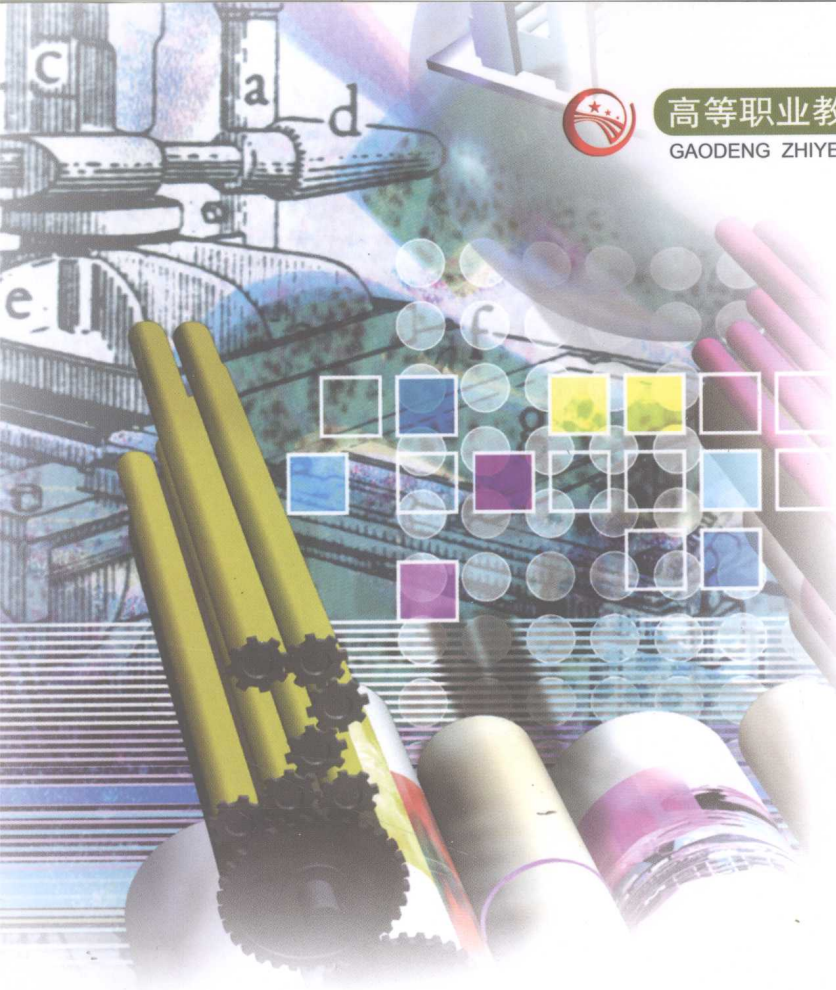




高等职业教育机电类“十一五”规划教材

GAODENG ZHIYE JIAOYU JIDIAN LEI SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI

- 主 编 张月平
- 副主编 万书文 王宏成 尹朝晖
- 主 审 何时剑

GONGCHENG LIXUE

工程力学



电子科技大学出版社

高等职业教育机电类“十一五”规划教材

工 程 力 学

主 编 张月平

副主编 万书文 王宏成 尹朝晖

主 审 何时剑

电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 张月平主编. — 成都: 电子科技大学出版社,
2009.3

高等职业教育机电类“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5647-0109-3

I. 工… II. 张… III. 工程力学—高等学校: 技术学校—
教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 024482 号

高等职业教育机电类“十一五”规划教材

工 程 力 学

主 编 张月平

副主编 万书文 王宏成 尹朝晖

主 审 何时剑

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 朱 丹

责任编辑: 辜守义

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都火炬印务有限公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 12 字数 290 千字

版 次: 2009 年 3 月第一版

印 次: 2009 年 3 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-0109-3

定 价: 25.80 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 邮购部电话: 028-83208003。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。
- ◆ 课件下载在我社主页“下载专区”。

