

〔美〕E.P.波波夫著

材料力学

马世谋 译
金志刚 校

陕西科学技术出版社

材 料 力 学

〔美〕 E. P. 波波夫 著

马世谋 译 金志刚 校

陕西科学技术出版社

E. P. Popov
MECHANICS OF MATERIALS
Second edition

材 料 力 学

[美] E. P. 波波夫 著
马世谋 译 金志刚 校

陕西科学技术出版社出版
(西安北大街131号)

陕西省新华书店发行 西安交通大学印刷厂印刷
787×1092毫米 1/16开本 28.75印张 插页4 732千字

1986年1月第1版 1986年1月第1次印刷

印数: 1-3,000

统一书号: 7202·118 定价: 6.40元

工科研究生入学试题与解答

材料力学

饶沛隆 段神尧 张玉琳 选编

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道130号

天津新华印刷二厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本787×1092毫米 1/16 印张28.75 字数575 000

1987年12月第1版

1987年12月第1次印刷

印数：1—5 400

书号：13212·129 定价：5.70元

ISBN 7-5308-0019-1/G·5

原 著 再 版 前 言

六十年代中期,强烈的要求促使我修订了本书的第一版。当时的主要原因是由于需要有一本从数学上精确探讨的教科书,而这种精确的数学探讨在我们的一些工科学校内是提倡的。在修订和重新编排原教科书的过程中,有些章节全部重写并增添了一些新内容。这就改变了原书的特点,并重新命名为《固体力学》(Prentice-Hall, Inc, 1968)。新书很受欢迎。但尽管如此,对未修订的原书仍有需求。一本具有许多其他用途的未加修订的工程教科书,在它出现二十三年后的今天,仍能再版是值得注意的。因此,决定在原书需要之处使其现代化,但基本上仍保留了类似于过去的论述方法。这一点意味着本书的实际特点,即内容讨论循序渐进,且保持广泛应用的梁的剪力与弯矩的惯用符号。同时,即将改变为国际单位制系统的趋势促进了本书的修订。本版以1976年的第二版为基础,完全采用了SI单位制。

使用现代化的米制度量系统(即:SI)的趋势已遍及全球。有些国家已采用了此系统,美国国内许多主要的工业界已宣布决定改用这种单位制。合理的度量系统在上世界上所有的国家达到通用的过程似乎在加速。根据这些理由,本书全部采用SI单位可认为是合乎需要的。由于美国国内大多数商业上能买到的产品和公布的材料机械性质基本上给出的仍然是英制系统的单位,因而在大多数实例中被软性地转换成SI单位,即直接按四舍五入整数换算。

本书是作为大学生的材料力学课程而编写的。全书着重于课程的基本原理。应用题是从各个工程领域中选择出来的。

假如读者已经完成了静力学方面的课程,那么,材料力学中的那些特别重要的论题则在引用之处作了复习。

各章节均按逻辑顺序编排,作者的教学经验业已证明了这样的编排是行之有效的。然而,有些教师希望将第一章与第四章合并学习,把这部分课程作为静力学的复习。有的则认为在学完第四章之后立即学习第十章节中有关绘制剪力图与弯矩图更为有利。为此,可将第十章中第五节与第八节提前讲授。另外有些教师则认为同时阅读第八章与第九章前面几节来介绍组合应力部分更合乎要求。

本书包含了比用于一个学期更多的课程内容。为了帮助教师对此课程进行选择,内容更高深的或专业性的各节前面均带有星号,以便删节。然而,除了极个别例外,每章的编写是循序渐进的,因此,专题研究适可而止。第十四章和十五章可以整章省略。另一方面,第十、十一、十二、十三和十四章可作为钢结构初步设计之基础,而十六章可在偏重于数学方面的班级中讲授。

全书在需要说明课程的逻辑发展之处均分散编入了较高等的论题。这样处理有两个预期的效果:第一,为好钻研的读者提供了他们更喜欢的精确论述;第二,本书除了可作为教科书外,还可作为参考书。

本书中所论述的较高等的论题有广义虎克定律、应力集中，轴的非弹性扭转、梁的塑性分析，曲杆、剪切中心，应力与应变莫尔圆，应变片花、应力分析的光弹性法叙述、静不定问题分析的力法与位移法、求梁与桁架的挠度的虚功原理以及厚壁圆筒的分析。本书包含同心与偏心受载的柱的广泛实用的论述，其中包括那些高强度螺栓和焊接的结构连接分析。

