

土木工程力学

下册

(第2版)

主编 常伏德
梁丽杰



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

土木工程力学

下册

(第2版)

主 编 常伏德

梁丽杰

副主编 郎英彤

参 编 闻玉辉

全春花

赵传华

奚元璋

主 审 金菊顺



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书把理论力学、材料力学、结构力学内容进行了有机整合,删掉了不必要的重复,突出土木工程特色,形成了土木工程力学新体系。

下册分13章,主要包括轴向拉伸与压缩、剪切与扭转、弯曲应力、应力状态与强度理论、组合变形、梁的位移、能量法求静定结构位移、压杆稳定、力法解超静定结构、位移法解超静定结构、多高层结构内力分析的手算实用法、结构塑性极限荷载简介、动荷、冲击与疲劳。每章后有习题课选题指导,并配有习题册及答案。

本书可作为建筑工程、交通土建、交通工程专业的教材,也可作为非土木专业如工程管理、环境工程、给排水、城市规划、测绘、安全、建筑学等专业的参考书,同时可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程力学. 下/常伏德,梁丽杰主编. —2版. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2015.2

ISBN 978-7-5603-5116-2

I. ①土… II. ①常…②梁… III. ①土木工程-工程力学-高等学校-教材 IV. ①TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第303314号

策划编辑 赵文斌 杜 燕

责任编辑 张 瑞

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 21.25 字数 500千字

版 次 2012年2月第1版 2015年2月第2版

2015年2月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-5116-2

定 价 42.80元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

《应用型本科院校“十二五”规划教材》编委会

主 任 修朋月 竺培国

副主任 王玉文 吕其诚 线恒录 李敬来

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁福庆 于长福 马志民 王庄严 王建华

王德章 刘金祺 刘宝华 刘通学 刘福荣

关晓冬 李云波 杨玉顺 吴知丰 张幸刚

陈江波 林 艳 林文华 周方圆 姜思政

庾 莉 韩毓洁 臧玉英

序

哈尔滨工业大学出版社策划的《应用型本科院校“十二五”规划教材》即将付梓,诚可贺也。

该系列教材卷帙浩繁,凡百余种,涉及众多学科门类,定位准确,内容新颖,体系完整,实用性强,突出实践能力培养。不仅便于教师教学和学生学

习,而且满足就业市场对应用型人才的需求。应用型本科院校的人才培养目标是面对现代社会生产、建设、管理、服务等一线岗位,培养能直接从事实际工作、解决具体问题、维持工作有效运行的高等应用型人才。应用型本科与研究型本科和高职高专院校在人才培养上有着明显的区别,其培养的人才特征是:①就业导向与社会需求高度吻合;②扎实的理论基础和过硬的实践能力紧密结合;③具备良好的人文素质和科学技术素质;④富于面对职业应用的创新精神。因此,应用型本科院校只有着力培养“进入角色快、业务水平高、动手能力强、综合素质好”的人才,才能在激烈的就业市场竞争中站稳脚跟。

目前国内应用型本科院校所采用的教材往往只是对理论性较强的本科院校教材的简单删减,针对性、应用性不够突出,因材施教的目的难以达到。因此亟须既有一定的理论深度又注重实践能力培养的系列教材,以满足应用型本科院校教学目标、培养方向和办学特色的需要。

哈尔滨工业大学出版社出版的《应用型本科院校“十二五”规划教材》,在选题设计思路上认真贯彻教育部关于培养适应地方、区域经济社会发展需要的“本科应用型高级专门人才”精神,根据黑龙江省委书记吉炳轩同志提出的关于加强应用型本科院校建设的意见,在应用型本科试点院校成功经验总结的基础上,特邀请黑龙江省9所知名的应用型本科院校的专家、学者联合编写。

本系列教材突出与办学定位、教学目标的一致性和适应性,既严格遵照学科体系的知识构成和教材编写的一般规律,又针对应用型本科人才培养目标

及与之相适应的教学特点,精心设计写作体例,科学安排知识内容,围绕应用讲授理论,做到“基础知识够用、实践技能实用、专业理论管用”。同时注意适当融入新理论、新技术、新工艺、新成果,并且制作了与本书配套的PPT多媒体教学课件,形成立体化教材,供教师参考使用。

