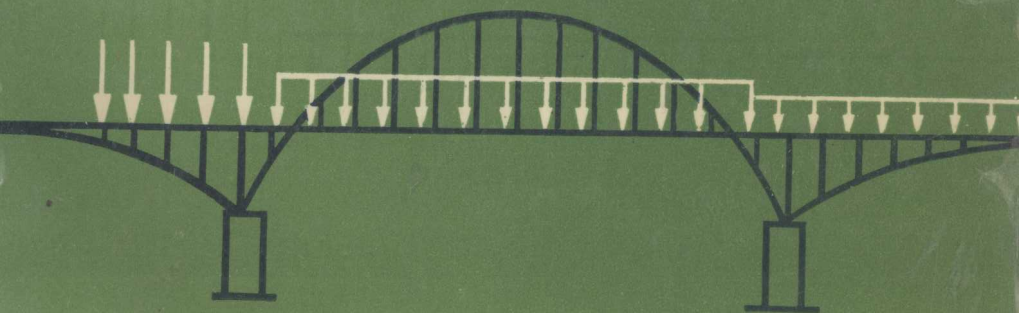




材料力学

卢光斌
马仲达
李秀菊

编



西南交通大学出版社

材料力学

卢光斌 马仲达 李秀菊 编

西南交通大学出版社

(川)新登字 018 号

内 容 提 要

本书内容包括:绪论,轴向拉伸和压缩,剪切,扭转,截面几何性质,弯曲内力,弯曲应力,梁的位移,应力状态和强度理论,组合变形,压杆稳定,动荷载和交变应力,概略极限状态设计法等。并配有全套材料力学练习册。

本书可以作为中等专业学校土建类各专业的材料力学教材,亦可供土建类工程技术人员参考。

材 料 力 学

卢光斌 马仲达 李秀菊 编

*

西南交通大学出版社出版发行

(成都九里堤)

新华书店经销

仁寿县印刷厂激光照排印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:10.0625

字数:246千字 印数:1—6000册

1993年12月第1版 1993年12月第1次印刷

ISBN7-81022-611-8/O·051

定价:6.50元

前 言

本书是根据铁路中专力学课程组制定,经部教育司批准的《铁路中专力学实施性教学大纲》,和部教育司对西南交通大学出版社91西交出字第013号批文编写的。主要用作铁道工程、铁道桥梁、桥梁与隧道、工业与民用建筑、给水排水工程等专业的教材(学时范围:90~100学时),亦可供工程技术人员参考。

本书照顾到铁路专业的需要,吸取多年教学改革和教材建设的经验,在简练教学体系,培养学生智能,反映新规范等方面作了一些尝试。全书共分十三章,其中概率极限状态设计法一章标*号,作为选修内容。本书配有整套练习册,以期在有限的教学时间内加强基本训练。

参加编写工作的有:武汉铁路桥梁学校卢光斌(第一、二、三、六章),天津铁路工程学校李秀菊(第四、五、七、八章),合肥铁路工程学校马仲达(第九、十、十一、十二章),衡阳铁路工程学校杨禹门(第十三章),练习册由衡阳铁路工程学校郭保生编写。卢光斌主编,马仲达主审。成都铁路工程学校刘沛荣,武汉铁路桥梁学校邵志尧,齐齐哈尔铁路工程学校杨宝琦参加审稿。

书中难免不妥之处,敬请读者指正。

编 者

1992年11月

目 录

第一章 绪论及基本概念.....	(1)
§ 1—1 材料力学的任务.....	(1)
§ 1—2 材料力学的研究对象.....	(2)
§ 1—3 杆件变形的基本形式.....	(5)
第二章 轴向拉伸和压缩.....	(7)
§ 2—1 轴向拉伸和压缩的概念.....	(7)
§ 2—2 拉(压)杆的内力·截面法·轴力图.....	(8)
§ 2—3 拉(压)杆横截面及斜截面上的应力	(15)
§ 2—4 轴向拉(压)杆的强度计算	(23)
§ 2—5 轴向拉(压)杆的变形和位移·胡克定律	(28)
§ 2—6 拉压超静定问题	(33)
§ 2—7 材料在拉伸和压缩时的力学性能	(38)
§ 2—8 安全系数·许用应力	(45)
第三章 剪 切	(47)
§ 3—1 剪切的概念	(47)
§ 3—2 剪切和挤压强度的实用计算	(48)
第四章 扭 转	(55)
§ 4—1 扭转的概念	(55)
§ 4—2 薄壁圆筒的扭转	(61)