高等职业教育机电类

“十一五”规划教材编审委员会

主任 成虹（成都电子机械高等专科学校机械系主任 国家级教学名师）

成员（以姓氏笔画为序）

任建伟（江苏信息职业技术学院机电工程系主任）

陈洪涛（国家示范性高等职业院校四川工程职业技术学院技术中心主任）

郑金（江西机电职业技术学院机电系副主任）

唐健（国家示范性高等职业院校重庆工业职业技术学院机械工程学院副院长）

童桂英（烟台大学 教授）

赖华清（国家示范性高等职业院校常州信息职业技术学院机电工程系主任）

前 言

本书是为适应高职高专教育发展的需要,参照高职高专专业人才培养目标及规格的主要精神,结合多年教学经验编写而成的,可供机械类、近机械类各专业的使用。

本书特点如下:

1. 本书在内容编写上力求“学以够用”的原则,没有过多的理论推导与繁琐的数学运算。

2. 注重工程应用,选取了许多工程中的例题和习题,以培养学生分析问题和解决实际问题的能力。

3. 本教材对传统的章节进行了优化整合,删除了运动学和动力学部分的内容。所剩整合为静力学和材料力学两部分内容。

参加本书编写的人员有淮安信息职业技术学院的张月平(第1、5、6章)、江苏财经职业技术学院郝增林(第2、4章)、江苏省淮阴商业学校苗喜荣(第3章)、江苏食品职业技术学院的杨巍巍(第2章中的第3节及绪论)、炎黄职业技术学院刘加凤(第9章)和薛成(第7、8章)。全书由张月平担任主编,万书文、王宏成、尹朝晖担任副主编,张月平负责最后统稿,何时剑主审。

由于编者水平有限,缺点在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2009年3月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 静力学

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析	2
1.1 力和力系的基本概念	2
1.1.1 刚体的概念	2
1.1.2 力的概念	2
1.1.3 力系的概念	2
1.1.4 平衡的概念	3
1.2 静力学公理	3
1.3 约束和约束反力	6
1.3.1 柔索约束	6
1.3.2 光滑接触面约束	6
1.3.3 光滑圆柱形铰链约束	7
1.3.4 固定端约束	8
1.3.5 轴承约束	9
1.4 物体的受力分析与受力图	9
小结	12
思考题	12
习题	12
第 2 章 力系	14
2.1 基本力系	14
2.1.1 力的投影和力的分解	14
2.1.2 平面汇交力系的合成与平衡	15
2.1.3 力矩	19
2.1.4 力偶及力偶系的合成与平衡	21
2.2 平面任意力系	24
2.2.1 平面任意力系的简化	24
2.2.2 平面任意力系的平衡方程及其应用	27
2.3 空间任意力系	33
2.3.1 力的投影和力对轴之矩	33

2.3.2 空间力系的平衡方程	34
2.4 考虑摩擦时的平衡问题	38
小结	44
思考题	45
习题	46

第二篇 材料力学

第3章 轴向拉伸与压缩	52
3.1 材料力学的基本概念	52
3.1.1 材料力学的任务	52
3.1.2 变形固体的基本假设	52
3.1.3 杆件变形的基本形式	53
3.2 轴向拉(压)的工程实例与力学模型	54
3.3 轴向拉(压)的内力	55
3.3.1 内力与截面法	55
3.3.2 轴力与轴力图	55
3.4 拉(压)杆的应力和变形计算	58
3.4.1 应力概念及应力的计算	58
3.4.2 拉(压)杆的变形及计算	61
3.5 材料拉伸和压缩时的力学性能	64
3.5.1 低碳钢被拉伸时的力学性能	64
3.5.2 低碳钢压缩时的力学性能	66
3.5.3 其他塑性材料拉伸时的力学性能	67
3.5.4 铸铁拉(压)时的力学性能	67
3.6 拉(压)杆的强度计算	68
3.6.1 极限应力 许用应力和安全系数	68
3.6.2 强度计算	69
小结	71
思考题	72
习题	72
第4章 剪切与挤压	75
4.1 剪切与挤压的工程实例及力学模型	75
4.1.1 剪切的概念	75
4.1.2 挤压的概念	76
4.2 剪切和挤压的实用计算	76
4.2.1 剪切的实用计算	76
4.2.2 挤压的实用计算	77

