

普通高等教育“十二五”规划教材

# 工程力学

Engineering Mechanics

齐威 贺向东 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

# 工 程 力 学

主编 齐 威 贺向东  
参编 金 艳 靳永强



机械工业出版社

本书由刚体静力学和材料力学基础两部分组成。本书的特点是：精选内容，注重对工程力学的基本概念、基本理论和基本方法的介绍，重点突出，易于理解和掌握。

本书可作为高等工科院校本科各专业力学基础课程教材，也可供专科及高等职业技术学院的学生、自学者及广大工程技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/齐威, 贺向东主编. —北京: 机械工业出版社, 2015. 7  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-111-50575-4

I. ①工… II. ①齐…②贺… 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 (2015) 第 135922 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 姜 凤 责任编辑: 姜 凤 任正一 版式设计: 赵颖喆  
责任校对: 肖 琳 封面设计: 张 静 责任印制: 李 洋

中国农业出版社印刷厂印刷

2015 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·16.25 印张·330 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-50575-4

定价: 29.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379649

网络服务

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

我们依据教育部力学基础课程教学指导分委员会最新制定的《理论力学课程教学基本要求》与《材料力学课程教学基本要求》，总结多年的教学实践经验，并汲取兄弟院校教材的精华编写了这本《工程力学》教材。

本书的主要内容包括刚体静力学基础、平面力系、空间力系、材料力学的基本概念、轴向拉压变形、圆轴的扭转变形、梁的弯曲变形、组合变形、应力状态与强度理论以及压杆的稳定等，大约需要 60 学时，可作为机械类和近机械类专业力学基础必修课程教材。

本书在满足教学基本要求的前提下，力求做到提高起点、精选内容、合理组织结构，注重对工程力学的基本概念、基本理论和基本方法的介绍，注重概念的完整性，同时兼顾其应用性。

本书在编写过程中尽量做到符合学生的认知特点和教学规律，合理选择和安排例题和习题。

本书由大连工业大学机械工程与自动化学院力学教研室齐威、贺向东担任主编，参加本书编写的还有大连工业大学机械工程与自动化学院力学教研室金艳、大连四方电泵有限公司靳永强。

