

简明工程力学

(第三版)

主 编	胡文绩	邱清水	
副主编	彭俊文	唐学彬	曹吉星
参 编	袁前胜	罗云蓉	袁 权
	高红霞	严志忠	

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书是按照 64 学时的教学要求编写的。全书分为 2 篇，共 16 章。第一篇（共 5 章）为静力学，包括静力学基本概念与物体的受力分析、平面汇交力系、力矩与平面力偶理论、平面一般力系及空间力系；第二篇（共 11 章）为材料力学，包括材料力学概述、拉伸与压缩、连接件的实用计算、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析与强度理论、组合变形、压杆稳定及动载荷。本书注重基本概念 的阐述，尽量避免过多的理论推导和烦琐的数学运算，适当降低难度。另外，本书注重工程概念的介绍并增加了工程实例。全书设置了数字化内容（通过二维码扫描），书末附有附录及习题参考答案。

本书可供普通高等院校本、专科等各专业的中、少学时工程力学课程使用，也可供自学者使用。

图书在版编目 (C I P) 数据

简明工程力学 / 胡文绩, 邱清水主编. -- 3 版. --
成都: 西南交通大学出版社, 2024.1
ISBN 978-7-5643-9680-0

I. ①简… II. ①胡… ②邱… III. ①工程力学 - 教材 IV. ①TB12

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2024) 第 008898 号

Jianming Gongcheng Lixue

简明工程力学 (第三版)

主编 胡文绩 邱清水

*

责任编辑 韩洪黎

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼

邮政编码: 610031 营销部电话: 028-87600564

<http://www.xnjdcbs.com>

成都中永印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 18.75

字数: 460 千

2009 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 2 版

2024 年 1 月第 3 版 2024 年 1 月第 8 次印刷

ISBN 978-7-5643-9680-0

定价: 42.00 元

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

第三版前言

本书于 2009 年首次出版，2015 年再版。当前，我国的高等教育已经步入了一个新的时期，工程教育认证、卓越工程师教育培养计划不断深入推进，对工程力学的教学实践提出了新的要求。在此情况之下，本教材已达到修订的要求。

本次修订，仍然坚持突出力学基本概念、工程概念及工程实例的介绍，力求内容简洁、易懂。考虑到具体情况，本书在内容上有部分增加。例如：增加了第十四章组合变形（邱清水编写），以满足不同层次的学生需求；增加了第十五章压杆稳定中折减系数法一节内容（唐学彬编写），这是为了满足相应专业的学生需求；某些章节增加了部分习题，使习题设置更加全面、合理。此外，本次修订对数字化内容进行了全面升级。通过扫描二维码，可以看到每章的学习要求、重难点分析、思考题答案及典型习题详解，更加有利于学生对知识的掌握。

修订后的教材，结构更加合理，内容更加丰富，符合时代发展的需求。

在这里，要感谢对教材提出意见和建议的教师。第三版工作除了原先第一、二版的编写教师参加之外，西华大学曹吉星老师作为副主编参与了本书数字化内容的编写工作，西华大学高红霞老师作为参编参与了书本的勘误等工作。

限于编者水平，修订后的教材难免有欠妥之处，还望广大教师和读者指正。

编者

2023 年 9 月

第二版前言

本书第一版于 2009 年 8 月出版，到目前已经 6 年。

随着我国高等教育的发展和普通高校教育改革的不断深入，特别是近年来高校数字化资源的应用，为改革提供了多种有效的手段。本次教材修改是基于教学实践的经验 and 广大教师的意见和建议，除了查漏补缺，结构和内容基本上没有变化。修改的思路是力图创新，修改的重点是将数字化资源与传统教材两者优势相结合。编者将大量补充的资源放在网络上，读者只需扫描书上的二维码，便可获取增加的内容，如知识点、重点、难点、例题和习题等。进一步的工作是根据需要逐渐增加动态内容，如老师的微课、动态工程实例等，使书本的生动性加强。特别值得一提的是，这些数字化资源可以随时更新、补充、修改，与时俱进。

本次再版力求将教材做成基于移动互联网的立体化教材，也适用于翻转课堂的教材，目前是一种教材的创新。教材力求做到书本变薄，内容增加，形象生动，便于学习。

在这里，要感谢对教材提出意见和建议的教师。这次再版工作除了原先编写教师参加之外，西华大学严志忠、袁权和曹吉星老师也参加了教材的改编。

限于编者水平，修订后的教材恐仍有不足之处，还望广大教师和读者指正。

编者
2015 年 7 月

第一版前言

本书是为满足普通高等院校本、专科等各专业的中、少学时工程力学课程教学需要而编写的，其内容包括理论力学的静力学部分和材料力学的基本内容。

目前多学时的理论力学、材料力学教材较多，适合重点大学的工程力学教材也有不少，但是，适合普通院校的中、少学时工程力学教材不多，选择余地不大。因此，我们编写了这本教材。本书以进一步推动高等教育教学改革、不断提高人才培养质量为前提，以教育部颁布的《工程力学教学基本要求》以及教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会编制的理工科非力学专业《力学基础课程教学基本要求（试行）》（2008年版）为依据，再结合普通高等院校的特点，对只需中、少学时工程力学课程学习的各专业，以够用为主，不求大而全，内容精简，并适当降低难度，同时，工程概念有所加强。

本书例题较多，方便读者参考。各章附有小结、思考题和习题，带有“*”的部分习题读者可以选作。带有“*”的部分章节按各专业需求可自己取舍。教材附有习题参考答案。

参加本书编写的有：西华大学胡文绩（第一、第七、第十五章），西华大学邱清水（第四、第五、第六、第九章），西昌学院袁前胜（第二、第三、第八章），西华大学彭俊文（第十、第十一章），西华大学唐学彬（第十二、第十四章），四川理工学院罗云蓉（第十三章），西华大学高红霞（附录及习题参考答案）。全书由胡文绩统稿并任主编，邱清水、彭俊文、袁前胜、唐学彬任副主编。

限于编者的水平，本书恐仍有不少疏漏和欠妥之处，恳请读者指正。

编 者

2009年7月

目 录

静 力 学

第一章 静力学基本概念和物体的受力分析	3
第一节 静力学基本概念	3
第二节 静力学公理	4
第三节 约束和约束力	6
第四节 物体的受力分析及受力图	9
小 结	14
思考题	14
习 题	15
第二章 平面汇交力系	17
第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	17
第二节 力的分解与力在坐标轴上的投影	20
第三节 平面汇交力系合成及平衡的解析法	21
小 结	24
思考题	24
习 题	25
第三章 力矩与平面力偶理论	28
第一节 平面力对点之矩	28
第二节 力偶和力偶矩·平面力偶系的合成与平衡	29
小 结	32
思考题	33
习 题	34
第四章 平面一般力系	36
第一节 平面一般力系向已知点的简化·主矢与主矩	36
第二节 平面一般力系的平衡条件和平衡方程	42
第三节 物体系的平衡·静定和静不定问题	46
第四节 考虑摩擦的平衡问题	50
小 结	54
思考题	55
习 题	56

