

材料力学手册

[苏]Г.С.皮萨连科 А.И.亚科符列夫 В.В.马特维也夫

范钦珊 朱祖成 译

中国建筑工程出版社

材料力学手册

Г.С.皮萨连科

[苏] А.П.亚科符列夫

В.В.马特维也夫

范钦珊 朱祖成 译

中国建筑工业出版社

本书是根据苏联《科学思想》出版社(Издательство «Наукова Думка»)1975年出版的《材料力学手册》(Справочник по сопротивлению материалов)译出的。书中介绍了高等工科院校材料力学课程的主要内容,并且列出了范围相当广泛的典型构件的计算结果以及有关数据的图表。

全书叙述简明扼要,具有一定的深度和广度,可供建筑工程、机械制造等有关专业的工程技术人员使用,也可供高等工科院校有关专业的师生参考。

СПРАВОЧНИК
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ
МАТЕРИАЛОВ

Г.С.Писаренко А.П.Яковлев В.В.Матвеев
«НАУКОВА ДУМКА»
КИЕВ-1975

* * *

材料力学手册

范钦珊 朱祖成 译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 24¹/₄ 字数: 651千字

1981年3月第一版 1981年3月第一次印刷

印数: 1— 36,600册 定价: 3.00元

统一书号: 15040·3836

译 者 的 话

这本《材料力学手册》比起过去同类型的手册，有其特点。它比较全面系统地阐述了材料力学的基本概念、基本理论和基本分析方法，叙述简明扼要，同时具有一定的深度和广度，并列入了大量工程设计计算公式、图表和数据，有一定的工程应用价值。其理论部分可作为工科院校有关专业的材料力学教学参考书，其工程应用部分可作为工程技术人员的设计参考资料。

根据出版社的要求，为方便我国读者使用，原书中的型钢表及书后《附录》中的“材料性能数据”，均按我国有关部门颁布的标准和规范采用（各章内的附表则按原书译出）。此外，为了扩大本书使用范围，我们还选编了“开口薄壁杆件约束扭转时内力计算公式”作为《附录五》附于书末。

在翻译过程中，译者对书中的一些错误作了订正，个别改动较大处，均加了译者注。书中插图的小数点“，”，因直接采用原图制版，故未按我国习惯更改。

本书由清华大学力学教研组朱祖成、范钦珊翻译，其中第二～第十二章由朱祖成翻译，其它章节由范钦珊翻译，全书译稿由范钦珊负责整理。在翻译过程中曾得到教研组的关心，同时还得到李方泽、谢志成、杨宗发等同志的帮助，谨此表示感谢。

由于译者水平有限，缺点和错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

译 者

1978.10.于清华大学

序

材料力学是一般工程教育的基础课程之一，并且几乎在培养任何一个专业工程师方面都起着重要作用。特别是对于力学、机械制造和建筑工程等专业，材料力学有着更大的意义。

在高等工科学学校新的课程大纲里，要求在有限的讲授时间内反映近代科学技术现状，这就导致大大压缩材料力学课程的讲课时数。高等工科学学校的学生在某种程度上要依靠自学他们所需要的章节，以填补由于上述结果而出现的材料力学知识方面的某些空白。这对于一个未来的工程师是重要的。

在苏联，曾经多次出版过铁木辛柯（С.П.Тимошенко）、别辽耶夫（Н.М.Беляев）、费奥多谢耶夫（В.И.Феодосьев）等所著的以及其它的材料力学教科书。无论是大型军事工程的生产者和结构工程师，还是大学生或科学工作者，都对能充分和完整地反映近代强度科学现状的材料力学手册有着更大的兴趣。遗憾的是，这样的手册无论国内或国外都没有，而现有的简明材料力学和建筑力学手册都带有专门化特征，并且基于各种材料力学教程应用的基础上只提供其中一些重要章节的材料，口径不一。作者的目的是要建立这样的材料力学手册，它既具有足够的完整性和通用性，又反映近代强度科学的现状，并且用统一的口径提供与相应的理论教程相符合的手册性材料。本手册所采用的理论教程是皮萨连科（Г.С.Писаренко）、阿加连夫（В.А.Агарев）、克惟得克（А.Л.Квитк）、波普科夫（В.Г.Попков）、乌曼斯基（Э.С.Уманский）所著的《材料力学》1973年第三版（《Сопротивление материалов》，ИЗД.3, Киев, Вища школа, 1973年），这本书反映了我们在基辅综合性工业大学讲授材料力

