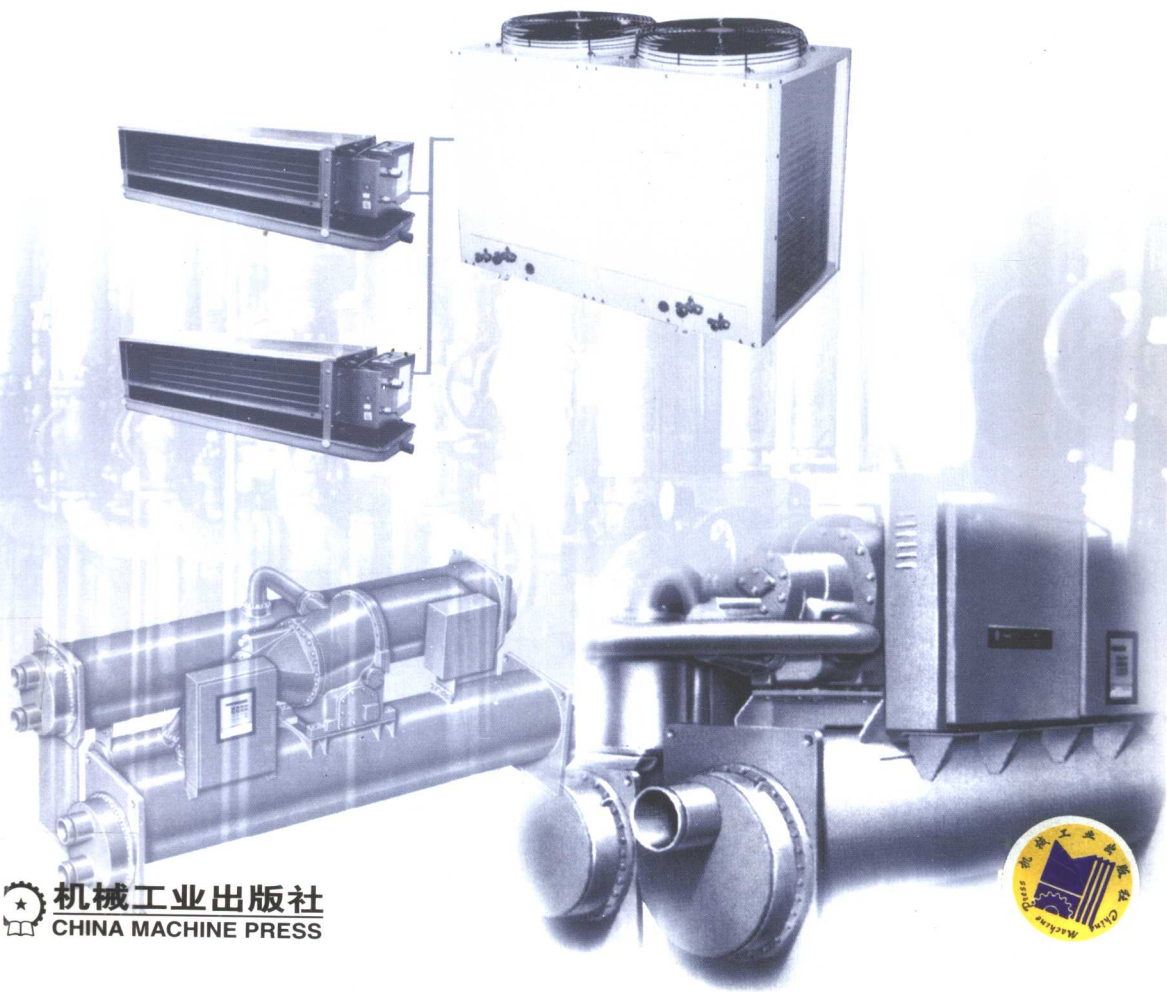


普通高等职业教育规划教材

工程力学

主编 王培兴 李 健
主审 乔志远



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等职业教育规划教材

工 程 力 学

主 编 王培兴 李 健
参 编 乔淑玲 张立柱 李晓峰
主 审 乔志远

本书针对高等职业教育教学特点,对传统的工程力学课程内容进行了合理的重组,在内容的安排上突出了实用和够用的原则,注重与工程实际相结合,强调了基本概念、基本原理和基本计算,文字表述深入浅出,简明扼要。