第五章 空间力系	63
第一节 力对点之矩与力对轴之矩	63
第二节 空间一般力系的简化及结果分析	66
第三节 空间力系的平衡条件及平衡方程	68
第四节 重 心	72
小 结	75
思考题	76
习 题	77

材料力学

第六章 材料力学概述	81
第一节 材料力学的任务	81
第二节 变形固体的基本假设	82
第三节 杆件变形的基本形式	83
第七章 拉伸与压缩	84
第一节 内力·截面法·轴力及轴力图	84
第二节 应力·拉(压)杆内的应力	86
第三节 拉(压)杆的变形·胡克定律	91
第四节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	94
第五节 失效、安全因素和强度计算	99
*第六节 应力集中的概念	101
小 结	101
思考题	103
习 题	103
第八章 连接件的实用计算	106
第一节 剪切的实用计算	106
第二节 挤压的实用计算	108
小 结	111
思考题	111
习 题	111
第九章 扭 转	114
第一节 外力偶矩的计算·扭矩和扭矩图	114
第二节 纯 剪 切	116
第三节 圆轴扭转时的应力及强度计算	118
第四节 圆轴扭转时的变形及刚度计算	123

小 结	125
思考题	126
习 题	126
第十章 弯曲内力	129
第一节 弯曲的概念	129
第二节 梁的计算简图	130
第三节 梁横截面上的内力	132
第四节 剪力方程和弯矩方程·剪力图和弯矩图	135
第五节 载荷集度、剪力和弯矩间的关系及其应用	138
小 结	140
思考题	141
习 题	141
第十一章 弯曲应力	144
第一节 梁的纯弯曲	144
第二节 纯弯曲时梁横截面上的正应力	145
第三节 惯性矩的计算·平行移轴公式	149
第四节 梁的切应力	154
第五节 弯曲正应力的强度计算	155
第六节 提高梁弯曲强度的措施	159
小 结	162
思考题	163
习 题	163
第十二章 弯曲变形	168
第一节 梁的变形	168
第二节 用积分法求梁的变形	171
第三节 用叠加法求梁的变形	175
第四节 梁的刚度计算及提高弯曲刚度的措施	179
*第五节 简单静不定梁	182
小 结	184
思考题	185
习 题	185
第十三章 应力状态分析与强度理论	190
第一节 应力状态的基本概念	190
第二节 平面应力状态分析	192
第三节 三向应力状态简介	199
第四节 广义胡克定律	200

第五节 强度理论及其应用	202
小 结	207
思考题	208
习 题	208
第十四章 组合变形	212
第一节 拉伸（或压缩）与弯曲的组合	213
第二节 弯曲与扭转的组合	215
小 结	221
思考题	221
习 题	222
第十五章 压杆稳定	226
第一节 压杆稳定的概念	226
第二节 理想压杆临界载荷的欧拉公式	227
第三节 临界应力	230
第四节 压杆的稳定性计算·安全系数法	233
第五节 压杆的稳定性计算·折减系数法	236
第六节 提高压杆稳定的措施	241
小 结	242
思考题	242
习 题	243
第十六章 动载荷	248
第一节 构件有加速度时的应力计算	248
第二节 构件受冲击时的应力和变形	252
小 结	257
思考题	258
习 题	259
附录 型钢表	262
习题参考答案	280
参考文献	289

静力学

静力学研究物体平衡的一般规律。

静力学主要研究三方面的问题：物体的受力分析、力系的简化和力系的平衡条件。

第一章 静力学基本概念和物体的受力分析

本章包括静力学基本概念、公理及物体的受力分析等基本内容，是研究静力学的基础。首先介绍刚体、力、平衡的概念以及作为静力学基础的几个公理，然后阐述工程中常见的约束和约束力，最后介绍物体的受力分析及如何作受力图。

第一节 静力学基本概念

一、刚体的概念

所谓刚体，就是在任何情况下永远不变形的物体。这一点表现为在力的作用下刚体内任意两点的距离始终保持不变。永远不变形的物体是不存在的，刚体只是一个为了研究方便而把实际物体抽象化后得到的理想化力学模型。当物体在受力后变形很小，对研究物体的平衡问题不起主要作用时，其变形可忽略不计，这样可使问题的研究大为简化。

在静力学中研究的对象主要是刚体，因此有时静力学又称为刚体静力学。

二、力的概念

力的概念是人们在长期的生活和生产实践中从感性到理性逐步形成的。力是物体间相互的机械作用，其作用效应是使物体的机械运动状态发生改变或形状发生改变。物体间相互的机械作用可以分为两类：一类是物体间的直接接触的相互作用；另一类是场和物体间的相互作用。不论是第一类还是第二类，它们所产生的作用效应都是一样的。把力使物体的机械运动状态发生改变的效应称为力的外效应或运动效应；把力使物体的形状发生改变的效应称为力的内效应或变形效应。

实践表明，力对物体的作用效应取决于三方面：大小、方向和作用点。通常称为力的三要素。由此可见，力是矢量，且为定位矢量。用一个矢量来表示力的三要素的图示如图 1.1 所示。矢量的长度表示力的大小（按一定的比例尺），矢量的方位和箭头的指向表示力的方向，矢量的起点或终点表示力的作用点，而与矢量重合的直线表示力的作用线。我们通常用黑体字母 \mathbf{F} 表示力的矢量，而用普通字母 F 表示力的大小。

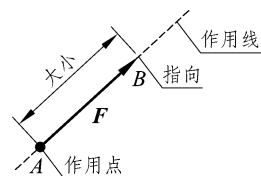


图 1.1

两个物体间相互接触时总占有一定的面积，力总是分布于接触面上各点的，当接触面面积很小时，可以近似将微小面积抽象为一个点，这个点称为力的

作用点，该作用力称为**集中力**；反之，当接触面面积不可忽略时，力在整个作用面上分布作用，此时的作用力称为**分布力**。

力的单位在国际单位制（SI）中是牛顿（N），常用千牛（kN）， $1\text{ kN} = 1\ 000\text{ N}$ 。

作用于物体上的一群力称为**力系**。力系可分为平面力系和空间力系，各包括汇交力系、力偶系、平行力系和任意力系。

若力系的作用结果是使物体保持平衡或运动状态不变，则这种力系称为**平衡力系**。

当一个力与一个力系等效时，则称该力为该力系的**合力**，而该力系中每一个力称为**分力**。把各分力代换成合力的过程，称为力系的合成；反之，则为力的分解。

三、平衡的概念

平衡是物体机械运动的一种特殊形式。所谓**物体的平衡**，是指物体相对于惯性参考系（如地面）保持其**静止或作匀速直线运动**。需要注意，运动是绝对的，平衡只是暂时的或相对的。在工程问题中，房屋、桥梁、作匀速直线运动的汽车车厢等，都处于平衡状态。

