



全国高等农林院校“十一五”规划教材

材料力学

申向东 王正中 主编

 中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

材 料 力 学

申向东 王正中 主编

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

材料力学 / 申向东, 王正中主编. —北京: 中国农业出版社, 2008. 4

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-12052-5

I. 材… II. ①申…②王… 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 (2008) 第 033339 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 郭元建

北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 23.75

字数: 421 千字

定价: 33.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

编写人员

主 编 申向东（内蒙古农业大学）
王正中（西北农林科技大学）

副主编 高 潮（大连水产学院）
邱秀梅（山东农业大学）

编 者（以姓氏笔画为序）
王正中（西北农林科技大学）
申向东（内蒙古农业大学）
邱秀梅（山东农业大学）
邹春霞（内蒙古农业大学）
张玉清（沈阳农业大学）
高 潮（大连水产学院）
戴纳新（华南农业大学）

主 审 李 平（内蒙古农业大学）

前 言

本教材为全国高等农林院校“十一五”规划教材，全书分为基础篇和专题篇，共11章。基础篇包括反映材料力学基本要求的轴向拉压杆件、材料的力学性能、剪切、扭转、弯曲等内容，共6章；专题篇包括应力状态与强度理论、压杆稳定、能量法、动载荷与疲劳强度等内容，共5章。使用本教材时，可根据各专业的不同要求和学时数对内容酌情取舍。

本教材主要参照教育部高等学校非力学专业力学基础课程教学指导分委员会提出的材料力学课程教学基本要求进行编写的。在编写过程中力求做到内容精炼，由浅入深，便于自学。本教材注重基本概念与基本方法的阐述，基础篇特点是将杆件的轴向拉压、剪切、扭转、弯曲基本变形分四章论述，并引入工程领域的实例及与工程有关的算例与习题。以培养和造就“厚基础、强能力、高素质、广适应”的创造性复合型人才为宗旨，在阐述材料力学基本概念、基本原理和基本方法的基础上，力求实现在体系上和内容上的更新，为读者今后继续学习和掌握新方法、新技术提供必要的材料力学基础知识，也为读者的独立思考留有空间，以利于创新能力的培养。

参加本书编写工作的有：内蒙古农业大学申向东（第一章、第十一章），内蒙古农业大学邹春霞（第二章、第三章），沈阳农业大学张玉清（第四章、第五章），西北农林科技大学王正中（第六章），大连水产学院高潮（第七章），山东农业大学邱秀梅（第八章、第九

章), 华南农业大学戴纳新(第十章)。本教材由申向东、王正中任主编, 高潮、邱秀梅任副主编, 全书由申向东统稿。

担任本书主审的李平教授对审定稿进行了认真的修改, 提出了许多宝贵意见, 张爱军、田均国等协助绘制了 CAD 图。本书的编写和出版得到了内蒙古农业大学、大连水产学院以及参编院校的大力支持和帮助, 在此一并表示衷心的感谢。

限于编者水平, 书中定有不少缺陷, 敬请读者批评指正。

编 者

2008 年 3 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 材料力学的任务与研究对象	1
一、材料力学研究的任务	1
二、材料力学研究的对象	3
第二节 变形固体及其基本假设	4
第三节 杆件受力的分析方法	5
第四节 应变与胡克定律	8
第五节 构件变形的基本形式	10
小结	11
思考题	11
习题	12
第二章 轴向拉伸与压缩	13
第一节 轴向拉伸与压缩的概述	13
第二节 轴向拉伸或压缩时截面上的内力	14
第三节 轴向拉伸或压缩时截面上的应力	17
一、横截面上的应力	17
二、斜截面上的应力	19
第四节 轴向拉伸或压缩时的强度问题	20
第五节 轴向拉伸或压缩时的变形分析	23
一、轴向变形	24
二、横向变形	25
第六节 拉伸或压缩的超静定问题	28
一、超静定结构的基本概念	28
二、求解超静定问题的基本方法	29

