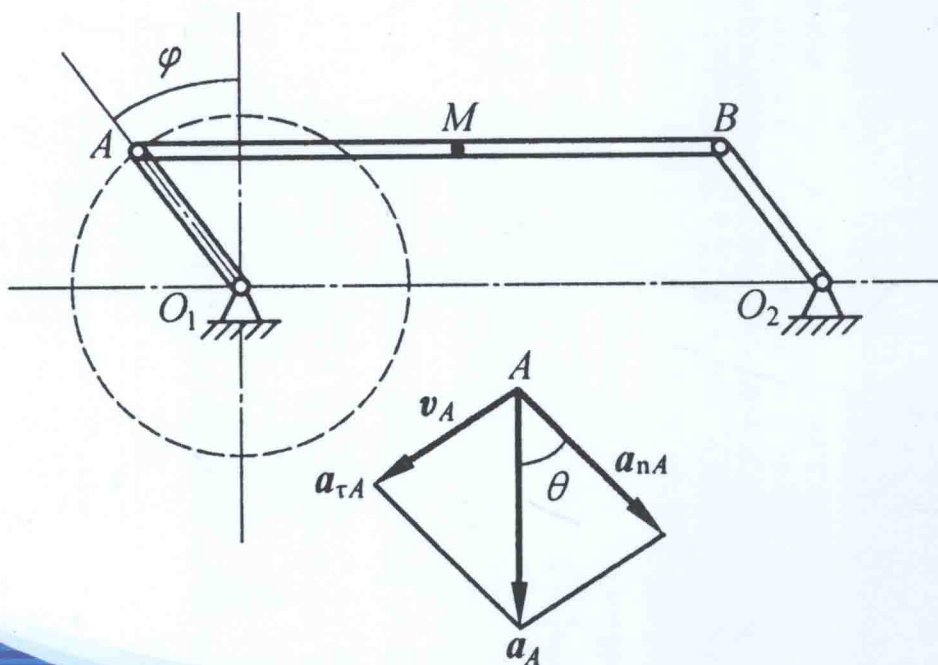




高职高专“十一五”规划教材

工程力学

主编 豆照良 陈东 张文海



航空工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

工 程 力 学

主 编 豆照良 陈 东 张文海

副主编 李洪欣 李秀娟

王海正 杨润超 朱海伍

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书分四篇,共20章。第一篇“静力学”,内容包括静力学基础、平面基本力系、平面任意力系、摩擦、空间力系等;第二篇“运动学”,内容包括点的运动学和刚体基本运动、点的合成运动、刚体平面运动等;第三篇“动力学”,内容包括质点动力学基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理等;第四篇“材料力学”,内容包括轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、扭转、弯曲、应力状态与强度理论、组合变形的强度计算、压杆稳定、动载荷与交变应力等。

本书可作为高职高专相关专业的教材,也可用作夜大、函授大学、职工大学相应专业的教材,并可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 豆照良, 陈东, 张文海主编. —北京: 航空工业出版社, 2010. 4

ISBN 978-7-80243-375-5

I. 工… II. ①豆…②陈…③张… III. 工程力学 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 174405 号

工程力学 Gongcheng Lixue

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010-64815615 010-64978486

北京忠信印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经售

2010 年 4 月第 1 版

2010 年 4 月第 1 次印刷

开本: 787×960

1/16

印张: 21.5

字数: 398 千字

印数: 1—3000

定价: 35.00 元



《工程力学》是一门涉及诸多力学学科分支并有着广泛工程技术应用背景的学科,属古典力学范畴。《工程力学》作为高职高专院校机械类和近机类各专业的核心课程之一,对学生工程实践能力的培养起到了基础性和关键性的作用。因此,学好这门课程是每个机械类和近机类专业学生都应该完成的任务。

为此,我们按照高职高专教育的培养目标和特点,并在充分考虑教师 and 学生的实际需求的基础上编写了《工程力学》这本教材。本教材具有以下几个鲜明的特点:

1. 全新理念。本教材在编写中,坚持“实用为主,够用为度,以应用为目的”的指导思想,并注重引导学生将基础理论与工程实际相结合,有助于培养和提高学生分析问题、解决问题的能力。

