

Gaodeng xuexiao yingyongxing benke guihua jiaocai

■ 高等学校应用型本科规划教材

Engineering Mechannics

工程力学

主编 / 喻小明 李学罡

主审 / 韦成龙



人民交通出版社
China Communications Press

高等学校应用型本科规划教材

Engineering Mechannics

工 程 力 学

主 编	喻小明	李学罡	
参 编	潘 军	文海霞	蔡明兮
	彭旭龙	甘秋兰	李 斌
主 审	韦成龙		



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书为高等学校应用型本科规划教材。全书共上下两篇,上篇主要包括:静力学公理与物体受力分析、力系简化理论、力系的平衡、点的运动学、刚体的基本运动、刚体的平面运动、点的合成运动、质点动力学基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理、虚位移原理;下篇主要包括:材料力学基本概念、杆件的内力分析、截面图形的几何性质、轴向拉伸与压缩、扭转、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析与强度理论、组合变形、压杆稳定、能量方法、动荷载、交变应力。书后附有型钢规格表、主要符号表及部分习题参考答案。

本教材可作为普通高等学校理工科其他本科专业教学用书,也可供高职高专与成人高校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 / 喻小明, 李学罡主编. — 北京: 人民交通出版社, 2014. 5

ISBN 978-7-114-10550-0

I. ①工… II. ①喻… ②李… 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(2013)第 073340 号

高等学校应用型本科规划教材

书 名: 工程力学

著 作 者: 喻小明 李学罡

责任编辑: 黎小东 岑 瑜

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 28.75

字 数: 736 千

版 次: 2014 年 5 月 第 1 版

印 次: 2014 年 5 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10550-0

定 价: 55.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

21 世纪交通版
高等学校应用型本科规划教材
编 委 会

主任委员:张起森

副主任委员:(按姓氏笔画序)

万德臣 马鹤龄 刘培文 伍必庆
汤跃群 张永清 吴宗元 武 鹤
杨少伟 杨渡军 赵永平 谈传生
倪宏革 章剑青

编写委员:(按姓氏笔画序)

于吉太 于少春 王丽荣 王保群
朱 霞 张鹏飞 陈道军 谷 趣
赵志蒙 查旭东 唐 军 曹晓岩
葛建民 韩雪峰 蔡 瑛

主要参编院校:长沙理工大学

长安大学

重庆交通大学

东南大学

华中科技大学

山东交通学院

黑龙江工程学院

内蒙古大学

交通运输部管理干部学院

辽宁省交通高等专科学校

鲁东大学

秘 书 组:李 喆 黎小东(人民交通出版社)

前 言

“工程力学”是高等院校工程类专业重要的技术基础课。本教材依据教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会制定的《理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求(试行)》(2008年版)中“理论力学课程教学基本要求”和“材料力学课程教学基本要求”编写而成。

全书分理论力学和材料力学两大部分。理论力学部分共13章,包括静力学、运动学和动力学的主要内容;材料力学部分共13章,以杆件的基本变形为主线,在介绍杆件轴向拉伸与压缩、扭转和弯曲基本变形的基础上,介绍了应力状态分析与强度理论、组合变形、能量方法、压杆稳定、动载荷和交变应力等内容。一方面,这两部分在力学模型和研究课题上存在着明显的差异,两部分内容具有相对的独立性;另一方面,两部分内容的力学知识又相互融合和贯通,存在着密切的连续性和相关性。

本教材是湖南省教学改革计划项目“一般工科院校力学系列课程改革与学生创新精神和实践能力的培养”与“基础力学研究性教学的研究与实践”的研究成果,编写时优化了理论力学与材料力学内容体系,力求注重基础,突出重点,精选内容,侧重应用,使学生既能建立力学概念,又能初步具备利用力学原理进行工程结构分析与设计的能力。

参加本教材编写的有长沙理工大学的喻小明、李学罡、潘军、文海霞、甘秋兰、蔡明兮、彭旭龙与湖南理工学院的李斌,喻小明、李学罡担任主编。其中第1章至第4章、第13章由喻小明、甘秋兰编写,第5章至第7章、第25章至第26章由文海霞、潘军编写,第8章至第12章由喻小明、蔡明兮编写,第14章至第20章由李学罡、彭旭龙编写,第21章至第24章由李学罡、李斌、蔡明兮、潘军编写,习题答案及附录由蔡明兮、甘秋兰、李斌编写,全书由喻小明与李学罡统稿。

