



高职高专“十二五”规划教材

工程力学

Engineering Mechanics

第2版

邱家骏 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电子课件

高职高专“十二五”规划教材

工 程 力 学

第 2 版

主 编 邱家骏

参 编 谢 平 徐耀诚 赵德平 于连奎



机 械 工 业 出 版 社

本书内容涉及静力学、材料力学、运动学及动力学的相关内容，共14章。主要内容包括静力学基础，平面汇交力学，平面任意力系，拉伸和压缩，扭转，弯曲，应力状态分析和强度理论，组合变形，压杆稳定，点的运动及点的合成运动，刚体的基本运动和平面运动，动力学基本方程，动能定理，动静法以及附录，并附习题参考答案。

本书可作为高职高专、职工大学相关专业“工程力学”课程的教材，也可作为工程技术人员的参考用书。

本书配有电子课件，供选用本书的教师免费下载。下载网址：www.cmpedu.com，咨询电话：010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/邱家骏主编. —2版. —北京：机械工业出版社，2012.7

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-38736-7

I. ①工… II. ①邱… III. ①工程力学—高等职业教育—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第123450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：李大国 责任编辑：李大国

责任校对：陈延翔 封面设计：赵颖喆

责任印制：乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2012年8月第2版第1次印刷

184mm×260mm · 16.5印张·406千字

0001—3000册

标准书号：ISBN 978-7-111-38736-7

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

网络服务

社服务中心：(010)88361066

销售一部：(010)68326294

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649

教材网：<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线：(010)88379203

封面防伪标均为盗版

第2版前言

本书第1版自1994年出版以来已多次印刷，受到许多学校的欢迎，纷纷选用，在此表示感谢！

职工高等教育及高等职业技术教育的迅速发展，对教材提出更高的要求，教材修订势在必行。此次再版借鉴了国内外工程力学精品教材的先进经验，对教材内容进行了部分改动，力求精练、实用，并保持了原有特点：强调综合分析，注重结合工程实际等。

主编邱家骏教授具有深厚扎实的理论基础和多年的教学实践，至今仍在教学一线从事“工程力学”课的教学工作，对我国成人高等教育力学知识的普及做出了较大贡献。

此次修订还得到东北大学程立智教授的支持和帮助，在此一并表示感谢！

鉴于工作变动等原因，未能与原参编人员全部取得联系，在此对原参编人员的工作表示感谢，并希望今后能加强联系。

书中不足之处，欢迎批评指正。

编者

目 录

第2版前言

绪论	1
第一章 静力学基础	3
第一节 静力学的基本概念	3
第二节 静力学公理	4
第三节 约束与约束力	6
第四节 物体的受力分析与受力图	9
习题一	12
第二章 平面汇交力系	14
第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	14
第二节 力的分解和力的投影	17
第三节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	18
习题二	21
第三章 平面任意力系	24
第一节 力对点之矩	24
第二节 平面力偶系	26
第三节 力线平移定理	29
第四节 平面任意力系的简化	30
第五节 平面任意力系的平衡方程及应用	32
第六节 静定与静不定问题的概念	35
第七节 物体系统的平衡问题	35
第八节 考虑摩擦时物体的平衡问题	38
习题三	44
第四章 拉伸和压缩	47
第一节 概述	47
第二节 轴向拉伸(压缩)杆件横截面上的内力——轴力、轴力图	48
第三节 拉(压)杆的应力	50
第四节 拉(压)杆的变形、胡克定律	54
第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	56
第六节 拉(压)杆的强度条件及其应用	59
第七节 应力集中的概念	63
第八节 简单拉压静不定问题	64
第九节 剪切和挤压的实用计算	69
习题四	74

第五章 扭转	78
第一节 扭转的概念	78
第二节 外力偶矩、扭矩和扭矩图	78
第三节 圆轴扭转时横截面上的应力和强度条件	81
第四节 圆轴扭转时的变形和刚度条件	85
习题五	87
第六章 弯曲	89
第一节 平面弯曲的概念、梁的计算简图	89
第二节 梁的内力——剪力、弯矩	91
第三节 剪力方程与弯矩方程 剪力图与弯矩图	92
第四节 剪力、弯矩、载荷集度间的微分关系	99
第五节 纯弯曲正应力	103
第六节 常见截面惯性矩的计算	107
第七节 弯曲切应力	109
第八节 强度条件及其应用	111
第九节 弯曲变形的概念	114
第十节 梁的变形计算	115
第十一节 弯曲刚度条件及其应用	120
第十二节 梁的合理设计	122
习题六	125
第七章 应力状态分析和强度理论	129
第一节 应力状态的概念	129
第二节 二向应力状态分析	131
第三节 三向应力状态的最大应力	135
第四节 广义胡克定律	136
第五节 强度理论	138
习题七	144
第八章 组合变形	147
第一节 组合变形的概念	147
第二节 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	148
第三节 弯曲与扭转的组合变形	152
习题八	155
第九章 压杆稳定	157
第一节 压杆稳定与临界载荷	157
第二节 欧拉公式的适用范围、经验公式	162
第三节 压杆稳定校核	165
习题九	168
第十章 点的运动及点的合成运动	170
第一节 概述	170

