



高职高专“十二五”规划教材

应用型本科适用

# 工程力学

GONGCHENG LIXUE

主 编 于荣贤 副主编 郝宏伟 朱全志

- 简化理论推导
- 加强实践应用

上海科学技术出版社



清华大学出版社  
Tsinghua University Press

# 工程力学

（第2版）

主编：王勖 副主编：陈世清 王世明

清华大学出版社  
Tsinghua University Press

ISBN 7-302-11111-1



高职高专“十二五”规划教材

应用型本科适用

# 工程力学

GONGCHENG LIXUE

主 编 于荣贤 副主编 郝宏伟 朱全志

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 于荣贤主编. —上海:上海科学技术出版社,2011.7

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5478-0762-0

I. ①工… II. ①于… III. ①工程力学-高等职业教育-教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 055341 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行  
上海科学技术出版社

(上海钦州南路71号 邮政编码200235)

新华书店上海发行所经销

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张:13.5

字数:298千字

2011年7月第1版 2011年7月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-0762-0/O·7

定价:28.00元

---

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,  
请向工厂联系调换

本书分为静力学、材料力学和运动力学三部分。静力学介绍静力学基础、平面基本力系、平面一般力系和空间力系；材料力学介绍杆件在拉伸与压缩、扭转及连接件变形、弯曲变形时的强度和变形及有关概念；运动力学介绍点、刚体的基本运动和复合运动及使刚体运动状态产生变化的因素等。各专业可根据情况进行内容选择。每章开始附有学习目标，每章后附有思考与练习，用以配合学习。

本书特点是：简化理论推导，注重实际应用，以工程实例为切入点进行讲述，突出应用型本科及专科的教学特色。

本书可作为应用型本科、各类高职高专及成人教育院校的机械类、近机械类的各专业教学用书，也可供有关工程技术人员参考。

# 作者名单

Authors

工程力学

主 编 于荣贤

副主编 郝宏伟 朱全志

参 编 张松锋 范正刚

随着高职教育的大众化、普及化,应用型本科也应运而生。根据应用型本科及高职高专教育对工程力学课程的要求,编者结合多年的教学经验,并在上海科学技术出版社的帮助下,编写出此教材。

教材在编写过程中充分考虑应用型本科及高职高专学生的生源特点,在文字叙述上力求准确、简练和严谨。在内容安排上,着重讲述基本概念、基本原理、基本方法,简化理论推导,加强实践应用;在各章安排上,增加了学习目标,使学生更容易了解学习的重点内容和学习要求,便于掌握力学知识,为后续课程奠定基础。

本书采用国际单位制,每章后面附有思考与练习。

全书由河北工业职业技术学院于荣贤担任主编,并统稿定稿;河北工业职业技术学院郝宏伟、河南工程学院朱全志担任副主编。参加编写工作的有:周口职业技术学院张松锋(第一~三章),郝宏伟(第四、八章),张家界航空工业职业技术学院范正刚(第五~七章),于荣贤(第九~十章),朱全志(第十一~十三章)。

本书在编写过程中,有关同行提出了很多宝贵意见和建议,在此表示感谢。

由于编者水平有限,错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

|          |   |
|----------|---|
| 绪论 ..... | 1 |
|----------|---|

## 第一篇 静力学

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第一章 静力学基础 .....     | 5  |
| 第一节 静力学基本概念 .....   | 5  |
| 第二节 静力学公理 .....     | 6  |
| 第三节 常见约束与约束反力 ..... | 8  |
| 第四节 受力分析与受力图 .....  | 10 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第二章 平面基本力系 .....       | 14 |
| 第一节 平面力系的概念 .....      | 14 |
| 第二节 平面汇交力系的合成与平衡 ..... | 14 |
| 第三节 平面力偶系的合成与平衡 .....  | 19 |
| 第四节 力的平移定理和力对点之矩 ..... | 22 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第三章 平面一般力系 .....          | 28 |
| 第一节 平面一般力系的概念 .....       | 28 |
| 第二节 平面一般力系向一点简化 .....     | 28 |
| 第三节 平面一般力系的平衡方程及其应用 ..... | 30 |
| 第四节 物体系统的平衡问题 .....       | 34 |
| 第五节 考虑摩擦时的平衡问题 .....      | 38 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第四章 空间力系 .....             | 47 |
| 第一节 空间力系的概念 .....          | 47 |
| 第二节 力在空间直角坐标轴上的投影和分解 ..... | 48 |
| 第三节 力对轴之矩 .....            | 49 |
| 第四节 空间力系的平衡 .....          | 51 |



