

高等学校教材

工程力学

滕英元 主编

滕英元 刘金堂 张宇飞 编

高等教育出版社

高等学校教材

工程力学

Gongcheng Lixue

滕英元 主编

滕英元 刘金堂 张宇飞 编

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是工程力学中少学时教材,建议 56~72 学时。为适应不同专业的工程力学教学实际情况,本书的编写以深入浅出、简洁清晰、系统完整、准确实用为原则。全书共分为三篇 18 章,第一篇刚体静力学,包括静力学公理和物体受力分析,平面力系,空间力系;第二篇为材料力学,包括材料力学概述,轴向拉伸与压缩,剪切与挤压,扭转,弯曲内力和应力,梁的弯曲变形,应力应变分析和强度理论,压杆稳定;第三篇为运动学和动力学,包括点的运动学,刚体的简单运动,点的合成运动,刚体的平面运动,质点动力学的基本定律,动力学普遍定理,达朗贝尔原理。章节的安排比较紧凑,重点讲述基本概念与基本方法。每章给出讨论和总结供课堂讨论。本书配有适当的习题供学生课后学习和讨论。为突出重点,尽量简化公式的推导。

本书可作为一般本科院校材料、安全、交通、环境,化工等专业的工程力学教材,也可作为高职高专的工程力学教材和教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/滕英元主编;滕英元,刘金堂,张宇飞
编. --北京:高等教育出版社,2014.8
ISBN 978-7-04-040659-7

I. ①工… II. ①滕… ②刘… ③张… III. ①工程力学-高等学校-教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 159372 号

策划编辑 黄 强	责任编辑 黄 强	封面设计 于文燕	版式设计 杜微言
插图绘制 于 博	责任校对 胡美萍	责任印制 尤 静	

出版发行 高等教育出版社	咨询电话 400-810-0598
社 址 北京市西城区德外大街 4 号	网 址 http://www.hep.edu.cn
邮政编码 100120	http://www.hep.com.cn
印 刷 北京四季青印刷厂	网上订购 http://www.landraco.com
开 本 787 mm×960 mm 1/16	http://www.landraco.com.cn
印 张 30.5	版 次 2014 年 8 月第 1 版
字 数 510 千字	印 次 2014 年 8 月第 1 次印刷
购书热线 010-58581118	定 价 39.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 40659-00

◎ 与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站，请登录网站后开始课程学习。

一、网站登录

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/1248551>
2. 输入数字课程账号（见封底明码）、密码、验证码
3. 点击“进入课程”
4. 开始课程学习

账号自登录之日起一年内有效，过期作废。

使用本账号如有任何问题，请发邮件至：zhangshan@hep.com.cn。

二、资源使用

与本书配套的易课程数字课程资源按章构成，每章配有 PPT 电子教案、动画素材，内容标题和特定图标为：



1. PPT：供教师上课使用，与课程和教材紧密配套，也可供学生课前预习或课后复习使用，可下载。



2. 动画：教材中所列出的相关动画素材在数字课程的“动画”栏目下的对应章中都可以找到并下载，还给出了一些其他动画供参考。

◎ 前 言

本书是为材料、安全、交通、环境、化工等专业编写的工程力学教材。这些专业工程力学的教学课时受到限制，教学要求也因专业门类有所差异，且跨度较大。编者长期从事工程力学的教学工作，深感一本好教材对学生、对教学的重要性。我们的目标就是编写一本深入浅出、简洁清晰、系统完整、准确实用、并能被多数同行和读者认可的教材。

本书共分三篇，第一篇刚体静力学；第二篇材料力学；第三篇运动学和动力学。篇章的安排比较紧凑，重点讲述基本概念与基本方法，避免冗长繁琐的推导。

本书由沈阳航空航天大学力学系组织编写，参加编写的人员有：刘金堂和张宇飞（第1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11章）；滕英元（第12, 13, 14, 15, 16, 17, 18章及附录）。由滕英元担任主编。

哈尔滨工业大学方勃教授对本书全稿进行了审阅，并提出了很多宝贵的意见，特此致谢。本书在编写中参阅了国内外的许多优秀教材，谨致谢意。虽然经过编者很大努力，但是限于编写水平，书中难免存在缺点错误，请读者给予指正。

编 者

2014年3月

◎ 目 录

绪论	001
----------	-----

第一篇 刚体静力学

第 1 章 静力学公理和物体受力分析	005
--------------------------	-----

1.1 基本概念	005
1.2 静力学公理	006
1.3 约束与约束力	010
1.4 物体及物体系受力分析	016
1.5 结论与讨论	022
习题	023