第二节	描述点的运动的方法、运动方程	170
第三节	点的速度和加速度	172
第四节	点的合成运动的基本概念	173
第五节	点的速度合成定理	174
第六节	牵连运动为平动时点的加速度合成定理	178
习题十		182
第十一章	刚体的基本运动和平面运动	184
第一节	刚体的平行移动	184
第二节	刚体绕定轴转动	185
第三节	定轴转动刚体上各点的速度和加速度	186
第四节	刚体的平面运动	188
第五节	用基点法确定平面图形内各点的速度 速度投影定理	189
第六节	用速度瞬心法确定平面图形内各点的速度	194
第七节	用基点法确定平面图形内各点的加速度	198
习题十一		202
第十二章	动力学基本方程	206
第一节	概述	206
第二节	动力学基本方程	207
第三节	质点运动微分方程	207
第四节	刚体绕定轴转动的微分方程、转动惯量	210
习题十二		218
第十三章	动能定理	220
第一节	力的功	220
第二节	动能及其表达式	224
第三节	质点的动能定理	226
第四节	质点系的动能定理	227
习题十三		230
第十四章	动静法	232
第一节	惯性力的概念、动静法	232
第二节	刚体惯性力系的简化	235
第三节	定轴转动刚体对轴承的动反力、静平衡与动平衡的概念	240
习题十四		241
附录	型钢表	244
习题参考答案		252
参考文献		256

绪 论

工程力学是一门与工程技术联系极为广泛的技术基础学科，它是工程技术的重要理论基础之一。

在工程中常遇到下述问题：生产车间中的吊车系统(图1)，从大梁到减速箱、传动轴、联轴器的设计中，首先遇到的问题就是在确定的起吊重量下，它们将受到什么样的力；其次，在不同力的作用下，这些零件或部件将会发生怎样的变形，这些变形对于吊车的正常工作会产生什么影响等。此外，在突然起吊重物，或在重物起吊过程中突然制动时重物将产生怎样的运动，以及这种运动对吊车系统的零件或部件将产生什么影响。再如图2所示，机械加工中的摇臂钻床在钻孔时将受到力的作用，摇臂、主柱以及底座都要发生不同程度的变形。为了保证孔的加工精度，必须尽量减小这种变形。那么，怎样设计摇臂钻床主柱才能减小这种变形呢？上述两例中的问题，不单纯属于“工程力学”的问题，而是与不同的工程设计都相关的问题，但是“工程力学”可以为分析和解决这些工程问题打下必要的基础。

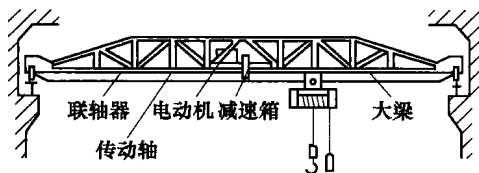


图 1

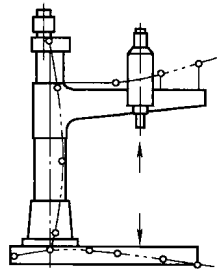


图 2

工程力学既研究物体机械运动的一般规律，又研究物体的强度、刚度和稳定性等内容。工程力学的研究对象往往相当复杂，在实际力学问题中，需要抓住一些带有本质性的主要因素，略去次要因素，从而抽象成力学模型并将其作为研究对象。当物体的运动范围比它本身的尺寸大得多时，可把该物体当做只有一定质量而其形状和大小均可忽略不计的一个质点。物体在力的作用下发生变形，如果这种变形在所研究的问题中可以不考虑或暂时不考虑，则可把它当做不变形的物体——刚体。质点和刚体是两种最基本的力学模型。当变形不能忽略时，就要将物体作为变形体来处理。一般来说，任何物体都可以看做由许多质点组成的，这种质点的集合称为质点系。因此，工程力学的主要研究对象为质点、刚体、质点系和变形体。

本书主要的研究内容有：第一章至第三章研究刚体的平衡规律。着重讨论静力分析、平衡条件及其在工程上的应用。第四章至第九章研究变形固体在保证正常工作条件下的强度、刚度和稳定性。变形固体承受载荷时应具有足够的抵抗破坏能力，即具有足够的强度；变形固体承受载荷时应具有足够的抵抗变形能力即具有足够的刚度；变形固体承受载荷后应能保持原有的平衡形态，即具有足够的稳定性。强度、刚度和稳定性是保证变形固体正常工作的

