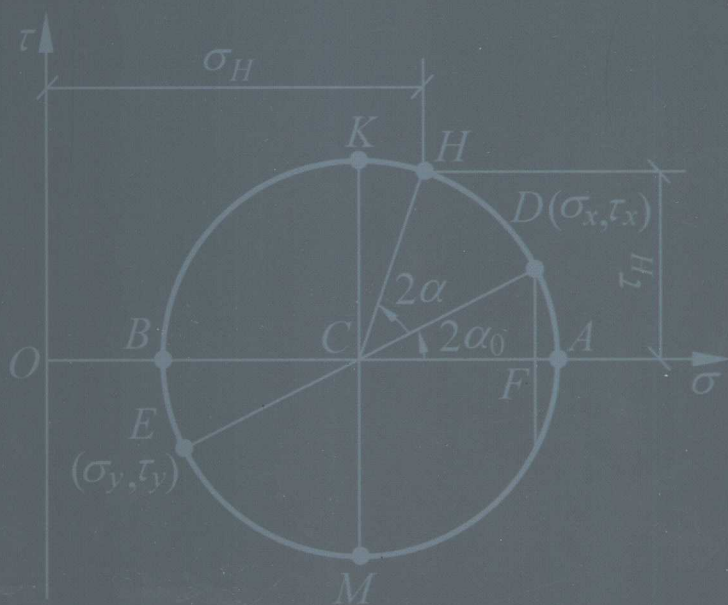


高等院校土木工程专业规划教材

材料力学

田玉梅 贾杰 主编 刘景学 副主编
李静辉 主审



清华大学出版社

013060607

TB301-43

88

高等院校土木工程专业规划教材

材料力学

田玉梅 贾杰 主编

刘景学 副主编



TB301-43

88

清华大学出版社



北航

C1666315

702030310

材料力学

内 容 简 介

本书是基于清华大学出版社“高等院校土木工程专业规划教材”而编写的土木工程专业材料力学教材,同时也兼顾了其他工科专业材料力学课程的教学需要。适合 60~90 学时材料力学课程的教学。

全书共分 14 章,内容包括:绪论、轴向拉伸与压缩、剪切的实用计算、扭转、截面几何性质、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力及应变状态分析、强度理论、组合变形、压杆稳定、能量法、疲劳强度计算。全书各章均有知识点及学习要求、思考和练习题及其参考答案,并在附录 E 中安排三套不同程度要求的材料力学自测题 A、B、C,便于学生自我检测。

本书可用作高等院校土木工程专业材料力学的教材,也可作为机械、水利、交通、冶金等专业的教材及相关工程技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

材料力学/田玉梅,贾杰主编. --北京:清华大学出版社,2013

高等院校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-302-32653-3

I. ①材… II. ①田… ②贾… 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(2013)第 122387 号

责任编辑:赵益鹏

封面设计:陈国熙

责任校对:刘玉霞

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:保定市中美美凯印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:20.5

字 数:497 千字

版 次:2013 年 7 月第 1 版

印 次:2013 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:42.00 元

产品编号:052646-01

前 言

为了响应教育部在“国家中长期教育改革和发展规划纲要”中提出“提高人才培养质量”的号召,本书在传统教学的基础上,通过问题的设计与实例分析,突出了实用性。教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在培养应用型人才中起着重要作用。我们根据教育部高等学校力学教学指导委员会制定的“理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求”,参考、吸收了近年来一些国内优秀材料力学教材中的长处,并结合普通高等院校学生的特点及编者多年教学实践经验编写了这本基础知识与实际应用并重的应用型教材。

在教材的编写中,我们注意了与各相关课程之间的衔接,保证了教材的系统性与完整性,避免脱节和不必要的重复。本教材力求做到强调基础,重视应用;结构严谨、前后呼应;由浅入深,深入浅出;重点突出,详略得当。书中精选的例题、思考和练习题是重要知识点的提炼和反映,具有典型性、启发性和层次性,适合不同层次学生的学习,也为教师授课时在深度和广度上留有一定伸缩空间。

