

黄孟生 赵 引 编著

工程力学

清华大学出版社

工程力学

黄孟生
赵引
编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书内容是根据教育部对力学教学的基本要求确定的。为了使学生在有限的时间内掌握工程力学的基本概念、基本理论和基本方法,本书在内容编排上力求做到由浅入深,循序渐进,突出重点和难点,对教材内容的叙述力求达到精简和严密。

本书内容包括两篇,第1篇静力学,第2篇材料力学。静力学包括静力学基础、简单力系、平面力系、空间力系和虚位移原理;材料力学包括绪论及基本概念、轴向拉伸和压缩、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析和强度理论、组合变形、压杆稳定、动载荷及交变应力等。全书共15章和两个附录。附录包括截面的几何性质和型钢表。书末附有部分习题的参考答案。

本书可作为高等院校工程力学课程的教材,也可作为有关工程技术人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/黄孟生,赵引编著. —北京:清华大学出版社,2006.9
ISBN 7-302-13330-1

I. 工… II. ①黄… ②赵… III. 工程力学 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 073974 号

出版者:清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>
社总机:010-62770175

地 址:北京清华大学学研大厦
邮 编:100084
客户服务:010-62776969

组稿编辑:佟丽霞
文稿编辑:赵从棉
印刷者:北京四季青印刷厂
装订者:三河市春园印刷有限公司
发行者:新华书店总店北京发行所
开 本:170×230 印张:24.25 字数:498千字
版 次:2006年9月第1版 2006年9月第1次印刷
书 号:ISBN 7-302-13330-1/O·557
印 数:1~3000
定 价:32.00元

前 言

本书是为普通高等院校理工科各专业中少学时工程力学课程而编写的。本书可作为水利、土建、交通、热能等专业的教材,也可作为对工程力学深度和难度要求不高,但对工程力学的基础知识需要有一定了解的专业的教材,同时也可作为电大、函授、职大或成人教育同类专业师生和自学考试人员的教材和参考书。

本书的内容是根据高等院校工程力学的基本要求确定的。在编写过程中,所选取的内容是工程上实用和传统的,难易程度适当,并且有丰富的工程实例;从内容的编排上,我们力求做到由易到难,由浅入深,循序渐进,并突出重点和难点;在内容的叙述上力求达到精练与严密,语言通俗易懂。

本书包括静力学和材料力学两篇。静力学包括静力学基础、简单力系、平面力系、空间力系和虚位移原理;材料力学包括绪论及基本概念、轴向拉伸和压缩、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析和强度理论、组合变形、压杆稳定、动载荷及交变应力等。全书共 15 章和两个附录。附录包括截面的几何性质和型钢表。为培养学生分析问题和解决问题的能力,并便于自学,在每章后面给出了“本章小结”和一定数量的习题,并在书后给出了部分习题的参考答案。

