

高等材料力学

〔美〕 A. P. 博雷西 O. M. 赛德博坦 F. B. 西利 J. O. 史密斯 著

科学出版社

高等材料力学

〔美〕 A. P. 博雷西 O. M. 赛德博坦 著
F. B. 西利 J. O. 史密斯

汪一麟 汪一骏 译

科学出版社

1987

内 容 简 介

本书阐述理工院校所开的一般材料力学课程中通常不讲授的重要内容和重要专题,侧重于理论在工程设计和工程研究方面的实际应用。在本书各章中列举了很多例题,并收集了大量习题。

本书可供理工科高等院校的教师、研究生和高年级学生使用,也可从事工程设计和强度研究的科技人员参考。

A. P. Boresi O. M. Sidebottom

F. B. Seely J. O. Smith

ADVANCED MECHANICS OF MATERIALS

THIRD EDITION

John Wiley And Sons, 1978

高 等 材 料 力 学

[美] A. P. 博雷西 O. M. 赛德博坦 著
F. B. 西利 J. O. 史密斯

汪一麟 汪一骏 译

责任编辑 魏茂乐

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987 年 2 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1987 年 2 月第一次印刷 印张: 20 5/8

印数: 精 1—2,350 插页: 精 2

平 1—2,750 字数: 538,000

统一书号: 13031·3407

本社书号: 4722·13—2

定价: 布脊精装 6.55 元
平 装 5.75 元

译 序

为了向工科四年级大学生和一年级研究生讲授“材料力学 II”，美国伊利诺斯大学力学教授 F. B. 西利早在 1931 年就把“材料力学 I”中所不讲的高深内容加以汇总而编著了《高等材料力学》一书。

经过二十一年的使用后，F. B. 西利又和同校力学教授 J. O. 史密斯合作，于 1952 年把该书加以修订再版。

又经过二十六年的使用后，同校力学教授 A. P. 博雷西和 O. M. 赛德博坦合作，于 1978 年根据 F. B. 西利和 J. O. 史密斯的思路，对原书作了较大的扩充和修订，收入了近年来在材料力学领域内所获得的新成果，增加了许多详细解出的例题和大量可用袖珍计算器求解的习题。

考虑到米制已得到了世界各国的公认，第三版中的计量单位统一使用国际单位制 (SI)。

在本书的翻译过程中，蒙北方交通大学王茹和申东成两同志大力协助，承担了部分工作，谨在此表示感谢。

限于我们的水平，译文中难免有错误和不当之处，恳请广大读者予以批评指正。

——译者

序 言

鉴于米制已得到公认,本修订版改用国际单位制 (SI)。

在更新和改编中,第三版保留了前两版中行之有效的主要内容。特别是仍遵照这样的传统:(1)研究许多重要的承载结构构件,(2)详细讨论各种构件,以使求得的解适用于有实用意义的工程问题,(3)对实际上用到的各种构件列举许多例题,(4)收集大量习题,供读者求解。

自从第二版问世以来,在工程教育方面有所进展,因此在第三版中将高等材料力学的大部分基础理论从附录移到各章正文中。所以,在第一章和第二章中介绍了关于应力和应变的一般理论和应力-应变-温度关系。在第三章中阐述了破坏准则的广义概念,而在第四章中以统一的形式讨论了能量法,这与第二版中所用的分段法大大不同。

然后,应用第一、二、三和四章中所阐述的一般原理和理论深入研究各种结构构件和专题。因此,依次讨论了杆的扭转(第五章)、直梁的非对称弯曲(第六章)、薄壁梁截面的剪切中心(第七章)、曲梁(第八章)、弹性地基上的梁(第九章)、平板(第十章)和厚壁圆筒(第十一章)。对于这些专题,均作了深入讨论。讨论的重点是在工程问题上的应用。对于具有精确解的问题,对前一版只作了不大的改动(主要是在说明上)。但是,对于只能用近似法求解的问题,则作了仔细复查,因而对第二版中所提供的解作了适当的修改。例如,将曲梁的近似解作了修改,使之适用于实际应用的复杂截面,而无需采用前两版中所用的数值积分法。再举一个例子,在第十章中提供了板的近似解,这种解能直接用于各种各样的板问题,而前两版中所提供的结果仅对板的几种简单形状和几种简单荷载有实用价值。

