

高等学校通用教材

材料力学教程

戴葆青 王崇革 付彦坤 编著

CAILIAO LIXUE JIAOCHENG

高等学校通用教材

材料力学教程

戴葆青 王崇革 付彦坤 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是教育部“世行贷款 21 世纪初高等理工科教育教学改革”项目(项目编号:1282B05012)中“大学物理与基础力学整合优化研究”子课题的研究成果,属于面向 21 世纪的课程教材。在教学改革过程中,我们注意了对原有经典内容的改革,积极引入面向 21 世纪的新内容。

本教材的主要内容包括绪论、平面图形的几何性质、轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、扭转、弯曲内力、弯曲应力及弯曲强度计算、梁的弯曲变形及其刚度计算、应力状态分析及强度理论、组合变形构件的强度计算、中心受压杆件的稳定性问题、交变应力、能量法、动荷应力、* 断裂损伤力学初步、* 材料的屈服与塑性行为共计 16 章。其中打“*”的内容为选学内容,可根据学时要求及具体的教学需要选用。

本教材适用于高等工院校机械、机电、土木建筑、采矿工程等专业(65~80 学时)。也可供其他专业和有关工程技术人员选用。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学教程/戴葆青等编著. —北京:北京航空航天大学出版社, 2004. 9

ISBN 7-81077-497-2

I. 材… II. 戴… III. 材料力学 IV. TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 042934 号

材料力学教程

戴葆青 王崇革 付彦坤 编著

责任编辑:金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

·北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:20 字数:448 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-497-2 定价:25.00 元

前 言

随着我国改革开放的进一步深化和与国际接轨的大势所趋,高等教育的根本任务是培养面向 21 世纪具有创新精神和实践能力的高素质人才。根据国家教委最新颁布的《材料力学课程教学基本要求》,结合教育部“世行贷款 21 世纪初高等理工科教育教学项目”,我们编写了本教材。

编写时,充分吸取各校近年来《材料力学》课程教学改革的经验,并针对目前课程学时逐渐减少的实际情况,在内容选择上以必需和够用为度,力避不必要的理论推导,加强与工程实际的联系,强化创新意识的培养。在内容编排上,为便于教师执教、学生自学,适当增加了小标题,且章前有内容提要,章后附有思考题、习题,以供选用。

本书所用的单位符号符合中华人民共和国标准 GB 3102. 1—93、GB 3102. 2—93、GB 3102. 3—93。其中,本书中的力 F 、力矩 M 均表示矢量的大小,因此,按 GB 3102. 3—93 中的规定: F 、 M 用白体表示。

本教材由山东科技大学戴葆青编写第 1、9、11 章,王崇革编写第 6、7 章,付彦坤编写第 10 章,曲娟编写第 5 章,胡福文编写第 16 章,张平、邹爱英、伊明、程百灵、王涛、贺云花、田建国、王衍国编写第 2、12、14、15 章及附录;福建省龙岩市东肖龙岩学院陈虹微编写第 13 章,王荣杰编写第 4 章;山西省煤炭职业技术学院郑文玉编写第 3、8 章。全书由戴葆青统编定稿,由侯印浩主审。

因编者水平有限,书中难免存在缺点和不妥之处,恳切希望广大教师、读者批评指正。

编 者

2004 年 3 月

《材料力学教程》编著人员

主 编	戴葆青	王崇革	付彦坤		
副主编	陈虹微	曲 娟	胡福文		
参 编	郑文玉	王荣杰	张 平	邹爱英	
	伊 明	程百灵	王 涛	贺云花	
	田建国	王衍国			
主 审	侯印浩				

目 录

第1章 绪 论

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	4
1.4 杆件基本变形形式	4
1.5 工程结构与构件分类	6
1.6 内力、截面法和应力	7
思考题	9

第2章 平面图形的几何性质

2.1 形心和面矩	11
2.2 惯性矩和惯性半径	13
2.3 组合图形的惯性矩	17
* 2.4 转轴公式与主惯性轴	20
思考题	23
习 题	24

第3章 轴向拉伸与压缩

3.1 轴向拉伸与压缩的概念	26
3.2 拉伸与压缩时横截面上的内力——轴力	26
3.3 轴向拉伸与压缩时横截面上的应力	29
3.4 拉伸与压缩时斜截面上的应力	30
3.5 拉伸与压缩时的变形	31
3.6 静定结构节点的位移计算	34
3.7 材料的力学性质	38
3.8 轴向拉伸与压缩时的强度计算	44
3.9 拉(压)杆的超静定问题	47
3.10 应力集中的概念	54
3.11 轴向拉伸与压缩的变形能	55
思考题	57

