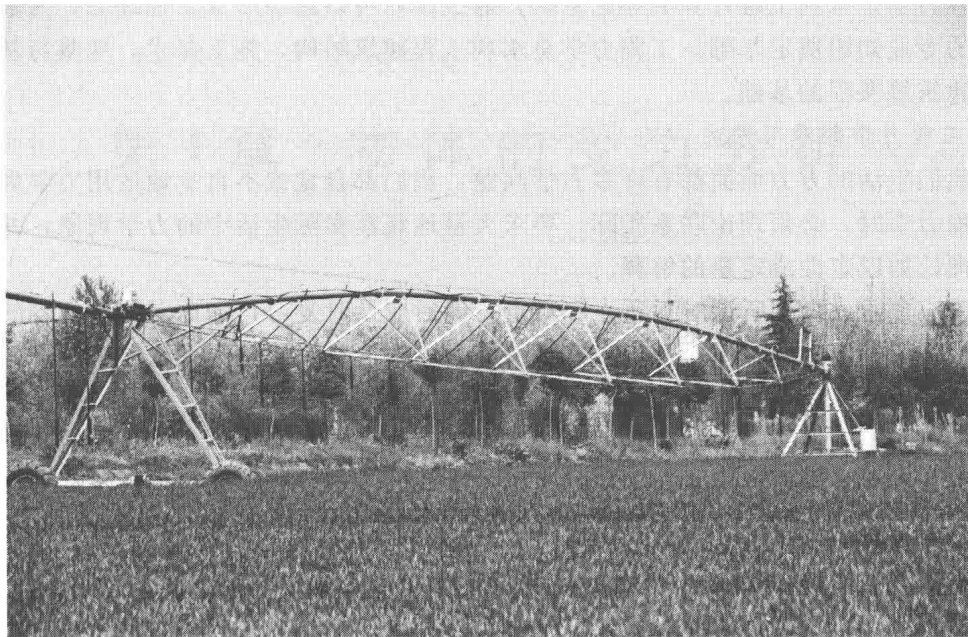


图 0.3

全又经济。

工程力学的任务是，研究结构及构件的平衡规律、承载能力和材料的力学性质，为保证结构及构件安全可靠又经济合理提供必要的计算理论。

### 3. 工程力学的内容

本书所论之“工程力学”包含以下内容：

(1) 静力学基础及静定结构内力分析——主要介绍静力学公理，研究平面力系的合成及平衡问题和静定结构的内力计算问题。

(2) 强度和刚度分析——分析构件在各基本变形形式下的应力、强度及计算方法，分析静定结构的变形及计算方法，保证结构或构件满足刚度要求。

(3) 超静定结构的内力计算——主要介绍力法、位移法和力矩分配法。

(4) 稳定计算——主要研究不同约束条件下轴向受压直杆的稳定性问题。

### 4. 学习工程力学的目的

作为施工技术及施工管理人员，必须具有工程力学的直觉能力。一个经验丰富的施工员，不用详细计算，就能感受到结构或构件何处应力大，何处应力小，什么位置是危险截面。在实际工程中，当具备这种能力后，才能科学地组织施工，制定出合理的安全和质量保证措施。而这种能力可以通过本课程得到培养。

学习工程力学有利于培养学生的创新素质，创新素质在工程力学中的培养不仅仅体现在内容安排上，而且体现在整个课程的全过程，包括教学形式、方法、手段、要求等方面。对学习者的思维训练也是极有益的，通过工程力学的学习可以培养严谨、理性的思维习惯。按科学的方法分析和解决问题，不论从事何种工作都将受益匪浅。通过这些知识的学习所培养的能力和形成的素质将会一辈子受益。

工程力学是水利工程计算的理论基础，通过学习可以逐步形成工程理念，为掌握好水利工程的专业知识奠定基础。工程力学是水利工程建筑结构、施工技术、地基与基础、水利工程建筑等课程的基础。

#### 5. 工程力学的学习方法

在我们生活的方方面面都有许多力学问题，我们都自觉或不自觉地运用力学规律。在学习工程力学时，必须理论联系实际，要求大量地观察实际生活中的力学现象，并学会用学到的理论加以定性或定量的解释。