三个基本要求。第十章至第十一章从几何观点研究物体(点、刚体)的运动规律。第十二章至十四章研究物体机械运动的一般规律。从牛顿定律出发,应用动能定理和动静法进行工程中的动态分析。

前面已指出,由于分析不同问题时所用的模型不同,所以分析方法也不同。例如,分析物体的受力以及物体的受力与运动关系采用“平衡方法”或“假想平衡方法”;分析强度、刚度或稳定时,除了应用“平衡方法”外还要应用“变形分析方法”。

工程实际中的许多问题,常常需要运用工程力学的知识去解决,因此,工程技术人员需要掌握一定的工程力学的知识。在学习要中要准确理解基本概念,熟悉基本定理与公式,正确应用概念与理论求解力学问题,以便为解决工程实际问题,为学习不断出现的新理论、新技术及从事科学研究工作打下良好的基础。

第一章 静力学基础

本章首先介绍静力学的一些基本概念和基本公理，然后介绍工程中常见的几种典型约束及其约束力，最后介绍物体的受力分析和受力图的画法。

第一节 静力学的基本概念

静力学主要研究物体在力系作用下的平衡条件。本节先介绍几个在静力学中经常用到的基本概念。

一、刚体的概念

静力学研究的物体主要是刚体。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保持不变。

事实上，任何物体在力的作用下总要产生一定程度的变形。但在一般情况下，工程上的结构构件和机械零件的变形都是很微小的，这种微小的变形对结构构件和机械零件的受力平衡没有实质性影响。这样，就可以忽略这种微小变形而将结构构件和机械零件抽象为刚体。这种抽象会使所研究的问题大大简化。所以，刚体是在静力学中对物体进行抽象简化后得到的一种理想化的力学模型。在不加说明时，静力学中所指的物体都是指刚体。

当变形这一因素在所研究的问题中不容忽略时，便不能再把物体视为刚体。

二、平衡的概念

所谓平衡，是指物体相对周围物体保持静止或做匀速直线运动。在工程问题中，平衡通常是指物体相对地球静止或做匀速直线运动。平衡是物体机械运动的一种特殊状态。

三、力的概念

力是物体间的相互机械作用。它具有两种效应：一是使物体的运动状态发生改变，例如地球对月球的引力不断地改变月球的运动方向而使之绕地球运转；二是使物体产生变形，例如作用在弹簧上的拉力使弹簧伸长。前者称为力的外效应，后者称为力的内效应。

实践证明，力对物体的作用效应取决于力的三个要素：力的大小、方向和作用点。在国际单位制中力的单位是牛[顿](N)。

力是矢量，可以用一个带箭头的线段来表示力的三个要素，如图 1-1 所示。线段的起点(或终点)表示力的作用点，线段的方位和箭头指向表示力的方向，线段的长度按一定的比例尺表示力的大小。本书中，用黑体字母表示力的矢量，如图 1-1 中的力 $\boldsymbol{F}$ ，而用普通字母 F 表示力 $\boldsymbol{F}$ 的大小。

需要指出的是，力的作用点是力的作用位置的抽象化。实际上力的作用位置一般来说并不是一个点，而是分布地作用于物体的一定面积上。当作用面积很小时，可将其抽象为一个点，称为力的作用点。将作用于物体某个点上的力称为集中力。通过力的作用点代表力的方位的直线称为力

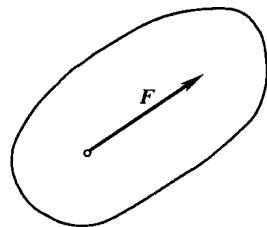


图 1-1

的作用线。如果力的作用面积较大,不能抽象为点,则将作用于这个面积上的力称为分布力。分布力的作用强度用单位面积上力的大小来度量,称为载荷集度,用 $q(\text{N}/\text{cm}^2)$ 来表示。

四、力系的概念

作用在物体上的一群力称为力系。如果一个力系对物体的作用是使物体处于平衡状态,则此力系称为平衡力系。一个力系只有在满足一定条件的情况下才能成为平衡力系,此条件称为力系的平衡条件。若两个力系分别作用于一个物体上的作用效应相同,就说这两个力系是等效力系。如果一个力和一个力系等效,则称这个力是力系的合力,而将力系中的各个力称作合力的分力。

有时,作用于物体上的力系十分复杂。为便于分析讨论,需将复杂力系用一个等效的简单力系或是一个等效的力来代替。求与复杂力系等效的简单力系(或力)的过程称为力系的简化。力系的简化是静力学中理论推导的主要方法。

按力系中各力作用线的分布情况,可将力系进行分类。各力作用线共面的力系为平面力系,否则为空间力系。各力作用线汇交于一点的,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,称为任意力系或一般力系。

