

Architectural Mechanics

普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）

建筑力学



乔淑玲 编

韩志军 主审



中国电力出版社

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

“一五”规划教材（高职高专教育）

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIYIWU
GUIHUA JIAOCAI

建筑力学

乔淑玲 编
韩志军 主审



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）。

本书包括静力学、材料力学、结构力学三部分，共二十三章。第一部分静力学包括静力学基础、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面一般力系和空间力系；第二部分材料力学包括材料力学的基本概念、轴向拉伸和压缩、连接件的强度计算、平面图形的几何性质、扭转、平面弯曲、平面弯曲梁的应力及强度计算、梁的弯曲变形、梁的主应力、组合变形、压杆的稳定性；第三部分结构力学包括平面杆系结构的计算简图、平面杆件结构的几何组成分析、静定结构的内力分析、静定结构的位移计算、力法、位移法和力矩分配法。

本书精心编排建筑力学基础知识，摒弃了繁复的理论推算，重视建筑力学的应用与实践，全书内容简明扼要，通俗易懂，体现了高职教育教学的特点。本书配套制作了课件，采用 flash 软件编制，生动、形象地反映结构的受力、变形和破坏情况，操作简单、方便。

本书可作为高职高专建筑工程技术、道路与桥梁工程、水利工程、建筑工程项目管理等专业的教材，也可供广大自学者及相关专业工程技术人员的参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

建筑力学/乔淑玲编. —北京：中国电力出版社，2010.1
普通高等教育“十一五”规划教材. 高职高专教育
ISBN 978-7-5083-9714-6

I. ①建… II. ①乔… III. ①建筑力学—高等学校：技术
学校—教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 205403 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 2 月第一版 2010 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.5 印张 546 千字

定价 36.00 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。本书为新编教材。

本书是按照高职高专人才的培养目标和教育特点，结合编者多年教学改革的实践经验编写的。

本书体现高等职业教育教学改革的特点，以必要和够用为准则，突出针对性、适用性和实用性，书中结合工程实际优选例题、思考题和习题；汲取有关教材的长处，结合编者的教学经验进行编写；加强基础、重视应用、强化实践；内容简明扼要、通俗易懂；配有一套 flash 课件，课件制作既具有教育性，又具备科学性与艺术性，不仅为教师提供方便，更能生动、形象地反映结构的受力、变形和破坏情况，使建筑力学课程在内容、形式与特色上达到一个崭新的高度。

