

高等专科学
高等职业技术学
房屋建筑工程专业新编系列教材

材料力学

(第二版)

张流芳 主编

武汉理工大学出版社

755
716201-91
2 3111

高等专科学校
高等职业技术学院

房屋建筑工程专业新编系列教材

材料力学

(第二版)

主 编 张流芳



A1062312

武汉理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/张流芳主编. —武汉:武汉理工大学出版社, 2002. 11
ISBN 7-5629-1770-1

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

出版者:武汉理工大学出版社(武汉市:武昌珞狮路 122 号 邮编:430070)

印刷者:武汉理工大印刷厂

经销者:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16

印 张:16.5

字 数:412 千字

版 次:2002 年 1 月第 2 版 2002 年 11 月第 8 次印刷

书 号:ISBN 7-5629-1770-1/TU·177

印 数:67001~77000 册

定 价:16.00 元

(本书如有印装质量问题, 请向承印厂调换)

全国建筑高等专科学校

房屋建筑工程专业新编系列教材

编审委员会

顾问:滕智明 李少甫 甘绍熹 罗福午
陈希天 卢 循

主任:齐继禄 袁海庆

副主任(按姓氏笔划排列):

李生平 孙成林 张协奎 张建勋
武育秦 侯治国 胡兴国 廖代广

委员(按姓氏笔划排列)

甘绍熹	乐荷卿	孙成林	齐继禄
卢 循	李少甫	李生平	张协奎
张建勋	张流芳	陈书申	陈希天
武育秦	陈晓平	周绥平	罗福午
胡兴国	侯治国	袁海庆	高琼英
舒秋华	董卫华	简洪钰	廖代广
滕智明	蔡德明	蔡雪峰	聂旭英
魏万德			

秘书长:蔡德明

出版说明

武汉理工大学出版社(原武汉工业大学出版社)组织编写的“全国建筑高等专科学校房屋建筑工程专业新编系列教材”在全国使用已经四年了。经过全体编审、出版人员的共同努力和广大用户的热情关怀,这套教材较好地实现了编委会预定的目标。四年中,全套教材平均每本发行量达到了8万册,其中最高的已达到12万册;使用的地域遍及祖国大陆,使用对象的类型包括高等专科、成人教育、电大、函大、自考和新的高等职业教育等。使用学校师生反馈的信息表明,编委会力求达到的“统一性、创新性、普适性和持久性”等特点,在教材的编写、编辑、出版和发行中得到了很好的体现,用各种标准来衡量,这都是一套成功的系列教材。

四年中,随着世纪的交替,我国的高等教育正在经历重大的变革。随着大学学科、专业的调整,高等学校的转制、重组,我国高等专科学校的队伍发生了很大的变化。特别是为适应社会主义市场经济和国民经济建设对人才的需求,在政府教育主管部门的政策引导下,高等职业技术教育得到了很大的发展。另外,与房屋建筑工程专业的教材内容密不可分的各种国家建筑规范正在修改,新规范2002年即将颁行。这些都对本套教材提出了修订的要求。为此,编委会经过认真研讨,决定全面修订、出版系列教材的第二版。

在全套教材第二版的修订过程中,编委会确定了如下原则:

1. 在第一版基础上,根据使用教师、学生反馈的意见,全面修订。
2. 教材内容上尽量体现最近四年里国内外建筑技术、工艺、材料的新发展、新成果。
3. 教材中凡涉及到国家建筑规范及其他部门规范、标准的,一律按最新规范、标准编写。
4. 除了保持第一版的统一性、创新性之外,特别注意教材的普适性。为适应高等专科教育改革的要求和针对高等职业教育的特点,修订中要更加强调教材的实践性。修订后的教材冠名为“高等专科学校、高等职业技术学院房屋建筑工程专业新编系列教材”。

第二版的出版正是体现了编委会提出的“持久性”原则。本套教材经过全面修订,必将焕发新的生机和活力。今后,随着我国建筑教育事业的进步和发展,我们的教材也将与时俱进,保持同步发展,及时修订,推出更新的版本。我们再次诚挚地希望广大读者对教材提出批评和建议。

武汉理工大学出版社
2001. 10

编者的话

本书进行了下述两点探索:

第一点探索,起源于编者对学生(三年制专科学生)的访问。

访问中多次听到许多学生抱怨“材料力学头绪多,内容繁杂”。这使编者在改进自己的教学方法的同时,产生了一个设想:若把教材传统编法的纲与目调过来编写,是否有利于消除学生们的这一错觉?于是本书编者进行了这种编写法的探索。傅衣铭教授称这种编写法属于以分析步序为纲的论述体系。编写完后,编者有两点较好的感觉:其一,这样编,使材料力学基本理论成为一条完整、清晰的线条呈现于学生面前。其二,相同深度广度的内容,在这里所占的篇幅较小。

