

“十一五”普通高等学校规划教材

工程力学

GONGCHENG LIXUE

刘颖 主编
孙林 王业成 副主编
赵淑红 主审



化学工业出版社

“十一五”普通高等学校规划教材

工程力学

GONGCHENG LIXUE

刘颖 主编

孙林 王业成 副主编

赵淑红 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/刘颖主编. —北京: 化学工业出版社,
2010.1

“十一五”普通高等学校规划教材

ISBN 978-7-122-07416-4

I. 工… II. 刘… III. 工程力学-高等学校-教材
IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 235482 号

责任编辑: 周 红

装帧设计: 史利平

责任校对: 周梦华

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: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 20½ 字数 537 千字 2010 年 2 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: 45.00 元

版权所有 违者必究

前 言

在高等教育大众化、普及化的进程中，教育教学改革不断深化，为适应工程力学学时大幅度减少，以及应用型本科学生越来越多的实际情况，编者结合多年的教学实践，在化学工业出版社的帮助下，编写了本教材。

本教材本着理论知识适度的原则，适当简化推导过程，注重理论联系实际，引入较多工程实例，突出了应用性，从而使学生能在有限的时间内掌握基本的质点和刚体的静力学、运动学和动力学的内容，熟悉变形体的强度、刚度和稳定性问题，为专业课程的学习打好基础。

本书共分四篇，分别介绍了刚体静力学、刚体运动学、刚体动力学和材料力学。

本书由黑龙江工程学院、东北农业大学、哈尔滨商业大学、哈尔滨工程大学联合编写。具体分工如下：刘颖编写了绪论、第八、第十三章，任忠先编写了第一～第三章，孙林编写了第四、第五章，滕晓艳编写了第六、第七、第九章，杨银环编写了第十～第十二章，王宝芹编写了第十四、第十五章，唐玉玲编写了第十六、第十八章，权龙哲编写了第十七、第二十、第二十二章，王业成编写了第十九、第二十一、第二十三章。本书由赵淑红担任主审。

本教材适用于应用型本科学校机械类专业，以及其他类型高校近机械类、非机械类专业，也可作为其他专业教材使用，还可作为函授教材，并可供有关工程技术人员参考。

因编者水平有限，书中不妥之处恳望读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 刚体静力学

引言	2	第三节 平面力偶系的合成与平衡	23
第一章 静力学基础	3	思考题	25
第一节 静力学基本概念	3	习题	25
第二节 静力学公理	4	第四章 平面任意力系	28
第三节 约束与约束力	6	第一节 平面任意力系向一点简化	28
第四节 物体的受力分析和受力图	9	第二节 平面任意力系的平衡	32
思考题	10	第三节 物体系统的平衡问题	36
习题	11	第四节 考虑摩擦时物体的平衡问题	40
第二章 平面汇交力系	13	思考题	47
第一节 平面汇交力系合成的几何法	13	习题	47
第二节 平面汇交力系合成的解析法	14	第五章 空间力系	51
第三节 平面汇交力系的平衡	15	第一节 空间汇交力系的简化与平衡	51
思考题	18	第二节 空间力偶系的简化与平衡	54
习题	19	第三节 空间任意力系的简化与平衡	57
第三章 力矩与平面力偶理论	21	第四节 物体的重心	62
第一节 平面力对点之矩的概念及计算	21	思考题	64
第二节 力偶及其性质	22	习题	64

第二篇 刚体运动学

引言	68	以矢积表示的点的速度和 加速度	83
第六章 点的运动学	69	思考题	85
第一节 矢量法	69	习题	85
第二节 直角坐标法	69	第八章 点的合成运动	87
第三节 自然法	72	第一节 绝对运动 相对运动和牵连运动	87
思考题	76	第二节 点的速度合成定理	88
习题	76	第三节 点的加速度合成定理	90
第七章 刚体的基本运动	78	思考题	95
第一节 刚体的平行移动	78	习题	96
第二节 刚体的定轴转动	79	第九章 刚体的平面运动	99
第三节 定轴轮系的传动比	82	第一节 运动方程 平面运动的分解	99
第四节 角速度与角加速度的矢量表示		第二节 平面图形上各点的速度	100

第三节 平面图形上各点加速度	108	习题	112
思考题	111		

第三篇 刚体动力学

引言	115	第十二章 达朗伯原理	139
第十章 质点运动微分方程	116	第一节 达朗伯原理	139
第一节 动力学的基本定律	116	第二节 刚体惯性力系的简化	141
第二节 质点运动微分方程	117	第三节 达朗伯原理的应用	143
思考题	119	第四节 绕定轴转动刚体的轴承动约束力	145
习题	119	思考题	146
第十一章 动力学普遍定理	121	习题	146
第一节 动量定理	121	第十三章 虚位移原理	148
第二节 动量矩定理	124	第一节 虚位移和虚功的概念	148
第三节 刚体绕定轴转动微分方程	126	第二节 虚位移原理	149
第四节 转动惯量	128	思考题	151
第五节 动能定理	129	习题	151
思考题	134		
习题	135		

