

普通高等教育“十三五”规划教材

LILUN LIXUE

# 理论力学

辽宁石油化工大学力学教研室

张巨伟 王伟 主编  
王文广 主审



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

# 理论力学

辽宁石油化工大学力学教研室

张巨伟 王 伟 主编  
王文广 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是根据教育部“力学基础课程教学基本要求”编写的,由浅入深按照由质点到质点系、由矢量到代数量循序渐进的次序,分三篇进行介绍。第一篇静力学介绍了静力学公理与物体的受力分析、平面力系及其应用、空间力系、摩擦;第二篇运动学介绍了运动学基础、点的合成运动和刚体的平面运动;第三篇动力学介绍了质点动力学基本方程、动量定理、动量矩定理以及动能定理。章后附有习题及思考题便于读者练习及评估学习效果。本书可作为高等学校机械、化工、石油、土木、交通、水利、采矿、冶金等各工科专业少学时教材或教学参考书,也可供相关专业工程技术人员参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

理论力学/张巨伟,王伟主编. —北京:化学工业出版社, 2016.4

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-25988-2

I. ①理… II. ①张…②王… III. ①理论力学-高等学校-教材 IV. ①O31

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第004115号

---

责任编辑:满悦芝 石磊

文字编辑:颜克俭

责任校对:战河红

装帧设计:韩飞

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张12 $\frac{3}{4}$  字数314千字 2016年4月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究



## 前言

本书是根据教育部高等学校工科本科理论力学课程（中、少学时）教学的基本要求、教育部工科力学课程教学指导委员理论课程教学改革的要求编写而成的。

理论力学是一门重要的、理论性较强的专业基础课，是各门专业课的基础，在工程上具有广泛的应用。通过本课程的学习，使学生在掌握本课程基本知识的基础上，学会运用基本理论、方法解决工程中的实际问题，培养学生的辩证唯物主义世界观及分析解决问题的能力，为学习后续课程打好基础。近年来，随着普通院校教学改革的深入开展，很多高校将本科培养目标定位为培养应用型高级专门人才。现有的《理论力学》教材，几乎涵盖了经典力学的全部内容，也几乎涵盖了工科所有专业长学时的内容，特色不明显，不适合少学时并且专业特色明确的石油、石化类高校学生“理论力学”课程的学习。因此，编写一本适用于少学时的、具有石化类院校特色的教材以及“重实践、轻理论”的教材正是本教材编写的初衷。

在编写过程中，编者根据多年来在理论力学教学中积累的经验，注意汲取同类教材的精华，试图用现代和实用的观点阐述理论力学的核心内容和方法，既满足了本课程的基本要求，又注意与先修的“高等数学”“大学物理”课程的衔接及向“材料力学”等后续课程的过渡。在优化教学内容的同时，加强学生能力的培养，全书特点概括如下。

(1) 充分利用先修课程的基础，减少课程间内容的重复。教材内容做了较大幅度的整合和调整，激发学生的学习兴趣 and 主观能动性。

(2) 注重以工程实际为背景，加深对基本概念的阐述和工程建模能力的培养，轻理论、重视对解题过程的分析。

(3) 本书定位明确，可作为高等学校相关专业本科及专科理论力学课程（中、少学时）的教材。

(4) 本书精选了一定数量的典型例题、思考题和习题供教师和学生选用。

本书内容分三篇，共 11 章。绪论、第一篇静力学（第一至四章）由张巨伟、王丽、龚雪、李晋编写，第二篇运动学（第五至七章）由李金权、仲兆金编写，第三篇动力学（第八至十一章）由杨雪峰、张巨伟、王伟编写。张巨伟、王伟担任主编，杨雪峰、仲兆金担任副主编，负责全书统稿、修改和定稿工作。王文广担任主审。

由于时间仓促，疏漏之处，敬请读者批评指正。

编者

2016 年 2 月

# 目 录

## 绪论

1

## 第一篇 静力学

### 第一章 静力学公理与物体的受力分析

4

第一节 静力学公理 .....	4
第二节 约束与约束反力 .....	6
第三节 物体的受力分析与受力图 .....	9
小结 .....	12
思考题 .....	12
习题 .....	13

