



全国高等职业教育“十三五”规划教材

工程力学

兰聘文 张晓梅 主编

Gongcheng Lixue



中国矿业大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

“十三五”规划教材

工 程 力 学

主 编 兰聘文 张晓梅

副主编 周艳芳 孔令强

参 编 陈红英 秦小丽

魏晓荣 郑文玉

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本教材的编写充分考虑了高等职业教育的教学要求、就业面向、学生特点等实际情况,在满足教学要求的前提下,尽可能降低教材的难度,删繁就简。基础知识以“必需、够用”为度,在满足相应课程教学目标的前提下能删减的内容尽力删减,力求贴近职业教育的教学。全书共分两篇。其中,基础篇的主要内容有:静力学分析基础、力矩与力偶、平面力系、摩擦、构件承载能力分析概述、轴向拉伸与压缩、剪切、圆轴的扭转、平面弯曲、压杆稳定等;综合篇的主要内容有:空间力系、组合变形、刚体的基本运动、构件的疲劳破坏等。

本书可作为高等职业院校各类专业工程力学课程的教材,也可作为成人教育和在职人员职业培训用书。本书配有电子课件,可供教师授课或学生自学时使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 兰聘文, 张晓梅主编. — 徐州: 中国矿业大学出版社, 2017.9

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3621 - 0

I. ①工… II. ①兰…②张… III. ①工程力学 IV.

①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第169540号

书 名 工程力学
主 编 兰聘文 张晓梅
责任编辑 何晓明
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 江苏淮阴新华印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 15.25 字数 380 千字
版次印次 2017 年 9 月第 1 版 2017 年 9 月第 1 次印刷
定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

为了适应高等职业教育改革和发展的需要,根据高等职业院校各专业的教学要求、后继课程的需要及毕业生对工程力学课程的反馈意见,结合作者多年来为工科各专业讲授工程力学课程的教学经验和教改实践组织编写了本书。

本教材的编写充分考虑了高等职业教育的教学要求、就业面向、学生特点等实际情况,在满足教学要求的前提下,尽可能降低教材的难度,删繁就简。基础知识以“必需、够用”为度,在满足相应课程教学目标的前提下能删减的内容尽力删减,力求贴近职业教育的教学。主要特色如下:

1. 本套教材采用“项目—任务”模式,每个任务都有“知识要点”和“技能目标”,体系合理。全书分两篇,基础篇为工程力学最基本的静力学分析基础,平面力系的简化、合成和平衡以及杆件基本变形的外力、内力、强度计算和压杆稳定;综合篇则是较复杂的空间力系、组合变形、刚体的基本运动和动载荷问题。

2. 本书遵循应用性原则,注重实用性。动力学部分在大学物理中已经讲授,不再赘述;运动学只讲刚体的基本运动;删除了扭转、弯曲变形的应力分析过程以及应力状态和强度理论,只介绍结论和具体应用。全书主要突出实用技能培养,所讲内容尽可能贴近学生未来的岗位实际,尽量与技能训练相结合。

3. 本书突出了工程性。注重理论联系实际,实例、例题、习题尽量从工程实际和日常生活出发选用,不仅便于学生理解 and 解决工程实际问题,而且还可以激发学生的学习兴趣。

4. 本书从学生可接受性出发,删繁就简。如在平衡问题的计算中,侧重学生对单个物体的计算,物体系统问题也不超过两个研究对象;删除了学生较难接受的点的合成运动和刚体的平面运动。

5. 为了体现职业院校理实一体化等新教学模式和以学生为中心的教学理念,“思考与探讨”的设计以学生、师生互动讨论为主线,使学生养成勤于思考、乐于钻研的学习习惯,以提高学生分析工程实际问题 and 解决问题的能力。

6. 本书编写本着追求适用性更广的原则。非机类、近机类以及少学时专业可以只讲基础篇;机械类以及多学时专业可以全部都讲;机械加工、矿山机电和采矿工程等专业则可以有针对性地选择讲授。