学的经验，以及我国许多高等学校的学生使用这本书前两版的经验。

本手册的每一章中，在公式、表格和图形等手册性材料之前，有一段简要的基本理论叙述，其中扼要地说明了初始假定、相应的准则和理论，并给出重要的结论和建议。为了便于使用，编有全手册所有表格的目录。

我们希望这本手册，不仅对在实际业务中要遇到强度计算的各个专业的结构和生产工程师是有益的，而且对大学生、研究生、教师和科学工作者都能有效地加以应用。

目 录

序

第一章 绪 论	1
§ 1. 材料力学学科·研究对象	1
§ 2. 变形类型·有关材料变形状态的概念	3
§ 3. 基本假定	5
第二章 平面几何性质	7
§ 4. 静面矩·截面形心	7
§ 5. 平面图形的惯性矩	8
§ 6. 复杂截面的惯性矩	10
§ 7. 座标轴平行时惯性矩间的关系	11
§ 8. 座标轴旋转时惯性矩间的关系	12
§ 9. 惯性主轴方向的确定·惯性主矩	13
§ 10. 惯性矩的图解法·惯性椭圆与惯性半径的概念	15
§ 11. 截面模量	19
§ 12. 计算步骤	20
表 1 组合截面的几何性质	24
表 2 热轧等边角钢截面特性	78
表 3 热轧不等边角钢截面特性	82
表 4 热轧普通槽钢截面特性	88
表 5 热轧轻型槽钢截面特性	90
表 6 热轧普通工字钢截面特性	92
表 7 热轧轻型工字钢截面特性	94
表 8 焊接工字钢截面特性	96
第三章 外力和内力, 截面法, 内力图	106
§ 13. 外力的分类	106
§ 14. 内力·截面法·内力图	108

§ 15. 梁及其支承	111
§ 16. 支承反力的计算	113
§ 17. 梁截面上剪力与弯矩	114
§ 18. 梁弯曲时的微分关系 Q 、 M 图的一些特性	116
§ 19. 静定框架的内力图	118
§ 20. 曲杆的内力图	119
§ 21. 平面曲杆弯曲时的微分关系	121
§ 22. 空间杆件的内力图	123
§ 23. 截面上的应力	124
§ 24. 强度与刚度条件	127
表9 静定梁的支承反力、剪力与弯矩	128
表10 荷载作用在曲杆平面内时, 悬臂曲杆的轴力 N 、 剪力 Q 与弯矩 M	150
表11 荷载垂直于曲杆平面时, 悬臂曲杆的弯矩 $M_{из}$ 和扭矩 $M_{кр}$	151
第四章 拉伸与压缩时材料的力学性能	152
§ 25. 拉伸与压缩时的应力与变形	152
§ 26. 材料的拉伸与压缩实验	155
§ 27. 应力集中	161
§ 28. 许用应力	163
表12 弹性模量与波桑系数	165
表13 拉伸与压缩时材料的基本许用应力	166
第五章 应力与应变状态	167
§ 29. 一点的应力、主平面和主应力	167
§ 30. 单向应力状态	169
§ 31. 平面应力状态	170
§ 32. 平面应力状态的直接问题、应力圆	172
§ 33. 平面应力状态的相反问题	173
§ 34. 空间应力状态	174
§ 35. 空间应力状态下的应变·广义虎克定律	176
§ 36. 应变位能	178
第六章 强度准则	181

