

建筑力学

(上册)

主 编 冷雪峰 栾凤艳
副主编 贺宏亮
参 编 赵亚军 宁 宁

哈尔滨地图出版社

建筑力学

JIANZHU LIXUE

(上册)

主 编	冷雪峰
副主编	贺宏亮
参 编	赵亚军 宁宁

哈尔滨地图出版社

· 哈尔滨 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑力学. 上册 / 冷雪峰主编. —哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2006. 12

ISBN 7-80717-518-4

I. 建... II. 冷... III. 建筑力学 - 高等学校-教材
IV. TU311

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 162087 号

哈尔滨地图出版社出版、发行

(地址: 哈尔滨市南岗区测绘路 2 号 邮政编码: 150086)

牡丹江市教育印刷厂印刷

开本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 28.875 字数: 609 千字

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1~2 000 定价: 36.00 元 (上、下册)

前 言

建筑力学是道路与桥梁、市政工程建设、工程监理、建筑工程技术等专业的重要基础课。近年来,随着高职教育的不断深入发展,课程内容、体系、学时等各种因素也发生了改变,因此根据高等职业教育的培养目标和培养计划,结合编者多年的教学和教改实践编写了本教材。

本书着力体现基础理论以“必需、够用”为度,突出针对性和实用性,在保证基本概念、基本理论及基本方法够用的基础上,注重实际应用及实际计算。内容紧凑、深入浅出、通俗易懂,便于自学。理论叙述清楚、概念明确、计算简捷,直观体现了培养高等应用型人才的特点。

本书可作为高等职业技术教育建筑施工、建筑工程管理、道路与桥梁、市政工程建设、工程监理等专业的建筑力学教材,也可作为土建工程类工程技术人员的参考用书。

全书共十五章,分为上、下两册。上册内容包括:绪论,静力学基本知识,平面力系,轴向拉伸与压缩,平面弯曲梁,应力状态和强度理论,组合变形。下册内容包括:平面体系的几何组成分析,静定结构的内力分析,静定结构的位移计算,力法、位移法与力矩分配法,影响线及其应用,压杆稳定。每章后有小结、思考题和习题,并附习题答案。

参加本书编写的有冷雪峰(第一、六、七章),栾凤艳(第八、九、十章),安素莉(第十三、十四章),贺宏亮(第五、十五章),赵亚军(第二章、第三章第一节~第三节),赵化海(第十一、十二章),宁宁(第三章第四节~第六节、第四章)。

本教材由东北林业大学李静辉教授担任主审,在审稿中提出了不少改进意见,再此表示衷心的感谢。

鉴于编者水平有限,以及编写时间仓促,书中难免有不妥之处,敬请同行和广大读者批评指正。

编 者
2006 年 10 月

目 录

(上 册)

第一章 绪论	1
第一节 建筑力学的研究对象	1
第二节 建筑力学基本任务和内容	3
第三节 刚体、变形固体及其基本假设	4
第四节 杆件变形的基本形式	5
第五节 荷载的分类	7
思考题	8
第二章 静力学基础	9
第一节 静力学的基本概念	9
第二节 静力学公理	10
第三节 力矩	15
第四节 力偶	17
第五节 约束与约束反力	20
第六节 受力图	25
小结	29
思考题	30
习题	32
第三章 平面力系	36
第一节 平面汇交力系的合成与平衡	37
第二节 平面力偶系的合成与平衡	47
第三节 力的平移定理	49
第四节 平面一般力系的简化	51
第五节 平面一般力系的平衡方程及应用	56
第六节 物体系统的平衡问题	64
小结	69
思考题	71
习题	72
第四章 轴向拉伸和压缩	76
第一节 拉压杆的内力和轴力图	77
第二节 拉压杆横截面上的应力	79
第三节 拉压杆的强度计算	82
第四节 拉压杆的变形	85
第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	87
第六节 拉压杆连接部分的实用计算	91
小结	94

