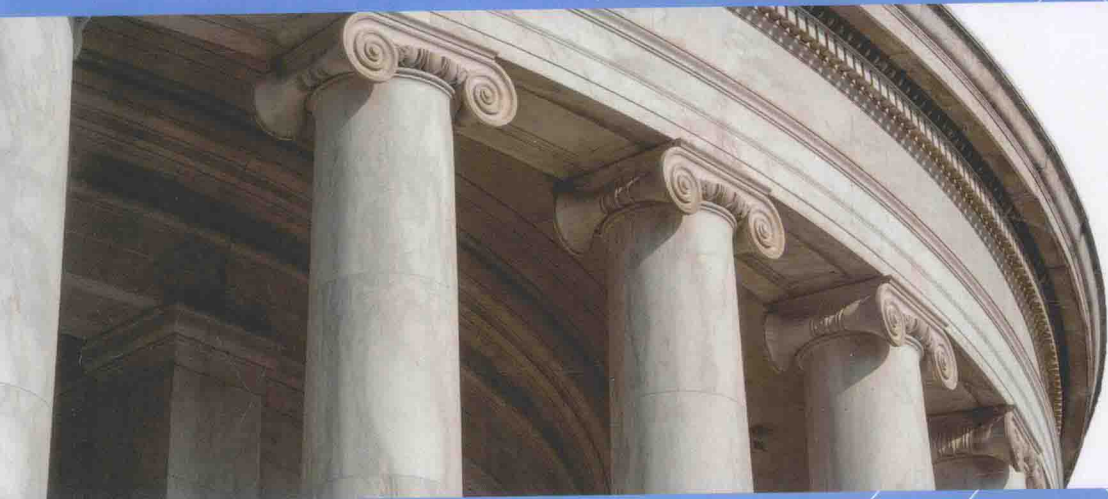




“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

简明材料力学

第3版



刘鸿文 主编
刘鸿文 林建兴 曹曼玲 编著
应祖光 修订

高等教育出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

简明材料力学

第3版

Jianming Cailiao Lixue

刘鸿文 主编

刘鸿文 林建兴 曹曼玲 编著

应祖光 修订

高等教育出版社·北京

内容提要

本书为第3版,是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,在保持了原书的风格和特色的基础上,作了少量的修订。全书精选的材料力学的基本内容,与第2版相同,包括第1章至第13章,计有:绪论,拉伸、压缩与剪切,扭转,平面图形的几何性质,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形,应力状态分析和强度理论,组合变形,压杆稳定,动载荷,交变应力,能量方法和超静定结构。本书如不讲授最后一章,并对其他章节作适当删减,可用作少学时材料力学课程的教材;若能在能量方法、超静定结构等方面略作补充,本书亦可用作多学时材料力学课程的教材。

刘鸿文主编的《材料力学实验》(第3版)可与本书配套使用。

图书在版编目(CIP)数据

简明材料力学 / 刘鸿文主编. -- 3版. -- 北京:
高等教育出版社, 2016. 2

ISBN 978-7-04-044496-4

I. ①简… II. ①刘… 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(2015)第 311891 号

策划编辑 黄 强 责任编辑 赵向东 封面设计 张 志 版式设计 马 云
插图绘制 杜晓丹 责任校对 吕红颖 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 国防工业出版社印刷厂
开 本 787mm × 960mm 1/16
印 张 23
字 数 410 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 1995 年 6 月第 1 版
2016 年 1 月第 3 版
印 次 2016 年 1 月第 1 次印刷
定 价 35.50 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
物 料 号 44496-00

与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站,请登录网站后开始课程学习。

一、网站登录

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/1219835>, 单击“注册”。在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”界面。

2. 课程充值: 登录后单击右上方“充值”图标, 正确输入教材封底标签上的明码和密码, 单击“确定”按钮完成课程充值。

3. 在“我的课程”列表中选择已充值的数字课程, 单击“进入课程”即可开始课程学习。

账号自登录之日起一年内有效, 过期作废。

使用本账号如有任何问题, 请发邮件至: ecourse@pub.hep.cn

二、资源使用

本书除第1章、第4章、第13章外, 每章末附有少量微视频资源, 能够让学习者随时随地使用移动通信设备观看比较直观的视频, 这些微视频以二维码的形式在书中出现, 扫描后即可观看。相应微视频资源在易课程中也可观看。

