

普通高等教育“十五”国家级规划教材

材料力学(I)

第四版

孙训方 方孝淑 关来泰 编

孙训方 胡增强 修订



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

材料力学 (I)

第四版

孙训方 方孝淑 关来泰 编

孙训方 胡增强 修订

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料力学(I)/孙训方 方孝淑 关来泰编. 一四版.
北京:高等教育出版社,2002.8
普通高等教育“十五”国家级规划教材
ISBN 7-04-011072-5

I. 材... II. ①孙...②方...③关... III. 材料
力学-高等学校-教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 044353 号

材料力学(I)第四版

孙训方 方孝淑 关来泰 编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787×960 16
印 张 25.25
字 数 460 000

版 次 1982 年 1 月第 1 版
2002 年 8 月第 4 版
印 次 2002 年 8 月第 1 次印刷
定 价 28.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究



第一版序言

本书是根据一九七七年十一月教育部委托召开的高等学校工科基础课力学教材会议上讨论的土建类专业多学时类型的《材料力学》教材编写大纲编写的。同时,在内容上也适当地照顾到其他专业的需要,因此,只需将引例和例题略加增删或改动,并对个别专题的内容加以补充,本书也可用作其他专业多学时类型《材料力学》课程的试用教材。

在本书的基本部分中,较多地引用了一九六四——一九六五年孙训方、方孝淑、陆耀洪编写的《材料力学》一书的有关内容,但按上述编写大纲的要求和一些兄弟院校材料力学教师的意见,作了必要的增删和修改。例如删去了动荷载一章,而将其主要内容作为例题安排在第二、三、五等章中,这样既可使读者从基本变形形式开始就接触到动荷载问题,又能及时将基本变形形式中的能量概念用于计算,以加深对能量方法的理解。此外,在对问题的分析方面还作了必要的充实,并增加了较多的例题。在各章后附上了习题,习题答案在附录中给出。这样的安排都是为使本书更便于自学。

本书除了对基本变形形式下的内力分析、应力计算公式的推导及其适用的条件性,以及位移计算中的边界条件等特别给以重视外,还对稳定性的概念、临界力公式的推导、能量原理的基本概念和方法等都予以加强。对于单元体和应力状态、变形能、叠加原理等概念和方法则分散在有关各章中逐步引出概念,并通过例题、习题加以应用,以收到反复巩固的功效。编者希望通过这样的处理,使材料力学中的主要内容能使读者切实学到手。断裂力学作为常规强度计算的补充,近年来有了很大的发展。本书用专章着重介绍了线弹性断裂力学的一些基本原理和简单的应用,这些都是断裂力学的重要基础。至于对线弹性断裂力学的进一步研究以及弹塑性断裂力学的内容,就只能由专门的课程来介绍了。

本书对于一些次要内容的处理办法是:在属于次要内容的章节前加上*号或将其安排在例题中,这样做可便于教师的取舍。由于材料力学内容较为丰富,专业要求又不尽相同,建议教师在使用本书时,根据专业的特点选用有关的章节进行教学。对于有些专业,限于学时的安排,也可以把主要精力放在基本部分上,而将专题部分作为选修的内容。

本书的字符和下标尽量保持与我国现行的有关手册和规范中所采用者一致。至于各种量的单位则主要以国际制单位为准,在少数插图中由于原始资料不便改动,仍保留了原有的公制单位。本书还附有一些主要常用量的公制单位

与国际制单位的换算表,以便查用。

在本书编写过程中,西南交通大学、大连工学院和南京工学院三校的领导同志给予了大力支持。担任本教材主审的武汉水利电力学院粟一凡同志以及参加审稿会的武汉水利电力学院、成都科学技术大学、哈尔滨工业大学、华东水利学院、西安冶金建筑学院、江西工学院、重庆建筑工程学院、天津大学、同济大学、北京工业大学、太原工学院、清华大学、北京建筑工程学院和西南交通大学、大连工学院、南京工学院等院校的代表对本书的初稿提供了宝贵的意见。西南交通大学材料力学教研室奚绍中同志等对本书初稿特别是其中的例题及习题进行了校阅和修改,并提出了不少建设性的建议。三院校材料力学教研室的同志对本书的插图和例题、习题解答等方面都做了大量工作。这些对本书的定稿都起了很大的作用,这里一并致谢。

