




工程力学 (第2版)

主编 张力

编著 孟春玲 张媛



工程力学 (第2版)

主编 张力
编著 孟春玲 张媛

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

全书分静力学和材料力学两部分。静力学共 5 章,内容包括静力学基本公理、定理,平面汇交力系,平面力偶系,平面任意力系,摩擦;材料力学共 10 章,内容包括轴向拉伸、压缩,剪切,扭转,弯曲,组合变形,交变应力,压杆稳定。

书后有实验和附录。内容包括材料的拉伸实验、压缩实验、扭转实验,弹性模量 E 、切变模量 G 的测定,电测法及疲劳实验;附录包括型钢规格表、几种主要材料的机械性能表、习题参考答案及参考文献。

本书可供高等院校的材料、环境、化工、冶金、地质等工科各专业学生使用,也可供相关专业教师、学生及自学者使用和参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/张力主编. --2 版. --北京:清华大学出版社,2011.4

ISBN 978-7-302-24906-1

I. ①工… II. ①张… III. ①工程力学 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 031138 号

责任编辑:庄红权

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15.25 字 数:364 千字

版 次:2011 年 4 月第 2 版 印 次:2011 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:28.00 元

产品编号:037468-01

第 2 版前言

根据最新高等院校工科非机类专业的教学大纲和要求,本书对第 1 版内容作了相应的修订。

编者作为该教材的讲授教师,在使用过程中发现了教材中存在的一些不足,出于有利于教学的愿望,本书修订时对内容作了一些补充和丰富,例如静力学部分增加摩擦一章,以便少学时基础好的学生自学或多学时课程的讲授;补充和丰富材料力学部分的第 11 章、12 章和 13 章;增加工程实例和习题的类型与数量,进一步拓宽了教材的适用范围。考虑到本书第 1 版使用较广,修订后仍然保持了原有的体系和风格。

第 2 版注重编者结合长期从事理论力学、材料力学、工程力学等课程的教学经验以及北京市高等学校教育教学改革项目的成果,注重力学系统的完整性和严密性,力求做到主次分明、详略恰当、难易适中、侧重基础,同时也结合新的工程应用实例,注重培养学生用力学知识解决工程实际问题的能力。教学时数安排在 30~48 学时,针对不同的专业,教师可酌情取舍。

本书获得北京市属高等学校人才强教计划资助项目的资助,在此致以深切的谢意。

本书可供高等院校的材料、环境、化工、冶金、地质等工科各专业学生使用,也可供相关专业教师、学生及自学者使用和参考。

由于时间仓促,书中难免有不当之处,请读者不吝赐教。

编 者

2011 年 1 月于北京

第 1 版前言

为适应高等院校教学改革的发展趋势,按照高等院校工科非机械类专业的教学大纲和要求,根据全面更新的工程力学课程教学内容和课程体系,依据高等院校加强基础、淡化专业、分流培养的教学方针,编者结合长期从事理论力学、材料力学、工程力学等课程的教学经验以及北京市高等学校教育教学改革项目的成果,有针对性地编写了这本工程力学教材。

编写本书时,我们对内容进行了精心挑选,注重力学系统的完整性和严密性,力求做到主次分明、详略恰当、难易适中、侧重基础,同时也结合新的工程应用实例,注重培养学生用力学知识解决工程实际问题的能力。实验部分在验证实验的基础上,增加了综合性实验,旨在培养学生理论联系实际和解决实际问题的能力。本书适合少学时工程力学教学,针对不同的专业,教师可酌情取舍。

