

高等学校教材

材料力学

(第二版)

成都科技大学 昆明工学院 合编
云南工学院 四川工业学院



四川大学出版社

CALILIAO LIXUE

内容提要

本书系参照国家教育委员会 1986 年 10 月颁发的高等工业学校材料力学课程教学基本要求,编写的适于 70 至 100 学时用的教材,全书包括绪论、轴向拉伸与压缩、材料的力学性质、扭转、梁的内力、梁的应力、梁的变形、平面图形的几何性质、应力状态理论和强度理论、组合变形、连接件的实用计算、能量法与超静定系统、压杆稳定、动载荷、交变应力。书中带·号的部分供选读。

本书除作为本科生教材外,还适于夜大和职工大学等选作教材,并可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 / 成都科技大学等编. —2 版. 成都: 四

川大学出版社, 2003.1

ISBN 7-5614-2542-2

I. 材... II. 成... III. 材料力学-高等学校-教材 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 005253 号

书名 材料力学

作者 成都科技大学等 编
出版 四川大学出版社
地址 成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发行 四川省新华书店经销
印刷 成都市新都华兴印务公司
开本 787 mm×1 092 mm 1/16
印张 20.25
字数 456 千字
版次 1994 年 12 月第 1 版
印次 2003 年 2 月第 4 次印刷
印数 17 501~17 900 册
定价 25.00 元

版权所有◆侵权必究

◆读者邮购本书,请与本社发行科
联系。电话:85408408/85401670/
85408023 邮政编码:610065
◆本社图书如有印装质量问题,请
寄回印刷厂调换。
◆网址:www.scupress.com.cn

第一版 前 言

根据国家教委关于加强本科生教学的指示精神,考虑到工科院校开设 70 至 100 学时材料力学课程的专业量大面广,为了使这些专业有较多选择教学用书的余地,成都科技大学、昆明工学院、云南工学院、四川工业学院四所院校商定合编这套教材。学生毕业后在实际工作中,将涉及广泛的力学问题,而在材料力学教学中,又只能提供解决问题的最基本的理论和方法,因此本教材编写的指导思想是:内容广泛、深度适当、深入浅出、联系实际、便于自学。它不但适于本科生,也适合夜大和职大作教材,并可供工程技术人员阅读参考。

根据材料力学学科近年的发展,本书对材料的力学性能、应力状态和能量法几部分作了适当加强,希望能对读者尽快适应工作需要和提高分析问题的能力有所裨益。

参加本书编写的同志都从事材料力学教学工作多年,书中融会了每个同志的教学经验和体会;同时,各章都编写了小结和思考题,为读者的自学提供便利。书中带 * 号的内容是选读章节。

编写的具体分工是:成都科技大学颜怀俊编写第五、十二、十三章,张训仁第六、十章,李使君第七章及附录 I。昆工学院李治恩编写第一章,苏瓚第三章,杨桂生第八章应力状态部分,孙家诗第八章强度理论部分,杨立松第十四章。云南工学院罗志庆编写第二章,叶鹏第四章,朱明芳第九章。四川工业学院张传兴编写第十一章。全书插图由成都科技大学陈宗碧绘制。

编写中分两片统稿:成都片由成都科技大学龚志钰副教授主持,冯广占、颜怀俊等同志参加;昆明片由昆明工学院毕谦教授主持,王之屏、杨立松、苏瓚等同志参加。分片统稿后,两片又交换互审,最后由冯广占教授对全书审定和统编。

本教材在编写过程中,得到上述各院校材料力学教研室同志们的大力支持,特此致谢。

限于编者水平,编写中难免有欠妥之处,欢迎批评指正。

编 者

1988 年 7 月

第二版 前 言

本版是根据使用本书第一版的广大教师提供的意见进行修订的。主要对绪论、材料力学性质、弯曲应力、应力状态与强度理论、能量法与超静定系统、交变应力等章作了较多删减、改写或增补,以适应不同教学学时要求。同时对原版中排版不当、符号不统一和不妥之处,也尽量作了更正。

修订工作由成都科技大学颜怀俊副教授、龚志钰教授、冯广占教授完成。修订中,蒋国宾、张训仁、李使君、李章政、王清远等老师给予了大力支持,并提供了许多修改意见,特此致谢。

