

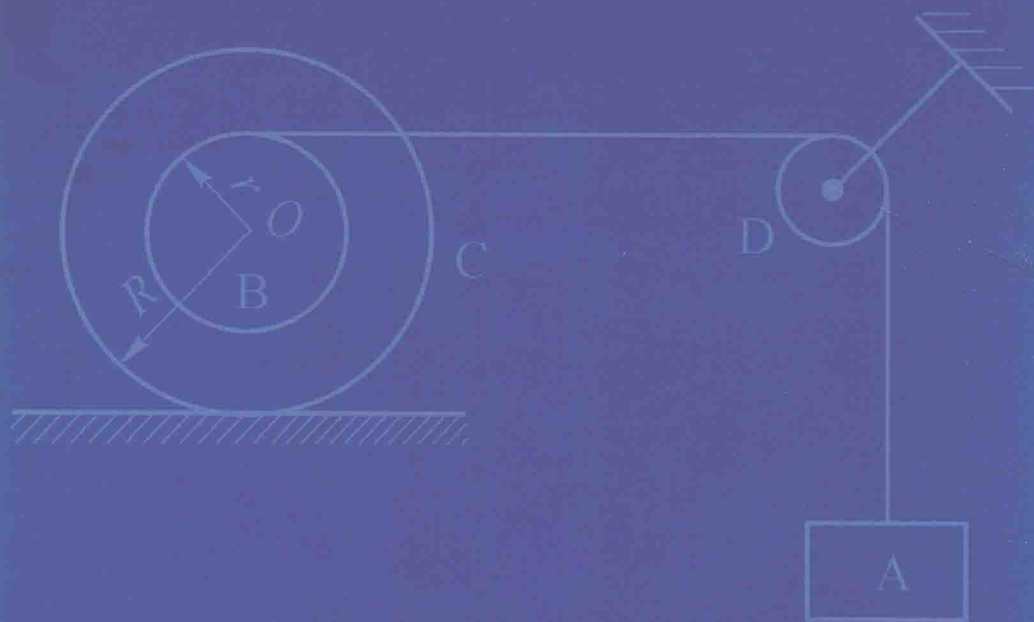


“十三五”普通高等教育规划教材

工程力学 (第2版)

GONGCHENG LIXUE

主 编 冯维明



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com



“十三五”普通高等教育规划教材

工程力学

(第2版)

主 编 冯维明
副主编 赵俊峰 宋 娟



广益教育“九斗”
APP 操作说明

北京邮电大学出版社
· 北京 ·

内 容 简 介

本书共3篇17章。第1篇为刚体静力学,以平面力系为主,兼顾特殊力系在工程中的应用,主要内容为刚体静力学基本概念、力系的简化与平衡和静力学的应用等,共3章。第2篇为材料力学,主要内容为杆件的内力、应力和变形、应力状态理论和强度理论、压杆稳定、动载荷与交变应力等,共7章。第3篇为运动力学,主要内容有运动学基本概念、点的复合运动、刚体的平面运动、质点动力学、动量定理、动量矩定理和动能定理等,共7章。

本书前两篇部分章节适用于中低学时(48~64学时)课程,某些对力学有较高要求的专业(70~90学时)可选用第2、第3篇的部分内容。本书精选了大量例题和习题供读者参考和练习。

本书可作为高等工科院校本、专科各专业教科书,也可供职业院校和成人教育学院师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/冯维明主编.—2版.—北京:北京邮电大学出版社,2017.12

ISBN 978-7-5635-5314-3

I. ①工… II. ①冯… 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(2017)第264765号

-
- | | |
|-------|--|
| 书 名 | 工程力学(第2版) |
| 主 编 | 冯维明 |
| 策 划 人 | 韩 霞 |
| 责任编辑 | 韩 霞 |
| 出版发行 | 北京邮电大学出版社 |
| 社 址 | 北京市海淀区西土城路10号(100876) |
| 电话传真 | 010-82333010 62282185(发行部) 010-82333009 62283578(传真) |
| 网 址 | www.buptpress3.com |
| 电子信箱 | ctrd@buptpress.com |
| 经 销 | 各地新华书店 |
| 印 刷 | 北京泽宇印刷有限公司 |
| 开 本 | 787 mm×1 092 mm 1/16 |
| 印 张 | 23 |
| 字 数 | 587千字 |
| 版 次 | 2017年12月第2版 2017年12月第1次印刷 |

ISBN 978-7-5635-5314-3

定价:52.00元

如有质量问题请与发行部联系

版权所有 侵权必究

第 2 版前言

2012 年出版的第 1 版《工程力学》教材已在国内部分院校使用,得到了广大师生的认可。适逢教育部开展院校评估工作,对人才培养提出了新的要求,工程力学是理工科专业传统的技术基础课,是高校人才培养的起点课程,历来受到各理工科专业的重视。为适应高等教育的新形势、新要求,根据使用学校的意见反馈,在第 1 版教材的基础上进行修订,形成了第 2 版教材。

