

建筑力学

第一分册

理论力学

(第三版)

重庆建筑大学编

高

11  
2-2  
11

土

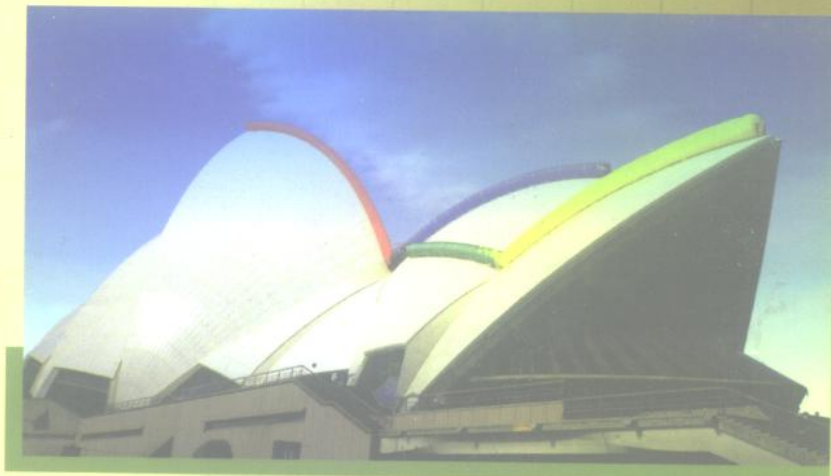
高等学校教材

建筑力学 第一分册

# 理论力学

(第三版)

重庆建筑大学 编



高等教育出版社

440313

高等学校教材

建筑力学 第一分册

# 理论力学

(第三版)

重庆建筑大学 编

高等教育出版社

(京) 112 号

### 内容提要

本套《建筑力学》共分三册,本书为第一分册理论力学。本书第三版是依据 1995 年原国家教委颁布的“理论力学课程教学基本要求(中、少学时)”和当前教学改革的要求等进行修订的。本书对传统体系和内容作了一些调整,精练理论篇幅,加强结合专业和工程应用内容,提高起点,力求减少相关内容的重叠。本书采用了国家标准 GB 3100—3102—93《量和单位》中规定的有关符号。

本套书适用于土建类建筑学、给水排水、采暖通风、建筑材料等专业。

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑力学 第一分册:理论力学/重庆建筑大学编. —  
3 版. —北京:高等教育出版社, 1999  
高等学校教材  
ISBN 7-04-007271-8

I. 建… II. 重… III. ①建筑力学—高等学校—教材②理论力学—高等学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 17038 号

建筑力学 第一分册 理论力学(第三版)  
重庆建筑大学 编

---

出版发行	高等教育出版社		
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	邮政编码	100009
电 话	010-64054588	传 真	010-64014048
网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>		

经 销 新华书店北京发行所  
排 版 高等教育出版社照排中心  
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本	787×1092 1/16	版 次	1978 年 12 月第 1 版 1999 年 6 月第 3 版
印 张	16.75	印 次	1999 年 6 月第 1 次印刷
字 数	380 000	定 价	13.70 元

---

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

## 第三版前言

本版是第三版。初版于1979年出版，1984年出版了第二版。本书第二版保留了第一版中的主要内容和教学体系，但基本内容的深广度有所增加，并增添了备选内容，既有利于教师的讲授，又便于学生自学，在国内得到了广泛的选用。

为了适应当前教学改革形势和学生水平的普遍提高，现对本书第二版又作了较全面的修订。在修订中，本书仍沿用原有的公理体系，对定理、推论等都给予简明的数学推导或相应的说明。在论述中，力求注意力学现象的物理概念和内在联系，以及思路的严密性和逻辑性，以期在培养学生的正确思维方法方面能起到一定作用。

另一方面，对传统体系和内容也作了一些调整，力求提高起点，减少相关内容的重叠，精简理论篇幅，加强结合专业和工程应用的内容。例如，在静力学中，采取由基本力系到一般力系，由空间到平面的讲法；运用矢量合成法，则使力矩、力偶理论简化；动力学普遍定理直接从质点系讲起，质点情形只作为特例略加说明。本书内容覆盖了1995年修订的“理论力学课程教学基本要求（中、少学时）”的全部内容。

