



智慧图书·建筑书系

全国土木工程类实用创新型规划教材

CAILIAO LIXUE

材料力学

主审/申向东
主编/王静



哈尔滨工业大学出版社





智慧图书·建筑书系

全国土木工程类实用创新型规划教材

材料力学

CAILIAO LIXUE

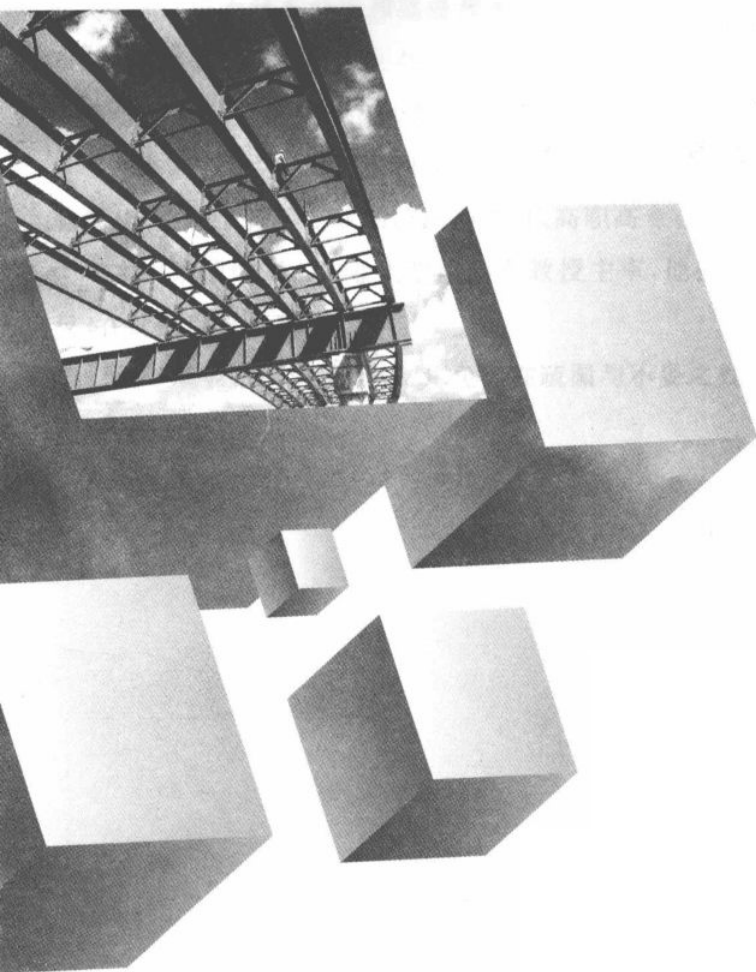
主审 申向东

主编 王静

副主编 韩立夫 胡敏 谢春霞 魏丽丽

编者 曹泽民 李延 许霞 张燕

于巾茹



哈尔滨工业大学出版社



内容简介

本书是依据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研究制定的《理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》中《“材料力学”课程教学基本要求》，并结合应用型本科培养目标编写的。

全书分为7个模块，内容包括：绪论、平面图形的几何性质、内力及内力图、应力和变形、应力状态分析和强度理论、强度计算和刚度计算、轴心压杆的稳定性计算、动荷载作用下的动应力计算。在每个模块前有模块概述、知识目标、能力目标和学习重点，使学生明确每个模块的教学主线及要求。利用重点串联的形式总结提炼出本模块相关知识的内在联系，最后通过拓展与实训、链接执考等环节达到进一步强化学习、提高分析解决问题的能力。

本书适合土木工程、水利水电工程、农业水利工程、给排水科学与工程、机械自动化、交通工程等专业的应用型本科、高职高专、成人教育等各专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/王静主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2014. 7