限于水平,修订后的教材仍可能有疏漏和不当之处,殷切希望教师和学生继续提供宝贵意见,以使本书不断改进和完善。

修订者

1994年3月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 材料力学的任务和内容	(1)
§ 1-2 材料力学的近期发展	(2)
§ 1-3 变形固体及其基本假设	(3)
§ 1-4 杆件及其变形形式	(4)
小 结	(6)
思 考 题	(6)
第二章 轴向拉伸与压缩	(7)
§ 2-1 概述	(7)
§ 2-2 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力	(7)
§ 2-3 轴向拉伸或压缩时横截面上的应力	(9)
§ 2-4 轴向拉伸或压缩时斜截面上的应力	(11)
§ 3-5 轴向拉伸或压缩时的强度计算	(12)
§ 3-6 轴向拉伸或压缩时的变形	(15)
§ 3-7 拉、压超静定问题	(19)
§ 3-8 变形能的概念	(24)
小 结	(25)
思 考 题	(25)
习 题	(26)
第三章 材料的力学性能	(33)
§ 3-1 材料在拉伸时的力学性能	(33)
§ 3-2 材料在压缩时的力学性能	(37)
§ 3-3 材料的力学性能指标	(39)
§ 3-4 脆性材料和塑性材料力学性能的比较、应力集中概念	(42)
§ 3-5 环境对材料力学性能的影响	(43)
§ 3-6 安全系数和许用应力	(44)
小 结	(45)
思 考 题	(45)
习 题	(46)
第四章 扭转	(47)
§ 4-1 概述	(47)
§ 4-2 转矩(外力偶矩)、扭矩和扭矩图	(47)
§ 4-3 薄壁圆筒的扭转	(49)

§ 4-4 圆轴扭转时的应力和强度计算	(51)
§ 4-5 圆轴扭转时的变形和刚度计算	(55)
§ 4-6 非圆截面杆的扭转简介	(58)
小 结	(61)
思 考 题	(62)
习 题	(63)
第五章 梁的内力	(66)
§ 5-1 概述	(66)
§ 5-2 梁的计算简图	(67)
§ 5-3 梁弯曲时的内力——剪力和弯矩	(68)
§ 5-4 剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图	(70)
* § 5-5 奇异函数在求梁内力中的应用	(73)
§ 5-6 载荷集度、剪力和弯矩间的关系	(74)
§ 5-7 用叠加法作弯矩图	(79)
小 结	(80)
思 考 题	(81)
习 题	(82)
第六章 梁的应力	(87)
§ 6-1 概述	(87)
§ 6-2 平面弯曲时横截面上的正应力	(87)
§ 6-3 梁的剪应力	(92)
§ 6-4 开口薄壁杆件的弯曲中心	(97)
§ 6-5 弯曲正应力和剪应力的强度条件	(98)
§ 6-6 提高梁强度的措施	(102)
小 结	(106)
思 考 题	(106)
习 题	(107)
第七章 梁的变形及简单超静定梁	(113)
§ 7-1 弯曲变形——挠度和转角	(113)
§ 7-2 挠曲线的近似微分方程	(114)
§ 7-3 用积分法计算梁的变形	(115)
§ 7-4 用叠加法计算梁的变形	(121)
§ 7-5 梁的刚度条件和提高梁刚度的措施	(124)
§ 7-6 简单超静定梁的解法	(126)
小 结	(129)
思 考 题	(131)
习 题	(131)

第八章 应力状态理论和强度理论	(137)
§ 8-1 应力状态的概念	(137)
§ 8-2 二向应力状态分析	(138)
§ 8-3 三向应力状态简介、广义虎克定律	(145)
§ 8-4 平面应变状态分析	(147)
§ 8-5 强度理论概述	(150)
§ 8-6 常用的四种强度理论	(151)
* § 8-7 莫尔强度理论	(153)
* § 8-8 双剪应力理论	(155)
§ 8-9 强度理论的应用	(156)
小 结	(158)
思 考 题	(160)
习 题	(161)
第九章 组合变形	(165)
§ 9-1 概述	(165)
§ 9-2 拉伸(压缩)与弯曲的组合	(166)
§ 9-3 弯曲与扭转的组合	(170)
§ 9-4 斜弯曲	(174)
小 结	(177)
思 考 题	(178)
习 题	(179)
第十章 连接件的实用计算	(183)
§ 10-1 概述	(183)
§ 10-2 剪切和挤压的实用计算	(183)
小 结	(187)
思 考 题	(187)
习 题	(188)
第十一章 能量法与超静定系统	(190)
§ 11-1 概述	(190)
§ 11-2 杆件变形能的计算	(190)
§ 11-3 莫尔定理	(196)
§ 11-4 图形相乘法	(200)
* § 11-5 功的互等定理和位移互等定理	(203)
* § 11-6 用力法解超静定系统	(204)
小 结	(214)
思 考 题	(215)
习 题	(216)

