

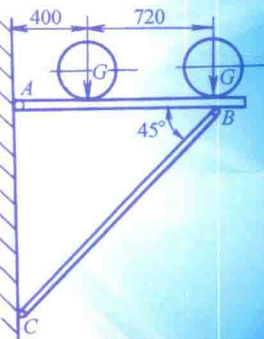
高等工科院校“十三五”规划教材

# 工程力学简明教程

(静力学、材料力学、运动学与动力学)

● 闫芳 刘晓慧 主编

GONGCHENG LIXUE  
JIANMING  
JIAOCHENG



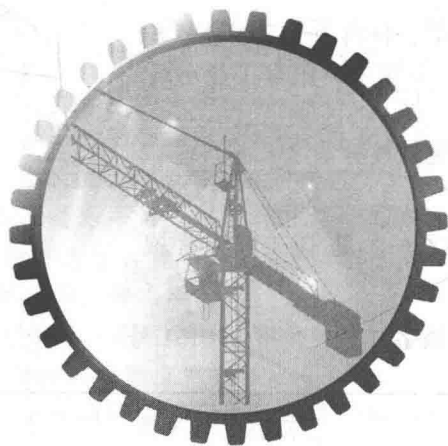
化学工业出版社

高等工科院校“十三五”规划教材

# 工程力学简明教程

(静力学、材料力学、运动学与动力学)

闫芳 刘晓慧 主编  
王志敏 谢桂真 副主编  
芦静蓉 蔡路政 闫洋洋 宋琪 参编  
孟庆东 杨洪林 主审



GONGCHENG LIXUE  
JIANMING  
JIAOCHENG



化学工业出版社

·北京·

《工程力学简明教程》的内容涵盖了理论力学、材料力学的主要内容,包括静力学、材料力学、运动学与动力学。根据机械类、近机类、工程类各专业的教学要求,本着以必需、够用、以实际应用为重的原则,在内容上进行了适当取舍,并简化理论推导。对基本理论、基本概念的阐述简洁明了,对工程应用、解题方法的介绍翔实细致。每章后有小结和习题。着重于培养学生的实际应用能力。

本书配有制作精美的多媒体电子教案,可在化学工业出版社教学资源网 [www.cipedu.com.cn](http://www.cipedu.com.cn) 上注册下载。

《工程力学简明教程》是为应用型工科院校与独立学院编写的,主要针对机械类、近机类、工程类各专业“工程力学”课程的教学,也可用于高职高专、自学考试和成人教育。

#### 图书在版编目(CIP)数据

工程力学简明教程(静力学、材料力学、运动学与动力学)/闫芳,刘晓慧主编. —北京:化学工业出版社, 2017.9

高等工科院校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-30104-8

I. ①工… II. ①闫… ②刘… 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156151号

责任编辑:刘俊之

文字编辑:吴开亮

责任校对:边涛

装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张18 字数476千字 2017年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 39.80 元

版权所有 违者必究

# 前 言

课程建设和教学改革是全国高等院校应用型人才培养、提高教学质量的核心内容。为了更好地贯彻执行教育部关于教学改革的精神,切实深化高校教材建设工作,根据教育部制定的“工程力学”课程的教学基本要求和标准,突出实用性,以培养应用型人才为教学目的,本着“必需、够用”、以实际应用为重的原则,在内容上进行了适当取舍,并简化理论推导,编写了具有简明特色的《工程力学简明教程》。

本书内容分成三篇:静力学基础、材料力学基础、运动学与动力学基础。

(1) 静力学部分介绍力、力矩、力偶的表达,静力学基本概念和物体的受力分析,力系的简化结果和平衡条件,并介绍了重心的概念和计算。

(2) 材料力学部分介绍材料力学的基本概念,杆件内力的计算及内力图的画法,杆件拉伸、剪切、扭转、弯曲四种基本变形情况下应力的计算,变形分析,强度条件的建立,应力状态概念以及复杂应力状态下的强度理论,杆件组合变形时强度计算方法,压杆稳定性计算方法。