第二节 静力学公理

公理是人们经过长期观察和经验积累而得到的结论，经过实践反复验证，无需证明而被大家公认。

公理 1 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要和充分条件是：这两个力大小相等、方向相反且作用于同一直线上，如图 1.2 所示。

$$\mathbf{F}_A = -\mathbf{F}_B$$

公理 1 揭示了作用于物体上最简单的力系平衡时必须满足的条件。对于刚体，这个条件是必要而充分的；若是变形体，仅为必要条件。

由公理 1 可知，平衡力系中的任何力的作用线均与其他力的合力的作用线在同一直线上。工程上常遇到只受两个力作用而平衡的构件，称**二力构件**或**二力杆**，如图 1.3 所示。

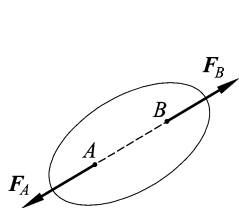


图 1.2

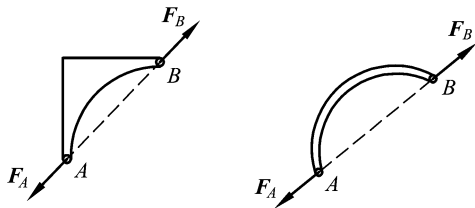


图 1.3

公理 2 加减平衡力系公理

在作用于刚体的任意力系上添加或取去任意平衡力系，不改变原力系对刚体的效应。即

平衡力系可变大也可变小, 这有利于力系的简化, 是研究力系等效替换的重要依据。

推论 力的可传性原理

作用于刚体上某点的力, 可以沿着它的作用线移至刚体内任意一点, 不会改变该力对刚体的作用。

证明: 设力 F 作用于刚体上的 A 点, 如图 1.4 (a) 所示。沿其作用线任选一点 B , 欲使力 F 从 A 点移至 B 点, 根据加减平衡力系公理, 可在 B 点添加上一对平衡力 F_1 和 F_2 , 使 $F_2 = -F_1 = F$, 如图 1.4 (b) 所示。由于力 F 和 F_1 也是一个平衡力系, 故可除去。这样只剩下一个力 F_2 作用于 B 点, 如图 1.4 (c) 所示, 显然它与原来作用于 A 点的力等效, 即原来的力 F 从刚体上的 A 点沿着它的作用线移至 B 点。

力的这种性质称为力的可传性, 由此可见, 力是滑动矢量。

应该注意, 力不能从一个刚体沿其作用线移至另一个刚体上。

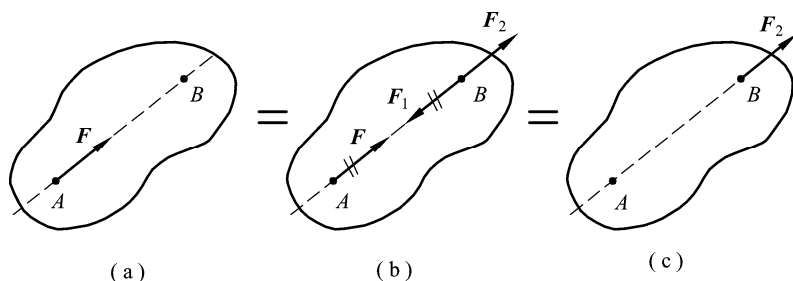


图 1.4

公理 3 力的平行四边形法则

作用于物体某一点的两个力的合力, 也作用于同一点上, 其大小和方向可由这两个力所组成的平行四边形的对角线来表示。

设有力 F_1 和 F_2 作用于刚体上的 A 点, 如图 1.5 (a) 所示, 则其合力用矢量式表示为

$$F_R = F_1 + F_2$$

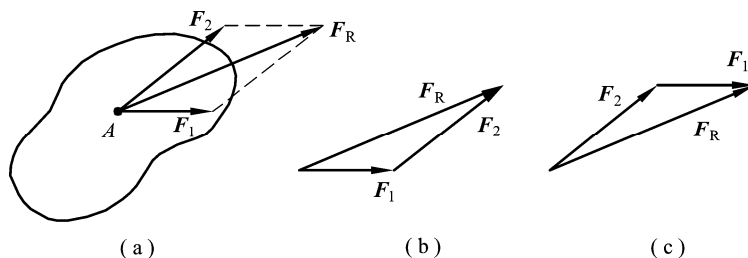


图 1.5

即合力等于两个分力的矢量和 (或几何和)。此式反映了力的方向性特征, 应区别矢量相加与数量相加的不同, 合力必须用平行四边形法则确定。

合力也可用作力三角形的方法确定, 如图 1.5 (b)、(c) 所示。力三角形的两个边分别为力 F_1 和 F_2 , 第三边即代表合力 F_R , 而合力的作用点仍在 A 点。

公理 3 是复杂力系简化的重要基础。

推论 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，则此三个力必在同一平面内，且第三个力的作用线通过汇交点。

证明：如图 1.6 所示，在刚体 A 、 B 、 C 三点上作用有互相平衡的力 F_A 、 F_B 、 F_C 。按刚体上力的可传性，将 F_A 和 F_B 移至汇交点 O ，由力的平行四边形法则求得其合力 F_R ，则力 F_C 必与 F_R 平衡。再由二力平衡条件可知，力 F_C 的作用线必与合力 F_R 的作用线重合。因此，力 F_C 的作用线也在力 F_A 和 F_B 所组成的平行四边形平面里。于是定理得证。

有时用此定理来确定第三个力作用线的方位较为方便。

公理 4 作用和反作用定律

两物体间相互作用的力总是同时存在，大小相等、方向相反、沿同一直线，分别作用于两个物体上。这个公理概括了物体间相互作用的关系，表明作用力和反作用力总是成对出现的。已知作用力就可知反作用力。

