

高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

材料力学

上册

顾志荣 吴永生 主编

同济大学出版社

内 容 提 要

全书分上、下两册出版。上册内容包括:绪论、拉伸与压缩、剪切、扭转、弯曲内力和应力、平面图形几何性质和附录。下册内容包括:弯曲变形、能量法、应力状态理论基础、强度理论、组合变形时杆件的强度计算、压杆稳定、动荷载、交变应力。

本书具有叙述详细、通顺易懂、例题多、便于自学的特点。本书主要用作高等学校多学时土建类专业的函授教材,兼作同类专业高等教育自学考试通用教材;也可作夜大、电视大学、职工大学同类专业的教材。

责任编辑 解明芳

封面设计 陈益平

高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

材 料 力 学

上 册

顾志荣 吴永生 主编

同济大学出版社出版

(上海四平路 1239 号 邮政编码:200092)

新华书店上海发行所发行

常熟市华顺印刷有限公司印刷

开本:850×1168 1/32 印张:12.625 字数:360 千字

1998 年 5 月第 1 版 2006 年 8 月第 4 次印刷

印数:11 101 — 14 200 定价:14.00 元

ISBN 7-5608-1896-X/O·162

前 言

按照高等工业学校高学时土建类《材料力学函授教学大纲》的精神和要求,根据编者在同济大学长期从事函授教学所积累的经验,并考虑到函授和成人教育的规律和特点,我们编写了这套土建类高学时材料力学函授教材。

函授教材是函授学生获得知识的主要来源。函授生有“在职、业余、分散”的特点,函授教育以“自学为主”的教学规律要求函授教材能起到“无师自通”的主导作用。因此,我们在编写本书时,对教材内容的安排上力求做到由浅入深、循序渐进、标题醒目、层次分明;在叙述上力求达到详细、通顺,并注意讲透重点,突破难点,抓住关键,总结规律。本书是将教学内容、例题与习题、学习方法指导、阶段测验作业等融合在一起的函授和成人教育的专用教材。它适用于工业与民用建筑、道路、桥梁、地下工程等高学时土建类专业,也可供全日制大学、电视大学、职工大学同类专业的师生及自学考试和一般工程技术人员使用和参考。

本书由顾志荣、吴永生主编。全书分上、下两册,共十五章。其中第二章由陆荣林编写;第三、四章由解明芳编写;第八、九章由郭明华编写;第十、十一章由陈荣康编写;其余各章由顾志荣编写;全书由吴永生校阅。

编 者

1997年5月19日

同济大学九十周年校庆纪念

上册目录

第一章 绪论	(1)
第一节 变形固体的概念	(1)
第二节 材料力学的基本假设	(2)
第三节 构件的分类 杆件变形的基本形式	(4)
第四节 材料力学的任务	(7)
第五节 如何学习材料力学	(10)
第二章 拉伸与压缩	(14)
第一节 直杆的轴向拉伸与压缩	(14)
第二节 轴向拉(压)杆横截面上的内力	(15)
第三节 轴向拉(压)杆横截面上的应力	(21)
第四节 轴向拉(压)杆斜截面上的应力	(24)
第五节 变形 应变	(27)
第六节 应力-应变关系	(29)
第七节 材料在拉伸和压缩时的力学性质	(30)
第八节 拉伸(压缩)时杆件的强度计算	(44)
第九节 变形和位移	(49)
第十节 拉压超静定问题	(64)
第十一节 学习方法指导	(89)
习 题	(93)
第一次测验作业	(106)
第二次测验作业	(109)
第三章 剪切	(112)
第一节 剪切变形的基本概念	(112)
第二节 拉(压)杆联接部分的强度计算	(114)
第三节 学习方法指导	(131)
习 题	(133)

第四章 扭转	(138)
第一节 概述	(138)
第二节 扭转时的内力计算	(140)
第三节 薄壁圆筒的扭转	(144)
第四节 圆轴扭转时的应力与变形	(150)
第五节 圆轴扭转时的强度及刚度计算	(163)
第六节 矩形截面杆的自由扭转	(167)
第七节 薄壁杆的自由扭转	(170)
第八节 圆轴的塑性扭转	(179)
第九节 学习方法指导	(183)
习 题	(187)
第三次测验作业	(192)
第五章 平面图形的几何性质	(194)
第一节 概述	(194)
第二节 平面图形的静矩和形心位置	(195)
第三节 惯性矩 极惯性矩 惯性积	(204)
第四节 平行移轴定理 组合图形的惯性矩和惯性积的计算	(209)
第五节 形心主惯性轴 形心主惯性矩	(217)
第六节 学习方法指导	(222)
习 题	(224)
第六章 弯曲内力	(228)
第一节 梁的平面弯曲	(228)
第二节 梁的内力——剪力和弯矩	(232)
第三节 剪力方程 $Q(x)$ 弯矩方程 $M(x)$	(240)
第四节 剪力图和弯矩图	(242)
第五节 分布荷载集度 $q(x)$ 、剪力 $Q(x)$ 、弯矩 $M(x)$ 三者之间的微分关系和积分关系	(255)
第六节 学习方法指导	(266)

习 题	(270)
第四次测验作业	(274)
第七章 弯曲应力	(276)
第一节 纯弯曲时梁横截面上的正应力	(276)
第二节 梁的正应力强度条件	(296)
第三节 梁横截面上的剪应力	(306)
第四节 梁的强度计算	(323)
* 第五节 平面弯曲的进一步研究	(326)
第六节 考虑材料塑性时梁的极限弯矩	(333)
第七节 提高梁弯曲强度的一些途径	(346)
第八节 学习方法指导	(351)
习 题	(356)
第五次测验作业	(369)
附录	(372)

