

高等学校教材

材料力学

王向东 邓爱民 编著
朱为玄 主审



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校教材

材 料 力 学

王向东 邓爱民 编著

朱为玄 主审



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书在继承传统材料力学体系的基础上,精选经典内容,适当增加了一些更具深度的内容和反映科技发展的新内容;突出基本概念、基本理论和基本方法;与前后相关课程既保持相对独立性,又不失连贯性与渗透性;精选例题和习题,以有利于启发式、引导式和互动式教学;努力做到有利于培养学生分析问题、解决实际问题的能力以及创新思维的能力。

本书共 15 章,内容包括绪论及基本概念、轴向拉伸和轴向压缩、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态和应变状态分析、强度理论、组合变形、连接部分的强度计算、压杆稳定、能量法、动荷载和交变应力、考虑材料塑性时杆的强度计算和开口薄壁杆件的约束扭转;附录包括平面图形几何性质、薄壁截面扇性几何性质和型钢截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性表。

本书可作为高等院校工科学专业、水利、土木类专业以及其他专业的材料力学教材或参考书,也可供力学教师和工程技术人员阅读、参考,并可作为大学生力学竞赛和硕士研究生入学考试的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 / 王向东, 邓爱民编著. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2014. 1
高等学校教材
ISBN 978-7-5170-1675-5

I. ①材… II. ①王… ②邓… 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011122号

书 名	高等学校教材 材料力学
作 者	王向东 邓爱民 编著 朱为玄 主审
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 23.75印张 563千字
版 次	2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	47.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

自国家级力学教学基地建设以来，河海大学已编写出版了两本材料力学教材，一本是按基地建设要求对传统材料力学内容体系作了较大调整的《材料力学》（面向 21 世纪课程教材，徐道远主编，河海大学出版社，2004 年出版），另一本是主要面向高等学校工科力学专业使用的《材料力学》（徐道远主编，河海大学出版社，2006 年出版）。

随着高等教育改革的深化和教学计划的不断改革，编写一本符合现行“高等院校材料力学基本要求（多学时）”的材料力学教材，满足高等院校力学、水利、土木类专业，或有更高要求的专业教学之需，实有必要。

本书在徐道远教授主编的上述两本教材的基础上，继承传统的材料力学体系，结合目前教学实际要求而编写，在内容编排上努力做到由浅入深、循序渐进，力求严格、准确、精炼地阐述基本概念、基本理论和基本方法，注意将材料力学与工程应用相联系，充分反映其工程应用背景。

本书内容包括：绪论及基本概念、轴向拉伸和轴向压缩、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态和应变状态分析、强度理论、组合变形、连接部分的强度计算、压杆稳定、能量法、动荷载和交变应力、考虑材料塑性时杆的强度计算和开口薄壁杆件的约束扭转；附录包括平面图形几何性质、薄壁截面扇性几何性质和型钢截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性。

本书由王向东（第 1 章、第 8~15 章及附录 A、附录 B 和附录 C）、邓爱民（第 2~7 章）编著。本书的选材主要参考了前述的两本教材，此外还参考了国内外一些材料力学教材，注意吸收各家之长。河海大学朱为玄教授对全书进行了审阅，河海大学徐道远教授对书稿提出了许多宝贵意见，使本书品质得以提升，特此致以衷心感谢。

本书可作为高等院校工科力学专业材料力学教材，也可作为水利、土木或其他专业材料力学教材和参考书，为便于教学内容的选择，在一些内容较深或较特殊的章节均注了 * 号。本书也可供力学教师和工程技术人员阅读、参考，并可作为大学生力学竞赛和硕士研究生入学考试的参考书。

限于编者水平，本书难免有不妥和疏漏之处，欢迎读者指正。

编 者

2013 年 9 月

目 录

前言

第 1 章 绪论及基本概念	1
1.1 材料力学的任务	1
1.2 变形固体的概念及其基本假设	2
1.3 杆件及其变形形式	3
1.4 内力和应力	4
1.5 位移和应变	6
1.6 材料力学的特点	7
习题	8
第 2 章 轴向拉伸和轴向压缩	9
2.1 概述	9
2.2 轴力及轴力图	10
2.3 轴向拉伸(压缩)杆件横截面上的正应力	12
2.4 应力集中的概念	15
2.5 轴向拉伸(压缩)杆件的变形	16
2.6 拉伸和压缩时材料的力学性质	20
2.7 几种新材料的力学性质简介	28
2.8 轴向拉伸(压缩)杆件的强度计算	29
2.9 轴向拉伸(压缩)超静定问题	34
习题	39
第 3 章 扭转	45
3.1 概述	45
3.2 扭矩和扭矩图 传动轴外力偶矩的计算	46
3.3 扭转圆杆横截面上的应力	47
3.4 圆杆扭转时的变形 扭转超静定问题	53
3.5 扭转时材料的力学性质	55
3.6 扭转圆杆的强度计算和刚度计算	56
3.7 非圆截面杆的扭转	58
习题	62
第 4 章 弯曲内力	66
4.1 概述	66