### 第二章 平面力系及其应用

17

第一节 平面汇交力系合成及平衡 .....	17
第二节 力矩及其计算 .....	22
第三节 力偶系合成及平衡 .....	24
第四节 平面任意力系的简化 .....	27
第五节 平面任意力系平衡方程 .....	31
第六节 物体系统平衡、超静定问题简介 .....	35
第七节 平面桁架简介 .....	38
小结 .....	40
思考题 .....	41
习题 .....	41

### 第三章 空间力系

46

第一节 空间汇交力系 .....	46
第二节 力对点和轴的矩及空间力偶 .....	49
第三节 空间任意力系的简化及平衡问题 .....	53
第四节 重心 .....	56

小结 .....	59
思考题 .....	60
习题 .....	61

## 第四章 摩擦 64

第一节 摩擦力 .....	64
第二节 摩擦角及自锁 .....	66
第三节 考虑摩擦时物体系统的平衡问题 .....	67
第四节 滚动摩擦 .....	70
习题 .....	72

## 第二篇 运动学

## 第五章 运动学基础 77

第一节 矢量法 .....	77
第二节 直角坐标法 .....	78
第三节 自然坐标法 .....	80
第四节 刚体平移 .....	85
第五节 刚体定轴转动 .....	86
小结 .....	89
思考题 .....	90
习题 .....	91

## 第六章 点的合成运动 93

第一节 点的合成运动的概念 .....	93
第二节 点的速度合成定理 .....	95
第三节 牵连运动为平移时点的加速度合成定理 .....	99
第四节 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成定理 .....	102
小结 .....	110
思考题 .....	111
习题 .....	112

## 第七章 刚体的平面运动 116

第一节 刚体平面运动的概述与运动分解 .....	116
第二节 求平面图形内各点速度的基点法 .....	119
第三节 求平面图形内各点速度的瞬心法 .....	122

第四节	用基点法求平面图形内各点的加速度 .....	127
第五节	运动学综合应用举例 .....	131
小结	.....	135
思考题	.....	136
习题	.....	138

## 第三篇 动力学

### 第八章 质点动力学基本方程 142

第一节	动力学基本方程概述 .....	142
第二节	动力学基本定律 .....	142
小结	.....	144
思考题	.....	144

### 第九章 动量定理 145

第一节	质点系动量定理 .....	145
第二节	质心运动定理 .....	147
第三节	动量守恒与质心运动守恒 .....	148
小结	.....	150
思考题	.....	150
习题	.....	151

### 第十章 动量矩定理 153

第一节	质点和质点系的动量矩 .....	153
第二节	动量矩定理 .....	154
第三节	刚体对轴的转动惯量 .....	157
第四节	刚体绕定轴的转动微分方程 .....	161
第五节	刚体的平面运动微分方程 .....	164
小结	.....	166
思考题	.....	166
习题	.....	168

### 第十一章 动能定理 172

第一节	力的功 .....	172
第二节	质点和质点系的动能 .....	175
第三节	动能定理 .....	177

第四节	功率、功率方程及机械效率 .....	179
第五节	势力场、势能及机械能守恒定律 .....	180
第六节	动力学普遍定理的综合应用 .....	181
小结	.....	184
思考题	.....	185
习题	.....	187

>	<b>综合应用习题</b>	<b>189</b>
---	---------------	------------

>	<b>附录 各章习题答案</b>	<b>191</b>
---	------------------	------------

>	<b>参考文献</b>	<b>196</b>
---	-------------	------------





# 绪 论

理论力学是一门理论性较强的技术基础课,随着科学技术的发展,工程专业中许多课程均以理论力学为基础。本课程的理论和方法对于解决现代工程问题具有重要意义。

## 一、理论力学的研究对象与内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的学科。

理论力学研究的对象是刚体,研究内容是刚体的受力与机械运动的关系的一般规律。

机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。机械运动是生活和生产实际中最常见的一种运动。平衡是机械运动的特例。在客观世界中存在各种各样的物质运动,如热、光和电磁等物理现象,化合和分解等化学变化,以及人的思维活动等。在物质的各种运动形式中,机械运动是最简单的一种。