第二节 静力学公理

静力学公理是对力的基本性质的概括和总结,是静力学全部理论的基础。

公理一 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力,使刚体处于平衡状态的必要与充分条件是:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一直线上(图 1-2)。即

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

需要强调的是,本公理只适用于刚体。对于刚体,等值、反向、共线作为二力平衡条件是必要的,也是充分的;但对于变形体,这个条件是不充分的。例如,软绳受两个等值、反向的拉力作用时可以平衡,而受两个等值、反向压力作用时就不能平衡。

工程上常遇到只受两个力作用而平衡的构件,这种构件称为二力构件或二力杆。二力杆所受的两个力必然沿着两作用点的连线。据此可以很方便地判定结构中某些直杆或弯杆的受力方向。如图 1-3 所示三铰拱,其中 BC 杆在不计自重时,就可看做二力杆。

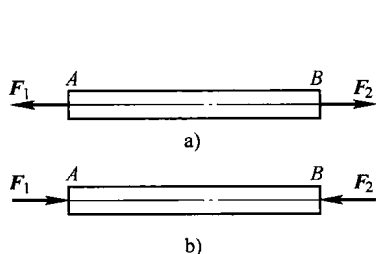


图 1-2

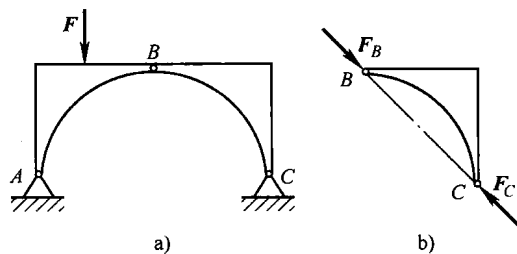


图 1-3

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的力系上,加上或减去一个任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效应。

推论 I 力的可传性原理

作用于刚体上的力，可沿其作用线任意移动而不改变其对刚体的作用效应。

证明：设有力 F 作用于刚体上的 A 点，如图 1-4a 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 ，使 $F = F_2 = -F_1$ ，如图 1-4b 所示。由于 F 与 F_1 也是平衡力系，可以去掉，这样就只剩 F_2 ，如图 1-4c 所示。于是 F_2 与 F 等效，而 F_2 就是原来的力 F ，只是作用点已从 A 点移到 B 点。于是，力的可传性原理得证。

由此可见，对于刚体来说，力的三个要素是：力的大小、方向和作用线。

必须注意，力的可传性原理只适用于刚体；而且力只能在刚体自身上沿其作用线移动，不能移到其他刚体上去。

公理三 力的平行四边形法则

作用于物体同一点上的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点仍在该点，合力的大小和方向可以用这两个力矢为边所作的平行四边形的对角线来表示(图 1-5a)。

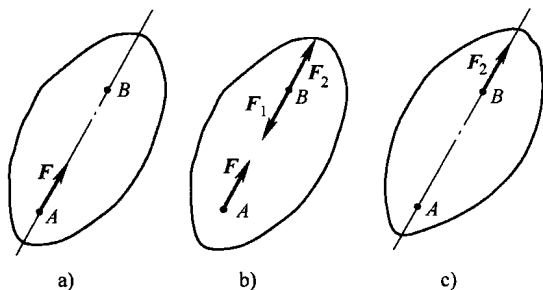


图 1-4

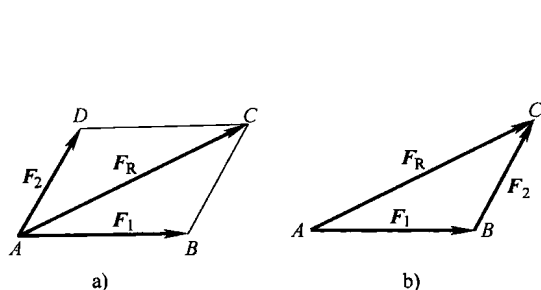


图 1-5

这个公理可写成如下的矢量表达式

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-2)$$

显然，利用平行四边形法则求合力，对于变形体来说，两个力要有共同的作用点；对于刚体来说，两个力作用线只要相交就可以合成。因此，公理三不仅适用于刚体，也适用于变形体。

为便于求两个汇交力的合力，也可不画整个平行四边形，而从 A 点作一个与 F_1 大小相等、方向相同的矢线 $\overrightarrow{AB}$ ，再过 B 点作一个与 F_2 大小相等、方向相同的矢线 $\overrightarrow{BC}$ ，则矢线 $\overrightarrow{AC}$ 即表示合力 F_R 的大小和方向，如图 1-5b 所示。这种求合力的方法称为力的三角形法则。必须清楚，在力 $\triangle ABC$ 中，各矢线只表示力的大小和方向，而不能表示力的作用点或作用线。

