

高等院校力学教材

工程力学 简明教程

龚良贵 熊拥军 主编

清华大学出版社

工程力学 简明教程

龚良贵 熊拥军 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据“高等学校工科本科工程力学(少学时)基本要求”编写而成。全书共分2篇10章,按整合优化方式编写,把原理论力学中的静力学和材料力学中的主要内容加以精选、融合与贯通,分为静力学和材料力学两个模块进行课堂教学。全书以工程实际为背景,贯彻“理论联系实际”的方针和“少而精”的原则,注重力学概念和工程实用性,力求理论与应用并重、知识传授与能力培养结合,以“必需”、“够用”为度,突出“知识和能力”这条主线,重视启发式教学,意在加强学生综合素质的培养。

本书可作为高等学校工科近机械类、近土木类,以及材料类专业工程力学课程的教材,也可作为高职高专、成人高校相应专业的自学和函授教材,还可供有关工程技术人员参考。

教学安排建议采用40~60学时,部分章节可根据专业差异进行取舍。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工程力学简明教程/龚良贵,熊拥军主编.---北京:清华大学出版社,2013.1
ISBN 978-7-302-30794-5

I. ①工… II. ①龚… ②熊… 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(2012)第287020号

责任编辑:杨倩 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘玉霞

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:170mm×230mm 印 张:21.5 字 数:374千字

版 次:2013年1月第1版 印 次:2013年1月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:35.00元

产品编号:048163-01

前 言

工程力学是高等工科院校中许多专业普遍开设的一门重要的技术基础课程,其内容在工程中有着广泛应用。本书根据“高等学校工科本科工程力学(少学时)基本要求”编写而成,可作为高等学校工科近机械类、近土木类,以及材料类专业工程力学课程的教材,也可作为高职高专、成人高校相应专业的自学和函授教材,还可供有关工程技术人员参考。教学时数建议采用40~60学时,部分章节可根据专业差异及学时多少进行取舍。

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对应用型人才的要求,根据编者多年来讲授工程力学课程的教学与改革实践及体会,编写了此教材。全书以工程实际为背景,贯彻理论联系实际的方针和少而精的原则,注重力学概念和工程实用性,力求理论与应用并重、知识传授与能力培养结合,以必需、够用为度,突出知识和能力这条主线,重视启发式教学,意在加强学生综合素质的培养。

本书使用对象定位于一般高等工科院校本科、民办本科及要求较高的高职高专开设工程力学课程的各类专业学生,综合考虑一般高校学生的数理基础、工程力学课程课内学时普遍减少和应用型人才的培养目标等诸多因素,本书符号全部采用《量和单位》GB 3100~3102—1993中规定的有关通用符号,内容难度尽量浅一些,讲得通俗一些,容易理解一些。考虑到工程力学理论易懂,习题难做的现象,要求学生除了认真听课外,还要认真对待书中的思考题和习题,以克服眼高手低的问题。只有这样,才能较快地理解并掌握工程力学的基本概念、基本理论、基本方法及要点和难点。

本教材在编写时,注意处理好本课程与前修课程和后续课程间的衔接;处理好内部相关内容间的关系;精选经典内容,渗透现代力学思想,重在讲

清概念,减少理论推导;加强工程意识和工程方法的训练。在每章后面都附有思考题、习题及习题答案,旨在指导学生学习,启发学生思考。

本书由龚良贵、熊拥军主编。具体分工如下:第1章、第2章、第4~8章、第10章、附录B、附录C由龚良贵(南昌大学)编写;第3章、第9章、附录A由熊拥军(南昌大学)编写。龚良贵完成统稿工作。

在本书的编写过程中,得到南昌大学领导的大力支持,在此致以诚挚的谢意。

限于作者水平,加之时间仓促,书中难免存在缺点和不妥之处,恳请各位专家、同仁和广大读者批评指正。

编者
2012.10

目 录

绪论	1
----------	---

第 1 篇 静 力 学

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析	5
1.1 静力学基本概念	5
1.2 静力学公理	6
1.3 约束和约束反力	9
1.4 物体的受力分析	13
本章小结	18
思考题	19
习题	20
第 2 章 平面力系	22
2.1 平面汇交力系	22
2.1.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	22
2.1.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	25
2.2 力对点之矩	28
2.3 平面力偶系	29
2.4 平面任意力系	35
2.4.1 力线平移定理	35
2.4.2 平面任意力系的简化	36