4.2	剪力和弯矩	67
4.3	剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	70
4.4	剪力、弯矩和荷载集度间的关系	73
4.5	叠加法作弯矩图	79
	习题	80
第 5 章	弯曲应力	83
5.1	概述	83
5.2	梁横截面上的正应力	83
5.3	梁横截面上的切应力	89
5.4	梁的强度计算和合理设计	95
* 5.5	非对称弯曲梁的正应力	102
5.6	开口薄壁截面梁的切应力 弯曲中心	106
* 5.7	异料复合梁	109
* 5.8	平面曲杆纯弯曲时的正应力	113
	习题	116
第 6 章	弯曲变形	123
6.1	梁的挠度和转角	123
6.2	梁的挠曲线近似微分方程	124
6.3	积分法计算梁的变形	125
6.4	转角和挠度的通用方程	129
6.5	叠加法计算梁的变形	132
6.6	梁的刚度计算	134
6.7	简单超静定梁	137
	习题	143
第 7 章	应力状态与应变状态分析	148
7.1	应力状态的概念	148
7.2	平面应力状态分析	149
7.3	基本变形杆件的应力状态分析	155
7.4	三向应力状态分析	158
7.5	广义胡克定律 体积应变	161
7.6	应变能和应变能密度	165
7.7	平面应变状态分析	168
	习题	172
第 8 章	强度理论	177
8.1	强度理论的概念	177
8.2	四种常用的强度理论	178

8.3	莫尔强度理论	179
* 8.4	双切应力强度理论	181
8.5	强度理论的应用	182
	习题	188
第 9 章	组合变形	191
9.1	概述	191
9.2	斜弯曲	192
9.3	拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	197
9.4	偏心压缩(拉伸)	199
9.5	截面核心	202
9.6	弯曲与扭转的组合变形	205
	习题	207
第 10 章	连接部分的强度计算	214
10.1	概述	214
10.2	铆接强度计算	215
10.3	其他连接件和连接的计算	221
	习题	225
第 11 章	压杆稳定	229
11.1	压杆稳定性的概念	229
11.2	细长压杆的临界力	230
11.3	压杆的柔度与压杆的非弹性失稳	236
11.4	压杆的稳定计算及提高压杆稳定性的措施	240
* 11.5	按折算弹性模量理论分析非弹性失稳的压杆	247
* 11.6	纵横弯曲问题	249
	习题	251
第 12 章	能量法	255
12.1	概述	255
12.2	杆件的弹性应变能计算	255
12.3	卡氏定理	259
12.4	莫尔定理	265
* 12.5	功的互等及位移互等定理	267
	习题	268
第 13 章	动荷载和交变应力	272
13.1	概述	272
13.2	构件作匀加速直线运动和匀速转动时的应力	272
13.3	构件受冲击时的应力和变形	276

13.4	交变应力和疲劳破坏	282
13.5	对称循环下的疲劳极限及其影响因素	285
13.6	对称循环下构件的疲劳强度计算	288
* 13.7	非对称循环下的疲劳极限和疲劳强度计算	289
13.8	钢结构构件的疲劳计算	293
	习题	295
* 第 14 章	考虑材料塑性时杆的强度计算	299
14.1	概述	299
14.2	圆杆的极限扭矩	300
14.3	梁的极限弯矩和残余应力的概念	301
14.4	超静定拉压杆系的极限荷载	306
	习题	308
* 第 15 章	开口薄壁杆件的约束扭转	310
15.1	概述	310
15.2	开口薄壁杆件约束扭转的正应力	311
15.3	开口薄壁杆件约束扭转的切应力	316
15.4	开口薄壁杆件约束扭转的微分方程	318
15.5	开口薄壁杆件的组合变形	322
	习题	327
附录 A	平面图形几何性质	329
A.1	平面图形的形心和面积矩	329
A.2	惯性矩和惯性积	331
A.3	惯性矩和惯性积的平行移轴公式	333
A.4	惯性矩和惯性积的转轴公式	335
A.5	主轴和主惯性矩	336
	习题	338
* 附录 B	薄壁截面扇性几何性质	342
B.1	扇形面积	342
B.2	扇形面积矩、扇性惯性矩和扇性惯性积	342
B.3	主扇性面积与主扇性惯性矩	343
B.4	主极点和主零点的确定	343
B.5	主扇性面积和主扇性惯性矩的确定	345
	习题	346
附录 C	型钢截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性 (GB/T 706—2008)	348
	习题参考答案	359
	参考文献	371

