

材料力学简明教程

上册

金 德 等 編



机械工业出版社

材料力学簡明教程

上 冊

金 憲 熊樹人 徐世銓 梁治明
丘 佩 陸耀洪 胡沛泉 崔振鏞
合 編



机械工业出版社

1958

出版者的話

本書系根据交通大学、南京工学院、西北工业大学三校教材綜合、修改而成的，所以內容較為全面、簡明。書中每章之后附有复习題与习題，上册之末附有供学生参考的附录。

本書分上下两冊出書。上册十五章，講述了材料力学的基本概念、拉伸和压缩、剪切与扭轉、直梁的平面弯曲、弯曲时强度的总校核、梁的变形等問題。

本書可作为大学教材，也可供自学之用。

本書編写分工如下：緒論及1—6章由西北工业大学胡沛泉、崔振源編写（参考了南京航院周建功所写的講义）；7—11章由交通大学金懋、熊树人、徐世鈺編写；12—15章由南京工学院梁治明、丘侃、陆繼洪編写；全書由西北工业大学負責整理。

NO.2000

1958年9月第一版 1958年9月第一版第一次印刷

850×1168 $\frac{1}{32}$ 字数279千字 印張11 $\frac{15}{16}$ 插頁2 0,091—7,500冊

机械工业出版社（北京东交民巷27号）出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店发行

北京市書刊出版业營業許可証出字第008号 定价（10）1.70元

上册目次

自序	8
緒論	11
第一章 基本概念	18
§ 1.1 基本假设	18
§ 1.2 材料力学研究的物体: 杆、板、壳	19
§ 1.3 外力的分类	20
§ 1.4 位移与变形的概念	21
§ 1.5 内力。截面法。应力	22
§ 1.6 研究变形固体中的现象的统一步骤	25
§ 1.7 杆件变形的基本形式	25
复习题	26
第二章 拉伸及压缩	27
§ 2.1 横截面上的应力	27
§ 2.2 许用应力	29
§ 2.3 拉伸及压缩时的变形。虎克定律	30
§ 2.4 泊松比	34
§ 2.5 轴向力图。位移图	36
§ 2.6 考虑本身重量时截面之选择 (在拉伸及压缩时)	40
§ 2.7 考虑本身重量时变形的计算	44
复习题	46
习题	46
第三章 各种材料拉伸及压缩的实验方面之研究	
许用应力的选择	53
§ 3.1 拉伸图、材料的机械性质	53
§ 3.2 应力-变形图	57
§ 3.3 塑性及脆性材料的应力-变形图	59
§ 3.4 压缩时塑性与脆性材料破坏的情况 压缩应力-变形图	60
§ 3.5 应力集中的概念	63
§ 3.6 塑性及脆性材料机械性质特点的比较	64
§ 3.7 安全系数的选择。许用应力的确定	65

§ 3.6 弹性后效的概念	67
复习题	68
第四章 拉伸与压缩时的超静定问题	70
§ 4.1 超静定杆系	70
§ 4.2 制造不准确对于超静定结构的内力之影响	74
§ 4.3 温度改变对超静定结构的影响	78
§ 4.4 例题	80
复习题	83
习题	83
第五章 复杂受力状态 应力与变形	91
§ 5.1 受轴向拉伸和压缩(单向受力状态)时斜截面上的应力	91
§ 5.2 应力状态的概念	93
§ 5.3 二向和三向受力状态的例子 圆筒锅炉的计算	94
§ 5.4 在二向受力状态里的应力	97
§ 5.5 应力之图解法(莫尔圆)	99
§ 5.6 用应力圆求主应力	103
§ 5.7 三向受力状态的最大应力	104
§ 5.8 三向受力状态中变形的计算	106
§ 5.9 在复杂受力状态下的弹性变形能	108
复习题	110
习题	110
第六章 强度理论	114
§ 6.1 强度理论的概念	114
§ 6.2 按不同理论的强度检查	115
§ 6.3 达维特可夫——弗里特曼联合强度理论	121
复习题	125
习题	125
第七章 剪切	127
§ 7.1 概述	127
§ 7.2 纯剪切的观念及许用应力的研究	127
§ 7.3 薄壁圆管扭转时纯剪现象之研究	128
§ 7.4 各向同性体的三个弹性常数间的关系	130
§ 7.5 纯剪时体积的不变性	132
§ 7.6 剪切变形能	133

