

中等专业学校试用教材

材 料 力 学

(机 械 类)

程嘉佩 陈绍元 黄庆根 王捍理 合编
南京机器制造学校 程嘉佩 主编

高等教育出版社

本书是根据1982年2月教育部审订的工科中等专业学校机械类专业通用的《材料力学教学大纲》(试行草案)的要求编写的。

本书内容包括结论、拉伸和压缩、剪切和挤压、扭转、平面图形的几何性质、弯曲、应力状态和强度理论、电测应力分析基础、组合变形强度计算、动荷应力、交变应力和断裂韧性、压杆稳定等十二章。各章最后有小结、习题及其答案。

本书是工科中等专业学校机械类专业通用的材料力学试用教材,教学时数为85学时。同时也可供机械工程师参考。

中等专业学校试用教材

材料力学

(机械类)

程嘉佩 陈绍元 黄庆根 王捍理 合编

南京机器制造学校 程嘉佩 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海商务印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 13.25 字数 320,000

1982年12月第1版 1986年2月第6次印刷

印数 259,701—300,200

书号 15010·0438

定

1.90元

前 言

本书是根据1982年2月教育部审订的工科中等专业学校机械类专业通用的《材料力学教学大纲》(试行草案)的要求编写的。为了适应机械类各专业的不同教学要求,还编写了大纲中带*号的选学内容。

本书采用国际单位制,在附录I中列有国际单位制与公制单位制的换算表。

本书重视基本概念、基本理论和基本方法的阐述,并充实了基本变形的内容,适当加强了与工程实际的联系。各章之末附有小结与习题。小结总结了各章的主要内容、要求和学习方法。习题中列有部分思考题和少量联系实际的综合性题目。前者可帮助读者进一步掌握基本概念;后者可提高读者分析、解决问题的能力,同时也可帮助读者巩固前面已经学过的内容。

本书编写过程中,曾得到许多兄弟学校的帮助和支持。本书由河北省机电学校王力金同志担任主审。参加审稿会议的有浙江省机械工业学校叶德真,新疆交通学校陈大轮,哈尔滨电机制造学校习宝林等同志。此外,郑州铁路机械学校的邵蕴珠、四川德阳机器制造学校的张家祥等同志也提了宝贵的书面意见。这些都对本书的定稿起了很大的作用,在此一并表示感谢。

参加本书编写的有:南京机器制造学校程嘉佩(第一、二、六等三章),陈绍元(第七、八两章),北京机械学校黄庆根(第三、四、五等三章),吉林省机械工业学校王捍理(第九、十、十一、十二等四章)。由程嘉佩任主编。

限于编者水平,本书必定存在不少缺点和欠妥之处,望读者批评指正。

编 者

1982.8.9

主要符号表

符 号	意 义	常用 单 位
E	弹性模量	GPa
G	剪切弹性模量	GPa
I_p	极惯性矩	m^4, cm^4
I_x, I_y, I_z	对 x, y, z 轴的惯性矩	m^4, cm^4
i	惯性半径	m, cm
K	应变片灵敏系数	无量纲
K_d	动荷系数	无量纲
K_I	I 型裂纹应力强度因子	$MN \cdot m^{-3/2}$
K_{Ic}	平面应变断裂韧度	$MN \cdot m^{-3/2}$
K_σ, K_τ	有效应力集中系数	无量纲
m	外力偶矩	$N \cdot m, kN \cdot m$
M	弯矩	$N \cdot m, kN \cdot m$
M_n	扭矩	$N \cdot m, kN \cdot m$
N	轴力	N, kN
	功率	kW
n_b, n_s, n_w	安全系数	无量纲
P	集中力	N, kN
P_{cr}	临界力	N, kN
Q	剪力, 重量	N, kN
q	分布荷载集度	$N/m, kN/m$
r	循环特性	无量纲
S	面矩	m^3, cm^3
U	应变能	J
u	比能	$J/m^3, J/mm^3$
W	功	J
W_n	抗扭截面模量	m^3, cm^3
W_x, W_y, W_z	抗弯截面模量	m^3, cm^3
y	挠度	mm
β	表面情况系数	无量纲
γ	剪切应变	无量纲