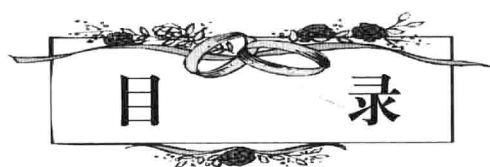
2. 内容翔实。本教材中所述内容涵盖了国家教学大纲中所要求的全部知识点,并对其中的重点知识进行了详尽地叙述。在讲解知识点时,本书以简明扼要为宗旨,突出基本概念和基本理论,淡化复杂公式的数学推导过程,增加与工程实际相结合的实例,努力将抽象的理论知识具体化、实用化。

3. 图例丰富。本教材对相关理论知识进行阐述时,配有大量的图例,以便学生能更好更快地理解书中所述知识点。

4. 实例丰富。为了提高学生的工程实践能力和自学能力,我们在章节中列举了大量的实例,且在每个实例中都有详细的解答过程。

在编写本教材的过程中,编者翻阅了大量有关工程力学、理论力学,以及材料力学的资料和教材。在此,对这些资料的作者和编者表示衷心的感谢。由于时间仓促,加之编者水平有限,书中不尽如人意之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者
2010年3月



绪 论	1
-----------	---

第一篇 静力学

引 言	3
第 1 章 静力学基础	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	5
1.1.3 力系和平衡的概念	5
1.2 静力学公理	6
1.3 约束和约束反力	8
1.3.1 具有光滑接触表面的约束	9
1.3.2 柔性约束	9
1.3.3 光滑铰链约束	10
1.3.4 其他约束	11
1.4 物体的受力分析和受力图	12
1.4.1 物体的受力分析	12
1.4.2 物体的受力图	12
本章小结	16
思考题	17
练习题	18
第 2 章 平面基本力系	20
2.1 平面汇交力系合成和平衡的几何法	20
2.1.1 平面汇交力系	20
2.1.2 力在坐标轴上的投影	20
2.1.3 力多边形法则	21
2.1.4 平面汇交力系平衡的几何条件	23



2.2 平面汇交力系合成和平衡的解析法	25
2.2.1 平面汇交力系合成的解析法	25
2.2.2 平面汇交力系平衡的解析条件	26
2.3 力矩和合力矩定理	29
2.3.1 力对点之矩	29
2.3.2 力矩的性质	30
2.3.3 合力矩定理	30
2.4 平面力偶理论	31
2.4.1 力偶和力偶矩	31
2.4.2 平面力偶系的合成和平衡条件	32
本章小结	35
思考题	37
练习题	37
第3章 平面任意力系	39
3.1 平面任意力系向作用面内任一点简化	39
3.1.1 力的平移定理	39
3.1.2 力系向任一点简化的主矢和主矩	40
3.2 平面任意力系的简化结果	42
3.2.1 平面任意力系简化为一个力偶的情形	43
3.2.2 平面任意力系简化为一个合力的情形	43
3.2.3 平面任意力系平衡的情形	43
3.3 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	43
3.4 物体系的平衡、静定和静不定问题	44
本章小结	47
思考题	48
练习题	48
第4章 摩 擦	50
4.1 滑动摩擦	50
4.1.1 静滑动摩擦力和静滑动摩擦定律	50
4.1.2 动滑动摩擦力和动滑动摩擦定律	51
4.2 摩擦角与自锁现象	52
4.2.1 摩擦角	52
4.2.2 自锁现象	52
4.3 考虑摩擦时物体的平衡问题	53

本章小结	56
思考题	57
练习题	57
第 5 章 空间力系	60
5.1 空间汇交力系	60
5.1.1 空间力的分解	60
5.1.2 力在空间直角坐标轴上的投影	61
5.1.3 空间汇交力系的合成与平衡条件	62
5.2 空间力对点之矩和力对轴之矩	64
5.2.1 力对点之矩	64
5.2.2 力对轴之矩	65
5.2.3 空间力系的合力矩定理	67
5.2.4 力对点之矩与力对轴之矩的关系	68
5.3 空间任意力系的平衡条件和平衡方程	71
5.3.1 空间力系的简化	71
5.3.2 空间任意力系的平衡方程及应用	71
5.3.3 空间力系平衡方程的应用	72
5.4 重心	75
5.4.1 重心及其坐标	75
5.4.2 求重心的几种常用方法	77
本章小结	82
思考题	83
练习题	84