小结	79
思考题	80
习题	80
第 5 章 扭转变形	83
5.1 圆轴扭转的工程实例及力学模型	83
5.2 扭矩与扭矩图	84
5.2.1 外力偶矩的计算	84
5.2.2 扭矩与扭矩图	84
5.3 圆轴扭转时其应力和强度计算	87
5.3.1 圆轴扭转时横截面上的应力	87
5.3.2 极惯性矩和抗扭截面系数的计算	91
5.3.3 圆轴扭转时的强度计算	93
5.4 圆轴扭转时的变形和刚度计算	94
5.4.1 圆轴扭转时的变形计算	94
5.4.2 圆轴扭转时刚度计算	95
小结	97
思考题	98
习题	98
第 6 章 弯曲变形	101
6.1 平面弯曲的工程实例与力学模型	101
6.1.1 弯曲变形的概念	101
6.1.2 梁的计算简图及分类	102
6.2 梁弯曲时的内力——剪力与弯矩	103
6.3 剪力方程和弯矩方程、剪力图与弯矩图	106
6.4 剪力、弯矩和载荷集度之间的关系	110
6.4.1 剪力、弯矩与载荷集度间的微分关系	110
6.4.2 Q 、 M 、 q 间微分关系在绘制剪力、弯矩图中的应用	111
6.5 梁的应力和强度计算	114
6.5.1 梁的纯弯曲	114
6.5.2 纯弯曲时梁横截面上的正应力	115
6.5.3 常见截面的惯性矩、抗弯截面系数	117
6.5.4 横力弯曲时梁的正应力计算	121
6.6 对称弯曲切应力简介	123
6.7 梁的强度条件及其应用	124
6.7.1 弯曲强度条件	124
6.7.2 强度条件的应用	125
6.8 提高梁的弯曲强度和刚度的措施	127

6.8.1 选择合适的截面形状	127
6.8.2 采用变截面梁或等强度梁	128
6.8.3 改善梁的受力状况	128
小结	129
思考题	130
习题	131
第 7 章 应力状态和强度理论	135
7.1 应力状态的概念	135
7.2 强度理论	136
7.2.1 材料的破坏方式	136
7.2.2 无裂纹失效的脆性断裂理论	136
7.2.3 塑性流动理论	137
小结	139
思考题	139
习题	140
第 8 章 组合变形	141
8.1 拉伸(压缩)与弯曲组合变形	141
8.1.1 外力分析	141
8.1.2 内力分析	141
8.1.3 应力分析	142
8.1.4 强度计算	142
8.2 弯曲与扭转组合变形	144
8.2.1 外力分析	146
8.2.2 内力分析	146
8.2.3 应力分析	146
8.2.4 强度计算	146
小结	149
思考题	149
习题	150
第 9 章 压杆稳定	153
9.1 压杆稳定的工程实例与力学模型	153
9.1.1 工程实例	153
9.1.2 力学模型	153
9.2 压杆稳定的概念	153
9.2.1 压杆失稳的概念	153
9.2.2 平衡状态的稳定性	154

9.3 压杆的临界应力	154
9.3.1 临界力	154
9.3.2 临界应力	156
9.3.3 欧拉公式的适用范围	157
9.3.4 直线经验公式	158
9.3.5 临界应力总图	159
9.4 压杆的稳定计算	160
9.5 提高压杆稳定性的措施	161
小结	162
思考题	162
习题	162
参考答案	164
附录 C 型钢表	168

绪 论

一、工程力学是人们“安全够用、造价低廉”的要求和愿望的产物

在人类社会的发展进程中，一种最基本的要求和愿望支配着人类的社会活动和生产活动，这就是要求使用的生产工具、制造的工程机械、建造的工程结构，既要安全够用又要造价低廉。所谓安全够用，是指在服务年限内不会轻易损坏；所谓造价低廉，是指所用的材料易于得到，用量少，工程易于建造，生产成本低。

无论是人类社会早期使用的简单工具和搭建的简陋窝棚，还是人类社会今天发射的宇宙飞船和摩天大厦等等，都是以满足人们的这种要求和愿望而建造的。

“安全够用，造价低廉”的要求和愿望发展了力学的基本概念和基本理论。力学的基本理论又指导人们对此种要求和愿望实现了最大限度的满足，这种由愿望到实现永无休止的循环，发展和完善了力学的理论体系和研究方法。

二、工程力学是研究工程中简单构件受力、运动、变形和破坏规律的科学

工程力学内容极其广泛，包括地震工程、核反应堆结构力学、土壤力学、建筑力学、机械工程力学、冲击与振动力学，本书所讲述的是工程力学中最基础的内容，它包含静力学和材料力学两部分。