《应用型本科院校“十二五”规划教材》的编辑出版,是适应“科教兴国”战略对复合型、应用型人才的需求,是推动相对滞后的应用型本科院校教材建设的一种有益尝试,在应用型创新人才培养方面是一件具有开创意义的工作,为应用型人才的培养提供了及时、可靠、坚实的保证。

希望本系列教材在使用过程中,通过编者、作者和读者的共同努力,厚积薄发、推陈出新、细上加细、精益求精,不断丰富、不断完善、不断创新,力争成为同类教材中的精品。

张永刚

第 2 版前言

本书(第 2 版)是在第 1 版的基础上根据 3 年来教材在使用过程中教师和学生的反馈意见以及课程改革发展需要修订而成的。修订时保持了原书取材精练、简明流畅的风格,注意扩大专业适应面。

本次修订的内容主要有以下几个方面:

(1)修改了原书的符号,其中最主要的是集中荷载(主动力)用 F 作为主符号,重力用 G 作为主符号,外力偶矩用 M_e 作为主符号。

(2)对书中一些论述不太清晰的地方进行了重新改写和完善。

(3)增加了一节内容,定性定量速画弯矩图。

第 2 版修订工作由主编常伏德主持进行,新增参加编写修订的还有郎英彤(13、15、25 章),赵传华(19、23 章),奚元璋(14、20 章)。

书稿承金菊顺教授审阅,提出了很多精辟中肯的意见,使本次修订工作和最后定稿获益匪浅,深致谢意!

限于编者水平有限,书中不足之处,望广大师生批评指正。

编 者

2015 年 1 月

前 言

本书是“土木工程专业力学系列课程改革”的研究成果,是依据十余年的教学改革经验编写的。

本书以应用为目的,以科学的认知、学习规律为主干,对原有的土木工程专业力学系列课程进行了重组。全书贯穿了分析研究力学问题的科学方法:增加与减少约束的方法;静力平衡的方法;杆件变形、物理与静力结合的方法。这些方法在教材中多次循序渐进的应用,能提高学习者研究问题和解决实际工程问题的能力。

本书在编写前,对与力学课程紧密联系的高等数学课程及后续的各门专业课程进行了系统的分析。在内容安排上注重了承上启下、理论与实际应用的结合,引入了计算机软件对力学问题的分析,例举了部分工程实例中力学原理的应用。这些会增加学习者对力学学习的目的性和趣味性。

本书的具体编写分工如下:第13章由赵海燕编写,第14、20章由梁丽杰编写,第15章由全春花编写,第16、21、22、23、24章由常伏德编写,第17、18、19章由闻玉辉编写,第25章由唐晓春编写。

编写过程中得到了长春工程学院卢存恕教授无私的帮助,在此,表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,难免存在疏漏和不足之处,请读者批评指正。

编 者

2011年12月

目 录

第 13 章 轴向拉伸与压缩	1
13.1 轴向拉(压)杆的应力	1
13.2 轴向拉(压)杆的变形 胡克定律	5
13.3 材料在拉伸和压缩时的力学性能	8
13.4 轴向拉(压)杆的强度条件	13
习题课选题指导	17
第 14 章 剪切与扭转	19
14.1 剪切的基本概念	19
14.2 圆轴扭转时横截面上的应力和强度计算	27
14.3 圆轴扭转时的变形和刚度计算	34
14.4 矩形截面杆扭转简介	36
14.5 圆柱形密封圈螺旋弹簧的计算	39
习题课选题指导	43
第 15 章 弯曲应力	45
15.1 弯曲正应力	45
15.2 弯曲正应力强度条件及其应用	50
15.3 梁的合理设计	54
* 15.4 组合梁	56
15.5 弯曲切应力 弯曲中心	57
15.6 弯曲切应力的强度条件及其应用	62
习题课选题指导	65
第 16 章 应力状态与强度理论	66
16.1 应力状态的概念	66
16.2 平面应力状态的分析 应力圆	67
16.3 梁的主应力 主应力迹线	73
16.4 空间应力状态简介	77
16.5 广义胡克定律 体应变 变形比能	78
16.6 强度理论	82
16.7 梁强度的全面校核	85
* 16.8 薄壁圆筒受力计算 螺旋筋对混凝土抗压的增强作用	86
16.9 莫尔强度理论及其在土的极限平衡中的应用	88
习题课选题指导	90