在本教材的编写过程中,承蒙长沙学院韦成龙教授提出许多宝贵意见并主审,在此致以衷心感谢;同时,得到了各位力学同行的大力支持并提出宝贵意见,参考了一些同类优秀教材并选用了某些插图与习题,书中未一一列出,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,教材中难免存在一些不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2014年3月

目 录

上篇 理论力学

第一章 静力学公理与物体受力分析	3
第一节 静力学基本概念	3
第二节 静力学公理	5
第三节 物体受力分析	7
思考题	12
习题	12
第二章 力系简化理论	14
第一节 关于力的基本计算	14
第二节 汇交力系的简化	20
第三节 力偶系的简化	21
第四节 任意力系的简化	21
第五节 平行力系的简化与物体的重心	26
思考题	30
习题	31
第三章 力系的平衡	35
第一节 力系的平衡条件与平衡方程	35
第二节 力系平衡问题的求解	38
第三节 平面桁架	46
第四节 摩擦与考虑摩擦时的平衡问题	49
思考题	53
习题	56
第四章 点的运动学	62
第一节 矢量法	62
第二节 直角坐标法	63
第三节 自然法	65
思考题	69
习题	69
第五章 刚体的基本运动	72
第一节 刚体的平行移动	72
第二节 刚体绕定轴的转动	74
第三节 轮系的传动比	77

第四节 矢量表示的角速度和角加速度	78
思考题	80
习题	80
第六章 刚体的平面运动	84
第一节 刚体平面运动概述和运动分解	84
第二节 求平面图形内各点的速度	86
第三节 用基点法求平面图形内各点的加速度	92
思考题	95
习题	96
第七章 点的合成运动	101
第一节 相对运动、牵连运动、绝对运动	101
第二节 点的速度合成定理	103
第三节 点的加速度合成定理	107
思考题	113
习题	114
第八章 质点动力学基本方程	118
第一节 动力学的基本定律	118
第二节 质点运动微分方程	119
第三节 质点动力学两类问题的应用	120
思考题	123
习题	123
第九章 动量定理	125
第一节 动量与冲量	125
第二节 动量定理	127
第三节 质心运动定理	130
思考题	132
习题	133
第十章 动量矩定理	136
第一节 动量矩	136
第二节 刚体对轴的转动惯量	137
第三节 动量矩定理	141
第四节 刚体定轴转动微分方程	144
第五节 质点系相对于质心的动量矩定理	146
第六节 刚体平面运动微分方程	148
思考题	150
习题	151
第十一章 动能定理	156
第一节 动能的概念和计算	156
第二节 功的概念和计算	158
第三节 动能定理	162

第四节	机械能守恒定律·····	165
第五节	动力学普遍定理的综合应用·····	169
思考题	·····	172
习题	·····	173
第十二章	达朗贝尔原理 ·····	179
第一节	达朗贝尔原理·····	179
第二节	刚体惯性力系的简化·····	182
第三节	达朗贝尔原理的应用——动静法·····	184
第四节	定轴转动刚体的轴承动反力·····	186
思考题	·····	190
习题	·····	190
第十三章	虚位移原理 ·····	194
第一节	约束及其分类·····	194
第二节	虚位移与虚功·····	196
第三节	虚位移原理·····	197
思考题	·····	200
习题	·····	201

下篇 材料力学

第十四章	材料力学基本概念 ·····	207
第一节	材料力学的任务·····	207
第二节	材料力学的基本假设·····	208
第三节	外力、内力与截面法·····	208
第四节	应力与应变·····	210
第五节	杆件变形的基本形式·····	212
思考题	·····	213
习题	·····	214
第十五章	杆件的内力分析 ·····	215
第一节	杆件的内力方程及内力图·····	215
第二节	平面刚架和曲杆的内力分析·····	221
第三节	用简易法作梁的剪力图和弯矩图·····	223
思考题	·····	227
习题	·····	228
第十六章	截面图形的几何性质 ·····	232
第一节	静矩与形心·····	232
第二节	惯性矩、极惯性矩、惯性积·····	233
第三节	平行移轴公式·····	235
第四节	转轴公式·····	237
思考题	·····	240