最初,编者有机会向湖南大学博士生导师成文山教授汇报这种探索的设想,受到成教授的鼓励和指导,于是开始了试编。1996年10月在武汉工业大学出版社召开的全国建筑高等专科学校“房屋建筑工程专业”系列教材编审会议上,编者按此提出的编写大纲得到了清华大学博士生导师罗福午教授的指导、完善和认可。正式编写本书完稿后,湖南大学博士生导师傅衣铭教授在百忙中抽出时间审阅书稿,并给予指导。编者在此向三位博士生导师表示衷心的感谢和敬意!

第二点探索,是对教材的专科特色和专业特点的探索。

既然是编写房屋建筑工程专业专科系列教材,顾名思义,是必须考虑专科特色和专业特点的。编写中,编者从专科材料力学的角度,对如何为房屋建筑工程第一线培养应用型人才,如何使本课程融于本专业的教学内容和教学方法的整体之中,作了全面的思考和安排。

使用教材时的课时分配和教学进度,与教材编者论述问题的风格、教师的教学水平、教师对具体课题或论点的教学意图以及学生的接受能力等等诸多因素有关。这里,编者按中等情况估算,讲完本书的正文及例题,需70学时。使用者可按这个数据,再考虑习题课、实验课以及诸多具体的教学因素,作出合理的总学时数安排。

本教材的课时分配和教学进度列表如下。

本教材的课时分配与教学进度

授课内容	授课学时数	习题课、实验课学时数
1 绪 论	2	习题课 14 学时 第 6 章:实验课 6 学时
2 内力及内力图	14	
3 截面的几何参数	3	
4 应力和变形	13	
5 应力状态分析	8	
6 强度计算	12	
7 刚度校核	4	
8 压杆稳定性校核	4	
9 能量法和简单超静定问题	7	
10 动荷载	3	
合 计	70	20

本书各章末尾附有较详细的复习思考题及较大数量的习题,书末附有全部习题答案,可供读者复习使用。

本书由张流芳主编。编写人员:湖南城建高等专科学校张流芳、重庆建筑高等专科学校郭开元、河南城建高等专科学校侯丰泽。

限于编者水平不高,本书一定存在不少错误和缺点,敬请各位老师和读者批评指正!

编 者

1997年7月

再版前言

本书初版的错误之处较多,给使用本书的老师 and 读者带来许多不便,编者首先要借此机会表示歉意!在此次修订中,编者认真仔细地对这些错误之处作了勘正。

高职高专教育应为工程第一线培养应用型人才,其基础理论教学应以应用为主,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为教学重点。此次对本书的修订,编者力求进一步贯彻这一原则。下列几点是此次对初版作出的主要的修改之处:①初版中对桁架和桁梁组合结构的讨论虽然简单,但仍嫌与结构力学有不必要的重复,这次已再行删减,再版中只讨论两杆桁架和两杆桁梁组合结构。②再版中完全删去了钢结构中将要详细讨论的连接件课题。③为了更好地做到讲清概念,再版中对压杆失稳、真实位移、八面体面剪应力等几个基本概念的叙述作了较大的改变、修正或加强。④出于以必需、够用为度的考虑删去了一些较难的例题和习题,出于以强化应用为教学重点的考虑增加了基本题。⑤新增了各章的提要和小结。

修订后的再版,按通常的中等速度,课堂讲授全部正文及例题,需用学时数仍为 70。

限于编者水平,修订后的再版必然仍有许多不妥或错误之处,恳请各位老师和读者批评指正!本书所采用的对于材料力学理论的论述法有别于传统体系,属于以分析步序为纲的论述体系,由于是初步的尝试,问题一定不少,也请各位老师和读者多多指正!

