

土木工程力学

上册

(第2版)

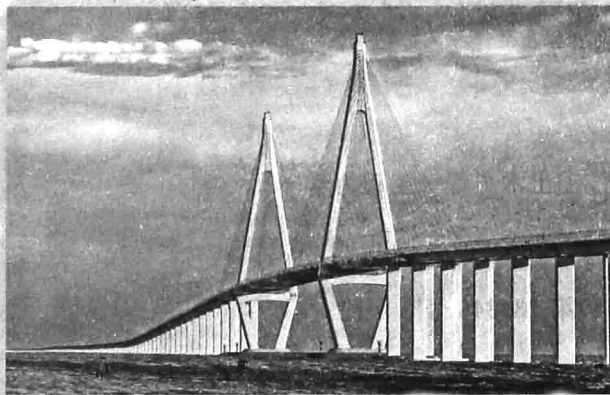
主编 梁丽杰
张玉华



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

土木工程力学

上册



(第2版)

主 编 梁丽杰
张 玉 华
副主编 田华奇
参 编 牟荟瑾
李 恒
朱银萍
主 审 常伏德



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

本书把理论力学、材料力学、结构力学内容进行了有机整合,删掉了不必要的重复,突出土木工程特色,形成了土木工程力学新体系。

上册分 12 章,主要内容为绪论、力学基本知识、力学计算基础、体系的几何组成分析、平面静定桁架、静定梁、平面静定刚架、三铰拱、静定梁的影响线、摩擦、空间力系、重心及截面的几何性质;每章后有习题课选题指导,并配有习题册及答案。

本书可作为建筑工程、交通土建、交通工程专业的教材,也可作为非土木专业如工程管理、环境工程、给水排水工程、城市规划、测绘、安全、建筑学等专业的参考书,同时可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程力学. 上/梁丽杰,张玉华主编. —2 版.

—哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2014. 7

ISBN 978—7—5603—4811—7

I. ①土… II. ①梁… ②张… III. ①土木工程—工程力学—
高等学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 134846 号

策划编辑 赵文斌 杜 燕

责任编辑 张 瑞

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451—86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 14 字数 320 千字

版 次 2011 年 8 月第 1 版 2014 年 7 月第 2 版

2014 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978—7—5603—4811—7

定 价 28.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

《应用型本科院校“十二五”规划教材》编委会

主 任 修朋月 竺培国

副主任 王玉文 吕其诚 线恒录 李敬来

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁福庆 于长福 马志民 王庄严 王建华

王德章 刘金祺 刘宝华 刘通学 刘福荣

关晓冬 李云波 杨玉顺 吴知丰 张幸刚

陈江波 林 艳 林文华 周方圆 姜思政

庾 莉 韩毓洁 臧玉英

序

哈尔滨工业大学出版社策划的《应用型本科院校“十二五”规划教材》即将付梓,诚可贺也。

该系列教材卷帙浩繁,凡百余种,涉及众多学科门类,定位准确,内容新颖,体系完整,实用性强,突出实践能力培养。不仅便于教师教学和学生学学习,而且满足就业市场对应用型人才的需求。

应用型本科院校的人才培养目标是面对现代社会生产、建设、管理、服务等一线岗位,培养能直接从事实际工作、解决具体问题、维持工作有效运行的高等应用型人才。应用型本科与研究型本科和高职高专院校在人才培养上有着明显的区别,其培养的人才特征是:①就业导向与社会需求高度吻合;②扎实的理论基础和过硬的实践能力紧密结合;③具备良好的人文素质和科学技术素质;④富于面对职业应用的创新精神。因此,应用型本科院校只有着力培养“进入角色快、业务水平高、动手能力强、综合素质好”的人才,才能在激烈的就业市场竞争中站稳脚跟。