本书由田玉梅、贾杰主编,刘景学副主编。全书由田玉梅统稿。

参加本书编写工作的有:东北林业大学田玉梅(第1、4、7、8、9、13章,附录E);呼伦贝尔学院刘景学(第2章、第14章);黑龙江工程学院王一琪(第3章、第10章);齐齐哈尔铁路工程学校孙成田(第5章,附录D);四川农业大学黄显彬(第6章,附录A、B、C);东北林业大学贾杰(第11、12章)。

本书在编写过程中,参考了国内一些优秀材料力学教材,在此谨向这些教材的编著者表示深深的谢意。

东北林业大学李静辉教授主审了本书,并提出许多宝贵的意见,在此向他表示衷心的感谢。

本书的编写受黑龙江省高等教育教学改革项目“基于加强工程素质和创新能力材料力学实验课程教学改革研究”项目资助及东北林业大学重点课程建设项目资助。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2013年6月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 材料力学的任务与研究对象	1
1.1.1 材料力学的任务	1
1.1.2 材料力学的研究对象	3
1.2 材料力学的基本假设	4
1.3 外力及其分类	5
1.4 内力与应力	5
1.4.1 内力及截面法	5
1.4.2 应力	6
1.4.3 简单应力状态	7
1.4.4 切应力互等定理	7
1.5 变形、位移与应变	8
1.5.1 变形与位移	8
1.5.2 应变	8
1.6 胡克定律	9
1.6.1 拉压胡克定律	9
1.6.2 剪切胡克定律	9
1.7 杆件变形的基本形式	9
思考和练习题	10
第2章 轴向拉伸与压缩	12
2.1 概述	12
2.2 轴力与轴力图	13
2.2.1 轴力	13
2.2.2 轴力图	13
2.3 拉压杆的应力与圣维南原理	15
2.3.1 拉压杆横截面上的应力	15
2.3.2 拉压杆斜截面上的应力	16
2.3.3 圣维南原理	17
2.4 材料拉伸与压缩时的力学性能	18
2.4.1 拉伸试验与应力-应变图	18

2.4.2	低碳钢拉伸时的力学性能	19
2.4.3	材料在卸载与再加载时的力学性能	20
2.4.4	材料的塑性	21
2.4.5	其他材料拉伸时的力学性能	21
2.4.6	材料压缩时的力学性能	22
2.5	拉压杆的强度计算	23
2.5.1	失效与许用应力	23
2.5.2	强度条件	23
2.6	拉压杆的变形	26
2.6.1	拉压杆纵向变形与胡克定律	26
2.6.2	拉压杆的横向变形与泊松比	26
2.7	应力集中的概念	29
2.7.1	应力集中的概念	29
2.7.2	应力集中对构件强度的影响	30
2.8	简单拉压超静定问题	30
2.8.1	超静定问题的提出及求解方法	30
2.8.2	温度应力	33
2.8.3	装配应力	34
	思考和练习题	37
第3章	剪切的实用计算	42
3.1	概述	42
3.2	剪切的实用计算	43
3.3	挤压的实用计算	43
	思考和练习题	47
第4章	扭转	50
4.1	概述	50
4.2	外力偶矩计算与扭矩	51
4.2.1	外力偶矩计算	51
4.2.2	扭矩与扭矩图	52
4.3	圆轴扭转应力及强度计算	53
4.3.1	圆轴扭转试验与假设	54
4.3.2	圆轴扭转横截面上的应力	54
4.3.3	圆轴扭转的强度计算	57
4.4	圆轴扭转变形及刚度计算	59
4.4.1	圆轴扭转变形	59
4.4.2	圆轴扭转刚度计算	59
4.5	简单超静定轴	61