第一章 绪 论

第一节 变形固体的概念

一、刚体和变形固体

各种工程结构中的构件一般均为固体。在理论力学中,曾把固体都假设为刚体。所谓刚体,就是假设在外力作用下固体的形状和尺寸都绝对不变。实际上,在自然界中是不存在刚体的,任何固体在外力作用下,其形状和尺寸总会有些变化。也就是说,在外力作用下固体将发生变形。因此,人们常把一切固体统称为变形固体。

为什么在理论力学中可以把物体当作刚体看待呢?这是因为理论力学主要是研究物体在外力作用下的平衡与运动的问题。由于工程结构在外力作用下的变形一般都很小,对于物体的受力分析影响甚微,故可以忽略不计。例如,当两人用一根直杆抬重物时,直杆微小的弯曲变形对两人所承受的压力分配影响极小。在计算两人所承受的压力时,可以忽略直杆的变形,而将它看作为刚体。这是解决工程实际问题所允许的,也是我们认识力学规律所必需的。

材料力学要研究物体在外力作用下的变形和破坏的规律。变形成为材料力学的主要研究内容,因此,在材料力学中,就不能再像理论力学那样,把物体看成是绝对不变形的刚体,而必须如实地将物体视为变形固体。

二、弹性体 弹性变形和塑性变形

我们把“物体在引起变形的外力被除去以后能即刻恢复它原有形状和尺寸”的这种性质,称为弹性。若物体在外力除去后能完

全恢复原状,就称它为完全弹性体;不能完全恢复原状的物体,则称为部分弹性体。

部分弹性体的变形有两部分:一部分是随着外力被除去后而完全消失的变形,称为弹性变形;另一部分是外力被除去后不能消失而残留下来的变形,称为塑性变形(也称残余变形)。物体具有塑性变形的性质,称为塑性。

自然界中没有所谓的完全弹性体,一般的变形固体既具有弹性,也具有塑性。不过,实验指出,像金属、木材等建筑材料,当外力不超过某一限度时,可以看成是完全弹性的。例如,用两手将一段直的钢丝弯成弧形,若加力不大,在放松双手后钢丝可即刻恢复它原有的形状和尺寸。这时,该钢丝就可看作为完全弹性体。但如果加力过大,在放松双手后,钢丝的弧形曲率虽会减小些,却不能再变直了,即产生了残余变形。这时,该钢丝就是部分弹性体。

材料力学主要研究构件及其材料的弹性变形问题,因此常把工程材料看成是完全弹性体。

第二节 材料力学的基本假设

为了使我们能够采用理论分析的方法对变形固体进行研究,材料力学和其他一些学科一样,必须按照所研究的物体的性质,以及求解问题的范围,作出若干基本假定,略去一些可以暂不考虑的因素,作为理论分析的基础。材料力学采用的基本假设如下:

一、材料的连续性假设

即认为组成物体的物质毫无空隙地充满了整个物体的几何体积。根据这个假设就可以把物体内的一些物理量(例如应力、变形、位移等)也看成是连续的,因此,就可以用坐标的连续函数来表示它们的变化规律。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材料力学中所研究的构件尺寸相比,极为微小,可以忽略不计,这样就可以认为物体在其

整个几何体积内是连续的。

二、材料的均匀性假设

即认为在物体内各处的力学性质完全相同。物体的力学性质不因各点在物体内的位置不同或体积的大小而改变。事实上,完全均匀的物体是不存在的。从微观来看,在几个晶体交接处所取出的小块 A(图 1-1)的性质,与在一个晶体内部所取出的小块 B 的性质,显然,是不会相同的。由于材料力学所研究的构件,例如,一根梁或一根柱子的尺寸与金属的晶体大小比起来要大得多,另外,一个构件中含有晶体或粒子的数目非常多,它们的排列是错综复杂的,因此,从统计平均的观点来看,这种非均匀性是可以忽略的。

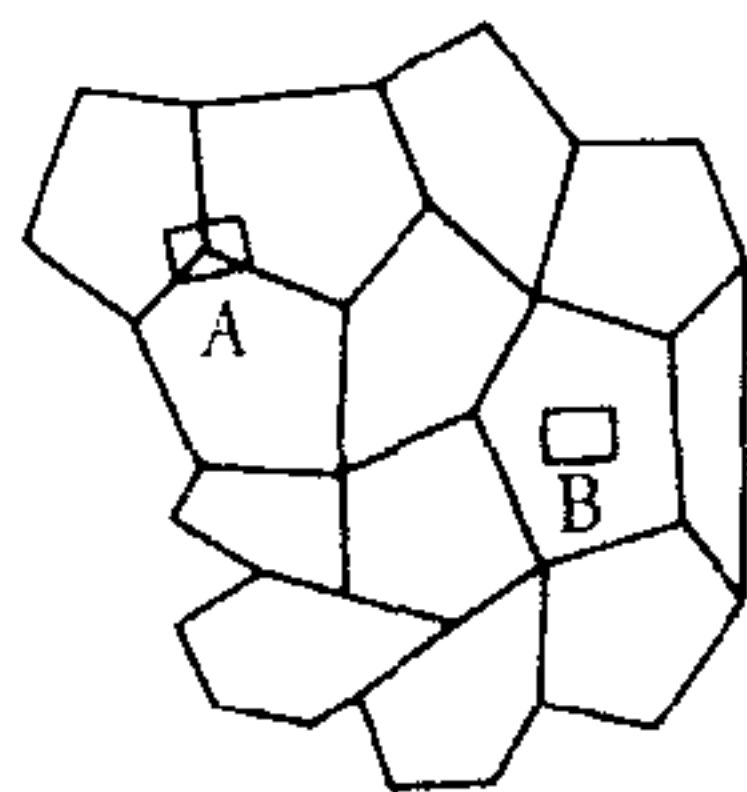


图 1-1

根据这个假设,就可以取出物体内的任意一小部分来加以分析研究,把分析的结果用于整个物体,也可以将那些由较大尺寸的试件通过实验获得的材料性质用到物体的任何微小的部分上去。