公理 4 是分析物体和物体系统时必须遵循的原则。需要强调的是，作用力和反作用力不是一对平衡力。

公理 5 刚化原理

变形体在某一力系作用下平衡，若将它刚化成刚体，其平衡状态保持不变。

这个公理提供了把变形体看作刚体模型的必要条件。也就是说，处于平衡状态的变形体，我们总可以把它视为刚体来研究；而处于平衡的刚体，变成变形体后就不一定能平衡。

当我们的研究对象里有变形体时（如柔性体约束），常常用到公理 5。

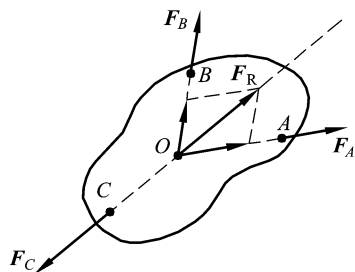


图 1.6

第三节 约束和约束力

当物体的位移在空间不受任何限制时，这个物体称为**自由体**，如飞行器。而有些物体的位移在空间受到一定限制，则称为**非自由体**。例如沿钢轨行驶的火车、转动的钟的指针、吊起的货物、机床上直线运动的车刀等。**对非自由体的位移起某些限制作用的周围物体称为约束（或约束体）**。例如钢轨对于火车、钟轴对于指针、吊车对于货物、机床对于车刀等，都是约束。

约束阻碍物体的运动，改变了物体的运动状态，因此约束必然承受物体的作用力，同时给予物体以反作用力，这种阻碍物体运动的反作用力称为**约束力**。约束力的方向必与该约束所能够阻碍的位移方向相反。应用这个准则，可以确定约束力的方位或作用线的位置。约束力属于被动力，而一些促使物体运动或有运动趋势的力称为**主动力**，如物体上受到的各种载荷（重力、风力、切削力、顶板压力等）。在静力学中，主动力一般已知，主动力和约束力组

成平衡力系，然后利用平衡条件求约束力。

下面介绍几种工程上常用的简单的约束类型和确定约束力方向的方法。

一、柔性体约束

将绳束、胶带、链条等物体忽略刚性，不计重量，视为绝对柔软，便可归类为柔性体约束。柔性体约束的特点是只能承受拉力，不能承受压力和抗弯，故它给物体的约束力也是拉力，作用在接触点，方向沿着柔软体轴线背离物体，如图 1.7 所示。符号通常用 F 或 F_T 表示。

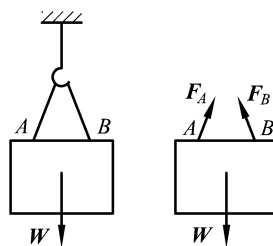


图 1.7

二、光滑接触面约束

当物体间表面的摩擦对问题的研究不起主要作用时，可认为接触表面为理想光滑，约束为光滑接触面约束。限制滑块运动的滑槽、机床中的导轨对工作台、相互啮合的一个齿轮对另一个齿轮等，当忽略摩擦时，都属于这种约束。

这类约束的特点是只能承受压力，即限制物体沿接触面公法线并向约束体内部的位移，故它给物体的约束力是压力，作用在接触点，方向沿着公法线而指向物体。约束力的符号一般用 F 或 F_N 表示，如图 1.8 中 F_{NA} 或 F_{NB} 等。

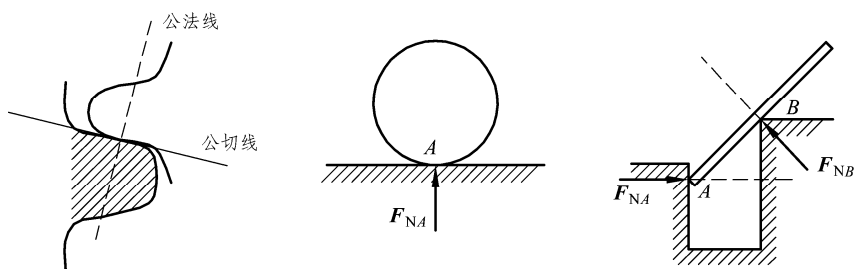


图 1.8

三、光滑铰链约束

主要介绍光滑圆柱铰链、固定铰支座、滚动支座及链杆约束。

1. 光滑圆柱铰链

光滑圆柱铰链简称铰链，由一个圆柱形销钉插入两个物体的圆孔中构成，如图 1.9 (a) 所示。其特点是可使具有同样孔径的两个构件绕销钉轴线相互转动，也可以一起移动，但不可相互脱离。在图 1.9 (b) 中，构件 A、B 绕销钉 C 轴线相互转动，共同移动；图 (c) 为曲柄连杆机构，C 处为铰链。考虑铰孔内光滑，并忽略空隙，则约束力为压力，作用在

垂直于圆柱销的平面内，过销中心，指向不定，为了方便计算，常将其分解，如图 1.9 (d) 所示。

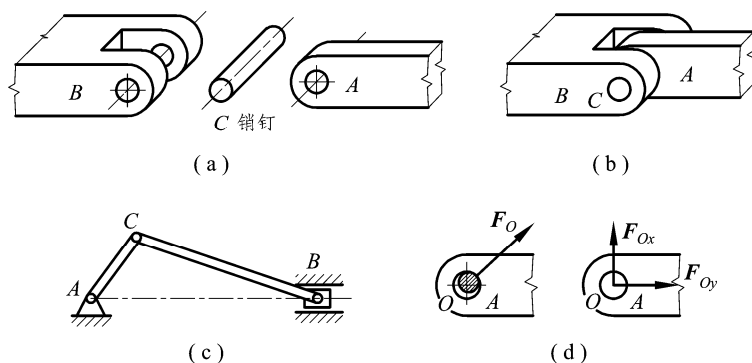


图 1.9

2. 固定铰支座

如果光滑圆柱铰链与底座连接，固定在地面或支架上，则称为固定铰链支座，简称铰支座，如图 1.10 (a)、(c) 所示。其特点是物体只能绕铰链轴线转动，不能在垂直于铰链轴线的平面内任意移动，故约束力在垂直于铰链轴线的平面内，过销钉中心，方向不定。一般情况下，可假设为正交的两个力 F_{Ax} 、 F_{Ay} ，如图 1.10 (d) 所示。

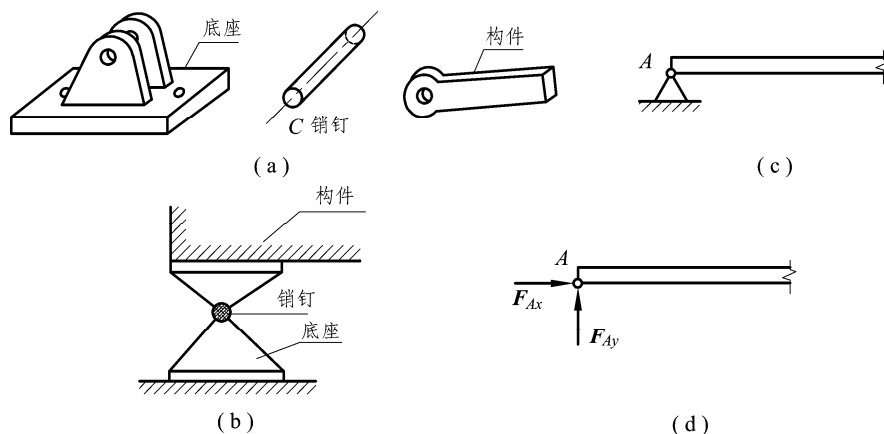


图 1.10

3. 滚动支座

在桥梁、屋架等结构中经常采用滚动支座约束。这种支座是在支座与光滑支承面之间，装了几个辊轴（滚柱），故又称辊轴支座，如图 1.11 (a) 所示，简图如图 1.11 (b) 所示。滚动支座的特点是与固定铰链支座相比，可以让构件沿支承面有微小移动，以满足构件由于温度变化而产生的热胀冷缩，故约束力在垂直于铰链轴线的平面内，过销钉中心，方位垂直于支承面，指向不定，受力图如图 1.11 (c) 所示。

