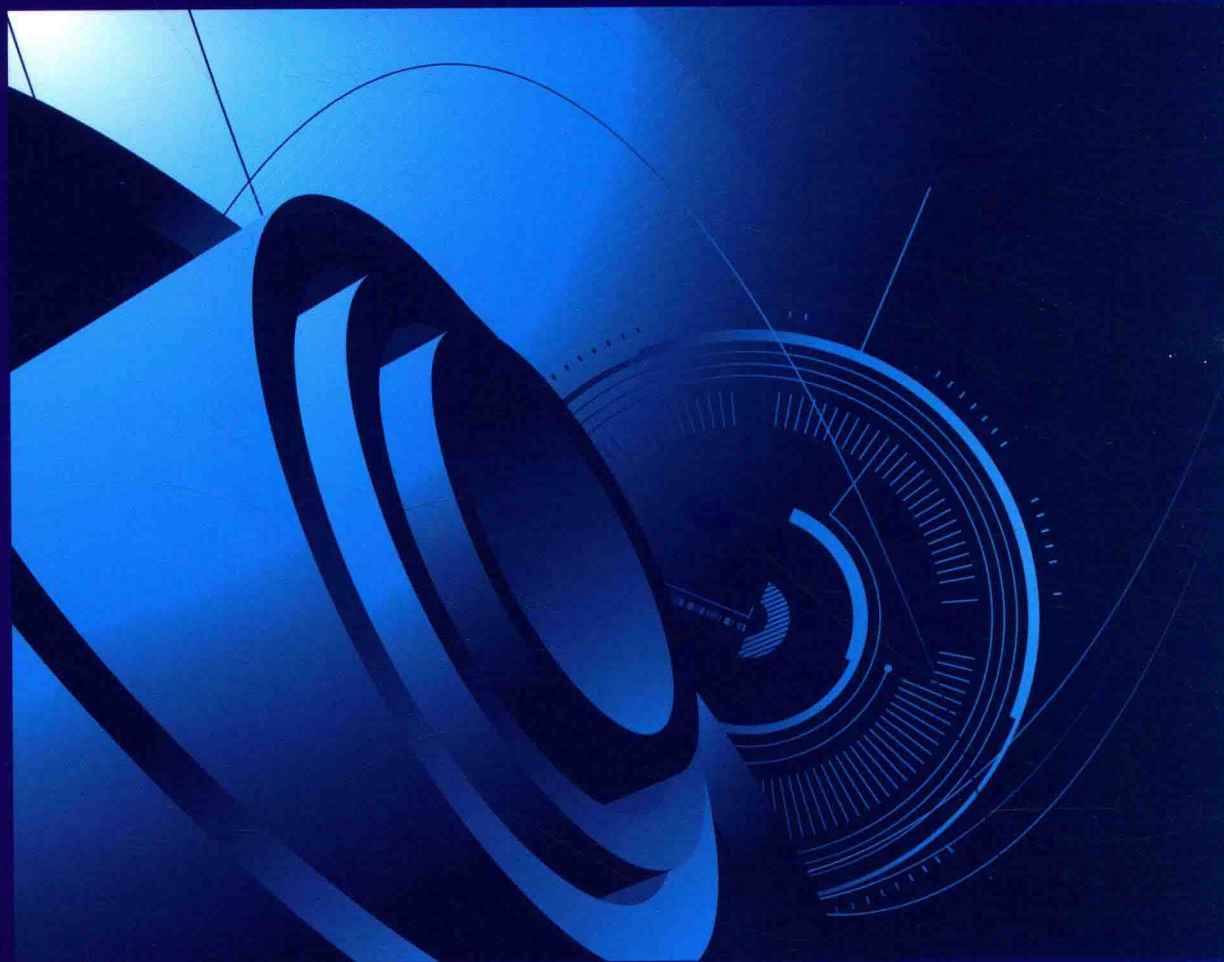


普通高等教育“十三五”规划教材

材料力学

刘然慧 郭新柱 黄玉国 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

材料力学

刘然慧 郭新柱 黄玉国 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

《材料力学》共分 14 章,主要包括:轴向拉伸与压缩、平面图形的几何性质、剪切、扭转、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、能量法、动载荷和交变应力等内容,可满足本科材料力学 60~80 学时课程教学的需要。每章都配有一定数量的典型例题。为了使学生明确学习目标,每章开头都有本章的学习要求、重点和难点,结尾都有学习方法和要点提示,并配有适量的思考题和习题,同时,为了方便学生理解材料受力特性配有相应视频(扫描封面二维码)。

《材料力学》主要面向机械类、土建类专业的本科教学,兼顾采矿、化工、冶金类的专业,也可供高等专科学校和成人教育学院有关专业的学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/刘然慧,郭新柱,黄玉国主编.—北京:化学工业出版社,2017.9

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-30225-0

I. ①材… II. ①刘…②郭…③黄… 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(2017)第 163747 号

责任编辑:刘丽菲

文字编辑:谢蓉蓉

责任校对:宋 夏

装帧设计:张 辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$ 字数 491 千字 2017 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:42.80 元