第四篇 材料力学

引言	153	第三节 圆轴扭转时的变形及刚度计算	186
第十四章 材料力学的基本知识	154	第四节 矩形截面杆的自由扭转	187
第一节 可变形固体及其基本假设	154	思考题	189
第二节 材料力学的主要研究对象及其基本变形形式	155	习题	189
第三节 内力与应力的概念	157	第十七章 截面图形的几何性质	191
第十五章 轴向拉伸和压缩	158	第一节 截面的静矩和形心	191
第一节 轴向拉压杆件的轴力及轴力图	158	第二节 极惯性矩 惯性矩和惯性积	193
第二节 轴向拉压杆内的应力	161	第三节 惯性矩和惯性积的平行移轴公式 组合截面的惯性矩和惯性积	195
第三节 轴向拉压杆件的变形	163	第四节 截面的主惯性轴和主惯性矩	197
第四节 材料的力学性能	165	思考题	199
第五节 强度条件 安全系数和许用应力	170	习题	200
第六节 简单轴向拉压杆件的超静定问题	175	第十八章 弯曲应力	203
思考题	177	第一节 平面弯曲的概念	203
习题	178	第二节 梁的内力和内力图	204
第十六章 扭转	180	第三节 梁的应力及强度计算	211
第一节 扭矩及扭矩图	180	第四节 梁的合理设计	221
第二节 圆轴扭转时的应力及强度计算	181	思考题	223
		习题	223
		第十九章 弯曲变形	227
		第一节 挠度和转角	227

第二节	用积分法计算梁的变形	228
第三节	用叠加法计算梁的变形	231
第四节	梁的刚度校核 提高梁的刚度的 措施	235
第五节	简单超静定梁的计算	236
思考题		237
习题		238
第二十章	应力状态和强度理论	242
第一节	应力状态概述	242
第二节	平面应力状态分析——解析法	244
第三节	平面应力状态分析——应力圆	247
第四节	三向应力状态概述	251
第五节	广义胡克定律	253
第六节	强度理论	255
思考题		258
习题		258
第二十一章	组合变形	261
第一节	概述	261
第二节	斜弯曲	261
第三节	拉伸（压缩）与弯曲组合变形	264
第四节	偏心压缩（拉伸）	266
第五节	扭转与弯曲组合变形	268
第六节	连接件的实用计算	271
思考题		274

习题	275
第二十二章 压杆稳定	279
第一节 压杆稳定的概念	279
第二节 细长压杆的临界力	280
第三节 欧拉公式的适用范围 临界应力 总图	283
第四节 压杆的稳定计算	284
第五节 提高压杆稳定性的措施	286
思考题	287
习题	288
第二十三章 动载荷和交变应力	290
第一节 概述	290
第二节 等加速运动构件的应力和变形 计算	290
第三节 构件受冲击时的应力与变形 计算	292
第四节 交变应力与疲劳失效	296
思考题	301
习题	301
附录 型钢表	304
习题答案	311
参考文献	320

绪 论

一、工程力学的研究内容

工程力学是一门研究物体的机械运动以及构件强度、刚度和稳定性的科学。它涵盖了理论力学和材料力学两门课程的主要内容。

工程力学所研究的机械运动主要有两大类：一类是研究物体相对于地球静止或匀速直线运动，即物体的平衡状态。刚体静力学研究物体平衡时，作用力所应满足的条件，同时也研究物体受力的分析方法，以及力系简化的方法；另一类是研究物体运动的速度、加速度和轨迹以及物体的受力和运动之间的关系。

各类结构、设备和机械都是由构件组成的，构件在工作时，总要受到载荷的作用。为了使构件在载荷作用下能够正常工作而不损坏，也不发生过度的变形以及不丧失稳定性，就要求构件具有一定的强度、刚度和稳定性，工程力学为构件的设计计算提供必要的理论基础和计算方法。

二、工程力学的力学模型

工程中涉及机械运动的物体有时十分复杂，在研究物体的机械运动时，必须忽略一些次要因素的影响，对其进行合理的简化，抽象出力学模型。

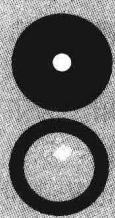
当所研究物体的运动范围远远超过其本身的几何尺寸时，物体的形状和大小对运动的影响很小，这时可将其抽象为只有质量而没有体积的**质点**。由若干质点组成的系统称为**质点系**。质点系中质点之间的联系如果是刚性的，这样的质点系称为**刚体**；如果联系是弹性的，质点系就是弹性体或**变形体**。