本版采用了国家标准 GB 3100—3102—93《量和单位》中规定的有关符号。

修订工作由重庆建筑大学邹昭文负责，修订者有程光均（静力学）、邹昭文（运动学）、张祥东（动力学）等，全部插图由曾令彬重新绘制。

北京理工大学吕哲勤教授详细审阅了本稿，并提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示衷心感谢。本书修订过程中，得到重庆建筑大学理论力学教研室全体同事的大力支持，并提出了许多中肯的意见，特此致谢。

由于修订者水平有限，书中难免有缺点，恳请广大教师和读者提出宝贵意见，以便今后改进。

修订者

1998年12月

## 第二版前言

本版是第二版。

由于1979年版与1980年5月在南京审订的《建筑力学教学大纲》(草案)(180学时)中的理论力学部分内容差别较大,为能更好地符合该大纲(草案)中的要求并使1979年版中所存在的其它问题得到一定程度的解决,特根据1980年大纲(草案)同时结合1982年12月工科理论力学教材编审小组扩大工作会议的精神对1979年版进行了修订。本修订版保留了原版中的主要内容和教学体系,但基本内容的深广度有所增加,并增添了备选内容。

本版主要在下列几方面作了修改:

(一) 根据当前学生的入学水平、大学普通物理和高等数学的教学情况,适当地增加了理论力学教学的基本内容,并且在力求减少不必要的重复的情况下,仍注意有一定的复习和衔接。在点的运动学、刚体的平面运动和势力场与势能等处均作了较大的改动。

(二) 为了加强基本内容和适应各有关专业后继课程的需要,本版删去了旧版中的一些章节,增加了新的内容。例如,删去了角速度矢量和角加速度矢量一节和单自由度体系的振动一章;加强了点的空间曲线运动和动量矩定理以及质心的概念;充实了刚体平面运动的内容并将它独立成章;增加了虚位移原理一章。同时,为能与动力学中惯性力系的简化相衔接并适当加强理论的完整性,也简略地阐述了空间一般力系的简化问题。此外,对旧版中个别比较陈旧的定义(如力场),也作了修改,以使它符合近代科学的发展。

(三) 在保证基本内容学到手的前提下,为适应不同程度和不同学时学生的需要,本版按1982年工科理论力学编审小组扩大工作会议《关于解决当前工程力学和建筑力学中理论力学部分教学及教材问题的几点原则意见》增加了一部分备选内容以供教师选讲或学生自学,如用基点法研究平面运动刚体上点的加速度等。此外,也将旧版中的牵连运动为平动时的加速度合成定理与平面运动刚体惯性力系的简化划入备选内容。凡属备选内容均于标题上附加“\*”号以表明之。

本修订稿曾由修订者在教学实践中试用过两届,并经重庆建筑工程学院理论力学教研组多数同志分别审阅和多次集体讨论。

修订工作由重庆建筑工程学院周光坝负责并执笔,李明孝协助并写出静力学部分的修改初稿,刘天予描图。此外,胡楚雄同志也曾多方给予帮助。

本版由同济大学余文铎、南京工学院胡乾善、鲍恩湛三位同志分别审稿,他们都从各方面提出了许多宝贵的意见,特此表示衷心的感谢。

本书适用于土建类建筑学、给水排水、供热和建筑材料等专业。

由于修订者的水平所限,本版中缺点和错误必仍不少,诚恳希望使用本书的同志批评指正。

修订者

1984年6月

## 第一版编者的话

根据 1977 年 11 月教育部委托召开的高等学校工科基础课力学教材会议讨论的《建筑力学》编写大纲，湖南大学、哈尔滨建筑工程学院、重庆建筑工程学院三院校为土建类的建筑学、给水排水、采暖通风、建筑材料等专业编写了这套中学时的《建筑力学》教材。全书共分三个分册：第一分册为理论力学，第二分册为材料力学，第三分册为结构力学。为了便于选用，在编写时我们既注意了这三部分内容的相互联系和配合，又保持了各自相对的独立性和理论的系统性。

本书是《建筑力学》的第一分册——理论力学。我们在编写过程中注意做到：以马列主义、毛泽东思想为指导；贯彻理论联系实际的原则；并考虑有关专业的要求，使教材有一定的针对性；内容叙述由浅入深，力求精简，在加强物理概念叙述的同时，略去了某些次要的证明。