(3) 运动学与动力学部分介绍点的运动描述方法、刚体平动、绕定轴转动时有关运动量的计算、工程中求解动力学问题时常用的达朗贝尔原理(动静法),研究质点及质点系机械运动量和机械作用量之间关系的动能定理、动荷应力与交变应力计算。

另外,在书后的附录中,介绍了平面图形的几何性质等内容。

由于不同的层次(如本科、专科、高职等)、不同专业对本课程的内容深浅及学时要求不同(40~80学时不等),为了便于教与学,本教材内容安排可分为三种:少学时(40~45学时)讲授静力学基础、平面力系平衡方程、杆件四种基本变形强度设计和压杆稳定设计;中学时(46~65学时)讲授静力学、材料力学全部内容;多学时(66~80学时)讲授静力学、材料力学、运动学和动力学全部内容。

本书每章后有小结、思考题与习题。并对重点章节加大例题、思考题与习题的比重(备有参考解答),着重于培养学生的实际应用能力。

为了配合本书的教与学,还设计制作了电子课件。电子课件不但是对教材内容的高度概括,而且是对教材内容的拓展和延伸,汇集了丰富的图、声、视频等内容。电子教材中的动画过程循序渐进,将理论问题形象化,能够帮助学生加深理解。同时,也给教师教学带来了很大的便利。读者可在化学工业出版社教学资源网([www.cipedu.com.cn](http://www.cipedu.com.cn))下载使用。

本书是普通高等教育机械、机电、近机及工程等各类各专业学习“工程力学”的教材。适用于本科、专科生。本书阐述简洁明了、通俗易懂,也适合作为上述同类专业的职工大学、业余大学、函授大学、远程教育等院校的教材;亦可供有关专业工程技术人员和管理人员参考。

本书由闫芳和刘晓慧任主编,并统稿;王志敏和谢桂真任副主编。参编单位(人员)如下:青岛科技大学(芦静蓉、蔡路政);天津大学(闫洋洋);中国石油(华东)大学(宋琪);烟台南山学院(闫芳);青岛海洋技师学院(刘晓慧、谢桂真);山东济宁技师学院

(王志敏)。

编写人员分工如下(按姓氏笔画排序)

王志敏：第一～五章，第一、二章电子课件的设计制作。

刘晓慧：第十三～十九章，第十三、十四章电子课件的设计制作。

闫芳：前言、绪论、第六～十章及其电子课件的设计制作。

闫洋洋：第十五、十六章电子课件的设计制作。

宋琪：第三～五章电子课件的设计制作。

芦静蓉：第十七～十九章电子课件的设计制作。

谢桂真：第十二章和附录，附录电子课件的设计制作。

蔡路政：第十一章，第十一章和第十二章电子课件的设计制作。

本书承蒙青岛科技大学孟庆东和杨洪林两位教授精心审阅，提出了许多宝贵意见。

在编写出版过程中得到了化学工业出版社及各参编者所在学校的大力支持与协助。在编写中借鉴了许多同类教材及教学辅导书、题解等有关教学参考书。在此一并对上述单位和个人表示衷心感谢！

限于编者的水平，肯定还存在不少疏漏和不妥之处，敬请广大读者批评指正！

编者

2017年2月

# 目 录

绪论	1
----	---

## 第一篇 静力学基础

第一章 静力学的基本概念和物体的受力分析	5
----------------------	---

第一节 静力学基本概念	5
第二节 力的四个公理及刚化原理	7
第三节 约束和约束反力	9
第四节 物体的受力分析与受力图	13
本章小结	16
思考题	17
习题	17

第二章 平面基本力系	20
------------	----

第一节 平面汇交力系	20
第二节 力矩和力偶	25
本章小结	30
思考题	30
习题	31

第三章 平面任意力系	34
------------	----

第一节 力的平移定理	34
第二节 平面任意力系的简化与平衡	35
第三节 平面平行力系的平衡方程	41
第四节 静定与超静定的概念 物体系统的平衡问题	42
* 第五节 简单静定平面桁架的内力计算	45
本章小结	48
思考题	49
习题	49