限于编者水平，书中欠妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 绪论 .....                  | 1  |
| 第一节 工程力学的任务 .....         | 1  |
| 第二节 工程力学发展概述 .....        | 1  |
| 第三节 力学的分类 .....           | 2  |
| 第四节 工程力学的研究内容 .....       | 3  |
| 第一章 刚体静力学基础 .....         | 4  |
| 第一节 力和刚体 .....            | 4  |
| 第二节 静力学公理 .....           | 5  |
| 第三节 约束和约束力 .....          | 7  |
| 第四节 物体的受力分析与受力图 .....     | 10 |
| 习题 .....                  | 13 |
| 第二章 平面力系 .....            | 16 |
| 第一节 力在轴上的投影与力对点的矩 .....   | 16 |
| 第二节 力偶矩 平面力偶系的简化 .....    | 19 |
| 第三节 平面力系的简化 .....         | 20 |
| 第四节 平面力系的平衡条件与平衡方程式 ..... | 24 |
| 第五节 平面力系平衡方程式的应用举例 .....  | 27 |
| 第六节 物系的平衡 静定与超静定的概念 ..... | 30 |
| 第七节 滑动摩擦及其平衡问题 .....      | 37 |
| 习题 .....                  | 42 |
| 第三章 空间力系 .....            | 49 |
| 第一节 力在空间直角坐标轴上的投影 .....   | 49 |
| 第二节 力对轴的矩与力对点的矩 .....     | 50 |
| 第三节 空间力系的平衡方程式及其应用 .....  | 54 |
| 第四节 平行力系的中心与重心 .....      | 61 |
| 习题 .....                  | 65 |
| 第四章 材料力学的基本概念 .....       | 68 |
| 第一节 材料力学的任务 .....         | 68 |
| 第二节 变形固体及其基本假设 .....      | 70 |
| 第三节 内力 截面法 应力 应变 .....    | 71 |
| 第四节 杆件变形的基本形式 .....       | 74 |
| 习题 .....                  | 75 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| <b>第五章 拉伸与压缩</b>       | 77  |
| 第一节 轴向拉伸与压缩的概念与实例      | 77  |
| 第二节 轴向拉伸与压缩时杆件的内力与应力   | 77  |
| 第三节 轴向拉伸与压缩时杆件的变形计算    | 80  |
| 第四节 材料受拉伸与压缩时的力学性能     | 82  |
| 第五节 许用应力 强度条件          | 88  |
| 第六节 简单拉伸与压缩的超静定问题      | 90  |
| 第七节 应力集中的概念            | 93  |
| 习题                     | 94  |
| <b>第六章 剪切与挤压</b>       | 99  |
| 第一节 剪切的概念及其实用计算        | 99  |
| 第二节 挤压的概念及其实用计算        | 102 |
| 习题                     | 105 |
| <b>第七章 扭转</b>          | 107 |
| 第一节 扭转的概念与实例           | 107 |
| 第二节 外力偶矩与扭矩图           | 107 |
| 第三节 纯剪切与剪切胡克定律         | 110 |
| 第四节 圆轴扭转时的应力与变形        | 113 |
| 第五节 圆轴扭转时的强度与刚度条件      | 118 |
| 第六节 矩形截面杆扭转的概念         | 122 |
| 第七节 扭转超静定问题            | 124 |
| 习题                     | 125 |
| <b>第八章 弯曲内力与强度计算</b>   | 129 |
| 第一节 平面弯曲的概念与实例         | 129 |
| 第二节 梁的内力——剪力与弯矩        | 130 |
| 第三节 剪力图与弯矩图            | 133 |
| 第四节 载荷集度、剪力与弯矩间的关系     | 136 |
| 第五节 纯弯曲时梁横截面上的正应力      | 139 |
| 第六节 梁的弯曲正应力强度条件及其应用    | 144 |
| 第七节 弯曲切应力              | 151 |
| 第八节 提高梁的弯曲强度的措施        | 153 |
| 习题                     | 158 |
| <b>第九章 弯曲变形与刚度计算</b>   | 165 |
| 第一节 梁的挠度与转角            | 165 |
| 第二节 挠曲线的微分方程           | 166 |
| 第三节 用积分法求梁的变形          | 167 |
| 第四节 用叠加法求梁的变形          | 171 |
| 第五节 梁的刚度校核 提高梁的刚度的主要措施 | 173 |
| 第六节 简单超静定梁的解法          | 174 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 习题 .....                        | 177        |
| <b>第十章 应力状态与强度理论 .....</b>      | <b>180</b> |
| 第一节 概述 .....                    | 180        |
| 第二节 平面应力状态分析——解析法 .....         | 181        |
| 第三节 平面应力状态分析的图解法——应力圆 .....     | 185        |
| 第四节 三向应力状态简介 .....              | 187        |
| 第五节 广义胡克定律 .....                | 188        |
| 第六节 强度理论 .....                  | 190        |
| 习题 .....                        | 194        |
| <b>第十一章 组合变形时杆件的强度计算 .....</b>  | <b>197</b> |
| 第一节 组合变形的概念与实例 .....            | 197        |
| 第二节 弯曲与拉伸（压缩）的组合 .....          | 197        |
| 第三节 弯曲与扭转的组合 .....              | 202        |
| 习题 .....                        | 207        |
| <b>第十二章 压杆的稳定 .....</b>         | <b>211</b> |
| 第一节 概述 .....                    | 211        |
| 第二节 两端铰支细长压杆的临界载荷 .....         | 211        |
| 第三节 不同约束条件下压杆的临界载荷 .....        | 212        |
| 第四节 临界应力 柔度 临界应力总图 .....        | 213        |
| 第五节 压杆的稳定计算 .....               | 217        |
| 第六节 提高压杆稳定性的措施 .....            | 220        |
| 习题 .....                        | 221        |
| <b>附录 .....</b>                 | <b>223</b> |
| 附录 A 热轧型钢表（GB/T 706—2008） ..... | 223        |
| 附录 B 简单截面图形的几何性质表 .....         | 238        |
| 附录 C 简单载荷作用下梁的变形表 .....         | 239        |
| 附录 D 主要材料的力学性能表 .....           | 241        |
| 附录 E 部分习题答案 .....               | 242        |
| <b>参考文献 .....</b>               | <b>251</b> |