4.6 矩形截面杆自由扭转	63
4.6.1 自由扭转与约束扭转	63
4.6.2 矩形截面杆自由扭转	63
4.7 薄壁截面杆自由扭转	65
4.7.1 开口薄壁杆件自由扭转	65
4.7.2 闭口薄壁杆件自由扭转	67
思考和练习题	69
第5章 截面几何性质	73
5.1 概述	73
5.2 形心与静矩	73
5.2.1 截面的形心	73
5.2.2 截面的静矩	74
5.2.3 截面形心与静矩的关系	74
5.2.4 组合截面的静矩与形心	74
5.3 极惯性矩	76
5.3.1 截面的极惯性矩	76
5.3.2 圆截面的极惯性矩	76
5.4 惯性矩及其平行移轴公式	77
5.4.1 截面的惯性矩	77
5.4.2 矩形及圆截面的惯性矩	77
5.4.3 惯性半径	79
5.4.4 惯性矩平行移轴公式	79
5.5 惯性积及其平行移轴公式	80
5.5.1 截面的惯性积	80
5.5.2 惯性积平行移轴公式	80
5.6 转轴公式与主惯性矩	81
5.6.1 转轴公式	81
5.6.2 主轴与主惯性矩	82
思考和练习题	85
第6章 弯曲内力	87
6.1 概述	87
6.1.1 弯曲概念与实例	87
6.1.2 梁的支座形式及支座反力	88
6.1.3 梁的类型	89
6.2 剪力与弯矩	89
6.2.1 剪力与弯矩的概念	89
6.2.2 剪力与弯矩的正负号规定	90

6.3	剪力方程与弯矩方程及剪力图与弯矩图	93
6.3.1	剪力方程与弯矩方程	93
6.3.2	剪力图与弯矩图	93
6.4	剪力、弯矩与荷载集度之间的关系	96
6.4.1	剪力、弯矩与荷载集度之间的微分关系	96
6.4.2	根据微分关系作剪力图与弯矩图	96
6.4.3	剪力、弯矩与荷载集度之间的积分关系	99
6.5	叠加法作弯矩图	102
6.5.1	叠加法作弯矩图的原理	102
6.5.2	区段叠加法作弯矩图	102
6.6	平面刚架与曲梁内力	103
6.6.1	平面刚架内力	103
6.6.2	平面曲梁内力	105
	思考和练习题	105
第7章	弯曲应力	109
7.1	概述	109
7.2	弯曲正应力	110
7.2.1	纯弯曲正应力	110
7.2.2	横力弯曲正应力	113
7.2.3	最大弯曲正应力	113
7.3	弯曲切应力	114
7.3.1	矩形截面梁的弯曲切应力	114
7.3.2	工字形截面梁的弯曲切应力	116
7.3.3	圆形截面梁的弯曲切应力	118
7.4	梁的强度计算	119
7.4.1	梁的强度条件	119
7.4.2	梁的强度计算	120
7.5	梁的合理强度设计	123
7.6	非对称截面梁的平面弯曲及弯曲中心的概念	126
7.6.1	非对称截面梁的平面弯曲	126
7.6.2	开口薄壁杆件的弯曲中心	126
7.7	两种材料的组合梁	128
	思考和练习题	130
第8章	弯曲变形	136
8.1	概述	136
8.1.1	工程实际中的弯曲问题	136
8.1.2	梁的挠度与转角	137