本书共分十二章,内容包括:绪论,静力学基本概念,平面汇交力系,力矩、平面力偶系,平面一般力系,轴向拉压,扭转,平面图形的几何性质,梁的弯曲,应力状态与强度理论,组合变形,压杆稳定。

本书可作为高等职业院校、成人教育院校供热通风与空调、给水排水、建筑设备、机械及机电一体化等专业的教材,也可作为开设工程力学课程的其他相关专业学生的学习参考书。本书配有学习指导书。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/王培兴,李健主编. —北京:机械工业出版社, 2005.1

普通高等职业教育规划教材

ISBN 7-111-15463-0

I. 工... II. ①王...②李... III. 工程力学 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 133916 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:李俊玲 版式设计:冉晓华 责任校对:申春香

封面设计:姚毅 责任印制:施红

北京忠信诚胶印厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5·7.5 印张·290 千字

定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

68326294、68320718

投稿热线(010)88379540

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书根据高等职业院校供热通风与空调、给水排水、建筑设备等专业对力学课程教学的基本要求编写，也可作为机械、机电一体化等专业的教材。

本书具有以下特点：

1. 内容体系上有所更新，对传统的“理论力学”、“材料力学”两大力学课程内容，既有合理的取舍，又进行了必要的重组，形成了既精练而又相对完整的课程体系，有利于学生在学习时接受与理解。

2. 具有针对性和实用性，既考虑了对基本理论、基本概念和基本计算能力的要求，同时也考虑了结合工程实际、开拓学生视野，注重培养学生具体分析问题和解决问题的能力。

3. 内容叙述详实，深入浅出。各章围绕基本概念、基本理论与基本计算，列举了较多的例题，在各章末配备了一定的思考题与习题，便于学生的自学及复习。

4. 融合了参编人员所在院校有关教师多年的教学经验，使教材更贴近教学，贴近学生，体现以人为本的教学理念。

5. 为方便学生自学及复习，本书还配备了配套的学习指导书。

参加本书编写的有徐州建筑职业技术学院王培兴(第一、二、十二章)、湖南城建职业技术学院李健(第七、八、十一章)、山西建筑职业技术学院乔淑玲(第九章)、沈阳建筑大学职业技术学院张立柱(第五、六章)、新疆建设职业技术学院李晓峰(第三、四、十章)。王培兴、李健任主编。

本教材在编写过程中，得到了各参编院校领导及机械工业出版社的支持，内蒙古建筑职业技术学院乔志远副教授审阅了全书，并提出了许多宝贵的意见，在此一并致谢。由于编者的水平所限，书中不足之处在所难免，恳请读者给与批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 刚体和平衡的概念	1
第二节 变形体的概念与变形杆件的基本形式	2
第三节 工程力学的研究对象与任务	5
思考题与习题	6
第二章 静力学基本概念	7
第一节 力	7
第二节 力系、等效力系、平衡力系	8
第三节 静力学公理	9
第四节 约束与约束反力	12
第五节 受力分析与受力图	17
思考题与习题	22
第三章 平面汇交力系	24
第一节 平面汇交力系合成的几何法	24
第二节 平面汇交力系平衡的几何条件	25
第三节 平面汇交力系合成的解析法	27
第四节 平面汇交力系平衡的解析条件	30
思考题与习题	33
第四章 力矩、平面力偶系	35
第一节 力矩的概念、合力矩定理	35
第二节 力偶与力偶的性质	38
第三节 平面力偶系的合成与平衡	41
思考题与习题	44
第五章 平面一般力系	45
第一节 力的平移定理	45
第二节 平面一般力系向作用面内一点的简化	46
第三节 平面一般力系的平衡条件和平衡方程	52
第四节 物体系统的平衡	56
思考题与习题	60
第六章 轴向拉伸与压缩	66
第一节 轴向拉伸与压缩的概念	66