(续表)

符 号	意 义	常 用 单 位
δ	延伸率	无量纲
δ_j	静变形	mm
δ_d	动变形	mm
ε	线应变	无量纲
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	主应变	无量纲
e_σ	尺寸系数	无量纲
ν	转角	rad
$[\theta]$	单位长度的许可扭角	rad/m, °/m
λ	压杆柔度	无量纲
μ	压杆长度系数, 泊桑系数	无量纲
σ	正应力	MPa
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力	MPa
$[\sigma], [\sigma_1], [\sigma_y]$	许用应力	MPa
σ_{jy}	挤压应力	MPa
$\sigma_{max}, \sigma_{min}$	最大正应力, 最小正应力	MPa
σ_{-1}, τ_{-1}	对称循环持久极限	MPa
σ_0, τ_0	脉动循环持久极限	MPa
σ_m, σ_a	平均应力, 应力幅	MPa
σ_{cr}	临界应力	MPa
σ_p, σ_e	比例极限, 弹性极限	MPa
$\sigma_s, \sigma_{0.2}$	屈服极限, 名义屈服限	MPa
σ_b	强度极限	MPa
σ_{xd}	相当应力	MPa
τ	剪应力	MPa
τ_s, τ_b	剪切屈服限, 剪切强度限	MPa
τ_{max}	最大剪应力	MPa
$[\tau]$	许用剪应力	MPa
ϕ	扭转角	rad
ψ	截面收缩率	无量纲

目 录

主要符号表

第一章 绪论	1
§ 1-1 材料力学的任务	1
§ 1-2 变形固体及其基本假设	4
§ 1-3 材料力学的研究对象	5
§ 1-4 内力 截面法 应力	7
习题	12
第二章 拉伸和压缩	15
§ 2-1 轴向拉伸、压缩的概念	15
§ 2-2 轴力 横截面上的应力	16
§ 2-3 斜截面上的应力 剪应力互生定律	21
§ 2-4 拉(压)杆的强度计算	23
§ 2-5 拉(压)杆的变形 虎克定律	29
§ 2-6 材料拉伸、压缩时的力学性能	33
§ 2-7 许用应力与安全系数	41
§ 2-8 应力集中的概念	43
§ 2-9 弹性变形能	46
§ 2-10 超静定问题	48
小结	57
习题	59
第三章 剪切和挤压	68
§ 3-1 剪切的概念	68
§ 3-2 剪切的实用计算	69
§ 3-3 挤压及其实用计算	71
§ 3-4 剪应变 剪切虎克定律	80

小结	81
习题	82
第四章 扭转	86
§ 4-1 扭转的概念	86
§ 4-2 扭矩 扭矩图	87
§ 4-3 圆轴扭转时的应力和变形	91
§ 4-4 圆轴扭转时的强度和刚度计算	100
*§ 4-5 扭转变形能	106
*§ 4-6 圆柱形密圈螺旋弹簧的计算	107
*§ 4-7 矩形截面杆扭转的概念	111
小结	115
习题	116
第五章 平面图形的几何性质	124
§ 5-1 形心和面矩	124
§ 5-2 惯性矩和惯性半径	127
§ 5-3 组合图形的惯性矩	133
小结	136
习题	138
第六章 弯曲	140
§ 6-1 平面弯曲的概念	140
§ 6-2 梁的计算简图	141
§ 6-3 梁的内力——剪力与弯矩	145
§ 6-4 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	150
§ 6-5 剪力、弯矩与载荷集度的关系	157
§ 6-6 纯弯曲时梁横截面上的应力	164
§ 6-7 梁的正应力强度计算	172
§ 6-8 梁的剪应力和 * 剪应力的强度计算	181
§ 6-9 提高梁弯曲强度的一些措施	190
§ 6-10 梁的变形概念	197

