

高等学校教材



材料力学

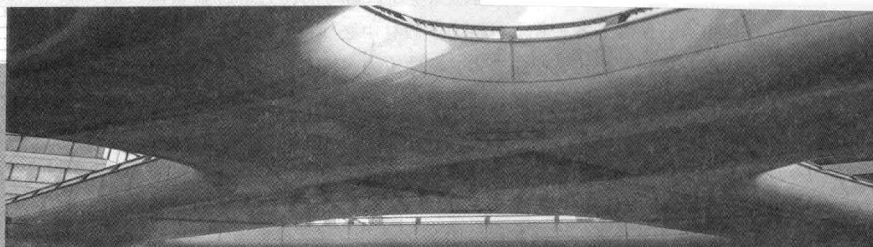
罗迎社 主编

罗迎社 柴维斯 唐松花 王智超 秦金旗 夏平 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高 等



材 料 力 学

CAILIAO LIXUE

罗迎社 主编

罗迎社 柴维斯 唐松花 王智超 秦金旗 夏平 编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是按照教育部力学基础课程教学指导分委员会(2006—2010)制订的《材料力学课程基本要求(A类)》编写的,力争做到强调基础、突出重点。保留了各种版本材料力学教材中必须讲授的基本章节,如拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态与强度理论、组合变形、压杆稳定、能量原理、动载荷与交变应力、杆件的塑性变形等,可供60~80学时的材料力学课程选用。带有“*”号的章节内容具有专题性质,供不同学校任课教师根据需要取舍,也为学有余力的学生留出了深入学习的空间。全书共13章,书后附有平面图形的几何性质、型钢表、参考文献、习题答案、中英文索引、英文目录等。

本书适用于普通高等学校土建、水利类专业基础课程教学,也可供其他专业及有关工程技术、研究人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/罗迎社主编;罗迎社等编. --北京:
高等教育出版社,2013.8
ISBN 978-7-04-037691-3

I. ①材… II. ①罗… 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(2013)第 133782 号

策划编辑 单 蕾	责任编辑 赵向东	封面设计 于文燕	版式设计 王艳红
插图绘制 尹 莉	责任校对 窦丽娜	责任印制 田 甜	

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 廊坊市科通印业有限公司
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 27.75
字 数 520 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.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
版 次 2013 年 8 月第 1 版
印 次 2013 年 8 月第 1 次印刷
定 价 39.00 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 37691-00

前 言

本书是编者在多年从事土建、水利类专业材料力学课程改革与建设的基础上编写而成的。

本书按照教育部力学基础课程教学指导分委员会(2006—2010)制订的《材料力学课程基本要求(A类)》,主要针对教学研究型地方普通高等学校土建、水利类专业应用为主的教学特点,总结和吸收了普通高等学校近几年来材料力学课程教学所取得的经验,力争做到强调基础、突出重点。保留了各种版本材料力学教材中必须讲授的基本章节,如轴向拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态与强度理论、组合变形、压杆稳定、能量原理、动载荷与交变应力、杆件的塑性变形等。同时,结合开展省级“材料力学”精品课程建设工作,进行了较深入的教学研究和改革创新,并将其中好的改革成果适当吸收进教材。例如,将通常教材中的“动载荷”和“疲劳强度和断裂韧性”两章内容精炼为本书的第十二章“动载荷与交变应力”;将通常教材中的“截面图形的几何性质”章节简化为本书的附录 I “平面图形的几何性质”。考虑到上述专业通常没有开设塑性力学课程,而实际工作中又很难完全回避塑性变形的一些基本概念和屈服准则,我们在第十三章“杆件的塑性变形”中增加了“塑性条件和塑性曲面”一节内容。

为方便师生使用,本书配套有电子教案、多媒体课件等。可供基本部分学时为 60~80 学时,其中实验不少于 6~8 学时的材料力学课程选用。带有“*”号的章节内容具有专题性质,供不同学校任课教师根据需要取舍,也为学有余力的学生留出了深入学习的空间。全书共 13 章,书后附有平面图形的几何性质、型钢表、参考文献、习题答案、中英文索引、英文目录等。

本书由罗迎社主编。参加编写工作的有柴维斯(广东工业大学,第一~四章)、王智超(湘潭大学,第五~七章)、唐松花(中南大学,第八、十一章)、秦金旗(中南林业科技大学,第九~十章和附录 I)、夏平(湖南工程学院,第十二章)、罗迎社(中南林业科技大学,第十三章和附录 II)。丁科博士和陈超、陈斌、张璇、冯燕、李钟一、宁行乐、刘彩等研究生参与了书稿的收集和整理工作。