§ 7.7 零件承受剪切时的简化计算	135
复习题	142
习题	142
第八章 平面图形的几何性质	145
§ 8.1 概述	145
§ 8.2 静矩、惯性矩、惯性积及极惯性矩等定义	145
§ 8.3 简单平面图形的惯性矩的计算	147
§ 8.4 惯性矩及惯性积的平行移轴定理	149
§ 8.5 组合图形的惯性矩及惯性积	150
§ 8.6 坐标轴转动时的惯性矩与惯性积	153
§ 8.7 主惯性轴与主惯性矩	154
复习题	161
习题	162
第九章 轴的扭转	166
§ 9.1 概述	166
§ 9.2 圆轴扭转时的变形与应力	166
§ 9.3 圆轴扭转时的应力状态	170
§ 9.4 扭转时的变形能	171
§ 9.5 扭矩图	171
§ 9.6 剪应力图及扭转角图	174
§ 9.7 扭转时的强度与刚度计算	176
§ 9.8 圆轴扭转的超静定问题	177
§ 9.9 扭转时的应力集中	179
§ 9.10 非圆截面杆的扭转	181
§ 9.11 密圈螺旋弹簧的计算	187
复习题	191
习题	192
第十章 梁的外力和截面上的内力 剪力和弯矩	195
§ 10.1 直梁及平面弯曲的定义	195
§ 10.2 梁支座的形式及其反力	195
§ 10.3 梁的种类	197
§ 10.4 截面上的内力 剪力和弯矩 符号规则	198
§ 10.5 弯矩剪力及载荷集度之间的微分关系	201
§ 10.6 弯矩图与剪力图	203

§ 10.7 梁承受复杂载荷情形时的 Q 图与 M 图的作法	207
§ 10.8 Q 图和 M 图作法正确性的检验	213
§ 10.9 力作用的迭加原理	214
§ 10.10 弯矩图与剪力图的图解法	216
复习题	218
习题	219
第十一章 梁平面弯曲时的正应力	223
§ 11.1 概述	223
§ 11.2 纯弯曲时的实验研究	224
§ 11.3 纯弯曲时的正应力	225
§ 11.4 纯弯曲时的变形能	230
§ 11.5 纯弯曲结果的推广	231
§ 11.6 截面选择和梁的合理截面	232
复习题	236
习题	237
第十二章 梁内剪应力和主应力的计算	240
• § 12.1 矩形截面梁内的剪应力	240
§ 12.2 工字形截面的剪应力	245
§ 12.3 圆形截面的剪应力	248
§ 12.4 弯曲时的主应力	250
§ 12.5 弯曲中心的概念	251
复习题	254
习题	254
第十三章 求梁变形的解析法	257
§ 13.1 概述	257
§ 13.2 梁的挠度及截面旋转角	257
§ 13.3 挠曲轴的微分方程	259
§ 13.4 挠曲轴近似微分方程的积分	261
§ 13.5 挠曲轴微分方程的分段积分	264
§ 13.6 初参数法 梁变形的普遍方程	268
§ 13.7 具有中间铰时梁的变形的求法	278
§ 13.8 求梁变形的迭加法	278
复习题	279
习题	280

第十四章 求梁变形的虚梁法和图解法	290
§ 14.1 虚梁法	291
§ 14.2 图解法	298
复习题	305
习题	305
第十五章 变截面梁	307
§ 15.1 等强度梁的截面设计	307
§ 15.2 等强度梁的实例	311
§ 15.3 弯曲时的应力集中	316
§ 15.4 变截面梁变形的求法	319
复习题	328
习题	324
附录 I 二向受力状态下任意截面上的应力	326
附录 II 三向受力状态下任意斜截面上的应力	330
附录 III 薄膜比拟法的概念	336
附录 IV 求梁变形的迭加法的证明	338
附录 V 关于虚梁法的证明	341
附录 VI 习题通用的数据	343
附录 VII 按照OCT 100014-39~10017-39之型钢规范	344
表1 等肢角钢	344
表2 不等肢角钢	348
表3 工字钢	351
表4 槽钢	354

自序

本書自1956年2月开始編写，預計到1958年8月完成，历时共二年半。在这一段不太长的时期里，已由华东航空学院、西安航空学院及西北工业大学印刷厂代印一万八千余部供二十余兄弟学校作为教材使用。今年再由交通大学金懋、熊树人、徐世鈺，南京工学院梁治明、丘侃、陆耀洪，西北工业大学胡沛泉、徐欽鳴、崔振源，根据使用院校所提意見，进行改編后由机械工业出版社正式出版。