本课程研究的对象是速度远小于光速的宏观物体的机械运动,它以伽利略和牛顿的基本定律为基础,属于古典力学的范畴。当研究运动速度接近于光速的物质运动时,必须用相对论和量子力学的方法。宏观物体远小于光速的运动是日常生活和一般工程中常见的,因此,古典力学有广泛的应用。理论力学所研究的就是这种运动中的一般、普遍的规律,是各门力学分支的基础。

本课程的内容包括以下三部分。

静力学——主要研究物体平衡时作用力应满足的条件;物体受力的分析方法和力系的简化方法等。

运动学——从几何的角度研究物体运动的描述方法,如运动的轨迹、速度和加速度等,而不涉及引起物体运动的物理原因。

动力学——研究物体的运动与作用在物体上的力之间的关系。

## 二、理论力学发展的简要回顾

力学的发展具有悠久的历史,是科学发展史的一部分,力学的发展过程,是人类通过观察生活和生产实践中的各种现象,不断认识物体机械运动的过程。

远古时代,人们使用杠杆、斜面和滑轮进行简单的建筑施工;制造推车用作长途运输,制造船舶用以进行航运等。这些生产工具的制造和使用,使得人类对于机械运动有了初步的认识。但是,在很长的一段时期内,人类的认识仅仅限于经验的积累,而未形成理论知识。

关于力学理论最早的记述,当推我国的墨翟(公元前468~前376年)。在他所著的《墨经》里,对于力和运动给出了合适的定义,并对于杠杆平衡问题进行了理论叙述。阿基米德(公元前287~前212年)在他的两本著作里,较系统地论述了杠杆平衡学说,从而奠定了静力学的基础。

15 世纪中叶到 18 世纪后半叶,是欧洲的封建社会向资本主义社会转化时期,为了适应当时的社会与工业发展,力学与其他自然科学一样得到了发展。如意大利人达·芬奇(1451~1519 年)提出的力矩概念;芬兰物理学家史蒂芬(1548~1620 年)在进行斜面问题研究时提出了力的合成与分解定律;潘索(1777~1859 年)提出了力偶的概念及有关的理论等,使得静力学理论得到了进一步的发展。

哥白尼(1473~1548 年)提出了太阳中心学说后,在科学界引起了宇宙观的大革命。开普勒(1571~1630 年)根据哥白尼的学说以及别的一些天文学家的观测资料,得出了行星运动三大定律,成为牛顿万有引力的基础。伽利略观察了落体运动并试验了物体沿斜面的运动,从而提出了落体在真空中的运动定律,并引出了加速度的概念,奠定了动力学的基础。他是用实验及演绎的方法研究动力学的创始人。

力学发展的新阶段是从牛顿(1642~1727 年)开始的。他总结了以前无数科学家的成就,发表了著名的运动定律学说,创立了现代的经典力学。

由此可见,运动学与动力学的理论研究,可以认为是从哥白尼提出的太阳中心学说开始,由伽利略奠基,而由牛顿总结而成,并由此形成了理论力学的理论框架与体系。理论力学的发展过程,充分反映了人们不断经过科学实验、分析、综合和归纳,并总结出力学中最基本规律的认识过程。

### 三、学习理论力学的方法

实践,认识,再实践,再认识,这是我们认识客观世界的基本规律,是任何科学技术发展的正确途径。理论力学的发展也必须遵循这一规律,具体地说,就是从实际出发,经过抽象、综合、归纳,建立公理,再应用数学演绎和逻辑推理而得到定理和结论,形成理论体系,然后再通过实践来验证理论的正确性,正确的理论再被反过来用于指导人们改造世界的各种实践活动。

学习理论力学要准确地理解基本原理和方法,还要加强应用基本原理解决工程问题的实践练习。理论力学课程是将基本原理用于工程实际的训练园地,对培养学生的基本素质有重要的作用。在这门课程中,同学们还要学习对工程实际问题的简化方法和建模的原理以及求解工程实际问题的模式。工程实际问题多种多样,进行力学分析时要抓住其特点进行必要的简化。例如,约束是从对物体运动的限制的观点对常见的约束进行分析和简化。

另外,在本门课程中同学们还要接受解决工程实际问题的基本方法和模式的训练,如物体的受力分析方法、复杂运动的分解方法和解决动力学问题的基本步骤等。这些分析方法是工程界长期使用和遵循的基本步骤,同学们要有意识地适应和掌握有关的步骤,逐渐掌握科学的思考问题和解决问题的正确方法。