利用力的平行四边形法则也可将一个力分解成作用于同一点的两个分力。显然，一个力可以沿任意两个方向分解。在工程问题中，常将力沿互相垂直的两个方向分解。这种分解称为正交分解。

推论 II 三力平衡汇交定理

刚体在三个力的作用下平衡，若其中两个力作用线相交，则第三个力的作用线必过该交点，且三个力共面。

证明：如图 1-6 所示，刚体上 A 、 B 、 C 三点分别作用有力 F_1 、 F_2 和 F_3 ，其中 F_1 与 F_2 的作用线相交于 O 点，刚体在此三个力作用下处于平衡状态。

根据力的可传性原理, 将力 F_1 和 F_2 移至汇交点 O , 然后再根据力的平行四边形法则将 F_1 、 F_2 合成得合力 F_R , 则力 F_3 应与 F_R 平衡, 因而 F_3 必与 F_R 共线, 也就是说 F_3 作用线也通过 O 点。另外, 因为 F_1 、 F_2 与 F_R 共面, 所以 F_1 、 F_2 与 F_3 也共面。于是定理得证。

利用三力平衡汇交定理可以确定刚体在三力作用下平衡时其中未知力的方向。

公理四 作用与反作用定律

两物体间的作用力与反作用力总是同时存在, 两个力的大小相等, 方向相反, 沿着同一直线分别作用在相互作用的两物体上。

图 1-7 表示起重机通过钢丝绳吊起重物。 G 为重物所受的重力, F_T 为钢丝绳作用于重物上的拉力。因为 G 与 F_T 都作用在重物上而使重物保持静止, 所以它们构成二力平衡, 至于拉力 F_T 和重力 G 的反作用力在哪里, 则首先要弄清哪个是受力物体, 哪个是施力物体, 也就是要分清是“谁对谁”的作用。由于拉力 F_T 是钢丝绳拉重物的力, 所以 F_T 的反作用力一定是重物拉钢丝绳的力 F'_T , 它与 F_T 大小相等、方向相反, 作用在一条直线上。因为 G 是地球对重物的引力, 所以它的反作用力必定是重物吸引地球的力 G' (图中未画出), G' 与 G 大小相等、方向相反, 作用于一同一直线上。

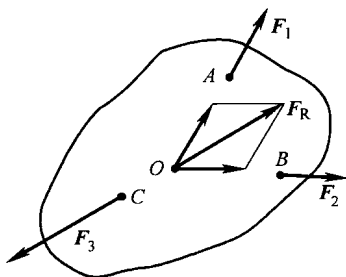


图 1-6

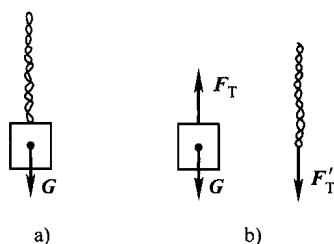


图 1-7

由此可见, 力总是成对地以作用与反作用的形式存在于物体之间, 有作用力必有反作用力, 它们互相依存、同时出现、同时消失, 分别作用在相互作用的两个物体上。

必须强调指出, 作用与反作用定律中讲的两个力, 决不能与二力平衡公理中的两个力混淆, 这两个公理有本质的区别。

应用作用与反作用定律, 可以把一个物体的受力分析与相邻物体的受力分析联系起来。

第三节 约束与约束力

可以在空间作任意运动的物体, 称为自由体。例如在空间飞行的飞机、炮弹和火箭等。因为受到周围其他物体的限制而不能作任意运动的物体, 称为非自由体。如卧式车床的刀架受床身导轨的限制, 只能沿床身导轨移动; 传动轴受轴承的限制, 只能绕轴心线转动; 沿钢轨行驶火车, 可以沿钢轨运动, 却不能沿垂直于钢轨的任何方向运动等。

限制某物体运动的其他物体, 称为该物体的约束。在上面的几个例子中, 床身导轨是刀架的约束, 轴承是轴的约束, 钢轨是火车的约束。约束限制物体的任意运动, 使其沿某些方

向的运动受阻,从而改变了物体的运动状态。约束对物体的作用实质上就是力的作用,约束作用在物体上的力称为约束力。约束力的作用点是约束与物体的接触点。约束力的方向总是与该约束所能限制的运动方向相反,这是判断约束力方向的准则。

除了约束力外,物体还受到像重力、推力以及各种机械的动力和载荷等主动改变物体运动状态的力的作用,这类力称为主动力。主动力的大小和方向一般是预先给定的,彼此是独立的。通常,主动力决定约束力的大小。在静力学中,可根据力的平衡条件由主动力求得约束力的大小。

对物体进行受力分析的重要内容之一是要正确地表示出约束力的作用线或指向,它们都与约束的性质有关。工程中实际约束的种类很多,可根据其特性将它们归纳为几类典型的约束。下面介绍几种常见的典型约束及其约束力的确定方法。

