

普通高等教育“十一五”规划教材

面向应用型人才培养

工程力学

宋本超 卞西文 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

TB12
146

普通高等教育“十一五”规划教材
面向应用型人才培养

工 程 力 学

宋本超 卞西文 主编

TB12/146

2010

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》为指导,以“必需、够用”为原则进行编写。本书共 20 章,由静力学、材料力学以及运动学与动力学三部分组成。静力学部分包括静力学基本概念、简单力系、平面任意力系、空间力系等内容,主要研究受力分析和刚体的平衡问题,是材料力学的基础。材料力学部分包括轴向拉伸或压缩、扭转、剪切与挤压、弯曲变形、强度理论、组合变形和压杆稳定等内容。运动学与动力学部分包括点的运动、刚体的基本运动、点的运动合成、刚体的平面运动、质点和刚体的动力学基础、动能定理以及动静法等。为了便于学习,每章后面均附有思考题和习题,并在附录中给出了答案。

本教材可作为高等职业院校机械类、机电类专业的教材。各院校也可以根据学时的安排和专业需要选讲部分内容。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/宋本超,卞西文主编. —北京:国防工业出版社,2010.1
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-118-06395-0

I. 工... II. ①宋...②卞... III. 工程力学—高等学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 105446 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18 字数 406 千字

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

《工 程 力 学》编 委 会

主 编	宋本超	卞西文		
副主编	闫 永	杜永亮	王 炜	
编 委	王士柱	张 伟	韩玉勇	杨朝全
	王式民	宋晓露	周 鹏	鲁大伟
	高 虎	杨春河	邓祥周	薛 涛
	张 莉	高魁旭	吴存德	陈广荣
主 审	刘 舟	韩亚利		

前 言

本书是以教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》为指导,以“必需、够用”为原则进行编写。本书在传统工程力学课程的基础上,对原有的经典内容进行了精选和重组,从工作实际出发,紧贴事物的内在联系,由浅入深地阐明基本概念、基本原理和基本方法,并配有典型例题,让学生通过思考、分析而获得多种能力。

本书在文字表述上既注意各部分内容的层次分明,又注重各部分内容的融会贯通,以便各院校依据不同专业 and 不同学时因材施教。为了便于学习,每章后面均附有思考题和习题,并在附录中给出了答案。

归纳起来,本教材具有以下特点:

- (1) 作为专业基础学习领域课程,以“必需、够用”为度。
- (2) 符合高职学生的学习特点和认知规律。
- (3) 以培养学生技能为主线,进行教材结构设计、内容选择、例题讲解。

本书由宋本超、卞西文任主编,闫永、杜永亮、王炜任副主编,刘舟、韩亚利任主审。其中,第1、2、3、4、6、7、8、9、10章由宋本超编写,第11、12、13章由卞西文编写,第19、20章由闫永编写,第14、15、16章由杜永亮编写,第5、17、18章由王炜编写。参加本书编写工作的还有王士柱、张伟、韩玉勇、杨朝全、王式民、宋晓露、周鹏、鲁大伟、高虎、杨春河、邓祥周、薛涛、张莉、高魁旭、吴存德、陈广荣。全书由宋本超统稿。

本书在编写过程中得到了枣庄科技职业学院、西安航空技术高等专科学校、长沙航空职业技术学院、青岛港湾职业技术学院、中国石油勘探开发研究院的大力支持与帮助,在此表示衷心感谢!本书在编写过程中借鉴了不少同行编写的优秀教材,从中受益不浅,在此,对各位作者表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在一些不足之处,希望读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 静力学

引言	1
第 1 章 静力学基本概念和物体受力分析	2
1.1 静力学的基本概念	2
1.1.1 刚体的概念	2
1.1.2 力的概念	2
1.1.3 集中力与均布载荷	3
1.1.4 力系	3
1.1.5 平衡	4
1.2 静力学公理	4
1.2.1 力的平行四边形法则(公理一)	4
1.2.2 二力平衡公理(公理二)	4
1.2.3 加减平衡力系公理(公理三)	5
1.2.4 作用和反作用定律(公理四)	7
1.3 约束和约束反力	7
1.3.1 约束相关概念	7
1.3.2 常见的约束类型	8
1.4 物体的受力分析和受力图	11
思考题	14
习题	14
第 2 章 简单力系	17
2.1 汇交力系合成与平衡的几何法	17
2.1.1 汇交力系合成的几何法	17
2.1.2 平面汇交力系平衡的几何条件	18
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	19
2.2.1 力在坐标轴上的投影	20
2.2.2 合力投影定理	20
2.2.3 平面汇交力系合成的解析法	21