ISBN 978-7-5603-4775-2

I. ①材… II. ①王… III. ①材料力学—高等学校—教材 IV. ①TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 121538 号

责任编辑 张 瑞

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 三河市越阳印务有限公司

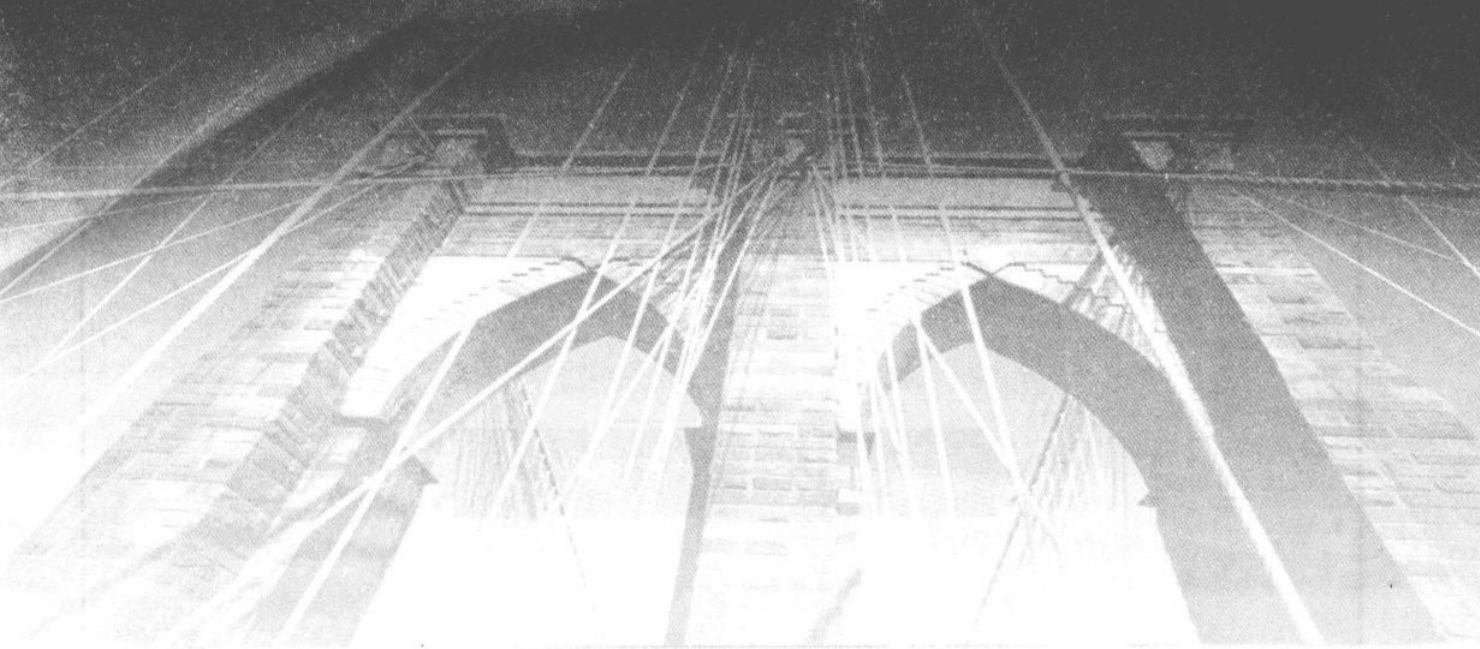
开 本 850mm×1168mm 1/16 印张 12 字数 360 千字

版 次 2014 年 11 月第 1 版 2014 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4775-2

定 价 25.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)



本书编写时结合了编者多年的教学经验,汇集了合作院校教师的优秀思想,注重基础性、实用性和科学性。在保证知识完整性和系统性的前提下,对教学内容进行了有机整合,按照材料力学的任务,从内力到应力和变形,再到强度和刚度计算及稳定性计算,进行了模块划分。

全书分为7个模块,内容包括绪论、平面图形的几何性质、内力及内力图、应力和变形、应力状态分析和强度理论、强度计算和刚度计算、轴心压杆的稳定性计算、动荷载作用下的动应力计算。每个模块采用思维导图进行归纳总结,并分别附有拓展与实训和链接执考,便于学生进行自我训练提高。

本书适合土木工程、水利水电工程、农业水利工程、给排水科学与工程、机械自动化、交通工程等专业的应用型本科、高职高专、成人教育等各专业使用。

本书承蒙内蒙古农业大学申向东教授主审,他提出了许多精辟而中肯的意见,在此致以衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏与不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

Preface

前 言

编 审 委 员 会

主 任:胡兴福

副主任:李宏魁 符里刚

委 员:(排名不分先后)

胡 勇	赵国忱	游普元
宋智河	程玉兰	史增录
张连忠	罗向荣	刘尊明
胡 可	余 斌	李仙兰
唐丽萍	曹林同	刘吉新
武鲜花	曹孝柏	郑 睿
常 青	王 斌	白 蓉
张贵良	关 瑞	田树涛
吕宗斌	付春松	蒙绍国
莫荣锋	赵建军	易 斌
程 波	王右军	谭翠萍
边喜龙		

• • • 本书学习导航 • • •

包括知识目标和技能目标,列出了学生应了解与掌握的知识点。

学习目标

模块 1

平面图形的几何性质

【模块概述】

本章主要介绍平面图形的几何性质,包括形心、重心、惯性矩、回转半径、极惯性矩、惯性积等。本章是后续章节学习的基础,也是工程技术人员必须掌握的基本知识。

【学习目标】

学习目标	考核要求
1. 掌握形心、重心、惯性矩、回转半径、极惯性矩、惯性积的定义和计算公式。	1. 了解形心、重心、惯性矩、回转半径、极惯性矩、惯性积的定义和计算公式。
2. 掌握形心、重心、惯性矩、回转半径、极惯性矩、惯性积的求解方法。	2. 掌握形心、重心、惯性矩、回转半径、极惯性矩、惯性积的求解方法。
3. 掌握形心、重心、惯性矩、回转半径、极惯性矩、惯性积的应用。	3. 掌握形心、重心、惯性矩、回转半径、极惯性矩、惯性积的应用。

【学习重点】

形心、重心、惯性矩、回转半径、极惯性矩、惯性积的求解方法。

【考核建议】

1. 选择题

建议课时,课时建议供教师参考。

简要介绍本模块与整个工程项目的联系,在工程项目中的意义,或者与工程建设之间的关系等。

模块概述

模块 2

杆件的应力分析

【模块概述】

本章主要介绍杆件的应力分析,包括拉压应力、剪切应力、弯曲应力、扭转应力等。本章是后续章节学习的基础,也是工程技术人员必须掌握的基本知识。

【学习目标】

学习目标	考核要求
1. 掌握拉压应力、剪切应力、弯曲应力、扭转应力的定义和计算公式。	1. 了解拉压应力、剪切应力、弯曲应力、扭转应力的定义和计算公式。
2. 掌握拉压应力、剪切应力、弯曲应力、扭转应力的求解方法。	2. 掌握拉压应力、剪切应力、弯曲应力、扭转应力的求解方法。
3. 掌握拉压应力、剪切应力、弯曲应力、扭转应力的应用。	3. 掌握拉压应力、剪切应力、弯曲应力、扭转应力的应用。