一、柔性约束(柔索)

由柔软的绳索、链条、带等构成的约束统称为柔性约束。这类约束的特点是:柔软易变形,只能受拉,不能受压,不能抵抗弯曲。柔性约束只能限制物体沿约束伸长方向的运动而不能限制其他方向的运动。因此,柔性约束的约束力只能是拉力,作用在与物体的连接点上,作用线沿着柔索,指向背离物体。通常用 F_T 表示柔性约束的约束力。如图 1-8 中 F_T 即为绳索给球的约束力。

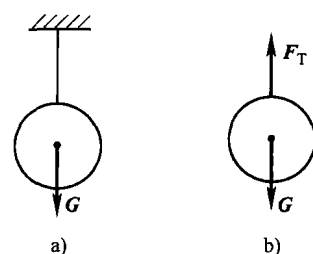


图 1-8

二、光滑接触面约束

两个互相接触的物体,如果略去接触面间的摩擦,就可以认为相互间的约束是光滑接触面约束。这类约束的特点是:不论接触面是平面还是曲面,只能受压而不能受拉,只能限制物体沿接触面法线方向的运动而不能限制物体沿接触面切线方向的运动。因此,光滑接触面的约束力只能是压力,作用在接触点处,作用线沿法线方向,指向物体,通常用 F_N 表示。

光滑接触面约束在工程上是常见的。图 1-9a 表示重力为 G 的圆轴搁在 V 形架上,接触于 A、B 两点。V 形架给圆轴的约束力为 F_{NA} 、 F_{NB} ,它们分别沿着接触点处圆轴与 V 形架的公法线,指向圆轴(图 1-9b)。V 形架受到圆轴的作用力 F'_{NA} 、 F'_{NB} ,如图 1-9c 所示。 F_{NA} 与 F'_{NA} 、 F_{NB} 与 F'_{NB} 互为作用力与反作用力。图 1-10 表示机床工作台与床身以平面导轨和 V 形导轨相接触,共有三个接触面, F_{N1} 、 F_{N2} 、 F_{N3} 是床身导轨给工作台的约束力, F'_{N1} 、 F'_{N2} 、 F'_{N3} 是工作台给床身的力,它们分别与 F_{N1} 、 F_{N2} 、 F_{N3} 互为作用力和反作用力。相互啮合的一对齿轮轮齿也构成光滑接触面约束(图 1-11)。

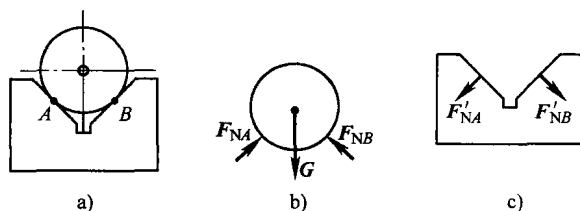


图 1-9

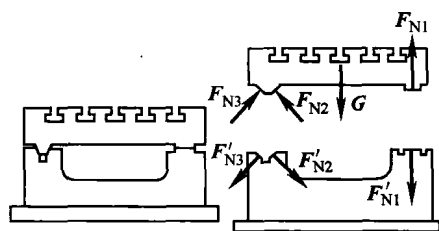


图 1-10

三、光滑圆柱铰链约束

这类约束包括圆柱铰链、固定铰链支座和深沟球轴承。

1. 圆柱铰链

在机器中, 经常用圆柱形销钉将两个带孔零件联接在一起(图 1-12a、b)。如果销钉和销孔是光滑的, 那么两零件间可以相对转动、但不能相对移动, 这样的约束称为圆柱铰链约束。图 1-12b 可画成图 1-12c 的简化形式。由于销钉与销孔间是光滑曲面接触, 按照光滑接触面约束力的特点, 销钉给被联接件的约束力 F_N 必然沿着圆柱面在接触点的公法线, 且通过销钉中心, 如图 1-12d 所示。由于接触点的位置不能确定, 约束力的方向也就不能确定。因此, 圆柱铰链约束力通常用通过铰链销钉中心的两个互相垂直的分力 F_x 和 F_y 来表示(图 1-12e)。

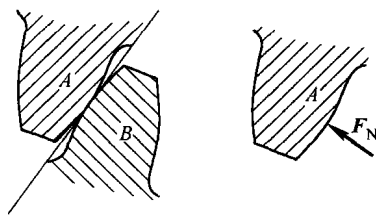


图 1-11

2. 固定铰链支座

在圆柱铰链中, 如果有一个被联接件是固定件, 则称为固定铰链支座, 简称为固定铰支。这种约束同圆柱铰链约束相同, 通常也用互相垂直的两个分力 F_x 、 F_y 来表示约束力。图 1-13a 给出了固定铰支的结构图, 图 1-13b、c 分别为其示意简图和约束力的表示方法。

