



国家级精品课程主干教材
普通高等教育“十二五”规划教材

材料力学

邓宗白 陶 阳 吴永端 编著



科学出版社

国家级精品课程主干教材
普通高等教育“十二五”规划教材

材 料 力 学

邓宗白 陶 阳 吴永端 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书编排紧凑、概念清楚、体系创新、面向工程,是一本编写特色鲜明、内容有新意的教材。本书通过概念群的分章讨论,既突出重点,又体现共性和个性的相互关系,有助于加强对材料力学的基本概念、基本理论和基本方法的理解,提高学生的工程素质和认识水平,培养综合全面的分析思考能力。

全书共分 10 章,包括材料力学概述、材料的力学性能、杆件的内力、杆件的应力、杆件的变形和位移、简单超静定问题、应力分析和应变分析、压杆的稳定性、动荷载与交变应力、杆件的失效准则与安全设计。

本书适用于普通高等学校土建、水利、交通类等工科专业的材料力学课程本科教学,所需教学时数为 56~80 学时;也可作为高职高专与成人高校师生的选用教材及有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/邓宗白,陶阳,吴永端编著. —北京:科学出版社,2013. 8

国家级精品课程主干教材·普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-038349-5

I. ①材… II. ①邓…②陶…③吴… III. ①材料力学-高等学校-教材
IV. ①TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 191608 号

责任编辑:邓 静 / 责任校对:张凤琴

责任印制:闫 磊 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 8 月第一次印刷 印张:24 1/2

字数:660 000

定价:49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书以教育部高等学校力学教学指导委员会新修订的课程基本要求为基准,结合国家精品课程的建设成果,总结 20 多年的教学实践,传承创新,博采众长,与时俱进,突出能力培养,在内容体系和方法上作了较大的调整。

《材料力学》的教学体系、编写风格和特点,世界各国有很大的不同。欧美的教材比较强调工程实用性,苏联的教材更侧重理论性和系统性。目前国内的教材开始注重博采国外优秀教材的长处,注重结合工程实际。但就体系而言,大多还是以基本变形和组合变形为主线。近年来,有的高校尝试对教学内容与体系进行改革。近几年出版的教材中,也有教材先讲内力再讲应力、应变,但感觉同类概念群的理念还不够十分明确。

从 20 世纪 80 年代起,我们开始探索新的教学方法和体系,即将相同概念组成概念群,结合工程实际和生活实际引出问题,以内力、应力、应变、位移和变形为主线,对基本变形和组合变形进行分析,并在此基础上,就静载和动载及静定和超静定结构,作强度、刚度和稳定性方面的杆件综合设计,使教学更贴近工程。

本书在编写中注重巩固基本,结合工程,扩大应用,提高分析能力,减少授课时数。在此基础上,面向土木工程及相关专业,丰富工程实例,精选例题,深入浅出,简洁明了。本书在教学体系上做了较大的创新,主要特色有以下四点。

1. 构造九个同类概念群,既突出重点,又体现共性和个性的相互关系

九个概念群分别为:(1)基本概念群;(2)内力分析概念群;(3)杆件应力概念群;(4)变形和位移概念群;(5)超静定问题概念群;(6)应力应变分析概念群;(7)压杆稳定概念群;(8)动荷载概念群;(9)杆件安全设计概念群。相同概念一次讲透有利于基本概念、基本理论和基本方法的掌握,节约原体系多次分散重复的时间,强调同类概念群的分章研究;承前启后,相互呼应,反复巩固,综合思考。

2. 综合进行杆件的静动态设计与应用

改变传统的静态问题、动态问题及稳定问题分别阐述的方法,将杆件在静、动态下的强度、刚度及稳定性的综合设计与应用归结在一起,作为材料力学任务的最终归结,以提高学生结合工程综合分析问题的能力。