本书第 1 篇静力学由赵引编写,第 2 篇材料力学由黄孟生编写。

本书编写属于工科基础课程力学基地二期建设项目。在本书编写过程中,教研室老师及其他教授该门课程的教师提出了许多有益的意见,在此特向他们致谢。

限于编者水平,本书难免有不妥与疏漏之处,敬请广大师生和读者提出宝贵的意见和建议。

编 者

2006 年 2 月

主要符号表

符 号	含 义	符 号	含 义
A	面积	N	循环次数
a	间距	n	安全因数, 转速
B, b	宽度	n_r	疲劳安全因数
C	质心, 重心	n_{st}	稳定安全因数
D, d	力偶臂, 直径, 距离	p	总应力, 压强
E	弹性模量	P	功率, 重力
e	偏心距	q	均布载荷集度
F	力	R, r	半径
f	动摩擦因数	r	矢径
f_s	静摩擦因数	r	循环特征
F_{bs}	挤压力	S_y, S_z	面积矩, 静矩
F_{cr}	临界力	T	扭转外力偶矩
F_d	动载荷	t	时间
F_N	法向约束力, 轴力	V_ϵ	体积, 应变能
F_P, F_Q, F_W	重力	v_d	形状改变能密度
F_R	主矢, 合力, 反力	v_v	体积改变能密度
F_S	剪力	v_ϵ	应变能密度
G	切变模量	W	外力功
I_y, I_z	惯性矩	W_y, W_z	弯曲截面系数
I_p	极惯性矩	W_p	扭转截面系数
I_{xc}	惯性积	w	挠度
i_y, i_z	惯性半径	θ	梁横截面转角, 单位长度相对扭转角, 体积应变
k_d	动荷因数	φ	相对扭转角, 折减因数
M, M_y, M_z	弯矩	α	应力集中系数, 角度
M_O	力系对点 O 的主矩	α, β, γ	矩形截面杆扭转系数
M_{Ox}	力 F 对点 O 的主矩	γ	切应变
M	力偶矩	Δ	位移
M_r	扭矩	Δl	伸长(缩短)变形
M_e	外力偶矩	δ	滚动摩擦因数, 延伸率, 厚度
M_u	极限弯矩		

ψ	截面收缩率	σ_d	动应力
ε	线应变	σ_e	弹性极限
ε_u	极限应变	σ_p	比例极限
λ	柔度	σ_r	相当应力,疲劳极限
μ	长度系数	σ_s	屈服极限
ν	泊松比	σ_u	极限应力
σ	正应力	σ_{-1}	对称循环疲劳极限
σ_b	强度极限	$[\sigma]$	容许正应力
σ_{bs}	挤压应力	τ	切应力
σ_{cr}	临界应力	$[\tau]$	容许切应力

目 录

第 1 篇 理论力学(静力学)

第 1 章 静力学基础	3
1.1 绪论	3
1.2 静力学基本概念	4
1.3 静力学公理	5
1.4 力在直角坐标轴上的投影及沿直角坐标轴的分解	8
1.5 力矩	9
1.6 力偶	14
1.7 约束与约束力 受力分析和示力图	16
本章小结	22
习题	24
第 2 章 简单力系	27
2.1 汇交力系的简化	27
2.2 汇交力系的平衡条件 平衡方程	30
2.3 力偶系的简化	35
2.4 力偶系的平衡条件 平衡方程	36
2.5 共面的一个力和一个力偶的合成及力的平移定理	37
本章小结	38
习题	39

第3章 平面力系	43
3.1 平面力系的简化	44
3.2 平面力系的平衡条件 平衡方程	51
3.3 物体系统的平衡 静定与超静定问题	54
3.4 平面静定桁架的内力分析	60
3.5 有摩擦的平衡问题	65
本章小结	75
习题	76
第4章 空间力系	84
4.1 空间力系的简化	85
4.2 空间力系的平衡条件 平衡方程	88
本章小结	96
习题	97
第5章 虚位移原理	102
5.1 约束 自由度 广义坐标	102
5.2 虚位移	104
5.3 理想约束	105
5.4 虚位移原理	107
本章小结	112
习题	112

第2篇 材料力学

第6章 绪论及基本概念	119
6.1 材料力学的任务	119
6.2 材料力学的基本假设	120
6.3 材料力学的研究对象、杆件的基本变形	121
6.4 外力、内力、截面法和应力	122
6.5 位移和应变	124
本章小结	125

