



高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

Mechanics of Materials

# 材料力学

· 平台课课程群 ·

■ 主编 李东平    ■ 主审 李道奎



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

# 材料力学

主 编 李东平  
副主编 王修琼 邹春伟 李学平  
刘 静 刘长文  
主 审 李道奎



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

材料力学/李东平主编. —武汉:武汉大学出版社,2015.12  
高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材  
ISBN 978-7-307-16942-5

I. 材… II. 李… 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(2015)第 238214 号

责任编辑:邓 瑶

责任校对:路亚妮

装帧设计:吴 极

---

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu\_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开本:880×1230 1/16 印张:19 字数:613 千字

版次:2015年12月第1版 2015年12月第1次印刷

ISBN 978-7-307-16942-5 定价:39.00 元

---

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

# 高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

## 学术委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:周创兵

副主任委员:方志 叶列平 何若全 沙爱民 范峰 周铁军 魏庆朝

委员:王辉 叶燎原 朱大勇 朱宏平 刘泉声 孙伟民 易思蓉

周云 赵宪忠 赵艳林 姜忻良 彭立敏 程桦 靖洪文

## 编审委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:李国强

副主任委员:白国良 刘伯权 李正良 余志武 邹超英 徐礼华 高波

委员:丁克伟 丁建国 马昆林 王成 王湛 王媛 王薇

王广俊 王天稳 王曰国 王月明 王文顺 王代玉 王汝恒

王孟钧 王起才 王晓光 王清标 王震宇 牛荻涛 方俊

龙广成 申爱国 付钢 付厚利 白晓红 冯鹏 曲成平

吕平 朱彦鹏 任伟新 华建民 刘小明 刘庆潭 刘素梅

刘新荣 刘殿忠 闫小青 祁皓 许伟 许程洁 许婷华

阮波 杜咏 李波 李斌 李东平 李远富 李炎锋

李耀庄 杨杨 杨志勇 杨淑娟 吴昊 吴明 吴轶

吴涛 何亚伯 何旭辉 余锋 冷伍明 汪梦甫 宋固全

张红 张纯 张飞涟 张向京 张运良 张学富 张晋元

张望喜 陈辉华 邵永松 岳健广 周天华 郑史雄 郑俊杰

胡世阳 侯建国 姜清辉 姜平 袁广林 桂国庆 贾连光

夏元友 夏军武 钱晓倩 高飞 高玮 郭东军 唐柏鉴

黄华 黄声享 曹平周 康明 阎奇武 董军 蒋刚

韩峰 韩庆华 舒兴平 童小东 童华炜 曾珂 雷宏刚

廖莎 廖海黎 蒲小琼 黎冰 戴公连 戴国亮 魏丽敏

## 出版技术支持

(按姓氏笔画排名)

项目团队:王睿 白立华 曲生伟 蔡巍

## 特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式转变为一次建设性、发现性的学习,从被动学习转变为主动学习,由教师传播知识到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,逐步配备基本数字教学资源,主要包括:

文本:课程重难点、思考题与习题参考答案、知识拓展等。

图片:课程教学外观图、原理图、设计图等。

视频:课程讲述对象展示视频、模拟动画,课程实验视频,工程实例视频等。

音频:课程讲述对象解说音频、录音材料等。

### 数字资源获取方法:

- ① 打开微信,点击“扫一扫”。
- ② 将扫描框对准书中所附的二维码。
- ③ 扫描完毕,即可查看文件。

更多数字教学资源共享、图书购买及读者互动敬请关注“开动土木传媒”微信公众号!



# 丛书序

土木工程涉及国家的基础设施建设,投入大,带动的行业多。改革开放后,我国国民经济持续稳定增长,其中土建行业的贡献率达到1/3。随着城市化的发展,这一趋势还将继续呈现增长势头。土木工程行业的发展,极大地推动了土木工程专业教育的发展。目前,我国有500余所大学开设土木工程专业,在校生达40余万人。

2010年6月,中国工程院和教育部牵头,联合有关部门和行业协(学)会,启动实施“卓越工程师教育培养计划”,以促进我国高等工程教育的改革。其中,“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划”由住房和城乡建设部与教育部组织实施。

2011年9月,住房和城乡建设部人事司和高等学校土建学科教学指导委员会颁布《高等学校土木工程专业本科指导性专业规范》,对土木工程专业的学科基础、培养目标、培养规格、教学内容、课程体系及教学基本条件等提出了指导性要求。

在上述背景下,为满足国家建设对土木工程卓越人才的迫切需求,有效推动各高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,促进高等学校土木工程专业教育改革,2013年住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会启动了“高等教育教学改革土木工程专业卓越计划专项”,支持并资助有关高校结合当前土木工程专业高等教育的实际,围绕卓越人才培养目标及模式、实践教学环节、校企合作、课程建设、教学资源建设、师资培养等专业建设中的重点、亟待解决的问题开展研究,以对土木工程专业教育起到引导和示范作用。