# 绪 论

## 第一节 工程力学的任务

力学是研究物质宏观机械运动的学科。所谓“机械运动”，是指物体空间位置的改变、物体的移动和变形、气体和流体的流动等。所谓“宏观”，是指不涉及分子、原子、电子等内部结构或机制，是与“微观”相对的。自然界以及工程技术过程都包含着这种最基本的运动。力学研究自然界以及各种工程中机械运动最普遍、最基本的规律，用以指导人们认识自然界，科学地从事工程技术工作。力学的研究为揭示自然界中与机械运动有关的规律提供了有效的工具，力学也是近代工程技术的重要理论基础之一，是沟通自然科学基础理论与工程实践的桥梁。

工程力学是将力学定理应用于有工程实际意义的结构系统的一门学科。其目的是为了弄清工程结构的力学行为并为其设计提供合理的设计准则。结构系统的受力情况、变形情况、破坏情况等，都是工程师们需要了解的工程结构的力学行为。只有认识了这些力学行为，才能够制定合理的设计准则、规范，使结构系统等按设计要求承受载荷，控制它们不发生影响使用功能的变形、失稳，更不能发生破坏。

## 第二节 工程力学发展概述

工程力学是一门历史悠久、实践性很强的学科，它的建立和发展经历了漫长的历史时期，由于篇幅有限，这里仅简要地给出与工程力学的建立和发展相关的一些情况。

中国春秋时期（前 770—前 476），墨翟及其弟子的著作《墨经》中，就有关于力的概念、杠杆平衡、重心、浮力、强度和刚度的叙述。古希腊哲学家亚里士多德（Aristotle，前 384—前 322）的著作中也有关于杠杆和运动的见解。为静力学奠定基础的是著名的古希腊科学家阿基米德（Archimedes，前 287—前 212）。

文艺复兴时期，工程力学发展最为迅速。其中，最为典型的代表人物之一就是画出了那幅不朽之作《蒙娜丽莎》的达·芬奇（Leonardo da Vinci，1452—1519）。达·芬奇在其手稿里介绍了测定材料强度的试验过程。除此之外，达·芬奇还最早提出了力矩的概念。伽利略（Galileo，1564—1642）于 1638 年发表的《关于两门新科学的谈话和数学证明》，通常被认为是材料力学学科的开端，开辟了试验与理



论计算的新途径。牛顿 (Newton, 1643—1727) 是力学发展史上另一位伟大人物, 他于 1687 年发表了科学史上最伟大的一部著作《自然哲学的数学原理》, 给出了牛顿运动三定律。牛顿运动定律的建立, 是力学发展史上重要的里程碑。

18 世纪是一个广泛应用科研成果的时期。同时, 出于工程实际的需要, 对各类工程材料作了许多力学性能试验。18 世纪后期开始的工业革命, 以及后来一直延续下来的科学技术进步, 为工程力学的应用与发展提供了许多新的领域。蒸汽机、内燃机、铁路、桥梁、船舶、航空航天、汽车等领域的发展与进步, 不断地向工程力学的理论与应用提出新的要求。随着新知识的不断补充与积累, 以及新知识与一直以来人类所积累的知识的不断结合, 工程力学的知识体系逐渐得以完善。

在工程力学发展史上, 有关工程实践对工程力学理论的巨大推动的例子非常多, 其中最有影响力的有法国著名科学家纳维 (Navier, 1785—1838) 和圣维南 (Saint Venant, 1797—1886)。纳维是世界上第一本《材料力学》的作者, 这本书出版于 1826 年。1821 年和 1823 年法国政府两次派纳维去英国研究建造悬索桥技术。悬索桥这一工程实际对纳维的学术影响是非常巨大的, 他在正式出版《材料力学》时, 不仅纠正了力学界一直存在的几处错误, 而且有了新的研究发现。圣维南研究了柱体的扭转和一般梁的弯曲问题, 提出了著名的圣维南原理, 这为工程力学应用于工程实际提供了重要的理论基础。