三、材料的各向同性假设

即认为材料在各个不同方向都具有相同的力学性质。实际上,就金属的单一晶粒来说,在不同方向其力学性质也并不一样。但是,一般物体的尺寸都远大于单个晶粒,又由于组成物体的无数晶粒的方位是杂乱无章、错综交叠地排列着,因此,其在各个不同方向上的性质就接近相同了。像金属这一类工程材料就可被认为是各向同性材料。

根据这个假设,在研究了材料在任一方向的力学性质后,就可以将其结论用于其他任何方向,亦即不必考虑材料的方向性问题。

四、小变形假设

即假设物体产生的变形及其几何尺寸的改变与整个物体的原始尺寸比较起来是极其微小的。例如,图 1-2 中所示的梁在受力

变形后,右端沿水平方向的位移 δ 就远远小于梁的原长 l 。

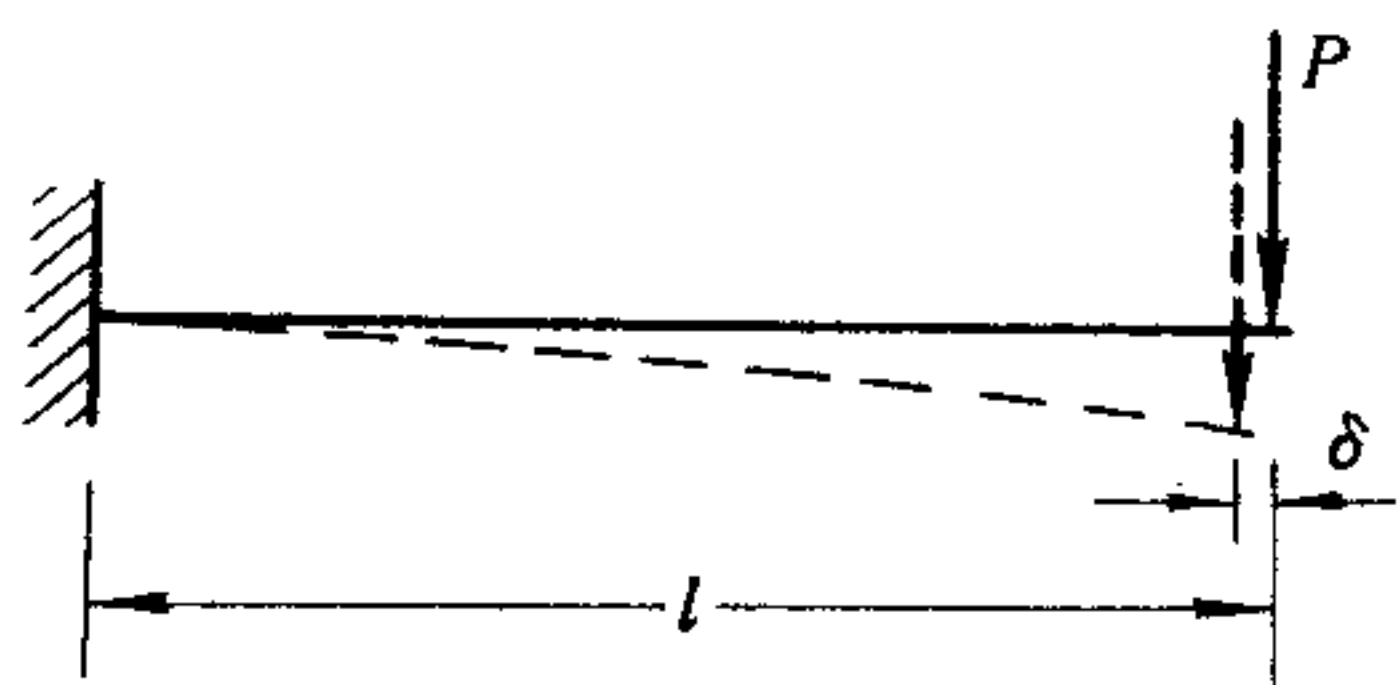


图 1-2

根据这个假设,我们在建立静力平衡方程或对其他一些问题的分析时,就可以不考虑外力作用点在物体变形后发生的微小的位置改变,而仍按其变形前的原始尺寸进行计算。例如,在对图 1-2 所示的梁进行受力分析时,若要计算外力 P 对固端的力矩,则

可用 $M = Pl$ 计算,而不必用 $M = P(l - \delta)$ 来计算。因为式中的 l 远远大于 P 力作用点位置的改变 δ ,所以,在列静力平衡方程时,就可忽略其影响。

另外,我们在考察物体的变形和位移时,还会出现一些变形量的二次幂或乘积,根据小变形假设就可以把它们略去不计,从而使分析的问题大为简化,而由此引起的误差是极微小的。

综上所述,材料力学认为一般的工程材料是连续、均匀、各向同性的变形固体,材料力学主要是研究弹性体的弹性变形。实践证明:上述的基本假设既能充分地反映出问题的主要实质,又能使十分复杂的现象得到合理的简化;不仅便于理论推导,而且由这些基本假设所得的计算结果用于一般的工程实际中,已足够精确。