§ 37. 基本强度准则	181
§ 38. 关于一些新的强度准则的概念	186
表14 静载作用下各向同性材料极限状态准则	191
第七章 拉伸与压缩	194
§ 39. 考虑自身重量时, 拉伸(压缩)杆件的计算	194
§ 40. 拉伸(压缩)的等强度杆、阶梯杆	195
§ 41. 超静定结构	197
§ 42. 柔索的计算	199
第八章 剪切	209
§ 43. 剪切、剪切的计算	209
§ 44. 纯剪切	210
§ 45. 剪切计算实例	213
表15 焊接许用应力	219
表16 木材的许用应力	219
第九章 扭转	221
§ 46. 扭转时的应力与变形	221
§ 47. 非圆截面杆的扭转	226
§ 48. 螺旋弹簧计算	231
§ 49. 扭转应力集中	234
第十章 弯曲	237
§ 50. 平面弯曲正应力	237
§ 51. 弯曲剪应力	240
§ 52. 梁的弯曲强度计算	243
§ 53. 弯曲时的应力集中	246
§ 54. 梁的挠度曲线(弹性线)微分方程	250
§ 55. 初参数法求梁的位移	256
§ 56. 变截面梁的强度与刚度计算	260
§ 57. 考虑惯性力时的弯曲计算	266
§ 58. 薄壁截面梁的弯曲剪应力·弯曲中心	268
§ 59. 弹性基础上梁的计算	272
§ 60. 材料不符合虎克定律时梁的弯曲	276
表17 实梁与对应的虚梁转换图	280

表18 等强度梁	281
表19 变高度悬臂梁的挠度曲线方程与截面转角方程	282
表20 等截面静定梁的挠度曲线方程、最大挠度与端 点和支承截面的转角	284
第十一章 组合受力	298
§ 61. 组合弯曲与斜弯曲	298
§ 62. 拉弯组合	303
§ 63. 弯扭组合	307
表21 截面核心的形状和尺寸	312
第十二章 弹性系统的一般定理 确定位移的 一般方法	315
§ 64. 广义力与广义位移	315
§ 65. 外力功	317
§ 66. 内力功	318
§ 67. 虚位移原理在弹性系统中的应用	321
§ 68. 功的互等定理与位移互等定理	324
§ 69. 确定位移的一般公式·莫尔法	325
§ 70. 温度变化引起的位移	327
§ 71. 计算莫尔积分的图解分析法——维列沙金 (Верещагин)法	328
§ 72. 应变位能	330
§ 73. 卡氏 (Castigliano) 定理拉格朗日 (Lagrange) 定理	331
§ 74. 最小位能原理	333
表22 不同的 $\overline{M}_I$ 与 M_P 图形组合时的莫尔积分 $\int \overline{M}_I M_P d_s$ 表达式	334
表23 一些基本图形的面积与形心座标	338
第十三章 超静定系统	340
§ 75. 计算超静定系统的基本步骤	340
§ 76. 力法的正则方程	343
§ 77. 多支承连续梁·三弯矩方程	347

§ 78. 曲超杆静定系统	351
§ 79. 超静定系统上位移的确定	353
§ 80. 空间框架系统的计算	357
表24 单跨度超静定梁的支承反力、剪力、弯矩和位移	360
表25 考虑支承错位和温度变化时单跨度超静定梁 (EJ 为常数)的计算公式	374
表26 Γ 字形框架 ($\kappa=J_2h/J_1l$) 中的弯矩	377
表27 Π 字形框架 ($\kappa=J_2h/J_1l$) 中的弯矩	384
表28 闭合框架中的弯矩	390
表29 圆环在其平面内承载时的力和位移	395
第十四章 平面曲梁的计算	404
§ 81. 大曲率梁中应力的确定	404
§ 82. 强度计算	409
§ 83. 位移的确定	410
表30 不同形状截面中性层的曲率半径 r_n	412
表31 公式 $e=kR$ 中系数 k 的数值	415
表32 等截面圆弧杆在其平面内承载时自由端的位移	420
表33 等截面圆弧杆当荷载垂直于其平面时自由端的位移	422
表34 确定曲杆位移时经常遇到的定积分的数值	424
第十五章 厚壁圆筒与回转圆盘的计算	425
§ 84. 承受内压和外压的厚壁圆筒	425
§ 85. 组合圆筒的计算	430
§ 86. 厚壁圆筒中的热应力	433
§ 87. 回转圆盘的计算	438
表35 厚壁圆筒的计算公式	444
第十六章 薄壳计算	446
§ 88. 按无矩理论计算薄壳	446
§ 89. 壳体的加强环	452
表36 薄壳中应力与位移的计算公式	454
第十七章 结构按极限状态的计算	460
§ 90. 极限状态的基本概念	460
§ 91. 拉伸和压缩计算	462

