

高等学校教材

● 建筑力学 第一分册

重庆建筑工程学院 编

# 理论力学

第二版



高等学校教材

建筑力学 第一分册

# 理论力学

(第二版)

重庆建筑工程学院 编

高等教育出版社

180  
S-S  
1:

《建筑力学》共分三册，第二版是在第一版基础上根据1980年制定的《建筑力学教学大纲》(草案)修订而成。第一分册《理论力学》由重庆建筑工程学院修订，第二分册《材料力学》由哈尔滨建筑工程学院修订，第三分册《结构力学》由湖南大学修订。这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。

本书为《理论力学》第二版，主要内容为静力学、运动学、动力学。

本书也可供有关专业工程技术人员参考。

高等学校教材  
建筑力学 第一分册  
**理论力学**  
(第二版)

重庆建筑工程学院编

高等教育出版社出版  
新华书店北京发行所发行  
二二〇七工厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 15.25 字数 350,000  
1979年1月第1版 1984年9月第2版 1985年4月第1次印刷

印数 00,001—31,500

书号 15010·0623 定价 2.60 元

## 第二版前言

本版是第二版。

由于一九七九年版与一九八〇年五月在南京审订的《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)中的要求并使一九七九年版中所存在的其它问题得到一定程度的解决,特根据一九八〇年大纲(草案)同时结合一九八二年十二月工科理论力学教材编审小组扩大工作会议的精神对一九七九年版进行了修订。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,本版按一九八二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

一九八四年六月

## 第一版编者的话

根据一九七七年十一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

一九七八年十二月

# 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..... 4

- § 1-1 力的概念..... 4
- § 1-2 静力学基本原理..... 5
- § 1-3 约束与约束反力..... 8
- § 1-4 物体的受力分析 受力图..... 11
- 习题..... 15

### 第二章 平面汇交力系..... 17

- § 2-1 平面汇交力系的几何法合成..... 17
- § 2-2 平面汇交力系平衡的几何条件..... 19
- § 2-3 平面汇交力系的解析法合成..... 21
- § 2-4 平面汇交力系平衡的解析条件  
平衡方程..... 24
- 习题..... 26

### 第三章 平面一般力系..... 30

- § 3-1 力对点之矩..... 31
- § 3-2 力偶和力偶矩 平面力偶系的合成与  
平衡..... 33
- § 3-3 力向一点的平移..... 35
- § 3-4 平面一般力系向一点简化 主矢量  
与主矩..... 36
- § 3-5 平面一般力系的平衡条件 平衡方程..... 39
- § 3-6 物体系统的平衡 静定与静不定问题  
的概念..... 44
- § 3-7 滑动摩擦..... 48
- 习题..... 55

### 第四章 空间力系..... 62

- § 4-1 力在空间直角坐标轴上的投影..... 62
- § 4-2 空间汇交力系的合成与平衡..... 63
- § 4-3 力对轴之矩..... 65
- § 4-4 力对点之矩的矢量表示 力对点之矩  
与力对轴之矩的关系..... 68
- § 4-5 空间一般力系的平衡条件..... 69

- § 4-6 物体的重心..... 73
- 习题..... 79

## 第二篇 运动学

### 第五章 点的运动学..... 84

- § 5-1 用矢量法研究点的运动..... 84
- § 5-2 用直角坐标法研究点的运动..... 86
- § 5-3 用自然法研究点的运动..... 92
- 习题..... 99

### 第六章 刚体的基本运动..... 103

- § 6-1 刚体的平动..... 103
- § 6-2 刚体绕定轴的转动..... 104
- § 6-3 转动刚体上各点的速度和加速度..... 107
- 习题..... 110

### 第七章 点的复合运动..... 113

- § 7-1 点的复合运动的概念..... 113
- § 7-2 速度合成定理..... 114
- \* § 7-3 牵连运动为平动时的加速度合成定理..... 118
- 习题..... 121

### 第八章 刚体的平面运动..... 125

- § 8-1 平面运动及其分解..... 125
- § 8-2 平面图形内各点的速度..... 127
- § 8-3 瞬时速度中心..... 130
- \* § 8-4 平面图形内各点的加速度..... 133
- 习题..... 136

