

高等职业教育土建专业系列教材

丛书主编 徐占发
本册主编 崔玉玺

工程力学

GONGCHENG LIXUE

中国建材工业出版社

高等职业教育土建专业系列教材

工 程 力 学

12月21日

丛书主编 徐占发
本册主编 崔玉玺
副 主 编 钱民刚 周美茹

中国建材工业出版社

本书由天津理工大学出版社出版，责任编辑：王丽娟，封面设计：王丽娟，印刷：天津理工大学出版社印刷厂，（010）88342331

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/崔玉玺主编. —北京: 中国建材工业出版社, 2003.6

(高等职业教育土建专业系列教材)

ISBN 7-80159-448-7

I. 工… II. 崔… III. 土木工程—工程力学—高等学校: 技术学校—教材 IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 036962 号

工程力学

崔玉玺 主编

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 11 号

邮 编: 100831

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm × 960mm 1/16

印 张: 24.5

字 数: 449 千字

版 次: 2003 年 6 月第 1 版

印 次: 2003 年 6 月第 1 次

印 数: 1 ~ 3000 册

书 号: ISBN 7-80159-448-7/TU·217

定 价: 36.00 元

本书如出现印装质量问题, 由我社发行部负责调换。联系电话: (010)68345931

《高等职业教育土建专业系列教材》编委会

主任: 成运花 北京城市学院教务长、研究员
副主任: 徐占发 北京城市学院教授、土建专业主任
杨文锋 长安大学应用技术学院副教授、副院长
秘书长: 李文利 北京城市学院副教授

委员: (按汉语拼音先后顺序)

包世华 清华大学教授
陈乃佑 北京城市学院副教授
陈学平 北京林业大学教授
成荣妹 长安大学副教授
崔玉玺 清华大学教授
董和平 北京城市学院讲师
董晓丽 北京城市学院讲师
龚伟 长安大学副教授
龚小兰 深圳职业技术学院副教授
姜海燕 北京城市学院讲师
靳玉芳 北京城市学院教授 (兼职)
刘宝生 北方交通大学副教授
刘晓勇 河北建材学院副教授
李国华 长安大学副教授
李文利 北京城市学院副教授
栗守余 长安大学副教授
马怀忠 长安大学副教授
田培源 北京城市学院讲师
王茹 北京城市学院副教授
王世琤 北京航空航天大学教授
王旭鹏 北京城市学院副教授
杨秀芸 北京城市学院副教授
张宝兴 长安大学副教授

顾问: (按汉语拼音先后顺序)

江见鲸 清华大学教授
罗福午 清华大学教授

序

大力发展高等职业教育,培养一大批具有必备的专业理论知识和较强的实践能力,适应生产、建设、管理、服务岗位等第一线急需的高等职业应用型专门人才,是实施科教兴国战略的重大决策。高等职业教育院校的专业设置、教学内容体系、课程设置和教学计划安排均应突出社会职业岗位的需要,实践能力的培养和应用型的教学特色。其中,教材建设是基础和关键。

高等职业教育土木建筑专业系列教材是根据最新颁布的国家和行业标准、规范,按照高等职业教育人才培养目标及教材建设的总体要求、课程的教学要求和大纲,由北京城市学院(原海淀走读大学)和中国建材工业出版社组织全国部分有多年高等职业教育教学体会与工程实践经验的教师编写而成。

本套教材是按照3年制(总学时1600~1800)、兼顾2年制(总学时1100~1200)的高职高专教学计划和经反复修订的各门课程大纲编写的。基础理论课程以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为重点;专业课以最新颁布的国家和行业标准、规范为依据,反映国内外先进的工程技术和教学经验,加强实用性、针对性和可操作性,注意形象教学、实验教学和现代教学手段的应用。加强典型工程实例分析。

本套教材适用范围广泛,努力做到一书多用。在内容的取舍上既可作为高职高专教材,又可作为电大、职大、业大和函大的教学用书,同时,也便于自学。本套教材在内容安排和体系上,各教材之间既是有机联系和相互关联的;每本教材又具有独立性和完整性。因此,各地区、各院校可根据本身的教学特点择优选用。