第 7 章 轴向拉伸和压缩	127
7.1 概述	127
7.2 轴力及轴力图	128
7.3 拉压杆件横截面上的正应力	131
7.4 应力集中的概念	133
7.5 拉压杆件的变形	134
7.6 拉伸和压缩时材料的力学性质	139
7.7 拉压杆件的强度计算	145
7.8 拉压超静定问题	148
7.9 拉压杆连接件的强度计算	150
本章小结	155
习题	157
 第 8 章 扭转	162
8.1 概述	162
8.2 扭矩及扭矩图	163
8.3 圆杆扭转时横截面上的切应力	165
8.4 圆杆扭转时的变形、扭转超静定问题	172
8.5 扭转时材料的力学性质	174
8.6 圆杆扭转时强度和刚度的计算	175
8.7 矩形截面杆的扭转	178
本章小结	180
习题	181
 第 9 章 弯曲内力	184
9.1 概述	184
9.2 弯曲内力——剪力和弯矩	186
9.3 剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图	188
9.4 剪力、弯矩与载荷集度之间的关系	193
9.5 用叠加法画弯矩图	196
本章小结	198
习题	198

第 10 章 弯曲应力	201
10.1 概述	201
10.2 梁弯曲时横截面上的正应力	202
10.3 梁弯曲时横截面上的切应力	207
10.4 梁的强度计算	212
10.5 开口薄壁截面弯曲中心的概念	219
本章小结	220
习题	221
第 11 章 弯曲变形	225
11.1 挠度和转角的概念	225
11.2 挠曲线近似微分方程	226
11.3 积分法计算梁的变形	227
11.4 叠加法计算梁的变形	231
11.5 梁的刚度校核	234
11.6 简单超静定梁	237
本章小结	240
习题	240
第 12 章 应力状态分析和强度理论	243
12.1 应力状态的概念	243
12.2 平面应力状态分析	244
12.3 基本变形杆件的应力状态分析	251
12.4 三向应力状态的最大应力	254
12.5 广义胡克定律、体积应变	256
12.6 应变能与应变能密度	260
12.7 强度理论的概念	262
12.8 4 种常用的强度理论	263
12.9 莫尔强度理论	265
12.10 强度理论的应用	267
本章小结	272
习题	272
第 13 章 组合变形	277
13.1 概述	277

13.2 斜弯曲	278
13.3 拉伸(压缩)与弯曲的组合	283
13.4 偏心压缩(拉伸)	285
13.5 截面核心	288
13.6 弯曲与扭转的组合	290
本章小结	293
习题	293
 第 14 章 压杆稳定	298
14.1 压杆稳定性的概念	298
14.2 细长压杆的临界力	299
14.3 压杆的柔度与压杆的非弹性失稳	302
14.4 压杆的稳定计算	306
14.5 提高压杆稳定性的措施	312
本章小结	313
习题	314
 第 15 章 动载荷及交变应力	318
15.1 概述	318
15.2 构件作匀加速直线运动和匀速转动时的应力	319
15.3 构件受冲击时的应力和变形	321
15.4 交变应力与疲劳破坏	325
15.5 交变应力的特性与疲劳极限	327
15.6 钢结构构件的疲劳计算	329
本章小结	331
习题	332
 附录 A 截面的几何性质	336
 附录 B 型钢规格表	350
 习题参考答案	364
 参考文献	374

第 1 篇

理论力学（静力学）

第 1 章

静力学基础

1.1 绪 论

静力学(statics)是工程力学的重要内容之一。它主要研究物体在力系作用下的平衡问题。

平衡(equilibrium)是机械运动的一种特殊形式,它是指物体相对于惯性坐标系(凡是对牛顿运动定律适用的坐标系就称为惯性坐标系)处于静止状态或作匀速直线运动的状态。对多数工程问题而言,可以把固结在地球上的坐标系当作惯性坐标系来研究物体相对于地球的平衡问题。

把作用于同一物体上的若干个力总称为**力系**(force system)。如果两个力系分别作用于同一物体并能产生同样的效应,则该两力系互为**等效力系**(equivalent force system)。若一个力系作用于某物体而使其保持平衡,则该力系称为**平衡力系**(force system of equilibrium)。一个力系要成为平衡力系应满足的条件称为**平衡条件**(equilibrium condition)。