纵观力学发展史和世界科技发展史, 不难发现, 20 世纪以前推动近代社会和科学进步的各项技术, 都是在工程力学知识的不断累积、应用和完善的基础上逐步形成和发展起来的。20 世纪后产生的诸多高新技术, 更是在工程力学知识的指导下得以实现和不断完善的。因此, 伴随着新材料、新技术、新理论的涌现, 工程力学仍然是一个具有广阔应用前景的领域, 并将对现代工业技术的发展发挥更大的作用。

### 第三节 力学的分类

力学一般分为静力学、运动学和动力学三部分。

**静力学**研究力系或物体的平衡问题, 不涉及物体的运动; **运动学**研究物体如何运动, 不讨论运动与受力的关系; **动力学**则讨论力与运动的关系。

力学也可按照其所研究的对象分为一般力学、固体力学和流体力学三个分支。

**一般力学**的研究对象是质点、质点系、刚体以及刚体系统等, 研究力及其与运动的关系。一般力学包括理论力学、分析力学、多体动力学等。**固体力学**的研究对象是可变形固体, 研究在外力作用下, 物体内部各质点所产生的位移、应力、应变及破坏等的规律。固体力学包括材料力学、结构力学、弹性力学、塑性力学、疲劳力学等。**流体力学**的研究对象是气体和液体, 研究在力的作用下, 流体本身的静止状态、运动状态及流体和固体间有相对运动时的相互作用和流动规律等。流体力学

包括水力学、空气动力学、环境流体力学等。

现代力学的主要研究手段包括理论分析、实验研究和数值计算三个方面。因此,力学还有实验力学、计算力学两个方面的分支。

力学在各工程技术领域的应用也形成了诸如飞行力学、船舶结构力学、岩土力学、建筑结构力学、生物力学、爆炸力学等各种应用力学分支。

#### 第四节 工程力学的研究内容

本课程研究物体处于平衡状态的问题,称为工程静力学问题。工程静力学的基本研究内容包括以下两部分:

(1) 刚体静力学 研究物体的平衡与力之间的关系,包括受力分析及静力平衡条件。

(2) 材料力学 研究工程构件的变形和破坏规律,包括研究构件的内力、应力、应变问题以及解决构件的强度、刚度和稳定性问题。

在研究力的时候,应当建立物体平衡时所应满足的条件。在研究物体变形的时候,应当建立物体局部变形与整体变形之间的协调关系。在研究力与变形之间关系的时候,应当考虑材料的力学性能。力的平衡条件、变形的几何协调关系以及材料的物理关系,是研究工程静力学问题的核心内容和主线。

# 第一章 刚体静力学基础

**刚体静力学**是研究力系的简化以及刚体在力系作用下的平衡条件的学科。所谓**力系**，是对作用于同一物体或物体系上的一群力的总称。所谓**平衡**，是指物体相对于地面保持静止或做匀速直线运动的状态。所谓**平衡力系**，是能使刚体维持平衡的力系。作用于物体上的力系使物体处于平衡所应当满足的条件，称为力系的平衡条件。刚体静力学的研究对象是刚体。刚体静力学主要研究以下三方面内容：

- (1) 受力分析，分析作用在物体上的各种力，弄清被研究对象的受力情况。
- (2) 力系的简化，用最简单的力系等效替换一个复杂的力系。
- (3) 平衡条件，建立物体处于平衡状态时，作用在其上各力组成的力系所应满足的条件。

## 第一节 力和刚体

### 一、力

力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的机械运动状态发生变化，或者使物体发生变形。力使物体的运动状态发生变化的作用效应，称作力的**外效应**；而使物体发生变形的效应，则称作力的**内效应**。

使  $1\text{kg}$  质量的物体产生  $1\text{m/s}^2$  加速度的力，在国际单位制中就定义为  $1\text{N}$ 。力的常用单位为  $\text{N}$  或  $\text{kN}$ 。

力是矢量。力不仅有大小，还有方向。力对物体的作用效果，取决于力的大小、方向和作用点，这称为力的**三要素**。

### 二、刚体

所谓**刚体**，是指在力的作用下不变形的物体，即在力的作用下其内部任意两点的距离永远保持不变的物体。这是一种理想化的力学模型。事实上，在受力状态下不变形的物体是不存在的。不过，当物体的变形很小，在所研究的问题中把它忽略不计时，如果并不会对问题的性质带来本质的影响，该物体就可以近似看作刚体。刚体是在一定条件下研究物体受力和运动规律时的科学抽象，这种抽象不仅使问题大大简化，也能得出足够精确的结果，因此，静力学又称为刚体静力学。但是，在需要研究力对物体的内部效应时，这种理想化的刚体模型就不适用，而应采用变形体模型。