北京城市学院是办学校早、发展很快,高职高专办学经验丰富并受到社会好评的一所民办公助高等院校。其中,土建专业是最早设置且有较大社会影响的专业之一,有10多名教学和工程实践经验丰富的双师型教师,出版了一批受欢迎的专业教材。

可以相信,由北京城市学院组编、中国建材出版社出版发行的这套高等职业教育土建专业系列教材一定能成为受欢迎的、有特色的、高质量的系列教材。

本教材编委会

2003年2月

前 言

本书是根据教育部高等学校工科力学课程教学基本要求编写的。全书分为两篇，第一篇是静力学，第二篇是材料力学。

书中以“构件的受力与构件承载能力的矛盾”（简称“受力与抗力的矛盾”），来贯穿和组织课程内容，使读者学起来目的明确，条理清楚。在第二篇中突出了微元体（微单元）的地位和应用，这既便于读者对材料力学分析方法的理 解，又利于读者将来学习一些更高层次的力学知识，如弹性力学、有限单元法等。另外，书中特别注意了课程内容和工程实际的联系，每章都从工程实际中提出问题，分析研究得出结论后，再论述提高构件承载能力的措施，说明理论在工程实际中的应用，以体现学以致用。

在内容的编排上，本书按照从特殊到一般，由简到繁和突出重点的原则。在第一篇中，从最简单的平面汇交力系和平面力偶系入手，讲到平面任意力系，再到空间任意力系，是个螺旋式上升的过程；本篇的重点是平面任意力系，将摩擦问题作为一节并入该章，主要是讲清考虑摩擦时，平衡问题的特点；删去了有关求重心的内容，只保留了重心的概念。在第二篇中，先分别研究拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲等基本受力的强度和变形计算（分属第 5、6、7、8、9 章），再讲组合受力（第 11 章），这体现了“分解与综合相结合”的方法。

考虑到各种不同层次的教学要求和学生提高的需要，在保证基本要求的基础上，对一些进一步的内容，用“*”号注明。对超静定问题，在第 5 章（拉伸、压缩与剪切）、第 9 章（弯曲变形）和第 12 章（能量法和力法）中都有反映，但深度不同，教师可自行掌握取舍。为了便于学生自学，本书每章后都附有思考题，各章习题都附有答案。

本书是编者总结了在清华大学、北京城市学院（原海淀走读大学）等多所高等学校从教近 40 年的教学经验编写的。书中的许多观点和论述并非个人杜撰，而是教学集体多年总结出来的，并汲取了许多教材的成功之处。但由于编者水平有限，书中一定有许多缺点、错误和欠妥之处，望广大教师和读者予以批评指正。

编 者

2003 年 4 月

目 录

绪论	1
第一篇 静 力 学	6
第 1 章 静力学的基本概念与受力图	7
1.1 力的基本概念	7
1.2 静力学公理	7
1.3 约束的类型及其约束反力	10
1.4 物体的受力分析与受力图	14
思考题	16
习题	16
第 2 章 平面汇交力系和平面力偶系	19
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	19
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	22
2.3 平面力对点之矩	26
2.4 平面力偶系的合成与平衡	27
思考题	30
习题	31
第 3 章 平面任意力系	36
3.1 力向一点平移	36
3.2 平面任意力系向作用面内一点简化	37
3.3 平面任意力系的平衡方程及其应用	39
3.4 静定与超静定问题	45
3.5 物体系的平衡	46
3.6 平面桁架	49
* 3.7 考虑摩擦时物体的平衡	52
思考题	57
习题	58