工程力学的研究对象不是某一台完整的机器或建筑物，而是简单的工程构件。所谓构件，是指组成机械和工程结构的零部件。构件的破坏是由力引起的。所以，工程力学从研究构件的受力分析开始，研究构件的运动规律以及构件的变形和破坏规律，为工程构件的设计和制造提供了可靠的理论依据和实用计算方法。也就是说，工程力学既研究工程构件机械运动的一般规律，又研究构件的强度、刚度和稳定性等内容。

三、学习工程力学的目的和作用

工程力学的基本理论和基本方法被广泛应用于各类工程技术中，机械、建筑、冶金、煤炭、石油、化工以及航空、航天等领域都要应用到工程力学的知识，它是工程技术的重要基础课。

工程力学研究工程构件最普通、最基本的受力、变形、破坏以及运动规律，为工科专业的后续课程，如机械原理、机械设计等技术基础课和一些专业课的学习，打下必要的基础。

工程力学由实践——抽象化——推理——结论的研究方法，有利于培养观察问题的能力和辩证唯物主义的观点，有利于培养创新思维和创新精神，提高分析问题和解决问题的能力。

四、本教材的主要内容

本教材以突出工程构件来简化力学的系统理论，以突出工程应用性来改进力学课程的教学，大体由静力学和材料力学两部分组成。静力学讨论构件的静力分析和平衡方程的应用，其中对如何建立工程构件的力学模型、如何简化约束模型、如何简化载荷做了必要的讨论。材料力学主要研究工程构件的变形和破坏规律，着重讨论了杆件的强度、刚度及稳定性的计算，并介绍了四个强度理论。

第一篇 静 力 学

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学,重点解决刚体在平衡条件下如何求解未知力的问题。静力学理论是从生产实践中发展起来的,是机械零件或机构承载计算的基础,在工程技术中有着广泛的应用。

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析

本章重点介绍静力学的基本概念、静力学公理、常见约束类型和约束反力以及物体的受力分析。

1.1 力和力系的基本概念

1.1.1 刚体的概念

在本篇中所指的物体都是刚体。所谓刚体是指在力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。这是一个理想化的力学模型。事实上,任何物体受力后都会或多或少地发生变形,因此,实际上宇宙中并不存在绝对意义上的刚体。但是,对那些在运动中变形极小,或虽有变形但不影响其整体运动的物体,忽略其变形,对所研究的结果不仅没有显著影响,而且可以使问题更加简化。这时,该物体可抽象为刚体。

1.1.2 力的概念

力是指物体间相互的机械作用。这种作用使物体的机械运动状态发生变化或形状发生改变。前者称为力的运动效应(又称外效应),后者称为形变效应(又称内效应)。力对物体的效应取决于力的大小、方向、作用点三个要素,这三个要素中只要其中的一个发生变化,力的作用效应就发生变化。因此力应以矢量表示,在本书中用黑体字 F 表示力矢量(如图 1-1 所示)。在工程力学中采用国际单位制(SI),力的单位是牛顿,用 N 表示,或千牛顿,用 kN 表示,简称千牛。

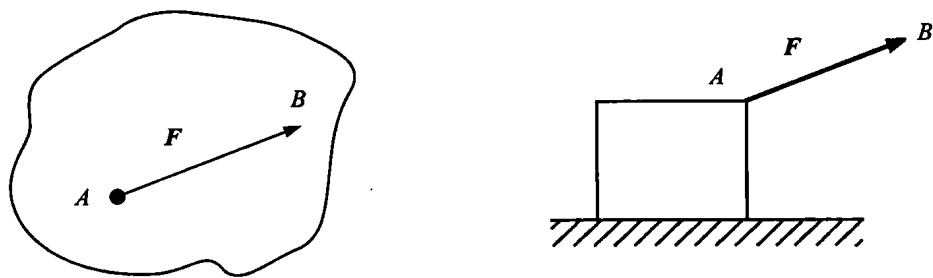


图 1-1

1.1.3 力系的概念

力系是指作用在物体上的一群力。作用线都在同一平面内的力系叫做平面力系;作用线

不完全在同一平面内的力系叫做空间力系；作用线都汇交于一点的力系叫做汇交力系；作用线都相互平行的力系叫做平行力系；作用线既不汇交于一点，又不相互平行的力系叫做一般力系。