本书可作为高等职业院校各类专业工程力学课程的教材,也可作为成人教育和在职人员职业培训教材。本书配有电子课件,可供教师授课或学生自学时

使用。

本书由兰聘文、张晓梅任主编，周艳芳、孔令强任副主编。参加本书编写工作的有：甘肃能源化工职业学院兰聘文（前言，绪论，项目五、六、七、八、九，附录）、魏晓荣（项目十一）、秦小丽（项目十三），山西煤炭职业技术学院张晓梅（项目二）、郑文玉（项目一）、陈红英（项目三），河南工业和信息化职业学院孔令强（项目四、项目十二、项目十四），长治职业技术学院周艳芳（项目十）。全书由兰聘文和张晓梅统稿。

电子课件由兰聘文、魏晓荣、秦小丽制作。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2017 年 4 月

主要符号表

长度:	L	宽度:	b
高度:	h	直径:	$D(d)$
半径:	$R(r)$	面积:	A
重心、形心、质心:	C	重力:	$G(\text{N}, \text{kN})$
合力:	R	主动力:	P, F
摩擦力:	F	动摩擦力:	F^f
分布载荷集度:	q	摩擦角:	φ_m
柔性约束反力:	T	光滑面约束反力:	N
光滑铰链约束反力:	N, N_x, N_y	力偶矩:	M
轴力:	N	剪力:	Q
扭矩:	M_n	弯矩:	M_w
摩擦系数:	f	极惯性矩:	I_p
对 x, y, z 轴的惯性矩:	I_x, I_y, I_z	安全系数:	n
弹性模量:	E	抗扭截面模量:	W_n
抗弯截面模量:	W_x, W_y	危险应力:	σ_0
挠度、转角:	y, θ	动应力:	σ_d
正应力、切应力:	σ, τ	拉应力、压应力:	σ_l, σ_y
临界力:	F_{lj}	临界应力:	σ_{lj}
绝对变形:	ΔL	线应变:	ε
许用正应力、许用切应力:	$[\sigma], [\tau]$	伸长率、截面收缩率:	δ, ψ
扭转角、单位扭转角:	φ, θ	许用单位扭转角:	$[\theta]$
压杆长度系数(泊松比):	μ	压杆柔度:	λ
速度:	v	加速度:	a
转速:	n		

目 录

绪论	1
----	---

基 础 篇

项目一 静力学分析基础	7
任务一 力与平衡	7
任务二 静力学公理及其推论	8
任务三 约束和约束反力	11
任务四 物体的受力分析和受力图	15
小结	19
思考与探讨	21
习题	22
项目二 力矩与力偶	24
任务一 力对点之矩	24
任务二 力偶与力偶矩	26
任务三 平面力偶系的合成与平衡	28
任务四 力的平移定理	31
小结	32
思考与探讨	33
习题	33
项目三 平面力系	36
任务一 平面汇交力系合成与平衡的几何法	36
任务二 平面汇交力系合成与平衡的解析法	39
任务三 平面任意力系的简化与平衡方程	46
任务四 物体系统的平衡	54
小结	57
思考与探讨	59
习题	62

项目四 摩擦	66
任务一 滑动摩擦和滚动摩擦	66
任务二 摩擦角与自锁	71
任务三 考虑摩擦时的平衡问题	73
小结	75
思考与探讨	76
习题	76
项目五 构件承载能力分析概述	79
任务一 对构件的基本要求	79
任务二 变形固体的基本假设	79
任务三 杆件变形的基本形式	80
任务四 内力、应力和截面法	81
小结	82
思考与探讨	83
项目六 轴向拉伸和压缩	84
任务一 轴向拉伸和压缩的概念	84
任务二 轴向拉伸和压缩横截面上的内力——轴力	85
任务三 轴向拉伸和压缩横截面上的应力	87
任务四 轴向拉伸和压缩时的变形及胡克定律	89
任务五 材料拉伸和压缩时的力学性质	92
任务六 轴向拉伸和压缩时的强度计算	95
任务七 拉伸和压缩的超静定问题	97
小结	100
思考与探讨	101
习题	102
项目七 剪切	106
任务一 剪切和挤压的概念	106
任务二 剪切实用计算	106
任务三 挤压实用计算	108
小结	111
思考与探讨	111
习题	112
项目八 圆轴的扭转	114
任务一 圆轴扭转的概念	114
任务二 圆轴扭转时横截面上的内力	115

