

CAILIAO
LI XUE

周之桢 主编



材料力学

第一册 国防科技大学出版社

内 容 简 介

本书根据我校前身——中国人民解放军军事工程学院周明鑑和薛鸿达两位教授主编的材料力学教材(1960—1961年出版,航空、船舶和武器等专业用),以及多年来的教学经验和内容,并参考了国内外许多教材而改编的。它的基本部分分第一、第二两册出版,第一册内容包括绪论、拉伸及压缩、剪切及扭转、平面图形几何性质、弯曲以及复杂应力状态理论等六章;第二册包括组合变形、变形能法、超静定体系、稳定和交变应力等五章。书后并附有材料力学英名词对照,以便学习掌握专业外语词汇。

在编写时着重阐明了理论与实际的关系,理论的科学与实用性;并且讨论了实验和假设的必要性,理论的实用意义及其准确度;增加了理论上及计算中对称性的分析与运用,文字简明通俗。并选用了大量的例题、习题和思考题,以便读者进一步理解、思考和自学。有些问题采用了与流行的方法不同的讲法。它适宜用作力学、结构以及机械等专业的教材和大专院校教师的教学参考材料,也可用作自学进修用书。

材 料 力 学

第一册

周之頌 主编
责任编辑 老 亮
装帧设计 侯 云

*

国防科技大学出版社 出版

湖南省新华书店发行
国防科技大学印刷厂印装

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 20¹/₄ 字数: 465千字
1987年2月第1版 1987年3月第1次印刷 印数: 1—3000册

统一书号: 15415·014

ISBN 7-81024-002-1

TB·I 定价: 3.40元

才
一
册



前 言

本书是为了适应我校力学与机械等专业的教学需要,根据我校前身——中国人民解放军军事工程学院材料力学教研室周明麟教授和已故的薛鸿达教授主编的材料力学教材(1960~1961年内部出版),以及多年来的教学经验和内容,并参考了国内外许多教材而改编的。

本书基本部分分第一、第二两册出版,第一册内容包括绪论、拉伸及压缩、剪切及扭转、平面图形几何性质、弯曲以及复杂应力状态理论等六章,第二册内容包括组合变形、变形能法、超静定体系、稳定和交变应力等五章。为了配合外语教学,使学生掌握较多的专业词汇,在第一册之后,附有材料力学汉英名词对照表。

在编写本书时,为了引导学生在学习中联系实际、联系生产的需要,除在绪论中总的阐述了材料力学发展史外,还结合扭转及弯曲理论的发展谈了理论与实践的紧密关系;为了加强理论的科学性与实用性,对实验和假设的必要性、理论的实用意义及其准确度进行了必要的论述与讨论;为了提高学生分析问题与解决问题的能力,加强了简化假设、结论的推理与分析,增加了理论上及计算中对称性的分析与运用,并选用了大量的例题、习题和思考题,以便于学生进一步理解、思考和自学。

本书初稿曾于1985年10月在长沙召开了审稿会议,参加会议的有上海交通大学、西安交通大学、哈尔滨船舶工程学院、长沙交通学院以及我军七所兄弟院校的同志们。大家对初稿进行了认真的讨论,提出了不少宝贵的修改意见,对本书的定稿工作起了很大作用,谨此致谢。

在编写过程中,赵福滨和老亮同志对书稿提出了许多宝贵意见;解全陞同志提供了若干试验曲线;肖锡玉和张晓今同志校对了例题、习题与思考题,有关同志担负了制图与校对等工作。

