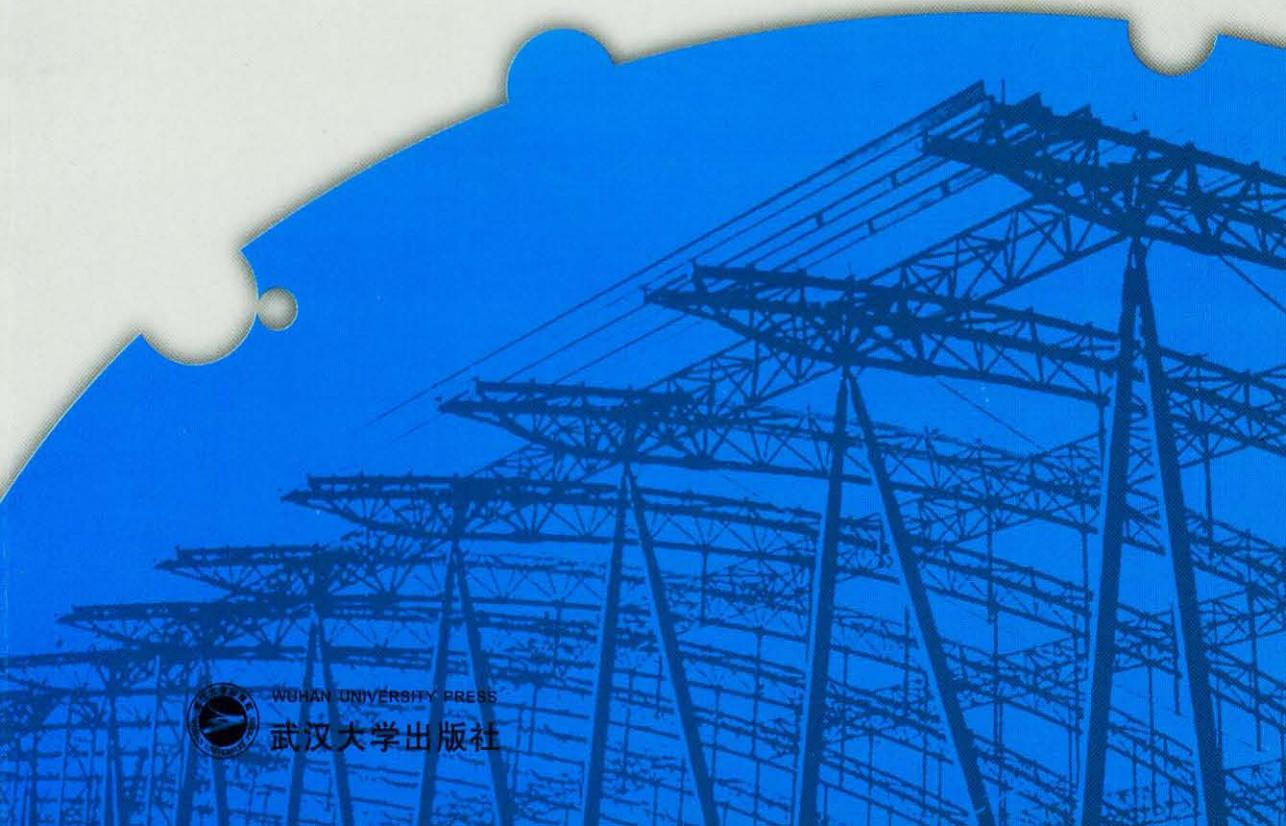


21世纪独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

工程力学教程

■ 杨静宁 李清禄 赵晓军 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

21世纪独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

工程力学教程

杨静宁 李清禄 赵晓军 主编

武汉大学出版社

内 容 简 介

本书是为满足目前独立学院工科工程力学课程教学基本要求,以及教学一线迫切需要的相应内容和学时,并依据教育部《高等学校工科本科工程力学课程教学基本要求》编写而成的小篇幅教材。全书共15章,包括静力学、材料力学两部分工程力学基本内容。本书理论体系简要清晰,概念简明严格,论述简练明了,使繁琐的内容易于理解和掌握。书中例题、习题均包括了易、中、难三个层次,有较好的教学适用性。

