

高等学校教材

材料力学

梁治明 丘 侃 编



高等教育出版社

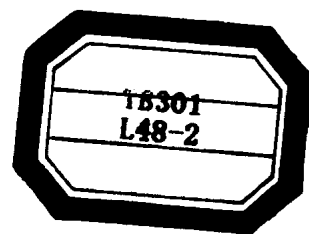
B201
L48-2

443139

高等学校教材

材料力学

梁治明 丘 侃 编



高等教育出版社

(京) 112号

本书系根据教育部审订的高等工业学校材料力学教学大纲(90学时类型)编写的,适合作高等工业学校电机、动力、采矿等类(90学时)专业的教材,也可供有关工程技术人员和自学者参考。

本书内容包括:绪论,轴心拉伸和轴心压缩,材料受拉伸或压缩时的力学性质、安全系数的选定,剪切,扭转,截面图形的几何性质,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形、超静变梁,应力状态、强度理论,组合变形,压杆稳定,动载荷,疲劳强度。附录中附有:奇异函数在弯曲问题中的应用。强度理论的破坏准则图和工作安全系数。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/梁治明,丘侃编。—北京:高等教育出版社,1985.6(1999重印)

高等学校教材

ISBN 7-04-004384-X

I. 材… II. ①梁… ②丘… III. 材料力学-高等学校-教材 IV. TB301

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第11264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 北京印刷三厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 1985年6月第1版

印 张 23

印 次 1999年6月第10次印刷

字 数 527 000

定 价 18.40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

序

本书是根据高等工业学校材料力学教学大纲(90学时类型)编写的,适用于电机、动力、采矿等类专业。

考虑到可能采用本书作为教材的专业较多,要求不尽相同,编写中补充了一些内容。例如,在第二章中介绍了圣维南原理和等效力系用于变形固体上的限制,以求帮助读者初步认识到,对于变形固体为什么在某些问题中可以用等效力系,而在另一些问题中却不能用。在第二章中还介绍了圆筒形薄壁容器的应力,以应某些专业的需要(这些专业在后续课程中无此内容)。由于好多专业在工程中常会用到非对称截面的抗弯构件,在第六章中介绍了截面的主惯轴和主惯矩,并在第八章中介绍了不对称截面梁的平面弯曲。鉴于好些学生对矩形和工字形截面梁剪应力公式的简介常不满足,运用时又易出错,因而在第八章中给出了公式的推导。由于在第八章和第十三章中分别介绍了提高杆件抗弯强度和抗冲击能力的措施,因而在第十二章和第十四章中也分别介绍了提高压杆稳定性和提高构件疲劳强度的措施。在第十四章中还介绍了疲劳极限图和疲劳强度计算,以应某些专业的需要。另外,鉴于可能会有某些专业在弯曲问题或强度理论方面要求较高,因而在附录A和附录B中介绍了一些进一步的内容。这些补充内容,有的在书中一节或一段之首标以星号,有的用小字排印,有的列入附录,教师可按专业需要和班级具体情况,斟酌取舍,或予以讲授,或指定学生自学,或即删除。

本书中的主要字符及其下角标多与国内现行标准、技术规范以及有关文献中所习用的一致。其他字符的下角标多用汉语拼音中的头一个字母,以求有助于读者的理解和记忆。

本书在某些章内例题稍多,提供教师选择,有的用于讲课,有的用于分析讨论,有的用于自学。

本书在基本内容的某几章之末,给出了较多的习题,以供选用。

本书也可作为高等工业学校某些专业90~105学时材料力学课程的教材,也可作为职工大学、电视大学或函授大学工科材料力学课程的教材。

本书由梁治明编写第五、六、七、八、十二和十三章,丘侃编写第一、二、三、四、九、十、十一和十四章以及附录A和B。

本书承武汉水利电力学院粟一凡同志和华中工学院易枚生同志审阅,南京工学院陆耀洪同志和姜明荣同志参加了审稿会,他们对书稿提出了许多建设性的宝贵意见。姜明荣同志除校阅了全部书稿外,还为全书绘制了底图,为第五、六、七、八、十二和十三章选配和试作了习题,缮写了书稿。编者在此对上述各位同志致谢。

