



高等学校教材

材料力学

(第二版)

上册

天津大学材料力学教研室 编

苏翼林 主编

高等教育出版社

高 等 学 校 教 材

材 料 力 学

(第 二 版)

上 册

天津大学材料力学教研室 编

苏翼林 主编

高 等 教 育 出 版 社

本书是根据目前我国高等工科院校“材料力学”课程的教学基本要求进行修订的。

本书分上、下两册。上册包括绪论、拉伸与压缩、材料的力学性质、拉伸(压缩)超静定问题、剪切、扭转、弯曲、应力与应变分析、强度理论、组合变形及平面图形的几何性质。下册包括能量方法、超静定系统、动载荷、交变应力、压杆稳定、厚壁筒、考虑材料塑性时的强度计算及断裂力学简介。

参加本书编写工作的有苏翼林(主编)(第四章,第九章,第十章,第十二章,第十三章,第十五章,第十六章,第十七章,第十九章),曹湘(第三章,第六章,第七章,第八章,第十八章),任治宏(第二章,第五章,第十四章),罗至善(绪论,第一章,第十一章,附录I)。新添的插图由任治宏绘制。

本书由北京航空学院高镇同、单辉祖审阅。

本书可作为高等工科院校和职工大学机械类专业材料力学课程的教材,也可供机械工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 上册/苏翼林主编;天津大学材料力学教研室编. —2版. —北京:高等教育出版社,1987.10(2001重印)

高等学校教材

ISBN 7-04-000175-6

I. 材… I. ①苏… ②天… III. 工程材料-材料力学-高等学校-教材 IV. TB301

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第00117号

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 河北省香河县印刷厂

版 次 1980年6月第1版

开 本 787×1092 1/16

1987年10月第2版

印 张 17

印 次 2001年6月第13次印刷

字 数 390 000

定 价 13.90元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第 二 版 序

本书是在第一版经过了六年的教学使用之后进行修订的。修订时是以我国现行的“材料力学”(多学时)课程的教学基本要求作为依据的。

原书第一版在课程的基本概念、基本理论和基本方法上讲述得比较详细,特别是在结合杆件的基本变形讲清材料力学处理问题的基本方法(即静力、几何及物理三方面的综合)方面讲得较透彻。原书在文字叙述方面也力求通顺易懂。在这次修订时保留了上述特点。此外,对于“材料力学”基本理论中的应力分析和能量方法进行了改写,使这两章更加完整。还添入了应变分析,卡氏定理和最小势能原理。再有,将动载荷列为专章,增添了杆件塑性变形和断裂力学简介两章。在修订时把第一版中不属于初等材料力学的内容全部删除。书中凡是注有星号的内容可以根据需要与可能进行选学。

另外,对于原书的习题作了较多的补充,以便更有利于加强基本概念和基本方法的训练。

在修订过程中吸收了使用本书的各院校和有关教师所提出的很多修改意见,并改正了第一版中发现的错误。这一版仍由北京航空学院高镇同和单辉祖两同志审阅,他们提出了很多的修改意见,在此我们一并致谢。

限于编者水平,本书可能还存在有错误或不妥之处,希望本书的读者指正。

编 者

一九八六年十二月

初 版 序

本书是根据一九七七年高等学校工科基础课力学教材会议讨论的“材料力学（机械类）编写大纲”编写的。

全书共二十一章，由第一章至第十七章及附录 I 为基本内容（不包括带有星号的章、节），第十八章至第二十一章为专题内容（供选修用）。

在基本内容部分重视材料力学的基本理论和方法，这里包括：材料力学研究应力和变形的基本方法（静力、几何、物理三方面的综合）、截面法、叠加原理、应力分析和能量方法。对这些基本问题都给予比较详细的讨论，并适当采用了逐步加深、多次反复的叙述方法。

在讲清基本理论的同时，贯彻理论联系实际的原则，编入了适量的实际例题，以培养分析问题和解决问题的能力。

有些章、节编入了一些扩大深度和广度的内容（带有星号的章、节），这些内容可根据专业特点选择讲授，也可作为自学阅读材料。

每章末都编入了一定数量的习题，全部习题的答案附在书末。对某些较难的习题，还给出了解答。

书内所有插图中构件的尺寸，凡用毫米(mm)作单位时，一律不注明单位；如用其他单位，如厘米(cm)或米(m)时，则均将单位注出。

本书采用国际单位制，书末给出现行公制单位制与国际单位制的换算。此外，所有例题中的截面几何性质，如面积、惯矩等，按照现行习惯均采用厘米(cm)进行计算。

本书承北京航空学院材料力学教研室审阅，提出很多宝贵意见，特此致谢。

由于编者水平所限，书中错误、不妥之处，在所难免，请读者指正。

编 者

一九七九年五月

符号表(上册)