书中给出了许多解说性的例子，不仅说明怎样提出问题，而且阐明了解答的局限性。各章的结尾有大量的习题，这些论题均与课文的讨论相对应，并按难度顺序排列。较长或较难的习题用星号标出。很多习题给出了答案。有超过总数三分之一的题目可供考试使用。许多实例中给出的数据都是选择过的，以便读者简化数学运算。也有些题目是纯理论性的，目的是强调所学过的原理。为了引起学生的兴趣，全书中分散编进了实际性的题目。许多题目的解答要求使用自由体图，以巩固学生有关静力学方面的知识并使材料力学课程真正成为静力学课程的继续。

本书是在作者的同事、学生以及国内外出版的大量书籍的强烈影响下写成的。S. Timoshenko 和 T. Von Karman 教授给予的权威支持是令人难忘的。但正像初版时那样，应当特别感谢伯克利市加州大学土木工程系结构工程与结构力学教研室的同事们，特别应当感谢他们当中那些帮助讨论、积极评论、慷慨提供习题的 H. D. Eberhart, K. S. Pister 以及 A. C. Scordelis 教授。R. W. Clough 教授欣然地提供了光弹性实验的照片及一些习题。其他现在和以往的全体工作人员，包括工程力学系的同事也对习题提供了宝贵的材料。我衷心地感谢他们当中的 F. Baron, J. Bouwkamp, Bresler, C. L. Monismith, J. Penzien, D. Pirtz, M. Polivka, C. W. Radcliffe, R. A. Seban, C. F. Scheffey, E. L. Wilson 教授以及后来的 C. T. Wiskocil 教授。

在本书即将再版之际，作者非常感谢以前的两位学生的帮助，他们是本书这一版的先驱者，对此第二版，S. Nagarajan 博士准备了新内容的草稿，并把接近一半的实例改为 SI 单位。Z. A. Lu 博士协助修改了习题。本书和其余部分改为 SI 单位是由 Joseph Ungerer 完成的，他是结构工程和结构力学教研室的研究生。他在出版本书中的精细的工作是值得大加赞赏的。

在出版本书新版本的过程中，The Prentice-Hall 的工作人员是最好的合作者。最后作者再次对夫人 Irene 连续协助抄写手稿表示深切谢意。

E. P. 波波夫

加利福尼亚州伯克利市

目 录

第一章 应力—轴向载荷

§ 1-1 引 言	1
§ 1-2 截面法	2
§ 1-3 应 力	3
§ 1-4 轴向载荷：正应力	4
§ 1-5 平均剪应力	6
§ 1-6 正应力和剪应力问题	7
§ 1-7 许用应力；安全系数	13
§ 1-8 轴向承载构件及销钉的设计	16
§ 1-9 材料力学处理问题的基本方法	18

第二章 应变—虎克定律—轴向载荷问题

§ 2-1 引 言	24
§ 2-2 应 变	24
§ 2-3 应力—应变图	25
§ 2-4 虎克定律	25
§ 2-5 应力—应变图的进一步探讨	26
§ 2-6 轴向承载杆件的变形	27
§ 2-7 泊松比	30
* § 2-8 广义虎克定律	31
§ 2-9 相互垂直平面上的剪应力	33
§ 2-10 剪切虎克定律	34
* § 2-11 应力集中	35

第三章 扭 转

§ 3-1 引 言	43
§ 3-2 截面法的应用	43
§ 3-3 基本假设	44
§ 3-4 扭转公式	45
§ 3-5 扭转公式的讨论	46
§ 3-6 扭转圆杆的设计	48

§ 3-7 圆截面杆的扭转角	49
* § 3-8 非弹性范围内圆轴中的剪应力和变形	52
* § 3-9 应力集中	55
* § 3-10 实心非圆截面杆件	56
* § 3-11 空心薄壁杆件	59
* § 3-12 联轴器	60