《工程力学》(第 2 版)保持了第 1 版原有的特色和体系,本着“宽口径、厚基础”的原则,考虑各高校不同层次的教学要求,对内容作了适当增删,同时修正第 1 版中的错误。每一章节进一步明确了基本要求、重点和难点,并结合本章的内容特点给出了合理的学习建议,方便教师课堂讲解,同时方便学生课下温习。

第 2 版教材共 17 章,根据不同课堂学时来安排教学内容。建议 48 学时可讲授第 1~第 7 章内容,64 学时可讲授第 1~第 10 章内容,64 以上学时可酌情选讲第 11~第 17 章的内容。

在第 2 版的教材中采用了双色印刷,让读者耳目一新。对文字中的标题和重点采用不同的颜色标注,对于大量的图形中结构部分和受力部分采用不同颜色绘制,整个版面看起来更加层次分明、分类清晰,使学生对书本内容更容易学习和理解。

本书首次将“互联网+”应用到教材中,着力打造立体化教材,从而实现移动学习功能。通过广益教育“九斗”APP,扫描书中的二维码可查看微课视频、动画、解题思路和拓展讲解,使学生在第二课堂加深理解教材内容,得到更多的知识。其中,带有📖标的二维码是相关知识点的微课和动画视频;带有👤标的二维码是解题思路和拓展讲解微课视频;带有🔑标的二维码是习题答案。广益教育“九斗”APP 操作说明,请扫描扉页中的二维码查看。利用二维码进行辅助教学尚属首次,需要不断积累经验,不断完善,使视频效果更好、内容更丰富。

本教材虽经修改,但受编者水平所限,难免有错误和欠妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2017 年秋于山东大学

主编简介



冯维明

第 1 版前言

随着科学技术的迅速发展,学生的知识结构需要相应地调整,教学计划与管理也在发生变化。工程力学是理工科专业传统的技术基础课,在目前教学中教材内容多与学时少的矛盾很突出,不同的学科、不同的学生对课程的要求也不尽相同。为此,编者一方面考虑到学生基础水平逐年提高,前期课程奠定了扎实的理论基础;另一方面兼顾在我国高等教育的发展与改革中,学校的数量与类型增多,对课程提出了不同层次的要求,本着“提高重心、降低起点”的原则,总结了长期讲授本课程的教学经验和教学改革的成果,参照教育部力学教学指导委员会制定的《力学课程教学基本要求》编写了这本《工程力学》。

本书分为 3 篇共 17 章。

第 1 篇为刚体静力学。其主要内容为静力学基本概念、力系的简化与平衡和静力学的工程应用。将力、力偶的概念和性质、力的合成与分解、约束与约束反力、受力分析等作为静力学基本概念集中在第 1 章中讲授,为后面的知识展开做好铺垫。由于力系简化最主要目的是导出力系的平衡方程,因此将这两个问题放到一章中一气呵成,简化中间环节,以期提高教学效率。为了强化基本概念,使学生对问题有一个全局认识,编者在此章节中采用了从特殊到一般再到特殊的叙述方式引入基本概念。首先介绍了空间汇交力系和力偶系的简化与平衡这一特殊问题,而其后引入的空间任意力系的简化结果即为前两个问题的简化结果,其平衡方程也为前两个问题平衡方程的综合。平面力系和平行力系又可视作空间力系的特殊情况,可根据其限制条件方便地得出其平衡方程,从而大大简化了叙述过程。此外,将工程中常见的重心问题、桁架内力问题及摩擦平衡问题的讨论作为静力学的应用放在一个章节内复述。

第 2 篇为材料力学。前 4 章的叙述次序为基本概念、杆件的内力、杆件的应力和杆件的变形(包括简单超静定问题)。杆件的内力结合静力学中力系的简化方便地推出,各种基本变形下的受力特点一目了然;杆件拉压、扭转和弯曲时横截面上的应力推导为材料力学的重点和难点,放在同一章节讨论可充分理解应力推导过程中几何、物理和静力学三方面关系的结合与应用;拉(压)弯组合变形的强度计算仍属于单向应力状态(不考虑弯曲切应力时),放在杆件的应力一章内;将拉压、扭转和弯曲超静定放在杆件变形章节内的一节中统一叙述,突出了在不同变形下求解超静定结构过程中的关键问题——变形协调方程。能量法在力学中有着极其重要的位置,能量法求梁的弯曲变形和结构位移简练方便,编者将其作为一种求变形的方方法放到杆件的变形章节中,简化推导过程,注重应用求解,既让读者了解到解决复杂问题的途径,又掌握了一种方便求解结构位移的有效方法。本篇前 4 章采用按力学的行为为编排顺序的方法,避免了内容和概念上的重复,将概念相同、研究方法相同的问题集中安排在同一章讨论,使中心明确、重点突出,便于举一反三、易讲易学,从而达到提高教学效率的目的。