符 号	意 义	常用单位	符 号	意 义	常用单位
α	应力集中系数		$[\varphi]$	单位长度许可扭角	$^{\circ}/\text{m}$
	角度	rad	ψ	截面收缩率	无量纲
	线膨胀系数	$1/^{\circ}\text{C}$	ω	角速度	rad/s
a_k	冲击韧度	MJ/m^2	A	面积	mm^2
γ	重度(单位体积重量)	$\text{N}/\text{m}^3, \text{kN}/\text{m}^3$	b, B	宽度	mm
	剪应变	无量纲	K	弹簧刚度	$\text{N}/\text{m}, \text{kN}/\text{m}$
δ	延伸率	无量纲	C	形心	
Δl	轴向伸长	mm	d, D	直径	mm, cm
ε	(线)应变	无量纲	E	能	J
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	主应变	无量纲		弹性模量	GPa
ε_e	弹性应变	无量纲	f	挠度	mm, cm
ε_p	塑性应变	无量纲	G	重量	N, kN
θ	转角	rad		剪切弹性模量	GPa
	体积应变	无量纲	h, H	高度	mm
μ	泊松比	无量纲	I	惯矩	mm^4
ρ	曲率半径	m	I_p	极惯矩	mm^4
σ	正应力	MPa	i	惯性半径	mm
σ_1	静应力	MPa	l, L	长度	m
σ_d	动应力	MPa	m	力偶,	Nm,
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力	MPa		转矩	kNm
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	两向应力状态下的应力分量	MPa	M_n	扭矩	Nm, kNm
$\sigma_{\max}$	最大正应力	MPa	M	弯矩	Nm, kNm
$\sigma_{\min}$	最小正应力	MPa	N	轴力	N, kN
σ_{1y}	挤压应力	MPa	N_k	功率	W, kW
$[\sigma]$	许用应力	MPa	n	安全系数	无量纲
$[\sigma_1]$	许用拉应力	MPa		转速	1/s
$[\sigma_y]$	许用压应力	MPa	p	压强	Pa
$[\sigma_{1y}]$	许用挤压应力	MPa	P	集中载荷	N, kN
σ_p	比例极限	MPa	q	分布载荷集度	$\text{N}/\text{m}, \text{kN}/\text{m}$
σ_e	弹性极限	MPa	Q	剪力	N, kN
σ_s	屈服极限	MPa	R	合力, 反力	N, kN
σ_b	强度极限	MPa	r, R	半径	mm, cm
σ_r	相当应力	MPa	S	面矩	mm^3
σ_{1k}	极限应力	MPa	s	弧长	mm
τ	剪应力	MPa	T	温度	$^{\circ}\text{C}$
τ_p	剪切比例极限	MPa	T	拉力	N, kN
τ_s	剪切屈服极限	MPa	t	厚度	mm
$\tau_{\max}$	最大剪应力	MPa	U	应变能	J
$[\tau]$	许用剪应力	MPa	u	能密度	J/m^3
ϕ	扭角	rad	u_x	歪形能密度	J/m^3
φ	单位长度扭角	rad/m	u_1	体积改变能密度	J/m^3

续前表

符 号	意 义	常用单位	符 号	意 义	常用单位
V	体积	mm^3, m^3	W_x, W_y, W	抗弯截面模量	mm^3
v	速度	m/s	x, y, z	坐标轴, x 轴代表杆件 轴线	
W	功	J	X, Y, Z	(约束)反力	N, kN
W_n	抗扭截面模量	mm^3			