§ 4—3	圆轴扭转时的应力	(64)
§ 4—4	圆轴扭转时的强度计算	(69)
§ 4—5	圆轴扭转时的变形及刚度计算	(72)
第五章	截面的几何性质	(75)
§ 5—1	静面矩	(75)
§ 5—2	惯性矩	(80)
§ 5—3	惯性半径·惯性积	(87)
§ 5—4	形心主惯性轴和形心主惯性矩	(89)
第六章	弯曲内力	(91)
§ 6—1	梁的平面弯曲概念及梁的计算简图	(91)
§ 6—2	梁的剪力和弯矩	(93)
§ 6—3	静力法作剪力图和弯矩图	(100)
§ 6—4	弯矩、剪力与荷载集度之间的微分 关系及其应用	(105)
§ 6—5	简捷法作剪力图和弯矩图	(109)
§ 6—6	叠加法作弯矩图	(116)
第七章	弯曲应力	(123)
§ 7—1	梁横截面上的正应力	(124)
§ 7—2	梁的正应力强度计算	(131)
§ 7—3	梁的合理截面形状与合理结构形式	(139)
§ 7—4	梁横截面上的剪应力及剪应力强度 计算	(145)
第八章	梁弯曲时的位移	(157)
§ 8—1	梁弯曲时横截面的位移	(157)

§ 8—2	积分法计算梁的位移	(160)
§ 8—3	叠加法计算梁的位移	(167)
§ 8—4	梁的刚度校核及提高梁刚度的措施	(171)
第九章	应力状态·强度理论	(176)
§ 9—1	应力状态的概念	(176)
§ 9—2	平面应力状态分析·应力圆	(180)
§ 9—3	梁的主应力·主应力迹线的概念	(193)
§ 9—4	三向应力状态·广义胡克定律	(196)
§ 9—5	强度理论	(199)
第十章	组合变形	(207)
§ 10—1	概 述	(207)
§ 10—2	斜弯曲	(208)
§ 10—3	压缩(拉伸)与弯曲组合变形的强度 计算	(216)
§ 10—4	偏心压缩(拉伸)	(221)
§ 10—5	截面核心	(229)
第十一章	压杆稳定	(234)
§ 11—1	压杆稳定性的概念	(234)
§ 11—2	细长压杆临界力的欧拉公式	(237)
§ 11—3	欧拉公式的适用范围	(240)
§ 11—4	压杆的稳定计算——折减系数法	(245)
§ 11—5	提高压杆稳定性的措施	(254)
第十二章	动荷载·交变应力	(258)
§ 12—1	动荷载	(258)

§ 12—2	等加速运动构件的应力计算	(259)
§ 12—3	冲击应力的概念	(267)
§ 12—4	交变应力及疲劳破坏的概念	(272)
第十三章	概率极限状态设计法	(280)
§ 13—1	概 述	(280)
§ 13—2	承载能力极限状态	(281)
§ 13—3	结构的失效概率和概率极限状态 设计法	(287)
§ 13—4	概率极限状态设计表达式	(292)
§ 13—5	钢梁强度计算算例	(297)
§ 13—6	正常使用极限状态和钢梁刚度验算	(298)
附录	型钢规格表	(300)
	参考文献	(314)

第一章 绪论及基本概念

§ 1—1 材料力学的任务

建筑物中承受荷载而起骨架作用的部分称为结构。组成结构的单个部分称作构件。结构要正常工作，组成结构的各个构件则必须正常工作。这就要求构件具有足够的抵抗破坏的能力，即具有足够的强度。构件还应具有足够的抵抗变形的能力，即具有足够的刚度。例如图 1—1 所示斜拉桥用钢丝束作为缆索，它不能断裂。斜拉桥的主梁除不能破坏外，当车辆、人群通过时，其弯曲变形也应限制在工程允许的范围内，以保证车辆正常行驶。此外，有些构件当荷载增大到一定程度时，不能保持原有的平衡形态，这种现象通常称为失稳。因此构件还应当具有足够的抵抗失稳的能力，即具有足够的稳定性。我们把构件满足强度、刚度和稳定性要求的能力，称为构件的承载能力。

