

高等学校教材

工程力学

赵秋玲 张君华 刘芳 编



高等教育出版社

高等学校教材

工程力学

GONGCHENG LIXUE

赵秋玲 张君华 刘芳 编

高等教育出版社·北京

内容提要

本教材适用于 50 ~70 学时的“工程力学”课程教学。全书共分为三篇,第一篇为静力学,包括静力学的基本概念和公理、受力分析,平面汇交力系,力矩与平面力偶系,平面一般力系,摩擦,以及空间力系;第二篇为材料力学,包括材料力学绪论,轴向拉伸和压缩,剪切和扭转,弯曲内力,梁弯曲的应力,弯曲变形,应力状态和强度理论、组合变形,以及压杆稳定;第三篇为运动学,包括运动学绪论及点的运动学,刚体基本运动,点的合成运动,以及刚体平面运动。

本书简明扼要,通俗易懂,注意理论联系实际,可作为高等学校工程力学类教材,也可供函授、高职高专的相关专业师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/赵秋玲,张君华,刘芳主编.--北京:高等教育出版社,2016.8

ISBN 978-7-04-045688-2

I. ①工… II. ①赵…②张…③刘… 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(2016)第 139761 号

策划编辑 周冉
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 黄强
责任校对 吕红颖

封面设计 李卫青
责任印制 韩刚

版式设计 杜微言

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京东君印刷有限公司
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 19.75
字 数 360 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>

版 次 2016 年 8 月第 1 版
印 次 2016 年 8 月第 1 次印刷
定 价 31.50 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 45688-00

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/1251581>, 点击“注册”。在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”界面。

2. 点击“我的课程”页面右上方“绑定课程”, 按网站提示输入教材封底防伪标签上的数字, 点击“确定”完成课程绑定。

3. 在“正在学习”列表中选择已绑定的课程, 点击“进入课程”即可浏览或下载与本书配套的课程资源。刚绑定的课程请在“申请学习”列表中选择相应课程并点击“进入课程”。

账号自登录之日起一年内有效, 过期作废。

二、资源使用

与本书配套的易课程数字课程资源包含图片, 动画, 材料力学部分关于动载荷及交变应力的补充阅读, 以及附录中的实验指导书、型钢表的内容。其中, 图片及动画以二维码的形式出现在书中, 扫描后即可观看。全部资源均可登录网站进行学习。

前言

本书为适应高校培养应用型工程师的需要,以及培养高素质应用型人才的目标,并结合现代高校大学生的特点及编者多年的一线教学经验,编写而成。本书是为近机械类、非机械类专业编写,适合 50~70 学时的教学使用。

本书包括静力学、材料力学和运动学三部分内容,并力求做到以下几点:一是通过大量工程和生活实例引出力学理论,便于学生理解,激发学习兴趣;二是例题、习题新颖多样,并难易兼顾,注重培养学生的工程意识,同时为专业学习打好基础;三是力求做到体系完整有条理、内容翔实有新意、通俗易懂有层次,同时针对学生专业特点选择工程实例及习题。例如,工业设计专业注重力学之美,工业工程专业注重各类机械的典型应用,测控技术与仪器专业则注重平衡、精度以及机构的运动。

本书的材料力学和运动学部分由赵秋玲负责编写,静力学部分由张君华负责编写,全书最后由赵秋玲定稿。编者有多年的力学教学经验,在编写过程中力争将基本概念和基本方法阐述得清楚、易懂,帮助读者在较短的时间内深入理解并融会贯通所学知识,掌握解决基本实际力学问题的方法,具备理论联系实际的能力。

本书在编写过程中,参考了国内外优秀教材和教辅书籍,在此,编者对这些教材和教辅书籍的编者深表谢意。另外,本书得到了机电学院领导的鼓励 and 大力支持,特别是得到了我校工业设计专业、测控技术与仪器专业和工业工程专业老师们给予的热心指导,以及力学教研组全体老师的支持和帮助,在此,编者一并表示衷心感谢。