思考题	95
习题	95
第五章 平面弯曲梁	101
第一节 概述	101
第二节 梁的内力—剪力和弯矩	102
第三节 剪力图和弯矩图	105
第四节 利用微分关系法绘制剪力图和弯矩图	108
第五节 叠加法绘制剪力图和弯矩图	113
第六节 静矩和形心	115
第七节 梁的正应力及强度计算	121
第八节 梁的切应力及强度计算	128
第九节 提高梁弯曲强度的措施	133
小结	136
思考题	136
习题	137
第六章 应力状态和强度理论	143
第一节 应力状态的概念	143
第二节 平面应力状态分析	146
第三节 梁的主应力迹线	154
第四节 空间应力状态分析简介	157
第五节 广义胡克定律	160
第六节 强度理论及其应用	162
思考题	175
习题	175
第七章 组合变形的强度计算	182
第一节 概述	182
第二节 斜弯曲	183
第三节 偏心压缩(拉伸)	187
小结	194
思考题	195
习题	197
型钢表	200
习题答案	216

第一章 绪 论

第一节 建筑力学的研究对象

土木工程中的各类建筑物，例如房屋、桥梁、蓄水池、挡土墙等，在建造及使用过程中都要承受各种力的作用。工程中习惯把主动作用于建筑物上的外力称为荷载。例如自重、风压力、水压力、土压力及人群和来往车辆对桥梁的作用力等都属于荷载。在建筑物中，承受并传递荷载而起骨架作用的部分称为结构。最简单的结构可以是一根梁或一根柱。但往往一个结构是由多个结构元件所组成的，这些结构元件称为构件。图1-1所示由屋架、柱子、吊车梁、屋面板件及基础等组成了工业厂房的空间骨架。图1-2所示桥梁、图1-3所示蓄水池和图1-4所示挡土墙也是结构的例子。

工程中常见的结构按照结构构件的几何特征可分为以下三类：

(1) 杆件结构。由杆件所组成的结构称为杆件结构。杆件的几何特性是它的轴线长度远大于其横截面的宽度和高度。横截面和轴线是杆件的两个主要几何因素，前者指的是垂直于杆件长度方向的截面，后者则为所有横截面形心的连线(图1-5)。如果杆件的轴线为