目 录

符号表(上册).....1	第四章 剪切.....50
绪论.....1	§ 4-1 剪切近似计算.....50
§ 0-1 材料力学的任务.....1	§ 4-2 实例.....51
§ 0-2 材料力学与生产实践的关系.....1	*§ 4-3 焊接计算.....54
§ 0-3 材料力学的基本假设.....3	习题.....55
§ 0-4 内力和截面法·应力.....4	第五章 扭转.....59
§ 0-5 构件的分类·杆件变形的基本形式.....5	§ 5-1 概述.....59
第一章 拉伸与压缩.....8	§ 5-2 扭矩与扭矩图.....60
§ 1-1 直杆的轴向拉伸与压缩.....8	§ 5-3 薄壁筒扭转.....61
§ 1-2 轴力·轴力图.....8	§ 5-4 圆轴扭转时的应力与变形.....64
§ 1-3 横截面上的应力·许用应力.....9	§ 5-5 极惯性矩与抗扭截面模量.....67
§ 1-4 强度计算的三类问题.....10	§ 5-6 圆轴扭转时的强度与刚度条件.....68
§ 1-5 斜截面应力·剪应力·全应力.....12	§ 5-7 圆轴扭转时斜截面应力.....70
§ 1-6 变形和应变.....13	§ 5-8 密圈螺旋弹簧的应力和变形.....71
§ 1-7 薄壁圆筒受径向压力时的应力和变形.....16	*§ 5-9 矩形截面杆的扭转.....74
§ 1-8 变形能.....18	*§ 5-10 薄壁杆件的自由扭转.....76
习题.....19	习题.....79
第二章 材料的力学性质.....24	第六章 弯曲时的内力.....87
§ 2-1 低碳钢拉伸试验.....24	§ 6-1 引言.....87
§ 2-2 其他材料的拉伸试验.....29	§ 6-2 梁的支座·静定梁的基本形式.....88
§ 2-3 压缩试验.....30	§ 6-3 平面弯曲时梁横截面上的内力——剪力与弯矩.....90
*§ 2-4 温度、时间及加载速度对材料的力学性质的影响.....31	§ 6-4 剪力图和弯矩图.....92
§ 2-5 冲击韧度.....32	§ 6-5 剪力、弯矩与分布载荷集度间的微分关系.....97
§ 2-6 应力集中概念.....34	*§ 6-6 直接用微分关系画剪力图和弯矩图.....100
§ 2-7 安全系数和许用应力的确定.....35	§ 6-7 按叠加原理作弯矩图.....101
第三章 拉、压超静定问题.....37	§ 6-8 刚架的弯矩图、轴力图.....102
§ 3-1 超静定问题及其解法.....37	§ 6-9 平面曲杆的弯曲内力.....103
§ 3-2 装配应力.....40	习题.....104
§ 3-3 温度应力.....42	第七章 弯曲应力.....111
习题.....45	

§ 7-1 纯弯曲时梁的正应力	111
§ 7-2 弯曲正应力的强度条件及其应用	114
§ 7-3 梁的合理截面	118
§ 7-4 矩形截面梁的剪应力	119
§ 7-5 圆形截面梁的最大剪应力	123
§ 7-6 薄壁截面梁的剪应力	124
*§ 7-7 弯曲中心	127
§ 7-8 等强度梁	129
*§ 7-9 组合梁	131
习题	132

第八章 弯曲变形 140

§ 8-1 梁的挠度与转角	140
§ 8-2 弯曲刚度条件	140
§ 8-3 挠曲线的微分方程	141
§ 8-4 积分法求梁变形	142
§ 8-5 叠加法求梁变形	146
§ 8-6 超静定梁	152
§ 8-7 调整弯曲刚度的途径	155
习题	157

第九章 应力与应变分析 165

§ 9-1 关于应力状态的基本概念	165
§ 9-2 二向应力分析的解析法	167
§ 9-3 二向应力分析的图解法	170
§ 9-4 三向应力状态的应力圆	176
*§ 9-5 二向应变分析	178
§ 9-6 广义虎克定律	180
*§ 9-7 二向应力状态下的应力测定	183
§ 9-8 三向应力状态的弹性变形能	185
*§ 9-9 弹性常数 E 、 G 、 μ 间的关系	187

习题	187
----	-----

第十章 强度理论 193

§ 10-1 强度理论概述	193
§ 10-2 几个基本的强度理论	194
*§ 10-3 莫尔强度理论	197
§ 10-4 强度理论的应用	200
习题	203

第十一章 组合变形时的强度计算 205

§ 11-1 斜弯曲·两向弯曲	205
§ 11-2 拉伸(压缩)与弯曲的组合·偏心拉伸 (压缩)	208
§ 11-3 扭转与弯曲的组合	210
*§ 11-4 曲轴强度计算	214
*§ 11-5 平面曲杆的应力	217
§ 11-6 组合变形时的合理设计	220
习题	222
大作业 传动轴的强度和刚度计算	229

附录 I 平面图形的几何性质 231

§ I-1 形心和面矩	231
§ I-2 惯矩·惯积·惯性半径	233
§ I-3 平行轴定理·组合图形的惯矩与惯积	235
§ I-4 转轴公式·主惯矩	236
习题	240
大作业 平面图形几何性质	242