第二节	轴向拉压时横截面上的正应力	70
第三节	轴向拉伸与压缩时的变形	75
第四节	材料在拉伸与压缩时的力学性能	79
第五节	轴向拉压时的强度计算	87
第六节	应力集中的概念	91
思考题与习题	93
第七章	扭转	98
第一节	扭转的概念	98
第二节	扭转时的内力、扭矩图	99
第三节	剪切胡克定律	102
第四节	圆轴扭转时横截面上的应力与变形	103
第五节	圆轴扭转时的强度与刚度	108
第六节	切应力互等定理	111
第七节	矩形截面杆自由扭转时的应力与变形	112
思考题与习题	114
第八章	平面图形的几何性质	118
第一节	重心与形心	118
第二节	面积静矩	119
第三节	惯性矩	120
第四节	惯性积	128
思考题与习题	128
第九章	梁的弯曲	131
第一节	概述	131
第二节	直梁平面弯曲时横截面上的内力	132
第三节	剪力图和弯矩图	136
第四节	荷载集度、剪力、弯矩之间的微分关系及其在绘制内力图上的应用	141
第五节	叠加法与区段叠加法	145
第六节	纯弯曲梁横截面上的正应力及正应力强度	149
第七节	梁的合理截面形状	155
第八节	梁的切应力与切应力强度	157
第九节	梁的变形	162
第十节	叠加法求梁的变形	166
第十一节	梁的刚度条件与提高梁刚度的措施	169
思考题与习题	171
第十章	应力状态与强度理论	175

第一节 一点处的应力状态	175
第二节 平面应力分析	179
第三节 强度理论与强度条件	184
思考题与习题	188
第十一章 组合变形	190
第一节 组合变形的基本概念	190
第二节 斜弯曲的应力和强度	191
第三节 偏心压缩(拉伸)杆的应力和强度	195
第四节 截面核心	202
思考题与习题	205
第十二章 压杆稳定	209
第一节 压杆稳定的概念	209
第二节 临界力和临界应力	210
第三节 压杆的稳定计算	218
第四节 提高压杆稳定性的措施	222
思考题与习题	223
附录 型钢规格表	225
参考文献	233

第一章 绪 论

学习目标：理解刚体、变形体的概念；掌握平衡的特点及其相对性；熟悉对理想弹性体的几个基本假设；了解变形杆件的基本形式及“工程力学”的研究对象和任务。

第一节 刚体和平衡的概念

一、刚体的概念

生活实际和工程实践表明，任何物体受力的作用后，总会产生一些变形。但在通常情况下，绝大多数物体(如结构、构件或零件)的变形都是很微小的。研究证明，在某些情况下，这种微小的变形对改变物体的运动位置或者物体的运动状态来说影响很小，在计算中大多可以忽略不计，即不考虑力对物体作用时、物体产生的变形，而认为物体的几何形状保持不变。我们把这种在受力后能保持原有形状而不产生变形的物体称为刚体。刚体是对实际物体经过科学的抽象和简化后而得到的一种理想模型，在自然界几乎不存在。对刚体而言，当其受到力的作用后，只会发生运动位置或者运动状态的改变而不会产生形状的改变。如果变形在所研究的问题中成为主要问题时(如后面研究的变形杆件在外力作用下产生的变形、应力等问题)，刚体的概念就不再适用，当然就不能再把物体看作是刚体了，此时，就应该把物体视为变形物体。

二、平衡的概念

所谓平衡，是指物体在各种力的作用下相对于惯性参考系处于静止或作匀速直线运动的状态。在一般工程技术问题中，平衡常指物体相对于地球而言保持静止或作匀速直线运动。如静止在地面上的房屋、路桥工程中的桥梁、水利工程中的水坝等建筑物或构筑物，相对于地球而言均保持静止；在直线轨道上正常运行的火车，相对于地球而言，则是在作匀速直线运动等，都是物体在各种力作用下处于平衡的状态。显然，平衡是机械运动的特殊形态，因为静止是暂时的、相对的、有条件的；而运动才是永恒的、绝对的、无条件的。

第二节 变形体的概念与变形杆件的基本形式

一、变形体的概念

与刚体相对应，**变形体**是指在受力作用后可以产生变形的物体。在各种实际的工程结构中，构件或者杆件受到外力作用后，或多或少都在发生变形，即其形状和尺寸总会有所改变，这些改变，有的可以直接观察到，有些则需要通过仪器才能测出。由于物体具有这种可变形的性质，所以有时又称其为变形体。房屋结构中的柱子，在柱顶压力的作用下会有所缩短；梁在受横向力作用后会产生微弯；钢板的连接部分在钢板受力的作用后会产生错动等都是变形的实例。但是，应当指出，上面所说的这些变形，相对于物体本身的尺寸来说都是非常微小的，在进行受力计算时，经常先不予考虑，只是在需要知道变形量时才对其进行计算。