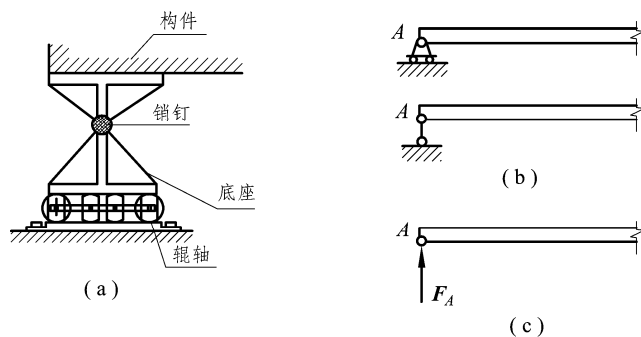


图 1.11

4. 链杆约束

链杆是指两端用光滑铰链与其他构件连接且不考虑自重的刚杆，如图 1.12 (a) 所示。链杆常用来作为拉杆或撑杆。由于只在两端受力，故为二力杆，既能受拉又能受压。约束力的作用点在铰链孔处，方位沿两端连线，指向不定，如图 1.12 (b) 所示。

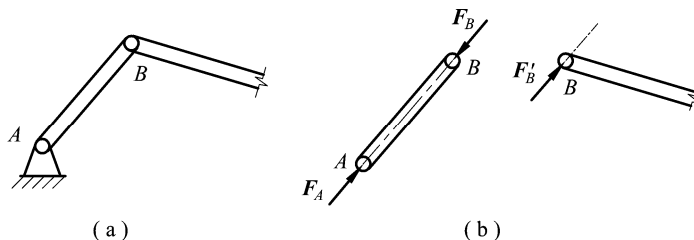


图 1.12

有时，固定铰链支座和辊轴支座用几根链杆来表示：固定铰链支座用两根不平行的链杆来表示，如图 1.13 (a) 所示；辊轴支座用一根垂直于支承面的链杆来表示，如图 1.13 (b) 所示。

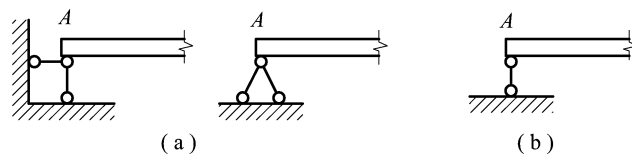


图 1.13

第四节 物体的受力分析及受力图

静力学的主要研究任务之一是求约束力，这就需要对物体进行受力分析，然后根据平衡条件求解。物体的受力分析就是确定物体受了几个力，每个力的作用位置、方向的整个分析过程。

前面已经提到, 作用于物体上的力分为主动力和约束力两类, 主动力一般已知。为了便于求出约束力, 应隔离物体画受力图, 即把需研究的对象与周围的约束体分离开来, 单独画出它的简图 (取研究对象或分离体), 然后再画上所有的力 (主动力和约束力), 这种表示物体受力的简明图示, 称为受力图。

作受力图时, 有时要根据二力平衡公理、三力平衡汇交定理等平衡条件确定某些约束力的指向或作用线的方位。作受力图应先画主动力, 后画约束力。如果研究对象是物体系统, 应该注意到内力总是成对出现, 其效应和为零, 故内力不画。

画受力图是一项基本功的训练, 不仅事关约束力是否能正确求解, 而且关系到整个平衡问题的分析、动力学问题的分析, 应引起足够的重视。

【例 1.1】 水平梁 AB 两端用铰支座和辊轴支座支承, 如图 1.14 (a) 所示, 在 C 处作用一集中载荷 P , 梁重不计, 画出 AB 的受力图。

解:

(1) 取梁 AB 为研究对象, 除去 A 、 B 处约束并画出其简图 1.14 (b)。

(2) 画主动力 P 。

(3) 画约束力。 B 端辊轴支座的约束力垂直于支承面向上, 用 F_B 表示, A 端是固定铰链支座, 约束力在这里可有两种表示: 一种是根据三力平衡汇交定理, 将 F_A 作用线汇交于另二力的汇交点 D , 得图 1.14 (c); 一种是分解为相互垂直的两个分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} , 如图 1.14 (d) 所示。

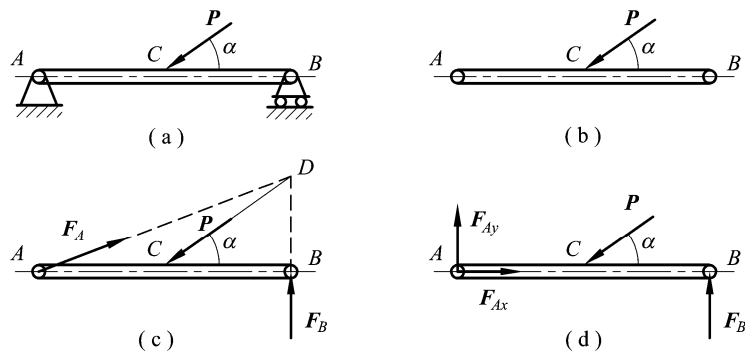


图 1.14

【例 1.2】 用力 F 拉动碾子以压平路面, 重为 P 的碾子受到一石块的阻碍, 如图 1.15 (a) 所示。不计摩擦, 试画出碾子的受力图。

解: 取碾子为研究对象, 解除其上 A 、 B 处的约束。 P 作为主动力先画出, 然后再根据光滑接触面约束的性质画上约束力 F_{NA} 、 F_{NB} , 如图 1.15 (b) 所示。

【例 1.3】 如图 1.16 (a) 所示屋架, A 处为固定铰链支座, B 处为辊轴支座, 搁在光滑的水平面上。已知屋架自重 P , 在屋架的 AC 边上承受了垂直于它的均匀分布的风力, 单位长度上承受的力为 q 。试画出屋架的受力图。

解: 先取屋架为研究对象, 把它看成一个整体, 解除其上 A 、 B 处的约束。风力载荷作为主动力先画出, 然后再根据约束的性质画上约束力, 如图 1.16 (b) 所示。