本书获湖南省“材料力学”省级精品课程第二期建设经费资助和湖南省普通高等学校“十二五”专业综合改革试点项目(湘教通[2012]266号)资助。全书由湖南大学龙述尧教授审阅,提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢。

谢。在本书的编写过程中参考了许多文献,在此向这些文献的作者表示诚挚的感谢和敬意。

因时间仓促,加之编者的水平有限,书中难免存在缺点和欠妥之处,诚恳希望使用本书的广大教师和读者指正。

编 者
2013 年 2 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第一章 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 外力分类及构件的力学模型	3
§ 1-4 内力和应力	5
§ 1-5 正应变与切应变	6
§ 1-6 杆件变形的基本形式	9
习题	11
第二章 轴向拉伸和压缩	13
§ 2-1 轴向拉伸和压缩的概念及实例	13
§ 2-2 轴向拉伸和压缩时杆件横截面上的内力及应力	14
§ 2-3 轴向拉伸和压缩时杆件斜截面上的应力	20
§ 2-4 轴向拉伸时材料的力学性能	22
§ 2-5 轴向压缩时材料的力学性能	29
* § 2-6 温度和时间对材料力学性能的影响	31
§ 2-7 许用应力和安全因数 轴向拉伸和压缩时的强度计算	33
§ 2-8 轴向拉伸和压缩时的变形计算	37
§ 2-9 轴向拉伸、压缩超静定问题	41
§ 2-10 温度应力和装配应力	45
§ 2-11 圣维南原理及应力集中	47
习题	50
第三章 剪切	58
§ 3-1 剪切的概念和实用计算	58
§ 3-2 挤压的概念和实用计算	61
习题	65
第四章 扭转	68
§ 4-1 扭转的概念和实例	68
§ 4-2 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图	69
§ 4-3 纯剪切 切应力互等定理 剪切胡克定理	72
§ 4-4 圆轴扭转时的应力和强度条件	74
§ 4-5 圆轴扭转时的变形和刚度条件	79

§ 4-6 圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形	84
* § 4-7 非圆截面杆的扭转	89
* § 4-8 薄壁杆件的自由扭转	92
习题	97
第五章 梁的弯曲内力——剪力和弯矩	103
§ 5-1 弯曲的概念	103
§ 5-2 弯曲构件的力学简化	104
§ 5-3 剪力和弯矩	107
§ 5-4 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	111
§ 5-5 叠加法绘制弯矩图	115
§ 5-6 载荷集度、剪力和弯矩之间的微分关系	117
§ 5-7 刚架的内力图	122
§ 5-8 平面曲杆的弯曲内力图	126
习题	127
第六章 直梁弯曲的应力	132
§ 6-1 弯曲正应力和正应力强度条件	132
§ 6-2 弯曲切应力及切应力强度条件	140
§ 6-3 提高梁承载能力和抗弯强度的途径	150
习题	154
第七章 梁的弯曲变形	158
§ 7-1 梁的挠度及截面的转角	158
§ 7-2 梁的挠曲线近似微分方程	159
§ 7-3 用积分法求梁的变形	161
* § 7-4 用共轭梁法求梁的变形	165
§ 7-5 用叠加法求梁的变形	167
* § 7-6 用有限差分法求梁的变形	173
§ 7-7 梁的刚度校核 提高梁弯曲刚度的措施	175
§ 7-8 用变形比较法解简单超静定梁	177
习题	180
第八章 应力和应变状态分析	185
§ 8-1 应力状态的概念	185
§ 8-2 应力状态的实例	186
§ 8-3 二向应力状态分析的解析法与图解法	190
§ 8-4 平面应变状态分析	200
§ 8-5 电阻应变测试	202
§ 8-6 三向应力状态	204
§ 8-7 广义胡克定律	205
§ 8-8 复杂应力状态下的比能	210