由于编者水平有限,编写时间仓促,缺点和错误在所难免,欢迎用者和读者批评指正。

编 者

1986年2月

主要符号表

α	应力集中系数	$\sigma_s(\sigma_{0.2})$	屈服应力(MPa)
	角度 (rad)	σ_b	强度极限(MPa)
	线膨胀系数 (1/°C)	σ_p	相当应力(MPa)
γ	重度 (kN/m ³)	σ_{js}	极限应力(MPa)
	剪应变	σ_{lj}	临界应力(MPa)
δ	延伸率	τ	剪应力(MPa)
	柔度 (m/N)	$\tau_{\max}$	最大剪应力(MPa)
Δl	轴向伸缩 (mm)	$\tau_{\min}$	最小剪应力(MPa)
Δ	位移 (mm)	$[\tau]$	许用剪应力(MPa)
ε	(线)应变	φ	扭角(rad)
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	主应变	ψ	截面收缩率
ε_e	弹性应变	ω	角速度(rad/s)
ε_p	塑性应变	A	面积(m ²)
μ	泊松比	a	加速度(m/s ²)
θ	单位扭角 (rad/m)	C	弹簧常数(N/m)
	转角 (rad)		刚度(N/m)
	体积改变		形心
ρ	曲率半径 (m)	D, d	直径(m)
	径向距离(m)	E	弹性模量(GPa)
σ	正应力(MPa)	f	最大挠度(mm)
σ_j	静应力(MPa)	G	剪切弹性模量(GPa)
σ_d	动应力(MPa)	I	惯矩(m ⁴)
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力(MPa)	I_P	极惯矩(m ⁴)
$\sigma_{\max}$	最大正应力(MPa)	i	惯性半径(m)
$\sigma_{\min}$	最小正应力(MPa)	k_d	动载系数
σ_{js}	挤压应力(MPa)	K	体积弹性模量(GPa)
$[\sigma]$	许用应力(MPa)	m	力偶, 力偶矩(N·m)
$[\sigma_t]$	许用拉应力(MPa)	M_s	扭矩(N·m)
$[\sigma_p]$	许用压应力(MPa)	$M(M_p)$	弯矩(N·m)
σ_p	比例极限(MPa)	N	轴力(N)
σ_e	弹性极限(MPa)	N_k	功率(W, kW)

n	安全系数 转速(1/s)	T	温度(°C) 拉力(N)
p	压力集度(Pa)	t	厚度(m)
P	集中载荷(N)	U	变形能(J)
P_{Lj}	临界力(N)	u	比能(J/m³) 径向位移(mm)
q	分布载集度(N/m)	V	体积(m³)
Q	剪力(N)	v	速度(m/s) 挠度(mm)
R	合力, 反力(N) 半径(m)	W	功(J) 抗弯截面系数(m⁴)
r	半径(m)	$W_{\bullet}$	抗扭截面系数(m⁴)
S	面矩(m⁴)	W_{Σ}, W_y, W_z	抗弯截面系数(m⁴)
s	弧长(m) 秒(s)		

目 录

主要符号表

第一章 绪论及基本概念

§1.1 材料力学的任务	1
§1.2 材料力学与生产实践的关系	2
§1.3 构件及其组成体	4
§1.4 构件的外力、变形及内力	7
§1.5 应力及应变的概念	11
§1.6 材料力学的基本方法	13
思考题	13
习 题	14

第二章 拉伸及压缩

第一部分 直杆轴向拉压时的应力与变形	17
§2.1 直杆轴向拉压时的内力与变形	17
§2.2 轴向拉压时杆内的应力与应变	20
第二部分 材料的力学性质	26
§2.3 材料在拉伸时的力学性质	26
§2.4 材料在压缩时的力学性质	35
§2.5 塑性材料及脆性材料的特征	36
*§2.6 温度和时间因素对材料力学性质的影响	37
§2.7 选择许用应力及安全系数的基础	38
第三部分 拉压静定问题	40
§2.8 静定体系和超静定体系的鉴别	40
§2.9 杆件的强度与变形计算及材料力学问题的三个类型	42
第四部分 拉压超静定问题	51
§2.10 超静定问题及其解法	51
§2.11 装配应力	56
§2.12 温度应力	59
思考题	61
习 题	62

第三章 剪切及扭转

第一部分 剪切	73
§3.1 剪切近似计算	73

*§3.2 焊接强度计算	78
§3.3 纯剪切	79
第二部分 扭转	84
§3.4 圆轴扭转时的应力与变形	84
§3.5 圆截面传动轴的计算	90
§3.6 密圈螺旋弹簧的应力和变形	95
*§3.7 圆轴扭转的超静定问题和极限载荷问题	100
§3.8 非圆截面杆的扭转	103
*§3.9 扭转的发展简史及截面保持平面和不保持平面的证明	111
思考题	114
习 题	115
第四章 平面图形几何性质	
§4.1 面积矩和形心的位置	121
§4.2 惯矩、惯积和惯性半径	124
§4.3 惯矩和惯积的平行轴定理	127
§4.4 型钢截面及其组合对称截面的惯矩	130
§4.5 转轴公式及主轴与主惯矩	131
*§4.6 计算惯矩的近似法	136
思考题	137
习 题	137
第五章 弯 曲	
第一部分 梁的外力及内力	144
§5.1 梁的外力——载荷及支反力	144
§5.2 梁的内力的性质及计算方法	148
§5.3 梁的内力——剪力和弯矩的方程式及剪力 图和弯矩图的绘制	150
§5.4 剪力、弯矩与载荷集度间的微积分关系及 应用微积分关系绘制、校核内力图	155
§5.5 作弯矩图的叠加法	161
§5.6 刚架的内力计算及内力图	162
第二部分 梁的应力	163
§5.7 纯弯曲时梁的正应力	164
§5.8 梁的正应力强度条件及截面选择	170
§5.9 矩形截面梁的剪应力	178
§5.10 圆形截面梁的最大剪应力	181
§5.11 工字形等薄壁截面梁的剪应力	182
§5.12 弯曲中心的概念	188
§5.13 等强度梁	191