由于本书兼顾了几个专业的某些不同要求，因此，全部讲授完本书的内容需 80~90 学时。采用本教材时，可根据本专业的教学要求，对运动学和动力学两部分的内容酌情取舍。

本书由天津大学和西安冶金建筑学院主审，参加审稿会的还有北京工业大学、武汉建筑材料工业学院、南京工学院、北京建筑工程学院等院校。清华大学、同济大学等校还对本教材提出了宝贵的书面意见。

参加本书编写工作的有：湖南大学黎邦隆（第一、二章），彭绍佩（第三、四章），重庆建筑工程学院周光坝（第五、七章），王云祜（第六章），孟怀江（第八、十一、十二、十三章），胡楚雄（第九、十章）。由于编者水平有限，缺点和错误必定不少，希望使用本书的同志批评指正。

编者

1978 年 12 月

# 目 录

绪论 (1)

## 第一篇 静 力 学

### 第一章 静力学基本知识与物体的受力分析 (3)

- § 1-1 基本概念 (3)
- § 1-2 静力学公理 (5)
- § 1-3 约束和约束反力 (7)
- § 1-4 物体的受力分析和受力图 (12)
- 思考题 (16)
- 习 题 (16)

### 第二章 汇交力系 (18)

- § 2-1 汇交力系的合成与平衡——几何法 (18)
- § 2-2 力在坐标轴上的投影 (19)
- § 2-3 汇交力系合成与平衡的解析法 (21)
- 思考题 (28)
- 习 题 (28)

### 第三章 一般力系的简化 (32)

- § 3-1 力对点之矩 (32)
- § 3-2 力对轴之矩 (35)
- § 3-3 力偶及其性质 力偶系的合成与平衡 (37)
- § 3-4 力向一点平移 (41)
- § 3-5 空间一般力系向一点简化 (42)
- § 3-6 平面一般力系的简化 (44)
- § 3-7 物体的重心 质心 (48)
- 思考题 (55)
- 习 题 (55)

### 第四章 一般力系的平衡 (59)

- § 4-1 空间一般力系的平衡条件 平衡方程 (59)
- § 4-2 平面一般力系的平衡方程 (60)
- § 4-3 一般力系平衡方程应用举例 (62)
- § 4-4 物体系统的平衡 (68)
- § 4-5 滑动摩擦 (73)
- § 4-6 静定与静不定问题的概念 (82)
- 思考题 (82)
- 习 题 (83)

## 第二篇 运 动 学

## 第五章 点的运动学 (91)

- § 5-1 运动学的任务和基本概念 (91)
- § 5-2 用矢量法研究点的运动 (92)
- § 5-3 用直角坐标法研究点的运动 (94)
- § 5-4 用自然法研究点的运动 (101)
- 思考题 (109)
- 习 题 (109)

## 第六章 刚体的基本运动 (112)

- § 6-1 刚体的平动 (112)
- § 6-2 刚体绕定轴的转动 (113)
- § 6-3 转动刚体上各点的速度和加速度 (116)
- 思考题 (120)
- 习 题 (120)

## 第七章 点的复合运动 (123)

- § 7-1 点的复合运动的概念 (123)
- § 7-2 速度合成定理 (124)
- § 7-3 牵连运动为平动时的加速度合成定理 (129)
- 思考题 (133)
- 习 题 (133)

## 第八章 刚体的平面运动 (136)

- § 8-1 平面运动及其分解 (136)
- § 8-2 平面图形内各点的速度 (138)
- § 8-3 瞬时速度中心 (142)
- § 8-4 平面图形内各点的加速度 (145)
- 思考题 (148)
- 习 题 (148)

## 第三篇 动 力 学

## 第九章 质点运动微分方程 (153)

- § 9-1 动力学的任务和基本概念 (153)
- § 9-2 质点运动微分方程 (154)
- § 9-3 质点动力学的两类基本问题 (156)
- 思考题 (161)
- 习 题 (161)

## 第十章 动量定理 (164)

- § 10-1 动力学普遍定理概述 (164)
- § 10-2 动量定理 (164)
- § 10-3 质心运动定理 (169)
- 思考题 (172)