3. 工程特点鲜明

结合大量的工程实例,加强工程应用的阐述,增加具有工程背景的例题和习题。

4. 模块化教学,节省学时

本书深入浅出、留有余地,适应不同层次的教学需要,将知识面分为基本掌握和提高扩展两类,可增可减。对打“*”号的内容视具体情况自由取舍,便于模块化教学。

本书编排紧凑、概念清楚、体系创新、面向工程,是一本编写特色鲜明、内容有新意的教材。

本书第 1、2、6、8、9、10 章由邓宗白编写,第 3、4、5、7 章和附录 A、B 由陶阳编写。吴永端教授对全书进行了最终审校。

限于作者的水平,书中难免有不足之处,希望读者提出宝贵意见。具体意见请发至 lxcenter@nuaa.edu.cn,非常感谢。

作 者

2013 年 5 月

目 录

前言

第 1 章 材料力学概述	1
1.1 材料力学的性质和任务	1
1.2 材料力学的基本假设	1
1.2.1 变形固体的基本假设	2
1.2.2 构件变形的的基本假设	2
1.3 材料力学的研究对象	3
1.4 杆件变形的形式	4
1.5 外力及其分类	6
1.6 内力和应力	6
1.7 变形、位移和应变	7
1.8 材料力学的研究方法	8
复习思考题	9
习题	10
第 2 章 材料的力学性能	11
2.1 低碳钢的拉伸力学性能	11
2.1.1 拉伸曲线与应力-应变曲线	11
2.1.2 材料的力学性能	14
2.2 其他塑性材料拉伸时的力学性能	15
2.3 铸铁拉伸时的力学性能	15
2.4 低碳钢和铸铁的压缩试验	16
2.5 低碳钢和铸铁的扭转试验	17
2.5.1 低碳钢扭转试验	17
2.5.2 铸铁扭转试验	18
2.6 温度、时间及加载速率对材料力学性能的影响	18
2.6.1 短期静载下温度对材料力学性能的影响	18
2.6.2 高温下时间对材料力学性能的影响	18
2.6.3 加载速率对材料力学性能的影响	19
复习思考题	19
习题	20
第 3 章 杆件的内力	21
3.1 确定内力的截面法	21
3.2 轴向受力杆件的内力	22
3.3 轴向分布力集度与轴力的关系	26
3.4 受扭杆件(轴)的内力	28

* 3.5	分布力偶矩集度与扭矩的关系	30
3.6	受弯杆件(梁)的内力	31
3.6.1	梁的剪力和弯矩	33
3.6.2	梁的剪力方程和弯矩方程·剪力图和弯矩图	35
3.7	横向分布力集度与剪力、弯矩的关系	38
3.8	叠加原理作弯矩图	45
3.9	静定平面刚架和曲杆的内力	46
3.10	组合变形时杆件的内力	48
3.10.1	两相互垂直平面内的弯曲	48
3.10.2	拉伸(压缩)与弯曲	49
3.10.3	扭转和弯曲的组合	54
3.10.4	拉伸和扭转的组合	54
3.10.5	拉伸、扭转和弯曲的组合	55
	复习思考题	56
	习题	58
第4章	杆件的应力	64
4.1	轴向拉伸和压缩杆件的应力	64
4.2	应力集中、圣维南(Saint-Venant)原理	67
4.3	扭转杆件的应力	68
4.3.1	圆轴扭转的应力	68
4.3.2	切应力互等定理	73
4.3.3	非圆截面扭转简介	73
4.4	纯弯曲梁的应力	76
4.4.1	纯弯曲梁的正应力	76
4.4.2	梁弯曲时截面的几何量计算	79
4.5	横力弯曲梁的应力	81
4.5.1	横力弯曲梁的正应力	81
4.5.2	横力弯曲梁的切应力	83
* 4.6	开口薄壁截面梁的切应力·弯曲中心	91
4.7	组合变形杆件的应力	94
4.7.1	两相互垂直平面内弯曲变形的应力	95
4.7.2	拉(压)弯组合变形的应力	97
4.7.3	扭转和弯曲的组合变形的应力	103
4.7.4	拉(压)扭组合变形的应力	104
4.7.5	拉伸、扭转和弯曲组合变形的应力	104
	复习思考题	107
	习题	110
第5章	杆件的变形和位移	124
5.1	杆的拉伸和压缩变形	124
5.2	圆轴的扭转变形	128

