

工程力学

(第2版)

● 主编 郭山国 王玉

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业教育新形态系列教材·机械制造及自动化专业

工 程 力 学

(第2版)

主 编	郭山国	王 玉
参 编	张华瑾	张长军
	杜海彬	宋 伟
主 审	张兆隆	高桂仙

内 容 简 介

本书分为4个模块。模块一“刚体静力学”分为“静力学基础”“平面汇交力系平衡问题”“平面力偶系平衡问题”“平面任意力系平衡问题”“空间力系平衡问题”5个任务,研究工程中的构件在各种力系作用下的平衡问题。模块二“材料力学”分为“轴向拉伸与压缩”“剪切与挤压”“扭转”“梁的弯曲”“组合变形”“压杆稳定”6个任务,研究工程中的构件在外力作用下的破坏和变形问题,解决构件的强度、刚度和稳定性问题。模块三“运动学”分为“构件运动学基础”“合成运动和平面运动简介”两个任务,研究构件空间位置随时间的变化规律。模块四“动力学”分为“构件动力学基础”“动静法和动能定理”两个任务,研究工程中的构件运动与力之间的关系。

本书在理论、概念论述上,准确、严谨,层次清晰,每个任务开始先由工程实例引入,基于问题的解决过程介绍解题方法和步骤,进一步提炼出解决类似工程实际问题的基本方法,是一本基于工作过程开发的工程力学教材。

本书可作为高职高专院校机械类、近机械类专业工程力学课程的教材,也可供工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 郭山国, 王玉主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社, 2019.9
(2019.10重印)

ISBN 978-7-5682-7488-3

I. ①工… II. ①郭… ②王… 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(2019)第188597号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 17

字 数 / 400千字

版 次 / 2019年9月第2版 2019年10月第2次印刷

定 价 / 44.00元

责任编辑 / 钟 博

文案编辑 / 钟 博

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

高等职业教育新形态系列教材

机械制造及自动化专业编审委员会

主任委员：

董建国：湖南工业职业技术学院

委员（排名不分先后）：

徐起贺：河南工学院

胡照海：四川工程职业技术学院

车君华：济南职业学院

王 玉：河北机电职业技术学院

吴广河：青岛港湾职业技术学院

赵晶文：四川工程职业技术学院

杨德辉：四川工程职业技术学院

徐永礼：广西水利电力职业技术学院

李 莉：济南职业学院

谢丽君：烟台汽车工程职业学院

张新星：衢州职业技术学院

徐建亮：衢州职业技术学院

何丁勇：中国第二重型机械集团公司

钟成明：东方汽轮机厂

聂振学：山东美晨科技股份有限公司

前 言

工程力学是机械类、近机类专业的一门主干专业技术基础课程，是研究工程构件平衡和机械运动一般规律及工程构件的强度、刚度、稳定性的科学，在工农业生产、建筑、交通运输、航空、航天、日常生活等领域均有广泛的应用。本书是为了适应我国高职高专教育快速发展的需要，完善高职高专教材的配套建设，依据教育部制定的“高职高专教育机械类专业力学课程教学基本要求”，参照工程力学的知识结构，结合编者多年的教学经验，精选教学内容，以项目导向、任务驱动进行重构所编写的。

本书坚持应用为主、够用为度的指导思想，以基本知识、基本理论和基本技能为主体，简化理论推导和论证，以培养学生分析问题和解决问题的能力为目的，较好地体现了高职高专教育培养高技能型人才的特点，满足工程实际的需要。

本书分为4个模块。模块一“刚体静力学”分为“静力学基础”“平面汇交力系平衡问题”“平面力偶系平衡问题”“平面任意力系平衡问题”“空间力系平衡问题”5个任务，研究工程中的构件在各种力系作用下的平衡问题。模块二“材料力学”分为“轴向拉伸与压缩”“剪切与挤压”“扭转”“梁的弯曲”“组合变形”“压杆稳定”6个任务，研究工程中的构件在外力作用下的破坏和变形问题，解决构件的强度、刚度和稳定性问题。模块三“运动学”分为“构件运动学基础”“合成运动和平面运动简介”两个任务，研究构件空间位置随时间的变化规律。模块四“动力学”分为“构件动力学基础”“动静法和动能定理”两个任务，研究工程中的构件运动与力之间的关系。本课程的学习可为后续课程的学习及培养学生分析和解决基本工程实践问题的能力打下良好的基础。

本书的具体分工为：河北机电职业技术学院王玉编写绪论，模块一的任务一、任务二；郭山国编写模块一的任务五，模块二的任务三、任务四，模块三，附录；张华瑾编写模块一的任务三、任务四；宋伟编写模块二的任务一、任务五；张长军编写模块二的任务二、任务六；杜海彬编写模块四。

