

21 世纪高职高专精品教材

工程力学

(土建类)

主 编 张美元

副主编 王正君 吕军奇 杨 帆



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书由正文和附录两部分组成,其中正文共分 11 章,基本内容是:绪论、工程力学基础、平面力系的合成与平衡、杆件的内力与内力图、杆件的应力与强度计算、杆件的变形计算与刚度校核、压杆稳定、结构的计算简图及几何组成分析、静定结构的内力和位移计算、超静定结构的传统计算方法、《结构计算》软件的应用等。

本书适用于高职高专院校的水利水电、工业与民用建筑、给排水、市政工程、道路桥梁等土建类专业和近土建类专业的工程力学课程的教学,也可作为各土建类工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学: 土建类/张美元主编. —郑州: 黄河水利出版社, 2007.9

21 世纪高职高专精品教材

ISBN 978-7-80734-268-7

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 (2007) 第 139147 号

策划组稿: 马广州 电话: 0371-66023343 E-mail: magz@yahoo.cn

出版社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码: 450003

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话: 0371-66026940

传真: 0371-66022620

E-mail: hhlscbs@126.com

承印单位: 河南省瑞光印务股份有限公司

开本: 787mm×1092mm 1/16

印张: 19

字数: 439 千字

印数: 1—4 100

版次: 2007 年 9 月第 1 版

印次: 2007 年 9 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978-7-80734-268-7/TB·16

定价: 31.00 元

前 言

本套书是根据高职高专水利水电工程和工业与民用建筑工程等专业的专业教学计划及工程力学教学大纲的基本要求,结合我国高职教育特点和对高等职业技术人才的培养目标要求而编写的,分《工程力学》和《工程力学学习指导》两册。

为体现高等职业技术教育的特点,按照培养符合我国国情的高等级实用型工程技术人才的基本要求,本套书采取不淡化理论的系统性,强调专业技术基础知识的实用性,将过去共几十章的工程力学教材内容,经精减、淡化、综合归类后,缩编成 11 章。

本套书内容简练、叙述通俗,例题典型且贴近工程实际。对于理论知识,着重强调其结论和应用。一般公式不推导,注重从实用出发,培养学生分析和解决实际问题的能力。每章末附有习题。《工程力学学习指导》是为帮助学生更好地学习和掌握教材内容。另外,为方便读者,已将本套书的电子教案、授课计划和教学大纲、教学课件等教学资料,全部在网上公开发布,读者可登录 <http://www.yrcp.com> 或 <http://jwc.hbsy.cn/ec/C4/zcr-1.htm> 查阅。编者制作的《平面直杆结构内力与位移计算》软件,也可以从此处下载。

本教材及学习指导的编写分工如下:《工程力学》的第 2、3、10 章由王正君编写,第 4、5、7 章由吕军奇编写,第 6、8、9 章由杨帆编写;《工程力学学习指导》的第 3、4、5、6 章由王红梅编写,第 7、8、9 章由田春竹编写。其他章节由张美元编写。《工程力学》和《工程力学学习指导》均由张美元最后统稿。

在此向关心和支持本教材建设的领导及同行表示诚挚的谢意。由于本人水平所限,书中也难免存在错漏和欠妥之处,诚请各位同行和广大读者批评指正,以便日后对本教材再作修改,使之不断完善。