§ 8-9 强度理论的概念	212
§ 8-10 常用的四种强度理论	214
习题	218
第九章 组合变形	223
§ 9-1 概述	223
§ 9-2 斜弯曲	224
§ 9-3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	229
§ 9-4 扭转与弯曲组合变形	233
* § 9-5 组合变形的普遍情况	237
习题	238
第十章 压杆稳定	243
§ 10-1 概述	243
§ 10-2 两端铰支细长压杆的临界压力	244
§ 10-3 其他支座条件下细长压杆的临界压力	246
§ 10-4 欧拉公式的适用范围 经验公式	250
§ 10-5 压杆的稳定计算	253
§ 10-6 提高压杆稳定性的措施	254
习题	256
第十一章 能量原理	262
§ 11-1 概述	262
§ 11-2 杆件应变能的计算	262
§ 11-3 应变能的普遍表达式	269
§ 11-4 互等定理	270
§ 11-5 虚功原理	272
§ 11-6 静不定结构概述	283
习题	295
第十二章 动载荷与交变应力	303
§ 12-1 概述	303
§ 12-2 动静法的应用	304
* § 12-3 强迫振动的应力计算	308
§ 12-4 杆件受冲击时的应力和变形	313
§ 12-5 冲击韧性	318
§ 12-6 交变应力与疲劳失效	320
§ 12-7 交变应力的循环特征、应力幅和平均应力	322
§ 12-8 持久极限	323
§ 12-9 影响持久极限的因素	324
§ 12-10 对称循环下构件的疲劳强度计算	330
§ 12-11 持久极限曲线	332

§ 12-12 非对称循环下构件的疲劳强度计算	334
§ 12-13 弯扭组合交变应力的强度计算	337
* § 12-14 变幅交变应力	340
§ 12-15 提高构件疲劳强度的措施	341
习题	343
* 第十三章 杆件的塑性变形	351
§ 13-1 概述	351
§ 13-2 金属材料的塑性性质	351
§ 13-3 拉伸和压缩杆系的塑性分析	354
§ 13-4 圆轴的塑性扭转	356
§ 13-5 塑性弯曲和塑性铰	359
§ 13-6 梁的塑性分析	363
§ 13-7 残余应力的概念	367
§ 13-8 塑性条件和塑性曲面	368
习题	370
附录 I 平面图形的几何性质	373
§ I-1 静矩 形心	373
§ I-2 惯性矩 极惯性矩 惯性积	376
§ I-3 平行移轴公式	380
§ I-4 转轴公式 主惯性轴 主惯性矩	382
习题	385
附录 II 型钢表	389
习题答案	404
参考文献	417
索引	418
Synopsis	428
Contents	430
作者简介	435

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务

1. 强度、刚度、稳定性的概念

工程中遇到的各种建筑物或机械都是由若干部件(零件)组成的。这些部件(零件)可以统称为构件,根据其几何特征可分为:杆件、板、壳、块体等。

要保证建筑物或机械安全地工作,显然其组成的构件要安全地工作。在材料力学中,保障构件安全工作需满足三个方面的条件。其一是强度条件,所谓强度,是指构件在外力作用下抵抗断裂或明显塑性变形的能力。例如,当机床主轴受力过大发生断裂或明显塑性变形时,整个机床就无法使用。我们谓之机床主轴发生了强度破坏。其二是刚度条件,所谓刚度,是指构件在外力作用下抵抗变形的能力。例如,建筑工程中经常用到的吊车梁如果变形过大致使吊车无法在其上行驶工作时,我们说吊车梁发生了刚度破坏。最后是稳定性条件,所谓稳定性,是指构件在外力作用下保持原有形状下的平衡状态的能力。例如,千斤顶的螺杆、建筑物的柱子这类构件如果在端部轴向外力作用下杆轴线发生了弯曲,我们则说其发生了稳定性破坏。强度、刚度及稳定性亦称衡量构件承载能力的三个方面。

2. 材料力学的任务

由以上讨论可知,如果构件设计得薄弱,或选用的材料不恰当,不能满足以上三方面条件,则不能安全地工作,从而影响到整体的安全性,甚至造成严重事故。另一方面,如果构件设计得过于强大,或选用的材料过好,虽然满足以上三方面条件,构件、整体都能安全工作,但构件的承载能力不能充分发挥,既浪费材料又增加重量和成本,也是不可取的。显然,构件的设计是否合理有着相互矛盾的两个方面,即安全性和经济性。既要有足够的承载能力,又要经济、适用。解决这对矛盾正是材料力学的任务所在。材料力学为解决上述矛盾提供理论依据和计算方法。而且,材料力学还在基本概念、基本理论和基本方法等方面,为结