附录 II 型钢表 244

附录 III 单位及单位换算表 253

习题答案 254

绪 论

§ 0-1 材料力学的任务

各种机械和建筑,都是由许多的构件或零件,即不能再拆卸的结构元件所组成;构件的种类和用途各不相同,但工作时通常都承受外力(包括载荷和约束反力)的作用。为了保证构件的正常工作,首先要求构件在一定外力作用下不发生破坏。例如提升重物的钢丝绳,不允许被重物拉断。对构件的这类要求,通常称为强度条件。故构件的强度,指的是构件抵抗破坏的能力。构件在外力作用下,还要发生变形;某些构件的变形有时要加以限制;如桥式吊车梁,工作时不允许发生过大的弹性下垂,才能平稳地工作;机床主轴工作时,如弹性变形过大,则要影响工件的加工精度。在一定的外力作用下,要求构件不发生过大的变形,这就是说要求构件有足够的刚度。故构件的刚度,指的是构件抵抗变形的能力。此外,有一些构件在某种载荷作用下,还可能出现不能保持它原有平衡形式的现象。例如受压的细长直杆,在压力达到或超过某一临界值后,会发生突然变弯的现象,这时也就丧失了它的工作能力。因此,还要求构件有足够的稳定性。故构件的稳定性,指的是构件维持其原有平衡形式的能力。

总之,受一定外力作用的构件,要求能正常工作,一般须满足以下三方面要求:

1. 足够的强度;
2. 必要的刚度;
3. 足够的稳定性。

当然,依据工作情况,有些构件只要求满足其中一、二项,有些则需要同时满足这三方面要求。

构件的强度、刚度和稳定性,有时统称为构件的承载能力。

提高构件的承载能力,往往需要用优质材料,加大截面尺寸;这与降低材料消耗、减轻重量和节省资金有矛盾。为使构件既能满足强度、刚度、稳定性的要求,又能达到节省材料和减轻重量的目的,需要选择适宜的材料,确定合理的截面形状和尺寸;材料力学的任务,就是为此提供必要的基础理论和计算方法。

为此,材料力学必须研究构件在外力作用下变形和破坏的规律,研究材料的力学性质,研究构件截面形状和尺寸与其承载能力之间的关系。这些研究,都与实验有密切的联系。因此,材料力学是一门理论与实验并重的学科。

§ 0-2 材料力学与生产实践的关系

科学的产生和发展是由生产决定的,反过来,科学的发展又推动和促进生产的发展。材料力

学与生产实践之间同样是这种辩证关系。

从远古时代起,人类就开始从房屋、桥梁的建筑,以后又在车辆、船只和其他简单机械的制造等方面,逐渐积累关于结构的受力分析和材料强度的知识。例如早在 3500 年以前,我国就已经采用柱、梁、檩、椽的木结构(图 0-1)建造墙壁不承重的房屋,知道立柱宜采用圆截面,木梁应采用矩形截面。由隋朝(公元 581~618 年)工匠李春主持建造的赵州桥(图 0~2),跨长 37 米,是由石

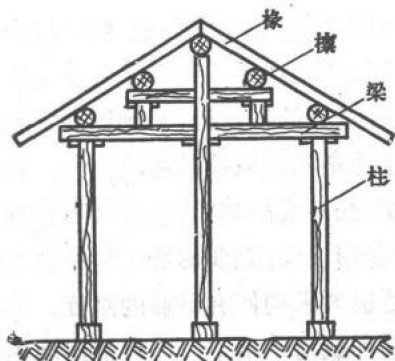


图 0-1



图 0-2

块砌成的拱结构,既利用了石料耐压的特性,又减轻了重量。在机械和运输方面,我国在 3500 年前就开始用辐条式车轮来代替圆板式的。春秋时代(公元前 722~前 481 年)末期的《考工记》中已有“量其凿深,以为辐广”(即辐条插入深度应与辐宽差不多)及其原理的记载。东汉初(公元 31 年)已有杜诗的水排的文字记载,其原理如图 0-3 所示,实际为一种卧式水轮。到三国时(公元 290

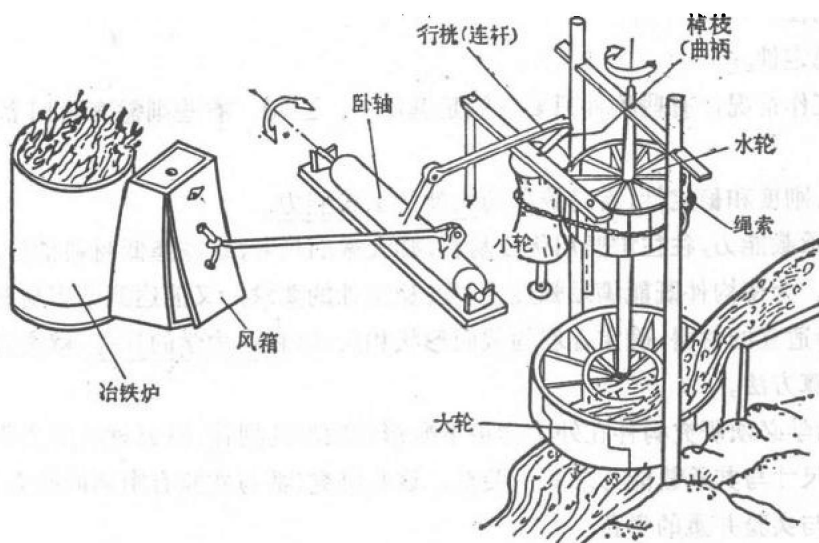


图 0-3

年),立式水轮(即魏人张既所推广的水碓)也出现了,其中包括了凸轮、曲柄连杆等机构。再如明末宋应星所著《天工开物》中叙述了舵对船舶航行影响的力学分析,并给出了船体结构方面的 20