1.1.4 平衡的概念

平衡是指物体相对于惯性参考系处于静止或作匀速直线运动的状态。它是机械运动的特殊形式。在工程中，通常把固连于地球的参考系作为惯性参考系，用此参考系在研究物体相对于地球的平衡问题，所得结果能很好地与实际情况相符合。

力系的平衡条件在工程中有着十分重要的意义，它是设计工程机构、构件和机械零件静力计算的基础。

1.2 静力学公理

公理是人们在生活和生产实践中长期积累的经验总结，又经过实践反复检验，被确认是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。静力学公理是静力学理论基础，是后续的物体受力分析的理论依据。

公理一 二力平衡公理

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：这两个力的大小相等，方向相反，作用在一条直线上。简述为等值、反向、共线。

如图 1-2 所示，一置于水平面上的物体，受到重力 G 和水平面的反作用力 F_N 作用而处于平衡状态，这两个力必等值、反向、共线。

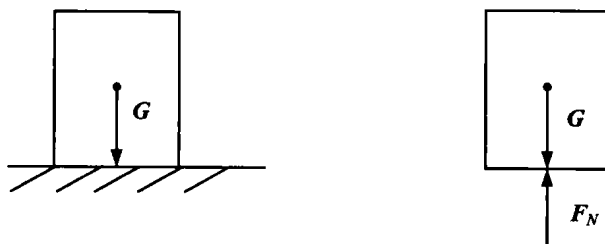


图 1-2

二力构件 工程上，把只受两个力作用而处于平衡状态的物体，称为二力构件（又称二力杆）。根据二力平衡条件可知，二力构件不论形状如何，其所受的两个力的作用线，必沿这两个力作用点的连线，如图 1-3 所示。这一性质在分析物体受力时极为有用，它通常是物体受力分析的突破口。

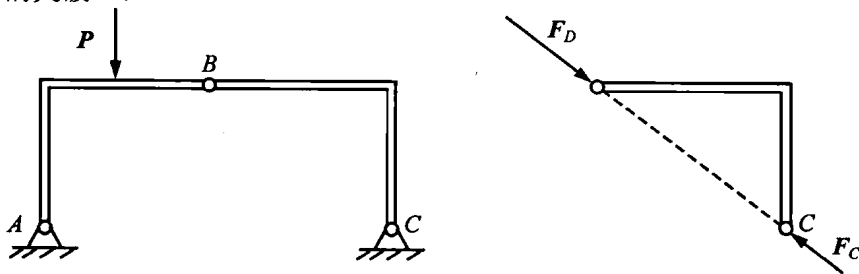


图 1-3 二力平衡构件

公理二 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力作用于该点，合力的大小和方向是该两力为邻边构成的平行四边形的对角线。如图 1-4 (a) 所示， F_R 是 F_1 、 F_2 的合力。