第3版前言

本书以第1版为基础,保持前两版的风格和特色不变,精选的材料力学基本内容不变,适当增加了一些新内容。按照教育部高等学校力学基础课程教学指导委员会的《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》进行修订,主要改动如下:

1. 增加了新材料的力学性能图。
2. 增加了阶梯状细长压杆临界力的例题。
3. 增加了弯曲中心的概念和例题(附录C)。
4. 增加了计及截面切应变影响的梁横力弯曲正应力的分析(附录B)。
5. 增加了变截面梁弯曲切应力的公式(附录C)。
6. 增加了有关测试、设备及应用等资料的微视频二维码。

本教材承浙江大学庄表中教授审阅,他的审阅极为认真、细致和严谨,提出了许多宝贵意见,并提供了微视频二维码的有关资料,谨此致谢。

限于修订者水平,疏漏之处难免,还望广大教师和读者批评指正。

修订者
2015年9月

第2版前言

第2版保持原书的风格和特色不变、精选的材料力学基本内容不变。作了如下改动：

1. 采用当前规定使用的字符和术语。在数学运算式中,对所有物理量标明单位。

2. 修订了少量文字,改正了个别的排版疏漏之处。

3. 复核并补齐了全部的习题解答,原解答无一错误。某些题的答案提供了更多的信息。若答案值有较多的小数位,则规范化为保留三位有效数字。少数答案与第1版的略有差异,是因为计算的中间结果保留了较多的小数位。

本教材承大连理工大学郑芳怀教授审阅,他的审阅极为认真、细致和严谨,提出了许多精辟和中肯的意见,谨此致谢。

由于水平所限,教材中难免留下令人遗憾之笔,还望广大教师和读者批评指正。

修订者
2007年6月

第 1 版前言

本书是依据国家教委颁发的“高等学校工科本科材料力学课程教学基本要求”，为中学时的材料力学课程编写的。其中，第 13 章能量方法和超静定结构已超出中学时材料力学课程的基本要求，应作为补充内容。作者设想，如不讲授第 13 章，并对其他章节作适当删减，本书也可适用于学时更少的材料力学课程；若在能量方法、超静定结构等方面略作补充，也能基本上满足多学时材料力学课程的要求。为此，对基本内容的阐述仍尽可能详尽，以保持基本理论的完整；对比较深入的内容则节删颇多，力求简明扼要。尽管我们作了这样的一些思考和尝试，但教材却很难说已达到了预期的设想。

材料力学教材可以分成两部分。一部分为基本教材，包含各种类型材料力学课程都应学习的内容；另一部分则包含随学时多少、专业需要而异的内容。也许这本书能起到基本教材的作用。

哈尔滨建筑大学的干光瑜教授审阅了书稿，他提出的修改意见精辟中肯、弥足珍贵，谨此致谢。

限于编者水平，疏漏之处必多，还望广大教师和读者批评指正。

作者

1995 年 8 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 材料力学的任务	1
1.2 变形固体的基本假设	2
1.3 内力、应力和截面法	3
1.4 位移、变形与应变	5
1.5 杆件变形的基本形式	8
习题	9
第 2 章 拉伸、压缩与剪切	11
2.1 轴向拉伸与压缩的概念和实例	11
2.2 拉伸或压缩时的内力和横截面上的应力	12
2.3 材料拉伸时的力学性能	15
2.4 材料压缩时的力学性能	20
2.5 失效、安全因数和强度计算	22
2.6 轴向拉伸或压缩的变形	25
2.7 轴向拉伸或压缩的应变能	29
2.8 拉伸、压缩超静定问题	31
2.9 温度应力和装配应力	33
2.10 应力集中的概念	36
2.11 剪切和挤压的实用计算	37
习题	43
第 3 章 扭转	59
3.1 扭转的概念和实例	59
3.2 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图	59
3.3 纯剪切	62

3.4	圆轴扭转时的应力	64
3.5	圆轴扭转时的变形	70
3.6	扭转应变能	72
3.7	圆柱形密圈螺旋弹簧	74
3.8	矩形截面杆扭转理论简介	77
	习题	79
第 4 章 平面图形的几何性质		86
4.1	静矩和形心	86
4.2	惯性矩和惯性半径	89
4.3	惯性积	92
4.4	平行移轴公式	92
4.5	转轴公式 主惯性轴	95
	习题	98
第 5 章 弯曲内力		101
5.1	弯曲的概念和实例	101
5.2	梁的支座和载荷的简化	102
5.3	剪力和弯矩	105
5.4	剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	107
5.5	载荷集度、剪力和弯矩间的关系	112
5.6	刚架和曲杆的弯曲内力	115
	习题	117
第 6 章 弯曲应力		124
6.1	梁的纯弯曲	124
6.2	纯弯曲时的正应力	126
6.3	横力弯曲时的正应力	129
6.4	弯曲切应力	132
6.5	提高弯曲强度的措施	139
	习题	144
第 7 章 弯曲变形		152
7.1	工程问题中的弯曲变形 挠度和转角	152
7.2	挠曲线的近似微分方程	153