本书可作为高等院校工科本科多学时工程力学课程教材,也可供高职高专、成教师生以及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学教程/杨静宁,李清禄,赵晓军主编.一武汉:武汉大学出版社,2012.1

21世纪独立学院应用型创新人才培养系列规划教材

ISBN 978-7-307-09399-7

I. 工… II. ①杨… ②李… ③赵… 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(2011)第 282902 号

责任编辑:胡 艳 责任校对:黄添生 版式:支 笛

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:崇阳县天人印刷有限责任公司

开本:787×1092 1/16 印张:21.5 字数:547千字 插页:1

版次:2012年1月第1版 2012年1月第1次印刷

ISBN 978-7-307-09399-7/TB·32 定价:43.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。



前言

多年来,编者一直希望编写一套适合独立学院教学的力学系列教材,把长期积累的教学经验和体会反映出来,希望对独立学院力学课程的教学有所帮助。

本教材依据教育部《高等学校工科本科工程力学课程教学基本要求》及培养应用型人才的教学需要,结合独立学院培养人才的目标,由长期在独立学院工作的具有丰富教学实践经验的教师编写而成。本教材的指导思想是教材架构、教材内容、例题难度、习题难度等符合教学应用型院校使用,培养工程师以及新技术开发人员,因此,本套教材形成了自己的特色,与现有的研究型、研究教学型院校使用的教材有一定的区别。

在基础理论知识上,以够用为度,以基本理论为主,不过多地强调理论推导,主张掌握基本原理,并辅之相应的例题、习题以加深学生的理解,使学生掌握基本的方法。

本教材结合工程实际的应用,注重与同类教材相区别,着重于学生实际能力的培养,突出理论与实践相结合,培养学生综合运用所学知识分析与解决实际问题的能力以及创新精神。

本教材由杨静宁负责全书的结构设计、组织编写和最后统稿工作。各章编写分工如下:杨静宁编写绪论以及第9、10、11、15章,李清禄编写第1、2、3、4章,赵晓军编写第14章以及附录,赵永刚编写第12、13章,付小华编写第5章,韩明君编写第6、7、8章,各章的“科学家简介”及“工程问题简介”由雷芳明搜集整理。

本教材是在编写和出版过程中得到了兰州理工大学技术工程学院以及武汉大学出版社的支持,在此一并表示感谢。

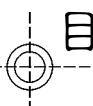
本教材在编写过程中参考了国内外一些优秀教材,并选用了其中的部分例题和习题,在此,谨向这些教材的编著者深表感谢。

本书可作为高等院校工科本科多学时工程力学课程教材,也可供高职高专、成人教师生以及有关工程技术人员参考。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和欠妥之处,欢迎使用本书的教师与读者批评指正。

