

材 料 力 学

S. 铁 摩 辛 柯

科 学 出 版 社

52.52
755

材 料 力 学

(高等理論及問題)

S. 鉄摩辛柯 著

汪 一 麟 译

1108037

科学出版社

1979

内 容 简 介

本书内容丰富,深入浅出,且实例很多,是材料力学方面的名著。

本书阐述材料力学中较高深的问题,诸如弹性基础上的梁、板壳的屈曲、应力集中、塑性变形等,特别是最后一章“材料的机械性质”,论述相当全面,对各种强度理论、金属的疲劳、蠕变等均有阐述;此外还讨论了如何根据材料的机械性质来选择许用应力。

本书可供高等工业学校师生使用,也可供有关工程技术人员参考。

S. TIMOSHENKO
STRENGTH OF MATERIALS
PART II
Advanced Theory and Problems
D. Van Nostrand Company, Inc.
Third Edition 1957

材 料 力 学

S. 铁摩辛柯 著

汪 一 麟 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

国营五二三厂印刷

北京新华书店发行所发行 各地新华书店经售

*

1964 年 1 月 第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1979 年 10 月 第四次印刷 印张: 15 1/2

印数: 17,951—86,450 字数: 402,000

统一书号: 13031·396

本社书号: 599·13—2

定 价: 1.90 元

第三版序言

在准备本书的最新版时,增加了大量的新材料。全书各章不仅添加了新的习题和附图,还添加了最新的参考资料。在内容方面改变得较多的是扭转、塑性变形及材料的机械性质这几章。

关于扭转,不仅考究了开口截面薄壁构件的扭转屈曲问题,还考究了有中间隔层的管件的扭转问题。在设计如飞机结构组件等薄壁结构时,这些课题均很重要。在塑性变形这一章中,讨论了极限设计的基本原理,举出了这一方法应用于结构分析的几个例子。

增订最多的是材料的机械性质这一章,以致这一章现在有160页以上。扩充这一章的目的,是要集中注意于结构材料性质的实验研究方面的最近发展。所讨论的课题包括:(1)缺陷对脆性材料极限强度的影响与“尺寸效应”;(2)对单晶体与多晶体试样的试验结果的比较;(3)在二维和三维应力状态下的材料试验与各种强度理论;(4)在冲击载荷下的材料强度;(5)在各种不同应力状态下金属的疲劳与提高机器零件疲劳强度的方法;以及(6)在高温下的材料强度、蠕变现象以及蠕变试验数据在设计中的应用。所提到的许多近代文献,对于欲进一步扩充在这些课题方面的知识的读者是有帮助的。最后,在本书的结尾一节中,对于如何适当选择应力也介绍得相当详细。

作者希望,增加的这些材料能使本书在用于对研究班讲授材料力学课程时将更为完备,并对从事机械工程及结构工程的设计师及研究工程师也更为有用。

最后,作者对斯坦福大学盖尔(James M. Gere)教授在修订本书和阅读校样时的帮助以及提出的许多建议表示感谢。

S. 铁摩辛柯

斯坦福大学

1956年2月10日

第二版序言

在准备本书的新版时,原书中总的特色保持不变;仅致力于集納新的理論和实验資料——它們体现应力分析和对結構材料的机械性質的实验研究諸方面的最新发展——俾使本书更趋完备并合乎时代。

較之初版,最重要的增添如下:

1. 对于細长与薄壁結構的弯曲、压縮和扭轉等問題作了更全面的討論。这类結構現正被广泛地应用于飞机构造中,在新版中认为应更多地包括来自这方面的問題。

2. 增加了讲塑性变形的一章,論述梁和軸在超过弹性极限时的弯曲和扭轉,以及承受巨大內压力的厚壁圓筒中材料的塑性流动。

3. 补充了属于实验性質的大量新資料,这些資料涉及結構材料在高温下的性状和金属在反复应力下的疲劳,特别是疲劳与高度应力集中相結合的那些情况。

4. 书中讲弹性基础上的梁的部分,讲曲杆理論、板壳理論的各章,讲应力集中的一章,均有重要的增添;在应力集中这一章中,还集納了光測弹性試驗的一些最新成果。

自本书的初版問世后、作者所著的更为深些的“弹性理論”、“弹性稳定理論”和“板壳理論”三书也已先后出版。对于这三本书,本书中曾多处引用,特别是在仅列出最后結果,而无完整的数学推导的場合。

