



# 工程力学 (第3版)

● 主编 禹加宽

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



# 工 程 力 学

(第3版)

主编 禹加宽

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

全书涵盖了理论力学、材料力学课程的主要内容。理论力学部分包括静力学的基础知识、平面力系、空间力系和刚体的定轴转动等；材料力学部分包括材料力学的基础知识、杆件的內力分析、杆件基本变形时的应力与强度计算及变形与刚度计算、应力状态、强度理论、组合变形、压杆稳定与疲劳破坏等。每章前有知识点、先导案例，每节前有知识预热；每章后有先导案例解决、学习经验、小结，并提供了较多的例题、思考题、习题及参考答案，以便教师的选用和学生的预复习。

本书突出高等教育“以应用为目的”“以能力为本位”的教育理念，体现“以必需、够用为度”的原则，可作为高等院校机械、机电、数控技术及模具设计与制造等近机械类专业学生的教学用书，也可以供相关工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学 / 禹加宽主编. —3 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2016.8  
ISBN 978-7-5682-2893-0

I. ①工… II. ①禹… III. ①工程力学 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 197398 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 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14

字 数 / 326 千字

版 次 / 2016 年 8 月第 3 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 45.00 元

责任编辑 / 李秀梅

文案编辑 / 杜春英

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

---

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

## 再版前言

工程力学作为一门技术基础课程，教学课时进一步减少，教学内容更加精选。本书力求精简优化教学内容体系，在基础理论的学习上坚持“必需、够用”的原则，讲清概念、原理，兼顾专业需求和个性发展，以培养实用型人才为主要目标；在介绍与机械有关的力学知识时，以培养实用型人才为主要目标，避免了复杂的数学推导计算，文字简明、内容精练，突出了高等教育的特色。同时注意高等教育的培养目标，将素质教育和技能培养有机地结合，及时充实新知识、新技术、新工艺和新方法等方面内容，力求反映科学技术的最新成果。全书涵盖了理论力学、材料力学课程的主要内容。理论力学部分包括静力学的基础知识、平面力系、空间力系和刚体的定轴转动等；材料力学部分包括材料力学的基础知识、杆件的内力分析、杆件基本变形时的应力与强度计算及变形与刚度计算、应力状态、强度理论、组合变形、压杆稳定与疲劳破坏等。每章前有知识点、先导案例，每节前有知识预热；每章后有先导案例解决、学习经验、小结；每章例题、习题经作者精心选择，具有典型性，强调工程概念，使力学教学与工程实践相结合。本书适合作为高等院校机械、机电、数控技术等近机械类专业的教学用书。

参加本书编写的有：周祥基（第1、2章）、谢世坤（第3、4章）、卞洪元（第5、6章）、丁育林（第7、8章）、禹加宽（第9、10、11章）。全书由禹加宽任主编，周祥基和谢世坤任副主编。

在本书的编写过程中，得到了有关院校老师的热情帮助和指导，在此深表感谢。由于编者水平有限，疏漏和欠妥之处在所难免，恳请读者批评指正！

# 教材使用说明

工程力学是现代工程技术重要的理论基础之一，是重要的技术基础课。它在基础课和专业课之间起着桥梁的作用。本教材是高等院校机械、机电、数控技术、模具设计与制造等近机械类相关专业的教材。教材中的主要内容是高等院校近机械类专业必须具备的基本理论和技能。

不同的专业面向不同的岗位群，机械专业适应的岗位群：在船舶配套、机床制造、汽车制造等行业，主要从事产品计划开发，机械制造工艺规程编制及工艺装置计划，技术管理及工艺实施的现场管理，通用机械设备的管理、维护及修缮，数控机床及加工核心操作与程序编制等工作。学生应具有机械制造工艺编制，机械装置及工艺装置计划，机械设备的装配、调试与革新能力，以及数控机床加工等能力。