实际物体在力的作用下都将发生变形，但对于那些受力后变形极小，或者虽有变形但对整体运动的影响微乎其微，则可以略去变形，将物体简化为刚体。同时需要强调，当研究作用在物体上的力所产生的变形，以及由变形而在物体内部产生相互作用力时，即使变形很小，也不能将物体简化为刚体，而应是变形体。

三、学习方法

工程力学的研究方法有理论方法、试验方法和计算机数值分析方法。在解决工程实际中的力学问题时，首先从实践出发，经过抽象化、综合、归纳，运用数学推演得到定理和结论，对于复杂的工程问题往往借助计算进行数值分析和公式推导，最后通过实验验证理论和计算结果的正确性。

在学习工程力学的过程中，要注意观察实际机械设备、工程结构的工作情况，对力学理论要勤于思考，深刻理解工程力学中已被证实是正确的基本概念和基本定理，多做练习，通过掌握领会本课程的内容，为学习后续的课程打好基础，并能初步运用力学理论和方法解决工程实际中的技术问题。



第一篇 刚体静力学

引 言

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的科学。它主要解决两类问题：一是将作用在物体上的力系进行简化，即用一个简单的力系等效地替换一个复杂的力系；二是建立物体在各种力系下的平衡条件，并借此对物体进行受力分析。

力在物体平衡时所表现出来的基本性质，也同样表现于物体作一般运动的情形中。在静力学里关于力的合成、分解与力系简化的研究结果，可以直接应用于动力学。静力学在工程技术中具有重要的实用意义。

第一章 静力学基础

静力学的基本概念、公理及物体的受力分析是研究静力学的基础。本章将介绍力系的概念与静力学公理，并阐述工程中几种常见的典型约束和约束力的分析，最后介绍物体受力分析的基本方法及受力图，它是解决力学问题的重要环节。

第一节 静力学基本概念

一、刚体的概念

工程实际中的许多物体，在力的作用下，它们的变形一般很微小，对平衡问题影响也很小，为了简化分析，我们把物体视为刚体。所谓刚体，是指在任何外力的作用下，物体的大小和形状始终保持不变的物体。静力学的研究对象仅限于刚体，所以又称之为刚体静力学。

二、力的概念

力的概念是人们在长期的生产劳动和生活实践中逐步形成的，通过归纳、概括和科学的抽象而建立的。力是物体之间相互的机械作用，这种作用使物体的机械运动状态发生改变，或使物体产生变形。力使物体的运动状态发生改变的效应称为外效应，而使物体发生变形的效应称为内效应。刚体只考虑外效应，变形固体还要研究内效应。实践表明力对物体作用的效应完全决定于以下力的三要素：

(1) 力的大小 指物体相互作用的强弱程度。在国际单位制中，力的单位用牛顿 (N) 或千牛顿 (kN)， $1\text{kN}=10^3\text{N}$ 。

(2) 力的方向 包含力的方位和指向两方面的含义。如重力的方向是“竖直向下”，“竖直”是力作用线的方位，“向下”是力的指向。

(3) 力的作用位置 指物体上承受力的部位。一般来说是一块面积或体积，称为分布力。而有些分布力分布的面积很小，可以近似看作一个点时，这样的力称为集中力。如果改变了力的三要素中的任一要素，也就改变了力对物体的作用效应。

既然力是有大小和方向的量，所以力是矢量。可以用一带箭头的线段来表示，如图 1-1 所示。线段长度 AB 按一定的比例尺表示力 F 的大小，线段的方位和箭头的指向表示力的方向，线段的起点 A 表示力的作用点，线段 AB 的延长线（图中虚线）表示力的作用线。

我们常用黑体字母 $\mathbf{F}$ 表示矢量，用普通字母 F 表示矢量的大小。

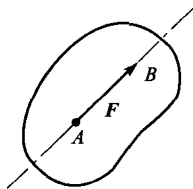


图 1-1

三、力系的概念

一般来说，作用在刚体上的力不止一个，我们把作用于物体上的一群力称为力系。

力系按作用线分布情况的不同可分为下列几种：当所有力的作用线在同一平面内时，称为平面力系，否则称为空间力系。当所有力的作用线汇交于同一点时，称为汇交力系。而所有力的作用线都相互平行时，称为平行力系，否则称为一般力系。