习 题 (173)

**第十一章 动量矩定理 (176)**

§ 11-1 动量矩 (176)

§ 11-2 动量矩定理 (177)

§ 11-3 转动惯量 (180)

§ 11-4 刚体的定轴转动微分方程 (184)

思考题 (187)

习 题 (188)

**第十二章 动能定理 (193)**

§ 12-1 力的功 (193)

§ 12-2 动能 (197)

§ 12-3 动能定理 (198)

§ 12-4 势力场 势能 (204)

§ 12-5 机械能守恒定律 (206)

思考题 (209)

习 题 (209)

**第十三章 动静法 (213)**

§ 13-1 惯性力 达朗贝尔原理 (213)

§ 13-2 刚体惯性力系的简化 (218)

思考题 (223)

习 题 (224)

**第十四章 虚位移原理 (227)**

§ 14-1 约束 自由度与广义坐标 (227)

§ 14-2 虚位移 (230)

§ 14-3 理想约束 (232)

§ 14-4 虚位移原理 (233)

思考题 (240)

习 题 (240)

**习题答案 (244)**

# 绪 论

建筑力学包括理论力学、材料力学和结构力学三门学科。理论力学研究物体机械运动的一般规律，即力学中最普遍、最基本的规律，这些规律是学习材料力学、结构力学的重要理论基础。材料力学和结构力学分别着重研究杆状构件及杆系结构的强度、刚度及稳定性，为设计构件和结构提供理论依据和方法。这三门课之间有着密切的内在联系并相互衔接。

物体机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。平衡是机械运动的特殊情况，它也包含在理论力学研究内容之中，而且对土建类专业来讲，这一部分是很重要的。

理论力学以伽利略和牛顿所总结出来的基本规律为基础，属于古典力学的范畴。所谓“古典”是相对于近代出现和发展起来的相对论力学和量子力学而言的。相对论力学研究速度可与光速（每秒30万公里）相比较的运动；量子力学研究微观粒子的运动；而古典力学则研究速度远小于光速的宏观物体的运动。因此，古典力学的研究范围有其局限性。但是，在现代科学技术中，古典力学仍有其重要的现实意义。这是因为，不仅在一般的工程技术中，即使在一些尖端科学，如火箭技术、宇宙航行等方面，所研究的物体都是宏观物体，而且其运动速度也都远小于光速，所以，也仍然是用古典力学的原理去解决有关的力学问题。

理论力学的内容，一般分为静力学、运动学和动力学三部分。静力学研究物体平衡时作用于其上的诸力之间的关系；运动学研究物体机械运动的几何特征而不涉及到力的作用；动力学研究物体的机械运动与所受的力之间的关系。

机械运动现象十分普遍，在我们的周围，处处可见。如车辆的行驶，机器的运转，水的流动，人造卫星和宇宙飞船的运行，建筑物的振动，等等，都是机械运动。学习理论力学，了解机械运动规律，就不仅能使人们理解机械运动的现象，更重要的是为了应用这些规律去解决工程技术问题。现在，当全国人民为实现我国的工业、农业、国防和科学技术现代化而努力工作的时候，随着国民经济的迅速发展，在生产建设的各个领域里，必然会产生许多新的复杂的工程技术问题，需要人们加以解决。工程技术问题是复杂的，有的可以直接应用理论力学基本理论去解决，有的则需要理论力学知识和其他专门知识共同来解决。所以，对于一个工程技术人员来说，理论力学知识是必不可少的。又由于理论力学是研究机械运动的基本理论，它是一系列后继的技术基础课和专业课的理论基础，所以学好理论力学，也就为学习一系列学科作好了准备。

在形成理论力学的概念和理论系统的过程中，抽象化和数学演绎这两种方法起着重要的作用。抽象化的方法，就是在一定的研究范围内，根据问题的性质，抓住主要的、起决定作用的因素，撇开次要的、偶然的因素，深入事物本质，了解其内部联系的方法。如：在研究地球绕太阳运行的轨道、周期等问题时，不考虑地球大小和形状而将它抽象为一个点；在研究物体的机械运动时，往往忽略物体受力时要变形的性质，而将物体简化为刚体等。数学演绎的方法，就是在经过实践证明为正确的理论基础上，经过严密的数学推演，得到定理和公式构成系统理论的方法。理论力学中许多定理都是以牛顿定律为基础，经过严密的数学推导得到的。但是抽