作者希望上面述及的增添将使本书对材料力学这一課題作出合乎时代的陈述,俾对有志于工程力学的毕业生和研究复杂应力分析問題的設計工程师均能有所裨益。

S. P. 铁摩辛柯

加利福尼亚 Palo Alto

1941 年 6 月 12 日

第一版序言

材料力学下卷主要是为研究生、研究工程师及设计师而写的。作者力求写出一部能包括材料强度和弹性理论方面有实际重要性的新发展的书籍。凡有实用价值的问题大多数作了完整的推导。只有少数较复杂的问题，由于其求解过程超出工程数学的一般水平，只把最后结果列出。在这种情形下，对这些结果的实际应用均作了讨论，并同时指出了有关的参考文献，从中可得知其解的完整推导过程。

在第一章中研究了棱柱杆弯曲中一些较复杂的问题。对于弹性基础上杆件弯曲的一些重要问题作了详细的讨论，并给出了这一理论对研究钢轨和管子中的应力的应用。此外，还讨论了三角级数在研究弯曲问题时的应用，并推导了关于纵向和横向联合载荷的一些重要的近似公式。

在第二章中详细发展了曲杆理论。以吊钩、飞轮、链环、活塞环及弯管内的应力分析为例来阐明这一理论如何应用于机器设计。

第三章包括薄板弯曲的理论。对薄板弯成圆柱面的情形及圆板的对称弯曲，均作了详细的讨论，并说明其实际应用。此外，还给出了关于矩形板在均布载荷下弯曲的一些数据。

在第四章中讨论了具有迴转体形状的另件在对称载荷下的应力分布问题。这些问题对于从事设计承受内压的容器和设计旋轉机械的设计师特别重要。此外，对薄壁容器中的拉伸应力和弯曲应力、厚壁圆筒中的应力、冷缩配合应力、转子和转盘中由于惯性力而产生的动荷应力，以及由于受热不均匀而产生的应力均曾涉及。

第五章包括受压构件和薄板由于丧失弹性稳定而发生的侧向

屈曲的理論。這些問題對於許多近代結構非常重要，因這些結構由於用了強度較高的材料和力求減輕重量，其截面尺寸已減小到最低限度。工程結構的失效往往是由于喪失彈性穩定而並非由於材料強度不足所致。

在第六章中研究了杆件上因存在的孔和槽，使截面急驟改變而產生的不規則的應力分布，並討論了應力集中的實用意義。對光測彈性法也作了論述，在研究應力集中時，這一方法已被證明非常有效。對扭轉問題中的薄膜比拟法及其在研究輻壓截面和管形截面中凹角處應力集中時的應用作了說明。此外，還討論了變直徑的圓軸，並用電比拟法來說明這種軸圓角處的局部應力。

在最后一章中討論了材料的機械性質，這裡所注意的是一般原理，而不是對已建立標準化的材料試驗方法及操作設備的描述。對單晶體機械性質方面最近的研究成果以及這種資料的實用意義作了論述。諸如金屬的疲勞及其在高溫下金屬的強度等課題，在近代機器設計中具有極其重大的實用價值。在論述這些問題時，特別著重於該方面的新發展。

最後研究了各種強度理論。對這些理論與在各種不同應力狀態下確定實用應力的方法之間的關係這一重要課題作了進一步的論述。

前已指出，本書一方面是為了教學目的而寫，但同時也可供進修之用。作者憑自己經驗，通常將本書內容分為下列三項課程：(1)包括第一、三及五章，它們主要是為從事結構工程的研究生而用；(2)包括第二、三、四及六章，為有志於機器設計的学生而用；(3)以第七章為基礎並輔以在材料試驗室的演示。作者覺得，這樣一門研究材料機械性質的基本原理，並建立這些性質與設計時在各種不同條件下所用的實用應力之間關係的課程，具有實際的重要性，在我們的工科課程中應多加注意這門學問。