【学习重点】

拉压应力、剪切应力、弯曲应力、扭转应力的求解方法。

【考核建议】

1. 选择题

模块导图

用结构图将整个模块的重点内容贯穿起来,给学生完整的模块概念和思路,便于复习总结。

【模块概述】

本章主要介绍平面图形的几何性质,包括形心、重心、惯性矩、回转半径、极惯性矩、惯性积等。本章是后续章节学习的基础,也是工程技术人员必须掌握的基本知识。

【学习目标】

1. 掌握形心、重心、惯性矩、回转半径、极惯性矩、惯性积的定义和计算公式。

2. 掌握形心、重心、惯性矩、回转半径、极惯性矩、惯性积的求解方法。

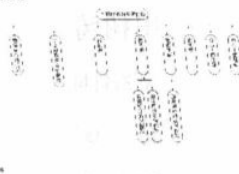
3. 掌握形心、重心、惯性矩、回转半径、极惯性矩、惯性积的应用。

【学习重点】

形心、重心、惯性矩、回转半径、极惯性矩、惯性积的求解方法。

【考核建议】

1. 选择题



拓展与实训

包括基础训练、链接执考两部分,从不同角度考核学生对知识的掌握程度。

模块 0 绪论

- 0.1 材料力学发展概况/001
- 0.2 材料力学的研究任务/002
- 0.3 变形体及其基本假定/003
- 0.4 杆件的基本变形形式/005

模块 1 平面图形的几何性质

模块概述/007

学习目标/007

学习重点/007

课时建议/007

- 1.1 平面图形的形心位置和面积矩/008
 - 1.1.1 重心和形心/008
 - 1.1.2 面积矩/009
- 1.2 惯性矩、极惯性矩、惯性积/010
 - 1.2.1 惯性矩/010
 - 1.2.2 极惯性矩/010
 - 1.2.3 惯性积/010
 - 1.2.4 组合图形的几何参数/012
- 1.3 平行移轴公式/013
- 1.4 形心主惯性轴、形心主惯性矩/015
 - 1.4.1 惯性矩和惯性积的转轴公式/015
 - 1.4.2 形心主惯性轴和形心主惯性矩/015

重点串联/016

拓展与实训/017

基础训练/017

链接执考/019

模块 2 杆件的内力分析

模块概述/021

学习目标/021

学习重点/021

课时建议/021

- 2.1 轴心拉压杆的内力及内力图/022
 - 2.1.1 轴心拉压杆的受力特点/022
 - 2.1.2 用截面法求轴心拉压杆的内力/022
 - 2.1.3 轴心拉压杆的内力图/023

2.2 受扭圆轴的内力及内力图/026

- 2.2.1 受力变形特点/026
- 2.2.2 外力偶矩的换算公式/026
- 2.2.3 用截面法求受扭圆轴的内力/027
- 2.2.4 受扭圆轴的内力图/028

2.3 平面弯曲梁的内力及内力图/030

- 2.3.1 受力变形特点/030
- 2.3.2 梁的计算简图/031
- 2.3.3 静定梁的 3 种基本形式/031
- 2.3.4 梁弯曲时横截面上的内力——剪力和弯矩/031
- 2.3.5 用写方程的方法求解梁的内力/033
- 2.3.6 剪力、弯矩和荷载集度之间的关系/038
- 2.3.7 用“叠加法”绘制梁的弯矩图/043

