

— 高等学校教材 —

材料力学

(删订本)

杜庆华等编著

孙训方 方孝淑 陆耀洪删订

人民教育出版社

76251
4402

高等学校教材



材 料 力 学

(刪訂本)

杜庆华等編著
孙訓方 方孝淑 陆耀洪刪訂

人民教育出版社

本书系根据1962年5月审訂的150学时类型“材料力学教学大綱(試行草案)”,对杜庆华等編著的“材料力学”1963年第2版进行刪改和修訂而成。可作为高等工业学校机械、土建类专业“材料力学”課程的試用教科书,也可供其他专业学生和工程技术人员参考。

本书合訂为一册出版,共二十章。内容包括基本概念、直杆的軸向拉伸和压缩、拉伸和压缩时材料机械性质的研究、拉伸和压缩的靜不定問題、剪切、应力状态理論基础、强度及塑性理論、截面的几何性质、扭轉、梁的弯曲、剪力与弯矩、梁的应力、梁的变形、在任意載荷作用下构件的强度計算、任意載荷作用下杆件的剛度計算、靜不定系統、力法、变形系統平衡的穩定問題、动載荷問題、交变应力下构件的强度計算。这些内容基本上符合上述教学大綱基本部分的要求。

本书刪訂分工如下:孙訓方——第一、二、四、十五、十六、十七、十八、二十各章;方孝淑——第三、五、十、十一、十二、十三各章;陆耀洪——第六、七、八、九、十四、十九各章。全部刪訂工作由孙訓方同志主持。唐山铁道学院奚紹中同志参加了对全书的加工整理工作。这一刪訂本曾經杜庆华、張福范、賈有权三位原編者和阮孟光同志审閱。

材 料 力 学

(刪訂本)

杜庆华等編著

孙訓方 方孝淑 陆耀洪刪訂

北京市书刊出版业营业許可証出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店經售

统一书号K13010·1123 开本 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张 18
字数 410,000 印数 15,001—27,300 定价(7) ¥2.00
1963年12月第1版 1964年12月北京第3次印刷

刪訂版序

1963年5月高等工业学校力学課程教材編审委员会第二次會議上,材料力学教材編审小組的同志鉴于当前还缺乏一本符合1962年5月审訂的150学时类型“材料力学教学大綱(試行草案)”要求的教科书,因此建議先对杜庆华等編著的“材料力学”一书1963年第2版作一些刪改和修訂,出版一本刪訂本,以求基本上能滿足当前的教学需要。这一建議經教育部同意后,交由我們承担了刪改和修訂工作的任务。

刪訂工作所遵循的主要原則是:貫徹“少而精”的原則,尽量符合新訂教学大綱的要求。

具体的刪訂情况有如下几方面:凡教学大綱的基本部分中不要求讲授的內容,例如原书中的彈性地基上的梁、薄壁杆件的扭轉和弯曲、平面曲杆的强度和剛度計算、厚壁圓筒与薄壁容器、考虑材料的塑性时杆件的計算和实验应力分析等六章,以及其余各章中的某些节均予以删除;为了滿足教学大綱基本部分的要求,对原书沒有的內容,例如扭轉靜不定問題、两种材料的組合梁、交变应力下許用应力的折减系数和提高构件持久极限的措施等都作了增补;对于教学大綱基本部分中帶有*号而原书已有的內容,基本上都予以保留,而原书沒有的則因限于時間而未予增补;对原书的例題作了删除和更換,也增补了少数例題(例如用力法解簡單靜不定圓环);对原书內容过多但屬於大綱基本部分的章节,例如截面的几何性质一章,以及梁的撓曲綫的通用方程、弯曲中心的概念、纵横弯曲的概念和扭轉与弯曲联合作用的交变应力下构件的强度校核等节,为了貫徹“少而精”的原則,都重新改写了;对大部分內容,都在文字上作了精簡和修改,并且尽可能地在前后統一方面作了加工;最后,还对全书的名詞、术語以及字符作了統一和訂正的工作,并增加了一个主要字符表。

刪訂工作由孙訓方、方孝淑、陆耀洪同志参加,并由孙訓方同志主持进行。刪訂本最后經过杜庆华和阮孟光两同志审查,并与原編著者进行了討論,取得了大体上一致的意見。唐山铁道学院奚紹中同志对全书进行了加工整理,为本书編写了主要字符表。

由于時間所限,以及由于参加刪訂工作同志对于在教学中貫徹“少而精”的原則体会不深和經驗不足,在这本刪訂本中不可避免地还存在有不少粗糙的地方和缺点。同时由于对原編著者的意图体会不够,难免刪去了原书中某些精采的內容。这些都希望使用本书的同志能予以批評和指正。

刪訂者

一九六三年八月

原 序

材料力学是各个工程专业有关强度科学的基础，它是工程教育中很重要的一门课程。过去几年来我们在教学中一直采用苏联教材译本。由于苏联教材内容丰富和联系实际，使我们的教学向前推进一步。但是学习苏联必须很好地结合我国的实际，因此完全有必要写一本为我国学生易于接受而同时又反映这一门科学最新成就的教材。按高等教育部交给的任务，清华大学、天津大学、唐山铁道学院根据现有的机械、土建和非机械土建类的材料力学教学大纲，在历年编写的原有讲义的基础上写成了这本试用教材。

这本教材是三校在精神上和原则上基本取得一致的情况下，由作者们分工编写的，因而各个部分仍保留着不同的风格。本书编写的分工如下：杜庆华——第一、二、七（其中§7-1—7-4系苏翼林写）、八、十六、二十一章；孙训方——第六、九、十、十四、十九、二十三、二十五、二十六各章以及第二十四章的§24-1—24-4；贾有权——第三、四、五、二十、二十二章以及第二十四章的§24-5—24-7；张福范——第十一、十二、十三、十五、十七、十八章。杜庆华负责主编，并由三校材料力学教研组给予了大力支持。