4.4 重心与形心	56
4.4.1 物体的重心	56
4.4.2 平面图形的形心	57
4.4.3 用组合法确定平面组合图形的形心	58
思考题	59
习题	59

第二篇 材料力学

引言	62
第5章 轴向拉伸和压缩	66
5.1 轴向拉伸与压缩的概念	66
5.2 截面法、轴力、轴力图	66
5.2.1 内力的概念	66
5.2.2 截面法	67
5.2.3 轴力与轴力图	68
5.3 截面上的应力	70
5.3.1 应力的概念	70
5.3.2 轴向拉伸或压缩时横截面上的正应力	71
5.3.3 轴向拉伸或压缩时斜截面上的正应力	72
5.4 轴向拉伸或压缩时的变形及胡克定律	73
5.4.1 纵向变形	73
5.4.2 胡克定律	73
5.4.3 横向变形	74
5.5 材料在拉伸与压缩时的机械性能	74
5.5.1 低碳钢在拉伸时的机械性质	75
5.5.2 其他塑性材料在拉伸时的机械性质	77
5.5.3 铸铁在拉伸时的机械性质	77
5.5.4 常温静载下压缩时材料的力学性能	77
5.6 轴向拉伸或压缩时的强度计算	78
5.6.1 失效与许用应力	78
5.6.2 强度条件	79
5.7 简单拉(压)超静定问题	81
5.7.1 简单拉压超静定问题的解法	81
5.7.2 温度应力的概念	83
5.7.3 装配应力的概念	83

2.2.4	平面汇交力系平衡的解析条件	22
2.3	力对点之矩与合力矩定理	24
2.3.1	力对点之矩的概念	24
2.3.2	合力矩定理	25
2.4	平面力偶理论	26
2.4.1	力偶的概念	26
2.4.2	力偶的性质	27
2.4.3	平面力偶系的合成	27
2.4.4	平面力偶系的平衡条件	27
	思考题	28
	习题	29
第3章	平面任意力系	32
3.1	力的平移定理	32
3.2	平面任意力系向一点简化	33
3.2.1	平面任意力系向一点简化	33
3.2.2	平面一般力系简化结果	34
3.3	平面任意力系的平衡条件	36
3.3.1	平面一般力系的平衡条件和平衡方程	36
3.3.2	平面平行力系的平衡方程	37
3.4	静定与超静定问题的概念及物体系统的平衡	40
3.4.1	静定与超静定问题	40
3.4.2	物体系统的平衡	40
3.5	考虑摩擦时的平衡问题	42
	思考题	45
	习题	45
第4章	空间力系	49
4.1	力在空间直角坐标轴上的投影	50
4.1.1	力在空间直角坐标轴上的投影	50
4.1.2	合力投影定理	51
4.2	力对轴的矩	52
4.2.1	力对轴之矩	52
4.2.2	合力矩定理	53
4.3	空间力系的平衡及其应用	53
4.3.1	空间力系的简化	53
4.3.2	空间力系的平衡方程	54
4.3.3	空间任意力系的平衡问题转化为平面问题的解法	55

8.1.3 梁的分类	119
8.2 剪力与弯矩	120
8.2.1 剪力和弯矩的概念	120
8.2.2 剪力和弯矩符号的规定	121
8.3 剪力、弯矩方程与剪力、弯矩图	123
8.3.1 剪力和弯矩方程	123
8.3.2 剪力和弯矩图	123
8.4 弯矩、剪力和载荷集度之间的关系	127
思考题	132
习题	132
第9章 弯曲应力	135
9.1 弯曲时的正应力	135
9.1.1 梁的纯弯曲概念	135
9.1.2 纯弯曲平面假设	135
9.1.3 纯弯曲应力	136
9.1.4 截面惯性矩的计算	139
9.2 横力弯曲时梁横截面上的正应力	141
9.2.1 横力弯曲正应力公式	141
9.2.2 弯曲正应力的强度条件	142
9.3 弯曲切应力简介	145
9.4 提高梁弯曲强度的主要措施	147
9.4.1 选择合理的截面形状	147
9.4.2 合理布置载荷和支座位置	149
思考题	150
习题	150
第10章 弯曲变形	153
10.1 弯曲变形的概念	153
10.2 梁的挠曲线近似微分方程	154
10.3 用积分法求弯曲变形	155
10.4 用叠加法求梁的变形	158
10.5 简单超静定梁的解法	159
10.6 梁的刚度校核和提高刚度的措施	161
10.6.1 梁的刚度条件	161
10.6.2 提高梁的弯曲刚度的措施	162
思考题	162