编者

2011年11月



目 录

绪论 1

第一篇 静力学

引言 7

第1章 静力学的基本概念和物体的受力分析 8

 1.1 静力学基本概念 8

 1.2 静力学公理 9

 1.3 常见的约束类型及其约束力 11

 1.4 物体的受力分析和受力图 15

 习题 18

第2章 平面汇交力系和平面力偶系 21

 2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法 21

 2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法 23

 2.3 平面力对点之矩 26

 2.4 平面力偶系 28

 习题 32

第3章 平面任意力系 37

 3.1 平面任意力系向一点的简化 37

 3.2 平面任意力系的平衡条件 平衡方程 42

 3.3 物体系统的平衡 45

 习题 50

第4章 空间力系 55

 4.1 力在直角坐标轴上的投影 55

 4.2 力对点的矩和力对轴的矩 57

 4.3 空间力系的平衡方程 60

 习题 62

第二篇 材料力学

引言 67

第5章 轴向拉伸与压缩 74

 5.1 概述 74

 5.2 轴向拉(压)杆横截面上的内力 75

 5.3 轴向拉(压)杆横截面和斜截面上的应力 78



5.4 材料拉伸与压缩时的力学性能	82
5.5 应力集中的概念	86
5.6 轴向拉(压)杆的强度计算	88
5.7 轴向拉(压)杆的变形	90
5.8 拉压超静定问题	96
习题.....	100
第 6 章 连接件的实用计算.....	106
6.1 工程实例及基本概念	106
6.2 剪切与挤压实用计算	107
习题.....	113
第 7 章 扭转.....	116
7.1 实例及基本概念	116
7.2 外力偶矩 扭矩 扭矩图	116
7.3 薄壁圆筒的扭转	119
7.4 圆轴扭转时的应力	122
7.5 圆轴扭转时的变形	126
*7.6 非圆截面杆的扭转	128
习题.....	131
第 8 章 平面图形的几何性质.....	135
8.1 静矩和形心	135
8.2 惯性矩和惯性积	137
8.3 平行移轴公式	140
8.4 转轴公式——主惯性轴	141
习题.....	144
第 9 章 弯曲内力.....	146
9.1 平面弯曲 梁的计算简图	146
9.2 弯曲内力——剪力与弯矩	149
9.3 弯曲内力图——剪力图和弯矩图	152
9.4 载荷集度、剪力和弯矩间的微分关系及其应用.....	156
9.5 按叠加原理作弯矩图	161
习题.....	164
第 10 章 弯曲应力	170
10.1 概述.....	170
10.2 纯弯曲时梁横截面上的正应力	171
10.3 横力弯曲时梁的正应力 正应力强度条件	174
10.4 弯曲切应力计算	179
10.5 弯曲切应力的强度校核	184
10.6 提高梁弯曲强度的主要措施	185
习题.....	191



第 11 章 弯曲变形 简单超静定梁	196
11.1 概述	196
11.2 梁的挠曲线近似微分方程	198
11.3 求梁变形的积分法	199
11.4 用叠加法计算弯曲变形	207
11.5 简单超静定梁	212
11.6 刚度条件 提高梁弯曲刚度的主要措施	216
习题	219
第 12 章 应力状态和强度理论	225
12.1 应力状态的基本概念	225
12.2 二向应力状态分析的解析法	227
12.3 二向应力状态分析的图解法	231
12.4 三向应力状态及其应力圆	236
12.5 广义胡克定律	238
12.6 应变能密度	241
12.7 强度理论概述	243
12.8 四种常用的强度理论	244
12.9 各种强度理论的应用	249
习题	251
第 13 章 组合变形	257
13.1 组合变形和叠加原理	257
13.2 斜弯曲	258
13.3 拉伸(或压缩)与弯曲的组合	262
13.4 弯曲与扭转的组合	265
习题	269
第 14 章 压杆稳定	275
14.1 稳定性的概念	275
14.2 两端铰支细长压杆的临界压力	277
14.3 其他支座条件下细长压杆的临界压力	278
14.4 临界应力	282
14.5 压杆的稳定校核	284
14.6 提高压杆稳定性的措施	287
习题	289
第 15 章 动载荷·交变应力	297
15.1 构件作匀加速直线运动时的动应力计算	297
15.2 构件作等速转动时的应力计算	299
15.3 冲击载荷作用时构件的应力及强度计算	300
15.4 提高构件承受冲击载荷能力的措施	305
15.5 构件在交变应力作用下的疲劳破坏·疲劳极限	307



15.6 影响构件疲劳极限的主要因素	309
15.7 对称循环下构件的疲劳强度计算	312
习题	314
附录 型钢表	316
习题答案	327
参考文献	337

绪论

工程力学是将力学原理应用于有实际意义的工程系统的科学。工程力学的内容极其广泛，本书所述的是工程力学的基础内容，它只包含静力学和材料力学两部分内容，主要研究物体的受力分析、平衡条件及构件的强度、刚度和稳定性。随着现代科学技术的发展，力学的应用已渗透到许多学科领域。作为一般工程专业的一门技术基础课，工程力学课程所介绍的力学基本概念、基本理论和基本方法，既可以用于解决工程实际问题，又是学习一系列后续专业课程的重要基础。