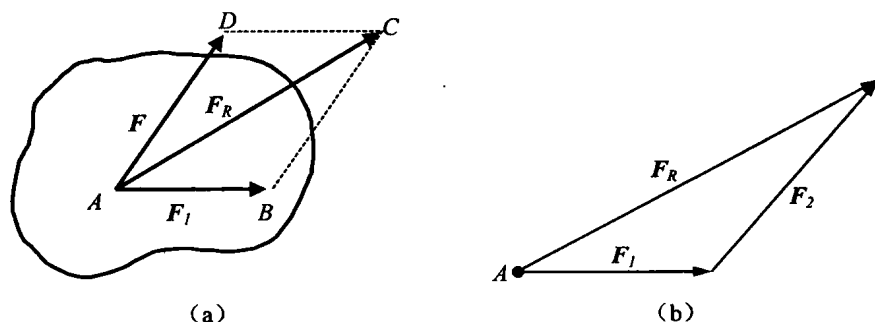


图 1-4

力的平行四边形公理符合矢量加法法则，即：

$$F_R = F_1 + F_2$$

力的平行四边形也可演变成为三角形，它能更简便地确定合力的大小和方向，如图 1-4 (b) 所示，而合力作用点仍在汇交点 A。

如图 1-5 (a) 所示，若作用于物体上有四个力，并且这四个力汇交于 O 点，我们同样可以用力的三角形作图，如图 1-5 (b) 所示：先将 F_1 、 F_2 合成为 ac ，然后将 ac 与 F_3 再合成为 ad ，再将 ad 与 F_4 合成为 ae ，即合力 F_R 。如果我们将合成过程中的力 ac 和 ad 去掉，则合成图变成了力的多边形图。力多边形法则：各分力矢依一定次序首尾相接，形成一力矢折线链，合力矢是封闭边，合力矢的方向是从第一个力矢的起点指向最后一个力矢的终点。若力的多边形自行封闭，则该力系的合力为零。

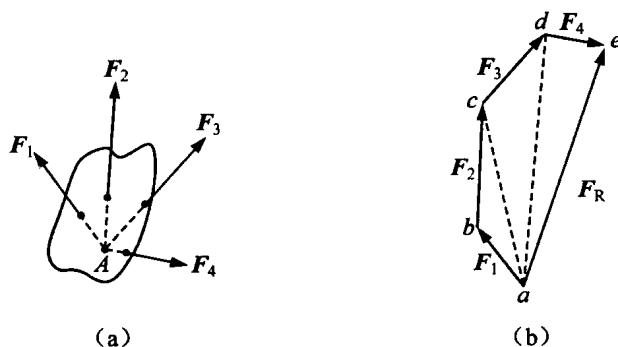


图 1-5 力的多边形

这个公理表明了最简单力系（平面汇交力系）的简化规律，它是复杂力系简化的常用方法。

公理三 加减平衡力系公理

在一个已知的力系上加上或减去任意个平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效应。

这个公理是研究力系等效替换的重要依据。但必须注意，此公理只适用于刚体而不适用于变形体。

由上述公理可以推导出如下重要推论：

推论 1 力的可传性

作用在刚体上某点的力，可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点，并不改变该力对刚体的作用效应。

如图 1-6 (a) 所示的刚体，在 A 点受力 F 作用，若在力 F 的作用线上任一点 B 加上一平衡力系 F_1 、 F_2 ，且使 $F=F_2=-F_1$ ，如图 1-6 (b) 所示，则 F 与 F_1 又构成一平衡力系，将此力系去掉后，可得到作用于 B 点的力 F_2 ，如图 1-6 (c) 所示。于是，原作用于 A 点的力 F 沿其作用线移到 B 点。

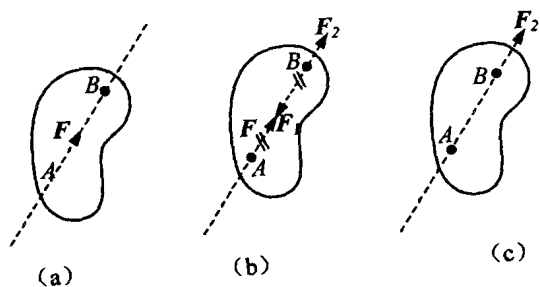


图 1-6

根据力的可传性，力对刚体的效应与力的作用点无关。因此，对于刚体来说，力的三要素是力的大小、方向和作用线的位置。在这种情况下，力矢可沿其作用线任意滑动，从而力矢又称滑动矢量。