机电专业适应的岗位群：主要在机电、机械等行业，从事机电装置的革新，企业生产线的电气故障诊断、检修及管理维护，机电设备的检修、维护以及机床的数控变革，小型机电控制产品革新、销售和技术支持等工作。学生应具有机电控制设备的操作、装配、调试、维修及控制技术应用能力，以及自动生产线（如柔性制造系统（FMS））的使用、维护能力。

数控专业适应的岗位群：主要在机械装备、航空、汽车、模具等产品制造行业，从事机械工艺、数控加工及编程，模具计划与制造，数控设备维护及革新，制造技术管理等工作。学生应具有操作数控机床、编制数控加工工艺规程和加工程序的能力，利用 CAD/CAM 软件进行零件的几何造型及程序编制的能力，使用、调试和维护大型机床、数控机床及其他自动化制造设备的能力。

模具专业适应的岗位群：主要在汽车、塑料制品、机械等制造业以及电子家电、航空航天等行业，从事企业的模具计划与制造，模具的装配、调试、维修和管理，数控机床编程与操作等工作。学生应具有模具计划及制造、操作现代化模具加工设备和冲压塑料成形设备、应用计算机进行 CAD/CAM 模具辅助设计制造等方面的能力。

本教材主要讲授静力学、运动学、动力学和材料力学。静力学和运动学部分，使学生认识物体机械运动的基本规律，学会运用这些规律和方法分析、解决工程实际中的力学问题；材料力学部分，使学生掌握杆件强度、刚度和稳定性等方面的知识，能熟练地对构件进行强度和刚度计算，并具有较强的实践能力。

学习这门课程，既可以直接解决一些简单的工程实际问题，又可以为后续的有关课程打好基础。同时，掌握工程力学的研究方法，将有利于其他科学技术的学习。在高等工科院校里，许多专业基础课、专业课都将直接应用工程力学课程中的基本理论、知识和方法。

例如，机电大类专业中需开设的“机械原理”课程中，需要用工程力学中点的合成运动和刚体平面运动的分析方法去分析连杆机构和凸轮机构等，各种机构的复杂运动要用静、动平衡的概念去分析机构的平衡，在机械效率一章中运用工程力学中的机械效率、摩擦、自锁

等知识。“机械设计”课程中,需要分析齿轮、传动轴、蜗轮蜗杆的受力和变形,就要计算齿面接触疲劳强度,齿根部的弯曲强度,轮齿的强度,螺栓连接、键连接的剪切强度,齿轮传动轴和蜗杆的强度、刚度,等等,这些都需运用工程力学中的摩擦角、自锁等知识以及构件变形、双向弯曲与扭转组合变形的强度、刚度条件等理论。“机械制造工艺学”课程中,需要考虑工艺系统的受力变形、残余应力、机械加工中的振动等因素对机械加工精度、表面质量的影响,这些都需要应用工程力学的基本知识。“金属切削原理”课程中,需要用“力的合成与分解”方法去分析切削合力与分力,要用变形与应变的知识分析金属切削时的剪切变形和剪应变。“金属切削机床”课程中,需要计算支承件的弯矩、扭矩,需要讨论支承件的刚度及其动态特性;要计算传动件的疲劳强度等,也要运用工程力学中的基本理论。

又如,材料科学与工程类专业中需要开设的“金属塑性成形原理”课程中,需要讨论金属的塑性和塑性指标、应力状态对塑性的影响、应变分析、应力应变关系,等等,这些都需要应用工程力学的基本知识。此外,还要用工程力学的虚功原理去求解塑性成形问题。“金属学与热处理”课程中,需要应用金属的强度指标、塑性指标、韧性指标等,要讨论金属受正应力作用及受切应力作用的弹性变形和塑性变形。“冲压模具设计与制造技术”课程中,要用到工程力学中的应力应变关系,广义胡克定律,第三、第四强度理论等去分析讨论变形物体的应力、应变状态,要用计算重心的方法去确定压力中心,要用弯曲内力、应力、应变的求解方法去进行弯曲模具设计。“冲压模具技术的理论与实践”课程中,进行挤压模具的强度校核时,要用到工程力学中的弯曲应力、轴向压应力、剪切强度计算方法;在分析“扁挤压筒破坏原因”时,需要用到工程力学中的压应力、温度应力、装配应力组合应力计算、主应力等概念。