编 者

2001 年 7 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 材料力学的研究对象	(1)
1.2 变形体的基本假设	(3)
1.3 作用和作用效应	(4)
1.4 材料力学的任务	(5)
复习思考题	(6)
2 内力及内力图	(7)
2.1 轴心拉压杆的内力及内力图	(7)
2.2 扭转轴的内力及内力图	(11)
2.3 平面弯曲梁的内力及内力图	(14)
2.4 组合变形构件的内力及内力图	(30)
2.5 斜梁、折杆和曲杆的内力及内力图	(35)
2.6 两杆桁架和两杆桁梁组合结构的内力及内力图	(40)
本章小结	(42)
复习思考题	(43)
习题	(43)
3 截面的几何参数	(52)
3.1 截面的形心位置和面积矩	(52)
3.2 惯性矩、极惯性矩、惯性积、惯性半径	(53)
3.3 平行移轴公式	(57)
3.4 形心主惯性轴、形心主惯性矩	(60)
本章小结	(61)
复习思考题	(62)
习题	(62)
4 应力和变形	(65)
4.1 轴心拉压杆的应力和变形	(65)
4.2 扭转轴的应力和变形	(72)
4.3 平面弯曲梁的应力	(78)
4.4 平面弯曲梁的变形	(88)
4.5 组合变形构件的应力	(92)
本章小结	(101)
复习思考题	(104)
习题	(105)
5 应力状态分析	(111)

5.1	应力状态的概念	(111)
5.2	平面应力状态分析的数解法	(114)
5.3	平面应力状态分析的图解法	(117)
5.4	三向应力状态	(122)
5.5	平面应力状态下的应变分析	(124)
5.6	广义虎克定律	(127)
	本章小结	(131)
	复习思考题	(132)
	习题	(133)
6	强度计算	(138)
6.1	材料的力学性能	(138)
6.2	材料的破坏和强度理论	(141)
6.3	构件的强度条件	(143)
6.4	轴心拉压杆的强度计算	(145)
6.5	扭转轴的强度计算	(148)
6.6	平面弯曲梁的强度计算	(151)
6.7	组合变形构件的强度计算	(156)
	本章小结	(163)
	复习思考题	(165)
	习题	(166)
7	刚度计算	(172)
7.1	刚度的概念	(172)
7.2	扭转轴的刚度计算	(174)
7.3	平面弯曲梁的刚度计算	(175)
	本章小结	(178)
	复习思考题	(178)
	习题	(179)
8	轴心压杆的稳定性计算	(181)
8.1	轴心压杆稳定性的概念	(181)
8.2	欧拉公式和抛物线公式	(182)
8.3	压杆的稳定性校核	(188)
	本章小结	(192)
	复习思考题	(193)
	习题	(194)
9	能量法和简单超静定问题	(196)
9.1	变形体的功	(196)
9.2	莫尔定理	(199)
9.3	卡氏第二定理	(204)
9.4	简单超静定问题	(208)

本章小结·····	(215)
复习思考题·····	(216)
习题·····	(217)
10 动荷载作用下的动应力计算·····	(221)
10.1 动荷载的概念·····	(221)
10.2 构件匀加速上升或下降时的动应力计算·····	(222)
10.3 构件受竖直方向冲击时的动应力计算·····	(223)
10.4 交变应力与疲劳强度简介·····	(227)
本章小结·····	(229)
复习思考题·····	(230)
习题·····	(231)
习题答案·····	(232)
主要符号表·····	(238)
型钢表·····	(239)
参考文献·····	(251)

1 绪 论

1.1 材料力学的研究对象

1.1.1 构件

土木工程中,对各种建筑物进行结构设计时,都须进行力学分析。例如图 1.1 所示的工业厂房,其承受荷载作用的空间骨架称为结构。在作力学分析时,可沿横向、纵向把它分解为平面结构。结构由各单个部分组成,例如图 1.1 中所示的厂房柱、吊车梁、屋架中的各杆等,这些组成单元称为构件。对构件的力学分析,由材料力学来完成。对结构的力学分析,将由材料力学的后续课程结构力学来完成。材料力学的研究对象主要是构件,但由于构件与结构的密切联系,因此研究对象也将涉及到简单结构。