## 第三篇 动力学

### 第九章 动力学基本方程..... 142

- § 9-1 动力学基本定律..... 142
- § 9-2 质点运动微分方程..... 143
- § 9-3 质点动力学第一类问题..... 145
- § 9-4 质点动力学第二类问题..... 147
- 习题..... 150

### 第十章 动量定理..... 153

- § 10-1 质点系 内力和外力..... 153
- § 10-2 质点和质点系的动量定理..... 153

|                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| § 10-3 质心运动定理.....157      | § 12-6 势力场 势能.....194      |
| 习题.....162                 | § 12-7 机械能守恒定律.....197     |
| <b>第十一章 动量矩定理.....166</b>  | 习题.....200                 |
| § 11-1 质点动量矩定理.....166     | <b>第十三章 动静法.....204</b>    |
| § 11-2 质点系动量矩定理.....169    | § 13-1 达朗伯原理 惯性力.....204   |
| § 11-3 刚体的定轴转动微分方程.....171 | § 13-2 惯性力系的简化.....208     |
| § 11-4 转动惯量.....173        | 习题.....213                 |
| 习题.....178                 | <b>第十四章 虚位移原理.....215</b>  |
| <b>第十二章 动能定理.....182</b>   | § 14-1 约束 自由度与广义坐标.....215 |
| § 12-1 力的功.....182         | § 14-2 虚位移.....218         |
| § 12-2 质点动能定理.....186      | § 14-3 理想约束.....220        |
| § 12-3 质点系动能定理.....187     | § 14-4 虚位移原理.....221       |
| § 12-4 刚体动能的计算.....189     | 习题.....227                 |
| § 12-5 功率与功率方程.....192     | <b>习题答案.....230</b>        |

## 绪 论

理论力学、材料力学和结构力学统称为建筑力学。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,就不仅能使我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



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

静力学研究力的基本性质和力系的合成规律以及力系平衡的理论。

同时作用于物体上的一群力称为一个力系。所谓力系的合成，就是将作用于某一物体上的已知力系变换为与它等效并比它简单的力系。力系的合成也称为力系的简化。

所谓平衡，是指物体相对于惯性参考系处于静止的或匀速直线运动的状态。在一般工程技术问题中，平衡常常是相对于地球而言。在静力学中，平衡主要是指物体相对于地球处于静止状态。必须指出，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。

物体在力系作用下如保持平衡，则作用于该物体上的力系称为平衡力系。

在工程实际中，作用于物体上的力系往往较为复杂。无论是研究物体的静力学问题或是动力学问题，都需要对力系进行合成，以便了解原来力系对物体作用的总效应。例如，在研究飞机的飞行规律等问题时必须先要知道飞机所受诸力的总效应；在设计水坝时也应先了解坝身所受重力和坝面所受水压力的总效应，否则便不能确定飞机飞行的规律或水坝是否安全。

根据力系合成的结果，找出力系的平衡条件后，在工程实际中才有可能使某些工程结构物（如水坝、房屋或机床床身等）所受的力系符合平衡条件以保证它们处于平衡状态。

由此可见，静力学在工程技术中有着重要的地位和作用，同时它也是动力学的基础。



# 第一章 静力学基本知识与物体的受力分析

## §1-1 力的概念

人们对客观事物的认识是在反复的社会实践中不断加深和逐步完善的。对力的认识也是如此。现在可将力叙述为：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或能引起物体的变形。

由上述力的定义可知，力不能脱离物体而出现，故力具有物质性。同时，有力就必定至少存在着两个物体。

力使物体运动状态发生变化的效应称为力的运动效应（或外效应）；而力使物体发生变形的效应则称为力的变形效应（或内效应）。理论力学只研究力的运动效应，在材料力学和结构力学里才研究力的变形效应。

实践表明，力对物体的作用效应取决于力的大小、方向和作用点这三个要素。力的三要素中的任何一个如有改变，则力对物体的作用效应也将改变。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，力的单位是牛顿（代号为牛或N）、千牛顿（千牛或kN）等。力的方向表示物体间的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。力的作用点表示物体所受机械作用的位置。一般说来，力的作用位置不是一个几何点而是有一定大小的一个范围，例如，两物体接触时其相互间的压力分布在整个接触面上、重力分布在物体的整个体积上等等（这样的力称为分布力）。但当力的作用范围相对于物体为很小，或由于其它原因以致力的作用范围可以不计时，就可将它抽象为一点，此点即为力的作用点（这样的力称为集中力）。