版权所有 违者必究

前言

《材料力学》是根据高等学校“材料力学课程教学基本要求”编写的，编者根据多年在材料力学教学中积累的经验，并结合当前时代特点，力求做到结构严谨、逻辑性强，编写时注重知识体系的完整性和实用性，可满足本科材料力学 60~80 学时课程教学的需要。

全书共分 14 章，各章内容依次为绪论、轴向拉伸与压缩、平面图形的几何性质、剪切、扭转、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、能量法、动载荷和交变应力。本书内容选择合理，突出了基本原理和方法，语言简练、图文并茂，每章内容中都有一定数量的典型例题。为了使明确学习目标，每章开头都有本章的学习要求、重点和难点。为便于学生总结、掌握所学知识，每章结尾都有学习方法和要点提示，并配有适量的思考题和习题，附录中还提供各章习题中计算题的参考答案。同时，为了方便学生理解材料受力特性配有相应视频（扫描封面二维码）。

《材料力学》的特点是，坚持基本性、着重应用性、增强适应性，突出重点，力求系统，既便于教师取舍内容、组织课堂教学，也便于学生自学。本教材主要面向机械类、土建类专业的本科学生，兼顾采矿、化工、冶金类的专业，也可供高等专科学校和成人教育学院有关专业的学生参考。

编写分工如下：绪论、第 8 章、第 9 章由刘然慧执笔，第 10 章、第 11 章、第 12 章、第 13 章由郭新柱执笔，第 5 章、第 6 章、第 7 章由黄玉国执笔，第 2 章、第 3 章由闫承俊执笔，第 1 章、第 4 章由马长青执笔，视频中试验由邹爱英操作，全书由刘然慧、郭新柱统稿。

全书由山东交通学院胡庆泉教授审阅，并提出了很多宝贵意见，在此深表谢意。由于编者水平有限，欠妥之处在所难免，恳请同行及读者批评指正。

编者

2017 年 4 月

目 录

第 0 章 绪论	1
0.1 材料力学的任务	1
0.2 变形固体的基本假设	2
0.3 研究对象(杆件)的几何特征	3
0.4 外力、内力及应力的概念	4
0.5 杆件变形的基本形式	6
第 1 章 轴向拉伸或压缩	8
1.1 轴向拉伸或压缩的概念	8
1.2 轴向拉(压)杆的内力计算	9
1.3 轴向拉(压)杆横截面及斜截面上的应力	11
1.4 轴向拉(压)杆的变形	13
1.5 静定结构节点的位移计算	15
1.6 轴向拉(压)超静定问题	17
1.7 材料在拉伸(压缩)时的力学性能	22
1.8 轴向拉(压)杆的强度计算	27
1.9 应力集中的概念	29
学习方法和要点提示	30
思考题	31
习题	32
第 2 章 平面图形的几何性质	35
2.1 静矩和形心	35
2.2 惯性矩、惯性积和惯性半径	38
2.3 平行移轴公式	40
2.4 转轴公式主惯性轴和主惯性矩	44
学习方法和要点提示	47
思考题	49
习题	49
第 3 章 剪切	51
3.1 剪切变形的概念	51
3.2 剪切的实用计算	53
3.3 挤压的实用计算	55
学习方法和要点提示	59
思考题	60

习题	60
第 4 章 扭转	63
4.1 扭转问题基本概念	63
4.2 圆轴扭转的内力	64
4.3 圆轴扭转横截面上的切应力	66
4.4 圆轴扭转时的变形	71
4.5 圆轴扭转的强度条件和强度计算	72
4.6 圆轴扭转的刚度条件和刚度计算	74
* 4.7 非圆截面杆扭转简介	76
4.8 扭转超静定问题	78
学习方法和要点提示	80
思考题	81
习题	81
第 5 章 弯曲内力	85
5.1 弯曲的概念	85
5.2 梁的载荷与支座的简化	86
5.3 剪力和弯矩	88
5.4 剪力方程和弯矩方程, 剪力图和弯矩图	92
5.5 载荷集度、剪力和弯矩间的微分关系	97
5.6 按叠加原理作弯矩图	102
5.7 刚架的内力	104
学习方法和要点提示	105
思考题	106
习题	106
第 6 章 弯曲应力	111
6.1 纯弯曲和横力弯曲的概念	111
6.2 弯曲正应力	112
6.3 弯曲切应力	119
6.4 提高梁强度的主要措施	126
学习方法和要点提示	131
思考题	131
习题	132
第 7 章 弯曲变形	136
7.1 概述	136
7.2 梁的挠曲线近似微分方程	137
7.3 积分法求梁的弯曲变形	139
7.4 叠加法求梁的弯曲变形	147
7.5 简单超静定梁	151
7.6 梁的刚度条件	156
7.7 提高梁刚度的措施	158
学习方法和要点提示	160
思考题	160

