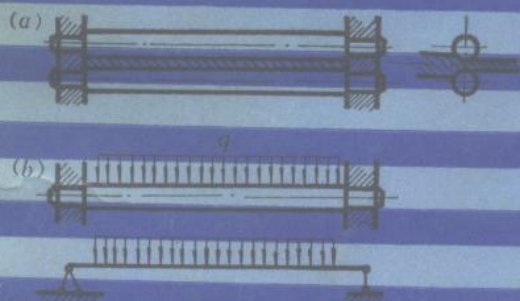


高等学校函授教材(兼作高等教育自学用书)

工程力学

(材料力学)

武汉水利电力学院 编



高等教育出版社

高等学校函授教材

(兼作高等教育自学用书)

工 程 力 学

材 料 力 学

武汉水利电力学院 编

高等教育出版社

本书是根据1981年原教育部审订的高等工业学校 电力、电子、冶金、地质、化工、轻纺等类专业试用的《工程力学函授教学大纲》(草案)编写的,是《工程力学》这套教材的第三册,即材料力学部分。

本书包括:绪论、轴向拉伸和压缩时杆件的应力和变形计算、材料在拉伸和压缩时的力学性质、轴向拉伸(压缩)时的强度计算、剪切和挤压的实用计算、平面图形的几何性质、扭转、直梁弯曲时的内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态理论和强度理论、组合变形时的强度计算、压杆的稳定、动荷强度的概论。

本书是适用于高等工业学校上述各专业学习《材料力学(中少学时)》用的函授教材,也可作为相应专业的业余高等教育的教材和高等教育自学通用教材,并可供工程技术人员参考。

2088/32 09

高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

工程力学
(材料力学)
武汉水利电力学院 编

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
国防出版社印刷厂印装

开本 850×11681/32 印张 15.625 字数 378,000

1986年9月第1版 1986年9月第1次印刷

印数 00.001—7,200

书号 15010·0763 定价 2.80 元

前 言

本书是根据一九八一年十二月教育部召开的高等工业学校函授教育工作会议审订的《工程力学函授教学大纲》(草案)的要求编写的,适用于电力、电子、冶金、地质、化工、轻纺等类专业。

《工程力学》分为静力学、运动学和动力学、材料力学,共三册,分别出版,各校可根据专业要求选用。书中标有“*”号的节次为加深加宽内容,可按照教学需要选学或完全不用。

本书在编写过程中,为了便于自学,力求讲述清楚,并且在阐明基本概念和基本理论的基础上,结合工程实际列举了较多的例题,以帮助读者理解概念,掌握理论,提高分析问题和解决问题的能力。同时考虑到工程力学与物理学的衔接,本书适当提高了学习的起点,减少了不必要的重复。此外,本书各章写有学习指导、小结、思考题和习题;习题并附有答案。

本书一律采用国际单位制,考虑到目前的实际情况,本书在运动学和动力学、材料力学两册书末附有工程单位制与国际单位制的单位换算表,供读者参考。

本书作为高等学校电力、电子、冶金、地质、化工、轻纺等类专业的函授教材,兼作高等教育自学用书,也可供其它专业和有关工程技术人员参考。

本书初稿由武汉水利电力学院理论力学教研室和建筑力学教研室集体讨论编写,经过试用,在广泛征求函授辅导站师生意见的基础上进行了修订。参加本书静力学、运动学和动力学编写工作的有:汪厚礼、胡性侃、黄汉权、李廷孝、尤书平和周巨伯同志;参加本书材料力学编写工作的有:王文安、刘翠莲、邓训和欧阳民康同志。全书统稿工作,静力学、运动学和动力学由周巨伯同志负责,材料力学由王文安同志负责。

参加本书审稿的有：天津大学李骊、苏翼林，东北工学院刘思汉、于绶章，华东化工学院陈维新、陆钟瑞、贾宝范，华中工学院余天庆、李伯谅、俞诗玲、黄炳燊同志。审稿的同志对本书提出了不少很好的意见，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中缺点在所难免，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