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它。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。本书中用黑体字如 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{W}$ 等表示矢量。图1-1就表示了物体在A点受到力 $\mathbf{F}$ 的作用。

由于力是物体相互间的机械作用，所以，当甲物体以一力作用于乙物体时，则乙物体必对甲物体有一反作用力，且作用力与反作用力等值、共线、反向，这称为作用力与反作用力定律。它指出了物体之间相互作用力的关系，同时也表明力有成对出现的性质。

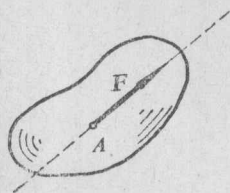


图 1-1

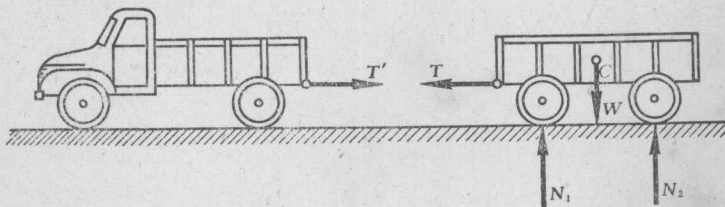


图 1-2

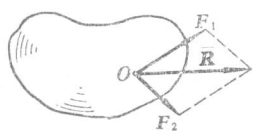
图 1-2 中所示的挂车受到汽车的拉力  $T$  的作用, 与此同时, 挂车以力  $T'$  反作用于汽车; 又挂车受到重力  $W$  的作用, 同时挂车必给地球以一反作用力(图中未画出); 此外, 挂车的前轮和后轮均对地面有压力(图中也未画出), 所以, 地面以反作用力  $N_1$  和  $N_2$  分别作用于挂车的前轮和后轮上。这里共有四对作用力与反作用力, 其中任何一对(例如  $T$  与  $T'$ ) 均等值、反向、共线且同时存在并分别作用于两个不同的物体上。

作用于物体上同一点的两个力可合成为作用于该点的一个力, 此合力的大小和方向由以原来二力为邻边所构成的平行四边形的对角线所确定, 这称为力的平行四边形法则(图 1-3a)。如以  $R$  表示合力, 以  $F_1$ 、 $F_2$  分别表示原来的两力(称为分力), 则有

$$R = F_1 + F_2$$

即合力等于两分力的矢量和。

为了简便, 在利用作图法求两共点力的合力时, 只须画出力平行四边形的二半即可。其作法是: 先从两分力的共同作用点  $O$  画出某一分力, 再自此分力的终点画出另一分力矢(力矢指仅代表力的大小和方向这两个要素的矢量), 最后由  $O$  点至第二个分力矢的终点作一矢量, 它就是合力  $R$ , 这称为力的三角形法则(图 1-3 b 或 c)。



(a)



(b)



(c)

图 1-3

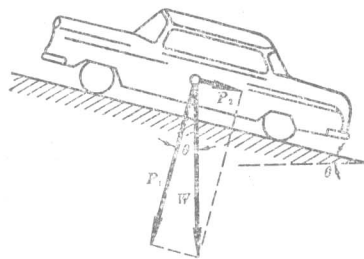


图 1-4

力的平行四边形法则是力系合成的主要依据。同时, 它也是力分解的法则。但以同一个力为对角线可作出无限多个不同的平行四边形, 故若无其它条件限制, 则将一个力分解为两共点力的解答就不是唯一的。在实际问题中, 常需将力沿某两指定的方向分解, 特别是沿两互相垂直的方向分解。例如, 在研究有关汽车上坡的力学问题时, 往往需要将其重力  $W$  分解为分别垂直于路面和平行于路面的两个分力  $P_1$  与  $P_2$ (图 1-4)。

## §1-2 静力学基本原理

在静力学中所研究的物体都是刚体。所谓刚体, 就是在力的作用下不变形的物体。实际上, 任何物体在力的作用下都将发生变形。但有许多物体(例如, 工程结构物的构件或机器的零件)受力时其变形很小, 以致在所研究的问题中忽略此变形后对研究结果的精确度并无显著影响, 而且还可使问题大为简化, 因此, 对这样的物体就应撇开其变形不管而将它们视为刚体。由此可见, 刚体是从实际物体抽象得来的一种理想的力学模型。对于刚体而言, 力就只有运动效应。