三、温度应力和装配应力	33
第七节 应力集中的概念	36
一、圣维南原理	37
二、应力集中的概念	37
小结	39
思考题	40
习题	41
第三章 材料的力学性能	46
第一节 拉伸或压缩时材料的力学性能	46
一、材料的拉伸和压缩试验	46
二、低碳钢拉伸时的力学性质	47
三、其他塑性材料拉伸时的力学性质	51
四、铸铁拉伸时的力学性质	52
五、低碳钢和铸铁压缩时的力学性质	52
第二节 失效、许用应力、安全系数	54
第三节 温度和加载速率对材料力学性能的影响	55
一、短期静载下温度对材料力学性能的影响	55
二、长期静载下高温对材料的力学性能的影响	56
三、加载速率对材料力学性能的影响	57
第四节 其他材料的力学性能	57
小结	58
思考题	60
习题	60
第四章 剪切	62
第一节 剪切的概述	62
第二节 剪切的实用计算	64
第三节 挤压的实用计算	65
第四节 焊接的实用计算*	68
小结	69
思考题	69
习题	70

第五章 扭转	72
第一节 扭转的概述	72
第二节 外力偶矩和扭矩图	74
一、传动轴的外力偶矩	74
二、扭矩	75
三、扭矩图	76
第三节 薄壁圆筒的扭转	78
第四节 圆轴扭转时的应力及强度条件	80
一、横截面上的应力	80
二、斜截面上的应力	84
三、强度条件	88
第五节 圆轴扭转时的变形和刚度条件	89
一、等直圆轴在扭转时的变形	89
二、刚度条件	91
第六节 非圆形截面扭转的概念	93
小结	96
思考题	96
习题	97
第六章 弯曲	102
第一节 工程中的弯曲构件	102
一、平面弯曲	102
二、梁的计算简图	103
三、静定梁的基本形式	104
第二节 弯曲内力与内力图	105
一、梁的剪力与弯矩	105
二、剪力图与弯矩图	108
三、载荷、剪力和弯矩间的关系	111
四、按叠加原理作剪力图和弯矩图	116
第三节 截面图形的形心、面积矩及惯性矩的计算	117
一、截面的静矩和形心位置	117
二、简单图形的惯性矩	118

三、组合图形的惯性矩——平行移轴定理	119
四、主轴与形心主轴、主惯性矩与形心主惯性矩的概念	120
第四节 梁的正应力分析	121
一、纯弯曲梁的正应力	121
二、横力弯曲正应力	126
第五节 梁的剪应力	128
一、矩形截面梁的剪应力	128
二、工字型截面梁的剪应力	131
三、圆形截面梁的剪应力	133
四、薄壁圆环形截面梁的剪应力	134
第六节 梁的强度条件及应用	134
一、梁的正应力强度条件	134
二、梁的剪应力强度条件	137
三、梁的正应力和剪应力强度同时校核的情况	137
四、梁的合理截面	138
第七节 弯曲变形与梁挠曲线近似微分方程	143
一、挠度和转角	143
二、梁挠曲线近似微分方程	144
第八节 用积分法求梁的变形	145
第九节 用叠加法求梁的变形	148
第十节 梁的刚度条件	152
小结	153
思考题	156
习题	158
第七章 应力状态分析和强度理论	170
第一节 概述	170
第二节 二向应力状态分析——解析法	172
一、任意斜截面上的应力公式	173
二、应力状态中的主应力与最大剪应力	175
第三节 二向应力状态分析——图解法	182
一、应力圆方程	182

二、应力圆的画法	182
三、应力圆与单元体的对应关系	183
第四节 三向应力状态简介	187
第五节 广义胡克定律	189
一、广义胡克定律	189
二、体应变	192
第六节 复杂应力状态下的变形比能	194
第七节 常用强度理论	196
第八节 强度理论的选择和应用	201
小结	208
思考题	210
习题	212
第八章 组合变形	219
第一节 组合变形的概念及分析方法	219
一、组合变形的概念	219
二、组合变形的分析方法	220
第二节 斜弯曲	220
一、外力分析	221
二、基本变形下的内力分析	221
三、基本变形下的应力分析	222
四、组合变形分析	222
第三节 轴向拉伸或压缩与弯曲组合	225
一、外力分析	226
二、基本变形下的内力和应力分析	227
三、组合变形分析	227
第四节 偏心压缩（拉伸）及截面核心	230
一、偏心压缩（拉伸）的强度计算	230
二、截面核心	233
第五节 扭转与弯曲组合	235
一、外力分析	236
二、基本变形下的内力分析	236

