

学习情境一

静力学基础

情境导入

墙壁上的灯泡坏了，电工师傅要搭木梯维修灯泡。木梯采用一边放在地面上、另一边靠在墙壁上的方式固定。由于地板很滑，人爬上去后可能造成安全事故，那么你能帮电工师傅出一个主意防止梯子滑倒吗？

学习导航

梯子能够保持静止，是因为梯子处于平衡状态。分析物体的受力情况及物体为什么能够保持在平衡状态，需要了解静力学基本概念、基本公理，掌握各种约束及约束反力的简化方法，能对物体的受力进行分析，并简化成力学模型，绘制受力图。

学习单元 1 静力学基本概念

知识目标

掌握力、力系和刚体的概念，了解力的三要素，了解力对物体的内效应和外效应。

技能目标

区分荷载集度与集中力的差异，明确力和力系、等效力系的关系，区分刚体和非刚体，掌握把物体抽象为刚体的条件。

基础知识

一、力的概念

人用手去拉悬挂着的静止弹簧，手和弹簧之间有了相互作用，这种作用引起弹簧运动和变形。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。物体间的相互作用可分为两类：一类是物体间直接接触的相互作用，另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，也称为运动效应——使物体的运动状态发生改变；
- ② 内效应，也称为变形效应——使物体的形状发生变化。

静力学、运动学和动力学只研究力的外效应，材料力学研究力的内效应。

实践表明，力对物体作用所产生的效应取决于力的三个要素：力的大小、方向和作用点。当这三个要素中任何一个有所改变时，力的作用效果就会改变。

力的大小反映物体之间相互机械作用的强弱程度，力的单位是牛顿（N）。力的方向是力的作用线在空间的方位和指向，如水平向右、铅直向下等。力的作用点是指力在物体上的作用位置。在实际中，两个物体相互作用时，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接触面的各点上。当接触面积很小时，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，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 p (N/m^2) 来表示。

力是矢量，记作 \boldsymbol{F} (见图 1-1)，用一段带有箭头的线段 (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；线段的方位和箭头的指向表示力的方向；线段的起点 A 或终点 B (应在受力物体上) 表示力的作用点。线段所沿的直线称为力的作用线。

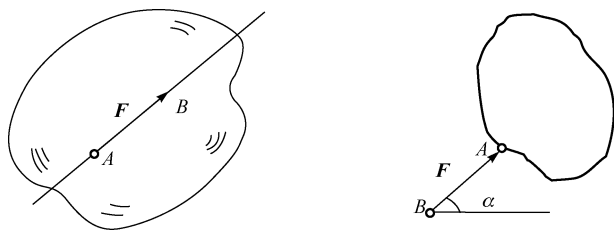


图 1-1

二、力系的概念

同时作用在一个物体上的若干个力称为力系。如果一个力系使物体处于平衡状态，则称此力系为平衡力系。如果一个力系能用另一个力系来代替而不改变它对物体的作用效果，则称这两个力系互为等效力系。若一个力和一个力系等效，则称这个力是该力系的合力，而力系中的各个力都是其合力的分力。把各分力代换成合力的过程，称为力系的合成；把合力代换成几个分力的过程，称为力的分解。

三、刚体的概念

刚体是指在外力作用下，内部任意两点间的距离都保持不变的物体，或者说，在任何外力作用下，大小和形状始终保持不变的物体。事实上，绝对的刚体是不存在的。任何物体受力后，它的形状都将或多或少地改变，即发生变形。但在工程实际中，许多物体的变形都很微小，在研究物体的平衡问题时可以忽略不计。因此，在静力学中常把真实的物体当做理想的刚体。可见，刚体是力学中对物体进行抽象简化后的一种理想模型。