第 1 章 绪论及基本概念

本章介绍材料力学的任务、研究范畴、研究对象、研究的基本方法以及材料力学的特点。

材料力学的研究对象是杆件，将杆件作为变形固体。因此，本章将介绍变形固体的基本假设，杆件变形的基本形式，受力杆件中的内力、应力、变形、位移和应变等重要的概念。

1.1 材料力学的任务

结构物、机器等都是由许多部件组成的，例如，房屋的组成部件有梁、板、柱和承重墙等，机器的组成部件有齿轮、传动轴等。这些组成结构的部件统称为**构件** (member)。为了使结构物和机器能正常工作，必须首先确保构件能正常工作，即对构件进行设计，选择合适的尺寸和材料，使之满足一定的要求。这些要求是：

(1) **强度** (strength)。构件抵抗破坏的能力称为强度。构件在外力作用下必须具有足够的强度才不致发生破坏，即不发生**强度失效** (failure)。

(2) **刚度** (rigidity)。构件抵抗变形的能力称为刚度。在某些情况下，构件虽有足够的强度，但若刚度不够，即受力后产生的变形过大，也会影响正常工作。因此设计时，必须使构件具有足够的刚度，使其变形限制在工程允许的范围之内，即不发生**刚度失效**。

(3) **稳定性** (stability)。构件在外力作用下保持原有形状平衡的能力称为稳定性。例如受压力作用的细长直杆，当压力较小时，其直线形状的平衡是稳定的；但当压力过大时，直杆不能保持直线形状下的平衡，称为**失稳**。这类构件须具有足够的稳定性，即不发生**稳定失效**。

以上三个要求中，强度要求是基本的，只在某些情况下，才对构件提出刚度要求。至于稳定性问题，只有在一定受力情况下的某些构件才会出现。

为了满足上述要求，一方面必须从理论上分析和计算构件受**外力** (external force) 作用产生的**内力** (internal force)、**应力** (stress) 和**变形** (deformation)，建立强度、刚度和稳定性计算的方法；另一方面，构件的强度、刚度和稳定性与材料的**力学性质** (mechanical properties) 有关，而材料的力学性质需要通过试验确定。此外，由于理论分析要根据对实际现象的观察进行抽象简化，对所得结果的可靠性也要用试验来检验。**材料力学** (mechanics of materials) 的任务就是从理论和试验两方面，研究构件的内力、应力和变形，在此基础上进行强度、刚度和稳定性计算，以便合理地选择构件的尺寸和材料。必须指出，要完全解决这些问题，还应考虑工程上的其他问题，材料力学只是提供基本的理论和方法。

在选择构件的尺寸和材料时，还要考虑经济要求，即尽量降低材料的使用成本；但为了安全，又希望构件尺寸大些，材料质量高些。这两者之间存在着一定的矛盾，材料力学正是在解决这些矛盾中产生并不断发展的。

材料力学的发展与社会生产发展密切相关，材料力学的知识是从生产实践中产生，并逐渐从低级向高级发展起来的。在古代，虽然已有舟车、房屋、堤坝等机械和结构的建造和制作，并已逐渐对构件的受力特点、材料的力学性能和正确使用积累起丰富的经验，但一直到16世纪前，在结构和机械的设计中，仍然主要是根据经验或模仿，还没有上升到科学理论的水平。

材料力学作为一门科学，一般认为是从17世纪开始建立。此后，随着生产的发展，各国科学家对与构件有关的力学问题进行了广泛深入的研究，使材料力学这门学科得到了长足的发展。长期以来，材料力学的概念、理论和方法已广泛应用于土木、水利、船舶与海洋工程、机械、化工、冶金、航空与航天等工程领域。计算机以及实验方法和设备的飞速发展与应用，为材料力学的工程应用提供了强有力的手段。

1.2 变形固体的概念及其基本假设

固体在外力作用下产生各种各样的物理现象，而每门学科仅从自身的特定目的出发去研究某一方面的问题。为了研究方便，常常需要舍弃那些与所研究的问题无关或关系不大的特征，而只保留主要的特征，将研究对象抽象成一种理想的**模型** (model)。例如在理论力学中，为了从宏观上研究物体的平衡和机械运动的规律，可将物体看作刚体。在材料力学中，所研究的是构件的**强度、刚度和稳定性问题**，这就必须考虑物体的**变形**，即使变形很小，也不能将物体看作刚体。研究变形固体的力学称为固体力学或变形体力学。材料力学是固体力学的一个分支。