为配合土木工程专业实施卓越工程师教育培养计划的教学改革及教学资源建设,由武汉大学发起,联合国内部分土木工程教育专家和企业工程专家,启动了“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材”建设项目。该系列教材贯彻落实《高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材通用标准》和《土木工程卓越工程师教育培养计划专业标准》,力图以工程实际为背景,以工程技术为主线,着力提升学生的工程素养,培养学生的工程实践能力和工程创新能力。该系列教材的编写人员,大多主持或参加了住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会的“土木工程专业卓越计划专项”教改项目,因此该系列教材也是“土木工程专业卓越计划专项”的教改成果。

土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,需要校企合作,期望土木工程专业教育专家与工程专家一道,共同为土木工程专业卓越工程师的培养作出贡献!

是以有序。



2014年3月于同济大学四平路校区

# 前 言

材料力学是高等学校土木、机械、交通等专业的基础课程。本书依据教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会制定的《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》(2012版)对材料力学课程教学的基本要求编写。

全书以杆件的强度、刚度和稳定性为主线,在介绍拉压、扭转和平面弯曲等基本变形的基础上,着重介绍了应力状态分析和强度理论、组合变形、能量法、动载荷、交变应力和压杆稳定等。编者从力学素质教育的要求出发,更注重基本概念、基本原理和基本方法,加强工程概念,引入工程实例。同时为了让学生更快、更牢固地掌握材料力学的基本知识,在叙述概念和原理时,一方面按提出问题、分析问题和解决问题的思路进行详细论述;另一方面通过较多的例题分析,加强学生对基本内容的了解和掌握。

本书主要面向土木工程类专业的本科生,兼顾力学、机械、交通、航空等专业的学生,也可供专科和成人教育相关专业的学生参考。

本书由中南大学李东平担任主编,中南大学王修琼、邹春伟、李学平、刘静、刘长文担任副主编。具体编写分工为:第1章、第4章、第13章和附录由李东平编写,第2章和第3章由邹春伟编写,第5章和第6章由李学平编写,第7章和第8章由刘静编写,第9章和第10章由刘长文编写,第11章和第12章由王修琼编写。全书由李东平统稿,由国防科技大学李道奎教授担任主审。在本书编写过程中,编者得到了中南大学土木工程学院领导的关心,以及中南大学力学系全体教师的大力支持,并参考了同类优秀教材,选用了某些插图和习题,在此一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促,编写人员水平有限,书中难免有疏漏、不当甚至错误之处,欢迎广大读者批评指正。

本书收录了相关院校近年来的考研真题,有需要的学生可扫描下方二维码获取。



编 者

2015年9月

## 目 录

<b>1 绪论</b> .....	(1)	2.8.2 装配应力 .....	(25)
1.1 材料力学的任务 .....	(2)	2.8.3 温度应力 .....	(26)
1.2 变形固体的基本假设 .....	(2)	2.9 应力集中与圣维南原理 .....	(27)
1.3 外力及其分类 .....	(3)	2.9.1 应力集中的概念 .....	(27)
1.4 变形与位移 .....	(3)	2.9.2 圣维南原理 .....	(28)
1.5 杆件变形的基本形式 .....	(4)	2.10 剪切与挤压的实用计算 .....	(28)
知识归纳 .....	(5)	2.10.1 剪切变形的概念 .....	(28)
思考题 .....	(5)	2.10.2 剪切的实用计算 .....	(29)
<b>2 轴向拉伸、压缩与剪切</b> .....	(6)	2.10.3 挤压的实用计算 .....	(29)
2.1 轴向拉伸、压缩的概念 .....	(7)	知识归纳 .....	(34)
2.2 轴向拉(压)杆的内力 .....	(7)	思考题 .....	(35)
2.2.1 轴力 .....	(7)	习题 .....	(36)
2.2.2 轴力图 .....	(7)	<b>3 扭转</b> .....	(42)
2.3 轴向拉(压)杆的应力 .....	(9)	3.1 扭转的概念 .....	(43)
2.3.1 横截面上的应力 .....	(9)	3.2 外力偶矩的计算、扭矩和扭矩图 .....	(43)
2.3.2 斜截面上的应力 .....	(10)	3.2.1 外力偶矩的计算 .....	(43)
2.4 材料在拉伸和压缩时的力学性能 .....	(11)	3.2.2 扭矩和扭矩图 .....	(44)
2.4.1 材料在拉伸时的力学性能 .....	(11)	3.3 薄壁圆筒的扭转 .....	(45)
2.4.2 材料在压缩时的力学性能 .....	(14)	3.3.1 薄壁圆筒扭转时的切应力 .....	(45)
2.4.3 材料的力学性能指标 .....	(15)	3.3.2 切应力互等定理 .....	(46)
2.4.4 温度和时间对材料力学性能的影响 .....	(15)	3.3.3 剪切胡克定律 .....	(46)
2.5 轴向拉伸和压缩时的强度计算 .....	(16)	3.4 圆轴扭转时的强度计算 .....	(47)
2.5.1 许用应力和安全系数 .....	(16)	3.4.1 横截面上的切应力 .....	(47)
2.5.2 拉(压)杆的强度计算 .....	(17)	3.4.2 截面积惯性矩和抗扭截面系数 .....	(49)
2.6 轴向拉伸和压缩时的变形计算 .....	(20)	3.4.3 圆轴扭转的强度计算 .....	(49)
2.6.1 纵向变形与胡克定律 .....	(20)	3.5 圆轴扭转时的变形和刚度计算 .....	(50)
2.6.2 横向变形与泊松比 .....	(21)	3.5.1 圆轴扭转时的变形 .....	(50)
2.7 轴向拉伸或压缩杆件的应变能 .....	(23)	3.5.2 圆轴扭转时的刚度计算 .....	(51)
2.7.1 应变能的概念 .....	(23)	3.6 圆轴扭转时的应变能 .....	(53)
2.7.2 轴向拉伸或压缩杆件的应变能 .....	(23)	3.7 非圆截面杆的自由扭转 .....	(54)
2.8 简单拉、压静不定问题 .....	(24)	3.7.1 非圆截面杆自由扭转的概念 .....	(54)
2.8.1 静不定问题的解法 .....	(24)	3.7.2 矩形截面杆的自由扭转 .....	(55)
		3.7.3 开口薄壁杆件的自由扭转 .....	(56)