第 17 章 组合变形	91
17.1 概述	91
17.2 两相互垂直平面内的弯曲	92
17.3 拉(压)弯组合与偏心压缩 截面核心	96
17.4 扭转与弯曲组合	105
习题课选题指导	108
第 18 章 梁的位移	110
18.1 梁挠曲线的近似微分方程	110
18.2 积分法求梁的挠度和转角	112
18.3 叠加法求梁的挠度	118
* 18.4 共轭梁法(虚梁法)计算梁的位移	121
18.5 梁的刚度校核	124
习题课选题指导	128
第 19 章 能量法求静定结构位移	130
19.1 应变能及其应用	130
19.2 弹性体的虚功原理	133
19.3 结构位移计算的一般公式	134
19.4 图乘法求梁与刚架的位移	139
19.5 非荷载因素引起的位移	146
19.6 线弹性结构的互等定理	149
习题课选题指导	152
第 20 章 压杆稳定	154
20.1 细长中心受压直杆临界力的欧拉公式	155
20.2 杆端约束对临界力的影响	156
* 20.3 初弯曲、初偏心对稳定承载力的影响	158
20.4 临界应力总图	159
20.5 压杆稳定的实用计算 稳定条件	161
20.6 提高压杆稳定性的措施	165
习题课选题指导	167
第 21 章 力法解超静定结构	169
21.1 简单的拉、压超静定	169
21.2 力法的基本概念	171
21.3 超静定次数的确定	177
21.4 力法的典型方程	180
21.5 超静定结构的位移计算与力法校核	184
21.6 对称性的利用	185
21.7 超静定梁的影响线 连续梁的包络图	190
21.8 力法解排架与组合结构	195

21.9	力法计算两铰拱	199
21.10	温度改变与支座移动时超静定结构的计算	202
	习题课选题指导	206
第 22 章	位移法解超静定结构	208
22.1	等截面直杆的转角位移方程	208
22.2	位移法的基本概念	216
22.3	位移法的基本未知量	220
22.4	位移法的典型方程及其应用	221
22.5	对称性的利用 半刚架法	225
	习题课选题指导	228
第 23 章	多高层结构内力分析的手算实用法	230
23.1	力矩分配法	230
23.2	分层法	238
23.3	反弯点法	241
23.4	D 值法	243
23.5	剪力分配法	254
* 23.6	框-剪结构受力分析的连续化方法	257
23.7	静定结构与超静定结构特性的比较	260
23.8	定性定量速画弯矩图	261
	习题课选题指导	287
第 24 章	结构塑性极限荷载简介	290
24.1	概述	290
24.2	轴向拉压杆结构的塑性极限荷载	291
24.3	圆杆的极限扭矩	292
24.4	极限弯矩和塑性铰	293
24.5	梁和刚架的极限荷载	295
	习题课选题指导	300
第 25 章	动荷、冲击与疲劳	301
25.1	达朗贝尔原理	301
25.2	考虑加速度的动荷问题	303
25.3	冲击与冲击应力	305
25.4	疲劳破坏与交变应力	309
	习题课选题指导	315
附录 I	型钢表	316
附录 II	稳定因数 φ	325
	参考文献	327

轴向拉伸与压缩

13.1 轴向拉(压)杆的应力

工程结构中有很多构件,如脚手架、钢木组合桁架中除连接部分外都是等直杆,作用于杆上的外力作用线与杆轴线重合,这类构件简称为拉(压)杆。实际拉(压)杆的端部可以有各种连接方式。如果不考虑其端部的具体连接情况,则其计算简图如图 13.1 所示。计算简图从几何上讲是等直杆,其受力情况是杆在两端各受一集中力 F 作用,两个 F 力大小相等,方向相反,且作用线与杆轴线重合。

在确定了拉(压)杆的轴力后,还不能判断杆是否会因强度不足而破坏,因为轴力只是杆横截面上分布内力系的合力。要判断杆是否满足强度要求,还必须知道内力的分布集度以及材料承受荷载的能力。杆件截面上内力分布的集度,称为应力(stresses)。

应力是受力杆件某一截面上分布内力在一点处的内力集度。若考察受力杆截面 mm 上某点 k 的应力(图 13.2(a)),围绕点 k 取微小面积 ΔA ,设 ΔA 上的内力为 ΔF ,于是,在面积 ΔA 上内力 ΔF 的平均集度为