第三节 构件的分类 杆件变形的基本形式

一、构件的分类

机械或结构物的每一组成部分都称为构件。例如组成房屋的柱子、梁、楼板等都统称为构件。工程中的构件形式是多种多样的,根据它们的几何特征可分为下列几类:

(1) 杆件 凡是一个方向的尺寸(长度)远大于其它两个方向尺寸(宽度和高度)的构件称为杆件(图 1-3)。垂直于杆件长度方

向的截面,称为横截面。横截面形心的连线,叫做杆件的轴线(简称杆轴)。如果杆件的轴线是直线,则称它为直杆;轴线为曲线的,称为曲杆。各横截面尺寸不变的杆,叫作等截面杆;横截面尺寸大小不同的杆称为变截面杆(图 1-3(c))。

工程中比较常见的是等截面直杆(简称等直杆)。它是材料力学研究的主要对象。

薄壁杆件也是材料力学中经常遇到的一类杆件,它的几何特征是长、宽、厚三个尺寸都相差很悬殊,即 $l \gg b \gg t$ (图 1-3(d))。

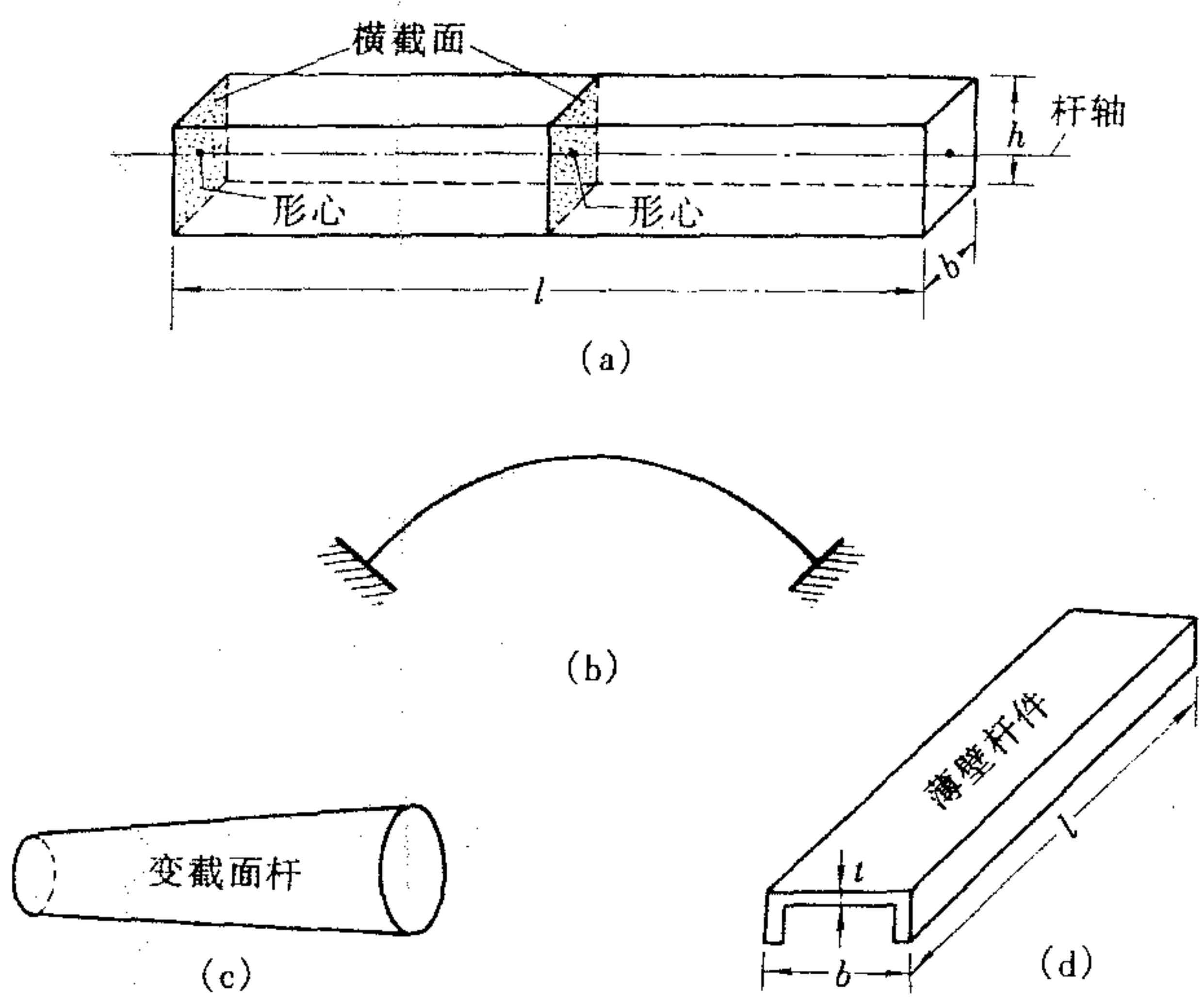


图 1-3

(2) 板和壳 如果构件一个方向的尺寸(厚度)远小于其它两个方向的尺寸,呈平面形状的称为板,呈曲面形状的称为壳(图 1-4(a),(b))。