重点串联/048

拓展与实训/049

基础训练/049

链接执考/050

模块 3 应力和变形

模块概述/052

学习目标/052

学习重点/052

课时建议/052

3.1 应力、应变及相互关系/053

- 3.1.1 应力/053
- 3.1.2 线应变和胡克定律/054
- 3.1.3 切应变和剪切胡克定律/054
- 3.1.4 切应力互等定理/055

3.2 轴向拉压杆的应力和变形/055

- 3.2.1 轴向拉(压)杆的应力/055
- 3.2.2 轴向拉压杆的变形/059

3.3 圆轴扭转的应力和变形/061

- 3.3.1 圆轴扭转时的应力/061
- 3.3.2 圆轴扭转时的变形/064

3.4 平面弯曲梁的应力/066

- 3.4.1 纯弯曲与横力弯曲/066
- 3.4.2 纯弯曲梁横截面上的正应力/066
- 3.4.3 横力弯曲梁横截面上的正应力/070

3.4.4 横力弯曲梁横截面上的切应力/071

3.5 平面弯曲梁的变形/076

3.5.1 平面弯曲梁的变形/076

3.5.2 挠曲线近似微分方程/076

3.5.3 积分法求梁的转角和挠度/077

3.5.4 叠加法计算梁的变形/078

❖重点串联/080

❖拓展与实训/081

✱基础训练/081

✱链接执考/083

模块4 应力状态分析和强度理论

模块概述/084

学习目标/084

学习重点/084

课时建议/084

4.1 应力状态的概念/085

4.1.1 一点处的应力状态/085

4.1.2 主应力及应力状态的分类/085

4.2 平面应力状态分析的数解法/086

4.2.1 二向应力状态下斜截面上的应力/086

4.2.2 主应力及主平面的方位/087

4.2.3 切应力的极值及其所在平面/087

4.3 平面应力状态分析的图解法/088

4.3.1 应力圆方程/088

4.3.2 应力圆的应用/089

4.3.3 利用应力圆确定主应力、主平面和最大切应力/090

4.4 三向应力状态/091

4.5 平面应力状态下的应变分析/092

4.5.1 任意方向应变的解析表达式/092

4.5.2 主应变及主应变方向/093

4.6 广义胡克定律/093

4.7 强度理论及相当应力/096

4.7.1 强度理论/096

4.7.2 相当应力/096

4.7.3 强度理论的应用/097

❖重点串联/097

❖拓展与实训/098

✱基础训练/098

✱链接执考/099

模块5 强度计算和刚度计算

模块概述/100

学习目标/100

学习重点/100

课时建议/100

5.1 材料的力学性能/101

5.1.1 低碳钢拉伸时的力学性能/101

5.1.2 其他塑性材料拉伸时的力学性能/103

5.1.3 铸铁拉伸时的力学性能/104

5.1.4 材料压缩时的力学性能/104

5.1.5 许用应力与安全系数/105

5.2 构件的强度条件和刚度条件/105

5.2.1 构件的失效模式/105

5.2.2 构件的强度条件/105

5.2.3 构件的刚度条件/106

5.3 轴心拉压杆的强度计算/106

5.3.1 轴心拉压杆的强度条件/106

5.3.2 强度条件的应用/106

5.4 梁的强度计算和刚度计算/108

5.4.1 梁的正应力强度计算/108

5.4.2 梁的切应力强度条件/110

5.4.3 梁的刚度条件/112

5.5 轴的扭转强度计算/112

5.5.1 受扭圆轴的强度计算/112

5.5.2 受扭圆轴的刚度计算/113

5.6 连接件的强度计算/114

5.6.1 抗剪强度计算/114

5.6.2 挤压强度计算/115

5.7 组合变形/115

5.7.1 斜弯曲/116

5.7.2 拉伸弯曲组合/117

5.7.3 弯曲扭转组合变形/117

❖重点串联/118

❖拓展与实训/119

✱基础训练/119

✱链接执考/120

模块6 轴心压杆的稳定性计算

模块概述/122

学习目标/122

学习重点/122

课时建议/122

- 6.1 轴心压杆稳定性的概念/123
- 6.2 临界力和临界应力/125
 - 6.2.1 细长压杆临界力计算公式——欧拉公式/125
 - 6.2.2 细长压杆临界应力计算公式/131
 - 6.2.3 中长杆的临界力计算——经验公式、临界应力总图/132
- 6.3 压杆的稳定性校核/135
 - 6.3.1 压杆稳定许用应力的确定/135
 - 6.3.2 压杆的稳定条件/140
- 6.4 提高压杆稳定性的措施/147
 - 6.4.1 选择合理的截面形状/147
 - 6.4.2 设法改变压杆的约束条件/149
 - 6.4.3 合理选择压杆的材料/149
- ❖重点串联/149
- ❖拓展与实训/150
 - ✱基础训练/150
 - ✱链接执考/152

模块7 动荷载作用下的动应力计算

模块概述/154

学习目标/154

学习重点/154

课时建议/154

- 7.1 概述/155
- 7.2 构件等加速平动和等匀速转动问题/155
 - 7.2.1 构件等加速平动/155
 - 7.2.2 构件等匀速转动/156
- 7.3 冲击荷载问题/157
- 7.4 交变荷载问题和疲劳破坏/160
 - 7.4.1 交变应力和疲劳破坏/160
 - 7.4.2 交变应力的基本参数/160
- ❖重点串联/161
- ❖拓展与实训/162
 - ✱基础训练/162

参考答案/164

附录/168

参考文献/181

模块

0

绪论



0.1 材料力学发展概况

与其他学科一样,材料力学的产生与发展是生产的发展所推动的,同时反过来又对社会生产实践起指导作用。人类从长期生产、生活实践中不断制造和改造各种工具、建造各种结构物,这就不能不使用各种材料,从最初使用的天然材料:石、竹、木材等到后来使用的砖、铜、铁、水泥、钢筋等,并在长期使用过程中逐渐认识了材料的各种性能,并能结合构件受力特点正确使用材料。

我国是世界文明发达最早的国家之一,勤劳智慧的中国人民对合理利用各种材料力学性能,制造各种器械和建筑物具有丰富的知识。3 500 年前就使用了木结构,在 3 000 多年前就用辐条代替了车轮圆板,2 000 多年前就开始使用铁轴。在春秋战国时代的铜器上已经看到我国特有的斗拱结构图案。特别是至今尚完整保存的河北赵州桥比世界上同类型石拱桥要早 1 200 多年,并在构造处理和施工方法上有诸多创新。我国很早就利用抗拉性能较好的铁索建造悬索桥,如红军长征时强渡的大渡河泸定桥,是在 1696 年(清康熙四十五年)建造的,是当时世界上第一座长达 100 m 的铁索桥。

总之,我国人民对有关材料强度的基本规律,以及石、铁、竹、木等材料力学性质的合理使用与创造性的劳动在历史的长河中留下了许多不可磨灭的记忆。从 2 世纪开始就创造了各种水力机械,如水磨、水排、水转翻车、水力纺织机等,这些在古罗马、埃及、印度也有类似创造,不过出现的时期较我国晚一些。直到 14 世纪我国在这方面的成就都居于世界前列。

至 14 世纪以后,随着资本主义的兴起和发展,在欧洲各国,海外贸易活跃,采矿冶金工业萌芽和发展等新经济情况,提出了一系列新的复杂的技术问题。例如,满足海内外贸易要求需增大航船的吨位,修建水闸改进内河交通等。意大利科学家伽利略正是为了解决建造船只和水闸门口需要的梁的设计问题,一方面总结了前人的经验,一方面进行刻苦钻研,通过试验与计算,初步研究梁及其他杆件的截面尺寸与其承担荷载间的关系,并于 1638 年把他的研究成果在《关于两种新科学的叙述和数学证明》一书中正式发表,使他成为第一个提出强度计算概念的科学家。现在普遍认为正是伽利略开创了“材料力学”这门新学科的发展。作为材料力学物理基础的力与变形关系是由英国科学家胡克(R. Hooke, 1635—1703)通过对一系列试验资料的总结于 1678 年提出的,即著名的胡克定律。

18 世纪后材料力学得到迅速发展,机器的广泛运用,钢材由实体变为薄壁,稳定问题的提出,俄国彼得堡科学院院士欧拉(L. Euler, 1707—1783)研究了压杆稳定理论;俄国大科学家罗蒙诺索夫(M.