习题	160
第 8 章 应力状态分析和强度理论	165
8.1 应力状态概述	165
8.2 平面应力状态分析	167
8.3 空间应力状态简介	173
8.4 广义胡克定律	174
8.5 四种常用的强度理论	178
8.6 莫尔强度理论	184
学习方法和要点提示	187
思考题	188
习题	188
第 9 章 组合变形	191
9.1 组合变形的概念	191
9.2 斜弯曲	193
9.3 轴向拉伸(压缩)与弯曲组合变形	197
9.4 偏心拉伸(压缩)	199
9.5 扭转与弯曲组合变形	204
学习方法和要点提示	207
思考题	208
习题	210
第 10 章 压杆稳定	213
10.1 压杆稳定的概念	213
10.2 细长压杆的临界力	215
10.3 压杆的临界应力	218
10.4 压杆的稳定校核	223
10.5 提高压杆稳定性的措施	228
学习方法和要点提示	230
思考题	230
习题	231
第 11 章 能量法	233
11.1 概述	233
11.2 变形能的计算	233
11.3 莫尔积分法	238
11.4 卡式定理	242
11.5 用能量法求解超静定问题	245
学习方法和要点提示	248
思考题	249
习题	249
第 12 章 动载荷	252
12.1 概述	252
12.2 惯性力问题	252
12.3 冲击应力	255

12.4 提高构件抗冲击能力的措施	259
学习方法和要点提示	260
思考题	261
习题	261
第 13 章 交变应力	263
13.1 交变应力的概念	263
13.2 材料的持久极限及其测定	265
13.3 影响持久极限的主要因素	267
13.4 对称循环下构件的疲劳强度计算	269
13.5 提高构件持久极限的措施	270
学习方法和要点提示	271
思考题	272
习题	272
附录 A 简单截面图形的几何性质	274
附录 B 型钢表	277
参考文献	292

第0章

绪 论

材料力学是固体力学的一个分支,它是研究机械零件和结构构件承载能力的基础学科。它广泛应用于各个工程领域的设计之中(如机械工程、土木工程、交通运输工程、航空航天工程等),它的基本任务是:将机械中的简单构件和工程结构抽象为杆件,应用材料力学的理论计算杆件的应力、变形并研究其稳定性,以保证结构能承受预定的载荷;选择适当材料、截面尺寸和形状,以便设计出既安全又经济的机械零件和结构构件。材料力学对于工科高等院校的学生和各工程领域的工程师来说,是必须具备的基础理论之一。

0.1 材料力学的任务

人们在改善生活和征服自然、改造自然的活动中,经常要建设各种各样的建筑物,制造各种各样的机械结构。任何一座建筑物和机械结构,都是由很多的零部件按一定的规律组合而成的,这些零部件统称为构件。

当建筑物或机械结构承受外力的作用时,组成该系统的各构件都必须能够正常工作,这样才能保证整个系统的正常工作。为此,要求构件不发生破坏,如建筑物的大梁断裂时,整个结构就无法使用。不破坏并不一定能正常工作,若构件在外力作用下发生过大的变形,也不能正常工作。如天车梁若因荷载过大而发生过度的变形,天车也就不能正常行驶。又如机床主轴若发生过大的变形,则引起振动,影响机床的加工精度。此外,有一些构件在荷载作用下,其所有的平衡形式可能丧失稳定性。例如,受压杆如果是细长的,则在压力超过一定限度后,就有可能明显地变弯。杆件受压突然变弯的现象称为丧失了稳定性。杆件失去稳定性(简称失稳)将造成类似房屋倒塌的严重后果。总而言之,构件要能正常工作,必须同时满足以下三方面的要求。

(1) 强度要求 构件在确定的外力作用下,不发生断裂或过度的塑性变形。例如储气罐不应爆破;机器中的齿轮轴不应断裂失效;建筑物的梁和板不应折断。强度就是指构件(或材料)抵抗破坏的能力。

(2) 刚度要求 构件在确定的外力作用下,其弹性变形或位移不超过工程允许的范围。例如如图 0-1 所示,被车削的工件不应变形过大,否则影响加工精度。图 0-2 所示是简易桥梁在车载或人群荷载作用下的计算简图,在设计时要保证桥梁的变形在规定的范围内。如图 0-3 所示,天车中吊车大梁变形过大,会使电葫芦出现爬坡现象,引起振动;铁路桥梁变形过大,会引起火车脱轨甚至翻车。