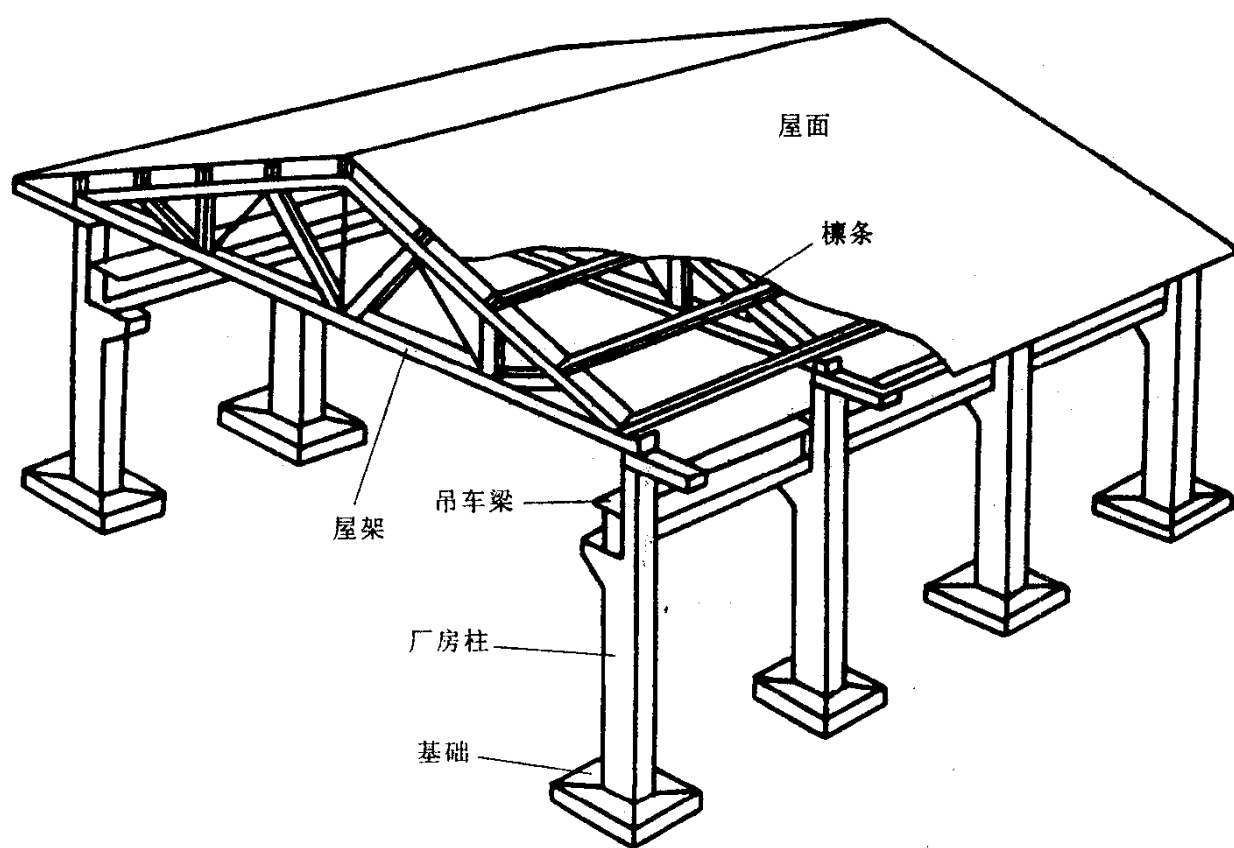


图 1.1

构件或结构的实际情况是多样而复杂的,不可能也不必要完全照原样来分析,因此应抓住其主要因素,忽略一些次要因素,对构件或结构的本身、所受的荷载以及所受的约束情况进行简化,得到基本上能反映其实况,又便于分析的理想模型,这种理想模型称为计算简图。如何确定合适的计算简图,是个重要却比较复杂的问题,除掌握上述一般原则外,有待于掌握较多的专业知识和实践经验。例如对于图 1.1 所示的厂房,在作结构分析时,可把厂房柱和屋架一起简化为如图 1.2(a)所示的横向排架,把屋架简化为如图 1.2(b)所示的桁架;在作构件分析时,

