



应用型本科规划教材

Material Mechanics

材料力学

(第二版)

主 编 林贤根

副主编 杨云芳 张苑竹 周赵凤



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

应用型本科规划教材

材 料 力 学

(第二版)

主 编 林贤根

副主编 杨云芳 张苑竹 周赵凤



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

内 容 简 介

本书是浙江省高校“十二五”重点建设教材。全书以教育部课程指导委员会颁发的材料力学教学大纲的基本要求为依据,以应用型本科院校的土建类专业教学计划要求为重点,并结合参编者多年的教学实践与改革的经验编写而成。在内容安排上体现土建类专业的常用材料、常用结构、工程应用性等特点,以讲清概念、强化应用为重点,突出培养学生分析和解决问题的能力。

本书在妥善处理传统内容、构建力学模型、解决工程问题、力学素养的培养等方面进行了积极的探索,是重视应用能力培养的新教材。

全书共分 12 章,其主要内容有:绪论与基本概念;轴向拉伸与压缩;剪切的实用计算;扭转;梁的内力;截面的几何性质;梁的弯曲应力与强度计算;梁的位移—转角、挠度;应力状态分析与强度理论;杆件在组合变形时的强度计算;压杆稳定;计算位移的能量法;研究材料力学性能的其他问题简介。每章配有学习导航,小结,思考题和习题,书后还附有习题参考答案。

本书可用于土建、园林类等本科专业的教材和参考书,也可作为相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

材料力学 / 林贤根主编. —杭州:浙江大学出版社,
2012.12
ISBN 978-7-308-10836-2

I. ①材… II. ①林… III. ①材料力学 IV. ①TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 277041 号

材料力学(第二版)

林贤根 主编

丛书策划	樊晓燕
责任编辑	王 波
出版发行	浙江大学出版社 (杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007) (网址: http://www.zjupress.com)
排 版	杭州中大图文设计有限公司
印 刷	富阳市育才印刷有限公司
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	18
彩 插	1
字 数	438 千
版 印 次	2012 年 12 月第 2 版 2012 年 12 月第 4 次印刷
书 号	ISBN 978-7-308-10836-2
定 价	36.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88925591



国内第一座全新钢结构高层建筑——杭州瑞丰际商务大厦(2003年建成)



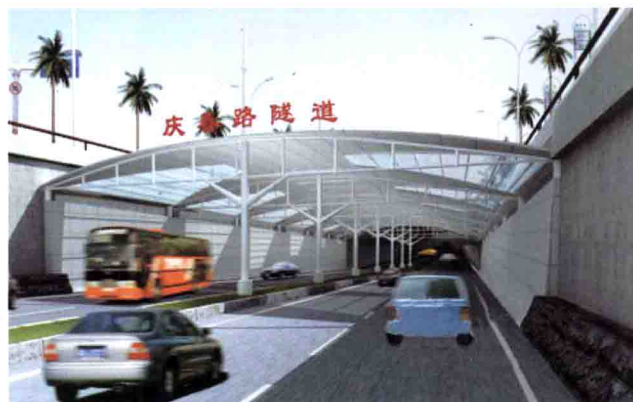
杭州钱江新城国内最大的球型建筑——杭州国际会议中心(2007年建成)



世界最长的跨海大桥——杭州湾跨海大桥于2008年5月1日通车



正在建设中的高层建筑



采用盾构施工技术穿越钱塘江杭州市庆春路钱江隧道入口处(2011年建成)



浙江省玉环县坎门街道一幢 18 层居民楼出现严重不均匀沉降,地下室一根框架柱被压碎(2011 年 11 月事故发生)。



2008 年“5·12”大地震毁坏四川汶川县映秀中学。



2009 年 6 月,上海市“莲花河畔景苑”7 号楼北侧在短期内堆土过高,同时紧邻大楼南侧的地下车库基坑又正在开施工,形成大楼两侧的压力差过大,致使土体发生水平位移。过大的水平力超过桩基的抗侧能力导致房屋整体倾倒。



2011 年 11 月,温州市鹿城区双井头新村正在施工的高达 30 米的吊塔突然拦腰截断,砸中了该村 35、36 两栋居民楼。



2011 年 7 月,杭州钱江三桥辅桥主桥面右侧车道部分桥面突然塌落,一辆重型半挂车从桥面坠落,又将下闸道砸塌。

前 言

本书根据应用型本科土木工程等土建类专业的教学改革需要而编写。全书以材料力学教学大纲的基本要求和近年来应用型本科院校的土建类专业教学计划为编写依据,结合参编者多年的教学实践与改革的经验编写而成。为适应各地教学改革和学时设置的需要,本书设带有“*”号的内容,各院校可以酌情选学。全书参考学时为70~90之间。