本书总时数为 150 学时左右，各院校可根据实际情况酌情取舍。

本书由太原理工大学理学院韩志军教授主审。

在本书的编写过程中，参考了部分相同学科教材和资料，在此对作者表示衷心感谢！

鉴于编者水平有限，本书难免有不足之处，敬请读者批评指正。

编者

2009 年 8 月

目 录

前言

绪论..... 1

第一部分 静力学

第一章 静力学基础..... 4

第一节 静力学基本概念..... 4

第二节 静力学公理..... 5

第三节 约束与约束反力..... 9

第四节 物体的受力分析和受力图..... 14

思考题..... 17

习题..... 18

第二章 平面汇交力系..... 20

第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法..... 20

第二节 平面汇交力系合成与平衡的解析法..... 23

思考题..... 29

习题..... 29

第三章 力矩与平面力偶系..... 31

第一节 力矩及其计算..... 31

第二节 力偶..... 33

第三节 平面力偶系的合成与平衡..... 35

思考题..... 36

习题..... 37

第四章 平面一般力系..... 39

第一节 平面一般力系的简化..... 39

第二节 平面一般力系的合成..... 42

第三节 平面一般力系的平衡问题..... 46

第四节 平面平行力系的平衡问题..... 49

第五节 物体系统的平衡问题..... 51

第六节 考虑摩擦时物体的平衡问题..... 54

思考题..... 59

习题..... 60

第五章 空间力系..... 64

第一节 力在空间直角坐标轴上的投影及分解..... 64

第二节 力对轴之矩..... 66

第三节 空间力系的平衡方程	67
第四节 重心	68
思考题	73
习题	73

第二部分 材料力学

第六章 材料力学的基本概念	75
第一节 变形固体的基本假设	75
第二节 杆件变形的基本形式	75
第三节 内力·应力	76
思考题	77
第七章 轴向拉伸和压缩	78
第一节 轴向拉伸和压缩的概念	78
第二节 轴向拉(压)杆的内力	78
第三节 轴向拉(压)杆横截面上的应力	80
第四节 轴向拉(压)杆的变形·胡克定理	81
第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	84
第六节 拉(压)杆的强度条件及应用	87
第七节 应力集中的概念	89
思考题	89
习题	90
第八章 连接件的强度计算	92
第一节 剪切和剪切强度计算	92
第二节 挤压及挤压强度计算	93
第三节 切应力互等定理·剪切胡克定律	95
思考题	96
习题	97
第九章 平面图形的几何性质	98
第一节 静矩	98
第二节 惯性矩·惯性半径	99
第三节 极惯性矩·惯性积	103
第四节 形心主惯性轴和形心主惯性矩	104
思考题	104
习题	105
第十章 扭转	107
第一节 扭转的概念	107
第二节 圆轴扭转时横截面上的内力	107
第三节 等直圆轴扭转时横截面上的应力	110

第四节	等直圆轴扭转时的强度计算	113
第五节	等直圆轴扭转变形及刚度计算	114
第六节	矩形截面杆的扭转	116
思考题		118
习题		119
第十一章	平面弯曲	122
第一节	平面弯曲的概念	122
第二节	梁平面弯曲时的内力	123
第三节	梁的内力图	127
第四节	剪力、弯矩和分布荷载间的微分关系	130
第五节	用叠加法画弯矩图	134
思考题		138
习题		140
第十二章	平面弯曲梁的应力及强度计算	143
第一节	梁弯曲时的正应力及其正应力强度计算	143
第二节	梁的切应力及切应力强度计算	149
第三节	提高梁弯曲强度的措施	155
思考题		157
习题		158
第十三章	梁的弯曲变形	160
第一节	弯曲变形的概念	160
第二节	用积分法计算梁的变形	161
第三节	用叠加法计算梁的变形	164
第四节	梁的刚度校核及提高梁弯曲刚度的措施	167
思考题		170
习题		171
第十四章	梁的主应力	172
第一节	点的应力状态	172
第二节	平面应力状态的分析	174
第三节	主应力强度条件	178
思考题		181
习题		181
第十五章	组合变形	183
第一节	组合变形的概念	183
第二节	斜弯曲	183
第三节	拉伸(或压缩)与弯曲的组合变形	186
第四节	偏心压缩(拉伸)	189
第五节	弯曲与扭转的组合变形	193
思考题		196

习题	196
第十六章 压杆的稳定性	198
第一节 压杆稳定性的概念	198
第二节 压杆临界力的计算	199
第三节 压杆的稳定计算——折减系数法	203
第四节 提高压杆稳定性的措施	212
思考题	212
习题	214

第三部分 结构力学

第十七章 平面杆系结构的计算简图	215
第十八章 平面杆件结构的几何组成分析	218
第一节 几何组成分析的目的	218
第二节 几何组成分析的几个概念	218
第三节 几何不变体系的简单组成规则	221
第四节 平面体系的几何组成分析举例	223
第五节 静定结构与超静定结构	225
思考题	226
习题	226
第十九章 静定结构的内力分析	228
第一节 多跨静定梁的内力分析	228
第二节 静定平面刚架	230
第三节 静定平面桁架	238
第四节 桁梁组合结构	244
第五节 三铰拱	246
思考题	251
习题	252
第二十章 静定结构的位移计算	256
第一节 结构位移及位移计算的目的	256
第二节 变形体的虚功原理	256
第三节 静定结构在荷载作用下的位移计算	258
第四节 图乘法计算位移	263
第五节 支座移动和温度改变引起的位移计算	268
第六节 互等定理	271
思考题	273
习题	273
第二十一章 力法	276
第一节 力法的基本概念	276