本篇后 3 章为应力状态理论和强度理论、压杆稳定及动载荷(含交变应力)。弯扭组合问题的强度计算作为应力状态理论和强度理论的应用出现;交变应力属于动载荷范畴,故与动载荷

合为一章,在教材中偏于对基本概念的理解。

第3篇为运动力学。主要内容包括:运动学基础、点的合成运动、刚体平面运动、质点动力学、动量定理、动量矩定理和动能定理。本篇着重叙述了点和刚体的基本运动规律以及点的复合运动,并应用其解决刚体的平面运动问题;应用动量、动量矩和动能定理求解简单的动力学问题。

本书在每一章开头都作了学习提示,分为本章基本要求、本章重点、本章难点和学习建议四个部分,目的是为了读者在学习每章前能对该章节的主要内容有一个系统的认识和梳理,为按教学大纲的要求迅速掌握该章知识要点提供了方便。每章节后都附有难易不等的大量习题,读者可根据自身情况选做。

本书与同类教材相比,篇幅上得到了简化,但内容上保持完整,真正体现了“宽口径、重基础”的教学理念。

参加本书编写工作的有:冯维明(前言、第4章~第10章),赵俊峰(第13章~第17章),宋娟(第1章~第3章、第11章、第12章),全书由冯维明负责统稿并担任主编。

本书在编写过程中得到许多力学同仁的指导与帮助,书中部分内容也是他们教研成果的体现,在此一并致谢。

本书虽然在内容和体系改革等方面取得了一些成果,但受编者水平所限,欠妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

主要符号表

a	加速度	I_{yz}	对 y, z 轴的惯性积
a_n	法向加速度	J_z	刚体对 z 轴的转动惯量
a_t	切向加速度	J_C	刚体对质心的转动惯量
a_a	绝对加速度	k	弹簧刚度系数
a_r	相对加速度	K_d	动荷因数
a_e	牵连加速度	K_σ, K_τ	有效应力集中因数
A	面积	l, L	长度、跨度
A_{bs}	挤压面积	L_x, L_y, L_z	刚体对 x, y, z 的动量矩
C	重心、截面形心	m	质量
d, D	直径	M_x, M_y, M_z	对 x, y, z 轴的矩
E	弹性模量	M	力偶矩、主矩
EA	抗拉压刚度	$M_O(F)$	力 F 对点 O 的矩
EI	抗弯刚度	n	转速
f	动摩擦因数	n_b, n_s, n_{st}	安全因数
f_s	静摩擦因数	N	应力循环次数、疲劳寿命
F	集中力	p	动量
$[F]$	许可载荷	P	功率
F_{bs}	挤压力	q	载荷集度
F_{cr}	临界力	r	半径、循环特性
F_d	动载荷	R	半径
F_R	主矢、合力	s	弧长
F_S	静滑动摩擦力、剪力	S_y, S_z	对 y, z 轴静矩
F_T	柔性约束力、张力	t	时间、厚度
F_N	法向约束力、轴力	T	动能、扭矩
G	切变模量	v_e	牵连速度
GI_p	抗扭刚度	v	速度
g	重力加速度	v_a	绝对速度
i	惯性半径	v_r	相对速度
I	冲量	v_C	质心速度
I_x, I_y	对 x, y 轴的惯性矩	V	势能、体积
I_p	极惯性矩	V_ϵ	应变能

W	重量、力的功	ρ	密度、曲率半径、回转半径
W_z, W_y	弯曲截面系数	σ	正应力
W_p	扭转截面系数	$\sigma_{p0.2}$	规定非比例伸长应力
ω	挠度	σ_a	应力幅
α_l	线膨胀系数	σ_b	强度极限
α	角加速度、角度坐标	σ_{bs}	挤压应力
β	表面质量因数、角度坐标	σ_{cr}	临界应力
δ	伸长率	σ_d	动应力
Δ	变形、位移	σ_e	弹性极限
Δ_d	动变形	σ_m	平均应力
Δ_{st}	静变形	σ_p	比例极限
ε	线应变	σ_r	相当应力
ε_e	弹性应变	σ_r	循环特征为 r 的疲劳极限
ε_p	塑性应变	σ_s	屈服极限
$\varepsilon_\sigma, \varepsilon_\tau$	尺寸因数	σ_{st}	静应力
λ	压杆的柔度、长细比	σ_u	极限正应力
μ	压杆的长度因数	$[\sigma]$	许用正应力
ν	泊松比	$[\sigma_{bs}]$	许用挤压应力
θ	角度坐标	$[\sigma_{st}]$	稳定许用应力
φ	角度坐标、相对扭转角	τ	切应力
φ'	单位长度扭转角	τ_s	剪切屈服极限
φ_m	摩擦角	τ_u	极限切应力
ψ	断面收缩率	$[\tau]$	许用切应力
γ	角度坐标、切应变	ω	角速度