§5.14 几种材料制成的组合梁	195
第三部分 梁的变形	198
§5.15 梁的挠曲轴线的微分方程	198
§5.16 两次积分法	202
§5.17 叠加法	211
*§5.18 有限差分法	216
*§5.19 弯曲理论的发展简史	219
思考题	220
习 题	221
第六章 复杂应力状态理论	
第一部分 应力分析	242
§6.1 应力状态的概念	242
§6.2 复杂应力状态实例——薄壁圆筒的计算	244
§6.3 平面应力状态的分析	246
§6.4 平面应力状态的图解法——应力圆	250
§6.5 三向应力状态下的主应力及其应力圆	256
第二部分 应力和应变的关系	261
§6.6 广义虎克定律	261
§6.7 三向拉压时的体积改变——体积虎克定律	265
§6.8 三向应力状态下的弹性变形能	266
§6.9 应变测量与应变和应力的计算	268
第三部分 强度理论	272
§6.10 强度理论的概念	272
§6.11 四个强度理论	273
*§6.12 莫尔强度理论	277
§6.13 强度理论的应用	279
思考题	284
习 题	284
附录一 常用平面图形的几何性质表	290
附录二 梁的挠度及转角表	294
附录三 型钢表	298
附录四 中英文词对照表	307

第一章 绪论及基本概念

§ 1.1 材料力学的任务

各种机械、武器和结构物，通常是由若干构件（或零件）装配而成，在使用时，有关构件都要受到力（包括外载荷和约束力）的作用；同时它们都要产生一定大小的变形（包括尺寸和形状的改变）。如果相对于所承受的载荷而言，构件的截面尺寸选得过小，或者材料的质量较差，将会使构件产生过度的变形或破坏而丧失承担载荷的能力（简称承载能力），以致整个结构不能正常工作；相反，如果构件的截面尺寸选得过大，或材料的质量太好，虽然不会产生过度的变形或破坏，但是构件的承载能力却没有充分发挥，造成了材料的浪费。这两个方面都是不利于四化建设的。材料力学的任务便是在安全适用、经济有效的前提下，为构件选择适当的材料、截面形状和尺寸。也可以说，材料力学是研究构件承载能力的技术科学。

在材料力学中，衡量构件是否具有足够的承载能力，一般从以下三方面考虑。

（1）强度 构件承受载荷时，要求它不发生断裂或不产生严重的永久变形*。例如，起吊重物的钢索不允许被重物拉断；齿轮的齿不允许出现永久变形而失去其原来的正常齿形，以致机器不能正常运转。因此，必须保证构件具有足够抵抗破坏（包括断裂和产生严重的永久变形）的能力，即具有足够的强度。

（2）刚度 在某些情况下，构件虽未发生断裂或没有产生过大的永久变形，但由于弹性变形过大，也要影响机器的正常工作。例如，车床主轴要对弹性变形加以限制，否则就会影响零件的加工精度；超音速飞机机翼的翼面，由于空气动力而产生某一微量变形，就会改变飞机飞行的性能，甚至有发生颤振的危险；液体火箭发动机的叶片与壳体之间的空隙很小，如果涡轮轴变形过大，会使叶片碰壳而造成重大事故；摇臂钻床工作时，若摇臂或立柱变形过大，将使钻孔不正而影响加工精度，并造成钻床振动加剧，影响孔面的光洁度。此外，对许多精密机器和仪器以及重型武器的构架，都要严格控制变形的量，以保证操作与射击的准确性。因此，这类构件的最大变形都不能超过所容许的数值，即具有足够的刚度。所谓刚度，就是构件抵抗变形的能力。

（3）稳定性 有些构件，在某种载荷作用下，其与受力形式相应的平衡状态，直到破坏都不改变，这叫做平衡形式的稳定性；如果受力形式与相应的平衡状态，在力增大到一定程度时，突然转换为另一种平衡状态，这就叫做平衡状态的失稳（简称失稳）。

* 材料的变形有弹性变形和永久变形。弹性变形是指载荷卸除后能消除的变形。永久变形是当载荷卸除后不能消除的变形。对钢、铝、铜等材料，一般不容许发生杆长的0.2%以上的永久变形。