第四章 轴力—剪力—和弯矩

§ 4-1 引 言	67
§ 4-2 支座的惯用简图	67
§ 4-3 载荷的惯用简图	69
§ 4-4 梁的分类	70
§ 4-5 梁支反力的计算	71
§ 4-6 截面法的应用	73
§ 4-7 梁内的剪力	74
§ 4-8 梁内的轴向力	75
§ 4-9 梁内的弯矩	75
§ 4-10 剪力图、轴力图与弯矩图	76
§ 4-11 解题步骤	80

第五章 梁的纯弯曲

§ 5-1 引 言	87
§ 5-2 理论的一些重要的条件限制	87
§ 5-3 基本假设	87
§ 5-4 弯曲公式	90
§ 5-5 惯性矩的计算	92
§ 5-6 挠曲公式的论述	95
* § 5-7 非对称截面梁的纯弯曲	98
* § 5-8 梁的非弹性弯曲	98
* § 5-9 应力集中	103
* § 5-10 两种材料的梁	105
* § 5-11 曲 梁	109

第六章 梁中的剪应力

* § 6-1 引 言	120
* § 6-2 剪力与弯矩之间的关系	120
* § 6-3 剪力流	123
* § 6-4 梁的剪应力公式	128
* § 6-5 剪应力公式的限制	134

* § 6-6	剪应力分布的进一步探讨	135
* § 6-7	剪力中心	136
第七章 组合应力		
§ 7-1	引言	147
§ 7-2	叠加及其条件限制	148
* § 7-3	含有轴向力与弯矩的问题探讨: 水坝问题	154
* § 7-4	一个附加的限制: 烟囱问题	155
§ 7-5	平行于其轴而作用于棱柱形构件任何地方的力	156
§ 7-6	非对称弯曲	160
§ 7-7	剪应力的叠加	162
* § 7-8	密圈螺旋弹簧内的应力	164
* § 7-9	密圈螺旋弹簧的变形	165
第八章 平面应力与应变分析		
§ 8-1	引言	175
§ 8-2	基本问题	175
§ 8-3	平面应力的转换方程	177
§ 8-4	主应力	179
§ 8-5	最大剪应力	179
§ 8-6	应力的一个重要转换	182
§ 8-7	应力的莫尔圆	183
§ 8-8	应力莫尔圆的绘制	184
* § 8-9	一般应力状态的应力莫尔圆	188
* § 8-10	平面应变的分析: 总论	189
* § 8-11	平面应变转换方程	190
* § 8-12	应变的莫尔圆	192
* § 8-13	应变测量、应变片花	194
* § 8-14	应力与应变及 E 、 G 、 ν 之间的补充线性关系式	195
* 第八章附录 (补充)		197
8A-1	旋转轴的转换方程	197
8A-2	主轴和主惯性矩	198
第九章 组合应力—压力容器—破坏理论		
§ 9-1	引言	204
* § 9-2	一点应力的研究	204
* § 9-3	二向应力状态的构件	209
§ 9-4	应力分析的光弹法	210
§ 9-5	薄壁压力容器	213

§ 9-6	薄壁压力容器的评述	215
§ 9-7	断裂理论: 初步探讨	216
§ 9-8	最大剪应力理论	217
§ 9-9	最大变形能理论	217
§ 9-10	最大正应力理论	218
§ 9-11	各理论的比较及其它理论	219

第十章 按强度准则的构件设计

§ 10-1	引 言	230
§ 10-2	轴向承载构件的设计	230
§ 10-3	扭转杆件的设计	230
§ 10-4	棱柱形梁的设计标准	231
§ 10-5	求和法作剪力图	233
§ 10-6	求和法作弯矩图	234
* § 10-7	关于剪力图与弯矩图绘制的进一步论述	238
* § 10-8	弯矩图与弹性曲线	240
§ 10-9	棱柱形梁的设计	241
* § 10-10	非棱柱形梁的设计	245
* § 10-11	复杂构件的设计	246

第十一章 梁的挠度

§ 11-1	引 言	261
§ 11-2	应变一曲率与弯矩一曲率关系式	261
§ 11-3	弹性梁挠度的基本微分方程	263
§ 11-4	弹性梁的替换微分方程	264
§ 11-5	边界条件	265
§ 11-6	用直接积分解梁的挠度问题	266
§ 11-7	静不定弹性梁问题	274
§ 11-8	详述梁的弹性挠度	276
* § 11-9	非对称弯曲梁的弹性挠度	278
* § 11-10	梁的非弹性挠度	279
* § 11-11	力矩一面积法的介绍	281
* § 11-12	力矩一面积法的推导	281

