



普通高校“十三五”规划教材

ONGCHENGLIXU

工程力学

付彦坤 戴葆青 ©主编



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高

工程力学

付彦坤 戴葆青 主编

北京航空航天大学出版社

2016年6月

内 容 简 介

本书充分考虑了当前工科院校各专业的《工程力学》课程开设学时情况,在课程体系上进行了较大幅度的改革创新,在保留经典内容的基础上,力求基本概念与论述简明扼要,易于读者理解与掌握。其目的是为培养适合 21 世纪要求的高素质复合型人才服务。

本教材可供 80 学时以内的专业选用,内容包括:静力学和材料力学两大部分。可供高等工科院校的航空航天、机械、交通与车辆工程、土木建筑、水利水电、机电、采矿、机电一体化等专业选用,或作自学、函授及各类辅导教材。其中打“*”的内容为选学内容,可根据各专业的学时要求及具体的教学需要选用;也可供其他专业和有关工程技术人员选用。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学. / 付彦坤,戴葆青主编. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2016.7
ISBN 978-7-5124-2180-6

I. ①工… II. ①付…②戴… III. ①工程力学—高等学校—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 146423 号

版权所有,侵权必究。

工 程 力 学

付彦坤 戴葆青 主编

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京泽宇印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:23 字数:490 千字

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-2180-6 定价:44.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

“科技是国家强盛之基,创新是民族进步之魂”。教材需要与时俱进,应该不断地把科技发展的一些相关新内容引入教材。本教材是一本“新形态”教材,即纸质教材与数字课程相结合。对于不宜用文字表达或因篇幅所限无法纳入的重要内容在纸质教材中嵌入了二维码,读者可以用智能手机扫描二维码看到微视频,既使教材变得生动,又让读者感到创新就在身边。

本教材纸质内容是根据教育部高等学校力学教学指导委员会最新颁布的《理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》,结合目前普通工科大学《工程力学》教学及教材现状,在参考多本优秀教材(见参考文献)的基础上编写的。

编写时,充分吸取了各校近年来《工程力学》课程教学改革的经验。在内容编排上,将传统内容与近代力学的新概念、新内容、新方法相结合,紧密联系工程实际和科技发展。在编写过程中注意了基本概念和分析方法的严格性,在内容上力求精炼。为便于教师执教、学生自学,适当增加了小标题,且章前有内容提要,章后附有思考题、习题,以供选用。本书采用国家标准规定的单位和符号。

本教材在编写过程中得到了浙江大学庄表中教授的指导和帮助,庄表中教授为本教材提出了许多宝贵的建议,并无偿提供了许多宝贵的素材,本教材中的28个微视频全部由庄表中教授提供,在此对庄表中教授表示衷心的感谢!

本教材由付彦坤(第1、4、17章)、戴葆青(绪论、第15章)、赵同彬(13章、附录)、马静敏(12章)、马长青(第8章)、陈俊国(第3章)、高明(第6章)、赵增辉(第14章)、杨坤(第19章)、李翠赞(第11章)、闫承俊(16章)、许兴明(第9章)、王衍国(第2章)、谭涛(第7章)、李龙飞(第18章)、郝鹏(第5章)、吕艳伟(第10章)合编。

本书呈山东农业大学林成厚教授审阅,林成厚教授提出了很多宝贵意见,特此致谢。

因编者水平有限,书中难免存在缺点和不妥之处,恳切希望广大教师、读者批评指正,使本书逐渐完善。

编 者
2016年6月

《工程力学》编著人员

主 编 付彦坤 戴葆青

副主编 赵同彬 马静敏 马长青

参 编 陈俊国 高明 赵增辉 杨 坤

李翠赞 闫承俊 许兴明 王衍国

李龙飞 谭 涛 郝 鹏 吕艳伟

增值服务说明

本书为读者免费提供视频和动图,以二维码的形式分别印在书中对应位置,请扫描二维码下载。读者也可以通过以下网址从“百度云”下载全部资料:<http://pan.baidu.com/s/1b1zS54>。

二维码使用提示:手机安装有“百度云”App 的用户可以扫描并保存到云盘中;未安装“百度云”App 的用户建议使用 QQ 浏览器直接下载文件;ios 系统的手机在扫描前需要打开 QQ 浏览器,单击“设置”,将“浏览器 UA 标识”一栏更改为 Android;Android 等其他系统手机可直接扫描、下载。