此外,还增加了前两版中尚未讨论的一些专题。例如,矩形板和圆板上全塑性荷载上限的计算、非圆截面的全塑性扭转、箱形截面的剪切中心、薄壁圆筒上环荷载的解法、用正交剪应力概念研究接触应力问题中的疲劳破坏、考虑应力范围和应力集中影响的高循环疲劳破坏准则的说明、普通应变状态下脆性断裂破坏准则的说明和断裂力学基本概念的讨论(其中包括编制各种荷载条件下的断裂韧度系数表)。

而且,还讨论了几个重要的一般专题,即应力集中的基本概念(第十二章)、有效应力集中系数的应用(第十三章)、接触应力(第十四章)和结构失稳与屈曲(第十五章)。在这最后四章中讨论了工程上的重要进展,并罗列了第二版问世以后出版的参考文献。

最后,第二版的第五篇“承载构件中非弹性小应变的影响”已经删去。但是,对现代工程仍有重要意义的许多专题已插入到涉及全塑性荷载的有关章节中。

全书各章详细解出了许多例题,并增加了大量习题,这些习题适合于用袖珍计算器求解。有不少习题附有答案。

A. P. 博雷西

O. M. 赛德博坦

1978年3月

第二版 序 言

自从二十年前本书第一版问世以来,人们对材料力学已作出了很多重要的贡献。很多学生和工程师也已为学习这方面的高深专题作了充分准备,而且为了进行工程分析和工程设计,迫切需要搞懂这些专题。因此,在本书的第二版中作了更深入和更广泛的讨论,并且增加了许多新内容。实际上,第二版可以算是一本新书,但其主要目的仍与第一版相同。

虽然全书各章重视了解析法,但也同样强调了工程计算及所作的假设和所用的原理对解析解的影响。

本书主要是为工科高年级学生和一年级研究生编写的,但在选择专题和解题方法时考虑了设计工程师和研究工程师的需要。

凡是分析中用到的微分方程,都对其进行求解,而将其结果大部分表示为表格或曲线的形式。虽然数值方法能求解分析中遇到的组合物理条件下的微分方程,但是本书并不强调用这种方法求解。

本书分六篇,其中两篇是新加的,即非弹性小应变对构件承载能力的影响和由屈曲荷载引起的失稳概述。在全书的许多专题中还介绍了从未发表过的有用素材。此外,还新增加了两个附录。

附录 I 的目的是使不熟悉弹性理论中所用方法的读者能有机会比较这种解析法与本书中所侧重的材料力学法。在讨论本版中的某些专题时,用数学弹性理论的解析法和结果来补充材料力学法。由于尚未读过弹性理论课的学生和工程师可能要研究这些专题,因此附录 I 是有用的。同样,增加附录 II “对于扭转的弹性薄膜(皂膜)比拟”也能帮助读者搞懂比拟法的数学原理。

除第一篇外,书中其他各篇基本上是彼此无关的。同样,第二篇各章(关于承受静荷载构件的强度和刚度的专题)也是彼此无关

的,因此可按任意次序进行学习。因此,本书可适应不同时数、不同内容和不同目的的课程。本书足够供一学年课程作教材用。各章末尾精选的参考文献可为想进一步研究材料力学的读者提供合乎需要的原始资料。

第一章详细说明了材料力学中所用的一般程序或解析法的主要步骤。本书各章特别是第二篇各章反复举例说明了这种一般程序。

第二篇新加了两章。这两章讨论弹性地基上的梁和接触应力。在这些专题和其他一些专题中,将较复杂的结果表示为立即能用的表格和线图形式。作者希望这一特点有助于使本书适用于工程设计室。此外,还举了许多例题以强调理论在设计方面的应用。

第二篇的目的是详尽地讨论少数重要的专题,而不是简要地讨论较多的专题。因此,学生可获得用材料力学的方法和手段详细分析关于承载构件的各种工程问题的宝贵经验。

第三篇试图合理地说明工程机械零件和工程结构构件中应力集中的重要性,从而避免学生在研究这一专题时常常碰到的某些混乱和困难。

第四篇是用能量法确定荷载与变形间的关系,为了作更深入的研究,已用另一种方法完全重写了这一篇。这篇采用了两种一般解法,即功与能解法和所谓余功与余能解法。重点是讨论这两种解法的意义和优缺点,以及从更普遍的方法(例如卡氏定理和虚荷载法)得到的不大普遍但常用的方法的应用范围。