随着社会的发展和科技的进步,对高等学校提出了更高的要求,学校不仅要给学生传授科学知识,还必须注重学生综合素质的培养和提高,培养学生的工程意识。“工程力学”课程在培养人才方面起着十分重要的作用。首先,“工程力学”课程是后续课程的基础,这从上述列举的实例看得很清楚,基础扎实与否将直接影响后续课程理论知识的学习。其次,工程力学中的基本理论在许多科学技术、工程技术中得到了广泛应用。例如,航空航天、机械制造、石油化工、土木工程、汽车船舶、体育工程等诸多行业与工程力学密切相关。可见,未来的工程技术人员必须认真学好“工程力学”课程,以便理解工程力学的研究方法,掌握工程力学的计算原理、计算方法和计算技能。

除此之外,工程力学在培养学生全面素质和职业能力方面的作用可以归纳如下:

(1) 培养理论联系实际的能力和抽象化能力。工程力学中力学模型和练习题,基本上都是由工程实际中的各种构件、零部件或构筑物简化抽象而得的。

(2) 培养实验观察、分析及动手能力。“工程力学”课程要求学生自己动手做实验,通过观察实验现象,分析试件变形、破坏的原因,根据实验数据归纳、分析、推导出理论公式,培养灵活、综合分析问题和解决问题的能力。

(3) 培养计算机运用能力。“工程力学”课程中的部分习题计算量比较大,为此,任课教师可以指导学生编写程序用计算机计算。这样做既可以保证学生的计算机学习不断线又培养了学生运用计算机的能力,对以后解决工程实际中大型计算问题无疑是一个十分有益的培养、训练。

(4) 培养工程意识。工程力学中对构件的主要变形进行强度、刚度和稳定性计算时,只

考虑构件的主要变形及引起变形的主要因素。在实际工程设计中常常运用“忽略次要因素和次要变形”这种方法进行简化计算，可以保证设计的构件既能安全工作又节省材料，符合经济合理原则。

通过以上分析可以看出，学好“工程力学”课程对后续课程的学习将起到至关重要的作用。掌握工程力学中分析问题、解决问题的基本技能和基本方法，将在培养学生的全面素质和职业能力等方面起着十分重要的作用。

## 本门课程对应岗位

机械制造及自动化、数控技术应用、机电一体化、模具设计与制造等。根据职业岗位要求，职业岗位能力的分析，这些岗位应掌握物体受力分析方法、物体在力系作用下的平衡规律及工程构件在载荷作用下变形和破坏的规律，具备工程分析和计算能力。

## 岗位需求知识点

1. 力学的基本原理。
2. 物体受力分析与计算的方法。
3. 材料拉压时的力学性能。
4. 构件的强度、刚度的计算，承载能力的确定和截面尺寸的设计。
5. 运用强度理论解决组合变形的强度、刚度问题。
6. 提高压杆稳定性措施等。



# 目 录

绪论	1
一、工程力学的地位和作用	1
二、工程力学的主要内容	1
三、学习工程力学的方法	1

## 第一篇 理论力学

第1章 静力学基础	5
1.1 静力学基本概念	6
1.1.1 力的概念	6
1.1.2 力的三要素	6
1.1.3 力的表示法	7
1.1.4 静力学基本公理	7
1.2 约束与约束力	10
1.2.1 柔性约束	10
1.2.2 光滑接触面约束	11
1.2.3 圆柱形铰链约束	11
1.2.4 固定端支座约束	13
1.3 受力图	14
1.3.1 单个物体的受力图	14
1.3.2 物体系统的受力图	15
1.4 载荷	16
1.4.1 载荷按作用性质分类	16
1.4.2 载荷按作用时间分类	16
1.4.3 载荷按作用范围分类	17
第2章 平面力系的合成与平衡	23
2.1 平面汇交力系的合成与平衡	24
2.1.1 平面汇交力系合成的几何法	24
2.1.2 平面汇交力系平衡的几何条件	25
2.1.3 平面汇交力系合成的解析法	26