3.7.4 闭口薄壁杆件的自由扭转	(57)	6.3.1 矩形截面梁的切应力	(100)
知识归纳	(58)	6.3.2 工字形截面梁的切应力	(102)
思考题	(59)	6.3.3 圆形截面梁的切应力	(103)
习题	(60)	6.3.4 环形截面梁的切应力	(104)
<b>4 平面图形的几何性质</b>	(63)	6.4 弯曲强度计算	(106)
4.1 静矩与形心	(64)	6.4.1 弯曲正应力强度条件	(106)
4.1.1 静矩与形心的概念	(64)	6.4.2 弯曲切应力强度条件	(106)
4.1.2 静矩与形心之间的关系	(64)	6.5 提高弯曲强度的一些措施	(109)
4.1.3 组合图形的静矩与形心	(64)	6.5.1 合理安排梁的支座和载荷	(110)
4.2 极惯性矩、惯性矩和惯性积	(65)	6.5.2 采用合理的截面形状	(111)
4.2.1 极惯性矩	(65)	6.5.3 采用等强度梁	(112)
4.2.2 惯性矩和惯性半径	(66)	6.6 开口薄壁杆件的弯曲中心	(113)
4.2.3 惯性积	(66)	6.7 梁的极限弯矩与塑性铰	(117)
4.3 平行移轴公式和转轴公式	(67)	6.7.1 纯弯曲梁的极限弯矩	(117)
4.3.1 平行移轴公式	(67)	6.7.2 梁的弹塑性弯曲、塑性铰	(118)
4.3.2 转轴公式	(68)	知识归纳	(119)
4.4 主惯性轴和主惯性矩	(69)	思考题	(120)
4.4.1 主惯性轴和主惯性矩的定义	(69)	习题	(121)
4.4.2 主惯性轴和主惯性矩的计算公式	(69)	<b>7 弯曲变形</b>	(124)
4.5 组合图形的形心主惯性矩计算	(70)	7.1 挠度和转角	(125)
知识归纳	(72)	7.1.1 挠度	(125)
思考题	(73)	7.1.2 转角	(125)
习题	(73)	7.2 梁的挠曲近似微分方程	(125)
<b>5 弯曲内力</b>	(76)	7.3 用积分法求弯曲变形	(126)
5.1 平面弯曲的概念及梁的计算简图	(77)	7.4 用叠加法求弯曲变形	(129)
5.1.1 平面弯曲的概念	(77)	7.5 梁的弯曲应变能	(132)
5.1.2 梁的计算简图	(77)	7.5.1 纯弯曲梁的应变能	(132)
5.2 梁的剪力和弯矩	(78)	7.5.2 横力弯曲梁的应变能	(132)
5.2.1 剪力和弯矩	(78)	7.6 简单静不定梁	(133)
5.2.2 剪力图和弯矩图	(81)	7.7 提高梁弯曲刚度的措施	(134)
5.2.3 平面刚架与曲杆的内力图	(88)	7.7.1 梁的刚度条件	(134)
知识归纳	(90)	7.7.2 提高梁弯曲刚度的措施	(135)
思考题	(90)	知识归纳	(135)
习题	(91)	思考题	(136)
<b>6 弯曲应力</b>	(94)	习题	(136)
6.1 弯曲正应力	(95)	<b>8 应力状态分析和强度理论</b>	(139)
6.1.1 纯弯曲梁的正应力	(95)	8.1 概述	(140)
6.1.2 横力弯曲梁的正应力	(97)	8.1.1 应力状态的概念	(140)
6.2 多种材料的组合梁	(99)	8.1.2 应力状态的分类	(141)
6.3 弯曲切应力	(100)	8.2 二向应力状态分析——解析法	(141)
		8.2.1 任意截面上的正应力和切应力	(142)