5.8 应力集中的概念	84
思考题	85
习题	85
第 6 章 剪切与挤压	89
6.1 剪切的概念与实用计算	89
6.1.1 剪切的概念	89
6.1.2 剪切的实用计算	90
6.2 挤压的概念与实用计算	91
6.2.1 挤压的概念	91
6.2.2 挤压的实用计算	92
思考题	96
习题	97
第 7 章 圆轴扭转	99
7.1 圆轴扭转的概念	99
7.2 扭矩与扭矩图	100
7.2.1 外力偶矩的计算	100
7.2.2 扭矩与扭矩图	100
7.3 纯剪切及剪切胡克定律	104
7.3.1 薄壁圆筒扭转试验	104
7.3.2 切应力互等定理	105
7.3.3 剪切胡克定律	105
7.4 圆轴扭转时的应力和强度条件	105
7.4.1 圆轴扭转时的应力	105
7.4.2 圆轴极惯性矩 I_p 和抗扭截面模量 W_p 的计算	108
7.4.3 圆轴扭转的强度条件	110
7.5 圆轴扭转时的变形和刚度条件	111
7.5.1 圆轴扭转时的变形	111
7.5.2 圆轴扭转时的刚度条件	112
思考题	114
习题	115
第 8 章 弯曲内力	118
8.1 引言	118
8.1.1 弯曲的概念	118
8.1.2 梁的支承简化	118

习题	196
----------	-----

第三篇 运动学与动力学

第 14 章 点的运动	198
14.1 自然法	198
14.1.1 点的运动方程	198
14.1.2 点的速度	198
14.1.3 点的加速度	199
14.2 直角坐标法	202
14.2.1 点的运动方程	202
14.2.2 点的速度	203
14.2.3 点的加速度	204
思考题	205
习题	206
第 15 章 刚体的基本运动	208
15.1 刚体平动	208
15.1.1 刚体平动概念	208
15.1.2 平移刚体上各点的轨迹、速度、加速度特征	208
15.2 刚体的定轴转动	209
15.2.1 转动方程	210
15.2.2 角速度	210
15.2.3 角加速度	210
15.3 定轴转动刚体上点的速度和加速度	212
15.3.1 定轴转动刚体上点的运动方程	212
15.3.2 定轴转动刚体上点的速度	212
15.3.3 定轴转动刚体上点的加速度	212
思考题	215
习题	215
第 16 章 点的合成运动	217
16.1 点的合成运动的概念	217
16.2 点的速度合成定理	217
思考题	219
习题	220

习题	162
第 11 章 应力状态分析和强度理论	165
11.1 应力状态的概念	165
11.2 平面应力状态分析	166
11.2.1 斜截面应力	166
11.2.2 应力圆	168
11.2.3 平面应力状态主应力	169
11.2.4 最大切应力的确定	170
11.3 强度理论	171
11.3.1 强度理论的概念	171
11.3.2 四个强度理论	171
11.3.3 单向与纯剪切组合应力状态的强度条件	172
思考题	174
习题	175
第 12 章 组合变形	177
12.1 组合变形的概念与叠加原理	177
12.2 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	177
12.3 弯曲与扭转的组合	181
思考题	184
习题	185
第 13 章 压杆稳定	187
13.1 压杆稳定的概念	187
13.2 细长压杆的临界载荷	187
13.2.1 理想压杆的临界载荷	187
13.2.2 压杆临界载荷的计算	188
13.3 欧拉公式的适用范围和经验公式	189
13.4 压杆稳定性校核	193
13.5 提高压杆稳定性措施	194
13.5.1 选择合理的截面形状	194
13.5.2 减小压杆的长度	194
13.5.3 改善杆端约束情况	195
13.5.4 合理地选用材料	195
思考题	195

20.2.1 刚体平动	258
20.2.2 刚体绕定轴转动	258
20.2.3 轴承的动反力	259
思考题	260
习题	260
附录 I 常用图形的几何性质	263
附录 II 型钢表	264
附录 III 习题答案	268
参考文献	274