由于过去几年我们三校一直采用Н. М. Беляев著《材料力学》（王光远等译）作为教本，所以本书无疑地受到了它的影响。有几节和某些图表是标明引自该书的。但重要的特点是在力求简易明了的条件下，把每一个问题的最新观点用较少的篇幅引进到教材中来。本书也力求注意引用我国和我们自己工作的数据。我们正在继续努力，希望在下一版中将能更多地表现这些方面。

必须请使用本书的同志注意，全书的内容并不是课堂所必讲的。课堂讲授的内容可以比本书少得多，而且也可以和本书不尽相同。

我们原期对这本书能有三、五年的编写时间，但是由于教学的需要和兄弟学校的督促，不得不提前付印。由于付印匆促和水平所限，这本书在内容和编排上都存在着缺点，希望读者能予批评指正。

編著者

主要字符表

字符	代表意义	常用单位	字符	代表意义	常用单位
x, y, z	坐标轴 (x 轴代表杆件轴线) 或坐标	cm	$\tau_{\parallel}$	剪切比例极限	kg/cm ² , kg/mm ²
N	轴力(外力)	kg, t	τ_{τ}	剪切流动极限	kg/cm ² , kg/mm ²
	功率(马力)		τ_{σ}	剪切强度极限	kg/cm ² , kg/mm ²
N_{σ}	轴力(内力)	kg, t	$[\tau]$	剪切许用应力	kg/cm ² , kg/mm ²
M_{κ}	扭矩(外力)	kg-cm, t-m	ε	相对线变形, 线应变	无因次量
M_{τ}	扭矩(内力)	kg-cm, t-m		尺寸系数	无因次量
M	弯矩(外力)	kg-cm, t-m	γ	相对剪变形	无因次量
	力偶矩	kg-cm, t-m	γ_0	材料的单位体积重	kg/cm ³ , t/m ³
M_{σ}	弯矩(内力)	kg-cm, t-m	U	变形位能	kg-cm
$\bar{M}$	虚梁的弯矩	kg-cm ³ , t-m ³	T	动能	kg-cm
$M_{\kappa p}$	相当力矩	kg-cm, t-m	A	外力所作功	kg-cm
Q	剪力(外力)	kg, t	u	比位能	kg-cm/cm ³
Q_{τ}	剪力(内力)	kg, t	u_{ϕ}	形状改变比位能	kg-cm/cm ³
$\bar{Q}$	虚梁的剪力	kg-cm ² , t-m ²	u_v	体积改变比位能	kg-cm/cm ³
P_{κ}	临界力	kg, t	δ	单位残余伸长(伸长率)	无因次量
F	截面面积	cm ² , mm ²		线位移	cm
S	静矩	cm ³ , mm ³	ψ	截面的单位收缩(截面收缩率)	无因次量
J_y, J_z	轴惯性矩	cm ⁴ , mm ⁴	θ	体积的单位改变	无因次量
J_p	极惯性矩	cm ⁴ , mm ⁴		截面的转角	度
J_{yz}	惯性积	cm ⁴ , mm ⁴	φ	截面的扭转角	度
i_y, i_z	惯性半径	cm, mm		折减系数	无因次量
W_y, W_z	抗弯截面模量	cm ³ , mm ³	$[\varphi]$	容许扭转角	°/m
W_p	抗扭截面模量	cm ³ , mm ³	f	梁的最大挠度	cm, mm
W_{τ}	塑性抗弯截面模量	cm ³ , mm ³	$[f]$	容许挠度	cm, mm
			λ	柔度	无因次量
σ	正应力	kg/cm ² , kg/mm ²	E	拉压弹性模量	kg/cm ²
σ_a	应力幅度	kg/cm ² , kg/mm ²	μ	泊松系数, 横向变形系数	无因次量
σ_m	平均应力	kg/cm ² , kg/mm ²		长度系数	无因次量
r	交变应力的循环特性	无因次量	G	剪切弹性模量	kg/cm ²
	圆弧半径	cm, mm	k	安全系数(强度)	无因次量
σ_{cm}	名义挤压应力	kg/cm ² , kg/mm ²	k_y	稳定安全系数	无因次量
σ_{np}	折算应力, 相当应力	kg/cm ² , kg/mm ²	n	安全系数(交变应力中用)	无因次量
$[\sigma]$	拉压许用应力	kg/cm ² , kg/mm ²		比例尺	无因次量
$[\sigma_{cm}]$	挤压许用应力	kg/cm ² , kg/mm ²		轴的旋转速	转/分, 度/秒
$[\sigma_y]$	稳定许用应力	kg/cm ² , kg/mm ²	n_0	正应力安全系数(交变应力中用)	无因次量
σ_H	比例极限	kg/cm ² , kg/mm ²	n_{τ}	剪应力安全系数(交变应力中用)	无因次量
σ_Y	弹性极限	kg/cm ² , kg/mm ²	$n_{0\tau}$	弯-扭交变应力下的安全系数	无因次量
σ_T	流动极限	kg/cm ² , kg/mm ²	α_k	理论应力集中系数	无因次量
$\sigma_{0.2}$	名义流动极限	kg/cm ² , kg/mm ²	K_{σ}, K_{τ}	有效集中系数	无因次量
σ_B	强度极限	kg/cm ² , kg/mm ²	K_A	动荷系数	无因次量
σ_r	持久极限	kg/cm ² , kg/mm ²	β	增长系数	无因次量
σ_s	临界应力	kg/cm ² , kg/mm ²	α_n	韧度数	kg-m/cm ²
τ	剪应力	kg/cm ² , kg/mm ²			
τ_{op}	名义剪应力	kg/cm ² , kg/mm ²			

