

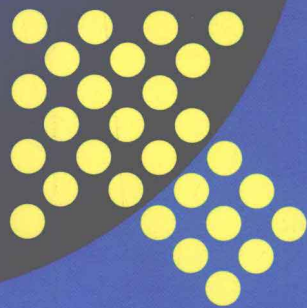
21世纪高等学校规划教材



GONGCHENG LIXUE (JINGLIXUE+CAILIAO LIXUE)

工程力学(静力学+材料力学)

张耀 王云侠 曹小平 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

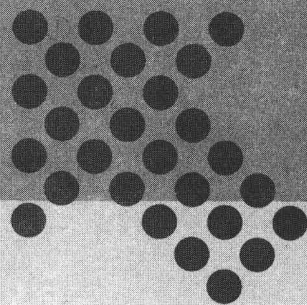
21世纪高等学校规划教材



GONGCHENG LIXUE (JINGLIXUE+CAILIAO LIXUE)

工程力学(静力学+材料力学)

张耀 王云侠 曹小平 编
邱棣华 主审



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。全书共两篇 16 章，分别阐述静力学和材料力学的基础理论和方法。第一篇静力学包括静力学基本概念和物体的受力分析，平面汇交力系与平面力偶系，平面任意力系，空间任意力系，摩擦；第二篇材料力学包括材料力学绪论，轴向拉伸和压缩，扭转，剪切和连接件的实用计算，平面图形的几何性质，弯曲内力，弯曲应力，弯曲变形，应力状态和强度理论，组合变形，压杆稳定。本书以材料力学为主，注重与工程实际相结合，深入浅出地通过大量例题阐述分析问题、解决问题的思路及方法。每章均附有习题，书末附有习题参考答案。

本书可作为普通高等院校工科类专业教材，也可作为成教的电大、函授大学、职工大学和自学考试教材，还可作为报考硕士研究生的复习参考书及教师的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学：静力学+材料力学/张耀，王云侠，曹小平编. —北京：中国电力出版社，2010.8

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 0555 - 7

I. ①工… II. ①张… ②王… ③曹… III. ①工程力学—高等学校—教材 ②静力学—高等学校—教材 ③材料力学—高等学校—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 118806 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 8 月第一版 2010 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16 印张 385 千字

定价 26.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书以新编教材。

工程力学是普通高等院校工科各专业普遍开设的一门重要技术基础课,在工程中有广泛的应用。工程力学知识的学习也是贯彻全面素质教育内涵的重要组成部分。

本书共分两篇 16 章,分别阐述静力学和材料力学的基础理论和方法。第一篇静力学包括静力学基本概念和物体的受力分析,平面汇交力系与平面力偶系,平面任意力系,空间任意力系,摩擦;第二篇材料力学包括材料力学绪论,轴向拉伸和压缩,扭转,剪切和连接件的实用计算,平面图形的几何性质,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形,应力状态和强度理论,组合变形,压杆稳定。

本书的使用对象定位于高等工科院校和要求较高的高职高专院校开设工程力学课程的学生,全书内容以材料力学为主,注重与工程实际相结合,深入浅出地通过大量例题阐述分析问题、解决问题的思路及方法。书中习题难易适中,均附有答案,既适合课堂教学又便于自学。本书可作为普通高等院校工科类各专业教材,也可作为成教的电大、函授大学、职工大学和自学考试教材,还可作为报考硕士研究生的复习参考书及教师的教学参考书。

本书由兰州交通大学张耀、王云侠、曹小平合编。具体编写分工如下:王云侠编写第 1~5 章,曹小平编写第 6~10 章及型钢表,张耀编写第 11~16 章。全书由张耀统稿。北京工业大学邱棣华审阅了全书,提出了许多宝贵意见,在此深表感谢!

本书在编写过程中,参考了大量文献资料,黄洪猛、梁嘉彬、董保群、刘汝生、张燕云、徐登云、伍亮同学参与了部分绘图工作,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免有欠缺和不足之处,恳请广大读者和专家批评指正。

编 者

2010 年 6 月

目 录

前言

第 1 篇 静 力 学

引言	1
第 1 章 静力学基本概念和物体的受力分析	2
第 1 节 静力学基本概念	2
第 2 节 静力学公理	3
第 3 节 约束和约束力	5
第 4 节 物体的受力分析和受力图	9
习题	12
第 2 章 平面汇交力系与平面力偶系	14
第 1 节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	14
第 2 节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	15
第 3 节 平面力对点之矩的概念及计算	18
第 4 节 平面力偶	19
习题	22
第 3 章 平面任意力系	25
第 1 节 力的平移定理	25
第 2 节 平面任意力系向作用面内任意一点简化	25
第 3 节 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	30
第 4 节 物体系的平衡	32
习题	36
第 4 章 空间任意力系	40
第 1 节 空间汇交力系	40
第 2 节 力对点之矩和力对轴之矩	42
第 3 节 空间力偶	45
第 4 节 空间任意力系向一点的简化	45
第 5 节 空间任意力系的平衡条件和平衡方程	46
第 6 节 重心	48
习题	53
第 5 章 摩擦	56
第 1 节 滑动摩擦	56