目前国内应用型本科院校所采用的教材往往只是对理论性较强的本科院校教材的简单删减,针对性、应用性不够突出,因材施教的目的难以达到。因此亟须既有一定的理论深度又注重实践能力培养的系列教材,以满足应用型本科院校教学目标、培养方向和办学特色的需要。

哈尔滨工业大学出版社出版的《应用型本科院校“十二五”规划教材》,在选题设计思路上认真贯彻教育部关于培养适应地方、区域和社会发展的需要“本科应用型高级专门人才”精神,根据黑龙江省委书记吉炳轩同志提出的关于加强应用型本科院校建设的意见,在应用型本科试点院校成功经验总结的基础上,特邀请黑龙江省9所知名的应用型本科院校的专家、学者联合编写。

本系列教材突出与办学定位、教学目标的一致性和适应性,既严格遵照学科体系的知识构成和教材编写的一般规律,又针对应用型本科人才培养目标

及与之相适应的教学特点,精心设计写作体例,科学安排知识内容,围绕应用讲授理论,做到“基础知识够用、实践技能实用、专业理论管用”。同时注意适当融入新理论、新技术、新工艺、新成果,并且制作了与本书配套的PPT多媒体教学课件,形成立体化教材,供教师参考使用。

《应用型本科院校“十二五”规划教材》的编辑出版,是适应“科教兴国”战略对复合型、应用型人才的需求,是推动相对滞后的应用型本科院校教材建设的一种有益尝试,在应用型创新人才培养方面是一件具有开创意义的工作,为应用型人才的培养提供了及时、可靠、坚实的保证。

希望本系列教材在使用过程中,通过编者、作者和读者的共同努力,厚积薄发、推陈出新、细上加细、精益求精,不断丰富、不断完善、不断创新,力争成为同类教材中的精品。

马长利

第 2 版前言

本书(第 2 版)是在第 1 版教材的基础上根据 3 年来教材在使用过程中教师和学生的反馈意见以及课程改革发展需要修订而成的。修订时保持了原书取材精练、简明流畅的风格,注意扩大专业适应面。

本次修订的内容主要有以下几个方面:

(1)修改了原书的符号,其中最主要的是集中荷载(主动力)用 F 作为主符号,重力用 G 作为主符号。

(2)对全书的标注做了统一,过去的插图是机械制图标注与建筑制图标注共存,此次修订都用建筑制图标注。

(3)增加了插图中的字母,在学生解题时研究对象会更加明确。

(4)静定梁的影响线一章的插图都加上了单位集中力 $P=1$,以加深学生对影响线概念的理解。

(5)对少数习题做了不同程度的改写和替换,在原来坡度略陡的地方补充了少量习题,对遗漏的知识点做了必要的补充。

(6)对书中一些论述不太清晰的地方进行了重新改写和完善。

第 2 版修订工作由主编梁丽杰主持进行,新增参加编写修订的还有张玉华(8、9 章)、朱银萍(4、5 章)。

书稿由常伏德教授主审,他提出了很多精辟、中肯的意见,使本次修订工作和最后定稿获益匪浅,深表谢意!

限于编者水平有限,书中不足之处,深望广大师生批评指正。

编 者

2014 年 4 月

前 言

本教材是“土木工程专业力学系列课程改革”的研究成果,是依据十余年的教学改革经验编写的。

本书以应用为目的,以科学的认知、学习规律为主干,对原有的土木工程专业力学系列课程进行了重组。全书贯穿了分析研究力学问题的科学方法:增加与减少约束的方法;静力平衡的方法;杆件变形、物理与静力结合的方法。这些方法在教材中多次循序渐进的应用,能提高学习者研究问题和解决实际工程问题的能力。

本书在编写前,对与力学课程紧密联系的高等数学课程及后续的各门专业课程进行了系统的分析,在内容安排上注重了承上启下、理论与实际应用的结合,引入了计算机软件对力学问题的分析,并列举了部分工程实例中力学原理的应用。这些会增强学习者对力学学习的目的性和趣味性。