任务三 圆轴扭转时横截面上的应力	117
任务四 圆轴扭转时的强度计算	119
任务五 圆轴扭转时的变形和刚度计算	120
小结	122
思考与探讨	123
习题	124
项目九 平面弯曲	126
任务一 平面弯曲的概念	126
任务二 梁横截面上的内力和内力图	128
任务三 纯弯曲时梁横截面上的正应力	136
任务四 梁弯曲时的强度计算	141
任务五 梁的变形和刚度简介	145
任务六 提高梁承载能力的措施	149
小结	153
思考与探讨	155
习题	156
项目十 压杆稳定	160
任务一 压杆稳定的概述	160
任务二 压杆稳定临界力和临界应力	161
任务三 压杆稳定性条件和提高压杆稳定性的措施	165
小结	167
思考与探讨	168
习题	169
综 合 篇	
项目十一 空间力系	173
任务一 空间力系的概念	173
任务二 力在空间直角坐标轴上的投影及力对轴之矩	174
任务三 空间力系的平衡方程及应用	177
任务四 重心与形心	180
小结	184
思考与探讨	185
习题	185
项目十二 组合变形	188
任务一 组合变形的概念	188

任务二 拉(压)弯组合变形的强度计算·····	190
任务三 弯扭组合变形的强度计算·····	195
小结·····	199
思考与探讨·····	199
习题·····	200
项目十三 刚体的基本运动·····	203
任务一 刚体的平行移动·····	203
任务二 刚体绕定轴转动·····	206
任务三 定轴转动刚体内各点的速度和加速度·····	208
小结·····	212
思考与探讨·····	213
习题·····	214
项目十四 构件的疲劳破坏·····	215
任务一 动载荷应力及应力集中的概念·····	215
任务二 交变应力及其循环特性·····	217
任务三 疲劳极限和疲劳破坏·····	219
小结·····	221
思考与探讨·····	222
附录一 型钢表·····	223
附录二 习题参考答案·····	227
参考文献·····	232

绪 论

工程力学是研究物体机械运动一般规律及构件强度、刚度和稳定性的科学,主要包括理论力学(静力学、运动学、动力学)和材料力学两部分。

一、工程力学的主要内容和任务

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。物体在空间的位置随时间的改变,称为机械运动。机械运动是人们在生活和生产实践中最常见的一种运动,平衡是机械运动的特殊情况。平衡是指物体相对于地面保持静止或做匀速直线运动的状态。平衡是相对的,相对于地面平衡的物体在宇宙系中又是运动的。

材料力学的主要任务是研究构件在外力作用下的变形规律和材料的力学性能,从而建立构件满足强度、刚度和稳定性要求所需的条件,为安全、经济地设计构件提供必要的理论基础和科学的计算方法。

因此,工程力学既是自然科学的理论基础,又是现代工程技术的理论基础,在日常生活和生产实际中具有非常广泛的应用。

理论力学分为静力学、运动学和动力学三部分。静力学主要研究受力物体平衡时作用力所应满足的条件,同时也研究物体受力的分析方法及力系简化的方法等;运动学只从几何观点研究物体的运动规律,而不研究引起物体运动的原因;动力学研究的是作用于物体上的力与运动变化之间的关系。本书只研究静力学和运动学的一部分内容。