第2节	摩擦角和自锁现象	57
第3节	考虑摩擦时物体的平衡问题	59
	习题	62

第2篇 材料力学

引言	65
第6章 材料力学绪论	66
第1节 材料力学的任务	66
第2节 材料力学的基本假设	66
第3节 外力、内力和截面法	67
第4节 应力和应变的概念	69
第5节 杆件变形的基本形式	71
第7章 轴向拉伸和压缩	73
第1节 轴向拉伸和压缩的概念及实例	73
第2节 轴向拉(压)杆的内力	73
第3节 轴向拉(压)杆横截面上的应力	75
第4节 轴向拉(压)杆斜截面上的应力	76
第5节 低碳钢的力学性质	77
第6节 铸铁的力学性质	80
第7节 轴向拉(压)杆的强度计算	81
第8节 圣维南原理和应力集中	82
第9节 轴向拉(压)杆的变形	83
第10节 拉伸和压缩的超静定问题	86
第11节 温度应力和装配应力	88
习题	90
第8章 扭转	94
第1节 扭转的概念及外力分析	94
第2节 受扭杆件的内力	95
第3节 薄壁圆筒的扭转, 切应力互等定理, 剪切胡克定律	96
第4节 圆杆扭转时的应力和变形	98
第5节 圆杆扭转时的强度和刚度计算	103
习题	105
第9章 剪切和连接件的实用计算	107
第1节 剪切和挤压的概念及实用计算	107
第2节 铆钉连接的计算	109
习题	113
第10章 平面图形的几何性质	116
第1节 静矩和形心	116

第 2 节	惯性矩、惯性积、极惯性矩和形心主惯性矩	118
第 3 节	平行移轴公式	120
	习题	122
第 11 章	弯曲内力	124
第 1 节	工程中的弯曲问题	124
第 2 节	剪力和弯矩	125
第 3 节	剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	128
第 4 节	剪力、弯矩与载荷集度之间的微分关系	131
	习题	136
第 12 章	弯曲应力	140
第 1 节	纯弯曲时梁横截面上的正应力	140
第 2 节	横力弯曲时的正应力 正应力强度条件	143
第 3 节	梁横截面上的切应力 切应力强度条件	148
第 4 节	梁的合理强度设计	152
	习题	155
第 13 章	弯曲变形	159
第 1 节	弯曲变形的基本概念	159
第 2 节	梁弯曲变形的基本方程	160
第 3 节	计算梁变形的叠加法	164
第 4 节	简单超静定梁	167
第 5 节	刚度条件 提高弯曲刚度的措施	170
	习题	172
第 14 章	应力状态和强度理论	176
第 1 节	应力状态的概念	176
第 2 节	平面应力状态分析	178
第 3 节	平面应力状态的极值应力与主应力	182
第 4 节	三向应力状态的最大主应力	186
第 5 节	广义胡克定律	187
第 6 节	三向应力状态的应变能	189
第 7 节	强度理论及其应用	191
	习题	195
第 15 章	组合变形	200
第 1 节	组合变形与叠加原理概述	200
第 2 节	斜弯曲	201
第 3 节	拉伸(压缩)与弯曲组合变形	203
第 4 节	扭转与弯曲组合变形	205
	习题	208
第 16 章	压杆稳定	211
第 1 节	压杆稳定的概念	211

第 2 节	细长压杆的临界压力	212
第 3 节	欧拉公式的适用范围及临界应力总图	216
第 4 节	压杆的稳定实用计算	219
第 5 节	提高压杆稳定性的措施	221
	习题	223
附录	型钢表	226
	参考答案	238
	参考文献	246

第 1 篇

静 力 学

引 言

静力学研究物体在力系作用下的平衡规律。平衡是指物体相对于惯性参考系（工程中一般把惯性系固结在地面）保持静止或作匀速直线运动。如静止的桥梁、建筑物，在直线轨道上匀速行驶的火车等都处于平衡状态。