本书的完成得到了国家自然科学基金(11472057)、北京市教育委员会科技计划面上项目(KM201511232001)的支持,编者谨在此表示感谢。

限于编者水平,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2016 年 1 月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 静 力 学

第一章 静力学的基本概念和公理 受力分析	5
§ 1-1 静力学基本概念	5
§ 1-2 静力学公理	7
§ 1-3 约束和约束力	11
§ 1-4 受力分析和受力图	16
习题	19
第二章 平面汇交力系	22
§ 2-1 平面汇交力系合成及平衡的几何法	22
§ 2-2 平面汇交力系合成及平衡的解析法	24
习题	28
第三章 力矩与平面力偶系	30
§ 3-1 力矩概念与合力矩定理	30
§ 3-2 力偶的概念与性质	32
§ 3-3 平面力偶系的合成与平衡条件	34
习题	37
第四章 平面一般力系	39
§ 4-1 平面一般力系实例	39
§ 4-2 平面一般力系向作用面内任一点简化	40
§ 4-3 平面一般力系的平衡条件(平衡方程)	44
§ 4-4 物系的平衡 静定和静不定问题	47
§ 4-5 简单平面桁架的内力计算	50
习题	53
第五章 摩擦	58
§ 5-1 滑动摩擦	58
§ 5-2 摩擦定律、摩擦角及自锁现象	59
§ 5-3 考虑滑动摩擦的平衡问题	62

§ 5-4	滚动摩擦的概念	64
习题		66
第六章	空间力系	69
§ 6-1	工程中的空间力系问题	69
§ 6-2	力在空间直角坐标轴上的投影	70
§ 6-3	力对轴之矩	71
§ 6-4	力螺旋 空间任意力系的平衡条件	75
§ 6-5	平行力系的中心及重心	79
习题		86
第二篇 材料力学		
第七章	材料力学绪论	93
§ 7-1	材料力学的任务	93
§ 7-2	横截面上的内力和应力	98
习题		100
第八章	轴向拉伸和压缩	101
§ 8-1	轴向拉伸、压缩杆件及实例	101
§ 8-2	轴向拉伸、压缩杆件横截面上的内力和应力	102
§ 8-3	轴向拉伸和压缩杆件的变形、线应变及胡克定律	107
§ 8-4	材料在静载荷拉伸、压缩时的力学性能	109
§ 8-5	许用应力、安全系数及强度条件	113
§ 8-6	拉、压超静定问题	116
§ 8-7	应力集中的概念	118
习题		120
第九章	剪切和扭转	124
§ 9-1	剪切的概念及实例	124
§ 9-2	连接件强度的实用计算	125
§ 9-3	扭转的概念及实例	130
§ 9-4	扭转的内力——扭矩和扭矩图	131
§ 9-5	圆轴扭转时的应力和强度条件、变形和刚度计算	133
习题		142
第十章	弯曲内力	147
§ 10-1	弯曲的概念及实例	147
§ 10-2	梁的内力——剪力和弯矩	148
§ 10-3	平面刚架和平面曲杆的内力	157

习题	159
第十一章 梁弯曲的应力	161
§ 11-1 梁弯曲时的正应力	161
§ 11-2 惯性矩和惯性半径	165
§ 11-3 横弯曲正应力及强度计算	168
§ 11-4 提高弯曲强度的措施	173
§ 11-5 横弯曲剪应力	177
习题	181
第十二章 弯曲变形	185
§ 12-1 小挠度曲线的近似微分方程	185
§ 12-2 用积分法求梁的变形	187
§ 12-3 用叠加法求梁的变形	193
§ 12-4 梁的刚度条件、提高梁刚度的措施及简单静不定梁	194
习题	196
第十三章 应力状态和强度理论 组合变形	200
§ 13-1 一点应力状态概念及其表示方法 工程实例	200
§ 13-2 二向应力状态分析的解析法和图解法	203
§ 13-3 三向应力状态和广义胡克定律简介	208
§ 13-4 强度理论概论	210
§ 13-5 组合变形的强度计算	215
习题	221
第十四章 压杆稳定	227
§ 14-1 压杆稳定概念及实例	227
§ 14-2 细长压杆的临界力	229
§ 14-3 压杆的临界应力	232
§ 14-4 压杆的稳定性计算	235
§ 14-5 提高压杆稳定性的措施	236
习题	239