2.4.3 平面任意力系的平衡	39
2.5 物体系统的平衡	43
2.6 平面简单桁架的内力计算	45
2.7 考虑摩擦的平衡问题	48
2.7.1 滑动摩擦	49
2.7.2 摩擦角与自锁现象	51
2.7.3 考虑滑动摩擦的物体平衡问题	52
本章小结	55
思考题	56
习题	58
习题答案	63
第3章 空间力系	66
3.1 空间汇交力系	66
3.2 力对点的矩和力对轴的矩	69
3.3 空间力偶系	72
3.4 空间任意力系	74
3.5 重心	78
本章小结	83
思考题	84
习题	85
习题答案	87

第2篇 材料力学

第4章 材料力学的基本概念	91
4.1 材料力学的任务	91
4.2 变形固体的基本假设	92
4.3 内力 截面法和应力的概念	93
4.4 位移与应变的概念	96
4.5 杆件变形的基本形式	97
本章小结	100
思考题	101
习题	101

习题答案	103
第 5 章 拉伸、压缩与剪切	104
5.1 轴力及轴力图	105
5.2 轴向拉伸、压缩时的应力	107
5.2.1 轴向拉伸、压缩时横截面上的正应力	107
5.2.2 轴向拉伸、压缩时斜截面上的应力	110
5.3 轴向拉伸、压缩时材料的力学性能	112
5.3.1 轴向拉伸时材料的力学性能	112
5.3.2 轴向压缩时材料的力学性能	116
5.4 轴向拉伸、压缩时的强度计算	117
5.5 轴向拉伸、压缩时的变形	121
5.6 拉伸、压缩超静定问题	124
5.7 应力集中的概念	128
5.8 连接件的实用强度计算	129
5.8.1 剪切实用强度计算	130
5.8.2 挤压实用强度计算	132
本章小结	135
思考题	137
习题	138
习题答案	144
第 6 章 扭转	146
6.1 外力偶矩的计算 扭矩及扭矩图	147
6.2 薄壁圆筒的扭转	150
6.2.1 薄壁圆筒扭转时的切应力	150
6.2.2 切应力互等定理	152
6.2.3 剪切胡克定律	152
6.3 圆轴扭转时的应力和强度计算	153
6.3.1 圆轴扭转时横截面上的切应力	153
6.3.2 圆轴扭转时强度计算	156
6.4 圆轴扭转时的变形和刚度计算	159
6.4.1 圆轴扭转时的变形	159
6.4.2 圆轴扭转时的刚度计算	159

6.5 圆轴扭转时的超静定问题	162
本章小结	163
思考题	165
习题	165
习题答案	167
第7章 弯曲	169
7.1 平面弯曲梁的计算简图	171
7.2 梁的剪力与弯矩 剪力图与弯矩图	172
7.2.1 剪力与弯矩	172
7.2.2 剪力方程与弯矩方程 剪力图与弯矩图	176
7.2.3 剪力、弯矩和分布荷载集度间的微分关系	181
7.2.4 按叠加原理作梁的弯矩图	187
7.2.5 平面刚架和曲杆的内力图	189
7.3 梁的正应力和强度计算	191
7.3.1 梁的正应力	191
7.3.2 梁的正应力强度条件	196
7.4 梁的切应力和强度计算	200
7.4.1 梁的切应力	200
7.4.2 梁的切应力强度计算	204
7.5 提高梁弯曲强度的措施	207
7.6 梁的变形和刚度计算	211
7.6.1 挠曲线近似微分方程	211
7.6.2 用积分法求梁的挠度和转角	213
7.6.3 用叠加法求梁的挠度和转角	219
7.6.4 梁的刚度计算和提高梁弯曲刚度的措施	223
7.7 简单超静定梁	224
本章小结	227
思考题	229
习题	229
习题答案	238
第8章 应力状态和强度理论	240
8.1 应力状态的概念	240