静力学讨论以下三方面的问题。

1. 物体的受力分析

分析结构或构件所受到的各个力的方向和作用线方位。

2. 力系的简化

研究如何将作用在物体上的一个复杂力系用简单力系等效替换。通过力系的简化可清楚地看出原力系对物体的作用效果。

3. 建立力系的平衡条件

建立物体在各种力系作用下的平衡条件和平衡方程。力系的平衡条件在工程中有着十分重要的意义，是设计结构、构件和机械零件的静力计算基础。

第 1 章 静力学基本概念和物体的受力分析

第 1 节 静力学基本概念

一、刚体的概念

静力学研究的主要是刚体。所谓刚体,是指在力的作用下不变形的物体,即刚体内任意两点间的距离始终保持不变。实际上,任何物体受力后总会产生一些变形。如果物体变形不大或变形对所研究的问题没有实质影响,则可将物体抽象为刚体。刚体是一种理想化的力学模型。由于静力学主要以刚体为研究对象,所以也称为刚体静力学。

但当变形在所研究的问题中成为主要因素时(例如在第二篇材料力学中),一般就不能再将物体看作刚体,而应当作变形体处理。

二、平衡的概念

平衡是指物体相对于惯性参考系保持静止或作匀速直线运动。显然,平衡是机械运动的特殊形式。在工程中,常把固结于地球上的参考系视为惯性参考系,平衡即指物体相对于地球保持静止或作匀速直线运动。

三、力的概念

力是物体间相互的机械作用。物体间的相互机械作用形式多种多样,总体来说,可以归纳为两类,一类是与物体直接接触的作用,如压力、摩擦力等;另一类是通过场的作用,如万有引力场、电场对物体作用的万有引力和电磁力等。尽管物体间相互作用的形式和物理本质不同,但这种机械作用的效应主要有两方面:一是使物体的机械运动状态发生改变,例如改变物体运动速度的大小或方向,这种效应称为力的外效应(也称为运动效应);另一方面是使物体产生变形,如使梁弯曲、使弹簧伸长,这种效应称为力的内效应(也称为变形效应)。由于本篇的研究对象主要是刚体,所以重点研究力的外效应。

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。力的大小表示物体间机械作用的强弱程度;在国际单位制中,力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。力的方向表示物体间的机械作用具有方向性;方向通常包括方位和指向两个含义。例如:重力的方向是“铅垂向下”,“铅垂”是力的方位,“向下”是力的指向。力所在的这条直线称为力的作用线。力的作用点是物体间相互作用位置的抽象化。实际上物体之间相互作用的位置不是一个点,而是一定的面积或体积。当力的作用区域和物体尺寸相比很小时,就可将作用区域抽象为一个点,即力的作用点。作用于一点的力称为集中力。当作用面积或体积较大时,则形成面分布力(如风压力、水压力等)或体分布力(如重力)。单位尺寸的分布力的大小称为载荷集度,用 q 表示。

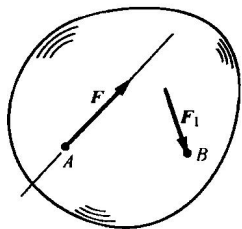


图 1-1

力的三要素表明力是一个具有固定作用点的定位矢量。力可以用一个带箭头的有向线段来表示。线段的长短表示力的大小,线段的方位和箭头指向表示力的方向,线段的起点或终点表示力的作用点,如图 1-1 所示。本篇中,用黑体字母表示矢量,如图 1-1 中的

F ; 而用相应的普通字母 F 表示矢量的模。需要注意的是仅从符号 F 并不能确定力的作用点, 这种只表示力的大小和方向, 并可以从任一点画出的矢量称为该力的力矢。这类矢量称为自由矢量。

四、力系的概念

作用在物体上的一群力称为力系。使物体处于平衡状态的力系称为平衡力系。两个不同的力系, 如果对同一物体产生相同的效应, 则这两个力系互为等效力系。用一个简单力系等效替换一个复杂力系, 称为力系的简化。若一个力和一个力系等效, 则称这个力是这个力系的合力, 而该力系中的各个力称为这个力的分力。

按照力系中各力作用线在空间的分布情况, 可以将力系进行分类。如果各力作用线在同一个平面内, 该力系称为平面力系, 否则, 称为空间力系。如果各力作用线汇交于一点, 则称为汇交力系。各力作用线相互平行的称为平行力系。各力作用线任意分布的称为任意力系。显然, 各力作用线在同一个平面内且汇交于一点的力系称为平面汇交力系。依此类推还有平面平行力系、平面任意力系和空间的各类力系等。我们将根据由简单到复杂的顺序来研究各种力系的简化和平衡问题。