编 者

2007 年 5 月

主要符号表

- F ——广义集中力
 W ——物体的自重
 q ——广义分布力
 m ——广义外力偶矩, 一个剪切构件中的剪切面个数
 F_K ——临界荷载
 P ——传输功率
 $\bar{F}$ ——广义单位力
 $\bar{R}$ 、 $\bar{F}_N$ 、 $\bar{F}_Q$ 、 $\bar{M}$ —— $\bar{F}$ 作用下结构的反力、轴力、剪力和弯矩
 F_R ——力系的合力, 接触面全反力
 M_R ——合力偶矩
 F_T ——柔性体约束反力(拉力)
 F_N ——光滑面约束反力(接触面法向反力), 杆件轴力。
 R ——支座反力, 半径(或 r)
 F_{Rx} 、 F_{Ry} ——支座反力在 x 、 y 方向的分量
 F_f ——滑动摩擦力
 X ——广义的多余未知力
 F_N ——轴力(截面上的法向内力)
 F_Q ——剪力(截面上的切向内力)
 M ——弯矩(弯曲构件横截面上的内力偶矩)
 T ——扭矩(扭转构件横截面上的内力偶矩)
 σ ——正应力(法向应力)
 σ_s ——屈服极限
 σ_b ——强度极限
 τ ——剪应力(切向应力)
 τ_b ——剪切强度极限
 F_{cr} 、 σ_{cr} ——压杆的临界力、临界应力
 $[\sigma]$ ——许用正应力
 $[\tau]$ ——许用剪应力
 K ——任意截面或某指定点的位置, 安全系数
 f ——梁的挠度, 静摩擦系数
 $[f]$ ——许用挠度
 $[\theta]$ ——许用单位长度转角
 θ ——角度, 单位长度扭转角
 φ ——角度, 扭转角, 角位移, 截面法线倾斜角

- α ——角度,材料的线膨胀系数,圆管(筒)的内径与外径之比
 γ ——角度,切应变(剪应变),材料的容重
 ϵ ——纵向线应变
 ϵ' ——横向线应变
 μ ——泊松系数,压杆的长度系数,力矩分配系数
 Δ ——广义位移,微小间距
 Δ_H 、 Δ_V ——水平线位移、竖向线位移
 δ ——单位力作用下的位移,伸长率
 C ——支座位移,截面形心位置,物体的重心或形心位置
 O ——坐标原点,转动中心(矩心)、力系的简化中心位置,虚铰位置
 l ——杆件长度(纵向尺寸)
 h ——截面高度
 b ——截面宽度
 e ——偏心距
 d ——直径,力臂、力偶臂长度,工字钢和槽钢的腹板厚度
 A ——平面(截面)面积
 ω ——弯矩图面积
 S_y 、 S_z ——截面对 y 、 z 轴的静面矩(面积矩)
 E ——拉压弹性模量
 G ——剪切弹性模量
 I_p 、 ρ ——极惯性矩、极半径或惯性半径
 I_{xy} ——惯性积
 I_y 、 I_z ——截面对中性轴 y 、 z 的主惯性矩
 W_y 、 W_z ——对中性轴 y 、 z 的抗弯截面模量
 t ——温度,板的厚度
 n ——转速(r/min),物件(连接件)个数

目 录

前 言

主要符号表

第 1 章 绪 论	(1)
1.1 工程力学的研究对象和主要任务	(1)
1.2 变形固体的基本假设	(3)
1.3 杆件变形的基本形式	(4)
第 2 章 工程力学基础	(6)
2.1 力的概念	(6)
2.2 静力学公理	(9)
2.3 力在坐标轴上的投影	(12)
2.4 力对点之矩	(13)
2.5 力 偶	(16)
2.6 约束与约束力	(18)
2.7 受力图	(20)
习 题	(23)
第 3 章 力系的合成与平衡	(26)
3.1 概 述	(26)
3.2 平面汇交力系的合成与平衡	(27)
3.3 平面力偶系的合成与平衡	(33)
3.4 平面一般力系的合成与平衡	(34)
3.5 考虑滑动摩擦时物体的平衡问题	(46)
3.6 空间力系简介	(50)
3.7 物体重心与截面的几何性质	(53)
习 题	(60)
第 4 章 杆件的内力与内力图	(67)
4.1 概 述	(67)
4.2 轴向拉压杆的内力与内力图	(70)
4.3 圆轴扭转时的内力与内力图	(73)
4.4 平面弯曲梁的内力与内力图	(75)
4.5 简支梁的影响线	(92)
习 题	(100)