8.2.2 主平面及主平面位置 .....	(142)	9.5.2 截面核心 .....	(184)
8.2.3 最大切应力及其作用平面的位置 .....	(142)	9.6 开口薄壁梁的切应力与弯曲中心 .....	(186)
8.3 二向应力状态分析——图解法 .....	(144)	9.6.1 开口薄壁截面梁的切应力 .....	(186)
8.3.1 应力圆方程 .....	(144)	9.6.2 开口薄壁截面梁的弯曲中心 .....	(187)
8.3.2 应力圆的作法 .....	(145)	知识归纳 .....	(188)
8.3.3 应力圆的应用 .....	(145)	思考题 .....	(189)
8.4 三向应力状态分析 .....	(150)	习题 .....	(189)
8.5 广义胡克定律 .....	(151)	<b>10 压杆稳定</b> .....	(193)
8.5.1 广义胡克定律 .....	(151)	10.1 压杆稳定概述 .....	(194)
8.5.2 体积胡克定律 .....	(152)	10.2 细长压杆的临界载荷 .....	(195)
8.6 单元体的应变能密度 .....	(154)	10.2.1 两端铰支细长压杆的临界载荷 .....	(195)
8.6.1 单向应力状态单元体的应变能密度 .....	(154)	10.2.2 其他约束条件下细长压杆的临界载荷 .....	(196)
8.6.2 纯切应力状态单元体的应变能密度 .....	(154)	10.3 压杆的临界应力 .....	(198)
8.6.3 复杂应力状态单元体的应变能密度 .....	(155)	10.3.1 临界应力和柔度 .....	(198)
8.7 强度理论 .....	(156)	10.3.2 欧拉公式的适用范围 .....	(199)
8.7.1 强度理论概述 .....	(156)	10.3.3 超过比例极限的压杆稳定问题 .....	(200)
8.7.2 四种常用强度理论 .....	(157)	10.3.4 临界应力总图 .....	(200)
8.7.3 莫尔强度理论 .....	(161)	10.4 压杆的稳定性计算 .....	(201)
知识归纳 .....	(166)	10.4.1 安全因数法 .....	(201)
思考题 .....	(166)	10.4.2 稳定因数法 .....	(202)
习题 .....	(166)	10.5 提高压杆稳定性的措施 .....	(208)
<b>9 组合变形</b> .....	(170)	10.5.1 尽量减小压杆的相当长度 .....	(208)
9.1 组合变形概述 .....	(171)	10.5.2 合理选择截面形状 .....	(208)
9.2 拉伸或压缩与弯曲的组合 .....	(171)	10.5.3 合理选择材料 .....	(209)
9.2.1 轴向力和横向力共同作用 .....	(171)	知识归纳 .....	(210)
9.2.2 轴向偏心力作用 .....	(172)	思考题 .....	(210)
9.3 两个平面弯曲的组合——斜弯曲 .....	(173)	习题 .....	(211)
9.3.1 斜弯曲的概念 .....	(173)	<b>11 能量法</b> .....	(214)
9.3.2 斜弯曲的正应力 .....	(174)	11.1 杆件的应变能 .....	(215)
9.3.3 中性轴的位置 .....	(175)	11.1.1 轴向拉伸或压缩时杆件的应变能 .....	(215)
9.3.4 斜弯曲的最大正应力 .....	(175)	11.1.2 扭转变形时杆件的应变能 .....	(215)
9.4 弯曲与扭转的组合变形 .....	(178)	11.1.3 弯曲变形时杆件的应变能 .....	(216)
9.4.1 弯曲与扭转组合变形的应力 .....	(178)	11.2 互等定理 .....	(217)
9.4.2 弯曲与扭转组合变形的强度条件 .....	(179)	11.2.1 克拉贝依隆原理 .....	(217)
9.5 偏心压缩与截面核心 .....	(183)	11.2.2 功的互等定理和位移互等定理 .....	(219)
9.5.1 偏心压缩 .....	(183)	11.3 余能定理与卡氏第二定理 .....	(221)
		11.3.1 余能定理 .....	(221)