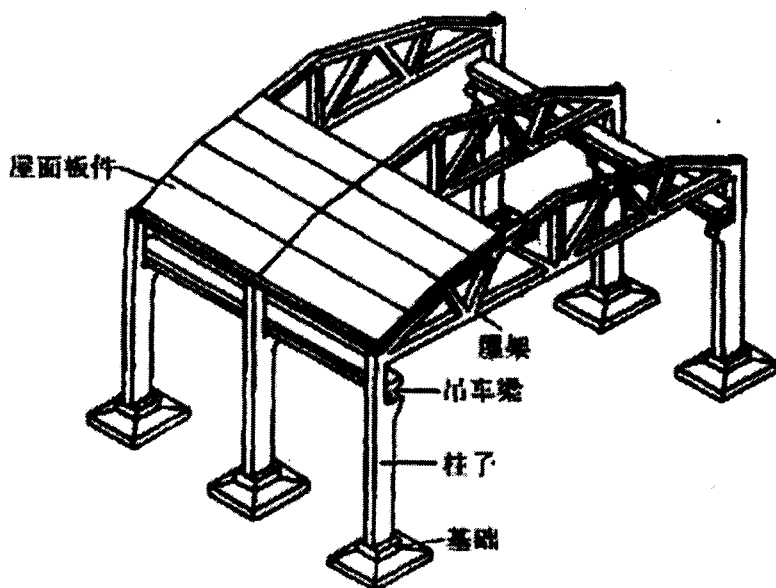


图 1-1

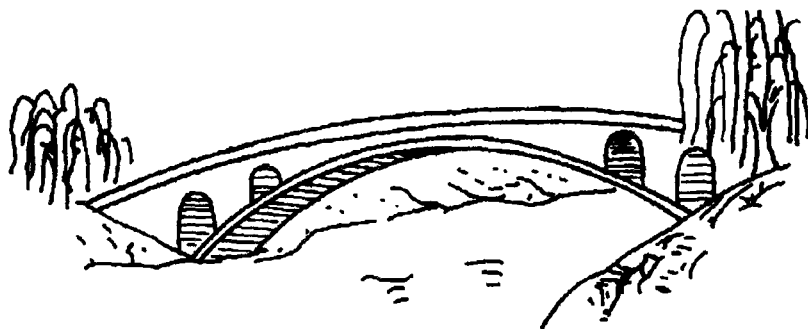


图 1-2

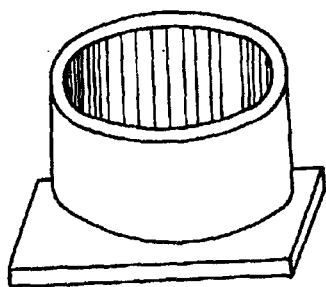


图 1-3

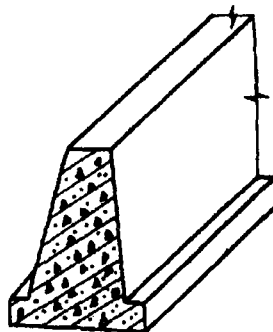
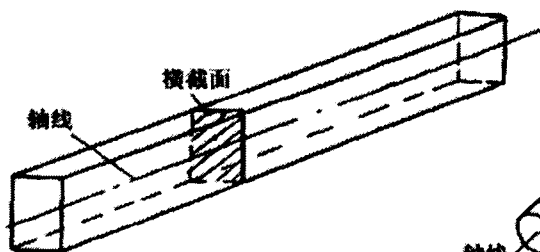
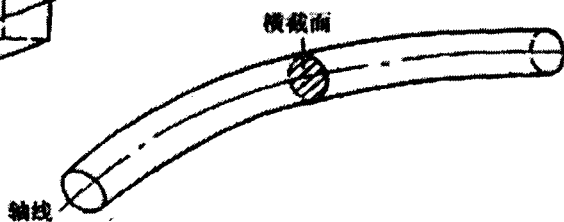


图 1-4



(a)



(b)

图 1-5

直线，则称为直杆[图1-5(a)]；若为曲线，则称为曲杆[图1-5(b)]。图1-6所示钢筋混凝土屋架就是一个杆件结构。

(2) 板壳结构。由薄板或薄壳组成的结构称为板壳结构。薄板或薄壳的几何特征是它们的长度和宽度远大于其厚度。当构件为平板状时称为薄板，当构件由曲面壳组成，称为壳体结构。图1-7所示的圆形水池、矩形水池均为壳体结构。

(3) 实体结构。如果结构的长、宽、高三个方向的尺寸为同一量级，则称为实体结构。

例如挡土墙（图1-4）、堤坝、块形基础等。

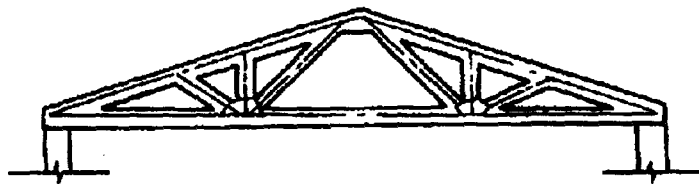


图 1-6

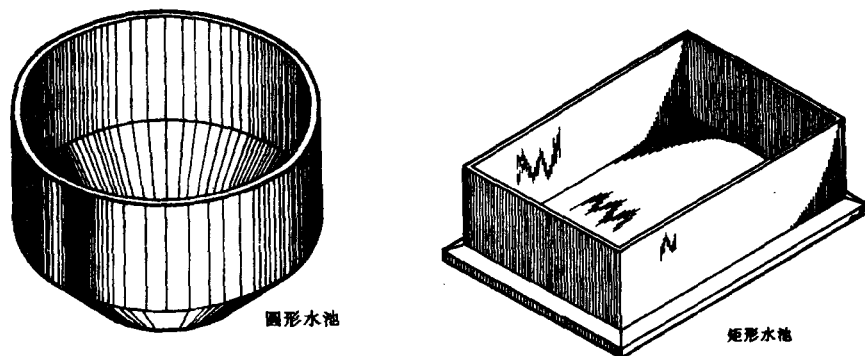


图 1-7

在土木工程中，杆件结构是应用最广泛的结构形式。按照空间特征，杆件结构又可分为平面结构和空间结构两类。凡是结构的所有杆件的轴线都位于同一个平面内，并且荷载也作用于该平面内的结构称为平面结构。否则称为空间结构。实际结构多属于空间结构，但在计算时，根据其实际受力特点，有许多空间结构可简化为平面结构来进行计算。本书的研究对象只限于平面杆件结构。