(3) 块体 三个方向(长、宽和高)的尺寸相差不多(属同量级)的构件,称为块体(图 1-4(c))。

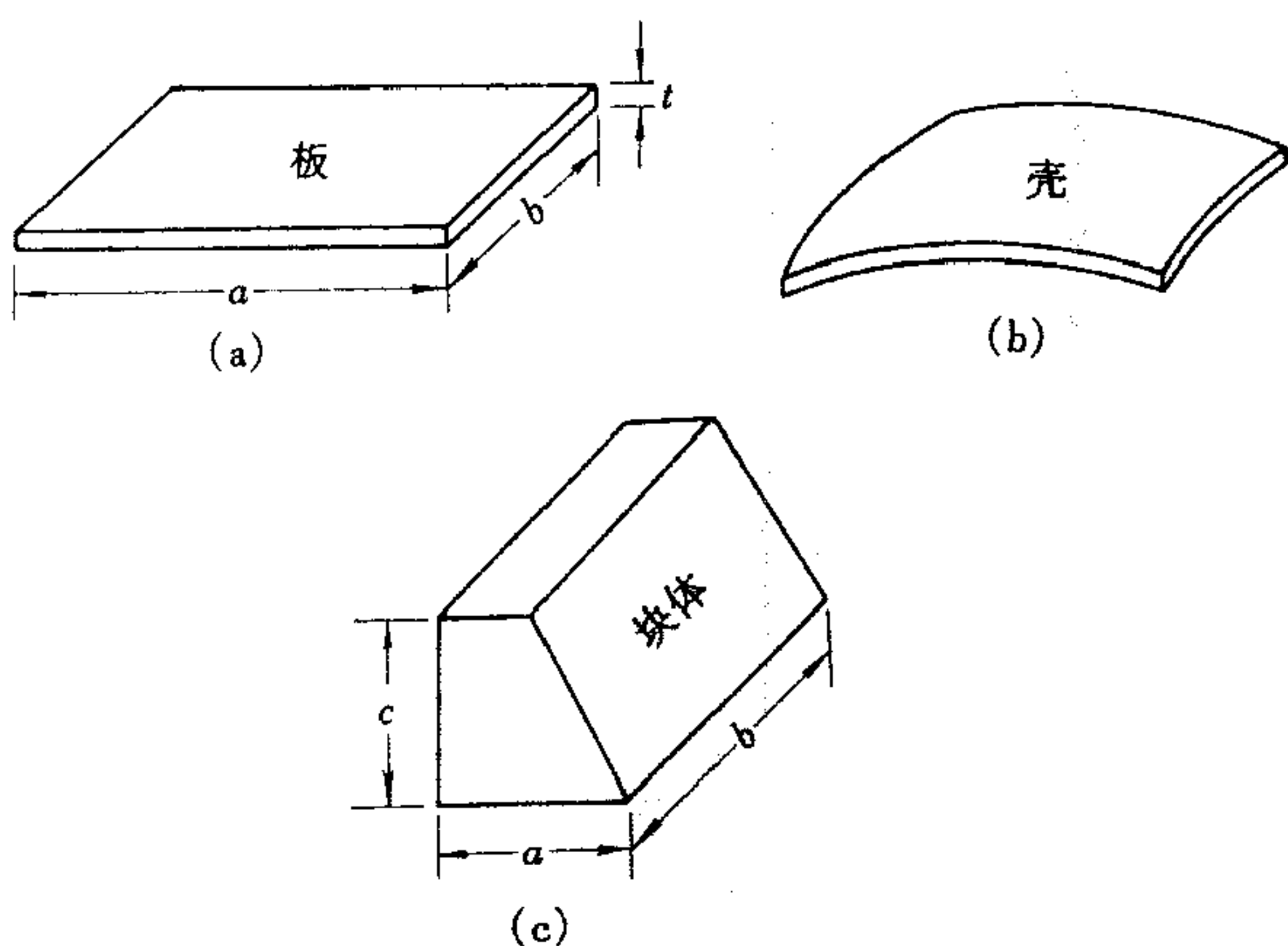


图 1-4

材料力学主要研究杆件的受力和变形问题。板、壳和块体这类构件一般在高等材料力学和弹性力学中研究。

二、杆件变形的基本形式

在工程结构中,由于外力常以各种不同的方式作用在杆件上,因此杆件的变形也是各种各样的。但是,这些变形总不外乎是以下四种基本变形(图 1-5)中的一种,或者是它们中几种基本变形的组合。

(1) 拉伸或压缩 这种变形是由作用线与杆轴重合的外力所引起的(图 1-5(a)),表现为杆件的长度发生伸长或缩短。起吊重物的钢索、桁架中的杆件、某些房屋中的柱子及有些桥墩和基础,在受力过程中,就要发生拉伸或压缩变形。

(2) 剪切 这类变形是由大小相等、方向相反、作用线垂直于杆轴且相距很近的一对外力引起的,受剪杆件的两部分沿外力作用方向发生相对的错动(图 1-5(b))。如键、销钉、螺栓等联接件受力时常发生剪切变形。