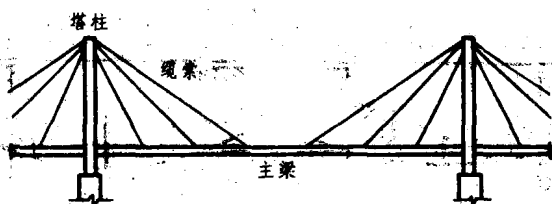


图 1—1

为了保证构件具有足够的承载能力，常采取一些措施，例如选用优质材料，增大构件的截面尺寸，改变截面的形状。这便涉及到

节约资金,减轻自重的问题,我们必须妥善地解决构件受力与承载能力的矛盾。

材料力学的任务是,研究构件受力与承载能力的矛盾,为合理选择构件的材料、截面形状和尺寸,提供必要的理论基础和简便实用的方法。

§ 1—2 材料力学的研究对象

一、可变形固体

制造构件的材料,如钢、铸铁、混凝土、木材等,都是固体,而且在荷载作用下会发生变形——包括物体尺寸的改变和形状的改变。这些材料统称为可变形固体。

图 1—2 所示一段平直的铁丝,在横向力作用下变弯。当荷载较小时,铁丝弯曲的曲率不大。如果将荷载撤消,铁丝会恢复直线形态。这种在荷载撤去后即完全消失的变形称为弹性变形,如果作用在铁丝上的荷载较大,铁丝弯曲的曲率也就较大。若将荷载撤消,铁丝不能恢复直线形态,仍残留一部分变形。这种在荷载撤去后不能消失而残留下来的那部分变形称为塑性变形。

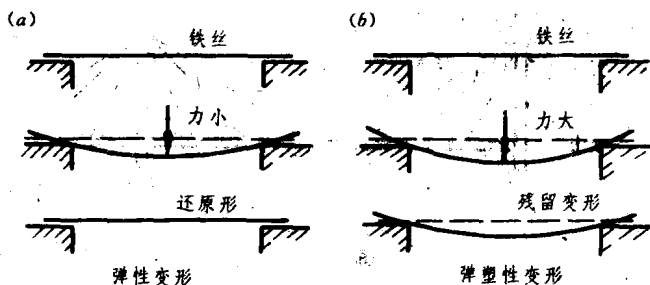


图 1—2

多数构件在正常工作的情况下,均要求材料只发生弹性变形。我们把只发生弹性变形的物体称为弹性体。材料力学所研究的对象主要是弹性体。

由于弹性变形的量值与构件的尺寸相比相当微小,这样的变形称为小变形。在用平衡条件研究构件的外力

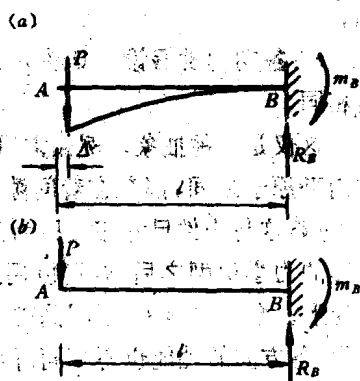


图 1-3

及内部受力时,为了便于计算,均忽略这些微小的变形量值,而按构件的原始尺寸和形状计算。即使是研究构件的变形,也往往忽略某个方位的变形量,在这个方位按原始尺寸计算。例如悬臂梁在力 P 作用下, A 端产生竖向位移和水平位移 Δ ,如图 1-3(a)。 B 端的支座反力偶矩为

$$m_B = P(l - \Delta)$$

由于梁 A 端的竖向位移为一般工程允许的量值(如 $l/400$),则 Δ 不超过 l 的十万分之一,故可略去微小量 Δ ,则

$$m_B = Pl$$

相当于按图 1-3(b)所示的计算简图进行计算。

二、可变形固体的基本假设

研究构件的强度、刚度或稳定性,为使问题简化,须略去材料的一些次要性质,并根据其主要性质作出假设,将它们抽象为一种理想材料。在材料力学中,对可变形固体作了如下基本假设:

1. 连续性假设 认为可变形固体在其整个体积内,连续地毫无空隙地充满了物质。

2. 均匀性假设 认为可变形固体内各处的力学性能完全相

同。

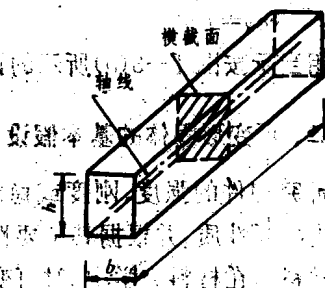
3. 各向同性假设 认为可变形固体沿各个方向的力学性能均相同。

这仅是一种抽象。例如常用的金属材料,晶粒与晶粒之间,晶粒内部原子之间,都存在着间隙。材料力学从宏观研究可变形固体,忽略这与构件尺寸相比极为微小的空隙。当我们把构件抽象为连续的力学模型之后,就可以用连续函数来描述构件内部的受力和变形。金属材料中,不同晶粒的内部组成不同,因而各处的性能不同,各方向的性能也不相同。但材料力学从宏观上测试材料的力学性能,测出的是试件所有组成部分的统计平均值,而且是同种材料多组试件的统计平均值,因此可以认为材料的力学性能是均匀的,沿各个方向的性能是相同的。

三、主要研究对象的几何特征

按几何特征分类,构件可分为杆、板、壳和实体。材料力学主要研究杆,而且多是直杆。杆的几何特征是,纵向(长度方向)尺寸远大于横向(垂直于长度方向)尺寸。斜拉桥的主梁、塔柱可以抽象为杆。缆索受拉时,亦可抽象为杆。

杆件的形状和尺寸可以用杆的横截面和轴线两个几何元素来描述(图 1—4)。横截面指与杆的纵向相垂直的截面,而轴线是各横截面形心的连线。横截面和轴线相互垂直。如果轴线为直线且横截面都相同,这样的杆称为等直杆。



综上所述,材料力学的主要研究对象是,均匀、连续、各向同性

的小变形弹性直杆。

§ 1—3 杆件变形的基本形式

杆件因外力作用而发生变形。外力的类型(力、力偶)不同,个数不同,各力的作用点、方位及指向不同,杆件的变形也就不同。例如如图 1—5(a)、(b)所示的相同杆件,同受三个力,甚至力的作用点也相同,只因力的方向不同,杆的变形形式便不同。

工程实际中杆件的变形形式多种多样,不外乎是以下四种基本变形形式之一,或者是几种基本变形形式的组合。

1. 轴向拉伸和压缩

如图 1—6(a)、(b)所示等直杆,在一对作用线与杆轴线重合的外力作用下,杆的主要变形是轴向伸长或缩短。

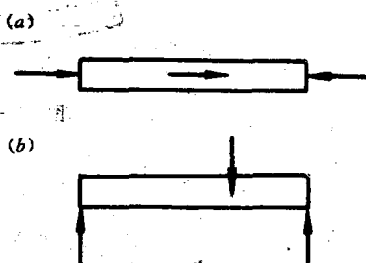


图 1—5

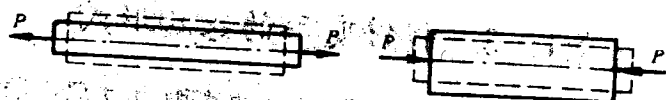
2. 剪切 如图 1—6(c)所示等直杆,在一对相距很近、指向相反、大小相等的横向外力作用下,杆的主要变形是横截面沿外力作用方向发生相对错动。

3. 扭转 如图 1—6(d)所示圆截面等直杆,在一对作用面垂直于杆轴线、转向相反、大小相等的外力偶作用下,杆的变形为相邻的横截面绕杆的轴线发生相对转动。

4. 弯曲 如图 1—6(e)所示等直杆,在一对作用在纵向对称平面内、转向相反、大小相等的外力偶作用下,杆的变形为相邻横截面绕垂直于杆轴线的轴发生相对转动,杆的轴线弯成曲线。

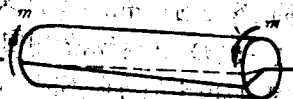
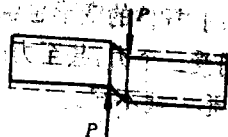
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

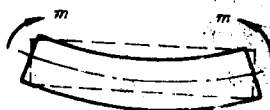


图 1-6

第二章 轴向拉伸和压缩

§ 2—1 轴向拉伸和压缩的概念

图 2—1(a) 所示屋架由木杆、钢杆组成, 承受檩条传来的荷载。在略去一些次要因素之后, 可用图 2—1(b) 所示桁架作为计算简图。桁架的杆件均为链杆, 如果外力背离杆的端面, 杆则轴向伸长, 这样的力称为拉力, 杆为拉杆; 外力如果指向杆的端面, 杆则轴向缩短。这样的力称为压力, 杆为压杆 (图 2—2)。