2.1.4	平面汇交力系平衡的解析条件	27
2.2	力矩和力偶	29
2.2.1	力矩的概念及计算	29
2.2.2	力偶的概念及性质	31
2.2.3	平面力偶系的合成及平衡	32
2.2.4	力的平移定理	34
2.3	平面平行力系的合成与平衡	35
2.4	平面一般力系的简化	37
2.4.1	平面一般力系向一点简化	37
2.4.2	简化结果的讨论	38
2.5	平面一般力系的平衡方程及其应用	39
2.5.1	平面一般力系的平衡方程	40
2.5.2	解题步骤与方法	40
2.6	静定与超静定问题及物系的平衡	42
2.6.1	静定与超静定问题的概念	42
2.6.2	物系的平衡	43
2.7	摩擦	46
2.7.1	滑动摩擦	46
2.7.2	摩擦角	48
2.7.3	考虑摩擦时物体的平衡问题	49
2.7.4	滚动摩擦	51
<b>第3章</b>	<b>空间力系的合成与平衡</b>	<b>62</b>
3.1	力在空间直角坐标轴上的投影	63
3.1.1	直接投影法	63
3.1.2	二次投影法	63
3.1.3	合力投影定理	64
3.2	力对轴之矩	65
3.2.1	力对轴之矩	65
3.2.2	合力矩定理	66
3.3	空间任意力系的平衡方程	67
3.4	重心	72
3.4.1	重心及形心的坐标公式	73
3.4.2	确定重心位置的方法	74
<b>第4章</b>	<b>刚体定轴转动</b>	<b>83</b>
4.1	转动方程、角速度和线速度	83
4.1.1	转动方程	83

4.1.2 角速度和线速度	84
4.2 功率、转速与转矩间的关系	86
4.2.1 功率	86
4.2.2 功率、转矩和转速之间的关系	86
<b>第二篇 材 料 力 学</b>	
<b>第5章 轴向拉伸与压缩</b>	<b>91</b>
5.1 轴向拉伸与压缩的概念	91
5.2 截面法、轴力与轴力图	92
5.2.1 内力的概念	92
5.2.2 截面法、轴力与轴力图	93
5.3 拉压时横截面上的正应力	95
5.3.1 应力的概念	95
5.3.2 横截面上的正应力	96
5.4 轴向拉压杆的变形和胡克定律	97
5.4.1 纵向线应变和横向线应变	97
5.4.2 胡克定律	98
5.5 材料在轴向拉压时的力学性能	100
5.5.1 低碳钢拉伸时的力学性能	101
5.5.2 低碳钢压缩时的力学性能	103
5.5.3 铸铁拉伸时的力学性能	103
5.5.4 铸铁压缩时的力学性能	103
5.6 轴向拉压杆的强度计算	105
5.6.1 极限应力、许用应力和安全系数	105
5.6.2 拉(压)杆的强度条件	105
5.7 拉压超静定问题	107
5.7.1 超静定概念及其解法	107
5.7.2 装配应力	108
5.7.3 温度应力	109
<b>第6章 剪切与挤压</b>	<b>115</b>
6.1 剪切与挤压概念	115
6.1.1 剪切的定义	115
6.1.2 挤压的定义	117
6.2 剪切和挤压实用计算	117
6.2.1 剪切实用计算	117
6.2.2 挤切实用计算	118