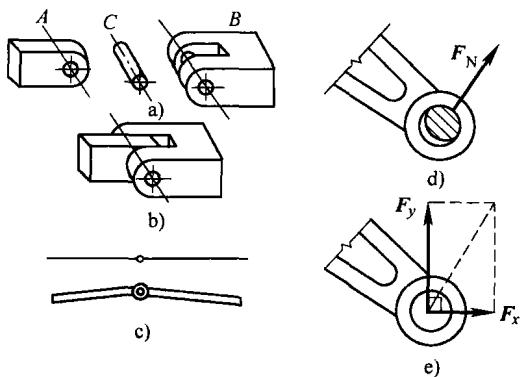


图 1-12

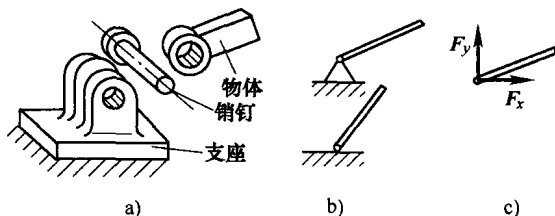


图 1-13

3. 深沟球轴承

图 1-14 和图 1-15 分别为滑动轴承和深沟球轴承, 这些轴承构成转轴的约束, 限制转轴与轴线垂直方向的移动而不限制其转动。深沟球轴承约束力的特点与圆柱铰链约束相同, 也用互相垂直的两个分力来表示。

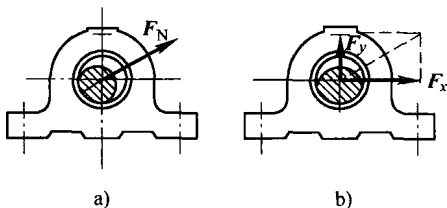


图 1-14

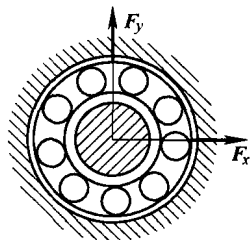


图 1-15

四、滚动铰链支座

如果在固定铰链支座的底部安装一排滚轮(图 1-16a),就可使支座沿固定支承面移动。这是工程中常见的一种复合约束,称为滚动铰链支座。这种支座常用来支承桥梁、屋架等,可以避免由温度变化而引起结构内部变形应力。这种约束可用图 1-16b 所示简图表示。显然这种约束只限制沿支承面法线方向的移动,所以其约束力 F_N 的作用线沿支承面法线,通过铰链中心并指向物体(图 1-16b)。

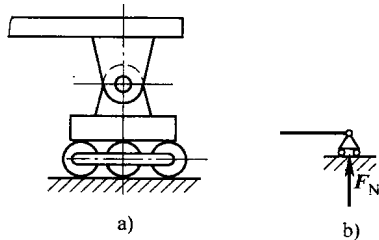


图 1-16

五、球形铰链支座

物体一端为球形,能在固定的球窝中转动(图 1-17a),这种空间类型的约束称为球形铰链支座,简称球铰。球铰限制物体任何方向的移动。球铰的约束力作用于球与球窝的接触点上,沿着该点的法线方向,指向被约束物体。在接触点未知的情况下,约束力方向不能确定,通常用三个大小未知的正交分力 F_x 、 F_y 、 F_z 来表示(图 1-17a、b)。图 1-17b 为简化符号。

推力轴承也是机器中一种常见的约束。它不仅限制轴的径向位移,也限制其轴向位移,其结构(如图 1-18a 所示)虽与球铰不同,但其约束力的特点却与球铰相同,故可将其归入球铰一类约束,其约束力也用三个大小未知的分力来表示,如图 1-18c 所示。图 1-18b 为其简化符号。