第十二章 压杆稳定	(220)
§ 12-1 概述	(220)
§ 12-2 细长压杆的临界力	(221)
§ 12-3 压杆的临界应力	(223)
§ 12-4 压杆的稳定计算	(225)
§ 12-5 提高压杆稳定性的措施	(229)
* § 12-6 能量法求临界力	(230)
小 结	(232)
思 考 题	(234)
习 题	(234)
第十三章 动载荷	(237)
§ 13-1 概述	(237)
§ 13-2 惯性力问题	(237)
§ 13-3 冲击载荷	(240)
小 结	(246)
思 考 题	(247)
习 题	(248)
第十四章 交变应力	(250)
§ 14-1 概述	(250)
§ 14-2 交变应力及循环特征	(251)
§ 14-3 S-N 曲线和材料的疲劳极限	(253)
§ 14-4 影响构件疲劳极限的主要因素	(255)
§ 14-5 对称循环交变应力下构件的强度校核	(258)
* § 14-6 非对称循环交变应力下构件的强度校核	(260)
* § 14-7 弯扭组合交变应力下构件的疲劳强度校核	(263)
小 结	(265)
思 考 题	(266)
习 题	(266)
附录 I 截面图形的几何性质	(269)
§ I-1 静矩和形心	(269)
§ I-2 惯性矩、惯性积和惯性半径	(273)
§ I-3 平行移轴公式	(275)
§ I-4 转轴公式、主惯性轴、主惯性矩、形心主惯性轴和形心主惯性矩简介	(277)
小 结	(278)
思 考 题	(280)
习 题	(281)

附录Ⅱ	型钢表	(284)
附录Ⅲ	单位换算	(298)
附录Ⅳ	习题答案	(300)

第一章 绪论

§ 1-1 材料力学的任务和内容

力学上把各种各样的建筑物和机器都称为结构。结构是由若干构件组成的。结构在工作期间要达到使用要求,其构件就应处于正常工作状态。通常包括以下三个方面的要求:

1. 强度要求 强度是指构件抵抗破坏的能力。对构件的强度要求就是在使用期内,它不能发生破坏。一旦破坏,结构便丧失了继续工作的能力。

2. 刚度要求 刚度是指构件抵抗变形的能力。构件在外力作用下会产生变形。工程上对构件的变形有一定的限制量,超过限制量,构件虽不一定破坏,但会影响其正常工作。例如,机床主轴变形偏大,就难保证加工精度。桥梁挠曲超量,行车时便会引起有害振动。图 1-1 虚线所示摇臂钻床,若发生实线所示过大变形,钻孔误差便会超量。对构件的刚度要求就是保证其变形不超过控制量。

3. 稳定性要求 稳定性是指构件保持其原有平衡形态的能力。如图 1-2 细长受压立柱,当压力 P 较小时,立柱保持直线平衡形态,当 P 达到某一数值时,立柱会突然弯曲,称为立柱失稳。显然构件失稳,改变其原有平衡形态为另一种受力形态,当然也就失去了正常工作的能力。工程结构由于失稳而造成灾难性事故的事例屡见

不鲜。稳定性要求就是确保构件在使用中保持原有的平衡形态不变。

构件的强度、刚度和稳定性与其材料、截面形状和几何尺寸有很大关系。为了满足强度、刚度和稳定性要求,一般可把构件尺寸加大,并选用优质材料,但这往往不经济。把安全和经济统一起来,是工程设计的基本任务。能够完全统一起来就成为最优化的设计。但二者的绝对统一是不可能的,只能做到相对统一,因此优化设计