第四章 摩擦	53
--------	----

第一节 滑动摩擦	53
第二节 考虑滑动摩擦的平衡问题	56

* 第三节 滚动摩阻简介 .....	58
本章小结 .....	60
思考题 .....	61
习题 .....	61

## 第五章 空间力系 64

第一节 力在空间直角坐标轴上的投影及其计算 .....	64
第二节 力对轴之矩 合力矩定理 .....	66
第三节 空间任意力系的平衡方程 .....	67
第四节 空间平衡力系的平面解法 .....	69
第五节 重心和形心 .....	70
本章小结 .....	74
思考题 .....	74
习题 .....	75

## 第二篇 材料力学基础

## 第六章 拉伸与压缩 80

第一节 轴向拉伸与压缩的概念及实例 .....	80
第二节 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力 .....	80
第三节 轴向拉伸(压缩)时横截面上的应力 .....	82
第四节 轴向拉伸或压缩时的应变 .....	83
第五节 应力集中 .....	85
第六节 材料在拉伸或压缩时的力学性质 .....	86
第七节 拉伸和压缩的强度计算 .....	89
第八节 简单拉(压)超静定问题 .....	92
* 第九节 圆柱形薄壁容器的计算 .....	95
本章小结 .....	96
思考题 .....	97
习题 .....	98

## 第七章 剪切和挤压 100

第一节 剪切和挤压的概念 .....	100
第二节 剪切的实用计算 .....	101
第三节 挤压实用计算 .....	102
第四节 剪切胡克定律 切应力互等定理 .....	107
本章小结 .....	108
思考题 .....	108
习题 .....	108

## 第八章 圆轴扭转 110

第一节 扭转概念·外力偶矩和扭矩的计算 .....	110
第二节 圆轴扭转时的应力与强度计算 .....	113

第三节	圆轴扭转变形和刚度条件	116
	本章小结	117
	思考题	118
	习题	118
<b>第九章</b>	<b>梁的平面弯曲</b>	<b>120</b>
第一节	弯曲和平面弯曲的概念与实例	120
第二节	梁的计算简图及分类	121
第三节	梁的内力——剪力和弯矩	121
第四节	剪力图和弯矩图	123
第五节	弯曲时的正应力	128
* 第六节	弯曲时的切应力	132
第七节	梁的强度计算	134
第八节	梁的弯曲变形计算和刚度校核	136
* 第九节	简单超静定梁的解法	140
第十节	提高梁承载能力的措施	142
	本章小结	143
	思考题	144
	习题	144
<b>第十章</b>	<b>应力状态理论和强度理论</b>	<b>148</b>
第一节	问题的提出	148
第二节	应力状态	148
第三节	强度理论	153
	本章小结	157
	思考题	158
	习题	159
<b>第十一章</b>	<b>组合变形的强度计算</b>	<b>161</b>
第一节	组合变形的概述	161
第二节	第一类组合变形——组合后为单向应力状态	162
第三节	第二类组合变形——组合后为复杂应力状态	168
	本章小结	171
	思考题	172
	习题	172
<b>第十二章</b>	<b>压杆稳定</b>	<b>174</b>
第一节	压杆稳定的概念及失稳分析	174
第二节	临界力和临界应力	175
第三节	欧拉公式的适用范围 中、小柔度杆的临界应力	179
第四节	压杆的稳定性计算	183
第五节	提高压杆稳定性的措施	185
	本章小结	186