11.3.2 卡氏第二定理 .....	(223)	<b>13 交变应力与疲劳强度</b> .....	(265)
11.4 虚功原理 .....	(226)	13.1 交变应力及其描述 .....	(266)
11.5 单位载荷法与莫尔积分 .....	(228)	13.1.1 交变应力的概念 .....	(266)
11.5.1 单位载荷法 .....	(228)	13.1.2 交变应力的名词和术语 .....	(266)
11.5.2 莫尔积分 .....	(230)	13.1.3 几种典型的交变应力 .....	(267)
11.6 能量法在超静定问题中的应用 ..	(231)	13.2 疲劳失效与疲劳极限 .....	(268)
11.6.1 卡氏定理求解超静定问题 ..	(232)	13.2.1 疲劳失效 .....	(268)
11.6.2 单位载荷法求解超静定问题 .....	(233)	13.2.2 疲劳极限 .....	(268)
11.6.3 力法求解超静定问题 .....	(234)	13.3 影响疲劳极限的主要因素 .....	(269)
11.6.4 对称与反对称性质的利用 ..	(237)	13.3.1 构件外形的影响 .....	(269)
知识归纳 .....	(241)	13.3.2 构件尺寸的影响 .....	(271)
思考题 .....	(242)	13.3.3 构件表面质量的影响 .....	(272)
习题 .....	(243)	13.4 疲劳强度计算 .....	(273)
<b>12 动载荷</b> .....	(249)	13.4.1 对称循环下构件的疲劳强度条件 .....	(273)
12.1 概述 .....	(250)	13.4.2 非对称循环下构件的疲劳强度 条件 .....	(274)
12.2 动静法的应用 .....	(250)	13.4.3 弯扭组合交变应力下构件的疲劳 强度条件 .....	(276)
12.2.1 构件作匀加速直线运动时的应力 与变形计算 .....	(250)	13.5 提高疲劳强度的措施 .....	(277)
12.2.2 构件作匀速转动时的应力和变形 计算 .....	(252)	13.5.1 减缓应力集中 .....	(277)
12.3 杆件受冲击时的应力和变形计算 .....	(255)	13.5.2 提高表面光洁度 .....	(278)
12.3.1 竖向冲击 .....	(255)	13.5.3 提高表面层质量 .....	(278)
12.3.2 水平冲击 .....	(256)	知识归纳 .....	(279)
12.4 冲击韧度 .....	(259)	思考题 .....	(279)
知识归纳 .....	(260)	习题 .....	(279)
思考题 .....	(261)	<b>附录 型钢表</b> .....	(281)
习题 .....	(261)	<b>参考文献</b> .....	(294)

# 绪 论

## 课前导读

---

### □ 内容提要

本章主要内容包括材料力学的任务、变形固体的基本假设、外力及其分类、变形与位移,以及杆件变形的基本形式。本章的教学重点为材料力学的任务和杆件变形的基本形式。教学难点为变形固体的基本假设和变形与位移。

### □ 能力要求

通过本章的学习,学生应明确材料力学的任务,理解变形固体的基本假设,了解外力及其分类、变形与位移,掌握杆件变形的基本形式。

## 1.1 材料力学的任务 >>>

材料力学将工程结构或机械的各组成部分统称为构件,如建筑物的梁和柱、车床的主轴和齿轮等。当工程结构或机械工作时,构件将受到载荷的作用。在载荷作用下,构件具有抵抗破坏和变形的能力。当所承受的载荷超过一定限度时,就会丧失承载能力而不能正常工作。一般来说,有如下三种形式:

①构件发生损坏。如车床的主轴断裂,车床将不能工作;飞机的机翼断裂、储气罐爆裂等,其后果不堪设想。

②构件变形过大,超过容许范围。如铁路桥梁在列车通过时若变形太大,必将影响列车正常行驶,危及行车安全;车床主轴变形过大,必将影响加工精度。

③构件不能稳定地保持原来的平衡形态。如铁路桁架桥梁的受压弦杆,若所受压力达到某一数值时会突然弯曲而失去原来的平衡形态,从而丧失承载能力,致使整个桥梁垮塌。

由此可知,要保证构件正常工作,构件必须具有足够的抵抗破坏的能力,即强度要求;必须具有足够的抵抗变形的能力,即刚度要求;必须具有足够的保持原有平衡形态的能力,即稳定性要求。

为了提高构件的强度、刚度和稳定性,若盲目地加大横截面尺寸,或选用优质材料,势必要提高成本、浪费材料、增加重量、降低效率,因而不经济。若构件的横截面尺寸不足,或形状不合理,或材料选用不当,将不能满足强度、刚度和稳定性的要求,从而不能保证工程结构或机械的安全工作。所以,材料力学的任务就是在满足强度、刚度和稳定性要求的前提下,为设计既经济又安全的构件,提供必要的理论基础和计算方法。