第4章 空间任意力系	67
------------------	----

4.1 空间汇交力系	67
------------------	----

4.2 力对点之矩和力对轴之矩	71
-----------------------	----

4.3 空间力偶系	73
-----------------	----

4.4 空间任意力系向一点简化	74
-----------------------	----

4.5 空间任意力系的平衡方程和应用	75
--------------------------	----

思考题	78
-----------	----

习题	79
----------	----

第二篇 材 料 力 学	83
-------------------	----

第5章 拉伸、压缩与剪切	85
--------------------	----

5.1 轴力和轴力图	85
------------------	----

5.2 拉(压)杆的应力分析	87
----------------------	----

5.3 拉(压)杆的强度计算	90
----------------------	----

5.4 拉(压)杆的变形计算	93
----------------------	----

5.5 拉(压)杆的超静定问题	96
-----------------------	----

5.6 材料在拉伸、压缩时的力学性能	100
--------------------------	-----

5.7 应力集中和圣维南原理	106
----------------------	-----

5.8 剪切和挤压的实用计算	108
----------------------	-----

思考题	111
-----------	-----

习题	112
----------	-----

第6章 扭转	119
--------------	-----

6.1 扭转外力偶、扭矩和扭矩图	119
------------------------	-----

6.2 剪应力成对定理、剪切胡克定律	121
--------------------------	-----

6.3 圆轴扭转时的应力和变形	122
-----------------------	-----

6.4 圆轴扭转时的强度和刚度计算	125
-------------------------	-----

*6.5 非圆截面杆的扭转	129
---------------------	-----

思考题	135
-----------	-----

习题	135
----------	-----

第7章 弯曲内力	140
----------------	-----

7.1 梁的计算简图及平面弯曲	140
-----------------------	-----

7.2 梁的内力——剪力与弯矩	142
-----------------------	-----

7.3 剪力、弯矩与分布荷载集度间的微分关系	149
*7.4 平面刚架和平面曲杆的内力图	153
思考题	157
习题	158
第8章 弯曲应力	162
8.1 弯曲正应力	162
8.2 弯曲剪应力	165
8.3 弯曲杆件的强度计算	169
8.4 提高弯曲强度的措施	174
*8.5 开口薄壁截面的弯曲中心	178
*8.6 考虑材料塑性时梁的强度计算	180
思考题	184
习题	185
第9章 弯曲变形	191
9.1 梁的变形和位移	191
9.2 挠曲线近似微分方程	192
9.3 用积分法求梁的位移	194
9.4 用叠加法求梁的位移	198
9.5 梁的刚度条件及提高梁刚度的措施	202
9.6 简单超静定梁	205
思考题	207
习题	209
第10章 应力状态与强度理论	214
10.1 一点应力状态的描述	214
10.2 二向应力状态分析	217
10.3 三向应力状态	226
*10.4 主应力迹线的概念	233
10.5 四种常用强度理论	235
*10.6 莫尔强度理论	240
思考题	242
习题	244

第 11 章 组合受力	250
11.1 拉伸(压缩)与弯曲的组合	250
11.2 斜弯曲	254
11.3 弯曲与扭转的组合	258
思考题	261
习题	263
第 12 章 能量法与力法	268
12.1 变形能的计算及其应用	268
12.2 虚功原理	273
12.3 单位荷载法	274
12.4 图乘法	279
12.5 用力法解超静定结构	283
思考题	292
习题	293
第 13 章 压杆稳定	298
13.1 压杆稳定的概念	298
13.2 细长压杆的临界力——欧拉临界力	299
13.3 压杆的临界应力	303
13.4 压杆的稳定计算	305
13.5 提高压杆承载能力的措施	310
思考题	311
习题	312
第 14 章 动荷载	318
14.1 简单动载问题	318
14.2 冲击问题	320
14.3 冲击韧度	322
思考题	324
习题	324
第 15 章 交变应力	327
15.1 交变应力的描述	327
15.2 疲劳失效的特点与原因	330

15.3 材料的疲劳极限	331
15.4 构件的疲劳强度计算	333
15.5 提高构件疲劳强度的措施	337
思考题	338
习题	338
附录 I 平面图形的几何性质	340
I .1 定义	340
I .2 平行移轴公式	343
I .3 转轴公式	344
思考题	347
习题	348
附录 II 型钢表	350
附录 III 习题答案	362