第 1 篇 刚体静力学

第 1 章 基本概念和受力分析 /2

- 1.1 力与力的投影 /3
 - 1.1.1 力的概念 /3
 - 1.1.2 力的投影 /4
- 1.2 力的基本性质 /4
 - 1.2.1 力的分类 /4
 - 1.2.2 基本公理 /5
- 1.3 力矩与力偶 /6
 - 1.3.1 力对轴之矩 /7
 - 1.3.2 力对点之矩 /7
 - 1.3.3 合力矩定理 /8
 - 1.3.4 力对点之矩与力对过该点的轴之矩的关系 /8
 - 1.3.5 力偶 /9
- 1.4 约束与约束反力 /11
 - 1.4.1 柔性体约束 /11
 - 1.4.2 光滑面约束 /11
 - 1.4.3 光滑铰链约束 /12
 - 1.4.4 固定端约束 /13
- 1.5 物体的受力分析和受力图 /14
- 习题 /17

第 2 章 力系的简化与平衡 /23

- 2.1 汇交力系的简化与平衡 /25
 - 2.1.1 汇交力系的简化 /25

2.1.2 汇交力系的平衡条件和平衡方程 /25

2.2 力偶系的简化与平衡 /27

2.2.1 力偶系的简化 /27

2.2.2 力偶系的平衡条件和平衡方程 /28

2.3 空间任意力系的简化 /29

2.3.1 力的平移定理 /29

2.3.2 空间任意力系向一点的简化 /30

2.3.3 力系的简化结果分析 /31

2.4 空间任意力系的平衡 /33

2.5 平面任意力系的平衡 /35

2.6 刚体系统的平衡·静定与超静定概念 /38

习题 /42

第 3 章 静力学应用问题 /49

- 3.1 平行力系的简化·重心 /50
 - 3.1.1 平行力系的简化和平行力系的中心 /50
 - 3.1.2 物体的重心 /51
- 3.2 平面静定桁架 /57
 - 3.2.1 节点法 /57
 - 3.2.2 截面法 /59
- 3.3 考虑摩擦时的平衡 /60
 - 3.3.1 滑动摩擦 /60
 - 3.3.2 摩擦角和自锁 /61
 - 3.3.3 考虑摩擦时的平衡问题 /63
- 习题 /65

第2篇 材料力学

第4章 材料力学基本概述 /74

- 4.1 变形固体的基本假设 /74
- 4.2 材料力学的基本概念 /75
 - 4.2.1 内力、截面法和应力 /75
 - 4.2.2 应变 /77
 - 4.2.3 单向应力、纯剪切与切应力互等定理 /77
 - 4.2.4 胡克定律 /78
- 4.3 杆件变形的基本形式 /78

第5章 杆件的内力 /80

- 5.1 杆件内力的一般描述 /81
- 5.2 杆件拉伸(压缩)时的内力 /82
- 5.3 杆件扭转时的内力 /83
- 5.4 梁弯曲时的内力·剪力与弯矩 /86
 - 5.4.1 平面弯曲的概念及梁的简化 /86
 - 5.4.2 剪力与弯矩 /87
- 5.5 剪力图与弯矩图 /89
- 5.6 剪力、弯矩与载荷集度间的微分关系 /92

习题 /98

第6章 杆件的应力 /103

- 6.1 基本概念 /104
- 6.2 杆件在拉伸与压缩时的应力与强度计算 /105
 - 6.2.1 拉(压)杆横截面上的应力 /105
 - 6.2.2 拉(压)杆斜截面上的应力 /107
 - 6.2.3 杆件在拉伸与压缩时的强度计算 /108
- 6.3 材料的力学性能·安全因数和许用应力 /111
 - 6.3.1 拉伸时材料的力学性能 /111
 - 6.3.2 压缩时材料的力学性能 /113
 - 6.3.3 材料的极限应力、许用应力和安全因数 /114