思考题	187
习题	187

### 第三篇 运动学与动力学基础

<b>第十三章</b>	<b>运动学基础</b>	<b>191</b>
第一节	点的运动学	191
第二节	刚体的基本运动	197
	本章小结	202
	思考题	203
	习题	203
<b>第十四章</b>	<b>点的合成运动</b>	<b>206</b>
第一节	点的合成运动的概念	206
第二节	点的速度合成定理	207
第三节	点的加速度合成定理	210
	本章小结	213
	思考题	213
	习题	214
<b>第十五章</b>	<b>刚体的平面运动</b>	<b>216</b>
第一节	刚体平面运动的运动特征与运动分解	216
第二节	平面图形上点的速度分析	218
第三节	用基点法求平面图形内各点的加速度	221
	本章小结	223
	思考题	223
	习题	224
<b>第十六章</b>	<b>动力学基础</b>	<b>226</b>
第一节	质点运动微分方程及其应用	226
第二节	刚体定轴转动的微分方程及转动惯量	228
	本章小结	231
	思考题	232
	习题	232
<b>第十七章</b>	<b>达朗贝尔原理(动静法)</b>	<b>234</b>
第一节	惯性力与质点的达朗贝尔原理	234
第二节	刚体惯性力系的简化	237
第三节	用动静法解质点系统动力学问题的应用举例	239
第四节	定轴转动刚体轴承的附加动反力	240
	本章小结	241
	思考题	242
	习题	242

<b>第十八章</b>	<b>动能定理</b>	<b>244</b>
第一节	力的功	244
第二节	功率与机械效率	247
第三节	动能	249
第四节	动能定理	251
本章小结		254
思考题		255
习题		255

<b>第十九章</b>	<b>动荷应力与交变应力</b>	<b>258</b>
第一节	动荷应力惯性力问题	258
第二节	交变应力和疲劳破坏的概念	263
本章小结		265
思考题		265
习题		266

## 附 录

<b>附录 A</b>	<b>平面图形的几何性质</b>	<b>268</b>
附 A.1	截面的静矩与形心	268
附 A.2	惯性矩、惯性积与极惯性矩	270
习题		272

<b>附录 B</b>	<b>几种常见图形的几何性质</b>	<b>273</b>
-------------	--------------------	------------

<b>附录 C</b>	<b>型钢表</b>	<b>274</b>
附 C.1	热轧工字钢 (GB 706—1988)	274
附 C.2	热轧槽钢 (GB 707—1988)	275

<b>参考文献</b>		<b>277</b>
-------------	--	------------

## 一、“力学”和“工程力学”的概念

### 1. 力学的概念

力学是研究物质机械运动规律的科学。世界充满着物质，有形的固体、无形的空气，都是力学的研究对象。力学所阐述的物质机械运动的规律，与数学、物理等学科一样，是自然科学中的普遍规律。因此，力学是基础科学。同时，力学研究所揭示出的物质机械运动的规律，在许多工程技术领域中可以直接获得应用，实际面对着工程，服务于工程。所以，力学又是技术科学。力学是工程技术学科的重要理论基础之一。工程技术的发展过程中不断提出新的力学问题，力学的发展又不断应用于工程实际并推动其进步，二者有着十分密切的联系。从这个意义上说，力学是沟通自然科学基础理论与工程技术实践的桥梁。

力学是最古老的物理科学之一，可以回溯到阿基米德时代。力学探讨的问题十分广泛，研究的内容和应用的范围不断扩展，引起了几乎所有伟大科学家的兴趣。如伽利略、牛顿、达朗贝尔、拉格朗日、拉普拉斯、欧拉、爱因斯坦、钱学森等。

### 2. 工程力学的概念

工程力学（或应用力学）是将力学原理应用于有实际意义的工程系统的科学。机械和结构都是由构件组合而成的，既安全又经济的构件设计是机械和结构的功能得以实现的前提。工程力学研究构件的受力、变形、安全承载条件和运动规律，为简单构件的合理设计提供依据。

工程力学基础内容涵盖了理论力学和材料力学两部分内容。

(1) 理论力学：研究宏观物体机械运动的规律，通常分为静力学、运动学、动力学三部分。

理论力学以公理和牛顿定律为基础，通过数学演绎，导出了各种普遍定理和结论，具有系统性强、理论成熟的特点。

(2) 材料力学：研究材料的基本力学性能和构件的承载能力，合理解决构件设计过程中安全和经济的矛盾。

在材料力学研究问题的过程中，实验研究和理论分析具有同等重要的地位。通过实验，可了解材料的基本力学性能，还可以观察构件的变形现象，从而确定构件内部力的分布特点。同时，通过理论分析得出的结论，必须通过实验来验证其正确性。