目 录

刪訂版序	vi
原序	vii
主要字符表	viii

第一章 緒論

§ 1-1. 材料力学的基本任务	1	§ 1-3. 材料力学与其他課程間的关系	3
§ 1-2. 关于材料力学的发展的簡述	1		

第二章 基本概念

§ 2-1. 材料力学的基本方法	4	§ 2-4. 作用于构件的外力及其分类 · 变形的基本形式	9
§ 2-2. 材料力学研究的主要对象——杆	5		
§ 2-3. 关于变形物体的一些重要基本概念	5		

第三章 直杆的軸向拉伸和压縮

§ 3-1. 与杆軸綫垂直的諸截面上的应力	11	§ 3-6. 拉伸(或压縮)时的变形位能	16
§ 3-2. 軸力图	12	§ 3-7. 橫截面軸向位移的确定	18
§ 3-3. 与杆軸綫有傾角的諸斜截面上的应力	13	§ 3-8. 許用应力 · 强度条件	19
§ 3-4. 軸向变形及橫向变形	14	§ 3-9. 沿杆全长受均布軸向力作用时杆的計算	21
§ 3-5. 虎克定律 · 橫向变形系数	15	§ 3-10. 变截面杆	22

第四章 拉伸和压縮时材料机械性质的研究

§ 4-1. 材料的拉伸和压縮試驗	24	§ 4-6. 安全系数及許用应力的确定	30
§ 4-2. 低碳鋼的拉伸試驗	24	§ 4-7. 溫度及加力速度对金属材料机械性质影响的概念	32
§ 4-3. 其他材料的拉伸图	26	§ 4-8. 蠕变和松弛的概念	33
§ 4-4. 压縮試驗	27		
§ 4-5. 局部应力的概念	29		

第五章 拉伸和压縮的靜不定問題

§ 5-1. 靜不定問題的解法	35	§ 5-3. 溫度应力	39
§ 5-2. 装配应力	38		

第六章 剪切

§ 6-1. 純剪切时的应力与变形 · 虎克定律	42	§ 6-4. 材料的三个弹性常数 E 、 G 、 μ 間的关系	45
§ 6-2. 材料在純剪切时的机械性质	44	§ 6-5. 接头部分的計算	47
§ 6-3. 純剪切单元体斜截面上的应力	45	§ 6-6. 鉚接头的計算	47

第七章 应力状态理論基础

§ 7-1. 应力状态的概念和举例	52	§ 7-4. 主应力及主平面位置的确定	57
§ 7-2. 二向应力状态下与主应力为零之面垂直的斜截面上应力的确定	54	§ 7-5. 三向应力状态的应力圓 · 最大剪应力	59
§ 7-3. 求应力的图解法	56	§ 7-6. 广义虎克定律 · 体积变形	60
		§ 7-7. 三向应力状态下材料的弹性变形位能	62

第八章 强度及塑性理論

§ 8-1. 关于强度理論的基本概念	64	§ 8-4. 对于古典理論及歪形能强度理論的一些說明	67
§ 8-2. 三个古典强度理論	64	§ 8-5. 莫尔强度理論	69
§ 8-3. 能量强度理論	66	§ 8-6. 对于强度理論的認識	72

第九章 截面的几何性质

§ 9-1. 引言	73	§ 9-5. 截面的中心主惯性轴和中心主惯性矩	80
§ 9-2. 截面的静矩和形心位置	73	§ 9-6. 组合截面中心主惯性矩的计算	81
§ 9-3. 惯性矩和惯性积	75	§ 9-7. 计算不规则截面惯性矩的近似方法	84
§ 9-4. 惯性矩和惯性积的平行移轴及转轴公式	78		

第十章 扭转

§ 10-1. 等直圆杆在扭转时的应力计算	88	§ 10-8. 考虑材料塑性时圆杆的极限扭矩	101
§ 10-2. 等直圆杆在扭转时斜截面上的应力	91	§ 10-9. 变截面圆轴扭转时的应力集中问题	102
§ 10-3. 等直圆杆在扭转时的变形与变形位能	92	§ 10-10. 非圆截面等直杆在纯扭转时的应力及变形 计算公式	103
§ 10-4. 实心 and 空心圆轴的强度条件和刚度条件	93	§ 10-11. 开口薄壁截面杆在纯扭转时的应力及变 形	105
§ 10-5. 圆截面传动轴截面尺寸的选择	95		
§ 10-6. 密圈螺旋弹簧的应力及变形	97		
§ 10-7. 扭转静不定问题	100		

第十一章 梁的弯曲·剪力与弯矩

§ 11-1. 梁·支座的种类	107	§ 11-4. 弯矩图与剪力图	114
§ 11-2. 梁的类型·集中载荷与分布载荷·支座反 力的计算	108	§ 11-5. 剪力、弯矩与载荷集度之间的关系	117
§ 11-3. 梁的横截面上的内力·剪力与弯矩	110	§ 11-6. 应用 M 、 Q 、 q 之间的关系绘制并校核图形	118
		§ 11-7. 作图的叠加法	120

第十二章 梁的应力

§ 12-1. 梁在纯弯曲时的正应力	121	§ 12-9. 以主应力校核梁的强度	135
§ 12-2. 一般情况下梁的正应力·强度计算	124	§ 12-10. 开口薄壁截面弯曲中心的概念	137
§ 12-3. 梁的截面的合理形状	126	§ 12-11. 梁的变形能	138
§ 12-4. 矩形截面梁的剪应力	127	§ 12-12. 等强度梁	139
§ 12-5. 工字形截面梁的剪应力	130	§ 12-13. 平面曲杆在纯弯曲时的正应力	140
§ 12-6. 圆形及环形截面梁的最大剪应力	131	§ 12-14. 两种材料的组合梁	143
§ 12-7. 梁的剪应力的强度计算	132	§ 12-15. 考虑材料塑性时梁的极限弯矩	144
§ 12-8. 梁的主应力及主应力迹线	133		