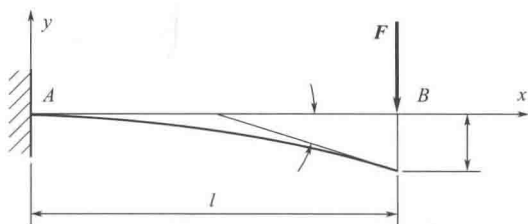


图 0-1 被车削的工件受力情况

刚度就是构件（或材料）抵抗变形的能力。

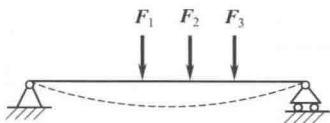


图 0-2

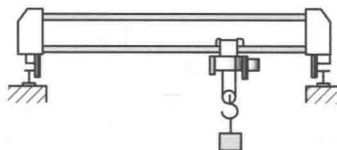


图 0-3

(3) 稳定性要求 构件在某种受力方式下，其平衡形式不会发生突然转变。例如细长的杆件受压时，工程中要求它们始终保持直线的平衡形态。可是若受压力过大，达到某一数值时，压杆的直线平衡形态会变成不稳定平衡而失去进一步承载的能力，这种现象称之为压杆的失稳。又如受均匀外压力的薄壁圆筒，当外压力达到某一数值时，它由原来的圆筒形的平衡变成椭圆形的平衡，此为薄壁圆筒的失稳。失稳往往是突然发生而造成严重的工程事故，稳定性就是构件抵抗失去原有平衡状态的能力。

这三方面的要求统称为构件的承载能力。一般来说，在设计每一构件时，应同时考虑到以上三方面的要求，但对某些具体的构件来说，有时往往只需考虑其中的某一主要方面的要求（例如以稳定性为主），当这些主要方面的要求满足了，其他两个次要方面的要求也就自动得到满足。

当设计的构件能满足上述三方面的要求时，就可认为设计是安全的，构件能够正常工作。一般来说，选用高强度的材料或增加构件的截面尺寸，可使构件具有足够的承载能力。但过分强调安全，构件的尺寸选得过大或不恰当地选用质地较好的材料，又会使构件的承载能力得不到充分发挥，从而浪费了材料，又增加了结构的重量和成本。显然，过分地强调安全可能会造成浪费，而片面地追求经济效益可能会使构件设计不安全，这样安全和经济就会产生矛盾。材料力学正是解决这种矛盾的一门科学。因此材料力学的任务就是在满足强度、刚度、稳定性的要求下，为设计既安全又经济的构件，提供必要的理论基础和计算方法。也正是由于这种矛盾的不断出现和不断解决，才促使材料力学不断地向前发展。

为了能既安全又经济地设计构件，除了要有合理的理论计算方法外，还要了解构件所使用材料的力学性能。同样尺寸、形状的构件，当分别用不同的材料来制造时，它们的强度、刚度和稳定性也各不相同。构件的强度、刚度和稳定性的研究离不开对材料的力学性质的研究，而材料的力学性质需要通过试验的方法来测定，因此实验研究和理论分析是完成材料力学任务所必需的手段。通过构件的材料力学试验，一方面可以测定各种材料的基本力学性质；另一方面，对于现有理论不足以解决的某些形式复杂的构件设计问题，有时也可根据试验的方法得到解决。故试验工作在材料力学中也占有重要的地位。综上所述，我们可得出如下结论：材料力学是研究杆件的强度、刚度和稳定性的学科，它提供了有关的基本理论、计算方法和试验技术，使我们能合理地确定构件的材料和形状尺寸以达到安全与经济的目的。

0.2 变形固体的基本假设

理论力学中，所研究的固体都是刚体，就是说在外力作用下物体的大小和形状都保持不变。实际上，自然界中所有的固体都是变形体。即在外力作用下，一切固体都将发生变形，故称为变形固体。

由于变形固体种类繁多，工程材料中有金属与合金、工业陶瓷、聚合物等，其性质很复杂，对用变形固体制成的构件进行强度、刚度和稳定性计算时，为了使计算简化，经常略去

材料的次要性质,对其作下列假设。

(1) 连续性假设 认为整个物体在所占空间内毫无空隙地充满物质。实际上,由物质的微观结构知道,物体内部是存在空隙的,但这些空隙的大小与构件的尺寸相比非常微小,因此,认为材料密实不会影响对其宏观力学性能的研究。即固体在其整个体积内是连续的。可把力学量表示为固体点的位置坐标的连续函数。

(2) 均匀性假设 认为物体内的任何部分,其力学性能相同,与其所在位置无关。即从固体内任意取出一部分,无论从何处取也无论取多少,其力学性能总是一样的。

如果物体是由两种或者两种以上介质组成的,例如混凝土构件由水泥、石子、沙子均匀搅拌而成,那么在只有石子处与只有沙子处其强度应是不同的,但是只要每一种物质的颗粒远远小于物体的几何形状,并且在物体内部均匀分布,从宏观意义上讲,也可以视为均匀材料,因此认为混凝土构件各处具有相同的强度。当然对于明显的非均匀物体,例如环氧树脂基碳纤维复合材料,不能认为是均匀材料。

(3) 各向同性假设 这一假设认为,材料沿各方向的力学性质均相同。例如由晶体构成的金属材料,由于单晶体是各向异性的,微观上显然不是各向同性的。但是由于晶体尺寸极小,而且排列是随机的,因此宏观上,材料性能可认为各向同性。沿不同方向的力学性质不相同的材料,称为各向异性材料。例如木材,顺纹方向与横纹方向的力学性质有显著的差别。材料力学所研究的对象只限于各向同性的可变形固体。