变形体在外力作用下产生的变形，就其变形的性质可以分为弹性变形和塑性变形。所谓**弹性**，是指变形物体在外力撤除后能恢复其原来形状和尺寸的性质。如弹簧在拉力作用下会伸长，如果拉力不太大，则当撤除拉力后，弹簧能恢复原状，这表明弹簧具有弹性。**弹性变形**是指变形物体上的变形在外力撤除后可消失的变形。如果撤除外力后，变形不能全部消失而留有残余，此残余部分就称为**塑性变形**或称残余变形。

撤除外力后能完全恢复原状的物体，称为**理想弹性变形体**或称**理想弹性体**。实际上，在自然界并不存在理想弹性体，但实验研究表明，常用的工程材料如金属、木材等，当外力不超过某一限度时(称为弹性阶段)，很接近于理想弹性体，这时，可以将它们近似地视为理想弹性体；而如果外力超过了这一限度，就会产生明显的塑性变形(称为弹塑性阶段)。

二、变形杆件的基本形式

在工程实际中，结构中的构件类很多，如杆件(图 1-1a)、薄壳结构(图 1-1b)、板式结构(图 1-1c)、块体(图 1-1d)等，工程力学主要研究杆件结构。所谓**杆件**，是指其长度相对于其他两个横向尺寸要大得多的构件，其几何形状可用轴线(截面形心的连线)和横截面(垂直于轴线的几何图形)表示。如图 1-2 所示的大梁，其长度远远大于横截面的高度和宽度，它就是杆件。一般地说，建筑工程中的梁和柱、机器上的传动轴等均属于杆件。杆件又称为杆，就其外形来说，可以分为直杆、曲杆和折杆。当杆件的轴线是直线时为直杆，当杆件的轴线为曲线或折线时，杆件分别为曲杆或折杆。

按横截面(垂直于轴线的截面)大小是否变化来分，杆件又可分为等截面杆(各截面都相同)和变截面杆(截面是变化的)。本书将重点讨论等截面的直杆(简

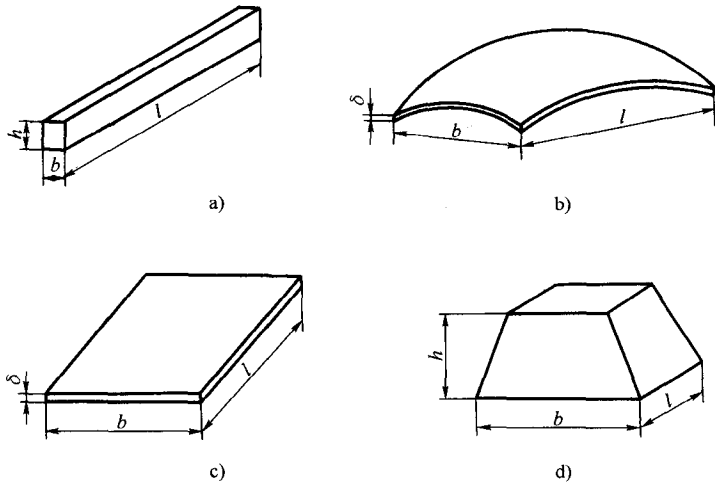


图 1-1

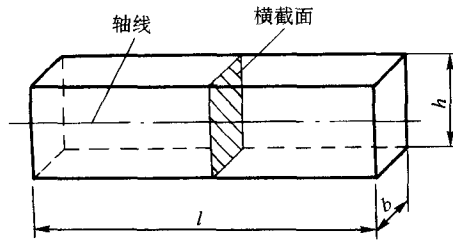


图 1-2

称为等直杆)在各种外力作用下的变形问题。

在不同形式的外力作用下,杆件产生的变形形态也各不相同,但其基本形式只有以下四类。

1. 轴向拉伸或压缩

如图 1-3a、b 所示,在一对大小相等、方向相反、作用线与杆轴线重合的外力(称为轴向拉力或压力)作用下,杆件将发生长度的改变(伸长或缩短),相应地在杆件的横向则发生变细或变粗。