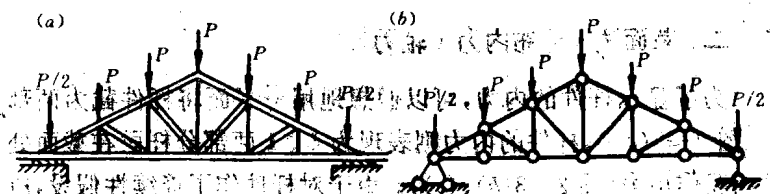


图 2—1

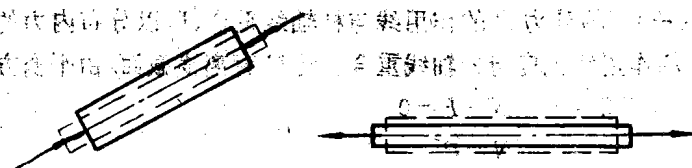


图 2—2

工程中有许多构件, 经过简化之后都具有如下特点, 在几何方

面,都是直杆;在受力方面,外力(或外力的合力)的作用线与杆的轴线重合;在变形方面,杆件产生轴向伸长(或缩短),同时横向缩小(或扩大)。这类杆件称为轴向拉(压)杆。这种受力变形形式称为轴向拉伸和压缩,它是杆件的基本变形形式之一。

§ 2—2 拉(压)杆的内力。

截面法·轴力图

一、内 力

杆件受外力作用而变形。由于内部质点的相对位置发生变化,各质点间的相互作用力也就发生改变。这种由于外力作用而引起的质点间相互作用力的改变量,就是材料力学所研究的内力。

二、截面法·分布内力·轴力

为了显示杆件的内力,可以假想地用一平面将杆件截为两部分(图 2—3(a)),杆件的内力则表现为 I、I 两部分杆段在截面处的相互作用力(图 2—3(b)、(c))。由于对杆件作了连续性假设,所以作用在截面上的是连续分布的内力,称为分布内力。完全确定各处的分布内力不太容易,而分布内力的合力的作用点、方向及大小却不难由杆段的平衡条件确定。例如杆段 I (图 2—3(b)),由于轴向拉(压)杆的外力 P 的作用线与杆轴线重合,所以分布内力的合力 N 的作用线也应与杆轴线重合。设 N 背离横截面,由平衡方程

$$\sum X=0, \quad N-P=0$$

得

$$N=P$$

今后,“内力”一词专指分布内力的合力(集中力或集中力偶)。上述显示和确定内力的方法称为截面法。

轴向拉(压)杆横截面的内力其作用线与杆轴线重合,我们称

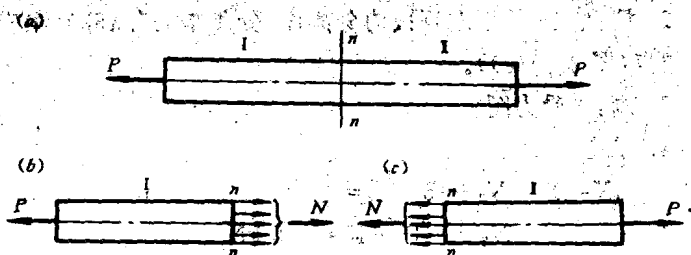


图 2-3

之为轴力。轴力是定位矢量。由于轴力的作用点在横截面的形心，方位垂直于横截面，因此描绘具体的轴力，只须确定它的指向和大小两个因素。这样，我们就可以用代数量来描述轴力，规定拉力为正，压力为负，绝对值表示轴力的大小。在用截面法求轴力时，受力图上未知轴力一律设为拉力。用平衡条件计算的结果，若轴力为负值，从平衡的角度看，轴力的实际指向与受力图上假设的指向相反；按材料力学及工程实际的规定，负值轴力即为压力，对应杆段轴向缩短。

例 2-1 求图 2-4(a)所示杆件指定截面 1-1、2-2 的轴力。

解

1. 1-1 截面的轴力

(1) 截：在 1-1 截面处将杆截开。

(2) 取：取 1-1 以左杆段为分离体。

(3) 画：画受力图(图 2-4(b))。

(4) 平衡：

$$\sum X = 0, \quad N_1 - 10 = 0$$

$$N_1 = 10 \text{ kN}$$

2. 2-2 截面的轴力