第二节 建筑力学的基本任务和内容

各种建筑物在正常工作时总是处于平衡状态。所谓平衡状态是指物体相对于地球处于静止或做匀速直线运动的状态。处于平衡状态的物体上所受的力不止一个而是若干个，我们把这若干个力总称为力系。能使物体保持平衡状态的力系称为平衡力系。平衡力系所必须满足的条件称为力系的平衡条件。

结构在荷载作用下处于平衡状态，作用于结构及各构件上的外力构成了各种力系。建筑力学首先要研究各种力系的简化及平衡条件。根据这些平衡条件，可以由作用于物体上

的已知力求出各未知力，这个过程称为**静力分析**。静力分析是对结构和构件进行其他力学计算的基础。

建筑力学的内容包含以下几部分：

(1) **静力学基础** 研究物体的受力分析、力系简化与平衡的理论以及杆系结构的组成规律等。

(2) **内力分析** 研究静定结构和构件的内力计算方法及其分布规律。

(3) **强度、刚度和稳定性问题**。主要内容如下：

结构的主要作用是承受和传递荷载。在荷载作用下结构的各构件内部会产生内力并伴有变形。要使建筑物按预期功能正常工作，必须满足以下基本要求：

① **结构和构件应具有足够的强度**。所谓**强度**是指**结构和构件抵抗破坏的能力**。如果结构在预定荷载作用下能安全工作而不被破坏，则认为它满足了强度要求。

② **结构和构件应具有足够的刚度**。所谓**刚度**是指**结构和构件抵抗变形的能力**。一个结构受荷载作用，虽然有了足够的强度，但变形过大，也会影响正常使用。例如屋面檩条变形过大，屋面会漏水；吊车梁变形过大，吊车就不能正常行驶。如果结构在荷载作用下的变形在正常使用允许的范围内，则认为它满足了刚度要求。

③ **结构和构件应具有足够的稳定性**。所谓**稳定性**是指**结构各构件保持原有平衡状态的能力**。例如受压的细长柱子，当压力增大到一定数值时，柱子就不能维持原来直线形式的平衡状态，就会突然弯曲，从而导致结构破坏，这种现象称为“失稳”。如果结构的各构件在荷载作用下能够保持其原有的平衡状态，则认为它满足了稳定性要求。

综上所述，建筑力学的基本任务就是研究结构的强度、刚度和稳定性问题，为此提供相关的计算方法和实验技术；为构件选择合适的材料、合理的截面形式及尺寸，以及研究结构的组成规律和合理形式，以确保安全和经济两方面的要求。

建筑力学是土建类专业的一门重要的技术基础课程，是研究建筑结构力学计算理论和方法的科学，也是从事建筑设计和施工的工程技术人员必不可少的基础理论。

第三节 刚体、变形固体及其基本假设

结构和构件可统称为物体。在建筑力学中将物体抽象化为两种力学模型：刚体模型、理想变形体模型。

一、刚体

刚体是受力作用而不变形的物体。实际上，任何物体受力作用都发生大或小的变形，但在一些力学问题中，物体变形这一因素与所研究的问题无关，或对研究的问题影响甚微，

这时，就可以不考虑物体的变形，将物体视为刚体，从而使所研究的问题得到简化。

在微小变形情况下，变形因素对求解平衡问题和求解内力问题的影响甚微。因此，研究平衡问题和求解内力问题时，可将物体视为刚体，即研究这些问题时，应用刚体模型。

二、变形固体及其基本假设

在另一些问题中，物体变形这一因素是不可忽略的主要因素，如不考虑就得不到问题的正确答案。这时，将物体视为理想变形固体，所谓理想变形固体，是将一般变形固体的材料性质加以理想化，做出以下假设：