变形固体的组织构造及其物理性质十分复杂，为了抽象成理想的模型，通常对变形固体作出下列基本假设：

(1) **连续性假设** (assumption of continuity)。假设物体内部充满了物质，没有任何空隙。而实际的物体内部当然存在着空隙，而且随着外力或其他外部条件的变化，这些空隙的大小会发生变化。但从宏观方面研究，只要这些空隙的大小比物体的尺寸小得多，就可不考虑空隙的存在，而认为物体是连续的。

(2) **均匀性假设** (assumption of homogeneity)。假设物体内部各处的力学性质均完全相同。实际上，工程材料的力学性质都有一定程度的非均匀性。例如金属材料由晶粒组成，各晶粒的性质不尽相同，晶粒与晶粒交界处的性质与晶粒本身的性质也不同；又如混凝土材料由水泥、砂和碎石组成，它们的性质也各不相同。但由于这些组成物质的大小和物体尺寸相比很小，而且是随机排列的，因此，从宏观上看，可以将物体的性质看作各组成部分性质的统计平均量，认为物体的性质是均匀的。

(3) **各向同性假设** (assumption of isotropy)。假设材料在各个方向的力学性质均相同。金属材料由晶粒组成，单个晶粒的性质有方向性，但由于晶粒交错排列，从统计观点看，金属材料的力学性质可认为是各个方向相同的。例如铸钢、铸铁、铸铜等金属材料均

可认为是各向同性材料。同样，像玻璃、塑料、混凝土等非金属材料也可认为是各向同性材料。但是，有些材料在不同方向具有明显不同的力学性质，如经过碾压的钢材、纤维整齐的木材以及冷扭的钢丝等，这些材料是各向异性材料。在材料力学中主要研究各向同性的材料。

变形固体受外力作用后将产生变形。如果变形的大小较物体原始尺寸小得多，这种变形称为**小变形** (small deformation)。材料力学所研究的构件，受力后所产生的变形大多是小变形。在小变形情况下，研究构件的平衡以及内部受力等问题时，均可不计这种小变形，而按构件的原始尺寸计算。

当变形固体所受外力不超过某一范围时，若除去外力，则变形可以完全消失，并恢复原有的形状和尺寸，这种性质称为**弹性** (elasticity)。若外力超过某一范围，则除去外力后，变形不会全部消失，其中能消失的变形称为弹性变形，不能消失的变形称为**塑性** (plasticity) 变形，或残余变形、永久变形。对大多数的工程材料，当外力在一定的范围内时，所产生的变形完全是弹性的。对多数构件，要求在工作时只产生弹性变形。因此，在材料力学中，主要研究构件产生弹性变形的问题，即弹性范围内的问题。

1.3 杆件及其变形形式

根据几何形状的不同，构件可分为 3 类：

(1) **杆** (bar)。一个方向的尺寸比其他两个方向的尺寸大得多的构件称为杆或杆件，如图 1-1 (a) 所示。杆的几何形状可用一根中心**轴线** (axis) 和与中心轴线正交的**横截面** (cross section) 表示。根据轴线的形状，可分为直杆和曲杆；根据横截面沿轴线变化的情况，可分为等截面杆和变截面杆。例如组成桁架的杆多为等截面直杆，起重机的吊钩为变截面曲杆。

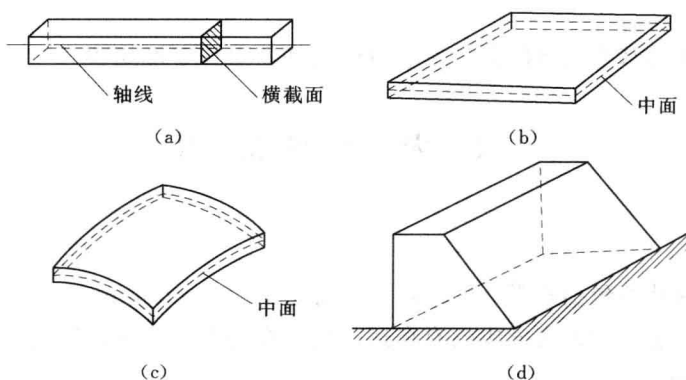


图 1-1 构件的分类

(2) **板和壳** (plate and shell)。一个方向的尺寸 (厚度) 比其他两个方向的尺寸小得多的构件称为板或壳。平分厚度的面称为**中面**。当中面为平面时，该构件称为板 (或平板)，如图 1-1 (b) 所示；当中面为曲面时，该构件称为壳 (或壳体)，如图 1-1 (c) 所示。例如楼板为平板，有些建筑物的屋顶为壳体。