本书可供高等院校的材料、环境、化工、冶金、地质等工科各专业学生使用,也可供相关专业教师、学生及自学者使用和参考。

由于时间仓促,书中难免有不当之处,请读者不吝赐教。

编者

2006年1月于北京

目 录

绪论	1
----	---

第 1 篇 静 力 学

第 1 章 物体的受力分析	4
1.1 静力学基本概念	4
1.1.1 力的概念	4
1.1.2 刚体的概念	4
1.2 静力学基本公理	5
1.2.1 公理 1 二力平衡原理	5
1.2.2 公理 2 加减平衡力系原理	5
1.3 约束和约束力	6
1.3.1 约束的概念	6
1.3.2 工程中常见的几种约束及约束力	6
1.4 物体的受力分析	8
1.4.1 物体的受力分析	8
1.4.2 力的分类	9
1.4.3 受力图	9
1.4.4 讨论	12
习题	13
第 2 章 平面汇交力系	14
2.1 力的分解和力的投影	14
2.1.1 力的分解	14
2.1.2 力的投影	14
2.2 平面汇交力系的合成	15
2.2.1 平面汇交力系合成的几何法	15
2.2.2 平面汇交力系合成的解析法	16
2.2.3 说明	17
2.3 平面汇交力系的平衡条件和平衡方程	17
2.3.1 平面汇交力系的平衡条件	17
2.3.2 平面汇交力系的平衡方程	17
2.3.3 平面汇交力系平衡方程应用说明	18
习题	20

第 3 章 平面力偶系	23
3.1 平面力对点的矩	23
3.1.1 平面力对点的矩的实例	23
3.1.2 平面力对点的矩	23
3.1.3 合力矩定理	23
3.2 平面力偶及其性质	24
3.2.1 力偶的定义	24
3.2.2 力偶的性质	24
3.2.3 力偶矩	24
3.2.4 同平面内力偶的等效定理	25
3.2.5 常见的力偶表示符号	25
3.3 平面力偶系的合成和平衡条件	26
3.3.1 平面力偶系的概念	26
3.3.2 平面力偶系的合成	26
3.3.3 平面力偶系的平衡条件	27
习题	28
第 4 章 平面任意力系	31
4.1 平面任意力系的简化	31
4.1.1 力的平移定理	31
4.1.2 平面任意力系的简化	32
4.1.3 平面任意力系简化结果分析	33
4.1.4 分布力系的合力	33
4.1.5 关于固定端的约束力	34
4.2 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	35
4.2.1 平面任意力系的平衡条件	35
4.2.2 平面任意力系的平衡方程	35
4.2.3 平面任意力系平衡方程的其他形式	35
4.3 物系的平衡	39
4.4 静定与超静定的概念	43
习题	43
第 5 章 摩擦	47
引言	47
5.1 滑动摩擦	47
5.1.1 静滑动摩擦力	47
5.1.2 动滑动摩擦力	48
5.2 摩擦角和自锁现象	48
5.2.1 摩擦角	48
5.2.2 自锁现象	49

5.2.3 自锁现象的应用	49
5.3 摩擦平衡问题	49
习题	52

第 2 篇 材料力学

第 6 章 材料力学导论	54
6.1 材料力学的研究内容和基本假设	54
6.1.1 材料力学的研究内容	54
6.1.2 材料力学的研究对象	55
6.1.3 变形体的基本假设	56
6.2 外力及其分类	57
6.2.1 外力的概念	57
6.2.2 外力的分类	57
6.3 内力、截面法和应力的概念	58
6.3.1 内力的概念	58
6.3.2 截面法求内力	58
6.3.3 应力的概念	59
6.4 位移与应变的概念	60
6.4.1 位移	60
6.4.2 应变	61
6.5 杆件变形的基本形式	62
6.5.1 杆的概念	62
6.5.2 杆件变形的基本形式	62
习题	63
第 7 章 拉伸与压缩	64
7.1 轴向拉伸与压缩的概念	64
7.2 轴向拉压杆横截面上的内力和应力	65
7.2.1 轴向拉压杆横截面上的内力	65
7.2.2 轴力图	66
7.2.3 轴向拉压杆横截面上的应力	66
7.3 材料在拉伸时的力学性能	69
7.3.1 拉伸试验和应力-应变曲线	69
7.3.2 低碳钢拉伸时的力学性能	70
7.3.3 表征材料塑性的两个物理量——延伸率 δ 和断面收缩率 Ψ	72
7.3.4 材料在卸载和再加载时的力学性能	72
7.3.5 其他塑性材料在拉伸时的力学性能	73
7.3.6 铸铁拉伸时的力学性能	73
7.4 材料在压缩时的力学性能	74