构力学、弹性力学、结构设计等后续课程提供基础。

3. 材料力学的研究方法

构件的承载能力与其材料的机械性质(也称力学性能)有关,而材料的力学性能必须通过实验来测定。此外,在材料力学中许多理论分析是建立在某些假设条件的基础上的,其分析结果的正确与否有待于实验的检验;对于更多的现有理论无法分析解决的问题,也必须借助实验来解决。所以,实验分析和理论推导是材料力学解决问题的手段和方法。随着计算机技术的发展,计算机也成为材料力学的研究手段和工具。

§ 1-2 变形固体的基本假设

建筑物和机械的各种构件都是由各类材料制成的,虽然其物质结构和性质各异,但都为固体,且在外力的作用下都会发生尺寸和形状的变化,故在材料力学中称其为变形固体。

对变形固体制成的构件进行强度、刚度和稳定性研究时,为了简化计算,常根据所研究问题的性质略去一些次要因素,由某些假设得出理想化的模型,从而使所研究的问题简化,或使得用精确的理论方法求不出解答的问题得以求解。材料力学中对变形固体做了如下三个基本假设:

1. 均匀性假设

即认为物体在其整个体积内材料的结构和性质相同。事实上,变形固体的结构和性质并不是处处相同的。例如,金属晶粒之间的交接处与晶粒内部的性质显然不同;又如,混凝土块体中的石块、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很大,从中取出的任一部分都必定会包含很多的石块、砂子和水泥,故可认为混凝土也是均匀材料。根据这一假设,我们就可取出构件中的任何部分来研究材料的性质,再将其结果用于整个构件。

2. 连续性假设

即认为物体在其整个体积内毫无空隙地充满了物质。实际上,变形固体从其物质结构而言,组成固体的粒子之间是有空隙的,但这些空隙的大小与构件的尺寸相比极其微小,故假设固体内部是密实无空隙的。根据这一假设,物体内的一些物理量(如应力、变形和位移等)就可用位置坐标的连续函数表示。

3. 各向同性假设

即认为物体在各个方向具有相同的力学性质。实际上,对于晶体结构的金属材料而言,每个晶粒在不同的方向有不同的性质,但构件中包含晶粒的数量极多,晶粒的尺寸及其间的间隙与构件尺寸相比均极其微小,且晶粒在构件内错综交叠地排列着,所以材料的力学性质是组成材料的所有晶粒的性质的统计平均量,在宏观上可以认为晶体结构的材料是各向同性的。至于均匀的非晶体材料,如塑料、玻璃等,都可认为是各向同性的。根据这一假设,我们就可在物体的同一处沿各不同方向截取出性质相同的材料进行研究。

值得一提的是,有些材料明显只在某一方向上才有相同的力学性质,如各种轧制的钢筋、冷拉的钢丝以及纤维整齐的木材等,我们称其为单向同性材料。还有一些材料完全不具备各向同性和单向同性的性质,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,我们称其为各向异性材料。否则称为各向同性材料。

综上所述,在材料力学中,将材料看作均匀、连续、各向同性的变形固体。

§ 1-3 外力分类及构件的力学模型

所谓外力,是指物体所受到的其他物体对它的作用力。从不同角度可以有不同的分类。

1. 按其来源分类

可分为主动力和约束反力。一般而言,主动力是载荷,是构件存在的理由。约束反力是被动力,是为了阻止物体因载荷作用产生运动所起的反作用。

2. 按其作用范围分类

可分为表面力和体积力。所谓表面力,是指作用于物体表面的力,可进一步分为分布力和集中力。分布力是指连续作用于物体表面的较大范围内的力,如液体、水等对容器的压力,国际单位制中常用单位是 N/m^2 (牛/米²)、 kN/m^2 (千牛/米²) 或 MN/m^2 (兆牛/米²)。有些分布力是沿杆件的轴线作用的,如楼板对梁的作用力,可将其简化为分布在梁轴线上的线分布力,国际单位制中的单位是 N/m (牛/米) 或 kN/m (千牛/米)。若外力分布范围远小于物体的表面尺寸,或沿杆件轴线分布范围远小于杆件轴线长度,则可简化为作用于一点的集中力,如火车轮对钢轨的压力、滚珠轴承对轴的反作用力等,国际单位制中的单位是 N