限于编者的水平,书中一定存在着许多缺点、错误和欠妥之处,请广大教师和读者多多批评指正。

编 者

一九八四年八月

主要字符表

字 符	字 符 意 义	字 符	字 符 意 义
A	面积	P	集中力
A_{1q}	剪切面面积	P_n, P_σ	内力
A_{1r}	挤压面面积	P_{1j}	临界力
a	尺寸, 距离, 加速度	p	面分布力, 全应力, 功率
B	宽度	Q	剪力
b	尺寸, 宽度	q	变布线分布力
C	形心, 中点, 弹簧刚度, 积分常数	q_σ, q_τ	敏性系数
c	尺寸	R	合力, 反力, 半径, 循环特征
D	直径, 积分常数	r	半径, 比值
d	尺寸, 直径	S	面积静矩, 交变应力
E	弹性模量	s	距离, 曲线长度
E_p	位能	T	力在 t 轴上的投影, 扭矩, 周期
E_k	动能	t	切线, 厚度, 时间
e	尺寸, 偏心距	U	应变能
F	力, 轴力	u	x 轴方向位移分量, 能密度
f	挠度(绝对值)	u_x	形状改变能密度
G	剪切弹性模量	u_i	体积改变能密度
g	重力加速度	V	体积, 铅直力
H	水平力, 高度	v	y 轴方向位移分量, 挠度(代数值), 速度
h	高度	W	重力, 功
I_y, I_z	截面轴惯矩	W_x	抗弯截面模量
I_{yz}	截面惯积	W_p	抗扭截面模量
I_1, I_2	截面主惯矩	w	均布线分布力
I_p	截面极惯矩	x, y, z	坐标
i_y, i_z	截面惯性半径	$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	形心坐标
K	体积模量	X, Y, Z	力在 x, y, z 轴上的投影
K_d	动力系数	α	角度, 线膨胀系数, 矩形截面杆受扭时的系数
K_σ, K_τ	有效应力集中系数	$\alpha_\sigma, \alpha_\tau$	理论应力集中系数
k	$\sqrt{P_{11}/EI}$, 弹簧刚度	α_k	冲击韧度
L	长度, 跨度	β	角度, 表面质量系数, 矩形截面杆受扭时的系数
l	长度, 跨度	γ	角度, 角应变, 重度(即容重)
M_x, M_y, M_z	力矩	Δ	位移, 空隙, 动荷增量
M_A, M_B, M_O	外力偶矩	Δl	伸长
M_1, M_2		δ	伸长率
M, M_a, M_b	弯矩	ε	线应变
M_k	合成弯矩		尺寸系数
m	质量	$\varepsilon_\sigma, \varepsilon_\tau$	角度, 梁截面转角, 单位扭角, 体积应变
N	力在 n 轴上的投影, 循环次数	θ	压杆柔度, 弹簧伸长
n	法线, 安全系数, 转速(每分钟转数)	λ	泊松比, 压杆长度系数
n_σ, n_τ	安全系数	μ	
O	坐标原点		

续表

字 符	字 符 意 义	字 符	字 符 意 义
ρ	曲率半径, 极距	$[\sigma]$	许用正应力
σ	正应力	$\hat{\sigma}$	破坏正应力
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	x, y, z 方向的正应力	σ_h	相当应力
$\sigma_y; \sigma_l$	压应力; 拉应力	σ_e	应力振幅
σ_t	强度极限	σ_m	平均应力
σ_e	弹性极限	σ_L	疲劳极限
σ_s	比例极限	τ	剪应力
σ_s	屈服点(屈服极限)	$[\tau]$	许用剪应力
$\sigma_{0.2}$	屈服强度	ϕ	角度, 扭角
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力 ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$)	ψ	面积缩减率
$\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}$	主应力	ω	角速度

目 录

序	1
---------	---

主要字符表	1
-------------	---

第一章 绪论

§ 1-1 材料力学的任务和研究方法	1
§ 1-2 变形固体及其基本假设	2
§ 1-3 杆件变形的形式	4

第二章 轴心拉伸和轴心压缩

§ 2-1 轴心拉伸和轴心压缩的概念及实例	7
§ 2-2 内力 截面法	8
§ 2-3 直杆受拉伸或压缩时横截面上的内力 轴力图	10
§ 2-4 应力	13
§ 2-5 直杆受拉伸或压缩时横截面上的应力	15
§ 2-6 直杆受拉伸或压缩时斜截面上的应力	17
§ 2-7 许用应力 直杆受拉伸或压缩时的强 度条件	20
§ 2-8 直杆受拉伸或压缩时的变形 虎克 定律	24
§ 2-9 拉伸和压缩中的超静定问题	30
§ 2-10 应力集中的概念	36
* § 2-11 圆筒形薄壁容器的应力	38
习题	39

第三章 材料受拉伸或压缩时的力学性质 安全系数的选定

§ 3-1 材料受拉伸时的力学性质	47
§ 3-2 材料受压缩时的力学性质	53
§ 3-3 材料受拉伸或压缩时的应变能	55
§ 3-4 延性材料与脆性材料的力学性质特点 的比较	58
§ 3-5 安全系数的选定	59

第四章 剪切

§ 4-1 剪切的定义及实例	61
§ 4-2 剪切的实用计算	62
§ 4-3 挤压的实用计算	64

§ 4-4 铆钉联接及螺栓联接的强度计算	66
----------------------------	----

习题	68
----------	----

第五章 扭转

§ 5-1 扭转的概念	71
§ 5-2 扭转外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图	72
§ 5-3 薄壁圆筒的扭转	75
§ 5-4 圆轴扭转时的应力和强度计算	79
§ 5-5 圆轴扭转时的变形和刚度计算	83
§ 5-6 圆轴扭转时的弹性应变能	86
§ 5-7 矩形截面杆的扭转	88
* § 5-8 密圈螺旋弹簧	90
习题	94