小提示

刚体和非刚体的区别在于分析受力时，是否需要考虑变形对结果的影响。如果不需要考虑，则为刚体；反之则是非刚体，即变形体。静力学的研究对象是刚体，材料力学的研究对象是变形体。

chapter 01

chapter 02

chapter 03

chapter 04

chapter 05

chapter 06

chapter 07

chapter 08

chapter 09

学习单元 2 静力学公理

知识目标

掌握二力平衡公理、加减平衡力系公理、力的平行四边形公理、作用与反作用公理，理解力的可传性原理和三力平衡汇交定理的推导过程及应用。

技能目标

掌握二力平衡公理和作用与反作用公理的区别，能运用刚体的二力平衡公

理、加减平衡力系公理和力的可传性原理解决实际问题，了解二力构件的特征，能在复杂的结构中找出二力杆并加以分析，能利用平行四边形公理对力进行合成与分解。

基础知识

静力学公理也称为力的基本性质，是从实践中总结出的最基本的力学规律，这些规律的正确性已被实践反复证明，是符合客观规律的。静力学公理是静力学全部理论的基础，静力学的全部理论，都是以静力学公理为依据推导而来的。

一、二力平衡公理

【公理一】 作用于刚体的两个力，使刚体保持平衡的充分和必要条件是：这两个力大小相等，方向相反并且作用在同一直线上（简称等值、反向、共线）。

如图 1-2 所示，直杆的两端施加一对大小相等的拉力（ F_1 、 F_2 ）或压力（ F_2 、 F_1 ），均可使杆平衡。

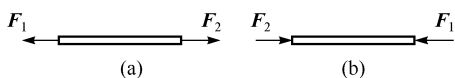


图 1-2

公理一只适用于刚体，不适用于变形体。如图 1-3 所示，当绳子受两个等值、反向、共线的拉力时（见图 1-3a）可以平衡；当受两个等值、反向的压力时（见图 1-3b），就不能平衡了。

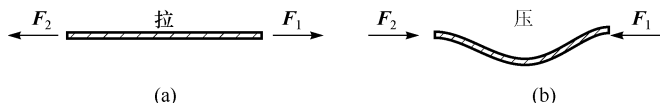


图 1-3

工程中常遇到只受两个力作用而处于平衡状态的构件，这类构件称为二力构件。如果构件为杆件，也称为二力杆。图 1-4a 所示为一棘轮机构，棘爪 AB 的 A 端用柱形销钉连接，B 端被卡在棘轮的槽中。棘爪若不计自重，则为二力构件。根据二力平衡公理可以确定，销钉给爪的力 F_A 和棘轮给爪的力 F_B 一定是等值、反向、共线的（见图 1-4b）。由此可见，二力杆件所受二力的作用线一定是沿此二力作用点的连线。

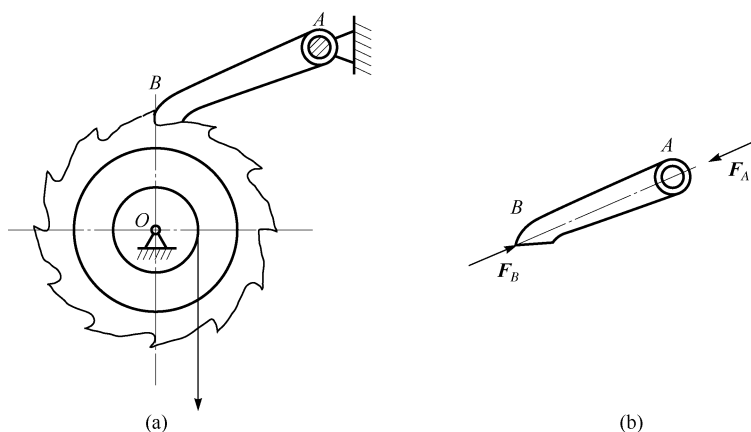


图 1-4

小提示

二力杆件的正确判断可以简化受力分析。在后文分析铰链约束的时候，铰链约束反力的方向在已知条件中不能明确地确定，但是如果该构件是二力杆件，则可以轻松地得到受力的方向，即沿杆件两个接触点的连线。方向的具体指向可以先假定，如果计算结果是正的，则说明假定的方向正确；计算结果负的，则力的实际方向与假定方向相反。