5.3 梁的弯曲变形	130
5.3.1 概述	130
5.3.2 挠曲线近似微分方程	131
5.3.3 积分法求弯曲变形	131
5.3.4 叠加法求弯曲变形	137
5.4 组合变形杆件的位移	141
5.4.1 斜弯曲梁的位移	141
5.4.2 拉(压)弯组合变形的位移	141
5.4.3 弯曲、扭转组合变形的位移	143
5.5 能量法求杆件的位移	144
5.5.1 能量法概述和应变能计算	144
5.5.2 功的互等定理,位移互等定理	148
5.5.3 莫尔定理及图乘法	148
复习思考题	155
习题	158
第6章 简单超静定问题	168
6.1 静定与超静定系统	168
6.2 变形比较法解简单超静定问题	170
6.2.1 拉伸(压缩)超静定问题	170
6.2.2 扭转超静定问题	176
* 6.2.3 薄壁杆件的自由扭转	178
6.2.4 弯曲超静定问题	182
6.3 能量法解超静定问题	185
6.3.1 莫尔定理解超静定问题	185
6.3.2 图乘法解超静定问题	187
6.3.3 力法解超静定问题	188
6.4 对称和反对称特性的应用	194
复习思考题	198
习题	199
第7章 应力分析和应变分析	204
7.1 应力状态的概念	204
7.2 平面应力状态分析的解析法	206
7.2.1 应力分量和方向角的符号规定	206
7.2.2 任意方向面上的应力	207
7.2.3 主应力与最大切应力	208
7.3 平面应力状态分析的图解法	211
7.3.1 应力圆(莫尔圆)方程	211
7.3.2 应力圆的画法	212
7.3.3 应力圆上的点与单元体面上的应力的对应关系	212
7.3.4 应力圆的应用	213

7.4	三向应力状态	216
7.5	复杂应力状态下的应力应变关系	218
7.5.1	广义胡克定律	218
7.5.2	体积胡克定律	219
7.6	复杂应力状态的应变能密度	223
* 7.7	平面应变状态分析	224
7.7.1	任意方向的应变	225
7.7.2	主应变的数值与方向	226
7.7.3	应变的测量与应力计算	227
7.8	几种组合变形的主应力分析	228
7.8.1	弯曲和扭转组合变形的主应力	228
7.8.2	拉伸和扭转组合变形的主应力	229
7.8.3	拉伸、弯曲和扭转组合变形的主应力	230
	复习思考题	234
	习题	237
第8章	压杆的稳定性	245
8.1	两类稳定性问题	245
8.2	细长压杆的临界压力	247
8.2.1	两端铰支细长压杆的临界压力	247
8.2.2	其他支座下细长压杆的临界压力	249
8.3	压杆的临界应力 经验公式	253
8.3.1	临界应力	253
8.3.2	欧拉公式的适用范围	253
8.3.3	临界应力的经验公式	254
	复习思考题	259
	习题	260
第9章	动荷载与交变应力	265
9.1	构件变速运动时的应力与变形	265
9.1.1	构件匀加速平移时的应力与变形	265
9.1.2	构件定轴转动时的应力与变形	266
9.2	冲击荷载作用下构件的应力与变形	269
9.2.1	垂直冲击	270
9.2.2	水平冲击	275
9.2.3	突然制动引起的冲击	276
9.2.4	降低冲击影响的措施	279
9.3	交变应力和疲劳强度	280
9.3.1	交变应力和疲劳破坏特征	280
9.3.2	材料的疲劳试验与持久极限	282
9.3.3	构件的持久极限及影响因素	284
9.3.4	提高构件疲劳强度的措施	285

复习思考题	286
习题	286
第 10 章 杆件的失效准则与安全设计	294
10.1 杆件的失效与设计的基本思想	294
10.2 强度失效与强度条件	294
10.3 强度理论的概念	296
10.4 常用的四种强度理论	296
10.4.1 最大拉应力理论(第一强度理论)	296
10.4.2 最大伸长线应变理论(第二强度理论)	297
10.4.3 最大切应力理论(第三强度理论)	297
10.4.4 畸变能密度理论(第四强度理论)	298
10.4.5 相当应力	299
10.5 强度设计	301
10.5.1 杆件的强度设计	301
10.5.2 连接件强度的工程计算	310
10.6 刚度设计	314
10.7 压杆稳定设计	317
* 10.8 疲劳强度设计简介	319
10.9 杆件综合设计应用	320
10.10 提高杆件强度、刚度和稳定性的一些措施	328
10.10.1 选用合理的截面形状	329
10.10.2 合理安排杆件的受力情况	330
10.10.3 合理选用材料	331
复习思考题	332
习题	334
附录 A 截面的几何性质	344
附录 B 型钢表	357
习题答案	370
参考文献	382