1. 连续性假设 认为物体的材料结构是密实的，物体内材料是无空隙地连续分布。

2. 均匀性假设 认为材料的力学性质是均匀的，从物体上任取或大或小的一部分，材料的力学性质均相同。

3. 各向同性假设 认为材料的力学性质是各向同性的，材料沿不同的方向具有相同的力学性质。有些材料沿不同的方向的力学性质是不同的，称为各向异性材料。本教材中仅研究各向同性材料。

按照连续、均匀、各向同性假设而理想化了的一般变形固体称为理想变形固体。采用理想变形固体模型不但使理论分析和计算得到简化，而且在大多数情况下，计算所得结果的精度能满足工程的要求。

在研究强度、刚度、稳定性问题以及超静定问题时，即使变形很小的情况下，变形因素也是不可忽略的重要因素。因此，研究这些问题时，需将物体视为理想变形固体，应用理想变形固体模型。

无论刚体还是理想变形固体，都是针对所研究的问题的性质，略去一些次要因素，保留对问题起决定性作用的主要因素，而抽象化形成的理想物体，它们在生活中和生产实践中并不存在，但解决力学问题时，它们是必不可少的理想化的力学模型。

变形固体受荷载作用时将产生变形。当荷载值不超过一定范围时，荷载撤去后，变形随之消失，物体恢复原有形状。撤去荷载即可消失的变形称为弹性变形。当荷载值超过一定范围时，荷载撤去后，一部分变形随之消失，另一部分变仍然残留下来，物体不能恢复原有形状。撤去荷载仍残留的变形称为塑性变形。在多数工程问题中，要求构件只发生弹性变形；但也有些工程问题允许构件发生塑性变形。本教材局限于研究弹性变形范围内的问题。

第四节 杆件变形的基本形式

杆系结构中的杆件其轴线多为直线，也有轴线为曲线和折线的杆件。它们分别称为直杆、曲杆和折杆，分别如图1-8(a)、(b)、(c)所示。

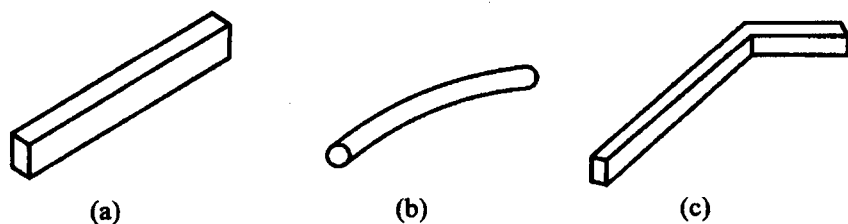


图1-8

横截面相同的杆件称为等截面杆（图1-8）；横截面不同的杆件称为变截面杆[图1-9(a)、(b)]。

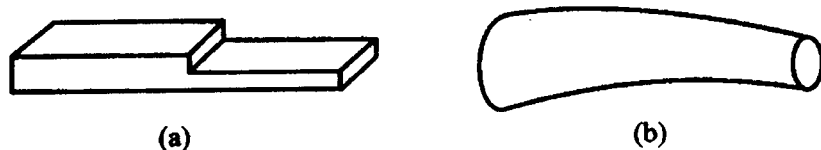


图1-9

杆件受力作用将产生变形。变形式是复杂多样的，它与外力施加的方式有关。无论何种形式的变形，都可归结为下面四种基本变形形式之一，或者是基本变形形式的组合。直杆的四种基本变形形式是：

(1) 轴向拉伸或压缩 一对方向相反的外力沿轴线作用于杆件，杆件的变形主要表现为长度发生伸长或缩短的改变。这种变形称为轴向拉伸或轴向压缩[（图1-10(a)）]。

(2) 剪切 一对相距很近的方向相反的平行力沿横向（垂直于轴线）作用于杆件，杆件的变形主要表现为横截面沿力作用方向发生错动。这种变形形式称为剪切[（图1-10(b)）]。

(3) 扭转 一对方向相反的力偶作用于杆件的两个横截面，杆件的相邻横截面绕轴线发生相对转动。这种变形形式称为扭转[（图1-10(c)）]。

(4) 弯曲 一对方向相反的力偶作用于杆件的纵向平面（通过杆件轴线的平面）内，杆件的轴线由直线变为曲线。这种变形形式称为弯曲[（图1-10(d)）]。

各种基本变形形式都是在上述特定的受力状态下发生的。杆件正常工作时的实际受力状态往往比上述特定的受力状态复杂，所以，杆件的变形形式多为各种基本变形形式的组合。当某一种基本变形形式起主要作用时，可按这种基本变形形式计算，否则，即属于组合变形问题（见第七章）。