## 第二节 静力学公理

### 公理 1 力的平行四边形法则

作用在物体的同一点上的两个力的合力仍作用在该点上, 其大小和方向由两个力组成的平行四边形的对角线表示, 如图 1-1a 所示。或者说, 合力矢等于这两个力矢的矢量和, 即

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

### 推论 1 力三角形法则

也可另作一力三角形来求两汇交力合力矢的大小和方向, 即依次将  $\mathbf{F}_1$  和  $\mathbf{F}_2$  首尾相接画出, 最后由第一个力的起点至第二个力的终点形成三角形的封闭边, 即为此二力的合力矢  $\mathbf{F}_R$ , 如图 1-1b 所示, 称为力的三角形法则。

### 推论 2 力多边形法则

图 1-1c 中, 作用线汇交于同一点的若干个力组成的力系, 称为汇交力系或共点力系。利用力三角形, 将各力逐一相加, 可得到从第一力到最后力首尾相接的多边形, 如图 1-1d 所示, 则多边形的封闭边即为该汇交力系的合力。用力多边形求汇交力系的合力时, 合力的指向是从第一力的起点指向最后一力的终点。

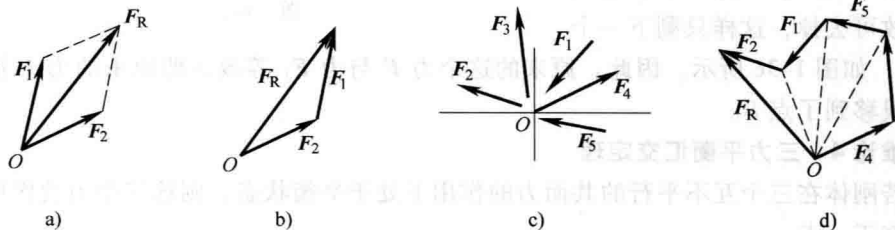


图 1-1

### 公理 2 二力平衡公理

要使刚体在两个力作用下维持平衡状态的充要条件是这两个力大小相等、方向相反、沿同一直线作用, 如图 1-2a 所示, 称为二力平衡公理。

反之, 若刚体在且仅在两个力的作用下处于平衡, 则此二力必大小相等、方向

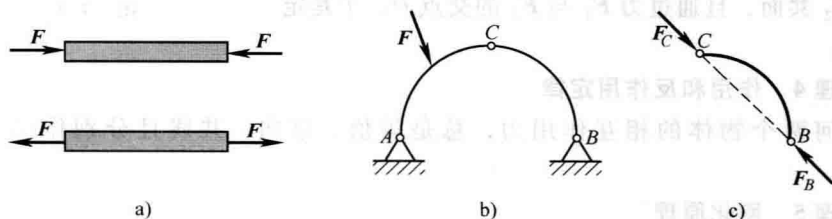


图 1-2

相反、且作用在两受力点的连线上。

图 1-2b 中的三铰拱在力  $F$  的作用下处于平衡状态, 杆  $AC$ 、 $CB$  两部分也是处于平衡的。假如不考虑杆的自重, 则  $CB$  杆是受二力作用而处于平衡的, 故  $C$ 、 $B$  处的两个力必作用在两受力点  $C$ 、 $B$  的连线上, 且大小相等、方向相反, 如图 1-2c 所示。这类只在两点受力的无重杆, 通常被称为二力杆或二力构件。

### 公理 3 加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系上任意加上或减去一个平衡力系不改变原力系对刚体的作用效果。

### 推论 3 力在刚体上的可传性原理

作用于刚体上的力, 其作用点可以沿作用线在该刚体内前后任意移动, 而不改变它对该刚体的作用效果。

**证** 设有力  $F$  作用在刚体上的点  $A$ , 如图 1-3a 所示。根据加减平衡力系公理, 可在力的作用线上任取一点  $B$ , 并加上两个相互平衡的力  $F_1$  和  $F_2$ , 并且  $F_1 = F_2 = F$ , 如图 1-3b 所示。由于力  $F$  和  $F_2$  也是一个平衡力系, 故可去掉, 这样只剩下一个力  $F_1$ , 如图 1-3c 所示。因此, 原来的这个力  $F$  与力  $F_1$  等效, 即原来的力  $F$  沿其作用线移到了点  $B$ 。