工程力学侧重于在工程实际中的应用，是工科学生必修的学科基础课。它既是一系列后续课程的基础，又和工程实际问题联系紧密，可以单独或和其他知识一道解决工程实际问题。工程力学是研究范围极其广泛的技术基础课程。

## 二、工程力学的学习方法

### 1. 联系实际

工程力学来源于人类长期的生活实践、生产实践与科学实验，并且广泛应用于各类工程实践中。因此，在实践中学习工程力学是一个重要的学习方法。

广泛联系与分析生活及生产中的各种力学现象，是培养未来的工程技术人员对工程力学发生兴趣的一条重要途径。而对工程力学的兴趣则是身心投入的一个重要起点。联系实际也是从获得理论知识到养成分析与解决问题能力之间的一座桥梁。初学工程力学的人总是感到“理论好懂，习题难解”，就是因为缺少各种实践的过程（包括大量的课内外练习），没有完成理论到能力之间的转化。

### 2. 善于总结

将书读薄是做学问的一种基本方法。读一本书后要将其总结成几页材料，唯其如此，才能抓住一个章节、一本书，乃至一门学科的精髓，才能融会贯通，才能真正成为自己的知识。

理论要总结，解题的方法与技巧也要总结。本书例题中常有一题多解和多题一解的现象，其目的就是在传授方法，培养举一反三的能力。

### 3. 勤于交流

相互交流是获取知识的一种重要手段，课堂教学、习题讨论、课件利用直至网上交流，经常表述自己的观点，不断纠正自己的错误理念，从而使自己的综合素质得到提高。

# 第一篇

## 静力学基础

静力学是研究物体机械运动的特殊情况，即物体的平衡问题。所谓物体的平衡是指物体相对地球保持静止或匀速直线运动状态。如桥梁、高层建筑物、做匀速直线飞行的飞机等都处于平衡状态。平衡是物体机械运动的一种特殊形式。

研究物体的平衡就是要研究物体在外力作用下平衡应满足的条件，以及如何应用这些条件解决工程实际问题。为此往往需要将作用于物体上较复杂的力系简化。所以，静力学主要是解决如下三方面问题：

(1) 物体的受力分析 即分析物体共受多少力，哪些是已知力，哪些是未知力，以及每个力的大小、方向和作用线位置，以便对所研究的力系有系统和全面的了解。

(2) 力系的简化 即用一个简单的力系来等效替换一个复杂的力系，从而抓住不同力系的共同本质，明确力系对物体作用的总效果。

(3) 建立力系的平衡条件 即研究物体平衡时，作用在物体上的各种力系所必须满足的条件。

在工程实际中存在着大量的静力学问题，例如，在设计各种工程结构的构件（如梁、桥墩、屋架等）时，须用静力学理论进行受力和计算；在机械工程设计时，也要应用静力学知识分析机械零（部）件的受力情况作为强度计算的依据。对于运转速度缓慢或速度变化不大的构件的受力分析通常都可简化为平衡问题来处理。

另外，静力学中力系的简化理论和物体受力分析方法可直接应用于动力学和其他学科，而且动力学问题还可从形式上变换成平衡问题，应用静力学理论求解。

因此，静力学是工程力学的基础部分，不仅在力学理论上占有重要的地位，而且在工程中也有着极其广泛的应用。



# 第一章

## 静力学的基本概念和物体的受力分析

本章首先阐述作为静力学理论基础的几个基本概念和公理，然后介绍工程中常见的约束和约束反力的分析及物体的受力图。本章是理论力学，乃至一切固体力学、工程设计计算的基础，是本课程中最重要的内容之一。

### 第一节 静力学基本概念

#### 一、力的概念

##### 1. 力的概念

力的概念是人们在生产实践中逐渐形成的。当人们用手推、举、掷物体时，手臂肌肉会紧张和收缩，由此逐渐产生了对力的感性认识。随着生产的发展，人们又逐渐认识到：物体运动状态的改变和物体的变形都是由于其他物体对该物体施加力的结果。这样，由感性到理性逐步建立了力的概念。