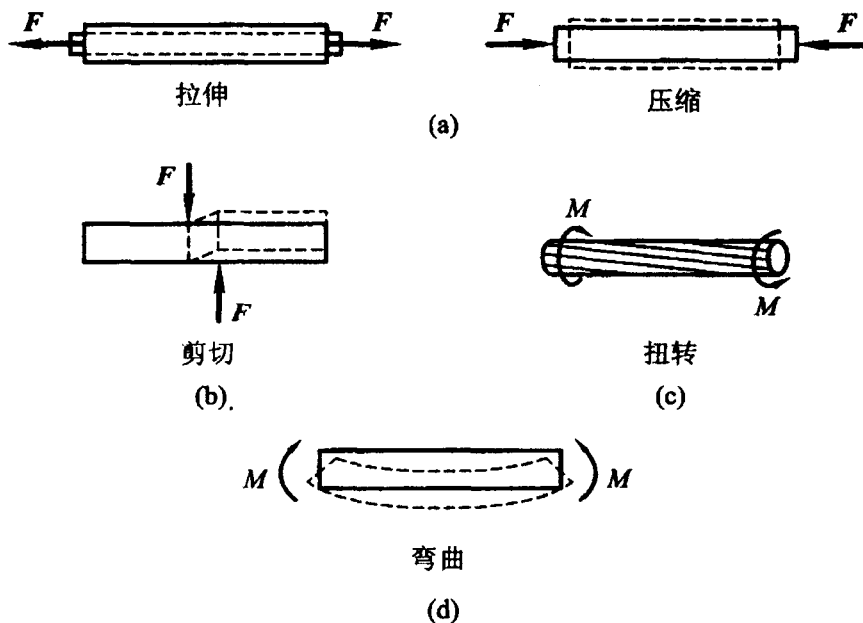


图1-10

第五节 荷载的分类

结构工作时所受的外力称为荷载。荷载可分为不同的类型。

一、按荷载作用的范围可分为分布荷载和集中荷载

分布作用在体积、面积和线段上的荷载分别称为体荷载、面荷载和线荷载，并统称为**分布荷载**。重力属于体荷载，风、雪的压力属于面荷载。本教材局限于研究由杆件组成的结构，可将杆件所受的分布荷载视为作用于杆件的轴线上。这样，杆件所受的分布荷载均为**线荷载**。

如果荷载作用的范围与构件的尺寸相比十分微小，这时可认为荷载集中作用于一点，并称为**集中荷载**。

当以刚体为研究对象时，作用于构件上的分布荷载可用其合力（集中荷载）来代替。例如，分布的重力荷载可用作用于重心上的集中合力来代替。当以变形固体为研究对象时，作用在构建上的分布荷载原则上不能任意地用其集中合力来代替。

二、按荷载作用的时间久暂可分为恒荷载和活荷载

永久作用在结构上的荷载称为**恒荷载**。结构的自重、固定在结构上的永久性设备等属于恒荷载。

暂时作用在结构上的荷载称为活荷载。风、雪荷载属于活荷载。

三、按荷载作用的性质可分为静荷载和动荷载

由零逐渐增加到最后值的荷载称为静荷载。静荷载作用的基本特点是：荷载在施加过程中，结构上各点产生的加速度不明显；荷载达到最后值以后，结构处于静止状态。

大小或方向随时间而改变的荷载称为动荷载。机器设备的运动部分所产生的扰力荷载属于动荷载；地震时由于地面运动作用在结构上产生的惯性力荷载也属于动荷载。动荷载作用的基本特点是：由于荷载的作用，结构上各点产生明显的加速度，结构的内力和变形都随时间而发生变化。