§ 92. 扭转计算	463
§ 93. 弯曲计算	465
表37 某些形状截面梁的塑性抗弯截面模量	466
第十八章 压杆的稳定	468
§ 94. 稳定的和不稳定的弹性平衡	468
§ 95. 确定压杆临界荷载的欧拉公式	469
§ 96. 杆端约束条件对临界力数值的影响	472
§ 97. 应力超过材料比例极限时的失稳	476
§ 98. 借助于基本许用应力折减系数的压杆稳定计算	478
§ 99. 压杆横截面的合理形状与材料的选择	480
§ 100. 纵横弯曲	481
表38 按照公式 $R_{kp} = \pi^2 EJ / (\nu l)^2 = \eta EJ / l^2$ 确定中心压 杆临界荷载时的 ν 和 η 系数	483
表39 狭长截面梁和某些工字梁的临界荷载	523
表40 压缩时许用应力折减系数 φ	533
表41 等截面 ($k = \sqrt{N/EJ}$) 梁在某些纵横弯曲情况下 弯矩 $M(z)$ 和弹性线 $w(z)$ 方程	534
第十九章 弹性振动	542
§ 101. 机械振动的分类	542
§ 102. 一个自由度系统的自由振动	545
§ 103. 一个自由度系统在简谐激振力作用下的受迫振动	549
§ 104. 阻力与速度成正比时一个自由度系统的自由振动	551
§ 105. 阻力与速度成正比时一个自由度系统的受迫振动	552
§ 106. 旋转轴的临界转速	555
§ 107. 具有几个自由度的弹性系统的振动	556
§ 108. 杆的纵向振动与扭转振动	566
§ 109. 棱柱形杆的横向振动	570
§ 110. 振动时的能量守恒定律	574
§ 111. 确定弹性系统固有振动频率的某些近似方法	576
表42 具有一个和两个自由度振动系统的固有频率	582
表43 杆纵向振动和扭转振动时的频率方程和固有振型	588
表44 等截面杆横向振动的频率方程和固有振型	593

表45	弹性支承上等截面杆横向振动时频率方程的根	593
表46	具有集中质量 m 的等截面杆横向振动时频率方程的根	595
表47	计算杆横向振动时常见的某些积分数值	596
表48	承受纵向力的等截面杆的横向振动固有频率	597
第二十章	交变应力作用下的材料抗力	598
§ 112.	材料的疲劳现象	598
§ 113.	确定持久极限的方法·疲劳曲线	601
§ 114.	结构-工艺因素对材料持久极限的影响	605
§ 115.	交变荷载下的强度计算	610
表49	交变荷载的循环特征	618
第二十一章	冲击荷载计算	620
§ 116.	轴向荷载作用下的冲击计算	620
§ 117.	扭转冲击时的应力	624
§ 118.	弯曲冲击计算	626
表50	考虑受冲击构件质量时, 动载系数公式中的 系数 α 的数值	629
第二十二章	接触应力	631
§ 119.	接触应力和变形的基本概念与计算公式	631
表51	确定两个物体接触参数的计算公式	636
表52	系数 n_a 、 n_b 、 n_p 、 n_d 的数值	650
§ 120.	存在接触应力时的强度校核	651
表53	静荷载作用下一开始为线接触时接触面上的 许用压应力	653
补充部分	材料力学中的九种新的类比	654
附录一	常用材料的物理力学性能	660
附录二	应力集中系数与对应力集中的敏感系数	704
附录三	克雷洛夫函数 S , T , U , V	730
附录四	计算弹性基础上等截面梁的克雷洛夫函数	743
附录五	开口薄壁杆件约束扭转时内力计算公式	745