第六章 截面图形的几何性质

§ 6-1 简单截面图形的静矩和形心	100
§ 6-2 组合截面的静矩和形心	102
§ 6-3 简单截面的惯矩和惯性半径	104
§ 6-4 惯矩的平行移轴公式	107
§ 6-5 组合截面的惯矩	108
* § 6-6 截面的惯积 惯积的平行移轴公式	110
* § 6-7 转轴公式 主惯轴和主惯矩	112
习题	116

第七章 弯曲内力

§ 7-1 弯曲的概念	121
§ 7-2 梁的计算简图 静定梁的形式	122
§ 7-3 梁的内力——剪力和弯矩	124
§ 7-4 剪力图和弯矩图	128
§ 7-5 分布载荷集度、剪力及弯矩之间的 关系	132
习题	137

第八章 弯曲应力

§ 8-1 弯曲正应力	144
§ 8-2 梁的正应力强度计算	150
§ 8-3 弯曲剪应力	154
§ 8-4 梁的剪应力强度校核	161

§ 8-5 提高弯曲强度的措施	163
* § 8-6 不对称截面梁的平面弯曲	170
* § 8-7 斜弯曲	174
习题	176

第九章 弯曲变形 超静定梁

§ 9-1 直梁的弯曲变形和位移	181
§ 9-2 直梁挠曲线的近似微分方程	183
§ 9-3 用积分法求梁的截面转角和挠度	185
§ 9-4 挠曲线近似微分方程的分段积分	189
§ 9-5 根据叠加原理求梁的截面转角和挠度	194
§ 9-6 直梁的刚度条件	200
§ 9-7 直梁弯曲时的弹性应变能	201
§ 9-8 简单超静定梁及其解法	204
习题	214

第十章 应力状态 强度理论

§ 10-1 一点处的应力状态	218
§ 10-2 二向应力状态分析——解析法	222
§ 10-3 二向应力状态分析——图解法	227
§ 10-4 三向应力状态中的最大应力	232
§ 10-5 广义虎克定律	233
§ 10-6 三向应力状态下的弹性能密度	235
§ 10-7 强度理论的概念	237
§ 10-8 几个主要强度理论	238
§ 10-9 应用强度理论进行强度计算	242
§ 10-10 关于强度理论的综述	245
习题	246

第十一章 组合变形

§ 11-1 组合变形的概念和实例	251
§ 11-2 拉伸或压缩与弯曲的组合	252
§ 11-3 偏心拉伸和偏心压缩	257
§ 11-4 弯曲与扭转的组合	263
习题	266

第十二章 压杆稳定

§ 12-1 弹性稳定的概念	275
§ 12-2 两端铰支压杆的临界力	276

§ 12-3 杆端约束不同的压杆临界力	279
§ 12-4 临界应力及临界应力图	281
§ 12-5 压杆稳定性的校核	284
* § 12-6 提高压杆稳定性的措施	287
习题	289

第十三章 动载荷

§ 13-1 动载荷问题的概念	293
* § 13-2 构件作变速运动时的应力	294
§ 13-3 构件受冲击时的应力和变形	299
§ 13-4 提高杆件抗冲击能力的措施	305
习题	307

第十四章 疲劳强度

§ 14-1 交变应力及其循环特征	310
§ 14-2 疲劳破坏	312
* § 14-3 疲劳裂纹的形成和扩展	313
§ 14-4 疲劳极限	315
§ 14-5 影响疲劳极限的重要因素	317
§ 14-6 提高构件疲劳强度的措施	319
§ 14-7 疲劳极限图线	320
* § 14-8 疲劳强度计算	322

附录 A 奇异函数在弯曲问题中的应用

§ A-1 用积分法求梁变形时奇异函数的应用	325
§ A-2 用直接积分法求解超静定梁时奇异函数的应用	335

附录 B 强度理论的破坏准则图 工作安全系数

§ B-1 强度理论的破坏准则图	338
§ B-2 几个强度理论的比较	340
§ B-3 二向应力状态下的强度计算	341

附录 C 简单截面图形的几何性质

附录 D 型钢规格表

表 D-1 热轧等边角钢	348
表 D-2 热轧不等边角钢	353
表 D-3 热轧普通槽钢	357
表 D-4 热轧普通工字钢	359

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务和研究方法

在工农业生产、交通运输和勘探建筑等工程中,广泛地运用各种机械设备和工程结构。机械的零件和结构的部件,统称为构件。一切构件都是用固体形态的工程材料制成的。在使用过程中,每一机械或结构的各个构件都要受到相邻构件或其他物体对它的作用;换言之,都要受到外力。