2. 剪切

如图 1-3c 所示,在一对相距很近、方向相反的横向外力作用下,杆件的横截面将沿外力方向发生相对错动。

3. 扭转

如图 1-3d 所示,在一对大小相等、转向相反、位于垂直于杆轴线的两平面

内的力偶作用下，杆的任意两横截面将发生绕轴线的相对转动。

4. 弯曲

如图 1-3e 所示，在一对大小相等、转向相反、位于杆的纵向平面内的力偶作用下，杆件将在纵向平面内发生弯曲，其轴线由直线变为曲线。

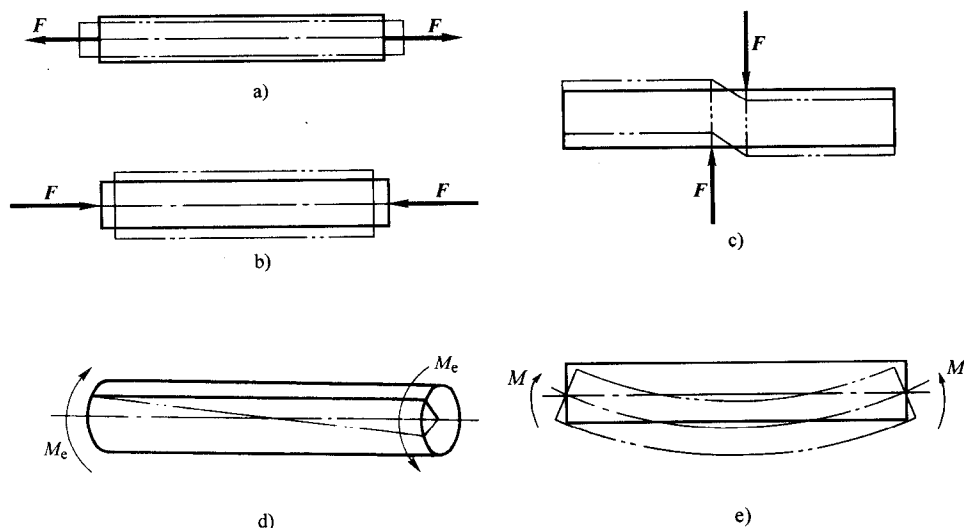


图 1-3

工程实际中的杆件或构件，可能同时承受两种或两种以上不同形式的外力作用，同时产生两种或两种以上不同形式的变形，称之为组合变形。但归根结底，其变形总是由四种基本变形组合而成的。

三、对理想弹性体的基本假设

在工程实际中的各种构件，其形状各异，在荷载的作用下都会发生变形，而制作构件的材料，其结构与性质又都非常复杂。在进行理论分析时，为了使计算简便，常略去一些次要的因素而将它们简化抽象为一种理想的模型即理想弹性体。为此，对其作如下基本假设：

1. 连续均匀假设

假设变形固体内毫无空隙地、均匀地充满了物质，而且各处的力学性质都相同。尽管实际材料内部存在着不同程度的空隙，是非连续、非均匀的，但是这些空隙与构件的尺寸相比要小得多，当从宏观角度去研究构件的强度等问题时，这些空隙对材料的性质及计算结果所引起的误差很小，可忽略不计，从而认为材料是连续均匀的。

根据这个假设，构件变形的一些物理量就可用坐标的连续函数来表示，从而

使理论分析和计算大为简化。

2. 各向同性假设

假设材料沿各个方向的力学性能都相同。工程中常用的金属材料，就其每一晶粒来讲，力学性质是具有方向性的，但是，由于构件中所含晶粒数量极多，而其排列又是不规则的，因此它们的统计平均性质在各个方向就基本趋于一致了。像钢、铜、混凝土以及玻璃等都可以看作是各向同性材料。但也有一些材料，如轧制的钢材、木材等，其力学性能具有方向性，称为各向异性材料。