- 6.4 圆轴扭转时的应力与强度计算 /115
 - 6.5 截面图形的几何性质 /119
 - 6.5.1 静矩与形心 /119
 - 6.5.2 截面的惯性矩 /120
 - 6.5.3 惯性矩的平行移轴定理 /121
 - 6.6 梁的弯曲正应力 /122
 - 6.6.1 试验与假设 /123
 - 6.6.2 纯弯曲时梁的正应力 /123
 - 6.7 弯曲时的切应力 /125
 - 6.8 梁弯曲时的强度条件 /127
 - 6.9 弯曲与拉伸(压缩)组合时的强度计算 /130
 - 6.10 梁的优化设计 /132
 - 6.10.1 采用合理的截面形状 /133
 - 6.10.2 合理配置梁的载荷和支座 /134
 - 6.10.3 等强度梁的概念 /135
 - 6.11 剪切和挤压的实用计算 /135
 - 6.11.1 剪切强度的实用计算 /135
 - 6.11.2 挤压强度的实用计算 /136
- 习题 /138
- 第7章 杆件的变形·简单超静定问题 /149
- 7.1 轴向拉伸或压缩时的变形 /151
 - 7.1.1 拉压杆的轴向变形 /151
 - 7.1.2 拉压杆的横向变形与泊松比 /152
 - 7.2 圆轴扭转时的变形与刚度条件 /153
 - 7.2.1 圆轴扭转时的变形 /153
 - 7.2.2 圆轴扭转刚度条件 /154
 - 7.3 梁弯曲时的变形 /156
 - 7.4 叠加法求弯曲变形 /159
 - 7.5 简单超静定结构 /164
 - 7.5.1 拉压超静定问题 /164
 - 7.5.2 扭转超静定问题 /166
 - 7.5.3 简单超静定梁 /167
 - 7.6 能量法求结构的位移 /170
 - 7.6.1 能量原理的基本概念 /170

- 7.6.2 外力功的计算 /170
- 7.6.3 应变能的计算 /171
- 7.6.4 单位载荷法(莫尔定理) /172
- 习题 /177
- 第8章 应力状态理论和强度理论 /184**
- 8.1 应力状态理论的概念和实例 /185
- 8.2 二向应力状态分析 /188
- 8.2.1 解析法 /188
- 8.2.2 图解法 /189
- 8.3 三向应力状态时的最大切应力及广义胡克定律 /191
- 8.3.1 三向应力状态时的最大切应力 /191
- 8.3.2 广义胡克定律 /192
- 8.4 强度理论的概念·常用的四种强度理论 /194
- 8.4.1 最大拉应力理论(第一强度理论) /195
- 8.4.2 最大拉应变理论(第二强度理论) /195
- 8.4.3 最大切应力理论(第三强度理论) /196
- 8.4.4 均方根切应力理论(第四强度理论) /197
- 8.5 弯曲与扭转组合变形时的强度计算 /198
- 习题 /201
- 第9章 压杆稳定 /206**
- 9.1 压杆稳定的概念 /207
- 9.2 确定压杆临界载荷的欧拉公式 /208
- 9.3 欧拉公式的适用范围·临界应力的经验公式 /210
- 9.3.1 临界应力与柔度 /210
- 9.3.2 欧拉公式应用范围 /211
- 9.3.3 临界应力的经验公式 /211
- 9.4 压杆稳定的校核与合理设计 /213
- 9.4.1 稳定条件 /213
- 9.4.2 压杆的合理设计 /216
- 习题 /217
- 第10章 动载荷与交变载荷 /220**
- 10.1 概述 /221
- 10.2 构件作等加速直线运动时的动应力计算 /221
- 10.3 构件受冲击载荷作用时的动应力计算 /223
- 10.4 构件在交变应力作用下的疲劳破坏和疲劳极限 /226
- 10.4.1 交变应力的实例与疲劳破坏的过程 /226
- 10.4.2 交变应力的基本参数和疲劳极限 /227
- 10.5 影响构件疲劳极限的主要因素 /229
- 10.5.1 构件外形的影响 /229
- 10.5.2 构件截面尺寸的影响 /230
- 10.5.3 表面加工质量的影响 /231
- 10.6 对称循环下构件的疲劳强度计算 /232
- 习题 /233
- 第3篇 运动力学**
- 第11章 运动学基础 /237**
- 11.1 点的运动的矢径描述 /238
- 11.2 点的运动的直角坐标描述 /239
- 11.3 点的运动的自然坐标描述 /241
- 11.4 刚体的平动 /245
- 11.5 刚体的定轴转动 /246
- 11.6 轮系的传动比 /248
- 11.6.1 齿轮传动 /248
- 11.6.2 皮带传动 /249
- 习题 /250
- 第12章 点的复合运动 /255**
- 12.1 相对运动·牵连运动·绝对运动 /256

- 12.2 点的速度合成定理 /257
- 12.3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理 /259
- 习题 /262

第 13 章 刚体的平面运动 /267

- 13.1 刚体平面运动的分解 /268
- 13.2 平面运动图形上各点的速度 /270
 - 13.2.1 基点法 /270
 - 13.2.2 速度投影定理 /270
 - 13.2.3 速度瞬心法 /272
- 13.3 平面运动图形上各点的加速度 /276
- 习题 /278

第 14 章 质点动力学 /283

- 14.1 动力学的基本定律 /284
- 14.2 质点的运动微分方程 /285
 - 14.2.1 质点运动微分方程在直角坐标轴上投影 /285
 - 14.2.2 质点运动微分方程在自然轴上投影 /285
- 14.3 质点动力学的两类基本问题 /286
 - 14.3.1 第一类基本问题 /286
 - 14.3.2 第二类基本问题 /288
- 习题 /291