推论 2 三力平衡汇交定理

刚体若在互不平行的三个力的作用下处于平衡状态，则这三个力必共面且汇交于一点。因此若已知三力平衡构件上的两个力的作用线，由此可以确定另外一个力的作用线。

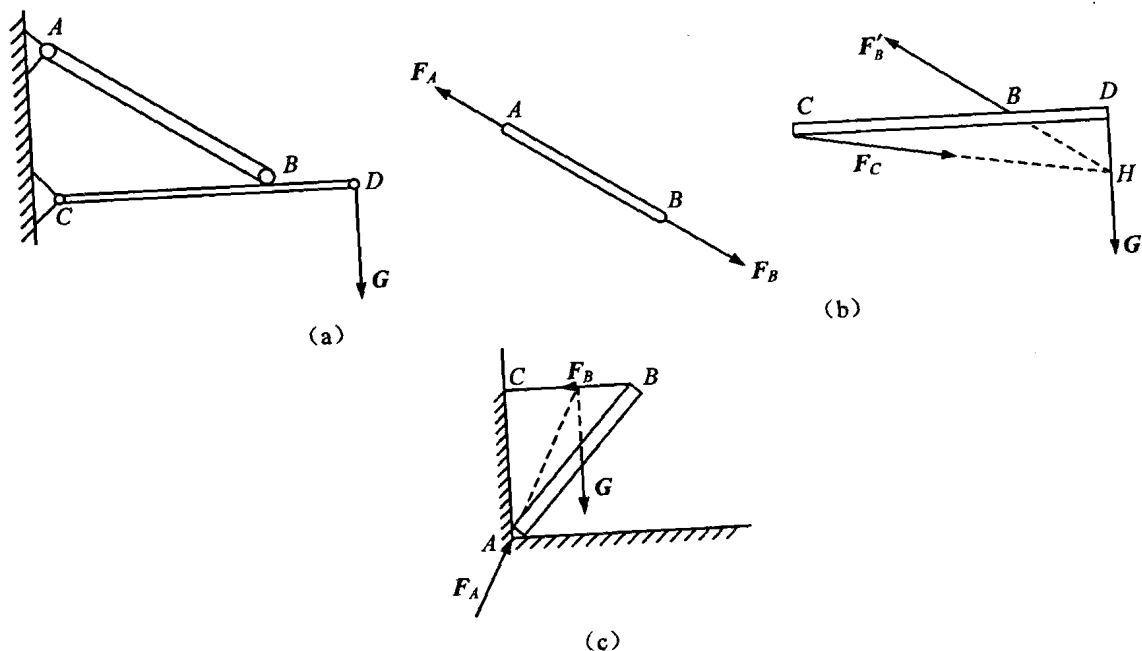


图 1-7 三力汇交

如图 1-7 (a) 所示中的构件 CD ，在 C 、 B 、 D 三点分别受力作用处于平衡状态， C 点

的力 F_c 必过 B 、 D 两点作用力的交点 H ，其受力图如图 1-7 (b) 所示。再如图 1-7 (c) 所示的杆件 AB ， A 端靠在墙角， B 端用绳 BC 系住， A 端受到的墙角的作用力 F_N 必过 G 和 F_T 的交点。

公理四 作用与反作用公理

两个物体间的相互作用的一对力，总是大小相等、方向相反、作用线在同一条直线上，并分别作用在两个物体上。这两个力互称为作用力和反作用力。

1.3 约束和约束反力

在空间可以自由运动、其位移不受任何限制的物体称为自由体。如发射出去的火箭。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，在钢轨上行驶的火车，安装在轴承中的转轴，吊在房顶上的吊扇等，都是非自由体。对物体的某些方向的位移起限制作用的周围物体称为约束。如钢轨是火车的约束，轴承是转轴的约束等。当物体沿着所限制的方向有运动或运动趋势时，约束对物体必然有力的作用，该作用力称为约束反作用力，简称为反力。因此约束反力的方向总是与它所限制的非自由体的运动或运动趋势的方向相反。

约束反力以外的其他力称为主动力。它是使物体产生运动或运动趋势的力。如重力总使物体有下落的趋势，风力总是有吹动物体运动的趋势等。

在一般情况下约束反力是由主动力的作用引起的，因此，它又是一种被动力。静力分析的重要任务之一就是根据主动力确定未知约束反力。

工程中约束的类型很多，下面介绍几种工程中常见的约束类型。

1.3.1 柔索约束

柔索约束是指约束是绳索或胶带或链条等柔性物体。这类约束的性质决定了它只能承受拉力，而不能承受压力，所以这类物体的约束反力也只能是拉力。因此柔索的约束反力作用在柔索与物体的接触点，其方向沿着柔索收缩的方向。通常用 F_T 表示这类约束反力。

如图 1-8 (a) 所示为一根绳索吊一重物。根据柔索反力的特点，可知柔索作用于重物的约束反力是沿绳索的拉力 F ，它和绳子所受到的物体的拉力 F' 之间是一对作用力和反作用力关系。