第 1 章 材料力学概述

组成结构或机械的零部件,如建筑物的梁和柱、旋转机械的轴等,常统称为**构件**。制造构件的工程材料种类繁多,但一般都是**固体**。在力作用下,固体会发生尺寸和形状的变化,这种变化称为**变形**。因此,构件一般都是**变形固体**。材料力学就是研究变形固体在力作用下的变形规律和构件能否安全工作的一门科学。

1.1 材料力学的性质和任务

材料力学研究的构件可看成是由一根杆件或由几根杆件组成的结构。构件在力的作用下会发生变形过大甚至发生断裂破坏而失效。为了使制造的工程构件能够正常工作,构件的设计必须满足下面三个基本要求:

- (1) **强度** 构件不发生破坏(断裂或失效),即具备足够的抵抗破坏的能力;
- (2) **刚度** 构件不产生过大的变形(不超出工程上的许可范围),即具备足够的抵抗变形的能力;
- (3) **稳定性** 构件在微小的干扰下,不会改变原有的平衡状态,即具备足够的保持原有平衡状态的能力。

强度、刚度、稳定性是构件设计必须满足的条件,随不同工况、不同结构,三个方面会有所侧重或兼而有之。显然,改变构件的形状和尺寸、选用优质材料等措施,可以提高构件安全工作的能力,但若片面追求构件的承载能力和安全性,不恰当地改变构件形状和尺寸或选用优质材料,将会增加构件的重量和制造成本,所以安全性与经济性常常是矛盾的。材料力学就是要合理地解决这对矛盾。

材料力学的任务可概括为:①研究构件的受力、变形和失效的规律;②为设计既经济又安全的构件,提供强度、刚度和稳定性方面的基本理论和计算方法。任务的前者是后者的理论基础,后者则是前者的工程应用。

材料力学还在基本概念、基本理论和基本方法方面为变形固体力学、实验力学、机械设计和结构设计等课程奠定基础,是机械、结构类专业必备的基础知识。

1.2 材料力学的基本假设

理论力学是讨论物体在力作用下整体产生的运动规律,称为**外效应**,因此将研究对象视为刚体,在刚体内部各质点之间保持相对位置不变,所以物体受力过程中其形状和尺寸都不改变(即不变形)。

材料力学研究的是变形固体,在力作用下,物体内部各质点间的位置发生改变,产生**内力**,引起物体尺寸和形状的改变,即**变形**,这称为**内效应**。因此,即使构件由于约束不允许有总体上的刚性移动,但未被约束的部分仍将有空间位置上的变化,这就是变形固体具有的特点。

1.2.1 变形固体的基本假设

变形固体有多方面的属性,不同的研究领域,侧重面各异,在材料力学的研究中,对变形固体作出如下假设:

(1) **连续性假设** 认为物质毫无空隙地充满着固体的整个几何空间。实际上变形固体是由许多晶粒结构组成的,且具有不同程度的空隙(包括缺陷、夹杂等),但它与构件尺寸相比极为微小,可忽略不计,故认为材料在整个几何空间里是密实的,其某些力学量可以用坐标的连续函数来表示。

(2) **均匀性假设** 认为从变形固体内取出的任意一小部分,不论其位置如何都具有完全相同的力学性能。实际上,各晶粒结构的性质不尽相同,晶粒交界处的晶界物质和晶粒本身的性质也不相同,晶粒排列也不规则,但由于晶粒尺寸远小于构件材料的尺寸,材料的力学性能是无数晶粒力学性能的统计平均值,因此可以认为变形固体各部分的力学性能是均匀的。

从构件任意部位取出的一部分或微小单元体块(称为**单元体**),其力学性能都和整体相同。显然,通过材料试样的实验获得的力学性能,可应用于该材料制成的任何构件的任一部分或单元体。

(3) **各向同性假设** 认为变形固体在各个方向的力学性能都是相同的,具备这种属性的材料称为各向同性材料。金属的单个晶粒是各向异性的,但由于材料是由无数多的晶粒所组成的,且晶粒的排列是杂乱无章的,这样,金属材料在各个方向的性质就接近相同了。除金属外,玻璃、工程塑料等亦为典型的各向同性材料。