思 考 题

1-1 什么是结构？按照结构构件的几何特征，结构可分几类？建筑力学的研究对象是哪类结构？

1-2 什么叫做静力分析？

1-3 结构正常工作必须满足哪些基本要求？建筑力学的基本任务是什么？

1-4 作用于结构上的荷载怎样分类？杆件的基本变形形式有哪几种？

第二章 静力学基础

第一节 静力学的基本概念

一、刚体

什么是刚体呢？所谓刚体，是指在力的作用下不变形的物体。实际上，任何物体受力后都会有或多或少的变形。但是工程上常用的材料，如钢、铸铁、混凝土等所制成的机器零件或结构构件，通常都具有足够的刚度。如图 2-1 所示之桥式起重机的吊车梁，在载荷及本身重量作用下发生弯曲变形，由此而引起的吊车梁在铅垂方向的最大位移一般不超过梁跨度的 $1/500$ ，这种微小的变形对 A、B 两端铁轨支承力的影响是很小的，因此在计算这种支承力时，变形因素可以略去不计。也可将吊车梁抽象成不变形的刚体。这种抽象，是认识力学规律所必需的，也是解决实际问题所允许的。这样做，撇开了问题的次要因素而抓住其主要因素，从而使问题简化。

是否采用刚体这一模型，要根据所研究的问题的性质来定。随着问题性质的改变，那些原来是次要的因素在新的情况下可能转变为主要因素，于是必须对计算模型作相应的改变。如当讨论物体受到力的作用后会不会破坏时，变形就是一个主要的因素，这时就不能再把物体看作刚体，而应该看作变形体。再如，当一根梁上若有三个支座，要分析三个支座的支承力时，尽管梁的变形很小，三个支承力却与之有关，这时，梁的变形就成为主要因素，也必须以变形体来对待。

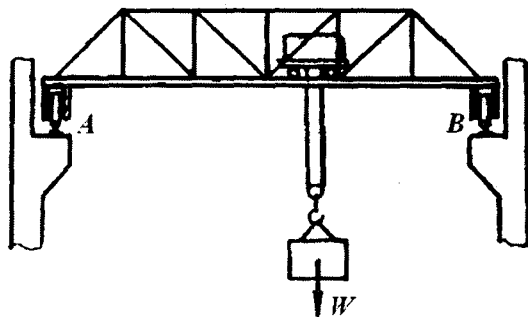


图 2-1 桥式起重机的吊车梁

但须指出，以刚体为对象得出的力系的平衡条件，一般也可以推广应用于变形很小的变形体的平衡情况。

二、力的概念

力是物体间的相互机械作用。力对物体的作用效应有两种，一是使物体的机械运动状态发生变化，二是使物体发生变形。前者称为运动效应，包括使物体移动的移动效应和使物体转动的转动效应；后者称为变形效应。实践证明，力对物体的效应取决于力的大小、方向和作用点。力的大小、方向和作用点称为力的三要素。力是既有大小又有方向的量，所以力是矢量。在国际单位制中力的单位是牛顿（N）。本书中用千牛顿（kN）作单位。

$$1\text{kN} = 1000\text{N}$$

当研究力对刚体的效应时，只要保持力的大小、方向不变，将力的作用点沿力的作用线移动，并不改变力对刚体的效应。例如用绳拉车，或者沿同一直线，以大小、方向相同的力推车，对车产生的运动效应相同。图 2-2 *a* 和 *b* 分别表示作用在同一刚体上的两力，若两力的大小、方向和作用线相同，尽管作用点不同，两力对刚体产生的运动效应仍相等，或等效。因此，力对刚体的效应取决于力的大小、方向和作用线。

作用在刚体上的力沿作用线移动而运动效应不变的性质，称为力的可传性。

力的可传性对于变形体并不适用。例如图 2-3 (*a*) 所示之直杆，在两端 *A*、*B* 处施加大小相等、方向相反、作用线相同的两个力 F_1 、 F_2 ，显然这时杆件产生拉伸变形。若将力 F_2 沿其作用线移至 *A* 点，力 F_1 移至 *B* 点，如图 2-3 (*b*)，这时杆件则产生压缩变形。这两种变形效应显然是不同的。因此力的可传性只限于研究力的运动效应。