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

式中, p_m 为面积 ΔA 上的平均应力。

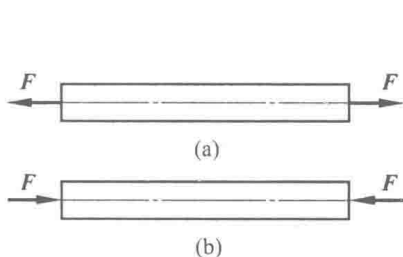


图 13.1

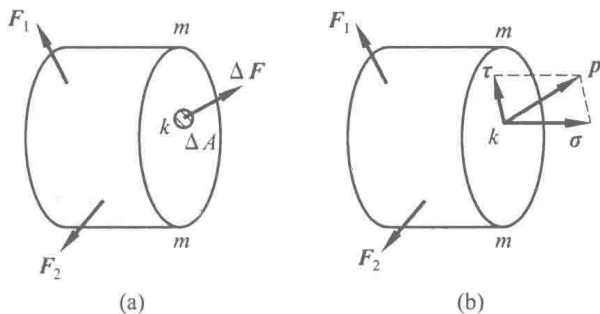


图 13.2

一般来说,截面 mm 上的分布内力并不是均匀的,因而平均应力 p_m 的大小和方向将随所取的微小面积 ΔA 的大小而不同。为表明分布内力在 k 点处的集度,令微小面积 ΔA 无

限缩小而趋于零,则其极限值为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA}$$

即为 k 点处的内力集度,称为截面 mm 上 k 点处的总应力。由于 ΔF 是矢量,因而总应力 p 也是个矢量,其方向一般既不与截面垂直,也不与截面相切。通常,将总应力 p 分解为与截面垂直的法向分量 σ 和与截面相切的切向分量 τ (图 13.2(b))。法向分量 σ 称为正应力(normal stresses),切向分量 τ 称为切应力(shearing stresses)。

从应力的定义可见,应力具有如下特征:

(1) 应力定义在受力物体的某一截面上的某一点处,因此,讨论应力必须明确是在哪一个截面上的哪一点处。

(2) 在某一截面上一点处的应力是矢量。对于应力分量,通常规定离开截面的正应力为正,指向截面的正应力为负,即拉应力为正,压应力为负;而对截面内部(靠近截面)的一点产生顺时针力矩的切应力为正,反之为负。图 13.2(b) 表示的正应力为正,切应力为负。

(3) 应力的量纲为 $ML^{-1}T^{-2}$,应力的单位为 Pa。

(4) 整个截面上各点处的应力与微面积 dA 之乘积的合成,即为该截面上的内力。

13.1.1 横截面上的正应力

图 13.3(a) 所示一横截面面积为 A 的等截面直杆,受轴向拉力 F 作用,在离开力作用点 A 、 B 一定距离以外,杆的表面变形如图 13.3(a) 所示,原有横向线 nn 与 mm 均向外平移到 $n'n'$ 和 $m'm'$, nm 间距离增加,纤维伸长,沿截面宽度稍有微缩。根据这一现象,设想横向线代表杆的横截面,于是,可假设原为平面的横截面在杆变形后仍为平面,称为平面假设。依据这一假设,可以得出结论,杆件两截面间各纵向纤维发生了均匀变形(伸长或缩短)。由于分布内力集度与变形间存在着确定的关系,因此变形均匀必导致正应力均匀。根据内力与应力的关系,由图 13.3(b) 不难得出

$$F_N = \int_A \sigma dA = \sigma A$$

故横截面上正应力为

$$\sigma = \frac{F_N}{A} \quad (13.1)$$

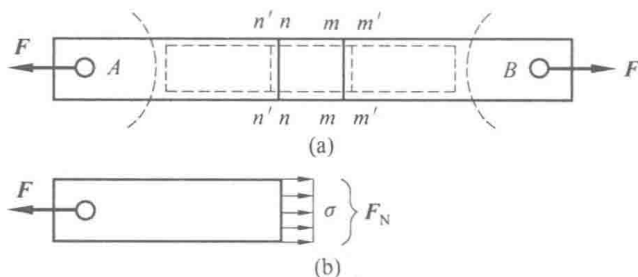


图 13.3

σ 的符号规定以拉应力为正,压应力为负。由图 13.3(b) 可以看出,正应力 σ 沿横截面均匀分布这一结论只有在远离荷载作用点处才是正确的,而在力的作用点 A、B 处应力分布将是不均匀的。这种不均匀的范围,一般不大于杆的横向尺寸。