至于由增强纤维和基体材料制成的复合材料等,其抗力性能是有方向性的,称为各向异性材料,不在本书的讨论范围之内。

1.2.2 构件变形的基本假设

构件受力将产生变形,其大小与所受的力有关。在材料力学中,所研究的问题一般仅限于构件变形的大小远小于其原始尺寸的情况,这通常称为**小变形条件**。在此基础上,为了简化分析计算,材料力学提出**小变形假设**,主要包含两个内容:

(1) **原尺寸原理** 研究构件的平衡和运动时,忽略构件的变形,按构件变形前的原始尺寸和形状分析计算。

在图 1.1 中,简易吊车受力产生变形,由初始的 A 点移动到 A' 点处,但研究构件的平衡关系时,仍采用变形前的原始形状和尺寸,如图 1.1(b)所示。

(2) **线性化原理** 研究构件的位移和变形的几何关系时,构件的位移常常是一弧线,为简化分析计算,以一直线(垂线或切线)代替,简称**以直代曲**。

例如图 1.1(a)中,研究 A 点的位移时,设想将两杆在 A 点处拆开, AB 杆沿轴线伸长到 A_1 处, AC 杆沿轴线缩短到 A_2 处,由于变形后两杆仍应铰接在一起,则分别以 B 、 C 为圆心,以 $\overline{BA_1}$ 和 $\overline{CA_2}$ 为半径作圆弧,相交于 A' 点,即变形后的位置,在小变形情况下,弧线 $\widehat{A_1A'}$ 与 $\widehat{A_2A'}$ 可分别用其切线 $\overline{A_1A_3}$ 和 $\overline{A_2A_3}$ 替代,以 A_3 替代 A' 为 A 点变形后的位置。

在研究变形的数学关系时,当出现高次幂、非线性情况,则略去高次幂项,近似成线性问题去处理。这些近似包括: $\sin\Delta\theta\approx\Delta\theta$ 、 $\cos\Delta\theta\approx 1$ 、 $\tan\Delta\theta\approx\Delta\theta$ 、 $(1+\Delta)^n\approx 1+n\Delta$ 等。

综上所述,在材料力学中是将材料抽象为连续、均匀和各向同性的变形固体,且在线弹性范

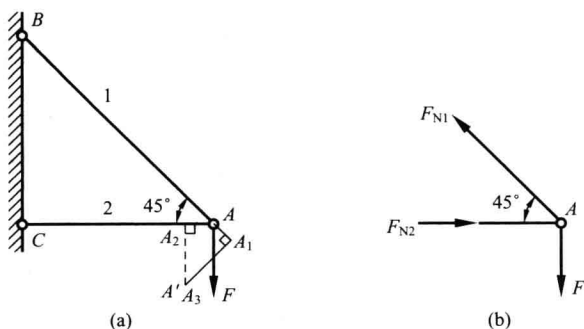


图 1.1 简易吊车受力

围和小变形条件下进行研究。

1.3 材料力学的研究对象

在工程结构和机械中,构件的形状是多种多样的,按其几何特征,大致可分为杆件、板、壳和块体。

一个方向的尺寸远大于其他两个方向尺寸的构件,称为**杆件**。这是工程实际中最常见、最基本的构件,例如桁架中的杆、建筑物的梁、高架桥的桥墩柱和车轮的轴等都可看成是杆件。

杆件的两个主要几何因素是横截面和轴线。垂直于杆件长度方向的截面,称为**横截面**。横截面形心的连线,称为**轴线**。显然,杆件的轴线与其横截面是相互垂直的(图 1.2)。