§ 6-11	用积分法求梁的变形	200
§ 6-12	用迭加法求梁的变形	210
*§ 6-13	弯曲变形能 莫尔积分法	213
§ 6-14	提高梁弯曲刚度的措施	222
*§ 6-15	超静定梁的概念	224
小结		228
习题		231
第七章	应力状态和强度理论	244
§ 7-1	应力状态概念	244
§ 7-2	平面应力状态的分析	249
§ 7-3	广义虎克定律	262
§ 7-4	强度理论	264
小结		272
习题		275
第八章	电测应力分析基础	282
§ 8-1	实验应力分析概述	282
§ 8-2	电测法的基本原理	283
§ 8-3	应变测量和分析	293
小结		304
习题		306
第九章	组合变形的强度计算	308
§ 9-1	组合变形的概念	308
§ 9-2	弯曲与拉伸(或压缩)组合变形的强度计算	309
§ 9-3	弯曲与扭转组合变形的强度计算	313
小结		320
习题		321
第十章	动荷应力	326
§ 10-1	动荷应力概念	326
§ 10-2	构件作匀加速直线运动和匀速转动时的应力计算	326

§ 10-3 构件受冲击时的应力计算	330
小结	336
习题	337
第十一章 交变应力和断裂韧度	340
§ 11-1 交变应力概念	340
§ 11-2 材料的持久极限及其测定	344
§ 11-3 影响持久极限的主要因素	347
§ 11-4 提高构件持久极限的措施	350
§ 11-5 对称循环下构件的疲劳强度计算	352
*§ 11-6 断裂韧度	355
小结	361
习题	363
第十二章 压杆稳定	365
§ 12-1 压杆稳定的概念	365
§ 12-2 细长压杆的临界力	368
§ 12-3 欧拉公式的适用范围 超过比例极限时的压杆临界应力	371
§ 12-4 压杆稳定校核	374
§ 12-5 提高压杆稳定性的措施	377
小结	378
习题	379
附录	382

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务

各种机器设备和工程结构,都是由若干构件组成的。工作时,构件将受到力的作用。在理论力学中,曾将构件视为刚体,讨论了它的运动分析和外力的计算问题。在工程设计问题中,还须进一步选择构件的材料,确定其合理的截面形状和尺寸。由于构件在外力的作用下,必然产生变形,也可能发生破坏,因而在解决构件的设计问题时,不再采用“刚体”这一理想模型,而将构件如实地视为受力后会变形的固体——变形固体,并要解决如下几个问题:

1. 强度问题 构件抵抗破坏的能力,称为强度。如果构件的尺寸,材料的性能与载荷不相适应,那就可能发生破坏。譬如搅拌机主轴 AB (图 1-1a)的直径太小,起吊水泥板的绳索太细(图 1-1b),那么当搅拌阻力较大或水泥板太重时,主轴或绳索就有可

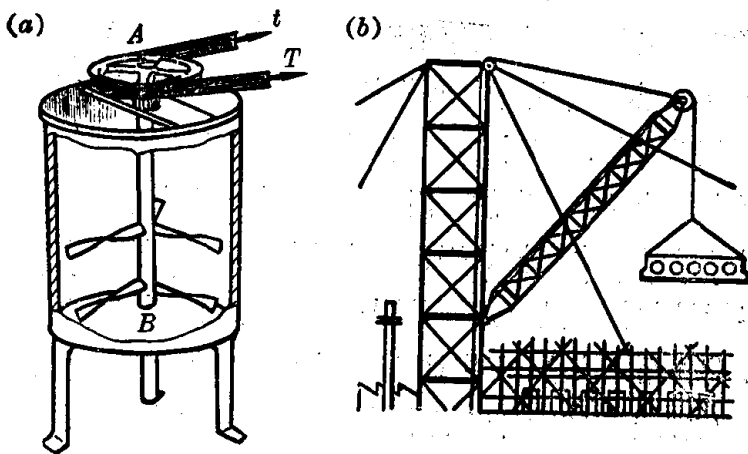


图 1-1

能发生断裂,以致机器无法正常工作,甚至造成灾难性的事故。因而,首先要解决如何使构件具有足够的强度,以保证在载荷作用下不致破坏。

2. 刚度问题 在载荷作用下,构件必然产生形状与尺寸的变化,也就是变形。对于有些构件来说,如车床主轴 AB (图 1-2a),若受力后变形过大(图 1-2b),就会影响加工精度,破坏齿轮的正常啮合,同时引起轴承的不均匀磨损,从而造成机器不能正常工作。因此,设计时,还需要解决如何使构件具有足够的抵抗变形的能力,即足够的刚度问题,以保证其变形量不超过正常工作所允许的限度。