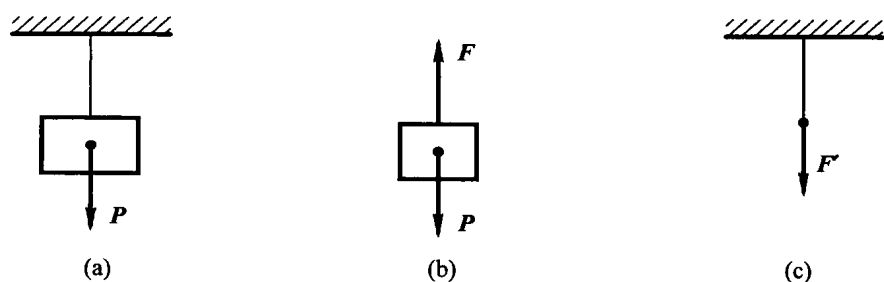


图 1-8 柔索约束

1.3.2 光滑接触面约束

若两接触面之间的摩擦很小，可以忽略不计的话，则可以认为接触面是光滑的。光滑接

触面对被约束物体在过接触点的切面内任意方向的位移不加限制,同时也不限制物体沿接触点处的公法线方向脱离接触面。因此光滑接触面的约束反力必通过接触点,方向沿着接触面在该点的公法线上,指向被约束物体内部,即必为压力。

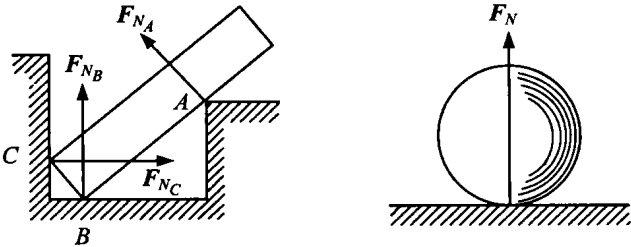


图 1-9 光滑接触面约束

1.3.3 光滑圆柱形铰链约束

两物体分别被钻上直径相同的圆孔并用销钉连接起来,不计销钉与销孔之间的摩擦,这类约束称为光滑圆柱形铰链约束。如图 1-10 (a)、(c) 所示机构中的连接,这种连接限制了杆在垂直于销钉轴线的平面内做直线运动,但并不能限制它两绕着圆孔中心做转动。因此约束反力沿圆柱面在接触点的公法线方向,并通过铰链中心,如图 1-10 (d) 所示。但接触点的位置与被约束构件受力情况和运动情况有关,因为它不能预先确定,所以,约束反力也不能预先确定,通常用通过铰链中心的两个相互垂直的分力来表示,如图 1-10 (b)、(e) 所示。

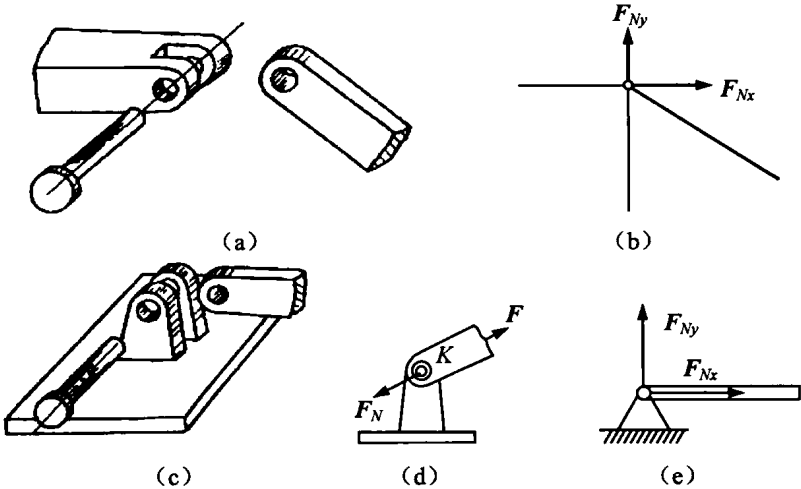


图 1-10 光滑圆柱铰链约束

光滑铰链有以下不同的机构。

1. 固定铰支座 若把圆柱销联结的两构件中的一个固定起来,称为固定铰支座,如图 1-11 (a) 所示,它约束限制了构件沿销孔端的随意移动,不限制构件绕圆柱销这一点的转动。
2. 中间铰链 将两个可动构件用圆柱铰链连接在一起称为中间铰链,其约束反力一般也用两个正交分量表示,如图 1-12 所示。