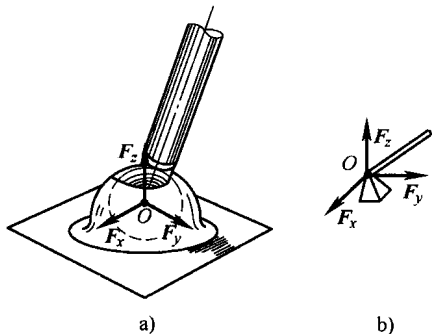


图 1-17

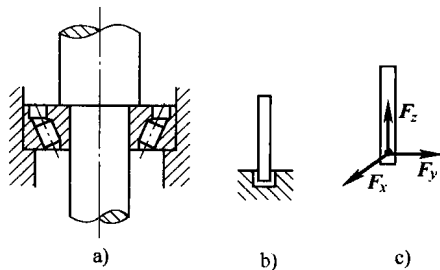


图 1-18

以上介绍的是几种比较简单而又常见的约束。实际工程问题中,约束的形式是各式各样的,有的可以简化为上述典型约束,有的还需根据构件的尺寸、载荷情况等进行简化。

第四节 物体的受力分析与受力图

解决工程实际问题时,常利用平衡条件,根据已知的力求出未知的力。为此,需要根据问题已知条件和待求的力有选择地研究某个物体或物体系统的运动或平衡。这个被确定要研究的物体或物体系统称为研究对象。分析研究对象时,需要把它从周围物体中分离出来,画出其简图,这种解除了约束的物体称为分离体。分析分离体上有几个作用力及每个力的大小、方向、作用线(点)的过程叫做受力分析。进行受力分析时,要在研究对象的简图上画出它所受到的全部主动力和约束力,这种图形称为分离体的受力图。受力图形象地表示了研究对象的受力情况。

恰当地选取研究对象，正确地画出受力图是解决力学问题的关键。下面举例说明受力图的画法。

例 1-1 绞车通过钢丝绳牵引重力为 G 的矿车沿倾斜的轨道匀速上升(图 1-19a)，试画出矿车的受力图。

解 1) 取矿车为研究对象。将矿车从钢丝绳和轨道的约束中分离出来，画出其简图。

2) 画出主动力。矿车所受主动力只有重力 G ，作用于重心 C ，铅直向下。

3) 画出约束反力。钢丝绳的约束反力为 F_T ，沿绳的中心线，背离矿车；倾斜钢轨属于光滑接触面约束，其约束力 F_{NA} 、 F_{NB} 分别过车轮与轨道的接触点 A 和 B ，沿轨道面的法向指向矿车。矿车受力图如图 1-19b 所示。

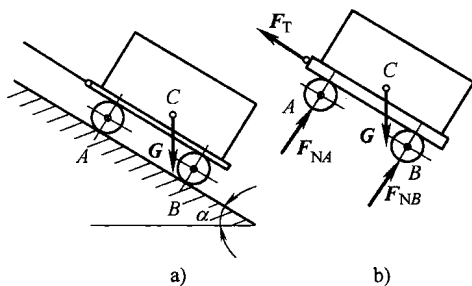


图 1-19

例 1-2 如图 1-20a 所示，梁的 A 、 B 两端用固定铰支座和滚动铰支座支承， B 端支承面与水平面的夹角为 α ，梁的 C 点作用一集中力 F ，梁的自重不计，试画出梁 AB 的受力图。

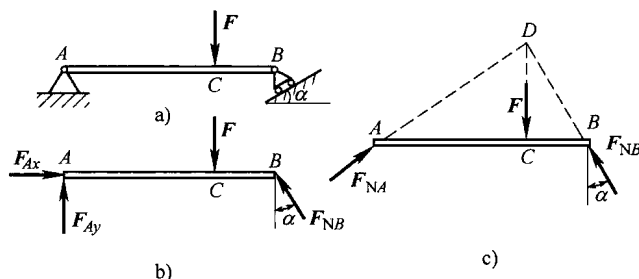


图 1-20

解 1) 取梁 AB 为研究对象，解除约束，画出其简图。

2) 画出主动力。集中力 F 作用于 C 点。

3) 根据约束的性质，画出约束力。 A 端为固定铰支，其约束力用互相垂直的两个分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示； B 端为滚动铰支座，其约束力 F_{NB} 垂直于支承面且过 B 点。受力图如图 1-20b 所示。

再进一步分析可知，梁 AB 受三个力作用处于平衡状态。因为 F 与 F_{NB} 作用线汇交于 D 点，根据三力平衡汇交原理， A 端的约束力 F_{NA} 的作用线必过 D 点，从而确定了 F_{NA} 的方位，所以梁的受力图亦可按图 1-20c 画出。图中 F_{NA} 的指向是假定的，其实际指向由平衡条件确定。

例 1-3 如图 1-21a 所示，水平梁 AB 用斜杆 CD 支撑， A 、 C 、 D 三处均为光滑铰链连接。均质梁重力 G ，梁上 B 端放置一重力为 W 的电动机。不计 CD 杆自重，试分别画出杆 CD 和梁 AB 的受力图。

解 首先分析 CD 杆的受力情况。由于杆重不计，因此只在杆的两端分别受到铰链的约束力 F_C 、 F_D 的作用。显然，它是个二力杆，因而这两个约束力一定大小相等、方向相反，作用线沿着两铰链中心连线，指向可先假定是压力。其受力图如图 1-21b 所示。

再取梁 AB 为研究对象。其 B 端放置一重力为 W 的电机，可认为是在 B 受一集中载荷 W 作用；其自身重力 G 也是一个主动力，作用于 O 点。梁在 A 处受到固定铰支的约束力作