8.2	挠曲线近似微分方程	138
8.3	计算梁位移的积分法	139
8.3.1	转角方程与挠度方程	139
8.3.2	边界条件与光滑连续条件	139
8.4	计算梁位移的叠加法	141
8.5	梁的刚度计算及合理刚度设计	145
8.5.1	梁的刚度计算	145
8.5.2	梁的合理刚度设计	146
8.6	简单超静定梁	147
8.6.1	超静定梁的概念	147
8.6.2	用变形比较法解超静定梁	147
	思考和练习题	149
第9章	应力及应变状态分析	153
9.1	概述	153
9.1.1	一点应力状态的概念	153
9.1.2	一点应力状态的描述	154
9.2	平面应力状态应力分析的解析法	156
9.2.1	平面应力状态的有关约定	156
9.2.2	平面应力状态下任意斜截面的应力	156
9.2.3	平面应力状态的极值应力	157
9.2.4	主平面及主应力	158
9.3	平面应力状态应力分析的图解法	162
9.3.1	应力圆的原理	162
9.3.2	应力圆的绘制	163
9.3.3	应力圆的应用	163
9.4	复杂应力状态的最大应力	165
9.4.1	三向应力圆	165
9.4.2	三向应力状态的最大应力	166
9.5	广义胡克定律	167
9.6	薄壁圆筒的应力分析	170
9.7	平面应变状态应变分析	172
9.7.1	任意方位的应变	172
9.7.2	最大正应变及其方位	174
9.7.3	应变的实测	175
	思考和练习题	176
第10章	强度理论	181
10.1	概述	181

10.2	关于断裂的强度理论	182
10.2.1	最大拉应力理论	182
10.2.2	最大拉应变理论	183
10.3	关于屈服的强度理论	184
10.3.1	最大切应力理论	184
10.3.2	畸变能理论	184
10.4	莫尔强度理论	185
10.4.1	莫尔强度理论要点	185
10.4.2	莫尔强度理论的强度条件	186
10.5	强度理论的应用	188
10.5.1	相当应力	188
10.5.2	强度理论的应用	188
	思考和练习题	191
第 11 章	组合变形	193
11.1	概述	193
11.1.1	工程中杆件的组合变形	193
11.1.2	组合变形的求解方法	194
11.2	斜弯曲	195
11.2.1	斜弯曲的概念	195
11.2.2	斜弯曲内力与应力的计算	195
11.2.3	斜弯曲变形的计算	196
11.2.4	斜弯曲时梁的中性轴与正应力强度条件	196
11.3	拉伸(或压缩)与弯曲的组合变形	198
11.3.1	轴向力与横向力共同作用	198
11.3.2	拉(压)弯组合变形实例	199
11.4	偏心压缩与截面核心	201
11.4.1	偏心压缩	201
11.4.2	截面核心的概念	202
11.5	弯曲与扭转的组合变形	203
11.5.1	弯曲与扭转组合变形的概念	204
11.5.2	弯曲与扭转组合变形的强度计算	204
11.5.3	拉伸(或压缩)、扭转与弯曲的组合变形	207
	思考和练习题	208
第 12 章	压杆稳定	212
12.1	概述	212
12.2	压杆临界荷载的欧拉公式	214
12.2.1	两端铰支细长压杆的临界荷载	214

12.2.2	其他约束下细长压杆的临界荷载	216
12.2.3	细长压杆临界荷载的统一公式	217
12.3	临界应力与临界应力总图	219
12.3.1	临界应力与柔度	219
12.3.2	欧拉公式的适用范围	219
12.3.3	临界应力的经验公式	220
12.3.4	临界应力总图	221
12.4	压杆稳定性计算及提高稳定性的措施	222
12.4.1	压杆稳定性计算	222
12.4.2	提高稳定性措施	227
	思考和练习题	228
第 13 章	能量法	231
13.1	概述	231
13.2	外力功的计算	232
13.2.1	外力功的基本公式	232
13.2.2	克拉比隆定理	232
13.3	应变能的计算	233
13.3.1	杆件的应变能	233
13.3.2	应变能密度	235
13.3.3	复杂应力状态下的应变能密度	236
13.4	卡氏定理	238
13.4.1	卡氏定理的一般表达式	238
13.4.2	卡氏定理的应用	239
13.5	单位荷载法	243
*13.6	图乘法	247
13.6.1	图乘法的原理	247
13.6.2	图乘法的应用	248
13.7	冲击应力分析	251
13.7.1	冲击问题概述	251
13.7.2	自由落体对线性弹性体的冲击	252
13.7.3	等速水运动的物体对线性弹性体的冲击	253
13.7.4	起吊重物时的冲击	253
	思考和练习题	257
第 14 章	疲劳强度计算	263
14.1	概述	263
14.2	交变应力的类型	264
14.2.1	交变应力的参数	264