第五篇讨论承载构件的非弹性特性,其中采用一种新而简便的近似法来确定引起规定非弹性小应变的荷载。同本书其他各篇一样,这一篇也强调指出,许多构件的承载能力有两个极限值,即:使大多数受力纤维中产生非弹性应变的荷载和使一个或几个截面成为全塑性截面的荷载。用这种方法求得的结果已表示为简便的交接曲线形式。

第六篇简要地讨论了所谓薄壁或细长构件的屈曲,主要是针

对承受轴向荷载的柱和承受均匀外压的薄壁圆筒讨论了弹性屈曲和非弹性(塑性)屈曲。

在这第二版中增加了许多例题,以介绍新的方法或原理,而不局限于说明如何应用以前所阐述的理论和方法。

全书在详细说明概念、原理和方法上有很多重复。这样做,一部分是为了在讨论某个专题时可以较少地依赖于以前所讨论过的专题。但是,重复的主要目的是强调概念。作者发现,这种方法在教室内是必不可少的,而为了有利于学生起见,有限制地应用了这种方法。

作者在修订第二版时,得到了几位同事和许多学生的大力协助,前者在阅读大部分原稿时提出了一些建设性的批评,而后者在攻读学位课程时学习了有关各章。作者特别对 Alfred M. Freudenthal 教授和 Winston E. Black 教授仔细审查原稿并对书中所讨论的许多专题提出一些有用的建议以及对 C. K. Liu 博士协助分析某些专题和问题并准备许多插图表示感谢。作者也对同事 M. C. Steele 教授和 O. M. Sidebottom 教授以及前同事 M. C. Stippes 教授、V. P. Jensen 博士和 G. L. Armstrong 先生在讨论某些专题时提出一些宝贵的意见表示感谢。

第二版各篇中一些专题的改写也反映了过去二十年来用过第一版的教师、学生和在职工程师的许多建议和意见。此外,作者通过口头讨论和通信,已从许多人那里获得了非常需要的资料,他们具有一定的工程经验,特别有资格讨论材料力学各方面的最新发展,这些慷慨的帮助对本书是很有价值的。

F. B. 西 利

J. O. 史密斯

1952 年 10 月

第一版 序 言

本书的书名完全可以称为“材料力学 II”。书中所研究的专题要比美国大多数工科学校所开的材料力学 I 课程中通常讲授的内容高深些。

本书是由作者过去几年中为高年级大学生和一年级研究生讲课用的笔记整理而成。本书的内容完全可以在数学弹性理论课之前讲授或与之同时讲授。

近年来，愈来愈多地应用解析法而不用经验法则来解决工业上不断出现的工程问题，因此需要进一步培养对于工程结构各构件和工程机械各零件中应力和应变的分析能力。同样，也需要深入理解计算应力对承受各种荷载构件的有效强度的重要意义。

作者希望本书能满足开设材料力学 II 课程的学校里的教师和学生以及有志于进一步研究材料力学的青年工程师的这种需要。

作者还希望本书所介绍的素材能帮助工程设计室解决构件中的应力分析问题。

在编写本书时，考虑了下列目标：

1. 复习材料力学 I 课程中所提供的方法和结果，并使之更加实用。
2. 说明材料力学常用公式的应用范围，研究使这些应用范围起重要作用的条件，并将材料力学扩大到包括各种各样的重要专题，而这些专题要比材料力学 I 课程中通常研究的专题复杂。
3. 对于分析结构构件和机械零件中的应力时所用的基本概念和方法，提出更全面和更实用的观点。
4. 使学生熟悉各种原始资料(主要通过参考文献)，从而使他懂得材料力学的知识是如何增长的。
5. 改变学生的惯常看法，使他从武断地信任所用的方法和所