第 17 章 刚体的平面运动	222
17.1 刚体平面运动的运动分解	222
17.2 平面图形上点的速度	223
思考题	226
习题	226
第 18 章 质点和刚体动力学基础	229
18.1 动力学基本定律	229
18.1.1 第一定律(惯性定律)	229
18.1.2 第二定律(力与加速度关系定律)	229
18.1.3 第三定律(作用与反作用定律)	230
18.2 质点运动微分方程	230
18.2.1 直角坐标形式的质点运动微分方程	230
18.2.2 自然坐标形式的质点运动微分方程	231
18.3 刚体定轴转动微分方程和转动惯量	233
18.3.1 刚体定轴转动的微分方程	233
18.3.2 刚体的转动惯量	234
思考题	238
习题	239
第 19 章 动能定理	241
19.1 力的功、功率和机械效率	241
19.1.1 力的功	241
19.1.2 常见力的功	242
19.1.3 功率和机械效率	244
19.2 动能和动能定理	246
19.2.1 动能	246
19.2.2 动能定理	249
思考题	253
习题	253
第 20 章 动静法	256
20.1 惯性力与质点的达朗贝尔原理	256
20.1.1 惯性力的概念	256
20.1.2 质点的达朗贝尔原理	257
20.2 刚体的惯性力简化及轴承反力	258

第一篇 静力学

引言

静力学是研究物体在力系作用下的平衡规律的科学。

所谓力系,是指作用在物体上的一群力。

静力学中的“平衡”是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动。如桥梁、机床的床身、作匀速直线飞行的飞机等,都是处于平衡状态。平衡是物体运动的一种特殊形式。

在静力学中,我们将研究以下 3 个问题。

1. 物体的受力分析

即分析某个物体共受几个力,以及每个力的作用线位置、大小和方向。

2. 力系的等效替换

即将作用在物体上的一个力系用另一个与它等效的力系来代替。这两个力系互为等效力系。如果用一个简单力系等效地替换一个复杂力系,则称为力系的简化。若一力与一力系等效,则称此力为力系的合力,而该力系中的诸力称为这个合力的分力。研究力系的简化是为了建立力系的平衡条件。

在研究力系等效替换的问题时,物体并不一定处于平衡状态,我们可以暂不考虑物体的运动,而仅研究作用力的替换。例如:飞行中的飞机,受到升力、牵引力、重力、空气阻力等作用,这群力错综复杂地分布在飞机的各部分,每个力都影响飞机的运动。要想确定飞机的运动规律,必须了解这群力总的作用效果,这就需要用简单的等效力系来代替这群复杂的力,然后再进行运动的分析。所以研究力系的简化是为了导出力系的平衡条件,同时也是为动力学提供基础。

3. 建立各种力系的平衡条件

即研究物体平衡时,作用在物体上的各种力系所需满足的条件。

力系的平衡条件,在工程实际中有着十分重要的意义。在设计建筑物的构件、工程结构和作匀速直线运动或等速回转的机械零件时,需要先分析物体的受力情况,再应用平衡条件计算所受的未知力,最后按照材料的性能确定几何尺寸或选择适当的材料品种。有时当机械零件的运动虽非匀速但速度较低或加速度较小时,也可近似地应用平衡条件进行计算。因此,力系的平衡条件是设计构件、结构和机械零件时进行静力计算的基础。由此可知,静力学在工程实际中有着广泛的应用。

满足平衡条件的力系称为平衡力系。

第 1 章 静力学基本概念和物体受力分析

本章主要介绍三部分内容:一是静力学基本概念(力、刚体、平衡和约束),二是静力学公理,三是物体的受力分析(能正确地分析受力情况,画出单个物体和物系的受力图,这是本章的重点)。它们是工程力学中重要的基本内容。

1.1 静力学的基本概念

1.1.1 刚体的概念

所谓刚体,是在力的作用下保持形状和大小不变的物体,即在力的作用下其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。这是一个理想化的力学模型。实际物体在力的作用下,都会产生程度不同的变形。但是,这些微小的变形,对研究物体的平衡问题不起主要作用,可以略去不计,这样可使问题的研究大为简化。这种撇开次要矛盾,抓住主要矛盾的做法是科学的抽象。但是不应该把刚体的概念绝对化。例如,在研究飞机的平衡问题或飞行规律时,我们可以把飞机看作刚体,可是在研究飞机的颤振问题时,机翼等的变形虽然非常微小,但必须把飞机看作弹性体;又例如,在计算某些工程结构时,如果不考虑它们的变形,而仍使用刚体的概念,则问题将成为不可解的。