(3) 扭转 这种变形是由一对大小相等、转向相反、作用面都

垂直于杆轴的力偶引起的,表现为杆件的任意两个横截面间发生绕轴线的相对转动(图 1-5(c))。机械中各种传动轴就是受扭杆件。

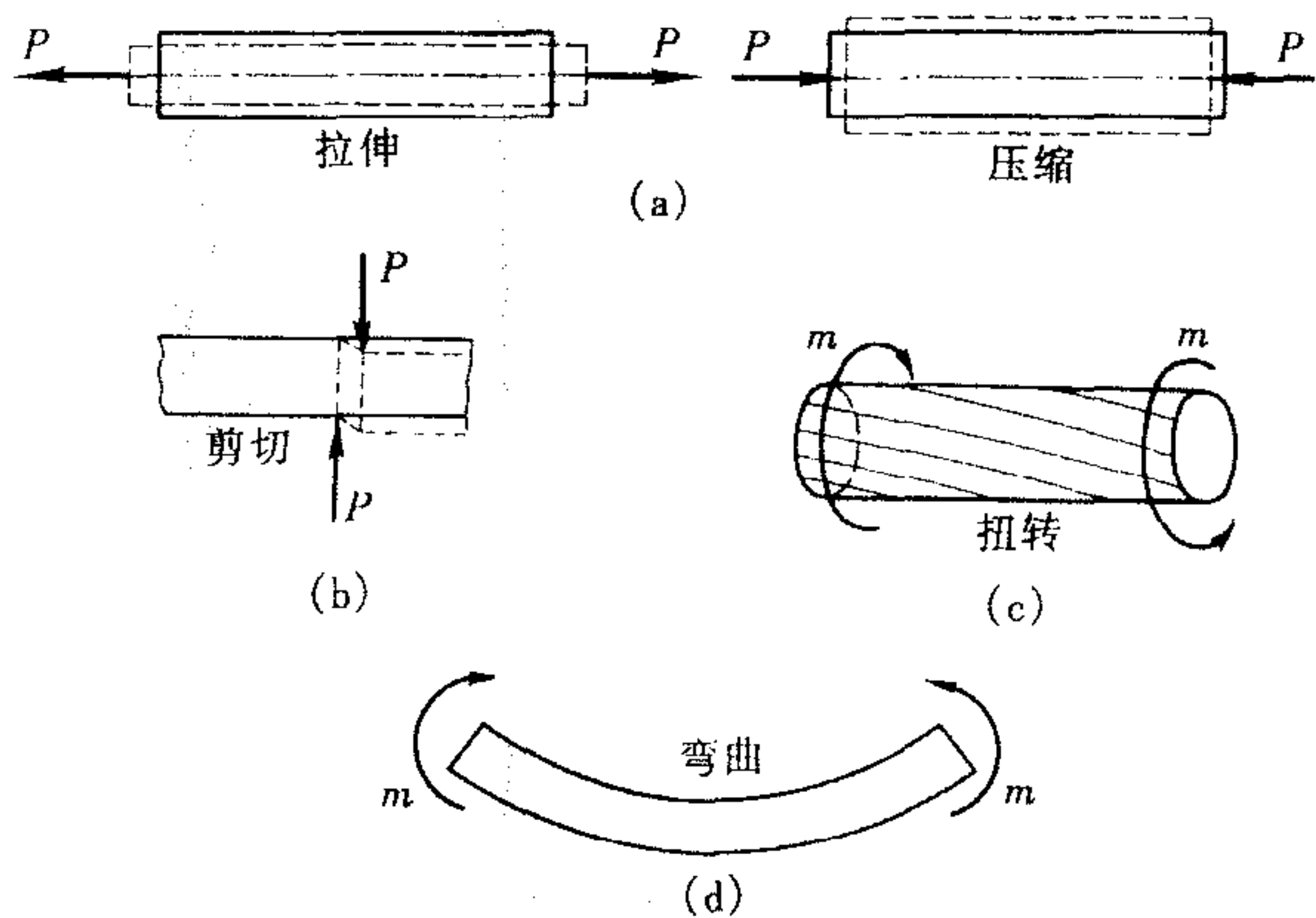


图 1-5

(4) 弯曲 这种变形是由于垂直于杆件轴线的横向力作用,或作用于杆轴平面内的力偶引起的,表现为杆件的轴线由直线变为曲线(图 1-5(d))。工程中受弯杆件是最常见的一类构件。例如,各种梁在受力时大多要发生弯曲变形。

还有一些杆件同时承受几种基本变形,这种情况称为组合变形。本书将在上册中依次分析上述四种基本变形的问题,关于组合变形的问题,将在下册中再进一步讨论。

第四节 材料力学的任务

一、研究构件的强度、刚度和稳定

如上所说,任何结构物都是由一些构件所组成的,显然,要使结构物能正常地工作,就必须要求组成它的每个构件在荷载作用

下都能正常工作。因此,工程中对所设计的构件都有一定的要求。

(1) 强度要求 所谓强度,是指构件或材料抵抗破坏的能力。强度有高低之分,在一定的荷载作用下,说某个构件或某种材料的强度高,就是指这个构件或这种材料不容易破坏。所谓破坏,在材料力学中是指构件断裂或产生了过大的塑性变形。根据经验,为了保证构件的正常工作,首先要求构件应具有足够的强度,能在荷载作用下不发生破坏。

(2) 刚度要求 所谓刚度,是指构件抵抗变形的能力。刚度有大小之分,说某个构件的刚度大,是指这个构件在荷载作用下不容易变形,即抵抗变形的能力强。我们知道,构件在外力作用下,即使不出现塑性变形,但总是要产生弹性变形的。对于某些构件的弹性变形,有时也要加以限制,也就是说,对这些构件仅仅满足强度要求还是不够的,它还必须满足刚度要求。例如楼板梁在荷载作用下产生的弹性变形过大时,下面的抹灰层就会开裂、脱落;屋面下的檩条如果变形太大,就会引起屋面漏水。因此,工程中对构件的变形常根据不同的工作情况给予一定的限制,使构件在荷载作用下产生的弹性变形不得超过一定的范围。也就是说,要求构件具有足够的刚度。