构件的强度、刚度和稳定性均与材料的力学性能有关,而这些力学性能需要通过材料力学实验来测定。此外,经过简化得出的理论是否可信,也要靠实验来验证。还有一些尚无理论结果的问题需借助实验来解决。因此,实验分析和理论研究都是材料力学解决问题的重要方法。

## 1.2 变形固体的基本假设 >>>

实际上,任何物体受力后都会发生变形。理论力学从研究目的出发,忽略物体的变形,将研究对象视为刚体。由于材料力学要研究物体的强度、刚度和稳定性,因此不能忽略物体的变形,而将研究对象视为变形固体。

变形固体的性质是多方面的。在研究构件的强度、刚度和稳定性时,仅考虑与问题有关的主要属性,略去一些次要属性,从而抽象出力学模型。因此,对变形固体作如下假设:

①连续性假设。一般认为材料无空隙地分布于物体所占的整个空间中,即材料在其整个体积内是连续的。这样就可以引入无限小的概念和微积分。实际上,材料内部总存在气孔、裂纹或微裂纹等缺陷,即使没有缺陷,组成物质的原子、分子间亦有空隙,因而介质是不连续的。但是,如果是从宏观角度来研究变形固体的力学性质,就可以认为物质是没有间隙地充满整个体积,即变形固体是连续介质。

②均匀性假设。一般认为在变形固体内到处有相同的力学性能。这样,如果从固体中取出一部分,无论大小,也无论从何处取出,其力学性能总是相同的。就金属材料来说,组成金属的各晶粒的力学性能并不完全相同,但金属材料包含许许多多的晶粒,而且各晶粒无规则地排列,固体的力学性能是各晶粒的力学性能的统计平均值,所以,变形固体各部分的宏观力学性能是均匀的。

③各向同性假设。一般认为沿任何方向,固体的力学性能都是相同的。就金属的单一晶粒而言,不同方向上的力学性能是不一样的,但金属材料包含许许多多的晶粒,而且各晶粒无规则地排列。这样,从宏观意义上沿各个方向的力学性能就接近相同了。具有这种属性的材料称为各向同性材料,如钢、铜等。沿不同方向力学性能不同的材料称为各向异性材料,如木材、纤维增强复合材料等。

### 1.3 外力及其分类 >>>

在研究某一构件时,常把这一构件从周围物体中单独取出,并用力来代替周围各物体对构件的作用,这些来自构件外部的力就是外力。外力按作用方式可分为体积力和表面力。分布在物体整个体积内的力称为体积力,如重力和惯性力。体积力作用在物体内各个质点上,通常情况下各点的体积力是不相同的,可用点的体积力集度来表示。分布在物体表面上的力称为表面力,如流体的压力、楼板对屋梁的作用力等。一般情况下,物体表面各点受力是不同的,可用点的表面力集度来表示。表面力又可分为分布力和集中力。分布力是连续作用在物体的某一区域内的力,如作用于船体上的水压力。若力作用在物体上的区域远小于物体的表面尺寸,可视为作用在一个点上,称为集中力,如火车车轮对钢轨的压力、卡车对一座长桥的作用力等。

按载荷随时间的变化特点,外力又可分为静载荷和动载荷。若载荷缓慢地由零增加到一定值,以后随着时间推移即保持不变,或变化十分微小,这样引起物体变形时各点的加速度为零或小到可以忽略,则称这种载荷为静载荷。例如,把机器缓慢地放置在基础上,机器的重量对基础的作用便是静载荷。若载荷在其作用过程中,随时间发生明显的变化,引起物体变形时各质点的加速度大到不能忽略,这样的载荷称为动载荷。例如,锻床对工件的打击力,内燃机气缸内的气体压力等。

构件在静载荷和动载荷作用下所表现出的力学性能颇不相同,分析方法也颇有差异。一般来说,静载荷问题比较简单,所建立的理论和分析方法又可作为解决动载荷问题的基础,因此,我们先研究静载荷问题。

### 1.4 变形与位移 >>>

变形固体在外力作用下将发生变形,若载荷不超过某一限度,卸除载荷后变形可自行消失。变形固体在卸除载荷后能恢复到其原来的形状和尺寸大小的这种性质称为弹性。卸除载荷后能消失的变形,称为弹性变形。在弹性变形过程中,若力与变形服从线性规律,称为线弹性变形;若力与变形不服从线性规律,称为非线性弹性变形。如果载荷超出了一定的限度,变形固体在卸除载荷后只有部分变形能自行消失,另一部分变形不能消失而残留下来,变形固体的这种性质称为塑性。部分不能消失而残留下来的变形则称为塑性变形。

若物体的变形量与物体变形前尺寸相比很微小,这样在建立其静力平衡方程时可以忽略其变形量,而使用物体变形前的尺寸,那么这种变形称为小变形。反之,在建立其静力平衡方程时若无法忽略其变形量,那么这种变形称为大变形。一般来说,发生大变形时,变形与力不再呈线性关系,属非线性力学问题。注意,材料力学只在小变形范围内研究。