編写本書的一个重要有利条件就是在編写前已有了使用苏联教材几年的經驗。惟有通过使用，才能領会苏联教材的优点，才能在編写結合我国实际的教材时吸收苏联教材的精华。本書先后次序的安排也在大体上按照別辽耶夫所著“材料力学”。

本書的內容基本上符合1954年部頒的165学时机械类型的教学大綱。为了学习的便利，在这次正式出版时，增加了复习題、习題及附录。习題与教材一同編写，可能有助于講課与习題課的配合。附录可供学生在讀完正文后进一步钻研之用。

本書的編写过程在一定程度上体现了集体主义精神。三个学校的教师的集体力量保证了每年能把編写工作及时完成、教材及时印出以满足开学需要。为了提高質量，在鉛印前都先油印傳閱开会討論然后定稿。在两年半之間先后在上海、西安开了五次教材討論会。在这次正式出版以前，又进一步地发挥了集体力量，分函使用学校征求意见与資料。我們收到了重庆大学、北京鋼鐵工业学院、山东工学院、合肥矿业学院、南京航空学院、成都工学院、上海造船学院、及华东紡織工学院所提意見与資料，这对于今年的改編工作是有很大帮助的，特此致謝。

本書編写的分工如下：（1）交通大学担任7~11章及18~21章；（2）南京工学院担任12~17章与結束語；（3）西北

工业大学担任緒論, 1~6章与22~25章(在緒論, 2章, 4章, 22~23章內曾参考了南京航空学院周建功所写的材料)。为了使前后內容連貫、体裁一致, 由西北工业大学負責最后修訂。本書所有的图均由西北工业大学工程力学班学生負責繪制。

經過双反运动后, 編者感覺本書的突出缺点为与我国生产实际联系的很不够。在今年出版前, 这个缺点来不及加以糾正, 只能今后加倍努力在下一版中改变面貌。

希望采用为教材的学校, 能和过去一样, 多多地向我們提出批評与改进意見。这对于今后教材質量的提高将起巨大的作用。

交通大学材料力学教研組
南京工学院力学教研組
西北工业大学材料力学教研組

1958年5月

緒 論

一、材料力学的任务和性質

在設計机器、結構物时，为了使每一杆件不至于毀坏或过度地变形，工程师就必须，在最經濟的条件下，为每一杆件選擇适当的材料和截面尺寸。材料力学这门科学就可以提供出正确解决这类問題的基础。

这门科学研究，在力^①的作用下，各种材料及杆件所表现的力学性能，并指出为每一杆件選擇适当的材料和截面尺寸的方法，以便同时满足对結構物或机器的安全性与最大經濟性两个要求。

有时材料力学还需要解决在形式上不同的另一些問題——校核已設計好的杆件，或决定材料与尺寸为已知的杆件的許用載荷。

足够安全与最大經濟是工程設計中所必須滿足的两个基本要求，但是它們經常是互相矛盾的；前者一般要求多用材料，后者則要求減少材料的消耗。这一矛盾是促使材料力学按照科学的方法不断发展的重要原因。

由于生产的发展，科学技术水平在不断地提高，新的实际問題（例如：高速飞行对于飞机强度的要求，高效率动力及原子动力对高温材料抗力的要求，大跨度結構物等）都要求寻找新的材料、研究其性能，改良并創造新的計算及設計方法。这样，材料力学正是在技术的普遍进步中不断地取得发展。

材料力学所研究的对象是实际的固体，因而必須考虑固体的

① 不均匀的温度变形虽无其他外力作用亦可使材料破坏，例如玻璃因局部受热而炸裂。

物理性質。实际的固体受力作用后都会变形，而固体的变形和所受的力有密切的关系。对于比較简单的情况，力和变形之間的关系可以通过实验来确定。根据这些关系及理論力学与数学知識，可以推导出，在較复杂情况下，力和变形之間的关系。推导出来的結果又必須用实验来验证，才能确定它們的可靠性。如是，材料力学就包括着两部分：其一是理論部分，以力学数学为基础，另一为实验部分，二者紧密地結合着。实验必須在理論的指导下进行，而理論則是建立在实验的基础上又必須为实验所証实的。

二、材料力学的发展簡史

技术科学的发展，主要决定于社会生产力的发展，材料力学的发展过程当然也是如此。最初，人們在社会的生产实践过程中，获得了选用材料、形状、尺寸来制作工具的經驗；这些經驗的累积，逐漸发展成为研究材料和杆件承载能力等的一門科学。生产技术的发展，特别是机械制造业和建筑工程的发展，常常向材料力学提出許多新的問題和要求，促使材料力学不断地向前发展；反过来材料力学理論的发展，又推动生产技术进一步发展。