(牛)。所谓体积力,是指连续分布于物体上各点的力,如物体的自重和惯性力等,国际单位制中的单位是 N/m^3 (牛/米³) 或 kN/m^3 (千牛/米³)。

3. 按其时间的关系分类

可分为静载荷和动载荷。所谓静载荷,是指载荷大小是由零缓慢地增加到终值,然后保持不变或变化很不明显的载荷。例如,缓慢置放于基础上的机器,对基础而言施加的是静载荷。所谓动载荷,是指大小随时间发生显著变化的载荷,按其变化方式又可分为交变载荷、冲击载荷等。交变载荷是指大小随时间呈周期性变化的载荷,如齿轮转动时,每一个齿上受到的啮合力大小都是随时间呈周期性变化的;冲击载荷是指在瞬时时间内施加于物体的载荷,如锻造时,汽锤与工件的接触是在瞬间完成的,工件和汽锤受到的均是冲击载荷。

应当指出,材料在静载荷作用下的力学性能与在动载荷作用下的力学性能颇不相同,分析方法也颇有差异。在本教材中,除专门介绍动力计算的章节外,主要讨论静载荷作用的问题。

4. 构件的力学模型

由于载荷种类繁多,构件形状各异,而且结构中各构件之间的连接形式多种多样,故无论怎样简单的结构,实际情况都是很复杂的,若不进行简化会使力学分析和计算非常复杂,甚至不可能得到计算结果。所以,在工程计算时,往往根据实际情况略去一些次要因素,仅仅考虑主要因素,将实际的构件抽象成为可以进行力学分析和计算的简化图形,称其为力学模型。

在选取构件的力学模型时,需综合考虑构件本身、约束和载荷等三方面情形。所遵循的原则不外乎有两个:一是尽可能地反映构件的真实情形;二是尽可能使力学计算简单方便。例如,图 1-1 是将切削工件的刀杆 AB 简化为悬臂梁 AB ,图 1-2 将机床的主轴简化为外伸梁,图 1-3 将飞机的机翼简化为悬臂梁。

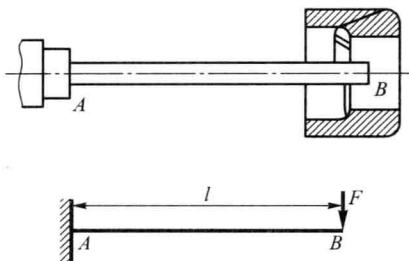


图 1-1

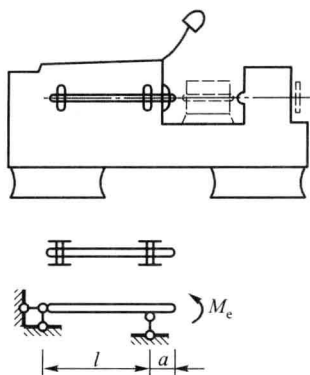


图 1-2

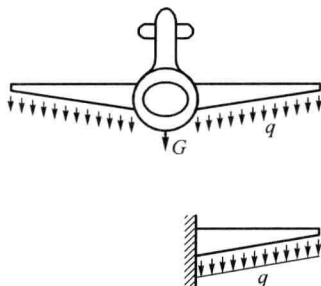


图 1-3

§ 1-4 内力和应力

1. 内力

物体在外力作用下发生尺寸和形状的改变,其原因是内部各质点的相对位置发生改变引起了各质点之间的相互作用力发生变化,这种由于受外力作用而引起的相互作用力的改变量在某一截面上对某点的主矢和主矩称为该截面上的内力。为了与分子之间作用力加以区别,这种内力也称为附加内力。此内力随外力变化而变化,当达到某一限度时,物体就会发生破坏,所以它与构件的承载能力密切相关。

2. 应力

上述内力是某一截面上各点受力(即分布内力系)对某点的主矢和主矩,并不能说明其在截面内某一点处的强弱程度。而对于构件的强度而言,分布内力系在各点的强弱程度即内力集度是至关重要的。例如,两根材料相同的杆件在两端受到轴向拉力作用,一根较粗,一根较细,两者同时增加相同的拉力时,显然细杆将先被拉断。这表明,虽然两杆截面上的内力相等,但内力的分布集度并不相同,细杆截面上内力分布集度比粗杆的大,所以在材料相同的情况下,判断杆件破坏的依据不是内力的大小,而是内力的集度,故仅仅知道构件截面上的内力是不够的,还需进一步研究内力的分布集度。内力的集度通常称为应力。