第2节 静力学公理

静力学公理是人们在长期生活和生产实践中总结出的最基本的力学规律。这些规律的正确性已被实践反复证明, 是符合客观实际的。静力学公理是研究力系简化和平衡的重要依据。

公理一 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力, 可以合成为作用在该点的一个合力。合力的大小和方向, 由以这两个分力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。即合力矢等于这两个分力矢的矢量和。如图 1-2 (a) 所示。其矢量表达式为

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

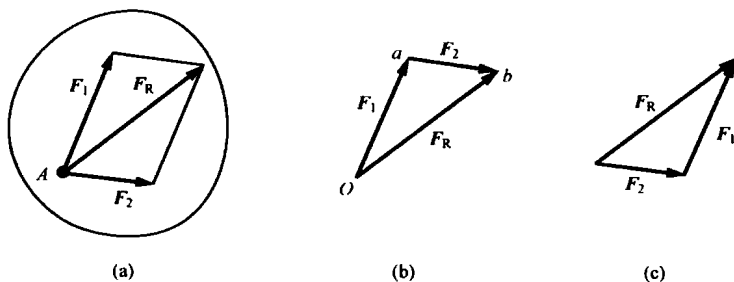


图 1-2

在求两共点力的合力时, 为了作图方便, 只需画出平行四边形的一半, 即三角形便可。其方法是自任意点 O 先画出一力矢 F_1 , 然后再由 F_1 的终点 a 画另一力矢 F_2 , 最后由第一个力矢的起点 O 至第二个力矢的终点 b 作一矢量, 它就代表了合力 F_R 的大小和方向, 如图 1-2 (b) 所示。合力的作用点仍在 F_1 、 F_2 的作用点 A 点。这种作图法称为力的三角形法则。 Oab 称为力三角形。显然, 若改变分力 F_1 、 F_2 的顺序, 其结果不变, 如图 1-2 (c) 所示。

利用力的平行四边形法则，也可以将作用在物体上的一个力分解为相交的两个分力，分力和合力作用于同一点。工程中常把一个力分解为方向已知且相互垂直的两个（平面）或三个（空间）分力。这种分解称为正交分解，所得的分力称为正交分力。如图 1-3 所示。

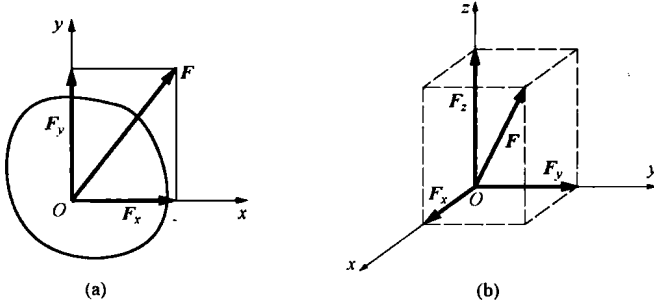


图 1-3

这个公理是复杂力系简化的基础，是力的合成法则，也是力的分解法则。

公理二 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要和充分条件是：两个力大小相等，方向相反，作用在同一条直线上。

公理二表明了作用在刚体上最简单力系平衡时所应满足的条件。

对于变形体而言，这个条件是必要的，但不充分。如柔索受两个等值、反向、共线的压力作用就不能平衡。

公理三 加减平衡力系原理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

平衡力系不能改变刚体的运动状态，即平衡力系对刚体作用的总效应等于零。

公理三是研究力系等效的重要依据。

根据加减平衡力系原理和二力平衡条件，可得下列推论：

推论一 力的可传性原理

作用在刚体上某点的力，可沿其作用线移到刚体内任意一点，并不改变该力对刚体的作用。

证明：设力 F 作用在刚体上的 A 点，如图 1-4 (a) 所示。根据加减平衡力系原理，在力作用线上任取一点 B ，并加上一对平衡力 F' 和 F'' ，使 $F = F' = -F''$ ，如图 1-4 (b) 所示。由于 F 和 F'' 也是一个平衡力系，故可减去。于是，只剩下 F' 与原力等效，如图 1-4 (c) 所示。即原来的力 F 沿其作用线移到了点 B 。