在内容安排上体现土建类专业的常用材料、常用结构与应用性等特点,以讲清概念、强化应用为重点,突出培养学生分析和解决问题的能力。本书还注意了与后续课程的衔接,有意识地培养学生的学习与研究深化问题的积极性。

本书参编单位和人员有:浙江大学城市学院张苑竹;浙江树人大学林贤根、周赵凤、赵伟;浙江理工大学杨予。编写任务分工为:张苑竹编写第1章、第2章、第3章和附录1截面的几何性质;周赵凤编写第4章、第9章、第10章;林贤根编写第5章、第6章、第8章;杨云芳编写第7章、第12章;赵伟编写第11章。全书由林贤根任主编,张苑竹、周赵凤、杨予任副主编。

由于编者水平有限,书中难免存在一些错误和欠妥之处,恳请广大读者给以批评指正。

编 者
2007年5月

再版前言

本书是在传承和发展第一版的基础上编写而成。为适应各用书高校教学改革和学时设置的需要,本书仍然设带有“*”号的选学内容,全书参考学时为70~90课时。再版时具有以下特点:

1. 插图设计。注入一些能反映当前建设工程前沿案例的彩色图片和工程灾害教训彩色图片,力求做到学生在接触“第一门工程课”时就能建立起工程意识和安全意识。

2. 术语统一。为了方便后续课程的教学,在介绍相关术语和力学模型的符号时,尽量做到了前后统一,如果不能统一者则同一问题几种术语都作了交代,减少初学者在学习相关课程时可能会产生的不必要误解。

3. 更多地体现工程性。在教材的案例选取时,尽量多地选取源自于工程问题的案例和简化力学模型,让学生学习时能与工程实际问题有一个形象的联想,以利于培养学生分析和解决实际问题的能力。

4. 培养学生“建立力学模型”的能力。将工程实际问题转化成为力学计算模型往往是学生面临的难点,而这又是应用型高校学生必须要掌握的能力。针对这一矛盾,在教材修订过程中,相关章节特别有意识地介绍常见的工程问题如何转化为材料力学所能解决的力学模型,使学生学习后能举一反三。

5. 适当强化稳定问题的学习。鉴于钢结构建筑工程应用越来越广泛,而钢结构的稳定问题又是非常致命的工程隐患问题,在教材修订过程中适当地加大了杆件稳定问题的介绍与计算。

再版参编单位和人员有:浙江大学城市学院张苑竹副教授;浙江树人大学林贤根教授、周赵凤副教授;浙江理工大学杨云芳教授;浙江省交通职业技术学院赵伟副教授。编写任务分工为:张苑竹编写第1章、第2章、第3章;周赵凤编写第4章、第9章、第12章;林贤根编写第6章、第7章、第8章;杨云芳编写第5章、第10章;赵伟编写第11章。全书由林贤根任主编,杨云芳、张苑竹、周赵凤任副主编。

由于编者水平有限,书中难免存在一些错误和欠妥之处,恳请广大读者给以批评指正。

目 录

第 1 章 绪论与基本概念	1
1.1 材料力学的基本任务与地位	1
1.2 变形固体与杆件的分类	3
1.3 变形固体的几个基本假设	4
1.4 杆件变形的基本形式	5
1.5 位移与应变的概念	6
1.6 杆件的内力 截面法 应力	7
1.6.1 杆件的內力的概念 截面法	7
1.6.2 杆件的应力的概念	8
小 结	9
思考题	9
第 2 章 轴向拉伸与压缩	10
2.1 杆件轴向拉伸与压缩的概念与工程实例	10
2.2 杆件的內力与计算	11
2.2.1 轴力与计算	11
2.2.2 轴力图	13
2.3 杆件的轴向拉伸与压缩时的截面上的应力	14
2.3.1 拉压杆横截面上的应力	14
2.3.2 拉压杆斜截面上的应力	16
2.4 杆件轴向拉伸与压缩时的变形与应变	18
2.4.1 杆件轴向拉伸与压缩时的变形与应变	18
2.4.2 虎克定律	18
2.5 材料在拉伸和压缩时的力学性能	20
2.5.1 低碳钢在拉伸时的力学性质	21
2.5.2 其他几种材料拉伸时的力学性能	23