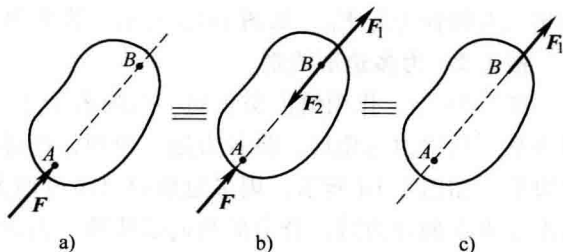


图 1-3

### 推论 4 三力平衡汇交定理

若刚体在三个互不平行的共面力的作用下处于平衡状态, 则这三个力的作用线必汇交于一点。

**证** 如图 1-4 所示, 在刚体的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点上, 分别作用三个相互平衡的力  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 。根据力的可传性, 将力  $F_1$  和  $F_2$  移到汇交点  $O$ , 然后根据力的平行四边形法则, 得合力  $F_{12}$ , 则力  $F_3$  应与  $F_{12}$  平衡。由于两个力平衡必须共线, 所以力  $F_3$  必定与力  $F_1$  和  $F_2$  共面, 且通过力  $F_1$  与  $F_2$  的交点  $O$ 。于是定理得证。

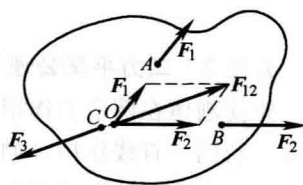


图 1-4

### 公理 4 作用和反作用定律

任何两个物体的相互作用力, 总是等值、反向、共线且分别作用于两个物体上。

### 公理 5 刚化原理

设变形体在已知力系作用下维持平衡状态, 如果将这个已变形但平衡的物体变

成刚体（刚化），则其平衡不受影响。

这个公理提供了把变形体看作刚体模型的条件。此公理建立了刚体平衡条件与变形体平衡条件之间的关系，即关于刚体的平衡条件，对于变形体的平衡来说，也必须满足。但是，满足了刚体的平衡条件，变形体不一定平衡。例如，一段绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡，如果将绳索刚化成刚体，其平衡状态保持不变。若绳索在两个等值、反向、共线的压力作用下并不能平衡，这时绳索就不能刚化为刚体。但刚体在上述两种力系的作用下都是平衡的。

### 第三节 约束和约束力

工程中的机器或结构，总是由许多零部件组成的。这些零部件按照一定的方式相互连接。因此，它们的运动必然互相牵连和限制。如果从中取出一个物体作为研究对象，则它的运动当然也会受到与它连接或接触的周围其他物体的限制。也就是说，它是一个运动受到限制或约束的物体，称为**被约束体**。

在静力学中所研究的物体大都处于平衡状态，这正是它们受到约束的结果。因此，它们都是被约束体。

限制被约束体运动的周围物体称为**约束**。

例如，图 1-5 中，圆柱形滚子静止在水平路面上。取滚子为研究对象，则它是一个被约束体，而路面就是它的一个约束。

再如，图 1-6 中，重物由绳索挂在空中。取重物作为研究对象，则它是一个被约束体，而绳索是它的一个约束。

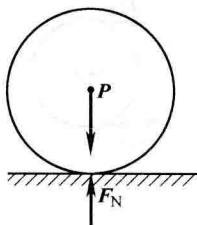


图 1-5

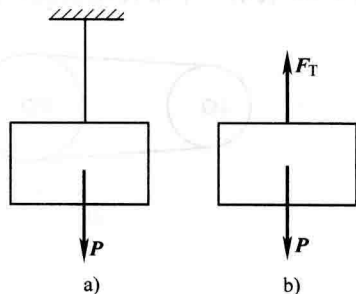


图 1-6

约束限制被约束体的运动，是因为在被约束体给约束一个作用力时，约束对被约束体也施加了一个反作用力。约束对被约束体的反作用力称为**约束力**。

在对物体进行受力分析时，最重要的是如何确定约束力的方向。显然，约束力的方向应当与它所能限制的被约束体的运动方向相反。这是确定约束力方向的基本

原则。

至于约束力的大小和作用点,前者一般未知,需要利用平衡条件来求。后者,即约束力的作用点,是在被约束体与约束的接触处。若被约束体是刚体,则只需确定约束力的作用线位置即可。