象必须是“科学的抽象”，如不顾条件随意取舍，则其结果将是荒谬的。同时数学推演的结果也只是在一定范围内成立，不能绝对化，此外，也不能把力学理论单纯地看作是数学演绎的结果而忽视其实践的作用。将实际工程中提出的问题，抽象化为力学问题，以已有的力学理论为依据，运用数学工具进行演绎求得解决，然后将结果运用到实践中去检验其正确性。如此循环往复使认识不断深化，这是力学理论发展的道路，也是所有科学发展的道路。

# 第一篇 静 力 学

## 第一章 静力学基本知识与 物体的受力分析

### § 1-1 基本 概念

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学。

#### 一、力的概念

力的科学概念产生于牛顿定律。力是物体相互间的一种机械作用，它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。物体相互间的机械作用形式多种多样，可归纳为两类。一类是物体相互间的直接接触作用，如弹力、摩擦力、流体压力等；另一类是通过场的相互作用，如万有引力、静电引力等。力不能脱离物体而出现，且有力就必定至少存在着两个物体。

力对物体的作用效应主要有两个方面：①力能使物体的运动状态发生改变，称为力的运动效应或外效应；②力能使物体发生变形，称为力的变形效应或内效应。理论力学主要研究力的外效应。

实践表明，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。力的大小表示物体相互间机械作用的强弱程度。在国际单位制中，以“N”作为力的单位符号，称作牛[顿]。有时也以“kN”作为力的单位符号，称作千牛[顿]。力的方向表示物体间的相互机械作用具有方向性。它包括力所顺沿的直线（称为力的作用线）在空间的方位和力沿其作用线的指向。力的作用点是物体间相互机械作用位置的抽象化。实际上物体相互作用的位置并不是一个点，而是物体的一部分面积或体积。如果这个作用面积或体积相对于物体很小或由于其他原因以致于力的作用面积或体积可以不计，则可将它抽象为一个点，此点称为力的作用点，而作用于该点的力称为集中力。反之，当力的作用面积或体积不能忽略时，则称该力为分布力。例如水压力、风压力、重力等。

由力的三要素可知，力是矢量，应该用一沿力的作用线的有向线段表示。此有向线段的起点或终点表示力的作用点，故力是定位矢量。如图 1-1 表示了物体在 A 点受到力  $F$  的作用。本书中用一个粗体字母表示力矢量，如  $F$ ，而用普通字母表示力矢量的大小（又称为模），如

$F$ 。仅用符号  $F$  不能确定它所表示的力的作用点，这种只表示力的大小和方向，并可从任一点画出的矢量称为力矢。

## 二、刚体的概念

刚体是指在运动中和受力作用后，形状和大小都不发生改变，且内部各点之间距离不变的物体。刚体是从实际物体抽象得来的一种理想的力学模型，自然界中并不存在。实际上，任何物体在力的作用下都将发生变形，但如果物体的变形尺寸与其原始尺寸相比很小，在所研究的力学问题中，忽略这种变形后不会引起显著的误差时，就可以把这个物体抽象化为刚体，从而使所研究的问题得到简化。对刚体而言，力只产生运动效应。

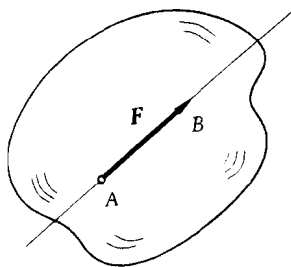


图 1-1

在理论力学中随着所研究的问题的不同，除了将实际物体抽象为刚体之外，还可将实际物体抽象为质点和质点系。

质点是指具有一定质量而几何形状和尺寸可忽略不计的物体。实际物体都有一定的形状和尺寸，但当所研究物体的运动范围远远超过它本身的几何尺寸时，它的形状和尺寸对运动的影响极微小，就可以把该物体抽象简化为质点。