第二节	力法典型方程	280
第三节	力法的应用	281
*第四节	对称性的利用	288
*第五节	支座移动和温度改变时超静定结构的内力计算	293
第六节	超静定结构的位移计算	297
第七节	超静定结构内力图的校核	298
第八节	超静定结构与静定结构的比较	300
思考题		301
习题		301
第二十二章	位移法	305
第一节	位移法的基本概念	305
第二节	计算连续梁和无结点线位移刚架的内力	312
第三节	计算有结点线位移刚架的内力	316
*第四节	对称性的利用	317
思考题		319
习题		319
第二十三章	力矩分配法	321
第一节	力矩分配法的基本要素	321
第二节	力矩分配法的基本思路	323
第三节	力矩分配法的应用	324
思考题		333
习题		333
附录	型钢规格表	336
参考文献		349

绪 论

在科技发展的今天,建筑物标志着一个国家的繁荣程度。一栋高耸而复杂的建筑物,在建造之前,设计人员要对其整体及组成的各部分一一进行受力和计算,确定其形状、尺寸、所选材料和排列位置等,以确保建筑物的正常使用。建筑力学对这种繁杂而细致的计算工作提供了理论基础和计算方法。

一、建筑力学的研究对象

建造一个建筑物,首先要对其进行结构设计,设计时一般先对结构进行整体布置,再将结构分为一些基本部分,对各基本部分进行设计计算,然后再通过构造处理,把各部分联系起来构成一个整体结构。建筑物在使用中会受到各种力的作用,如楼板除自身的重量外,还承受人群、设备的压力;梁受到自身的重力和楼板的压力;柱子受到自身的重力、梁传来的压力、风力;基础则承受柱子传来的压力等。工程中习惯将这些主动作用于建筑物上的力叫**荷载**。在建筑物中承受荷载并传递荷载起骨架作用的部分称为**建筑结构**,简称**结构**,组成结构的各部分叫做**构件**。结构可以是一个构件(如一根梁、一根柱子等),也可以是由多个构件组成的体系。

从几何角度来看,结构一般分三类:

(1) 杆件结构。杆件结构是由杆件组成的结构。杆件的几何特征是长度比横截面尺寸要大很多,如梁、拱、刚架等。如图 0-1 所示为杆件结构。

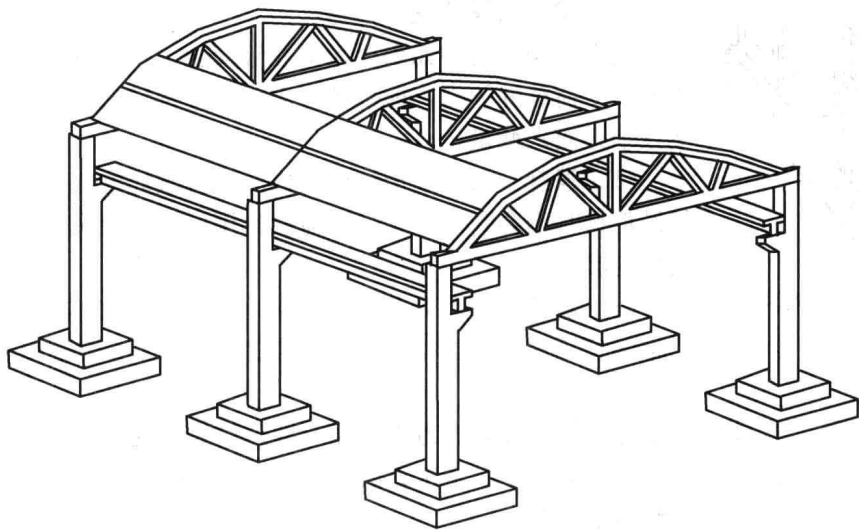


图 0-1 杆件结构

(2) 薄壁结构。薄壁结构也称板壳结构,它的几何特征是长度、宽度比厚度大很多,如房屋中的楼板、壳体屋盖[见图 0-2 (a)、(b)]等。

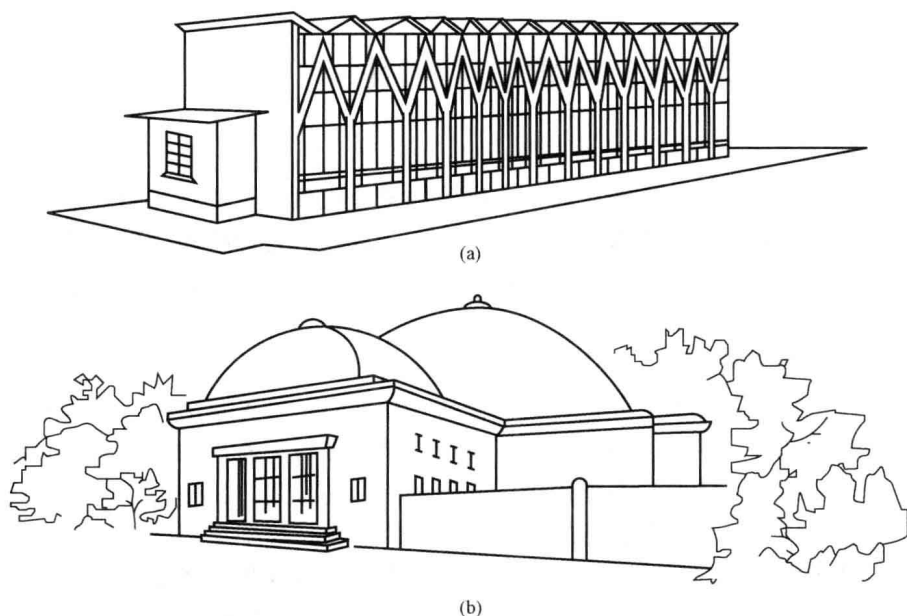


图 0-2 薄壁结构

(a) 房屋中的楼板；(b) 壳体屋盖

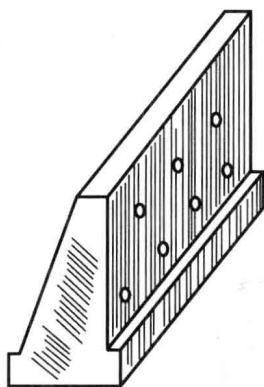


图 0-3 实体结构

(3) 实体结构。这类结构的长、宽、厚三个尺寸大小相仿。如水坝、挡土墙（见图 0-3）等。

建筑力学的主要研究对象是杆件和杆件结构。

二、建筑力学的主要任务

建筑结构或构件如果要保证能够安全、正常的使用，就要有足够的承受荷载的能力，即承载能力。一个构件的承载能力主要由以下三个方面来衡量：

(1) **强度**。强度是指结构或构件抵抗破坏的能力。例如，钢索起吊重物时不会断裂；梁受到荷载作用后不产生裂缝等，这说明它们有足够的强度。

(2) **刚度**。刚度是指结构或构件抵抗变形的能力。例如，梁受到荷载作用后会产生弯曲变形，这种变形没有超出限定的范围，这说明它有足够的刚度。

(3) **稳定性**。构件保持原有平衡状态的能力称为稳定性。例如，受压的细长直杆，当压力不大时，可以保持原有的直线平衡状态；当压力增大到一定数值时，就会突然变弯而丧失工作能力，这说明它没有足够的稳定性。

一个构件所选用的材料越好，截面尺寸越大，其强度、刚度和稳定性越好，但盲目地选料、增大截面尺寸势必会造成巨大的浪费。建筑力学的任务就是保证结构或构件有足够的强度、刚度和稳定性的前提下，为以最经济的代价选择适宜的材料，确定合理的形状和尺寸，提供必要的理论基础和计算方法。

三、建筑力学的主要内容

建筑力学内容包括静力学、材料力学和结构力学三大部分。

静力学主要研究力系的简化与平衡，并利用它对结构或构件进行受力分析；材料力学主要研究构件受力后的变形和破坏规律，以便建立构件满足强度、刚度和稳定性要求所需的条件，为设计既安全又经济的合理构件，提供科学的计算方法；结构力学则以构件体系作为研究对象，分析其几何组成规律，分析杆件结构位移和内力的计算方法。

第一部分 静 力 学

第一章 静 力 学 基 础

第一节 静力学基本概念

一、物体的平衡

平衡是指物体相对于地球保持静止或匀速直线运动的状态。物体的平衡总是相对的、暂时的。例如，保持静止的房屋、水坝、桥梁、沿直线匀速起吊的构件等都是相对地球而言的；又如，在直线轨道上匀速运动的火车是平衡的，但当它行驶到曲线轨道上时又处于非平衡状态，所以说平衡是暂时的。处于平衡状态的物体，其运动状态保持不变。