四、平衡的概念

平衡是指物体相对于惯性参考系（如地面）保持静止或匀速直线运动状态。如桥梁、机床的床身、作匀速直线飞行的飞机，等等，都处于平衡状态。平衡是物体运动的一种特殊形式。

五、平衡力系的概念

若力系中各力对于物体的作用效应彼此抵消而使物体保持平衡或运动状态不变时, 则这种力系称为平衡力系。平衡力系中的任一力对于其余的力来说都称为平衡力, 即与其余的力相平衡的力。

六、等效力系的概念

若两力系分别作用于同一物体而效应相同时, 则这两力系称为等效力系。若力系与一力等效, 则此力就称为该力系的合力, 而力系中的各力, 则称为此合力的分力。

七、力系简化的概念

为了便于寻求各种力系对于物体作用的总效应和力系的平衡条件, 需要将力系进行简化, 使其变换为另一个与其作用效应相同的简单力系。这种等效简化力系的方法称为力系的简化。

研究力系等效并不限于分析静力学问题。例如: 飞行中的飞机, 受到升力、牵引力、重力、空气阻力等作用, 这群力错综复杂地分布在飞机的各部分, 每个力都影响飞机的运动。要想确定飞机的运动规律, 必须了解这群力总的作用效果, 为此, 可以用一个简单的等效力系来代替这群复杂的力, 然后再进行运动的分析。所以研究力系的简化不仅是为了导出力系的平衡条件, 同时也是为动力学提供基础。所以, 在静力学中, 我们将研究以下三个问题:

(1) 物体的受力分析 分析某个物体共受几个力, 以及每个力的作用位置和方向。

(2) 力系的简化 研究如何把一个复杂的力系简化为一个简单的力系。

(3) 建立各种力系的平衡条件 研究物体平衡时, 作用在物体上的各种力系所需满足的条件。

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、构件和机械零件时静力计算的基础。因此, 静力学在工程中有着最广泛的应用。

第二节 静力学公理

公理是人类经过长期的观察和经验积累而得到的结论, 它可以在实践中得到验证而为大家所公认。静力学公理是人们关于力的基本性质的概括和总结, 它们是静力学全部理论的基础。

公理一 力的平行四边形法则

作用于物体某一点的两个力可以合成为一个合力。合力的作用点也作用于该点, 其大小及方向可由这两个力所构成的平行四边形的对角线来确定。

设在物体的 A 点作用有力 F_1 和 F_2 , 如图 1-2(a) 所示, 若以 F_R 表示它们的合力, 则可以写成矢量表达式

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

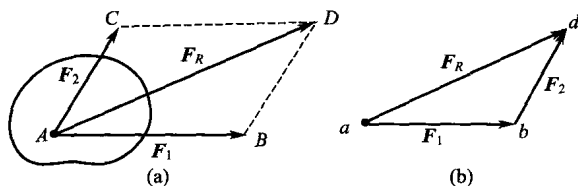


图 1-2

即合力 F_R 等于两分力 F_1 与 F_2 的矢量和。

公理一反映了力的方向性的特征。矢量相加与数量相加不同，必须用平行四边形的关系确定，它是力系简化的重要基础。

因为合力 F_R 的作用点亦为 A 点，求合力的大小及方向实际上无需作出整个平行四边形，可用下述简单的方法来代替：从任选点 a 作 ab 表示力矢 F_1 ，在其末端 b 作 bd 表示力矢 F_2 ，则 ad 即表示合力矢 F_R ，如图 1-2(b) 所示。由只表示力的大小及方向的分力矢和合力矢所构成的三角形 abd 称为力三角形，这种求合力矢的作图规则称为力的三角形法则。

公理二 二力平衡条件

作用于刚体上的两个力，使刚体保持平衡的充要条件是：这两个力的大小相等、方向相反且作用于同一直线上。图 1-3 表示了满足公理二的两种情况，可以表示为

$$F_1 = -F_2 \quad (1-2)$$

公理二说明了作用于物体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。对于刚体来说，这个条件是充分与必要的。这个公理是今后推证平衡条件的基础，工程上常遇到只受两个力作用而平衡的构件，称为二力构件或二力杆。

公理三 加减平衡力系原理

在作用于刚体的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效应。公理三是研究力系等效变换的重要依据。注意此公理只适用于刚体，而不适用于变形体。

根据上述公理可以导出下列推论：

推论 1 力的可传性

作用于刚体上某点的力，可以沿着它的作用线移到刚体内的任一点，并不改变该力对刚体的作用。

证明：如图 1-4 所示，设力 F 作用于刚体上的点 A ，在力 F 作用线上任选一点 B ，在点 B 上加一对平衡力 F_1 和 F_2 ，使

$$F_1 = -F_2 = F$$

则 F_1 、 F_2 、 F 构成的力系与 F 等效。将平衡力系 F 、 F_2 减去，则 F_1 与 F 等效。此时，相当于力 F 已由点 A 沿作用线移到了点 B 。