第三篇 运 动 学

第十五章 运动学绪论及点的运动学	245
§ 15-1 点运动的实例	246
§ 15-2 点的运动方程及速度、加速度的矢量表示	246
§ 15-3 点的运动在直角坐标系中的表示法	248
§ 15-4 点的运动在自然轴系上的表示法	253

习题	256
第十六章 刚体基本运动	259
§ 16-1 刚体的平行移动	260
§ 16-2 刚体的定轴转动	262
§ 16-3 轮系的传动	266
习题	268
第十七章 点的合成运动	271
§ 17-1 点的合成运动的基本概念和实例	271
§ 17-2 点的速度合成定理	273
§ 17-3 牵连运动为平移时的加速度合成定理	278
§ 17-4 牵连运动为转动时的加速度合成定理	281
习题	284
第十八章 刚体平面运动	288
§ 18-1 刚体平面运动的简化与分解	288
§ 18-2 平面图形上点速度分析的基点法	291
§ 18-3 平面图形上点速度分析的瞬心法	293
§ 18-4 平面图形上各点的加速度	299
习题	301
主要参考书目	305

绪 论

“工程力学”是既与工程又与力学密切相关的课程,是工程学科的一门基础课程。本课程注重培养学生的工程意识,在培养工程师的过程中起着十分重要的作用,为后续的工程课程铺设了路基。工程力学的基本概念和方法在工科的后续课程中,既是基础性的知识,又是解决各类工程结构与构件的受力、变形与运动问题的基本方法。

工程力学中的每条规律、每个知识点都来源于实际问题,这些公理和规律都是人们长期生产、生活实践的积累,而且经过实践检验,工程实际以及日常生活中的很多问题和现象都可以用工程力学的知识来解释。

图 0-1 为上海南浦大桥,它的主体主要由两种桥组合而成:横跨水面的部分是斜拉桥,陆地上面的部分由桥墩支撑。研究桥梁不同位置处所用的每根拉索受的力和每座桥墩受的力,属于工程力学中的静力学问题;工程力学的材料力学部分,则为这些受力构件选择材料、设计尺寸,造出既安全、经济又美观的桥。而工程力学中运动学及动力学部分,则可以研究需要在什么位置、建造怎样的引桥才能让不同方向的车辆都能顺利通过立交桥。我们设计任何产品,都要先考虑它的受力情况,基于此再进一步考虑安全、经济和美观。所以,工程力学是美丽而有用的科学,学好它对于工科学生非常重要。



图 0-1

除了工业部门的工程外,还有一些非工业工程也与工程力学密切相关,体育运动工程就是一例。例如,撑杆跳高运动,杆从着地到运动员跃起的过程中发生

了一系列变形,运动员需要怎样配合使用才能在越过横杆时达到最大高度,这是工程力学问题。生活中也存在大量工程力学问题。通过“工程力学”课程的学习,掌握刚体及其系统平衡的基本规律,了解刚体机械运动的基本分析方法,掌握构件的强度、刚度的基本概念和基本分析方法,初步掌握和了解工程力学的理论和分析方法,并为将来学习和掌握新的科学技术提供必要的基础和条件。

“工程力学”是由基础课过渡到专业课的技术基础课,应具备数学、物理等课程的基础,同时为一系列后续课程做准备,是机械设计、机械制造技术、制造装备及自动化、工程材料、安全工程、材料成型技术、产品设计等相关专业课程的先修课。