第十三章 梁的变形

§ 13-1. 梁的挠度曲线的微分方程	147	§ 13-5. 挠度曲线的图解法	159
§ 13-2. 挠度曲线的微分方程的积分	149	§ 13-6. 以叠加法计算梁的变形	163
§ 13-3. 梁的挠度曲线的通用方程	153	§ 13-7. 梁的刚度计算	165
§ 13-4. 图解分析法解梁的挠度和转角	156	§ 13-8. 变截面梁的变形	166

第十四章 在任意载荷作用下构件的强度计算

§ 14-1. 杆在任意载荷作用下的应力计算方法	168	§ 14-5. 受偏心拉伸(或偏心压缩)的杆的强度计算	176
§ 14-2. 杆在斜弯曲情况下的应力及变形计算	168	§ 14-6. 截面核心	179
§ 14-3. 斜弯曲情况下梁的强度计算	172	§ 14-7. 受扭转与弯曲联合作用的杆的强度计算	182
§ 14-4. 受弯曲与拉伸(或压缩)联合作用的杆的 强度计算	174	§ 14-8. 曲柄轴的强度计算	185

第十五章 接触应力计算

§ 15-1. 接触表面最大压应力的计算	188	§ 15-2. 接触体的强度校核	191
----------------------	-----	------------------	-----

第十六章 任意载荷作用下杆件的刚度计算

§ 16-1. 拉伸、扭转与弯曲的变形能计算·变形能 的一般算式	194	§ 16-3. 莫尔定理	195
§ 16-2. 克拉贝依隆原理	195	§ 16-4. 卡氏定理	201
		§ 16-5. 功的互等定理	204

第十七章 静不定系统·力法

§ 17-1. 静不定系统的一般概念	206	§ 17-2. 基本系统·解静不定问题的基本方法	207
--------------------	-----	--------------------------	-----

§ 17-3. 力法及其正则方程.....	210	§ 17-5. 三弯矩方程.....	217
§ 17-4. 連續梁.....	216		
第十八章 变形系統平衡的稳定問題			
§ 18-1. 稳定的平衡和不稳定的平衡.....	221	§ 18-4. 压杆的稳定校核.....	228
§ 18-2. 求临界力的欧拉公式.....	223	§ 18-5. 纵横弯曲的概念.....	233
§ 18-3. 欧拉公式的应用限度和超出弹性范围的 稳定計算.....	227	§ 18-6. 其他彈性稳定問題的概念.....	234
第十九章 动載荷問題			
§ 19-1. 一般概念.....	235	§ 19-5. 撞击时应力的計算.....	243
§ 19-2. 构件作等加速运动时应力的計算.....	236	§ 19-6. 撞击应力的計算实例.....	245
§ 19-3. 构件作等速轉动时应力的計算.....	237	§ 19-7. 撞击时材料机械性质的試驗研究.....	248
§ 19-4. 振动时应力的計算.....	238		
第二十章 交变应力下构件的强度計算			
§ 20-1. 基本概念.....	251	极限曲线.....	259
§ 20-2. 交变应力的符号及其循环特性.....	251	§ 20-7. 材料与构件的簡化持久极限曲线及計算 公式.....	260
§ 20-3. 在交变应力下构件疲劳破坏的現象及原因 分析.....	253	§ 20-8. 在交变应力下构件的强度校核.....	263
§ 20-4. 鋼的持久极限及其測定方法.....	254	§ 20-9. 交变应力下的許用应力·折減系数.....	267
§ 20-5. 影响材料持久极限的主要因素.....	256	§ 20-10. 提高构件持久极限的措施.....	268
§ 20-6. 非对称循环下持久极限的变化規律·持久			
附录 型钢表.....			270

第一章 緒 論

§ 1-1. 材料力学的基本任务

材料力学的基本任务是对各种类型的构件作强度、刚度及稳定的計算和分析(包括用实验的方法)。这些計算和分析是工程技术人員在保证安全和最經濟地使用材料的前提下,为构件选择材料和尺寸的必要基础。

机器或結構物承受載荷时应使其保持正常工作。构件能够安全地承受載荷,就可认为它已滿足了强度的要求;构件的变形倘若被限制在正常工作所許可的变形範圍內,我們就认为它滿足了剛度的要求。有时构件所承受的載荷增大到一定限度后,它就不能保持原有形式而平衡(即原有的平衡形式失去了稳定性),例如細长的直杆沿軸向受压力,当压力加大到一定限度后,杆的直綫平衡形式就失去了稳定而变弯,因而必須进行稳定的計算和分析。

根据上述任务,材料力学的内容不但包括对物体的受力情况和变形的研究,并且也包括对材料在不同条件下(不同的受力方式以及溫度等等)的机械性质的研究。

保证安全和最經濟地使用材料,这两个要求是相互矛盾的;前者往往要求增加使用材料,后者要求减少使用材料。这种反映在生产上的矛盾是促使材料力学不断发展的最重要的因素。

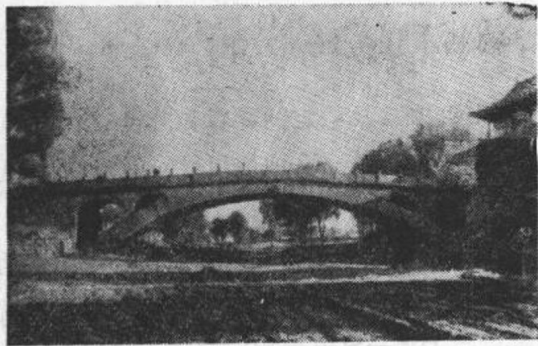
由于生产的发展,科学技术的水平在不断提高,新的实际問題(例如,高速航空結構对于減輕重量及耐热的要求,高参数动力及原子动力装置对高溫及处在特殊工作条件下材料强度的要求,大跨度結構物的使用等等)要求寻求新的材料,运用新的、更合理的計算方法。这样,材料力学正是在技术的普遍进步中不断地得到发展。