14.2.2	交变应力的类型	265
14.3	材料的疲劳极限	267
14.3.1	疲劳极限的概念	267
14.3.2	疲劳试验与 S-N 曲线	267
14.4	影响构件疲劳极限的主要因素	268
14.4.1	构件外形的影响	268
14.4.2	构件截面尺寸的影响	271
14.4.3	构件表面加工质量的影响	272
14.5	对称循环应力下的疲劳强度计算	273
14.5.1	构件疲劳极限的确定	273
14.5.2	对称循环应力下的疲劳强度条件	273
14.6	非对称循环应力下的疲劳强度计算	274
14.6.1	非对称循环应力下的疲劳强度条件	274
14.6.2	弯扭组合交变应力下的疲劳强度条件	275
14.7	提高构件疲劳强度的措施	278
	思考和练习题	278
附录 A	常用材料的力学性能	281
附录 B	常见截面的几何性质	282
附录 C	简单荷载作用下梁的挠度与转角	284
附录 D	型钢表	286
附录 E	材料力学自测题	299
参考答案		306
参考文献		316

绪 论

【知识点及学习要求】

知 识 点	学习要求
知识点 1 材料力学任务与研究对象	熟悉
知识点 2 材料力学的基本假设	掌握
知识点 3 外力及分类	了解
知识点 4 内力、截面法与应力	掌握
知识点 5 位移、变形与应变	掌握
知识点 6 拉压与剪切胡克定律	掌握
知识点 7 杆件变形的基本形式	熟悉

1.1 材料力学的任务与研究对象

1.1.1 材料力学的任务

力学是研究力对物体效应的学科。它和其他自然科学一样,是从生活、生产实践中总结出来的各种工程中最普遍、最基本的规律,用以指导人们认识自然界,并科学地从事工程技术工作。

20 世纪以前,推动近代科学技术与社会进步的蒸汽机、内燃机、铁路、船舶和桥梁等,都是在力学知识的积累、应用和完善的基础上逐渐形成和发展起来的。进入 20 世纪,许多高科技产物,如大跨度桥梁(图 1-1)、新型建筑(图 1-2)、大型水利工程(图 1-3)、高速列车(图 1-4)



图 1-1 大跨度桥梁

及航空航天工程(图 1-5)等更是与力学的指导密不可分。产生于 20 世纪的另一一些高新技术,如核反应堆工程、电子工程等,虽然都是在其他基础学科指导下产生和发展起来的,也对力学提出各式各样大大小小的问题。