课前应预习，做到听课时抓重点和难点；课后应及时复习，加深对所学内容的理解和记忆。在复习理解的基础上，再做一定量的练习，练习是运用基本理论解决实际问题的—种训练。

工程力学系统性较强，后面的内容总是以前面的知识为基础，各部分有较紧密的联系。因此，在学习时要循序渐进，及时解决不清楚的问题；要注意深刻理解基本概念、基本理论和基本方法，挖掘知识之间的逻辑关系，不能满足于背公式、记结论；要注意分析问题的思路和解决问题的方法。

# 第1章 物体的受力分析

## § 1.1 静力学基本概念

### 1. 力的概念

力是物体间相互的机械作用，这种作用能使物体的机械运动状态发生改变，同时还能使物体产生变形。力使物体的机械运动状态发生改变，称力的运动效应或外效应；力使物体的形状发生改变，称力的变形效应或内效应。

就力对物体的外效应来说，又可以分为两种情况，即力的移动效应和转动效应。例如，人沿直线轨道推小车使小车产生移动，这是力的移动效应；人作用于绞车手柄上的力使鼓轮转动，这是力的转动效应。在一般情况下，一个力对物体作用时，既有移动效应，又有转动效应。如打乒乓球时，如果球拍作用于乒乓球的力恰好通过球心，只有移动效应；如果此力不通过球心，则不仅有移动效应，还有绕球心的转动效应。

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。这三者称为力的三要素。

(1) 力的大小。力的大小表示物体间机械作用的强弱程度，力的国际单位制是牛顿(N)，千牛顿(kN)， $1\text{kN}=10^3\text{N}$ 。

(2) 力的方向。力的方向表示物体间的机械作用具有方向性，它包含方位和指向。如重力“铅直向下”，“铅直”是指力的作用线在空间的方位，“向下”是指力沿作用线的指向。

(3) 力的作用点。力的作用点是力作用在物体上的位置。实际上，当两个物体直接接触时，力总是分布地作用在一定的面积上。如手推车时，力作用在手与车厢接触的面积上。当力作用的面积很小以至可以忽略其大小时，就可以近似地将力看成作用在一个点上。

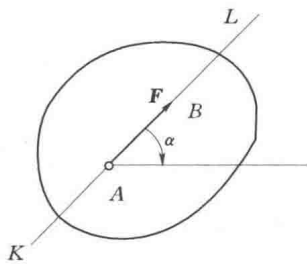


图 1.1

力是一个定位矢量，可用一个带箭头的线段表示，如图 1.1 所示。线段 AB 的始端 A 或末端 B 表示力的作用点，线段 AB 的长度表示力的大小，用线段的方位角和箭头表示力的方向。

### 2. 刚体的概念

由于结构或构件在正常使用情况下产生的变形很小，例如，桥梁在车辆、人群等荷载作用下的最大竖向位移一般不超过桥梁跨度的  $1/900\sim 1/700$ 。物体的微小变形对于研究

物体的平衡问题影响很小,忽略微小变形可使所研究的问题得以简化,因而,可以将物体视为不变形的理想体——刚体,即在任何外力的作用下,大小和形状始终保持不变的物体称为刚体。

显然,现实中刚体是不存在的。任何物体在力的作用下,总是或多或少地发生一些变形。在材料力学中,主要是研究物体在力作用下的变形和破坏,所以必须将物体看成变形体。在静力学中,主要研究的是物体的平衡问题,为研究问题的方便,则将所有物体均视为刚体。

### 3. 力系的概念

作用在物体上的一群力称为一个力系。按照力系中各力作用线分布的情况,力系可分为:平面力系(力系中各力的作用线共面)和空间力系(力系中各力的作用线不完全共面)。本书主要研究平面力系,平面力系一般又可分为以下四种:

- (1) 平面汇交力系:力系中各力作用线汇交于一点。
- (2) 平面力偶系:力系中各力组成若干个力偶。
- (3) 平面平行力系:力系中各力作用线相互平行。
- (4) 平面一般力系:力系中各力作用线既不完全交于一点,也不完全平行。