7.4.1	低碳钢的压缩试验	74
7.4.2	铸铁的压缩试验	74
7.5	失效、安全系数和强度计算	75
7.5.1	概念	75
7.5.2	强度条件	76
7.6	轴向拉伸与压缩时的变形	79
7.6.1	纵向变形和横向变形的概念	79
7.6.2	纵向变形的计算	79
7.6.3	横向变形的计算 泊松比	80
7.7	应力集中的概念	81
	习题	82
第 8 章	剪切与挤压的实用计算	86
8.1	剪切	86
8.1.1	剪切和剪切变形的概念	86
8.1.2	剪力、剪应力和剪切强度条件	86
8.2	挤压	88
8.2.1	挤压的基本概念	89
8.2.2	挤压应力的计算	89
8.2.3	挤压强度条件	89
	习题	91
第 9 章	扭转	93
9.1	扭转的概念和实例	93
9.2	外力偶矩的计算、扭矩和扭矩图	93
9.2.1	外力偶矩的计算	93
9.2.2	扭矩和扭矩图	94
9.3	剪应力互等定理、剪切胡克定律	96
9.3.1	薄壁圆筒的扭转	97
9.3.2	剪应力互等定理	97
9.3.3	剪切胡克定律	98
9.4	圆轴扭转时的应力和强度条件	98
9.4.1	圆轴扭转时的应力	98
9.4.2	极惯性矩与抗扭截面系数	101
9.4.3	圆轴扭转的强度条件	102
9.5	圆轴扭转时的变形和刚度条件	104
9.5.1	圆轴扭转时的变形	104
9.5.2	圆轴扭转的刚度条件	105
	习题	106
第 10 章	弯曲内力	109
10.1	弯曲的概念和实例	109

10.1.1	引例	109
10.1.2	弯曲的基本概念	109
10.2	受弯杆件的简化	110
10.2.1	梁的载荷	110
10.2.2	梁的几种力学模型	111
10.3	剪力和弯矩	112
10.3.1	用截面法求弯曲梁横截面的内力	112
10.3.2	剪力和弯矩的符号	113
10.4	剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图	113
	习题	118
第 11 章	弯曲应力	119
11.1	纯弯曲梁的正应力	119
11.1.1	变形的几何关系	119
11.1.2	变形的物理关系	121
11.1.3	变形的静力学研究	121
11.1.4	梁的弯曲正应力	122
11.2	常用截面的惯性矩、平行移轴公式	123
11.2.1	常用截面的惯性矩	124
11.2.2	平行移轴定理	125
11.3	弯曲正应力的强度条件	125
11.4	提高梁弯曲强度的措施	128
	习题	129
第 12 章	弯曲变形	133
12.1	梁的挠度和转角	133
12.1.1	弹性曲线	133
12.1.2	挠度和转角	133
12.2	弹性曲线的近似微分方程	134
12.2.1	弹性曲线的微分方程	134
12.2.2	边界条件	135
12.3	叠加法求梁的变形	138
12.4	梁的刚度校核	141
	习题	142
第 13 章	组合变形	145
13.1	组合变形与叠加原理	145
13.1.1	组合变形的概念	145
13.1.2	叠加原理	146
13.2	组合变形的应力分析	146
	习题	151