第5章 杆件的应力与强度计算	(104)
5.1 概 述	(104)
5.2 轴向拉伸和压缩时材料的力学性能	(106)
5.3 轴向拉压杆的应力与强度计算	(112)
5.4 连接件的实用计算	(119)
5.5 圆轴扭转时的应力与强度计算	(122)
5.6 平面弯曲梁的应力与强度计算	(124)
5.7 偏心压杆的应力分析	(133)
5.8 应力状态与强度理论简介	(137)
习 题.....	(144)
第6章 杆件的变形计算与刚度校核	(150)
6.1 概 述	(150)
6.2 轴向拉压杆的变形计算	(152)
6.3 梁的变形计算和刚度校核	(154)
6.4 杆件变形的测量*	(169)
6.5 弹性结构的互等定理	(171)
习 题.....	(172)
第7章 压杆稳定	(175)
7.1 概 述	(175)
7.2 压杆的临界力和临界应力	(176)
7.3 压杆的稳定计算	(179)
习 题.....	(184)
第8章 结构的计算简图与几何组成分析	(186)
8.1 结构的计算简图	(186)
8.2 平面体系的几何组成分析	(191)
习 题.....	(200)
第9章 静定结构的内力和位移计算	(203)
9.1 概 述	(203)
9.2 静定多跨梁的内力计算	(205)
9.3 静定平面刚架的内力计算	(207)
9.4 静定平面桁架的内力计算	(210)
9.5 三铰拱的内力计算	(215)
9.6 静定结构的位移计算	(218)
习 题.....	(224)
第10章 超静定结构计算的传统方法	(229)
10.1 概 述.....	(229)
10.2 力 法	(232)
10.3 位移法*	(244)

10.4 力矩分配法.....	(250)
习 题.....	(257)
第 11 章 《平面直杆件结构内力与位移计算》软件的应用	(261)
11.1 概 述	(261)
11.2 《结构计算》的控制变量与相关信息.....	(262)
11.3 原始数据的输入和计算结果的利用	(268)
11.4 《结构计算》步骤与算例.....	(270)
习 题.....	(276)
附录 型钢规格表.....	(279)
参考文献.....	(294)

第1章 绪论

1.1 工程力学的研究对象和主要任务

在土木工程各种建筑物(如桥、涵、闸、坝、房屋等)中承受荷载且起骨架作用的部分,称为**结构**。例如在图 1-1~图 1-5 所示建筑物中起承受荷载和骨架作用的部分,都称为该建筑物的结构。