理论力学中解决同一问题可以有多种不同的方法供选择,在学习的过程中同学们要注意分析每种方法的特点,比较各种方法的异同,灵活应用所学的原理,并通过一定数量的练习,达到准确掌握、熟练应用理论力学的基本原理和方法的目的。

理论力学课程的内容还是学习“材料力学”“机械设计基础”以及“流体力学”等很多课程的基础,学好本门课程将为其他课程的学习和今后的研究奠定坚实的基础。



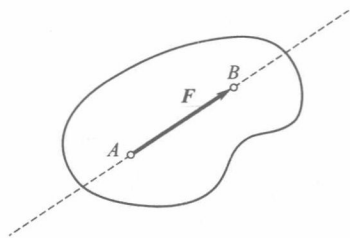
# 第一篇 静力学

**静力学**是研究物体在力系作用下平衡规律的科学。

在静力学中研究的物体都是刚体。所谓**刚体**，是指在任何力作用下都不发生变形的物体，其表现特征为内部任意两点之间的距离始终保持不变。宇宙中并无刚体存在，刚体是一种理想化的力学模型。这种模型使问题的研究得以简化，所以静力学又称为**刚体静力学**。

力是物体间相互的机械作用，其作用结果是使物体运动状态或形状发生改变。

力对物体的作用效果取决于三个要素：力的大小、方向、作用点。此即称为力的三要素。力的三要素可用一个矢量来表示。矢量长度按照一定比例表示力的大小；矢量方向为力的作用方向；矢量的起始端或末端为力的作用点（图中的A、B点）。本书用粗体字母 $\mathbf{F}$ 表示力矢量，而用普通字母 $F$ 表示力的大小。



在国际单位制（SI）中以牛顿（N）作为力的计量单位，有时也用千牛顿（kN），其关系为： $1\text{kN}=1000\text{N}$ 。

**力系**，是指作用在物体上的一群力。

如果作用在物体上两个力系的作用效果是相同的，则这两个力系互称为**等效力系**。

不受外力作用的物体可称其为受零力系作用。一个力系如果和零力系等效，该力系称为**平衡力系**。

在静力学中，我们主要研究以下三个问题。

## 1. 物体的受力分析

分析物体共受几个力作用，每个力的作用位置及其方向。

## 2. 力系的简化

用一个简单力系等效地替换一个复杂力系的过程称为力系的简化。如果某力系和一个力等效，则此力称为该力系的合力，而该力系的各力称为此力的分力。

## 3. 建立各种力系的平衡条件

研究作用于物体上的各种力系所需满足的平衡条件。

# 第一章

## 静力学公理与物体的受力分析

本章将阐述静力学公理，并介绍工程中常见的约束和约束力的分析及物体的受力图。

### 第一节 静力学公理

在生产实践中，人们对物体的受力进行了长期观察和试验，对力的性质进行了概括和总结，得出了一些经过实践检验是正确的、大家都承认的、无须证明的正确理论，这就是静力学公理。

#### 公理 1 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。合力作用点也在该点，合力的大小和方向由这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线所决定。如图 1-1(a) 所示。或者说，合力矢等于两个分力矢的矢量和，即：

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

应用此公理求两个汇交力的合力时，可由任意一点  $O$  起，另作一力三角形，如图 1-1(b)、(c) 所示。

此公理是复杂力系简化的基础。

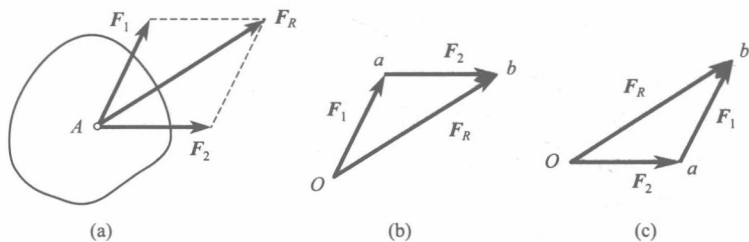


图 1-1

#### 公理 2 二力平衡原理

作用在刚体上的两个力，使刚体保持平衡的充分必要条件是：两力大小相等，方向相反，作用在同一直线上（图 1-2）。或者说二力等值、反向、共线。

此公理阐明了由两个力组成的最简单力系的平衡条件，是一切力系平衡的基础。此公理只适用于刚体，对于变形体来说，它只给出了必要条件，而非充分条件。

工程中经常遇到不计自重，且只在两点处各受一个集中力作用而处于平衡状态的刚体。这种只在两个力作用下处于平衡状态的刚体，称为二力构件（二力杆）。二力构件的形状可

以是直线形的，也可以是其他任何形状的，图 1-3 中的  $BC$  杆即为一二力构件。作用于二力构件上的两个力必然等值、反向、共线。在结构中找到二力构件，对整个结构系统的受力分析是至关重要的。