根据长期经验和大量实验,人们知道:在外力作用下,一切固体的几何形状和尺寸大小都要发生一定程度的改变,这种改变,在材料力学中,称为变形。每一固体,当所受外力的大小达到某一数值时,就会发生断裂(例如吊索被拉断、垫块被压碎以及螺栓被剪开等等),也有时它的几何外形不能保持原状(如细长直杆两端受压而突然变弯)。在材料力学中,前者称为破坏,后者称为原有的平衡形态丧失稳定,简称为失稳。固体抵抗变形的能力称为刚度,抵抗破坏的能力称为强度,抵抗失稳的能力称为稳定性。

由研究获知:构件的强度、刚度和稳定性,与其本身的几何形状、尺寸大小、所用材料、受力情况以及工作环境等等都有密切的关系。

在工程上,为了保证每一机械或结构始终能够正常地工作而不致失效,在使用过程中,不容许有任何一个构件发生破坏或失稳而不安全^①,也不容许有任何构件由于变形过大(或过小)而不合用。也就是说,各个构件都必须具有足够的强度和稳定性,还要具有恰当的刚度。

工程中所用的任何一个机械或结构,应该是既安全又适用,而且设计时还要使它是最经济的。安全、适用和经济是任何一个机械或工程结构所必须满足的三个基本要求。

此外,在某些情况下,机械或工程结构还须满足一些特殊要求。例如,紧急的工程结构要求施工或制造简便、电讯和输电设备要求绝缘,化工机械和设备要求耐腐蚀,炼油机械和设备要求耐高温、耐高压等等。当然,在工程设计中,还有好些因素应该考虑,例如化工容器要有可靠的密封,一般机械应该尽量减小噪音等等。

上述这些要求之间,通常是存在着矛盾的。例如,为了提高工程结构安全的程度,常须耗用较好较多的材料,提高加工的精密度;但是为了使所设计的结构是最经济的,却须选用较廉的材料(往往质量较差),并应尽量减少材料的消耗,降低加工的要求。必须注意的是,在工程设计中,片面地追求经济效果来降低造价而忽视安全性,会带来严重的危险事故;但过分地强调安全而忽视经济性,就会引起浪费而违背节约原则。正确地处理这种矛盾,在工程实际中,是非常重要的。

^① 在某些安全装置中,有时为了防止整个机械或结构发生严重损毁,设计时有意识地使少数构件在一定大小的外力作用下发生破坏,从而保证整体的安全

课题。

在工程上,除了设计之外,有时须要对现有的构件,校核其尺寸大小是否足够,也有时要对已经制成的构件,估算其承载能力(即所能承受的最大外力)。

既然构件的强度、刚度和稳定性都与所用材料有密切关系,显然,对于设计、校核以及计算承载能力的工作,首先必须了解材料的力学性能。各种材料的力学性能,是可以通过实验研究来测定的,而且是必须通过实验研究才能获得的。

材料力学这门科学的主要任务是,研究各种工程材料和构件在外力作用下所表现的力学性能,为工程设计提供必要的理论基础和计算方法;从而为构件选择适当的材料,确定合理的形状和足够的尺寸,以保证工程结构和机械设备在满足安全、适用的前提下,符合最经济的要求。

材料力学和其他某些科学一样,在某一问题的探索研究中,有实验、假设、理论分析以及验证等过程。

材料力学所研究的是实际问题。实际事物往往是很复杂的。在研究工作中,首先是通过实验来观察具体的现象,以求探索出问题的本质;然后略去那些与本题无关或影响不大的次要性质,保留与本题有密切关系的主要性质,从而立出假设,把问题抽象化,即用理想的情况来代替真实的情况,用理想的力学模型来代替实际物体,作为研究的依据。

实际问题经过抽象化并立出假设之后,就便于进行理论分析了。在材料力学的理论分析中,常以数学和理论力学为工具。

理论分析所得的结论以及由这些结论所导出的计算方法是否正确、是否合用,需要再通过实验来验证,还必须经过生产实践的考验。

在材料力学这门科学的发展过程中,实验、理论分析和生产实践三者是紧密联系而不可分割的。

§ 1-2 变形固体及其基本假设

上节中已指出,在科学研究中,常须先由实验来观察现象,以探索事物的本质,然后略去次要性质,保留主要性质,经过抽象化并作出假设,把真实物体简化为理想模型,从而进行理论分析。

每一门科学只是从某一角度来研究具体事物某一方面的问题。真实物体具有多种多样的复杂性质,其中哪些是主要的而必须保留,哪些是次要的而可以略去,必须根据这门科学的研究范围来确定。