Z. TlomoHocoB, 1711—1765) 开始用试验方法研究机械的力学性质, 法国工程师库仑 (C. A. Coulomb, 1736—1806) 对弯曲和扭转等问题做了理论及试验研究, 得出了梁的正应力和圆轴扭转、剪应力的正确结论。

19 世纪中期, 由于铁路的兴建, 大大推动了材料力学向各个方向发展, 机车轴损伤问题引起了交变应力的研究, 铁路钢架中稳定问题促使压杆弹性稳定性的研究, 同时促使人们对动荷载、振动、冲击等问题展开了研究。

20 世纪中期, 航空工业的发展又大大推动了材料力学的研究, 由于飞机质量的限制, 促进了对轻型薄壳结构的研究、喷气发动机在高温下工作、材料在高温下的力学性能的研究。近年来由于人造卫星和宇宙飞船等的发展, 又促使材料在高温下强度问题的进一步研究、动荷载问题、光弹性力学及电测技术等试验方法的研究, 并随着高强度材料的运用, 出现构件由于存在初始裂纹而发生低应力脆断事故, 又促进了对带裂纹材料和结构的强度及裂纹扩展规律的研究等。

第一本《材料力学》教材, 是法国科学家纳维 (C. L. M. H. Navier, 1785—1836) 于 1826 年编写出版的。三峡大坝及三峡五级大型船闸的建成, 南水北调工程的开工, 长江上许多各种形式的跨江大桥、鸟巢和水立方等许多具有世界先进技术水平的工程, 尤其是航空航天卫星的崛起, 计算机的出现且不断更新换代, 各种新型材料 (复合材料、纳米及高分子材料) 不断问世并运用于工程实践, 试验设备日趋完善提高, 使材料力学这门古老的学科注入新的活力、新涉猎领域更为广泛, 特别在日趋完备不断推陈出新的建筑领域仍散发着灿烂的光辉。



0.2 材料力学的研究任务

人们在改善生活和征服自然、改造自然的活动中, 经常要建筑各种各样的建筑物。任何一座建筑物 (水工建筑、工业与民用建筑、桥梁隧道等), 都是由很多的零部件按一定的规律组合而成的, 这些零部件统称为构件。如图 0.1 所示为传统具有柱、檩、椽的木制房屋结构。

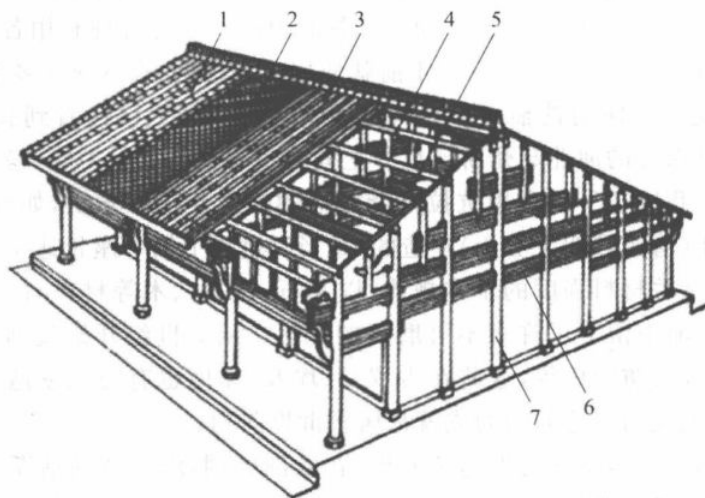


图 0.1 传统具有柱、檩、椽的木制房屋结构

1—瓦; 2—竹篾编织物; 3—椽; 4—檩; 5—斗枋; 6—穿枋; 7—柱

根据构件的主要几何特征, 可将其分成若干种类型, 其中一种称为杆件, 它是材料力学研究的主要对象。

杆件的几何特征是长度 l 远大于横向尺寸 (高 h 、宽 b 或直径 d)。其轴线 (横截面形心的连线) 为直线的称为直杆 (图 0.2(a)); 轴线为曲线的称为曲杆 (图 0.2(b))。截面变化的杆称为变截面杆; 截面不变化的直杆简称为等直杆。等直杆是最简单也是最常见的杆件, 如图 0.2(a) 所示。工程中的梁、轴、柱均属于杆件。