如千斤顶中的螺杆，厂房或矿井里的支柱，在受到过大压力时，直杆就会从直线的受压平衡形式突然变成弯曲的平衡形式。这是一种危险状态，许多工程事故就是这样发生的。因此，要求构件具有足够的稳定性。

因此，在设计构件时，首先必须满足强度、刚度和稳定性的要求，才是安全适用的。但对某些特殊构件，却又往往有相反的要求，例如，为了保证机器不致超载，当载荷达某一极限值时，要求安全销立即破坏，以免损坏整个机器，各种安全装置都是如此；又如各种车辆中的缓冲弹簧，在保证强度的前提下，又力求有较大的变形，以发挥其缓冲作用等等。

为此，材料力学必须研究材料的力学性质（主要指材料在外力作用下变形与外力间的关系），研究构件截面形状和尺寸与所受载荷的大小、方向和位置之间的关系。这些研究，都要在实验的基础上进行理论分析。其中材料的力学性质，更要靠实验来测定。所以，材料力学是一门理论与实验并重的学科。

总而言之，要学好材料力学，掌握好强度、刚度和稳定性的规律，以便在工程实践中作出安全适用、经济可靠的设计，更好地为社会主义四化建设服务。

§ 1.2 材料力学与生产实践的关系

科学的发生和发展是由生产决定的；反之，科学的发展又推动和促进生产的发展。材料力学和其他学科一样，也是在人类劳动和生产实践中发生、成长和发展的。

从远古时代起，人类就开始从房屋和桥梁的建筑、工具和武器的制造等方面积累了许多宝贵的经验，其中有不少是符合近代有关材料和结构强度的原理的。我们的祖先在这方面有过杰出的成就，下面仅举几个典型的例子来说明。从浙江河姆渡的建筑遗址可知，早在六、七千年前就有了木结构的萌芽。经过春秋战国至汉代，以梁和柱为主要承力构件的木结构已趋于成熟。这种具有我国特色的构架方法，与近代建筑有着原则上相同之处。几千年来木结构中广泛采用了圆柱，秦汉以后在各种建筑中还出现了方柱和其他正多边形柱。梁的截面除圆形外，大多为矩形。在横梁和立柱的接头处容易切断，我国古代建筑师又发明了斗拱（图1.1），作为立柱与横梁间的过渡结构。在1103年宋代李诫的《营造法式》中，更合理地规定了木梁的高宽比为3:2。倘从一圆木制取强度最大的矩形梁的角度看，此比值与近代计算所得的 $\sqrt{2}$ 非常接近。凡此种种，都合乎材料和结构强度的原理。宋代沈括《梦溪笔谈》关于964年重建杭州梵天寺木塔的一段叙述表明，《木经》作者喻皓当时已懂得增加结构内各部分的相互约束可以提高木塔刚度（整体性）的道理。东晋常璩《华阳国志》等记载了两千多年前战国末期李冰在四川西部建造藤索桥的事迹。而宋代以前建于同一地区的珠浦竹索桥，长达三百多米，则更为著名。在两千多年前的古墓中，已经出现了石拱结构。公元581—618年间，隋代李春建造的举世闻名的赵州桥（图1.2），就是众多石拱建筑中的杰出代表。悬索桥巧妙地利用了藤和竹索的抗拉性能，而拱桥则充分发挥了石料的抗压性能，表现出我们祖先在材料性能的认识和利用方面的高度智慧。此外，春秋战国时期的《考工记》，对车轮辐条的设计，按强、固的要求提出了准则；对车轴的设计，提出了选材要坚固、耐久和

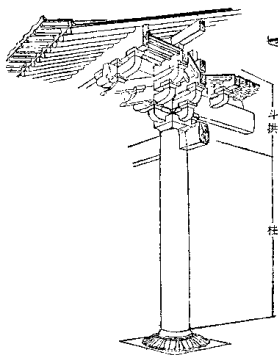


图 1.1



图 1.2



图 1.3

便于转动等原则；并针对刀、戟、矢和钟、鼎、镜等不同用途和要求，提出了各种青铜成分的配比方案，等等。东汉王充《论衡》和明代宋应星《天工开物》，都讨论过车轴木料的选择问题。

总的说来，在十四世纪以前，我国在科学技术文化艺术等方面，在世界上是遥遥领先的，虽然这些成就还只是经验的累积。但是，由于封建制度的延续，束缚了生产力的发展，因而也限制了科学技术的成长，未能走上总结提高进行理论探索的阶段。