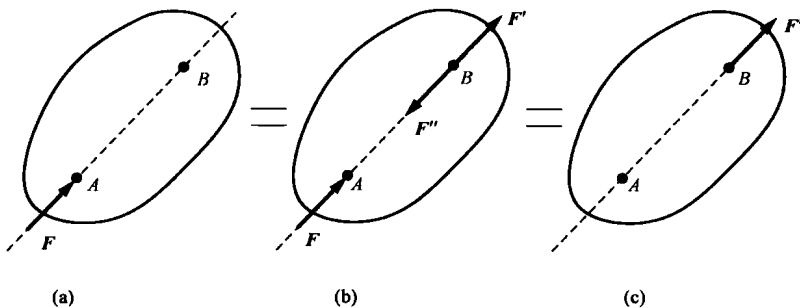


图 1-4

因此，对刚体来说，力的作用点不是决定力的作用效应的要素，而被作用线代替，即作用在刚体上的力的三要素为大小、方向、作用线。作用在刚体上的力可沿其作用线滑移的性

质称为力的可传性。这种矢量称为滑动矢量。

例如：图 1-5 所示小车，将小车视为刚体，在 A 点用力 F 推小车，和用同样的力 F 在 B 点拉小车，其作用效果完全相同。

应该指出，力的可传性只适用于刚体，对变形体不适用。即在研究力对物体的变形效应时，力是不能沿作用线滑移的。例如，对图 1-6 所

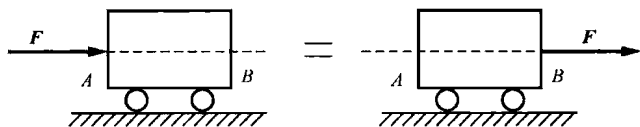


图 1-5

示可变形直杆 AB，若沿杆的轴线在两端施加大小相等、方向相反的一对力 F_1 和 F_2 时，杆将伸长，如图 1-6 (a) 虚线所示。若将力 F_1 沿其作用线移至 B 点，将力 F_2 沿其作用线移至 A 点，杆将缩短，如图 1-6 (b) 虚线所示。

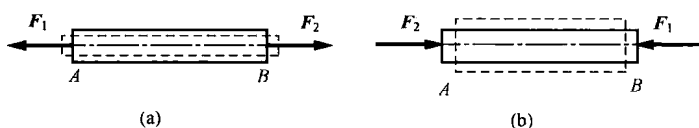


图 1-6

推论二 三力平衡汇交定理

作用在刚体上的三个相互平衡的力，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 1-7 所示，设在刚体上 A、B、C 三点处分别作用三个相互平衡且不平行的力 F_1 、 F_2 、 F_3 。根据力的可传性，将力 F_1 和 F_2 沿其作用线移至汇交点 O，由力的平行四边形法则求得合力 F_{12} ，则力 F_3 应与 F_{12} 平衡。根据二力平衡公理可知， F_3 必与 F_{12} 共线。这就证明了 F_1 、 F_2 、 F_3 三力必共面且汇交于一点 O，于是定理得证。

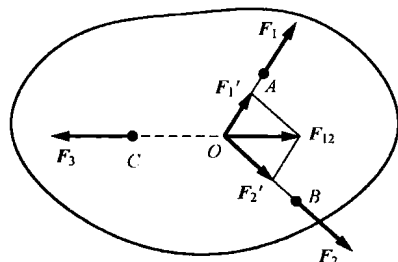


图 1-7

该定理常用来确定刚体在不平行的三个力作用下平衡时，其中某个未知力的作用线的方位。

公理四 作用与反作用定律

作用力和反作用力总是同时存在，两者大小相等、方向相反、沿着同一直线，并分别作用在两个相互作用的物体上。若用 F 表示作用力，又用 F' 表示反作用力，则

$$F = -F'$$

应注意，不要把这一定律与二力平衡公理相混淆。作用与反作用定律中的两个力分别作用在两个物体上，而二力平衡公理中的两个力则作用在同一刚体上。

第3节 约束和约束力

在空间可以自由运动，位移不受任何限制的物体称为自由体，例如空中飞行的飞机、炮弹等。工程中的大多数物体，其某些方向的位移往往受到限制，这样的物体称为非自由体。例如，轨道上行驶火车、安装在轴承中的轴等，都是非自由体。对非自由体某

些方向的位移起限制作用的周围物体称为约束。如轨道是火车的约束，轴承是轴的约束等。约束对非自由体的这种限制作用其实就是一种力，我们称其为约束力。约束力的方向总是与约束所能阻碍的非自由体的位移方向相反，它的作用点在约束与被约束物体的接触点或连接点。约束力的大小通常未知。作用于非自由体上的约束力以外的力统称为主动力，例如重力、风力等。在静力学中，约束力和主动力组成平衡力系，因此可利用平衡条件来确定约束力的大小。