二、刚体的概念

在外力作用下，大小和形状保持不变的物体称为**刚体**。事实上，刚体是不存在的，它只是将实际物体抽象化而得到的理想模型。任何物体受力后，都将发生不同程度的变形，只是微小变形对研究物体的平衡问题影响很小时，可以略去不计。在静力学中研究的物体均视为刚体。

三、力的概念

(1) **力的概念**。力是物体间的相互机械作用。例如，人们用手弯铁丝时，对铁丝施加了“力”的作用，将铁丝弯成各种形状，同时也感觉到铁丝对手有作用力；在建筑工地上，起重机起吊重物时，钢索用“力”将重物吊起，同时钢索也受到重物对它的作用力。力不可能脱离物体而单独存在，有受力体，就有施力体。

(2) **力对物体的作用效应**。力可以使物体产生两种效应，即内效应和外效应。使物体运动状态发生改变的效应为外效应；使物体变形的效应为内效应。

(3) **力的三要素**。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。

1) 力的大小反映了物体间相互作用的强弱程度。在国际单位制中，力的单位为牛顿(N)或千牛顿(kN)， $1\text{kN}=1000\text{N}$ 。

2) 力的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”是指力的方位，“向下”是指力的指向。

3) 力的作用点是指力作用在物体上的位置。力的作用位置实际上有一定的范围，不过当作用范围与物体相比很小时，可近似地看作是一个点。

实践证明，在力的三个要素中，改变任何一个要素，都将改变力对物体的作用效果。

(4) **力的表示**。力是一个有大小和方向的量，所以力是矢量。

通常用一个带箭头的线段来表示力的三要素。线段的长度（按一定的比例画）表示力的大小，线段与某定直线的夹角表示力的方位；箭头表示力的指向；线段的起点或终点表示力的作用点（见图1-1）。

用字母符号表示力矢量时,常用黑体字 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{P}$ 等或一带箭头的非黑体字 $\vec{F}$ 、 $\vec{P}$ 等来表示。字母 F 、 P 只表示力矢量的大小。

四、力系及其合成与平衡

同时作用于物体上的一群力称为力系。使物体保持平衡状态的力系称为平衡力系,平衡力系不能改变物体的运动状态。

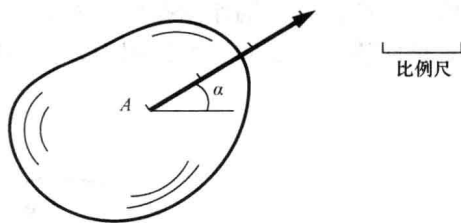


图 1-1 力的表示

作用于物体上的力系,要使物体处于平衡状态,必须满足一定的条件,这些条件称为力系的平衡条件。

如果一个力系对物体的作用能用另一个力系来代替而不改变作用效果时,这两个力系互为等效力系。

将一个比较复杂的力系用作用效果完全相同的简单力系或一个力来代替的过程称为力系的简化,或称为力系的合成。如果一个力和一个力系等效,则该力称为此力系的合力,而力系中各个力称为这个力的分力。

五、静力学的研究对象

建筑物中的所有构件在正常情况下都处于平衡状态,静力学就是研究物体在力系作用下处于平衡的规律。

第二节 静力学公理

静力学公理是人类从实践中总结出来的普遍规律,静力学中的全部理论,就是依据静力学公理推导出来的,它是静力学的基础。

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:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一条直线上(简称等值、反向、共线),这就是二力平衡公理。

在两个力作用下平衡的构件称二力构件[见图 1-2 (a)、(b)、(c)],若此构件为直杆称为二力杆[见图 1-2 (d)]。可见,二力构件的受力特点是:二力等值、反向、沿着两作用点的连线。

应该注意,二力平衡公理只适用于刚体,对于变形体,它只是必要条件,并不是充分条件。例如,一根绳子受两个等值、反向、共线的拉力作用可以平衡,但受到两个等值、反向、共线的压力作用就不能平衡。

【例 1-1】 小球重量为 W ,用一根绳子悬挂在天花板上(见图 1-3)。可以发现,当绳子位于铅垂位置时,小球才能平衡,而当绳子偏离铅垂位置时,小球不会处于平衡状态,为什么?