(3) **块体** (solid block)。三个方向的尺寸相差不很大的构件称为块体。例如机器底座为块体, 图 1-1 (d) 所示的坝体也是块体。

材料力学主要研究杆件, 其他几类构件的分析需用弹性力学的方法。

杆在各种形式的外力作用下, 其变形形式多种多样, 但不外乎是某一种基本变形 (basic deformation) 或几种基本变形的组合。杆的基本变形可分为:

(1) **轴向拉伸或压缩** (axial tension or compression)。直杆受到与轴线重合的外力作用时, 杆的变形主要是轴线方向的伸长或缩短。这种变形称为轴向拉伸或压缩, 如图 1-2 (a)、(b) 所示。

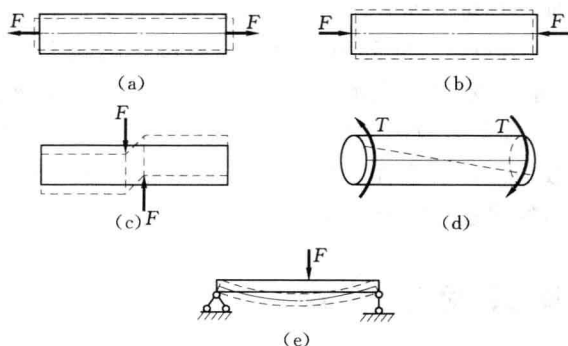


图 1-2 杆件的几种基本变形

(2) **剪切** (shear)。直杆受一对大小相等、方向相反、作用线相距很近的横向外力作用时, 杆的主要变形是横截面沿外力作用方向发生相对错动。这种变形称为剪切, 如图 1-2 (c) 所示。杆件在发生剪切变形的同时, 通常还会发生其他变形。

(3) **扭转** (torsion)。直杆在垂直于轴线的平面内, 受到大小相等、方向相反的力偶作用时, 各横截面发生相对转动。这种变形称为扭转, 如图

1-2 (d) 所示。

(4) **弯曲** (bending)。直杆受到垂直于轴线的外力或在包含轴线的平面内的力偶作用时, 杆的轴线由直变弯。这种变形称为弯曲, 如图 1-2 (e) 所示。

杆在外力作用下, 若同时发生两种或两种以上的基本变形, 则称为**组合变形** (complex deformation)。

本书先研究杆的基本变形问题, 然后再研究杆的组合变形问题。

1.4 内力和应力

1.4.1 内力

构件所受到的外力包括**荷载** (load) 和**约束反力** (reaction of constraint)。外力可从不同的角度分类, 这在理论力学中已有详述。构件在外力作用下发生变形的同时, 将引起**内力** (internal force)。

在物理学中, 物体内相邻质点之间的相互作用力称为内力。物体未受外力作用时, 内力已经存在, 正是因为内力的存在, 物体才能保持一定的形状。当外力作用后, 原有的内力会发生改变, 这一改变量称为附加内力。材料力学中研究的就是这种附加内力, 通常简称为内力。物体受外力作用产生变形引起了内力, 当外力增大使内力超过某一限度时, 物体将破坏。

1.4.2 截面法

为了计算内力，需将物体截开。如图 1-3 (a) 所示的直杆，假想在需求内力的截面 $m-m$ 处将杆截开为 A、B 两部分，留取任一部分，例如 A 部分 [见图 1-3 (b)]。在 A 部分上除有外力 F_1 和 F_2 外，还有 B 部分对它的作用力。这些作用力在 $m-m$ 截面上是连续分布的，即为截面上的分布内力。一般情况下，截面上的分布内力可以合成为一个力（主矢）和一个力偶（主矩）。以后将截面上分布内力的合力（力和力偶）简称为内力。

根据 A 部分的平衡方程可求出这些内力。同样，也可根据 B 部分的平衡方程求 $m-m$ 截面上的内力。

上述求内力的方法称为**截面法** (section method)，其求解步骤为：

(1) 假想在需求内力的截面处将物体截开为两部分，任取一部分为研究对象。

(2) 在留取的部分上，除保留作用在这部分上的外力以外，还要加上移去部分对这部分的作用力，即截开截面上的内力。

(3) 利用平衡方程，即可求得截面上的内力。

1.4.3 应力

实际的物体总是从内力集度最大处开始破坏的，因此只按理论力学中所述方法求出截面上分布内力是不够的，必须进一步确定截面上各点处分布内力的集度。为此，必须引入应力的概念。

在图 1-4 (a) 中受力物体某截面上某点 M 处的周围取一微面积 ΔA ，设其上分布内力的合力为 ΔF 。 ΔF 的大小和指向随 ΔA 的大小而变。 $\Delta F/\Delta A$ 称为面积 ΔA 上分布内力的平均集度，又称为平均应力。如令 $\Delta A \rightarrow 0$ ，则比值 $\Delta F/\Delta A$ 的极限值为