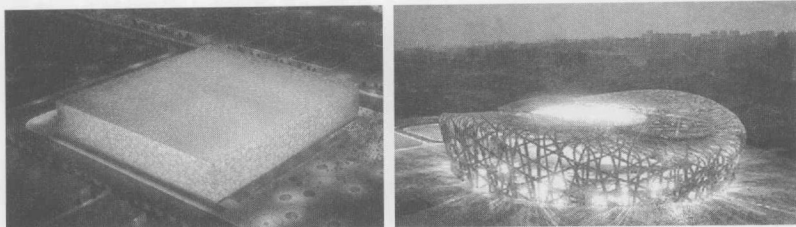


图 1-2 新型建筑

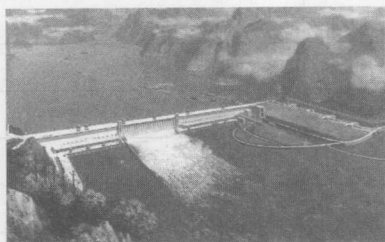


图 1-3 大型水利工程

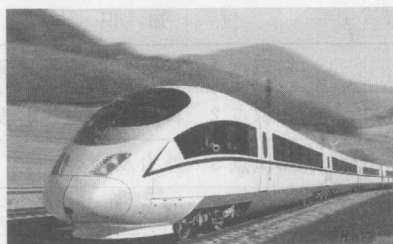


图 1-4 高速列车

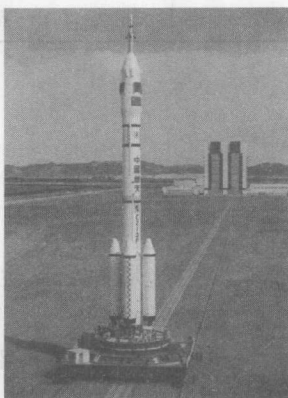


图 1-5 航空与航天工程

自然界中的一切固体在力的作用下都会发生变形,甚至破坏。材料力学主要研究力对固体的变形、破坏的效应,是研究构件承载能力的一门学科。工程结构和机械是由若干个零部件组成的,这些零部件统称构件。工程结构或机械正常工作时,构件必须有足够的承载能力,承载能力具体表现在以下三个方面。

1. 具有足够的强度

强度是指材料或构件抵抗破坏的能力。材料强度高,不易破坏;材料强度低,较易破坏。对于构件来说,若其尺寸、材料的性能与所受荷载不相适应,如机器的传动轴的直径太小,起吊货物的绳索太细,当传递功率较大、货物过重时,传动轴和绳索就可能因强度不够而发生

断裂,无法正常工作,甚至造成灾难性事故。因此,构件必须具有足够的强度。

2. 具有足够的刚度

刚度是指材料或构件抵抗变形的能力。有时构件的强度足够,但变形过大,仍不能保证其正常工作。例如,楼板梁弯曲过度,下面抹灰层就会开裂、脱落;机床主轴变形过大,则影响加工精度;齿轮轴的变形过大,破坏齿轮间的正常啮合,引起轴承的不均匀磨损,从而导致机器不能正常工作。因此,在工程中,根据不同的用途,应使构件在荷载作用下产生的变形不能超过一定的范围,即要求构件具有一定的刚度。

3. 具有足够的稳定性

稳定性是指构件保持原有平衡状态的能力。细长直杆受压,当压力超过某值时,直杆会突然变弯,由直线的平衡状态转为曲线的平衡状态,这种现象称为失稳。构件失稳往往会造成灾难性事故,例如桥梁结构的受压杆件失稳,将导致桥梁结构局部或整体塌毁。因此,工程上要求构件在规定的荷载作用下不能发生失稳现象,即具有足够的稳定性。

足够的强度、足够的刚度和足够的稳定性是保证构件安全、正常工作的基本要求。一般来说,增大构件的截面尺寸,选用优质材料有利于提高构件的强度、刚度和稳定性,但同时也增加了材料的用量,提高了造价,违背了经济原则。显然,过分强调安全会造成浪费,而片面地追求经济也能使设计不符合安全要求。可见,安全与经济是一对矛盾,材料力学的任务就是解决这对矛盾。具体地说,材料力学的主要任务是研究构件在外力作用下的受力、变形与破坏规律,为合理设计构件提供有关强度、刚度和稳定性分析的基本理论与计算方法。

通过《材料力学》课程的学习,可使学生逐步学会以力学的观点、原理和方法去观察、分析、发现生活中和工程中的力学现象或力学问题,为最终解决工程实际中的力学问题打下基础。学习《材料力学》课程后,也可以理解日常生活中的一些现象,例如,扁担为什么两头薄而窄,中间宽且厚;自行车大梁为什么是空心的;大型火箭为什么是捆绑式的;大桥合龙为什么总在春秋季节,而不在冬夏两季……