多个技术数据,说明当时对材料强度和船体受力已有一定认识。

材料力学成为一门比较系统的科学,是在十七世纪以后,随着资本主义大工业生产而发展起来的。通常认为,意大利科学家伽利略《关于两种新科学的叙述及其证明》一书的发表(1638年),是材料力学开始形成为一门科学的标志。当时欧洲各国生产规模及海外交通迅速扩大,工业兴起,单凭经验或用简单的比例放大方法,都不能解决大型和新型船舶、水闸、海港等结构的设计问题。在这种情况下,伽利略及其他科技人员开始研究强度问题,并引入了试验研究和理论分析相结合的科学方法。英国科学家虎克,利用弹簧作试验,在1678年得出了变形与外力成正比的结论,在这个基础上发展成虎克定律。根据虎克定律,并经过进一步的试验和理论分析,法国科学家库仑在1773年正确解决了梁的弯曲问题。这样,在材料力学的发展上,形成了一条理论分析与试验研究相结合的正确道路。

最初,天然的木料、石料和较粗糙的铸铜、铸铁是主要的工程材料。随着铁路、车辆、动力机械、金属切削机床以至飞机的发明及使用,钢和铝合金的出现,人们才广泛使用有较高强度的金属,同时促使弯曲、扭转理论进一步完善;薄板、薄壳理论也有了很大发展;测定材料的力学性质的专门试验室也建立了起来。在这个基础上,符合一定强度要求的构件截面尺寸大为减小,自重和材料消耗得以降低。可是,由于构件细长了,它的变形问题却显得突出起来,这就促进了构件刚度的研究。著名数学家欧拉早在1744年就提出了压杆稳定临界载荷的计算公式,但只是在发生多起由于压杆失稳而引起严重事故之后(如1896年瑞士孟汗太因坦铁路桥因桁架压杆失稳而倒塌),稳定理论才在欧拉公式的基础上发展起来。最近几十年来,构件在随时间而变动的载荷下工作,在高温、高速、高负荷下工作,这些促使材料力学发展到研究在复杂条件下的强度、刚度和稳定问题。

§ 0-3 材料力学的基本假设

材料力学研究构件在外力作用下的变形和破坏,为此必须将物体视为可变形固体。为了抓住与材料力学所研究的问题有关的主要因素,略去无关的次要因素,对变形固体加以简化,采用以下假设:

一、连续均匀假设 认为物体在其整个体积内毫无空隙地充满了物质,各点处的力学性质是完全相同的。由于构件的尺寸远远大于物质的基本粒子及粒子之间的间隙,这些间隙的存在以及由此而引起的性质上的差异,在宏观的讨论中完全可以略去。

二、各向同性假设 认为物体沿各个方向的力学性质是相同的。实际物体例如金属是由晶粒组成,沿不同方向晶粒的性质并不相同。但由于构件中包含的晶粒极多,晶粒排列又无规则,在宏观的研究中,物体的性质并不显示出方向的差别,因此可以看成是各向同性的。当然,有某些情况,如含有碳素纤维的复合材料等,就需要按各向异性来考虑。

连续均匀、各向同性的变形固体,是对实际物体的一种科学抽象。实践表明,在此假设前提下建立的材料力学理论,基本上符合真实构件在外力作用下的表现,因此假设得以成立。

由于在材料力学中采用了变形固体的假设,因而在应用理论力学中根据刚体假设得出的结

论时,要注意其适用条件。例如把力沿作用线的可传性应用于图 0-4a 所示受拉力杆件,若将两端的作用力互相传递,如图 0-4b 所示时,则杆件就由原来的受拉力变成受压力。这两种情况下的变形正好相反。不过,由于材料力学中所研究的问题,一般限于变形远小于构件原始尺寸的情况,