当杆件的轴力沿轴线变化时,由 $F_{N\max}$ 所产生的应力属于危险应力(也称最大工作应力),危险应力所在截面称为危险截面,显然杆件若发生破坏,首先应从这种截面开始。

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{N\max}}{A}$$

【例 13.1】 图 13.4 所示为一钢木支架,BC 杆由截面边长 $a = 100 \text{ mm}$ 的木方制成,AB 杆为直径 $d = 25 \text{ mm}$ 的圆钢,B 点承受 $G = 50 \text{ kN}$ 的荷载,试计算两杆的应力。

解:利用结点法不难求出 AB 杆与 BC 杆的轴力分别为

$$F_{NAB} = 28.87 \text{ kN}, \quad F_{NBC} = -57.74 \text{ kN}$$

利用公式(13.1),得到两杆的正应力为

$$\sigma_{AB} = \frac{F_{NAB}}{A_{AB}} = \frac{28.87 \times 10^3}{\frac{\pi}{4} \times 25^2 \times 10^{-6}} \text{ Pa} = 58.8 \times 10^6 \text{ Pa} = 58.8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{BC} = \frac{F_{NBC}}{A_{BC}} = -\frac{57.74 \times 10^3}{100^2 \times 10^{-6}} \text{ Pa} = -5.77 \times 10^6 \text{ Pa} = -5.77 \text{ MPa}$$

【例 13.2】 一横截面为正方形的砖柱分上、下两段,其受力情况、各段长度及横截面尺寸如图 13.5(a) 所示。已知 $F = 50 \text{ kN}$,不计自重,试求荷载引起的最大工作应力。

解:首先作柱的轴力图,如图 13.5(b) 所示。

由于砖柱为变截面杆,故须求出每段柱的横截面上的正应力,从而确定全柱的最大工作应力。

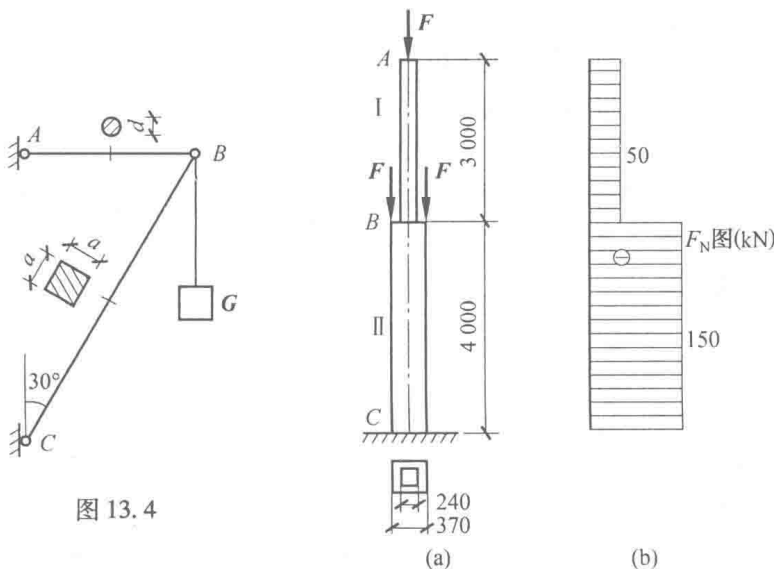


图 13.5

I、II 两段柱(图 13.5(a)) 横截面上的正应力,分别由轴力图及横截面尺寸算得

$$\sigma_1 = \frac{F_{N1}}{A_1} = \frac{-50 \times 10^3}{0.24 \times 0.24} \text{ Pa} = -0.87 \times 10^6 \text{ Pa} = -0.87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{F_{N2}}{A_2} = \frac{-150 \times 10^3}{0.37 \times 0.37} \text{ Pa} = -1.1 \times 10^6 \text{ Pa} = -1.1 \text{ MPa}$$