一九八五年九月

主要字符表

本书字符	字符的意义	国际制单位
x, y, z	坐标轴 (x 轴代表杆件轴线)、坐标	mm, m
P	集中力	N, kN
$[P]$	容许荷载、容许集中力	N, kN
P_{lj}	临界荷载、临界集中力	N, kN
P_d	动荷载、动态集中力	N, kN
q	分布荷载集度	N/mm, kN/m
q_d	动分布荷载集度	N/mm, kN/m
m	集中外力偶矩、转矩	N·m, kN·m
$[m]$	容许外力偶矩、容许转矩	N·m, kN·m
Y, R	支座反力	N, kN
	功率马力数或功率千瓦数	
N	轴向力、轴力	N, kN
Q	剪力	N, kN
p	压强	Pa, MPa
M_n	扭矩	N·m, kN·m
M	弯矩	N·m, kN·m
M_y, M_z	对 y 轴、 z 轴的弯矩	N·m, kN·m
A	横截面面积	mm ² , m ²
S_y, S_z	对 y 轴、 z 轴的面积矩 (静矩)	mm ³ , m ³
I_y, I_z	对 y 轴、 z 轴的惯性矩	mm ⁴ , m ⁴
I_p	极惯性矩	mm ⁴ , m ⁴
I_{yz}	惯性积	mm ⁴ , m ⁴
r_y, r_z	对 y 轴、 z 轴的惯性半径	mm, m
W_x, W	抗弯截面模量	mm ³ , m ³
W_p, W_n	抗扭截面模量	mm ³ , m ³
V	体积	mm ³ , m ³
U	变形能	J
u	比能	J/m ³
σ	正应力	Pa, MPa
σ_{max}	最大正应力	Pa, MPa
σ_{min}	最小正应力	Pa, MPa
σ_c	挤压应力	Pa, MPa

(续)

本书字符	字符的意义	国际制单位
$[\sigma], [\sigma_e]$	容许应力、容许挤压应力	Pa, MPa
σ_{ix}	极限应力	Pa, MPa
σ_p	比例极限	Pa, MPa
σ_e	弹性极限	Pa, MPa
$\sigma_s, \sigma_{0.2}$	屈服极限、名义屈服极限	Pa, MPa
σ_b	强度极限	Pa, MPa
σ_{ll}	临界应力	Pa, MPa
σ_{-1}	对称循环时的持久极限	Pa, MPa
σ_0	脉动循环时的持久极限	Pa, MPa
τ	剪应力	Pa, MPa
τ_{max}, τ_{min}	最大剪应力、最小剪应力	Pa, MPa
$[\tau]$	容许剪应力	Pa, MPa
τ_s	剪切屈服极限	Pa, MPa
τ_b	剪切强度极限	Pa, MPa
τ_{-1}	对称循环时的剪切持久极限	Pa, MPa
τ_0	脉动循环时的剪切持久极限	Pa, MPa
E	拉压弹性模量	Pa, GPa
G	剪切弹性模量	Pa, GPa
μ	横向变形系数 (泊松比)	无量纲量
l	杆件长度	mm, m
b, B	横截面宽度	mm, m
h, H	横截面高度	mm, m
d, D	杆件直径	mm, m
k	强度工作安全系数	无量纲量
k_w	稳定工作安全系数	无量纲量
$[k]$	规定强度安全系数	无量纲量
ε	线应变	无量纲量
γ	剪应变 (角应变)	无量纲量
γ	材料单位体积重量 (材料的比重)	N/m ³ , kN/m ³
δ	伸长率 (延伸率)	无量纲量
ψ	截面收缩率	无量纲量
α_k	应力集中系数	无量纲量
α	角度	rad
y	梁的挠度	mm, m

(续)

本书字符	字符的意义	国际制单位
$y_{\max}, f$	最大挠度	mm, m
$[f]$	梁的容许挠度	mm, m
θ	梁的转角	rad
	轴的单位长度扭转角	rad/m
$[\theta]$	轴的单位长度容许扭转角	°/m
Δl	杆件的伸长(或缩短)变形	mm, m
λ	压杆的柔度(细长比)	无量纲量
α_k	冲击初度	kN·m/m ²
k_d	动荷系数	无量纲量