3. 小变形假设

构件在荷载的作用下所产生的变形，与构件的原始尺寸相比，是非常微小的。根据这个假设，在分析计算构件的平衡关系等问题时，可以先将变形的影响略去不计，从而使计算大为简化，而由此所引起的误差是非常微小的。

第三节 工程力学的研究对象与任务

工程力学的内容，包括静力学和材料力学两部分。

一、静力学的研究对象与任务

1. 静力学的研究对象

静力学是研究物体平衡规律的一门科学，其研究对象主要是刚体，它可以是单个物体，也可以是由几个物体按照一定的方式组成的系统。对于这些物体或者物体系统，在静力学中，都把它们视为刚体。

2. 静力学的研究任务

静力学的研究任务，可以分为以下三个方面：

- 1) 对物体或物体系统进行受力分析。
- 2) 各种力系的简化。
- 3) 各种力系的平衡条件及其应用。

通过静力学的学习，探索与掌握力系的静力平衡条件并且将之应用到对实际结构的分析与计算中，从而求出作用在结构上的未知力，为构件与结构的计算提供必要的基础知识。

二、材料力学的研究对象与任务

1. 构件的承载力的概念

所谓构件的承载力，是指构件能够承受具体荷载作用的能力，它包含三个方面的指标，即构件的强度、刚度和稳定性。

(1) **强度** 强度指构件抵抗破坏的能力。在工程实际中，各种机械和结构都是由若干构件组成的，要保证机械和结构能够正常工作，每个构件都必须安全可靠，而要保证构件安全可靠，首先要求构件在荷载作用下不发生破坏。如起吊重

物的钢丝绳，不能被拉断；传动机构中齿轮的轮齿不允许被折断；梁和轴不允许发生断裂等。因此，构件必须具有足够的强度。

(2) **刚度** 刚度指构件抵抗变形的能力。有些构件虽然在荷载作用下不会发生破坏，但由于产生了较大的变形，也会影响其正常使用。如厂房中的吊车梁，如果变形过大会影响吊车的正常行驶等。所以，为了保证结构的正常工作，必须研究结构和构件的变形，将变形控制在一定的范围内，从而使结构和构件具有足够的刚度。

(3) **稳定性** 稳定性主要指细长的受压杆，在所受压力不超过某一数值时（该值比按照强度计算所能承受的压力要小得多）保持稳定平衡的能力。细长的受压杆，在所受压力超过某一数值时，其直线平衡状态将不再稳定，此时，如果稍加干扰力，就很容易使杆件突然变弯，从而导致结构整体的破坏，这种现象称为失稳。在工程结构中是不允许发生失稳的。所以，必须研究结构平衡形式的稳定问题，使构件具有足够的稳定性。

2. 材料力学的研究对象

材料力学是研究构件强度、刚度和稳定性的一门科学，其研究对象主要是直杆，其受力状态可以是只受一种简单的作用力（如轴向拉伸或压缩、扭转、剪切、弯曲），也可以是上面几种受力状态的组合。

3. 材料力学的研究任务

材料力学的研究任务，可以分为以下几个方面：

- 1) 计算构件的强度。
- 2) 计算构件的刚度。
- 3) 计算细长压杆的稳定性。

通过材料力学的学习，探索与掌握构件在受力后的内力、应力、变形的计算方法和规律，使结构和构件在经济的前提下，最大限度地保证具有足够的强度、刚度和稳定性；另外，也为今后学习专业课程打下必要的理论基础。

思考题与习题

1. 试举例说明刚体、变形体、平衡的概念。
2. 理想变形体的基本假定有哪些？
3. 变形杆件的基本变形分为哪几种？
4. 构件的承载力包括哪些？

第二章 静力学基本概念

学习目标：掌握力的概念和性质，了解力系的概念，熟悉静力学的几个公理及其应用，熟悉几种常见约束的特点及约束反力的形式，能熟练地对物体系统进行受力分析，作出受力图。

第一节 力

一、力的概念

力的概念来源于人们的劳动实践。通过长期的生产劳动和科学实践，人们逐渐认识到力是物体间的相互机械作用，这种作用使物体的运动状态或形状发生改变。物体间的相互机械作用可分为两类：一类是物体间的直接接触的相互作用，而另外一类是场和物体间的相互作用。尽管物体间的相互作用力的来源和物理本质不同，但它们所产生的效应是相同的。