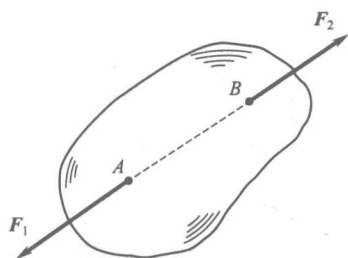
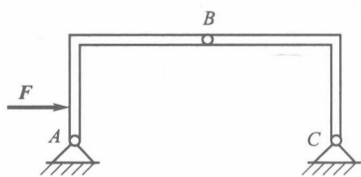
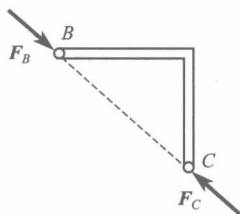


图 1-2



(a)



(b)

图 1-3

### 公理 3 加减平衡力系原理

在已知力系上，加上或减去任意平衡力系，不改变原力系对刚体的作用效果。

也就是说，如果两个力系只相差一个或几个平衡力系，它们对刚体的作用效果相同。此公理是力系等效替换的依据。

#### 推论 1 力的可传性定理

作用于刚体某点上的力，其作用点可以沿其作用线移动到刚体内任意一点，不改变原力对刚体的作用效果。

证明：设一力  $F$  作用于刚体上的  $A$  点，如图 1-4(a) 所示。根据加减平衡力系原理，可在力的作用线上任取一点  $B$ ，加上两个相互平衡的力  $F_1$  和  $F_2$ ，使  $F = F_1 = F_2$ ，如图 1-4(b)。由于  $F$  和  $F_1$  构成一个新的平衡力系，故可减去，这样只剩下一个力  $F_2$ ，如图 1-4(c)。于是原来的力  $F$  与力系  $(F, F_1, F_2)$  以及力  $F_2$  互为等效力系。这样， $F_2$  可看成是原力  $F$  的作用点沿其作用线由  $A$  移到了  $B$ 。

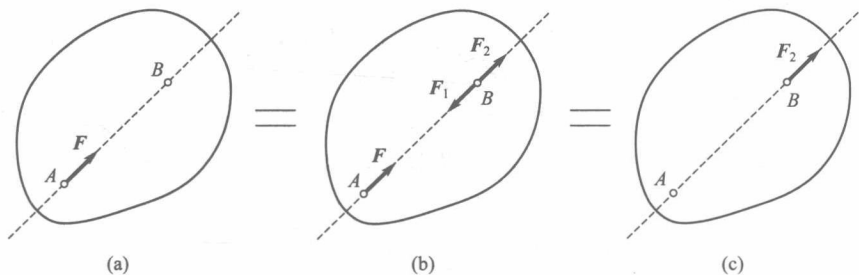


图 1-4

由此可见，对于刚体来说，力的作用点已不是决定力作用效果的要素，它已为作用线所替代。因此，作用于刚体上力的三要素是：大小、方向、作用线。

公理三及其推论只适用于刚体，不适用于变形体。对于变形体来说，作用力将产生内效应，当力沿其作用线移动时，内效应将发生改变。

#### 推论 2 三力平衡汇交定理

作用于刚体上三个相互平衡的力，若其中两个力的作用线汇交于一点，则此三力必在同一平面内，且第三个力的作用线通过汇交点。

证明：如图 1-5 所示，在刚体的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点上分别作用三个相互平衡的力  $F_1$ 、 $F_2$ 、

$F_3$ 。根据力的可传性定理，将力  $F_1$ 、 $F_2$  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  $F_3$  应与  $F_{12}$  平衡。由两个平衡力必须共线，所以力  $F_3$  必与力  $F_1$  和  $F_2$  共面，且通过  $F_1$  和  $F_2$  的汇交点  $O$ 。定理得证。