习题	240
第十七章 轴向拉伸与压缩	243
第一节 轴向拉伸与压缩的概念	243
第二节 拉压杆的应力	244
第三节 拉压杆的变形	247
第四节 材料拉压时的力学性能	250
第五节 许用应力、安全因数和强度条件	255
第六节 拉压超静定问题	258
第七节 连接件的实用计算	262
思考题	265
习题	266
第十八章 扭转	270
第一节 概述	270
第二节 圆轴扭转切应力及强度条件	271
第三节 圆轴扭转变形及刚度条件	274
第四节 矩形截面杆的扭转简介	276
思考题	277
习题	278
第十九章 弯曲应力	280
第一节 对称弯曲与平面弯曲的概念	280
第二节 梁的弯曲正应力及正应力强度条件	280
第三节 梁的弯曲切应力及切应力强度条件	286
第四节 梁的合理强度设计	292
第五节 弯曲中心的概念	295
思考题	297
习题	298
第二十章 弯曲变形	301
第一节 概述	301
第二节 梁的挠曲线近似微分方程	302
第三节 用积分法求梁的挠度和转角	303
第四节 用叠加法求梁的挠度和转角	305
第五节 梁的刚度条件及提高弯曲刚度的措施	310
第六节 简单超静定梁	312
思考题	313
习题	314
第二十一章 应力状态分析与强度理论	317
第一节 概述	317
第二节 平面应力状态分析	318
第三节 三向应力状态简介	323
第四节 复杂应力状态下的应力—应变关系	324

第五节 复杂应力状态下的应变能密度	328
第六节 平面应力状态下的应变分析简介	330
第七节 常用的强度理论	332
思考题	339
习题	339
第二十二章 组合变形	343
第一节 概述	343
第二节 两相互垂直平面内弯曲的组合	344
第三节 拉伸(压缩)与弯曲的组合	347
第四节 弯扭组合与弯拉(压)扭组合变形	351
思考题	354
习题	354
第二十三章 压杆稳定	358
第一节 概述	358
第二节 细长压杆的临界力	359
第三节 临界应力、临界应力总图	362
第四节 压杆的稳定性计算	365
第五节 提高压杆稳定性的措施	368
思考题	368
习题	369
第二十四章 能量方法	372
第一节 概述	372
第二节 杆件应变能的计算	372
第三节 卡氏定理及其应用	376
第四节 功的互等定理与位移互等定理	379
第五节 用能量法求解简单超静定问题	381
思考题	383
习题	384
第二十五章 动荷载	388
第一节 概述	388
第二节 考虑惯性力时构件的应力与变形	388
第三节 受冲击时构件的应力与变形	391
思考题	396
习题	396
第二十六章 交变应力	400
第一节 概述	400
第二节 循环特征、应力幅和平均应力	401
第三节 材料的持久极限与 $S-N$ 曲线	402
第四节 影响构件持久极限的主要因素	403
第五节 构件的疲劳强度计算简介	405

思考题·····	409
习题·····	409
附录一 型钢表·····	413
附录二 习题参考答案·····	426
参考文献·····	447

上篇 理论力学

第一章 静力学公理与物体受力分析

本章要点

- 静力学基本概念,包括力、力偶、力系、刚体、平衡等;
- 静力学五个公理及两个推论;
- 各种类型的约束与约束力;
- 物体受力分析与受力图。

静力学是研究物体受力及平衡的一般规律的科学。

静力学理论是从生产实践中总结出来的,是对工程结构构件进行受力分析和计算的基础,在工程技术中有着广泛的应用。静力学主要研究以下3个问题:

- (1) 物体的受力分析;
- (2) 力系的等效替换与简化;
- (3) 力系的平衡条件及其应用。

第一节 静力学基本概念

一、力

力是物体之间相互的机械作用。这种作用使物体的机械运动状态发生变化或使物体的形状发生改变,前者称为力的外效应或运动效应,后者称为力的内效应或变形效应。在理论力学中只研究力的外效应。

力对物体的作用效果取决于力的3个要素:力的大小、力的方向、力的作用点。力是矢量,且为定位矢量,如图1-1所示,用有向线段 AB 表示一个力矢量,其中线段的长度表示力的大小,线段的方位和指向代表力的方向,线段的起点 A (或终点)表示力的作用点,线段所在的直线称为力的作用线。

这里用粗黑斜体大写字母 $\boldsymbol{F}$ 表示力矢量,用白斜体大写字母 F 表示力的大小。在国际单位制中,力的单位是牛顿(N)或千牛(kN)。

力的作用点是物体相互作用位置的抽象化。实际上,两个物体接触处总占有一定的面积,力总是分布地作用在一定的面积上的,如果这个面积很小,则可将其抽象为一个点,即为力的作用点,这时的作用力称为集中力;反之,若两物体接触面积比较大,力分布地作用在接触面上,这时的作用力称为分布力。除面分布力外,还有作用在物体整体或某一长度上的体分布力或线分布力,分布力的大小用符号 q 表示,计算式如下