质点系是指有限个或无限个相互联系并组成运动整体的一群质点。刚体就是由无限个质点组成的几何形状和尺寸都不变的质点系。

## 三、平衡的概念

所谓平衡，是指物体在力作用下相对于惯性参考系处于静止或作匀速直线平动的状态。在一般工程技术问题中，平衡常常都是相对于地球而言的。例如静止在地面上的房屋、桥梁、水坝等建筑物，在直线轨道上作匀速运动的火车等，都是在各种力作用下处于平衡状态。平衡是物体机械运动的特殊情形。一切平衡都是相对的、暂时的和有条件的，而运动则是绝对的和永恒的。

## 四、力系的概念

同时作用于物体上的一群力，称为力系。根据力系中诸力作用线的分布状况可将力系分为：诸力作用线位于同一平面内的称为平面力系；作用线不在同一平面内的称为空间力系；作用线汇交于一点的称汇交力系；作用线互相平行的称为平行力系；作用线既不平行，也不汇交于一点的称为一般力系；全部由力偶组成的力系称力偶系。如果某两力系分别作用于同一物体上，其效应相同，则这两个力系称为等效力系。使物体处于平衡状态的力系称为平衡力系。

## 五、静力学研究的两个基本问题

在静力学中为了研究各种力系对物体作用的总效应，进而导出力系的平衡条件，主要研究两类问题：

### 1. 作用在刚体上的力系的简化（或合成）

用一个比原复杂力系简单但作用效果相同的力系代替原力系的过程称为力系的简化。特别

地, 如用一个力就可等效地代替原力系, 则称该力为原力系的合力, 而原力系中的诸力称为该力的分力。

## 2. 力系的平衡条件

作用于物体上的力系使物体处于平衡状态所应满足的条件称为力系的平衡条件。而研究力系的平衡条件是静力学的主要内容。当然, 研究力系的简化, 不仅仅是为了在静力学中导出力系的平衡条件, 而且也为动力学的研究打下基础。

静力学在工程技术中有着广泛的应用。例如房屋结构、桥梁、水坝及机械零部件的设计计算, 一般须先对它们进行受力分析, 并应用平衡条件求出未知力, 然后再进行其他方面的分析。同时静力学也是学习许多后继课程的基础。

## § 1-2 静力学公理

静力学公理是人类在长期的生产和生活实践中, 经过反复的观察和实验总结出来的客观规律, 并被认为是无需再证明的真理。静力学的全部理论, 即关于力系的简化和平衡条件的理论, 都是以下面介绍的基本公理为依据得出的。

### 一、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作用于该点的一个合力, 它的大小和方向, 由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定 (图 1-2a)。

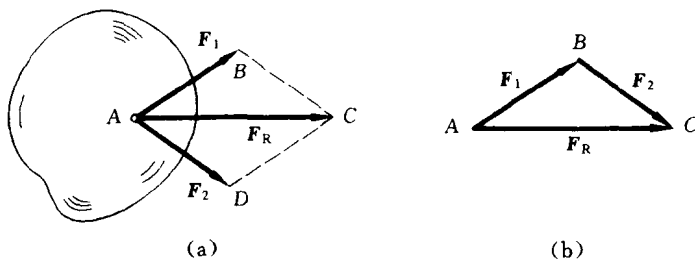


图 1-2

以  $F_R$  表示力矢  $F_1$  和  $F_2$  的合力矢, 则按平行四边形法则相加, 这个公理可表示为

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

即合力等于两分力的矢量和。

为了简便, 作图时可直接将力矢  $F_2$  平移连在力矢  $F_1$  的末端  $B$  (图 1-2b), 连接  $A$  和  $C$  两点。显然, 矢量  $\overrightarrow{AC}$  即表示合力矢  $F_R$ 。这个三角形  $ABC$  称为力三角形, 这样的作图方法, 称为力三角形法则。

力的平行四边形法则是力系简化的基础。同时, 它也是力分解的法则。根据它可将一力分解为作用于同一点的两个分力。由于用同一对角线可作出无穷多个不同的平行四边形, 因此解答不确定。只有在另外附加足够条件的情况下 (如已知两分力的作用线方位或已知某分力的大

小和方向等), 才能得到确定的解答。

## 二、作用与反作用定律

两物体间相互作用的力总是大小相等、方向相反, 沿同一直线, 并分别而且同时作用在这两个物体上。

这个定律概括了任何两个物体间相互作用的关系。有作用力, 必定有反作用力; 没有反作用力, 必定也没有作用力。两者总是同时存在, 又同时消失。可见, 力也总是成对地出现在两相互作用的物体之间的。