1. 工程力学的研究对象

工程力学的研究对象在几何尺寸上是宏观（几何尺寸大于 10^{-10}m ）的，运动速度是低速（速度远小于光速）的，而且是处于惯性系内的固体，属于经典力学的范畴。对于接近光速的物体和基本粒子的运动，经典力学有一定的局限性，必须用相对论和量子力学加以研究。

在平衡分析中，研究对象可以包括所有构件。一般将构件分为三类，即杆（包括直杆和曲杆）、板或壳及块体。

杆：纵向尺寸远大于横向尺寸的构件。垂直于杆件长度方向的截面称为杆的横截面；横截面形心的连线称为杆的轴线；杆的轴线若为直线，则为直杆；杆的轴线若为曲线，则为曲杆。

板、壳：长度和宽度远大于厚度的构件。平分厚度方向的面称为中面。中面为平面的构件称板，中面为曲面的构件称壳。

块体：三个方位的尺寸属于同一数量级。

材料力学以等截面直杆（简称为等直杆）为主要研究对象。

2. 工程力学的内容和任务

静力学（第一篇）是刚体力学的一个分支，主要研究力的基本性质、力系的简化方法及力系平衡的理论，并用于对物体进行受力分析和计算，是工程力学的基础部分。力系是指作用在物体上的一群力。平衡是机械运动的特殊情况，是指物体相对地球保持静止或匀速直线运动。机械运动是物体在空间的位置随时间改变的现象。静力学侧重研究物体的外力及这些外力之间的平衡关系，因此忽略物体的变形，将物体简化为刚体来研究。

材料力学（第二篇）是固体力学的一个分支，是研究构件承载能力的科学。构件的承载能力包括强度、刚度和稳定性三个方面。强度是指构件抵抗破坏或塑性变形的能力；刚度是指构件抵抗变形的能力；稳定性是指受压力的细长直杆保持其原有直线平衡状态的能力。研究构件这三个方面的能力是材料力学的主要内容。与静力学不同，材料力学研究物体内部的受力与变形，并将构件视为弹性变形体，其主要任务是：在保证构件既安全又经济的前提下，为构件选择合适的材料、确定合理的截面形状和尺寸提供必要的理论基础、计算方法和实验技术。为保证各构件或机械零件能正常工作，构件和零件必须符合如下要求：① 不发生破坏，即具有足够的强度；② 弹性变形应不超出允许的范围，即具有足够的刚度；③ 在原有形状下的平衡应是稳定平衡，也就是，构件不会失去稳定性。只有这样，构件才能安全工作，为了确保设计安全，通常要求多用材料和用高质量材料；而为了使设计符合经济原则，又要求少用材料或用廉价材料，



工程力学的任务就是合理地解决这一矛盾,为实现既安全又经济的设计提供理论依据和计算方法。

工程力学中通常涉及三类问题。一类问题是设计问题。无论是厂房的总体结构还是其构件,在建造或制造前,都要根据结构承载要求和经济条件进行设计。比如立柱,要保证满足强度条件、稳定性和经济性,必须合理选择材料,合理确定截面形状和尺寸等,这些都是设计时要解决的问题。第二类问题是校核问题,即在给定的载荷作用下,考察承受荷载的构件能否安全正常工作。比如起吊重物时,钢丝绳会不会被拉断,行车大梁是否会发生过大弹性变形,等等。在设计过程或某些特定荷载作用下,常需根据强度、刚度和稳定性条件进行校核。第三类问题是确定许可荷载,即确定结构或构件在满足安全性的前提下所能承受的最大荷载。

解决这三类问题,首先都要对结构或构件进行受力分析和计算,以确定构件所受的外力。这就需要应用静力学理论和方法,对各个构件的受力进行分析,并应用平衡方程计算各个构件上所受外力的大小。其次对结构或构件进行强度、刚度和稳定性方面的计算,解决受力构件的三类问题,这就要用到材料力学的理论和方法。由此可见,材料力学以静力学为基础,二者相互联系和衔接,形成了工程力学,因此,在学习过程中,既要注意每部分在研究对象、内容和方法上的区别,又要注意后面部分对前面部分的理论和方法的应用,只有这样,才能学好这门课。