注意：三力平衡汇交定理的逆定理不成立。也就是说，即使三力共面且汇交于一点，此三力也未必平衡，请读者自行举例说明。

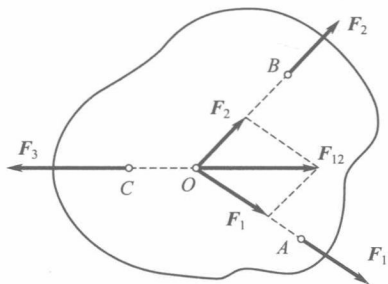


图 1-5

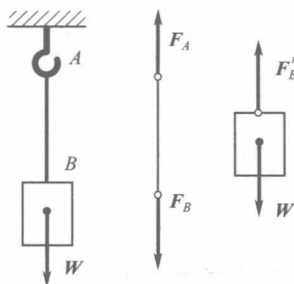


图 1-6

#### 公理 4 作用与反作用原理

两物体之间的相互作用力总是等值、反向、共线，分别作用在两个相互作用的物体上。这个原理揭示了物体之间相互作用的定量关系，它是对物系进行受力分析的基础。

注意：作用与反作用原理中的两个力分别作用于两个相互作用的物体上，而二力平衡原理中的两个力作用于同一个刚体。

在图 1-6 中，重物给绳索一个向下的拉力  $F_B$ ，同时绳索给重物一个向上的拉力  $F'_B$ ， $F_B$  与  $F'_B$  互为作用与反作用力，而  $F_B$  与  $F_A$ 、 $F'_B$  与  $W$  为两对平衡力。

#### 公理 5 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡状态，如果将此变形体刚化为刚体，其平衡状态保持不变。

这个公理提供了把变形体视为刚体模型的条件。例如，绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡，如将绳索刚化为刚体后，其平衡状态保持不变。反之，刚性杆在两个等值、反向、共线的两个压力作用下能够平衡，而绳索在同样压力作用下却不能平衡（图 1-7）。由此可见，刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件，而非充分条件。



图 1-7

## 第二节 约束与约束反力

在机械和工程结构中，每一构件都根据工作需要，以一定的方式与周围其他构件联系着，其运动也受到一定限制。例如，梁由于墙的支撑而不致下落，列车只能沿轨道行驶，门、窗由于合页的限制而只能绕轴线转动等。这种联系限制了构件间的相对位置和相对运动。

## 一、约束与约束反力概念

工程中所遇到的物体通常可分为两种。一种是位移不受任何限制的物体称为**自由体**。另一种是在空间的位移受到一定限制的物体称为**非自由体**，如机车受到铁轨的限制，只能沿轨道运动；电机转子受轴承的限制，只能绕轴线转动；重物被钢索吊住而不能下落等。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为**约束**。如铁轨对于机车、轴承对于电机转子、钢索对于重物等，都是约束。

约束限制非自由体的运动，能够起到改变物体运动状态的作用。从力学角度来看约束对非自由体有作用力。约束作用在非自由体上的力称为**约束反力**，简称为约束力或反力。约束反力的方向必与该约束所限制位移的方向相反，这是确定约束反力方向的基本原则。至于约束反力的大小和作用点，前者一般未知，需要用平衡条件确定；作用点一般在约束与非自由体的接触处。若非自由体是刚体，则只需确定约束反力作用线即可。

## 二、工程中常见的约束及其反力

下面对工程中一些常见约束进行分类分析，并归纳出其反力特点。

### 1. 理想光滑面约束

在约束与被约束体的接触面较小、且比较光滑的情况下，忽略摩擦因素的影响，就得到了理想光滑面约束。其约束特征为：约束限制被约束物体沿着接触点处公法线趋向约束体的运动。故约束反力方向总是通过接触点，沿着接触点处的公法线而指向被约束物体。例如轨道对车轮的约束；一矩形构件搁置在槽中，其受力分别如图 1-8(a)、(b) 所示。