作者乘此機會對曾幫助他，向他提供意見，閱讀原稿和校樣的朋友們致謝，特別是密歇根大學工學院的數學和力學教師柯茲(W. M. Coates)先生和唐納爾(L. H. Donnell)先生，以及密歇根

大学工程研究部的爱佛来脱(F. L. Everett)先生。作者还对韦尔
哈姆(F. C. Wilharm)先生的繪图、韦勃斯脱(E. D. Webster)夫人
的原稿打字以及凡脑斯脱兰公司的費心出版本书表示謝意。

S. 铁摩辛柯

密歇根, 安阿伯

1930 年 5 月 1 日

譯 者 序

本书为鉄摩辛柯的名著之一,是材料力学的經典著作,可用作大学研究生和进修生学习高等材料力学的教材。

本书的特点是,内容丰富和富有創造性,分析問題层次分明、深入浅出,闡述問題精簡扼要、重点突出;并且所举的实例很多,有利于实际应用。本书对于教学、科研和工程設計很有参考价值。

有鉴于此,譯者特在执教之余将本书譯出,以供高等工业学校师生、科学研究工作者以及从事机械設計和結構設計的工程技术人員参考。

在翻譯过程中承周麒、邵本述、林圭、王宾秋、程經熙、石宝麟等同志大力协助,謹在此表示感謝。

汪一麟

上海交通大学

一九六〇年十月

符 号

- α ——角,热膨胀系数,数字系数
- β ——角,数字系数
- γ ——剪应变,单位体积内的重量
- Δ ——单位体积膨胀量,距离
- δ ——总伸长量,总挠度,距离
- ε ——单位应变
- $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ ——在 x, y 和 z 方向的单位应变
- θ ——角,轴单位长度内的扭转角
- μ ——泊桑比
- ρ ——距离,半径
- σ ——单位正应力
- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ——主应力
- $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ ——在垂直于 x, y 和 z 轴的平面上的单位正应力
- σ_E ——达耐久极限时的单位应力
- σ_{ult} ——极限应力
- σ_{uc}, σ_{ut} ——压缩极限应力和拉伸极限应力
- σ_w ——实用应力
- $\sigma_{Y.P.}$ ——屈服点应力
- τ ——单位剪应力
- $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ ——在垂直于 x, y 和 z 轴的三平面上平行于 y, z 和 x 轴的单位剪应力
- τ_E ——剪切耐久极限
- τ_{oct} ——在八面体平面上的单位剪应力
- τ_{ult} ——剪切极限应力
- τ_w ——剪切实用应力

$\tau_{Y,P.}$ ——剪切屈服点应力
 φ ——角,軸的扭轉角
 ω ——角速度
 A ——截面积
 a, b, c, d, e ——距离
 C ——扭轉刚度
 C_1 ——翘曲刚度
 D ——弯曲刚度
 d ——直径
 E, E_t, E_r ——弹性模量、正切模量、折合模量
 f ——剪流
 G ——切变弹性模量
 h ——高度,厚度
 I_p, I_0 ——平面面积对形心和剪切中心的极慣性矩
 I_x, I_y, I_z ——平面面积对 x, y 和 z 軸的慣性矩
 k ——基础系数,迴轉半径,应力集中系数,数字常数
 l ——长度,跨距
 M ——弯矩
 M_{ult} ——极限弯矩
 $M_{Y,P.}$ ——开始屈服时的弯矩
 M_t ——轉矩
 $(M_t)_{ult}$ ——极限轉矩
 $(M_t)_{Y,P.}$ ——开始屈服时的轉矩
 n ——安全系数
 P, Q ——集中力
 p ——压力,振动頻率
 q ——单位长度內的載荷,面积收縮量,敏感系数
 R ——反力,力,半径,应力幅
 r ——半径,曲率半径
 S ——軸向力,表面张力

s ——长度
 T ——軸向力, 絕對温度
 t ——温度, 厚度
 U ——应变能
 u ——应变率, 在 x 方向的位移
 V ——体积, 剪力
 v ——速度, 蠕变率, 在 y 方向的位移
 W ——重量
 w ——单位体积內的应变能, 在 z 方向的位移
 x, y, z ——直角坐标
 Z ——截面模量