本书的编写分工具体如下:第1、2、3、4章由牟荟瑾编写,第5章由李恒编写,第6、7、8章由梁丽杰编写,第9章由张丽兰编写,第10、11、12章由田华奇编写。

在编写中,邹建奇教授提出了许多宝贵意见,并得到了卢存恕教授等多位同行和专家的无私帮助,为此,表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,难免存在疏漏及不妥之处,请读者批评指正。

编 者

2011年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 结构与构件	1
1.2 刚体、变形固体及其基本假设	4
1.3 杆件变形的基本形式	5
1.4 土木工程力学的任务和内容	6
1.5 荷载的分类	7
第 2 章 力学基本知识	9
2.1 力学的基本概念	9
2.2 静力学基本公理	10
2.3 约束与约束反力	14
2.4 受力图	21
2.5 结构计算简图	25
习题课选题指导	32
第 3 章 力学计算基础	33
3.1 力在平面直角坐标轴上的投影	33
3.2 力矩、力偶和力的平移定理	34
3.3 平面力系的合成	40
3.4 平面力系的平衡	47
习题课选题指导	61
第 4 章 体系的几何组成分析	63
4.1 自由度和约束	63
4.2 简单几何不变体系的构成规则	68
4.3 几何组成分析举例	72
4.4 几何构造与静定性的关系	78
习题课选题指导	80
第 5 章 平面静定桁架	82
5.1 桁架的分类及计算简图	82
5.2 结点法	85
5.3 截面法	88
5.4 截面法与结点法的联合应用——对称性利用	91
5.5 各式桁架受力性能比较	93
5.6 轴力图	94
习题课选题指导	96
第 6 章 静定梁	97
6.1 平面弯曲与梁的分类	97

6.2	梁的内力——剪力和弯矩	99
6.3	单跨静定梁的内力图	103
6.4	弯矩、剪力与荷载集度的关系	109
6.5	简捷法绘制梁的内力图	111
6.6	叠加法绘制梁的弯矩图	115
6.7	区段叠加法	117
6.8	斜梁的内力图	118
6.9	多跨静定梁的内力图	121
	习题课选题指导	124
第7章	平面静定刚架	127
7.1	静定刚架的分类及绘制刚架内力图的要求	127
7.2	刚架的内力图	129
	习题课选题指导	134
第8章	三铰拱	137
8.1	三铰拱的内力计算	138
8.2	三铰拱的合理轴线	143
第9章	静定梁的影响线	146
9.1	影响线的概念	147
9.2	静力法绘制单跨静定梁的影响线	148
9.3	影响线的应用	152
9.4	简支梁的包络图及绝对最大弯矩	157
9.5	机动法绘制静定梁的影响线	161
	习题课选题指导	164
第10章	摩擦	166
10.1	土木工程中的摩擦问题	166
10.2	静滑动摩擦	166
10.3	考虑摩擦时物体的平衡	169
10.4	静滑动摩擦在土木工程中的应用	171
第11章	空间力系	173
11.1	空间汇交力系	173
11.2	空间力偶系与力对轴的矩	177
11.3	空间任意力系	180
11.4	扭矩图及空间内力素的计算	185
	习题课选题指导	189
第12章	重心及截面的几何性质	192
12.1	重心及形心	192
12.2	截面的几何性质	198
	习题课选题指导	207
	参考文献	209

土木工程力学(civil engineering mechanics)是将理论力学、材料力学、结构力学等课程中的主要内容,依据知识自身的内在连续性和相关性,重新组织形成的知识体系,主要分析和研究建筑结构及其构件的强度(intensity)、刚度(stiffness)、稳定性(stability)以及合理组成的科学。该知识体系能够适应土木工程及其相关专业人才培养目标的需要,满足相关专业对力学知识的基本要求,并为建筑结构和构件的设计与计算奠定理论基础。