2.5.3 低碳钢及其他材料压缩时的力学性能	24
2.6 强度计算	25
2.6.1 许用应力	25
2.6.2 强度条件	26
2.7 拉伸和压缩时的超静定问题	30
* 2.8 温度应力与装配应力	33
2.8.1 温度应力	33
2.8.2 装配应力	34
* 2.9 应力集中的概念	35
小 结	36
思考题	37
习 题	37
第 3 章 剪切与挤压的实用计算	43
3.1 剪切的概念与工程实例	43
3.2 剪切的实用计算	45
3.3 挤压的实用计算	45
小 结	47
思考题	48
习 题	48
第 4 章 扭 转	51
4.1 扭转的概念与工程实例	51
4.2 圆杆扭转时的内力——扭矩的计算	52
4.2.1 外力偶矩 M_e 的计算	52
4.2.2 扭矩的计算与扭矩图	52
4.3 薄壁圆筒扭转时的横截面上的切应力	55
4.4 切应力的互等定理与剪切虎克定律	57
4.5 等直圆杆扭转时的切应力 强度条件	58
4.5.1 等直圆杆横截面上的切应力	58
4.5.2 强度条件	61
4.6 等直圆杆扭转时的变形——扭转角的计算 刚度条件	63
4.6.1 扭转角的计算	63
4.6.2 刚度条件	64
* 4.7 非圆截面直杆在自由扭转时的应力与变形的计算	65
4.7.1 矩形截面杆在自由扭转时的应力与变形的计算	65
4.7.2 常见开口薄壁截面杆在自由扭转时的应力与变形的计算	66
小 结	67
思考题	68

习 题	68
第 5 章 梁的弯曲内力	71
5.1 梁弯曲的概念与计算简图.....	71
5.1.1 梁弯曲的概念.....	71
5.1.2 梁的计算简图.....	73
5.2 梁的弯曲内力——剪力与弯矩.....	75
5.3 梁的剪力和弯矩方程 剪力图和弯矩图.....	78
5.3.1 剪力方程和弯矩方程.....	78
5.3.2 剪力图和弯矩图.....	78
5.4 弯矩、剪力、分布荷载集度之间的微分关系及其应用	83
5.4.1 弯矩、剪力、分布荷载集度之间的微分关系	83
5.4.2 利用微分关系绘制剪力图和弯矩图.....	85
5.5 利用叠加法作梁的弯矩图.....	90
小 结	93
思考题	93
习 题	93
第 6 章 梁的弯曲应力与强度计算	97
6.1 梁横截面上的正应力.....	97
6.1.1 纯弯曲梁横截面上的正应力.....	98
6.1.2 截面的几何性质	102
6.1.3 横力弯曲梁横截面上的正应力	111
6.2 横力弯曲梁横截面上的切应力	113
6.2.1 矩形截面梁的切应力	113
6.2.2 其他截面梁的切应力	114
6.3 梁的强度条件	118
6.3.1 梁的正应力强度条件及应用	119
6.3.2 梁的切应力强度条件及应用	123
6.4 梁的合理截面设计	125
6.4.1 合理选择截面形状,合理使用材料.....	126
6.4.2 等强度截面的选择	127
6.4.3 降低梁截面弯矩峰值	128
* 6.5 弯曲中心的概念	129
* 6.6 考虑梁塑性时梁的极限弯矩与强度计算	131
6.6.1 考虑梁塑性时梁的极限弯矩	131
6.6.2 考虑梁塑性时梁的强度计算	132
小 结.....	133
思考题.....	135

