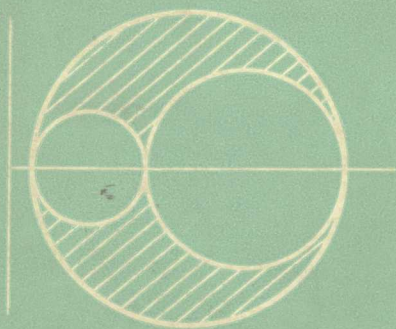


高等学校教材



刘鸿文 主编

材料力学

第二版 上册

高等教育出版社

高等学校教材

材 料 力 学

高等教育出版社

本教材第一版是浙江大学等九院校合编的《材料力学》，现在出版的第二版是由刘鸿文(主编)、林建兴、曹曼玲按一九八〇年审订的120学时材料力学教学大纲(草案)修订成的。第二版仍分上、下两册出版。

第二版中从第一章到第十四章和附录 I，为教学大纲中的基本部分，第十五章到第十八章是专题。专题和带有 * 号的内容，主要是教学大纲中列入的专题和大纲中标注 * 号的部分，供教师和读者根据需要取舍。

第二版上册包括第一章到第九章和附录，计有：绪论、拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲内力、弯曲强度、弯曲变形、应力状态及应变状态分析、强度理论、组合变形、平面图形的几何性质。下册包括第十章到第十八章，计有：能量法、静不定系统、动载荷、交变应力、压杆稳定、平面曲杆、厚壁圆筒和旋转圆盘、矩阵位移法、构件的塑性变形。

本教材适用于高等工业学校机械类各专业，也可供其他专业和有关工程技术人员参考。

高等学校教材
材 料 力 学
(第二版)

上 册
刘鸿文 主编

*

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京印刷一厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 13.375 字数 320,000
1979年2月第1版 1982年10月第2版 1987年7月第11次印刷

印数 648 501—723 500

书号 15010·0118 定价 2.40 元

第二版前言

这本教材的第一版是浙江大学等九院校合编的《材料力学》。现在依据一九八〇年审订的 120 学时材料力学教学大纲(草案),作了修订。

修订后的教材,从第一章到第十四章和附录 I,包括了教学大纲中的基本部分。第十五章到第十八章是四个专题。专题和带有 * 号的内容,主要是大纲中列入的专题和大纲中本来就标注 * 号的部分。按照大纲要求,这些都不是必需讲授的内容,教师可以根据实际情况,决定取舍。当前有些院校给材料力学课安排的教学时数,有时不足大纲规定的 120 学时,这就要求教师在巩固基础,有利教学的原则下,对教学内容注意精选,妥善处理。至于教材的前后次序,更可按各自的教学经验作一些更动。例如能量法一章,就可先讲虚功原理,并以此为基础进行讲授。其他章节的次序同样也可作一些变化,不再一一列举。总之,我们恳切希望,这本教材的第二版能给教学带来一点方便,但不要束缚了教与学的灵活性。

应材料力学教材编审小组的邀请,重庆大学袁懋昶、上海交通大学金忠谋两同志审查了书稿。材料力学教材编审委员蔡强康同志进行了复审。材料力学教材编审小组组长张福范同志也对原稿作了审阅。他们都分别提出了不少修改意见,对本书的及时定稿起了很大作用。此外,使用本书第一版的广大教师,陆续提出过很多修改建议。在本书第一版出版后,国内又继续出版了多种材料力学教材,给了我们很好的借鉴。这些对修订工作都起了有益的作用。谨此一并致谢。

参加这次修订工作的是林建兴、曹曼玲、刘鸿文等三同志,仍

由刘鸿文担任主编。浙江大学材料力学教研室和材料力学实验室的很多同志给予了支持。张礼明同志担任了描图工作。

限于编者的水平,修订后的教材恐难免还有疏漏和不妥之处。深望广大教师和读者继续提出批评和指正,使本书今后能不断得到改进。

编 者
1982. 7.