解 分析小球的受力情况。当小球只受到铅垂向下的重力和绳子的拉力时,根据二力平衡公理,这两个力等值、反向、共线,小球才能处于平衡状态。所以,只有当小球回到绳子为铅垂位置时,绳子的拉力和小球的重力的作用线才能共线而使小球平衡。

二、作用与反作用公理

两个物体间的作用力和反作用力,总是同时存在,同时消失,且大小相等,方向相反,

沿同一直线，并分别作用在两个物体上，这就是作用与反作用公理。例如，置于桌面上的物体对桌面施加一个向下的作用力，桌面同时也对物体施加一反方向的作用力（见图 1-4）。

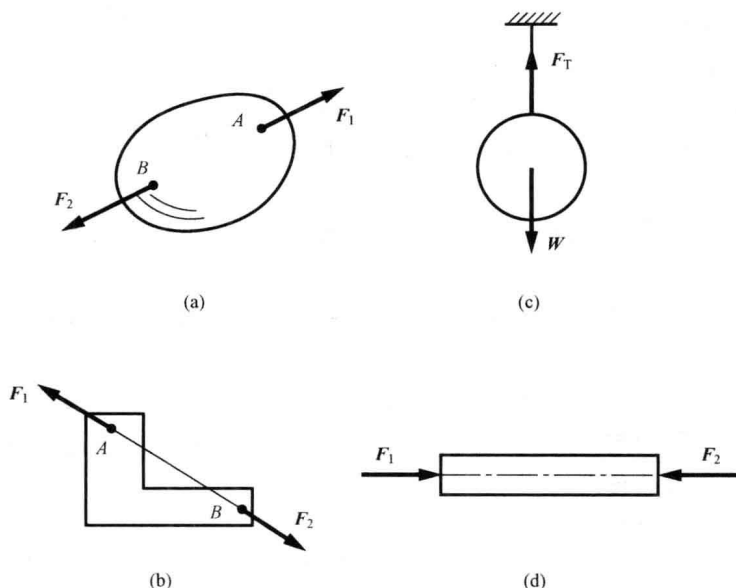


图 1-2 二力构件

(a) 二力构件 1；(b) 二力构件 2；(c) 二力构件 3；(d) 二力杆

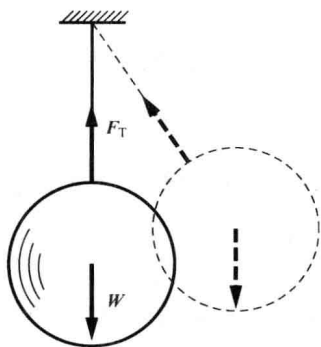


图 1-3 [例 1-1] 图

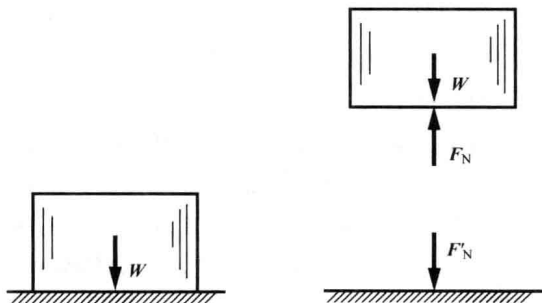


图 1-4 作用与反作用公理

这个公理说明力永远是成对出现，物体间的作用总是相互的，有作用力就有反作用力，两者总是同时存在，同时消失。

这里要注意，作用和反作用公理与二力平衡公理的区别。作用力和反作用力是分别作用在两个物体上，而两个平衡力是作用在同一个物体上。

【例 1-2】 如图 1-5 (a) 所示，A、B 两物体叠放在桌面上。A 物体重 W_A ，B 物体重 W_B 。试分析 A、B 两物体各受哪些力的作用，这些力的反作用力各是什么？哪些力是平衡力？

解 如图 1-5 (b) A 物体受重力 W_A 和 B 物体对它的支承力 F_{N1} ，这两个力使 A 物体处于平衡状态，是一对平衡力。B 物体受重力 W_B 、A 物体对它的压力 F'_{N1} 和桌面对它的支承力 F_{N2} ，这三个力使 B 物体处于平衡状态，是一个平衡力系。