### 4. 平衡的概念

所谓平衡,是指物体相对于地球表面保持静止或作匀速直线运动的状态。平衡状态的物体上作用的力系,称为平衡力系。将平衡力系必须满足的条件称力系的平衡条件。力系的平衡条件是静力学研究的主要问题之一。

在刚体静力学中,所研究的对象(物体或物体系统)被抽象为刚体,故暂不考虑物体的变形;所讨论的状态是平衡状态,所以也不考虑物体运动状态的改变。

## § 1.2 静力学基本公理

人们在长期的生产和生活实践中,经过反复观察和实践,总结出了关于力的最基本的客观规律,这些客观规律被称为静力学公理,并经过实践的检验证明它们是符合客观实际的普遍规律,它们是研究力系简化和平衡问题的基础。

### 1. 公理一(作用与反作用定律)

两个物体间的作用力与反作用力,总是大小相等,方向相反,作用线共线,分别作用在两个物体上。如图 1.2 (a) 所示,物体 A 与物体 B 相互压紧,物体 B 对物体 A 有支持力  $F$ ,物体 A 对物体 B 有压力  $F'$ ,力  $F$  与  $F'$  就是作用力与反作用力的关系。作用力与反作用力总是成对出现,但它们分别作用在两个物体上,因此不能视作平衡力系。

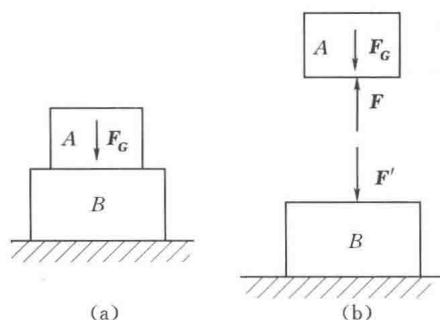


图 1.2

### 2. 公理二(力的平行四边形法则)

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,此合力矢由两个分力矢构成的平行四边形



对角线确定。合力的作用点仍在两分力的作用点。如图 1.3 (a) 所示两个共点力，可合成为一个合力，如图 1.3 (b) 所示。合力矢由平行四边形法则确定，如图 1.3 (c) 所示。为了简便起见，往往不必画出两分力矢为邻边所构成的整个平行四边形，把  $F_2$  力矢平移到对边，使得  $F_1$  和  $F_2$  力矢首尾相连，而只画出平行四边形中的一个三角形，如图 1.3 (d) 所示。这种通过作三角形求合力矢的方法，称为力的三角形法则。

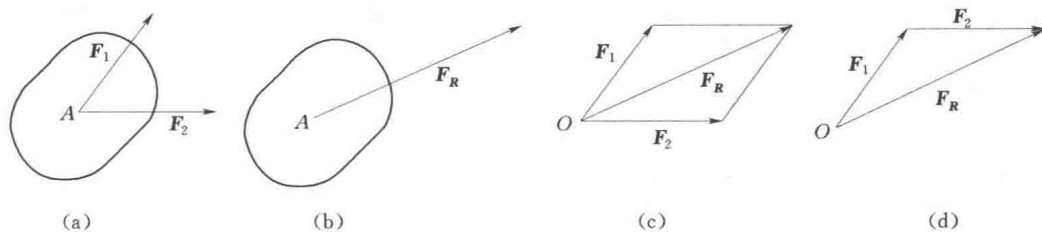


图 1.3

### 3. 公理三（二力平衡公理）

作用在同一刚体上的两个力，使刚体平衡的必要和充分条件是，这两个力大小相等，方向相反，作用在同一条直线上，如图 1.4 所示。

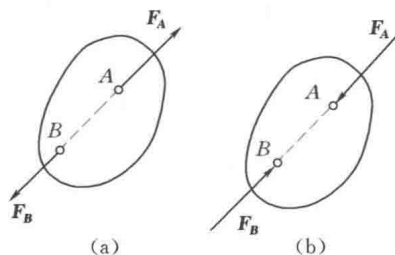


图 1.4

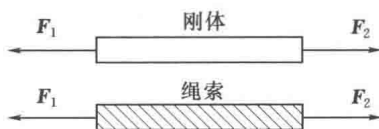


图 1.5

二力平衡公理对于刚体是充分的也是必要的，而对于变形体只是必要的，而不是充分的。如图 1.5 所示的绳索的两端若受到一对大小相等、方向相反的拉力作用可以平衡，但若是压力就不能平衡了。