工程技术人員在规划或設計結構物或机器时,必須正确地运用有关材料力学的科学方法来进行分析,这样才有可能造出既經濟又安全的新的工程結構。

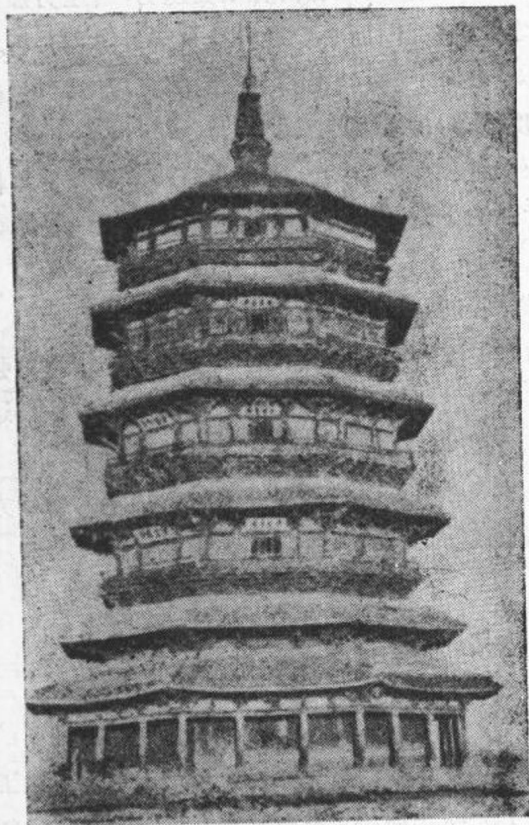
§ 1-2. 关于材料力学的发展的簡述

勤劳、智慧的祖国的劳动人民在很早的年代已經在工程技术中显示出有关材料力学的創造能力。大家知道,长城、运河及都江堰水利灌溉是二千多年前就已开始了的偉大的工程。其实,从殷墟的发掘中我們发现在更早的年代,即大約三千五百年前,我們的祖先已經用木結構建造了墙不承重的房屋,以輻条代替輻(圓板式的車輪),这些都是合理利用材料的证明(在較晚的年代,《周礼考工記》有文字記載)。在汉代(公元一世紀)我們的祖先开始利用铁軸。到三国时代(公元 253 年)馬鈞开始运用了齿輪(見汉《雪堂所藏古物图》)。桥梁和船舶的設計和建造是需要深入地研究力学知識的。現代尚完整存在的河北赵州石拱桥是由

隋代杰出的匠师李春(公元581—618年)建造的。桥跨度37米多,拱半径25米。桥的构造如图所示。它充分说明了设计上的合理性。其他如应县木塔,在辽清宁二年(公元1056年)建成,高达66米,这个木结构从现代施工观点看来也非易事。造船工程在我国古代也有很大的



赵州桥①



应县木塔①

的发展,例如第六世纪隋杨素在永安造高百尺的大船,可乘800人。较晚的宋元海运中(十一世纪)我们祖先就己能造具有4桅9帆的船了。很早年代我们己经用竹索作悬桥。现在尚存在的泸定铁索桥长100米,是清康熙45年(公元1696年)建造的。这些都说明我们祖先的智慧,他们善于运用不同的木、石、铁、竹等材料。

总的说来,在十四世纪以前,我国的力学水平一直是在欧洲之上的,这主要由于当时我国生产力发达的程度也是在全世界范围内领先之故。但是由于封建制度的延续,这种制度限制了生产力的进一步发展,也限制了科学技术的发展。所以当时材料力学还是以经验成分为主。

材料力学,作为一门科学来说,一般认为是在1638年从意大利科学家伽利略(G. Galileo)时期开始的。伽利略为了解决建造船只和水闸所需要的梁的问题,他发表了《关于两种新科学的叙述与数学证明》一书。应该指出,他正生在封建社会解体、商业资本及国际海外往来发展,并且采矿冶金工业萌芽的时代,由于这一时代的新的经济情况提出了一系列新的技术问题。例如:海外商业贸易频繁,提出了增大船只吨位的问题,因而也就必须改变船只的构造;同时也提出了改造及建设新的内河交通、运河、水闸等等问题。这些问题不可能只根据古老的办法,用尺寸比例

相似的小模型来解决。因而根据强度计算来决定构件尺寸就成为非常迫切的问题。伽利略是第一个提出了强度计算概念的科学家。这里我们提出一个科学家作为一门科学的开始者,

① 这两张图片系取自营造学社《建筑图片参考资料》。

这不过是指出他总结了当时广大劳动人民的創造, 并且也指出了他个人在这方面的貢獻。

随着建筑与机械制造工作的发展, 材料力学和理論力学平行地发展。而新的科学的发展又在影响着生产力的迅速发展。如工业上先进的一些資本主义国家, 由于生产上的需要曾在材料力学上进行了广泛的研究, 为本門科学的发展提供了不少有关的資料。

又如苏联在偉大的十月革命以后, 开始了社会主义工业化建設, 这使力学得到空前未有的发展。在材料力学, 或者就更广义地來說的强度科学方面, 也取得了很大的成就。

材料力学科学由于新技术的使用, 正开始沿着和物理强度相結合的新方向发展。目前这門科学面临的巨大新发展是多方面的, 它将影响工程技术的各个方面。随着新材料的使用, 对新的强度計算方法的要求是极其迫切的。