1.1 结构与构件

土木工程力学主要研究建筑物或构筑物中的结构或构件。我们把建筑物或构筑物中能够承受并传递各种荷载而起骨架作用的部分称为结构(structure)。如图 1.1 所示,砖混房屋是由主梁、次梁、楼板组成的梁板结构,图 1.2 所示是由屋架、柱子、吊车梁、屋面构件以及基础等组成的单层工业厂房排架结构。

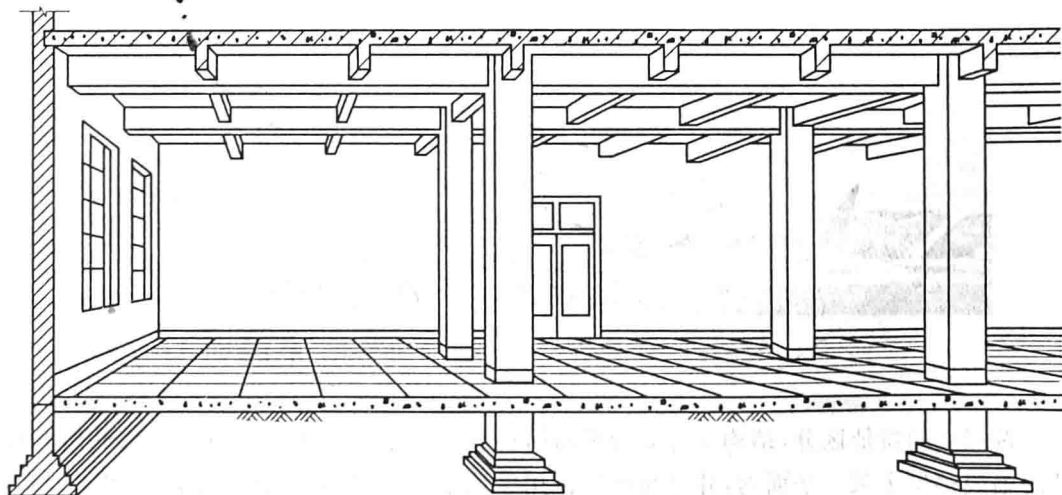


图 1.1

结构的类型是多种多样的,按照几何特征区分,有杆件结构(图 1.1、1.2)、薄壁结构(图 1.3、1.4)和实体结构(图 1.5)三类。

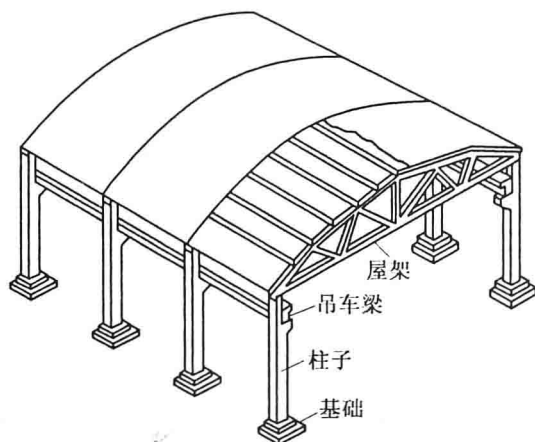


图 1.2

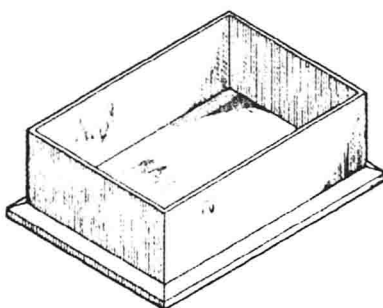


图 1.3

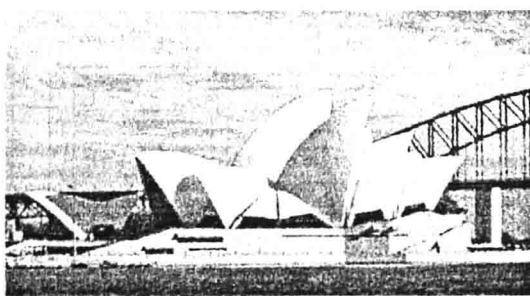


图 1.4

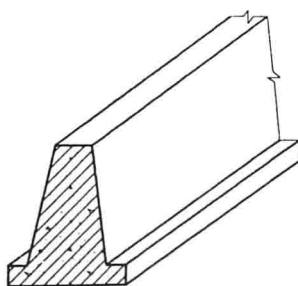


图 1.5

按照空间特征区分,结构又可分为平面结构和空间结构两类。凡组成结构的所有杆件的轴线都位于某一平面内,并且荷载也作用于该平面内的结构,称为平面结构。否则,便是空间结构。严格来说,工程中的实际结构都是空间结构,不过在进行计算时,常可根据其实际受力情况的特点,将它分解为若干平面结构来分析,以使计算简化。但需注意,并非所有情况都能这样处理,有些是必须作为空间结构来研究的。