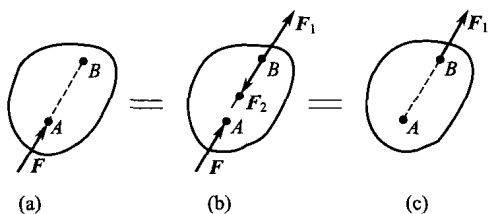


图 1-4

由此可见，对于刚体来说，力的作用点已不是决定力的作用效应的要素，它已被作用线代替。作用于刚体上的力可以沿着作用线移动，这种矢量称为滑移矢量。因此作用于刚体上力的三要素为大小、方向和作用线。

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，将力 F_1 和 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} 。则力 F_3 应与 F_{12} 平衡。由于两个力平衡必须共线，所以力 F_3 必定与力 F_1 和 F_2 共面，且通过力 F_1 与 F_2 的交点 O 。

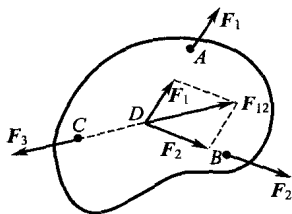


图 1-5

公理四 作用力与反作用力定律

两物体间相互作用的力总是同时存在，且大小相等、方向相反、沿同一直线，分别作用在两个物体上。

如将相互作用力之一视为作用力，而另一力视为反作用力，则公理四还可叙述为：对应于每个作用力，必有一个与其大小相等、方向相反且在同一直线上的反作用力。一般用 F' 表示力 F 的反作用力。

公理四概括了自然界中物体间相互作用的关系，表明作用力与反作用力总是同时存在同时消失，没有作用力也就没有反作用力。根据这个公理，已知作用力则可知反作用力，它是分析物体受力时必须遵循的原则，为研究由一个物体过渡到多个物体组成的物体系统提供了基础。

必须注意，作用力与反作用力是分别作用在两个物体上的，不能错误地与二力平衡公理混同起来。

公理五 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡，如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看作为刚体模型的条件。如图 1-6 所示，绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡，如将绳索刚化成刚体，其平衡状态保持不变。若绳索在两个等值、反向、共线的压力作用下并不能平衡，这时绳索就不能刚化为刚体。但刚体在上述两种力系的作用下都是平衡的。

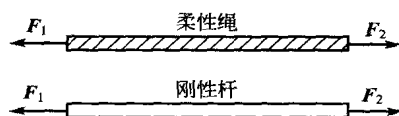


图 1-6

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。在刚体静力学的基础上，考虑变形体的特性，可进一步研究变形体的平衡问题。

第三节 约束与约束力

如果一个物体不受任何限制，可以在空间自由运动（例如可在空中自由飞行的飞机），则此物体称为自由体。反之，如一个物体受到一定的限制，使其在空间沿某些方向的运动成为不可能（例如绳子悬挂的物体），则此物体称为非自由体。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束。例如，沿轨道行驶的车辆，轨道事先限制车辆的运动，它就是约束。摆动的单摆，绳子就是约束，它事先限制摆锤只能在不大于绳长的范围内运动，而通常是以绳长为半径的圆弧运动。

约束体阻碍限制物体的自由运动，改变了物体的运动状态，因此约束体必须承受物体的作用力，同时给予物体以等值、反向的反作用力，这种力称为约束反力或约束力，属于被动力。除约束反力外，物体上受到的各种力如重力、风力、切削力、顶板压力等，它们是促使物体运动或有运动趋势的力，属于主动力，工程上常称为载荷。

约束反力取决于约束本身的性质、主动力和物体的运动状态。约束反力阻止物体运动的作用是通过约束体与物体间相互接触来实现的，因此它的作用点应在相互接触处，约束反力的方向总是与约束体所能阻止的运动方向相反，这是我们确定约束反力方向的准则。它的大小，在静力学中将由平衡条件求出。

下面介绍几种在工程中常见的约束类型和确定约束力方向的方法。

一、柔索约束

属于这类约束的有绳索、皮带、链条等。这类约束的特点是只能限制物体沿着柔索伸长的方向运动，它只能承受拉力，而不能承受压力和抗拒弯曲。所以柔索的约束反力只能是拉力，作用在连接点或假想截割处，方向沿着柔索的轴线而背离物体，一般用 F 或 F_T 表示，如图 1-7 和图 1-8 所示。