第一版前言

本书是根据一九七七年十一月教育部委托召开的高等学校工科力学教材会议讨论的机械类多学时材料力学教材编写大纲编写的。参加编写工作的同志有：西安交通大学陈瀚，陕西机械学院吴士艳，西北工业大学金志刚，华中工学院胡逾，南京工学院胡增强，镇江农机学院倪德耀，华东工程学院龚育宁，上海工业大学宁俊，浙江大学林建兴、曹曼玲、刘鸿文。由刘鸿文负责主编。此外，华中工学院梁广基、镇江农业机械学院徐雅宜、浙江大学吕荣坤等同志也参加了部分编写工作。

1978年9月在杭州为本书初稿召开了审稿会议。会议由上海交通大学金忠谋、夏有为，重庆大学袁懋昶、刘相臣等同志主持。参加会议的有哈尔滨工业大学、东北重型机械学院、清华大学、北京航空学院、天津大学、山东工学院、国防科学技术大学、中南矿冶学院等院校的同志。与会同志对初稿进行了认真的讨论，提出不少修改意见，对本书的定稿工作起了很大作用，谨此致谢。

按照机械类多学时材料力学教材编写大纲的要求，本书一至十五章和附录I为基本内容。十六至十八章和其他章节中标有*号的部分为选修内容。即使是基本内容，也不一定要全部讲授，教师可根据实际情况作一些必要的取舍。

编写本书时，我们在运用辩证唯物主义阐述材料力学基本规律，贯彻理论联系实际，反映科学技术的最新发展，删繁就简等方面，作过一些努力。但因时间仓促，并限于编者的政治和业务水平，难免还存在不少缺点和不妥之处，希望使用本书的广大教师和读者提出批评和指正，以利于教材质量的进一步提高。

编 者

1979.2.

上册目录

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	3
§ 1-3 外力及其分类	5
§ 1-4 内力、截面法和应力的概念	6
§ 1-5 线应变与角应变	10
§ 1-6 杆件变形的基本形式	11
第二章 拉伸与压缩	15
§ 2-1 轴向拉伸与压缩的概念和实例	15
§ 2-2 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力和应力	16
§ 2-3 直杆轴向拉伸或压缩时斜截面上的应力	22
§ 2-4 材料在拉伸时的机械性质	24
§ 2-5 材料在压缩时的机械性质	32
* § 2-6 温度和时间对材料机械性质的影响	34
§ 2-7 许用应力和安全系数 轴向拉伸或压缩时的强度计算	36
§ 2-8 轴向拉伸或压缩时的变形	42
§ 2-9 直杆轴向拉伸或压缩时的变形能	47
§ 2-10 拉伸、压缩静不定问题	50
§ 2-11 温度应力和装配应力	54
§ 2-12 应力集中的概念	59
习题	61
第三章 剪切	76
§ 3-1 剪切的观念和实用计算	76
§ 3-2 挤压和挤压的实用计算	80
§ 3-3 纯剪切 剪应力互等定理 剪切虎克定律	84
§ 3-4 剪切变形能	87
习题	88

第四章 扭转	92
§ 4-1 扭转的概念和实例	92
§ 4-2 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图	93
§ 4-3 圆轴扭转时的应力和强度条件	97
§ 4-4 圆轴扭转时的变形和刚度条件	105
§ 4-5 圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形	110
§ 4-6 非圆截面杆扭转的概念	115
* § 4-7 薄壁杆件的自由扭转	119
习题	126
第五章 弯曲内力	137
§ 5-1 平面弯曲的概念和实例	137
§ 5-2 受弯杆件的简化	138
§ 5-3 剪力和弯矩	142
§ 5-4 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图	146
§ 5-5 载荷集度、剪力和弯矩间的关系	153
§ 5-6 用叠加法作弯矩图	157
§ 5-7 平面曲杆的弯曲内力	159
习题	160
第六章 弯曲强度	170
§ 6-1 概述	170
§ 6-2 纯弯曲时梁横截面上的正应力	171
* § 6-3 非对称梁的纯弯曲	177
§ 6-4 横力弯曲时的正应力 正应力强度条件	180
§ 6-5 弯曲剪应力	185
§ 6-6 弯曲剪应力的强度校核	194
* § 6-7 开口薄壁杆件的弯曲剪应力 弯曲中心	197
§ 6-8 提高弯曲强度的一些措施	205
习题	213
第七章 弯曲变形	224
§ 7-1 工程实际中的弯曲变形问题	224
§ 7-2 挠曲线的微分方程 刚度条件	225