配套资料下载或与本书相关的其他问题,请咨询理工图书分社,电话:(010)82317036,(010)82317037。

目 录

第 0 章 绪 论	1
-----------	---

第一篇 刚体静力学

第 1 章 刚体静力学基础	5
---------------	---

1.1 静力学基本概念	5
1.2 静力学公理	6
1.3 约束和约束反力	8
1.4 受力分析与受力图	12
思考题	17
习 题	18

第 2 章 平面汇交力系	20
--------------	----

2.1 平面汇交力系合成的几何法与平衡的几何条件	20
2.2 平面汇交力系合成的解析法	23
2.3 平面汇交力系的平衡方程及其应用	25
思考题	27
习 题	27

第 3 章 平面力偶系	30
-------------	----

3.1 力对点之矩	30
3.2 力偶与力偶矩	32
3.3 平面力偶的等效条件	33
3.4 平面力偶系的合成与平衡	34
思考题	36
习 题	37

第 4 章 平面任意力系	40
--------------	----

4.1 力线平移定理	40
------------	----

4.2 平面任意力系的简化及简化结果的讨论	41
4.3 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	47
4.4 静定与超静定问题的概念·物体系统的平衡	53
4.5 简单平面桁架的内力计算	60
思考题	65
习题	66
第5章 摩擦	73
5.1 滑动摩擦	73
5.2 考虑摩擦时的平衡问题	78
5.3 滚动摩擦简介	82
思考题	84
习题	85
第6章 空间力系	88
6.1 力在空间直角坐标轴上的投影及分解	88
6.2 空间力对点之矩和力对轴之矩	89
* 6.3 空间力偶	93
6.4 空间任意力系向任意点简化	94
6.5 空间任意力系的平衡方程及其应用	96
6.6 平行力系的中心及物体的重心	101
思考题	109
习题	109

第二篇 材料力学

第7章 材料力学概念	117
7.1 材料力学的任务	117
7.2 变形固体的基本假设	119
7.3 杆件基本变形形式	119
7.4 内力、截面法和应力	121
思考题	123

第 8 章 轴向拉伸与压缩	124
8.1 轴向拉伸与压缩的概念	124
8.2 拉伸与压缩时横截面上的内力——轴力	124
8.3 轴向拉伸与压缩时横截面上的应力	127
8.4 拉伸与压缩时斜截面上的应力	128
8.5 拉伸与压缩时的变形	129
8.6 静定结构节点的位移计算	132
8.7 材料的力学性质	136
8.8 轴向拉伸与压缩时的强度计算	142
8.9 拉(压)杆的超静定问题	145
8.10 应力集中的概念	150
思考题	151
习 题	152
第 9 章 剪切与挤压	158
9.1 概 述	158
9.2 剪切和挤压的实用计算	159
9.3 应用举例	161
思考题	165
习 题	165
第 10 章 平面图形的几何性质	168
10.1 形心和面矩	168
10.2 惯性矩和惯性半径	170
10.3 组合图形的惯性矩	174
* 10.4 转轴公式与主惯性轴	177
思考题	179
习 题	179
第 11 章 扭 转	182
11.1 圆轴扭转的概念	182
11.2 扭矩和扭矩图	183
11.3 纯剪切	185

11.4	圆轴扭转时横截面上的应力	187
11.5	圆轴扭转时的变形	191
11.6	圆轴扭转时的强度和刚度计算	192
	思考题	196
	习题	197
第 12 章	弯曲内力	201
12.1	平面弯曲的概念和梁的计算简图	201
12.2	弯曲时横截面上的内力——剪力和弯矩	203
12.3	剪力方程和弯矩方程、剪力图和弯矩图	207
12.4	载荷集度、剪力和弯矩之间的关系	210
	思考题	215
	习题	215
第 13 章	弯曲应力及弯曲强度计算	219
13.1	纯弯曲梁横截面上的正应力	219
13.2	弯曲切应力	225
13.3	弯曲梁的强度计算	228
13.4	提高梁的弯曲强度的措施	231
	思考题	237
	习题	238
第 14 章	梁的弯曲变形及其刚度计算	241
14.1	工程中的弯曲变形问题	241
14.2	挠曲线近似微分方程	242
14.3	用积分法求梁的挠度和转角	244
14.4	用叠加法求挠度和转角	253
14.5	梁的刚度计算	254
14.6	提高梁的刚度的措施	256
	思考题	258
	习题	258
第 15 章	应力状态分析及强度理论	262
15.1	点的应力状态及其分类	262