8.2	二向应力状态	242
8.2.1	二向应力状态的解析法	242
8.2.2	二向应力状态的图解法	248
8.3	三向应力状态	252
8.4	广义胡克定律	254
8.5	强度理论及其应用	256
8.5.1	材料的破坏形式	256
8.5.2	常用的强度理论及其应用	257
	本章小结	261
	思考题	262
	习题	263
	习题答案	265
第 9 章	组合变形的强度计算	267
9.1	拉伸(压缩)与弯曲的组合	268
9.2	扭转与弯曲的组合	272
9.3	两相互垂直平面内的弯曲	275
	本章小结	279
	思考题	280
	习题	281
	习题答案	285
第 10 章	压杆稳定	286
10.1	压杆稳定的概念	286
10.2	细长压杆的临界力	288
10.2.1	两端铰支细长压杆的临界力	288
10.2.2	其他支座条件下细长压杆的临界力	289
10.3	压杆的临界应力及临界应力总图	291
10.3.1	细长压杆的临界应力	291
10.3.2	临界应力总图	292
10.4	压杆的稳定计算	295
10.5	提高压杆稳定性的措施	298
	本章小结	298
	思考题	299

习题	300
习题答案	302
附录 A 截面的几何性质	303
A.1 形心与静矩	303
A.2 惯性矩和惯性积	305
A.3 平行移轴公式	307
A.4 主轴与主惯性矩的概念	309
思考题	311
习题	311
习题答案	312
附录 B 梁在简单荷载作用下的变形	314
附录 C 型钢表	317
表 C-1 热轧等边角钢(GB 9787—1988).....	317
表 C-2 热轧不等边角钢(GB 9788—1988).....	323
表 C-3 热轧槽钢(GB 707—1988)	328
表 C-4 热轧工字钢(GB 706—1988)	331
参考文献	334

绪 论

工程力学是一门理论性较强的技术基础课,它是诸多力学课程的基础,并在工程技术领域中有着广泛的应用。

1. 工程力学的任务

机械设备或工程结构都是由若干构件组成的。当它们传递运动或承受载荷时,各个构件都要受到力的作用。因此,首先必须确定作用在各个构件上有哪些力,以及它们的大小和方向;其次在确定了作用在构件上的外力后,还必须为构件选用合适的材料,确定合理的截面形状和尺寸,以保证构件既能安全可靠地工作又符合经济要求。这些都是工程力学所要解决的问题。

工程力学主要研究物体的机械运动和杆件弹性变形的一般规律。它是高等工科院校的一门理论性较强的技术基础课程,可以为后续课程的学习和解决工程实际问题提供力学的基本理论和方法。

机械运动,是指物体在空间的位置随时间而发生的改变。机械运动是物质各种运动(如发热、发光、电磁现象、化学过程等)中最基本以及人们在生产和生活中最常见的一种运动形式。

变形,是指物体在外力作用下形状和尺寸的改变。物体的变形按其性质可分为两种:一种是弹性变形,它是随外力的解除而消失的变形;另一种是塑性变形,或称残余变形,它是在外力解除后不能消失的变形。杆件是指一个方向(长度方向)尺寸远大于其他两个方向(宽度和厚度方向)尺寸的构

件。本课程主要研究杆件的弹性变形问题。

工程力学课程的任务,概括起来可分为两类。

(1) 研究物体的机械运动与所受力之间的关系。这里包括力的一般性质,力系的简化及物体在力系的作用下平衡规律的研究;物体运动几何性质的描述;物体运动状态改变与其所受力之间的关系。以便掌握物体机械运动的基本规律和研究方法。

(2) 研究物体变形与所受力之间的关系。即研究物体在外力作用下变形和破坏的规律,为解决构件强度、刚度和稳定性问题提供基本理论和计算方法。

2. 工程力学的研究方法

由观察和实验可知,在外力作用下,任何物质均会变形。工程力学的研究方法是实验观察—建立模型—理论分析—实验(实践)验证。这是自然科学研究问题的一般方法。

本课程研究的物体,大多是各种工程结构物及其构件。这些结构物和构件,形状大小各异,组成也很复杂。因此,在研究它们的运动和变形时,首先必须根据问题的性质,抓住主要方面,略去次要因素,合理简化,抽象为力学模型。这是重要的一步。