限于编者的水平,本书一定存在不少缺点和不妥之处,希望广大教师和读者在使用本书后给我们提出宝贵的意见,以便今后改进。

编 者

一九七九年二月

第二版序言

这本教材问世以来,经很多学校采用为教科书,出版社曾要求此书的编者,根据当前的教育改革形势,对该书进行一次全面的修订。但修订本要在一两年后才能付印,而原书的纸型已不能再用。为了满足各校对此书的需要,出版社只好将原书重新排版印刷。

根据近年来使用这本教材的师生们反映,原书第十四章,线弹性断裂力学基础,不可能在现行教学计划所规定的学时数内讲授,而作为选修课程的断裂力学基础,近年来已有很多教本可供选用。因此,利用这次重新排版的机会,将原书第十四章及与之有关的附录6“常用应力强度因子表”,一并删去。同时,将低应力脆断·断裂韧度作为材料的力学性能,以§13-10的形式写进第十三章中。此外,还对原书特别是下册中的部分内容作了一些更动;对原书中排版的不当处也尽量作了更正。

希望采用这本教材的广大教师和读者在使用此重排本后能继续给我们提出宝贵意见,在本书修订时加以改进。

编 者

一九八六年七月

第三版序言

这套教材的第一版于1979年4月出版,第二版于1987年4月出版。在第二版中主要删去了断裂力学基础一章,其余仅作了少量的修改和勘误。在本书十多年的使用过程中,国家教委制订了“材料力学课程教学基本要求”,国家颁布了新版的“钢结构设计规范”、“木结构设计规范”等。因此,本书的一些内容已不太适应目前的教学需要。在广泛征求工科院校材料力学教师意见的基础上,编者于1991年6月开始对第二版进行修订。为了维持原书的特色,并避免相邻两版间的突变,第三版主要作了如下工作:

1. 弯曲问题中有些属于进一步研究的内容,集中起来另立一章。这样便于教师根据教学要求选用,可以完全不讲,也可以选讲其中的部分节、段。为此,该章中各节均加上*号。

2. 剪切与连接件的计算独立成章,并安排在拉压、扭转、弯曲变形各章之后,以便讲授受扭和受弯构件连接部分的计算。

3. 在强度理论一章中,编入了我国学者首创的双剪应力强度理论。由于该理论目前正在进一步发展,并尚未纳入有关规范,因而,本书主要介绍该理论的基本原理及依据,并给出相应的强度判据。对其适用范围则未详加讨论。

4. 压杆稳定分成两章。前一章属于基本要求的内容,原书中的压杆稳定系数表及有关曲线,以新版的钢结构和木结构设计规范中的稳定系数表和计算公式代替。当然,在引用有关设计规范时,以有代表性的材料(如Q235钢^①)为限,主要给初学者一个概念。后一章是压杆稳定问题的进一步研究,以及其他弹性稳定问题的简介。这些内容对于理解弹性失稳的物理实质及拓宽知识面是很有好处的,供教师和学生选用。因而,该章的各节均加上*号。

5. 在能量方法一章中,把重点放在应变能概念和卡氏定理及其应用上,而把虚功原理及单位力法放在后面,并加上*号。这主要是考虑与后续的结构力学课程相衔接。对于无结构力学课程的专业,可仍以虚功原理和单位力法为主。

6. 有关动荷载的内容从基本变形的各章中集中起来,并与交变应力合并编为一章,主要是有利于教学安排。对于疲劳破坏与疲劳强度的内容作了较大的改动,并以新版钢结构设计规范中的构件疲劳折减系数表,代替了原来的疲劳折减系数曲线和公式,以加强与钢结构中疲劳计算方法间的联系。

^① Q235钢是国家标准GB 700—1988的钢牌号,相当于旧标准钢牌号的A3钢。

7. 实验应力分析与理论分析计算相辅相成,在材料力学课程中均安排了一定的实验课。为了使学生对实验应力分析有较系统的认识,仍保留了实验应力分析基础一章,且对电阻应变计法的原理及应用这一节作了较大的改动,以供学生在实验课中参考,并对全章加上*号。