1.1.2 力的概念

力是物体间相互的机械作用。这种作用使物体的机械运动状态发生变化,或使物体变形。

物体受力后产生两种效应。

(1) 外效应(运动效应):使物体的运动状态发生变化。

(2) 内效应(变形效应):使物体的形状发生变化。

静力学只研究力对物体的外效应。

实践表明,力对物体的作用效果取决于 3 个要素:①力的大小;②力的方向;③力的作用点。只要其中的任何一个量改变,该力对物体的作用效应就要改变。

力是矢量,可记作 F 。如图 1-1 中的 F 是用一个带箭头的有向线段 AB 来同时表示力的 3 个要素。

(1) 力的大小。表示物体的机械作用的强弱。用线段 AB 的长度按一定的比例尺表示。在国际单位制中,以“牛顿”作为力的单位,记作 N 。有时也以“千牛顿”作为单位,记作 kN , $1kN = 10^3N$ 。

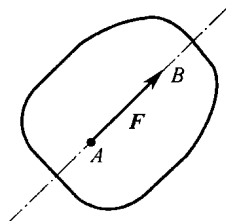


图 1-1

(2) 力的方向。表示物体的机械作用具有方向性。力的方向包括力的作用线在空间的方位和力沿作用线的指向,用箭头表示力的方向。

(3) 力的作用点。作用点是力作用在物体上的部位。

1.1.3 集中力与均布载荷

作用于物体的力又可称为载荷。无论其来源如何,按其作用方式可分为体积力和表面力。体积力是作用在物体内部所有质点上的力,例如重力、惯性力等。体积力的单位是 N/m^3 或 kN/m^3 。表面力是作用于物体表面的力,可分为集中力和分布力。

沿某一面或长度连续作用于构件上的力,称为分布力或分布载荷,如图 1-2(c)所示。分布在一定面积上的分布力,单位用 N/m^2 或 kN/m^2 。当分布力系在其作用面上呈均匀分布时,也称为均布力系或均布载荷。作用于油缸内壁的油压力、作用于船体上的水压力等均为沿面积的分布力。沿长度分布的分布力,单位用 N/m 或 kN/m 。楼板对屋梁的作用力,就是以沿梁的轴线每单位长度内作用多少力来度量的。若作用于构件上外力分布的面积远远小于物体的整体尺寸,或沿长度的分布力,其分布长度远小于轴线的长度,则这样的外力就可以看成是作用于一点的集中力,如图 1-2(a)、(b)所示。火车轮子对钢轨的压力、轴承对轴的反力都是集中力。集中力的单位是 N 或 kN 。

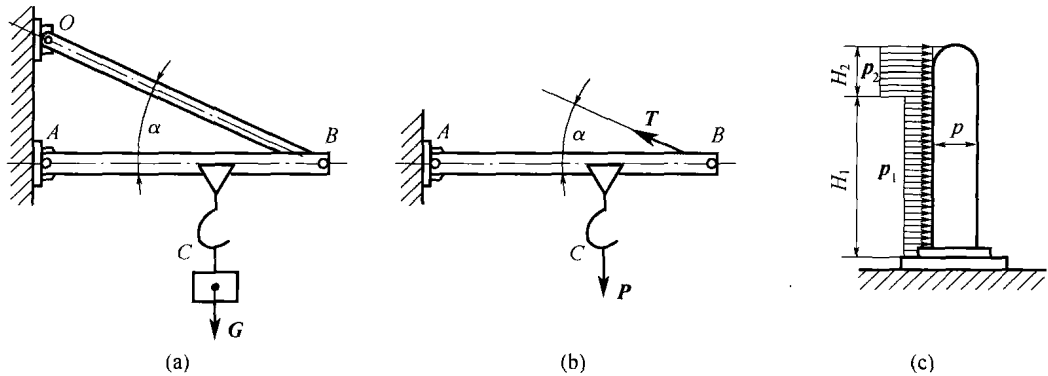


图 1-2

1.1.4 力系

作用于同一物体上的两个或两个以上的力所组成的系统,称为力系。如果作用在一物体上的力系可以用另一力系代替,而不改变对物体的作用效应,则这两个力系互为等效。如果一个力和一个力系等效,则称此力为该力系的合力,该力系中的各力为此力的分力。力系可分为平面力系和空间力系两大类。若组成力系各力的作用线都处在同一平面内,则称为平面力系;若组成力系各力的作用线不都处在同一平面内,则称为空间力系。

平面力系又分为以下几种。

平面汇交力系:所有力的作用线交于一点的平面力系。

平面平行力系:所有力的作用线都相互平行的平面力系。

平面任意力系:所有力的作用线既不相交于一点,也不完全平行的平面力系。

空间力系又分为以下几种。