第一篇 静 力 学

第一章 静力学的基本概念和公理 受力分析

静力学研究物体在力系作用下的平衡规律;同时也研究力的一般性质,以及力系的简化方法。静力学是工程力学的基础部分,在工程技术中有着广泛的应用。例如,图 1-1 中桥式吊车,它由桥架、吊钩和钢丝绳等构件所组成。为了保证吊车能正常工作,设计时首先必须分析各构件所受的力,并根据平衡条件算出这些力的大小,然后才能进一步考虑选择什么样的材料,并设计构件的尺寸等。静力学是材料力学的基础,在工程中具有重要的实际意义。

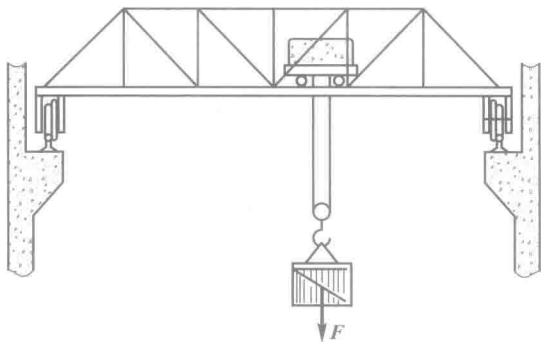


图 1-1

静力学的研究对象是刚体。研究内容包括:物体的受力分析方法,力系的等效与简化,力系的平衡条件及平衡方程。

§ 1-1 静力学基本概念

1. 平衡

力学是研究物体机械运动的科学。机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。

平衡:物体相对于惯性参考系处于静止或匀速直线运动的状态。平衡是物体机械运动的特殊情况。

静力学是关于物体平衡的科学,是研究物体在力作用下的平衡规律及其应

用。一般在工程问题中,可将地球作为惯性参考系,这里所指的静止、匀速直线运动都是相对于地球来说的。

2. 刚体

静力学的研究对象是实际物体理想化的力学模型,包括质点和刚体。质点是当物体的尺寸可以忽略时,将其看成有质量的点,质点系就是质点的集合。刚体是特殊的质点系,是指在任何情况下都不发生变形的物体(其上任意两个质点间的距离保持不变)。

严格地说,任何物体在力的作用下,或多或少都要产生变形,受力后不变形的物体是没有的。之所以提出刚体的概念,有以下原因:

(1) 在工程问题中,物体变形后不影响它的运动或影响很小,则可以将物体作为刚体来处理。

(2) 在讨论问题时,把物体抽象成刚体后可抓住问题的主要矛盾。即突出了力与物体运动的关系,从而使研究的问题简化,便于分析。一个物体能否视为刚体,不仅取决于变形的大小,而且和问题本身的要求有关。

图 1-1 所示的单梁吊车在大型厂房中经常用到,它受力后会产生变形,但为了求得这一变形,就要先求出支座的力,此时用到梁的尺寸,为了简化计算,忽略梁的小变形,用原始尺寸进行计算,也就是把梁理想化为刚体。静力学也称刚体静力学。本教材中静力学篇和运动学篇中研究刚体,材料力学篇中研究变形体,而研究变形体的平衡问题时,都以刚体静力学的理论为基础,再加上某些补充条件。

3. 力

力是我们在生产、生活中比较熟悉的,如拉力、推力、重力、弹性力、流体压力等。

力: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变化。

从定义中可以看出,力对物体的作用主要是两种效应:运动状态的变化称之为**外效应**;使物体形状发生变化的效应称之为**内效应**。静力学篇中研究外效应;材料力学篇中研究内效应。

力对物体的作用效果取决于以下三个要素,即力的三要素:

- ① 力的作用点;
- ② 力的方向;
- ③ 力的大小。

三要素中只要改变其中任何一个,该力对物体的作用效应就要改变。

在国际单位制中,以“**牛顿**”作为力的常用单位,记作 N。有时也可以用“**千牛顿**”作为单位,记作 kN。

从前面提到的力的三要素中可以看出,力是一个矢量,可以用一个有向线段来表示。例如,一个力作用在刚体上,如图 1-2 所示:有向线段 AB 所在直线称为力的作用线,表示力的方位;箭头指向表示力的方向;有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 的长度表示力的大小;线段的始端 A 或终端 B 表示力的作用点。