本书由河北机电职业技术学院郭山国、王玉担任主编，河北机电职业技术学院副院长张兆隆教授、高桂仙副教授担任主审，他们对稿件进行了精心审阅，提出了很多宝贵的意见和建议，在此深表感谢。

本书在内容选择及结构体系上有较大的突破，坚持以能力培养为目标，力求实际、实用、实效，培养学生良好的学习能力和分析、解决问题的能力。本书可作为高职高专院校机

械类及近机械类专业工程力学课程的教材,也可供业余大学、函授大学、职工大学相应专业选用及工程技术人员参考。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免存在一些疏漏和不妥之处,恳请读者提出宝贵的意见和建议,以便改进。

编 者

目 录

绪论	1
0.1 工程力学的研究对象及其内容	1
0.2 “工程力学”课程的性质、任务和学习方法	4

模块一 刚体静力学

任务一 静力学基础	9
1.1.1 力的基本概念和公理	9
1.1.2 常见约束及其力学模型	12
1.1.3 受力分析和受力图	17
思考题	21
习题	22
任务二 平面汇交力系平衡问题	25
1.2.1 力的分解与力的投影	25
1.2.2 平面汇交力系的合成与平衡	28
思考题	32
习题	33
任务三 平面力偶系平衡问题	35
1.3.1 力对点之矩、合力矩定理	35
1.3.2 力偶及其基本性质	37
1.3.3 平面力偶系的合成与平衡	39
1.3.4 力的平移定理	41
思考题	43
习题	43
任务四 平面任意力系平衡问题	46
1.4.1 平面任意力系的简化	46
1.4.2 平面任意力系的平衡方程及其应用	49
1.4.3 物体系统的平衡问题	53
1.4.4 考虑摩擦时构件的平衡问题	56

思考题	63
习题	65
任务五 空间力系平衡问题	70
1.5.1 力的投影和分解	70
1.5.2 力对轴之矩	73
1.5.3 空间力系的平衡方程	75
1.5.4 轮轴类构件平衡问题的平面解法	78
1.5.5 物体的重心和平面图形的形心	80
思考题	86
习题	86

模块二 材料力学

任务一 轴向拉伸或压缩	91
2.1.1 材料力学概述	91
2.1.2 轴向拉伸或压缩的概念	95
2.1.3 材料在拉伸和压缩时的力学性能	100
思考题	107
习题	108
任务二 剪切与挤压	110
2.2.1 剪切与挤压的实用计算	110
2.2.2 剪切胡克定律简介	114
思考题	116
习题	117
任务三 扭转	119
2.3.1 扭矩和扭矩图	119
2.3.2 圆轴扭转时的应力与强度计算	122
2.3.3 等直圆轴扭转时的变形及刚度条件	123
思考题	126
习题	127
任务四 梁的弯曲	129
2.4.1 平面弯曲的概念与工程实例	129
2.4.2 平面弯曲的梁的力学模型	130
2.4.3 梁的内力——剪力和弯矩	131
2.4.4 剪力图与弯矩图	135
2.4.5 梁弯曲时的正应力和强度条件	139
2.4.6 提高梁抗弯强度的措施	146

2.4.7 梁的变形与刚度计算	149
思考题	158
习题	160
任务五 组合变形	165
2.5.1 拉伸(压缩)与弯曲组合变形	165
2.5.2 弯曲与扭转组合变形	168
思考题	171
习题	172
任务六 压杆稳定	174
2.6.1 平衡稳定性的概念	174
2.6.2 欧拉公式及适用范围	176
2.6.3 压杆的稳定性计算	182
思考题	186
习题	187

模块三 运动学

任务一 构件运动学基础	191
3.1.1 质点的运动规律	191
3.1.2 构件的平面基本运动	198
思考题	203
习题	205
任务二 合成运动和平面运动简介	208
3.2.1 点的合成运动概念	208
3.2.2 速度合成定理	210
3.2.3 构件平面运动的特点与力学模型	213
3.2.4 平面图形上点的速度合成法	215
思考题	222
习题	223

模块四 动力学

任务一 构件动力学基础	229
4.1.1 质点动力学基本方程	229
4.1.2 质点动力学的两类问题	231
4.1.3 构件定轴转动的动力学基本方程	233
4.1.4 刚体动力学的两类问题	237

思考题	240
习题	240
任务二 动静法和动能定理	242
4.2.1 质点的动静法	242
4.2.2 功	244
4.2.3 动能定理	247
4.2.4 功率方程与机械效率	248
思考题	252
习题	254
附录 型钢表	256
参考文献	261