§ 7-3 用积分法求弯曲变形·····	228
§ 7-4 用叠加法求弯曲变形·····	235
§ 7-5 有限差分法·····	244
§ 7-6 提高弯曲刚度的一些措施·····	249
习题·····	251
第八章 应力状态及应变状态分析 强度理论 ·····	265
§ 8-1 应力状态的概念·····	265
§ 8-2 二向应力状态和三向应力状态的实例·····	267
§ 8-3 二向应力状态分析——解析法·····	271
§ 8-4 二向应力状态分析——图解法·····	277
§ 8-5 三向应力状态·····	283
§ 8-6 平面应变状态分析·····	287
§ 8-7 广义虎克定律·····	293
* § 8-8 各向同性材料弹性常数间的关系·····	298
§ 8-9 复杂应力状态下的变形比能·····	300
§ 8-10 强度理论的概念·····	302
§ 8-11 常用的四种强度理论·····	304
* § 8-12 塑性曲面的概念·····	311
* § 8-13 莫尔强度理论·····	313
习题·····	317
第九章 组合变形 ·····	326
§ 9-1 组合变形的概念和实例·····	326
§ 9-2 斜弯曲·····	328
§ 9-3 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形·····	335
§ 9-4 扭转与弯曲的组合变形·····	342
* § 9-5 组合变形的普遍情况·····	351
习题·····	353
附录 I 平面图形的几何性质 ·····	362
§ I-1 静矩和形心·····	362
§ I-2 惯性矩和惯性半径·····	366
§ I-3 惯性积·····	371

§ I-4 平行移轴公式	372
§ I-5 转轴公式 主惯性轴	376
习题	381
附录 II 型钢表	384
附录 III 单位换算	402
附录 IV 上册习题答案	404

第一章 绪 论

§ 1-1 材料力学的任务

机械或工程结构的每一组成部分称为构件。当机械或工程结构工作时,任一构件都将受到载荷的作用。例如,车床切削时,主轴受到齿轮啮合力、切削力等载荷的作用。为保证机械或工程结构的安全,每一构件都应有足够的能力,担负起所应承受的载荷。这种承载能力主要由以下三方面来衡量:

一、构件应有足够的强度。例如,冲床的曲轴,在工作冲击力作用下不应折断。又如,储气罐或氧气瓶,在规定压力下不应爆破。可见,所谓强度是指构件在载荷作用下抵抗破坏的能力。

二、构件应有足够的刚度。在载荷作用下,构件的形状和尺寸必将发生变化,称为变形。但某些构件的变形,不能超过正常工作允许的限度。以机床的主轴为例,即使它有足够的强度,若变形过大,仍会影响工件的加工精度。又如当齿轮轴的变形过大时(图 1-1, a),将使轴上的齿轮啮合不良,并引起轴承的不均匀磨损(图 1-1, b)。因而,所谓刚度是指构件在外力作用下抵抗变形的能力。