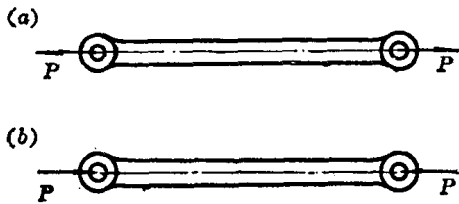


图 0-4

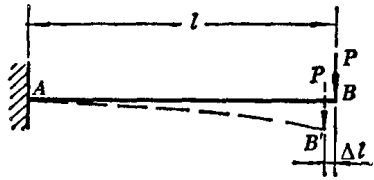


图 0-5

所以在考虑静力平衡、静力等效等问题时,又可以将变形略去,仍按变形前的原始尺寸来考虑。对变形的这一限制,称为小变形条件。如图 0-5 所示 AB 梁受 P 力作用后发生变形, B 点移动到 B' 点,但由于 Δl 远小于 l ,因此计算 A 端反力时,可以略去 Δl 的影响,仍认为 P 力作用于 B 点。

§ 0-4 内力和截面法·应力

材料力学在讨论强度和刚度等问题时,一般总是以某一构件作为研究对象,因此,其他构件对此构件的作用力,就是它所受到的外力。当构件受到外力作用,例如受一对拉力作用时,沿力作用方向的相邻各质点间的相对位置要远离,因而使整个构件伸长。这时构件各质点之间产生附加内力(简称内力),其作用趋势是力图使各质点恢复其原来位置。所以,内力是由于外力而引起的;如果外力增加,将引起构件的进一步伸长,因之内力也随之增加。但是,对任何一个构件,内力的增加总有一定限度(决定于构件材料、尺寸等因素),到达此限度时,构件就要破坏。材料力学研究构件的变形和破坏问题,离不开讨论内力与外力的关系以及内力的限度。

物系内两物体之间相互作用的力总是成对存在的,要显示和计算它们必须将此两物体拆开。同样,为了显示和计算构件的内力,必须假想地用截面把构件切开,分成两部分,这样内力就转化为外力而显示出来,并可用静力平衡条件将它算出。这种方法,称为截面法。

例如图 0-6a 所示物体受多个外力作用,处于平衡状态。若要求任一截面 mm 的内力,可以将物体假想地用 mm 平面截分为 A 、 B 两部分(图 0-6b, c),此时 A 部分的 mm 截面上将作用着 B 部分对它的作用力。这种作用力是以分布形式布满 mm 截面上;利用 A 部分的平衡可以求出这种

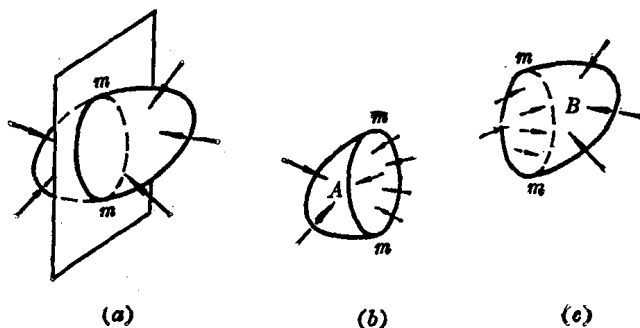


图 0-6

分布内力的合力。同样,如果以 B 为研究对象,也可以求出 A 部分对其作用的内力合力。根据力的作用与反作用原理,这两组内力合力大小相等而方向相反。以后我们把这种截面上分布形式的内力合力简称为内力。

上述运用截面法的过程可归纳如下:

1. 在需求内力的截面处,将构件假想切成两部分;
2. 留下一部分,弃去另一部分,并以内力代替弃去部分对留下部分的作用;
3. 根据留下部分的平衡条件求出该截面的内力。

截面法是材料力学中研究内力的一个基本方法,以后我们将分章介绍它的具体应用。

根据连续性假设,内力是连续分布于整个被截表面上。一般地说,截面上不同点处分布内力的大小和方向都不同。例如图 0-7 所示 a 点周围微面积 ΔA 上内力的总和是 ΔP ,当面积 ΔA 大小发生变化时, ΔP 的大小和方向均可能变化。现将 ΔP 沿截面的法线和切线方向分解为分量 ΔN 和 ΔT ,再把它们分别除以面积 ΔA ,并以 σ_m 和 τ_m 表示其商,即

$$\sigma_m = \frac{\Delta N}{\Delta A}, \quad \tau_m = \frac{\Delta T}{\Delta A}$$

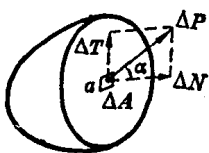


图 0-7

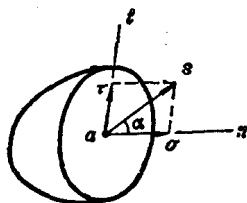


图 0-8

这里 σ_m 和 τ_m 分别代表 ΔA 面积内法向分布内力和切向分布内力的平均强弱,分别称为 ΔA 面积内的平均正应力和平均剪应力。如果让 ΔA 缩小而趋于零,则 σ_m 和 τ_m 所趋近的极限值即分别代表该截面上 a 点处法向分布内力和切向分布内力的强弱,它们分别称为该截面 a 点处的正应力 σ 和剪应力 τ ,即