若在杆件截面上围绕一点 M 划出一小面积 ΔA ,因内力是连续分布在整个截面上的,故 ΔA 上也作用着内力的一部分,设其为 ΔF ,将力 ΔF 分解为垂直于

截面的法向内力 ΔF_n 和平行于截面的切向内力 ΔF_t , 如图 1-4 所示。

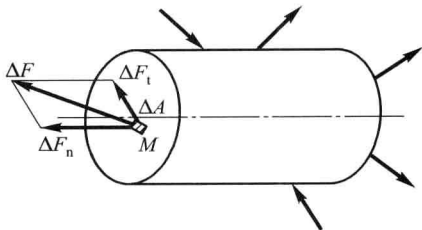


图 1-4

为消除所取面积 ΔA 大小的影响, 令 ΔA 趋于零, 我们称 ΔF_n 与 ΔA 的比值为点 M 的正应力, 即

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A} = \frac{dF_n}{dA} \quad (1-1)$$

类似有切应力, 即

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_t}{\Delta A} = \frac{dF_t}{dA} \quad (1-2)$$

在实用上常把应力当作作用于单位面积上的内力。它的量纲是 $ML^{-1}T^{-2}$, 国际单位制中的常用单位是 N/m^2 (牛/米²), 也称为帕斯卡, 其中文符号是帕, 国际符号是 Pa。由于这个单位太小, 使用不便, 通常还有千牛/米² = 10^3 牛/米², 记为 kN/m^2 (千帕, kPa); 兆牛/米² = 10^6 牛/米², 记为 MN/m^2 (兆帕, MPa); 吉牛/米² = 10^9 牛/米², 记为 GN/m^2 (吉帕, GPa)。

对微面积 dA , 不应单纯地从数学观念上去理解。我们是将微面积取得足够小 (比工程上所用的量度小得多, 但远大于物质分子的大小), 这样使我们一方面可用微分关系来分析应力, 另一方面又不会影响构造的真实概念。

因通过一点 M 可做出无穷多个截面, 故描述给定点处的应力时, 不仅要说明其大小、方向, 而且还要说明其所在的截面方位。详细的讨论见第八章的有关内容。

§ 1-5 正应变与切应变

1. 变形和位移

物体在外力作用下会发生尺寸和形状的改变, 我们称其为变形, 由此将会带来物体上各点、各线和各面的空间位置发生移动, 我们称其为位移。

从物体上某一点的原来位置到其新位置所连直线的距离,称为该点的线位移。物体上的某一直线段或某一平面在物体变形时所旋转的角度,称为该线或该面的角位移。如图 1-5 所示左端固定、右端自由的杆件,受到集中载荷 F 作用后,变形成为图中虚线所示形状,这时杆端平面中点 A 的线位移为 AA_1 ,杆端平面的角位移为 θ 。

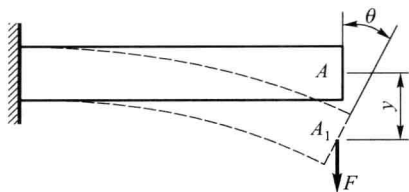


图 1-5

2. 正应变和切应变

为了研究构件的变形及其上各点的位移,可假想将构件分为无数个微体,一般取为正六面体,又称单元体。图 1-6 为从构件内某一点 M 处取出的一个正六面体,其沿 x 轴方向的棱边 AB 原长为 Δx ,变形后变为 $(\Delta x + \Delta u)$ 。 Δu 为线段 AB 的绝对变形,其大小与原长的长短有关。

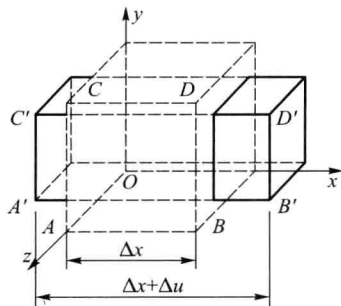


图 1-6

设当 AB 线段上各点处的变形程度相同时,则比值

$$\varepsilon = \frac{\Delta u}{\Delta x} \quad (1-3)$$

称为线段 AB 的相对变形,即正应变。它是一个量纲一的量。若线段 AB 内各点处的变形程度不同,则此比值是线段 AB 的平均正应变。当 Δx 趋于零时, M 点沿 x 方向的正应变即为