目 录

第一章 绪论	1
学习指导	1
§ 1-1 材料力学的基本任务和研究方法	2
§ 1-2 材料力学的研究对象和变形固体性质的基本假设	5
§ 1-3 杆件及其变形的形式	9
小结	11
复习思考题	12
第二章 轴向拉伸和压缩时杆件的应力和变形计算	13
学习指导	13
§ 2-1 工程实际中的轴向受拉杆和轴向受压杆	14
§ 2-2 轴向受拉杆和受压杆的内力—轴力, 轴力图	15
§ 2-3 轴向受拉杆和受压杆的横截面上的应力	21
§ 2-4 轴向受拉杆和受压杆的斜截面上的应力	27
§ 2-5 轴向拉伸和压缩时的变形, 虎克定律	31
§ 2-6 拉伸 (或压缩) 时的变形能和变形比能	37
小结	39
复习思考题	41
习题	42
第三章 材料在拉伸和压缩时的力学性质	46
学习指导	46
§ 3-1 研究材料的力学性质的意义及方法	47
§ 3-2 钢材的拉伸试验·应力应变曲线及其特点	48
§ 3-3 钢材的冷作硬化和时效	55
§ 3-4 其他塑性材料在拉伸时的力学性质	56
§ 3-5 材料在压缩时的力学性质	58
§ 3-6 高温对材料的力学性质的影响	62
§ 3-7 蠕变和松弛现象	65
§ 3-8 容许应力和安全系数的确定	67
小结	69

复习思考题	70
习题	71
第四章 轴向拉伸(压缩)时杆的强度计算	73
学习指导	73
§ 4-1 轴向拉伸(压缩)杆的强度条件	74
§ 4-2 考虑自重时轴向拉(压)杆的强度计算	79
§ 4-3 考虑自重时受拉(压)杆的变形计算	81
§ 4-4 简单拉伸和压缩超静定问题的解法	82
§ 4-5 装配应力和变温应力	88
小结	92
复习思考题	94
习题	94
第五章 剪切和挤压的实用计算	101
学习指导	101
§ 5-1 工程实际中的剪切变形与剪切破坏	101
§ 5-2 剪切的实用计算及强度条件	103
§ 5-3 挤压的实用计算及强度条件	106
§ 5-4 剪切和挤压的实用计算举例	107
小结	111
复习思考题	112
习题	113
第六章 平面图形的几何性质	118
学习指导	118
§ 6-1 研究平面图形几何性质的意义	119
§ 6-2 面积矩和形心位置	120
§ 6-3 惯性矩、惯性积和极惯性矩	126
§ 6-4 平行移轴公式	133
§ 6-5 形心主轴和形心主惯性矩	139
*§ 6-6 转轴公式	140
小结	149
复习思考题	150
习题	151

第七章 扭转	156
学习指导	156
§ 7-1 工程实际中的受扭杆	157
§ 7-2 扭转时的内力——扭矩, 扭矩图	158
§ 7-3 薄壁圆筒的扭转	162
§ 7-4 圆轴扭转时的应力和变形	165
§ 7-5 受扭圆杆的强度计算和刚度计算	171
*§ 7-6 矩形截面杆在纯扭转时的应力和变形	176
小结	178
复习思考题	180
习题	181
第八章 直梁弯曲时的内力	186
学习指导	186
§ 8-1 工程实际中的受弯构件	187
§ 8-2 梁的内力——剪力和弯矩	194
§ 8-3 剪力图和弯矩图	202
§ 8-4 荷载集度、剪力和弯矩之间的关系	212
*§ 8-5 按叠加原理作剪力图和弯矩图	220
小结	222
复习思考题	224
习题	225
第九章 弯曲应力	230
学习指导	230
§ 9-1 弯曲正应力	231
§ 9-2 梁按正应力的强度计算	241
§ 9-3 弯曲剪应力	247
§ 9-4 梁的剪应力强度校核	254
*§ 9-5 梁的合理截面	258
小结	262
复习思考题	264
习题	265
第十章 弯曲变形	271
学习指导	271

§ 10-1 梁的挠度和截面转角	272
§ 10-2 梁挠曲轴线的近似微分方程	274
§ 10-3 用积分法求梁截面的挠度和转角	277
§ 10-4 用叠加法求梁的挠度和转角	293
§ 10-5 梁的刚度校核	296
§ 10-6 简单超静定梁的解法	298
小结	305
复习思考题	307
习题	308
第十一章 应力状态理论和强度理论	314
学习指导	314
§ 11-1 应力状态的概念	315
§ 11-2 二向应力状态的应力分析	320
§ 11-3 二向应力状态的应力圆	326
§ 11-4 主应力	330
*§ 11-5 三向应力状态的应力分析	335
§ 11-6 广义虎克定律	336
*§ 11-7 三向应力状态下的单元体的弹性变形能	339
§ 11-8 强度理论的概念	342
§ 11-9 四种主要的强度理论	345
§ 11-10 对强度理论问题的分析	348
小结	354
复习思考题	356
习题	357
第十二章 组合变形时的强度计算	364
学习指导	364
§ 12-1 组合变形的概念	365
§ 12-2 拉伸(压缩)与弯曲的组合	367
§ 12-3 扭转与弯曲组合时的强度计算	373
小结	379
复习思考题	381
习题	382