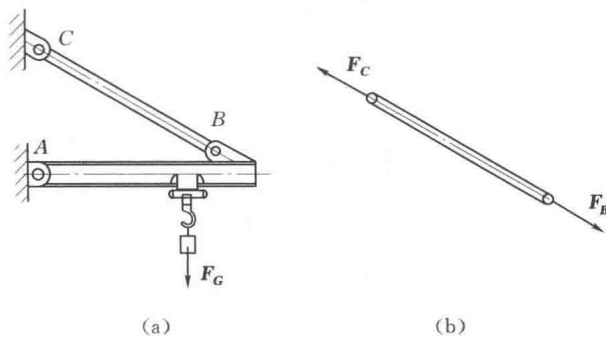


图 1.6

受二力作用而处于平衡的杆件称为二力杆件（简称为二力杆），如图 1.6 (a) 所示简单吊车中的拉杆  $BC$ ，如果不考虑它的重量，杆就只在点  $B$  和点  $C$  处分别受到力  $F_B$  和  $F_C$

的作用；因杆  $BC$  处于平衡，根据二力平衡条件，力  $F_B$  和  $F_C$  必须等值、反向、共线，即力  $F_B$  和  $F_C$  的作用线都一定沿着  $B$ 、 $C$  两点的连线，如图 1.6 (b) 所示。

#### 4. 公理四（加减平衡力系公理）

在作用于刚体上的任意力系中，加上或去掉任何平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。也就是说在刚体上相差一个平衡力系的两个力系作用效果相同，可以互换。这个公理的正确性是显而易见的：因为平衡力系不会改变刚体原来的运动状态（静止或做匀速直线运动），也就是说，平衡力系对刚体的运动效果为零。所以在刚体上加上或去掉一个平衡力系，是不会改变刚体原来的运动状态的。

#### 5. 推论一（力的可传性原理）

作用于刚体上的力可沿其作用线移动到刚体内的作用线段上任意一点，而不会改变该力对刚体的作用效应。

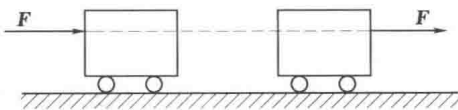


图 1.7

力的可传性原理很容易为实践所验证。例如，用绳拉车，或者沿绳子同一方向，用手以同样大小的力推车，对车产生的运动效果相同，如图 1.7 所示。

力的可传性原理告诉我们，力对刚体的作用效果与力的作用点在作用线上的位置无关。换句话说，力在同一刚体上可沿其作用线任意移动。这样，对于刚体来说，力的作用点在作用线上的位置已不是决定其作用效果的要素，而力的作用线对刚体的作用效果起决定性的作用。对刚体而言，力的三要素应表示为：力的大小、方向和作用线。

在应用力的可传性原理时应当注意，它只适用于同一个刚体，不适用于两个刚体（不能将作用于一个刚体上的力随意沿作用线移至另一个刚体上）。如图 1.8 (a) 所示，两平衡力  $F_1$ 、 $F_2$  分别作用在两物体  $A$ 、 $B$  上，能使物体系保持平衡（此时物体之间有压力），但是，如果将  $F_1$ 、 $F_2$  各沿其作用线移动成为如图 1.8 (b) 所示的情况，则两物体各受一个拉力作用而失去平衡。