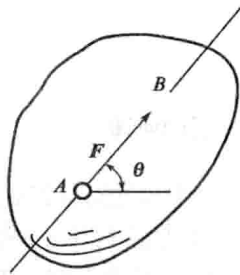


图 1-1

$$q = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta S} \quad (1-1)$$

式中, ΔS 为分布力作用的范围(长度、面积或体积); ΔF 为作用于该部分范围内的分布力的合力; q 表示分布力作用的强度, 称为荷载集度; 若力的分布是均匀的, 则称为均匀分布力, 简称均布力。

二、力系

力系是指作用在物体上的一群力。若对于同一物体, 有两组不同力系对该物体的作用效果完全相同, 则这两组力系称为等效力系。一个力系用其等效力系来代替, 称为力系的等效替换。用一个最简单的力系等效替换一个复杂力系, 称为力系的简化。若某力系与一个力等效, 则此力称为该力系的合力, 而该力系的各力称为此力的分力。

力系按作用线分布情况的不同可分为下列几种: 当所有力的作用线在同一平面内时, 称为平面力系; 否则称为空间力系。当所有力的作用线汇交于同一点时, 称为汇交力系; 而所有力的作用线都相互平行时, 称为平行力系; 否则称为一般力系或任意力系。

三、力偶

由大小相等、方向相反但不共线的两个平行力组成的特殊力系, 称为力偶。如图 1-2 所示, 力 F 和 F' 组成一个力偶, 记作 (F, F') 。力偶中两力作用线之间的垂直距离 d 称为力偶臂, 力偶所在的平面称为力偶作用面。

在日常生活与生产实践中, 经常见到在物体上作用力偶的情况, 如用两个手指拧水龙头或转动钥匙时, 手指对水龙头或钥匙施加的两个力; 汽车驾驶员用双手转动转向盘[图 1-3a)]; 钳工用扳手和丝锥攻螺纹时, 两手作用于丝锥扳手上的两个力[图 1-3b)]等。在力偶中, 两力等值反向且相互平行, 其矢量和显然等于零, 但是由于它们不共线, 不能相互平衡, 因此力偶不能使物体移动, 只能改变物体的转动状态。

力系中可以包含力偶, 但如果力系全部由力偶组成, 这样的力系称为力偶系。

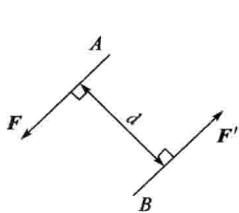


图 1-2

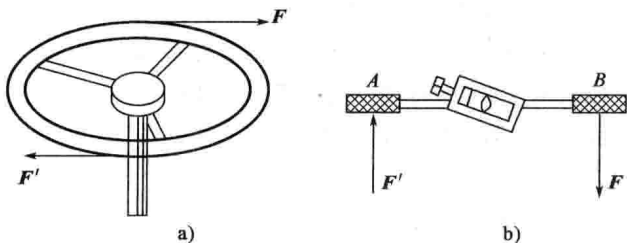


图 1-3

四、刚体

所谓刚体, 是指在力的作用下不变形的物体, 即在力的作用下其内部任意两点的距离永远保持不变的物体。刚体是理想化的力学模型, 事实上, 在受力状态下不变形的物体是不存在的, 不过, 当物体的变形很小, 忽略物体的变形并不会对问题的性质带来本质的影响时, 该物体就可近似看作刚体。

刚体是在一定条件下研究物体受力和运动规律时的科学抽象,这种抽象不仅使问题大大简化,也能得出足够精确的结果,因此,静力学又称为刚体静力学。但是,在需要研究力对物体的内部效应时,这种理想化的刚体模型就不适用,而应采用变形体模型,并且变形体的平衡也是以刚体静力学为基础的,只是还需补充变形几何条件与物理条件。

五、平衡

在工程中,把物体相对于地面静止或作匀速直线运动的状态称为平衡。

根据牛顿第一定律,物体如不受到力的作用则必然保持平衡。但客观世界中,任何物体都不可避免地受到力的作用,物体上作用的力系只要满足一定的条件,即可使物体保持平衡,这种条件称为力系的平衡条件。满足平衡条件的力系称为平衡力系。

第二节 静力学公理

为了讨论物体的受力分析,研究力系的简化和平衡条件,必须先掌握一些最基本的力学规律。这些规律是人们在生活和生产活动中长期积累的经验总结,又经过实践反复检验,被认为是符合客观实际的最普遍、最一般的规律,称为静力学公理。静力学公理概括了力的基本性质,是建立静力学理论的基础。

公理 1 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点,合力的大小和方向,由这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线确定,如图 1-4a) 所示。或者说,合力矢等于这两个力矢的几何和,即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-2)$$