十四世纪以后，欧洲的封建社会渐趋解体，社会经济基础有了变革，手工业逐步过渡到工场手工业，城市贸易逐步过渡到世界贸易。随着工商业不断扩大，数学、力学、物理等自然科学建立和发展起来。材料力学作为力学的一个分支，在解决大量实际问题中，逐步充实壮大，成为一门独立的科学。1638年意大利科学家伽利略（Galileo）为了解决建造船和水闸所需要的梁的尺寸，用实验研究的方法，寻求梁的强度（图1.3）。他还进行了一系列关于杆件拉伸的强度试验，并将研究成果列入《两种新的科学》一书中，这是世界上第一次提出关于强度计算概念的著作。1678年，英国科学家虎克（Hooke）发表了《关于弹簧》的论文，他在论文中总结了大量实验研究的结果，提出著名的虎克定律，给有关刚度的计算奠定了科学的基础。十七世纪末到十八世纪是数学力学的昌盛时期，材料力学的几个基本问题（强度、刚度、稳定性），都在这期间得到正确解答。如瑞士科学家欧拉（Euler）在1744年提出了关于弹性体稳定性问题，并且求得了压杆弹性稳定的计算公式；法国军事工程师库仑（Coulomb）先后在1776和1784年推出了梁弯曲时的正应力分布及圆杆扭转角的正确公式，等等。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途径。

最近几十年来,生产与科学密切结合、相互促进的过程大大加快了。在现代工程建设和国防建设中,各种力学问题层出不穷;生产和科学技术的发展(如计算机及新的实验技术等)又为力学的研究和应用提供了强有力的手段。因此,力学的视野不断扩大,出现了不少新的力学分支,应用范围也日益广泛,并深刻地改变着工程建设的思想。可以说,不可设想不要现代力学就能实现四个现代化。可以预见,固体力学(包括材料力学、结构力学、弹塑性力学、断裂力学等)将在我国四个现代化的建设中,相互促进,不断向前发展。

§ 1.3 构件及其组成体

(一) **构件的基本形式** 构件的几何形状虽然往往比较复杂,但大致可以归纳为杆、板、块三类。

一、**杆件** 在三度空间中,凡是一个方向(长度)的尺寸比其他两个方向(宽度和高度)的尺寸大得多的构件称为杆件。杆件的几何形状可以用一根轴线和垂直于轴线的截面(称为横截面)来表示。轴线是杆件各横截面形心的连线(图1.4)。轴线是一条直线的杆件称为直杆(图1.4a,b);轴线有转折的杆件称为折轴杆(或称刚架,图1.4c,d);具有弯曲轴线的杆件称为曲杆(图1.4e)。杆件的横截面不变化的称为等截面杆(图1.4a,c,e);如果杆件的横截面沿轴线改变就称为变截面杆(图1.4b,d)。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。

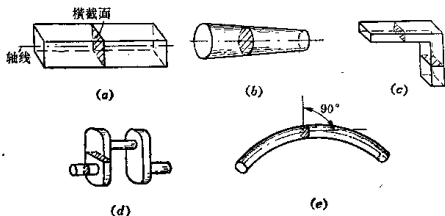


图 1.4

平行于杆件轴线的截面;称为纵截面,既不平行也不垂直于杆件轴线的截面,称为斜截面(图1.5)。

二、**板件** 凡是一个方向(厚度)的尺寸比其他两个方向的尺寸小得很多的构件,称为板件。板件的几何形状可用平分其厚度的一个面(称为中面)和垂直于这个面的厚度来表示。板件的中面为平面的称为平板(简称板,图1.6a),中面为曲面的称为壳(图1.6b)。这类构件在飞机、船舶、建筑物、仪表、各种容器和武器里用得很多。



图 1.5

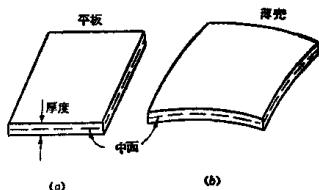


图 1.6

三、块件 三个方向的尺寸都差不多的构件称为块件。例如机器底座、房屋基础、堤坝等。

板件和块件一般在高等材料力学和弹性力学中讨论。本书只用少量篇幅涉及一些比较简单的问题。

任何结构物，如果把它的组成部分剖析一下，都可以作为杆、板或块看待。例如：发动机的气缸壁是壳；气缸盖是板；活塞杆、连杆是直杆；曲柄是折轴杆；飞轮缘是曲杆。材料力学研究的对象——构件，并非具体的机械零件或结构物的部件，而是从中抽象出的、由不同材料制成的一种力学计算模型。