习 题	59
-----------	----

第4章 剪切与挤压

4.1 概 述	65
4.2 剪切和挤压的实用计算	66
4.3 应用举例	68
思考题	72
习 题	72

第5章 扭 转

5.1 圆轴扭转的概念	74
5.2 外力偶矩的计算——扭矩和扭矩图	75
5.3 纯剪切	77
5.4 圆轴扭转时横截面上的应力	79
5.5 圆轴扭转时的变形	83
5.6 圆轴扭转时的强度和刚度计算	85
* 5.7 非圆轴扭转时的切应力	89
思考题	91
习 题	91

第6章 弯曲内力

6.1 平面弯曲的概念和梁的计算简图	95
6.2 弯曲时横截面上的内力——剪力和弯矩	97
6.3 剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图	101
6.4 载荷集度、剪力和弯矩之间的关系	104
思考题	108
习 题	109

第7章 弯曲应力及弯曲强度计算

7.1 纯弯曲梁横截面上的正应力	112
7.2 弯曲切应力	118
7.3 弯曲梁的强度计算	123
7.4 提高梁的弯曲强度的措施	126
思考题	132

习 题	133
第 8 章 梁的弯曲变形及其刚度计算	
8.1 工程中的弯曲变形问题	137
8.2 挠曲线近似微分方程	138
8.3 用积分法求梁的挠度和转角	140
8.4 用叠加法求挠度和转角	149
8.5 梁的刚度计算	150
8.6 提高梁的刚度的措施	153
* 8.7 超静定梁	155
思 考 题	158
习 题	159
第 9 章 应力状态分析及强度理论	
9.1 点的应力状态及其分类	163
9.2 二向应力状态分析	165
9.3 三向应力状态简介	179
9.4 广义胡克定律	181
9.5 四个基本强度理论及莫尔强度理论	185
思 考 题	189
习 题	191
第 10 章 组合变形构件的强度计算	
10.1 组合变形与力的独立作用原理	194
10.2 拉伸(压缩)与弯曲组合变形的强度计算	195
10.3 弯曲与扭转组合变形的强度计算	200
思 考 题	204
习 题	205
第 11 章 中心受压杆件的稳定性问题	
11.1 压杆稳定的概念	208
11.2 细长压杆的临界力	212
11.3 临界应力及临界应力总图	217
11.4 压杆的稳定计算	222

11.5 提高压杆稳定性的措施	224
思考题	227
习题	227

第12章 交变应力

12.1 交变应力的概念	231
12.2 交变应力的循环特性及其类型	231
12.3 材料在交变应力下的疲劳破坏	234
12.4 材料的持久极限	235
12.5 影响构件持久极限的主要因素	237
12.6 对称循环交变应力下构件的强度校核	239
12.7 提高构件疲劳强度的措施	241
思考题	242
习题	243

第13章 能量法

13.1 概述	244
13.2 变形能的计算	244
13.3 莫尔定理	250
13.4 莫尔定理的应用举例	253
* 13.5 卡氏定理	257
* 13.6 图乘法	260
13.7 功的互等定理和位移互等定理	263
* 13.8 用能量法解超静定问题	265
思考题	267
习题	267

第14章 动荷应力

14.1 动载荷与动应力的概念	272
14.2 构件作匀加速直线运动和匀速转动时的应力计算	272
14.3 冲击应力	276
14.4 提高构件抗冲击能力的措施	282
思考题	284
习题	284

*** 第 15 章 断裂、损伤力学初步**

15.1 概 述·····	288
15.2 裂纹扩展形成·应力强度因子·····	289
15.3 材料的断裂韧度·····	291
15.4 断裂判据的应用·····	292

*** 第 16 章 材料的屈服与塑性行为**

16.1 概 述·····	294
16.2 金属材料的塑性性质·····	294
16.3 拉伸和压缩杆系的塑性分析·····	295
16.4 圆轴的塑性扭转·····	297
16.5 塑性弯曲和塑性铰·····	297
16.6 残余应力的概念·····	302