第二篇 运动学

引 言	87
第 6 章 点的运动学和刚体基本运动	88
6.1 点的运动学	88
6.1.1 矢量法	88
6.1.2 直角坐标法	90
6.1.3 自然坐标法	93
6.2 刚体基本运动	98
6.2.1 刚体的平动	98



6.2.2 刚体的定轴转动	99
6.2.3 转动刚体上各点的速度和加速度	101
本章小结	103
思考题	105
练习题	105
第7章 点的合成运动	107
7.1 点的合成运动的基本概念	107
7.2 点的速度合成定理	108
7.2.1 绝对速度、相对速度和牵连速度	108
7.2.2 点的速度合成定理	109
本章小结	111
思考题	112
练习题	112
第8章 刚体的平面运动	114
8.1 刚体平面运动的基本概念和运动分解	114
8.1.1 刚体平面运动的基本概念	114
8.1.2 平面运动的分解	116
8.2 求平面图形内各点速度的基点法	117
8.3 求平面图形内各点速度的瞬心法	120
本章小结	123
思考题	124
练习题	124

第三篇 动力学

引 言	127
第9章 质点动力学基本方程	128
9.1 动力学基本定律	128
9.2 质点运动微分方程	129
9.2.1 质点运动微分方程的矢量形式	129
9.2.2 质点运动微分方程的直角坐标形式	130
9.2.3 质点运动微分方程的自然坐标形式	130
9.3 质点动力学的两类基本问题	131
本章小结	135

思考题	135
练习题	136
第 10 章 动量定理	138
10.1 动量和冲量	138
10.1.1 动量	138
10.1.2 冲量	138
10.2 动量定理	140
10.2.1 质点的动量定理	140
10.2.2 质点系的动量定理	141
10.2.3 质点系动量守恒定律	142
10.3 质心运动定理	144
10.3.1 质量中心	144
10.3.2 质心运动定理	147
10.3.3 质心运动守恒定律	148
本章小结	149
思考题	151
练习题	151
第 11 章 动量矩定理	154
11.1 动量矩	154
11.1.1 质点的动量矩	154
11.1.2 质点系的动量矩	155
11.2 动量矩定理	156
11.2.1 质点的动量矩定理	156
11.2.2 质点系的动量矩定理	157
11.2.3 动量矩守恒定律	158
11.3 刚体对轴的转动惯量	161
11.3.1 转动惯量	161
11.3.2 回转半径	162
11.3.3 平行移轴定理	163
11.4 刚体绕定轴的转动微分方程	164
本章小结	168
思考题	169
练习题	170



第 12 章 动能定理	173
12.1 力的功	173
12.1.1 常力的功	173
12.1.2 变力的功	174
12.1.3 合力的功	174
12.1.4 几种常见力的功	175
12.2 质点和质点系的动能	177
12.2.1 质点的动能	177
12.2.2 质点系的动能	177
12.2.3 刚体的动能	178
12.3 动能定理	179
12.3.1 质点的动能定理	179
12.3.2 质点系的动能定理	180
本章小结	182
思考题	183
练习题	184

第四篇 材料力学

引 言	186
第 13 章 轴向拉伸与压缩	190
13.1 轴向拉伸与压缩的概念	190
13.2 轴向拉伸与压缩时横截面上的内力	191
13.2.1 内力的概念	191
13.2.2 截面法	191
13.2.3 轴力与轴力图	191
13.3 轴向拉伸与压缩时横截面上的应力	193
13.4 拉压变形与胡克定律	195
13.4.1 纵向变形与横向变形	195
13.4.2 胡克定律	196
13.5 材料在拉伸与压缩时的力学性能	198
13.5.1 材料的拉伸与压缩试验	198
13.5.2 材料在拉伸时的力学性能	198
13.5.3 材料在压缩时的力学性能	201