静力学中关于力系简化和平衡的理论均来源于以下两个既简单又明显易见的基本原理:

1. 二力平衡原理 刚体在两个力作用下保持平衡的必要与充分条件是:此二力等值、共线、反向。

图 1-5 所示为某刚体同时受到等值、共线、反向的两个力  $F$  和  $F'$  或  $P$  和  $P'$  的作用,显然,刚体是平衡的。

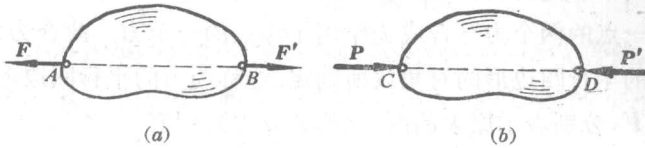


图 1-5

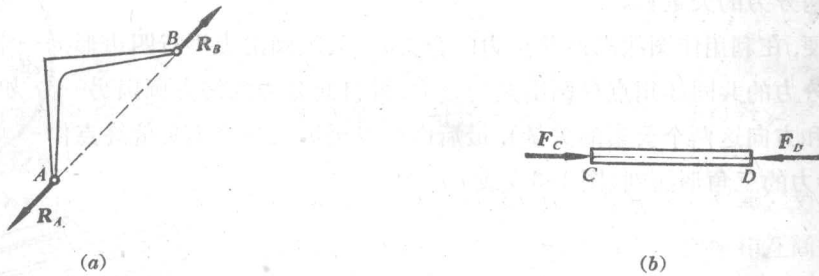


图 1-6

由本原理可知,若刚体在二力作用下平衡,则此二力作用点的连线即为二力的公共作用线(图 1-6)。

由于两物体之间的作用力与反作用力并不作用于同一物体上,所以虽然它们等值、共线、反向,但却不能互相平衡。

应该指出,上述二力平衡条件,对于变形体而言,就只是必要的而不再是充分的了。例如,若以等值、共线、反向的二力各作用于柔绳的一端,则当为拉力时柔绳平衡,但当为压力时柔绳就不会平衡。

2. 加减平衡力系原理 在作用于刚体上的任一力系中加入或减去一个平衡力系,并不改变原来力系对刚体的作用。

因平衡力系对刚体的运动效应为零,它不能改变刚体的运动状态,故本原理的正确性是极为明显的。

利用加减平衡力系原理,容易导出作用于刚体上的力可沿其作用线滑动而不改变力对刚体的作用的性质。

设力  $F$  作用于刚体上的  $A$  点(图 1-7a)。今在力  $F$  的作用线上任选一点  $B$ ,并于  $B$  点处加入互相平衡的两个力  $F_1$  与  $F_2$ ,且使

$$F_1 = -F_2 = F$$

(图 1-7b)。由加减平衡力系原理可知, $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  三个力所组成的力系与原来的力  $F$  等效。再从该力系中减去由  $F$  与  $F_2$  组成的平衡力系后所余留下的力  $F_1$ (图 1-7c)也应与原来的力  $F$  等