可把屋架中的各根杆简化为如图 1.2(c)所示的轴心拉压杆,把吊车梁或檩条简化为如图 1.2(d)所示的简支梁。

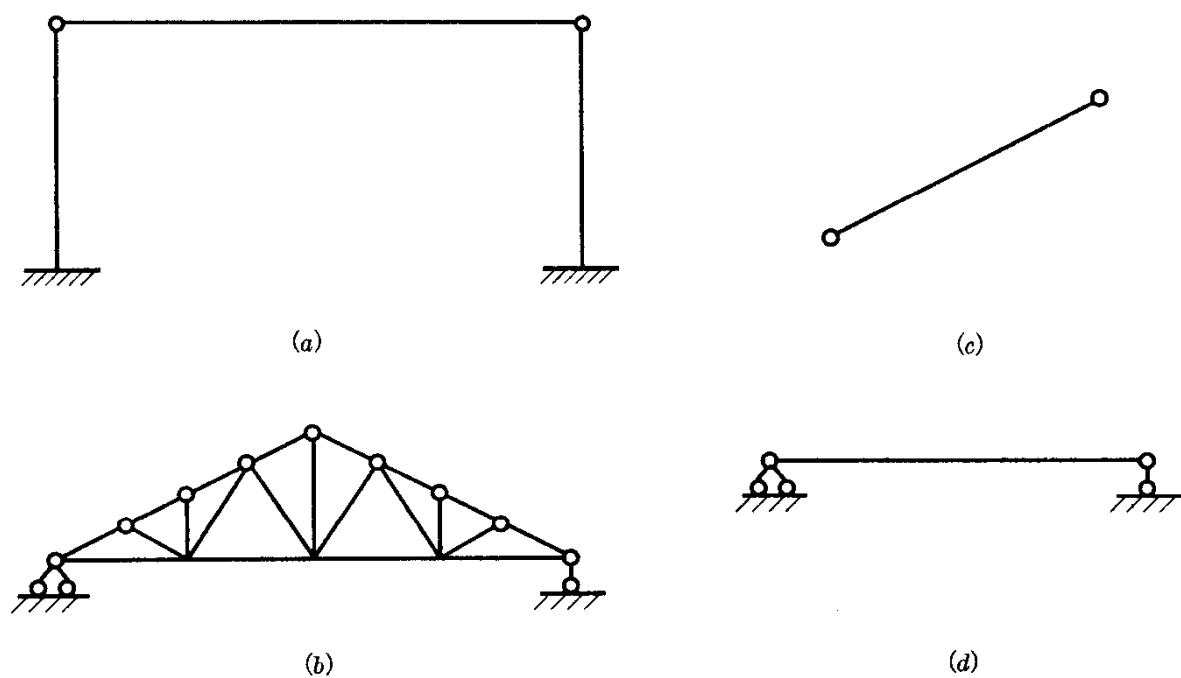


图 1.2

1.1.2 杆件的变形形式

构件在外力作用下会产生变形。变形可能是弹性的或塑性的。能随外力的卸去而消失的变形称为弹性变形,不能随外力消失的变形称为塑性变形。

长度尺寸远大于横向尺寸的构件称为杆件,材料力学所研究的构件主要是杆件。工程实际中,杆件上的外力是多种多样的,从而使得杆件的变形形式也是多种多样的。但通过分析,可以归纳出它们总不外乎是几种基本变形或这几种基本变形的组合变形。这里将这些多种多样的变形形式,归纳为轴心拉伸或压缩、扭转、平面弯曲这三种基本变形。三种基本变形形式如图 1.3 所示,它们的详细具体情况将在以后各章中逐一讨论。现将杆件的变形形式用表 1.1 列出,具体地说,材料力学的研究对象,就是这些变形形式的杆件。