15.2 二向应力状态分析	264
15.3 三向应力状态简介	276
15.4 广义胡克定律	278
15.5 四个基本强度理论及莫尔强度理论	282
思考题	286
习题	288
第 16 章 组合变形构件的强度计算	291
16.1 组合变形与力的独立作用原理	291
16.2 拉伸(压缩)与弯曲组合变形的强度计算	292
16.3 弯曲与扭转组合变形的强度计算	297
思考题	302
习题	303
第 17 章 压杆稳定	307
17.1 压杆稳定的概念	307
17.2 细长压杆的临界力	309
17.3 临界应力及临界应力总图	312
17.4 压杆的稳定计算	317
17.5 提高压杆稳定性的措施	319
思考题	321
习题	322
第 18 章 交变应力	325
18.1 交变应力的概念	325
18.2 交变应力的循环特性及其类型	325
18.3 材料在交变应力下的疲劳破坏	328
18.4 材料的持久极限	329
18.5 影响构件持久极限的主要因素	331
18.6 对称循环交变应力下构件的强度校核	333
18.7 提高构件疲劳强度的措施	335
思考题	336
习题	337

第 19 章 动荷应力	338
19.1 动载荷与动应力的概念	338
19.2 构件作匀加速直线运动和匀速转动时的应力计算	338
19.3 冲击应力	342
19.4 提高构件抗冲击能力的措施	346
思考题	348
习 题	348
附录 型钢表	352
参 考 文 献	358

第0章 绪论

工程力学是一门与工程技术联系极为广泛的技术基础课。

工程力学既研究物体运动的一般规律,又研究物体在力作用下的变形规律。本课程随着研究问题的不同,研究对象可以是刚体,也可以是变形体。

刚体是指在力的作用下,大小和形状始终不变的物体。也就是说,物体任意两点之间的距离保持不变。在实际问题中,任何物体在力的作用下或多或少都会产生变形,如果物体变形不大或变形对所研究的问题没有实质影响,则可将物体视为刚体。

工程力学的研究对象往往相当复杂,在解决实际工程问题时,常需抓住一些本质性的主要因素,略去次要因素,从而抽象为力学模型作为研究对象,因此抽象化是研究工程力学问题的重要方法。但是任何抽象都必须是科学的、有条件的,当研究问题的条件改变了,原来的力学模型则不再适用,必须考虑新的因素,建立新的模型。例如,当研究物体的平衡和运动规律时,便可将物体抽象为刚体,但当问题涉及构件的变形时,则刚体的概念不再适用,必须把物体看成是变形体,建立新的力学模型(在第7章详细介绍)。

力学是人类在认识自然、改造自然的过程中,对客观自然规律的认识不断积累、应用和完善逐渐形成和发展起来的。它涉及众多的力学学科分支与广泛的工程技术学科。20世纪以前,推动近代科学技术与社会进步的蒸汽机(见图0-1)、内燃机、铁路、桥梁、船舶、兵器等,无一不是在力学知识的累积、应用和完善的基础之上逐渐形成和发展起来的。

20世纪产生的诸多高新技术,如高层建筑、大跨度桥梁(见图0-2)、高速公路(见图0-3)、海洋平台、大型水利工程(见图0-4)、精密仪器、航空航天器(见

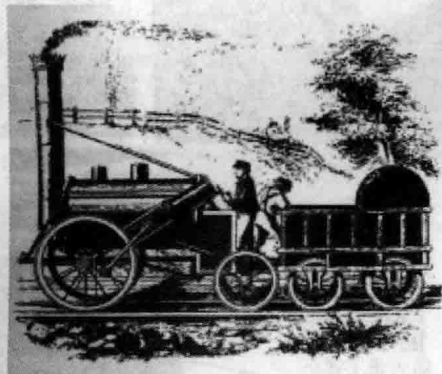


图0-1 蒸汽机



“嫦娥三号”
登月之旅



大桥顺利转体



世界最大沉井

图 0-5)、机器人等许多重要工程更是在力学指导下得以实现,并不断发展完善的。进入 21 世纪我国在高端科技领域的力学研究及应用更是迅速发展,如多个动力源带动的高速列车(见图 0-6)、隔震支座的剪压同时受力的应力计算、深海探索蛟龙号容器设计等都是力学应用的具体体现。我国著名力学家钱学森先生说“力学走过了从工程设计的辅助手段到中心的主要手段,不是唱配角而是唱主角了。”我国的力学已经进入了一个崭新的发展时期!