图 1-1

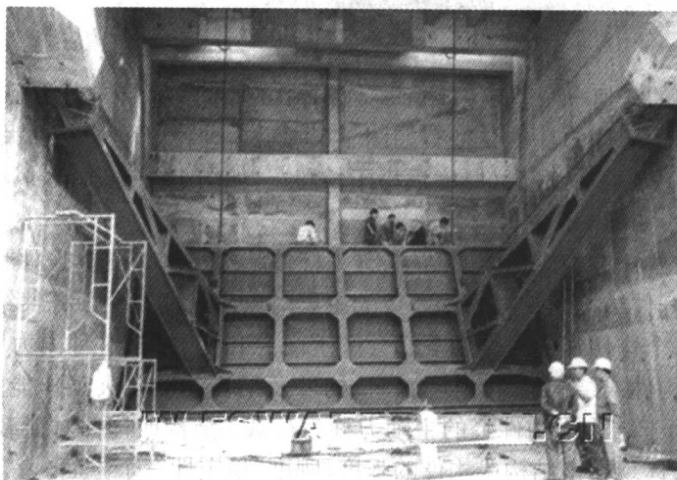


图 1-2

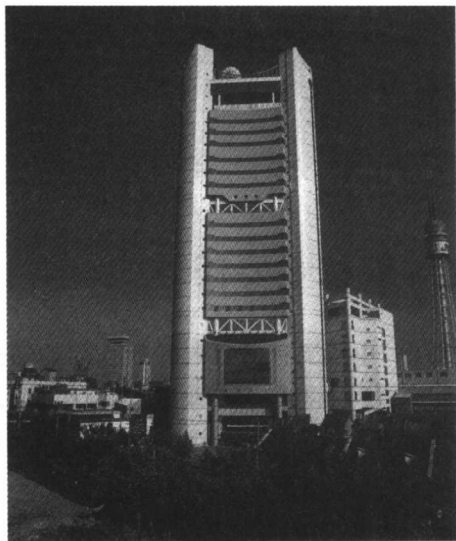


图 1-3

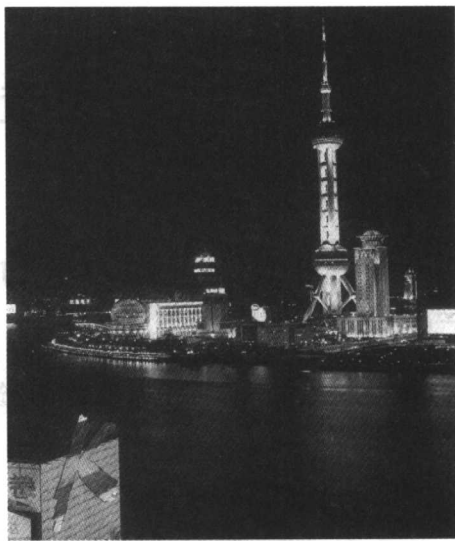


图 1-4



图 1-5

工程结构中的任何一个基本部件都称为构件。土木工程结构中的板、梁、柱(墩)等均是构件。工程结构构件的基本类型有如图 1-6 所示 3 种:杆件(长度远大于横向尺寸,如图 1-6 中(a)、(b)、(c));板和壳(厚度远小于长和宽,如图 1-6 中(d)、(e));块体(三个方向的尺寸相差不大,如图 1-6 中(f))。

在建筑物中由杆件构成骨架的结构,称为杆件结构。例如图 1-1~图 1-5 中各种建筑物的结构,都是杆件结构。工程力学研究的主要对象是杆件和平面杆件结构。

结构中的每个构件在外力作用下都会产生内力和变形,当这种内力和变形达到或超过某一限度(即构件或结构的承载能力)时,构件及结构就会丧失工作能力甚至破坏。工程力学中将作用于结构或构件上的主动力称为荷载。结构或构件对荷载的承受能力(简称为承载能力),体现在该结构或构件的强度、刚度、稳定性三个方面。其中:

强度主要反映结构或构件在确定的外力作用下,不至于发生断裂、破碎或产生过大塑性变形的能力。

刚度是反映结构或构件在外力的作用下,其变形或位移不超过允许范围的能力。

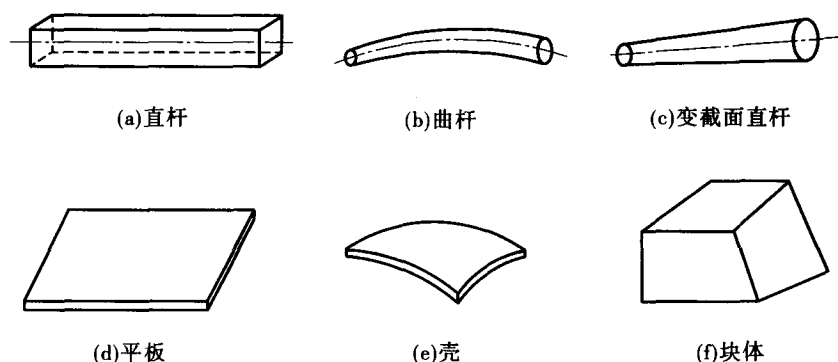


图 1-6

稳定性主要指轴向受压杆件在外力作用下,保持其原有直线平衡状态的能力。

工程力学的主要任务是研究杆件和杆件结构在荷载作用下的平衡条件和承载能力,即研究和解决杆件和杆件结构的强度、刚度和稳定性问题。但本课程只能提供解决这些问题的基本理论知识和方法。要使问题得到真正解决,还需要掌握相关的专业理论知识并具有一定实践经验。

1.2 变形固体的基本假设

如前所述,工程力学主要研究和解决工程结构或构件的强度、刚度和稳定性问题。构件和由构件组成的结构在外力(或温度变化等其他因素)作用下都会产生变形。工程力学中将这种构件称为**变形固体**。