(3) 稳定要求 所谓稳定要求,就是指承受荷载作用时构件在其原有形状下的平衡应保持为稳定的平衡。实践告诉我们,有些构件在荷载作用下,可能出现不能保持它原有稳定平衡形式的现象。例如,对于细长的受压直杆,当压力逐渐增大而达到一定数值时,压杆就会突然从原来的直线形状变成曲线形状(图 1-6)。这种现象称为丧失稳定。由于某个受压杆丧失稳定而导致整个建筑物破坏的事故还是很多的,所以对受压杆件要求它在压力作用下不丧失稳定,而具有足够的

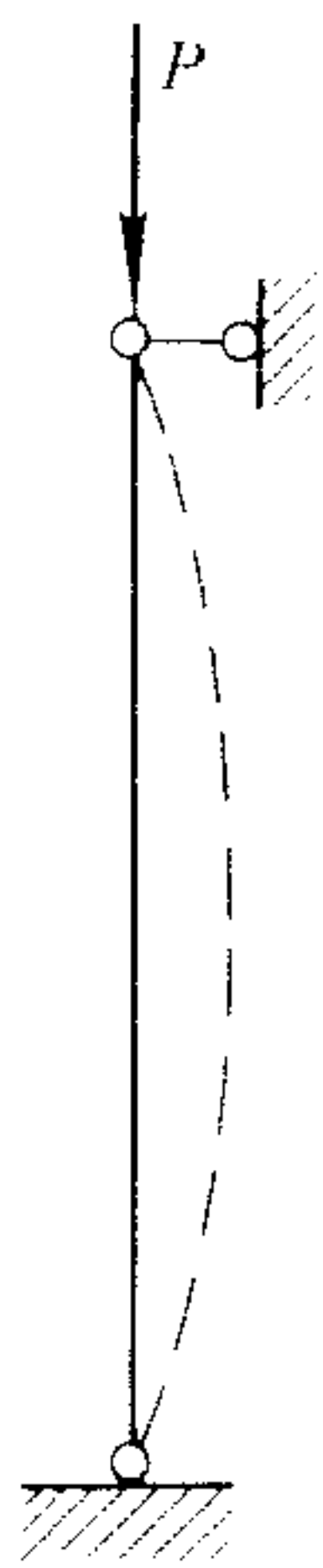


图 1-6

稳定性。

构件的强度、刚度和稳定问题是材料力学所要研究的主要内容。

二、研究材料的力学性质

构件都是由一定的材料制成的。两个承受相同的荷载作用、具有相同的尺寸、而用不同材料制成的构件,它们产生变形的大小和破坏的难易是不同的。这说明构件的强度、刚度、稳定性与制作构件的材料有关。因此,材料力学还要通过试验来研究材料在荷载作用下表现的力学性质,并在此基础上为构件选择合适的材料,设计出合理的截面形状和尺寸。

三、合理解决安全与经济之间的矛盾

我们知道,为了提高构件的强度、刚度和稳定性,往往需要选用优质材料来制造或加大构件的截面尺寸。如果设计的截面尺寸过大或所用的材料质量太好,那么,在一定的荷载作用下,虽然构件不会发生过度的变形或破坏,但是构件承担荷载的能力却没有充分发挥,浪费了材料和资金。对于工程技术人员来说,在设计构件时,既要保证构件能正常地工作,还要考虑尽可能降低成本,节约材料和资金。这就要求工程技术人员必须掌握一定的材料力学知识,在设计时运用材料力学的理论和方法,在保证构件既安全适用又最大限度经济的前提下,为构件恰当地选用合适的材料,设计出合理的截面形状和尺寸。