前已指明,一切固体在外力作用下都要发生变形。换言之,它们都是变形固体。

在理论力学中,人们所研究的是物体运动和平衡问题的一般规律。对于这种问题,固体的微小变形,影响很小,是一个可以忽略的次要因素。因此,可以认为,在外力作用下,固体的几何形状和尺寸大小都绝对不变。这就是用绝对刚体这个抽象的力学模型代替真实的固体,作为研究对象,来进行理论分析。

在材料力学中,人们所研究的是构件的强度、刚度和稳定性问题。对于这类问题,固体的变形虽然很小,但却是主要因素之一,必须予以考虑而不能忽略。所以在研究构件的强度、刚度或

稳定性问题时,必须考虑到:一切构件在外力作用下都是变形固体。

既然在材料力学的研究中,要考虑到一切构件在外力作用下都是变形固体,那么就要进一步明确固体在变形方面有何重要性质。

在外力作用下固体各个质点间的相对位置有所改变,由经验和实验研究获知,一般固体都或多或少地具有抵抗这种改变的能力;在除去外力时,固体本身能消除由外力所引起的变形而趋于恢复原状。这是变形固体的一个基本性质,称为弹性。但是,若固体所受的外力超过了某一限值,则除去外力后,它就不能完全恢复原状。随着除去外力而消失的那一部分变形称为弹性变形,不能消失而遗留下来的那一部分变形称为塑性变形,也称为残余变形或永久变形。

某些固体在外力作用下能产生较大的塑性变形。这种性质称为延性^①。

实验研究指出:由常用的工程材料制成的构件,在常温下,当所受外力未超过某一限值时,可以认为是完全弹性的。这个范围称为弹性范围。若外力超过了这个限值,就要发生显著的塑性变形。

在材料力学中,把固体的弹性范围作为研究的主要范围。

为了简化性质复杂的变形固体,在材料力学中,常用下列几个基本假设,作为对于强度、刚度和稳定性问题进行理论分析的共同基础。

1. 材料连续性假设

假设构成变形固体的物质完全充满了固体所占的整个几何空间而毫无空隙存在。

实际上,构件的材料是由很多很多微粒或晶体组成的,各微粒或晶体之间是有空隙的。但是,由于这种空隙和材料力学中所研究的构件的尺寸比起来都极为微小,因而,以这个假设为根据来进行理论分析,所得的结论,不致产生显著的误差。

2. 材料均匀性假设

假设在固体的体积之内,各处的物理性质完全相同。

实际上,组成构件材料的各个微粒或晶体,彼此的性质并不完全相同。但是,由于构件所包含的极为微小的颗粒或晶体的数目极多,而且排列得很不规则,因而,它们的性能的统计平均值就足以反映构件材料的性质。也就是可以认为,材料的物理性质是均匀的。

上面这两个假设,对钢、铜等金属材料相当吻合,对砖、石、木材以及混凝土等材料较差,不过仍可采用。

3. 材料各向同性假设

假设固体的每一部分沿各个不同方向的物理性质完全相同。

实际上,组成构件材料的各个晶体是各向异性的。不过,这些晶体都远小于构件尺寸而又杂乱地排列着,因而构件材料的统观性质接近于各向同性。铸钢、铸铜和做得很好的混凝土,常被认为是各向同性材料。

钢丝、各种轧制的钢材和纤维整齐的木材等等,只在一定的方向上才具有相同的性质,称为

^① 有些力学文献中称它为“塑性”。

单向同性材料。在材料力学中,对于各向同性材料的研究结果,可以近似地用于一些单向同性材料。

根据上述几个假设,我们可以认为,在固体内各处、沿各方向的变形和位移等物理量是连续的,可以用位置坐标的连续函数来表示。因此,我们可以从固体内任何部分、沿任何方位,假想地取出无限小的单元体(即无限小的微块)来进行分析研究^①,而且可以把那些由大尺寸试样通过实验研究所获得的材料性质移用到无限小的单元体上去。这就使我们在材料力学的研究中,可以应用无限小的分析方法。

4. 小变形假设

由于各个固体的形状、尺寸及材料性质各有不同,因而,在外力作用下,有些固体的变形很不明显,也有些固体的变形很为显著,不过,在工程中,一般构件的变形与构件本身的原始尺寸比较起来通常是很微小的,因而在构件各点处与变形相对应的位移也是很微小的。

由于变形微小,所以,研究构件整体或其一部分的平衡或运动时,可以略去变形和与变形相对应的位移而采用构件的原始尺寸和外力作用点的原始位置。这样做所引起的误差很为微小,可以不考虑,而实际计算却大为简化。

除上述几个基本假设之外,在材料力学中,还常常采用一些简化变形或内力的假设。在本书后面的某些章节中,将分别予以指出。

§ 1-3 杆件变形的基本形式

实际构件的几何形状是多式多样的。在强度、刚度等问题中,对于任意形状的构件,难以进行理论分析;但是对于形状简单的构件,则研究较易。材料力学以杆状构件为主要研究对象。