下面介绍几种工程中常见的约束类型和确定约束力方向的方法。

一、光滑接触面约束

若两物体间的接触面是光滑的，则无论接触面的形状如何，都不能限制物体沿接触面切线方向的运动，只能限制物体沿接触面公法线并指向约束内部的运动。因此光滑接触面给物体的约束力作用在接触点（面），方向沿接触面的公法线指向被约束物体。这种约束力称为法向约束力，通常用 F_N 表示，如图 1-8 中的 F_N 和图 1-9 中的 F_{NA} 、 F_{NB} 、 F_{NC} 。

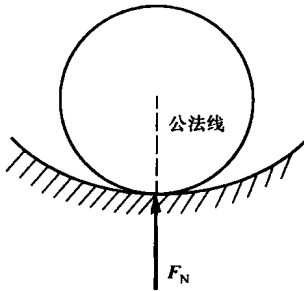


图 1-8

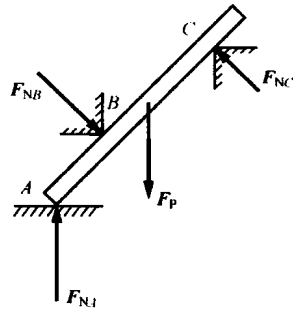


图 1-9

二、柔索约束

由绳索、链条、皮带、钢丝绳等所构成的约束统称为柔索约束。柔索的特点是柔软易变形，不能抵抗弯曲和压力，只能承受拉力。所以它给物体的约束力也只能是拉力。因此，柔索对物体的约束力作用在接触点，方向沿柔索背离被约束物体（为拉力）。通常用 F_T 表示，如图 1-10 中的 F_T 。

链条或胶带也都只能承受拉力。当它们绕在轮子上时，对轮子的约束力用其张力来表示，沿轮缘的切线方向。如图 1-11 所示。

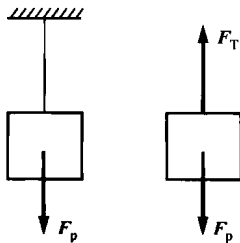


图 1-10

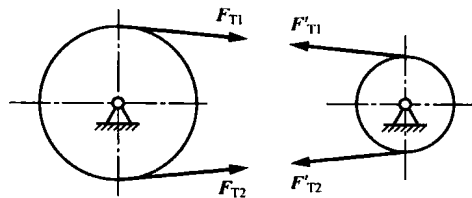


图 1-11

三、光滑圆柱铰链约束

工程上为了连接两个构件，常在两个构件的连接处钻上同样大小的孔，再用圆柱形销钉

将这两个构件连接起来,如图 1-12 (a) 所示,这种约束称为**圆柱形铰链约束**。其简化画法如图 1-12 (b) 所示。构件可以绕销钉的轴线转动,销钉对构件的约束作用,是阻止构件在垂直于销钉轴线平面内沿任意方向的移动。由于铰链的圆柱销钉与构件的圆孔之间为光滑面接触,所以当一物体相对于另一物体有运动趋势时,销钉与孔壁便在某点接触,销钉给构件的约束力应通过圆孔中心和接触点,即沿接触面的公法线方向,如图 1-12 (c) 所示。由于接触点的位置与主动力有关,一般未知,故约束力的方向不能预先确定。因此常用通过铰链中心的两个正交分力来表示,如图 1-12 (d) 所示。

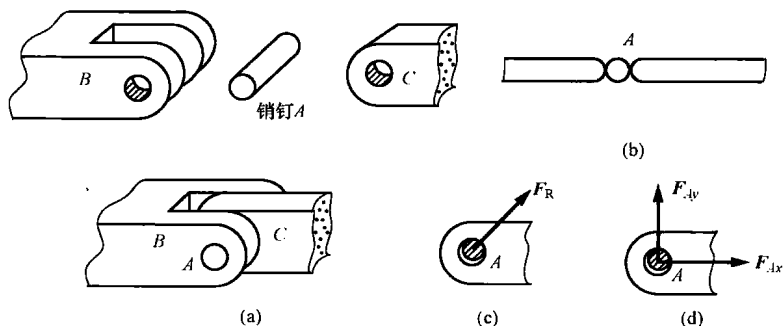


图 1-12

四、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**。将支座用螺栓与基础或静止的结构物固定在一起,再将构件用销钉与支座连接,就构成了**固定铰支座**,如图 1-13 (a) 所示。其简化画法如图 1-13 (b) 所示。与圆柱铰链类似,固定铰支座对构件的约束力也应通过铰链中心而方向不定,因此常用两个正交分力来表示,如图 1-13 (c) 所示。