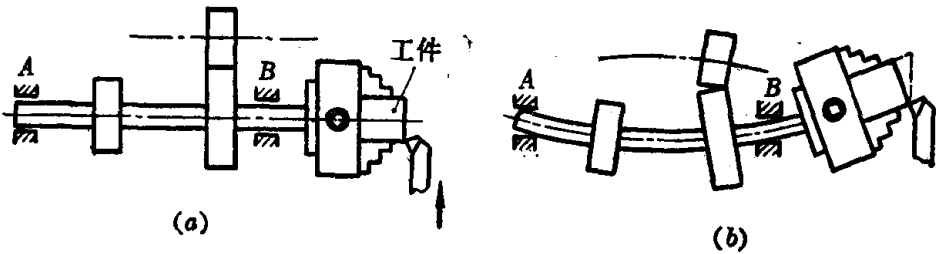


图 1-2

3. 稳定问题 受压的细长杆和薄壁构件,当载荷增加时,还可能出现突然失去初始平衡形式的现象,称为丧失稳定(简称失稳)。例如顶起汽车的千斤顶螺杆 AB (图 1-3a),油缸中的长活塞杆 CD (图 1-3b),有时会突然变弯,或因变弯而折断,从而丧失工作能力,造成严重事故。因此,对这类构件还需考虑如何使其具有足够的抵抗失去初始平衡形式的的能力,即足够的稳定性问题。

当设计的构件具有足够的强度、刚度和稳定性时,就能保证构件在载荷作用下安全、可靠地工作,也就是说设计满足了安全性的要求。但是合理的设计还要求符合经济节约的原则,尽可能减少材料的消耗,以降低成本,或减轻构件自重。这两个要求是互相

矛盾的，前者往往需要加大构件的尺寸，采用好的材料，而后者则要求少用材料，用价格较低的材料。这一矛盾促使了材料力学这门学科的产生和发展。材料力学是一门研究构件强度、刚度和稳定性计算的科学。它为了解决以上矛盾提供了理论基础。它的任务是，在保证构件既安全适用又经济的前提下，为构件选择合适的材料，确定合理的截面形状和尺寸，提供必要的计算方法和实验技术。

实验研究在材料力学中，是建立理论的重要手段。十七世纪意大利科学家伽利略解决了船只和

水闸所需梁的尺寸问题，英国科学家虎克建立了虎克定律，都是运用了以实验建立理论、验证理论正确性的科学方法，为本学科奠定了基础。此外，由于构件的强度、刚度和稳定性与材料的力学性能有关，而材料的力学性能必须通过实验来测定。更重要的是由于生产技术的发展，很多复杂的实际问题，还无法通过理论计算来确定，也得依靠实验来解决。所以，实验研究在材料力学中具有重要的地位。

在工程设计中解决安全和经济的矛盾，仅仅从力学观点来考虑是不够的，还需综合考虑其他方面的条件，如从力学计算确定的

(a)



(b)

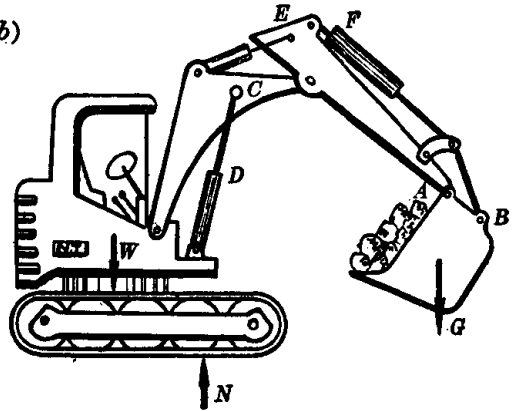


图 1-3

构件形状是否便于加工，是否符合使用要求等等，这些问题还有待学习其他基础课和专业课才能解决。所以材料力学是一门技术基础理论课，它为学生学习后继课程和今后解决工程设计、工艺等问题提供一定的基础。