二、加减平衡力系公理

【公理二】 在作用于刚体的已知力系上加上或者减去任意一个平衡力系，不会改变原力系对物体的外效应。加减平衡力系公理主要用来简化力系。

推论（力的可传性原理） 作用在刚体上的力，可以沿其作用线任意移动而不改变对刚体的作用。如图 1-5 所示，以等量的力在车后 A 点推和在车前与推力同一条作用线的 B 点拉，效果是一样的。由力的可传性原理可以看出，对刚体来说，力的作用点已不再是决定其效应的要素之一，而是由作用线取代。

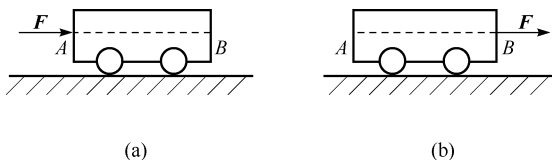


图 1-5

应当指出，加上或减去一个平衡力系，或使力沿着作用线移动，不会改变力对物体的外效应，但会改变力对物体的内效应。所以，公理二及其推论都只适用于刚体而不适用于变形体。

- chapter 01
- chapter 02
- chapter 03
- chapter 04
- chapter 05
- chapter 06
- chapter 07
- chapter 08
- chapter 09

课堂讨论

力的作用点和作用线的区别是什么？

力的作用点对于刚体或者非刚体都是适用的，或者说力的作用点和作用对象的具体材质、形状等没有关系。力的作用线只是对刚体而言，作用在非刚体即变形体上的力，不适用力的可传性原理。



三、力的平行四边形公理

【公理三】 作用于某一点的两个力的合力，其作用线必通过该点，其大小和方向可由此二力的力矢为邻边所作的平行四边形的对角线矢量表示（见图 1-6a）。

这个公理也称为平行四边形法则，根据这个公理所作出的平行四边形，称为力的平行四边形。

这种求合力的方法，称为矢量加法，合力矢等于原来两力的矢量和（几何和），可用公式表示为

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

为了方便，在用矢量加法求合力时，可不画出整个平行四边形，而是从 A 点作一个与力 \mathbf{F}_1 大小相等、方向相同的向量 \overrightarrow{AB} ，过 B 点作一个与力 \mathbf{F}_2 大小相等、方向相同的向量 \overrightarrow{BC} ，则 \overrightarrow{AC} 就是力 \mathbf{F}_1 、 \mathbf{F}_2 的合力 \mathbf{R} 。这种求合力的方法，称为力的三角形法则（见图 1-6b）。

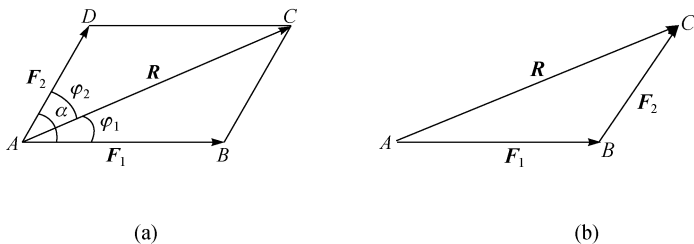


图 1-6

小提示

使用力的三角形法则时，尽管 \mathbf{F}_2 进行了平移，但是它的作用点没有从 A 点移到 B 点，这是为了作图方便。

推论 1（三力平衡汇交定理） 当刚体受到同平面内互不平行的三个力作用而平衡时，此三力作用线必汇交于一点。

推论 2（三力平衡汇交定理） 当刚体受不平行的三个力作用而平衡时，此三力的作用线必共面且汇交于一点。如图 1-7 所示的杆 AB ，已知 \mathbf{F} 和 \mathbf{F}_{NA} 的方向，并且知道其汇交于一点 O ； \mathbf{F}_{NB} 的作用点为 B 点，但是不知道 \mathbf{F}_{NB} 的方向。此时可以应用推论 2 确定， O 点与 B 点的连线即为 \mathbf{F}_{NB} 的方向。