绪 论

1. 工程力学的任务

(1) 工程力学要解决的基本矛盾

工程力学的任务是要解决“构件的受力与构件承载能力的矛盾”，简称为“受力与抗力的矛盾”。

一部机器通常是由轴、齿轮、键、销、螺栓等零件组成的；一座房屋通常是由梁、板、柱、墙等构件组成的。机器的零件和结构的构件在本课程中统称为构件。图 1 所示工业厂房中的吊车梁、钢丝绳、吊钩、柱都是构件。

要保证机器或结构能正常工作，首先要搞清楚机器或结构中的每个构件受到哪些力的作用，这一步工作称为构件的受力分析。第二步要搞清楚在这些力的作用下，构件能否安全、可靠地工作，这一步工作称为构件的承载能力分析。

根据工程力学要解决的基本矛盾可以看出，工程力学的内容是由两部分组成的：静力学和材料力学。静力学主要研究构件的受力分析；材料力学主要研究构件的承载能力分析。

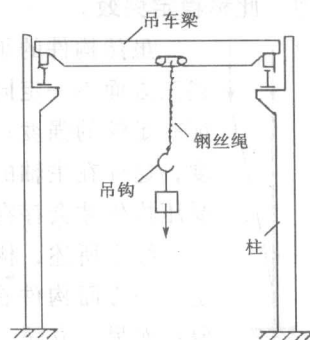


图 1

(2) 主动力（荷载）与约束反力

机器或结构一般是由多个构件组成的，每个构件的运动和位移都要受到其他构件的限制。例如，吊车梁的运动受到钢轨的限制，只能沿钢轨移动；电机中的转子受到轴承限制，只能绕轴承转动；桥梁桁架受到左右支座限制而静止不动（图 2）。对所研究的构件而言，将限制其运动和位移的构件称为它的约束，如钢轨是吊车梁的约束，轴承是转子的约束，支座是桥梁的约束。

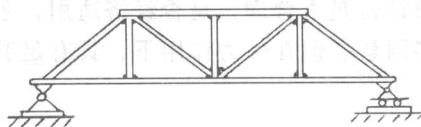


图 2

构件在工作过程中要受到力的作用。通常将作用在构件上的自重、风压力、水压力、电磁力等称为主动力或荷载（亦称载荷）；而将约束作用在构件上的力称为约束反力，简称为反力。主动力和约束反力统称为构件受到的外力。

静力学的重要任务是，对处于平衡状态的构件，当作用在构件上的主动力

已知时，根据平衡条件确定约束反力。

(3) 构件承载能力的三种表现形式

构件丧失正常工作能力称为**失效**。以吊车为例，要保证吊车能正常工作，则组成吊车的各个构件要考虑以下三方面的问题。

1) 强度问题 构件在外力作用下不能发生断裂破坏或塑性变形。例如，钢丝绳被拉断；压弯的钢梁在卸载后不能恢复原状等均属**强度失效**。

2) 刚度问题 构件在外力作用下不能产生过大的弹性变形，否则影响正常工作。例如，吊车梁变形过大，则会加大车轮与钢轨的之间的磨损，产生较大振动，影响吊车的正常运行，此称**刚度失效**。

3) 稳定问题 构件在外力作用下，其平衡形式不能发生突然变化。例如，工业厂房中的柱子，由于本身较细长，当承受的压力过大时，会突然变弯，使原来的直线平衡形式转变为弯曲平衡形式（图3），从而导致结构丧失承载能力，此称**稳定失效**。



虽然构件的承载能力包括三个方面，但对某一具体构件来说，上述三方面不一定同等重要。例如，对于起吊重物的钢丝绳，主要应保证有足够的强度；但对精密机床，主轴变形的大小将直接影响加工精度，这样在主轴的设计中刚度问题将成为主要矛盾；至于稳定，只有受压构件才会存在这种问题。

综上所述，构件的承载能力表现在三个方面，即强度、刚度和稳定。一方面构件在外力作用下，可能发生破坏、过大变形或失稳现象；而另一方面，正常工作又要求构件有足够的承载能力，以保证构件不发生破坏、过大变形和失稳。因此构件的受力和构件的承载能力就构成了一对矛盾。因为人们总是希望用较少的材料承受较大的荷载，而构件的承载能力却是有一定限度的。这对矛盾反映到工程上则是**经济与安全的矛盾**。当然，一部机器或一个结构设计得是否合理，是否经济适用，还要考虑到工艺问题、使用要求、美观等诸多因素。但在外力作用下，具有足够的承载能力是构件必须满足的首要条件。