结构都是由各种基本部件通过结点连接而成的,我们把这些基本部件称为构件(member),如图 1.1 中的梁、墙、板、柱、基础等均为构件。在工程实际中,构件的形式多种多样,但它们分别具有共同的特点。为了方便研究,可以根据某些主要的共同点对构件进行抽象、概括和分类。一般情况,可以将构件归纳为杆件、板和壳、块体三类。

1. 杆件

杆件是指纵向尺寸(长度)要远大于横向尺寸(厚度、宽度)的构件,即 $l \gg h, l \gg b$ (见图 1.6)。工程中常见的很多构件都可以简化为杆,如梁、柱、传动轴等。杆件有轴线和横截面两个主要的几何因素,轴线是杆件各个横截面形心的连线,横截面是垂直于杆件轴线的截面。我们把平行于杆件轴线的截面,称为纵截面;既不平行也不垂直于杆件轴线的截面,称为斜截面。

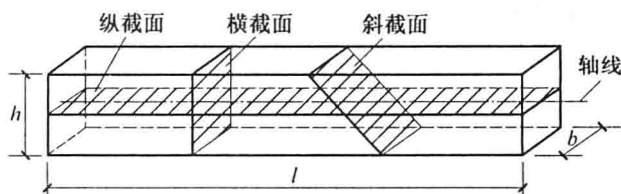


图 1.6

建筑中所遇到的杆件多数为等截面直杆,有时也会遇到变截面直杆(如悬挑梁等)和轴线为曲线的杆件(如旋转楼梯梁等),但本书以研究等截面直杆为主。

2. 板和壳

板和壳都是宽而薄的构件,即 $a \gg t, b \gg t$ (见图 1.7),其形状可用它在厚度中间的一个面(中面)和垂直于该面的厚度来表示。中面是平面的称为板,中面是曲面的称为壳。这类构件多用于建筑物中水平方向的承重构件,如楼板、屋顶等。

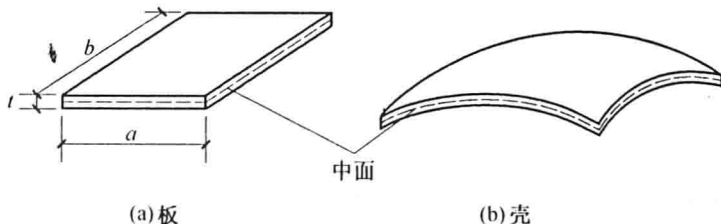


图 1.7

3. 块体

块体是指长、宽、高三个尺度大体相近的构件(见图 1.8),如房屋的柱基础、大坝坝体、挡土墙等。

任何建筑物或构筑物中的构件,都可以归结为杆件、板和壳、块体这三类,其中杆件结构是土木工程中应用最为广泛的一种结构,因此杆件以及由它组成的各种杆系结构是土木工程力学的主要研究对象。这里需要补充说明的是,施工中为浇筑混凝土