## 第二篇 材料力学

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第五章 轴向拉伸与压缩</b> .....   | 59  |
| 第一节 轴向拉伸和压缩的概念 .....       | 59  |
| 第二节 轴向拉(压)时横截面上的内力 .....   | 60  |
| 第三节 轴向拉(压)时横截面上的应力 .....   | 61  |
| 第四节 轴向拉(压)时的变形 .....       | 63  |
| 第五节 材料的力学性能 .....          | 65  |
| 第六节 构件在拉伸和压缩时的强度计算 .....   | 68  |
| 第七节 应力集中的概念 .....          | 72  |
| 第八节 连接件的强度计算 .....         | 73  |
| <b>第六章 圆轴的扭转</b> .....     | 81  |
| 第一节 扭转的概念与实例 .....         | 81  |
| 第二节 圆轴扭转时横截面上的内力 .....     | 81  |
| 第三节 圆轴扭转的切应力 .....         | 83  |
| 第四节 圆轴扭转变形计算 .....         | 86  |
| 第五节 圆轴扭转时的强度和刚度计算 .....    | 87  |
| <b>第七章 直梁的弯曲</b> .....     | 92  |
| 第一节 平面弯曲的概念 .....          | 92  |
| 第二节 梁弯曲时横截面上的内力 .....      | 93  |
| 第三节 剪力图和弯矩图 .....          | 95  |
| 第四节 纯弯曲时梁横截面上的应力 .....     | 100 |
| 第五节 常用截面的惯性矩、抗弯截面模量 .....  | 103 |
| 第六节 梁弯曲的强度条件 .....         | 106 |
| 第七节 提高梁抗弯能力的措施 .....       | 109 |
| 第八节 梁的弯曲变形 .....           | 112 |
| <b>第八章 组合变形构件的强度</b> ..... | 122 |
| 第一节 组合变形的概念 .....          | 122 |
| 第二节 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形 .....   | 123 |
| 第三节 扭转与弯曲的组合变形 .....       | 126 |
| <b>第九章 压杆的稳定</b> .....     | 133 |
| 第一节 压杆稳定的概念 .....          | 133 |
| 第二节 细长压杆的临界力 .....         | 134 |
| 第三节 压杆的稳定性计算 .....         | 137 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第十章 动荷应力和交变应力简介</b> ..... | 139 |
| 第一节 动载荷和动应力概念 .....          | 139 |
| 第二节 交变应力的概念 .....            | 139 |
| 第三节 交变应力的循环特性及类型 .....       | 140 |

### 第三篇 运动力学

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第十一章 质点运动力学</b> .....  | 145 |
| 第一节 点的运动规律 .....          | 145 |
| 第二节 自然法求点的速度和加速度 .....    | 147 |
| 第三节 直角坐标法求点的速度和加速度 .....  | 150 |
| 第四节 质点运动微分方程 .....        | 153 |
| <b>第十二章 刚体运动力学</b> .....  | 159 |
| 第一节 刚体的简单运动 .....         | 159 |
| 第二节 刚体简单运动的动力学方程 .....    | 163 |
| 第三节 刚体简单运动动力学方程的应用 .....  | 166 |
| 第四节 动静法 .....             | 168 |
| 第五节 点的复合运动分析 .....        | 172 |
| 第六节 刚体的复杂运动分析 .....       | 175 |
| <b>第十三章 动能定理</b> .....    | 185 |
| 第一节 常见力的功 .....           | 185 |
| 第二节 质点的动能定理 .....         | 188 |
| 第三节 质点系的动能和动能定理 .....     | 190 |
| 第四节 功率 .....              | 193 |
| <b>思考与练习参考答案</b> .....    | 198 |
| <b>附录 型钢规格表(摘录)</b> ..... | 203 |
| <b>参考文献</b> .....         | 206 |

# 绪 论

---

## 一、工程力学的任务

理论力学与材料力学总称为工程力学,它是研究物体机械运动一般规律以及工程构件强度、刚度和稳定性等计算原理的一门学科。

在工程实际中,常会遇到需要了解机器的运动规律、分析机器构件的受力情况、确定机器构件的形状和尺寸等问题,工程力学将为解决这些问题提供必要的理论基础。

## 二、名词解释

机械运动:指物体在空间的位置随时间变化而变化的规律。它是人们日常生活和工程实际中最普遍、最常见的一种物质运动形式,简称为运动。

平衡:指物体相对于地面静止或作匀速直线运动的状态,是机械运动的特殊情况。掌握物体机械运动的普遍规律,可以分析和解释许多发生在人们周围的机械运动的现象。应当指出:物体的运动是绝对的,而平衡则是相对的。