## 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: 这两个力的大小相等、方向相反, 且作用线沿同一直线上 (图 1-3)。

这个公理所指出的条件, 对于刚体是必要和充分的, 但对于变形体就不是充分的。例如软绳在两端如果受到大小相等、方向相反的拉力可以平衡; 如果是压力则不能平衡。同时应该注意, 尽管作用力与反作用力大小相等、方向相反, 且沿同一直线, 但它们分别作用于两个物体上, 并不互成平衡力, 因此不能把二力平衡条件与作用力与反作用力定律混淆起来。二力平衡公理是推证力系平衡条件的基础。

仅在两点受力作用并处于平衡的构件称为二力构件, 简称为二力体。二力体所受的二力必沿此二力作用点的连线, 且等值、反向, 如图 1-4 所示。

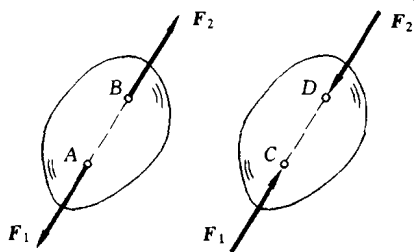


图 1-3

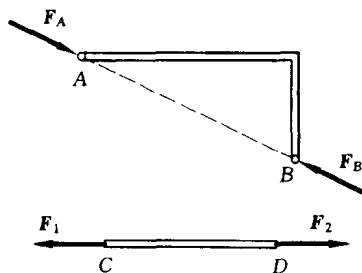


图 1-4

## 四、加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任意力系上, 加上或去掉任何一个平衡力系, 并不改变原力系对刚体的作用效应。

本公理的正确性是显而易见的, 因平衡力系中各力对刚体作用的总效应等于零, 它不能改变其平衡或运动的状态。

## 五、推论

### 1. 力在刚体上的可传性

作用在刚体上的力可沿其作用线滑移至该刚体上的任一点, 而不改变该力对刚体的作用效

应。

证明：设力  $F$  作用于刚体上的  $A$  点（图 1-5a）。在力  $F$  的作用线上任取  $B$  点，并在  $B$  点加一对沿  $AB$  线的平衡力  $F_1$  和  $F_2$ ，且使  $F_1 = -F_2 = F$ （图 1-5b）。由加减平衡力系公理知， $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F$  三个力组成的力系与原力  $F$  等效。再从该力系中去掉由  $F$  与  $F_2$  组成的平衡力系，则剩下的力  $F_1$ （图 1-5c）与原力  $F$  等效。这样，就把原来作用在  $A$  点的力  $F$  沿其作用线移到  $B$  点。

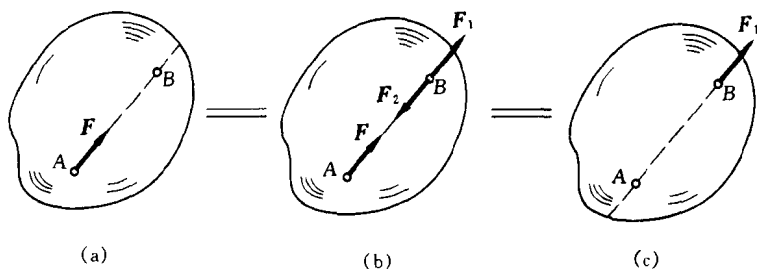


图 1-5

力的可传性在生产实践中也可以得到验证。例如，若保持力的大小、方向和作用线不变，则用手推车和拉车效果完全相同。

由此可见，作用于刚体上的力的三要素是：力的大小、方向和作用线。作用于刚体上的力是滑动矢量。力的可传性不适用于变形体，而且只适用于同一刚体，不能将力沿其作用线由一个刚体移到另一个刚体上去。