得的结果改为仅将方法和结果视为近似的而在某些条件下才成为可靠而有用的方法和结果。

本书分四篇如下：

第一篇 预备知识，主要是讨论材料力学中所用到的基本概念，并复习材料力学 I 课程中通常采用的某些较重要的方法和得出的某些较重要的结果。

第二篇 专题，包括材料力学 I 课程中通常不讨论的某些构件中的应力分析。

第三篇 应力集中和局部应力综论，其中强调用非数学方法确定应力。

第四篇 超静定应力分析引论，其中采用弹性应变能法。

全书侧重于方法和结果的工程意义。书中所举的例题很多，其中有不少附有解答。在各章的末尾列出一些参考文献，供进一步研究之用。

在编纂本书时，其素材采用了来自许多原始资料的实验结果和分析研究论文。作者要对提供这种素材的人表示感谢。

F. B. 西利

1931 年 8 月

• x •

目 录

第一章 应力理论和应变理论	1
1-1 一点上应力的定义	5
1-2 应力符号	7
1-3 应力阵列的对称性和任意位向平面上的应力	9
1-4 应力变换 主应力 其它特性	13
1-5 变形体的运动微分方程	31
1-6 变形体的变形	35
1-7 应变理论 主应变	37
1-8 体积元的应变	45
1-9 小位移理论	46
第二章 应力-应变-温度关系	57
2-1 固体的弹性特性和非弹性特性	57
2-2 热力学第一定律、内能密度和余内能密度	62
2-3 虎克定律 各向异性弹性	68
2-4 虎克定律 各向同性弹性	70
2-5 各向同性材料的热弹性方程	76
2-6 屈服的发生 屈服准则	78
第三章 破坏准则	95
3-1 破坏形式	97
3-2 破坏准则 过度变形	103
3-3 破坏准则 屈服的发生 大范围屈服	105
3-4 破坏准则 断裂	125
3-5 渐进性断裂(循环次数 $N > 10^6$ 的高循环疲劳)	136
第四章 能量法的应用: 弹性变形和超静定构件与超静定结构	147
4-1 位能驻值原理	147
4-2 卡氏变形定理	153

4-3	用于线性荷载-变形关系的卡氏变形定理	158
4-4	静定结构的变形	164
4-5	超静定结构	177
第五章	扭转	196
5-1	圆截面圆柱杆的扭转	196
5-2	Saint-Venant 半逆法	201
5-3	线弹性解	207
5-4	PRANDTL 弹性薄膜(皂膜)比拟法	212
5-5	窄矩形截面	215
5-6	空心薄壁扭杆 多连通截面	219
5-7	两端受约束的薄壁扭杆	226
5-8	全塑性扭转	235
第六章	直梁的不对称弯曲	241
6-1	受弯时剪切中心的定义 对称弯曲和不对称弯曲	241
6-2	承受不对称弯曲的梁中的弯应力	248
6-3	承受不对称弯曲的直梁的挠度	261
6-4	由于荷载平面对主平面略有倾斜而引起的中性轴方向改变和 轧制型材的应力与挠度增大	265
6-5	对于不对称弯曲的全塑性荷载	267
第七章	薄壁梁截面的剪切中心	271
7-1	薄壁梁截面上剪力的近似算法	271
7-2	薄壁梁截面中的剪力流	274
7-3	槽形截面的剪切中心	276
7-4	由纵梁与薄腹板组成的组合梁的剪切中心	285
7-5	箱形梁的剪切中心	292
7-6	承受组合荷载的直轴	297
第八章	曲梁	303
8-1	概述	303
8-2	曲梁上的圆周应力	304
8-3	曲梁上的径向应力	318
8-4	工字形、T 字形或类似截面曲梁上圆周应力的修正	321
8-5	曲梁的挠度	328

8-6	超静定曲梁 承受集中荷载的闭合环	335
8-7	曲梁的全塑性荷载	338
第九章	弹性地基上的梁	344
9-1	一般理论	344
9-2	承受集中荷载的无限长梁: 边界条件	347
9-3	承受局部分布荷载的无限长梁	360
9-4	一端承受荷载的半无限长梁	364
9-5	一端附近承受集中荷载的半无限长梁	365
9-6	短梁	367
9-7	薄壁圆筒	369
第十章	平板	377
A	基本方程和简单解	377
10-1	概述	377
10-2	平板的应力合量	378
10-3	运动学: 板的应变-位移关系	382
10-4	平板小位移理论的平衡方程	388
10-5	各向同性弹性板的应力-应变-温度关系	391
10-6	板的应变能	395
10-7	板的边界条件	396
10-8	板的问题的解法	400
10-9	圆板和矩形板的破坏荷载	406
B	板某些解的摘要	411
10-10	圆板的小弹性挠度 理论和实验	411
10-11	圆板的大弹性挠度 固定边	417
10-12	圆板的大弹性挠度 简支边	422
10-13	矩形板的小弹性挠度 均布荷载	423
10-14	两对边被梁支承的矩形板上的应力	430
第十一章	厚壁圆筒	444
11-1	基本关系	444
11-2	两端封闭的圆筒中的应力分量	448
11-3	恒温下的应力分量和径向位移	451
11-4	破坏准则	455