杆状构件常简称为杆件或杆,形状细长。沿杆长的方向称为纵向,与纵向垂直的方向称为横向。杆的纵向尺寸远远大于其横向尺寸^②。

沿着杆的横向所取的截面称为横截面。各横截面形心的连线称为杆的形心轴,有时称为中心线,或简称为轴线^③。横截面和轴线是杆的重要几何特征。

各处横截面的形状完全相同而且大小完全相等的杆称为等截面杆(如图 1-1, *b* 和 *c* 所示);否则就称为变截面杆(如图 1-1, *a* 所示)。轴线为曲线的杆称为曲杆(如图 1-1, *a* 和 *b*);轴线为直线的杆称为直杆(如图 1-1, *c* 和 *d*)。等截面直杆有时简称为等直杆(如图 1-1, *c*);几段的截面彼此不等而各段内为等截面的直杆常称为阶梯杆(如图 1-1, *d* 所示)。

有关等直杆的研究结果和计算方法,有时可近似地推广用于小曲率的曲杆和横截面沿杆轴变化缓和的变截面直杆。

① 根据上述几个假设,这种单元体虽然取得远远大于组成固体的微粒,但在数学上却可以认为是无限小的。因此,可以应用无限小的分析方法。

② 工程实际中的杆状构件,大多数是很细长的。本书为明显计,各章插图中的杆件画得较为粗短。

③ 关于杆的轴线和横截面,可进一步解释如下:

设有一个平面图形 $C-C'$ (参阅图 1-1),沿某一直线或曲线 AB 运动。在运动中,图形的形心沿 AB 移动,图形平面保持与 AB 垂直。于是图形所经过的空间就形成一个杆状体。线 AB 称为该杆状体的形心轴,简称为轴线;处于任一位置的平面图形 $C'-C'$ 就是该杆状体的横截面。

实际构件的形状相当复杂,不过常常有很多构件可以近似地简化为杆件来进行分析研究.例

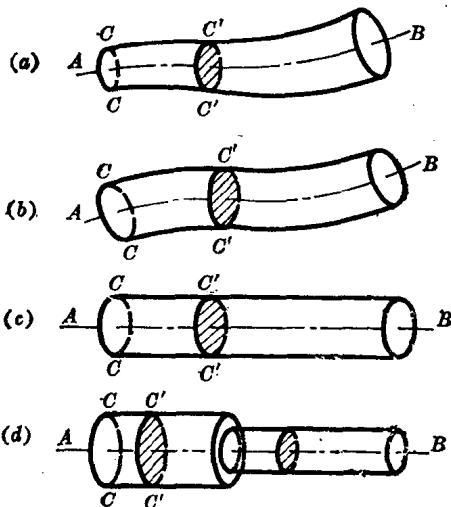


图 1-1

如建筑结构中的梁、柱、烟囱, 机械设备中的传动轴、螺栓等等, 在材料力学中都可作为直杆来处理; 起重吊钩就可作为曲杆来处理.

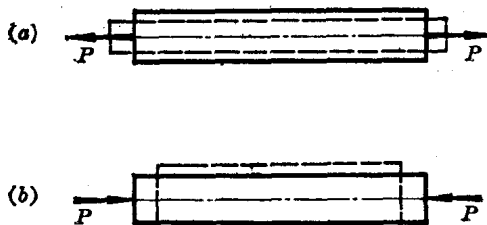


图 1-2

由于外力作用的方位和指向不同, 直杆所产生的变形也将随之而异. 直杆变形的基本形式有下列几种, 现将其最简单的受力情况和主要变形现象分述如下:

1. 轴心拉伸和轴心压缩

若直杆在两处各受一个集中外力作用, 二者大小都等于 P 而指向相反, 作用线都与杆的轴线重合, 则杆的主要变形就是杆长的改变. 两力向外时, 杆受拉而伸长, 如图 1-2, a 所示. 这种变形形式称为轴心拉伸或简单拉伸. 两力向内时, 杆受压而缩短, 如图 1-2, b 所示. 这种变形形式称为轴心压缩或简单压缩.

在工程实际中, 例如桁架在外力作用下, 有些构件的主要变形就是轴心拉伸, 而另一些构件的主要变形就是轴心压缩.

2. 扭转

若直杆在两处各受一个外力偶作用, 二者矩的大小都等于 M . 而转向相反, 作用面都垂直于杆的轴线, 则在杆的侧面上原来平行于杆轴的诸直线就都变成螺旋线 (在小变形下近似于斜直线), 如图 1-3 所示. 这种变形形式称为扭转.

在工程实际中, 例如汽车方向盘的轴和某些设备手轮的轴, 其主要变形就是扭转.