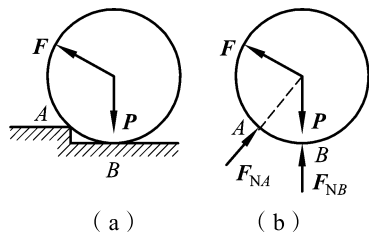


图 1.15

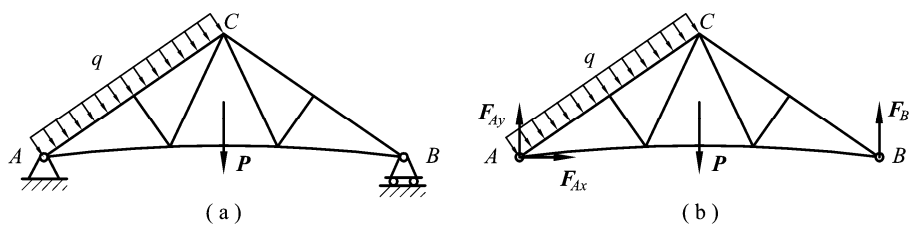


图 1.16

【例 1.4】 重为 P 的细直杆 AB 搁在台阶上，与地面上 A 、 D 两点接触，在 E 点用绳索 EF 与墙壁相连，如图 1.17 (a) 所示。略去摩擦，试作直杆的受力图。

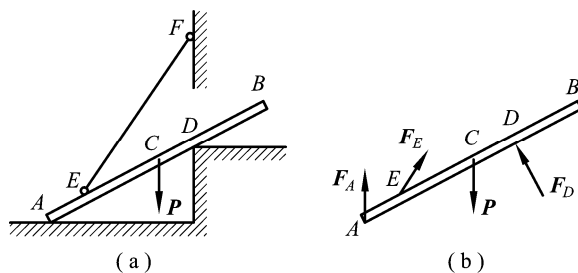


图 1.17

解：

(1) 取直杆为研究对象，除去 A 、 D 、 E 处约束。

(2) 画上主动力 P 。

(3) 根据光滑接触的约束性质，画上 A 、 D 两处约束力。约束力 F_A 和 F_D 应分别垂直于地面与直杆；绳索作用于直杆的约束力 F_E 是沿着绳索中心线的拉力，如图 1.17 (b) 所示。

【例 1.5】 如图 1.18 (a) 所示为由上弦杆 AC 、 BC 和横杆 DE 组成的简单屋架。 C 、 D 和 E 处都是铰链连接，屋架的支承情况和所荷载荷 P 、 Q 如图所示。不计各杆自重，试分别画出横杆 DE 、上弦杆 AC 和 BC 以及整个屋架的受力图。

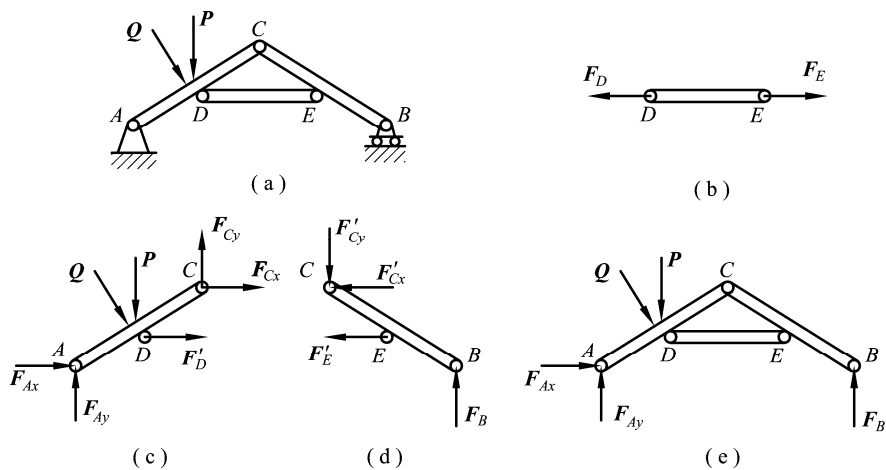


图 1.18

解：

(1) 先取横杆 DE 为研究对象，两端是铰链连接，且自重不计，是二力杆，约束力 F_D 和 F_E 作用于 D 、 E 两点，方位沿 D 、 E 两点连线，指向可任意假设，如图 1.18 (b) 所示。

(2) 取上弦杆 AC 为研究对象。先画上主动力 P 、 Q ； A 处为固定铰链支座，约束力可用 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示，指向假设如图； C 处为铰链约束，约束力的分析类似 A 点； D 点处的约束力 F'_D 与 F_D ((b) 图上) 是作用与反作用力，二者方向相反。受力图如图 1.18 (c) 所示。

(3) 取上弦杆 BC 为研究对象。 B 处为辊轴支座，约束力垂直于支承面；其他分析与 AC 杆类似。受力图如图 1.18 (d) 所示。

(4) 取整个屋架为研究对象。画简图时只去掉 A 、 B 处约束，故只画上 A 、 B 两处的约束力，注意应与上弦杆 AC 、 BC 的 A 、 B 处约束力一致。内力成对出现，不画。受力图如图 1.18 (e) 所示。

【例 1.6】 如图 1.19 (a) 所示的三铰拱桥，由左、右两拱铰接而成。设各拱自重不计，在拱 AC 上作用有载荷 P 。试分别画出 AC 和 CB 的受力图及整个三铰拱桥的受力图。

解：

(1) 先分析拱 BC 的受力。拱 BC 自重不计，只在 B 、 C 两处受铰链约束，为二力构件，故约束力 F_B 和 F_C 作用于 B 、 C 两点，方位沿 B 、 C 连线，指向假设如图 1.19 (b) 所示。

(2) 取拱 AC 为研究对象。先画上主动力 P ， C 处约束力 F'_C 与拱 BC 的 C 处约束力 F_C 是作用力和反作用力，有 $F'_C = -F_C$ 。 A 处约束力有两种表示法：一是直接表示为互相垂直的两个分量 F_{Ax} 、 F_{Ay} ，如图 1.19 (c) 所示；二是将主动力 P 和 C 处约束力 F'_C 的作用线汇交于一点 D ，根据三力平衡汇交定理，将 F_A 作用线汇交于另二力的汇交点 D ，得图 1.19 (d)。