亦可另作一个力三角形来求两汇交力合力矢的大小和方向,即依次将 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 首尾相接画出,最后由第一个力的起点至第二个力的终点形成三角形的封闭边,即为此二力的合力矢 $\mathbf{F}_R$,如图 1-4b)、c) 所示,称为力的三角形法则。

公理 2 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力,使刚体处于平衡的充要条件是:这两个力大小相等,方向相反,且作用在同一条直线上,如图 1-5 所示。该两力的关系可用如下矢量式表示

$$\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2 \quad (1-3)$$

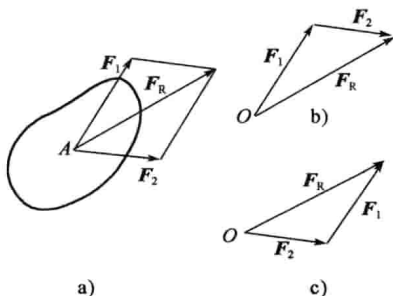


图 1-4

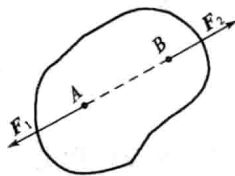


图 1-5

这一公理揭示了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件,满足上述条件的两个力称为一对平衡力。需要说明的是,对于刚体,这个条件既必要又充分,但对于变形体,

这个条件是不充分的。

只在两个力作用下而平衡的刚体称为二力构件或二力杆,根据二力平衡条件,二力杆两端所受两个力大小相等、方向相反,作用线沿两个力的作用点的连线,如图 1-6 所示。

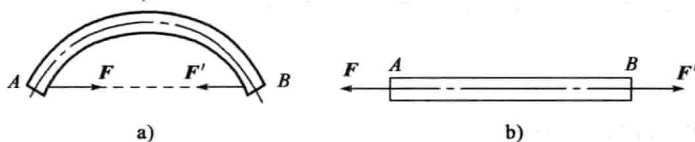


图 1-6

公理 3 加减平衡力系公理

在已知力系上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。

这一公理是研究力系等效替换与简化的重要依据。

根据上述公理可以导出如下两个重要推论。

推论 1 力的可传性

作用于刚体上某点的力,可以沿着它的作用线滑移到刚体内任意一点,并不改变该力对刚体的作用效果。

证明:设在刚体上点 A 作用有力 F ,如图 1-7a) 所示。根据加减平衡力系公理,在该力的作用线上的任意点 B 加上平衡力 F_1 与 F_2 ,且使 $F_2 = -F_1 = F$,如图 1-7b) 所示;由于 F 与 F_1 组成平衡力,可去除,故只剩下力 F_2 ,如图 1-7c) 所示,即将原来的力 F 沿其作用线移到了点 B。

由此可见,对刚体而言,力的作用点不是决定力的作用效应的要素,它已为作用线所代替。因此,作用于刚体上的力的三要素是:力的大小、方向和作用线。

作用于刚体上的力可以沿着其作用线滑移,这种矢量称为滑移矢量。

推论 2 三力平衡汇交定理

若刚体受 3 个力作用而平衡,且其中两个力的作用线相交于一点,则此 3 个力必共面且汇交于同一点。

证明:刚体受 3 个力 F_1, F_2, F_3 作用而平衡,如图 1-8 所示。根据力的可传性,将力 F_1 和 F_2 移到汇交点 O,并合成为力 F_{12} ,则 F_3 应与 F_{12} 平衡。根据二力平衡条件, F_3 与 F_{12} 必等值、反向、共线,所以 F_3 必通过 O 点,且与 F_1, F_2 共面,定理得证。

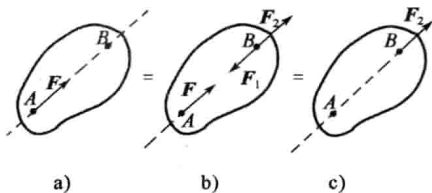


图 1-7

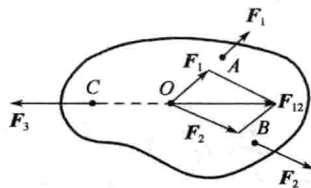


图 1-8

公理 4 作用与反作用定律

两个物体间的作用力与反作用力总是同时存在,且大小相等,方向相反,沿着同一条直线,分别作用在两个物体上。若用 F 表示作用力, F' 表示反作用力,则

$$F = -F' \quad (1-4)$$

该公理表明,作用力与反作用力总是成对出现,但它们分别作用在两个物体上,因此不能视作平衡力。