工程实际中,作用于物体的力系往往比较复杂。在研究过程中,经常需要将复杂的力系加以简化,亦即用一个较为简单的等效力系去代替原力系,并据此推出力系的平衡条件。

因此,静力学着重研究以下两个问题:

(1) **力系的简化** 将作用于物体上的已知力系进行简化,用另一较简单且与之等效的力系来代替原力系,以便于分析和讨论;

(2) 力系的平衡 建立物体在各种力系作用下的平衡条件。根据这些条件,求出作用于平衡物体上的某些未知力及物体所处的位置。

在各种工程中都存在大量的静力学问题。例如,在土木和水利工程中,用移动式吊车起吊重物时,必须根据平衡条件确定起重量不超过多少才不致使吊车翻倒;设计屋架时,必须将所受的重力、风雪压力等载荷加以简化,再根据平衡条件求出各杆所受的力,据此确定各杆截面的尺寸;其他如水闸、大坝、桥梁等建筑,设计时都需进行受力分析,以便得到既安全又经济的设计方案。在机械工程中,进行机械设计时,也往往要应用静力学理论分析机械零、部件的受力情况,作为强度计算的依据。对于运转速度缓慢或速度变化不大的零、部件的受力分析,通常都可简化为平衡问题来处理。除此以外,静力学的理论方法在航空航天、能源化工、生物医学等学科中也有应用。可见,静力学理论在生产实践中应用很广,在力学理论上也是很重要的。

1.2 静力学基本概念

1.2.1 刚体的概念

在静力分析中我们把物体看作刚体。所谓刚体(rigid body),是指在力的作用下其大小和形状保持不变的物体。这是一种理想化的模型,实际上刚体是不存在的。因为任何物体受力后都会有或多或少的变形。但在许多情况下,物体受力后虽有变形,但都很小。在研究物体的平衡或运动时,这种微小变形成为一个次要因素,可略去不计,这样处理既可简化对问题的研究,又不影响问题的实质。所以在静力学中,我们把实际物体都抽象为刚体。而在另一些情况下,比如要研究物体的外力和变形的关系时,变形便上升为主要因素,不能再把物体看作刚体,而要看作变形体,变形体问题将在后面的材料力学中研究。静力学主要以刚体为研究对象,所以也称为刚体静力学。

1.2.2 力的概念

经过长期的生产实践和科学实验,人们建立起力的概念。力(force)是物体间的相互机械作用,这种作用使物体的运动状态或形状发生改变。把力使物体运动状态发生变化的效应称为力的运动效应(effect of motion)或外效应;把力使物体产生变形的效应称为力的变形效应(effect of deformation)或内效应。

力对物体作用的效应取决于力的大小、方向和作用点,简称为力的三要素(three elements of a force)。

力的大小是指物体间相互作用的强弱程度。在国际单位制(SI)中,力的单位为N或kN。

力的方向包括方位和指向两个含义,如铅直向下,水平向右等。

力的作用点指的是力在物体上的作用位置。一般说来,力的作用位置并不是一个点而是一定的面积。但是,当作用面积小到可以不计其大小时,就抽象成为一个点,该点就是力的作用点;而这种作用于一点的力则称为**集中力**(concentrated force)。过力的作用点,沿力的方位的一条直线,称为力的作用线。

力有大小和方向,且力的相加服从矢量的平行四边形法则(参见 1.3 节),因此力是矢量。

在图 1-1 中,力 F 用带单箭头的直线段 $\overrightarrow{AB}$ 表示。线段长度可按一定比例代表力矢的大小,线段的方位(θ 角)和箭头指向表示力矢的方向, A 点(或 B 点)表示力矢的作用点。

对刚体而言,只要保持力的大小和方向不变,把力的作用点沿作用线移到刚体上任一点,并不改变力对刚体的作用效应。例如,用小车运送物品,如图 1-2 所示,不论在车后 A 点用力 F 推车,还是在车前同一直线上的 B 点用力 F 拉车,其效果是一样的。把作用在刚体上的力沿作用线可移动的性质,称为力的**可传性**(transmissibility of a force)。正因如此,力是**滑动矢量**(sliding vector)。用几何方法表示时,可将力矢画在作用线上的任一点。