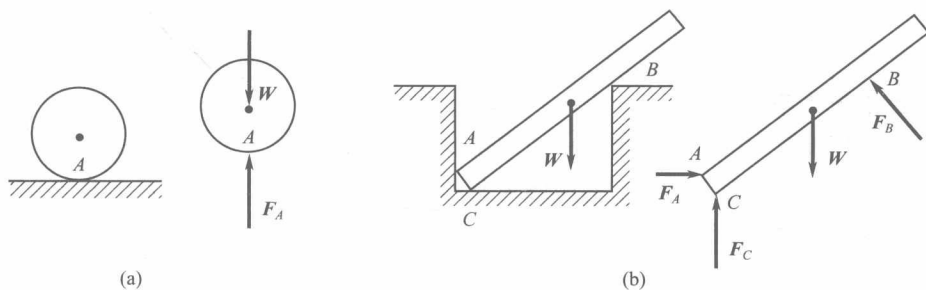


图 1-8

### 2. 柔性约束

绳索、链条、皮带、胶带等柔性物体所形成的约束称为**柔性约束**。这种柔性体只能承受拉力。其约束特征是只能限制被约束物体沿其中心线伸长方向的运动，而无法阻止物体沿其他方向的运动。因此柔性约束产生的约束反力总是通过接触点、沿着柔性体中心线而背离被约束的物体（即：使被约束物体承受拉力作用）。

绳索悬挂一重物如图 1-9 所示。绳索只能承受拉力，对重物的约束反力  $F'_A$  如图 1-9 所示。链条或胶带绕在轮子上时，对轮子的约束反力沿轮缘切线方向，如图 1-10 所示。

### 3. 光滑圆柱铰链约束

圆柱形铰链是将两个物体各钻同直径的圆孔，中间用圆柱形销钉连接起来所形成的结构。销钉与圆孔的接触面一般情况下可认为是光滑的，物体可以绕销钉轴线任意转动，

如图 1-11(a) 所示。如门、窗用的合页，起重机悬臂与机座间的连接等，都是铰链约束的实例。

铰链连接简图如图 1-11(b) 所示，销钉阻止被约束两物体沿垂直于销钉轴线方向的相对横向移动，而不限制连接件绕轴线的相对转动。因此，根据光滑面约束特征可知，销钉产生的约束反力  $F_R$  应沿接触点处公法线，必过铰链中心（销钉轴线），如图 1-11(c) 所示。但接触点位置与被约束构件所受外力有关，一般不能预先确定，因此， $F_R$  的方向未定，通常用过销钉中心，且相互正交的两个分力  $F_{Rx}$ 、 $F_{Ry}$  来表示。

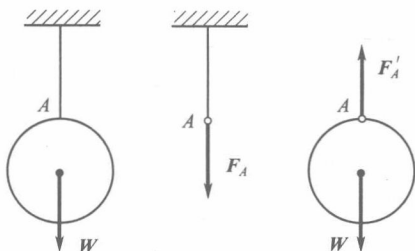


图 1-9

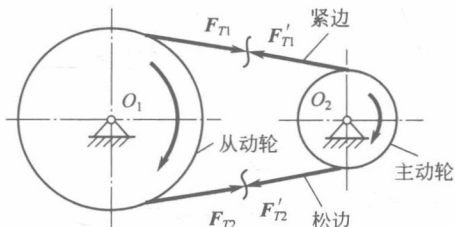


图 1-10

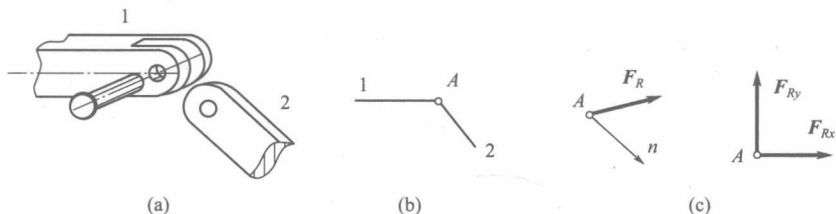


图 1-11

#### 4. 固定铰链支座

铰链结构中的两个构件，若其中一个固定于基础或静止的支承面上，此时称铰链约束为固定铰链支座。固定铰链支座的结构简图及其约束反力如图 1-12(a)、(b) 所示。此外，工程中的轴承也可视为固定铰链支座约束。