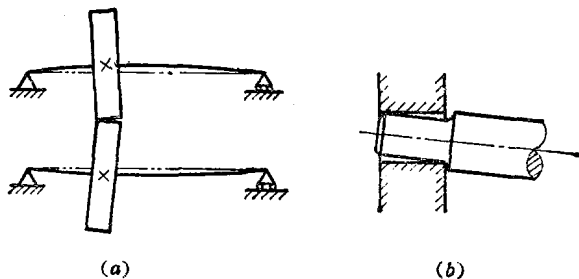


图 1-1

三、构件应有足够的稳定性。有些细长直杆,如内燃机中的挺杆、千斤顶中的螺杆等(图 1-2, *a* 和 *b*),在压力作用下便有被压弯的可能。为了保证其正常工作,要求这类杆件始终保持直线形式,亦即要求原有的直线平衡形态保持不变。所以,所谓稳定性是指构件保持其原有平衡形态的能力。

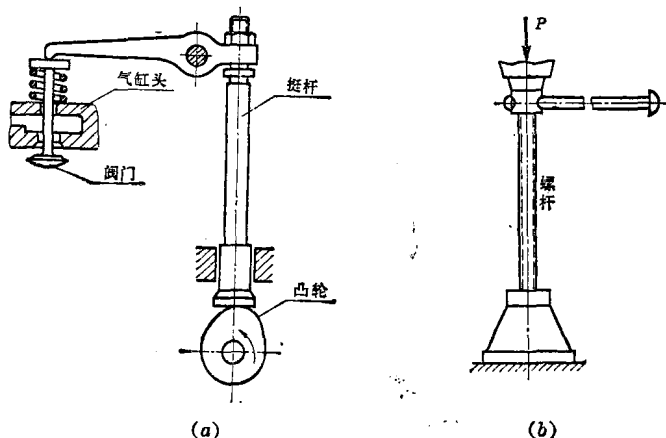


图 1-2

若构件的截面尺寸过小,或截面形状不合理,或材料选用不当,在外力作用下将不能满足上述要求,从而影响机械或工程结构的正常工作。反之,如构件尺寸过大,材料质量太高,虽满足了上述要求,但构件的承载能力难以充分发挥。这样,既浪费了材料,且增加了成本和重量。材料力学的任务就是在满足强度、刚度和稳定性的要求下,以最经济的代价,为构件确定合理的形状和尺寸,选择适宜的材料;为构件设计提供必要的理论基础和计算方法。

实际工程问题中,一般说,构件都应有足够的强度、刚度和稳定性。但就一个具体构件而言,对上述三项要求往往有所侧重。例如,氧气瓶以强度要求为主,车床主轴以刚度要求为主,而挺杆则

以稳定性要求为主。此外,对某些特殊构件,还往往有相反的要求。例如,为保证机器不致超载,当载荷到达某一极限值时,要求安全销立即破坏。又如车辆中的缓冲弹簧,在保证强度的要求下,又力求有较大的变形,以发挥其缓冲作用。

构件的强度、刚度和稳定性与材料的机械性质^①(又称为力学性质或力学性能)有关,而材料的机械性质要由实验来测定。此外,许多理论分析结果,是在某些假设条件下得到的,是否可靠,有待实验的验证。还有些问题现在尚无理论分析结果,须借助于实验方法来解决。所以,实验分析和理论研究同样是材料力学解决问题的手段。

§ 1-2 变形固体的基本假设

各种构件一般均由固体材料制成。在外力作用下,固体将发生变形,故称为变形固体或可变形固体。变形固体的性质是多方面的,从不同的角度研究问题,侧重面也不一样。研究构件的强度、刚度和稳定性时,常根据与问题有关的一些主要因素,省略一些关系不大的次要因素,对变形固体作某些假设,把它抽象成理想模型。材料力学中对变形固体所采取的假设有:

1. 连续性假设 认为组成固体的物质毫无空隙地充满了固体的几何空间。从物质结构来说,组成固体的粒子之间实际上并不连续。但它们之间所存在的空隙与构件的尺寸相比,极其微小,可以忽略不计。这样就可认为固体在其整个几何空间内是连续的。

2. 均匀性假设 认为在固体的体积内,各处的机械性质完全相同。就工程上使用最多的金属来说,其各个晶粒的机械性质,并不完全相同。但因在构件或构件的某一部分中,包含的晶粒为