## 三、内容

本书分为静力学、材料力学和运动力学三篇。

静力学主要研究受力物体平衡时作用力所应满足的条件及在工程上的应用。

材料力学主要研究构件在外力作用下的变形和破坏规律,为合理设计构件提供有关强度、刚度和稳定性的基本理论及方法。

运动力学主要研究质点和刚体的基本运动,以及在这些运动中,受力物体的运动与作用力之间的关系。

## 四、学习目的

工程力学是一门理论性较强同时又与工程实际紧密结合的技术基础课。通过本课程的学习,可以培养学生分析问题和解决问题的能力,并为以后有关课程的学习打下良好的基础,指导今后的工程实践,培养辩证唯物主义的世界观。



## 静力学

---

静力学主要研究物体在力作用下的平衡问题,即对物体受力进行分析和分析物体在力系作用下的平衡条件。

在工程实际中,平衡规律有其广泛的应用。各种机器或建筑物,在设计时首先要进行静力学分析,以便确定其各部件或零件的受力情况,从而选择合适的尺寸、形状和材料。故静力学是工程力学的基础,这里首先讨论静力学。



## 第一章

## 静力学基础

### ●●●【学习目标】

1. 了解静力学基本概念、力及刚体的概念。
2. 理解静力学公理及推论。
3. 掌握常见约束的反力分析法,正确画出受力图。

## 第一节 静力学基本概念

### 一、力的概念

力是人们在长期的生活和生产实践中从感性认识到理性认识逐步形成的一个概念。即力是物体之间的相互机械作用,这种作用使物体的运动状态或形态发生改变。物体运动状态的改变是力的外效应;物体形态的改变是力的内效应。静力学和运动力学只研究力的外效应,而材料力学则研究力的内效应。

注1 因为力是物体间的相互机械作用,所以它不能脱离物体而单独存在。

注2 力对物体作用的效应取决于力的大小、方向和作用点,通常称为力的三要素。当这三个要素中任何一个要素有所改变时,其力的作用效果就会改变。

注3 力的国际单位制是牛[顿](N)或千牛(kN)。

注4 力是矢量。在图上它可用一有向线段(矢线)来表示,如图1-1所示。线段的长度(按一定的比例)表示力的大小,线段的箭头表示力的指向,线段的始端或末端表示力的作用点,线段所在的直线称为力的作用线。

本书用黑体字母表示矢量,用普通字母表示矢量的大小。

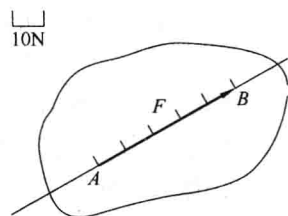


图1-1 力的表示

### 二、力系

一般情况下,作用于物体上的力不是一个,而是几个,同时作用在一个物体上的几个力称为力系。如果作用于物体上的力系使物体处于平衡状态,则称该力系为平衡力系。平衡是机械运动的一种特殊形式,指物体相对于地球保持静止或匀速直线运动。

### 三、刚体的概念

所谓刚体,就是在任何情况下,任意两点间距离都保持不变的物体。当然,在宇宙中并无刚体存在,一切物体受力都要产生变形,刚体只是一个理想的力学模型。工程力学的静力

学和运动力学部分在研究物体的平衡或运动时,将物体的微小变形忽略不计,而将物体视为刚体。在材料力学部分需研究物体的变形,故不能把物体看成刚体。

## 第二节 静力学公理

公理是人们通过长期的缜密观察和经验积累得到的结论,已为实践所证实,并为大家所公认。静力学公理是人们关于力的基本性质的概括和总结,是静力学理论的基础。

### 公理一 二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力,使刚体平衡的充分必要条件是:这两个力大小相等、方向相反且作用在同一直线上(简称等值、反向、共线),如图 1-2 所示。二力平衡公理总结了作用于刚体上的最简单力系平衡时必须满足的条件。

对于变形体来说,公理一给出的条件是必要的,但不是充分的。

工程上常遇到仅受二力作用而处于平衡的物体称为二力构件或二力杆。根据公理一,该两力必沿此二力作用点的连线。

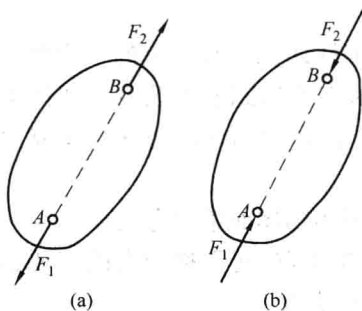


图 1-2 二力平衡条件

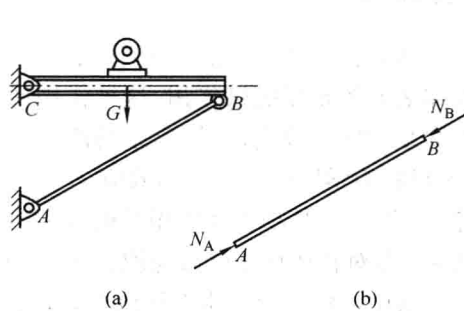


图 1-3 二力构件

如图 1-3a 所示托架,其中  $AB$  杆若不计自重,则仅在  $A$  和  $B$  两点受力,是一个二力构件。根据二力平衡公理可以确定, $AB$  杆所受的力必沿  $A$  和  $B$  两点的连线,如图 1-3b 所示。