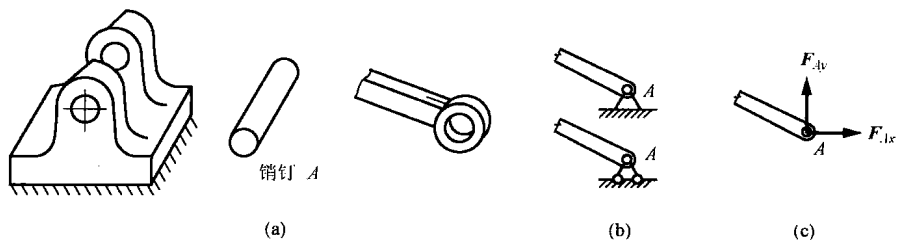


图 1-13

五、滚动支座

在固定铰支座与光滑支承面之间安装几个辊轴,就构成了**滚动支座**,又称为**辊轴支座**,如图 1-14 (a) 所示。其力学简图如图 1-14 (b) 所示。这种支座的约束特点是只能限制物体沿垂直于支承面方向(指向或背离支承

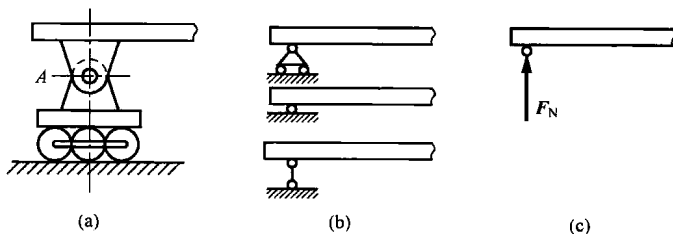


图 1-14

面)的移动,而不能限制物体绕销钉的转动和沿支承面移动。因此,滚动支座的约束力垂直于支承面,并通过铰链中心,常用符号 F_N 表示,如图 1-14 (c) 所示。在桥梁、屋架等结构中经常采用滚动支座约束,当温度变化时,约束允许结构跨度自由伸长或缩短。

六、轴承

1. 向心轴承(径向轴承)

向心轴承对轴的约束特点与固定铰支座对物体的约束特点相似,如图 1-15 (a) 所示。故向心轴承对轴的约束力应在与轴垂直的平面上,约束力合力的作用线不能预先确定,但约束力必垂直轴线并通过轴心。通常用通过轴心的两个正交分力来表示。其力学简图及受力如图 1-15 (b)、(c) 所示,向心轴承又称为径向轴承。

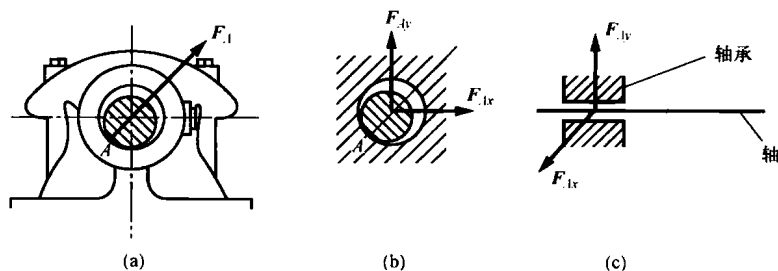


图 1-15

2. 止推轴承

止推轴承可视为由一光滑面将向心轴承圆孔的一端封闭而成,如图 1-16 (a) 所示。其力学简图如图 1-16 (b) 所示。这种约束的特点是能同时限制转轴的径向和轴向(止推方向)的移动,所以止推轴承的约束力常用垂直于轴向和沿轴向的三个正交分力表示,如图 1-16 (c) 所示。

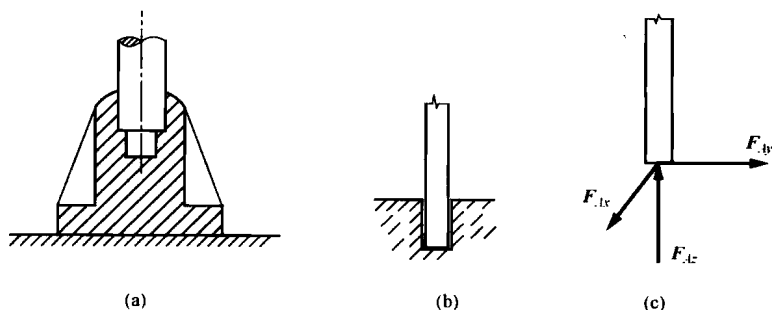


图 1-16

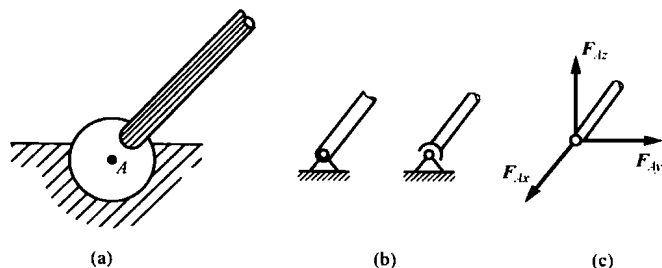


图 1-17

七、光滑球铰链

将固定于物体一端的球体置于固定球窝形支座中,就形成了球铰支座,简称球铰链,如图 1-17 (a) 所示,其简化画法如图 1-17 (b) 所示。这类约束限制构件的球心不能有任何移动,但可以绕球心