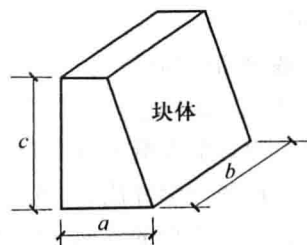


图 1.8

土而采用的模板(钢模、木模)体系以及吊装用的各种起重设备,一般虽不称为建筑结构,但其受力分析却类似于建筑结构,这一部分也作为土木工程力学的研究对象。

1.2 刚体、变形固体及其基本假设

1.2.1 刚体

结构和构件可统称为物体。刚体(rigid body)是指在力的作用下不变形的物体。实际上任何物体在外力作用下都会发生或大或小的变形,但在研究某些问题时,例如物体在力作用下平衡的问题,物体的微小变形对研究这种问题的影响很小,可以作为次要因素忽略不计。这时,我们就可以不考虑物体的变形,将物体视为刚体,从而使研究的问题得到简化。

1.2.2 变形固体及其基本假设

在研究其他一些力学问题中,如构件在外力作用下的强度、刚度和稳定性的问题,物体的变形将不能被忽略,如果不予考虑就得不到问题的正确解答。我们把在外力作用下,会产生变形的固体称为变形固体(deformation solid)。

变形固体在外力作用下会产生两种不同性质的变形:一种是外力消除时,变形随之消失,这种变形称为弹性变形;另一种是外力消除后,不能消失的变形称为塑性变形。一般情况下,物体受力后,既有弹性变形,又有塑性变形。但工程中常用的材料,当外力不超过一定范围时,塑性变形很小,忽略不计,认为只有弹性变形,这种只有弹性变形的变形固体称为完全弹性体。只引起弹性变形的外力范围称为弹性范围。本书仅研究弹性变形范围内的变形及受力。

变形固体多种多样,其组成和性质是复杂的。为使问题得到简化,常略去一些次要的性质,而保留其主要的性质。根据其主要的性质对变形固体材料的影响,作如下基本假设:

1. 均匀连续假设

假设变形固体在其整个体积内毫无空隙地充满了物质,并且各处的力学性能均相同。有了这个假设,物体内的一些物理量,才可能是连续的,才能用连续函数来表示。在进行分析时,可以从物体内任何位置取出一小部分来研究材料的性质,其结果可代表整个物体,也可将那些大尺寸构件的试验结果应用于物体的任何微小部分上去。

2. 各向同性假设

假设变形固体沿各个方向的力学性能均相同。工程中使用的大多数材料,如钢材、玻璃和浇筑很好的混凝土,可以认为是各向同性的材料。根据这个假设,当获得了材料在任何一个方向的力学性能后,就可将其结果用于其他方向。

但也存在不少的各向异性的材料,例如木材,当木材分别在顺纹方向、横纹方向和斜纹方向受到外力作用时,它所表现出的强度及其他的力学性质都是各不相同的。因此,对于由各向异性材料制成的构件,在设计时必须考虑材料在各个不同方向的不同力学性质。

3. 小变形假设

在实际工程中,构件在荷载作用下,其变形与构件的原尺寸相比通常很小,可以忽略不计,所以在研究构件的平衡和运动时,可按变形前的原始尺寸和形状进行计算。在研究和计算变形时,变形的高次幂项也可忽略不计。这样,使计算工作大为简化,而又不影响计算结果的精度。

总的来说,在力学计算中是把实际材料看做是连续、均匀、各向同性的弹性变形固体,且在大多数情况下局限在弹性变形范围内和小变形条件下进行研究。

1.3 杆件变形的基本形式

当外力以不同的方式作用在杆件上时,杆件将产生不同形式的变形。但无论何种形式的变形,都可归纳为下面四种基本变形形式之一,或者是基本变形形式的组合。

1. 轴向拉伸和轴向压缩

轴向拉伸和轴向压缩的受力特点是:杆件受到一对大小相等、方向相反、作用线与轴线重合的外力作用。其变形特点是:杆件表现为沿轴线方向的伸长或缩短变形,如图 1.9(a)所示。例如,简单桁架中的杆件通常发生轴向拉伸或压缩的变形。