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1-1)$$

它表示一点处分布内力的集度，称为一点处的总应力。由此可见，应力是截面上一点处分布内力的集度。为了使应力具有更明确的物理意义，可以将一点处的总应力 p 分解为两个分量：一个是垂直于截面的应力，称为**正应力** (normal stress)，或称法向应力，用 σ 表示；另一个是沿着截面的应力，称为**切应力** (shear stress)，或称切向应力，用 τ 表示，如图 1-4 (b) 所示。物体的破坏现象表明，拉断破坏和正应力有关，剪切错动破坏和切应力有关。今后将只计算正应力和切应力而不计算总应力。

应力的量纲是 $ML^{-1}T^{-2}$ 。在国际单位制中，应力的单位名称是 [帕斯卡]，符号为

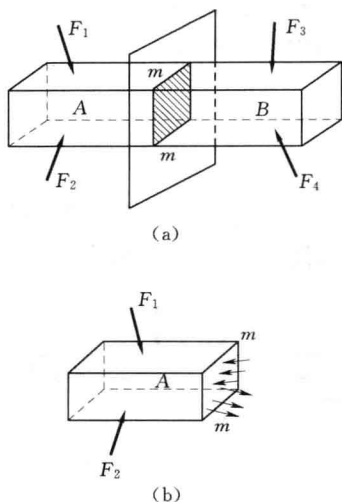


图 1-3 截面法原理

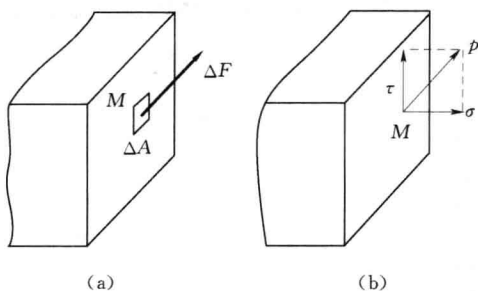


图 1-4 一点处的应力

Pa, 也可以用兆帕 (MPa) 或吉帕 (GPa) 表示, 其关系为: $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$, $1\text{GPa} = 10^3\text{MPa} = 10^9\text{Pa}$ 。

1.5 位移和应变

物体受力后, 其形状和尺寸都要发生变化, 即发生变形。为了描述变形, 现引入位移和应变 (strain) 的概念。

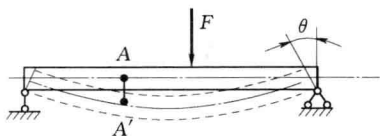


图 1-5 杆件的变形位移

1.5.1 位移

(1) **线位移** (linear deformation)。物体中一点相对于原来位置所移动的直线距离称为线位移。例如图 1-5 所示直杆, 受外力作用弯曲后, 轴线上任一点 A 的线位移为 $\overline{AA'}$ 。

(2) **角位移** (angular deformation)。物体中某一直线或平面相对于原来位置所转过的角度称为角位移。例如图 1-5 中, 杆的右端截面的角位移为 θ 。

上述两种位移是变形过程中物体各点作相对运动所产生的, 称为变形位移。变形位移可以描述物体的变形情况, 例如图 1-5 所示的直杆, 由杆的轴线上各点的线位移和各截面的角位移就可以描述杆的弯曲变形。

但是, 物体受力后, 其中不发生变形的部分, 也可能产生刚体位移。

本书仅讨论物体的变形位移。物体的刚体位移已在理论力学中讨论过, 本书将直接引用。一般来说, 受力物体各点处的变形是不均匀的。为了说明受力物体各点处的变形程度, 还需引入应变的概念。

1.5.2 应变

设想在物体内一点 A 处取出一微小的长方体, 它在 xy 平面内的边长为 Δx 和 Δy , 如图 1-6 所示 (图中未画出厚度)。物体受力后, A 点位移至 A' 点, 且长方体的尺寸和形状都发生了改变, 如边长 Δx 和 Δy 变为 $\Delta x'$ 和 $\Delta y'$, 直角变为锐角 (或钝角), 从而引出下面两种表示该长方体变形的量:

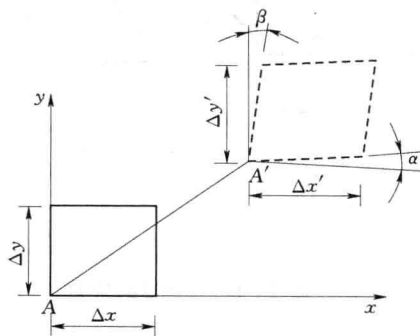


图 1-6 一点处的应变

(1) **线应变** (linear strain)。线段长度的改变称为线变形, 如图 1-6 中的 $\Delta x' - \Delta x$ 和 $\Delta y' - \Delta y$ 。但是, 线段长度的改变显然随线段原长的不同而变化。为避免线段原长的影响, 现引入线应变 (即相对变形) 的概念。设线应变用 ϵ 表示, 类似于应力的定义, 线应变定义为

$$\epsilon_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta x' - \Delta x}{\Delta x} \quad (1-2a)$$

$$\epsilon_y = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\Delta y' - \Delta y}{\Delta y} \quad (1-2b)$$