8. 在材料力学性能的进一步研究一章的低应力脆断·断裂韧度一节中,简单介绍了线弹性断裂力学的一些基本概念,以充实该节的内容。

除了以上几方面的更动外,在第三版中,各章还编写了思考题,适当增加了一些例题和习题。这是为帮助学生理解基本概念和因材施教创造条件。本书第三版采用高等教育出版社根据国家标准的规定和惯用情况整理的名词符号表。

参加第三版修订工作的有孙训方(西南交通大学)、胡增强(东南大学)、金心全(西南交通大学),并由孙训方主持修订。哈尔滨建筑工程学院的干光瑜教授对书稿进行了审阅,并提出了很多宝贵的意见,对提高第三版的质量作出了贡献,特此致谢。希望采用本教材的广大教师和读者,对使用过程中发现的问题,提出宝贵意见和建议,以利于今后再次修订,使之更臻完善。

编 者

一九九三年八月

第四版序言

本教材的第一版于1979年4月出版,第二版于1987年4月出版,第三版于1994年9月出版。第三版教材于1996年获国家教育委员会第三届全国普通高等学校优秀教材一等奖,并被台湾和香港地区的大学选用,由台湾科技图书股份有限公司出版繁体字版。随着科学技术的发展和教育的深入,为更好地适应当前的教学要求,编者在征集高校材料力学教师意见的基础上,于2000年7月开始对第三版进行修订。第四版在保留原版概念深入浅出、内容丰富的特色,以及相邻两版间的连续性的基础上,将原书的上、下册修订为相对独立的《材料力学(I)》和《材料力学(II)》。《材料力学(I)》包含了材料力学的基本内容,以适应50~60学时材料力学课程的教学需要;《材料力学(II)》包含了材料力学较为深入的内容,补充较多学时材料力学课程的教学要求的内容,以及为有潜力的学生留有深入学习的余地。第四版主要作了如下工作:

1. 拉压、扭转和弯曲的超静定问题集中成独立的一章,以使对超静定问题的解法有统一的认识。

2. 应力状态和强度理论合并成一章,既使篇幅较为紧凑,也明确了讨论问题的目的性以及两者的内在联系。

3. 组合变形与连接部分的计算合并成一章,除精简篇幅外,使这一章成为在基本变形后,求解工程实际问题的内容。

4. 考虑材料塑性的极限分析集中成章,除极限扭矩和极限弯矩外,增加了拉压杆系极限荷载的内容,并放入《材料力学(II)》中,以使对材料的塑性和考虑材料塑性的极限分析有较为全面、完整的认识,且便于教学安排。

5. 应变分析和电阻应变计法基础合并成一章,删去了原来实验应力分析基础中的光弹性法和全息光弹性法的内容,以适应当前的教学实践。

第四版对教材的文字叙述、例题、思考题和习题设置进行了适当精简,着重课程的教学基本要求,有利于培养学生的能力,提高教材的适用面。第四版中的名词术语、量和单位的名称、符号及书写规则等,根据国家标准作了全面修订。

第四版修订的指导思想和修订大纲,由孙训方教授(西南交通大学)确定,具体的修订工作由胡增强教授(东南大学)执笔完成。北京航空航天大学单辉祖教授对书稿进行了审阅,并提出了很多宝贵意见,为提高第四版教材的质量作出了贡献,特此致谢。

93/1

希望采用本教材的广大师生和读者,对使用中发现问题,提出宝贵意见和建议,以利于今后再次修订,使之更臻完善。

修 订 者

二〇〇一年十月

内 容 提 要

本书为“十五”国家级规划教材。本书第四版既保留了原版概念确切、说理透彻、内容丰富的特点和相邻两版间的连续性,又根据当前教育改革的要求,适应不同专业的教学实际,将原版的上、下册修订为相对独立的《材料力学(I)》和《材料力学(II)》。《材料力学(I)》包含了材料力学的基本内容,可供 50~60 学时的材料力学课程选用;《材料力学(II)》包含了材料力学较为深入的内容,补充较多学时材料力学课程教学需要的内容,以及为有潜力的学生留有深入学习的余地。