目 录

第一章 弹性基础上的梁	1
§ 1. 无限长的梁	1
§ 2. 半无限长的梁	11
§ 3. 弹性基础上有限长的梁	15
第二章 受轴向与横向联合载荷的梁	24
§ 4. 直接压缩与横向载荷	24
§ 5. 連續支柱	34
§ 6. 受横向载荷的系杆	37
§ 7. 用三角级数来表示的挠度曲线	42
§ 8. 具有微小初曲率的杆的挠曲	49
第三章 梁弯曲中的一些特殊问题	52
§ 9. 梁弯曲中的局部应力	52
§ 10. 变截面梁中的剪应力	56
§ 11. 薄凸缘的有效宽度	58
§ 12. 迭加法的限制	62
第四章 薄板与薄壳	68
§ 13. 板弯成圆柱面的弯曲	68
§ 14. 受均布载荷的长矩形板的弯曲	70
§ 15. 具有微小初圆柱曲率的长矩形板的挠曲	75
§ 16. 在两个垂直方向的純弯曲	77
§ 17. 板中的热应力	81
§ 18. 圆板受中心对称载荷时的弯曲	82
§ 19. 受均布载荷圆板的弯曲。边为固定的板	85
§ 20. 变厚度圆板的弯曲	90
§ 21. 中心受载荷的圆板的弯曲。边为固定的板	91
§ 22. 受集中载荷的圆板的弯曲	94
§ 23. 中心有一圆孔的圆板受对称载荷时的挠曲。由力偶引起的弯曲	96

§ 24. 矩形板的弯曲	100
§ 25. 承受内压的薄壁容器	103
§ 26. 薄壁容器中的局部弯曲应力	110
§ 27. 圆筒壳中的热应力	118
§ 28. 圆环由于沿其中心线均布的力偶而引起的扭转	121
第五章 杆、板与壳的屈曲	128
§ 29. 稜柱杆的横向屈曲:简单情形	128
§ 30. 稜柱杆的横向屈曲:复杂情形	135
§ 31. 计算临界压缩载荷的能量法	142
§ 32. 稜柱杆在均布轴向力作用下的屈曲	146
§ 33. 变截面杆的屈曲	148
§ 34. 剪力对临界载荷的影响	150
§ 35. 格子支柱的屈曲	152
§ 36. 直柱的非弹性屈曲	156
§ 37. 圆环和圆管在外压作用下的屈曲. 圆环的屈曲	162
§ 38. 矩形板的屈曲	168
§ 39. 无横向支承的梁的屈曲	173
第六章 对称于轴线的变形	179
§ 40. 厚壁圆筒	179
§ 41. 由冷缩配合而产生的应力	183
§ 42. 等厚度转盘	186
§ 43. 变厚度转盘	193
§ 44. 空心长圆筒中的热应力	198
第七章 扭转	204
§ 45. 非圆截面的轴	204
§ 46. 薄膜比拟	205
§ 47. 辗制型材截面的扭转	211
§ 48. 薄壁管件的扭转	214
§ 49. 有些截面无翘曲的开口截面薄壁构件的扭转	220
§ 50. 开口截面薄壁构件的弯扭联合作用	230
§ 51. 开口截面薄壁构件的扭转屈曲	236
§ 52. 开口截面薄壁构件由于同时受弯曲和扭转而引起的屈曲	240