近代材料力学在我国的发展, 由于解放以前工业基础的薄弱和国民党的长期反动統治而受到了阻碍。但是在今天, 社会主义建設已經飞速的展开, 随着国民經济不断进展, 材料力学的科学研究也正在逐步开展。1949 年建国以来, 在党的领导下为科学研究工作广泛地作了准备。到 1958 年, 科学工作已开始全面进展, 其中很多与材料力学有关。虽然这一方面的經驗尚有待深入总结, 但可以肯定, 随着生产技术的发展, 只要坚决从实际出发, 用严格的科学方法不断进行科学实验, 我們的科学水平必将达到新的高漲的阶段。

§ 1-3. 材料力学与其他課程間的关系

在高等工业学校里, 材料力学是一門技术基础課。

它是以数学、物理和理論力学为基础的課程。由于在材料力学中研究构件的强度、剛度和稳定性时, 必須考虑物体受力后将发生变形这一因素, 因而在应用理論力学中的某些原理(例如力的可移性、力系向一点簡化等)时, 必須注意到只有在一定条件下才能应用。

材料力学又是其他某些課程的基础。以材料力学为基础的有两类課程: 一类如机械零件、建筑結構等, 它們将应用材料力学的結果, 再引进制造工艺和运用等方面的知識, 从而較全面地討論构件的設計問題; 另一类是一些力学課程, 它們将在材料力学的基础上进一步研究与工程有关的力学計算問題, 例如結構力学将在材料力学的基础上研究結構物的計算, 彈性力学将用更一般更严密的方法研究构件的計算, 而且其中有不少問題都是用材料力学的方法所不能解决的。

最后應該指出, 由于在一般构件的計算和分析中, 强度、剛度和稳定性的考虑通常总是其中一个最重要的方面, 因而許多方面的工程技术工作者对材料力学都是十分重視的。

第二章 基本概念

§ 2-1. 材料力学的基本方法

像研究一切物理科学一样，研究材料力学的方法包括：观察、实验、假设、理论。这样的过程是科学长期历史发展的结果。

材料力学中往往根据观察、实验，作出一些表达问题主要方面的假设，这些假设使问题的解法适当地简化，但所得的解答也就带有一定的近似性。根据这些假设得到的结论将受到实践的考验。必须注意，经过了反复修正以后材料力学的一些假设才有了今天的形式。在工程实用中，有很多问题并不需要过高的精确度；这时材料力学的解答是非常合宜的。

按照材料力学的任务，在具体建立其理论时必须考虑到下列各方面：

- 1) **几何条件** 由于材料力学所考虑的物体是变形的物体，所以必须研究物体的变形，将变形用几何的形式来表达。这一表达式有时又称为变形条件。
- 2) **物理条件** 从材料试验中可以决定作用在物体上的力和物体的变形之间的物理关系。利用它就将变形条件和力联系起来。表达此关系的条件即称为物理条件。
- 3) **力学条件** 最后，材料力学还必须应用理论力学中的平衡条件来考虑作用在物体各部分上的外力之间的关系。它表达了问题的力学条件。

在材料力学中有很多问题往往需要根据以上三方面的条件来决定物体的受力情况和变形。有时为了方便起见也采取在形式上是将三个条件混合起来的能量法。

以上所述，主要是指材料力学的理论部分的研究方法。材料力学实验的主要目的是：

- 1) 研究材料受力而破坏的现象，以建立安全的强度界限；
- 2) 由实验得出为建立理论所必需的物理条件；
- 3) 检查根据理论所作出的强度等计算与构件所发生的实际现象符合的程度。

前两点说明了实验是理论的依据。同时，由于用材料力学的理论分析问题所得的结果是近似的，这理论只表达了问题的主要方面，为了保证它具有实际应用的可能，就必须用实验来检验理论的可靠性。这就是上述的第三点。由此可见，没有实验就不可能建立理论；反过来，如果理论不提出清楚的问题，不指示应该在什么方向期待回答，不指示在实验中哪些因素是必要的，而哪些因素应该略去或尽量避免，那么实验就失去了它的目的性和明了性。

由于读者还没有接触到材料力学的具体内容，这里不可能更深入地去讨论这些基本方法，但是读者应该在今后的学习中，经常注意联系到这些基本方法，这样会使概念更明确，而有助于巩固地掌握这门科学。

§ 2-2. 材料力学研究的主要对象——杆

材料力学所研究的主要对象是杆，即其长度与其两个横向(垂直于长度的方向)尺寸不属于同一量级且前者要大得多的构件。钢轨、传动轴、钢筋混凝土的梁和柱均可看成为杆。

杆的两个主要的几何元素是轴线和横截面，前者是杆的所有截面的形心联线(图 2-1 中的 AB 线)，后者是垂直于轴线的截面(图 2-1, a 中有阴影线的截面)。杆的轴线可以是曲线、折线或直线(图 2-1)。今后我们将先研究轴线为直线的直杆，并且从各个横截面都相同

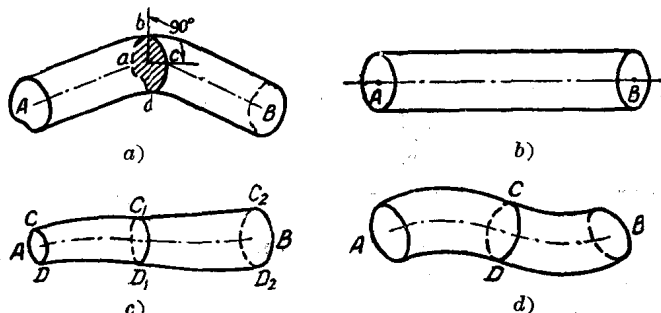


图 2-1

的等截面直杆开始。然后再研究曲杆和变截面杆。

应该指出，在材料力学中，也能对最简单受力情况下的旋转体薄壳(例如蒸汽锅炉等)进行计算。

有时我们会遇到形状不很规则的构件，这类构件是不能用材料力学的方法计算的，或者按材料力学方法只能得出初步的近似结果。如果要求较准确的结果，应该用实验方法，或当几何形状不太复杂时利用弹性与塑性力学中较复杂的方法进行计算。