本书为《材料力学(I)》,共九章,内容包括:绪论及基本概念,轴向拉伸和压缩,扭转,弯曲应力,梁弯曲时的位移,简单的超静定问题,应力状态和强度理论,组合变形及连接部分的计算,压杆稳定。

本书适用于高等学校土建、水利类各专业,也可供其他专业及有关工程技术人员参考。

作者简介



孙训方(1923—2000),西南交通大学教授。1945年毕业于西南联合大学土木系,获工程学士学位,随后在清华大学任助教。1948年赴美国哈佛大学工程研究生院学习,获科学硕士学位。1949年9月新中国成立前夕毅然回国,一直在西南交通大学(原唐山铁道学院)任教,长期担任数理力学系副系主任及材料力学教研室主任。1981年被国务院批准为首批博士生导师,1988年成为博士后指导专家,1989年被评为铁道部优秀教师,1991年被评为四川省优秀博士生导师,1993年起享受国务院政府特殊津贴。

历任中国力学学会第一、二、三届副理事长,第四、五届名誉理事,全国高等学校工科学课程指导委员会副主任委员,中国反应堆结构力学专业委员会主任,四川省力学学会副理事长,四川机械工程学会常务理事,四川省高校高级职称评委会委员及力学评审组组长,四川省科技顾问团成员等。

毕生从事于力学教学与科研工作,致力于力学在工程实际中的应用。尤为我国断裂力学的开创、发展和工程应用作出了不朽的贡献。在损伤力学和材料本构关系领域中的研究成果为世人瞩目。1957年起先后出版主编材料力学教材4套、译著4本,发表学术论文近100篇。曾获全国科学大会奖、国家教委科技进步二等奖和四川省优秀教学成果一等奖。1996年《材料力学》(第三版)获国家教育委员会第三届全国普通高等学校优秀教材一等奖。二十余年来为国家培养了硕士生、博士生和博士后数十位,其中大多成为所在单位的学术带头人或业务骨干。

材料力学(I)目录

第一章 绪论及基本概念	(1)
§ 1-1 材料力学的任务	(1)
§ 1-2 材料力学与生产实践的关系	(2)
§ 1-3 可变形固体的性质及其基本假设	(3)
§ 1-4 材料力学主要研究对象(杆件)的几何特征	(5)
§ 1-5 杆件变形的基本形式	(5)
第二章 轴向拉伸和压缩	(7)
§ 2-1 轴向拉伸和压缩的概念	(7)
§ 2-2 内力·截面法·轴力及轴力图	(7)
§ 2-3 应力·拉(压)杆内的应力	(11)
§ 2-4 拉(压)杆的变形·胡克定律	(17)
§ 2-5 拉(压)杆内的应变能	(21)
§ 2-6 材料在拉伸和压缩时的力学性能	(24)
§ 2-7 强度条件·安全因数·许用应力	(35)
§ 2-8 应力集中的概念	(41)
思考题	(42)
习 题	(44)
第三章 扭 转	(51)
§ 3-1 概 述	(51)
§ 3-2 薄壁圆筒的扭转	(52)
§ 3-3 传动轴的外力偶矩·扭矩及扭矩图	(54)
§ 3-4 等直圆杆扭转时的应力·强度条件	(57)
§ 3-5 等直圆杆扭转时的变形·刚度条件	(67)
§ 3-6 等直圆杆扭转时的应变能	(70)
§ 3-7 等直非圆杆自由扭转时的应力和变形	(73)
§ 3-8 开口和闭口薄壁截面杆自由扭转时的应力和变形	(76)
思考题	(82)
习 题	(84)
第四章 弯曲应力	(90)
§ 4-1 对称弯曲的概念及梁的计算简图	(90)
§ 4-2 梁的剪力和弯矩·剪力图和弯矩图	(94)
§ 4-3 平面刚架和曲杆的内力图	(112)
§ 4-4 梁横截面上的正应力·梁的正应力强度条件	(113)