第十二章 静不定问题

§ 12-1	引 言	300
§ 12-2	一般方法	300
§ 12-3	温度引起的应力	305
§ 12-4	基于迭加法的静不定系统的分析	307

* § 12-5	力 法	307
* § 12-6	位移法	312
* § 12-7	分析静不定梁的力矩—面积法	317
* § 12-8	三弯矩方程	321
* § 12-9	特殊载荷情况下的常数	323
* § 12-10	梁的极限分析	325
* § 12-11	总 结	329

第十三章 柱

§ 13-1	引 言	342
§ 13-2	平衡的稳定性	343
§ 13-3	两端铰支柱的欧拉公式	345
* § 13-4	关于端部约束不同的柱的欧拉公式	346
* § 13-5	用四阶微分方程表示柱的弹性屈曲	348
* § 13-6	梁—柱的分析	349
§ 13-7	欧拉公式的局限性	350
§ 13-8	广义欧拉屈曲载荷公式	352
§ 13-9	正割公式	353
§ 13-10	柱的设计	355
§ 13-11	同轴载荷下柱的公式	357
* § 13-12	偏心受载的柱公式	359
* § 13-13	无侧向支承的梁	364

*第十四章 结构的联接

§ 14-1	引 言	370
§ 14-2	铆钉与螺栓联接	370
§ 14-3	铆钉或者螺栓联接接头的破坏方式	371
§ 14-4	偏心的铆钉联接与螺栓联接	377
§ 14-5	焊接联接	380
§ 14-6	偏心的焊接联接	381

第十五章 能量法

§ 15-1	引 言	388
§ 15-2	单向应力的弹性应变能	388
§ 15-3	纯弯曲中的弹性应变能	390
§ 15-4	剪应力的弹性应变能	392
* § 15-5	多向应力状态的应变能	393
* § 15-6	承受能量载荷的构件的设计	394
§ 15-7	用能量法求位移	395

§ 15-8	冲击载荷·····	396
§ 15-9	求位移的虚功方法·····	399
§ 15-10	弹性系统的虚功方程 ·····	401
§ 15-11	静不定问题 ·····	405
*第十六章 厚壁圆筒		
§ 16-1	引 言·····	413
§ 16-2	解一般问题的方法·····	413
§ 16-3	特殊情况·····	416
§ 16-4	理想塑性厚壁圆筒的性能·····	418
附 录 表·····		422
索 引·····		435

第一章 应力—轴向载荷

§ 1—1 引 言

在所有工程结构中，必须确定各构件的具体尺寸。这些构件的尺寸必须大小适当，比例相称，以便承受实际的或可能作用在它上面的一切外力。例如：压力容器的器壁必须有足够强度，使之经得起内压的作用；建筑物的地板应该是足够坚固，以达预期的目的；机器上的轴必须有足够的尺寸来传送所需要的扭矩；飞机的机翼一定要安全可靠地经得起在飞行中和着陆时遇到的空气动力载荷。同样，组合结构的各个构件必须有足够的刚度，以免在负载运行中过度地变位或“下垂”。建筑物的楼板也许具有足够的强度，但却可能过度地挠曲，在某些情况下，他会引起制造设备的安装误差，在另一些场合下，可能导致附在其底面的灰泥天花板开裂。有的构件也可能因为太薄或非常细长，以致在承受压缩载荷时，它将因屈曲而毁坏，即构件的初始形状可能呈不稳定状态。决定细长杆发生屈曲前所能承受的最大压缩载荷，或确定容器所能保持的安全真空度等均具有重大的实际意义。

工程实际中，上述要求必须满足最小的材料消耗。估且不讲成本，如人造卫星的设计，整个飞行的可能性以及成功与否，将取决于卫星外壳的重量。材料力学，以往传统也称为材料强度学，包含了关于各种承载构件的强度、刚度（变形性能）及稳定计算的分析方法。换句话说，这门学科可称为变形固体力学。