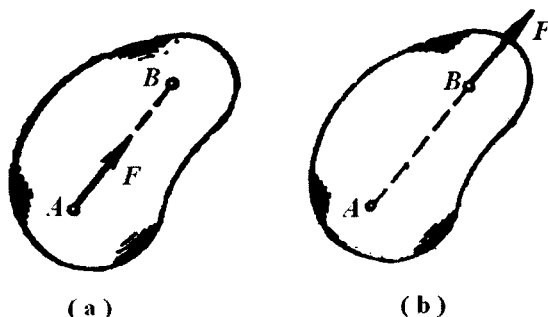


图 2-2

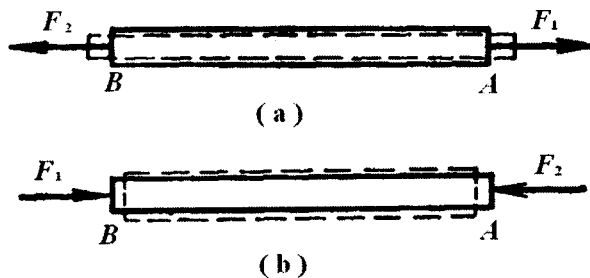


图 2-3

第二节 静力学公理

静力学公理是人们从长期的观察和实践中总结出来的，经过实践的反复检验，证明是符合客观实际的普遍规律。它们是研究力系简化和平衡的基本依据。

一、二力平衡公理

作用于同一刚体上的两个力，使刚体保持平衡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 2-4 *a*、*b* 所示，每个刚体各自在两个力的作用下处于平衡状态，虽然两个刚体的形状不同，但是每个刚体受到的力都满足二力平衡公理。所受两个力的作用线一定沿着二力作用点的连线。受两个力作用处于平衡的构件称为二力构件。在求解力学问题进行受力分析时，认识二力构件、掌握二力构件的平衡特点是非常有用的。

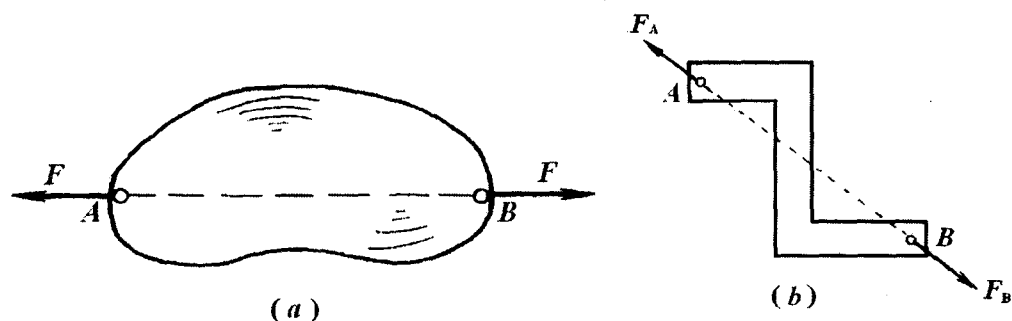


图 2-4

若一根直杆只在两点受力而处于平衡状态，则此杆受到的两个力的作用线一定与杆的轴线重合，此杆称为二力杆件，如图 2-5。

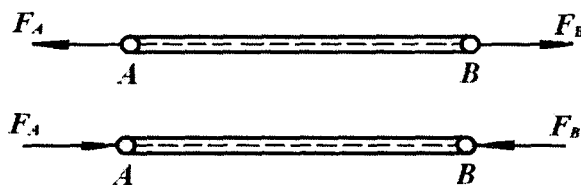


图 2-5

以上讲的二力平衡公理只适用于刚体，不适用于变形体。例如，绳索的两端受到大小相等、方向相反，沿同一条直线作用的两个力，是不一定平衡的。

二、作用和反作用公理

两物体之间的作用力和反作用力总是同时存在，而且两力的大小相等、方向相反、沿着同一直线分别作用于该两个物体上。

这个公理概括了物体间相互作用的关系，表明作用力和反作用力总是成对出现的。应该注意，作用力与反作用力分别作用在两个物体上，它们不构成平衡力系。下面用一个简单的例子说明作用力和反作用力的关系。

如图 2-6 所示，一个小球用绳索悬挂于天花板，这里涉及 4 个物体间的作用和反作用。