(4) 小变形假设 构件在外力作用下所产生的变形量远远小于其原始尺寸时,就属于小变形的情况。材料力学所研究的问题大部分只限于这种情况。这样在研究平衡问题时,可以不考虑因变形而引起的尺寸变化,按其原始尺寸进行分析以建立各种方程。此外,应变的二阶微量可以忽略不计,从而使得几何方程线性化。目的是使计算得以简化。必须指出,对构件作强度、刚度和稳定性研究以及对大变形平衡问题分析时就不能忽略构件的变形。

构件在外力作用下将发生变形。当外力不超过一定限度时,构件在外力去掉后均能恢复原状。外力去掉后能消失的变形称为弹性变形。当外力超过某一限度时,则在外力去掉后只能部分地复原而残留一部分不能消失的变形。不能消失而残留下来的变形称为塑性变形。大多数构件在正常工作条件下均要求其材料仅发生弹性变形。所以在材料力学中所研究的大部分问题局限在弹性变形范围内。

综上所述,材料力学是研究连续、均匀、各向同性的变形固体,在微小的弹性变形内的强度、刚度和稳定性问题的一门学科。

0.3 研究对象(杆件)的几何特征

实际工程构件有各种不同的形状,我们可将其分为四类,分别是杆、板、壳、块。

材料力学所研究的构件主要是杆件,杆件的几何特征是一个方向的尺寸远大于另外两个方向的尺寸。如长度 l 远大于横向尺寸高度 h 、宽度 b 或直径 d 。房屋的大梁、柱及机械传动轴等一般都被抽象为杆件。杆件的几何要素是横截面和轴线,其中横截面是与轴线垂直的截面,轴线是横截面形心的连线。

杆件按轴线的形状可分为直杆和曲杆,其中轴线为直线的杆件为直杆,如图 0-4 所示。轴线为曲线的杆件为曲杆,如图 0-5 所示。按截面的形状进行分类,杆件可分为等截面杆和变截面杆,横截面形状和大小不变的杆称为等截面杆,其他的称为变截面杆。材料力学研究的多是等截面的直杆,简称为等直杆。

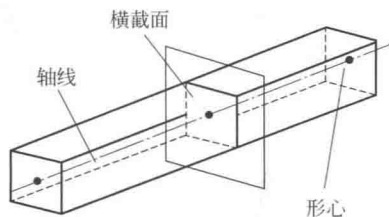


图 0-4

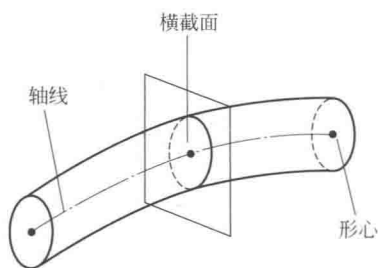


图 0-5

板壳的几何特征是两个方向的尺寸远大于第三个方向尺寸的面状物体。板的几何特征是平面形，如钢板、地板等；壳的几何特征是曲面形，如水桶、缸体等。块的几何特征是三个方向的尺寸大体相近，内部大多为实体，如机床的底座、建筑用的砖石等。

0.4 外力、内力及应力的概念

0.4.1 外力

作用于构件上的外力，按其作用方式可分为体积力和表面力。体积力是连续分布在构件内部各点处的力，如构件的自重和惯性力等，通常用集度来衡量其大小，常用的单位为 N/m^3 （牛顿每立方米）。在大多数工程问题中，自重常可略去。表面力是直接作用在构件表面的力，又可分为分布力和集中力。连续作用于构件表面面积上的力为分布力，如作用于大坝上的水压力和作用于楼房墙壁上的风压力等，通常用载荷集度量其大小，常用的单位为 N/m^2 。有些分布力是沿杆件轴线作用的，如楼板对房梁的作用力，钢板对轧辊的作用力等。若外力分布面积远小于物体的表面尺寸（如火车车轮对钢轨的压力）或沿杆件轴线分布范围远小于轴线长度（如手掌对单杠的拉力），就可看成是集中力。常用的单位为 N 或 kN 。

0.4.2 内力（附加内力）

构件在受到外力作用而产生变形时，其内部各质点之间的相对位置将发生变化，同时，各质点间的相互作用力也发生了改变。材料力学所研究的内力就是在外力作用下构件各质点间相互作用力的改变量。

当物体不受外力作用时，内部各质点之间存在着相互作用力，也称之为内力。但材料力学中所指的内力是与外力和变形有关的内力。即随着外力的作用而产生，随着外力的增加而增大，当达到一定数值时会引起构件破坏的内力，此力称为“附加内力”。为简便起见，今后统称为内力。