2. 剪切

剪切的受力特点是:作用在杆件上的力大小相等、方向相反、作用线平行且相距很近。其变形特点是:杆件介于两力之间的截面沿外力作用方向产生相对错动变形,如图 1.9(b)所示。机械中常用的连接件,如销钉、螺栓等都产生剪切变形。

3. 扭转

扭转的受力特点是:在垂直于杆件轴线的两平面内作用一对大小相等、方向相反的力偶。其变形特点是:杆件的各横截面将绕轴线产生相对转动,如图 1.9(c)所示。工程中常将发生扭转变形的杆件称为轴,如汽车的传动轴、电动机的主轴等都产生扭转变形。

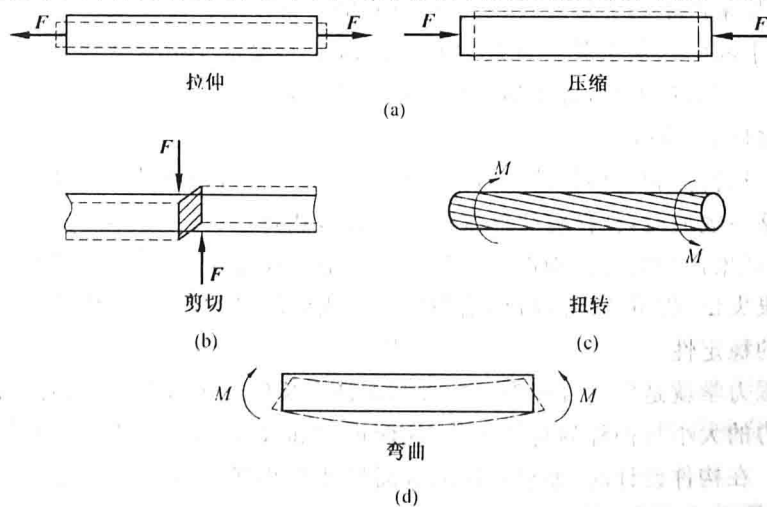


图 1.9

4. 弯曲

弯曲的受力特点是:外力偶或外力作用在垂直于杆轴的纵向平面内。其变形特点是:杆轴由直线弯成曲线,如图 1.9(d)所示。如工程中的阳台挑梁、楼面梁都将发生弯曲变形。

实际工程中,杆件可能要同时承受不同形式的外力,常常同时发生两种或两种以上的基本变形,这种变形情况称为组合变形。本书将先分别讨论杆件的每一种基本变形,然后再分析比较复杂的组合变形问题。

1.4 土木工程力学的任务和内容

1.4.1 土木工程力学的任务

由于在荷载的作用下,构件和结构的形状、尺寸都会发生或多或少的改变,而实际工程中,当荷载达到一定数值时,构件和结构会因为变形过大而不能正常工作,甚至发生破坏而倒塌。为了保证结构能正常工作,要求每一个构件都具有足够的承受荷载的能力,简称承载能力。构件的承载能力通常由强度、刚度、稳定性三个方面来衡量。

1. 强度(intensity)

强度是指构件和结构抵抗破坏的能力。任何构件都不允许在正常工作情况下破坏,这就要求构件必须具有足够的强度。如果构件的强度不足,它在荷载作用下就要破坏。例如,房屋中的楼板梁,当其强度不足时,在楼板荷载作用下就可能断裂,显然,这是工程上绝不允许的。所以,如何使设计的结构及其每一根构件都有足够的强度,是土木工程力学要解决的首要任务。

2. 刚度(stiffness)