A 物体的重力 W_A 的反作用力是 A 物体对地球的吸引力，支承力 F_{N1} 的反作用力是 F'_{N1} ，

它们等值、反向、共线、分别作用在 A 物体和 B 物体上。

B 物体的重力 W_B 的反作用力也是 B 物体对地球的吸引力, F_{N2} 的反作用力是 A 物体和 B 物体对桌面的压力 F'_{N2} , 它们分别作用于 B 物体和桌面上。

平衡力系中的各力都作用在同一个物体上, 而作用力和反作用力是分别作用在两个不同的物体上。判断一个力的反作用力, 首先要分析该力的来源。

三、加减平衡力系公理

在作用于刚体上的力系中加上或减去任意的平衡力系, 不会改变原力系对

刚体的作用效应, 这就是加减平衡力系公理。因为平衡力系不会改变物体的运动状态, 所以在物体的原力系上加上或减去任意的平衡力系, 是不会改变物体的运动效果的。

推论 力的可传性原理

力的可传性原理是作用在刚体上某点的力, 沿其作用线移动到刚体内任一点, 不会改变它对刚体的作用效应。

证明 (1) 设力 F 作用在刚体的 A 点, 如图 1-6 (a) 所示。

(2) 根据加减平衡力系公理, 在力的作用线上取一点 B, 并在该点加一对平衡力 F_1 和 F_2 , 且 $F_1 = -F_2 = F$, 如图 1-6 (b) 所示。

(3) 由于 F 和 F_2 是一对平衡力, 可以去掉, 只剩下作用在 B 点的力 F_1 , 而 F_1 和 F 等效, 就相当于把 F 从 A 点沿其作用线移到 B 点, 如图 1-6 (c) 所示。

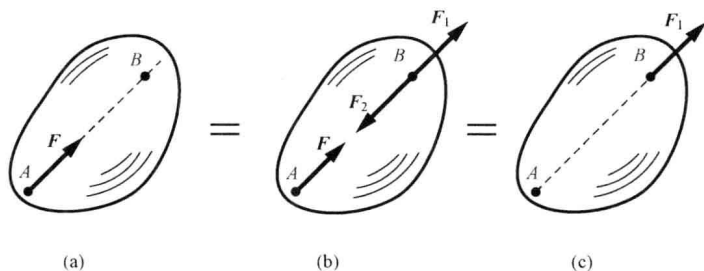


图 1-6 力的可传性原理的证明过程

(a) 设力 F 作用在刚体的 A 点; (b) 在 B 点加一对平衡力; (c) 把 F 从 A 点沿其作用线移到 B 点

由力的可传性原理可知, 力对刚体的作用效应与力的作用点在作用线上的位置无关, 因此, 力的三要素可改为: 力的大小、方向和作用线。

在此公理中要注意两点:

(1) 力的可传性原理只能在同一刚体内应用, 力不能沿其作用线从一个刚体移到另一个刚体上。

(2) 加上或减去一个平衡力系, 或使力沿着作用线移动, 都不会改变力对物体的外效应, 但会改变力对物体的内效应。所以, 加减平衡力系公理和力的可传性原理只适用于刚体