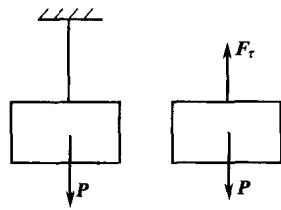


图 1-7

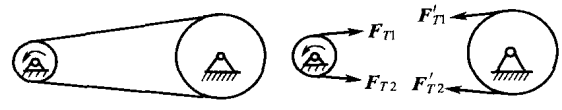


图 1-8

二、光滑接触面约束

当物体接触面上的摩擦力可以忽略时，即可看作光滑接触面约束，这类约束的特点是只能限制物体沿两接触表面在接触处的公法线而趋向支撑接触面的运动，不论支撑接触表面的形状如何，它只能承受压力，而不能承受拉力。所以光滑接触面的约束力只能是压力，作用在接触处，方向沿着接触表面在接触处的公法线而指向物体，一般用 F_N 表示，如图 1-9 和图 1-10 所示。

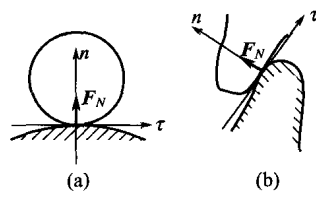


图 1-9

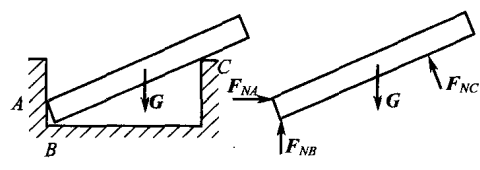


图 1-10

三、光滑铰链约束

铰链是工程上常见的一种约束。它是在两个钻有圆孔的构件之间采用圆柱定位销所形成的连接，如图 1-11 所示。门所用的合页、铡刀与刀架、起重机的动臂与机座的连接等，都是常见的铰链连接。

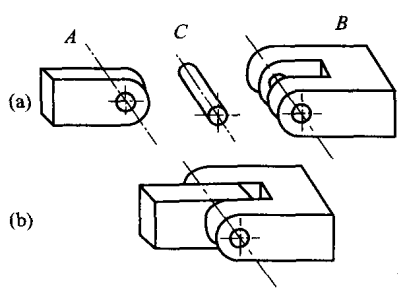


图 1-11

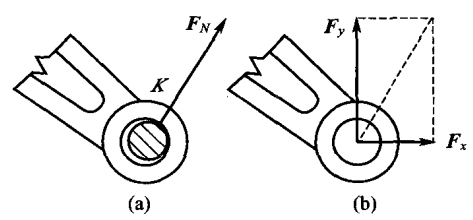


图 1-12

一般认为销钉与构件光滑接触，所以这也是一种光滑表面约束，约束反力应通过接触点 K 沿公法线方向（通过销钉中心）指向构件，如图 1-12(a) 所示。但实际上很难确定 K 的位置，因此反力 F_N 的方向无法确定。所以，这种约束反力通常是用两个通过铰链中心的大小和方向未知的正交分力 F_x 、 F_y 来表示，两分力的指向可以任意设定，如图 1-12(b)。

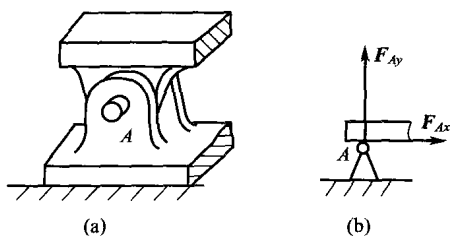


图 1-13

这种约束在工程上应用广泛,可分为三种类型:

(1) 固定铰支座约束 用以将构件和基础连接,如桥梁的一端与桥墩连接时,常用这种约束,如图 1-13(a) 所示,图 1-13(b) 是这种约束的简图。

(2) 中间铰链约束 用来连接两个可以相对转动但不能移动的构件,如曲柄连杆机构中曲柄与连杆、连杆与滑块的连接。通常在两个构件连接处用一个小圆圈表示铰链,如图 1-14 所示。

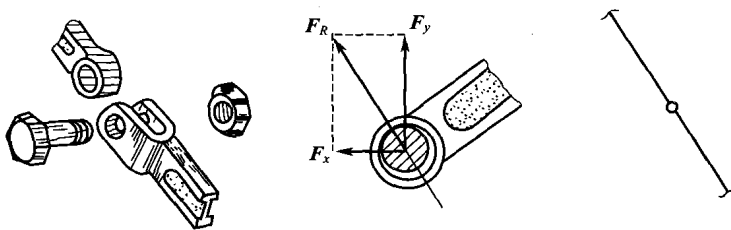


图 1-14

(3) 滚动支座约束 在桥梁、房屋等结构中经常采用滚动支座约束。在固定铰支座和支撑面间装有几个辊轴而构成,又称辊轴支座、活动铰支座。如图 1-15(a) 所示,这种约束只能限制物体沿支撑面法线方向运动,而不能限制物体沿支撑面移动和相对于销钉轴线转动。所以其约束反力垂直于支撑面并过销钉中心,指向可假设,简图如图 1-15(b) 所示,受力如图 1-15(c) 所示。