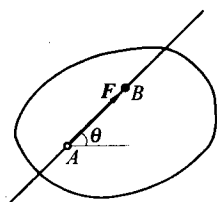


图 1-1 力矢的表示

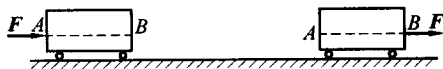


图 1-2 力的可传性

1.3 静力学公理

静力学公理,是人们在长期的生活和生产活动中概括和总结出来的,并经过大量实践反复检验的力的基本性质,它们是静力学理论的基础。

公理一 二力平衡公理(equilibrium principle of two forces)

作用于同一刚体的两个力成平衡的充分与必要条件是:两个力的大小相等,方向相反,作用线相同(简称两力等量、反向、共线)。

例如,在一根静止刚杆的两端沿着直线 AB 施加两个拉力,如图 1-3(a)所示,或

两个压力如图 1-3(b) 所示的 F_1 及 F_2 , 并使 $F_1 = -F_2$, 由经验可知, 刚杆将保持静止, 所以 F_1 与 F_2 两个力成平衡。反之, 如果 F_1 与 F_2 不满足上述条件, 即它们的作用线不同, 或者 $F_1 \neq -F_2$, 则刚体将开始运动, 即两个力不能平衡。

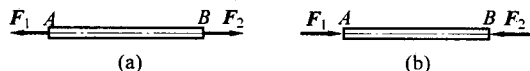


图 1-3 二力平衡杆件

在工程上, 通常把只受两个力作用而处于平衡的构件称为二力构件(或二力杆)。二力构件上的力必满足二力平衡条件。

公理二 加减平衡力系公理 (principle of added or moved equilibrium force system)

在作用于刚体的已知力系中加上或减去任一平衡力系, 不改变原力系对刚体的作用效应, 如图 1-4 所示(图中 S_1 与 S_2 是一对平衡力系, 即 $S_1 = -S_2$, 且作用于同一作用线上)。

该原理的正确性是显而易见的。因为一个平衡力系不会改变刚体的运动状态, 所以, 在原力系中加上或减去一个平衡力系, 都不会使刚体运动状态发生改变, 即新力系与原力系等效。

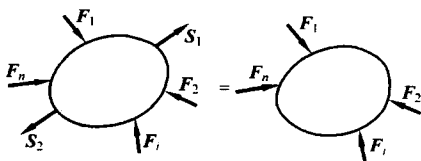


图 1-4 等效力系

应用上面两个原理, 可从理论上证明力的可传性(请读者自行推证)。

公理三 力的平行四边形法则 (parallelogram law)

作用于物体上同一点的两个力可以合成为一个力, 此合力方向由以原两力矢为邻边所构成的平行四边形的对角线矢量来表示。

如图 1-5(a) 作矢量 $\vec{AB}$ 及 $\vec{AD}$ 分别代表力 F_1 及 F_2 , 以 AB 和 AD 为邻边作平行四边形 $ABCD$, 则对角线矢 $\vec{AC}$ 即代表 F_1 与 F_2 的合力 F_R ; 力 F_1 及 F_2 则称为 F_R 的分力。

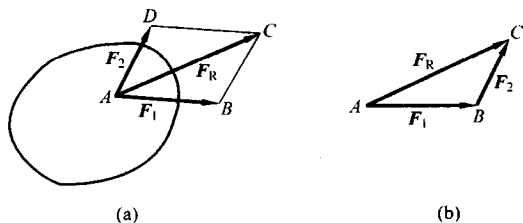


图 1-5 力的合成

平行四边形法则表明, 共点的两个力的合力等于这两个力的矢量和, 用矢量方程