^① 关于材料机械性质的讨论,详见 § 2-4。

数极多,而且是无规则地排列的,其机械性质是所有各晶粒的性质的统计平均值,所以可以认为构件内各部分的性质是均匀的。

材料力学并不根据物质的粒子结构来研究物体内的受力和变形,因此可以把变形固体抽象为均匀连续的模型,从而得出满足工程要求的实用理论。但对发生于晶粒或分子那样大小范围内的现象,再用均匀连续假设就难以得到合理的结果。

3. 各向同性假设 认为固体在各个方向上的机械性质完全相同。具备这种属性的材料称为各向同性材料。就金属的单一晶粒来说,在不同方向上,其机械性质并不一样。但金属物体包含着数量极多的晶粒,而且各晶粒又是杂乱无章地排列的,这样其在各个方向上的性质就接近相同了。铸钢、铸铜和玻璃等都可认为是各向同性材料。在今后的讨论中,一般都把固体假设为各向同性的。

在各个方向上具有不同机械性质的材料,称为各向异性材料,如胶合板、纤维织品和木材等。

4. 小变形条件 固体因外力作用而引起的变形,按不同情况,可能很小也可能相当大。但材料力学所研究的问题,限于变形的大小远小于构件原始尺寸的情况。这样,在研究构件的平衡和运动时,就可忽略构件的变形,而按变形前的原始尺寸进行分析计算。例如在图 1-3 中,简易吊车的各杆因受力而变形,引起支架几何形状和外力位置的变化。但由于 δ_1 和 δ_2 都远小于吊车的其他

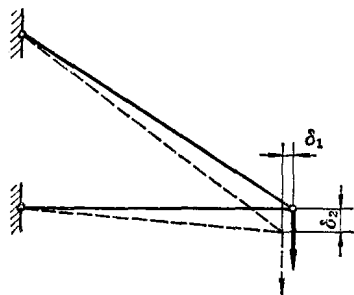


图 1-3

尺寸,所以在计算各杆受力时,仍然可用吊车变形前的几何形状和尺寸。今后将经常使用小变形的概念以简化分析计算。至于构件

变形过大,超出小变形条件,一般不在材料力学中讨论。

试验结果表明,如外力不超过一定限度,绝大多数材料在外力作用下发生变形,在外力解除后又可恢复原状。但如外力过大,超过一定限度,则外力解除后只能部分复原,而遗留下一部分不能消失的变形。随外力解除而消失的变形称为弹性变形;外力解除后不能消失的变形称为塑性变形,也称为残余变形或永久变形。一般情况下,要求构件只发生弹性变形,而不希望发生塑性变形。

§ 1-3 外力及其分类

作用于构件上的外力(包括载荷和支反力),按其作用方式可分为表面力和体积力。表面力是作用于物体表面上的力,又可分为分布力和集中力。连续作用于物体表面面积上的力即为分布力,例如作用于油缸内壁上的油压力,作用于船体上的水压力等。有些分布力是沿杆件的轴线作用的,如楼板对屋梁的作用力就是沿梁轴线分布的。若外力分布面积远小于物体的表面尺寸,或沿构件轴线分布范围远小于轴线长度,就可看作是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。体积力是连续分布于物体内部各点上的力,例如物体的自重和惯性力等。体积力有时也可简化成分布力或集中力,例如杆件的自重就可看作是沿轴线的分布力。

载荷按随时间变化的情况,又可分成静载荷和动载荷。若载荷缓慢地由零增加到某一定值,以后即保持不变,或变动很不显著,即为静载荷。例如,当把机器缓慢地置放在基础上时,机器的重量对基础的作用便是静载荷。若载荷随时间而变化,则为动载荷。按其随时间变化的方式,动载荷又可分为交变载荷和冲击载荷。交变载荷是随时间作周期性变化的载荷,例如当齿轮转动时,