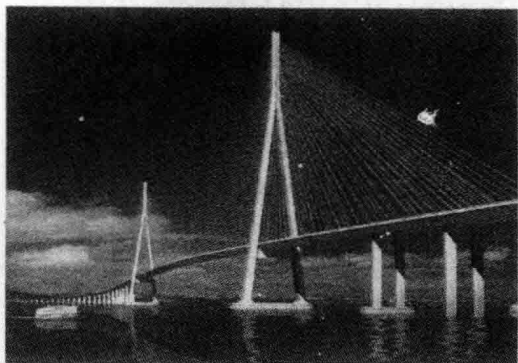


图 0-2 大跨度桥梁



图 0-3 高速公路



图 0-4 大型水利工程

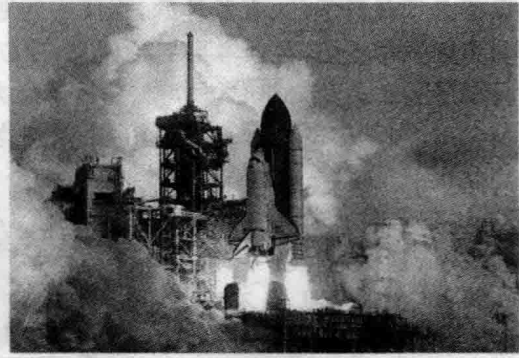


图 0-5 航天发射器

全国首次
太空授课航天员王亚平
出仓

机器人应用实例

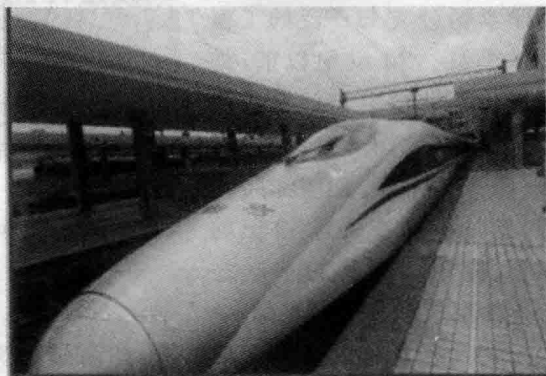


图 0-6 高速列车

第1章 刚体静力学基础

第一篇 刚体静力学

静力学主要研究物体在力作用下的平衡问题。

物体在力系作用下处于平衡的条件称为力系的平衡条件。为了研究力系的平衡条件,除首先必须对物体进行受力分析以外,还必须将较为复杂的力系换成另一个与它作用效果相同的简单力系,这个过程称为力系的简化。因此,静力学研究的主要内容是:物体受力分析;力系的简化;力系的平衡条件及应用。

静力学主要以刚体为研究对象,所以也称刚体静力学。



图 1-1

在本章中,凡用斜体字母表示,即力系,是指这个力系的大小(标量)用阿拉伯数字表示,如力,如力,如力。

即用在物体上的一群力称为力系。力系按作用线在一直线上,称为力系为平面力系,有作用线为空间分布,称为力系为空间力系,力的作用线汇于同一点,称为力系为平面汇交力系或空间汇交力系,力的作用线互相平行,称为力系为平面平行力系

第 1 章 刚体静力学基础

静力学的基本概念、公理及物体的受力分析是研究静力学的基础。本章将介绍刚体与力的概念及静力学公理,并阐述工程中常见的约束和约束反力的分析;最后介绍物体的受力分析及受力图。这些是解决力学问题的重要环节。

1.1 静力学基本概念

1.1.1 力和力系

力是物体间的相互作用,这种作用使物体的运动状态和物体的形状发生变化。有一个力,就必然有一个施力物体和一个受力物体,离开物体间的相互作用是不能进行受力分析的。物体间相互作用力的形式多种多样,归纳起来可分为两大类:一类是物体间的直接接触作用产生的作用力,如压力、摩擦力等;另一类是通过场的作用产生的作用力,如万有引力场、电磁场对物体作用的万有引力和电磁力。