附 录 型钢表**参考文献**

第 1 章 绪 论

本章介绍材料力学的任务、研究对象,变形固体的基本假设、杆件的基本变形形式以及内力、应力等材料力学的一些基本概念,使读者对本课程有一个概要的认识。

1.1 材料力学的任务

各种机器设备和工程结构,都是由若干构件组成的。工作时,构件将受到力的作用。在理论力学中,曾将构件视为刚体,并讨论了它的运动分析和外力的计算等问题。在工程设计问题中,还须进一步选择构件的材料,确定其合理的截面形状和尺寸。因而在解决构件设计问题时,不再采用“刚体”这一理想模型,而将构件视为受力后尺寸和形状都将发生变化的固体——**变形固体**,并要解决如下几个问题。

1. 强度问题

构件抵抗破坏的能力,称为**强度**。如果构件的尺寸,材料的性能与载荷不相适应,那就有可能发生破坏。譬如搅拌机主轴 AB (图 1-1(a))的直径太小,吊起水泥板的绳索太细(图 1-1(b)),那么在搅拌阻力较大或水泥板太重时,主轴或绳索就有可能发生断裂,以致机器无法正常工作,甚至造成灾难性的事故。因而首先要解决如何使构件具有足够的强度,以保证在载荷作用下不致破坏。

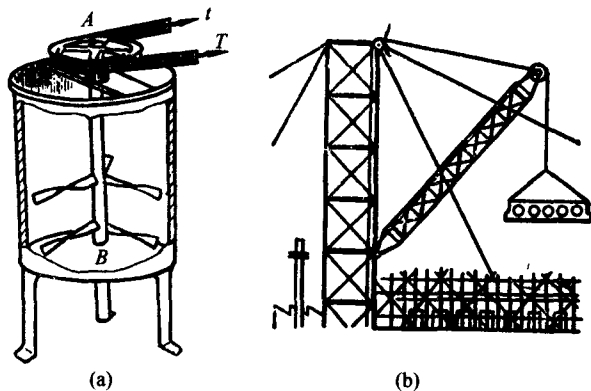


图 1-1

2. 刚度问题

构件抵抗变形的能力称为**刚度**。在载荷作用下,构件必然产生形状与尺寸的变化,也就是**变形**。对于有些构件来说,如车床主轴 AB (图 1-2(a)),若受力后变形过大(图 1-2(b)),就会影响加工精度,破坏齿轮的正常啮合,同时引起轴承的不均匀磨损,从而造成机器不能正常工作。因此,在设计时,还要解决如何使构件具有足够的刚度问题,以保证其变形量不超过正常工作所允许的限度。

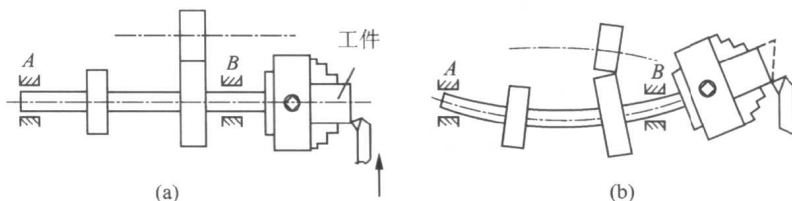


图 1-2

3. 稳定问题

受压的细长杆和薄壁构件,当载荷增加时,还可能出现突然失去初始平衡形式的现象,称为**丧失稳定**(简称**失稳**)。例如顶起汽车的千斤顶螺杆(图 1-3(a)),油缸中的长活塞杆 CD (图 1-3(b)),有时会突然变弯,或因变弯而折断,从而丧失工作能力,造成严重事故。因此,对这类构件还须考虑如何使其具有足够的抵抗失去初始平衡形式的能力,即足够的**稳定性**问题。