6.3 剪切胡克定律和切应力互等定理 .....	120
<b>第7章 圆轴扭转</b> .....	<b>123</b>
7.1 扭转的概念和外力偶矩的计算 .....	123
7.1.1 扭转的概念 .....	123
7.1.2 外力偶矩的计算 .....	124
7.2 扭矩和扭矩图 .....	124
7.2.1 扭矩 .....	124
7.2.2 扭矩图 .....	125
7.3 圆轴扭转时的应力与强度条件 .....	127
7.3.1 圆轴扭转时横截面上的应力 .....	127
7.3.2 圆截面极惯性矩 $I_p$ 及抗扭截面系数 $W_p$ 的计算 .....	130
7.3.3 圆轴扭转时的强度条件 .....	131
7.4 圆轴扭转时的变形及刚度条件 .....	132
7.4.1 圆轴扭转时的变形 .....	133
7.4.2 圆轴扭转时的刚度条件 .....	133
<b>第8章 平面弯曲内力</b> .....	<b>138</b>
8.1 平面弯曲 .....	138
8.1.1 平面弯曲的概念 .....	138
8.1.2 梁的计算简图及分类 .....	139
8.2 梁的内力——剪力与弯矩 .....	140
8.2.1 截面法求内力——剪力与弯矩 .....	140
8.2.2 剪力和弯矩的符号规定 .....	141
8.3 剪力图与弯矩图 .....	143
8.3.1 剪力方程和弯矩方程 .....	143
8.3.2 剪力图与弯矩图 .....	143
8.4 弯矩、剪力和载荷集度 .....	147
8.4.1 弯矩、剪力和载荷集度间的关系 .....	147
8.4.2 利用 $M(x)$ 、 $F_Q(x)$ 、 $q(x)$ 三者之间的关系绘剪力图和弯矩图 .....	147
<b>第9章 弯曲强度与刚度</b> .....	<b>154</b>
9.1 梁弯曲时横截面上的正应力 .....	154
9.1.1 纯弯曲变形 .....	155
9.1.2 正应力分布规律 .....	156
9.1.3 弯曲正应力的计算 .....	156
9.1.4 常用截面的惯性矩的计算 .....	157
9.2 梁弯曲时正应力强度计算 .....	159

9.3 弯曲切应力简介 .....	162
9.3.1 矩形截面梁上的切应力 .....	162
9.3.2 典型截面梁的最大切应力计算 .....	163
9.3.3 弯曲切应力强度条件 .....	163
9.4 梁的弯曲变形与刚度 .....	164
9.4.1 梁的弯曲变形概述 .....	164
9.4.2 用叠加法求梁的变形 .....	167
9.4.3 梁的刚度条件 .....	168
9.5 提高梁的强度和刚度的措施 .....	168
9.5.1 合理安排梁的支承及增加约束 .....	169
9.5.2 选择合理的截面形状 .....	169
9.5.3 合理布置载荷 .....	169
<b>第 10 章 应力状态 强度理论 组合变形 .....</b>	<b>176</b>
10.1 应力状态的概念 .....	176
10.1.1 一点的应力状态 .....	176
10.1.2 单元体的概念 .....	177
10.1.3 主平面、主应力 .....	177
10.1.4 应力状态分类 .....	178
10.2 平面应力状态分析 .....	178
10.2.1 斜截面上的应力 .....	179
10.2.2 主应力的大小和方向 .....	180
10.2.3 最大切应力 .....	180
10.3 强度理论 .....	182
10.3.1 强度理论的概念 .....	182
10.3.2 常用的四种强度理论 .....	183
10.3.3 四种强度理论的适用范围 .....	184
10.4 组合变形的强度计算 .....	184
10.4.1 弯曲与拉伸(压缩)组合变形的强度计算 .....	185
10.4.2 弯曲与扭转组合变形的强度计算 .....	186
<b>第 11 章 压杆稳定与疲劳破坏等 .....</b>	<b>193</b>
11.1 压杆稳定的概念 .....	193
11.2 提高压杆稳定性的措施 .....	194
11.3 交变应力和疲劳破坏的概念 .....	196
11.3.1 动应力的概念 .....	196
11.3.2 交变应力的概念 .....	196
11.3.3 构件的疲劳破坏及其产生的原因 .....	197