图3

2. 工程力学的研究对象

(1) 小变形和刚体的概念

构件受力后都会发生变形。工程力学研究的问题一般限制在**小变形**的范围内，即构件由变形引起的尺寸变化远远小于构件的原始尺寸。由于变形微小，所以对构件进行受力分析时，可以忽略变形的影响，而将构件抽象为**刚体**。所谓刚体是指在力的作用下不变形的物体。在静力学中，作用在刚体上的力，其方向和作用点的位置始终保持不变，这就使分析和计算过程大为简化，而计算结果又有足够的精确度。所以静力学又称刚体静力学。

(2) 变形固体及其基本假设

由于构件的强度、刚度和稳定问题均与构件的变形密切相关,因此在研究这些问题时,不能像在静力学中那样将物体抽象为刚体,而必须考虑物体的变形,将物体看成是**变形固体**。

任何物体都是由分子和原子组成的。物体的变形本质上是由于分子间的作用力发生变化的结果。但材料力学研究的是物体的宏观变形,为便于分析和简化计算,将不考虑物体的微观结构,将其抽象为一种理想模型,为此引入**均匀连续与各向同性假设**。即假设物质均匀地充满物体空间,并在各个方向上具有相同的物理和力学性能。

上述假设,对钢、铜等金属材料,玻璃、陶瓷等非金属材料相当适用;对砖、石、混凝土等建筑材料也基本适用。

轧制的钢材、木材、竹材等,只在一定的方向上具有相同的性质,称为**单向同性材料**。对于这种材料,材料力学的结论只能应用在该方向上。对于某些复合材料,则属**各向异性材料**,均匀连续与各向同性假设已不再适用。

由以上分析可见,物质世界是十分复杂的,为简化对事物的分析过程,需要对研究对象进行一定的抽象。但这种抽象不是一成不变的,要视研究问题的性质而定。在本课程中,对构件进行受力分析计算时,将构件视为刚体;而对构件进行强度、刚度和稳定计算时,则将构件视为均匀连续与各向同性的变形固体。

(3) 杆件

实际工程中,构件的形状是各式各样的,但大致可分为杆、板、壳和块体四大类。

1) 杆 长度方向的尺寸远大于其横向尺寸的构件称为杆。工程中的梁、轴、柱等皆属于杆类构件。轴线和横截面是杆件的两个主要几何特征。轴线是各横截面形心的连线,横截面与轴线相互垂直。根据轴线与横截面的几何形状,杆件可分为等截面杆和变截面杆(图4a、b);直杆与曲杆(图4a、c)。