11-5	全塑性压力 内表面挤压硬化法	463
11-6	仅承受温度变化的圆筒的解	469
第十二章	应力集中的基本概念	473
12-1	应力集中问题的性质和应力集中系数	475
12-2	应力集中系数 弹性理论	580
12-3	应力集中系数 实验方法	492
12-4	由集中荷载引起的应力梯度	499
12-5	静止裂纹	501
12-6	裂纹扩展和应力强度因子	506
第十三章	有效应力集中系数的应用	517
13-1	应力集中系数——组合荷载	517
13-2	有效应力集中系数	526
13-3	有效应力集中系数——重复荷载	533
13-4	有效应力集中系数 其他影响	535
13-5	有效应力集中系数 非弹性应变	540
第十四章	接触应力	544
14-1	概述	544
14-2	接触应力的计算问题	545
14-3	求解接触应力时所依据的假设	546
14-4	术语的符号和意义	552
14-5	主应力的表达式	554
14-6	接触应力的计算方法	555
14-7	点接触物体的位移	566
14-8	两个沿狭矩形面积接触(线接触)的物体中的应力 接触面 积上的法向荷载	572
14-9	两个作线接触的物体中的应力 接触面积上的法向荷载和 切向荷载	575
第十五章	结构失稳 屈曲	587
A	柱	587
15-1	理想细长柱的弹性屈曲	588
15-2	非理想的细长柱	593
15-3	非弹性屈曲	595

15-4	理想细长柱的两个非弹性屈曲公式	596
15-5	非弹性屈曲荷载的切线模量公式 使理想柱发生非弹性弯曲的荷载	597
15-6	双模量公式	601
15-7	两个非弹性屈曲荷载公式的比较	605
B	圆柱管、环和平板	608
15-8	要明确的问题	608
15-9	环的临界弹性屈曲荷载 细长薄壁圆管	610
15-10	经验公式	616
15-11	端部约束对管弹性屈曲的影响	617
15-12	管的非弹性屈曲	620
15-13	平板的后期屈曲强度	622
附录	平面图形的二次矩(惯性矩).....	628
A-1	平面图形的惯性矩	628
A-2	平行轴定理	629
A-3	惯性矩和惯性积的变换方程	633
索引		636

第一章 应力理论和应变理论

本书讨论高等材料力学中的许多专题，推导一些重要结构构件的荷载-应力关系和荷载-变形关系。此外，还规定求具体构件上破坏荷载的准则。所需的预备知识见第一章“应力理论和应变理论”、第二章“应力-应变-温度关系”和第三章“破坏准则”。

荷载-应力关系和荷载-变形关系 对于本书所讨论的大多数构件，将导出以已知荷载和已知构件尺寸表示的该构件某截面上正应力和剪应力分布或该构件某点上各应力分量的关系。当某构件承受规定的荷载时，荷载-应力关系应根据下列条件进行推导：

1. 平衡方程(或不平衡体的运动方程)。
2. 要求该构件中各变形体积元相协调而无重叠或脱节现象的相容性条件(连续性条件)。
3. 应力-应变关系。
4. 材料的特性。

为了满足条件(1)和(2)，可用材料力学法和一般连续介质力学法这两种不同的方法。本书中未用一般连续介质力学法来推导常用的荷载-应力和荷载-变形关系，这是因为初学者尚未具备所需的基础知识，或者因为通解过于复杂。而用材料力学法能求得精确解或可靠的近似解。用材料力学法时，首先导出荷载-应力关系，然后用这些关系求得该构件的荷载-变形关系。

有一简单构件，例如等截面圆轴，可能承受复杂荷载，因而该轴中产生多轴应力状态。但是，这些荷载可简化为几种简单的荷载，例如轴向中心荷载、弯曲荷载和扭转荷载。各种荷载在单独作用时，主要产生一种沿轴的截面分布的应力分量。这时可用材料力学法求得各种荷载作用下的荷载-应力关系。若由一种荷载引起的轴的变形并不影响其它几种荷载的大小，并且在复合荷载作