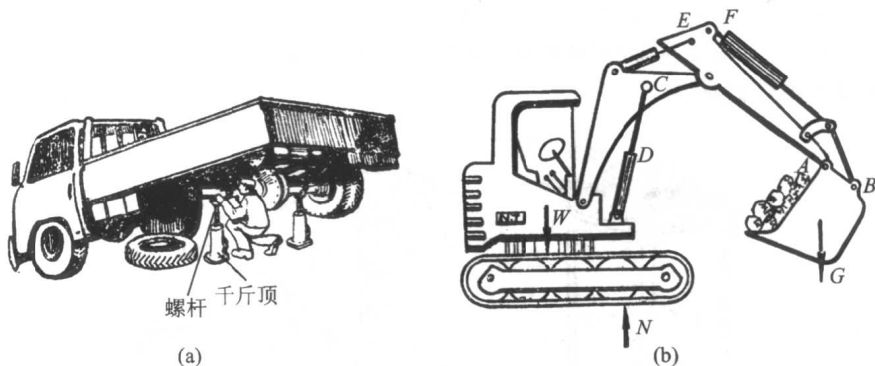


图 1-3

当设计的构件具有足够的强度、刚度和稳定性时,就能保证其在载荷作用下安全、可靠地工作,也就是说设计满足了安全性的要求。但是合理的设计还要求符合经济节约的原则,尽可能地减少材料的消耗,以降低成本,或减轻构件自重。这两个要求是相互矛盾的,前者往往需要加大构件的尺寸,采用好的材料;而后者则要求少用材料,用价格较低的材料。这一矛盾促

使材料力学这门学科的产生和发展。

材料力学是一门研究构件强度、刚度和稳定性计算的科学。它为了解决以上矛盾提供理论基础。它的任务是:在保证构件既安全适用又经济的前提下,为构件选择合适的材料,确定合理的截面形状和尺寸,提供必要的计算方法和实验技术。

在材料力学中,实验研究是建立理论的重要手段。17世纪,意大利科学家伽利略解决了船只和水闸所需梁的尺寸问题,英国科学家胡克建立了胡克定律,都是运用了实验来建立理论、验证理论正确性的科学方法,为本学科奠定了基础。此外,构件的强度、刚度和稳定性与材料的力学性能有关,而材料的力学性能必须通过实验来测定。更重要的是由于生产技术的发展,很多复杂的实际问题,还无法通过理论计算来确定,因此必须依靠实验来解决。所以,实验研究在材料力学中具有很重要的地位。

1.2 变形固体的基本假设

材料力学研究的是变形固体,而变形固体是多种多样的,其具体组成和微观结构更是十分的复杂。为了使问题的研究得以简化,以便于对构件的强度、刚度和稳定性进行分析,现根据材料的主要性能,对变形固体作如下基本假设。

1. 连续均匀性假设

假定材料的内部没有任何空隙,整个体积内充满了物质,且各处的力学性质完全相同。但材料的物质结构理论指出,材料是有空隙的,然而这些空隙与构件尺寸相比极其微小,故将它们忽略不计。从而认为材料是均匀密实的。

采用这个假设使问题的研究大为简化,并且可以把实验中所得到的材料力学性质,应用到构件的分析中去。

2. 各向同性假设

假定材料沿各个方向都具有相同的力学性质。工程上常用的金属材料就其每一晶粒来讲,其力学性质是具有方向性的。但是由于构件中所含晶粒数量极多,而且排列又是不规则的,因此,从统计理论分析,可以认为材料是各向同性的。钢、铁、混凝土以及玻璃等都可以看作各向同性的材料。根据这个假设,在研究了材料任一个方向的力学性质后,就可以认为其结论对其他方向也都适用。但也有一些材料如轧制的钢材、木材等,其力学性质有方向性,称为各向异性材料。根据上述假设建立的理论,用于各向异性材料时,只能得到近似的结果,故仍然可以有条件地使用。

实验证明,变形固体在卸载后,具有恢复原形的性质,称为**弹性**。卸载后消失的变形称为**弹性变形**。一般工程材料,当载荷未超过某极限值时,仅产生弹性变形,称为完全弹性体;当外力超过某极限时,卸载后,变形只能部分地复原,不能恢复而残留下来的变形称为**塑性变形**。这类变形固体称为**弹塑性体**。材料力学主要研究完全弹性体的小变形问题。小变形是指变形

量远远小于构件原始尺寸的变形。由于变形小,在确定构件的外力和运动时,可认为外力作用点和方向不随构件变形而改变,构件的尺寸可按变形前的尺寸计算。这样使实际计算大为简化,而引起的误差是极微小的。

1.3 外力及其分类

作用于构件上的外力又可称为载荷,是一物体对另一物体的作用力。按外力作用的方式可分为**体积力**和**表面力**。体积力是作用在物体内部所有各质点上的外力,如物体的自重和惯性力等。体积力的单位为 N/m^3 。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。沿某一面积或长度连续作用于结构上的外力,称为**分布力**或**分布载荷**。分布在一定面积上的分布力,单位为 Pa (帕)或 MPa 。如作用于油缸内壁的油压力,作用于船体上的水压力等均为沿表面的分布力。沿长度分布的分布力单位为 N/m 和 kN/m 。如楼板对屋梁的作用力,即以沿梁轴线每单位长度内作用多少力来度量。若外力分布的面积远小于物体的整体尺寸,或沿长度的分布力其分布长度远小于轴线的长度,则这样的外力可看成是作用于一点的集中力。如火车轮子对钢轨的压力和轴承对轴的反力等都是集中力。集中力的单位分别为 N 和 kN 。