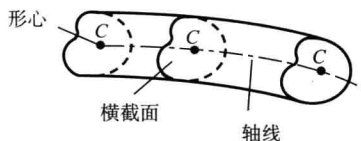


图 1.2 杆件的几何特征

轴线为直线的杆件,称为**直杆**;轴线为曲线的杆件,称为**曲杆**。

若杆件横截面的尺寸都相同时,称为**等截面杆**;否则为**变截面杆**。

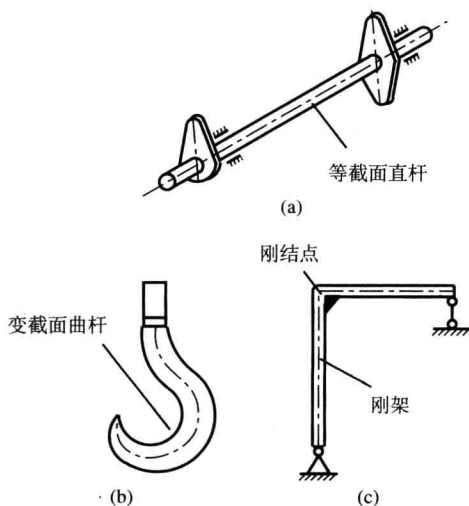


图 1.3 构件示意图

工程实际中,最常见的杆件是等截面直杆(图 1.3(a)),简称**等直杆**。等直杆的分析计算原理一般可近似地用于曲率较小的曲杆和横截面无显著变化的变截面杆。

若杆件的轴线为折线,通常是由几段直线组成的折线,且在折点处是刚性固结,这类结构称为**刚架**;由于折点刚性固结,在受力后不产生变形,故称之为**刚结点**(图 1.3(c))。

一个方向的尺寸远小于其他两个方向尺寸的构件,称为**板**。平分板厚度的几何面,称为板的**中面**,中面为平面的板,称为**板(或平板)**;中面为曲面的板,称为**壳**(图 1.4(a)、(b))。板和壳在现代建筑、石油化工设备、压力容器、飞机和船舶等领域都有广泛的应用。

三个方向的尺寸在同一量级的构件,称为**块体**(图 1.4(c))。

材料力学的主要研究对象是等截面直杆,也不同程度地涉及一些其他构件。

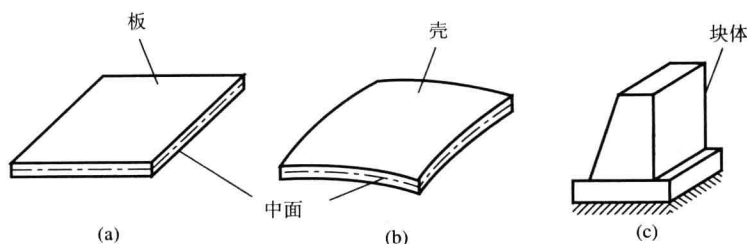


图 1.4 板、壳与块体

1.4 杆件变形的形式

杆件是变形固体,在不同的受力情况下,将产生各种不同的变形,归结起来可分为基本变形和组合变形两大类;基本变形主要包括轴向拉伸或压缩、扭转、弯曲和剪切四种;组合变形是由两种或两种以上基本变形组合而成。

1. 轴向拉伸或压缩

当作用于杆件上的外力可简化为一对沿杆轴线方向的作用力时,杆件的长度将沿轴线方向发生伸长或缩短(图 1.5(a)),这类变形称为**轴向拉伸**或**轴向压缩**。

以承受轴向拉伸或轴向压缩变形为主的杆件,称为**杆**。如桁架杆、吊杆、活塞杆及悬索桥和斜拉桥的钢缆(图 1.6)等。

2. 扭转

当一对大小相等、方向相反、作用面与直杆轴线垂直的外力偶作用时,直杆任意相邻的两个横截面将绕轴线作相对转动(图 1.5(b)),这类变形称为**扭转**。

以承受扭转变形为主的杆件,称为**轴**。如电动机的主轴、汽车的传动轴、发动机的曲轴等。

3. 弯曲

当杆件的外力(或外力偶)作用于杆轴线所在的纵向平面内时,杆的轴线将发生曲率变化(图 1.5(c)),这类变形称为**弯曲**。

以承受弯曲变形为主的杆件,称为**梁**。如房屋的大梁、厂房中的行车大梁(图 1.7)、桥梁的桥面板梁(图 1.6)等。

4. 剪切

当杆件受到大小相等、方向相反、作用线相互平行且相距很近的一对横向力作用时,横截面沿力作用方向发生相对错动(图 1.5(d)),这类变形称为**剪切**。机械或结构中的连接件,如铆钉、螺栓、键等都将产生剪切变形。