在进行强度、刚度计算时，必须由已知的外力确定未知的内力，内力分布在横截面的各点上（在截面上是连续分布的），此时可以假想地用一个 $m-m$ 截面将构件截成 I 和 II 两部分，如图 0-6 所示。任取其中一部分，如 I 作为研究对象，则将舍弃部分 II 对 I 的作用以截面上的内力来代替。由于假设构件是连续均匀的变形固体，在 $m-m$ 截面上各处都有内力的作用，所以内力在横截面上是连续分布的。

由于原来的构件在外力作用下处于平衡状态，对研究对象 I 部分而言，在外力 P_1 、 P_2 、 P_5 及截面 $m-m$ 上内力的共同作用下，也应保持平衡。根据静力学平衡方程即可确定 $m-m$ 截面上的内力。这种求解构件内力的方法称为截面法。

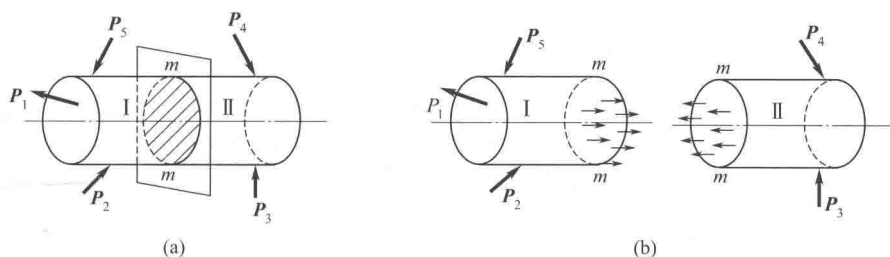


图 0-6

截面法的解题步骤可用截开、保留、代替、平衡八个字概括。

- ① 截开：欲求某一截面上的内力，用一假想平面将物体分为两部分。
- ② 保留：取其中任意一部分为研究对象，而舍弃另一部分。
- ③ 代替：用作用于截面上的内力，代替舍弃部分对留下部分的作用力。
- ④ 平衡：建立留下部分的静力平衡方程，由外力确定未知的内力。

截面法的概念非常重要，其关键是截开杆件取研究对象，使得杆件的截面内力转化为研究对象上的外力，根据作用在原杆件上外力的类型不同，内力可能是力也可能是力偶。

【例 0-1】 试求如图 0-7(a) 所示梁 $m-m$ 截面上的内力，已知均布载荷 $q=10\text{kN/m}$ ， $F=30\text{kN}$ ， $a=2\text{m}$ 。

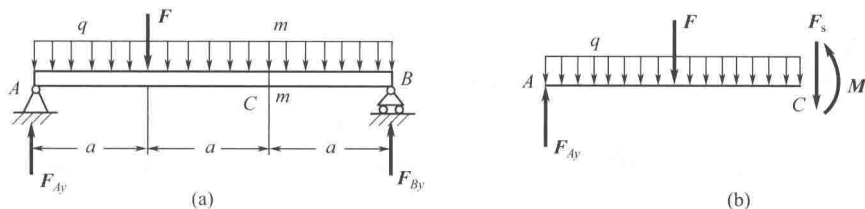


图 0-7

解 求支座反力 F_{Ay} 和 F_{By} 。

由静力平衡方程

$$\begin{aligned}\sum M_B(F) &= 0 & 3aF_{Ay} - 2aF - q \times 3a \times 1.5a &= 0 \\ & & F_{Ay} &= 50\text{kN} \\ \sum F_y &= 0 & F_{Ay} + F_{By} - F - 3aq &= 0 \\ & & F_{By} &= 40\text{kN}\end{aligned}$$

在 $m-m$ 截面处将梁截开，取左半部分为研究对象。由平衡条件可知，在 $m-m$ 截面存在剪力 F_S 和力偶 M 。设剪力 F_S 和力偶 M 的方向如图 0-7(b) 所示。于是

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 & F_{Ay} - F_S - F - 2aq &= 0 \\ & & F_S &= -20\text{kN} \\ \sum M_C(F) &= 0 & 2aF_{Ay} - Fa - 2a^2q - M &= 0 \\ & & M &= 60\text{kN} \cdot \text{m}\end{aligned}$$

需要注意的是，只有选定截面后，才可以把分布载荷简化为集中力（偶）对指定截面取矩。

0.4.3 应力

在例 0-1 中, $m-m$ 截面上的内力 F_S 和力偶 M 仅表示该截面上分布内力向截面形心简化的结果, 不能说明分布内力系在截面内某一点处的强弱程度, 显然, 构件的变形和破坏, 不仅取决于内力的大小, 还取决于内力的分布情况。要研究内力在截面上的分布规律需引入内力集度的概念。