绪 论



0.1 工程力学的研究对象及其内容

1. 力学、工程力学

人类对力的认识，可以追溯到史前时代。力学是研究物体宏观机械运动规律的科学，是物理学、天文学和许多工程学的基础，机械、建筑等的合理设计都必须以力学为基本依据。

在人类社会的发展进程中，一种最基本的要求和愿望支配着人类的社会活动和生产活动，这就是要求使用的生产工具、制造的机械设备、建造的工程结构，既要经久耐用又要造价低廉。经久耐用，是指使用的时间长久，且在使用过程中不会轻易损坏；造价低廉，是指所用的材料易于得到，用量最少，生产成本低廉。在这种需求下，力学的理论体系和研究方法发展起来。工程力学作为力学的一个重要分支，是 20 世纪 50 年代末由中国学者钱学森首先提出的，随后工程力学迅速发展，其研究范畴涵盖了物质在力的作用下的机械运动和变形机理，目前已广泛应用于机械、建筑、航天和船舰等各个领域。

工程力学是从研究构件的受力分析开始，研究构件的平衡和运动规律，以及构件的变形和破坏规律，为工程构件的设计和制造提供基本的理论依据和实用计算方法的学科。工程力学是将力学原理应用于实际工程系统的学科，是连接自然科学的基础理论和工程实践的桥梁。

2. 工程力学的研究对象

工程力学是机械、建筑等专业的一门理论性较强的重要技术基础课。自然界以及工程技术过程都包含机械运动。工程力学研究自然界以及各种工程中机械运动的最普遍、最基本的规律，以指导人们认识自然界，正确从事工程技术工作。工程力学主要包括静力学（研究质点系受力作用时的平衡规律的科学）、材料力学（研究材料在各种外力作用下产生的应变、应力、强度、刚度，稳定性和导致各种材料破坏的极限的科学）、运动学（描述和研究物体位置随时间的变化规律的科学）和动力学（主要研究作用于物体的力与物体运动之间的关系的科学），为工程技术人员提供重要的理论依据和技术支持。

工程力学是研究工程中力学的基本概念和基本理论的学科。它的研究对象不是完整的机器或建筑物，而是简单的工程构件。所谓构件，是指组成机械和工程结构的零部件。工程力学研究构件最普遍、最基本的受力、变形、破坏以及运动规律，为工科专业的后续课程，如机械原理、机械零件等技术基础课和一些专业课的学习打下必要的基础。

工程力学研究两大类机械运动: 研究物体的运动, 研究作用在物体上的力与物体运动之间的关系; 研究物体的变形, 研究作用在物体上的力与物体变形之间的关系。第一类属于静力学、运动学和动力学的问题, 第二类属于材料力学的问题。两类问题互相交叉、渗透和融合。

3. 工程力学的研究内容

工程力学是一门研究物体机械运动和构件承载能力的科学。所谓机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化, 而构件承载能力则指机械零、部件和工程结构在工作时安全、可靠地承担外载荷的能力。例如, 工程中常见的起重机, 设计时要对各构件在静力平衡状态和运动状态下进行受力分析, 确定构件的受力情况, 对构件进行运动和动力分析, 然后根据各构件的变形情况, 按照保证起重机安全、正常工作, 各构件不发生破坏或产生过大变形条件, 而确定的各构件的截面形状和尺寸; 再如机械中常用的零、部件齿轮、轴等, 设计时要对其进行受力分析, 确定其承受的载荷, 再按照载荷, 确定零、部件的尺寸。

按照研究的步骤, 工程力学分为静力学、材料力学、运动力学和动力学四部分。静力学主要研究物体受力后的平衡条件以及它在工程中的应用; 材料力学主要研究构件在外力作用下的变形、受力和破坏的规律, 为合理设计构件提供有关强度、刚度和稳定性分析的基本理论和方法; 运动力学研究质点的运动和刚体的基本运动, 动力学研究受力物体的运动与作用力之间的关系。工程力学的研究内容, 用下面的实例来说明。

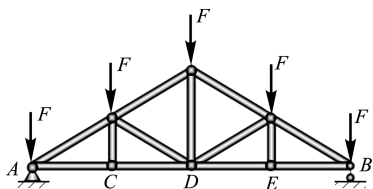


图 0-1 房屋结构

例 0-1 图 0-1 所示为木制房屋结构, 它由一些水平、竖直和倾斜的杆件组成。为设计这个结构, 从力学计算来说, 包括下述两方面的内容:

(1) 必须确定作用在各个杆件上的力的大小, 即对处于静止状态的物体进行受力分析。这是静力学所要研究的问题。

(2) 在确定了作用在杆件上的外力以后, 根据杆件所选择的材料, 确定合理的截面尺寸, 以保证杆件既工作可靠又经济合理。所谓“安全可靠”是指在载荷作用下, 构件不会破坏 (即有足够的强度), 也不会产生过度的变形 (即有足够的刚度)。对于某些细长的受压构件, 还应考虑不发生纵向弯曲而丧失其原有的平衡状态 (即有足够的稳定性)。上述这些则是材料力学所要讨论的问题。

例 0-2 图 0-2 所示为塔式起重机, 右侧吊钩起吊重物, 左侧是使起重机保持平衡的配重, 机身的重心在 C 点。

首先, 要确定使起重机满载时能够正常工作、不倒塌的配重的最小值, 还需要确定使起重机空载时不倒塌的配重的最大值, 这属于静力学的范畴。

其次, 根据地基的材质确定所需的最小受力面积、根据起吊重物的最大值确定起吊重物的钢丝绳所需的最小直径、根据塔身各杆的受力大小和材料确定杆件的最小尺寸等, 这属于材料力学的范畴。

例 0-3 图 0-3 所示为卷扬机, 其开动时, 鼓轮转动, 重物以某一加速度上升。如果要设计该轴, 在力学计算中, 应包括下述内容:

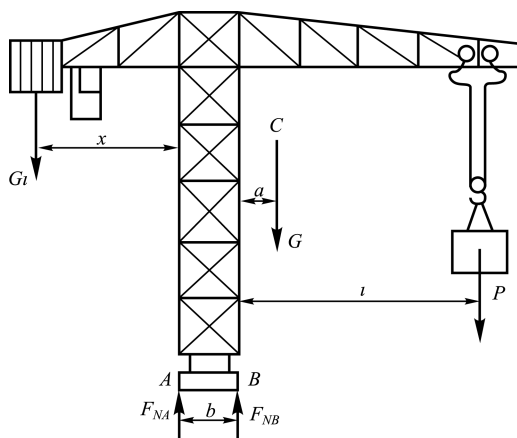


图 0-2 塔式起重机

首先，应用静力学和动力学的知识，根据重物的重力及其加速度确定卷扬机工作时轴所受到的力。

其次，应用材料力学的知识，根据轴的受力和轴的材料确定合适的轴的直径，以保证其有足够的强度和刚度。

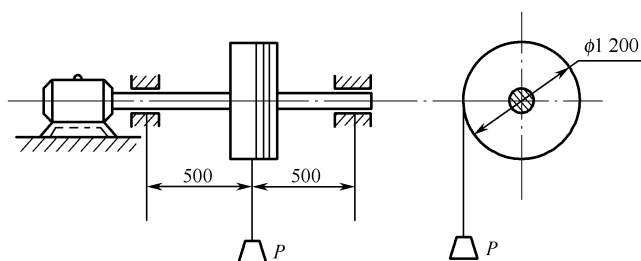


图 0-3 卷扬机

例 0-4 桥梁如图 0-4 所示，根据桥梁上通过的车辆的最大重量，设计该桥梁，即确定桥梁需用的钢材尺寸。

应根据通过汽车的最大重量和汽车到达桥梁中间的最危险的情况，确定桥梁危险截面的弯矩，再根据此弯矩和桥梁的钢材截面形状确定钢材的型号和面积。

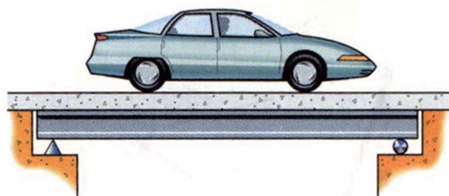


图 0-4 桥梁

由以上实例可以看到，任何工程结构或机械的设计都离不开力学知识。

0.2 “工程力学”课程的性质、任务和学习方法

1. “工程力学”课程的性质和任务

工程力学是一门理论性较强的技术基础课,是基础科学与工程技术的综合。学习本课时,将会经常综合运用高等数学、物理、金属材料等课程的有关知识。它位于基础课课与专业课之间,起着承前启后的作用,是学习专业课程和从事机械设计与制造的基础。

工程力学的任务就是为各类工程结构和各类机械零部件的力学计算提供基本的理论和方法。

2. “工程力学”课程的学习方法

工程力学来源于实践又服务于实践。在研究工程力学时,现场观察和实验是认识力学规律的重要实践环节。在学习本课程时,须多观察实际生活中的力学现象,学会用力学的基本知识去解释这些现象。