§ 4-5 梁横截面上的切应力·梁的切应力强度条件	(124)
§ 4-6 梁的合理设计	(136)
思考题	(139)
习 题	(141)
第五章 梁弯曲时的位移	(156)
§ 5-1 梁的位移——挠度及转角	(156)
§ 5-2 梁的挠曲线近似微分方程及其积分	(157)
§ 5-3 按叠加原理计算梁的挠度和转角	(164)
§ 5-4 梁挠曲线的初参数方程	(167)
§ 5-5 梁的刚度校核·提高梁的刚度的措施	(170)
§ 5-6 梁内的弯曲应变能	(173)
思考题	(175)
习 题	(177)
第六章 简单的超静定问题	(180)
§ 6-1 超静定问题及其解法	(180)
§ 6-2 拉压超静定问题	(181)
§ 6-3 扭转超静定问题	(189)
§ 6-4 简单超静定梁	(191)
思考题	(201)
习 题	(203)
第七章 应力状态和强度理论	(208)
§ 7-1 概述	(208)
§ 7-2 平面应力状态的应力分析·主应力	(209)
§ 7-3 空间应力状态的概念	(217)
§ 7-4 应力与应变间的关系	(221)
§ 7-5 空间应力状态下的应变能密度	(227)
§ 7-6 强度理论及其相当应力	(229)
§ 7-7 莫尔强度理论及其相当应力	(234)
§ 7-8 各种强度理论的应用	(236)
思考题	(241)
习 题	(244)
第八章 组合变形及连接部分的计算	(251)
§ 8-1 概述	(251)
§ 8-2 两相互垂直平面内的弯曲	(252)
§ 8-3 拉伸(压缩)与弯曲	(256)
§ 8-4 扭转与弯曲	(267)
§ 8-5 连接件的实用算法	(270)
§ 8-6 铆钉连接的计算	(275)

§ 8-7 榫齿连接	(280)
思考题	(283)
习 题	(285)
第九章 压杆稳定	(294)
§ 9-1 压杆稳定性的概念	(294)
§ 9-2 细长中心受压直杆临界力的欧拉公式	(295)
§ 9-3 不同杆端约束下细长压杆临界力的欧拉公式·压杆的长度因数	(298)
§ 9-4 欧拉公式的应用范围·临界应力总图	(302)
§ 9-5 实际压杆的稳定因数	(306)
§ 9-6 压杆的稳定计算·压杆的合理截面	(310)
思考题	(316)
习 题	(317)
附录 I 截面的几何性质	(322)
§ I-1 截面的静矩和形心位置	(322)
§ I-2 极惯性矩·惯性矩·惯性积	(324)
§ I-3 惯性矩和惯性积的平行移轴公式·组合截面的惯性矩和惯性积	(327)
§ I-4 惯性矩和惯性积的转轴公式·截面的主惯性轴和主惯性矩	(330)
*§ I-5 计算惯性矩的近似方法	(335)
思考题	(337)
习 题	(338)
附录 II 常用截面的几何性质计算公式	(343)
附录 III 型钢规格表	(345)
附录 IV 简单荷载作用下梁的挠度和转角	(360)
主要参考书	(364)
习题答案	(365)
索 引	(378)
Synopsis	(383)
Contents	(384)
作者简介	(388)

第一章 绪论及基本概念

§ 1-1 材料力学的任务

结构物和机械通常都受到各种外力的作用,例如,厂房外墙受到的风压力、吊车梁承受的吊车和起吊物的重力、轧钢机受到钢坯变形时的阻力等,这些力称为荷载^①。组成结构物和机械的单个组成部分,统称为构件。

当结构或机械承受荷载或传递运动时,每一构件都必须能够正常地工作,这样才能保证整个结构或机械的正常工作。为此,首先要求构件在受荷载作用时不发生破坏。如机床主轴因荷载过大而断裂时,整个机床就无法使用。但只是不发生破坏,并不一定就能保证构件或整个结构的正常工作。例如,机床主轴若发生过大的变形,则将影响机床的加工精度。此外,有一些构件在荷载作用下,其原有的平衡形态可能丧失稳定性。例如,房屋中受压柱如果是细长的,则在压力超过一定限度后,就有可能显著地变弯,甚至可能使房屋倒塌。针对上述三种情况,对构件正常工作的要求可以归纳为如下三点:

- (1) 在荷载作用下构件应不至于破坏(断裂),即应具有足够的强度;
- (2) 在荷载作用下构件所产生的变形应不超过工程上允许的范围,也就是要具有足够的刚度;
- (3) 承受荷载作用时,构件在其原有形态下的平衡应保持为稳定的平衡,也就是要满足稳定性的要求。

设计构件时,不但要满足上述强度、刚度和稳定性要求,还必须尽可能地合理选用材料和降低材料的消耗量,以节约资金或减轻构件的自身重量。前者往往要求多用材料,而后者则要求少用材料,两者之间存在着矛盾。材料力学的任务就在于合理地解决这种矛盾。在不断解决新矛盾的同时,也促进了材料力学的发展。

构件的强度、刚度和稳定性问题均与所用材料的力学性能(主要是指在外力作用下材料变形与所受外力之间的关系,以及材料抵抗变形与破坏的能力)有关,这些力学性能均需通过材料试验来测定。此外,也有些单靠现有理论解决不

^① 在材料力学中首先研究静荷载问题。静荷载是指荷载本身或构件质点没有加速度或加速度可以略去不计,因而可以略去由加速度所引起的惯性力等影响的荷载。

了的问题,需借助于实验来解决。因此,实验研究和理论分析同样重要,都是完成材料力学的任务所必需的。

§ 1-2 材料力学与生产实践的关系

“科学的发生与发展,一开始就是由生产决定的。”^① 材料力学的发展也是由生产的发展所推动的,同时它又反过来对生产实践起着重要的指导作用。

在封建社会及其以前,建筑物多以石料、木材以及冶炼粗糙的铸铁、铸铜等为主要建筑材料,同时,这些建筑物的工作条件也较简单,在设计时大多凭经验或采用模仿的方法。但在古代建筑中也已体现出当时劳动人民根据生产实践所积累起来的经验,对构件受力特点及材料的力学性能有了初步认识,并能结合构件受力特点正确地使用材料。例如,在我国古代就已将一些砖石结构做成拱形,以充分发挥材料的压缩强度;用竹索做成悬索桥,以充分利用竹材的拉伸强度。此外,在木结构中也积累了不少制造梁、柱的经验,如对于矩形截面的木梁,采用的截面高宽比为3:2,这事实上是符合材料力学基本原理的。

封建社会解体后,生产力得到了迅速的发展。为了建造新的建筑物、车、船及机械等,单凭经验或采用模仿的方法就解决不了新提出的问题。材料力学也就在这种情况下逐渐形成为一门科学。这一时期的意大利科学家伽利略(Galileo),为了解决建造船只和水闸所需梁的尺寸问题进行了一些实验,并在1638年首先提出了计算梁强度的公式。由于他用了刚体力学的方法而未考虑到梁受力后的变形这一重要因素,以致其结论并不正确,但他开辟了用实验和按理论方法计算构件的新途径。后来,英国科学家胡克(R. Hooke)在1678年发表了他根据实验观察所总结出来的重要物理定律——力与变形成正比。从此以后,材料力学在过去生产实践中所积累的丰富经验的基础上,开始有了新的发展。

随着生产的发展,以及随着铁路车辆、船舶、飞机、新型建筑物和金属切削机床的发明和使用,提出了减轻构件自重、减少材料消耗量的要求。为此必须提高材料的强度,这就推动了冶金工业的发展,使高强度的金属例如钢、铝合金等材料逐渐成为主要的工程材料,从而使构件为了符合其强度要求所需要的截面尺寸有可能减小。然而,由于采用了细长的构件,荷载作用下的变形就显著地增大。因此,保证构件的刚度就成为在计算中必须加以考虑的另一个方面。此外,由于细长杆件在受压时,又出现了丧失其原有平衡形态的稳定性问题,所以对构件进行稳定性计算,也成为理论计算中不可忽视的又一个方面。由此可见,在荷载作用下的构件需要进行强度、刚度和稳定性计算,是随着生产发展中不断出现

^① 见恩格斯《自然辩证法》。