作用于每一个齿上的力都是随时间按周期性变化的。冲击载荷则是物体运动在瞬时内发生突然变化所引起的载荷,例如,急刹车时飞轮的轮轴,锻造时汽锤的锤杆等都受到冲击载荷的作用。

材料在静载荷下和在动载荷下的性能颇不相同,分析方法也颇有差异。因为静载荷问题相对的说比较简单,且在静载荷下建立的理论和分析方法,又可作为解决动载荷问题的基础,所以我们首先研究静载荷问题。

§ 1-4 内力、截面法和应力的概念

物体因受外力而变形,其内部各部分之间因相对位置改变而引起的相互作用就是内力。我们知道,即使不受外力,物体的各质点之间,依然存在着相互作用的力。材料力学中的内力,是指外力作用下,上述相互作用力的变化量,所以是物体内部各部分之间因外力而引起的附加相互作用力,即“附加内力”。这样的内力随外力的增加而加大,到达某一限度时就会引起构件破坏,因而它与构件的强度是密切相关的。

为了显示出构件在外力作用下 $m-m$ 截面上的内力,用平面假想地把构件分成 I 、 II 两部分(图 1-4, a)。任取其中一部分,例如 II , 作为研究对象。在部分 II 上作用的外力有 P_3 和 P_4 欲使 II 保持平衡,则 I 必然有力作用于 II 的 $m-m$ 截面上, 以与 II 所受外力平衡, 如图 1-4, b 所示。根据作用与反作用定律可知, II 必然也以大小相等、方向相反的力作用于 I 上。上述 I 与 II 之间相互作用的力就是构件在 $m-m$ 截面上的内力。按照连续性假设, 在 $m-m$ 截面上各处都有内力作用, 所以内力是分布于截面上的一个分布力系。今后把这个分布内力系向截面上某一点简化后得到的主矢和主矩, 称为截面上的内力。

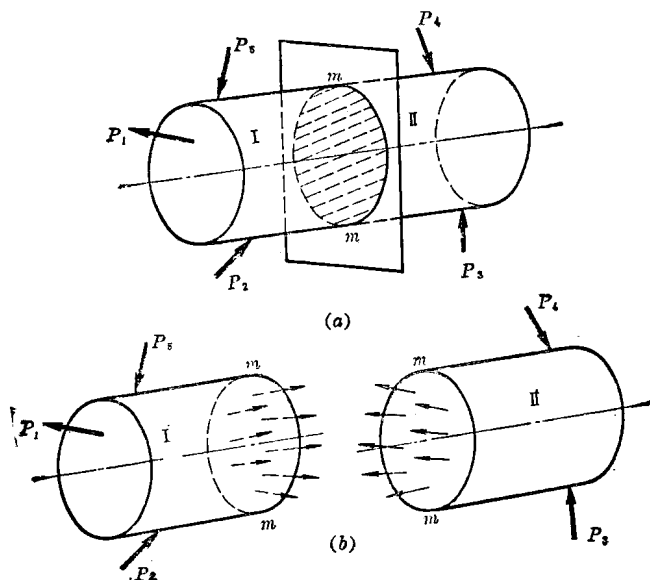


图 1-4

对我们所研究的部分 II 来说, 外力 P_3 、 P_4 和 $m-m$ 截面上的内力保持平衡, 根据平衡条件就可以确定 $m-m$ 截面上的内力。

上述用截面假想地把构件分成两部分, 以显示并确定内力的方法称为截面法。可将其归纳为以下三个步骤:

(1) 欲求某一截面上的内力时, 就沿该截面假想地把构件分成两部分, 任意地留下一部分作为研究对象, 并弃去另一部分。

(2) 用作用于截面上的内力代替弃去部分对留下部分的作用。

(3) 建立留下部分的平衡条件, 确定未知的内力。

例 1-1 钻床如图 1-5, a 所示, 在载荷 P 作用下, 试确定 $m-m$ 截面上的内力。

解: 1. 沿 $m-m$ 截面假想地将钻床分成两部分。取 $m-m$ 截面以上部分