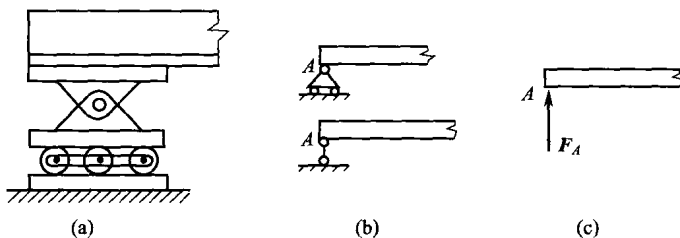


图 1-15

四、链杆约束

两端用光滑铰链与物体连接而中间不受力且不计自重的刚性直杆称链杆,由这种链杆产生的约束叫链杆约束,如图 1-16(a) 所示。这种约束反力只能限制物体沿链杆轴线方向运动,因此链杆的约束力沿着链杆中心连线方向,指向可以假定,如图 1-16(b) 和图 1-16(c) 所示。

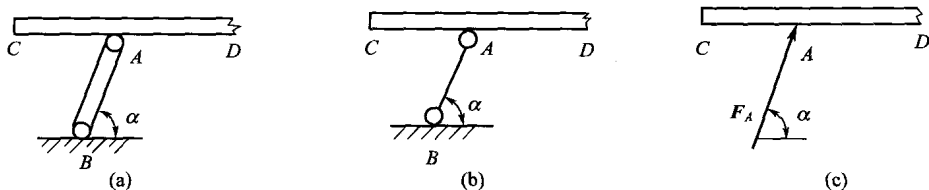


图 1-16

五、固定端约束

将构件的一端插入一固定物体(如墙)中,就构成了固定端约束。在连接处具有较大的

刚性, 被约束的物体在该处被完全固定, 既不允许相对移动也不可转动。固定端的约束力, 一般用两个正交分力和一个约束力偶来代替, 如图 1-17 所示。

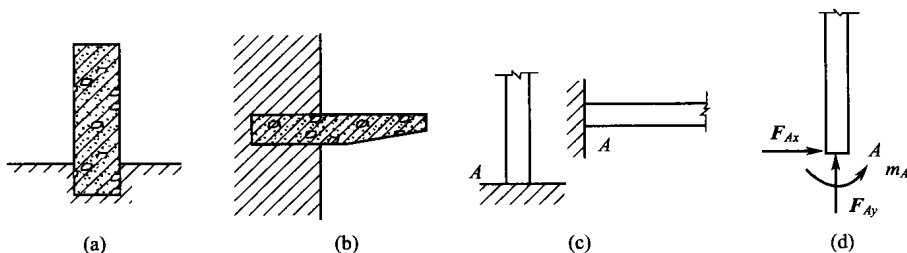


图 1-17

第四节 物体的受力分析和受力图

在工程实际中, 为了求出未知的约束力, 需要根据已知力, 应用平衡条件求解。因此, 首先要确定构件受了几个力, 每个力的作用位置和力的作用方向, 这种分析过程称为物体的受力分析。

为了清晰地表示物体的受力情况, 我们把需要研究的物体 (称为受力体) 从周围的物体 (称为施力体) 中分离出来, 单独画出它的简图, 这个步骤叫做取研究对象或取分离体。然后把施力物体对研究对象的作用力 (包括主动力和约束力) 全部画出来。这种表示物体受力的简明图形, 称为受力图。

正确地画出受力图, 是求解静力学问题的关键。画受力图时, 应按下述步骤进行:

- ① 根据题意选取研究对象;
- ② 画作用于研究对象上的主动力;
- ③ 画约束反力。凡在去掉约束处, 根据约束的类型逐一画上约束反力。

【例 1-1】 图 1-18(a) 所示, 均质球重 G , 用绳系住, 并靠于光滑的斜面上。试分析球的受力情况, 并画出受力图。

解: ① 确定球为研究对象, 除去约束并画出其简图。

② 画出主动力 G , 约束力 F_T 和 F_N 。A 点属于柔索约束, 方向沿着柔索的轴线而背离物体。B 点属于光滑接触面约束, 方向沿着接触表面在接触处的公法线而指向物体。

球的受力图如图 1-18(b) 所示。

注: 满足三力平衡汇交定理。

【例 1-2】 重力为 P 的圆球放在板 AC 与墙壁 AB 之间, 如图 1-19(a) 所示。设板 AC 重力不计, 试作出板与球的受力图。

解: 先取球为研究对象, 作出简图。球上主动力 P , 约束反力有 F_{ND} 和 F_{NE} , 均属光滑面约束的法向反力。受力图如图 1-19(b) 所示。