在外力作用下发生变形时,物体内的各个质点都会因移动而产生绝对位移。如图 1-1 所示,悬臂梁产生弯曲变形时,点 A 移到了点 A',点 B 移到了点 B'。线段 AA'、线段 BB' 分别就是点 A 和点 B 的线位移。变形前物体内线段 AB 变形后移到 A'B',线段 AB 与线段 A'B' 间的夹角,就是线段 AB 的角位移。

在外力作用下发生变形时,物体内各个质点之间的相对位置也发生改变而产生相对位移。如图 1-2 所示。杆件产生拉伸变形时,杆件的伸长量实际上就是两端面各点的相对位移。

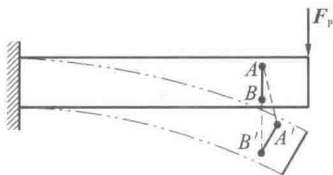


图 1-1



图 1-2

## 1.5 杆件变形的基本形式 >>>

工程实际中的构件有各种不同的形状。按其几何形状的不同可分为：

- ①块体。三个方向的尺寸都相当的构件,如图 1-3(a)所示。
- ②平板。两个方向的尺寸远大于另外一个方向的尺寸,且呈平面形状的构件,如图 1-3(b)所示。
- ③壳体。两个方向的尺寸远大于另外一个方向的尺寸,且呈曲面形状的构件,如图 1-3(c)所示。
- ④杆件。长度远大于横截面尺寸的构件,如图 1-3(d)所示。

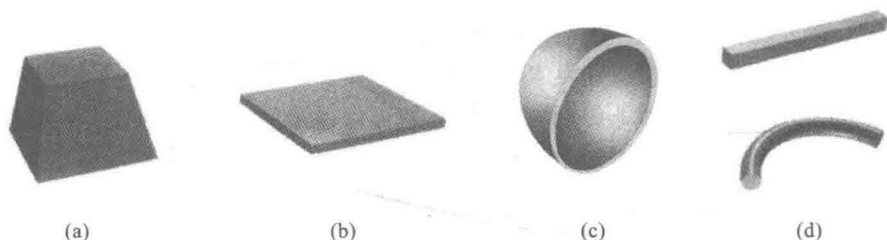


图 1-3

杆件的主要几何特征有两个,即轴线和横截面。杆件按轴线的曲直,可分为直杆和曲杆;按横截面是否沿轴线变化,又可分为等截面杆和变截面杆。轴线为直线且沿轴线横截面不发生变化的杆件称为等直杆。等直杆是材料力学研究的最主要对象。

在实际工程中,杆件受到各种各样的外力作用,杆件的变形也就有不同的形式。但归纳起来不外乎是以下四种基本形式中的一种,或是其中几种基本形式的组合。

### (1) 拉伸或压缩

作用线与杆件轴线重合的力,称为轴向力。当杆件两端承受轴向拉力或压力时,杆件将产生轴向伸长或缩短变形,如图 1-4 所示。这种受力与变形形式称为拉伸或压缩。起吊重物的钢索、桁架的杆件、油缸的活塞杆等的变形,都属于拉伸或压缩变形。

### (2) 剪切

作用线垂直于杆件轴线的力称为横向力。当杆件承受大小相等、方向相反、作用线互相平行且相距很近的两个横向力作用时,杆件的两个相邻截面将产生相互错动,如图 1-5 所示。这种受力与变形形式称为剪切。工程中常用的连接件(如铆钉、键、销钉等)在工作时都产生剪切变形。

### (3) 扭转

当杆件承受大小相等、转向相反、作用面都垂直于杆件轴线的两个力偶作用时,杆件的任意两个横截面将发生绕轴线的相对转动,如图 1-6 所示,这种受力与变形形式称为扭转。汽车的传动轴、方向盘的转向轴、电动机的主轴等在工作时都产生扭转变形。