由观察和实验可知,力对物体的作用效果完全取决于力的三要素,即力的大小、力的方向和力的作用点。其中任何一个要素发生变化,力的作用效应也随之发生变化。

力是具有大小和方向的量,即力是矢量。它常用带箭头的直线线段或黑体字母来表示,如图 1-1 所示。其中线段 AB 的长度(按一定的比例)表示力的大小,图 1-1 线段的方位(与水平方向的夹角 θ)和带箭头的指向表示力的方向,线段的起点或终点表示力的作用点。过力的作用点沿力的矢量方向画出直线 KL ,称为力的作用线。

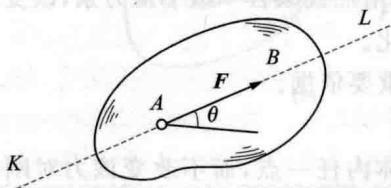


图 1-1

在国际单位制(SI)中,力的单位是 N 或 kN。

在本书中,凡是矢量都用粗斜体字母表示,如力 $\mathbf{F}$;而这个矢量的大小(标量)则用斜体的同一字母(细体)表示,如 F 。

作用在物体上的一群力称为力系。力的作用线在同一平面内,该力系称为平面力系;力的作用线为空间分布,该力系称为空间力系;力的作用线汇交于同一点,该力系称为平面汇交力系或空间汇交力系;力的作用线相互平行,该力系称为平面平行力系

或空间平行力系；力的作用线既不平行又不相交，该力系称为平面任意力系或空间任意力系。力系作用于物体上而不改变其运动状态，则称该力系为平衡力系。如果两个力系分别作用于同一个物体上其效应相同，则这两个力系称为等效力系。若一个力与一个力系等效，则称这个力是这个力系的合力，而该力系中的每一个力是这个合力的分力。对一个比较复杂的力系求与它等效的简单力系的过程称为力系的简化。

1.1.2 平衡的概念

平衡是指物体相对于惯性参考系保持静止或匀速直线运动状态。平衡是物体机械运动的一种特殊形式，如静止在地面上的楼房、桥梁等。人们所说的惯性参考系通常是指与地球固连的参考系。

1.2 静力学公理

静力学公理是人们在长期生活和生产中，经过反复观察和实践总结出来的客观规律，它正确地反映了作用于物体上力的基本性质。静力学中所有的定理和结论都是由几个公理推演出来的，这些公理已为大量的实验、观察和实践所证实。

公理一 二力平衡公理

作用于刚体上的两个力，使刚体保持平衡的充分和必要条件是：这两个力的大小相等、方向相反且作用在同一直线上（等值反向共线），如图 1-2 所示。

二力平衡公理表明了作用于刚体上最简单力系平衡时所满足的条件。

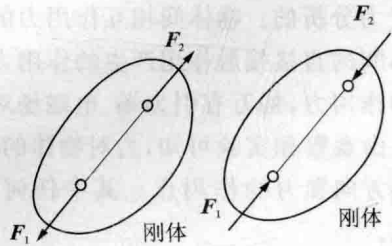


图 1-2

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系上增加或减去一组平衡力系不改变原力系对刚体的作用效应。

这个公理也只适用于刚体。对变形体来说，增加或减去一组平衡力系，改变了变形体各处的受力状态，将引起其内、外效应的变化。

加减平衡力系公理是研究力系等效替换的重要依据。

推论一 力的可传性

作用于刚体上的力可沿其作用线移动到刚体内任一点，而不改变该力对刚体的作用效应。

证明 设力 F 作用于刚体上的 A 点，如图 1-3(a) 所示。在作用线上任一点 B 增加一组平衡力 F' 和 F'' ，且令 $F' = -F'' = F$ ，根据加减平衡力系公理，力 F 与三个力 F 、 F' 、 F'' 等效，如图 1-3(b) 所示。在这三个力中，显然 F 与 F'' 构成一平衡力系，再去掉这两个力，则作用在刚体上 B 点的力 F' 与作用在 A 点的力 F 等效，即力 F 可以