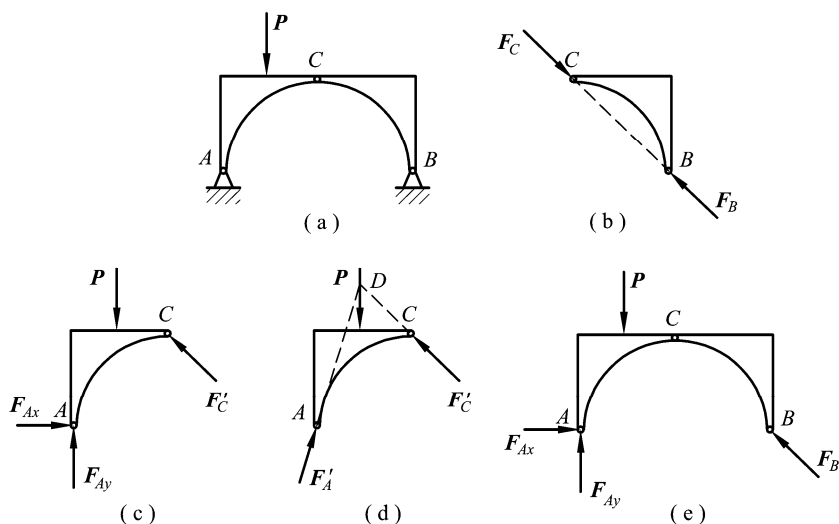


图 1.19

(3) 取整个三铰拱桥为研究对象。去掉 A 、 B 处约束画简图，再在 A 、 B 铰链处画上约束力，得图 1.19 (e) (可只取其一)。

【例 1.7】 图 1.20 (a) 所示构架， E 为铰链， B 、 D 均为铰链支座。不计各构件的重量。试画出滑轮 A 、 F (包括重物 P) 和杆 AB 、 CD 的受力图。

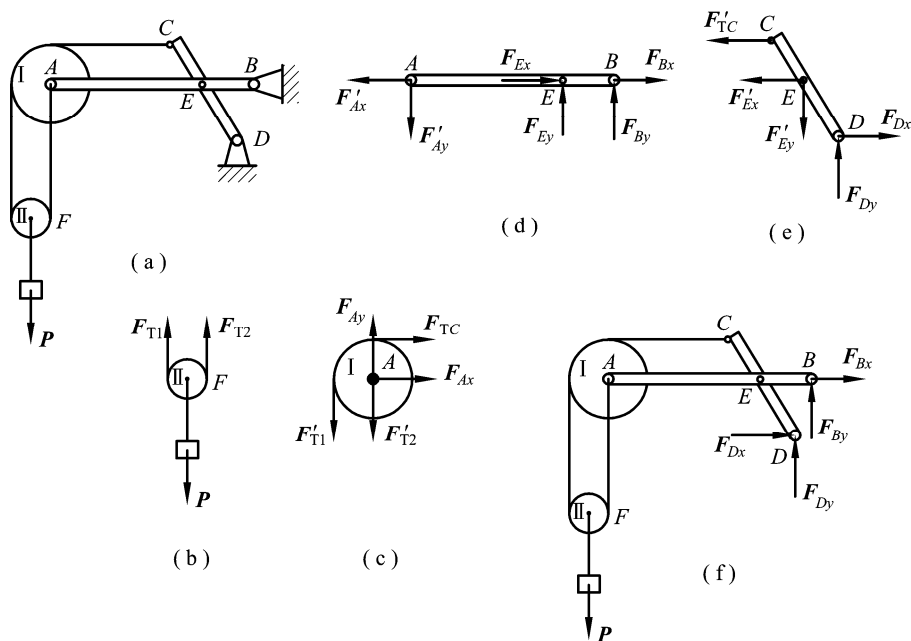


图 1.20

解：

(1) 先取滑轮 II 和重物 P 为研究对象。滑轮 II 的两边为柔性体约束，约束力作用在轮两边，为拉力 F_{T1} 、 F_{T2} ，如图 1.20 (b) 所示。

(2) 取滑轮 I (包括销钉 A) 为研究对象。滑轮 I 与销钉 A 的作用力与反作用力是内力，可不画。在销钉 A 处，将解除两种约束：一是与 AB 杆的铰链约束；二是与滑轮 II 之间的柔性体约束。代之以约束力 F'_{T1} 、 F'_{T2} 、 F_{TC} 、 F_{Ax} 、 F_{Ay} ，如图 1.20 (c) 所示。

取 AB 杆为研究对象。 E 处为铰链约束， B 处为固定铰链支座，约束力均可分解为互相垂直的分力， A 处约束力 F'_{Ax} 、 F'_{Ay} 与 F_{Ax} 、 F_{Ay} 是作用力与反作用力，即 $F_{Ax} = -F'_{Ax}$ ， $F_{Ay} = -F'_{Ay}$ ，受力图如图 1.20 (d) 所示。

(3) 取 CD 杆为研究对象。 D 处为固定铰链支座，约束力分解为 F_{Dx} 、 F_{Dy} ， E 、 C 处的约束力与 AB 杆 E 点、滑轮 A 的上端存在作用力与反作用力的关系，如图 1.20 (e) 所示。

(4) 取整体为研究对象。只需解除 B 、 D 处约束画约束力，受力图如图 1.20 (f) 所示。

由上述例题可知，画受力图的步骤可归纳如下：

(1) 明确研究对象。根据需要，研究对象可以是单个物体，也可以是几个物体组成的物体系统，研究对象不同，受力图不同。切记，在明确研究对象之后，要将其与相联系的其他物体隔离开来，解除全部约束，单独画出其简图。

(2) 在简图上先画上主动力，然后根据约束的类型及特性画上约束力。一定要明确约束力是哪个施力物体施加的，绝不可凭空产生。凡是研究对象与外界接触的地方，一定存在约束力。

(3) 分别画两个相互作用物体的受力图时，要特别注意作用力与反作用力的关系，作用力一经假设，则反作用力的方向必须与之相反；在画某一物体的受力图时，不要把它对周围物体的力画上去。如研究对象是几个物体组成的系统，则物体与物体之间的力是内力，它成对出现，组成平衡力系，故不必画出。



拓展学习 1

小 结

本章讨论了静力学的基本概念、静力学公理、约束的基本类型和物体的受力分析。

1.1 平衡、刚体、力以及约束是静力学的基本概念。

在一般工程实际中，平衡通常是指相对于地面的静止或作匀速直线运动。

刚体是指不变形的物体，它是力学中物体的一种抽象化模型。

力是物体间相互的机械作用。力对物体的作用效应有两种：运动效应和变形效应，理论力学只研究运动效应。作用于刚体的力是滑动矢量。

1.2 静力学公理是研究静力学的理论基础。在讨论物体的受力分析、力系的简化和平衡等问题时都要用到这些公理。二力平衡条件、加减平衡力系原理和力的可传性原理只适用于刚体。

1.3 约束是阻碍物体运动的周围物体。约束力的方向总是与它所能阻止的物体的运动或运动趋势方向相反。其作用点就是约束和约束物体之间的接触点。

1.4 受力图表示物体的受力情况。画受力图要隔离物体。由于主动力一般是已知的，故主要是画好约束力，弄清它的作用位置和方向。取分离体，并对其正确地进行受力分析，画出受力图，是成功地解决力学问题的关键步骤。