(二) 关于构件组成体的假设 首先我们谈谈假设的重要意义。材料力学所研究的构件都是由可变形的固体组成的。近代物理学研究指出，一切物体是由不连续的微粒组成的，它们有规则地或不规则地排列着，相互间同时存在着吸引力和排斥力，并保持着平衡。如要根据这样复杂的物质构造来研究构件的力学性能，就目前来说是极其困难而繁琐的，很不便于工程应用。材料力学也和其他技术科学一样，要对真实情况作出切合实用的简化和理想化的假设，以便运用较为简单的数学表达式，得到符合工程精度要求的计算结果。这种简化假设就是一种科学的抽象。正如钱学森同志在《论技术科学》（载《科学通报》1957年第4期）所提出的，“在‘技术科学’中，常常根据实验观察结果，从主要现象出发，略去次要的支节，作出必要的合理的简化假设，通过理论分析，求得所需公式以后，再用实验或工程实践加以验证，这样作出的假设是符合《实践论》的科学原则的。”为了说明假设的重要意义，我们举熟悉的理论力学的刚化原理为例。设有一端固定，一端自由的杆件，长度为 l ，在自由端受集中力 P 的作用（图1.7）。根据平衡条件，在固定端的支反力和支反力矩可根据刚化原理简单地算出为

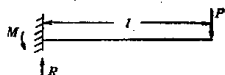


图 1.7

$$R = P,$$

$$M = Pl.$$

如果不应用刚化原理的假设，则须考虑梁在自由端的位移 u 及 v （图1.8），从而计算出梁在固定端的支反力及支反力矩为

$$R = P,$$

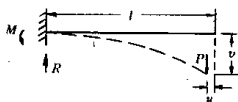


图 1.8

$$M = P(l - u).$$

从材料力学根据工程材料变形微小性的条件，通过较复杂的运算可得位移

$$v = \frac{Pl^3}{3EI},$$

$$u = \frac{Pl^2}{15EI} = \frac{3}{5} \frac{v^2}{l}.$$

又根据刚度要求^{*}， $v \leq \frac{l}{500} \sim \frac{l}{1000}$ ($\approx 0.002l \sim 0.0001l$)，可见 v 及 u 分别是长度 l 的一阶及二阶微量。于是支反力矩 M 为

$$M = P(l - u) = Pl[1 - \frac{3}{5}(0.002)^2] = 0.9999976l,^{**}$$

或者更接近于 $M = Pl$ 之值。

由此可以体会，刚化原理的假设在考虑物体静力平衡时的作用，以及假设在一般技术科学中的作用。刚化原理就是根据工程材料的变形与实际尺寸相比较极为微小这个实际情况作出的。材料力学在考虑构件的平衡时仍将采用刚化原理的假设，同时在解决强度、刚度和稳定性问题时都要提出一些合理的简化假设。这里先对构件的组成体作出下的基本假设。

一、连续均匀假设 认为在构件的整个几何容积内，充满了毫无空隙的密实均匀的物质，且各点处的力学性质完全相同，不因其体积的大小不同而有所改变。由于构件的尺寸远远大于组成物质的粒子与粒子之间的间隙，例如，金属的晶粒每边长度约 10^{-7}cm ，构件不论怎样小，总包含着几千万万个晶粒。我们所研究的是巨大数目的晶粒组成体在受力时所表现的平均的统计学的性能。所以这个假设在宏观讨论中是非常准确的。必须指出，根据连续均匀假设所得出的理论，不能用来说明物体内部某一极微小部分所发生的现象的本质。例如金属构件受到随时间改变的力作用，有时就须要考虑材料里存在的空隙。

二、各向同性假设 认为材料沿各个方向的力学性质是相同的。实际物体如金属材料是由很多晶粒组成，沿不同方向晶粒的性质是不同的，但由于这些晶粒的排列很不规则，因此它们的综合的统计性质，对于各个方向是相同的，所以可以认为是各向同性的。应该指出，钢、铜及所有矿物质的单晶体，性质上一般具有方向性；用压延方法制成的金属材料，如铜板、钢丝等，晶粒排列得比较有秩序，其力学性质沿各个方向就稍有差别。对于这种金属的单晶体和用压延方法制成的金属材料以及木料、竹材等，在计算所制成的构件的强度及刚度时，引用由各向同性假设所推导的公式，只能给出近似的答案。