实际工程中,工程结构或构件所使用的材料是多种多样的,各种材料的物质结构和物理性能也各不相同。我们在研究结构和构件时,不可能将其有影响的所有因素都考虑进去,考虑的因素越多,就会使所研究的问题越复杂,甚至无法找到正确的答案。忽略那些对所研究的问题影响很小的次要因素,不仅便于问题的研究,而且也不会影响工程计算的精度。为此,我们对工程构件及其所使用的材料提出了以下3个基本假设。

1.2.1 均匀性、连续性假设

均匀性假设 假设组成构件的固体分子或晶粒排列整齐、分布均匀且无杂质。符合这一假设的材料称为均质材料。工程中将金属或合金材料、混凝土、砖、石、橡胶、塑料等常用的建筑材料,都视为均质材料。

连续性假设 假设组成构件的固体分子或晶粒排列紧密而无间隙。从宏观上讲,是指构件中没有任何的裂隙或破损。

1.2.2 各向同性假设

假设构件各个方向的物理力学性质相同。在实际工程中,除木材、竹材,以及一些复合材料属于各向异性材料外,其他如钢、铁、铜、铝、合金材料、混凝土、砖、石材、工程塑料

等大多数建筑材料,都视为各向同性材料。即认为,由这些各向同性材料所构成的构件,其各个方向上承受外力和抵抗变形的能力都相同。

1.2.3 小变形假设

假设构件的变形量与构件的原始尺寸相比十分微小。对于建筑工程所要求的必须处于弹性变形范围的工程构件或结构而言,这种假设是与实际相符合的。

在工程力学中所研究的构件和所使用的材料均被认为符合以上假设。

1.3 杆件变形的基本形式

尽管实际工程结构及构件的受力情况和变形状态多种多样,但就其基本变形而言,无外乎图 1-7 所示的 4 种形式。

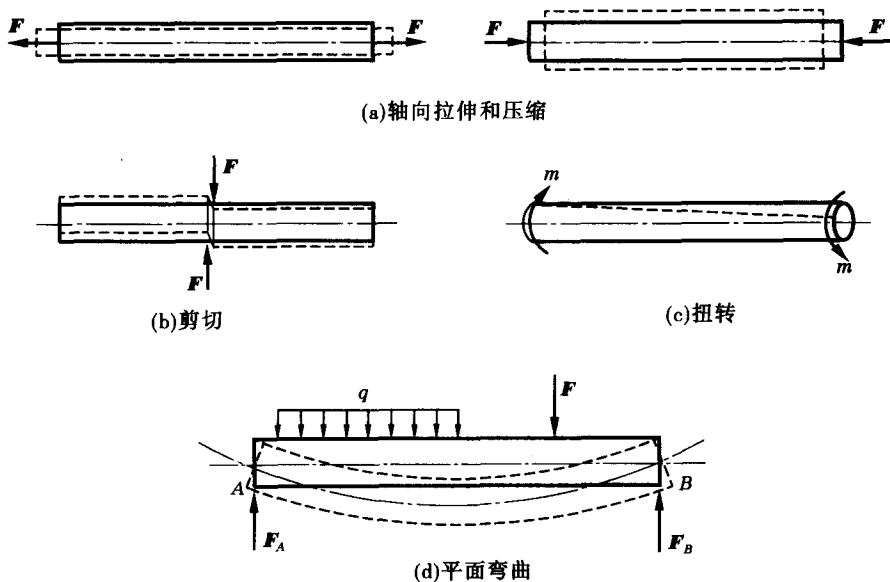


图 1-7

1.3.1 轴向拉伸或压缩

当杆件受到与杆轴线重合的拉力或压力作用时,杆件的纵向会产生伸长或缩短的变形(如图 1-7(a)),这种变形形式称为轴向拉伸或压缩。

1.3.2 剪切

当杆件受到一对大小相等、方向相反、作用线平行但相距很近的外力作用时,会使这二力作用线之间的截面产生相对错动(如图 1-7(b)),这种变形形式称为剪切。

1.3.3 扭转

当杆件受到一对大小相等、转向相反、作用面平行的外力偶作用时,会使此二力偶作用面间的横截面产生绕杆轴线的相对转动(如图 1-7(c)),这种变形形式称为扭转。

1.3.4 弯曲

当杆件受到一对等值、反向且作用于杆件的纵向对称平面内的力偶作用,或受到与杆轴线垂直的集中力或分布力作用时,杆件的轴线及与该轴线平行的任意一根纤维都会发生弯曲(如图 1-7(d)),称这种变形形式为平面弯曲变形。