§ 53. 扭杆中的纵向正应力	246
§ 54. 疏圈螺旋弹簧	251
第八章 应力集中	258
§ 55. 受拉或受压构件中的应力集中	258
§ 56. 有一圆孔的板中的应力	259
§ 57. 受拉构件中的其他应力集中情形	263
§ 58. 扭转中的应力集中	268
§ 59. 变直径圆轴	272
§ 60. 弯曲中的应力集中	278
§ 61. 利用模型研究应力集中	283
§ 52. 测量应力的光弹性法	286
§ 63. 球和滚子中的接触应力	291
第九章 超过弹性极限后的变形	297
§ 64. 由完全塑性材料制成的结构	297
§ 65. 结构的极限强度	304
§ 66. 由不服从胡克定律的材料制成的梁的纯弯曲	314
§ 67. 梁由超过弹性极限的横向载荷引起的弯曲	320
§ 68. 由非弹性弯曲所产生的残余应力	322
§ 69. 超过弹性极限的扭转	326
§ 70. 厚壁圆筒在内压作用下的塑性变形	330
第十章 材料的机械性质	336
§ 71. 总论	336
§ 72. 脆性材料的拉伸试验	337
§ 73. 延性材料的拉伸试验	341
§ 74. 单晶体试样在弹性范围内的试验	344
§ 75. 单晶体试样的塑性伸长	348
§ 76. 软钢在弹性范围内的拉伸试验	350
§ 77. 屈服点	355
§ 78. 钢在超过屈服点后的伸长	358
§ 79. 拉伸断裂的型式	365
§ 80. 压缩试验	370
§ 81. 复合应力下的材料试验	372

§ 82. 强度理論.....	378
§ 83. 冲击試驗.....	392
§ 84. 金属的疲劳.....	398
§ 85. 在复合应力下的疲劳.....	406
§ 86. 影响耐久极限的各种因素.....	409
§ 87. 疲劳和应力集中.....	414
§ 88. 疲劳中应力集中影响的减小.....	422
§ 89. 表面疲劳破坏.....	428
§ 90. 疲劳的起因.....	431
§ 91. 金属在高温下的机械性質.....	437
§ 92. 梁在高温下的弯曲.....	445
§ 93. 应力松弛.....	448
§ 94. 复合应力下的蠕变.....	451
§ 95. 二維蠕变的特殊情形.....	454
§ 96. 實用应力. 总論.....	460
內容索引	472

第一章 弹性基础上的梁

§ 1. 无限长的梁. 我们来研究一棱柱形梁, 其全长为一連續的弹性基础所支承. 于是当梁发生挠曲时, 在每一点处, 連續分布反力与該点的沉陷成正比¹⁾. 在这样的条件下, 作用于梁单位长度上的反力可用 $k y$ 表示, 其中 y 为沉陷而 k 为常数, k 通常称为基础系数. 这一常数表示当沉陷等于单位长时在单位长度内的反力. 基础的連續反力与沉陷成正比这一简单假设是許多实际情形的很好的近似. 例如, 就鋼軌而論, 根据这一假设求得的解与实测結果很为符合²⁾. 在研究梁的挠度曲綫时, 我們运用微分方程式³⁾:

$$EI_z \frac{d^4 y}{dx^4} = q, \quad (a)$$

式中 q 表示作用在梁上的載荷强度. 对于不受載荷的一段梁, 梁上唯一的力即为来自基础的連續分布反力, 其强度为 $k y$. 于是 $q = -k y$, 而式(a)变成

$$EI_z \frac{d^4 y}{dx^4} = -k y. \quad (1)$$

1) 梁埋置在能使梁上下受力的材料內.

2) 参看作者和 B. F. Langer 的論文, *Trans. A. S. M. E.*, Vol. 54, p. 277, 1932. 弹性基础上的梁的弯曲理論已由 E. Winkler 加以发展, *Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit*, Prague, p. 182, 1867. 并参看 H. Zimmermann, *Die Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues*, Berlin, 1888. 关于此理論的进一步发展可在下列文献中見到: Hayashi, *Theorie des Trägers auf elastischer Unterlage*, Berlin, 1921; Wieghardt, *Z. angew. Math. u. Mech.*, vol. 2, 1922; K. v. Sanden and Schleicher, *Beton u. Eisen*, Heft 5, 1926; Pasternak, *Beton u. Eisen*, Hefte 9 and 10, 1926; W. Prager, *Z. angew. Math. u. Mech.*, vol. 7, p. 354, 1927; M. A. Biot, *J. Appl. Mech.*, vol. 4, p. A-1, 1937; M. Hetényi, *Beams on Elastic Foundation*, Ann Arbor, 1946.

3) 参看作者所著“材料力学”(原书上卷)第140頁式(80).