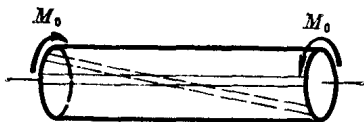


图 1-3

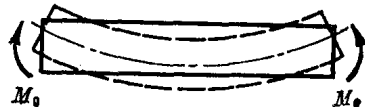


图 1-4

3. 弯曲

若直杆在两处各受一个外力偶作用, 二者矩的大小都等于 M . 而转向相反, 作用面都与包含

杆轴的某一纵平面重合,则直杆就要变弯,如图 1-4 所示。这种变形形式称为弯曲。

在工程实际中,例如吊车梁的主要变形就是弯曲。

在工程中,常常遇到一些构件,它们的变形较为复杂。不过杆件的复杂变形可以看成是由上述几种基本形式的变形组合起来的。杆件的这种变形称为组合变形。

本书在以下几章中,将先分别讨论杆件变形的各种基本形式,然后讨论组合变形。

第二章 轴心拉伸和轴心压缩

直杆变形的几种基本形式之中,以轴心拉伸和轴心压缩的情况较为简单。

轴心拉伸和轴心压缩常分别简称为拉伸和压缩。有关拉伸和压缩问题的一些概念和研究方法,在材料力学中是基本的,也是重要的。有些概念和方法,对于直杆的其他几种基本变形和组合变形的问题来说,也是类似的。

本章介绍关于直杆在拉伸或压缩下强度和刚度问题的理论分析和实际计算的方法。拉伸与压缩,虽然在纵向变形方面,一为伸长,一为缩短,但是二者在强度和刚度方面,问题的本质是属于同一类的。因此,本章把二者合并起来讨论。

§ 2-1 轴心拉伸和轴心压缩的概念及实例

在机械设备和工程结构中,常常用到一些直杆形的构件。这种构件在好几处受到外力作用,每一处所受外力的合力作用线都与杆的形心轴重合。构件在这种受力情况下所产生的变形为拉伸或压缩。若将仅在两端附近受到外力作用的这种构件单独取出,并将其本身形状和受力情况加以简化,就可得到计算简图,如图 2-1, *a* 或 *b* 所示。受轴心拉伸和受轴心压缩的直杆分别称为

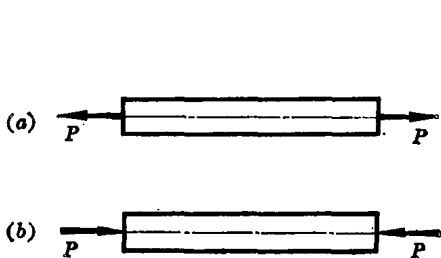


图 2-1

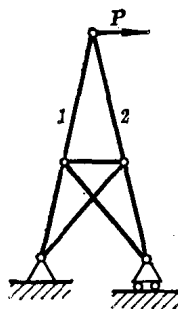


图 2-2

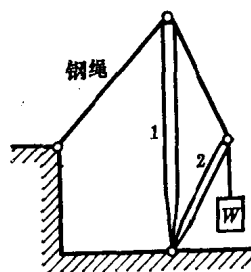


图 2-3

拉杆和压杆^①。例如,图 2-2 所示塔架的各个构件和图 2-3 所示起重架中的杆件,若不考虑其所受的重力,就都是这种情况。其中,塔架的杆 1 是拉杆,塔架的杆 2 是压杆,而起重架的杆 1 和杆 2 则都是压杆。另外,起重架的钢绳却可当作拉杆来处理^②。

① 对于压杆,本章只讨论简单压缩方面的问题。至于有关突然发生弯曲而失稳的问题,将在第十二章中讨论。

② 绳索不能抵抗压缩或弯曲,只能抵抗拉伸。

§ 2-2 内力 截面法

一、内力的概念

上节所述拉杆,当其两端所受外力的大小达到某一限值 P_0 时,就会发生断裂,沿着断口分开而成为两段。在外力之值尚未达到 P_0 时,杆虽被拉而伸长,却不断开。可见杆未断时,在上述断口的两侧部分,有分布力相互作用着。显然,在外力使杆件产生其他形式的变形时(包括组合变形),杆内各部分之间也有力相互作用着。不难理解,一切变形固体也都如此。

固体的某一部分与其他部分之间相互作用的力,一般通称内力。固体未受外力作用时,各质点之间本来就有力相互作用着。在外力作用下,固体内部各质点间的相对位置发生变化,致使固体产生变形;与此同时,内力也有所改变。这种由于外力作用而引起的内力改变量,称为附加内力。

当拉杆所受的外力在上述限值 P_0 以内逐渐增大或减小时,杆的变形也将随之而增减,同时,附加内力抵抗着外力,使杆不致断开。由此可见,附加内力与杆件的强度和刚度都有密切关系。显然,不仅拉杆如此,一般变形固体也都如此。这种由外力所引起的附加内力,在材料力学的分析研究中,是一个重要因素。为方便计,常把它简称为内力。