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta A}, \quad \tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta T}{\Delta A} \quad (0-1)$$

求某截面上 a 点的正应力 σ 和剪应力 τ 的矢量和 s ,见图 0-8,这时

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= s \cdot \cos \alpha \\ \tau &= s \cdot \sin \alpha \\ \sigma^2 + \tau^2 &= s^2 \end{aligned} \right\} \quad (0-2)$$

应力的国际单位为帕斯卡(Pascal, 简称帕,代号为 Pa),1 帕=1 牛顿/米²(N/m²)。由于此单位较小,材料力学上常用兆帕(MPa)或吉帕(GPa),1MPa=10⁶Pa,1GPa=10⁹Pa。注意到

$$1\text{MPa} = 1 \times 10^6 \text{N/m}^2 = 1 \times 10^6 \text{N} / 1 \times 10^6 \text{mm}^2 = 1 \text{N/mm}^2 \quad (0-3)$$

故 1MPa 与 1N/mm² 是相当的。国际单位与公制单位的换算见书末附录。

§ 0-5 构件的分类·杆件变形的的基本形式

构件的几何形状是各种各样的,大致可以归纳为四类,即杆、板、壳和块体(图 0-9)。

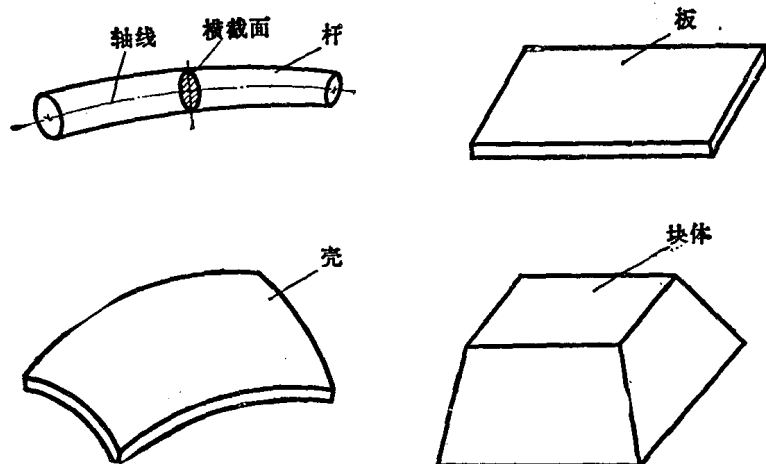


图 0-9

凡是一个方向的尺寸(长度)远大于其他两个方向尺寸(宽度和高度)的构件称为杆。垂直于杆件长度方向的截面,称为横截面,横截面中心的连线,叫做杆的轴线①。如果杆的轴线是直线时,此杆叫直杆;轴线为曲线时,则叫曲杆。各横截面尺寸不变的杆,叫等截面杆,否则,是变截面杆。工程中比较常见的是等截面直杆,简称等直杆,它是材料力学的主要研究对象。

如果构件一个方向的尺寸(厚度)远小于其他两个方向的尺寸,就把平分这种构件厚度的面称为中面。中面为平面的这种构件称为板(或平板),中面为曲面的则称为壳。板和壳在石油、化工容器、船舶、飞机和现代建筑中用得很多。