5. 组合变形

当杆件产生的变形中包含任意两种或两种以上的基本变形时,称为**组合变形**(图 1.5(e)),譬如公路上的指示牌在风载和自重的作用下,其立柱产生压缩、弯曲和扭转的组合变形(图 1.8);旋转机械中的传动轴常产生弯扭组合变形;建筑物中的柱常受到偏心压缩的作用等。

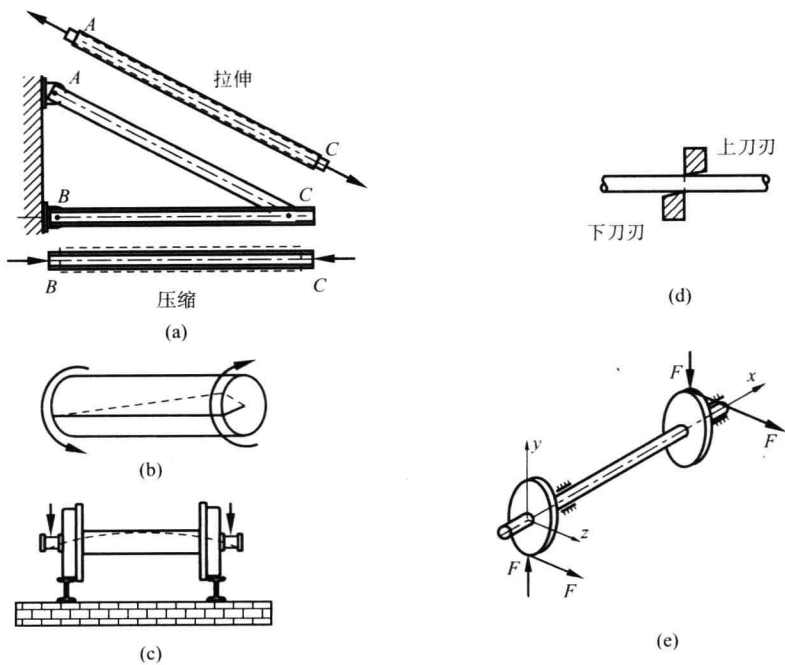


图 1.5 基本变形与组合变形



图 1.6 长江江阴大桥



图 1.7 梁式起重机



图 1.8 公路指示牌

1.5 外力及其分类

结构或机械是由多个构件组装而成的,它们相互制约或相互传递机械作用。当取其某一部分作为研究对象时,可设想将它从周边物体中分离取出,并用力代替周边物体对它的作用。其中来自研究对象外部的作用力(矩),称为**荷载**;限制研究对象自由运动的反作用力(矩),称为**约束力**。前者是**主动力**,后者是**被动力**。

荷载的分类有不同的形式。若以在构件上的作用方式,可分为连续分布于物体内部各点的**体积力**(如物体的自重和惯性力)和作用于物体表面的**表面力**,表面力按其分布方式又可分为分布荷载和集中荷载。

1. 分布荷载

连续分布在构件表面的荷载,称为**分布荷载**。如压力容器里的压力、飞行器受到的气动力、船体和坝体受到的水压力、桥梁和建筑物受到的风力等。

当分布荷载沿杆件的轴线均匀分布时,称为**均布荷载**,如钢板对轧辊的作用力等。

2. 集中荷载

当荷载作用的面积远小于构件的表面尺寸,或荷载的作用范围远小于构件的轴线长度,可视为荷载作用在一个几何点上,称为**集中荷载**,如火车车轮对钢轨的压力和起吊重物对吊索的作用力等。

按其随时间的变化情况,可分为静荷载和动荷载两大类。

1. 静荷载

杆件受到的荷载由零逐渐增大到某一固定值而保持不变,或变动甚微,这称为**静荷载**。如起重机以极缓慢的速度吊装重物时所受到的力、建筑物对基础的压力等。

2. 动荷载

杆件受到的荷载,若随时间成周期变化的,称为**交变荷载**,如旋转齿轮受到的啮合力;若在瞬间发生突然变化的,称为**冲击荷载**,如汽锤和冲床工作时引起的冲击力。当杆件上有很大的质量,在高速运动时产生的惯性力,称为**惯性荷载**,例如行车大梁和起重机受到高速吊装的重物影响、传动轴受到高速旋转的飞轮作用。以上所有随时间呈显著地变化的荷载,统称为**动荷载**。