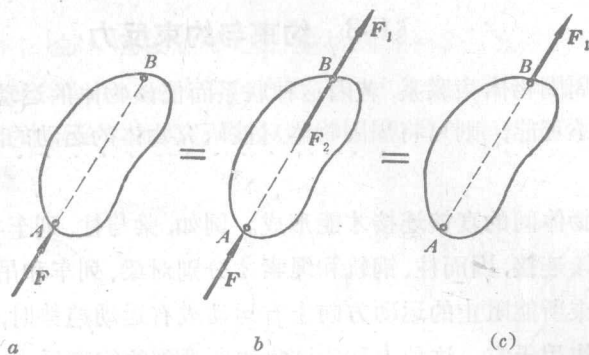


图 1-7

效。由此得出结论：可将作用于刚体上的力沿其作用线滑动到刚体上的另一点而不改变它对刚体的作用，这称为刚体上力的可传性。

力的可传性可从实践中得到证明。例如，若保持力的大小、方向和作用线均不变，则用手推车和拉车的效果完全相同。

由力的可传性得知，作用于刚体上的力的三要素应改为：力的大小、方向和作用线。因此，作用于刚体上的力是滑动矢量。

显然，力的可传性只适用于刚体而不适用于变形体。因若改变变形体所受之力的作用点，则物体上发生变形的部位也将随之而变，这就改变了力对物体的作用。

利用力的可传性与力的平行四边形法则并根据二力平衡条件，可导出作用于同一刚体上的不平行的三力平衡的必要条件。

设作用于刚体上的平衡力系由三个不平行的力  $F_1$ 、 $F_2$  与  $F_3$  组成，且其中任意二力（例如  $F_1$  与  $F_2$ ）的作用线交于一点  $O$ （图 1-8 a）。今将力  $F_1$  与  $F_2$  均沿各自的作用线滑动到  $O$  点使其成

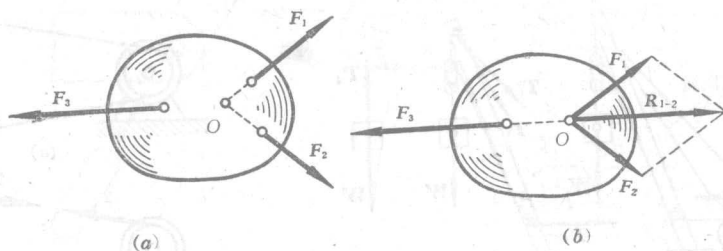


图 1-8

为两共点力并求出它们的合力  $R_{1-2}$ （图 1-8 b）。由于  $R_{1-2}$  与其两分力  $F_1$  和  $F_2$  等效，所以  $R_{1-2}$  应与  $F_3$  平衡。再由二力平衡条件可知， $F_3$  必与  $R_{1-2}$  共线，亦即  $F_3$  的作用线也必通过  $O$  点并与  $F_1$ 、 $F_2$  共面。由此可见，刚体上不平行的三力平衡的必要条件是此三力的作用线汇交于一点。

但作用线汇交于一点的三个力并不一定是平衡力系，故上述三力平衡条件不是充分条件。

当刚体在不平行的三个力作用下平衡时，若已知其中某二力作用线的交点和第三个力的作用点，则根据三力平衡必要条件知，该两点的连线即为第三个力的作用线。

## §1-3 约束与约束反力

任何物体都与周围物体相联系,若因这种联系而使该物体的运动受到限制,亦即使得它沿某些方向的运动成为不可能,则可将周围物体对被研究物体的运动的限制称为被研究物体所受到的约束<sup>①</sup>。

约束总是通过物体间的直接连接才能形成。例如,梁与柱、列车与钢轨、绳索与吊重等等都是由于它们之间直接连接,因而柱、钢轨和绳索才分别对梁、列车和吊重形成约束。

当物体沿着约束所能阻止的运动方向上有运动或有运动趋势时,对它形成约束的物体必有能阻止其运动的力作用于它,这种力称为该物体所受到的约束反力。约束反力的方向恒与约束所能阻止的运动方向相反。

主动使物体运动或使物体具有运动趋势的力称为主动力。例如,物体所受到的重力、风压力、水压力等都是主动力。显然,约束反力由主动力所引起并随主动力的改变而改变。工程结构物、构件等所承受的主动动力常称为荷载。

工程结构物、机器或它们的构、部件上一般均受到某些力的作用,为使它们的运动能符合生产上的要求,必须控制其运动。控制受力物体运动的最简便的方法是给它们以适当的约束。例如,将梁支承于柱上以使梁在高于地面的某处静止而不下落;将飞轮的轴安置于轴承中以使它只能转动等等。被研究物体与其周围物体相连接的方式(或者说,约束的类型)是多种多样的,而约束的类型不同则物体所受的约束反力也就不同。下面分析几种常见约束对物体的约束反力:

## 1. 柔体约束

绳索、链条及胶带等柔体只能阻止物体与它们的连接点沿它们的中心线而离去的运动。故柔体对物体的约束反力应沿柔体的中心线且为拉力,通常以 $T$ 表示之。在图 1-9 a 所示的起重装置中,桅杆和重物一起所受绳子的约束反力分别为 $T_1$ 、 $T_2$ 和 $T_3$ (图 1-9 b),而重物单独受绳子