第 14 章 交变应力	153
14.1 交变应力与疲劳破坏	153
14.1.1 交变应力	153
14.1.2 疲劳破坏	154
14.2 交变应力的循环特征、应力幅和平均应力	155
14.2.1 交变应力的基本参数	155
14.2.2 常用的两种特殊的交变应力	156
14.3 对称循环下构件的持久极限	156
14.3.1 对称循环下的弯曲疲劳试验	157
14.3.2 持久极限	158
14.4 影响构件持久极限的主要因素	158
14.4.1 构件外形的影响	158
14.4.2 构件尺寸的影响	160
14.4.3 构件表面质量的影响	160
14.5 对称循环下构件的疲劳强度计算	162
14.6 提高构件抗疲劳能力的措施	163
14.6.1 采用合理的结构形式,减缓应力集中	164
14.6.2 提高构件表面质量,以提高构件的持久极限	164
习题	164
第 15 章 压杆稳定	165
15.1 压杆稳定的概念	165
15.1.1 压杆的定义	165
15.1.2 压杆的失稳	165
15.1.3 压杆的临界载荷	166
15.2 细长压杆的临界载荷	166
15.2.1 两端铰支细长压杆的临界载荷	166
15.2.2 其他支撑条件下压杆的临界载荷	168
15.3 欧拉公式的适用范围	170
15.3.1 临界应力和柔度的概念	170
15.3.2 欧拉公式的适用范围	171
15.3.3 中柔度杆的临界应力	171
15.3.4 经验公式的适用范围	172
15.4 压杆的稳定性设计	174
15.4.1 压杆的稳定条件	174
15.4.2 提高压杆稳定性的措施	175
15.4.3 合理选择材料	175
习题	176

实 验

实验一	材料的拉伸实验	180
实验二	材料的压缩实验	183
实验三	弹性模量 E 的测定	185
实验四	材料的扭转实验	187
实验五	切变模量 G 的测定	190
实验六	电测法	192
实验七	疲劳实验	196
	部分实验设备的介绍	199

附 录

附录 A	型钢规格表	208
附录 B	几种主要材料的机械性能表	222
附录 C	习题参考答案	223
	参考文献	228

绪 论

1. 工程力学的研究对象及任务

工程力学(engineering mechanics)是一门研究物体的机械运动及构件强度、刚度和稳定性的学科,它包括理论力学和材料力学两门课程的经典内容和基础知识。

理论力学是研究物体机械运动普遍规律的一门学科。所谓机械运动是指物体空间位置随时间的改变。

材料力学是研究工程构件在外力作用下的变形规律和承载能力的学科,具体研究构件的强度、刚度和稳定性等问题。

本教材的内容包括以下两篇。

第1篇:静力学——主要研究物体的受力分析,力系的简化和受力物体平衡时作用力所应满足的条件,是研究构件强度、刚度和稳定性问题的基础。

第2篇:材料力学——主要研究构件的强度、刚度和稳定性问题,为构件选取适当的材料、选择合理的截面形状及尺寸提供理论基础。

两篇内容并非完全孤立,它们之间有一些交叉。

2. 学习工程力学的目的

由于工程力学讲述了力学的基本理论和基本知识,工科专业中很多课程都需要有工程力学的知识,该课程在基础课和专业课之间起到了承上启下的作用。同时,通过对本课程的学习,还有助于提高读者分析问题、解决问题的能力,以指导人们认识自然界,科学地从事工程技术工作。

3. 工程力学的研究方法

本课程的实用性很强。教材中的基本概念、基本理论和计算方法,都是长期以来从生活和生产实践中观察得到的结果,利用抽象化方法,加以分析、综合、归纳、总结,成为最普遍的公理及定律,再通过严格的数学演绎和逻辑推理的方法,得出正确的具有物理意义和实用价值的一些定理和力学公式。随着计算机的飞速发展和广泛应用,工程力学的研究方法和手段也在更新和变革,将计算机应用于力学将成为工程设计新的主要手段,并占有重要的地位。

第 1 篇 静 力 学

静力学是研究刚体在力系作用下的平衡问题,它包括以下 3 项内容。

1. 物体的受力分析

通过分析某个物体的受力情况,用受力图形式描述所有力的作用线的位置及方向。它是构件设计的基础。

2. 力系简化方法

用一个简单的力系等效地代替一个复杂力系。它是求得力系平衡条件的基础。

3. 刚体在力系作用下的平衡条件

刚体处于平衡时,作用在刚体上的各种力系所需要满足的条件。它是机械设计时进行力学计算的基础。

静力学在工程实际中有着广泛应用,同时也是本课程后续内容材料力学的基础。

第 1 章 物体的受力分析

本章主要介绍静力学的基础知识和受力分析的基本方法。在大学物理中大家所了解的概念和内容较浅,与工程实际问题还有一定的距离,所以在学习本章时应注意理论分析的合理性,掌握实际问题中受力分析的基本方法。