二、截面法

在我们对于构件的强度、刚度或稳定性问题进行理论分析和实际计算的过程中,往往首先必须求出由于已知外力的作用,在构件某些假想截面上所引起的内力总和。为此,常须采用下述截面法。

设有一任意形状的构件(图 2-4, a),它在若干外力作用下处于平衡状态。假想在某一处用一个平面把它切开。既然整体处于平衡,那么其中任一部分也必处于平衡。但是作用于任一部分上的若干外力,一般并非平衡力系,可见在截面上必有附加内力存在(如图 2-4, b 或 c 所示)。就每一部分而言,这些分布在截面上的内力就是其他部分对该部分的作用力。由作用力与反作用力定律得知,在截面上每一处,截面两侧部分相互作用的内力,必然大小相等而方向相反。就整体来说,这些内力对构件平衡的影响互相抵消。但是对每一部分来说,这种内力却转化为外力。它与该部分原来所受的外力组成一个空间平衡力系。因此,根据平衡条件就可求出截面上这种分布内力的总和。一般情况下,截面上这种分布内力的总和为一个力和一个力偶。在材料力学

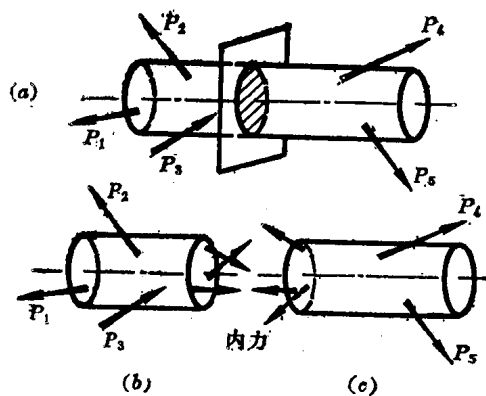


图 2-4

中,所谓构件横截面上的内力,指的就是这种分布内力的总和。

简言之:假想用平面①将受力物体切开而取其某一部分,以内力代替弃去部分对该部分的作用,然后由该部分的平衡条件求出截面上的内力。这个方法称为截面法,它是材料力学中应用得很广泛的方法之一。

显然,上述截面法,适用于各种变形形式下的杆件,也适用于一切变形固体。

截面法也还适用于运动中的构件,只要运用惯性力法,根据动力平衡的条件②,仍可求出截面上分布内力的总和。

三、圣维南原理

不仅固体各部分之间相互作用的内力是分布力,而且作用在固体上的外力也是分布力。所谓集中力,只是一个抽象的概念,它指的是实际作用于受力固体上很小范围内的分布力的合力。用合力来代替分布力,是为了便于分析研究。例如上节所述的拉杆和压杆,在实际工程结构中,各杆两端与其他构件是焊接在一道或通过螺栓联接起来的。在杆端附近,外力的分布情况相当复杂。图 2-1, *a* 和 *b* 所示,是经过简化后得到的计算简图。这里所谓简化,就是用刚体力学中的合力来代替作用于杆端附近情况复杂的分布外力。既然在材料力学中必须考虑到一切构件在外力作用下都是变形固体,那么是否能应用刚体力学中的原理和方法,就是一个非常重要的先决问题了。

根据研究获知:若限制在弹性固体上某一小范围内,用刚体力学中的等效力系来代替实际力系,则只改变这个小范围附近实际内力的分布情况③,而在较远处,即在距离大于该小范围的尺寸之处,影响较小,可不考虑,这就是著名的圣维南原理④,它的正确性已被证实。

例如图 2-5, *a* 中所示的直杆,上端固定,下端附近有一缆绳,穿过小孔而悬一重为 W 的物体。该杆的受力图如图 2-5, *b* 所示。应用圣维南原理,可作出如图 2-5, *c* 所示的计算简图。

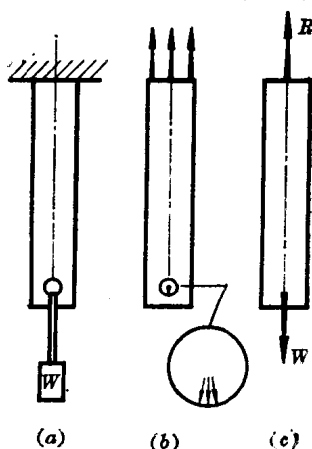


图 2-5

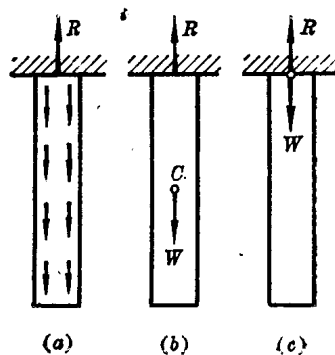


图 2-6

- ① 可用一个或几个平面或曲面,视问题的情况而定。
- ② 有些文献中称为动静法。
- ③ 在外力作用处的小范围内,固体的实际变形和内力分布情况常很复杂。
- ④ St. Venant's Principle.