再取板作为研究对象。由于板的自重不计, 故只有 A、C、E 处的约束反力。其中 A 处为固定铰支座, 其反力可用一对正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示。C 处为柔索约束, 其反力为拉力 F_T 。E 处的反力为法向反力 F'_{NE} , 要注意该反力与球在 E 处所受反力 F_{NE} 为作用与反作用的

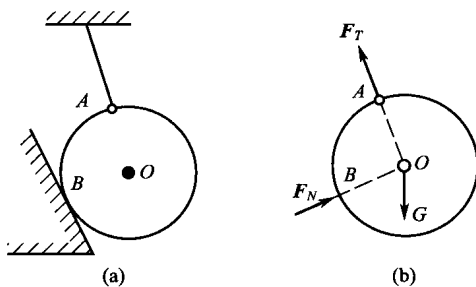


图 1-18

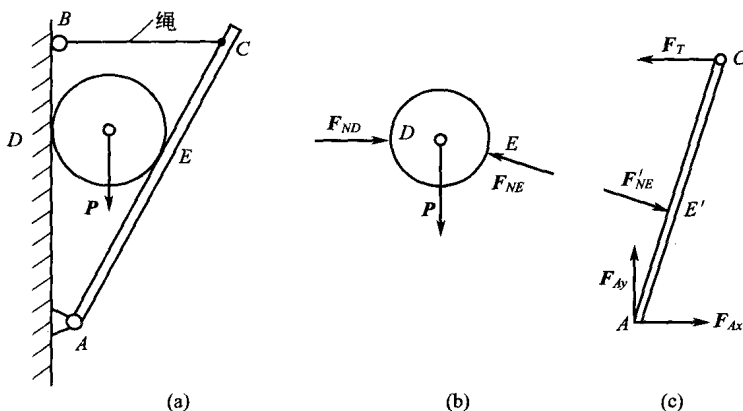


图 1-19

关系。受力图如图 1-19(c) 所示。

【例 1-3】 画出图 1-20(a)、(d) 两图中滑块及推杆的受力图，并进行比较。图 1-20(a) 是曲柄滑块机构，图 1-20(d) 是凸轮机构。

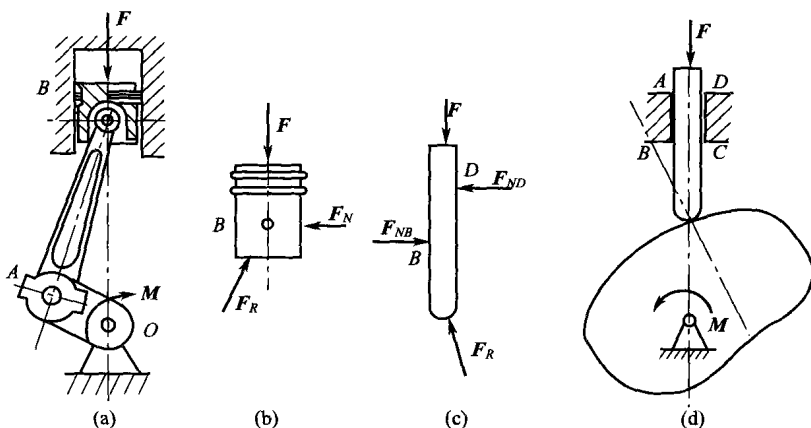


图 1-20

解：分别取滑块、推杆为分离体，画出它们的主动力和约束反力，其受力图 1-20(b)、1-20(c) 所示。

滑块上作用的主动动力 F 、 F_R ，二力的交点在滑块与滑道接触长度范围以内，其合力使滑块单面靠紧滑道，故产生一个与约束面相垂直的反力 F_N ， F 、 F_R 、 F_N 三力汇交。

推杆上的主动动力 F 、 F_R 的交点在滑道之外，其合力使推杆倾斜而导致 B 、 D 两点接触，故有约束反力 F_{NB} 、 F_{ND} 。

思考题

1-1 说明下列式子的意义和区别。

(1) $F_1 = F_2$ 和 $F_1 = F_2$ ；(2) $F_R = F_1 + F_2$ 和 $F_R = F_1 + F_2$

1-2 力的可传性原理的适用条件是什么？如图 1-21 所示，能否根据力的可传性原理，将作用于杆 AC 上的力 F 沿其作用线移至杆 BC 上而成为力 F' ？

1-3 作用于刚体上大小相等、方向相同的两个力对刚体的作用是否等效？

1-4 物体受汇交于一点的三个力作用而处于平衡，此三力是否一定共面？为什么？