《材料力学》是变形固体力学的入门课程,是奠定学习变形固体力学课程的基础,其应用性和基础性构成材料力学课程的特点。

1.1.2 材料力学的研究对象

工程实际中的构件,形状多种多样。按照其几何特征,可分为杆、板、壳和块四种,如图 1-6 所示。

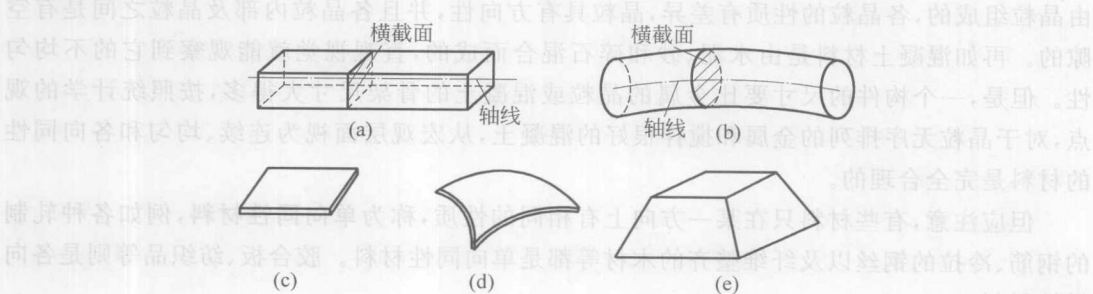


图 1-6 工程构件的形式

(a) 直杆; (b) 曲杆; (c) 板; (d) 壳; (e) 块

一个方向的尺寸远大于其他两个方向的尺寸的构件,称为杆件。杆件有两个主要几何要素——轴线与横截面,轴线通过横截面的形心,横截面与轴线垂直。若杆轴线为直线,此杆称为直杆(图 1-6(a));轴线为曲线时,则称为曲杆(图 1-6(b))。各横截面尺寸相同的杆件称为等截面杆,横截面尺寸不同的杆称为变截面杆。杆件是工程中最常见、最基本的构件,一般来说,梁、柱、传动轴和支撑杆等都可以抽象为杆件。杆件是材料力学研究的主要对象。

一个方向的尺寸远小于其他两个方向的尺寸的构件,称为板件。平分板件厚度的几何面,称为中面。中面为平面的板件称为板(图 1-6(c));中面为曲面的板件称为壳(图 1-6(d))。三个方向的尺寸都在同一个数量级上的构件,称为块(图 1-6(e))。板件与块一般在弹性力学中讨论。

1.2 材料力学的基本假设

材料力学是以变形体的宏观力学性质为基础,并不涉及其微观结构。为了研究的方便,必须忽略与所研究问题无关的或次要的因素,才能达到研究目的。为此,在材料力学的研究中,对变形固体的物性和变形提出如下基本假设。

1. 连续性假设

假设构件所占有的空间内毫无空隙地充满了物质,即认为构件是密实的。根据这一假设,一些力学量(例如各点的位移、应力等)即可用坐标的连续函数表示。而且,无论取多么小的一个体积进行研究都是可能的,可以采用无限小的数学分析方法。

2. 均匀性假设

材料在外力作用下所表现的性能,称为材料的力学性能或机械性能。在材料力学中,假设构件内各处材料的力学性能都相同,即认为材料是均匀的。根据这一假设,材料的力学性能与其在构件中的位置无关。因此,从构件内部任何部位所切取的微小单元体,都具有与构件完全相同的性质。同样,通过试样所测得的材料性能,也可用于构件内的任何部位。

3. 各向同性假设

假设构件内材料沿各个方向具有相同的力学性能,即材料的性能与方向无关。沿各个方向具有相同力学性能的材料,称为各向同性材料。

实际上,任何材料在微观上都是不连续的、不均匀的和各向异性的。例如,金属材料是由晶粒组成的,各晶粒的性质有差异,晶粒具有方向性,并且各晶粒内部及晶粒之间是有空隙的。再如混凝土材料是由水泥、砂和碎石混合而成的,直观视觉就能观察到它的不均匀性。但是,一个构件的尺寸要比金属的晶粒或混凝土的骨架尺寸大得多,按照统计学的观点,对于晶粒无序排列的金属和搅拌很好的混凝土,从宏观层面视为连续、均匀和各向同性的材料是完全合理的。