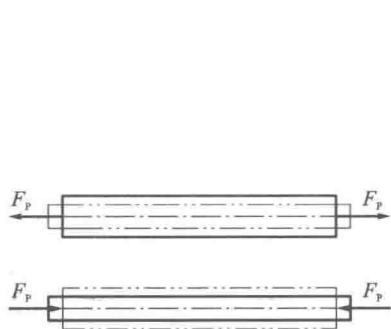


图 1-4

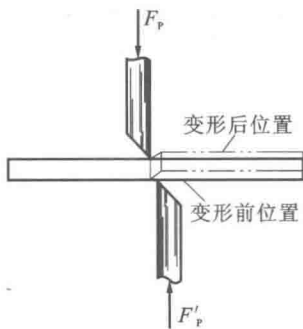


图 1-5

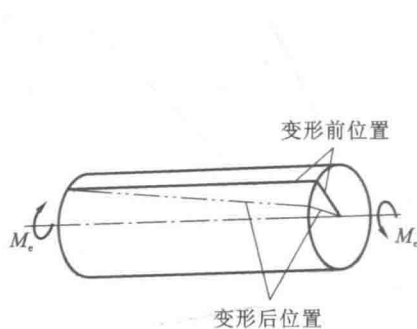


图 1-6

#### (4) 弯曲

当杆件在包含杆件轴线的纵向平面内,承受横向力,或一对大小相等、转向相反、作用面在纵向平面内的力偶作用时,杆件的轴线在加载平面内由直线变成曲线,如图 1-7 所示,这种受力与变形形式称为弯曲。桥式起重机的大梁、火车的轮轴、房屋中的横梁等在工作时都产生弯曲变形。

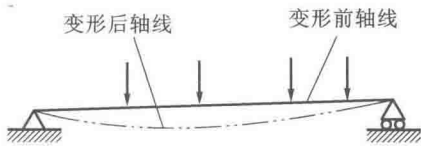


图 1-7

还有一些杆件同时发生几种基本变形,如曲梁在受载时发生弯曲和扭转两种基本变形;车床主轴工作时同时发生弯曲、扭转和压缩三种基本变形,等等。这种情况称为组合变形。在本书中,将依次讨论四种基本变形的强度和刚度问题,然后讨论组合变形。

### 知识归纳

(1) 材料力学的任务就是在满足强度、刚度和稳定性要求的前提下,为设计既经济又安全的构件,提供必要的理论基础和计算方法。

(2) 变形固体的基本假设:连续性假设、均匀性假设、各向同性假设。

(3) 外力可分为体积力、表面力;分布力、集中力;静载荷、动载荷。

(4) 变形可分为弹性变形、塑性变形;线性变形、非线性变形。位移可分为绝对位移、相对位移;线位移和角位移。变形与位移既有区别又有联系。

(5) 杆件的基本变形有拉伸或压缩、剪切、扭转和弯曲。杆件的组合变形是指两种或两种以上基本变形的组合。

### 思考题

1-1 材料的均匀性和各向同性假设有何区别?请形象地用图形来表示。

1-2 下列各种情况下,哪些是静载荷?哪些是动载荷?

- ① 千斤顶顶重物时所受到的压力;
- ② 起吊重物时钢索受到的拉力;
- ③ 水库中水对坝的压力;
- ④ 降雪过程中,积雪对屋顶的压力;
- ⑤ 冲床冲压工件时,冲头对工件的作用力;
- ⑥ 把重物很快地放到桌面上,重物对桌子的作用力。

1-3 下列力学现象中,哪些可用材料力学理论进行研究?哪些不能?为什么?

- ① 弓开如满月;
- ② 跳水运动员脚蹬跳板,使跳板变形;
- ③ 跳水运动员脚蹬跳台,使跳台变形;
- ④ 载重卡车驶过桥梁,使桥梁变形;
- ⑤ 转动汽车方向盘时,使转向轴扭转变形;
- ⑥ 撑竿跳高时撑竿的变形。



# 轴向拉伸、压缩 与剪切

## 课前导读

### □ 内容提要

本章主要内容包括杆件轴向拉伸、压缩时内力、应力、强度、变形的计算和简单拉、压静不定问题，以及剪切构件的强度计算。先研究拉(压)杆的强度和变形问题，再介绍材料的基本力学性质和材料力学的一些基本概念、分析方法，最后介绍剪切构件的实用计算方法。本章的教学重点为轴力及轴力图的作法，应力的概念和计算，典型工程材料的力学性能，轴向拉伸和压缩时的强度计算、变形计算，拉、压静不定问题求解的基本方法，常见连接件剪切和挤压的实用计算。教学难点为直杆受拉伸、压缩时横截面和斜截面上的应力分布规律及其计算公式、塑性材料与脆性材料力学性能的同、强度条件的建立、应变的概念、求解结构位移的方法、静不定问题计算方法，以及确定剪切面和挤压面，计算剪切面上的剪力和挤压面上的挤压力。

### □ 能力要求

通过本章的学习，学生应了解拉(压)杆受力和变形特点，掌握求内力的截面法及轴力图的作法；明确直杆受拉伸、压缩时横截面和斜截面上的应力分布规律，熟练掌握正应力的计算公式；掌握典型材料在拉伸和压缩时的应力-应变图及其相应的力学性质；熟练掌握轴向拉伸和压缩时的强度计算；掌握杆件在轴向拉伸或压缩时的变形公式及基于小变形原理求位移的方法；掌握求解拉、压静不定问题的基本方法；了解局部应力的概念和圣维南原理，能正确地确定剪切面和挤压面；掌握常见连接件强度计算的实用方法。