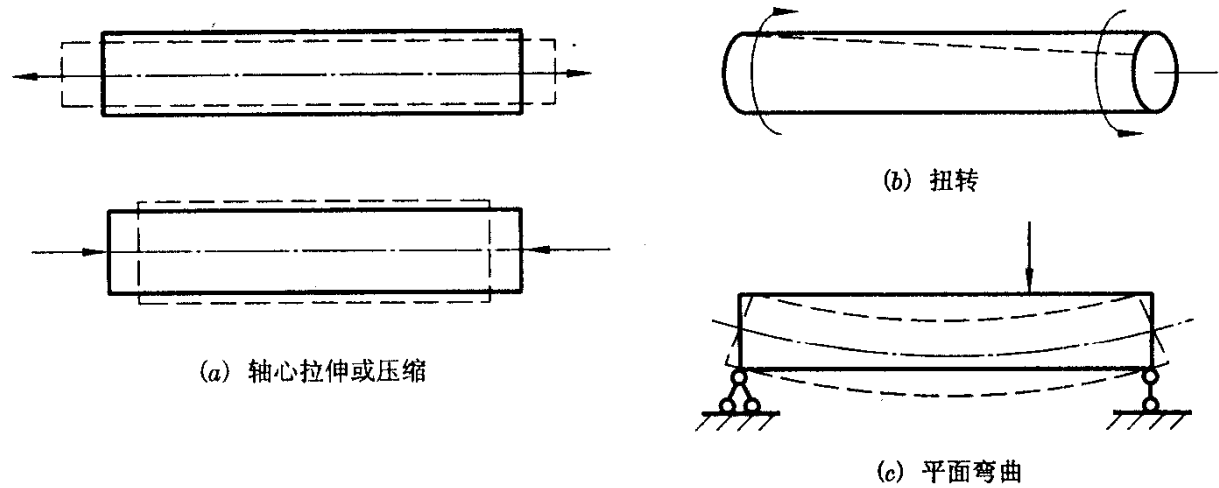


图 1.3

表 1.1

杆件变形形式—	基本变形—	轴心拉伸或压缩
		扭转
		平面弯曲
	组合变形	

1.2 变形体的基本假设

1.2.1 变形体的基本假设

材料力学所研究的构件都是可变形固体。作为构件的可变形固体,在理论分析中引用了以下几个基本假设。在以后的各章中如无特别说明,则它们都是研究问题的前提。

(1) 连续性假设

假设构件的材料在整个体积中各点都是连续的,也就是材料充满了整个体积。这样,就不考虑材料分子、原子之间实际存在的空隙。

(2) 均匀性假设

假设构件各点处的力学性能是相同的。这样,就不考虑材料各点处实际上存在不同晶格结构和缺陷等引起的力学性能上的差异。

(3) 各向同性假设

假设构件在一点处各个方向上的力学性能是相同的。例如,认定钢材、素混凝土等是各向同性材料,就不再考虑任一点处其内部结构的方向性所引起的各方向上力学性能的差异。

(4) 线弹性假设

假设外力的大小没有超过一定的限度,它只使构件产生弹性变形;并且外力与变形之间成线性关系,即服从虎克定律。这样,研究问题就能直接运用虎克定律。有时,也可能涉及到超出线弹性范围的问题,应予以说明。

(5) 小变形假设

假设构件的变形量总是远小于其外形尺寸。这样,当计算某个量值而使用外形尺寸时,就可忽略变形量的影响。并且,在多个荷载作用下,当单独计算其中某一荷载的效应时,不但不计这个荷载本身引起的小变形,同时也不计其他荷载引起的小变形的影响,也就是说各荷载的作用及其效应是各自独立、互不干扰的。因此,只要某量值与外力之间成线性关系,则对该量值的计算就可以运用力的叠加原理。这个原理可表述为:多个荷载共同作用在构件中所引起的某量值,等于各荷载单独作用所引起的该量值的总和。

1.2.2 对荷载进行静力等效简化的原则

材料力学所研究的是变形体,不能像对待刚体一样随意对其上的荷载进行静力等效简化,这样将影响简化所涉及的区域里的内力和变形。因此,只有当可以忽略或暂时不考虑这种影响时,才可进行这种静力等效简化。例如图 1.4 所示的梁上作用有分布荷载 q ,当计算它对某点的矩时可用其合

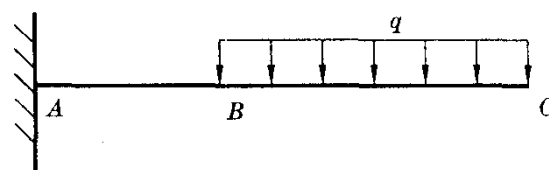


图 1.4

力来计算,而当计算 BC 段的内力或变形时则不可用其合力来代换。

1.3 作用和作用效应

1.3.1 荷载和支座反力

构件要承受荷载或其他外部因素,例如自重、相联构件传来的力、支座反力、风雪压力、支座沉降、温度影响等。这些荷载或外因,称为作用。本课程中所研究的构件上的作用,主要是直接的外力,包括荷载和支座反力。

1.3.2 内力

构件在外力作用下产生变形的同时产生内力。由作用而引起的构件的内力和变形,称为作用效应。可见,材料力学中所指的内力,不是构件内部各质点或各部分之间不受外力作用时的固有内力,而是作用效应,是由作用引起的原有内力的改变量。