是无止境的,将随着生产和科学的不断发展而深化。

材料力学的任务就是研究构件强度、刚度和稳定性的计算原理和方法,在既安全又经济的条件下,为构件选择适宜的材料,确定合理的截面形状和尺寸。

应该说明,在构件或结构设计中,除强度、刚度和稳定性要求外,还要考虑诸如功能、建造、美观等问题。但是对于承力或传力构件,强度、刚度和稳定性是设计考虑的主要因素

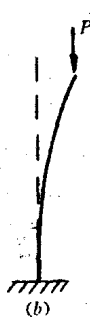


图 1-2

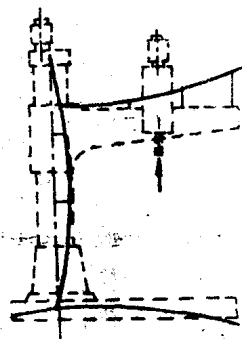


图 1-1

素。当然,这三者有时并不同时全面要求,不同的构件可能仅一个或两个因素起控制作用。

材料力学的内容主要包括三部分:一是研究构件在外力作用下的内部力学响应,即构件的内力、应力和变形分析。内力是构件内部对外力作用的抗力。应力是内力的分布集度,它研究点周围单位面积上内力的大小。显然这些参量是构件强度、刚度和稳定性计算的基础,这是材料力学的基本理论部分。二是对材料抵抗破坏和变形能力的研究,即材料力学性能(机械性能)的实验研究。实验也是验证材料力学理论和解决难于理论分析的问题的重要手段。所以实验是材料力学的一个重要组成部分。三是在上述两部分内容的基础上,根据对构件失效形式的分析和提供的工作条件要求,建立相对统一的安全和经济控制条件,即强度条件、刚度条件和稳定条件,为构件选择合适的材料、截面尺寸和结构形式。这也是材料力学基本理论组成部分,但偏重工程应用,可称为材料力学的工程应用部分。这三部分内容并不截然分开,而是一个整体。

§ 1-2 材料力学的近期发展

材料力学作为一门学科,一般认为是从伽利略的《关于两种新学科的叙述与数学证明》问世开始的。材料力学在十九和二十世纪得到广泛研究和大力发展,成为解决工程实际问题的重要基础。由于材料力学的产生和发展是受生产的发展和科学技术的进步而推动的,所以近年来,这门古老学科的发展势头不仅没有停止或减慢速度,而是以更高速度向前发展。主要反映在以下几个方面:

1. 结构设计思想从传统的许用应力法过渡到极限状态法,并引入抗断设计等新概念。许用应力法控制构件工作状态的最大应力不超过考虑安全系数后的材料有效应力(许用应力)。显然它有不合理的一面。按极限状态设计,着眼于构件承载能力的极限状态,并考虑各基本影响参量的随机性特点,引入分项安全系数,用概率统计观点建立结构可靠性控制条件。一些领域还引入破损安全设计或容限损伤设计等抗断设计概念。这些新的设计思想将对结构设计带来重大变革,也会促进材料力学内容的更新。

2. 现代优化设计的研究和应用,使结构设计进入更高的层次。优化设计就是做到经济和安全的最大统一。这是传统设计很难做到的,因为传统设计通常是根据设计的要求,按预先确定的设计方案进行强度、刚度和稳定性分析,这只能证实确定方案的可行性,而未必是最优的。近年来发展的结构优化设计则是应用数学手段,根据设计要求,在全部可行的设计方案中,选取最佳方案。可以预料,优化设计的应用,将使结构设计进入更高层次,并带来显著的经济效益。

3. 计算机的普遍应用,使结构分析中,建立精确反映结构实际工作状态的计算数学模型和用计算机实施的计算方法成为研究重点。

4. 近几十年发展的断裂力学理论,能成功分析各种工程断裂事故,提出改进措施;预测含缺陷构件的使用安全和寿命;已成为结构设计、检测评估、发展新材料、新工艺的理论基础,是材料力学的进一步发展和完善。

5. 现代复合材料的研究和发展,不仅是材料科学的重大突破,也是结构工程发展的新里程碑,并对材料力学产生深远影响。复合材料是由两种以上单一材料复合而成的固体材

料,它具有重量轻、强度高和其它一些优良力学性能(抗冲击、耐疲劳、减振性和耐温性等)。复合材料结构设计是把材料、结构作为整体考虑。设计者可根据使用要求,结构受力特点,设计组分材料、铺层方式和结构形式,以最大限度地发挥材料作用,减少材料用量。复合材料一般是各向异性材料,加上界面因素、时间、工艺、环境等因素的影响,力学分析较常规材料复杂,必将导致材料力学理论进入一个新的深度和广度。

6. 包括电测、光测、全息技术和传感器技术在内的现代实验技术的发展和运用,不仅能适应各种材料性能、模型试验的要求,而且可对运行中的机器和实体结构进行静、动态力学测定,特别是与计算机和现代电子技术相结合,使得测试系统自动化,数字化和超小型化,成为研究和解决材料力学问题的强大手段之一。