3. 工程力学的研究方法

静力学的研究方法有两种,一种是几何法;另一种是解析法,解析法就是通过力的矢量式或投影式(代数式)对力系进行分析和求解。本书主要采用的研究方法是解析法。在对物体进行平衡分析时,不计物体变形对其平衡状态的影响即为刚化。

在材料力学的研究中,首先应用截面法,求得构件在外力作用下各横截面上的内力;其次,求得构件中的应力和构件的变形。要完成这些分析,单靠静力学就够了,还需要研究构件在变形后的几何关系,以及材料在外力作用下变形和力之间的物理关系。根据几何关系、物理关系和平衡关系,可以求得物体内的应力、应变和位移,把它们和材料的允许应力、允许变形作比较,即可判断此物体的强度及刚度是否符合预定要求。若材料处于多向受力状态,则应根据强度理论来分析强度。

材料力学要研究物体的变形与破坏规律,因而其变形不能忽略,这时将研究对象视为处在小变形范围内的均匀、连续、各向同性变形固体,这就是固体力学的均匀、连续、各向同性假设。

工程力学是前人经过无数次实践—理论—实践的循环反复过程,使认识不断提高和深化的成果。因此,在学习工程力学的知识后,还必须在生产实践中去应用、验证和发展它。

4. 工程力学的发展简介

从现存的古代建筑可以推测,当时的建筑者已使用了某些由经验得来的力学知识,并且为了举高和搬运重物,已经能运用一些简单机械(如杠杆、滑轮和斜面等)。

静力学从公元前3世纪开始发展,到公元17世纪伽利略奠定动力学基础。这期间经历了西欧奴隶社会后期、封建时期和文艺复兴初期。农业、建筑业的要求以及同贸易发展有关的精密测量的需要,推动了力学的发展。人们在使用简单的工具和机械的基础上,逐渐总结出力学的概念和公理。例如,从滑轮和杠杆得出力矩的概念,从斜面得出力的平行四边形法则等。阿基米德是使静力学成为一门真正科学的奠基者。他在关于平面图形的平衡和重心的著作中,创立了杠杆理论,并且创立了静力学的一些主要原理。阿基米德是第一个使用严密推理来求出平行四边形、三角形和梯形物体的重心位置的人,他还应用近似法,求出了抛物线段的重心。

工程力学的发展与工程的发展相辅相成,相互促进。在古代建筑中,尽管还没有严格的科



学理论,但人们从长期生产实践中,对构件的支承力情况已有一些定性或较粗浅的定量认识。例如,从圆木中截取矩形截面的木梁,当高宽比为 $\frac{3}{2}$ 时,承载能力佳,也最为经济,这大体上符合现代材料力学的基本原理。

随着工业的发展,在车辆、船舶、机械和大型建筑工程的建造中所碰到的问题日益复杂,单凭经验已无法解决。这样,在对构件强度和刚度长期定量研究的基础上,逐渐形成了材料力学。

意大利科学家伽利略为解决建造船舶和水闸所需的梁的尺寸问题,进行了一系列实验,并于1638年首次提出梁的强度计算公式。由于当时对材料受力后会发生变形这一规律缺乏认识,他采用了刚体力学的方法进行计算,以致所得结论不完全正确。后来,英国科学家胡克在1678年发表了根据弹簧实验观察所得的“力与变形成正比”这一重要物理定律(即胡克定律),奠定了材料力学的基础。

从18世纪起,材料力学开始沿着科学理论的方向向前发展。随着高速车辆、飞机、大型机械以及铁路桥梁等的出现,减轻构件的自重成为亟待解决的问题。随着冶金工业的发展,新的高强度金属(如钢和铝合金等)逐渐成为主要的工程材料,从而使薄型和细长型构件大量被采用。这类构件的失稳破坏屡有发生,从而引起工程界的注意,并成为构件刚度和稳定性理论发展的推动力。由于超高强度材料和焊接结构的广泛应用,低应力脆断和疲劳事故又成为新的研究课题,促使这方面研究迅速发展。