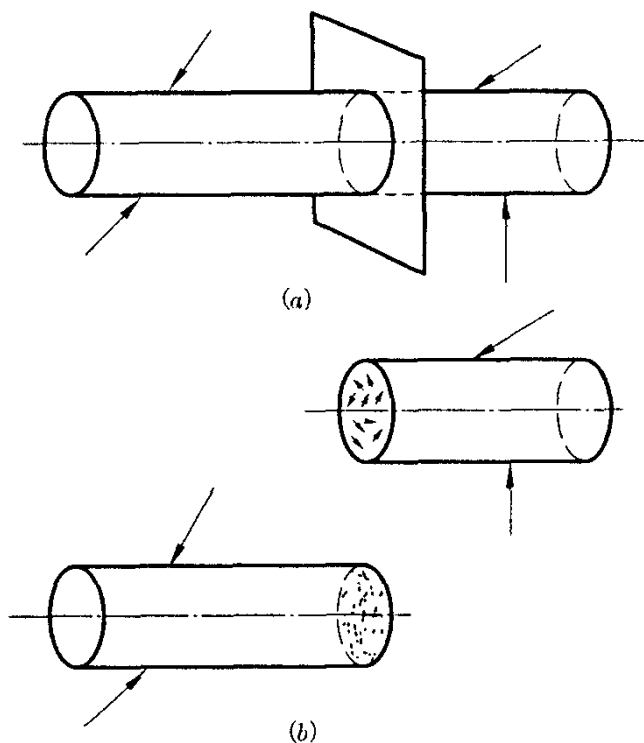


图 1.5

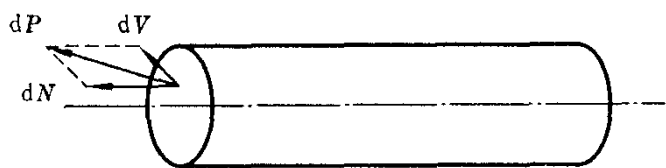


图 1.6

如图 1.5(a)所示,假想地用平面将杆件截开所得的面,称为杆件的截面。与杆件轴线垂直的截面,称为杆件的横截面。截面的几何中心称为形心;各横截面形心的连线称为杆件的轴线。如图 1.5(b)所示,构件被截开成两部分后,各部分称为截离体。内力就是被截开的两部分之间的作用和反作用力。

在构件的力学分析中,作为作用效应的内力,将是一个重要的课题,下面进一步定义它。对截面上的某一点而言,该点上的内力称为微内力,如图 1.6 中所示的 dP 。 dP 总可以分解为两个方向上的分量:

(1)截面法向的分量 dN ,它的实际指向可能是离开截面或指向截面,因此称为微拉力或微压力;

(2)截面切向的分量 dV ,称为微剪力。

截面上各点的微内力,组成一个分布内力系。对整个横截面而言,横截面上分布内力系的合力或合力偶矩,称为横截面的内力。分布内力系虽然多种多样,而它们的合力或合力偶矩总不外乎以下四种基本形式或其组合。

(1)轴心力:分布内力系的与杆件轴线相重合的合力,用 N 表示(图 1.7(a));

(2)剪力:分布内力系的相切于横截面的合力,用 V 表示(图 1.7(b));

(3)弯矩:分布内力系的垂直于横截面的合力偶矩,用 M 表示(图 1.7(c));

(4) 扭矩: 分布内力系的相切于横截面的合力偶矩, 用 T 表示 (图 1.7(d))。

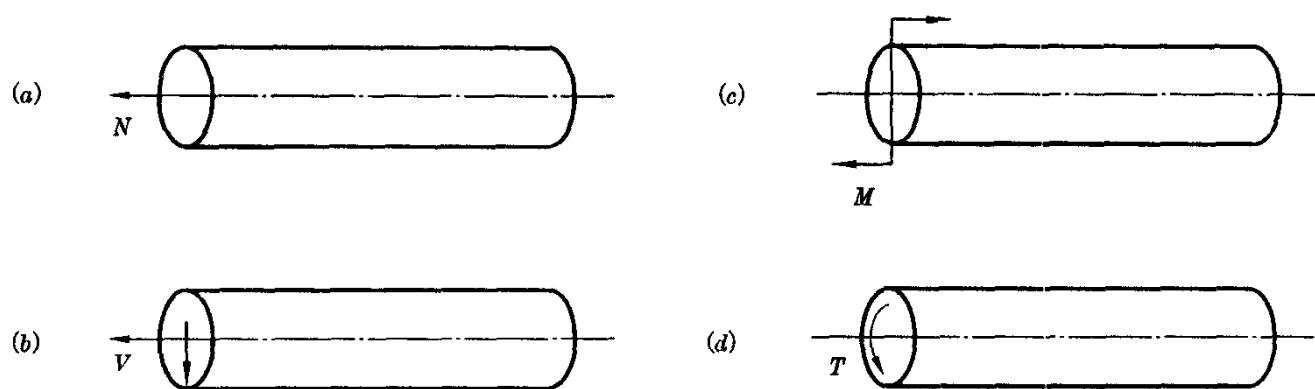


图 1.7

以上所述的关于“内力”的定义中, 以最后一个最为重要, 今后我们求“内力”, 都是指求“横截面的内力”。

1.3.3 应力和应变

上述截面上的内力和杆件的变形, 由于并没有计及构件的几何尺寸, 因此尚不能反映构件各点处作用效应的强弱程度。这里先提出两个重要概念: 应力和应变。简单地说, 应力是构件单位面积上的内力, 应变是构件单位尺寸上的变形。在本课程中, 除研究内力和变形外, 将进一步以应力和应变的形式来表征构件各点处的作用效应。将对点作应力状态分析, 并引用强度理论对构件在某一点处的破坏作解释和处理。