在研究物体的平衡规律时,由于物体变形量很小或变形因素对问题的研究影响很小,可忽略物体的变形而将其抽象为“刚体”。在研究物体机械运动的几何性质和运动状态改变与受力之间的关系时,因为物体的运动范围远大于物体本身的大小,所以可将物体抽象为一个“质点”,或者由质点组成的“质点系”。但在研究物体的变形与受力之间的关系时,则不能再将物体视为刚体,而应看成可变形固体。

建立模型之后,可运用数学方法进行分析计算。这种解决工程力学问题的方法称为理论方法。然而,许多工程实际问题,仅靠理论方法还不能有效地解决,但通过实验的方法可得到满意的结果。另外,在解决构件的承载能力问题时,需要通过实验测定材料的力学性质。可见,实验方法也是解决工程力学问题的一个必不可少的方法。

随着计算机技术的迅速发展,计算机分析方法在工程力学领域中已得到日益广泛的应用,并促进着工程力学研究方法的更新。这将使工程力学在解决日常生活、环境、交通和国防等工程问题中发挥更大的作用。

第 1 篇 静力学

静力学是研究在力系作用下,物体平衡条件的一般规律的科学。

在静力学中,我们将研究三方面问题:

(1) 物体的受力分析。分析物体受到哪些力的作用,以及每个力的作用位置和方向。

(2) 力系的等效与简化。将作用在物体上的一个力系,用另一个与其等效的力系来代替,这两个力系互为等效力系。如果用一个简单力系等效地替换一个复杂力系,则称为力系的简化。如果某力系与一个力等效,则此力称为该力系的合力,而力系中各力称为此力系的分力。

(3) 力系的平衡条件。研究作用在平衡状态物体上的各种力系所需满足的条件。使物体处于平衡状态的力系,称为平衡力系。

力系的平衡条件在工程中有着十分重要的意义,是设计工程结构和机械零件时静力计算的基础。因此,静力学在工程中有着最广泛的应用。

第 1 章

静力学公理和物体的受力分析

本章阐述静力学基本概念、静力学公理,介绍工程中常见的约束类型及约束反力,以及物体的受力分析。静力学公理是静力学理论的基础,物体的受力分析是力学中重要的基本技能。

1.1 静力学基本概念

(1) 力的概念。力是指物体间的相互机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化或形状发生变化。前者称为运动效应(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、方向和作用点三个要素,因此,力应以矢量表示。在本书中用黑色字体 F 表示力矢量。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。

(2) 力系的概念。力系是指同时作用在物体上的一群力。作用线在同一平面内的力系,称为平面力系;作用线不在同一平面内的力系,称为空间力系。作用线汇交于一点的力系,称为汇交力系;作用线相互平行的力系,称为平行力系;作用线既不汇交于一点,又不相互平行的力系,称为任意力系,又称为一般力系。

(3) 刚体的概念。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

后或多或少都会发生变形,因此,实际上并不存在绝对的刚体。但是,对那些在运动中变形极小,或者,虽有变形但不影响其整体运动的物体,忽略变形,对问题的研究结果不仅没有显著影响,而且可以使问题得以简化,这时,该物体可抽象为刚体。

(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。在工程实际中,通常把固连于地球的参考系作为惯性参考系,用此参考系来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。

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。

公理 1: 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力,使刚体保持平衡的充要条件是:这两个力的大小相等,方向相反,且在同一直线上,如图 1.1 所示。即

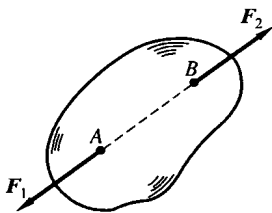


图 1.1 二力平衡条件

$$F_1 = -F_2 \quad (1-1)$$

这个公理揭示了作用于物体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件。对刚体来说这个条件既是必要的,又是充分的;但对于变形体,它只是平衡的必要条件,而不是充分条件。例如,软绳受两个等值、反向、共线的拉力作用可以平衡,而受两个等值、反向、共线的压力作用就不能平衡。

工程上,把只受两个力作用而处于平衡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,其所受的两个力作用线必沿这两个力作用点的连线。这一性质在对物体进行受力分析时极为有用。

公理 2: 加减平衡力系原理

在作用于刚体上的已知力系中加上或减去任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。