设在如图 0-8 所示受力构件的某截面上围绕 M 点取微小面积 ΔA 。根据均匀连续假设, ΔA 上必存在分布内力, 设它的合力为 ΔF , ΔF 与 ΔA 的比值为

$$p_m = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

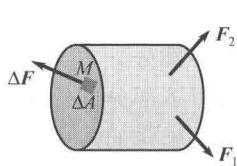


图 0-8

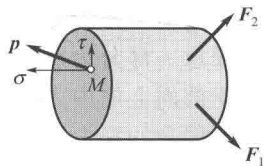


图 0-9

p_m 是一个矢量, 代表在 ΔA 范围内, 单位面积上内力的平均集度, 称为平均应力。当 ΔA 趋于零时, p_m 的大小和方向都将趋于一定极限, 如图 0-9 所示, 即

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} p_m = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA}$$

p 称为 M 点处的 (全) 应力。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 , σ 称为正应力, τ 称为剪应力或切应力。

应力即单位面积上的内力, 表示某微截面积 $\Delta A \rightarrow 0$ 处内力的密集程度。

在国际单位制中, 应力的单位是 N/m^2 , $1N/m^2 = 1Pa$ (帕斯卡)。实际应用中, 由于应力数值较大, 故常用的单位有 MPa 和 GPa, 其中 $1MPa = 10^6 Pa$, $1GPa = 10^9 Pa$ 。在工程上, 也用 $kg(f)/cm^2$ 为应力单位, 它与国际单位的换算关系为 $1kg/cm^2 = 0.1MPa$ 。

0.5 杆件变形的基本形式

由于杆件受力情况的不同, 相应的变形就有各种不同形式, 在工程结构中, 杆件的基本变形有以下四种。

0.5.1 轴向拉伸 (或压缩)

在一对作用线与直杆轴线重合且大小相等、指向相反的外力作用下, 直杆的主要变形是长度的伸长或缩短, 这种变形形式称为轴向拉伸 (如图 0-10 所示) 或轴向压缩 (如图 0-11 所示)。



图 0-10

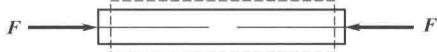


图 0-11

0.5.2 剪切

如图 0-12 所示, 变形形式是由大小相等、方向相反、作用线相互平行且相距很近的一

对力引起的。表现为受剪杆件的两部分沿外力作用方向发生相对错动，这种变形形式称为剪切。

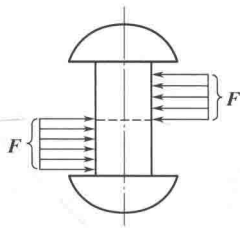


图 0-12

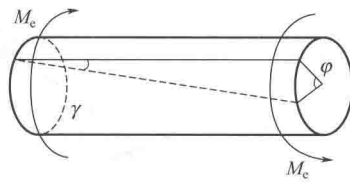


图 0-13

0.5.3 扭转

如图 0-13 所示，在一对转向相反且作用在与杆轴线相垂直的两平面内的外力偶作用下，直杆的相邻横截面将绕轴线发生相对转动，而轴线仍维持直线，这种变形形式称为扭转。

0.5.4 弯曲

如图 0-14 所示，变形形式是由垂直于杆件轴线的横向力，或由作用于包含杆轴的纵向平面内的一对大小相等、转向相反的力偶引起的，表现为杆件轴线由直线变为受力平面内的曲线，这种变形形式称为弯曲。

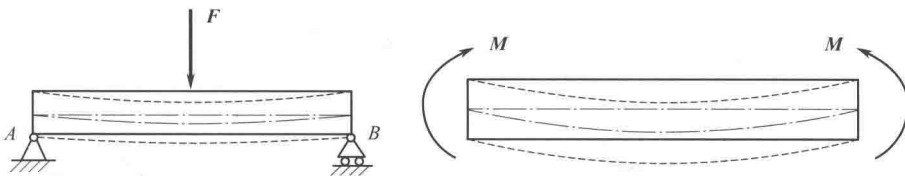


图 0-14

组合变形：杆件在外力作用下同时发生两种或两种以上的基本变形，称为组合变形。

第1章

轴向拉伸或压缩

本章要求：要求熟练掌握轴力的计算和轴力图的绘制，横截面和斜截面上的应力计算，胡克定律的两种表达式，静定结构节点的位移计算，材料的力学性质，拉（压）杆的强度计算，拉、压超静定问题的概念及计算方法，应力集中的概念。