物体在受到力的作用后，产生的效应可以分为两种：

- (1) 外效应 使物体的运动状态发生改变，也称为运动效应。
- (2) 内效应 使物体的形状发生变化，也称为变形效应。

静力学研究物体的外效应。

二、力的三要素

实践表明，力对物体作用的效应决定于力的三个因素：力的大小、方向和作用点，称为力的三要素。

(1) 力的大小 力的大小反映物体之间相互机械作用的强度，通过由力所产生的效应的大小来测定。在国际单位制(SI)中，力的单位是 N(牛)；在工程单位制中，力的单位是 kgf(千克力)。两种单位制之间力的换算关系为： $1\text{kgf} = 9.8\text{N}$ 。

(2) 力的方向 力的方向指静止物体在该力作用下可能产生的运动(或运动趋势)的方向。沿该方向画出的直线称为力的作用线。力的方向包含力的作用线在空间的方位和指向。

(3) 力的作用点 力的作用点指物体承受力作用的部位。实际上，两个物体之间相互作用时，其接触的部位总是占有一定的面积，力总是按照各种不同的方式分布于物体接触面的各点上。当接触面面积很小时，则可以将微小面积抽象为

一个点，这个点称为力的作用点，该作用力称为**集中力**；反之，如果接触面积较大而不能忽略时，则力在整个接触面上分布作用，此时的作用力称为**分布力**。分布力的大小用单位面积上的力的大小来度量，称为**荷载集度**，用 q 来表示，单位为 N/m^2 。

三、力的性质

力既有方向又有大小，是矢量，记作 F^{\ominus} ，如图 2-1 所示，常用一段带有箭头的直线 AB 来表示：其中线段 AB 的长度按一定的比例尺表示力的大小；线段的方向和箭头的指向一致，表示力的方向；线段的起点 A 或终点 B (应在受力物体上)，表示力的作用点，线段所沿的直线为力的作用线。

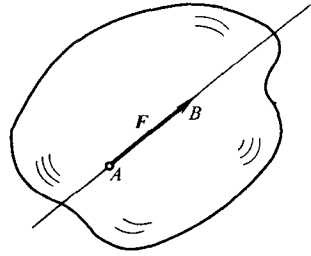


图 2-1

第二节 力系、等效力系、平衡力系

一、力系

作用在物体上的一组力，称为力系。按照力系中各力作用线分布的不同形式，力系可分为以下几种。

(1) 汇交力系 力系中各力作用线(或者其延长线)汇交于一点(图 2-2)。

(2) 力偶系 力系中各力全部可以组成若干力偶(见第四章)或力系由若干力偶组成(图 2-3)。

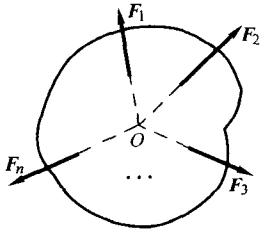


图 2-2

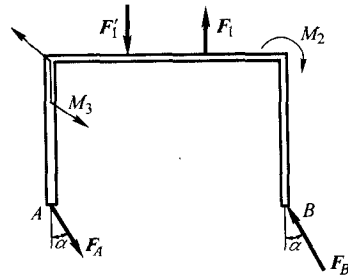


图 2-3

(3) 平行力系 力系中各力作用线相互平行(图 2-4)。

(4) 一般力系 力系中各力作用线既不完全交于一点，也不完全相互平行，即处于一般位置(图 2-5)。

⊖ 一般用黑体字母 F 表示力矢量，明体字母 F 只表示力矢量的大小。

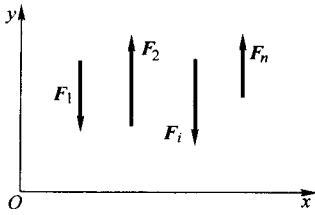


图 2-4

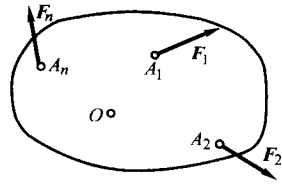


图 2-5

如果按照各力作用线是否位于同一平面内，上述力系各自又可以分为平面力系和空间力系两大类，如平面汇交力系、空间一般力系等等。

二、等效力系

如果某一力系对刚体产生的效应可以用另外一个力系来代替，即两个力系对刚体的作用效应相同，则称这两个力系互为等效，或者说，其中任一力系为另一个力系的等效力系。当一个力与一个力系等效时，则称该力为力系的合力；而该力系中的每一个力称为其合力的分力。把力系中的各个分力代换成合力的过程，称为力的合成；反过来，把合力代换成若干分力的过程，称为力的分解。