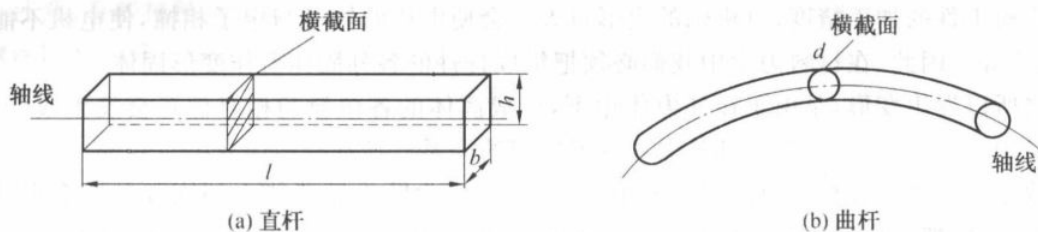


图 0.2 杆件

当建筑物承受外力作用(或其他外在因素的影响)时,组成该建筑物的各杆件都必须能够正常地工作,这样才能保证整个建筑物的正常工作。为此,要求杆件不发生破坏,如建筑物的大梁断裂时,整个结构就无法使用。不破坏并不一定能正常工作,若杆件在外力作用下发生过大的变形,也不能正常工作,如,吊车梁若因荷载过大而发生过度的变形,吊车就不能正常行驶。又如,机床主轴若发生过大的变形,则引起振动,影响机床的加工质量。此外,有一些杆件在荷载作用下,其所有的平衡形式可能丧失稳定性。例如,受压柱如果是细长的,则在压力超过一定限度后,就有可能明显地变弯。直柱受压突然变弯的现象称为丧失了稳定性。杆件失稳将造成类似房屋倒塌的严重后果。总而言之,杆件要能正常工作,必须同时满足以下 3 方面的要求:

① 不会发生破坏,即杆件必须具有足够的强度。

② 不产生过大变形,发生的变形能限制在正常工作许可的范围以内,即杆件必须具有足够的刚度。

③ 不失稳,杆件在其原有形状下的平衡应保持为稳定的平衡,即杆件必须具有足够的稳定性。

这 3 方面的要求统称为构件的承载能力。一般来说,在设计每一杆件时,应同时考虑到以上 3 方面的要求,但对某些具体的杆件来说,有时往往只需考虑其中的某一主要方面的要求(例如以稳定性为主),当这些主要方面的要求满足了,其他两个次要方面的要求也就自动地得到满足。

当设计的杆件能满足上述 3 方面的要求时,就可认为设计是安全的,杆件能够正常工作。一般说来,只要为杆件选用较好的材料和较大的几何尺寸,安全总是可以保证的,但这样又可能造成财力、人力和物力上的浪费,不符合经济原则。显然,过分地强调安全可能会造成浪费,而片面地追求经济可能会使杆件设计不安全,这样安全和经济就会产生矛盾。材料力学正是解决这种矛盾的一门科学。根据材料力学的知识,就能知道怎样在保证安全的条件下尽量地使杆件消耗最少的材料。也正是由于这种矛盾的不断出现和不断解决,才促使材料力学不断地向前发展。

为了能既安全又经济地设计杆件,除了要有合理的理论计算方法外,还要了解杆件所使用材料的力学性能。有的材料的力学性能虽然从有关手册中可以找到,但是有的情况下还必须自己测定,因此还必须掌握材料力学的试验技术。通过杆件的材料力学试验,一方面可以测定各种材料的基本力学性质;另一方面,对于现有理论不足以解决的某些形式复杂的杆件设计问题,有时也可以根据试验的方法得到解决。故试验工作在材料力学中也占有重要的地位。

综上所述,我们可得出如下结论:材料力学是研究杆件的强度、刚度和稳定性的学科,它提供了有关的基本理论、计算方法和试验技术,使我们能合理地确定杆件的材料和截面形式尺寸,以达到安全与经济的目的。



0.3 变形体及其基本假定

材料力学研究的主要问题是杆件的强度、刚度和稳定性问题,因此,制成杆件的物体就应该是变形固体,而不能像理论力学中那样认为是刚体。变形固体的变形就成为它的主要基本性质之一,必须予以重视。例如,在土建、水利工程中,组成水闸闸门或桥梁的个别杆件的变形会影响到整个闸门或桥梁的稳固,基础的刚度会影响到大型坝体内的应力分布;在机电设备中,机床主轴的变形过大就不

能保证机床对工件的加工精度,电机轴的变形过大就会使电机的转子与定子相撞,使电机不能正常运转,甚至损坏等。因此,在材料力学中我们必须把组成杆件的各种固体看作变形固体。

固体之所以发生变形,是由于在外力作用下,组成固体的各微粒的相对位置会发生改变的缘故。在材料力学中,我们要着重研究这种外力和变形之间的关系。

大多数变形固体具有在外力作用下发生变形,但在外力除去后又能立刻恢复其原有形状和尺寸大小的特性,我们把变形固体的这种基本性质称为弹性,把具有这种弹性性质的变形固体称为完全弹性体。若变形固体的变形在外力除去后只能恢复其中一部分,这样的固体称为部分弹性体。部分弹性体的变形可分为两部分:一部分是随着外力除去而消失的变形,称为弹性变形;另一部分是在外力除去后仍不能消失的变形,称为塑性变形(残余变形或永久变形)。

严格地说,自然界中并没有完全弹性体,一般的变形固体在外力作用下,总会是既有弹性变形也有塑性变形。不过,试验指出,像金属、木材等常用建筑材料,当所受的外力不超过某一限度时,可以看成是完全弹性体。

为了能采用理论的方法对变形固体进行分析和研究,从而得到比较通用的结论,在材料力学中,有必要根据固体材料的实际性质,进行科学的抽象假定,正像在理论力学中可以把固体当作绝对刚体一样。这是因为真实固体的性质非常复杂,每一门科学都只能从某一角度来研究它,即只研究其性质的某一方面。为了研究上的方便,就有必要将那些和问题无关或影响不大的次要因素加以忽略,而只保留与问题有关的主要性质。为此提出如下有关变形固体的基本假定。