重点：轴力图，横截面上的应力计算，胡克定律及应用，材料的力学性质，拉（压）杆的强度计算。

难点：静定结构节点的位移计算，超静定问题的求解。

1.1 轴向拉伸或压缩的概念

在工程实际中，经常有杆件承受轴向拉伸或压缩，如图 1-1 所示。

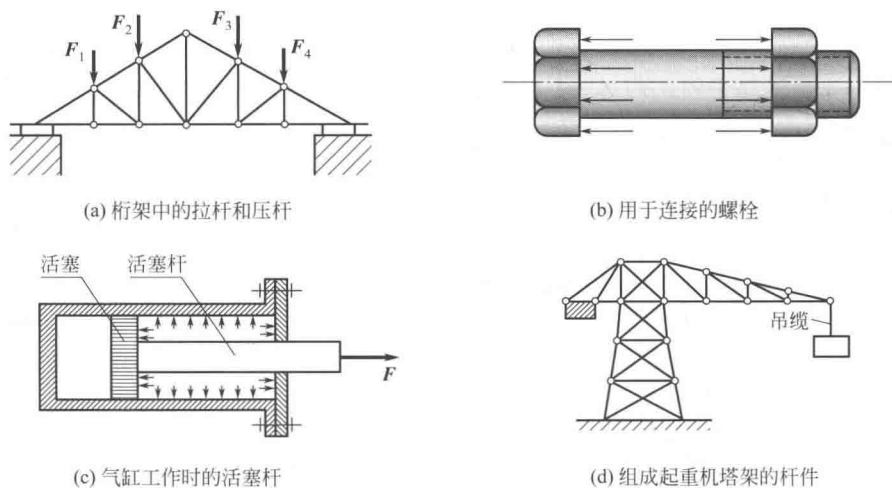


图 1-1

虽然杆件的外形各有差异，加载形式也不相同，但这类杆件的受力特点是：外力或外力合力的作用线与杆轴线重合；其变形特点是：杆件沿着杆轴线方向伸长或缩短。这种变形形式称为轴向拉伸或压缩，这类构件称为轴向拉（压）杆件。本章只研究直杆的轴向拉伸或压缩。可将这类杆件的形状和受力情况进行简化，得到如图 1-2 所示的受力与变形的示意图，图中的实线为受



图 1-2

力前的形状,虚线为变形后的形状。杆件在轴向拉力作用下变细变长,在轴向压力作用下变粗变短。

1.2 轴向拉(压)杆的内力计算

1.2.1 横截面上的内力——轴力

取一等直杆,在它两端施加一对大小相等、方向相反、作用线与直杆轴线相重合的外力,使其产生轴向拉伸变形,如图1-3(a)所示。为了显示拉杆横截面上的内力,采用截面法,取横截面 $m-m$ 将拉杆分成两段。分别取左半部分或右半部分为研究对象,杆件的任意部分均应保持平衡,设内力为 F_N ,如图1-3(b)、(c)所示。由于外力 F 的作用线与杆轴线相重合,所以 F_N 的作用线也与杆轴线相重合,故称 F_N 为轴力。由静力平衡方程

$$\sum F_x = 0 \quad F_N + (-F) = 0$$

得

$$F_N = F$$

为了使左右两部分求得同一横截面上的轴力具有相同的结果,对轴力的符号作如下规定:使杆件产生轴向伸长的轴力为正(轴力背离截面);使杆件产生轴向缩短的轴力为负(轴力指向截面)。

计算轴力时均按正向假设,若得负号则表明杆件受压。采用这一符号规定,如取右段为研究对象,如图1-3(c)所示,则所求的轴力大小及正负号与上述结果相同。

当杆件受到多个轴向外力作用时,应分段使用截面法,计算各段的轴力。

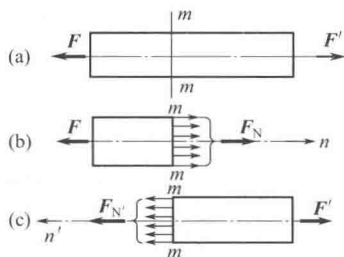


图 1-3

1.2.2 轴力图

如果杆件受到多个外力作用,则杆件不同部分的横截面上具有不同的轴力,为了形象地表示杆件横截面上轴力的变化情况,以横坐标表示横截面的位置,以纵坐标表示相应截面上的轴力,此图形称为轴力图。轴力图能够直观地表示出杆件各横截面的轴力的变化情况,习惯上将正值的轴力画在 x 轴的上侧,负值的轴力画在 x 轴的下侧。

【例 1-1】杆件受力如图1-4(a)所示, $F_1=10\text{kN}$, $F_2=30\text{kN}$, $F_3=50\text{kN}$ 。试绘出杆件的受力图。

解 (1) 计算支座反力 设固定端的支座反力为 F_R ,则由整个杆的平衡方程

$$\sum F_x = 0 \quad F_R + F_2 - F_1 - F_3 = 0$$

得

$$F_R = F_1 - F_2 + F_3 = 10 - 30 + 50 = 30\text{kN}$$

(2) 分段计算轴力 由于截面B和C处作用有外力,故将杆分为三段。设各段轴力均为拉力,用截面法取如图1-4(b)、(c)、(d)所示的研究对象后,得

$$F_{N_1} = F_1 = 10\text{kN}$$

$$F_{N_2} = F_1 - F_2 = 10 - 30 = -20\text{kN}$$

$$F_{N_3} = F_R = 30\text{kN}$$

在计算 F_{N_3} 时若取左侧为研究对象,则同样可得

$$F_{N_3} = F_1 - F_2 + F_3 = 10 - 30 + 50 = 30\text{kN}$$

结果与取右侧时相同,但不涉及 F_R ,也就是说,若杆一段为固定端,可取无固定端的