三、平衡力系

若刚体在某力系作用下保持平衡，则该力系称为平衡力系。在平衡力系中，各力相互平衡，或者说，诸力对刚体产生的运动效应相互抵消。可见，平衡力系是对刚体作用效应等于零的力系。平衡力系作用使刚体保持平衡所需要满足的条件称为力系的平衡条件，这种条件有时是一个，有时是多个，它们是工程力学计算的基础。

第三节 静力学公理

静力学公理是人们从实践中总结得出的最基本的力学规律，这些规律的正确性已为实践反复证明，是符合客观实际的。

一、二力平衡公理

作用于刚体上的两个力平衡的充分与必要条件是这两个力大小相等、方向相反、作用线相同。

这一结论是显而易见的。如图 2-6 所示直杆，在杆的两端施加一对大小相等的拉力(F_1 、 F_2)或压力(F_3 、 F_4)，均可使杆平衡。

但是，应当指出，上面条件对于刚体来说是充分而且必要的；而对于变形体来说，该条件只是必要的而不充分。如柔索，在受到两个等值、反向、共线的压力作用时就不能平衡。

在两个力作用下处于平衡的物体称为二力体；若为杆件，则称为二力杆。根据二力平衡公理可知，作用在二力体上的两个力，它们必通过两个力作用点的连线（与杆件的形状无关）且等值、反向（图 2-7）。

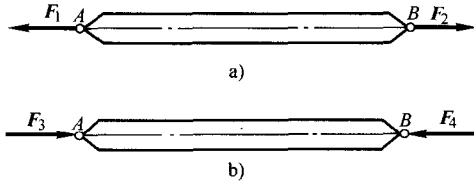


图 2-6

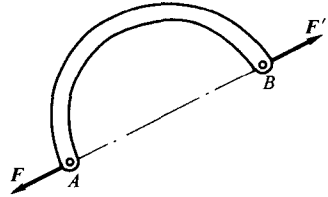


图 2-7

二、加减平衡力系公理

在作用于刚体上的已知力系上，加上或减去任意平衡力系，不会改变原力系对刚体的作用效应。

这是因为在平衡力系中，诸力对刚体的作用效应都相互抵消，力系对刚体的效应等于零。所以，对刚体来说，在其上施加或者撤除平衡力系都不会对刚体产生任何影响。根据这个原理，可以进行力系的等效变换，即在刚体上任意施加或者撤除平衡力系。

推论 力的可传性原理

作用于刚体上某点的力，可沿其作用线任意移动作用点而不改变该力对刚体的作用效应。

利用加减平衡力系公理，很容易证明力的可传性原理。如图 2-8 所示，设力 F 作用于刚体上的 A 点。现在其作用线上的任意一点 B 加上一对平衡力系 F_1 、 F_2 ，并且使 $F_1 = -F_2 = F$ ，根据加减平衡力系公理可知，这样做不会改变原力 F 对刚体的作用效应；再根据二力平衡条件可知， F_2 和 F 亦为平衡力系，可以撤去。所以，剩下的力 F_1 与原力 F 等效。力 F_1 即可看成为由力 F 沿其作用线由 A 点移至 B 点的结果。

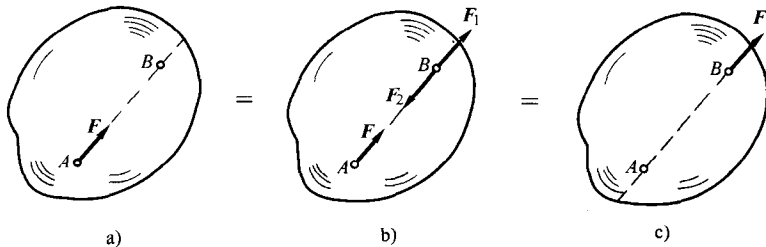


图 2-8