1.4 材料力学的任务

1.4.1 材料力学的任务

构件承受作用效应的能力称为抗力。构件的抗力主要包括强度、刚度和稳定性。强度, 就是构件抵抗破坏的能力。刚度, 就是构件抵抗变形的能力。稳定性, 就是构件保持稳定平衡状态的能力。为了使构件在作用效应下能可靠地工作, 则要求它具有足够的强度、刚度和稳定性。也就是说, 构件必须满足强度条件、刚度条件和稳定性条件。

构件的抗力, 主要取决于其材料的力学性能和其截面的几何参数。

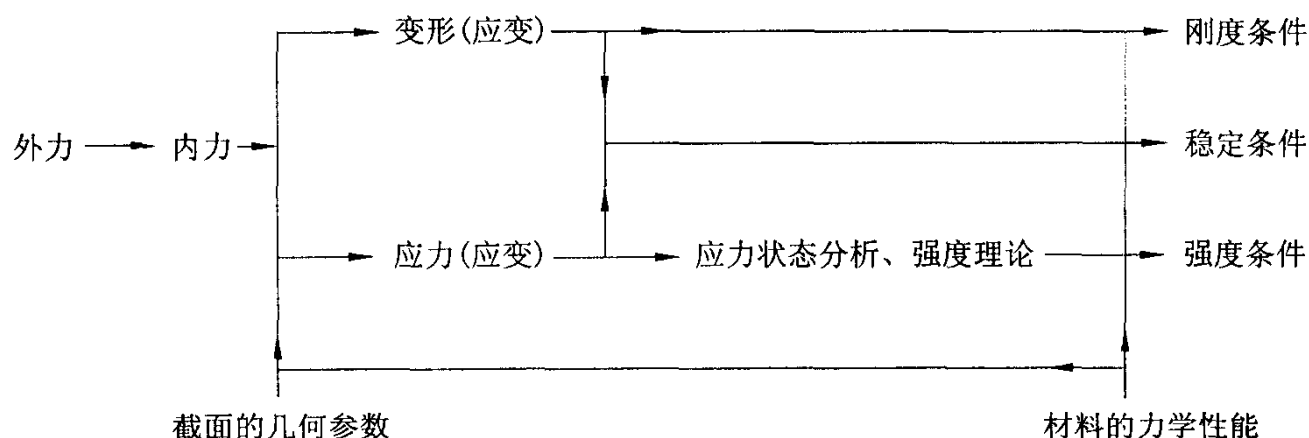
综上所述, 材料力学对构件的力学分析, 包括两方面的研究: 一方面研究它的作用效应, 另一方面研究它的抗力。通过这两个方面的研究, 从而为构件确定合适的材料和合适的截面形状与尺寸, 使之满足强度、刚度、稳定性条件, 且不浪费材料。这样, 材料力学就能在力学分析上为后续的结构力学提供必要的基础知识, 并从理论、计算、试验等方面为结构设计提供必要的基础知识。这就是材料力学的任务。

1.4.2 本课程内容线索

前面已经接触了构件力学分析过程中的所有主要概念, 即: 外力、内力、变形、应力、应变、应力状态分析、强度理论、强度、刚度、稳定性以及截面的几何参数、材料的力学性能。这些概念, 构成材料力学基本理论的线索。不论何种变形形式的构件, 其力学分析, 都可遵循这条线索

进行。现将这条线索用表 1.2 列出。本书将以表 1.2 所列的基本理论线索的各环节为纲分章，以表 1.1 所列的各种变形形式为目分节，依次详细讨论。

表 1.2



复习思考题

- 1-1 构件是什么？构件的计算简图是什么？
- 1-2 对于作为构件的变形体，引用了哪些基本假设？
- 1-3 叙述力的叠加原理。运用叠加原理的前提条件是什么？
- 1-4 作用对构件产生哪两种作用效应？
- 1-5 杆件有哪三种基本变形形式？
- 1-6 对一点而言，微内力有哪两种？
- 1-7 对横截面而言，内力有哪四种？各是如何定义的？各用什么字符表示？
- 1-8 何谓应力？何谓应变？
- 1-9 构件的抗力主要取决于哪两个因素？
- 1-10 对构件的抗力有哪三个方面的要求？
- 1-11 何谓构件的强度、刚度、稳定性？
- 1-12 材料力学与结构力学有何关系？材料力学与结构设计有何关系？