第 2 章 平面力系	027
------------------	-----

2.1 平面汇交力系	027
2.2 平面力偶系	034
2.3 平面任意力系	038
2.4 物体系统的平衡·静定和超静定问题	044
2.5 桁架	049
2.6 考虑摩擦时的平衡问题	053
2.7 结论与讨论	065
习题	066

第 3 章 空间力系	075
------------------	-----

3.1 力在空间坐标轴上的投影	075
-----------------------	-----

3.2 空间力对点的矩和对轴的矩	076
3.3 空间力系的平衡方程	078
3.4 物体的重心	082
3.5 结论与讨论	090
习题	091

第二篇 材料力学

第4章 材料力学概述	097
------------------	-----

4.1 材料力学的任务	097
4.2 变形固体的基本假设	098
4.3 载荷及其分类	099
4.4 内力和应力	100
4.5 杆件变形的形式	102
4.6 材料力学的分析方法	103
4.7 结论与讨论	104
习题	104

第5章 轴向拉伸与压缩	106
-------------------	-----

5.1 轴向拉伸与压缩的概念和工程实例	106
5.2 轴向拉伸或压缩时的内力和应力 圣维南原理	106
5.3 材料拉伸压缩时的力学性能	111
5.4 失效、安全因数和强度条件	118
5.5 轴向拉压杆的变形	123
5.6 轴向拉伸压缩的超静定问题	125
5.7 应力集中的概念	128
5.8 拉压杆的应变能	130
5.9 结论与讨论	131
习题	132

第 6 章 剪切与挤压	137
6.1 连接件	137
6.2 剪切的观念	137
6.3 剪切的实用计算	138
6.4 挤压的实用计算	140
6.5 结论与讨论	145
习题	146
第 7 章 扭转	149
7.1 扭转的概念和工程实例	149
7.2 扭转的内力——扭矩	150
7.3 薄壁圆筒的扭转	153
7.4 圆轴扭转时的应力和强度条件	155
7.5 圆轴扭转时的变形和刚度条件	160
7.6 结论与讨论	164
习题	165
第 8 章 弯曲内力和应力	169
8.1 弯曲的概念和工程实例	169
8.2 梁的计算简图	170
8.3 弯曲内力	172
8.4 内力方程和内力图	174
8.5 载荷集度、剪力、弯矩之间的微分关系	177
8.6 纯弯曲时的正应力	182
8.7 弯曲切应力	190
8.8 弯曲的强度条件	197
8.9 提高梁弯曲强度的措施	202
8.10 结论与讨论	204
习题	206

第 9 章 梁的弯曲变形	213
9.1 工程中的弯曲变形问题	213
9.2 挠曲线近似微分方程	214
9.3 用积分法求弯曲变形	215
9.4 用叠加法求弯曲变形	223
9.5 简单超静定梁	230
9.6 梁的刚度条件及提高弯曲刚度的措施	235
9.7 结论与讨论	237
习题	238
第 10 章 应力应变分析和强度理论	243
10.1 应力状态及单元体	243
10.2 二向应力状态分析	246
10.3 三向应力状态	252
10.4 广义胡克定律	254
10.5 强度失效分析	256
10.6 关于脆性断裂经典强度理论	257
10.7 关于屈服的经典强度理论	259
10.8 强度条件的统一表达式	261
10.9 组合变形	263
10.10 结论与讨论	272
习题	273
第 11 章 压杆稳定	281
11.1 压杆稳定的概念和工程实例	281
11.2 细长压杆的临界压力 欧拉公式	282
11.3 临界应力及临界应力总图	287
11.4 压杆的稳定性校核	293
11.5 提高压杆稳定性的措施	296
11.6 结论与讨论	298
习题	299

第三篇 运动学和动力学

第 12 章 点的运动学	305
12.1 点的运动描述	305
12.2 结论与讨论	311
习题	311
第 13 章 刚体的简单运动	314
13.1 刚体的平移	314
13.2 刚体的定轴转动	315
13.3 结论与讨论	321
习题	322
第 14 章 点的合成运动	326
14.1 点的合成运动描述	326
14.2 速度合成定理	327
14.3 加速度合成定理	330
14.4 结论与讨论	338
习题	339
第 15 章 刚体的平面运动	344
15.1 刚体平面运动的概念	344
15.2 刚体平面运动的分解——平移和转动	345
15.3 平面图形内各点的速度	346
15.4 平面图形内各点的加速度	355
15.5 结论与讨论	362
习题	363