§ 2-3. 关于变形物体的一些重要基本概念

下面介绍关于变形物体的一些重要基本概念。

1) 固体的均匀连续(密实)假设

由现代物理中关于物质结构的说明可知，固体是由不连续的粒子(分子、原子以及更微小的粒子)所组成的。但是根据物体的粒子构造来研究物体的受力情况和变形是非常复杂的。因此在材料力学、弹性力学和塑性力学中，到现在为止大多采用了均匀连续(即密实的质点组合)的假设，即认为物体的整个几何容积都充满了物质而且各处都是一样的。

在普通静力作用及常温下我们可以认为钢、铜及铸铁等金属材料是均匀连续的。因为根据此假设所得到的理论能符合上述条件下的一般实验结果。

2) 各向同性及各向异性的假设

在各方向都具有相同的物理性质的纯粹材料，称为各向同性材料，铸钢、铸铜、玻璃以及

澆灌得很好的混凝土等一般均可认为是各向同性的材料。

只在纖維的一定方向上才有相同的物理性质的純粹材料,称为单向同性材料。例如,鍋炉鋼、軋鋼、鋼絲和一些木层直的木材为单向同性材料。

不具备上述性质的材料称为各向异性材料。例如木层生成螺旋状的木材和經過冷扭的鋼絲为各向异性材料。

3) 大变形和小变形的概念

材料力学中所研究物体的变形主要是小变形。小变形的概念可以概括如下: 由于变形而产生的位移比計算中所涉及到的物体的任一度量小得多, 例如, 图 2-2, *a* 中, $\delta \ll l$, $\delta \ll M$ 。

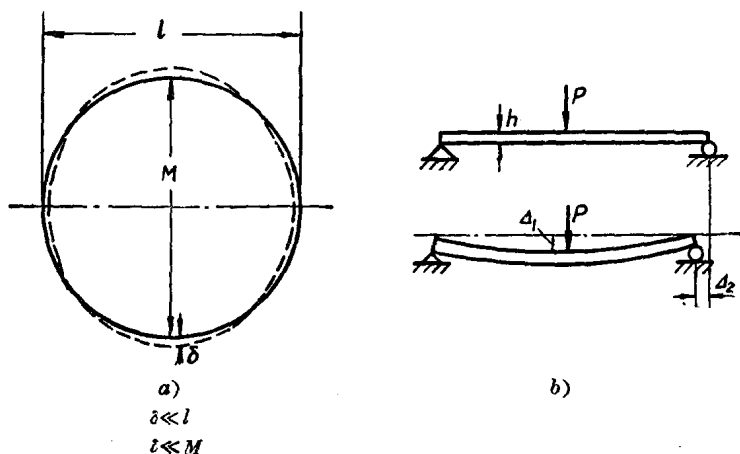


图 2-2

在有些情形下即使位移接近物体的一个小的度量(例如图 2-2, *b* 中, Δ_1 、 Δ_2 和 h 大小差不多), 只要不影响力的作用, 也可以认为是小变形。在計算反力时这些小变形可以忽略不計。

上述范围内的变形均可认为小变形, 反之則为大变形。这一問題的性質在以后較深入地研究变形后可以更清楚, 这里不过介紹一个概念。

4) 描述变形的基本度量

物体在变形时, 其中的任一点将发生移动, 其中的綫段将发生轉动, 前者称为綫位移, 后者則称为角位移。綫位移和角位移并不足以完全表示变形, 因为剛体运动也会使物体上到处都有綫位移和角位移。

注意到我們在研究构件各部分变形时, 一般在很大的力的作用下变形还是很小的, 也就是处在小变形的条件下。这时倘若将物体分成許多微小立方体, 則不管变形如何复杂, 要研究总的变形可以从研究每一立方体的变形开始。而且, 当物体各点处的变形程度不同时, 微小立方体的变形在取极限后即可表达各点处的变形程度。在小变形的情况下, 立方体的变形包括: 立方体的边长的改变(伸长或縮短)和原先的直角的改变(变成鈍角或銳角)。

因此, 無論物体的变形怎样, 总可分解为直綫段的伸长(或縮短)和直角的改变^①。綫段

^① 前面我們故意不考虑的还有一种情况, 即組成变形物体的各立方体的边的弯曲可能性。但这情况沒有意义, 因为各个立方体的尺寸可取得任意的微小; 而研究曲綫或曲面的普通数学方法, 就在于把曲綫用折綫代替, 然后縮小边和多面体的大小, 取极限, 我們的方法实际就是这样; 所以当我們认为立方体是无限小时, 就可以不考虑其面和边的弯曲。

长度的改变叫做綫变形, 直角的改变叫做角变形或剪角。

綫变形是伸长或縮短可用符号来区别。如果綫段較原来长度增加即伸长的綫变形, 規定为正; 反之, 綫段較原来长度减小即縮短了的綫变形, 則規定为負。

綫变形与綫段的原来长度有关, 这可以用下面的例子来说明。設长 100 厘米的銅杆受挂在下面的重量作用而伸长 0.01 厘米。如果我們在杆上取长 50 厘米的一段, 那么这段显然只伸长 0.005 厘米; 同一杆的不同长度之段的伸长不同, 而和該段的长度有关; 以后把这些伸长叫做絕对的。为免除长度的影响, 应该总研究同样长度的一段之伸长, 所以我們采取单位长度作为研究的长度。在上例中, 杆每 1 厘米长度伸长同一数量 $0.01/100=0.0001$ 厘米。根据这一道理, 可得到表示变形程度的无因次的綫变形特征, 称为相对綫变形或綫应变:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (2-1)$$