三、基本变形下的应力分析	236
四、组合变形分析	237
第六节 复杂组合变形	241
小结	242
思考题	243
习题	245
第九章 压杆稳定	250
第一节 压杆稳定的基本概念	250
第二节 细长压杆的临界力	252
一、两端铰支细长压杆的临界力	253
二、杆端为其他支撑形式的细长压杆的临界力	254
三、对临界力计算公式的分析	256
第三节 临界应力与临界应力总图	258
一、临界应力与柔度	258
二、欧拉公式的适用范围	258
三、非弹性范围理想压杆的临界应力	259
四、临界应力总图	260
第四节 压杆的稳定计算	263
一、安全系数法	263
二、稳定系数法	266
第五节 提高压杆稳定性的措施	269
一、尽量减小压杆的长度	270
二、合理选择截面形状	270
三、改善支撑条件	271
四、材料方面	271
小结	271
思考题	272
习题	273
第十章 能量法	277
第一节 基本概念	277
第二节 应变能与余能	277

一、应变能	277
二、余能	283
第三节 卡氏定理	285
一、卡氏第一定理	286
二、卡氏第二定理	288
第四节 莫尔积分	291
第五节 图形互乘法	294
第六节 互等定律	297
小结	299
思考题	299
习题	300
第十一章 动载荷与疲劳强度简述	305
第一节 概述	305
第二节 构件作匀加速直线运动或匀速转动时的应力计算	306
一、构件作匀加速直线运动时的应力	306
二、构件作匀速转动时的应力	309
第三节 冲击时的应力计算	312
一、自由落体冲击	313
二、水平冲击	315
三、提高构件抗击能力的措施	318
第四节 冲击韧度	319
第五节 交变应力和疲劳失效	320
一、交变应力和疲劳失效	320
二、交变应力的基本参量	323
第六节 疲劳极限和 $S-N$ 曲线	325
第七节 影响构件疲劳极限的主要因素	326
一、构件外形的影响	327
二、构件尺寸的影响	330
三、表面加工质量的影响	331
第八节 基于有限寿命设计方法的疲劳强度	332
一、构件寿命的概念	332
二、无限寿命设计方法——安全因数法	333

三、等幅对称应力循环下的工作安全因数	334
四、等幅交变应力作用下的疲劳寿命估算	334
小结	335
思考题	336
习题	337
 附录 A 型钢规格表	 343
附录 B 习题答案	355
主要参考文献	364

第一章 绪 论

内容提要：材料力学主要任务是分析研究变形固体在受力后发生的内力、变形基本规律以及由此而产生的失效准则，在此基础上导出工程构件设计的基本方法。本章主要介绍材料力学的任务、研究对象、主要研究内容以及研究的基本方法。

第一节 材料力学的任务与研究对象

一、材料力学研究的任务

在工程实际中，任何建筑物和机械都是由一些构件（member）（或零件）组成的。作用在建筑物和机械上的外力通常称为载荷（load）。建筑物中承受载荷而起骨架作用的部分称为结构（struaction）。

实践表明，要使结构或机械能正常地工作，就必须保证组成它的每个构件在载荷作用下能正常工作。因此在工程中对所设计的构件都有如下的要求。

1. 强度要求 强度（strength）是指构件在确定外力的作用下，不发生断裂或过量塑性变形的能力。

2. 刚度要求 刚度（stiffness）是指构件在确定外力的作用下，其弹性变形或位移不超过工程允许范围的能力。

3. 稳定性要求 稳定性（stability）是指承受载荷作用时构件的平衡形式不会发生突然转变的能力。

例如：现浇砼结构中的柱（图 1-1），在外力作用下要发生变形，它的截面要满足不发生折断或者裂开的破坏。又如，各种桥梁的桥面结构（图 1-2），采取什么形式才能保证不发生破坏，也不发生过大的弹性变形，既要保证桥梁具有足够的强度，又要有足够的刚度，同时，还要具备重量轻，节省材料等优点。再如，大型体育场钢结构（图 1-3）不仅需要有足够的强度和刚度，而且还要保证有足够的稳定性，否则在施工和运行过程中会由于局部杆件或整体