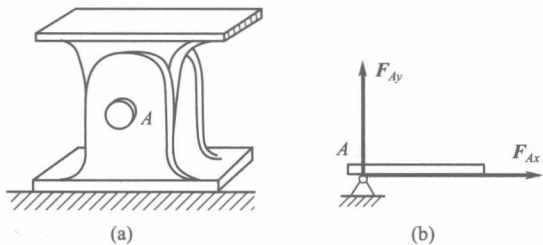


图 1-12

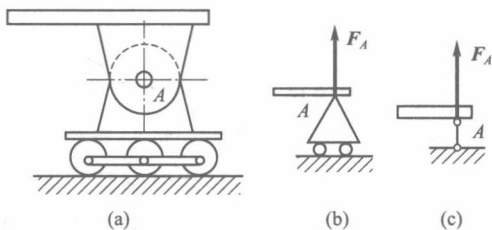


图 1-13

#### 5. 滚动支座

它是在光滑铰链支座与光滑支承面之间装有几个辊轴而构成，又称为辊轴约束。通常与固定铰链支座配对使用，分别装在梁的两端。与固定铰链支座不同的是，它不限制被约束端沿支承面切线方向的位移。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，不会在梁内引起温度应力。由于这种约束只限制垂直于支承面方向的运动，所以，其约束反力



沿滚轮与支承面接触处的公法线方向，指向被约束构件。其结构与受力简图如图 1-13(a)、(b)、(c) 所示。

### 6. 球形铰链约束

球形铰链的结构如图 1-14(a) 所示，通常是将构件的一端制成球形，置于另一构件或基础的球窝中。其作用是限制被约束体在空间的移动但不限制其转动。如电视机、收音机天线与机体的连接，车床床头灯与床身的连接等都是球形铰链约束。球形铰链约束的特征是限制了杆件端点沿三个方向的移动，但不限制其绕三个坐标轴的转动，所以，约束反力是通过球心，但指向不能预先确定的一个空间力，可用三个相互正交的分力  $F_{Ax}$ 、 $F_{Ay}$ 、 $F_{Az}$  来表示，如图 1-14(b) 所示。

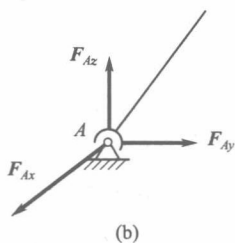
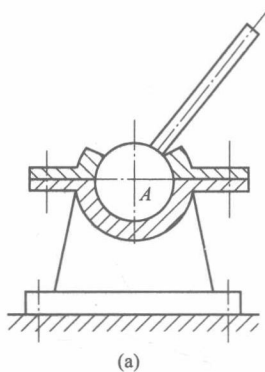


图 1-14

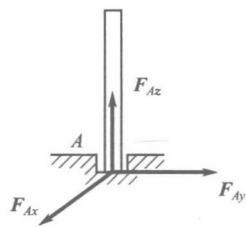


图 1-15

### 7. 止推轴承约束

止推轴承约束结构如图 1-15 所示，它除了能限制轴的径向位移以外，还能限制轴沿轴向位移。其约束力有三个正交分量  $F_{Ax}$ 、 $F_{Ay}$ 、 $F_{Az}$ 。

以上只介绍了几种常见约束，在工程中约束的类型远不止这些，有的约束比较复杂，分析时需加以抽象、简化。

## 第三节 物体的受力分析与受力图

工程中可用平衡方程求出未知的约束反力。为此，需要确定构件受几个力作用，每个力的作用位置和方向。这个过程称为物体的受力分析。

为了分析某个构件的受力，必须将所研究物体从周围物体中分离出来，而将周围物体对它的作用用相应的约束力来代替，这一过程称为取分离体，取分离体是显示周围物体对研究对象作用力的一种重要方法。

作用在物体上的力可分为两类：一类是主动力，即主动地作用于物体上的力，例如作用于物体上的重力、风力、气体压力、工作载荷等，这类力一般是已知的或可以测得的；另一类是被动力，在主动力作用下物体有运动趋势，而约束限制了这种运动，这种限制作用是以约束反力形式表现出来的，称为被动力。

受力分析的主要任务是画受力图。一般来说，约束反力的大小是未知的，需要利用平衡条件求出，但其方向是已知的，或可通过某种方式分析出来。用受力图清楚、准确地表达物