材料力学是一门相当古老的学科，一般以为从十七世纪初期伽利略的工作开始算起。在他研究承受载荷的固体性能以前，设计师们按照先例和经验进行工作。伽利略第一个试图在理论上阐明某些受载构件的性能。他研究了受拉伸与压缩的杆件，特别是研究了意大利海军用的各种船体结构上的梁，当然，自那以后，材料力学取得了许许多多的进展。但要指出，在本学科的发展中，许多成就应归功于法国的科学家。他们当中，像仓库、泊松，纳维埃，生文南和柯西，这一批杰出的人物在十九世纪初叶的工作，对本学科的进展有深远的影响。

材料力学广泛地贯穿在工程专业的各个分支，它的方法有着许多的应用：海面建造物的设计师们需要它；土木工程师在桥梁和建筑的设计中需要它；采矿工程师和建筑工程师涉及结构时需要它；原子能工程师在设计反应堆部件时需要它；机械和化工工程师在机械装置和压力容器的设计中要依赖它；冶金工程师需要这门学科的基本概念，据此来了解如何进一步改进现有材料；最后，电力工程师需要本学科的方法，是因为电力设备的许多部位机械技术调相的重要作用。材料力学有其自己特有的方法，它是必修的课目而且是工科课程中最基本的学科之一，并列于其他基础学科例如流体力学，热力学和基础电学。

一个受力构件的性能，不但依赖于决定力的平衡的牛顿力学基本定律，而且取决于制作该构件的材料的物理性能。有关材料所需的数据资料来自实验室，将试验的材料准确地加上

已知力。并观察试件受力作用时所发生的情况，特别是破裂及变形等有关现象。这些现象的观察及有关数据的测定是本学科不可缺少的部分，但这一学科分支另有专著*。这里所考虑的是那些试验研究的最后结果，这门课程只涉及本学科的解析的（即数学的）部分而与试验有别。由此可见，材料力学是把试验研究与分析力学中的牛顿学说基本原理相掺合的一门学科。从后者引入称为静力学的科学分支，相信本书的读者已熟悉这个科目。而本书的内容首先要依靠静力学知识。

本教科书将限于学科中比较简单的课题。尽管这里使用的方法比较简单，可是由此所得到的技能，在处理很多技术上的重要问题时是非常有用的。

本课程的内容可以通过解大量的习题来熟练掌握。运用材料力学方法去分析和设计机械与建筑物的各种构件，其所需的公式数量很少，然而，通过本课程的学习，学生应该提高自己将问题和各种计算量的性质加以形象化的能力。完整地、仔细地画出所求解问题的计算简图，对更快更全面地掌握本课程的内容会带来很大的好处。

§ 1—2 截 面 法

材料力学的主要问题之一是研究物体的抗力，也就是研究物体的内部为平衡外力而产生的力的性质。为此，采用一贯的处理方法。作出被研究构件的简图，把所有的作用于物体上的外力都表示在相应的作用点上。这样的简图叫作自由体图。所有作用在物体上的力，包括支承所引起的反力和物体自身的重量[†]都看作是外力。而且，由于在静止时稳定的物体处于平衡状态，则作用于其上的力必须满足静力平衡方程。于是，如图 1-1(a)所示，作用在物体上的力满足静力平衡方程并全部被表示出来，这个简图就是自由体图。其次，既然本节主要是决定由外力所引起的内力，所以用一横切该物体的任意截面，把它完全分离为两个部分。

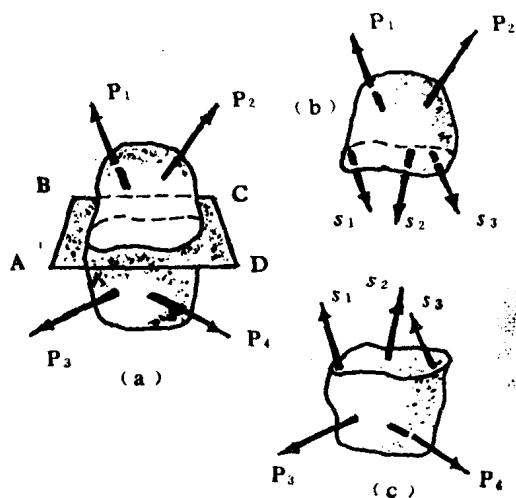


图 1-1 物体的切割

这样处理的结果见图 1-1(b)和(c)，图中一个任意平面 ABCD 把原先图 1-1(a)的物体分离为两个各别的部分。这样的方法就叫做截面法。然后，若整个物体处于平衡状态，它的任一部分也必须平衡。可是，对于这样物体的各个部分，为了维持平衡状态，必须有某些力作用在切割的截面上。这些讨论引出如下的基本结论：作用于任意截面一边的诸外力必由产生在该截面的内力所平衡。简单地说，内力平衡外力。今后将会得到，为满足特定的需要，切割平面将取特殊的方位。然而，在求解所有内力问题时，第一步将依靠上述的概念。