第十三章 压杆的稳定	386
学习指导	386
§ 13-1 压杆稳定的概念	387
§ 13-2 细长压杆的临界力	390
§ 13-3 压杆的临界应力	401
§ 13-4 压杆稳定的实用计算	404
§ 13-5 提高压杆稳定性的措施	412
小结	415
复习思考题	417
习题	418
第十四章 动荷强度的概论	423
学习指导	423
§ 14-1 动荷强度问题的概述和实例	424
§ 14-2 等加速度直线运动构件的应力计算	425
§ 14-3 简单冲击时构件的应力和变形计算	428
§ 14-4 交变应力作用下构件的疲劳破坏和交变应力循环特征	434
§ 14-5 对称循环交变应力作用下金属材料的持久极限及其测定	438
*§14-6 对称循环交变应力作用下构件的疲劳强度计算	450
小结	453
复习思考题	454
习题	455
附录 I 本书采用的计量单位及单位换算表	460
附录 II 型钢规格表	463
附录 III 工程力学函授教学大纲(草案)关于材料力学部分的 课程内容和使用说明	481

第一章 绪 论

学 习 指 导

在绪论这一章中，我们着重介绍材料力学的基本任务和研究方法、材料力学的研究对象、变形固体的基本假设和杆件变形的形式等，这些问题及其基本概念，在材料力学中是非常基本和十分重要的。因此，学好本章对以后掌握这门课的基本概念、基本理论、基本方法和一些特点将会打下良好基础。

自然，读者对于所介绍的内容不可能在阅读一遍后就会弄懂和理解得深刻，因此建议读者采用粗读与细读相结合的学习方法，首先，把全章内容粗略的看一遍，以便对所学内容的全貌获得一个概略的认识；其次，要认真细读，结合复习思考题1-1、1-2和1-3阅读§1-1，结合复习思考题1-4、1-5和1-6阅读§1-2，结合复习思考题1-7阅读§1-3，对所学问题及有关概念，能够举出实例说明的，就尽量列举实例加以说明，有助于使抽象概念形象化，促使认识深化。

通过学习要求着重弄懂下述问题：

(1) 明确材料力学的研究对象是变形固体，它具有一定的弹性、塑性和强度等承载能力。

(2) 了解材料力学研究的主要对象是构件中的杆件，特别是等直杆，并且知道杆件变形的四种基本形式。

(3) 初步建立起构件的强度、刚度和稳定性的概念。

(4) 了解材料力学这门科学的任务，并注意材料力学与生产实践之间的辩证关系。

(5) 了解材料力学的研究方法，并知道它是贯穿材料力学

内容体系的重要研究方法。

(6) 知道材料力学对于变形固体所采取的基本假设及所作假设的根据。

这里还须指出, 本章介绍的内容, 只能作一般概述, 我们将在有关章节中遇到时再具体加以叙述, 使读者能逐步加深对一些概念问题和基础知识的理解。

§ 1-1 材料力学的基本任务和研究方法

我们知道, 在工业、农业和其他各部门生产中, 广泛使用各种机械, 建造各种工程结构物, 它们一般都是由很多的零件或构件按照一定的规律组合而成的, 通常就把它们统称为工程结构。组成工程结构的构件, 其主要作用是承受荷载和传递荷载, 但同时也产生内力和变形, 这就有发生破坏的可能性。但是构件本身又具有一定的抵抗破坏和变形的能力, 即具有一定的承载能力, 承载能力的大小与构件的材料性质、几何形状和尺寸、受力性质、工作条件和构造情况等有关。显然, 要保证工程结构能正常地工作, 必须先确保它们的每一个构件能够正常地工作。因此在设计每一个机构时, 首先必须保证使构件在受到外力的作用 (或其他外界因素的影响) 时, 能够同时满足以下三个方面的要求:

(1) 构件在外力的作用下, 不会发生破坏, 即构件必须具有足够的强度。

(2) 构件在外力的作用下, 所发生的变形能够限制在正常工作所容许的范围以内, 即构件必须具有足够的刚度。

(3) 对于细长的中心受压构件, 在外力的作用下, 能够始终保持原有的受力平衡形态, 不会发生突然的改变, 即构件必须具有足够的稳定性。

一般说来, 虽然在设计每一个构件时, 应当同时考虑到以上三个方面的要求, 但是对于某些具体的构件来说, 有时往往只需

要考虑其中的某一个主要方面的要求，比如有的是以强度为主，有的是以刚度为主，有的则是以稳定性为主，只要这个主要方面的要求满足了，其它两个次要方面的要求也就会相应地满足。

在工程中所用的每一机械和建筑物，在使用过程中，是不容许有任何一个构件发生破坏而不安全，也不容许有某些构件由于变形过大而不适用。也就是说，它们应该是既安全又适用，而且在设计制造时还要使其是最经济的。因此，安全、适用与经济，是任何一个机械和工程结构必须满足的三项基本原则要求。一般地说，当所设计的构件能满足强度、刚度和稳定性三个方面的要求，又为其选用较好的材料和较大的横截面尺寸时，其安全性总是可以保证的。但是这样又会造成材料和费用上的浪费，不符合经济的原则。可见上述基本要求，安全与经济之间是存在着矛盾的。显然，片面地追求经济而忽视安全性，是十分有害的设计思想；但过分地强调安全而忽视经济性，也不符合社会主义现代化经济建设的节约原则。正确地处理这种矛盾，是相当重要的。材料力学正是为解决这种矛盾的一门科学，根据材料力学的知识，将会使我们知道怎样在保证安全的条件下尽量地使构件消耗最少的材料。同时也可以说，正是这种矛盾的不断出现和不断解决，又促使着材料力学不断地向前发展。

为了保证既安全又经济地设计每一构件，除了依靠合理的理论、方法和先进的计算技术以外，还需要有材料力学实验技术。通过材料力学实验，可以测定各种材料的基本力学性质，并解决现有理论和方法还不足以解决的某些形式复杂构件的设计问题。因此实验技术在材料力学中也占有重要的地位。

综上所述，材料力学这门学科的任务，是研究各种材料及构件（主要是杆）在外力作用下所表现的力学性质，以及它的强度、刚度和稳定性计算问题，同时提供有关的基本理论、计算方法和测试技术，并指出怎样合理地确定构件的材料、形状和尺寸，

以保证构件能满足安全、适用与经济的设计要求。

材料力学中研究问题的方法，也和其他学科一样，通常采用的是实验观察、假设抽象、理论分析和试验验证等过程。

首先，因为材料力学所研究的问题，可以说都是工程中实际存在的问题，为了使所得到的结论不致脱离实际，必须通过实验从中观察一些表面的现象，作为认识所研究的问题的入门。

其次，由于实际的问题往往是很复杂的，为了研究的方便，还需通过所观察到的现象，去深入了解问题的本质。常常采取削枝强干的方法，略去次要的枝节，保留主要的因素，作出一些能使问题简化的假设，把问题加以概括和抽象，使其典型化，以得出表达所研究的问题的计算公式和结论。目前材料力学中所采用的一些假设，都是经过长期实践的考验和反复修正以后，才达到了今天的形式。这种把工程中力学问题简化抽象为可以进行力学分析的力学模型（或计算简图）的方法，是一种科学抽象，它是人们认识自然发展理论的重要方法。

再次，将问题经过假设抽象以后，就进入理论分析过程中，常以数学和力学为工具，从力的平衡条件、变形的几何谐调条件以及联系力和变形的物理条件三个方面来考虑（有时为了方便，也采用在形式上将上述三种条件混合起来的能量方法）。通过推证分析，就可得出表达所研究问题的本质关系的公式和结论。

最后，在理论分析中所得到的计算理论，其准确性和可靠性究竟是否符合工程实际，还需要重新通过试验和生产等实践环节来加以验证。在材料力学中一些重要公式和结论，都是通过反复检验和修正后才形成为今天的理论的。

此外，为了解决材料和构件的强度问题，还必须知道材料的强度性能指标和其他一些力学性质指标，而这些方面的资料都需要通过实验方法来取得。所以说材料力学内容包括着理论和实验两个部分，二者是互相紧密联系而又相辅相成的。