构件在动荷载作用下的破坏特征、力学表现和行为都与静荷载作用时有所不同,分析方法也不完全一样,但后者是前者的基础。

1.6 内力和应力

1. 内力

物体在外力作用下产生变形,其内部各质点之间因相对位置改变而引起相互作用力,即内力。由于不受外力作用时,物体的各质点之间也存在相互作用力,所以内力是各质点之间相互作用力的变化量,是因相对位置改变而引起的附加部分。

由于假设物体是均匀连续的可变形固体,因此在物体的任何一截面上,内力是一个分布力系,向截面形心处简化可得分布内力系的主矢和主矩,称为截面上的内力,简称**内力**。在直角坐标系中,主矢和主矩可分解为三个力和三个力矩。

2. 应力

一般情况下,杆件受外力作用,各截面上的内力是不相同的,即使内力相同由于截面尺寸不同,在截面内某一点处的强弱程度也不同。为此,引入某一截面上分布内力在某一点处的集度——**应力**的概念。

设在杆件的任一横截面上有内力用主矢 $\mathbf{F}$ 和主矩 $\mathbf{M}$ 表示,在该截面的点 a 处,取一微面积为 ΔA ,其上作用的分布内力的合力为 ΔF 和 ΔM 。 n 是该面积 ΔA 的外法线。当 ΔA 无限趋近于 a 点而接近于零时, ΔM 也逐渐趋近于零,只有 ΔF 作用在 ΔA 上(图 1.9(a)),则 ΔF 与 ΔA 的比值为

$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

称为 ΔA 微面积上的**平均应力**,取 $\Delta F/\Delta A$ 的极限值,得

$$p_a = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA} \quad (1.1)$$

称为点 a 的**总应力**,将 p_a 向截面的法向和切向分解,用 σ_a 和 τ_a 表示 a 点的**正应力**和**切应力**(图 1.9(b))。这两个应力分量分别与材料的两大类破坏失效现象(拉断和剪切错动)相对应。

在国际单位制中,应力的量纲是 $ML^{-1}T^{-2}$,单位用帕斯卡 Pa($1\text{Pa}=1\text{N/m}^2$),简称帕,由于这个单位太小,常用 MPa($1\text{MPa}=10^6\text{Pa}$)和 GPa($1\text{GPa}=10^3\text{MPa}=10^9\text{Pa}$)表示。

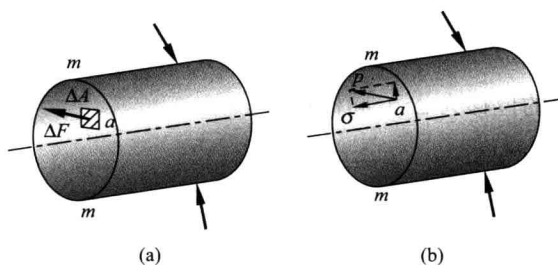


图 1.9 点的应力

1.7 变形、位移和应变

杆件是变形固体,受力后各质点的位置发生的改变,称为**位移**;杆件尺寸和形状的改变,称为**变形**。位移是针对物体的位置而言,变形是针对物体的尺寸和形状而言。

变形固体具有均匀、连续和各向同性的特点,从杆件上任意取出一个微六面体,当微分六面体的边长趋于无限小时称为**单元体**。以平面问题为例,设从杆件内部任意一点取出单元体 $abcd$,受力变形后位移到新的位置 $a'b'c'd'$ (图 1.10(a)),它包含刚体位移和变形体位移两部分。由于支座约束,除去刚体位移(刚体移动和转动),留下图 1.10(b)所示的变形体位移,它包含单元体长度的改变和相邻两边夹角的改变。

设单元体 $abcd$ 未变形前的原边长为 Δx 、 Δy ,变形后单元体 $a'b'c'd'$ 的投影边长为 $\Delta x'$ 、 $\Delta y'$,则 x 边变形后的伸长为 $\Delta u = \Delta x' - \Delta x$, y 边变形后为 $\Delta v = \Delta y' - \Delta y$ 。称 Δu 和 Δv 是该单元体的**线位移**。线位移的单位是毫米或米(mm 或 m)。定义

$$\epsilon_{xm} = \frac{\Delta u}{\Delta x}$$