式中: Δl 是絕对伸长, l 是原来的綫段长度, 两者应该用同一单位(厘米或毫米)。

角变形(剪角)的单位是厘, 系一无因次的量, 它也可用两綫段之比的形式来表示(图 2-3); 如果角变形很小, 則可近似地写成:

$$\gamma = \frac{mn'}{mn}, \quad (2-2)$$

式中: 角 γ 常称为相对剪变形。

5) 彈性与塑性

在以上 3) 和 4) 中說明了关于变形的基本概念。下面讲一下有关力与变形之間的关系的物理概念。

在外力作用下, 固体将改变形状, 这是固体的基本性质之一。由于固体有抵抗改变其质点間相对位置的能力, 因此在撤去外力后, 由外力所引起之固体的变形有可能消除; 固体的这一种特性称之为彈性。

在撤去外力后能完全消失的变形称为彈性变形。不能消失的变形則称为残余变形或塑性变形。在工程技术上把物体一般具有的能够产生較大残余变形的这一性质称为塑性。彈性和塑性的划分是有条件的, 譬如, 在同样的受力情形下, 金属在常温下可以是彈性的, 但在高温下就是塑性的(在赤热时是极明显的)。

材料的彈性性质, 对构件來說有原則上的意义。因为任何物体在外力作用下不可能不变形, 但是如果构件还是彈性的, 則在撤去外力后它就会恢复原状。这是重要的标志, 它表明外力沒有使构件损伤(即无残余变形)。当然, 材料力学不能局限于研究材料的彈性阶段。有时正常工作不一定限于小变形, 在允許构件产生残余变形的情形下, 可以让构件在超过材料的彈性阶段后工作, 这样能大大节省材料。为此应研究材料的塑性性质, 这就使材料力学和塑性力学联系起来, 这是目前材料力学发展的重要方向之一。

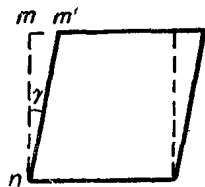


图 2-3

6) 内力·截面法·应力

内力是指物体的一部分对另一部分作用所引起的力,这是两部分之间的作用与反作用。甚至在一物体不受任何外力时,物体内部还是有内力存在的;而正是这种内力使固体保持一定的形状。但在材料力学中所注意的是:在物体承受外力后所引起的内力的改变,即由于在物体上加了外力而产生的附加内力。因为和强度问题有密切关系的,正是这些附加内力。

为了显示和决定内力,可以运用截面法。假想地用一个平面把物体截成两个部分A和B,即可显示出B部分对A部分的作用力 P_A 和A部分对B部分的作用力 P_B ,两者即为成对存在的内力。 P_B 应该与 P_A 大小相等而方向相反,且均为截开面上的分布力(图2-4)。

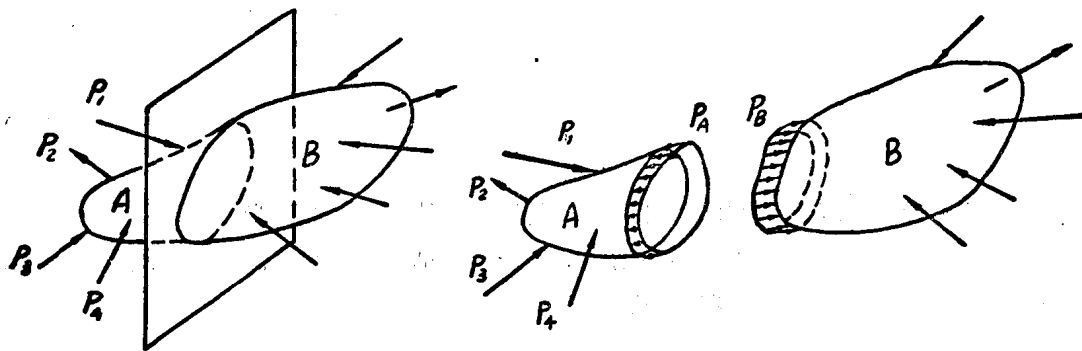


图 2-4

通过截面法可以看出:(1)倘若物体处于平衡状态,由于每一部分亦必平衡,故内力必然存在;(2)对于所考虑的一部分物体此内力应看作外力(图2-4的内力 P_A 和 P_B 都是以外力的形式分别作用于A和B部分的)。对A部分物体运用平衡条件

$$\bar{P}_1 + \bar{P}_2 + \bar{P}_3 + \bar{P}_4 + \text{内力总和} \bar{P}_A = 0,$$

即可求得内力总和 $\bar{P}_A$ 。也可以用A部分上外力的简化来求得B部分上的内力总和 $\bar{P}_B$:

$$\bar{P}_1 + \bar{P}_2 + \bar{P}_3 + \bar{P}_4 = \text{内力总和} \bar{P}_B.$$

这样的观念应该统一起来。截面上内力的总和($\bar{P}_A$ 或 $\bar{P}_B$)可以化为一个力或一个力偶,或者在一般的情形下化为一个力和一个力偶。它们可按上述静力条件求得。但截面上每一部分内力分布的情形是不能单纯依靠静力学条件来决定的,必须再加上变形和物理条件联合

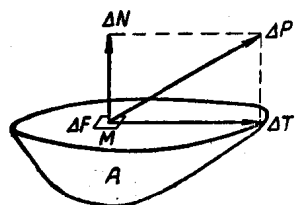


图 2-5

求出。这一内容将在以后详细讲述。

如果在截面上划分出一块小面积 ΔF (图2-5),同时又设内力是连续地作用在整个截面上,则这小面积上作用着一内力 ΔP 。 ΔP 对 ΔF 的比值称为这块小面积上的平均应力

$$p_{cp} = \frac{\Delta P}{\Delta F}.$$

应力的单位一般用每厘米²或每毫米²内的公斤数(kg/cm²或 kg/mm²)表示。

为了消除所取面积 ΔF 大小的影响,将面积缩小,趋向极限,从而得到某一点(ΔF 的中心点M)处的实际应力