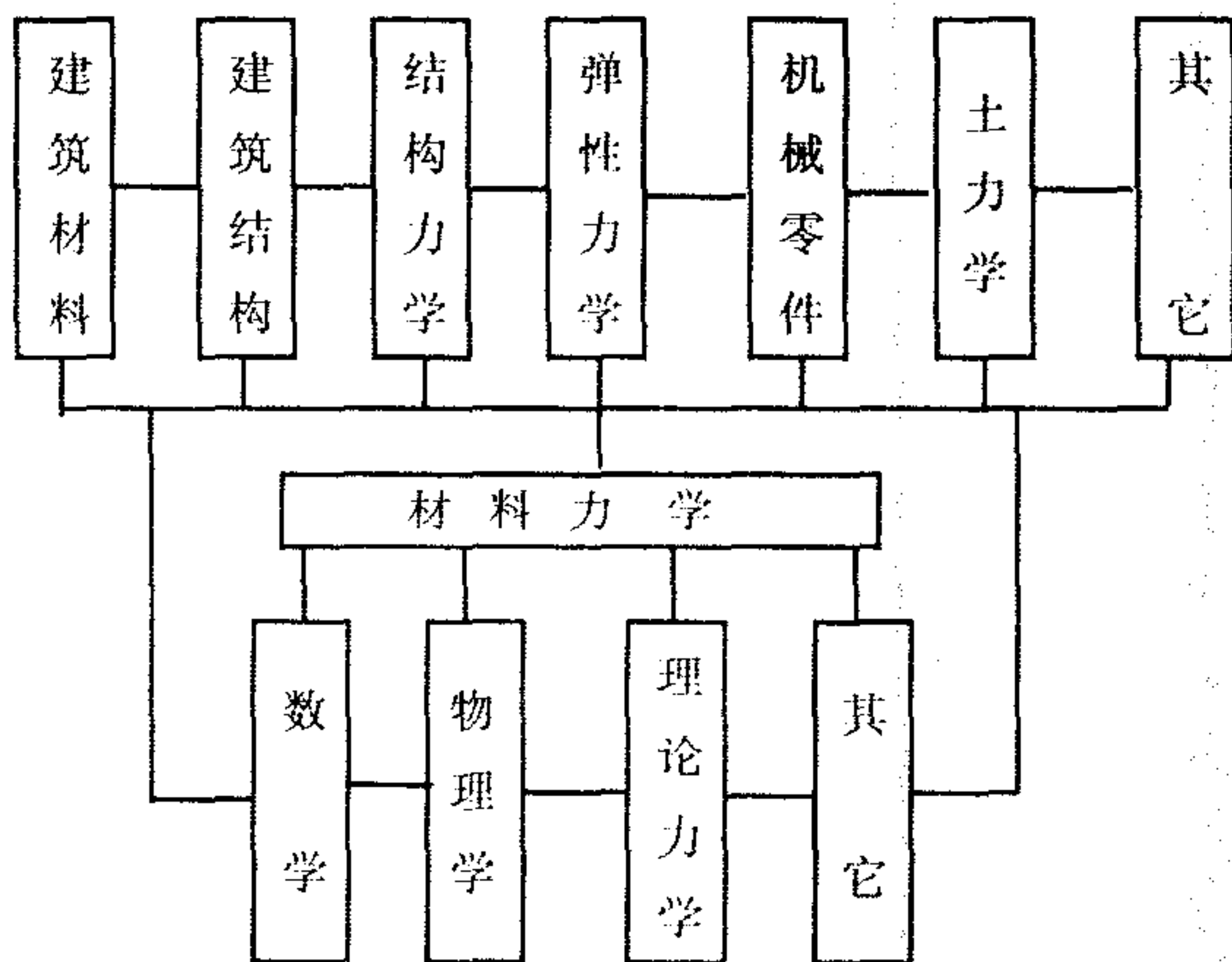
综上所述,材料力学是研究构件在外力作用下的变形和破坏的规律,也是研究构件承受荷载能力(简称为承载力)的一门科学。材料力学要在研究材料的力学性质的基础上,根据构件受到的荷载情况及其工作要求,为构件选择合适的材料,设计出合理的截面形状和尺寸,使之既满足强度、刚度、稳定的要求又经济合理。这就是材料力学的任务。

第五节 如何学习材料力学

一、一定要学好材料力学

材料力学是一门很重要的技术基础课,它在工业与民用建筑、道路与桥梁、水利工程、机械、航空工程等专业的教学计划中都占据着重要的地位;它在基础课和专业课之间起着桥梁作用(表 1-1)。材料力学不仅为我们提供设计结构构件所必要的基本理论知识,而且还将为我们学习专业课程打下良好的基础;它的基础知识对于我们今后的学习和工作都具有极其重要的意义。因此,在一开始学习时,读者就必须下定决心,树立信心,一定要把材料力学学好。

表 1-1



二、刻苦钻研教材是学好材料力学的关键

函授教育最根本的特点是以“自学为主”。由于函授教材是获得本课程知识的主要来源,因此,读者能否刻苦钻研教材将是学好材料力学课程的关键。每个读者都应该按照“自学周历”的要求,在规定的时间内学完有关教材的内容。但也要注意循序渐进,不要急于求成。

阅读教材一般可按章采用粗读与精读相结合的方法进行自学。粗读时,不必过分拘泥于局部的繁复细节和数学推演,而只是侧重于对本章的内容有一个轮廓性的了解。读者在粗读过程中,对每节后所附的习题,也不一定急于求解。但经过粗读,再结合每章后面的学习方法指导,要求读者能明确本章的主要内容和重点所在;能提出一些问题,然后再逐节仔细精读,弄清基本概念和原理。对于重要公式的推导和结论也要求在精读过程中得到彻底的解决,要特别注意各个定义、定理、公式、结论的物理意义及其适用的范围;要逐步学会教材中分析问题和解决问题的方法和步骤等。对于在自学中出现的疑难问题,经过再三思考后,如果仍不能解决,应及时通过书面提出问题,争取早日解决,以免影响后面内容的学习。

根据以往的经验,读者要看懂本书是不困难的,但是有的读者“好读书,不求甚解”,自学时缺少精读,过于“草率”,结果在做习题和测验作业时遇到了困难。因此,读者一定要做到“好读书,求甚解”,要反复地学习,要不断地巩固和提高自己学得的知识。在学完一章后,要及时进行小结;学完几章后还要能归纳、总结。这样既可使所学的内容纲目清楚,经纬分明,把教材内容系统化、规律化,又可使自己把已经掌握的内容得到进一步地巩固和提高。

三、重视材料力学课程的系统性和规律性

材料力学课程有它本身的特点:在研究方法上,与其他一些课程存在着差异,它既有理论的推导,又有实验研究;在研究的内容方面,它涉及的范围较为广泛。读者在学习本课程时往往会感到概念多、公式多、计算多,尤其是对许多公式感到难于掌握。虽是如此,只要我们重视材料力学的系统性和规律性,这些问题一般还是能解决的。

值得指出的是,我们在学习过程中要学会总结规律,例如教材内容的总结和归纳;公式的归纳和对比;解题方法的归纳和总结等等。尤其对于大量的公式,我们往往可以用对比的方法来学习,注意它们的一般形式,找出这些公式的相似性,深刻了解各个公式的推导过程,这样就能帮助我们对这些公式的理解和记忆。