式中： ϵ_x 和 ϵ_y 表示无限小长方体在 x 和 y 方向的线应变，也就是 A 点处 x 和 y 方向的线应变。线应变是量纲为 1 的量。

(2) **切应变** (shear strain)。通过一点处互相垂直的两线段之间所夹直角的改变量称为切应变，用 γ 表示。例如在图 1-6 中，当 $\Delta x \rightarrow 0$ 和 $\Delta y \rightarrow 0$ 时直角的改变量为

$$\gamma = \alpha + \beta \quad (1-3)$$

这就是 A 点处的切应变。切应变通常用弧度表示，也是量纲为 1 的量。

线应变 ϵ 和切应变 γ 是描述物体内一点处变形的两个基本量，它们分别和正应力与切应力有联系。

1.6 材料力学的特点

材料力学是固体力学的一个分支，是土建、水利、机械和航空航天等专业的一门技术基础课程。它的理论、概念和方法无论对工程设计还是对力学分析以及较多的后续课程都是必不可少的。材料力学的特点是：

(1) **内容的系统性比较强**。材料力学内容的主线是分析和计算杆的应力和变形；根据杆的危险点处的应力进行强度计算；在某些情况下，求出杆的最大变形进行刚度计算；对一定受力情况下的某些杆进行稳定计算。先研究杆的基本变形，再研究组合变形。主要研究静荷载下的应力和变形问题，再研究一些动荷载问题和交变应力问题。主要研究材料处于弹性范围的应力和变形，对有些超过弹性范围的问题，只作简单介绍。

(2) **有科学的研究方法**。分析杆的应力和变形，必须基于杆件在各种力作用下处于平衡，以及杆件各部分的变形互相协调这两个前提，因而只用静力学的方法是不够的。材料力学的方法是通过试验现象的观察和分析，忽略次要因素，保留主要因素，在基本假设之外，再作某些假设，然后综合静力学方面、变形的几何方面和物理方面的条件，即综合应用平衡、变形协调和物理关系三方面的方程，导出应力和变形的理论计算公式，最后通过实验检验理论公式的正确性。在材料力学中采用某些假设，是为了简化理论分析，以便得到便于使用的计算公式。而利用这些公式计算得到的结果，可以满足工程上所要求的精度。

(3) **与工程实际的联系比较密切**。材料力学研究的内容既然是工程设计的理论基础，必然会遇到工程实际问题如何上升到理论，在理论分析时又如何考虑实际情况的问题。例如，如何将实际的构件连同其所受荷载和支承等，简化为可供计算的力学模型；在分析和计算时要考虑实际存在的主要因素以及设计制造上的方便性和经济性，等等。当然，很多实际问题的分析和处理，在专业的学科上要全面研究，但在材料力学中也应注意。

(4) **概念、公式较多**。材料力学中有较多的概念，这些概念对于理解内容、分析问题及正确运用基本公式，以至于对今后从事工作时如何分析和解决实际问题，都是很重要的，必须引起足够的重视。在学习时切不可只满足于背条文、代公式、囫圇吞枣、不求甚解。材料力学中有不少公式，但基本的公式并不多。只要能正确理解基本公式，用前后联系、互相对比的方法，并多做习题，就能够熟练地运用这些公式。

了解材料力学的特点后，只要认真学习，勤于思考、善于发现问题，注意培养自己分

析问题、解决问题和创新思维的能力，同时注意培养计算能力及实验能力，就一定能学好这门课程。

习 题

- 1-1 何谓强度？何谓刚度？何谓稳定性？
- 1-2 材料力学的研究对象是什么？对它们作了哪些假设和哪些研究范围的规定？
- 1-3 杆件变形的形式有几种？它们的外力特征和变形特征各是什么？
- 1-4 何谓内力？何谓应力？应力与内力有何区别？又有何联系？
- 1-5 何谓变形位移？它与刚体位移有何区别？
- 1-6 何谓应变？它与变形位移有何关系？
- 1-7 在理论力学中，将研究的对象看作是刚体，而在材料力学中，又将研究的对象看作是变形固体，是何原因？
- 1-8 图 1-7 所示为一厂房结构的示意图，试分析桥式吊车、吊车梁、屋架弦杆及柱会产生怎样的变形。