1. 连续均匀假定

根据近代物理学的知识,组成固体的各微粒之间都存在着空隙,而并不是密实的、连续的;同时,真实固体的结构和性质也不是各处均匀一致的。例如,所有金属都是晶体物质,具有晶体的结构,若在同一金属物体中取出几个小块,其大小和晶粒的大小差不多,则在几个晶粒交接处所取出的小块(图 0.3 中 B)的性质,显然与在一个晶粒内所取出的小块(图 0.3 中 A)的性质不会相同。不过在材料力学中所研究物体的大小比晶体要大得多,从同一金属物体不同部分所取的任何小的试件里,都会包含着非常多的、排列错综复杂的晶粒。故在这些试件之间,由于个别晶粒性质不同所引起的差别,就忽略不计了。又如混凝土物体也有类似情况,在混凝土物体中,石块、砂子和水泥是混杂地固结在一起的,若只考虑个别的石块、砂子和水泥微粒,它们的性质是很不同的,但因一般混凝土建筑物的体积都比较大,我们从建筑物中取出的任一块混凝土试件,都必定会包含很多的石块、砂子和水泥在内,故可认为混凝土也是均匀材料。另外,对比组成固体的微粒大很多的物体来讲,考虑微粒间空隙的存在也是没有意义的。故可认为,材料是毫无空隙地充满在物体的整个几何容积中,且物体的性质在各处都均匀一致。

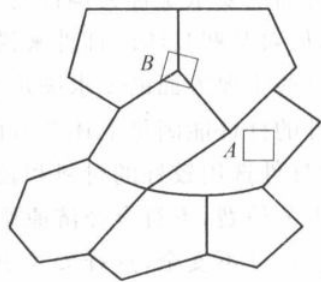


图 0.3 晶体材料中的小块

根据这一假定,我们就可以从物体中的任何部分取出微小的立方体来研究物体的性质,同时也可把那些大尺寸试件在试验中所获得的材料性质,应用到微小的立方体上。此外,对于有明显裂纹的材料,就不能看成是连续的,这种材料制成的杆件将由断裂力学来研究。

2. 各向同性假定

在晶体物质中,每个晶粒在不同的方向有不同的性质,故单晶体的性质是有方向性的。但如上所述,一般物体的体积远大于单个晶粒的体积,无数晶粒在物体内部错综交叠地排列着,材料在各个方向的力学性质必然趋向一致。故可将钢铁等多晶体金属材料认为是各向同性材料。至于均匀的非晶体材料,一般都是各向同性的,故可认为塑胶、玻璃和浇筑得较好的混凝土等都是各向同性材料。

有了材料各向同性的假定,我们就可以在物体的同一处沿不同方向截取出性质相同的微小立方

体。但应注意,有些材料只在某一方向上才有相同的性质,称之为单向同性材料,例如各种轧制钢筋、冷拉的钢丝以及纤维整齐的木材等都是单向同性材料。单向同性材料在相同方向可以应用各向同性理论。至于完全不具备各向同性和单向同性的材料,例如纤维纠结杂乱无章的木材、经过冷扭的钢丝、胶合板、纺织品等都是各向异性材料,将在复合材料力学中予以研究。

3. 弹性小变形假设

固体材料在荷载的作用下所发生的变形可分为弹性变形和塑性变形。荷载卸除后能完全消失的变形称为弹性变形,不能消失的变形称为塑性变形。一般地说,当荷载不超过一定范围时,材料只产生弹性变形。弹性变形可能很小也可能很大,在材料力学中通常做出小变形假设。认为构件的变形极其微小,比构件本身尺寸要小得多。如图 0.4 所示, δ 远小于构件的最小尺寸,所以通过节点平衡求各杆内力时,把支架的变形略去不计。计算得到很大的简化。

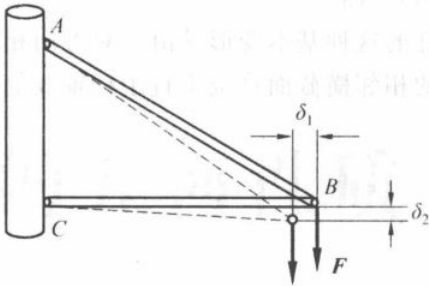


图 0.4 构件发生微小变形

综上所述,材料力学认为一般的工程材料是连续均匀、各向同性的变形固体。材料力学主要研究在线弹性范围内小变形条件下的强度、刚度、稳定性问题。



0.4 杆件的基本变形形式

工程实际中的杆件可能受到各式各样的外力作用,故杆件的变形也可能是各种各样的,但根据任一空间力向截面形心简化和在轴线上投影可以看出,杆件变形总不外乎是以下 4 种基本变形中的一种或是其中任意几种的组合。