由以上结果可见,砖柱的最大工作应力在柱的下段,其值为 1.1 MPa,是压应力。

【例 13.3】 计算图 13.6 所示带小孔拉杆中横截面上的危险应力。

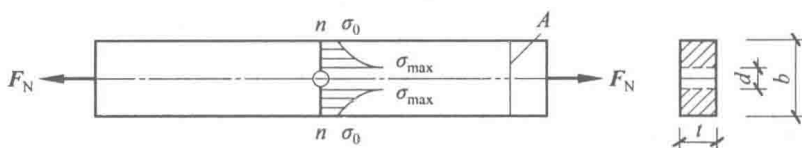


图 13.6

解:拉杆的危险截面显然应位于被小孔削弱最多的 nn 截面,该截面拉应力按公式 (13.1) 计算应为

$$\sigma_{nn} = \frac{F_N}{(b-d)t} = \sigma_0$$

此处所得到的应力是基于平面假设而得出的平均应力,然而由于小孔的出现,在孔附近的横截面上变形并不满足此假设。经实验和弹性力学推证都得出,在 nn 截面上正应力并非均匀分布,而是如图 13.6 所示的越靠近小孔边应力越大,最大应力 $\sigma_{\max}$ 是平均应力 σ_0 的 2 ~ 3 倍(与孔的尺寸有关)。这种靠近孔边应力急剧增加的现象称为应力集中(stress concentration)。这种应力集中现象对于由铸铁、混凝土、砖石等脆性材料制成的构件要特别加以注意,因为随荷载的增加在应力最集中的地方往往容易最先开裂。

13.1.2 斜截面上的应力

以上分析了拉(压)杆横截面上的正应力,现研究与横截面成 α 角的任一斜截面 kk 上的应力(图 13.7(a))。为此,假想地用一平面沿斜截面 kk 将杆截开,并研究左段杆的平衡(图 13.7(b))。于是,可得到斜截面 kk 上的内力 F_α 为

$$F_\alpha = F$$

仿照求横截面上正应力变化规律的分析过程,同样可得到斜截面上各点处的总应力 p_α 相等的结论。于是,有

$$p_\alpha = \frac{F_\alpha}{A_\alpha}$$

式中, A_α 是斜截面面积, A_α 与横截面面积 A 的关系为 $A_\alpha = A/\cos \alpha$ 。

$$p_\alpha = \frac{F}{A} \cos \alpha = \sigma_0 \cos \alpha$$

式中, $\sigma_0 = \frac{F}{A}$ 即拉杆在横截面($\alpha = 0$) 上的正应力。

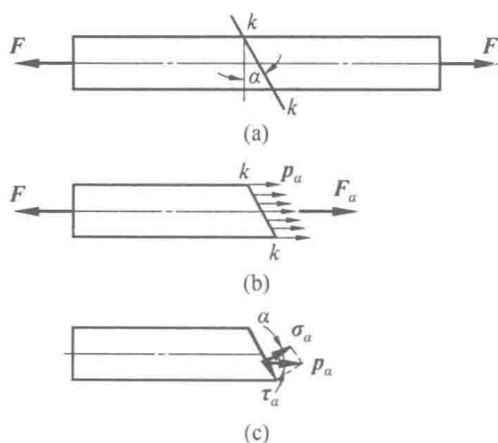


图 13.7

总应力 p_α 是矢量,分解为两个分量:沿截面法线方向的正应力和沿截面切线方向的切应力,并分别用 σ_α 、 τ_α 表示,如图 13.7(c) 所示。

上述两个应力分量可表示为

$$\sigma_\alpha = p_\alpha \cos \alpha = \sigma_0 \cos^2 \alpha \quad (13.2)$$

$$\tau_\alpha = p_\alpha \sin \alpha = \frac{\sigma_0}{2} \sin 2\alpha \quad (13.3)$$

上列两式表达了通过拉杆内任意一点不同方位截面上的正应力 σ_α 和切应力 τ_α ,其数值随 α 角做周期性变化,它们的最大值及其所在截面的方位为:

(1) 当 $\alpha = 0$ 时, $\sigma_\alpha = \sigma_0$ 是 σ_α 中的最大值,即通过拉杆内某一点的横截面上的正应力,是通过该点的所有不同方位截面上正应力中的最大值。

(2) 当 $\alpha = 45^\circ$ 时, $\tau_\alpha = \sigma_0/2$ 是 τ_α 中的最大值,即与横截面成 45° 的斜截面上的切应力,是拉杆所有不同方位截面上切应力中的最大值。