在远古时代，人們在与大自然作斗争的过程中，就知道了挖掘拱形山洞，应用独木桥等建筑物。到了奴隶社会和封建社会，随着生产力的发展，人們已經能建造一些規模較为宏大的建筑物（例如宮殿、堡壘）和运输工具（例如船舶、車輛）。然而在这个阶段里，人們在这方面的知識还只是停留在經驗的水平上；从純粹的經驗知識过渡到材料力学这門科学的建立，还需要經過相当长的一段時間。

材料力学，作为一門科学來說，一般都認為是在1638年开始的。在1638年，意大利科学家伽利略（1564~1642）发表了“两种新科学”这篇論文。伽利略生在封建社会解体、商业資本及国际航运发展和采矿冶金工业萌芽的时代。这时代的新的經濟

情况提出了一系列新的技术問題；例如海外商业来往的活跃提出了增大船只吨位的問題（因而也就必須改变船只的构造），同时也提出了改造和建設新的运河、水閘等等問題。这些問題是不能用單純抄襲旧有船只及建筑物結構来解决的，因而就迫切需要研究如何用計算方法来估計結構物的承载能力。伽利略根据理論力学的一些定律（将材料看为绝对剛体）做了一系列的實驗，发现拉杆和梁的尺寸与其承载能力間的关系，发表了“两种新科学”。他的研究結果对于新型船只的設計有很大的貢獻。虽然这些理論由于未考虑到材料的彈性和杆件变形而有錯誤，然而从伽利略开始，設計不再是单凭經驗，而是在科学理論的指导下进行了。

对于奠定材料力学这門科学的基础有着偉大的貢獻的尚有：英国的科学家虎克（1635~1703）根据彈簧的實驗結果提出了杆件应力与变形成正比例关系的物理定律——著名的虎克定律；荷兰的科学家耶考夫·伯努利（1654~1705）根据杆件受力时变形的几何关系的研究，发表了截面的平面假設；法国科学家庫倫（1736~1806）提供了和近代通用理論相接近的弯曲理論。

材料力学的繼續发展与建筑及机械制造等生产技术的发展平行地前进，而且与数学家、物理学家及工程师的貢獻紧密地联系着。在其发展过程中，俄罗斯和苏联的科学家曾經作出許多重要的貢獻。

十八世紀，俄国彼德堡科学院院士廖那达·欧拉（1707~1783）在材料力学上作了偉大的貢獻，他作了压杆临界载荷数值的理論研究，解决了有关压杆的彈性穩定問題。

十九世紀，俄国杰出的桥梁工程师儒拉夫斯基（Д.И. Журавский, 1821~1891）由于在設計和建設彼得堡与莫斯科間的尼可萊鐵路时許多桥梁工程上广泛的使用了木梁，因而遭遇着剪切破坏問題；他作了有关梁弯曲时的剪力和剪应力的許多理論研究，提出了矩形截面梁內剪应力的計算方法——著名的儒拉夫斯基公式。

二十世紀初，俄国科学家在材料力学方面起着领导作用。

布勃諾夫教授（И.Г.Бубнов, 1872~1919）是有关船隻强度科学的奠基人。

雅兴斯基教授（Ф.С.Ясинский, 1856~1899），在研究了基夫达河上铁路桥梁由于桁架压弦杆的联结不牢固，在很小的载荷下所发生的禍害后，創造了設計桥梁受压弦杆的方法。以后，他又发表了关于压杆稳定方面的論文，提出了一个著名的經驗公式——雅兴斯基公式，奠定了压杆近代計算法的基础。

克瑞勞夫院士（А.Н.Крылов, 1863~1945）是非常杰出的应用数学家和力学家，他所完成的振动理論上的卓越的工作，在国际上得到了广泛的应用。

鉄木辛可教授（С.П.Тимошенко, 1878~）解决了关于工字形梁弯曲的稳定問題，并提出許多有关强度計算的方法。

在偉大的十月革命以后，苏联进行了空前未有的社会主义工业化的建設事业，这就使得材料力学和与之有关的科学部門（如彈性理論，塑性理論，結構力学等等）得到飞速的发展。苏联的科学家在这方面的偉大成就已經使得苏联在这門科学领域中居于領先的地位；在这里我們仅着重地指出一些具有特殊意义的成就。