按载荷随时间变化的情况,又可把外力分成**静载荷**和**动载荷**。若载荷由零缓慢地增加到某一定值,以后即保持不变,则这样的载荷就称为静载荷;而随时间变化的载荷则称为动载荷。动载荷又可分为交变载荷和冲击载荷。随时间作周期性变化的载荷称为**交变载荷**。如齿轮转动时轮齿的受力即为交变载荷。物体的运动在瞬时内发生突然变化所引起的载荷称为**冲击载荷**。如急刹车时飞轮的轮轴、锻造时汽锤的锤杆所受的载荷都是冲击载荷。

1.4 杆件基本变形形式

实际构件形状多种多样,大致可简化归纳为杆、板、壳和块 4 类(见图 1-4)。

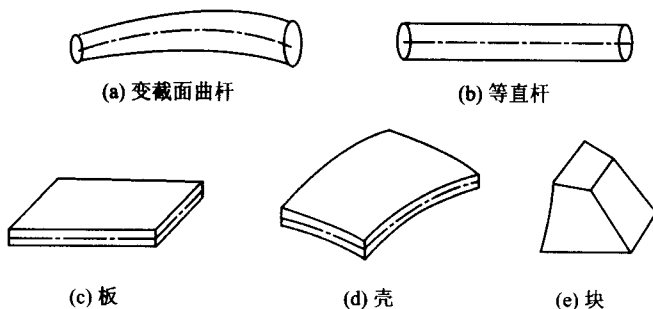


图 1-4

凡长度尺寸远大于其他两方向尺寸的构件,称为杆。杆的几何形状可用其轴线(截面形心的连线)和横截面(垂直于轴线的平面)表示。轴线是直线时称为直杆(图 1-4(a));轴线是曲线时称为曲杆(图 1-4(b))。各横截面相同的直杆称为等直杆,它是本课程的主要研究对象。

杆件受到不同载荷作用时,将产生不同的变形,其基本形式有以下 4 种:

1. 轴向拉伸或压缩

杆件受到沿轴线的拉力或压力作用时,杆件沿轴向伸长或缩短,如图 1-5(a)、(b)所示。

2. 剪 切

构件受到一对大小相等、方向相反且作用线很近的横向力作用时,杆件在两力间的截面发生相对错动,如图 1-5(c)所示。

3. 扭 转

杆件受到一对大小相等、转向相反且作用面与轴线垂直的力偶作用时,两力偶作用面间的各横截面绕轴线产生相对转动,如图 1-5(d)所示。

4. 弯 曲

杆件受到垂直于轴线的横向力或作用在杆件纵向对称面的一对转向相反的力偶作用时,杆件的轴线由直线变成曲线,如图 1-5(e)所示。

在工程实际中,杆件的变形都比较复杂,但可以看成是由两种或两种以上基本变形组合而成的。

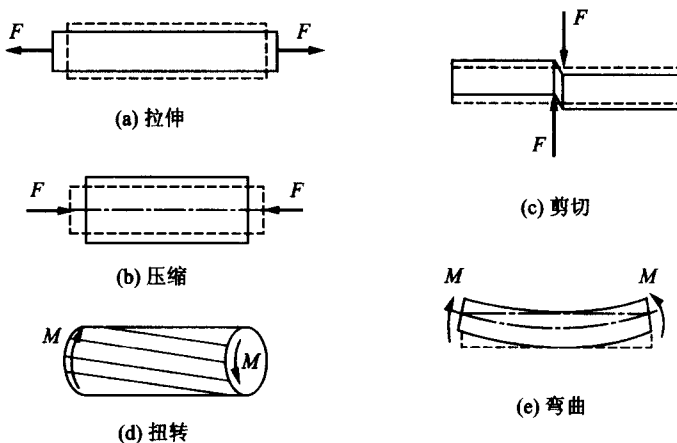


图 1-5

1.5 工程结构与构件分类

在力学中,常用结构这一名词,实际上是指结构的计算简图。

结构的类型很多,可以按不同的特征进行分类。依照空间观点,结构可分为平面结构与空间结构。如果组成结构的所有杆件的轴线都在同一平面内,且载荷也作用在此平面内,则此结构称为平面结构;否则,便是空间结构。实际上,工程中的结构绝大多数是空间结构。但在许多情况下可以将它近似地分解为若干平面结构来计算。