第 15 章 动量定理 /294

- 15.1 质点和质点系的动量 /295
 - 15.1.1 质点的动量 /295
 - 15.1.2 质点系的动量 /295
- 15.2 质点和质点系的动量定理 /296
 - 15.2.1 质点的动量定理 /296
 - 15.2.2 质点系的动量定理 /297
 - 15.2.3 质点系动量守恒定律 /298
- 15.3 质心运动定理 /299
 - 15.3.1 质心运动定理 /299
 - 15.3.2 质心运动守恒定律 /300

习题 /302

第 16 章 动量矩定理 /306

- 16.1 质点和质点系的动量矩 /307
 - 16.1.1 质点的动量矩 /307
 - 16.1.2 质点系的动量矩 /307
- 16.2 刚体对轴的转动惯量 /308
 - 16.2.1 简单形状刚体的转动惯量 /309
 - 16.2.2 平行轴定理 /311
- 16.3 动量矩定理 /313
 - 16.3.1 质点的动量矩定理 /313
 - 16.3.2 质点动量矩守恒定律 /313
 - 16.3.3 质点系的动量矩定理 /314
 - 16.3.4 质点系动量矩守恒定律 /315
- 16.4 刚体定轴转动的运动微分方程 /316
- 16.5 刚体的平面运动微分方程 /319
- 习题 /321

第 17 章 动能定理 /326

- 17.1 力的功 /327
 - 17.1.1 重力的功 /327
 - 17.1.2 弹性力的功 /328
 - 17.1.3 定轴转动刚体上作用力的功 /329
- 17.2 质点和质点系的动能 /330
 - 17.2.1 质点的动能 /330
 - 17.2.2 质点系的动能 /330
- 17.3 动能定理 /332
 - 17.3.1 质点的动能定理 /332
 - 17.3.2 质点系的动能定理 /332
 - 17.3.3 理想约束 /333
- 17.4 功率、功率方程和机械效率 /337
 - 17.4.1 功率 /337
 - 17.4.2 功率方程 /338
 - 17.4.3 机械效率 /338
- 习题 /339

附录 型钢表 /344

第1篇

刚体静力学

机械运动是自然界诸多运动中最常见、最普遍的一种运动,可以是物体之间相对位置在空间的变化,简称为**运动**,也可以是物体内部各部分之间相对位置的变化,简称为**变形**。力是物体间相互的机械作用,机械运动状态的变化是由这种相互作用引起的。工程力学就是研究物体宏观机械运动一般规律的科学,是机械、能源、土木、水利、化工、材料、航空航天、生物医学等众多工程科学的基础。

工程力学的主要研究对象是工程构件、结构和机构。实际中的工程力学问题往往相当复杂,在研究具体问题时,必须抓住主要因素,略去次要因素,将研究对象抽象为力学模型,包括质点和质点系。**质点**是具有质量而其尺寸可忽略不计的点。**质点系**是质点的集合,一般物体都可以看成是由许多质点所组成的。**刚体**可看作不变质点系,即可以忽略物体在力的作用下形状和大小的改变,假定其上任意两质点之间的距离保持不变。而当研究构件的变形和破坏规律时,变形成为主要因素,因此可将研究物体视为**变形固体**,即可变质点系。

平衡是物体机械运动的特殊情况,指物体相对于惯性参考系保持静止或作匀速直线运动的状态。在工程技术问题中,如果没有特别指明就把固连于地球的参考系作为惯性参考系。静力学研究的是物体在力系作用下的平衡问题,包括:物体的受力分析方法;力系的等效替换(或简化);力系的平衡条件等。静力学中研究的物体主要是刚体,故又称刚体静力学,它是研究变形体力学的基础。

第 1 章 基本概念和受力分析



一、本章基本要求

1. 理解力、刚体、平衡和约束等重要概念。
2. 理解静力学公理(或力的基本性质)。
3. 掌握合力投影定理,能正确地将力沿坐标轴分解和求力在坐标轴上的投影。
4. 理解力对点(轴)之矩的概念,并能熟练地计算。
5. 理解力偶和力偶矩的概念,明确力偶的性质和力偶的等效条件。
6. 熟练掌握约束的基本特征及约束反力的画法。
7. 熟练而正确地对单个物体与物体系统进行受力分析,画出受力图。



二、本章重点

1. 力、刚体、平衡和约束等概念。
2. 静力学公理及其推论。
3. 力在坐标轴上的投影、合力投影定理。
4. 力对点(轴)之矩的计算、力偶矩的概念、力偶性质和力偶等效条件。
5. 柔性体约束、光滑面约束、光滑铰链约束、固定端约束的特征及其反力的画法。
6. 单个物体及物体系统的受力分析。