第一章 绪 论

§ 1. 材料力学学科·研究对象

材料力学——有关建筑构件与机器零件强度、刚度和稳定计算的工程方法的科学。

强度——结构及其零件或部件承受确定的荷载而不破坏的能力。

刚度——结构及其构件在变形（形状和尺寸的改变）方面抵抗外部荷载的能力。在给定荷载作用下，变形不应超过根据结构各种要求确定的数值。

稳定——结构及其构件保持确定的初始弹性平衡形式的能力。

为了使结构满足强度、刚度和稳定的要求，必须使构件具有合理的形状，并确定其相应的尺寸。

材料力学在解决上述问题时，无论以理论为基础，还是以经验资料为依据，在这门学科中都具有同样重要的意义。

在理论方面，材料力学是以理论力学和数学作为基础的；在实验方面，则建立在物理学和材料科学的基础上。

材料力学是关于机器和结构强度的最一般的科学。没有材料力学的基本知识，要建立各种类型的机器和机械、工业与民用建筑、桥梁、输电线、无线电天线、汽轮机与电力机械、飞机库、军舰、飞机、原子能联合机械、火箭和喷气技术等是不可思议的。

材料力学不能涉及全部变形体力学的问题。因为这些问题需要由杆件结构力学、弹性理论、塑性理论等材料力学相邻的学科

来进行。然而，解决强度问题起主要作用的却是材料力学。

建筑与机器中常见的各种不同类型的结构构件，可以归结为几种基本形状。具有这些基本形状的物体，即杆、板、壳和块体，就是强度、刚度和稳定计算的对象。

杆或梁 某个（长度）方向的尺寸大大超过其它两个方向（横截面）的尺寸这样的物体称为“杆”或“梁”（图1）。工程上常见的杆，其轴线有直的（图1a）和曲的（图1b）。无论直杆或曲杆都有等截面（图1a）和变截面（图1c）之分。梁和轴为直杆的例子；起重吊钩以及链条的扣环等是曲杆的例子。

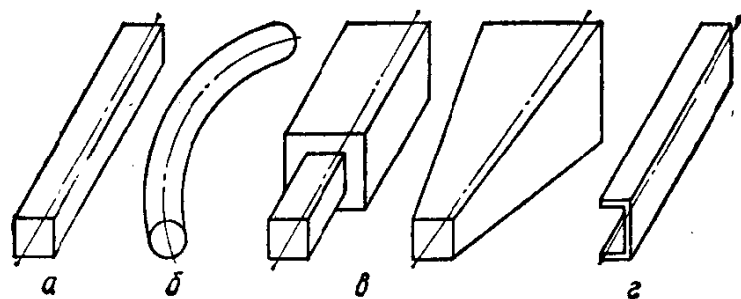


图 1

壳体 被两个相距很近的曲面限制着的物体，其在某个（厚度）方向的尺寸比其它两个方向尺寸小得多，这种物体称为“壳体”。与壳体两个表面等距离的点所组成的几何面称为壳体中面。按照中面的形状，壳体可分为圆柱壳（图2a）、锥壳（图2b）、球壳（图2c）等等。薄壁容器、锅炉、建筑物圆顶、机身、

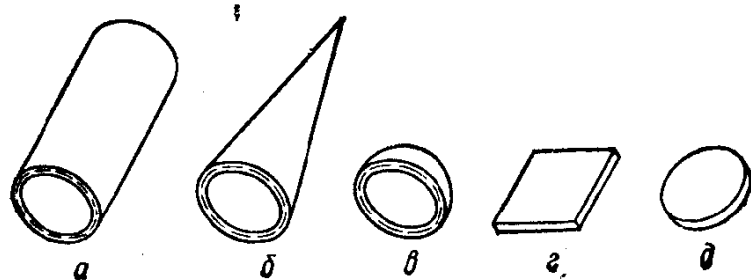


图 2

机翼及飞行器其它部分的蒙皮、船体等等都属于壳体。

板 如果壳体的中面为平面，这样的壳体便称为“板”（图2^e）。板可以是圆的、矩形的或其它形状的。象壳体一样，板有等厚度或变厚度的。容器的平封头或顶盖（图2^d）、工程建筑物中的楼板，以及汽轮机的叶轮等都属于板。