7. 大跨度和高耸建筑物的迅速发展,相应促进材料力学理论分析、实验技术和施工技术等方面的快速进步。

8. 高温、低温、高压、高速、地下、水上和腐蚀等特殊工作条件或环境下的结构和机器的广泛应用,提出了大量的力学问题。例如高温下的构件蠕变问题,热疲劳断裂问题是确定构件安全和工作寿命的主要因素;水上建筑物要研究海浪、海流、浮冰和地震的动力响应,要考虑液体和建筑物的耦合作用,海水对建筑物的腐蚀影响等。

以上所述说明古老的材料力学仍然在蓬勃发展,具有强大的生命力,同时也说明材料力学是学习现代力学和现代工程设计理论的一门重要基础课。

§ 1-3 变形固体及其基本假设

材料力学研究的构件是变形固体,而变形固体的性质是多方面的。为了突出材料力学研究构件强度、刚度、稳定性有关的主要因素,略去次要因素,对变形固体提出下列基本假设。

一、连续性假设 认为变形固体内毫无空隙,结构是密实的

实际的变形固体,从物质结构来说,均具有不同程度大小的空隙,但这些空隙大小与构件的尺寸相比极其微小。因此,在宏观研究中,可将空隙略去不计,而认为变形固体内部的物质是密实、连续的。因而,变形固体内一些力学量如应力、应变和位移等就可用坐标的连续函数表示。

二、均匀性假设 认为变形固体内部各处的机械性质完全相同

实际上变形固体的分子结构并不是均匀的。例如金属是多晶体的组织,它由许许多多错综复杂的晶体组成,每个晶体性质不完全相同,但由无数多的晶体无规则地排列组成后,从统计平均看,可以认为其性质是均匀的。因此,在变形固体内任取一部分,不论体积大小,都视为性质是均匀的。

三、各向同性假设 认为变形固体在各个方向上的机械性质完全相同

就金属而言,单一的晶体在不同的方向上机械性质不同。但金属物体中包含着数量很

多的晶体,而且各晶体的方位又杂乱无章地排列。在宏观研究中,变形固体的性质并不显示出方向差别,因而可以看成是各向同性的。

例如铸钢、铸铜、玻璃及浇注好的混凝土,都可以看成各向同性材料,即在各个方向上的机械性质(如拉压弹性模量 E 和泊松比 μ)都相同。

只在一定方向上具有相同机械性质的材料,称为单向同性材料,如轧钢、抽拉的钢丝、无节的木材等。

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,如木层倾斜的木材,冷扭的钢丝,胶合板,复合材料层板等。

四、小变形假设

工程构件在外力作用下产生的变形与其原始尺寸比较通常是微小的,因而在构件各点处与变形相对应的位移也是微小的。如图 1-3 所示简支梁受 P 力作用后,产生的弯曲变形 δ_1 和支座位移 δ_2 ,相对于梁的跨度 l 都是微小量,通称小变形。在小变形下,研究变形固体的受力和静力平衡时,略去梁的微小变形和位移,仍按构件的原始尺寸进行分析和计算;在小变形下,对微小变形的二次幂和乘积均可略去不计。这对工程实用并无影响,但可使计算大为简化。

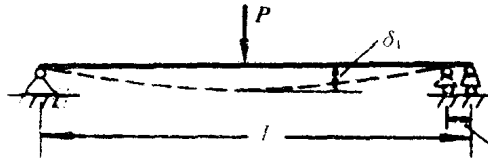


图 1-3

综上所述,材料力学研究的构件,是由连续、均匀和各向同性的变形固体所制成;而且只限于讨论杆件在弹性范围内小变形下的受力情况。

§ 1-4 杆件及其变形形式

尽管构件的几何形状和尺寸千差万别,但就其长、宽和高(厚)三个尺度的比例关系看,可以把构件分为杆件、平板、壳体和块体四类。

杆件的长度比宽和高要大得多,如梁、柱、轴等。杆件有两个主要的几何因素:轴线和横截面。轴线即杆件横截面形心的连线;横截面是与轴线正交的截面。轴线为直线的杆称为直杆,如图 1-4(a),轴线为曲线的杆称为曲杆,如图 1-4(b)。横截面相同的杆称为等截面杆;横截面大小不等的杆称为变截面杆。杆件是材料力学研究的主要对象。