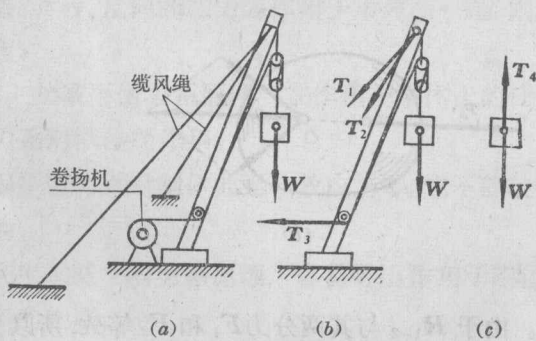


图 1-9

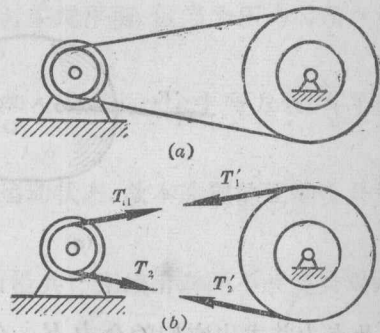


图 1-10

的约束反力则为 $T_4$ (图 1-9c)。在图 1-10 a 所示的胶带轮中,胶带对两轮的约束反力分别为 $T_1$ 、 $T_2$ 和 $T'_1$ 、 $T'_2$ (图 1-10b)。

<sup>①</sup> 也可形象化地将约束定义为:对被研究物体的运动起限制作用的其它物体。这种提法自有优点,但用于本书第十四章时就需加以引伸或修正。

## 2. 光滑面接触约束

被约束物体与其它物体接触时,若接触面光滑,则被约束物体可无阻碍地沿接触面的公切面运动,但却不能有沿通过接触点的公法线并朝向约束它的物体的运动。因此,光滑接触面对物体的约束反力应作用于接触点并沿接触面的公法线且指向被约束的物体,通常以 $N$ 表示(图1-11)。

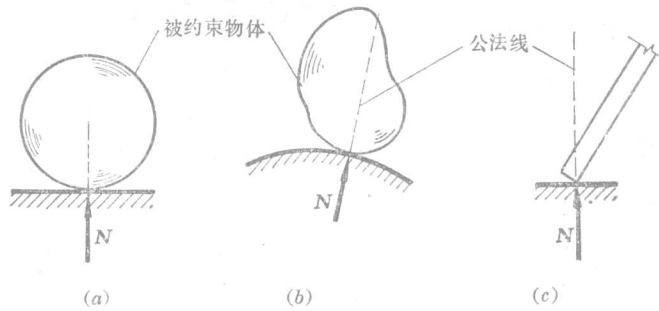


图 1-11

## 3. 光滑圆柱形铰链约束

在两个物体上分别穿直径相同的圆孔,再将一直径略小于孔径的圆柱体(称为销钉)插入该两物体的孔中便构成了圆柱形铰链(图1-12 a)。这样,物体既可沿销钉轴线方向运动又可绕销钉轴线转动,但却不能沿垂直于销钉轴线的方向脱离销钉。若不计摩擦,则物体与销钉为光滑面接触,物体所受到的约束反力应通过接触点(实为一平行于销钉轴线的直线段)和圆孔中心(图1-12b)。由于接触点在圆上的位置随物体所受的主动力而变,故约束反力 $R$ 的方向不能由圆柱形铰链的构造确定,一般将它分解为互相垂直的两个分力 $X$ 与 $Y$ (图1-12c)。

圆柱形铰链只能适用于平面机构或结构。

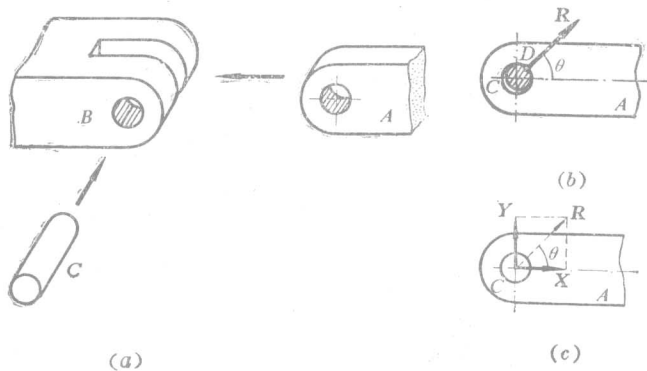


图 1-12

## 4. 链杆约束

两端各以铰链与不同的两物体分别连接且其自重不计的直杆称为链杆(图1-13 a)。链杆只能阻止被约束物体上与它连接的点沿链杆中心线运动而不能阻止物体沿垂直于链杆中心线方向的运动,故链杆对物体的约束反力沿链杆中心线且既可为拉力也可为压力(图1-13c中所示为压力)。又图1-13 b和d分别为链杆的受力和链杆的简图。