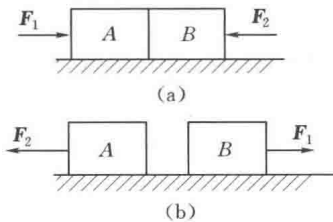


图 1.8

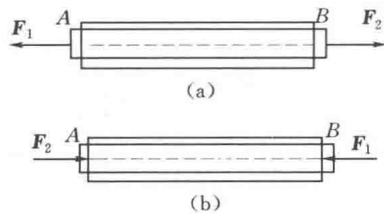


图 1.9

另外，力的可传性原理也不适用于变形体。如一个变形体受  $F_1$ 、 $F_2$  的拉力作用将产生伸长变形，如图 1.9 (a) 所示；若将  $F_1$ 、 $F_2$  沿其作用线移到另一端，如图 1.9 (b) 所示，物体将产生压缩变形，变形形式发生变化，即作用效果发生改变。

#### 6. 推论二（三力平衡汇交定理）

一刚体只作用三个力而平衡时，则此三力作用线必汇交于一点且共面。

三力平衡汇交定理给出了三个力平衡的必要条件。如图 1.10 (a) 所示，设刚体在三

力  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_3$  作用下处于平衡, 若  $F_1$  和  $F_2$  汇交于  $O$  点, 将力  $F_1$  和  $F_2$  沿其作用线移动到汇交点  $O$  处 [图 1.10 (b)], 并将其合成为  $F_{12}$ , 则  $F_{12}$  和  $F_3$  构成二力平衡力系 [图 1.10 (c)], 所以  $F_3$  必通过汇交点  $O$ , 且三力必共面。对于只作用三个平行力而平衡的刚体, 则此三力作用线必汇交于力作用线方向的无穷远处点且三力共面, 这是三力平衡汇交定理的特例。

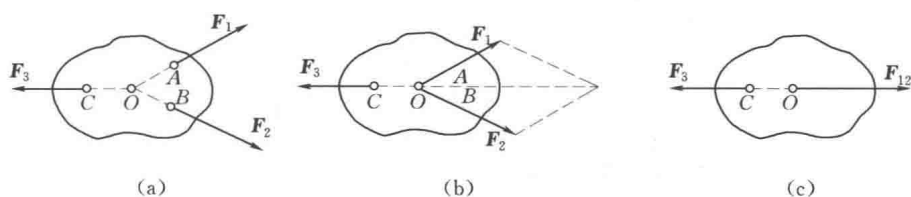


图 1.10

### § 1.3 约束和约束力

#### 1. 约束和约束力的概念

在建筑工程中所研究的物体, 一般都要受到其他物体的限制而不能自由运动。例如, 基础受到地基的限制, 梁受到柱子或者墙的限制。物体某些方向的运动受到一定限制, 这种物体称为非自由体。可在空间自由运动不受任何限制的物体称为自由体, 例如, 飞行的飞机、炮弹和火箭等。

(1) 约束。将限制或阻碍物体运动的装置称为约束。例如上面提到的地基是基础的约束; 墙或柱子是梁的约束。而非自由体称为被约束物体。

(2) 约束力。由于约束限制了被约束物体的运动, 在被约束物体沿着约束所限制的方向有运动趋势时, 约束必然对被约束物体有力的作用, 以阻碍被约束物体的运动。这种力称为约束力。因此, 约束力的方向必与该约束所能阻碍物体的运动方向相反。运用这个准则, 可确定约束力的方向。

#### 2. 工程中常见的几种约束

(1) 柔体约束。用柔软的皮带、绳索和链条等阻碍物体运动而构成的约束叫柔体约束。这种约束只能限制物体沿着柔体中心线离开柔体方向的移动。所以约束力一定通过接触点, 沿着柔体中心线背离被约束物体的拉力。如图 1.11 (a) 所示重物, 受到绳索的约束, 其约束力如图 1.11 (b) 中所示的力  $F_T$ 。

(2) 光滑面约束。当两物体表面接触压紧传力, 在接触处的摩擦力很小且略去不计时, 就是光滑接触面约束。这种约束不论接触面的形状如何, 只能限制物体沿着接触面的公法线向着光滑面内的运动。所以光滑接触面约束力是通过接触点, 沿着接触面的公法线指向被约束物体的压力。如图 1.12 (a) 所示地面对球体的约束力, 可表示成图 1.12 (b) 中的力  $F_N$ 。