工程问题简介

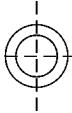


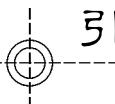
魁北克大桥

1907年,加拿大在圣劳伦斯河上建设魁北克大桥。设计者库帕认为是最佳、最省的,还忘乎所以地把大桥的长度由原来的500米加长到600米,以争取成为世界第一桥。桥的建设速度很快,施工组织也很完善。正当人们开始考虑如何为大桥剪彩时,忽然听到一声震耳欲聋的巨响——大桥塌了,19000吨钢材和86名建桥工人落入水中,只有11人生还。事后调查原

因,是由于库帕沉溺于自我陶醉,忽略了对桥梁重量的精确计算,由于弦杆受压失稳引起的,而弦杆受压失稳是由于自重估计过低所致(事后计算实际自重超出估算自重20%而不是原先以为的7%~10%),从而酿成了一场悲剧。魁北克大桥事件的另一个影响是促进了对压杆,特别是用格条缀合起来的组合压杆的稳定研究。

第一篇 静力学





1. 几个基本概念

静力学研究物体在力系作用下的平衡规律。

力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体发生运动状态变化和形状变化,前者称为力的运动效应或力的外效应,后者称为力的变形效应或力的内效应。理论力学主要研究力的运动效应。力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点三个要素,故力应以矢量表示,本书中用字母 \mathbf{F} 表示力矢量,而用字母 F 表示力的大小。

力系是指作用在物体上的若干个力。工程中常见的力系,按其作用线所在的位置,可以分为平面力系和空间力系;又可以按其作用线的相互关系,分为共线力系、平行力系、汇交力系和任意力系。

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,它是机械运动的特殊形式。平衡是相对的,在工程实际中,通常把固连于地球的参考系作为惯性参考系来研究物体相对于地球的平衡问题,其分析计算的结构具有足够的精确度,也能较好地与实际情况相吻合。

静力学中所指的物体都是刚体。所谓刚体,是指在力的作用下,其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。这是一个理想化的模型。事实上,任何物体受力后或多或少都会发生变形,并不存在绝对的刚体。但是,对那些在运动中变形极小,或虽有变形但其整体运动影响较小的物体,忽略其变形,对问题的研究结果不仅没有显著的影响,而且可以使问题得以简化,这时,该物体可抽象为刚体。将物体抽象为刚体是有条件的,这与所研究的问题的性质有关,当物体的变形成为所研究问题的主要方面而不能忽略时,则不能抽象为刚体,而应按变形体处理。

2. 静力学研究的三类问题

(1) 物体的受力分析

分析物体或物体系共受几个力,以及每个力的作用位置和方向。

(2) 力系的等效替换或简化

作用于物体上的力系可以用另一个与它作用效果相同的力系来代替,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。如果一个力系与一个力等效,则此力系称为力系的合力,而该力系中的各个力称为此力系的分力。

(3) 力系的平衡条件及应用

研究物体处于平衡时,作用于物体上的力系所应满足的条件即力系的平衡条件。

物体的受力分析是解决力系问题的关键,研究力系等效替换是便于了解力系对物体作用的总效应,并为导出各种力系的平衡条件做准备,也为动力学奠定了基础。利用平衡条件求解物体或物体系的平衡问题,则是静力学的核心问题。

静力学在工程实际中有着广泛的应用,利用平衡条件求解平衡问题所得的结果是设计结构、构件和机械零件的静力计算的依据。静力学中物体的受力分析方法和力系的简化理论也将直接应用于动力学中。



第1章 静力学的基本概念和物体的受力分析

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，它是解决力学问题的重要环节。

1.1 静力学基本概念

力和刚体是静力学中两个重要的基本概念。这里将介绍这两个基本概念的含义，说明它们反映了客观事物的何种本质特征，是概括了客观事物的哪些共性而抽象化形成的。

1.1.1 力的概念

力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的运动状态和物体的形状发生变化。物体间相互作用力的形式有多种多样，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、电磁场对物体作用的电磁力。