随着生产的发展，新的材料的使用，载荷情况，工作条件的复杂化等等，对构件的设计不断提出新的问题，要求寻找新的理论，新的计算方法，从而促使材料力学不断得到新的发展。譬如，近年来由于采用了高强度的材料，大型焊接结构以及大截面的构件，出现了低应力脆断的严重现象，促使人们去研究构件中裂纹扩展的规律，从而产生了断裂力学。再如，由于航空、宇航事业的发展，出现了复合材料，复合材料力学性能的研究以及建立适合复合材料的力学计算原理就成了急待解决的课题，因而产生了复合材料力学。又如，由于计算机技术的发展，要求力学计算程序化，同时也使构件复杂应力分析的近似计算——有限单元法得到广泛的应用和发展。这些都是构件强度计算的新发展，它不仅促进了生产的发展，也丰富了材料力学的内容。

§ 1-2 变形固体及其基本假设

变形固体的性质是多方面的，为了便于研究，我们把那些与研究的问题无关或影响不大的次要性质加以忽略，把实际物体简化为理想模型。故对变形固体采取了如下的假设：

1. 连续均匀假设 就是假设变形固体在其整个体积内毫无间隙地充满了物质，而且各处的性质都相同。

2. 各向同性假设 就是认为变形固体在各个方向具有相同的性质。

从物质结构来说，固体是由不连续的粒子组成的。从微观来

看,其各处、各方向的性质是有差异的。譬如由晶粒组成的金属材料,就各晶粒以及晶粒的各方向而言,其性质不完全相同。但是材料力学是从宏观来研究问题,通常以构件为研究对象,粒子间的空隙相对研究对象的尺寸来说是极其微小的,对研究的问题几乎没有影响,所以可以忽略不计。此外由于构件内包含的粒子(或晶粒)为数极多,而且是无规则地排列,故其性质是这些粒子(或晶粒)性能的统计平均值。实验结果表明,根据这些假设得到的理论,基本是正确的,说明这些假设是符合实际的假设。

工程中使用的大多数材料,如钢、铜、铸铁、玻璃等,基本符合上述假设。但也有一些材料,如轧制钢、竹材、木材等,其性质是有方向性的,称为各向异性材料。当把根据以上假设得到的理论,用于各向异性材料时,只能得到近似的结果,不过有些还是能满足工程上所要求的精度,所以仍然可以有条件的使用。

材料力学的理论不仅以上述假设为前提,而且限于分析构件的小变形和弹性变形问题。所谓小变形是指变形量远远小于构件原始尺寸的变形。而弹性变形是指卸载后能完全消失的变形。工程中一般构件的变形都是属于弹性变形且是小变形。由于变形小,所以在确定构件外力和运动时,可忽略其变形,而按机构的原始尺寸进行计算,从而使计算大大简化,误差却很微小。

§ 1-3 材料力学的研究对象

实际构件的形状是各种各样的,进行简化之后,大致可归纳为四类:杆、板、壳和块(图 1-4)。

凡是长度远大于其他两个方向尺寸的构件,称为杆。如丝杆、轴、连杆等均可简化为杆类。杆的几何形状可以用其轴线(截面形心的连线)和垂直于轴线的几何图形(横截面)表示。轴线是曲线

的杆,称为曲杆(图 1-4a), 轴线是直线的杆,则称为直杆。各横截面相同的直杆,称为等直杆(图 1-4b)。等直杆是本课程研究的主要对象。

板、壳和块等一类构件的力学问题,则在高等材料力学和弹性理论中讨论。

杆件受力后,其变形的基本形式有四种:

1. 拉伸和压缩; 2. 剪切; 3. 扭转; 4. 弯曲(图 1-5)。其他复杂

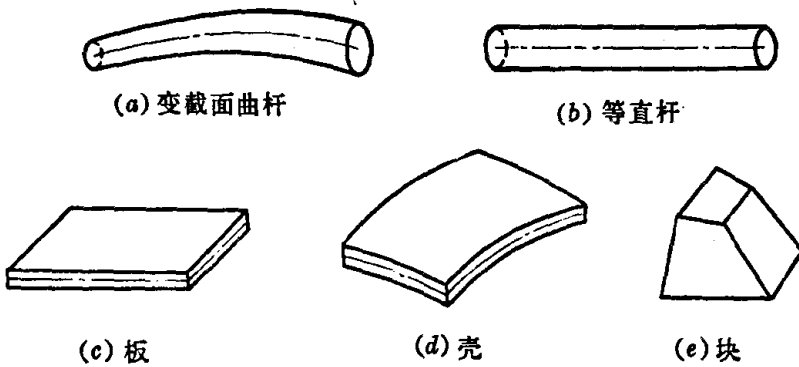


图 1-4

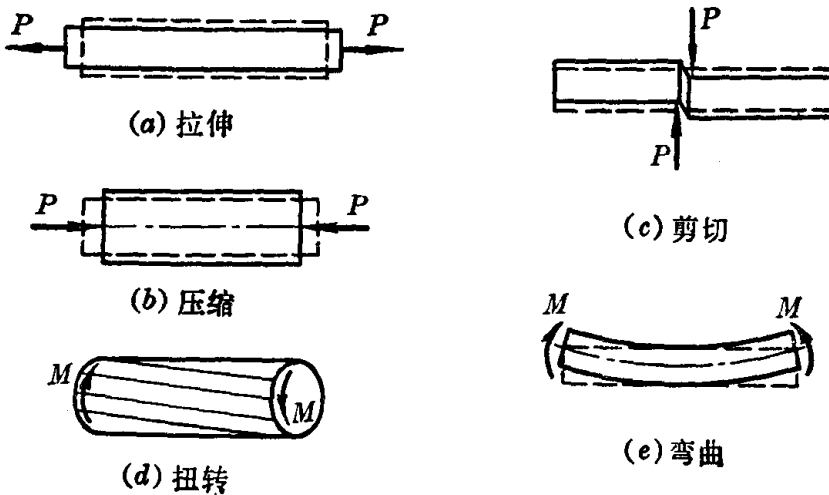


图 1-5

的变形形式,只不过是以上二种或二种以上基本形式的组合,称为组合变形。在以后的各章中,首先分别讨论基本变形,然后再讨论组合变形。

作用在构件上的载荷通常分为两大类:静载荷和动载荷。静载荷是由零缓慢增加到某一定值,以后保持不变或变化很不显著的载荷。此时构件内各点加速度很小,可忽略不计。若构件内各点有加速度,或载荷的大小、方向经常变化,这样的载荷称为动载荷。在这两种不同的载荷作用下,构件的破坏规律不同,分析问题的方法也不全同,所以必须分别研究。本课程主要是研究静载荷问题。

§ 1-4 内力 截面法 应力

(一) 内力、截面法 在材料力学中,主要研究对象是杆件,因此作用在杆件上的载荷和约束反力均称为外力,而杆件内部由于外力作用而产生的相互作用力,则称为内力。譬如,承受力 P 作用的杆件 AB (图 1-6a),当处于平衡状态时,它的任一部分 E 或 F

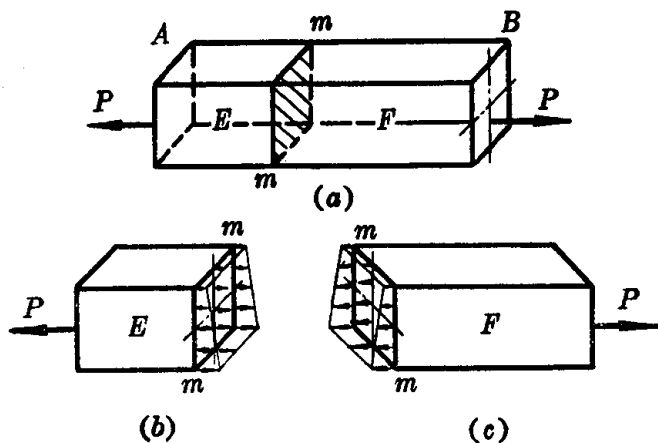


图 1-6