习 题	135
第 7 章 梁的位移——转角、挠度	140
7.1 工程中梁的变形——转角、挠度	140
7.2 梁挠曲线的近似微分方程	142
7.3 利用积分法求梁的位移	143
7.4 利用叠加法求梁的位移	149
7.5 梁的刚度条件与校核	151
7.6 简单超静定梁的计算	152
7.7 提高抗弯刚度的措施	154
7.7.1 改善梁的结构形式	154
7.7.2 改善荷载的作用和选择合理截面	155
小 结	156
思考题	156
习 题	157
第 8 章 应力状态分析与强度理论	161
8.1 应力状态的概念	161
8.1.1 点的应力状态的概念	162
8.1.2 主应力与主平面的概念	163
8.2 平面应力状态分析——解析法	164
8.2.1 任意斜截面上的应力	164
8.2.2 主应力、主平面、主切应力	165
8.3 平面应力状态分析——应力圆法	169
8.3.1 平面应力状态的应力圆法	169
8.3.2 主应力与主平面的方位	171
8.3.3 主切应力与其作用平面的方位	171
8.4 三向应力状态	174
8.5 广义虎克定律	176
8.5.1 主应力方向的虎克定律	176
8.5.2 一般三向应力状态下的广义虎克定律	177
8.6 三向应力状态下的变形能	178
8.6.1 体积应变	178
8.6.2 三向应力状态下的应变比能	179
8.7 梁的主应力与主应力迹线的概念	180
8.7.1 梁的主应力	181
8.7.2 主应力迹线	181
8.8 强度理论	183
8.8.1 强度理论的概念	183

8.8.2 四个强度理论	184
8.8.3 简介莫尔强度理论	186
小 结	191
思考题	192
习 题	193
第 9 章 杆件组合变形时的强度计算	197
9.1 杆件组合变形的概念与工程中的实例	197
9.2 梁的斜弯曲	198
9.3 杆件的拉伸或压缩与弯曲组合变形	205
9.4 杆件的偏心拉伸或压缩 截面核心	209
9.4.1 偏心拉伸或压缩的计算	209
9.4.2 截面核心	214
9.5 杆件的弯曲与扭转组合变形	217
小 结	219
思考题	220
习 题	221
第 10 章 压杆稳定	224
10.1 压杆稳定的概念	224
10.2 铰支细长压杆的欧拉公式	226
10.3 几种不同约束条件的欧拉公式	227
10.4 临界应力 欧拉公式的适用范围	228
10.4.1 临界应力的欧拉公式	228
10.4.2 欧拉公式的适用范围 临界应力总图	229
10.5 压杆稳定条件与稳定的实用计算	233
10.5.1 压杆稳定条件	233
10.5.2 压杆稳定的实用计算	234
10.5.3 提高压杆稳定措施	237
* 10.6 其他弹性稳定问题概述	238
小 结	239
思考题	240
习 题	240
* 第 11 章 能量法	243
11.1 能量法的基本概念	243
11.2 外力功的计算	244
11.3 外力功和应变能的一般表达式	245
11.3.1 拉压杆的应变能	245

11.3.2 圆杆扭转时的应变能·····	245
11.3.3 弯曲梁的应变能·····	246
11.3.4 组合变形时杆件的应变能·····	246
11.4 第二卡氏定理·····	248
11.5 确定压杆临界载荷的能量法·····	251
小 结·····	253
思考题·····	253
习 题·····	253
* 第 12 章 有关材料力学性能的其他问题简介 ·····	255
12.1 温度对材料力学性能的影响·····	255
12.2 温度和时间对材料力学性能的影响·····	256
12.3 冲击荷载作用下的力学性能·····	257
* 12.4 材料的疲劳破坏与疲劳极限 ·····	257
12.4.1 疲劳破坏·····	257
12.4.2 疲劳极限·····	258
12.4.3 影响疲劳极限的因素·····	259
12.4.4 提高疲劳强度的主要措施·····	259
小 结·····	260
思考题·····	260
附 录 型钢的规格表 ·····	262
习题参考答案 ·····	270
主要参考书 ·····	276

第 1 章 绪论与基本概念

【学习导航】

本章主要介绍材料力学的基本任务、基本假设、基本概念以及杆件变形的基本形式。

【学习要点】

1. 材料力学是一门研究变形固体的力学,研究对象是杆件。它的基本任务是研究材料的力学性能,合理解决工程设计中安全与经济之间的矛盾。
2. 构件是组成结构的元件,它要满足强度、刚度和稳定性三方面的要求。
3. 材料力学的基本假设包括连续性假设、均匀性假设、各向同性假设和小变形假设。
4. 杆件的基本变形形式包括轴向拉伸(或压缩)、剪切、扭转和弯曲。
5. 物体受力后形状和尺寸的改变称为变形。应变反映了一点附近的变形程度,应变包括正应变和切应变。
6. 在外力作用下,物体内部各部分之间相互作用力的变化量称为内力。一般采用截面法来求解截面上的内力。应力反映了内力的分布密集程度,应力包括正应力和切应力。