根据上面两个假设，宏观上可以把构件看作各向性质相同，致密的均匀连续体。因

* 见本书第五章第三部分例题 5.32。

** 应该指出，这里有效数字的位数，应根据测量载荷及长度尺寸的精确度而定。

为连续就可使用基于连续函数的一系列数学工具，如微积分等；均匀性指出物体各点性质相同；而各向同性则指出物体的性质与方向无关。所以，我们可以利用由大尺寸的试件所测得的力学性质，来表示任意微分单元体（简称单元体）的力学性质。如果视物体为无数单元体所组成，那末，从分析研究这些单元体的受力及变形情况，就可进一步来推测整个构件的抗力性能。由于采用了这样的简化措施，材料力学才取得了现有的成就。

§ 1.4 构件的外力、变形及内力

（一）外力 各种机械、武器或结构物在使用过程中，每一构件都要受到其他物体对它作用的力，称为外力。例如：桥梁上车马的重量，桥梁本身的重量以及桥墩的承托力，都是桥梁的外力。为了计算的便利，通常把构件上的外力，区别为载荷和支反力。载荷是主动作用在构件上的力；支反力是支持着构件的物体对构件施加的反作用力，是被动力。支反力一般可由受载荷或变形的情况来决定。

在本书中我们采用国际单位制（代号为SI），它是米制的一种现代化形式。国际单位制的基本量是长度、质量和时间——米（m）、千克（kg）和秒（s）。在这个单位制中，力的单位是牛顿（N）。一牛顿约等于十分之一的公斤力。

按照外力的分布情况，可以分为体积分力和表面力。体积分力是连续分布在体积内的，如构件的自重、构件作加速运动时体内引起的惯性力等。我们用单位体积上的合力表示它，常用单位是牛顿/米³（N/m³）。表面力是物体间相互作用的力。如果连续分布的接触面较大，如飞机机翼上所受的气体压力、船底上所受的水压力等，我们用单位面积上的合力表示它，常用单位是牛顿/米²（N/m²）。有时载荷分布在狭长面积上，如楼板对梁的压力，我们可以把它看成是连续分布在一条线上的，用单位长度的合力表示它，单位为牛顿/米（N/m）。有时接触面积与构件表面尺寸相比很小时，例如车轮对于路面的作用力、轴承对传动轴的作用力等，为了计算简化，可以认为力是集中作用在一点的，称为集中力，并用力的总值来表示它，单位为牛顿（N）。

按照载荷随时间改变的情况，可以分为静载和动载。静载是缓慢地加于物体上的，由零逐渐增加到某一数值，它不使构件各部分产生加速度，或所产生的加速度相对于重力加速度而言小得可以忽略，认为构件的各部分随时处于静力平衡状态下。动载是载荷的大小、方向、位置随时间改变的载荷。在动载作用下，构件各部分通常引起显著的加速度。如果计算这些加速度比较简便，我们可以采用动静法，即把相应的惯性力加到构件上去，再用处理静载问题的方法对构件进行计算。工程上有两种动载问题需要作特殊考虑。一种是冲击载，载荷虽然很大，但作用时间非常短暂，例如炮弹对装甲板的冲击力等。一种是交变载荷（或交变应力），载荷（或应力）大小作周期性的改变，例如发动机连杆上的作用力等。在这两种动载荷作用下，材料的力学性质与在静载下不相同，本书将作专门研究。

（二）变形 杆件在不同方式的平衡外力系作用下，将产生各式各样的变形，但归纳起来不外乎四种最简单的基本变形形式，或是由两种以上基本变形组合而成的组合变形。四种基本变形以及常见的发生这些变形的杆件如下（见图1.9）：

- 一、拉伸 (或压缩) 例如: 吊索、桁架的杆件、拉杆、柱等。
- 二、剪切 例如: 螺栓、铆钉等。
- 三、扭转 例如: 传动轴、扭杆、驾驶盘轴、钻头等。
- 四、弯曲 弯曲变形的杆件, 在机械和建筑物中用得最多, 一般称为梁。

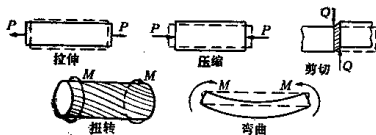


图 1.9

本书将按照上列顺序, 先分别研究各种基本变形, 再研究它们的组合变形。

固体由于外力作用而引起的变形, 如果在外力全部卸除后就能完全消失, 使物体恢复原有形状和尺寸, 这种变形称为弹性变形; 假使物体的形状不能完全恢复, 那末遗留下来的变形, 称为塑性变形 (又称永久变形或残余变形)。许多工程材料如钢、各种合金等, 在外力不超过一定范围 (即所谓弹性范围) 时, 变形完全是弹性的。当外力超过弹性范围后, 构件内部就出现塑性流动, 进入了所谓塑性范围, 这时的变形包括弹性变形和永久变形两部分。