转动。若忽略摩擦，其约束力必过球心，但方向未定；通常用过球心的三个正交分力来表示，如图 1-17 (c) 所示。

第 4 节 物体的受力分析和受力图

求解力学问题时，需要选择某个或某些物体为研究对象，分析其运动或平衡，求得所需的未知量。为此，首先要分析研究对象受了几个力的作用，每个力的作用位置和方向，哪些力是已知的，哪些是未知的，这一分析过程称为物体的受力分析。为明确表示物体的受力情况，需将研究对象（称为受力体）从与其有联系的周围物体（称为施力体）中分离出来，解除全部约束，单独画出简图，这一步骤称为解除约束，取分离体。然后画出分离体所受的全部主动力和周围物体对其的约束力，这种表示分离体受力情况的力学简图称为受力图。对物体进行受力分析，画出其受力图，是解决静力学问题的关键，必须反复练习，熟练掌握。

【例 1-1】 重量为 F_p 的梯子 AB，搁在光滑的水平地面和铅直墙上。在 D 点用水平绳索与墙相连，如图 1-18 (a) 所示。试画出梯子的受力图。

解 (1) 将梯子 AB 从周围物体中分离出来，画出其简图。

(2) 先画主动力，即梯子的重力 F_p ，作用于梯子的重心 C，方向铅直向下。

(3) 再画地面和墙对梯子的约束力。根据光滑接触面约束的特点，A、B 处的约束力分别与地面和墙面垂直并指向梯子；绳索的约束力应沿着绳索的方向，背离梯子为拉力。图 1-18 (b) 所示即为梯子的受力图。

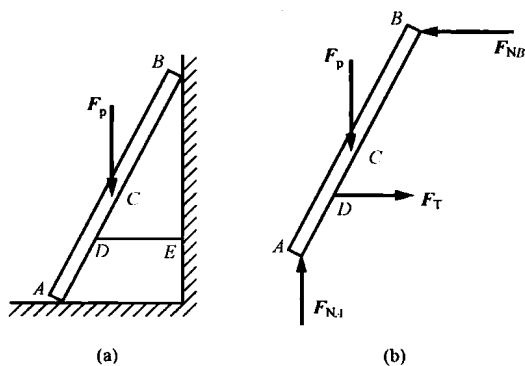


图 1-18

【例 1-2】 画出图 1-19 (a) 所示外伸梁 AB 的受力图。

解 (1) 解除外伸梁 AB 的约束，画出其简图。

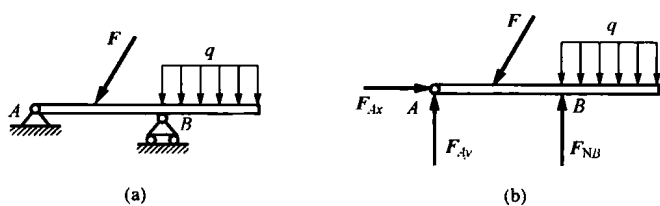


图 1-19

(2) 画主动力，包括集中力 F 和均布力 q 。 q 称为荷载集度，表示单位尺寸上的力的大小。

(3) 画约束力。因 A 处为固定铰支座，其约束力可用两个大小未知的正交分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示，指向为假设。B 处为滚动支座，约束力垂直于支承面，用 F_{NB} 表示。梁 AB 的受力图如图 1-19 (b) 所示。

【例 1-3】 如图 1-20 (a) 所示水平梁 AB 用斜杆 CD 支撑，A、C、D 三处均为铰链连接，均质梁重 F_p ，其上放置一重为 W 的电动机。如不计杆 CD 的自重，试分别画出杆 CD 和梁 AB（包括电动机）的受力图。

解 (1) 先分析斜杆 CD 的受力。由于斜杆的自重不计，根据光滑铰链的特性，C、D 处的约束力分别通过铰链的中心 C、D，方向暂不确定。考虑到杆 CD 只在 F_C 、 F_D 二力作