以上的全部分析结果对于压杆也同样适用。

13.2 轴向拉(压)杆的变形 胡克定律

在研究轴向拉、压杆应力时,已经说明拉杆在纵向伸长的同时,横向将要发生收缩变形。图 13.8 所示一等截面(面积为 A)直杆在轴向拉伸下的变形情况。纵向原长为 l ,变形后为 l_1 ,其绝对伸长(总伸长)为

$$\Delta l = l_1 - l$$

绝对变形除以原长称为相对变形,以 ε 表示,有

$$\varepsilon = \Delta l / l \quad (13.4)$$

这种表示单位长度所发生的变形,又称应变(strain)(与应力对应)。该应变属于纵向应变。

横向宽度由 d 缩短到 d_1 ,绝对变形为

$$\Delta d = d_1 - d$$

横向的相对变形用 ε' 表示,有

$$\varepsilon' = \Delta d / d \quad (13.5)$$

这种横向应变当纵向伸长时应取负值。

当正应力不超过弹性限度时,横向应变与纵向应变绝对值之比称为材料的泊松(S. D. Poisson)比或横向变形系数,用 μ 表示,有

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right|$$

由于 ε' 与 ε 的符号总是相反,故有

$$\varepsilon' = -\mu \varepsilon \quad (13.6)$$

μ 值的大小随材料的不同而异,最小为零,最大不超过 0.5,一般钢材大约取值为 0.2 ~ 0.3。上述纵向线应变 ε 、横向线应变 ε' 以及泊松比 μ 均无量纲。

杆件受力引起变形,当杆中正应力不超过弹性限度时,图 13.8 所示等截面直杆在均匀轴向拉力作用下,其绝对伸长量 Δl 经实验测定与轴力 F_N 、长度 l 成正比,与横截面面积成反比,取比例常数为 E ,有

$$\Delta l = \frac{F_N l}{EA} \tag{13.7}$$

将此式改写为

$$\frac{F_N}{A} = E \frac{\Delta l}{l}$$

利用公式(13.1) 与(13.4),上式化为

$$\sigma = E\varepsilon \tag{13.8}$$

此式表明正应力与线应变成正比,比例常数为 E 。式(13.7) 与式(13.8) 等价,都称为拉、压胡克定律(Hooke's Law)。前者是以轴力和绝对变形表示,而后者以应力和应变的形式表示。比例常数 E 称为材料的拉、压弹性模量(modulus of elasticity),与材料有关,其值见表 13.1。从数学上讲,当 $\varepsilon = 1$ 时(即弹性变形等于原长), $E = \sigma$,就是说弹性模量相当于使杆件变形等于原长时杆内横截面上的应力。但这种解释对大多数材料而言是实现不了的,因为在这种状态出现之前早已进入弹塑性状态,或者已经破坏。 E 与 σ 具有相同的单位。由于其值较大,一般用 GPa 表示。式(13.7) 中的 EA 与 Δl 成反比, EA 越大,拉压变形越小,因此, EA 起到抵抗拉、压变形的能力,一般称为抗拉、压刚度(rigidity of tension of compression)。

表 13.1 弹性模量及横向变形系数的数值

材料名称	牌号	E/GPa	μ
低碳钢		200 ~ 210	0.24 ~ 0.28
中碳钢	45	205	
低合金钢	16Mn	200	0.25 ~ 0.30
灰口铸铁		60 ~ 162	0.23 ~ 0.27
铝合金	LY ₁₂	71	0.33
混凝土		15.2 ~ 36	0.16 ~ 0.18
木材(顺纹)		9 ~ 12	

【例 13.4】 梯形杆如图 13.9 所示,已知 AB 段面积为 $A_1 = 10 \text{ cm}^2$, BC 段面积为 $A_2 = 20 \text{ cm}^2$, 材料的弹性模量 $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$, 试求杆的总变形量。

解: AB 、 BC 段轴力分别为

$$F_{NAB} = -10 \text{ kN}$$

$$F_{NBC} = 10 \text{ kN}$$

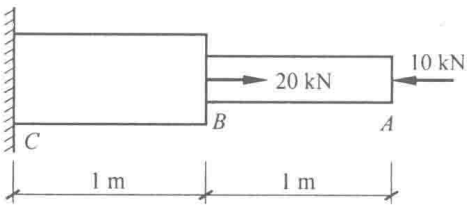


图 13.9