(1) 轴心拉伸和压缩

杆的这种基本变形是由力作用线与杆轴线重合的外力所引起的(图 0.5(a)、(b)),直杆的主要变形是长度的改变。

(2) 剪切

杆的这种基本变形是由一对相距很近、方向相反的横向外力所引起的(图 0.5(c)),直杆的主要变形是横截面沿外力作用方向发生相对错动。

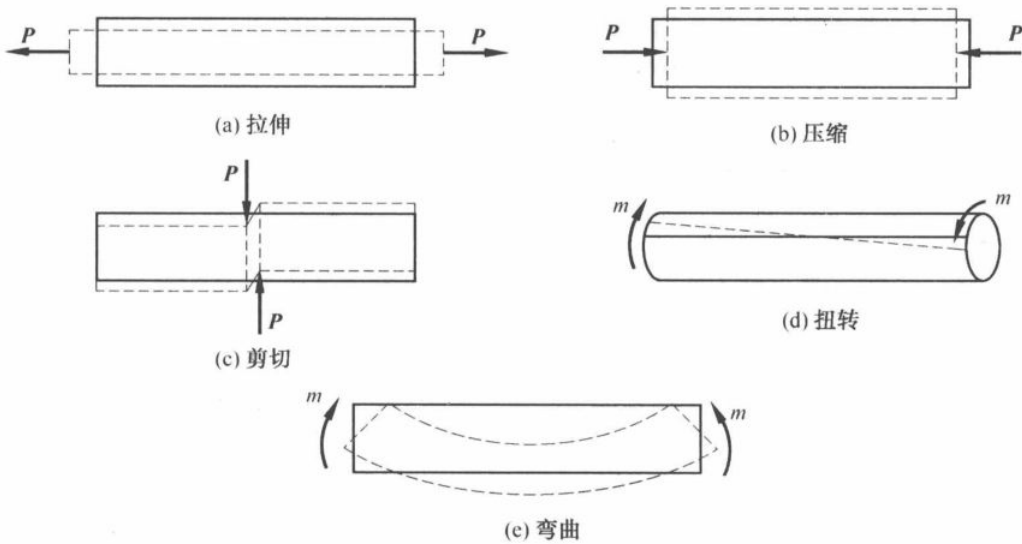


图 0.5 杆件的基本变形

(3) 扭转

杆的这种基本变形是由一对转向相反、作用在垂直于杆轴线的两平面内的力偶所引起的(图 0.5(d)),直杆的主要变形是相邻横截面将绕轴线发生相对转动,杆件表面纵向线将变成螺旋线,而轴线仍维持直线。

(4) 弯曲

杆的这种基本变形是由一对方向相反、作用在杆的纵向对称平面内的力偶所引起的(图 0.5(e)),直杆的相邻横截面将绕垂直于杆轴线的轴发生相对转动,变形后的杆件轴线将弯成曲线。



入总组变本基的骨杆



(2) 平面内的平面图形(图1.1),其形心问题转化为二维问题:

求平面内图形的形心问题



模块

1

平面图形的几何性质

【模块概述】

计算杆在外力作用下的应力和变形时,需要用到与杆的横截面形状、尺寸有关的几何量,例如在轴向拉伸或压缩问题中,需要用到杆的横截面面积 A ;圆杆扭转问题中,需要用到横截面的极惯性矩和扭转截面系数;在弯曲问题和组合变形问题中,还要用到面积矩和惯性矩等。所有这些与杆的横截面(即平面图形)的形状和尺寸有关的量称为平面图形的几何性质。本章将介绍平面图形的各种几何性质的计算方法。

【学习目标】

知识目标	能力目标
1. 掌握面积矩及惯性矩的概念; 2. 熟悉惯性积及极惯性矩的概念; 3. 会进行各种面积矩、惯性矩的计算; 4. 掌握平行移轴公式的使用; 5. 了解组合图形的几何参数及形心主惯性轴、形心主惯性矩的概念。	培养学生勤于思考,会利用本模块知识分析解决实际工程中构件的合理截面形式。

【学习重点】

面积矩和惯性矩的概念、面积矩和惯性矩的计算、平行移轴公式的应用。

【课时建议】

4~6 课时



1.1 平面图形的形心位置和面积矩

1.1.1 重心和形心

1. 重心

地球表面上的任何物体,都受到地球对它的吸引力,即重力的作用。如果把一个物体分成许多微小部分,则这些微小部分所受的重力形成汇交于地心的空间汇交力系。但是由于地球的半径很大,这些微小部分所受的重力可看成空间平行力系,该力系的合力的大小就是该物体的重量,合力的作用点就是该物体的重心。物体重心的位置是唯一的,不随物体空间方位的变化而变化。物体的重心不一定在物体上,例如一个圆环的重心在圆心上。

对重心的研究在实际工程中具有重要意义,例如,水坝、挡土墙、起重机等的倾覆稳定性问题就与这些物体的重心位置有直接关系;混凝土振捣器,其转动部分的重心必须偏离转轴才能发挥预期的作用;在建筑设计中,重心的位置影响着建筑物的平衡与稳定;在建筑施工过程中,采用两吊点起吊柱子就是保证柱子重心在两吊点之间。

根据静力学力矩理论,可以得到重心的坐标公式。

(1) 一般物体重心的坐标

$$\begin{aligned}x_c &= \frac{\int_G x dG}{G} \\y_c &= \frac{\int_G y dG}{G} \\z_c &= \frac{\int_G z dG}{G}\end{aligned}$$

式中 dG ——物体微小部分的重量(或所受的重力);

x, y, z ——分别为物体微小部分的空间坐标;

G ——物体的总重量。

(2) 均质物体重心的坐标

$$\begin{aligned}x_c &= \frac{\int_V x dV}{V} \\y_c &= \frac{\int_V y dV}{V} \\z_c &= \frac{\int_V z dV}{V}\end{aligned}$$

式中 dV ——物体微小部分的体积;

x, y, z ——分别为物体微小部分的空间坐标;

V ——物体的总体积。

2. 形心

在静力学中推导出三维物体的形心为

$$x_c = \frac{\int_V x dV}{V}, \quad y_c = \frac{\int_V y dV}{V}, \quad z_c = \frac{\int_V z dV}{V}$$