在截面法的讨论中，值得注意的是：某些

* 见 H. E. Davis, G. E. Troxell, 和 C. T. Wiskocil 所著 *Testing and Inspection of Engineering Materials* (2nd ed), 《工程材料的试验与检查》(第二版), New York, McGraw-Hill, 1955。也可参阅 L. H. Van Vlack 所著 *Material Science for Engineers* 《工程材料科学》, New York, Addison-Wesley, 1970 年。

† 严格地说（或更广义地说），物体的重量以及由于加速度引起的惯性力等等是“体力”，在某种意义上，它与各单位体积有关，作用于整个物体。可是，在大多数场合下，这些体力可当作外载荷来考虑。

物体虽不属静力平衡状态，却可以是动态平衡。这些问题能够化为静平衡问题。首先计算出所讨论的构件的加速度，然后乘以物体的质量，得到一个力 $F=ma$ 。假想这样计算所得的力作用于物体的质心并沿加速度的相反方向，则动力问题化为静力问题。这就是所谓的达朗伯原理。按照这个观点，一切物体均可设想为瞬时地处于静平衡状态。因此，对任何物体，不论它处于静态平衡或动态平衡，总可以作出自由体图，在图上表示出为保持整个物体处于平衡所必需的力。此后的问题与前面讨论的相同。

§ 1—3 应 力

一般说来，作用于截面的微小面积上的内力，其大小和方向可能均不相同，如图 1-1(b) 和(c)所示。这些内力具有矢量的性质，而且与外力相平衡。在材料力学中，特别有意义的是决定这些内力在截面各处的集度，因为对变形的抗力和材料承载能力都取决于内力的集度。一般作用在截面的微小面积上的内力集度在各点都不相同，而且它们都倾斜于所截的平面。在工程实际中，通常是把这个内力的集度沿所取截面的垂直和平行方向加以分解。在无限小面积上内力集度的这样分解如图 1-2 所示。与截面垂直（即沿截面的法向）的内力集度，称为该点的正应力。本书用希腊字母 σ (sigma) 表示。作为特定的应力，一般仅运用于这一点，数学上的定义为：

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

其中， F 是垂直作用于截面的内力，而 A 为相应的面积。通常，把截面上起拉引作用的正应力叫作拉应力。反之，把指向截面的正应力称为压应力。

内力集度的另一个分量平行作用于微元面积的平面，如图 1-2 所示。这个内力集度的分量称为剪应力。用希腊字母 τ (tau) 来表示。数学上定义为

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta A}$$

式中， A 表示面积， V 是平行于截面的内力分量。应该指出，这种一点处应力的定义，包括令 $\Delta A \rightarrow 0$ 的概念，以物质的严格的原子结构观点来说是成问题的。然而，就宏观来说，按这些式子所意味着的均匀性模型对非均匀物质是十分接近的。因此使用所谓现象学的方法。

学生应建立被叫做正应力和剪应力的清晰的概念。这里复述一次：正应力由垂直于截面的分力所形成；剪应力由平行于截面的分力所形成。

从上述正应力与剪应力的定义可以看出，既然应力表示面积上内力的集度，所以应力*是用力的单位除以面积的单位来度量。因为力是矢量而面积属标量，它们的比值表示着所给方向的应力分量，所以是一个矢量*。