13.6 许用应力与安全系数	202
13.6.1 极限应力	202
13.6.2 许用应力与安全系数	202
13.7 轴向拉伸与压缩时的强度计算	203
13.7.1 强度条件	203
13.7.2 强度计算	203
13.8 应力集中的概念	205
本章小结	206
思考题	207
练习题	207
第 14 章 剪切与挤压	209
14.1 剪切与挤压的概念	209
14.2 剪切与挤压的实用计算	210
14.2.1 剪切的实用计算	210
14.2.2 挤压的实用计算	211
本章小结	212
思考题	213
练习题	213
第 15 章 扭 转	215
15.1 扭转的概念	215
15.2 扭矩和扭矩图	216
15.2.1 外力偶矩的计算	216
15.2.2 扭矩和扭矩图	216
15.3 圆轴扭转时横截面上的应力	218
15.3.1 平面假设	218
15.3.2 圆轴扭转时横截面上的应力	219
15.3.3 圆截面的极惯性矩和抗扭截面系数	220
15.4 圆轴扭转时的强度计算	221
15.5 圆轴扭转时的变形及刚度计算	223
15.5.1 圆轴扭转时的变形	223
15.5.2 圆轴扭转时的刚度计算	224
本章小结	225
思考题	226
练习题	227



第 16 章 弯 曲	229
16.1 对称弯曲的概念及梁的计算简图	229
16.1.1 对称弯曲的概念	229
16.1.2 梁的计算简图	230
16.2 梁的剪力和弯矩	231
16.3 剪力图和弯矩图	233
16.4 纯弯曲正应力	235
16.4.1 实验观察与假设	236
16.4.2 纯弯曲正应力的分布规律	237
16.4.3 纯弯曲正应力的计算公式	237
16.5 正应力强度条件及其应用	238
16.6 梁的弯曲变形及刚度条件	241
16.6.1 挠度和转角	242
16.6.2 梁的挠曲线近似微分方程及其积分	243
16.6.3 用叠加法求弯曲变形	244
16.6.4 梁的刚度条件	247
16.7 梁的合理设计	247
16.7.1 合理配置梁的支承和载荷	248
16.7.2 合理选取截面形状	249
16.7.3 合理设计梁的外形	249
本章小结	250
思考题	251
练习题	251
第 17 章 应力状态与强度理论	253
17.1 应力状态的概念	253
17.1.1 应力状态问题的提出	253
17.1.2 应力状态的研究方法	254
17.1.3 主平面和主应力	255
17.1.4 应力状态的分类	255
17.2 二向应力状态分析	256
17.2.1 斜截面上的应力	256
17.2.2 主平面与主应力的求法	257
17.2.3 最大剪应力	257
17.3 广义胡克定律	258

17.4 强度理论简介	259
17.4.1 材料破坏的基本形式	259
17.4.2 强度理论的概念	260
17.4.3 常用的四个强度理论	261
本章小结	264
思考题	266
练习题	266
第 18 章 组合变形的强度计算	267
18.1 组合变形的概念	267
18.2 拉（压）弯组合变形的强度计算	268
18.3 扭弯组合变形的强度计算	272
本章小结	275
思考题	277
练习题	277
第 19 章 压杆稳定	279
19.1 压杆稳定的概念	279
19.2 欧拉公式	280
19.2.1 欧拉公式	280
19.2.2 临界应力与柔度	281
19.2.3 欧拉公式的适用范围	282
19.2.4 临界应力经验公式	283
19.3 压杆稳定性的计算	285
19.4 提高压杆稳定性的措施	287
本章小结	288
思考题	289
练习题	289
第 20 章 动载荷与交变应力	291
20.1 动载荷	291
20.1.1 动载荷的概念	291
20.1.2 构件作匀加速直线运动时的应力计算	291
20.1.3 构件受冲击时的应力计算	293
20.2 交变应力	295
20.2.1 交变应力的概述	295
20.2.2 疲劳失效	297



20.2.3 疲劳极限与疲劳强度计算	298
本章小结	301
思考题	302
练习题	302
附 录	304
附录 I 练习题参考答案	304
附录 II 型钢规格表	313
参考文献	329

绪 论

1. 工程力学的研究内容

工程力学是一门涉及到诸多力学学科分支并有着广泛工程技术应用背景的学科。工程力学所包含的内容极为广泛，本书所讲工程力学包含静力学、运动学、动力学和材料力学等四部分。

静力学研究物体在力系作用下的平衡规律；运动学是从几何观点研究物体的运动，而不涉及作用在物体上的力；动力学研究作用于物体上的力与运动变化之间的关系。静力学、运动学和动力学又统称为理论力学。材料力学则是研究物体在外力作用下的强度、刚度以及稳定性等问题的科学。