1.1 材料力学的基本任务与地位

建筑结构中承受**荷载**(load)起到骨架作用的部分称为**结构**(structure),组成结构的各个部件统称为**构件**(element)。图 1-1 所示梁、板、柱等构件共同组成了框架结构。

结构设计中工程人员首要关心的是如何保证结构在承受荷载时能够正常工作。这要求各构件在荷载作用下不发生断裂,在正常使用荷载下不会产生过大的变形,此外对受压的细长构件,还要求在荷载作用下能保持原有的直线平衡状态,不会突然失去稳定性。如果结构物不能满足上述要求,无一例外会造成严重的结构损害,导致财产损失、甚至人员伤亡。例如,1995 年韩国三丰百货大楼由于强度失效倒塌,导致 108 人死亡(见图 1-2);图 1-3 所示为俄罗斯伏尔加河大桥在风振中受扭变形导致无法正常使用;图 1-4 所示为 1907 年加拿大魁北克大桥由于压杆失稳破坏,造成 75 人死亡。

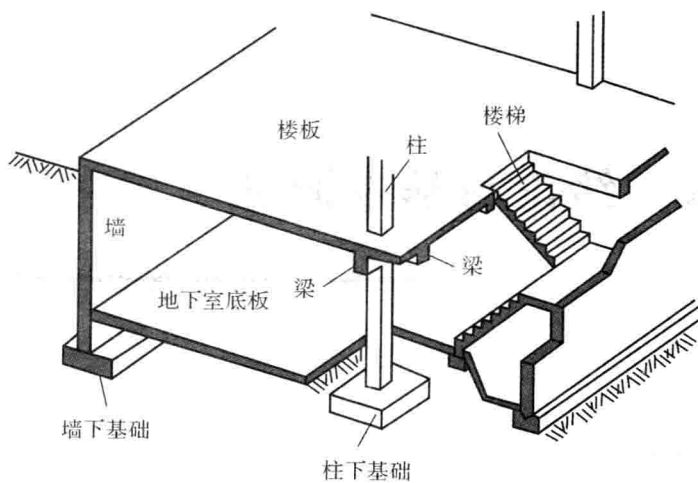


图 1-1 框架结构



图 1-2 韩国三丰百货大楼倒塌

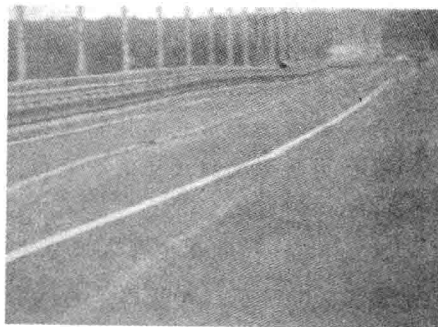


图 1-3 俄罗斯伏尔加河大桥蛇形变形



图 1-4 加拿大魁北克大桥失稳

可见,对构件的正常工作有三方面的能力要求:

(1) **强度**(strength)要求:构件应有足够的抵抗破坏的能力,在规定荷载作用下构件不

发生断裂和屈服。

(2) **刚度**(stiffness)要求:构件应具有足够的抵抗变形的能力,在规定荷载作用下所产生的变形不超过工程中所允许的范围。

(3) **稳定性**(stability)要求:构件应具有足够的维持原有的平衡形式的能力,在规定荷载作用下构件不发生突然的失稳。

在工程上,为了保证每一构件具有足够的强度、刚度和稳定性,应该合理地选择构件的材料、截面尺寸和形状。如果选用不当,将不能满足上述要求,不能保证结构的安全工作。但在工程设计时,也不应一味选用优质材料或不恰当地加大截面尺寸,这样虽然满足了安全要求,却增加了成本。正确地处理安全和经济的矛盾,是工程设计中一个非常重要的任务。

要研究构件的强度、刚度和稳定性,还应该了解材料在外力作用下表现出来的变形和破坏等方面的性能,即材料的力学性能。材料的力学性能参量是理论计算中必不可少的依据。

在工程设计中是利用**材料力学**(mechanics of materials)的知识来解决上述问题的。材料力学是固体力学的一门分支,也是大部分工程技术科学的基础。这门学科的主要任务是研究各种工程材料在外力作用下的力学性能;在保证构件安全又尽可能经济合理的前提下,为构件选择适当的材料、合适的截面形状和尺寸;为工程设计提供必要的理论基础和计算方法。