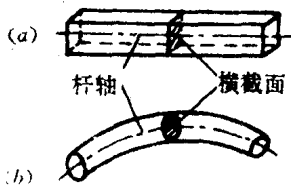


图 1-4

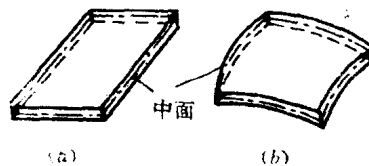


图 1-5

平板和壳体的厚度远小于其它两个方向的尺寸。把平分厚度的面称为中面。平板的中面是平面(图 1—5(a));壳体的中面是曲面(图 1—5(b))。块体在三个方向的尺寸属于同一数量级。平板、壳体和块体属弹性力学研究范畴。

杆件上作用的载荷是多种多样的,其变形也是多种多样的,但归结起来,只有以下四种基本变形形式:

1. 拉伸或压缩 在杆的两端作用一对大小相等、方向相反、作用线与杆轴线重合的外力,使杆伸长或缩短;这种变形形式称为拉伸或压缩,如图 1—6(a)、(b)。起重机吊索、

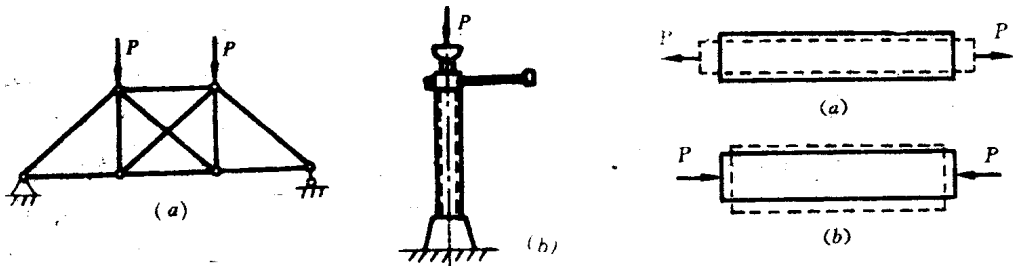


图 1—7

桁架杆件和千斤顶螺杆等受力时发生这种变形,如图 1—7。

2. 剪切 一对大小相等、方向相反、作用线相距很近的力垂直于杆轴作用,杆的主要变形是两外力之间的横截面沿外力方向发生相对错动,这种变形形式称为剪切,如图 1—6(c)。键、销钉、铆钉和螺栓等联接件受力时主要发生剪切变形。

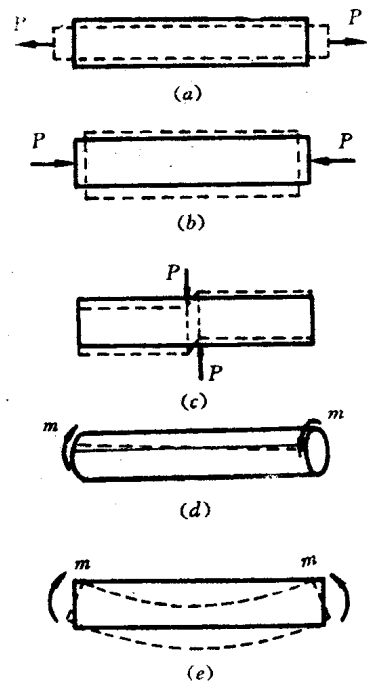


图 1—6

3. 扭转 在垂直杆轴的两端平面内,作用一对大小相等、转向相反的力偶,使杆的横截面发生绕杆轴的相对转动,变形后杆轴线仍为直线,这种变形形式称为扭转(图 1—6(d))。例如汽车方向盘转向轴和传动轴等受力后主要发生扭转变形,(图 1—8)。