7.3	用积分法求弯曲变形	155
7.4	用叠加法求弯曲变形	159
7.5	弯曲应变能	163
7.6	简单超静定梁	165
7.7	提高梁弯曲刚度的措施	168
	习题	170
第 8 章	应力状态分析和强度理论	178
8.1	应力状态概述 单向拉伸时斜截面上的应力	178
8.2	二向和三向应力状态的实例	180
8.3	二向应力状态分析	182
8.4	二向应力状态的应力圆	188
8.5	三向应力状态简介	191
8.6	广义胡克定律	192
8.7	复杂应力状态下的应变能密度	196
8.8	强度理论概述	197
8.9	四种常用强度理论	199
	习题	203
第 9 章	组合变形	211
9.1	组合变形和叠加原理	211
9.2	拉伸或压缩与弯曲的组合	212
9.3	斜弯曲	214
9.4	扭转与弯曲的组合	216
	习题	221
第 10 章	压杆稳定	227
10.1	压杆稳定的概念	227
10.2	两端铰支细长压杆的临界压力	229
10.3	其他支座条件下细长压杆的临界压力	231
10.4	欧拉公式的适用范围 经验公式	235
10.5	压杆的稳定校核	238
10.6	提高压杆稳定性的措施	239
	习题	244

第 11 章 动载荷	248
11.1 概述	248
11.2 动静法的应用	248
11.3 受冲击杆件的应力和变形	251
习题	258
第 12 章 交变应力	263
12.1 交变应力与疲劳失效	263
12.2 循环特征、平均应力和应力幅	265
12.3 疲劳极限	266
12.4 影响疲劳极限的因素	267
12.5 对称循环下的疲劳强度计算	272
12.6 不对称循环下和扭转组合下的疲劳强度计算	273
12.7 提高构件疲劳强度的措施	276
习题	277
第 13 章 能量方法和超静定结构	280
13.1 应变能的计算	280
13.2 互等定理	283
13.3 卡氏定理	285
13.4 莫尔定理	288
13.5 用力法解超静定结构	293
习题	297
附录 A 型钢表	306
附录 B 计及截面切应变影响的梁横力弯曲正应力的分析	325
附录 C 变截面梁弯曲切应力和弯曲中心	329
附录 D 习题答案	335
参考文献	351
作者简介	

第1章 绪论

1.1 材料力学的任务

机械或工程结构的各组成部分,如机床的轴、建筑物的梁和柱等,统称为构件。当机械或工程结构工作时,构件将受到力的作用。例如,车床主轴受切削力和齿轮啮合力的作用;建筑物的梁受由地面传递来的力和自身重力的作用等。作用于构件上的这些力都可称为载荷。构件一般由固体制成,在载荷作用下,固体有抵抗破坏的能力,但这种能力又是有限度的。而且,在载荷作用下,固体的形状和尺寸还会发生变化,称为变形。

为保证机械或工程结构的正常工作,构件应有足够的承受载荷的能力。因此,它应该满足下述要求:

(1) 在规定载荷作用下构件不能破坏。例如,屋梁不应折断,储气罐不能破裂。所以,构件应有足够的抵抗破坏的能力,这就是**强度要求**。

(2) 在规定载荷作用下,某些构件除满足强度要求外,变形也不能过大。例如,车床主轴的变形过大将影响加工精度。所以,构件应有足够的抵抗变形的能力,这就是**刚度要求**。

(3) 有些受压力作用的构件,如千斤顶的螺杆、驱动装置的活塞杆等,应始终保持原有的直线平衡形态,保证不被压弯。亦即,构件应有足够的保持原有平衡形态的能力,这就是**稳定性要求**。

若构件的横截面尺寸过小或形状不合理、或者材料质地不好,以致不能满足上述要求,便不能保证机械或工程结构的安全工作。反之,不恰当地加大横截面尺寸、选用优质材料,虽满足了上述要求,却增加了成本,造成浪费。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。