材料力学研究的内容主要包括:分析并确定构件所受各种外力的大小和方向;研究在外力作用下构件的内部受力、变形和失效的规律;提出保证构件具有足够强度、刚度和稳定性的设计准则和方法。强度是指构件在载荷作用下抵抗破坏的能力。构件工作时要承受载荷作用,为使构件在载荷作用下能够正常工作而不损坏,就要研究强度问题。刚度是指构件在载荷作用下抵抗变形的能力。机床切削加工工件时,因主轴变形过大使工件加工精度降低的问题属于刚度问题。稳定性是指构件在载荷作用下保持其原有直线平衡形态的能力。起重机械伸缩臂杆、挖掘机的顶杆、内燃机的活塞杆,在过大轴向力的作用下突然变弯、失去原有的稳定平衡状态,就是压杆的稳定性问题。因此,为了保证机械设备安全可靠地工作,必须要求机械中的所有构件都具有足够的承载能力。

二、工程力学的发展及其作用

工程力学的发展与生产、科学研究紧密地联系着,我国的劳动人民有很多发明创造,为人类社会的进步做出了杰出的贡献。在我国古代,工程力学就有过辉煌的发展,如都江堰、长城、赵州桥的修建,表明我国很早以前工程力学的应用水平就居于世界前列。自中华人民共和国成立以来,我国的社会主义建设事业取得了突飞猛进的发展,人造地球卫星的发射和

回收中力学课题的解决,表明了我国工程力学的水平已跃居世界先进行列。进入 21 世纪,现代机械向着高速、高效、精密的方向发展,许多高新技术工程如各种机械设备的设计、制造,机器的自动控制和调节,新材料的研制和利用等,都对工程力学提出了许多迫切要求解决的问题。因此可以说,生产的发展推动了工程力学的发展,工程力学的发展又反过来促进了生产的发展。

三、工程力学的研究方法

工程力学的研究方法同样遵循“实践—理论—实践”的客观规律,即从观察、实践和科学实验出发,经过抽象化的分析、综合和归纳,总结出最基本的概念和规律。在观察和实验的基础上,抽象建立力学模型,并作科学假设;然后进行推理和数学分析,得出正确的具有实用意义的结论和定理,构成工程力学理论;之后再回到实际中去验证理论的正确性,并在更高的水平上指导实践,同时从这个过程中获得新的材料,这些材料的积累又为工程力学理论的完善和发展奠定了基础;最终形成较完善的理论和公理,指导和解决工程实际问题。

随着计算机的出现和飞速发展,许多过去手工无法解决的问题,通过计算机的协助得到解决。因此,理论分析、实验分析和计算机分析成为工程力学的主要研究方法。三种研究方法相辅相成、互相补充、互相促进。其中,传统的理论分析和实验分析方法是计算机分析方法的基础,必须重点掌握。

四、工程力学的研究对象

机械工程中涉及机械运动的物体往往比较复杂,在外力作用下物体的变形与破坏形式也是多种多样的。因此,在对其进行力学分析时,必须首先根据研究问题的性质,抓住主要特征,略去一些次要因素,进行合理简化,进而科学地抽象出比较合乎实际的力学模型和制定出失效与设计准则。物体受力时都将发生变形,但在大多数情况下,变形是极其微小的,在分析物体的平衡与运动规律时,可不计变形而将其简化成刚体。所谓刚体,是指在任何力的作用下都不发生变形的物体。刚体是抽象化的力学模型,绝对的刚体是不存在的。如果只考虑质量,不考虑物体的形状和几何尺寸,物体就可以简化成质点。在研究构件的强度、刚度、稳定性等问题时,物体的变形成为主要矛盾,这时应将物体视为可变形固体。变形固体有多方面的属性,研究的角度不同,侧重点也不同。变形固体和刚体一样不是绝对的,要视其研究问题的性质而定。即使是对变形问题的分析,当涉及平衡问题时,仍可沿用刚体模型。工程实际中各种构件的机械运动形式比较复杂,在外力作用下的变形形式多种多样,并受许多因素的影响,因此,在研究构件时要善于综合运用力学知识,这样才能更好地解决问题。