由于近代机器工业飞速发展，以致有关材料对动荷作用——冲击和重复载荷的抗力問題——之研究非常迫切需要。

达維靖可夫教授（Н.Н.Давиденков, 1879~）和他的学派在冲击現象上的研究有着卓越的成就；他建立了解釋材料破坏原因的新理論——联合强度理論，以辯証唯物主义的观点解决了几个世紀以来一直沒有得到解决的、关于材料破坏原因的問題。同时他确定了在动荷作用以及靜荷作用下，材料强度的一般判断准則。

奧金格（И.А.Одинг, 1896~）提出了关于重复载荷的最新理論。

由于近代科学技术的发展，特别是航空方面的发展，工程結

构（飞机、輪船、車廂等）广泛采用了薄壳和薄壁杆件。新的結構形式的研究和应用，就导致計算薄壳和薄壁杆件的新理論的建立。

在这方面有偉大成就的首推符拉索夫（В.З.Власов, 1906~）。他創立了新的关于薄壁杆件和薄壳的計算理論。他的杰出著作，曾荣获斯大林奖金的“薄壁彈性杆件”为近代材料力学开辟了一个新領域。

美、英、德、法等国近代学者也对材料力学作出不少貢獻^①。

三、祖国人民的成就

勤勞智慧的祖国劳动人民，在很早的年代，已經在工程建筑及机械制造等各方面，对于掌握材料的特性以及充分發揮材料的性能，显示出偉大成就。

在房屋建筑方面，我們祖先很早就已会利用天然材料——木料、石、土等来建筑一种坚固耐用的“骨架木結構”的房屋；这种結構的基本原則在公元前一千四五百年就已形成了，迄今仍被沿用着。到宋代，我国已有一本較完整的建筑规范——营造法式；其中有許多規定，例如对于木梁的高与寬最經濟的比值的規定，都是符合材料力学理論原則的。此外，我国房屋建筑中的木接榫是以精巧和坚固聞名于世界的。

我們祖先很早就发明了砌拱桥的方法，大大地發揮了石料的抗压性能。現在尚完整存在的河北赵州石拱桥是隋代杰出的工程师李春（581~618）所建造的；桥跨达37公尺，拱半徑25公尺，桥拱上有附拱使洪水期排水得到很大的便利^②，这种形式的拱桥在欧洲要晚了許多年才开始出現。在很早的年代，我們祖先已經用鉄索或竹索做悬桥；現存的西康泸定鉄索桥，橫跨在大渡

① 杜庆华等編著，材料力学上册，1957，高等教育出版社，3。

② 同上，第4頁上有赵州桥图。

河上，就是世界第一座跨长达 100 公尺的铁索桥，它是在清康熙 45 年（公元 1696 年）建造的。后来因铁索既贵且重，因此又有竹索桥的发明，例如在四川灌县跨过岷江上的桥就是一座长达 320 公尺的竹索桥。

在运输工具和机器制造方面，我们祖先在很早年代已会制造车辆，在周礼的考工记上就有关于制造车子的程序、分工的记载。大约在三千五百年前的殷代，所造的车辆已经采用了有辐条的车轮以代圆板式的车轮了。到周代，已经知道利用动物油作车轴与轴承间的润滑剂。到能生产铁以后不久的汉代就知道用铁制造轴承，既可减少摩擦力又可延长车轴的寿命。

在我国古代，船舶的设计和建造已有相当的发展。隋代（公元六世纪）杨素在永安所造的大战船已经能容纳战士八百人。宋代，我们祖先所造的船，就已经是具有四桅九帆的大船了。到明代，我们已能建造航行远洋的大船。

从以上极不完整的史料看来，我们的祖先，不仅在掌握材料的性能以及工程技术方面，曾显示出与材料力学有关的创造能力，而且在其他科学水平上也是久在欧洲之上的。但十五世纪欧洲文艺复兴的年代却正是我国封建君主加紧束缚人民思想的时期（例如用八股文科举取士就是十五世纪开始的）；一百多年以前，帝国主义国家开始侵略我国，使我国淪入半封建半殖民地的境地。这样，劳动人民的创造力长期地受到压抑而得不到应有的发展，于是我国在自然科学以及力学方面也就相形落后了。在中国人民得到解放之前，由于工业基础的薄弱和国民党封建买办阶级的长期统治，材料力学的发展受到了很大的阻碍，当然不可能也没有得到适当的发展。但是在今天，社会主义建设已迅速地展开；材料力学的科学研究也正在吸收苏联的先进经验而逐步地发展着；而且在许多方面，特别是在节约使用材料方面，已经获得很大的成就。例如在 1952 年荆江分洪工程建筑，由于采用苏联的先进铆接与焊接计算方法而使闸门造价大大降低；又如在钢筋混