对具体构件,上述三项要求往往有所侧重,例如,储气罐主要是要保证强度;车床主轴主要是要保证刚度;受压的活塞杆则应保持稳定性。

在材料力学中,经过简化建立的理论,需由实验来验证。这些理论中所

需要的材料的力学性能,要由实验来测定。尚无理论结果的问题又往往要用实验的方法来解决。所以,实验分析和理论研究同是材料力学解决问题的方法。

1.2 变形固体的基本假设

固体因受外力作用而变形,故称为变形固体或可变形固体。为把变形固体抽象为力学模型,省略一些与强度、刚度和稳定性关系不大的因素,对变形固体作出下列假设:

(1) 连续性假设

认为组成固体的物质不留空隙地充满了固体的体积。实际上,组成固体的粒子之间存在着空隙、并不连续。但这种空隙与构件的尺寸相比极其微小,可以不计,于是就认为固体在其整个体积内是连续的。这样,当把力学量表示为固体的点的坐标的函数时,对这些量就可进行坐标增量为无限小的极限分析。

(2) 均匀性假设

认为在固体内到处都有相同的力学性能。就金属而言,组成金属的各晶粒的力学性能并不完全相同。但因构件或它的任意一部分中都包含为数极多的晶粒,而且无规则地排列,固体每一部分的力学性能都是为数极多的晶粒的性能的统计平均值,所以可以认为各部分的力学性能是均匀的。这样,如从固体中任意地取出一部分,不论从何处取出,也不论大小,性能总是一样的。

(3) 各向同性假设

认为沿任何方向固体的力学性能都是相同的。就单一的金属晶粒来说,沿不同方向性能并不完全相同。因金属构件包含数量极多的晶粒,晶粒又无序地排列,这样沿各个方向的性能就接近相同了。具有这种属性的材料称为各向同性材料,如钢、铜、玻璃等。

也有些材料沿不同方向的性能并不相同,如木材、纤维织品和某些人工合成材料等。这类材料称为各向异性材料。

1.3 内力、应力和截面法

研究某一构件时,可设想把它从周围的其他物体中单独取出,并用 F_1 、 F_2 、……代替周围其他物体对构件的作用(图 1.1a)。如划定研究范围为整个构件,则来自构件外部的力,其中包括约束力、自重和惯性力等,都可称为外力。当构件处于平衡状态时,作用于构件上的外力构成一个平衡力系。

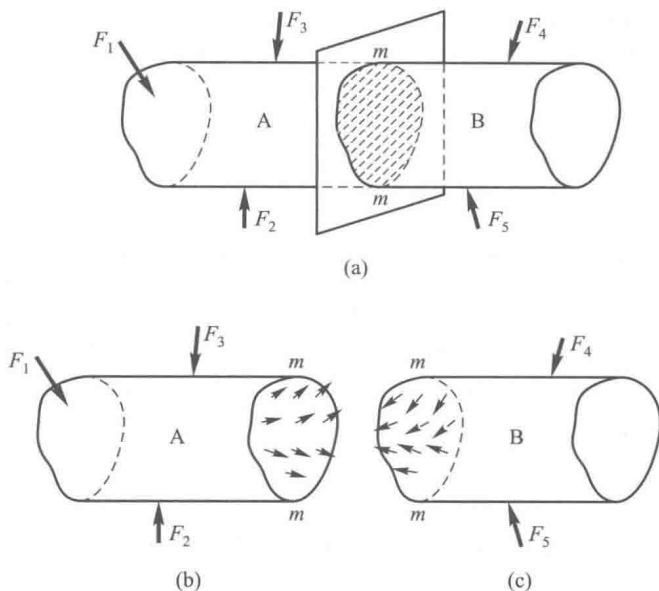


图 1.1

由物理学可知,即使不受外力作用,构件内部各质点之间就存在着相互作用力。当受外力作用时,构件各部分间的相对位置发生变化,从而引起上述相互作用力的改变,其改变量称为内力。可见,内力是构件各部分之间相互作用力因外力而引起的附加值。这样的内力随外力增加而加大,到达某一限度时,就会引起构件的破坏,所以与构件的强度是密切相关的。