11.4 应力集中的概念	197
附录 A 型钢表	199
附录 B 习题答案	203
参考文献	208

# 绪 论

## 一、工程力学的地位和作用

工程力学是一门与工程技术密切联系的技术基础课，是研究物体运动的一般规律和有关构件的强度、刚度和稳定性理论的科学，在机械及轻工、化工、纺织、建筑等众多相关专业中占有重要的地位。工程力学的定律、定理与结论广泛应用于各种工程技术中。例如，机床、内燃机、起重机等各种各样的机械，它们都是由许多不同构件组成的，当机械工作时，这些构件将受到外力（通常称为载荷）的作用，都要涉及机械运动和强度计算等问题。因此，对机械的研究、制造和使用都是以力学理论为基础的，所以工程力学是解决实际问题的重要基础。

工程力学所阐述的是力学中最普遍、最根本的规律，这些基础知识具有很强的实用性。作为高职高专应用型工程技术人才，在工作中必然会遇到很多与力学有关的问题，通过本课程的学习，可以掌握必要的力学知识，帮助我们正确地使用、安装、维护各类机械，提高操作技能和技术创新能力。

## 二、工程力学的主要内容

工程力学共分两篇。第一篇为理论力学，重点学习静力学，即学习物体受力分析方法和物体平衡的一般规律；第二篇为材料力学，研究工程构件在载荷作用下变形和破坏的规律，在保证构件既安全又经济的前提下，为构件选用合适的材料、确定合理的截面形状和尺寸提供理论依据。

## 三、学习工程力学的方法

力学的基本规律，是人们通过长期生产实践和大量科学实验，经过综合、分析和归纳总结出来的，观察和实验是认识力学规律的重要环节。因而，学习工程力学的过程中必须注意理论密切联系实际，在观察和实践中，勤于思考，抓住主要因素，学会运用抽象化的方法建立力学模型，理解问题的本质；注意掌握合理的假设、准确的概括、严密的推理等科学方法；工程力学中的许多概念和公式可以通过做习题来巩固、掌握、加深理解，所以，及时的总结和适量的练习是学好本课程的重要途径。本书每章均列出了知识点、先导案例，有利于把握学习的重点、难点，提高学习兴趣；每章后有先导案例解决、学习经验、本章小结、思考题和习题，有助于复习和深入思考所学的内容，巩固基础知识和提高分析问题和解决问题的能力。





# 第一篇 理论力学

理论力学是研究物体机械运动的规律及其应用的科学。

运动是物质存在的形式，是物质的固有属性。它包括了宇宙中发生的一切变化与过程。因此，物质的运动形式是多种多样的，从简单的位置变化到各种物理现象、化学现象，直至人的思维与人们的社会活动。

所谓机械运动，是指物体在空间的位置随时间的变化，这是宇宙间物质运动的一种最简单的形式。例如星球的运行，飞机、轮船、汽车的行驶，机器的运转等，都是机械运动。所谓物体的平衡，一般是指物体相对地球处于静止状态或做匀速直线运动，这是机械运动的特殊情形。

理论力学包括静力学、运动学和动力学三个部分，本篇着重讨论静力学。静力学研究物体受力分析方法和物体在力系作用下处于平衡的条件。物体平衡时的运动规律较运动状态发生变化时的规律要简单一些，所以静力学是理论力学中较浅显易懂的部分。

静力学物体受力分析方法和力系平衡条件在工程技术中应用很广。例如，常见的机械零件，如轴、齿轮、螺栓等，以及手动工具和低速机械等，它们在工作时大多处于平衡状态，或者可以近似看作处于平衡状态。为了合理设计或选择这些机械零件的形状、尺寸，保证构件安全可靠地工作，就要运用静力学知识，对构件进行受力分析，并根据平衡条件求出未知力，为构件的应力分析做好准备。所以，静力学又是学习材料力学的基础。此外，本篇还对运动学中的刚体定轴转动内容作了初步介绍。