块体 三个方向上尺寸为同一量级的物体，称为“块体”。建筑物的基础、挡土墙等均属块体。

材料力学解决问题时，通常都是利用实验结果对问题作一系列简化后，再运用简单数学方法的，由此所得问题的解，可以导出适用于工程实际的计算公式。材料力学的主要研究对象是直杆。

§2. 变形类型·有关材料变形

状态的概念

实际物体都能够变形，即改变其形状和尺寸。物体的变形是由于加在其上的外力或温度变化而产生的。物体变形时，其上的点或所作的假想线或假想截面在平面或空间内，将相对于其初始位置发生位移。

承载时，在固体内各部分之间产生相互作用的内力，以抵抗外力的作用，并力图使物体从变形后的位置回复到变形前的位置。

变形分为“弹性变形”和“塑性变形”。引起变形的力除去后，变形随之消失，这种变形为弹性的；卸载后不能消失的变形为塑性变形或残余变形。在大多数情况下，对结构构件的变形数值都有一定的限制。

在材料力学中，研究以下几种基本变形形式：拉伸、压缩、剪切、扭转和弯曲。此外，还研究更复杂一些的变形，即几种基本变形形式组合的结果。

拉伸或压缩 当沿着杆的轴线方向施加一对方向相反的力时，将产生“拉伸”或“压缩”（图3）。这种情况下，截面沿着杆子轴线方向产生线位移，在拉伸时，杆伸长；压缩时，杆缩

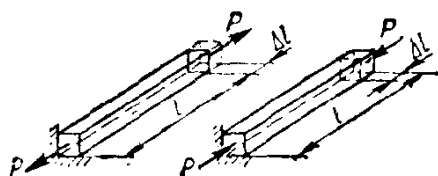


图 3

短。杆的原长 l 的改变量，用 Δl 表示，称为“绝对伸长”（拉伸时）或“绝对缩短”（压缩时）。

绝对伸长（或缩短） Δl 与原长 l 之比，称为在长度 l 上的“平均相对伸长”（或压缩）或

称为“平均线应变”，通常用符号 ε_{cp} 表示：

$$\varepsilon_{cp} = \frac{\Delta l}{l}$$

一点的“真实相对线伸长”或“线应变”定义为当 l 趋于零时，小段的相对变形，即

$$\varepsilon = \lim_{l \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{l}$$

很多结构构件，例如桁架杆、柱、机器活塞连杆、紧固螺钉等等，都是在拉伸或压缩状态下工作的。

剪切或剪断 在平行于杆横截面的两个平面内相对地作用着两个力，当这两个力相互错动并保持它们之间的距离不变时，将产生剪切变形或剪断（图4）。错动的数值 Δs 称为**绝对剪切量**。绝对剪切量与错动平面之间距离的比值（ γ 的正切）称为“**相对剪切量**”。由于 γ 很小，可以取

$$\operatorname{tg} \gamma \approx \gamma = \frac{\Delta s}{a}$$

相对剪切量即“剪应变”，它表示单元体的歪斜程度。

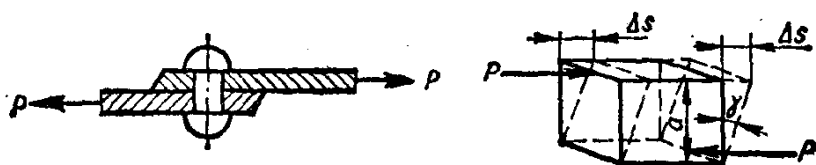


图 4

连接构件的铆钉、螺钉等均处于剪切状态下工作，作用在其上的力总是力图使其相邻两部分相互错动。

扭转 当作用在杆上的力组成对杆轴的力偶时，杆将产生扭