为了显示出内力,用截面 m - m 假想地把构件分成 A、B 两部分,任意地取出部分 A 作为分离体,如图 1.1b 所示。对部分 A,除外力 F_1 、 F_2 、 F_3 外,在截面 m - m 上必然还有来自部分 B 的作用力,这就是内力。部分 A 是在上述外力和内力共同作用下保持平衡的。类似地,如取出部分 B(图 1.1c),则它是在外力 F_4 、 F_5 和 m - m 截面上的内力共同作用下保持平衡。至于部分 B 的截面 m - m 上的

内力,则是来自部分A的反作用力。根据作用和反作用定律,A、B两部分在截面 $m-m$ 上相互作用的内力,必然大小相等、方向相反。

因为假设固体是连续的,截面 $m-m$ 上的每一点都应有两部分相互作用的内力,这样,在截面上将形成一个分布的内力系。为了描述这个内力系在截面上一点处的强弱程度,引进应力的概念。在截面 $m-m$ 上围绕一点 C 取微小面积 ΔA (图 1.2a),设 ΔA 上内力的合力为 ΔF , ΔF 的大小和方向与 C 点的位置和 ΔA 的面积有关。比值

$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1.1)$$

称为 ΔA 上的平均应力,其方向与 ΔF 相同。它代表在 ΔA 内,单位面积上的平均内力(即平均集度)。随着 ΔA 的逐渐缩小, p_m 的大小和方向都将逐渐改变。当 ΔA 趋于零时, p_m 的大小和方向都将趋于某极限值。这样得到

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} p_m = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1.2)$$

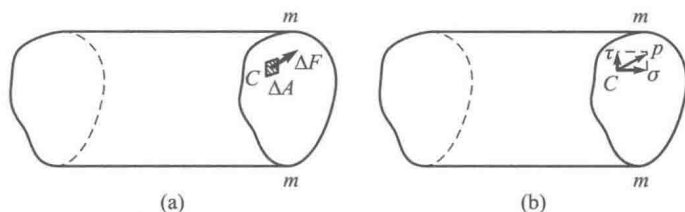


图 1.2

p 称为 C 点的应力^①。它是截面 $m-m$ 上分布内力系在 C 点的集度,反映内力系在 C 点的强弱程度。 p 是一个矢量,一般说既不与截面垂直也不与截面相切。通常把应力 p 分解成垂直于截面的分量 σ 和切于截面的分量 τ (图 1.2b), σ 称为正应力, τ 称为切应力。

在我国法定计量单位中,应力的单位符号为 Pa,称为“帕斯卡”或简称为“帕”, $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。由于这个单位太小,通常用 MPa, $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ 。

如上所述,因外力作用,构件截面上形成一个分布内力系。若向截面上的某一点(如形心)简化,整个分布内力系一般可以简化成一个力(主矢)和一个力偶(主矩),它们是截面上分布内力系的合成结果。今后约定,把内力系简化后得到的力和力偶称为截面上的内力。为求出截面上的内力,经常使用截面法。它

^① 按这里给出的应力的定义, $\Delta A \rightarrow 0$ 时, ΔA 上内力的极限状态将是一个力,而不是一个力和一个力偶。这就暗示 ΔA 上的内力对 ΔA 内合力作用点的力矩等于零。

可归纳为:首先,用一平面假想地把构件分成两部分,并任意地取出其中一部分作为研究对象;其次,在截面上用内力代替另一部分对取出部分的作用;最后,利用取出部分在内、外力作用下的平衡关系,便可确定截面上的内力。下面用例题来说明。

例 1.1 小型压力机的框架如图 1.3a 所示。在 F 力作用下,试求立柱横截面 $m-m$ 上的内力。

解:用截面 $m-m$ 假想地把框架分成两部分,并取出截面 $m-m$ 以上部分(图 1.3b)。将截面 $m-m$ 上的分布内力系向截面形心简化,得向下的力 F_N 和顺时针方向的力偶 M ,它们分别抵抗外力 F 使取出部分向上移动并绕 O 点逆时针方向转动的倾向,以保持取出部分的平衡。由平衡方程