### 公理二 加减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意一个平衡力系,不会改变原力系对刚体作用的外效应。也就是说,加上或减去的平衡力系对刚体的平衡或运动状态毫无影响。

#### 推论 1 力的可传性原理

作用于刚体上的力,可沿其作用线移至刚体上任意一点,而不改变它对刚体作用的外效应,如图 1-4 所示。

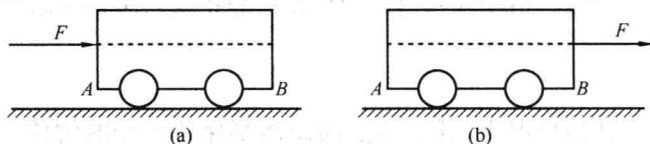


图 1-4 力的可传性



由力的可传性原理可以看出,对刚体而言,力的作用点已不再是决定其效应的要素之一,而由作用线取代。因此,作用于刚体上的力的三要素可改变为力的大小、方向和作用线。

注意:公理二及其推论 1 只适用于刚体而不适用于变形体。

**公理三 力的平行四边形法则**

作用于刚体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,其作用线必通过该点,合力的大小和方位由两个力所构成的平行四边形的对角线表示。

图 1-5 中,设在刚体的 A 点作用有力  $F_1$  和  $F_2$ ,如以  $R$  表示它们的合力,则可以写成矢量表达式

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

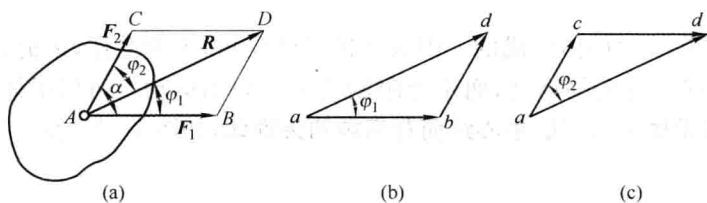


图 1-5 力的合成

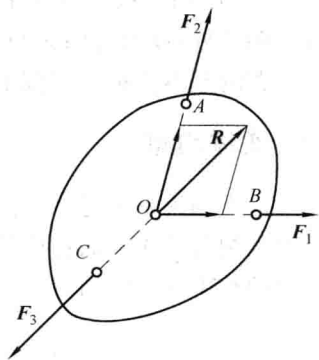


图 1-6 三力平衡

**推论 2 三力平衡汇交定理**

当刚体受到同平面内互不平行的三个力作用而平衡时,则此三力的作用线必汇交于一点。

如图 1-6 所示,设在刚体上 A、B、C 三点处,分别作用三个力  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 。它们的作用线都在平面 ABC 内,但不平行,刚体处于平衡状态。根据力的可传性原理,可将  $F_1$  与  $F_2$  分别移至其作用线相交于点 O,则此二力的合力  $R$  必定在此平面内且通过 O 点(公理二)。由公理一知,  $F_3$  与  $R$  平衡,则  $F_3$  与  $R$  必共线。所以,  $F_3$  的作用线亦必通过力  $F_1$  和  $F_2$  的交点 O,即三个力的作用线汇交于一点。

**公理四 作用与反作用定律**

两物体间相互作用的力,总是同时存在,并且大小相等、方向相反,沿同一直线,分别作用在这两个物体上,如图 1-7 所示。

作用与反作用定律概括了自然界中物体相互作用的关系。表明作用的力总是成对出现,有作用力就有反作用力,两者总是同时存在,又同时消失。

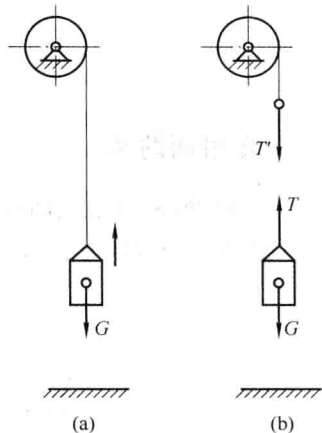


图 1-7 作用与反作用力