结构的不稳定性，而导致整体结构的坍塌，造成巨大的损失。

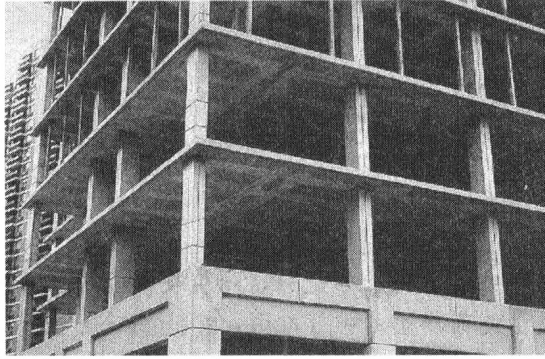


图 1-1 现浇砼房屋



图 1-2 大型桥梁

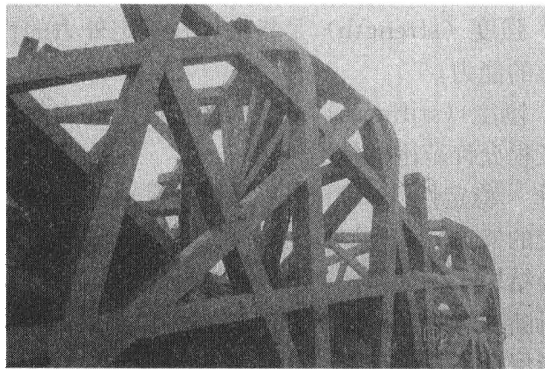


图 1-3 大型体育场钢架

要使构件满足上述三个方面的要求，似乎只要使构件的尺寸做得粗厚些并选用优质材料来制作就可以了，但是这样做又可能造成材料的浪费和结构的笨

重,有时也不美观。可见安全可靠与经济适用两者间常常是矛盾的。

材料力学是应力力学的分支,它既属固体力学的研究范畴,又属于工程设计的重要部分之一。所以它的基本任务是研究构件在外力作用下的变形、受力及破坏的规律,为合理设计构件提供有关强度、刚度与稳定性分析的基本理论与计算方法。

构件的强度、刚度、稳定性问题均与所选用材料的力学性质有关,材料的力学性质是指材料在力的作用下抵抗变形和破坏等方面表现出来的性能,这些力学性能均需通过材料力学来测定。此外,有些单靠现有理论解决不了的问题,需借助实验来解决。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手段。

二、材料力学研究的对象

工程实际中的构件,形状多种多样,按照其几何特征,主要可分为杆件(rods)、板件(plat)及块体(block)。

一个方向的尺寸远大于其他两个方向的尺寸的构件,称为杆件(图1-4)。杆件是工程中最常见、最基本的构件。

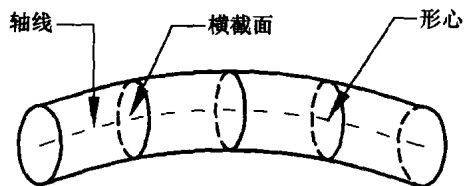


图1-4 杆 件

杆件的形状与尺寸由其轴线与横截面确定。轴线通过横截面的形心,横截面与轴线相互正交。根据轴线与横截面的特征,杆件可分为直杆与曲杆、等截面杆与变截面杆等。

一个方向的尺寸远小于其他两个方向尺寸的构件,称为板件(图1-5)。平分板件厚度的几何面,称为中面(middle plane)。中面为平面的板件称为板(图1-5a);中面为曲面的板件称为壳(shell)(图1-5b)。

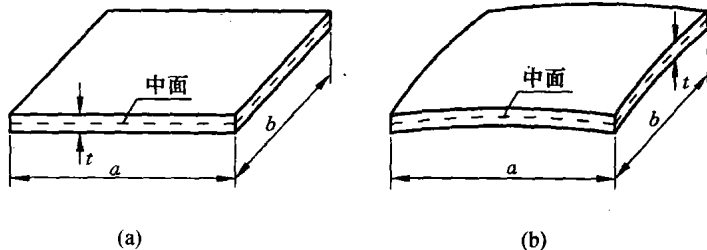


图1-5 板 件