刚度是指构件和结构抵抗变形的能力。在荷载作用下,构件虽然有足够的强度不发生破坏,但如果产生的变形过大,也会影响它的正常使用。楼板梁在荷载作用下产生的变形过大时,下面的抹灰层就会开裂、脱落;屋面上的檩条变形过大时,就会引起屋面漏水;机床上的轴变形过大时,将影响机床的加工精度等等。

3. 稳定性(stability)

稳定性是指构件和结构保持原有平衡状态的能力。例如,比较细长的中心受压杆件,当压力超过某一数值时,杆件将突然改变原来的形状,改变原来受压的工作性质,发生屈曲破坏,这种现象称为失稳。构件工作时产生失稳一般也是不容许的。例如,桥梁结构的受压杆件如果失稳,将可能导致桥梁结构的整体或局部塌毁。因此,构件在设计时必须保证具有足够的稳定性。

土木工程力学就是研究各种类型构件和构件系统的强度、刚度和稳定性问题的科学。构件承载能力的大小与构件的材料性质、几何形状和尺寸、受力性质、工作条件以及构造情况等有关。在构件设计时,如果构件的截面尺寸过小或截面形状不合理或材料选用不当,在外力作用下将不能满足承载能力的要求,则结构将不安全。反之,如果构件尺寸过大,材料质量太高,虽然满足了要求,但承载能力不能充分发挥,这样既浪费材料,又增加

了成本和重量。因此,土木工程力学的任务就是在保证满足强度、刚度和稳定性要求的前提下,以最经济的成本,为构件选择适宜的材料,确定合理的形状和尺寸,并提供必要的理论基础和计算方法。

还需指出的是,强度、刚度和稳定性这三方面的问题并不是同等重要的。一般说来,强度要求是基本的,只是在某些情况下才提出刚度要求。至于稳定性问题,只是在特定受力情况下的某些构件中才会考虑。

1.4.2 土木工程力学的内容

工程中涉及的力学内容很多,通常包括理论力学、材料力学、结构力学、弹性力学、塑性力学等学科。考虑到土木工程类专业的实际情况,基于力学研究方法的内在规律,本书主要学习理论力学(静力学部分)、材料力学和结构力学三部分内容。

1. 静力学

静力学主要研究物体的受力分析、力系简化与平衡的理论以及杆系结构的组成规律等。

2. 材料力学

材料力学主要研究单个构件受力后发生变形时的承载能力问题。这是在了解各力之间的平衡关系后,进一步对构件在荷载作用下的变形大小以及是否破坏的问题做深入研究,为设计既安全又经济的结构、构件选择适当的材料、截面形状及尺寸,并掌握构件承载能力的计算方法。

3. 结构力学

结构力学以构件系统为研究对象,研究其组成规律、合理形式以及结构在外力作用下内力和变形的计算,为结构设计提供分析方法和计算公式。

土木工程力学在土建类专业课程中起到承上启下的作用,前面它与数学、物理课程有着紧密的联系,后面它又要为各门结构设计类课程以及施工技术课服务。为了突出应用型人才培养的特色,本书除注意与数学课、物理课加强有机联系以外,还通过例题的形式与专业课特别是结构设计类课程进行紧密联系,目的是要做到更有效、更实际地为专业课程服务。

1.5 荷载的分类

结构或构件工作时所承受的主动动力称为荷载(load),如结构的自重、水压力、土压力、风压力以及人群、货物的重量等。荷载可分为几种不同的类型。

1. 按荷载作用的范围可分为分布荷载和集中荷载

分布作用在体积、面积和线段上的荷载分别被称为体荷载、面荷载和线荷载,并统称为分布荷载。重力属于体荷载,风、雪的压力等属于面荷载,杆件所受的分布荷载为作用在杆件轴线上的线荷载。

若荷载的作用范围远小于构件的尺寸时,为了计算简便,可认为荷载集中作用于一点,称为集中荷载。如车轮的轮压、屋架或梁的端部传给柱子的压力、人站在建筑物上等