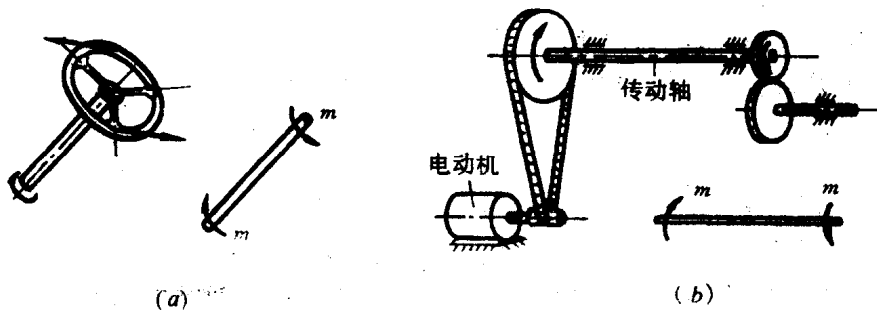


图 1—8

4. 弯曲 在包含杆轴的纵向平面内,作用一对大小相等、转向相反的力偶,使杆的横截面发生绕垂直于杆轴的中性轴转动,变形后的杆轴线在纵向平面内成为曲线,这种变形

形式称为弯曲(图 1—6(e))。例如火车轮轴、桥式起重机大梁等受力后主要发生弯曲变形,如图 1—9。

工程构件变形多数为几种基本变形的组合,但若以某一种基本变形形式为主,其它属于次要变形,则按该基本变形形式计算。若几种基本变形形式同等重要,则

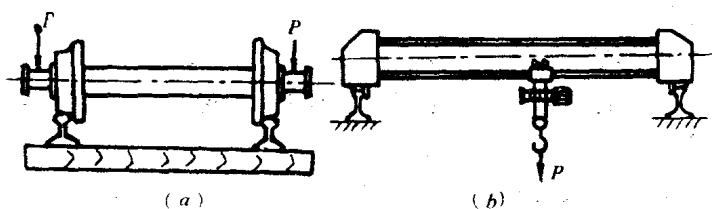


图 1—9

属于组合变形问题,应按杆件的组合变形计算。例如化工塔式容器(图 1—10(a))为塔的重量 W 产生的轴向压缩和风力 p 产生的弯曲变形的组合。混凝土水坝的变形为坝身自重产生的压缩和静水压力产生的弯曲变形的组合(图 1—10(b))。皮带传动轴(图 1—10(c))为皮带张力产生的扭转变形和皮带张力在水平和铅垂方向产生的弯曲变形的组合。水轮机主轴(图 1—10(d))为轴自重产生的拉伸变形和水的冲力产生的扭转变形的组合。

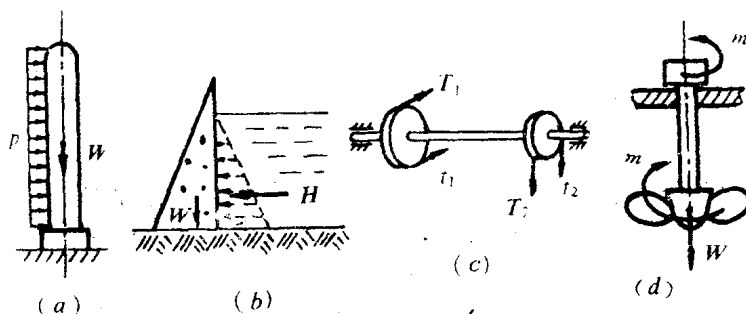


图 1—10

小 结

本章重点为:

1. 明确材料力学研究的内容和基本任务;
2. 理解强度、刚度、稳定性的概念;
3. 杆件的几何特征及其基本变形形式。

思 考 题

1. 材料力学课程研究什么问题,它的基本任务是什么?
2. 就日常生活中所见,举例说明强度、刚度和稳定性的意义。
3. 材料力学对变形固体作了那些基本假设,为什么要作这些假设,它们的根据是什么?
4. 就工程中所见,举例说明杆件变形的基本形式。

第二章 轴向拉伸与压缩

§ 2-1 概述

在工程实际中,承受拉伸或压缩的构件是很多的。例如起重机的吊索和机架中的杆件(图 2-1(a)、

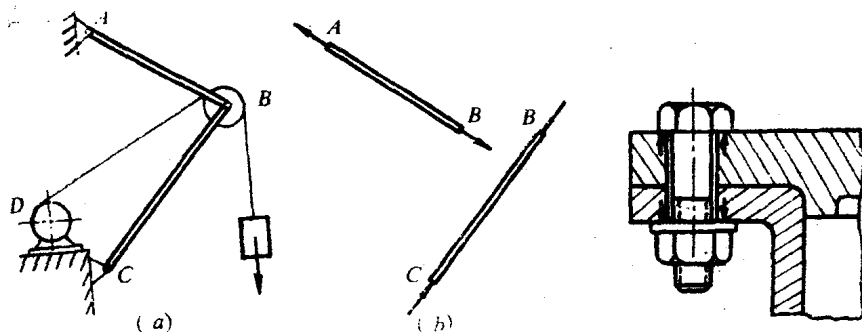


图 2-1

图 2-2

(b)), 紧固螺栓(图 2-2), 内燃机的连杆等, 都属于这类构件。这些构件的几何形状和加载方式虽然各不相同, 但把杆件的形状和受力情况进行简化, 都可以简化成为如图 2-3 中所示的计算简图。图中虚线表示杆件受力前的外形, 实线表示受力后的外形。