力是物体间的相互机械作用。这种作用，一般有两种情况。一种是通过物体间的直接接触产生的，例如机车牵引车厢的拉力、物体之间的压力、摩擦力和黏结力等。另一种是通过“场”对物体的作用，例如地球引力场对物体吸引产生的重力，电场对电荷产生的引力或斥力等。

##### 2. 力的三要素

实践表明，力对物体的作用效果应取决于三个要素：即力的大小、力的方向和力的作用点，因而，力是矢量。可以用一个矢量来表示力的三个要素，如图 1-1 所示。这个矢量的长度（ $AB$ ）按一定的比例尺表示力的大小；矢量的方向表示力的方位和指向；矢量的始端（点  $A$ ）或末端（点  $B$ ）表示力的作用点；沿着矢量  $AB$  的直线（图 1-1 中的虚线）称为力的作用线。我们常用黑体字  $\mathbf{F}$  表示力矢量，而用普通字母  $F$  表示力的大小。

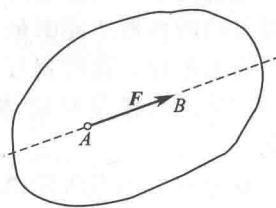


图 1-1

##### 3. 力对物体的作用效应

力对物体的作用效果称为力的效应。力的效应可分为两类：一类是使物体运动状态发生变化，称为力的运动效应或外效应；另一类是使物体形状或尺寸大小发生变化，称为力的变形效应或内效应。理论力学中把物体都假设为不变形的物体，因而只研究力的运动效应，即

力的外效应。

在国际单位制中，以“N”作为力的单位符号，称作牛 [顿]。有时也以“kN”作为力的单位符号，称作千牛 [顿]。

#### 4. 力对物体作用的两种形式——集中力和载荷集度

作用于物体上某一点处的力称为集中力，如图 1-2 所示的梯子，有一人重  $F$  站在  $H$  处，则人重  $F$  即为集中力。

物体之间相互接触时，其接触处多数情况下并不是一个点，而是一个面。因此，无论是施力物体还是受力物体，其接触处所受的力都是作用在接触面上的，这种分布在一定面积上的力称为分布力。例如，水对容器内壁的压力就是分布力。分布力的大小用载荷集度表示。而分布在长度、狭长面积或体积上的力可视为线分布力，其集度单位为  $N/m$  或  $kN/m$ 。如图 1-3 所示的是化工厂用的高压反应塔所受风力，可近似简化为两段均布载荷，在离地面  $H_1(m)$  高度以下，风力的平均分布力为  $p_1$ ， $H_2(m)$  上的平均分布力为  $p_2$ 。

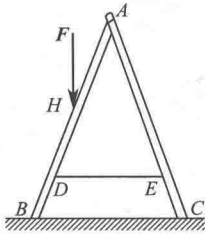


图 1-2

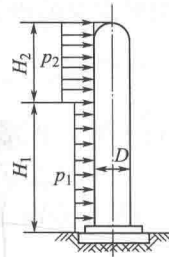


图 1-3

#### 5. 力系、平衡力系、等效力系、合力的概念

作用于一个物体上的若干个力称为力系。如果作用于物体上的力系使物体处于平衡状态，则称该力系为平衡力系。如果作用于物体上的力系可以用另一个力系代替，而不改变原力系对物体所产生的效应，则这两个力系互称为等效力系。如果一个力与一个力系等效，则称这个力为该力系的合力，而该力系中的每一个力称为合力的分力。

## 二、刚体的概念

前面讲过，力对物体的效应，除了使物体的运动状态发生改变外，还使物体发生变形。在正常情况下，工程上的机械零件和结构构件在力的作用下发生的变形是很微小的，甚至只有用专门的仪器才能测量出来。这种微小的变形在研究力对物体的外效应时影响极小，因此可以略去不计。这时就可以把物体看作不变形的。在受力情况下保持形状和大小不变的物体称为刚体。刚体是对物体进行抽象后得到的一种理想模型，它可使理论推导和计算大大简化。