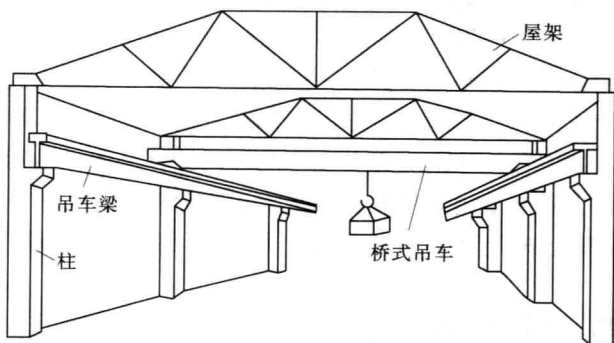


图 1-7

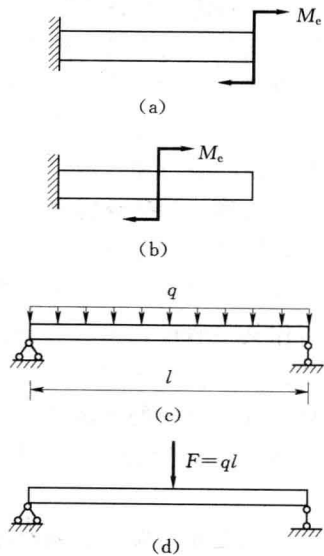


图 1-8

- 1-9 图 1-8 (a) 中的杆，右端的力偶 M_e 是否能搬移到图 1-8 (b) 中的位置？图 1-8 (c) 中杆上的均布荷载能否用图 1-8 (d) 中作用在杆中点的等效集中力代替？为什么？

第 2 章 轴向拉伸和轴向压缩

轴向拉伸和轴向压缩是杆件的基本变形之一。本章首先介绍轴向拉伸（压缩）杆件横截面上的内力、应力以及轴向拉伸（压缩）杆件的变形，并引出胡克定律。其次介绍拉、压时典型塑性材料和脆性材料的力学性质和一些重要性能指标（如 σ_p 、 σ_s 、 σ_b 、 E 等）及其实验测定方法。再次简单介绍了复合材料和黏弹性材料及其力学性能。最后介绍了轴向拉伸（压缩）杆件的强度计算以及超静定问题。

2.1 概 述

工程上有一些直杆，在外力作用下，其主要变形是轴线方向的伸长或缩短。例如图 2-1 (a) 中桁架的各杆及支承桁架的柱子，图 2-1 (b) 中渡槽的支墩，图 2-1 (c) 中连杆机构的连杆及图 2-1 (d) 中气缸的活塞杆等。这些杆件，尽管端部的连接方式各有差异，但根据其受力和约束情况，其计算简图均可用图 2-2 来表示。这类杆件称为轴向拉伸或轴向压缩杆件。轴向拉伸和轴向压缩是杆件的基本变形之一。

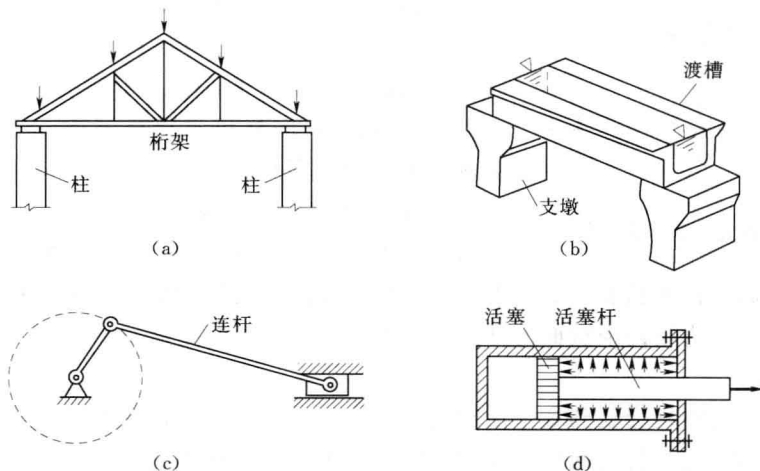


图 2-1 轴向拉压杆件实例

这类杆件的受力特点是：外力的合力作用线与杆轴线重合。图 2-2 (a) 为轴向拉伸杆件的受力情况，图 2-2 (b) 为轴向压缩杆件的受力情况。

这类杆件的变形特点是：杆件的主要变形是轴线方向的伸长或缩短，同时杆的横向（垂直于轴线方向）尺寸缩小或增大。图 2-3 (a) 为轴向拉伸的变形情况，图 2-3 (b) 为轴向压缩的变形情况，实线表示杆受力前的形状，虚线表示杆受力后的形状。