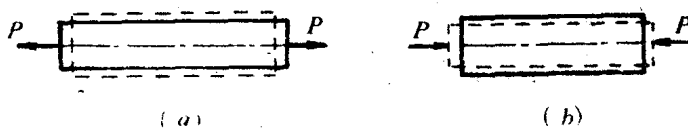


图 2-3

由图 2-3 可见, 拉伸或压缩构件的受力特点是: 作用在杆件上的外力合力 P 的作用线与杆的轴线重合。其变形特点是: 杆件产生沿轴线方向的伸长或缩短。

§ 2-2 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力

一、内力的概念

变形固体内各质点具有相对位置, 存在着一定作用力, 一般称为分子力, 即固有内力。正是这些力的作用, 才能维持固体一定的形状和尺寸。当变形固体受外力作用变形时, 内部各质点间的相对位置将有变化, 同时各质点间相互作用力也发生改变。这种由于外力作用而引起内力发生的改变量称为“附加内力”, 在材料力学中将这种力简称为内力。每根杆

件依据材料和粗细不同所能承受的内力有一定限度,超过限度就会引起破坏,所以研究杆件的强度必须先研究杆件在外力作用下引起的内力。

如何显示杆件的内力和进行内力计算,这就要用截面法。

二、截面法

图 2—4(a)表示杆件在外力 P 作用下处于平衡状态。为求杆的任一横截面 mm 上的内力,可设想用一平面把杆件切开成两部分(图 2—4(b)、(c)),任选一部分研究。由于杆件材料是均匀连续的,所以截面 mm 上的内力也是连续分布的,该分布力系合力 N 就是要求的内力。

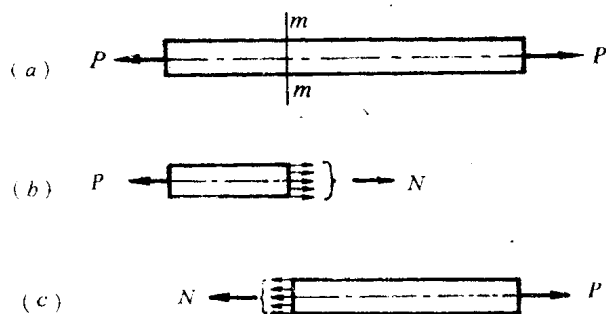


图 2—4

由于杆件受力处于平衡,选取的一部分(左段),在外力 P 和截面上内力 N 共同作用下也应处于平衡。利用平衡条件即可计算出内力。

以上所说,假想用平面将杆件切开,使截面上显示出内力,然后利用取出部分的静力平衡条件求出内力,这一方法称为截面法。

应用截面法求内力的步骤是:

1. 欲求某一截面上的内力时,就沿该截面用假想平面将杆件切开成两部分,任选一部分作为研究对象,并弃去另一部分;
2. 用作用在截面上的内力,代替弃去部分对选取部分的作用;
3. 建立选取部分的平衡条件,确定出未知内力。

三、轴力和轴力图

以图 2—4 左段为研究对象,根据平衡条件

$$\sum X = 0, N - P = 0$$

求得

$$N = P$$

若取右段杆件研究,可得到同样的结果。由于内力 N 的作用线与杆件的轴线相重合,所以称为轴向内力,简称轴力。

为了区别拉伸和压缩时的轴力,材料力学按其对应的变形规定轴力的符号:产生拉伸变形的轴力为正;产生压缩变形的轴力为负。

在工程实际中,有些杆件承受多个轴向外力,杆件各段的轴力将不同。为了表示沿杆件轴线各横截面上轴力的变化情况,常常绘制轴力图。作轴力图时,沿杆轴线方向取横坐标表示横截面的位置,垂直于杆轴线方向取纵坐标代表对应截面上的轴力。

例 2—1 试求图 2—5(a)所示杆件各段的内力,并作轴力图。

解: 由于在杆的截面 B 和截面 C 处也作用有外力,因此,应分别计算 AB 、 BC 和 CD 三段杆的轴力。假设各段轴力均为正,即轴力为拉力。

首先计算 AB 段的轴力 在截面 1—1 处假想地将杆段 AB 截开,取左段为研究对象,如图 2—5(b)