思 考 题

1.1 说明下列式子的意义和区别：

(1) $F_1 = F_2$ ；(2) $F_1 = F_2$ ；(3) 力 F_1 等效于力 F_2 。

1.2 区别 $F_R = F_1 + F_2$ 和 $F_R = F_1 + F_2$ 两个等式的意义。

1.3 说明二力平衡公理、加减平衡力系公理、力的可传性原理等的适用条件。

1.4 如图 1.21 所示，可否将力从 A 点沿其作用线移至 B 点？

1.5 什么叫二力构件？二力构件所受力与构件的形状有关吗？

1.6 图 1.22 中各物体的受力图是否有错误？如何改正？

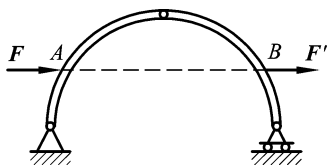


图 1.21

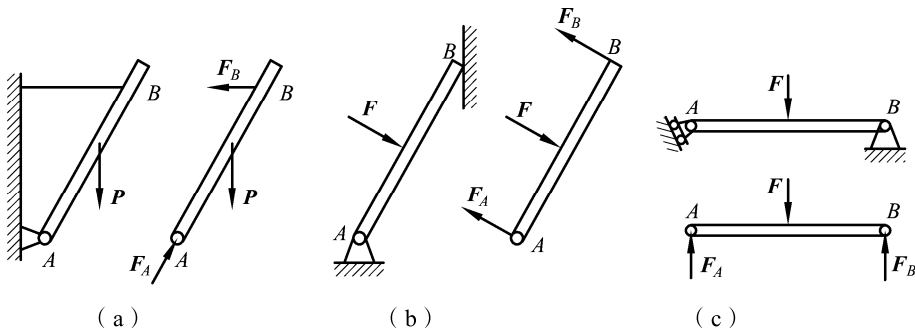


图 1.22

习 题

1.1 画出下列各图中各物体的受力图。未画重力的各物体的自重不计，假设各接触处均为光滑。

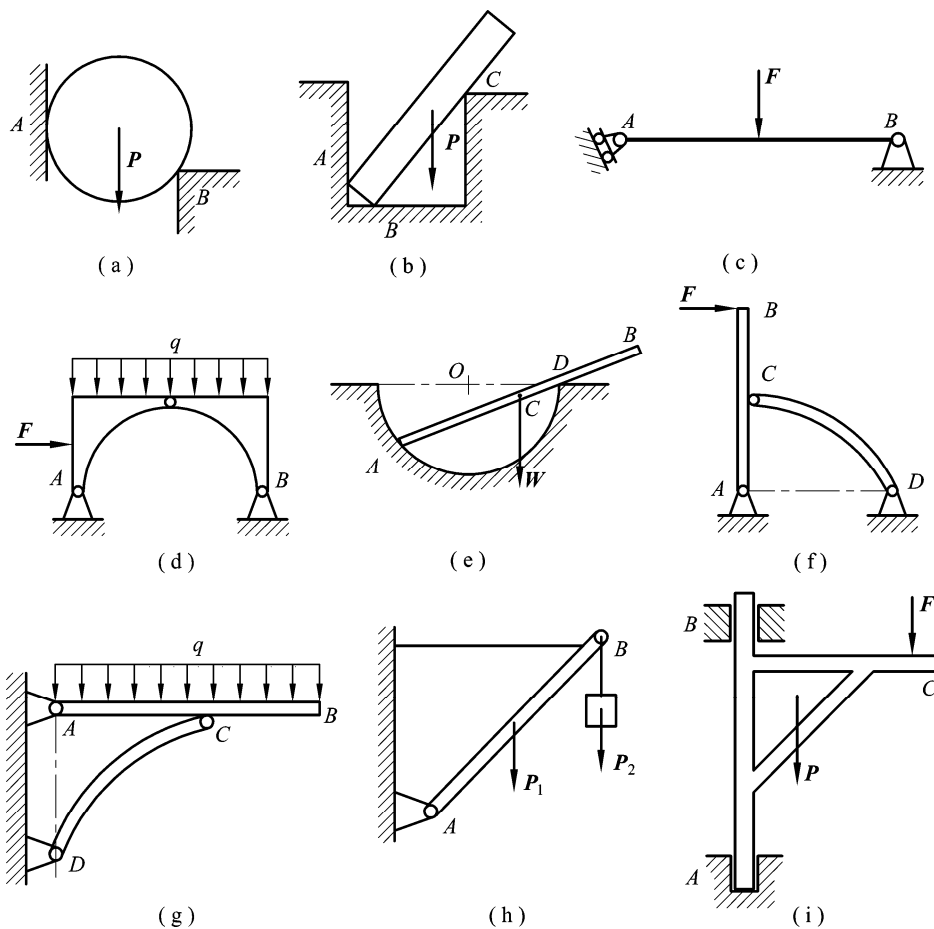
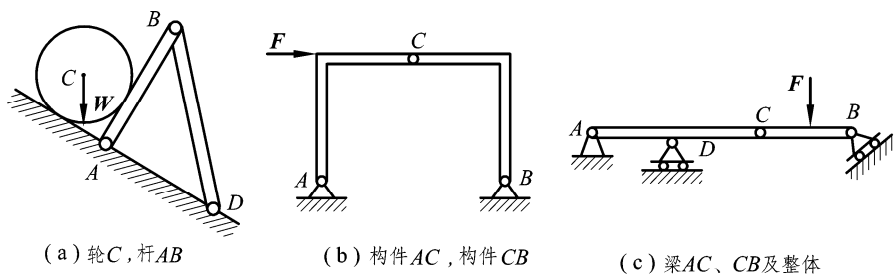


图 1.23

1.2 画出下列各物系中指定物体的受力图。题图中未画重力的各物体的自重不计，所有接触处均为光滑接触。



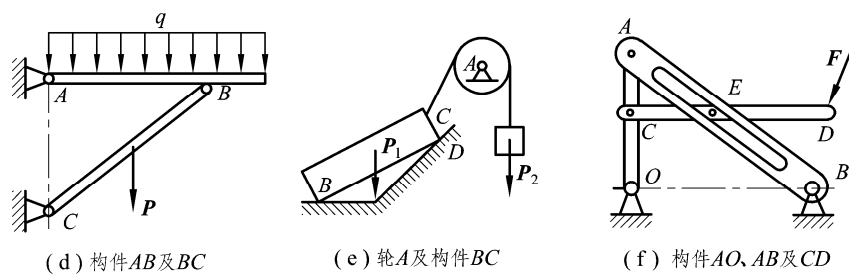


图 1.24