三、本章难点

1. 力对点(轴)之矩与力偶矩的区别。
2. 物体系统的受力分析与分离体受力分析。



四、学习建议

1. 本章讲述概念较多,要深入理解这些概念的定义及其意义。例如:
属于力的:力系、等效力系、合力与分力、主动力与约束反

力、作用力与反作用力、内力与外力等。

属于物体的:弹性体与刚体、自由体与非自由体等。

属于数学的:代数量、矢量(向量)、单位矢量、定位矢量、滑动矢量等。

2. 静力学公理是最普遍、最基本的客观规律,是静力学基础,要熟记理解。

3. 熟练掌握约束反力的确定方法和受力图的正确画法,能迅速判断出二力构件,用三力平衡汇交定理确定未知约束反力应注意方向。

4. 力在坐标轴上的投影与力沿坐标轴分解是两个不同概念,对比其联系与区别。计算空间力在坐标轴上的投影有两种方法,清楚各自的适用条件,区分力在轴上和平面上的投影。

5. 力偶是力学的基本元素之一,将力和力偶从要素、定量描述、在轴上的投影、对点的矩、等效条件、性质等方面进行比较,清楚力偶矩与力矩的异同点。明确空间力偶矩矢的性质,为什么规定它为自由矢量,如何表示其等效条件,熟悉空间力偶系合成的解析法。

6. 力对点之矩是理解空间力系简化与合成的关键,而力对轴之矩是正确列出力矩式平衡方程的基础,故要充分重视力对轴之矩的计算。计算的方法有四种:①当力臂便于确定时,可直接由定义计算;②一般情况下,常将力沿坐标轴分解,应用合力矩定理计算;③将力沿坐标轴分解之后代入力对轴之矩的分析表达式计算;④利用力矩关系定理计算。在计算力对轴之矩时准确地分析一个力对某轴之矩的正、负或为零也很重要(若一力与某轴共面,则此力对该轴之矩为零)。

1.1 力与力的投影

1.1.1 力的概念

力是物体间相互的机械作用,其效应使物体的运动状态发生改变或使物体产生变形。前者称为力的外效应或运动效应,后者称为力的内效应或变形效应。一般来讲,两种效应是同时存在的。

实践表明,力对物体的作用效果取决于三种因素:力的大小、方向和作用点。这三个因素称为力的三要素。因此,力应以矢量表示,记为黑体字母 F ,可以用一个定位的有向线段来表示力,如图 1-1 所示。线段的长度代表力的大小(一般地定性表示即可),线段的方向和指向代表力的方向,线段的起点(或终点)表示力的作用点,线

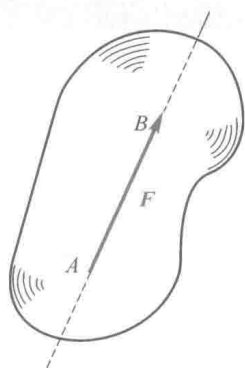


图 1-1

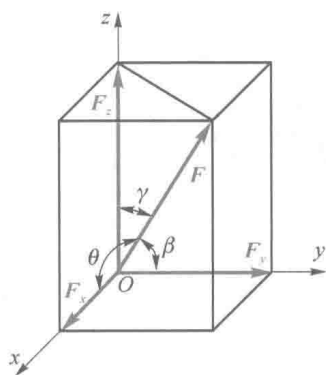


图 1-2

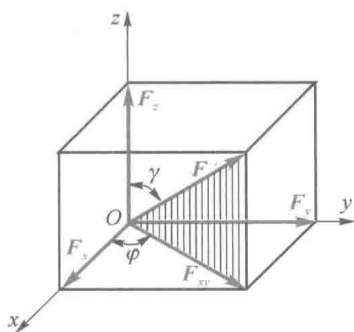


图 1-3

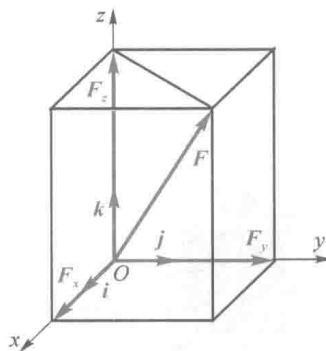


图 1-4

段所在的直线称为力的作用线。

在国际单位制(SI)中,力的单位为牛顿(N)或千牛顿(kN)。

1.1.2 力的投影

若已知力 F 与正交坐标系 $Oxyz$ 三轴间的夹角分别为 θ 、 β 、 γ , 如图 1-2 所示, 则力在三个轴上的投影等于力 F 的大小乘以与各轴夹角的余弦, 此过程称为直接投影法, 即

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \theta \\ F_y &= F \cos \beta \\ F_z &= F \cos \gamma \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

当力与坐标轴 Ox 、 Oy 间的夹角不易确定时, 可把力 F 先投影到坐标平面 Oxy 上, 得到力 F_{xy} , 然后再把这个力投影到 x 、 y 轴上, 此过程称为二次投影法。在图 1-3 中, 已知角 γ 、 φ , 则力 F 在三个坐标轴上的投影分别为