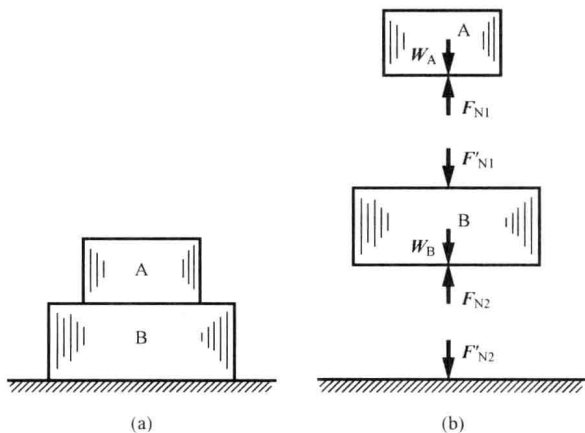


图 1-5 [例 1-2] 图

(a) A、B 两物体叠放在桌面上; (b) 受力分析

而不适用于变形体。

如图 1-7 (a) 和图 1-7 (b) 所示两种情形, 显然将力 F 从物体 A 沿其作用线移到 B

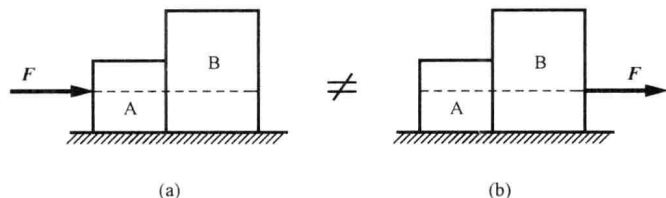


图 1-7 力沿其作用线从一刚体移到另一刚体上, 效果改变

物体上, 效果并不相等。如图 1-8 所示, 可变形杆件 AB, 在两端受到等值、反向、共线的拉力作用时, 会被拉长。若将这两个力沿其作用线分别移到杆件的另一端, 则杆件受压缩短。可见, 两种情况虽然都处于平衡状态, 但其内效应发生改变。

四、力的平行四边形公理

作用于物体上同一点的两个力, 可以合成为一个力, 合力仍作用于该点, 合力的大小和方向由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线所确定, 这就是力的平行四边形公理。

如图 1-9 所示, F_1 和 F_2 为作用于刚体上 A 点的两个力, 以这两个力为邻边作出平行四边形 ABCD, 从 A 点出发的对角线 AC, 即为 F_1 、 F_2 的合力 F_R 。

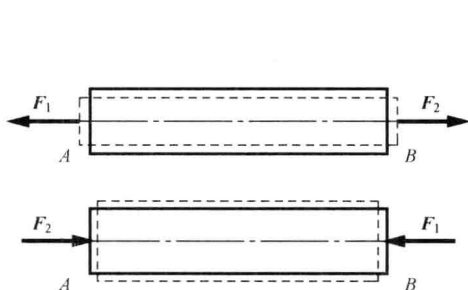


图 1-8 杆件 AB 的拉伸与压缩

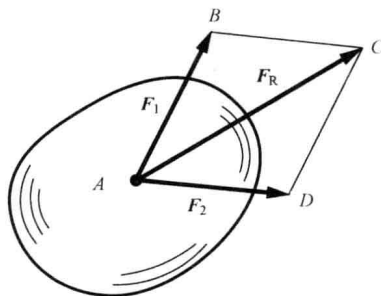


图 1-9 力的平行四边形公理

图 1-9 中 F_1 和 F_2 两个力的合力 F_R , 还可以写成矢量式 $F_R = F_1 + F_2$ 。

这个公理说明力的合成是遵循矢量加法的, 只有当两个力共线时, 才能用代数加法。

两个共点力可以合成为一个力, 反之, 一个力也可以按平行四边形公理分解为两个分力, 但有无数个解。因为以一个力的矢量为对角线的平行四边形可作无数个。如图 1-10 所示, 将 F 分解为两个分力就有无数解, 图 1-10 中只画出两组解 F_1 、 F_2 和 F_3 、 F_4 。要得到唯一解, 必须给予限制条件。在工程实际问题中, 常把一个力沿直角坐标轴方向分解, 得到两个互相垂直的分力 F_x 和 F_y , 如图 1-11 所示。

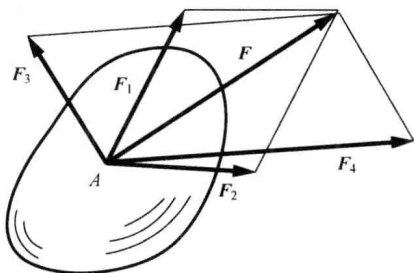


图 1-10 将 F 分解为两个分力有无数解

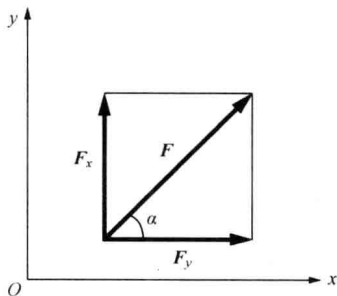


图 1-11 将力 F 沿直角坐标轴方向分解