本教材中用黑体字表示矢量,手写体中一般用箭头表示矢量,例如 $\vec{F}$ 、 $\vec{G}$ 等。非黑体字则表示力的大小,在做习题时一定要注意这一点; $\vec{F}$ (F) 与 F 是不同的。

作用在一个物体上的多个力称之为一个力系;若物体处于平衡状态,则作用于其上的力系称之为平衡力系;如果作用在物体上的一个力系用另一个力系来代替时,作用效果相同,则这两个力系称之为等效力系;如果一个力与一个力系等效,则这个力称为该力系的合力;力系中的每个力称这个合力的分力;图 1-3 中作用在螺钉上的力 F 可以分解为 F_1 和 F_2 , F 称为合力, F_1 和 F_2 称为分力。

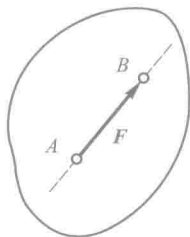


图 1-2

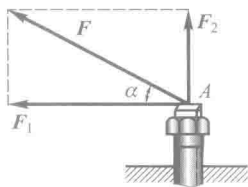


图 1-3

如果作用在一个物体上的所有力的作用线在同一平面内,称为平面力系,否则称为空间力系。

§ 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。静力学公理是最基本的力学规律,无须证明而为人们所公认,共有五个静力学公理。

公理 1 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力,使刚体保持平衡的充分必要条件是:这两个力大小

相等,方向相反,并且作用在同一直线上。

公理 1 适用于刚体,如图 1-4a;如果是变形体,充分性不成立,如图 1-4b,两个大小相等,方向相反,并且作用在同一直线上的压力不能使柔绳平衡。

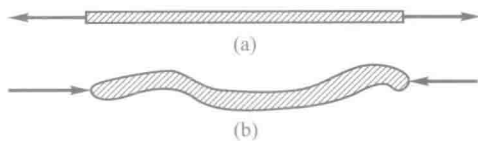


图 1-4



压榨机中的二力杆

工程中常有一些只受两个力作用而平衡的构件,称为二力构件(二力杆)。二力杆的受力特点是,两个力的方位一定沿两力作用点的连线,而指向相反的方向。注意:一个构件是否为二力构件,只决定于它的受力情况,与构件具体的形状无关。如图 1-5,直杆 AB (图 b) 和折杆 AB (图 d) 都是二力杆。

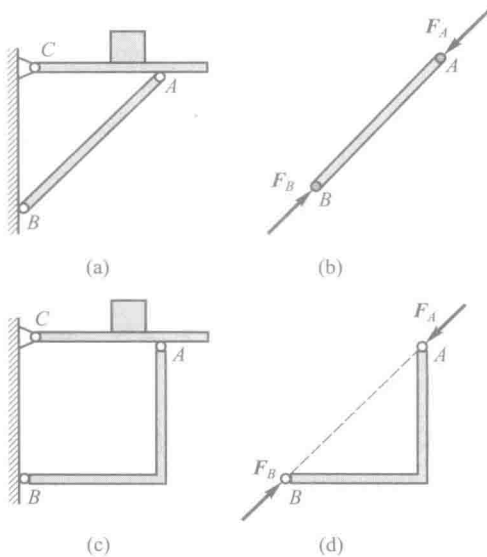


图 1-5

公理 2 加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系中,添加或除去平衡力系,不改变原力系对刚体的作用效果。

公理 2 只适用于刚体,对于变形体不成立。加减平衡力系是力系简化的重要依据,给出如下推论,用公理 2 加以证明。

推论 1 力的可传性原理

作用在刚体上的力,可沿力的作用线在刚体上移动,而保持它对刚体的作用