力是物体间的相互作用。有一个力，就必然有一个施力物体和一个受力物体，离开物体间的作用是不能进行受力分析的。

实践证明，力对物体的作用效果取决于力的三要素，即力的大小、方向和作用点。其中任何一个要素发生变化，力的作用效果也随之发生变化。因此，力是矢量。我们用一个矢量表示力的三要素，如图 1-1 所示。

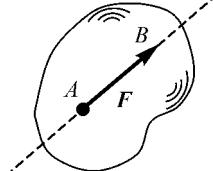


图 1-1

力是具有大小和方向的量，作用在物体上的力需要用矢量来表示。矢量的起点 A 表示力的作用点；矢量的长度 AB 按选定的比例尺表示力的大小；矢量的方向表示力作用的方向。

在国际单位制中，力的单位是牛[顿](N)或千牛[顿](kN)。

在本书中，凡是矢量都用黑斜体字母表示，如力 F ；而这个矢量的大小则用一般斜体的同一字母表示，如 F 。

1.1.2 力系

力系是指作用在物体上的一群力。力的作用线在同一平面内，该力系称为平面力系；力作用线为空间分布，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物体的运动状态，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。



1.1.3 刚体的概念

任何物体受力作用时都要发生变形，即便变形极其微小，也能用各种测试手段证明变形的存在。但是，在研究物体机械运动规律时，如果物体受力作用所引起的变形很小，对所研究的问题影响甚微；或者物体的变形已经结束，不再继续发生，且已发生的变形与所研究的问题无关，则为使物体得到简化，可以略去物体变形这一次要因素，把所研究的物体看成是不变形的物体——刚体。刚体是指在力的作用下，其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体。

1.1.4 二力杆

不考虑自重，只在两个铰点处受力而处于平衡的构件称为二力杆。

由二力平衡的条件可知，当铰杆处于平衡状态时，其上所受的两个力必定是大小相等、方向相反地作用在链杆两个铰链中心的连线上。按作用与反作用定律，链杆对物体的约束反力也必定作用在链杆两铰链中心的连线上。反力的大小和指定待定。

1.2 静力学公理

静力学公理是人们在实践中总结出的关于力的一些基本规律，这些规律又在实践中得到验证，而被人们所公认。静力学公理反映的规律是极其简单的，但是，它是建立静力学理论的基础。

公理一 二力平衡的条件

物体受到两个力作用而处于平衡状态，此二力必须满足的条件是：作用在同一条直线上，且大小相等、方向相反。

由两个力所组成的力系是最简单的力系。公理一给出了这种最简单力系的平衡条件。由图 1-2 所示，这两个矢量的关系为

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

此公理揭示了作用于刚体上最简单力系平衡时所必须满足的条件。

公理二 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点，合力的大小和方向由这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。如图 1-3(a) 所示；或者说，合力矢等于这两个力矢的矢量和，即

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

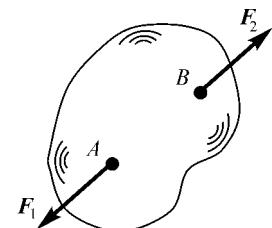


图 1-2

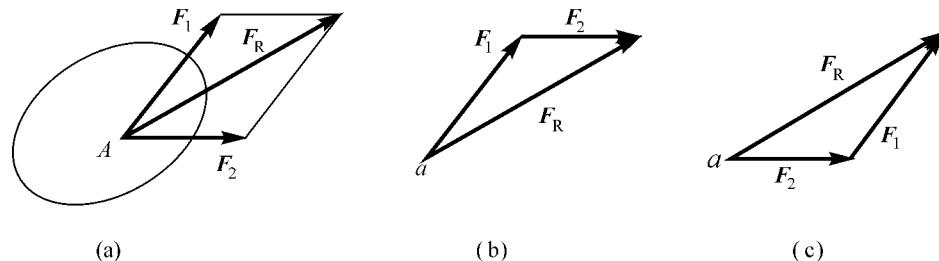


图 1-3