2) 板 其厚度方向的尺寸远小于其他两个方向的尺寸,即 $t \ll a, b$, 如图5a所示。建筑中的楼板、机械设备中的工作平台都属于板。

3) 壳 距板的两个表面等距离的点组成的面称为中面(图5b中的虚线所示)。若板的中面为曲面,则称为壳,如图5b所示。反应堆的压力壳,储油

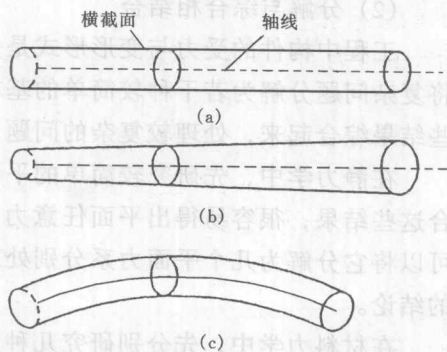


图4

罐的球壳是壳的典型实例。

4) 块体 若构件三个方向的尺寸属于同一量级, 则称为块体。如水工建筑物的重力坝 (图 5c)。

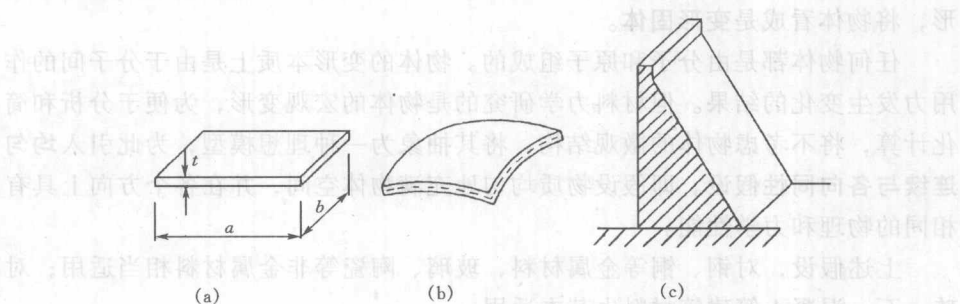


图 5

工程力学以杆件作为主要研究对象。掌握了杆件问题的分析方法, 也就为其他类构件的分析打下了必要的理论基础。

3. 工程力学的研究方法

(1) 理论分析与实验研究相结合

由于实际问题一般比较复杂, 工程力学在分析问题时, 通常先通过实验观察并分析构件受力和变形的特点, 然后对构件的受力和变形情况做出某些简化假设; 以此为基础, 通过理论分析, 推导出既便于应用又具有一定精确度的计算公式。计算公式的正确性和精确度要受到实验结果的检验, 若与实验结果不符, 则简化假设和计算公式必须进行修改或放弃。

另外, 对于某些问题, 理论分析有困难, 只能用实验方法进行研究。当然材料的力学性能测试更离不开实验。所以实验研究和理论分析一样, 是工程力学研究问题的重要手段, 这在材料力学中表现尤为突出。

(2) 分解与综合相结合

工程中构件的受力与变形形式是多种多样的, 有时甚至是复杂的。通常先将复杂问题分解为若干种较简单的基本受力与变形形式, 进行研究; 然后将这些结果综合起来, 处理较复杂的问题。

在静力学中, 先研究较简单的平面汇交力系和平面力偶系的平衡条件, 综合这些结果, 很容易得出平面任意力系的平衡条件。对于较复杂的空间力系, 可以将它分解为几个平面力系分别处理, 然后将结果综合起来得出原空间力系的结论。

在材料力学中, 先分别研究几种基本受力与变形形式的强度和变形计算, 它们分别是: 轴向拉伸和压缩 (图 6a、b)、剪切 (图 6c)、扭转 (图 6d) 和弯

曲（图 6e）；然后将这些结果综合起来去处理较复杂的组合受力与变形问题。

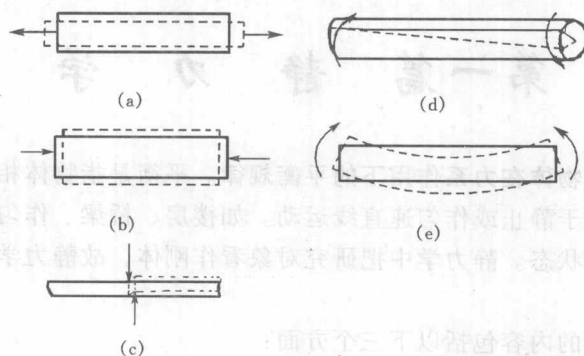


图 6

第一篇 静 力 学

静力学研究物体在力系作用下的平衡规律。平衡是指物体相对于惯性参考系（如地面）处于静止或作匀速直线运动。如楼房、桥梁、作匀速直线行驶的汽车都处于平衡状态。静力学中把研究对象看作刚体，故静力学又称为刚体静力学。

静力学研究的内容包括以下三个方面：

1. 物体的受力分析

研究物体受到哪些力的作用（这些力既包括主动力，也包括约束反力），它们的大小、作用位置及方向。

2. 力系的简化

将作用在物体上的一个复杂力系用一个等效的简单力系来代替，称为力系的简化。

3. 力系的平衡条件

物体处于平衡状态时，作用在物体上的力系应满足的条件。根据平衡条件可求得作用在平衡物体上的未知力。