第 16 章 质点动力学的基本定律	367
16.1 质点动力学的基本定律	367
16.2 质点的运动微分方程	368
16.3 结论与讨论	373
习题	373
第 17 章 动力学普遍定理	376
17.1 动量定理	376
17.2 动量矩定理	384
17.3 动能定理	398
17.4 动力学普遍定理的应用	406
17.5 结论与讨论	408
习题	409
第 18 章 达朗贝尔原理	415
18.1 达朗贝尔原理	415
18.2 刚体运动时惯性力系的简化	417
18.3 结论与讨论	425
习题	426
附录 I 平面图形的几何性质	430
I.1 形心和静矩	430
I.2 惯性矩、惯性积和惯性半径	432
I.3 平行移轴公式	436
I.4 转轴公式 主惯性轴	438
习题	439
附录 II 型钢规格表	441
附录 III 习题答案	459
参考文献	473

绪 论

工程与力学密不可分。例如,机械工程中需要研究零件的运动和受力分析;土木工程中构件的承载能力问题;化工及食品工程中内压容器和管道的强度和刚度等问题。工程力学正是面向工程的需要,为研究和解决工程中的力学问题而提供理论依据和基本计算方法的学科。工程力学涵盖刚体静力学、运动学、动力学(这三部分称为理论力学),以及材料力学。

结构的合理安全设计,需要解决两个方面的问题。一是结构中的构件受力与结构承载之间的关系,即要计算出结构在载荷作用下的每个构件所受的力;二是明确构件对强度、刚度以及稳定性的要求,弄清材料属性、截面尺寸、支承形式等因素与构件所能承受能力之间的关系,即确定如何设计构件才能确保安全可靠、经济合理。前者属于理论力学的研究范围,后者属于材料力学需要解决的问题。

工程力学的任务:研究结构和构件的受力、平衡、运动规律,研究构件承载能力的科学计算方法,从而为设计工程构件提供必要的理论基础和计算方法,使结构和构件能安全、可靠、合理、经济地工作。

工程中涉及机械运动的物体十分复杂。在研究物体的机械运动时,必须忽略一些次要因素的影响,对其进行合理简化,抽象出力学模型。当所研究物体的运动范围远远超过其本身的几何尺度时,物体的形状和大小对运动的影响很小,这时可将其抽象为只有质量而没有体积的质点。由若干质点组成的系统,称为质点系。如果质点系中质点之间的联系是刚性的,这样的质点系称为刚体;如果联系是弹性的,质点系就是弹性体;如果质点系中的质点都是自由的,这时质点系便是自由质点系。质点、刚体与弹性体都是实际物体的抽象力学模型,不是绝对的,例如对于一个航天器,当讨论运动轨道时,视航天器为质点;当讨论运动姿态时,则视航天器为刚体。又如当讨论地球绕太阳运动时,视地球为质点;当讨论地球自转时,视地球为刚体;当讨论地震时,则须将地球看作变形体。

工程力学的研究方法有理论方法、实验方法和计算机数值分析方法等。在解决工程实际中的力学问题时,首先从实践出发,经过抽象、综合、归纳,运用数学推演得到定理和结论。对于复杂的工程问题往往需借助计算机进行数值分析和公式推导,最后通过实验验证理论和计算结果的正确性。

学习工程力学,要注意观察实际机械设备的运行情况,以及日常生活

中的力学现象，同时对工程力学理论要勤于思考、善做习题。通过掌握理解本课程的内容，为学习后继课程打好基础，并能初步运用工程力学理论和方法解决工程实际中的技术问题。

第一篇

刚体静力学

刚体静力学研究刚体在力系作用下的平衡问题。主要包括以下三方面的内容。

物体的受力分析：分析结构或构件所受到力作用的大小、方向和作用线。

力系的等效和简化：研究作用在物体上的复杂力系用简单力系来等效替代，分析力系的合成规律。通过力系的等效和简化分析力系对物体作用的效应。

力系的平衡条件与平衡方程：研究物体处于平衡状态时力系应满足的条件，并根据平衡条件建立力系平衡方程。

应该指出，刚体静力学的核心内容是求解刚体在力系作用下的平衡问题，即利用平衡方程求解刚体或刚体系统的平衡问题，而力系的等效简化则是为了建立力系的平衡条件。

刚体静力学的概念、理论和方法不仅是工程结构设计的基础，而且在解决许多工程技术问题中有着广泛应用。

第1章 静力学公理和物体受力分析



PPT 1-1:

静力学公理和
物体的受力分
析.ppt

1.1 基本概念

1. 力的概念

力是物体间的相互作用,这种作用使物体的运动状态或物体形状发生改变。前者称为力的**运动效应**(**外效应**),后者称为力的**变形效应**(**内效应**)。静力学、运动学和动力学研究力的运动效应,研究对象为刚体;而材料力学研究力的变形效应,研究对象则为变形体。

力对物体的作用效果由力的三要素决定:大小、方向、作用点。

力的三个要素可用一个定位矢量来表示,如图1-1所示。按一定的比例尺画出的矢量的长度 AB 表示力的大小,矢量的方向表示力的方向,矢量的始端(也可以是末端)点 A 表示力的作用点;矢量 AB 沿着的直线表示力的作用线。通常用黑斜体字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量,而用白斜体字母 F 表示力的大小,图1-1中 $F=600\text{ N}$ 。

在国际单位制(SI)中,用N或kN作为力的单位。

物体受力一般是通过物体间直接或间接接触进行的。接触处多数情况下不是一个点,而是具有一定尺寸的面。因此不论是施力体还是受力体,其接触处所受的力都是作用在接触面上的,这样的力称为**分布力**;当作用面均匀分布在接触面上时,这样的力称为**均布力**,均布力是分布力的特例。而当分布力作用面很小时,为了分析计算方便,可以将分布力简化为作用于一点的力,称为**集中力**。

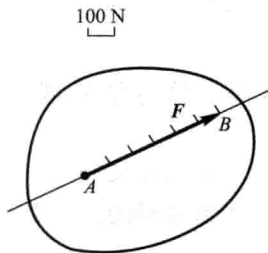


图 1-1

力系是指作用在物体上若干个力所形成的集合。作用在物体上的一个力系如果可以用另一个力系来代替,而不改变对物体的作用效应,那么这两个力系互为**等效力系**。如果一个力和一个力系等效,则这个力称为该力系的**合力**。

2. 质点和刚体的概念

在研究物体的机械运动问题时,物体的形状和大小与研究的问题无关

或影响很小，可以忽略。这样在研究问题时，不计物体的形状和大小，只考虑物体的质量并将物体视为一个点，即**质点**。由多个质点组成的系统，称为**质点系**。

刚体是指由无穷多个质点组成的不变形的几何形体。在力的作用下，刚体内部任意两点之间的距离始终保持不变。刚体是一个理想化的力学模型。实际物体在力的作用下，都会产生程度不同的变形。这些微小的变形，对研究物体的平衡问题或运动规律不起主要作用，可以略去不计，使问题的研究大为简化。但是不应该把刚体的概念绝对化。例如，在研究飞机的平衡问题或飞行规律时，可以把飞机看作刚体；在研究飞机的颤振问题时，机翼等的变形虽然非常微小，但是必须把飞机看作弹性体。另外，在计算某些工程结构时，如果不考虑它们的变形，而仍使用刚体的概念，则问题将成为不可解的。

3. 平衡的概念

物体相对于惯性参考系保持静止或匀速直线运动的状态，称为物体的**平衡状态**。物体的平衡状态是物体机械运动的特殊形式。

如果刚体在一个力系的作用下处于平衡状态，则此力系称为**平衡力系**。力系平衡时所满足的条件称为**力系的平衡条件**。力系的平衡条件有着十分重要的工程意义。

1.2 静力学公理

人们在长期的生活和生产活动中，不仅建立了力的概念，而且总结出了力所遵循的许多规律，其中最基本的规律可归纳为五个公理。

1.2.1 公理一（二力平衡公理）

受两个力作用的物体，其平衡的充分必要条件是：**两个力大小相等、方向相反，并且作用在同一条直线上**（图 1-2），简称这两个力等值、反向、共线。即

$$F_1 = -F_2$$

上述条件对于刚体来说，是充分必要条件；而对于变形体来说，仅仅是必要条件。例如，绳索受两个等值反向的拉力作用时可以平衡，而两端受一

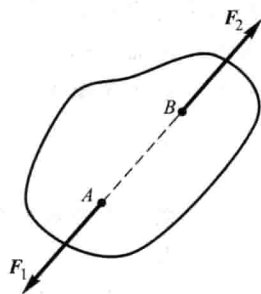


图 1-2