1.1 静力学基本概念

1.1.1 力的概念

1. 力

力是物体间的相互作用。这种作用对物体产生两种效应。

- 外效应(运动效应):使物体的运动状态发生变化。
- 内效应(变形效应):使物体产生变形。

2. 力系

力系是指作用在物体上的一群力。它是一个集合的概念。

等效力系是指可以互相代替而不改变其对物体的作用效果的两个力系。

平衡力系是指作用于物体上使物体处于平衡状态的力系。

1.1.2 刚体的概念

所谓**刚体**,是指在力的作用下不发生变形的物体。它是一个理想化的力学模型。

实际上,物体受力时都会产生不同程度的变形,但是当物体变形很小且对研究物体平衡问题影响甚微时,这些变形即可忽略不计。此时的受力物体即可抽象为刚体。

建立正确的力学模型是用力学理论解决实际工程问题的重要一环。因此,必须学会正确地运用抓主要矛盾的方法进行符合实际问题的科学的、合理的抽象。例如,在研究飞机飞行的平衡问题时,可以将飞机看作刚体而忽略其中构件的变形;但是在研究飞机飞行的颤振问题时,则必须将飞机视为弹性体而考虑其中部件的变形。因此,在使用刚体这一力学模型时,要格外注意所研究问题的范围。值得一提的是,刚体可以是单个工程构件,也可以是工程结构整体。

本篇的研究对象为刚体,因此又称为刚体静力学。

1.2 静力学基本公理

公理是人们生活和生产实际中的经验总结,并为客观实际所证实的规律。下面介绍静力学中的基本公理。

1.2.1 公理 1 二力平衡原理

作用于刚体上的两个力使刚体平衡的充分必要条件是:两个力大小相等、方向相反且作用在一条直线上。

工程上将承受二力作用且平衡的构件称为二力构件,又称二力体或二力杆。

如图 1-1 所示,若刚体平衡,则 $F_1 = -F_2$ 。该刚体即为二力体。

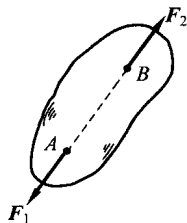


图 1-1

1.2.2 公理 2 加减平衡力系原理

加减平衡力系原理: 在已知力系上加上或减去任意一个平衡力系并不改变原来力系对刚体的作用效果。

根据此原理,可以有如下推理。

推理 1 力的可传递性

作用于刚体上的力可以沿其作用线任意滑移而不改变该力对刚体的作用效果。

证明:

力 F 作用于刚体 A 点,如图 1-2(a)所示。

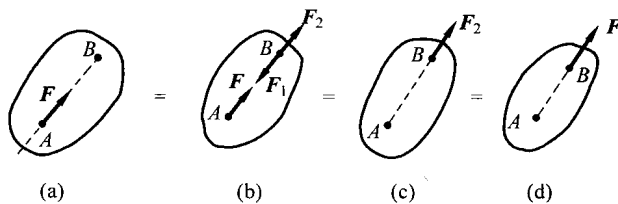


图 1-2

B 为力 F 作用线上任意一点。根据加减平衡力系原理,在 B 点加一由 F_1 和 F_2 组成的平衡力系,并使 $F_1 = F_2 = F$,如图 1-2(b)所示。由于 F 和 F_1 也组成一个平衡力系,所以再根据加减平衡力系原理在图 1-2(b)的基础上可以去掉平衡力系 F 和 F_1 ,即为图 1-2(c)所示。

比较图 1-2(a)和图 1-2(c)可见,力 F 的作用点由点 A 移至点 B ,如图 1-2(d)所示。

由此可见作用在刚体上的力的三要素为:大小、方向、作用线。力矢量为一滑移矢量。