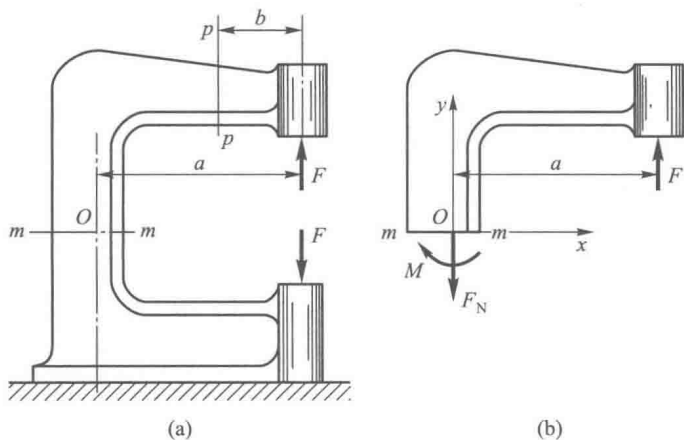


图 1.3

$$\sum F_y = 0, \quad F - F_N = 0$$

$$\sum M_o = 0, \quad Fa - M = 0$$

求出截面 $m-m$ 上的内力为

$$F_N = F, \quad M = Fa$$

1.4 位移、变形与应变

材料力学讨论固体的变形,不仅为了研究构件的刚度,还因变形与内力的分布有关。

在图 1.4 中,固体内的 M 点因变形位移到 M' , 矢量 $\overrightarrow{MM'}$ 即为 M 点的位移。

这里假设固体因受到约束不可能作刚性位移, M 点的位移全是由变形引起的。设 N 为 M 的邻近点, MN 的长度为 Δs 。变形后 N 点的位移为 $\overrightarrow{NN'}$ 。这样, 变形前的线段 MN 变形后变为 $M'N'$, 其长度由 Δs 变为 $\Delta s + \Delta u$ 。这里 Δu 代表变形前、后线段 MN 的长度变化。比值

$$\varepsilon_m = \frac{M'N' - MN}{MN} = \frac{\Delta u}{\Delta s} \quad (1.3)$$

称为平均线应变, 它表示线段 MN 每单位长度的平均伸长或缩短。逐渐缩小 M 点和 N 点的距离, 当 N 无限趋近于 M 时, ε_m 的极限为

$$\varepsilon = \lim_{MN \rightarrow 0} \frac{M'N' - MN}{MN} = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta u}{\Delta s} \quad (1.4)$$

ε 称为 M 点沿 MN 方向的线应变或正应变, 简称应变。如线段 MN 内各点沿 MN 方向变形程度是均匀的, 则由式 (1.3) 表示的平均线应变与由式 (1.4) 表示的线应变是相同的。如 MN 内各点的变形程度并不相同, 则只有由式 (1.4) 定义的应变才能表示 M 点沿 MN 方向长度变化的程度。

固体的变形非但表现为线段长度的改变, 而且正交线段的夹角有时也将发生变化。例如在图 1.5 中, 变形前线段 MN 和 ML 相互正交, 变形后 $M'N'$ 和 $M'L'$ 的夹角变为 $\angle L'M'N'$ 。变形前、后角度的变化是 $(\pi/2 - \angle L'M'N')$ 。当 L 和 N 都无限趋近于 M 时, 上述角度变化的极限值为

$$\gamma = \lim_{\substack{MN \rightarrow 0 \\ ML \rightarrow 0}} \left(\frac{\pi}{2} - \angle L'M'N' \right) \quad (1.5)$$

称为 M 点在平面 LMN 内的切应变或角应变。

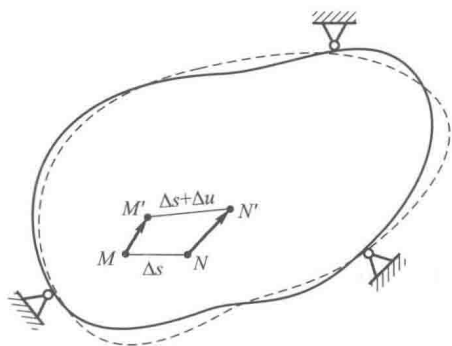


图 1.4

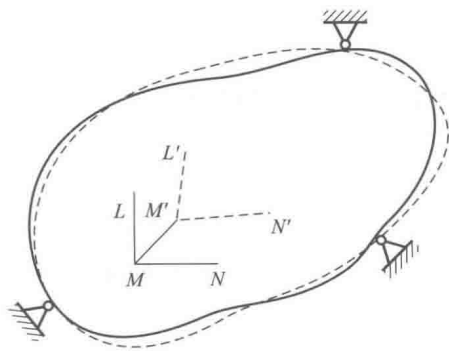


图 1.5

正应变 ε 和切应变 γ 是度量一点处变形程度的两个基本量, 从式 (1.4) 和式 (1.5) 看出, 它们都是量纲为 1 的量。