为以后应用方便起见,下面把工程上常见的一些约束进行分类,并分析其约束力的特点。

### 1. 理想光滑表面约束

在约束与被约束的接触面较小且比较光滑的情况下,忽略摩擦因素,就得到了理想光滑表面约束。如车轮与轨道的接触面、图 1-5 中所示的与滚子接触的路面,都可以认为是理想光滑表面约束。

这类约束起着阻碍物体沿接触面的公法线向约束内部运动的作用。因此,其约束力的方向沿接触面公法线指向被约束体,故称为法向约束力。

图 1-5 中路面对滚子约束力  $F_N$  就是法向约束力。

图 1-7 所示直杆放在槽中,它在 A、B、C 三处受到槽的约束,这种约束称为尖端支承约束,此时可将尖端支承处看作小圆弧与直线相切,则约束力仍是法向约束力。

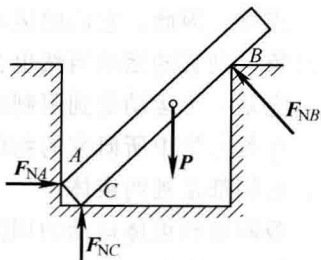


图 1-7

### 2. 柔性约束

这类约束一般由柔软的绳索、链条或皮带等构成。由于这些物体只能承受拉力,故这类约束的约束力只能是拉力。图 1-6 中吊住重物的绳索就是一个柔性约束,其约束力为拉力  $F_T$ 。

图 1-8a 表示一个带传动装置,传送带的约束力都是拉力,如图 1-8b 所示。

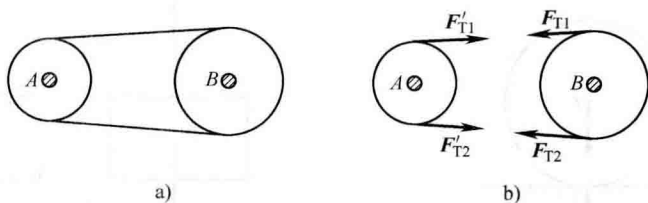


图 1-8

### 3. 圆柱铰链(平面铰链)约束

为了将两个构件 A 与 B 连接在一起,可以在 A、B 上各钻一个圆孔,然后用圆柱形销钉将它们串起来,如图 1-9 所示。这种约束称为圆柱铰链。

一般认为销钉与构件光滑接触,所以这也是一种理想光滑表面约束,约束力  $F_N$  应通过接触点 K 沿公法线方向(通过销钉中心)指向构件,如图 1-10a 所示。但实际上预先很难确定接触点 K 的位置,因此约束力  $F_N$  的方向无法确定。为克服

这一困难,通常用一对互相垂直的分力  $F_x$  与  $F_y$  表示约束力  $F_N$ ,待根据平衡条件计算出  $F_x$  与  $F_y$  的大小后,再根据需要用平行四边形规则求得合力  $F_N$  的大小和方向,如图 1-10b 所示。

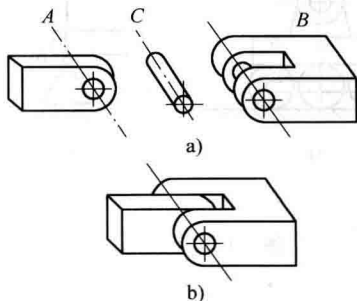


图 1-9

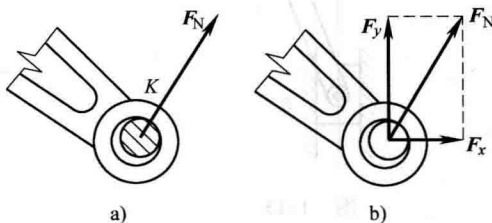


图 1-10

由于这种铰链限制构件在垂直于销钉的平面内的相对移动,故亦称为平面铰链。

这种约束在工程上有广泛应用,见下面的例子:

(1) 固定铰支座 用以将构件和基础连接,桥梁的一端与桥墩的连接常用这种约束,图 1-11a、b 所示是这种约束的简图。

(2) 向心滚动轴承 轴颈处的向心滚动轴承,如图 1-12 所示。

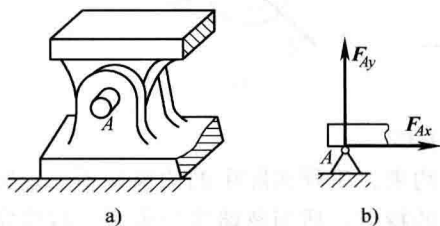


图 1-11

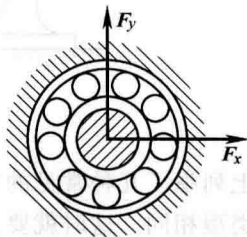


图 1-12

(3) 连接铰链 用来连接两个可以相对转动但不能移动的构件,如曲柄连杆机构中的曲柄与连杆、连杆与滑块的连接。通常在两个构件的连接处用一小圆圈来表示铰链,如图 1-13 所示。

(4) 滚动铰支座 这是一种特殊的平面铰链,通常与固定铰支座配对,分别装在桥梁的两端。与固定铰支座不同的是,它不限制被约束的梁端在水平方向的位移。这样,当桥梁由于温度变化而产生伸缩变形时,梁端可以自由移动而不会在梁中引起温度应力。这种铰链的约束力只能在滚轮与地面接触面的公法线方向,如图 1-14a 所示,而图 1-14b 是其简图。

值得强调的是:圆柱铰链约束不能限制构件之间绕销钉轴的相对转动。



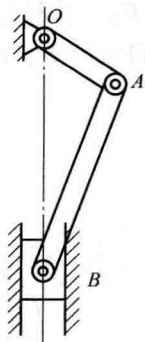


图 1-13

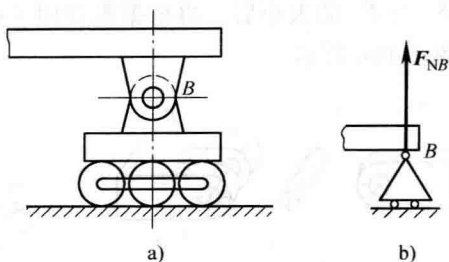


图 1-14

#### 4. 空间球铰链

球铰链的构造如图 1-15a 所示, 通常是将构件的一端做成球形后放入另一构件或基础中的球窝中。其作用是限制被约束体在空间中的移动但不限制其转动。某些电视机上的天线下端与天线座的连接就是球铰链约束。其约束力一般由三个互相垂直的分力  $F_{Ax}$ 、 $F_{Ay}$ 、 $F_{Az}$  表示, 如图 1-15b 所示。

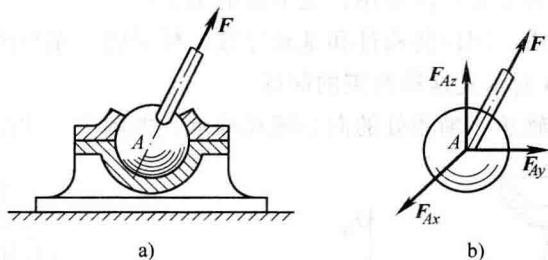


图 1-15

以上列举了几种常见的比较理想化的约束, 工程实际中的约束并不一定完全与这几种类型相同, 这时就要具体分析约束的特点, 适当忽略次要因素, 以确定其约束力的方向。

### 第四节 物体的受力分析与受力图

所谓受力分析, 是指分析所要研究的物体 (称为研究对象) 上受力多少、各力大小 (已知或未知) 和方向的过程。受力分析是解决力学问题的第一步, 准确、熟练地做好研究对象的受力分析, 是静力学学习的基本要求。

工程中物体的受力可分为两类。一类称为**主动力**, 如工作载荷、构件自重、风力等, 这类力一般是已知的或可以测量的。另一类就是**约束力**。进行受力分析, 就是要具体分析构件上所受这些力的大小和方向, 而分析结果通常是表示在所研究物体的简图上。表示物体受力分析结果的简图称为**受力图**。