必须指出：应力乘以它作用的相应的面积得到内力，正是这些在假想截面上内力的总和使物体保持平衡。

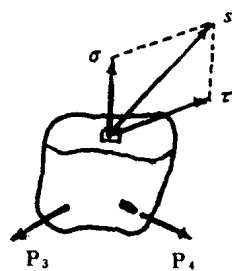


图 1-2 应力的法向与切向分量

* 在有些书中，“单位应力”这个术语用来表示每单位面积的应力。然而，本书中“应力”这个词用作所述之概念。

* 有关进一步的详述可见 § 8-2。

本书采用的米制单位叫做国际单位制，简称SI（来自法语 *Système International d'unités*）。这种计量公制的现代化正在全世界进行。在美国，许多主要工业已发布了转换为SI单位的方案与方法。其中有汽车工业、农业设备和商业机械工业。这些改革必将使得SI单位在美国成为主要的计量体制。

SI的基本单位：是长度m(米)，质量是kg(千克)，时间是s(秒)。其导出单位，面积为 m^2 (平方米)，加速度为 m/s^2 (每秒每秒米)。力的单位由单位质量产生的单位加速度来确定。即 $kg \cdot m/s^2$ (每秒每秒千克米)，用N(牛顿，简称牛)来表示。应力的单位为 N/m^2 (牛顿每平方米)，用Pa(帕斯卡，简称帕)来表示。建议采用以千(1000)为梯级的倍数与约数的词冠。例如，力的计量单位采用mN(毫牛， $1mN=0.001N$)。N(牛)或kN(千N， $1kN=1000N$)，长度为mm(毫米， $1mm=0.001m$)，m(米)或km(千米， $1km=1000m$)，应力用kPa(千帕， $1kPa=10^3Pa$)，MPa(兆帕， $1MPa=10^6Pa$)和GPa(千兆帕， $1GPa=10^9Pa$)等等*。

数值上用 N/m^2 为单位来表示应力，对习惯于英制单位者看来是嫌小的。这是因为一牛

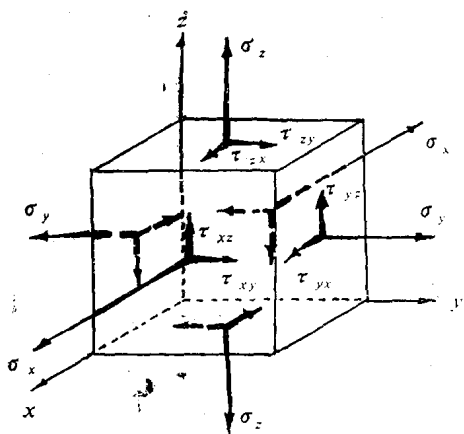


图 1-3 作用在一个单元上的最一般的应力状态

力比一磅力小，而一平方米比一平方吋要大得多。因此，采用在一平方毫米面积上作用一牛力的单位会更合适些。这就引出了一个原先未被推荐的单位符号 N/mm^2 。可是，因为 N/mm^2 完全相当于MPa(兆帕)，所以它正在得到普遍的认可。

如果除了图1-1(a)所示的平面ABCD以外，另有一个与它平行且相距无限小的平面也横截该物体，则截离出一个薄片微元。然后，若再用另外两对都和上述两个平面垂直的平面截割它，使从物体中切出一个容积无限小的单元正六面体。这样的单元体表示于图1-3。这里，为便于识别，应力分解为分量的方法比前面讨论又更进了一步。在每个面上，剪应力 τ 都分解为各平行于特定坐标轴的两个

分量。 σ 的下标表明正应力沿该坐标轴的方向，而且作用在垂直于同一轴的平面上。 τ 的第一个下标说明剪应力所在的平面垂直于该坐标轴，而第二个下标表明剪应力的方向。

图1-3所示的无限小正六面体，能作为精确阐明材料力学问题的基础。但是，对这种单元体的应力与变形状态的研究方法（其中，包括引出它的平衡方程，确定单元体因受力变形而必须和毗连的单元体几何地协调）则超出了本课程的范围。它们属于数学弹性理论的范畴。本书所用方法不求助于图1-3所含的普遍意义，这里将采用更简单的处理方法。

§ 1—4 轴向载荷：正应力

在许多实际情况中，如果善于选择切割构件的假想平面的方位，则将会发现，作用在该截面上的应力，既有特殊意义，又能简单地求出。这种重要事例之一是轴向受载的拉伸直

* SI单位的详细讨论，包括变换系数，SI格式的规则以及使用可从美国实验与材料学会所公布的ASTM E-380-1974综合手册中查到。为方便起见，封底内附有从英制单位变为SI单位的换算系数简表。