在材料力学中,实验有着重要的地位。因为材料的各种力学性能要通过实验来测定。此外,经过简化得出的理论也需要由实验来验证。此外,一些尚无理论总结的问题,也要借助实验方法来解决。因此,实验分析和理论研究都是完成材料力学研究任务的方法。

1.2 变形固体与杆件的分类

在自然界中,一切固体在外力作用下都要发生变形,尽管有时这些变形很小。换言之,固体都是**变形固体**(deformable body)。

在理论力学中,研究的是物体在外力作用下的平衡规律和运动规律,固体的微小变形是一个可以忽略的次要因素,因此采用**刚体**(rigid body)这个力学模型作为研究对象,来进行理论分析。

在材料力学中,研究的是构件的强度、刚度和稳定性问题,固体的微小变形是一个主要因素,必须予以考虑而不能忽略。因此,材料力学的研究对象是变形固体。

工程中的固体有各种不同的形状,一般按几何特征将其分为三类:

1. 杆件(bar)

杆件是一个方向的尺寸(长度)远大于其他两个方向尺寸的构件(见图 1-5),如图 1-1 所示框架结构中的梁和柱可简化为杆件。

与杆长方向垂直的截面叫**横截面**(cross section),各横截面形心的连线称为**轴线**(axis)。轴线为直线的杆件称为直杆,轴线为曲线、折线的杆件,分别称为曲杆和折杆。沿着轴线各横截面的大小和形状不变的杆件称为等截面杆,而发生改变的杆件称为变截面杆。

2. 板(plate)和壳(shell)

板和壳是一个方向的尺寸(厚度)远小于其他两个方向尺寸的构件。

平分板厚度的几何面称为中面,中面是平面的称为板(见图 1-6(a)),中面是曲面的称为壳(见图 1-6(b))。图 1-1 所示框架结构中的楼板、楼梯可简化为板。

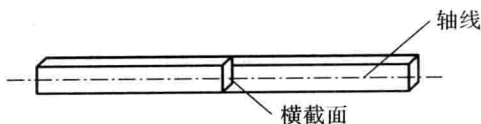


图 1-5

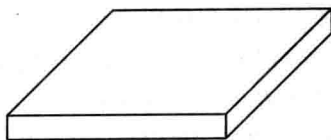


图 1-6(a)

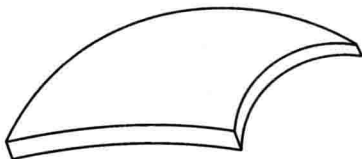


图 1-6(b)

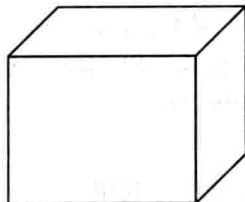


图 1-7

3. 块体(body)

块体是三个方向(长、宽、高)的尺寸相差不大的构件(见图 1-7),如图 1-1 所示框架结构中的柱下基础可视为块体。

材料力学的研究对象是各类杆件。

1.3 变形固体的几个基本假设

固体材料种类繁多,从物质结构到力学性能都各不相同。在研究构件强度、刚度和稳定性时,为抽象出力学模型,需要忽略一些次要因素,对变形固体作下列假设:

1. 连续性假设(assumption of continuity)

此假设认为材料是密实的,在整个体积内没有空隙。实际上,组成固体的粒子之间存在着空隙并不连续,但这种空隙尺寸与整个构件的尺寸相比很小,因而可以不考虑。根据这一假设,描述构件受力和变形的一些物理量,都可以表示为各点坐标的连续函数,从而便于利用高等数学中的微积分方法。

2. 均匀性假设(assumption of homogeneity)

此假设认为固体内各点处的力学性能完全相同。实际上,组成构件材料的各个微粒或晶粒,彼此的性能并不完全相同。但由于构件的任一部分中都包含有为数极多的晶粒,而且排列得很不规则,因而固体的力学性能是各晶粒的力学性能的统计平均值,可以认为材料各部分的力学性能是均匀的。根据这一假设,可以在构件中截取任意微小部分进行研究,然后将所得的结论推广到整个构件。

以上两个假设,对钢、铜等金属材料相当吻合,但对砖、石、木材、混凝土等材料则存在较大偏差,不过仍可采用。

3. 各向同性假设(assumption of isotropy)

此假设认为变形体在所有方向上均具有相同的物理和力学性能。铸钢、铸铜和做得很