变形在弹性范围, 标志着载荷没有改变材料的内部结构, 构件具有足够的强度, 所以我们首先要探讨构件在弹性范围内的情况。但是, 有时构件具有微量的塑性变形, 还能正常工作, 这样设计构件, 可以节省材料。此外, 为了研究构件的极限强度, 还必须了解材料在接近破坏时的情形。因此, 我们还必须进一步研究材料在塑性范围的情况。只有切实掌握材料变形的全部过程, 才有可能找到保证构件正常工作的途径。

(三) 内力

一、内力的概念 内力是构件的某一部分与其相邻部分之间相互作用的力。物体不受任何外力作用时, 体内任一部分已经处于平衡内力系的作用下, 正是这种内力 (粒子间的作用力) 使固体各部分紧密联系, 保持一定形状。倘若在物体上施加外力, 就将使它发生变形, 改变其粒子间的距离, 因而也引起内力的改变; 也就是说, 由于外力的作用, 物体内部产生了附加内力, 并由这种附加内力与外力取得平衡。附加内力随着外力的加大而相应地增加, 但是它增加的量对于各种材料来说各有着一定的限度, 超过了这个限度物体就要破坏, 所以与构件抗力性能有紧密联系的, 正是这些附加内力。今后我们只讨论附加内力, 并把它简称为内力。

二、内力的求法——截面法 为了显示和确定内力, 我们采用截面法。设一杆件在两端受到拉力 P 的作用 (图 1.10)。杆件整体是平衡的, 它的任一分段也应该是平衡的。我们用一个假想的横截面 mn 把杆件截成 I、II 两个部分。先取部分 I 为示力对象。原来作用在这个示力对象上的外力 P 应当保留, 从部分 I 的平衡可以看到: 抛弃部分 II 对于示力对象 I 的截面 mn 上必然有内力 N 作用, 这时杆件的内力 N 也就转化为作

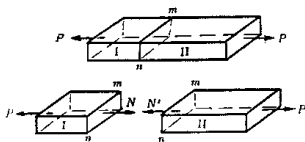


图 1.10

截面法是材料力学中计算内力的基本方法，非常重要。因为在一定条件下外力大，内力和变形也大，当内力大到一定程度，构件就会失去承载能力，所以内力是与强度、刚度和稳定性问题有关的重要物理量，是必须首先确定的。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，将构件假想地截开为两个部分；
2. 留下一部分，弃去一部分，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上的内力。

例如，图1.11表示一端固定，一端自由的杆件，在自由端受到横向力 P 的作用。利用横截面 mn 取出部分Ⅰ为示力对象，以横截面的形心 O 为原点，选定坐标轴 x 、 y 、 z （以截面的法线为 x 轴）；由于部分Ⅰ的平衡要求，在截面上必定作用有向上的内力 Q_y 和绕 z 轴作顺时针转向的内力偶矩 M_x ，根据部分Ⅰ的平衡条件，决定 Q_y 及 M_x 的数值如下：

$$\text{由 } \sum Y = 0, \text{ 得 } Q_y = P,$$

$$\text{由 } \sum M_x = 0, \text{ 得 } M_x = Px.$$

内力 Q_y 是沿横截面作用的，称为剪力， M_x 称为弯矩， Q_y 、 M_x 以及 N 诸内力，统称内力素。在空间力系下，一般有六个内力素，这将在以后详细讨论。

在更一般的情况下，用截面法求内力将更为复杂一些。读者要通过不断的练习和体会，务必熟练掌握。

（四）关于力系用相当力系代替原理的讨论 理论力学在解决体系的平衡及运动状态问题时，常把力沿着作用线移动，

力偶沿作用面内移动，或用相当力系来代替某些外力。对于考虑刚体的平衡与运动来说，这样做是合理的。材料力学要研究构件的内力与变形，任意移动力的位置，有时可能造成根本性的错误，必须特别注意。

例如，图1.12 (a) 和 (b) 所示的两杆完全相同，所受载荷 P 的大小和方向也相同，但着力点不同。如果分析 BC 段任何截面上的内力，可知杆(a)都存在着拉力，而杆(b)却没有内力；从变形来看，杆(a)是全部受拉，杆(b)只有 AB 段受拉，前

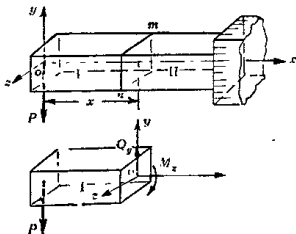


图 1.11