但应注意,有些材料只在某一方向上有相同的性质,称为单向同性材料,例如各种轧制的钢筋、冷拉的钢丝以及纤维整齐的木材等都是单向同性材料。胶合板、纺织品等则是各向异性材料。

4. 小变形假设

假设构件因外力作用而产生的变形远远小于其原始尺寸。根据这个假设,在研究平衡

问题时,就可以忽略构件的变形的影响,按其原始尺寸进行分析,使问题得以简化。另外,我们在考察构件的变形和位移时,还会出现一些变形量的高次方项,根据小变形假设可以把它略去不计,使问题得以简化,而由此引起的误差却是极微小的。

综上所述,我们可以将实际构件看作是连续、均匀和各向同性的变形体,并且构件发生的变形属于小变形范畴。实践表明,在此基础上所建立的理论与分析计算结果满足工程要求。

1.3 外力及其分类

材料力学的研究对象是构件,对于所研究的对象来说,其他构件与物体作用于其上的力均为外力。外力包括荷载与约束力。一般来说,荷载属于主动力,约束力属于被动力。约束力是为了阻止物体因荷载作用产生的运动趋势所起的反作用,其性质和方向由约束的形式决定,其大小则与荷载的大小和作用方式有关。

作用于构件上的外力,按其作用方式可分为表面力和体积力。作用在构件表面上的外力,称为表面力,如作用于船体上的水压力和作用于桥墩上的风压力等。作用于构件上的表面力,按其作用范围可分为分布力与集中力。连续分布在构件表面某一范围的力,称为分布力。如果分布力作用面积远小于构件表面面积,或沿杆件轴线的分布范围远小于杆件的长度,可将分布力简化为作用于一点的力,称为集中力。连续分布在构件内部各点的外力,称为体积力,如构件的自重和惯性力等。

作用于构件上的荷载,按其随时间变化的情况,可分为静荷载与动荷载。大小、位置和方向不随时间变化或变化极为缓慢的荷载,称为静荷载,如作用在土建、水利工程建筑物上的土压力和水压力等。大小、位置和方向随时间变化显著,使结构产生明显加速度的荷载,称为动荷载,如火车车轮对桥梁的冲击力、锻造气锤对杆件的冲击力及地震引起的冲击波的压力等。

1.4 内力与应力

1.4.1 内力及截面法

在外力作用下,构件发生变形,同时,构件内部相连的各部分之间产生相互作用力。由于外力作用,构件内部相连两部分之间的相互作用力,称为内力。构件的强度、刚度及稳定性,与内力的大小及其在构件内的分布情况密切相关。因此,内力分析是解决构件强度、刚度与稳定性问题的基础。

如图 1-7(a)所示,杆件在外力作用下处于平衡状态。欲求横截面 $m-m$ 上的内力,可假想地沿该截面将杆件切开,取其中的任一部分作为研究对象,在截面处用内力代替另一部分对它的作用。由材料的连续性假设可知,内力是作用在切开截面上的连续分布力系(图 1-7(b))。

应用力系简化理论,将上述分布内力向横截面的形心 C 简化,得主矢 F_R 与主矩 M ,如图 1-8(a)所示。为了分析内力,沿截面轴线建立 x 轴,在所切截面建立 y 轴与 z 轴,并将主矢 F_R 与主矩 M 沿上述三轴进行正交分解,得内力分量 F_N 、 F_{Sy} 、 F_{Sz} ,以及内力偶矩分量 M_x 、 M_y 与 M_z ,如图 1-8(b)所示。