五、工程力学的学习方法

工程力学的学习方法较高等数学、大学物理有所不同,一定要有工程性和实用性的观点,即理论研究与实验分析相结合的观点;应该具有把复杂的研究对象抽象为简单力学模型的技巧和能力,深刻理解基本概念、公理和定理;要善于观察,刻苦钻研,勤于思考,乐于探讨,及时发现问题并解决问题,这样才能使所学的知识融会贯通,有效扩充与延伸,真正实现以学生为主体的理实一体化教学理念。

根据工程力学的特点,学生要想学好本课程,也不能脱离教师的讲授和指导。因此,在充分发挥学生为教学主体的同时,学生也应努力配合和适应教师教学方式方法的创新与实践,互动交流,反复练习,这样才能收到良好的学习效果。

六、学习工程力学的目的

工程力学是理工科各类专业的一门理论性和实践性较强的技术基础课。工程力学是一切力学的基础,也是工科各类工程技术人员必修的专业基础课之一。同时,工程力学与机械制造、机电一体化等专业许多课程有着密切的联系,以高等数学、大学物理、机械制图等课程为基础,并为机械原理、机械零件等其他技术基础课和专业课提供必要的理论基础和计算结果。因此,工程力学是基础课和专业课的桥梁,是学习后继课程的重要基础。与此同时,直接应用本课程的理论知识或者与其他专业知识共同应用,可以解决许多工程实际问题。

工程力学的分析和研究方法在科学研究中具有一定的典型性,通过工程力学的学习,有助于培养学生的辩证唯物主义世界观、人生观、价值观,培养正确的分析问题和解决问题的能力,使学生在整个学习过程中逐步形成正确的逻辑思维方式,在获取知识的同时,综合素质得到进一步提高,创业创新能力得到全面提升,使其在激烈的就业竞争中立于不败之地。

基 础 篇

项目一 静力学分析基础

静力学是研究物体在力的作用下的平衡规律的科学。其研究的基本问题有力系的简化问题和力系的平衡问题。要进行这两个问题的研究,就必须准确无误地画出物体的受力图。

画受力图是工程力学最关键、最基本的技能,也是静力学学习的主要内容。本项目主要阐述力、刚体、平衡的基本概念,静力学基本公理及推论,常见的几种约束及约束反力的确定,画受力图的步骤和注意要点。

任务一 力与平衡

【知识要点】 平衡、力、刚体。

【技能目标】 熟练掌握平衡、力、刚体的概念。

一、平衡的概念

平衡是指物体相对于地面保持静止或做匀速直线运动的状态。例如,房屋相对于地面的静止,匀速直线运动的列车,等等。平衡是机械运动的特殊情况。平衡是相对的,相对于地面平衡的物体在宇宙系中又是运动的。

二、力的概念

力是物体之间相互的机械作用,这种作用可以使物体的形状或运动形式发生改变。力使物体形状发生改变的效应称为力的内效应,也称为变形效应;力使物体运动状态发生改变的效应称为力的外效应,也称为运动效应。力对物体的作用效果取决于下列三个因素:① 力的大小;② 力的方向;③ 力的作用点,这三个因素称为力的三要素。三要素中改变任一要素,力的作用效果也随之改变。

力是一个具有大小和方向的量,因此力是矢量。可以用一个带箭头的线段来表示力的三要素,如图 1-1 所示。线段的长度按一定的比例表示力的大小,线段的箭头指向表示力的方向,线段的起点(或终点)表示力的作用点。通过力的作用点沿力方向的直线称为力的作用线。用黑体字母如 $\boldsymbol{F}$ 表示矢量,并以同一普通字母 F 代表力的大小。手写时通常在表示力的字母上加一横线,如 $\overline{F}$ 表示矢量,普通字母 F 代表力的大小。

为了测定力的大小,需要确定度量力的单位,在国际单位制(SI 制)中,力的单位为牛顿(N)或千牛顿(kN)。

我们把同时作用于物体上的一组力或一群力称为力系。物体处于平衡状态时,作用于该物体上的力系称为平衡力系。当物体平衡时,作用于物体上的力必须满足一定的条件,这