三个方向(长、宽和高)的尺寸相差不多(属同量级)的构件,称为块体。一些机械上的短粗铸件,就是块体。

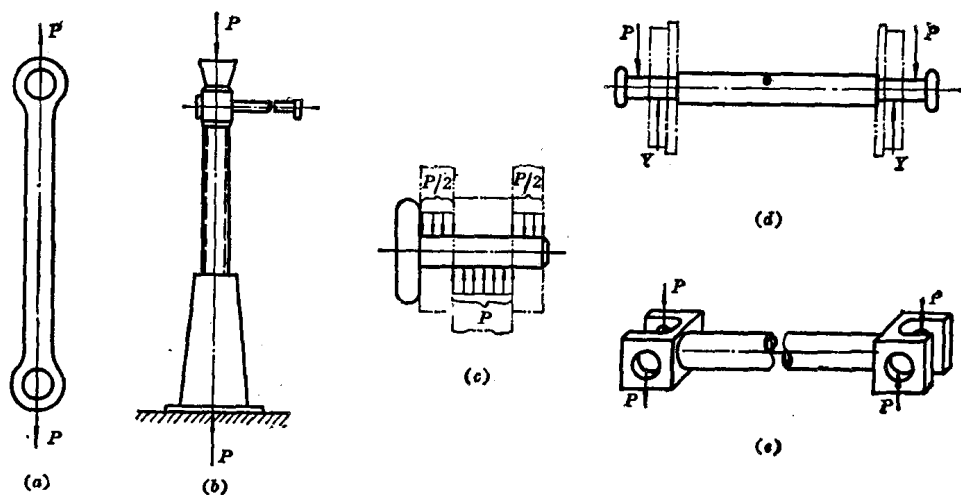


图 0-10

① 杆轴应是横截面形心的连线,这一点后面讨论。

板、壳和块体这类构件一般在高等材料力学和弹性力学中讨论。本书只以少量篇幅涉及一些比较简单的问题。

杆件受外力作用后发生的变形也是多种多样的,但最简单的是拉伸(或压缩)、剪切、扭转和弯曲四种。其他一些复杂的变形都可以由以上四种变形组合而成。故拉压、剪切、扭转、弯曲又称为杆件变形的四种基本形式。图 0-10 给出了这四种基本变形的一些实例:图 *a* 为拉伸,图 *b* 为压缩,图 *c* 为剪切,图 *d* 为弯曲,图 *e* 为扭转。在以后将逐章讲述这些基本变形,这里就不详述了。

第一章 拉伸与压缩

§1-1 直杆的轴向拉伸与压缩

本章研究直杆的轴向拉伸与压缩问题。图 1-1a 所示为紧固螺钉,当拧紧螺帽时,被压紧的工件对螺钉有反作用力,其合力将通过螺钉横截面中心,并且顺沿螺钉的轴线方向。螺钉的受力特点,为两端受顺沿杆轴方向的一对拉力作用,可用图 1-1b 或 c 表示。这种只反映杆件的几何特征和受力特征的简化图形,称为受力简图。图 0-10a 中的拉杆受力情况与图 1-1 相同,图 0-10b 中的螺杆受力情况与图 1-1 相反,即沿杆轴线作用的是一对压力。前者发生伸长变形,后者发生缩短变形。直杆承受沿杆轴线的一对力作用,发生伸长或缩短变形时,称为直杆的轴向拉伸或压缩。当两力相背时,杆件受拉;两力相向时,杆件受压。本章讨论这类杆件的强度和变形问题。

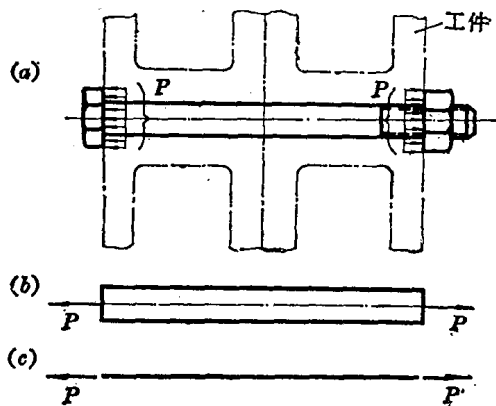


图 1-1

§1-2 轴力·轴力图

对直杆受顺沿杆轴的一对 P 力作用的情况(图 1-2),我们应用 §0-4 的截面法,求 $m-m$ 截面的内力;为此,可在此截面处假想将杆切开,保留左部分,移去部分对保留部分的作用,用内力来代替,其合力为 N 。由于直杆原来处于平衡状态,故切开后各部分仍应维持平衡。根据保留部分的平衡,可得

$$N = P$$

如果再次运用截面法求 $m-m$ 截面的内力,但留下右侧部分(图 1-2c),这时 N' 代表左侧部分对右侧部分的作用力,同样可得

$$N' = P$$

故留下左侧或右侧部分,所求得的内力合力大小相等而矢向相反(这一点可用牛顿第三定律来解释)。我们将此顺沿杆轴线方向的内力合力称为轴力,并且规定,当杆件受拉伸,即轴力 N (或 N') 背离截面时为正号(图 1-2b),反之,杆件受压缩,即 N 指向截面时为负号。这样,无论留下哪一侧,求得轴力的正负号都相同。因此,以后讨论中,不必区别 N 与 N' ,一律表示为 N 。

图 1-2a 的直杆只在两端受拉力,每个截面上的轴力 N 都等于 P 。如果直杆承受多于两个的外力时,直杆的不同段上将有不同的轴力。为了表示轴力随截面位置的变化,最好画出轴力沿杆轴线方向变化的图形,即轴力图,见下面的例题。

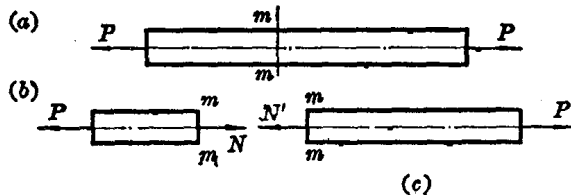


图 1-2