按照几何观点,结构可分为杆件结构、薄壁结构和实体结构。杆件结构便是由若干根杆件所组成的结构。薄壁结构是厚度远小于其他两个尺寸的结构,当它为一平板状物体时(图 1-6),称为薄板;当它由若干块薄板围成时(图 1-7),称为褶皱板结构;当它具有曲面外形时(图 1-8),称为薄壳结构。实体结构是指三个方向的尺寸约为同量级的结构(图 1-4(e))。

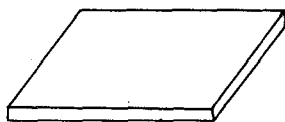


图 1-6

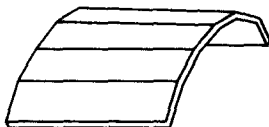


图 1-7



图 1-8

材料力学研究对象主要是杆件结构。杆件有如下几种类型:

(1) 梁 它是一种受弯杆件,其杆件的轴线通常为直线,梁有单跨度和多跨度等形式(图 1-9(a)、(b))。

(2) 拱 拱的轴线为曲线,且在竖向载荷作用下将产生水平反力(图 1-10)。这种水平反力使得拱内弯矩远小于跨度、载荷相同的梁的弯矩。

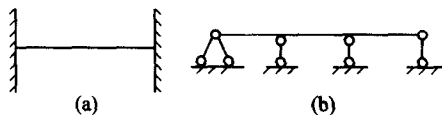


图 1-9

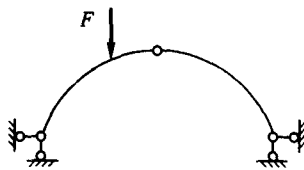


图 1-10

(3) 刚架 刚架是由梁和柱组成的,其特点是具有刚性节点(图 1-11)。

(4) 桁架 桁架是由直杆组成,其所有节点均为铰接点,当只受到作用于节点的载荷时,各杆内将只产生轴向力(图 1-12)。

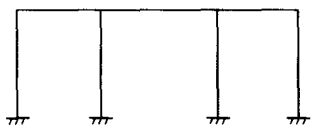


图 1-11

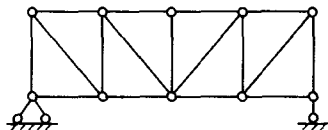


图 1-12

(5) 组合结构 组合结构是桁架和梁,或桁架与刚架组合在一起的结构,也称为混合结构(图 1-13(a)、(b))。

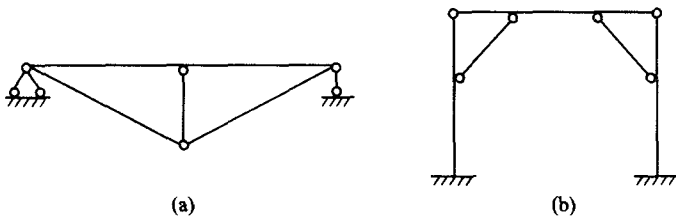


图 1-13

1.6 内力、截面法和应力

1.6.1 内力的概念

构件内各部分之间存在着相互作用的内力,它维持构件各部分之间的联系及构件的形状和尺寸。当构件受到载荷作用时,其形状和尺寸都将发生变化,构件内力也将随之改变。这一因外力作用而引起构件内力的改变量,称为附加内力,简称内力。其大小随外力的改变而改变。内力的大小及其在构件内部的分布规律与构件的强度、刚度和稳定性密切相关。若内力超过一定限度,构件将不能正常工作。因此,内力分析是解决构件强度等问题的基础。

1.6.2 内力的求法——截面法

为显示和计算内力,通常运用截面法。其一般步骤如下:

(1) 截开 在欲求内力的截面,假想将杆件截成两部分。

(2) 代替 任取其中一部分作为研究对象,画出受力图,在截面上用内力代替另一部分对该部分的作用。按照连续均匀假设,内力在截面上是连续分布的,可用内力向截面形心的简化结果来表示整个截面上的内力。

(3) 平衡 根据平衡条件,由已知外力求内力。