杆，假定作一截面垂直于轴。作用在这样的截面上的拉应力是最大应力，因为任一与杆轴不垂直的截面都提供更大面积来抵抗外力。由于最大应力往往是材料破坏的起因*。所以，它是最值得注意的应力。

为了得到最大应力的代数表达式，现在研究图 1-4(a) 所表示的情况。假设不计杆的重量，作用在杆两端大小相等方向相反的两个力使杆保持平衡状态。那么，如 § 1-2 所述，既然整个物体处于平衡状态，则它的任一部分也是平衡的。截面 $x-x$ 任意一侧的杆都处于平衡状态。在横截面积 A 的切面上，必定产生一个与 P 相等的力，如图 1-4(b) 和 (c) 所示。于是，由应力的定义，正应力（即垂直作用于截面的应力）为

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{或} \quad \frac{\text{力}}{\text{面积}} \quad [\text{N/m}^2] \quad (1-1)$$

这个正应力均匀分布于整个横截面面积 A 。由式 (1-1) 计算所得应力的性质可用图 1-4(d) 和 (e) 的图象表示。一般说来，力 P 是截面一侧各个力的合力。

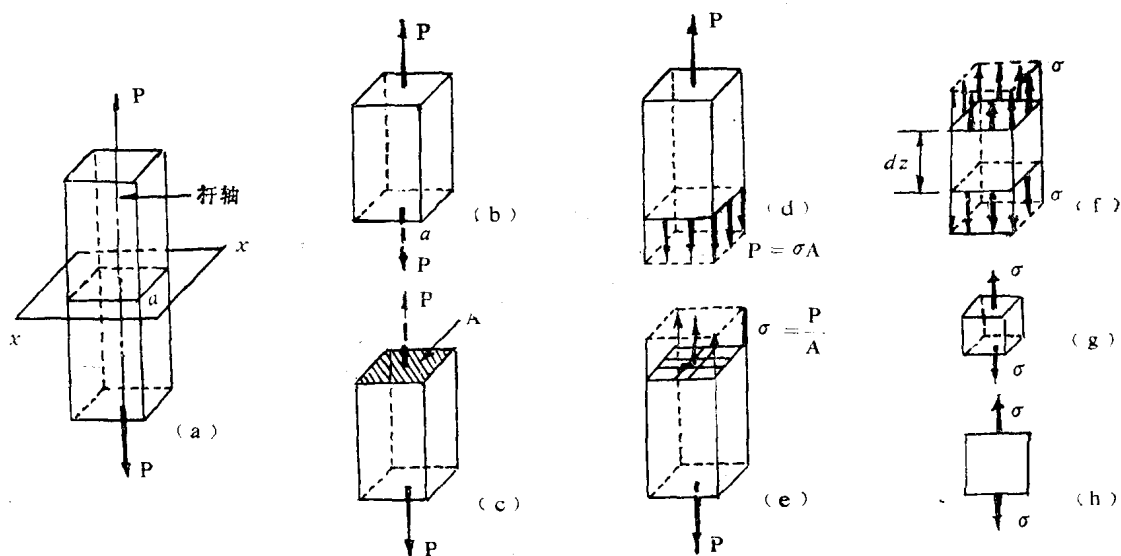


图 1-4 对物体进行应力分析的步骤

假如再作一个切面平行于图 1-4(a) 的 $x-x$ 面，被截取的杆的一小段可表示为图 1-4(f) 那样。再进一步“截制”后，便得到如图 1-4(g) 的微小正六面体。在这里只有一种正应力作用于单元体的两个面上。这种单元体的应力状态，称为单项应力状态。实际上极少应用图 1-4(g) 表示的单元体图形，而将它简化为如图 1-4(h) 所示。虽然如此，学生决不能忽视所研究问题的三维状况。

在截面上，由式 (1-1) 计算的拉应力系构成一个对载荷的平衡力。将这些正应力乘以相应的微面积，然后沿整个横截面积求和，所得的总和与外力 P 相等。于是，该力系静力等

* 某些材料表现出抗拉强度比抗剪强度大得多。这些材料沿截面发生破坏。这将在第九章中讨论。

† 严格地说，式 (1-1) 仅适用于横截面积不变的构件。关于横截面积急剧变化的情形的讨论见 § 2-11。