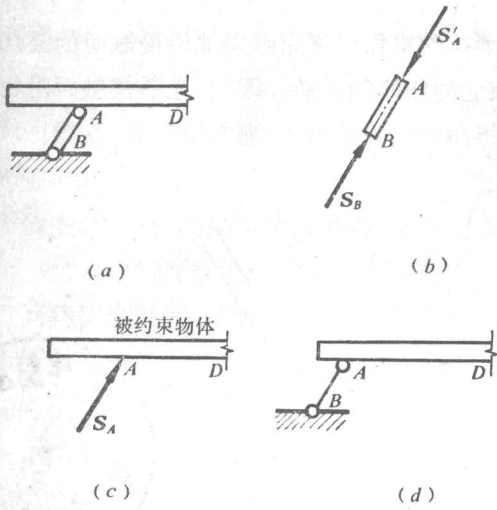


图 1-13

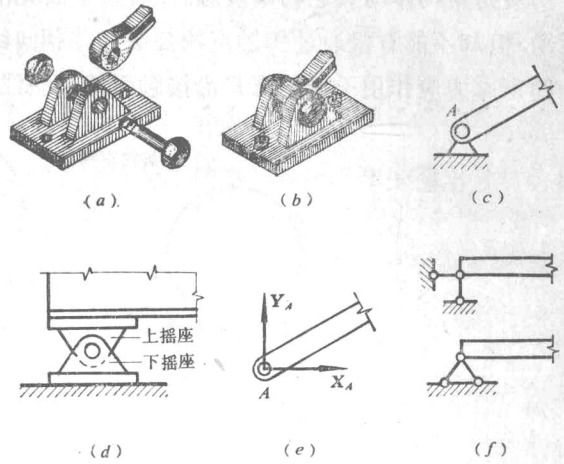


图 1-14

### 5. 固定铰支座

将结构物或构件连接在墙、柱、机器的机身等支承物上的装置称为支座。用光滑圆柱铰把结构物或构件与支座底板连接，并将底板固定在支承物上而构成的支座，称为固定铰支座。图1-14a和b是其构造示意图，图1-14c是其简图。通常为避免因在构件上穿孔而削弱构件的承载能力，可在构件上固结另一用以穿孔的物体并称之为上摇座，而将底板称为下摇座（图1-14d）。

与圆柱形铰链相比较可知，固定铰支座作用于被约束物体上的约束反力也应通过圆孔中心而方向不定，故也可以其互相垂直的两个分力表示（图1-14e）。

固定铰支座可用两根不平行的链杆来代替（图1-14f）。

### 6. 可动铰支座

若在固定铰支座的下摇座与支承物之间放入可沿支承面滚动的滚柱就构成了可动铰支座（图1-15a），图1-15b为其简图。因这种支座只能阻止物体上与销钉连接处沿垂直于支承面方

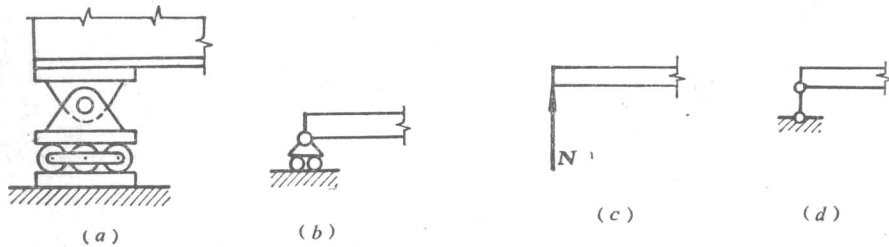


图 1-15

向的运动而不能阻止它沿支承面的运动，故可动铰支座对物体的约束反力应垂直于支承面并通过圆孔中心（图1-15c）。可动铰支座也可表为一垂直于支承面的链杆（图1-15d）。

大型屋架、桥梁等在荷载、温度等影响下发生变形时，将绕其端部略有转动且两端间的距离