在静力学中不研究物体的内效应，只研究力的外效应，因而可将物体视为刚体。然而，当变形这一因素在所研究的问题中处于主要地位时，即使变形量很小，也不能把物体看作刚体。例如，在研究飞机的平衡问题或飞行规律时，我们可以把飞机视为刚体；但在研究机翼的颤振问题时，尽管机翼的变形非常小，但都必须把它看作可以变形的物体。又如，建筑工地上常见的塔式吊车 [见图 1-4 (a)]，为使其具有足够的承载能力，对零 (部) 件及整体进行结构设计以确定其几何形状和尺寸时，就必须考虑其变形，不能把它们看作刚体。然而为确保塔式吊车在各种工作状态下都不发生倾覆，计算所需的配重时，整个塔式吊车又可以视为刚体 [见图 1-4 (b)]。



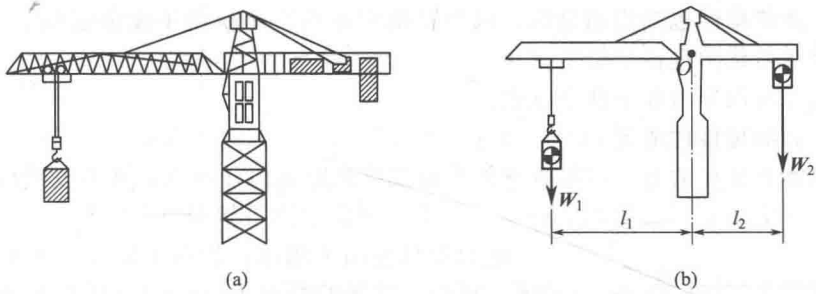


图 1-4

## 第二节 力的四个公理及刚化原理

### 一、力的四个公理

实践证明，力具有下述四个公理。

#### 性质 1：二力平衡公理

作用在刚体上的两个力，使刚体处于平衡状态的必要和充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反，且作用在同一直线上，如图 1-5 所示。即

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

二力平衡公理总结了作用在刚体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。它对刚体来说既必要又充分；但对非刚体，却是不充分的。如绳索受两个等值、反向的拉力作用可以平衡，而受两个等值、反向的压力作用就不平衡。

工程上将只受两个力作用而处于平衡状态的物体称为二力体。二力杆在工程中是很常见的，如图 1-6 (b) 所示的 BC 杆就是二力杆。

#### 性质 2：力的平行四边形公理

作用在物体上同一点的两个力  $\mathbf{F}_1$  和  $\mathbf{F}_2$  可以合成为一个合力  $\mathbf{F}_R$ 。合力的作用点也在该点，合力的大小和方向由以这两个力的力矢为边所构成的平行四边形的对角线矢量  $\mathbf{F}_R$  确定，如图 1-7 所示。如果将原来的两个力  $\mathbf{F}_1$  和  $\mathbf{F}_2$  称为分力，此法则可简述为合力  $\mathbf{F}_R$  等于两分力的矢量和。即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-2)$$

这个公理总结了最简单的力系的简化规律，它是其他复杂力系简化的基础。

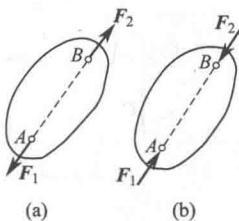


图 1-5

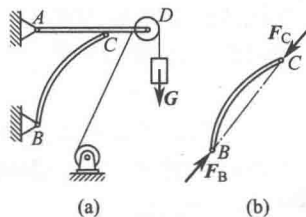


图 1-6

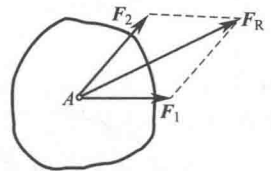


图 1-7

#### 性质 3：加、减平衡力系公理

在已知力系上加上或减去任意的平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。