## 2. 三力平衡汇交定理

刚体在不平行的三力作用下平衡时，此三力的作用线必共面且汇交于一点。

证明：设在刚体的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点上，分别作用不平行的三个相互平衡的力  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ （图 1-6）。根据力的可传性，将力  $F_1$ 、 $F_2$  移到其汇交点  $O$ ，然后根据力的平行四边形法则，得合力  $F_{R12}$ 。则力  $F_3$  应与  $F_{R12}$  平衡。由二力平衡公理知， $F_3$  与  $F_{R12}$  必共线。由此知力  $F_3$  的作用线必通过  $O$  点并与力  $F_1$ 、 $F_2$  共面。证毕。

三力平衡汇交定理只说明了不平行的三力平衡的必要条件，而不是充分条件。它常用来确定刚体在不平行三力作用下平衡时，其中某一未知力的作用线。

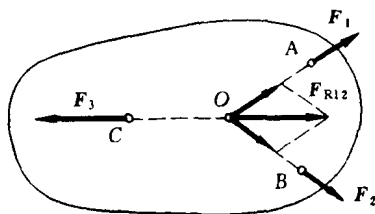


图 1-6

## § 1-3 约束和约束反力

凡能在空间自由运动的物体，都称为自由体。例如，航行的飞机、飞行的炮弹等。如果物体的运动受到一定的限制，使其在某些方向的运动成为不可能，则这种物体称为非自由体。例如，用绳索悬挂的重物，搁置在墙上的梁，沿钢轨运行的火车等，都是非自由体。



对非自由体的运动所预加的限制条件称为约束。约束总是通过物体间的直接接触形成的。例如上述绳索是重物的约束，墙是梁的约束，钢轨是火车的约束。它们分别限制了各相应物体在约束所能限制的方向上的运动。

既然约束限制着物体的运动，那么，当物体沿着约束所能限制的方向有运动趋势时，约束对该物体必然有力作用，以阻碍物体的运动，这种力称为约束反力或约束力，简称反力。约束反力的方向总是与约束所能阻止的物体的运动趋势的方向相反，它的作用点就在约束与被约束物体的接触点。在静力学中，约束对物体的作用，完全决定于约束反力。

与约束反力相对应，凡能主动引起物体运动或使物体有运动趋势的力，称为主动力。例如，重力、风压力、水压力等。作用在结构物体上的主动力称为荷载。通常主动力是已知的，约束反力是未知的。约束反力由主动力引起，且随主动力的改变而改变，约束反力是一种被动力。

由于约束的类型不同，约束反力的作用方式也各不相同。下面介绍在工程中常见的几种约束类型及其约束反力的特性。

### 一、柔索约束

由柔软而不计自重的绳索、胶带、链条等所构成的约束统称为柔索约束。由于柔索约束只能限制物体沿着柔索的中心线伸长方向的运动，而不能限制物体其它方向的运动，所以柔索的约束反力必定沿着柔索的中心线且背离被约束的物体，表现为拉力，用符号  $F_T$  表示。如图 1-7 所示。

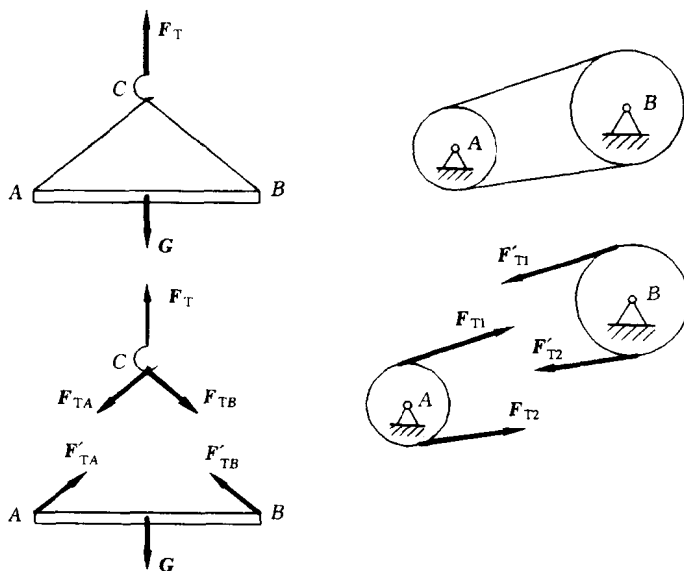


图 1-7

### 二、光滑接触表面约束

物体间光滑接触时，不论接触面的形状如何，这种约束只能限制物体沿着接触面在接触点