首先,人们通过观察生活和生产实践中的各种现象,经过分析、综合和归纳,总结出力学最基本的规律。在远古时代,人们为了生活和灌溉的需要,制造了辘轳;为了搬运重物的需要,使用了杠杆、斜面和滑轮;为了长距离运输的需要,制造了车子等。制造和使用这些生活和生产工具,使人类对于机械运动有了初步的认识,并逐渐形成了“力”和“力矩”等基本概念,以及“二力平衡”“杠杆原理”和“力的平行四边形法则”等力学基本规律。

人们除了在生活和生产实践中观察和分析,进行实验也是必不可少的。通过实验可以从复杂的自然现象中,人为地创造一些条件来突出事物发展的主要因素,并且能够定量地测定各个因素间的关系,因此实验也是形成理论的重要基础。例如,伽利略通过对自由落体和物体在斜面上的运动做实验,提出了“加速度”的概念;又如摩擦定律,材料力学中的平面假设也都是以实验作为基础的。特别从近代力学的研究和发展来看,实验更是重要的研究方法之一。

在观察和实验的基础上,用抽象化的方法建立力学模型。抽象化的方法就是在客观事物的复杂现象中,抓住起决定性作用的主要因素,忽略次要的、局部的和偶然性的因素,深入现象的本质,明确事物间的内在联系。例如,在外力作用下,任何物体均会变形。为了保证机械或结构的正常工作,在工程中通常把各构件的变形限制在很小的范围内,它与构件的原始尺寸相比是微不足道的。所以当我们对物体进行受力分析,研究物体的平衡与运动时,为了简化问题,抓住重点,可以不计这些变形。因此,刚体就是在静力学与动力学中,把物体看成是不变形的、刚性的物体。不仅如此,当物体的形状和尺寸不影响所研究问题的本质时,如讨论物体平行移动的问题,还可以把物体简化为质点来研究。刚体或质点都是真实物体的一种抽象化的力学模型。但是,抽象化的方法是有条件的,相对地,当研究问题的条件改变了,原来的模型就不一定适用,例如在材料力学中,研究构件的强度、刚度和稳定性问题时,变形则成为不可忽略的因素,刚体这一力学模型已不能反映所研究问题的本质,于是就用连续、均匀、各向同性的变形固体来代替真实物体。综上所述可知,研究不同的问题,必须采用不同的力学模型,这是研究工程力学问题的重要方法。

总之,抽象化的方法一方面使所研究的问题大为简化,另一方面也更深刻地反映了事物的本质。

在建立力学模型的基础上，根据公理、定律和基本假设，借助数学工具，经过严格的逻辑推理和数学演绎，考虑到问题的具体条件，得到各种形式的正确的具有物理意义和实用价值的定理，设计计算公式，如物体机械运动的一般规律及对构件进行强度、刚度和稳定性计算的定理和公式。实践证明，这些力学定理和公式能够满足工程计算精度要求。

工程力学是前人经过无数次“实践——理论——实践”的循环过程，使认识不断提高和深化，逐步总结和归纳出的合理方法。因此，我们首先应学习并接受这样的书本知识，然后应用验证后的理论指导实践。同时，还应在生产实践中去验证和发展它。工程力学正是沿着这条途径建立起来的。

随着计算机技术的迅速发展，如 ANSYS 等有限元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工程实际问题中发挥更大的作用。

3. 工程力学在专业学习中的地位和作用

工程力学是一门理论性较强的技术基础课，在基础课和专业课中起着承前启后的作用，是基础科学与工程技术的综合。工程力学的定律、定理与结论广泛应用于各种工程技术（冶金、煤炭、石油、化工、机械、建筑、轻工、纺织以及交通、地震科学等方面）之中，所以它是解决工程实际问题的重要基础。学习工程力学知识，不仅使读者具备设计或验算构件承载能力的初步能力，而且还有助于从业者从事设备安装、运行和检修等方面的实际工作。因此，工程力学在专业技术教育中具有极其重要的地位。

学习工程力学，不仅要深刻理解力学的基本概念和基本定律，还要牢固地掌握由此而导出的解决工程力学问题的定理和公式，同时也要注意培养自己处理工程力学问题的能力。为达此目的，认真读书，演算一定数量的习题，并注意联系专业中的力学问题是最重要的途径。

工程力学的研究方法具有典型性，有助于培养辩证唯物主义观点以及分析问题和解决问题的能力。作为未来的工程技术人员，不仅要学好工程力学的科学内容，还要逐步领会其研究方法。只有这样，才能在工作中做出更大的成绩。

模块一

刚体静力学