在工程实际中，要设计一个构件，首先要搞清楚作用在构件上的外力，这是理论力学所研究的问题。其次，还必须为构件选择适合的材料，确定合理的截面形状和尺寸，以保证构件既安全可靠又经济实惠，这则是材料力学所要研究的问题。因此，理论力学与材料力学是工程力学中紧密联系、不可分割的两部分，工程力学的任务就是为各类工程结构的力学计算提供基本的理论和方法。

2. 工程力学的研究方法

我们知道，在外力作用下，任何材料制成的物体都会发生变形。为了保证构件的正常工作，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，当我们在对物体进行受力分析以研究物体的平衡与运动规律时，为了简化问题，抓住重点，可以忽略这些变形。因此在理论力学中，把物体看成是没有变形的、刚性的物体，简称为刚体。

此外，如果物体的形状和尺寸不影响所研究问题的本质时，还可以把真实的物体当作质点来研究。但在材料力学中，研究构件的强度、刚度、稳定性等问题时，变形则成为不可忽略的因素。刚体这一模型已不能反映研究问题的本质，需用变形体模型来代替真实物体。因此，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。

科学研究的过程就是认知客观世界的过程。人类对于自然界运动规律的认识，是在实践中一步一步地由低级到高级、由简单到复杂发展的。工程力学的研究方法与任何一门科学的研究方法一样，都必须遵循认知过程中的客观规律。

工程力学的特点是理论体系严密而完整，并与工程实际问题紧密相连，是



一门理论性和方法性极强的学科。在工程力学的概念和体系形成的过程中，抽象化和数学演绎这两种方法起着重要的作用。即通过对生活和生产实践中各种现象的观察，经过分析、综合、归纳，最终总结出力学的最基本的规律，建立公理。在此基础上，经过抽象化处理建立力学模型，并从基本规律出发，应用数学演绎和逻辑推理的方法，得到正确的具有物理意义和实用价值的定理和结论，形成理论体系，然后又通过实践来检验理论的正确性，这就是工程力学学科发展形成至今所走过的道路，也是工程力学的研究方法。

3. 工程力学的学习目的

作为一门技术基础课，工程力学主要讲述力学的基本理论和基础知识，以及处理工程力学问题的基本方法，为构件和机械的运动分析及强度计算提供必要的理论基础。

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，还要熟练掌握由这些基本概念和定律导出的解决工程力学问题的定理和公式，只有这样，才能更好地培养自己处理工程力学问题的能力。

第一篇 静力学

引 言

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学。

力系是指作用在物体上的一群力。

平衡是指物体机械运动的一种特殊状态，若物体相对于惯性参考系静止或作匀速直线运动，则称此物体处于平衡。对工程技术中的大多数问题来说，平衡是指物体相对于地球表面保持静止或作匀速直线运动。静置于地面的足球、匀速直线行驶的汽车等，都是物体处于平衡状态的实例。

物体平衡时，作用于其上的力系称为**平衡力系**。显然平衡力系中各力不是任意的，而应满足一定的条件，这些条件称为力系的**平衡条件**。研究物体在力系作用下的平衡规律，就是要研究作用在其上的力系成为平衡力系时所应满足的条件。因此，也可以说静力学是研究力系平衡条件的科学。

在静力学中，我们将研究以下三个问题：

(1) 物体的**受力分析**。即分析某个物体共受几个力，以及每个力的大小、方向和作用线位置。

(2) 力系的**等效替换**。为了研究一个复杂的力系对物体作用的效应和力系的平衡条件，常需要将复杂的力系简化，即用一个最简单的力系来代替原有复杂力系而使其对物体的作用效应不变，这种简化的方法称为力系的等效替换。若两个力系对物体的作用效应相同，则称二力系等效，或者说二力系为等效力系。在特殊情况下，如果一个力和一个力系等效，则称此力为此力系的**合力**；而力系中的各力均称为合力的**分力**。

(3) 力系的**平衡条件**。即研究物体平衡时，作用在物体上的各种力系所需要满足的条件。

静力学在工程技术中有着广泛的应用。力系的平衡条件是工程中设计构件、结构和机器零件时进行静力计算的基础。静力学将推导各种力系的平衡条件，建立平衡方程，并应用它来求解工程中的平衡问题。