实际工程中的受力杆件除了可能产生上述 4 种基本变形形式之外,还有可能产生以上任意两种或几种基本变形形式组合而形成的组合变形形式,例如弯压(拉)组合变形、弯扭组合变形、斜弯曲、偏心压缩等。

第 2 章 工程力学基础

工程力学基础所阐述的是对杆件和杆件结构进行受力分析和进行强度、刚度、稳定性计算所必须具备的基础知识。很好地理解和掌握这些基础知识,对于后续各章的学习十分重要。

2.1 力的概念

2.1.1 力的定义

力是物体间相互的机械作用,这种作用产生的途径有两种:一种是通过物体间的直接接触而产生的,例如图 2-1(a)所示置于平面上的重物 A,当它与地面接触时,就对地面产生了压力 F'_N ;与此同时,地面给了重物 A 一个支承力 F_N ,如图 2-1(b)所示。再例如机车对车厢的拉力、物体之间的压力、摩擦力和黏结力等。另一种是通过“场”产生的,例如地球的引力场使物体产生重力,电场对电荷产生吸引力或排斥力等。

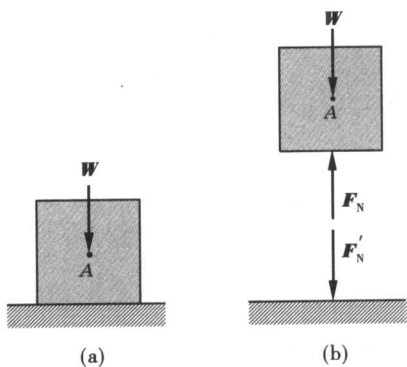


图 2-1

物体在力的作用下会产生运动和变形。这里所说的运动(包括物体的平动和转动)是力对物体作用的外效应,而变形则是力对物体作用的内效应。

2.1.2 力的三要素及力的表示方法

力对物体的作用效应取决于力的大小、方向、作用位置。这个作用位置也就是两个物体间的接触面,当两物体间的接触面(物体间相互作用力的作用面)相对于物体表面显得十分微小时,则可将这个接触面视为一个

点,作用于该点上的力,称为集中力。因而将集中力的大小、方向、作用点称为该集中力的三要素。

由于力是具有大小和方向的量,故力是矢量。在文字表述中,用黑体的大写英文字母表示力矢量,例如 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{W}$ 、 $\mathbf{F}_N$ 、 $\mathbf{F}'_N$ 等,而非黑体的大写英文字母只表示力的大小,如 F 、 W 、 F_N 、 F'_N 只表示力矢量 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{W}$ 、 $\mathbf{F}_N$ 、 $\mathbf{F}'_N$ 的大小。在如图 2-2 所示物体的受力图上,用一有向线段来表示力矢量 $\mathbf{F}$: 线段 AB 的长度(AB 两点间的距离)表示力 $\mathbf{F}$ 的大小;线段 AB 的起点 A 或终点 B 表示力 $\mathbf{F}$ 的作用点;线段 AB 与水平面(线)之间的夹角 α 表示力 $\mathbf{F}$ 的作用线方位,箭头表示力 $\mathbf{F}$ 的指向。图中直线 KL,称为力 $\mathbf{F}$ 的作用线。

由于力对物体的作用效应决定于力的三个要素,故两个力矢量大小相等、方向相同,

并不表示这两个力等效。如图 2-3 所示的两个相互平行的力 F_1 和 F_2 , 即使 $F_1 = F_2$, 也会因 F_1 和 F_2 的作用点不同而使得 F_1 和 F_2 对物体的作用效应不同, 即 $F_1 \neq F_2$ 。

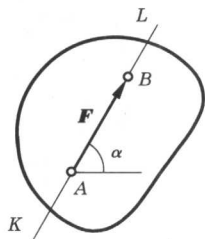


图 2-2

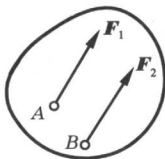


图 2-3

2.1.3 力的基本类型和单位

作用于物体上的力有两种基本类型:

一种是集中力。例如图 2-4(a)中重物 A 对杆件的作用力, 简化为如图 2-4(b)所示的集中力 F , 集中力即作用于物体某点的力, 其基本单位是 N(牛), 常用单位是 kN(千牛)。

另一种是分布力。分布力又有面分布力和线分布力之别。作用于物体一定面积上的力, 称为面分布力, 其单位为 N/m^2 (牛/平方米) 或 kN/m^2 (千牛/平方米)。土木工程中常将沿杆件长度连续分布的面分布力取单位宽度计算, 并将此单位宽度上的分布力称为线分布力, 用 q 表示, 线分布力的单位是 N/m (牛/米) 或 kN/m (千牛/米)。例如图 2-4(a)中重物 B 对杆件的作用力, 简化为如图 2-4(b)所示沿杆件长度连续作用的线分布力 q 。

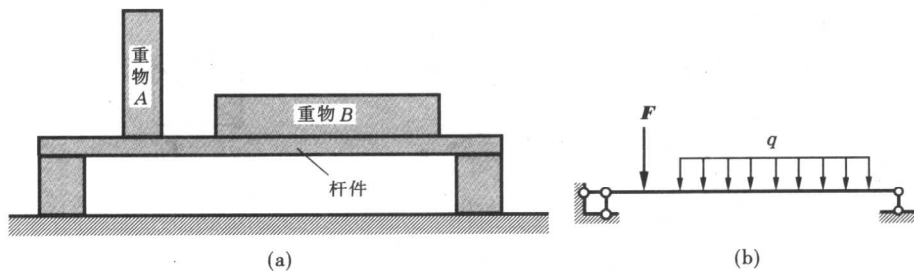
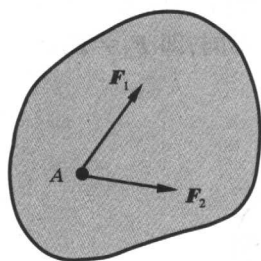


图 2-4

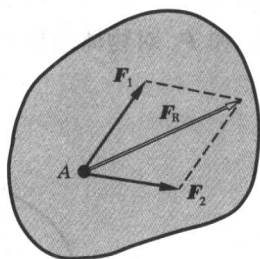
2.1.4 力系、合力与分力

作用于同一物体或物体系上的一组力称为力系。如图 2-5(a)所示物体上所作用的两个共点力是一个力系, 作用于图 2-6 所示物体上的若干个力也是一个力系。

如果某力对物体的作用效应与一个力系相同, 则该力称为与其等效之力系的合力, 即力系的合力就是力系的等效力。如图 2-5(a)所示力系, 可由力的平行四边形法则求出它的合力 F_R , F_R 是 F_1 和 F_2 的合力, 也是 F_1 和 F_2 的等效力。力系中的各力都是该力系合力的分力。如图 2-5(b)中 F_1 和 F_2 是 F_R 的分力。如果图 2-6 所示力系有合力 F_R ,



(a)



(b)

图 2-5

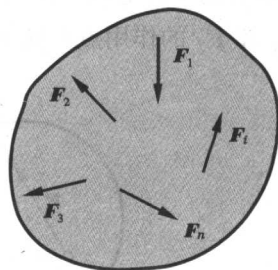


图 2-6

则 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_i 和 F_n 都是 F_R 的分力。力系合力是力系中各分力的矢量和,即

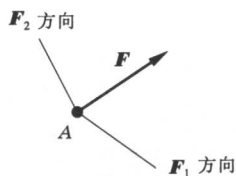
$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 + \cdots + F_n = \sum F \quad (2-1)$$

式(2-1)表明了力系合力与其分力之间的关系。

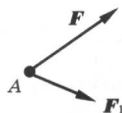
在中学物理中,我们已经会用力的平行四边形法则将两个共点力合成为一个仍作用于该点的合力,当然也能用平行四边形法则将一个力分解为两个分力。但要使分力得到唯一解,就必须符合以下条件:

- (1) 已知两分力的大小,求其方向;
- (2) 已知两分力的方向,求其大小,如图 2-7(a)所示;
- (3) 已知一分力的大小和方向,求另一分力的大小和方向,如图 2-7(b)所示。

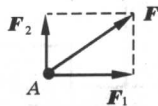
工程力学中常将力作正交分解(即两个分力的作用线相互垂直),如图 2-7(c)所示,仍属于已知方向求大小的力的分解问题。



(a)



(b)



(c)

图 2-7

2.1.5 平衡力系与力系的平衡条件

物体处于静止或作匀速直线运动的状态,称为平衡状态。作用于物体并使物体处于平衡状态的力系,称为平衡力系。作用在处于平衡状态物体上的力系必定是平衡力系,或者说,受平衡力系作用的物体一定处于平衡状态。

力系的平衡条件,是指作用在处于平衡状态物体上的力系所应满足的条件。满足平衡条件的力系是平衡力系。运用力系的平衡条件解决受力系作用的杆件和杆件结构的平衡问题,是本课程的学习重点之一。关于作用在物体上的力系类型及其所应满足的平衡条件,以及如何应用力系的平衡条件解决受力系作用的杆件和杆件结构的平衡问题,将在

第3章中进行详细论述。

2.2 静力学公理

2.2.1 二力平衡公理(二力平衡条件)

公理一 作用于同一刚体上的两个力使得刚体处于平衡状态的充分与必要条件是：这两个力大小相等、方向相反，且作用在同一条直线上。

此公理说明，刚体受二力作用而处于平衡状态时，此二力必定等值、反向、共线。或者说，若作用于刚体上的两个力等值、反向、共线，则该刚体一定处于平衡状态。但须注意，对于变形体，二力等值、反向、共线只是其平衡的必要条件。例如图 2-8(a) 所示的柔索受到一对等值、反向、共线的拉力作用时处于平衡状态，但若柔索如图 2-8(b) 所示受到两个等值、反向、共线的压力作用时，柔索就会因其原有位置和几何形状发生改变而失去平衡。因此，二力平衡公理只适用于刚体。刚体是不产生任何变形的固体。

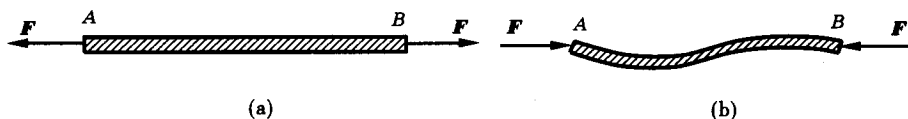


图 2-8

广义地说，受二力作用而平衡的构件，都称为二力构件，并将受二力构件作用的杆件称为二力杆。但在工程中，通常将不计自重且只在两端各受一力作用而处于平衡状态(即分别作用于杆件两端的力等值、反向、共线)的直杆称为二力杆。如果该二力杆的两端与铰连接，则将此二力杆称为链杆。例如图 2-9 所示结构中的 AC 杆是链杆，图 2-10 中的每根杆件均为二力杆，也都是链杆。链杆可以是直杆，也可以是不考虑变形的曲杆或折杆。

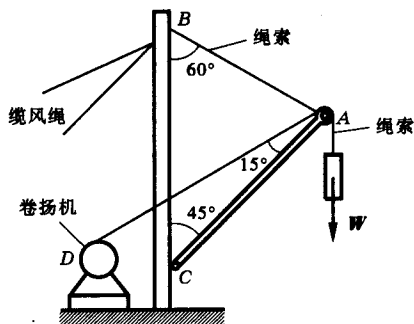


图 2-9

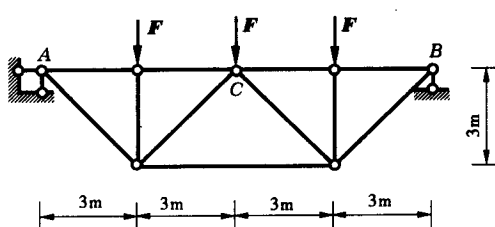


图 2-10