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \sin \gamma \cos \varphi \\ F_y &= F \sin \gamma \sin \varphi \\ F_z &= F \cos \gamma \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

以 i 、 j 、 k 分别表示沿 x 、 y 、 z 坐标轴方向的单位矢量, 如图 1-4 所示, 则力 F 的解析表达式为

$$\mathbf{F} = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} + F_z \mathbf{k} \quad (1-3)$$

若已知力 F 在正交坐标系 $Oxyz$ 的三个坐标轴上的投影, 则力 F 的大小和方向余弦为

$$\left. \begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \\ \cos(\mathbf{F}, \mathbf{i}) &= \frac{F_x}{F}, \quad \cos(\mathbf{F}, \mathbf{j}) = \frac{F_y}{F}, \quad \cos(\mathbf{F}, \mathbf{k}) = \frac{F_z}{F} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

1.2 力的基本性质

1.2.1 力的分类

按作用方式, 有超距力和接触力两类。前者通过场作用, 如重力和电磁力; 后者通过物体间相互接触而起作用, 如固体之间的压力、摩擦力等。按作用的空间范围, 可分为分布力和集中力, 前者又可分为体积力和表面力。体积力作用于物体内部的各个质点, 如重力; 表面力则作用于物体表面, 如压力。体积力和表面力的分布强度可以用单位体积和单位面积所受力的大小来量度, 称为载

荷集度,常用单位为 N/m^3 和 N/m^2 (Pa)。在很多情况下,这种分布力比较复杂。例如,人的脚掌对地面的作用力以及脚掌上各点处受到的地面支撑力都是不均匀的。但当分布力作用面积远小于物体的尺寸时,如静止的汽车通过轮胎作用在桥面上的力,天平刀口支承对天平臂的作用力等,都可视为集中力。可见力的作用点是力的作用位置的简化。如果表面力作用在一个很窄的区域内,则可简化为线载荷,单位为 N/m 。

1.2.2 基本公理

公理是人们在生活和生产实践中长期积累的经验总结,又经过实践反复检验,被确认是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。

公理 1 力的平行四边形法则

作用在刚体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,合力仍作用在该点,合力的大小与方向由这两个力为邻边构成的平行四边形对角线确定,即合力矢等于这两个力矢的矢量和,如图 1-5(a)所示。矢量表达式为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-5)$$

如果取该平行四边形的一半作为二力合成法则,则称为力的三角形法则,如图 1-5(b)、(c)所示。

这一公理提供了一种最简力系合成或分解的方法。

若质点上作用有共点力系[见图 1-6(a)],连续应用力三角形法则,可将这些力顺次两两合成,最终该力系可合成为一个合力,其作用点为公共作用点。从作图过程可知,只需将各力的力矢首尾相连,构成开口的力多边形,由开口的力多边形始点指向终点的封闭边即为合力矢[见图 1-6(b)]。写成矢量等式,有

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \cdots + \mathbf{F}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i \quad (1-6)$$

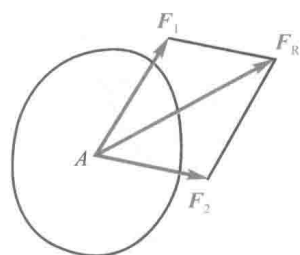
根据矢量分析可知,合力在某轴上的投影等于各分力在同一轴上投影的代数和,将式(1-6)投影于轴 x 、 y 、 z 上,可得

$$F_{Rx} = \sum_{i=1}^n F_{xi}, \quad F_{Ry} = \sum_{i=1}^n F_{yi}, \quad F_{Rz} = \sum_{i=1}^n F_{zi} \quad (1-7)$$

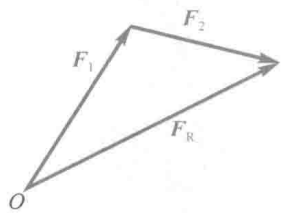
上述关系称为合力投影定理。

公理 2 二力平衡公理

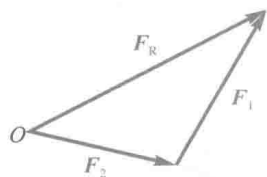
作用在刚体上的两个力平衡的充分必要条件是:二力沿着同一作用线、大小相等、方向相反,如图 1-7(a)、(b)所示。此公理揭示了最简单的力系平衡条件。



(a)

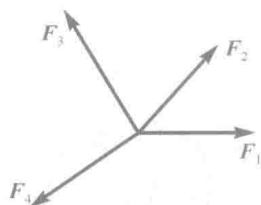


(b)

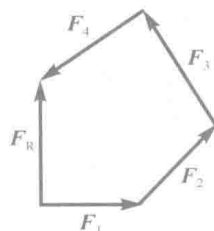


(c)

图 1-5



(a)



(b)

图 1-6