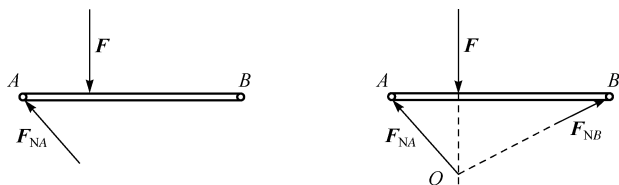


图 1-7

证明 如图 1-8 所示, 设在刚体上的 A、B、C 三点上, 分别作用不平行的三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 , 刚体保持平衡。根据力的可传性原理, 将力 F_1 、 F_2 移到其汇交点 O, 然后根据力的平行四边形法则, 得合力 R_{12} 。则力 F_3 应与 R_{12} 平衡。由二力平衡公理知, F_3 与 R_{12} 必共线。因此, 力 F_3 的作用线必通过 O 点, 并与力 F_1 、 F_2 共面。

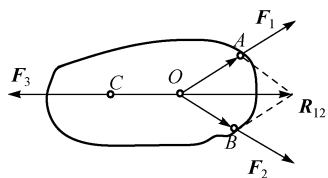


图 1-8



知识链接

利用三力平衡汇交定理可以根据作用在构件上两个力的方向, 确定第三个力的方向, 在分析构件受力的时候可以简化计算。因为所求力的方向已知, 只要求出大小即可, 从而可减少未知量的个数。



四、作用与反作用公理

【公理四】 物体对另一物体有一作用力时, 另一物体对此物体必有一反作用力。这两个力大小相等, 方向相反, 且分别作用在两个物体上。

如图 1-9a 所示为一重物用钢丝绳吊在天车上。G 为重物所受的重力, T 为钢丝绳对重物的拉力 (见图 1-9b), 它们都作用在重物上, 所以二者不是作用力和反作用力的关系, 而是二力平衡。当钢丝绳给重物以拉力 T 的同时, 重物必给钢丝绳以反作用力 T'。T 作用在重物上, T' 作用在钢丝绳上, T 和 T' 是作用力与反作用力的关系。

这个公理说明, 力永远是成对出现的, 物体间的作用总是相互的, 有作用力就有反作用力, 两者总是同时存在, 又同时消失, 分别作用在相互作用的两个物体上。应用作用与反作用公理, 可以把物体系统中相互作用的物体的受力分析联系起来。

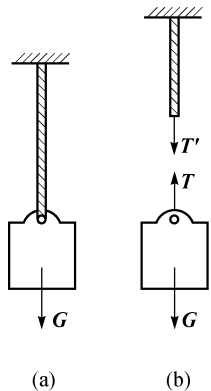


图 1-9

- chapter 01
- chapter 02
- chapter 03
- chapter 04
- chapter 05
- chapter 06
- chapter 07
- chapter 08
- chapter 09

课堂讨论

二力平衡公理和作用与反作用公理的主要区别有哪些？试列举生活中的例子加以区分。

需要注意二力平衡公理和作用与反作用公理是不同的，绝不能相互混淆。二力平衡公理是对一个物体而言，作用与反作用公理则是对两个物体而言。

例如，书本放在桌子上，书本的重力与桌子对书本的支承力是一对平衡力，作用的是同一个物体（书本）；而书本对桌子的压力和桌子对书本的支承力是作用力与反作用力，分别作用于桌子和书本，是两个不同的物体。

学习单元 3 约束与约束反力

知识目标

掌握约束、约束反力和主动力的概念，了解各种约束实例，掌握各种约束的物理简化记号及对应约束反力的表示方法。

技能目标

掌握约束反力方向的确定，了解光滑铰链约束的特点，掌握几种铰链约束类型的联系和区别。

基础知识

机械和工程结构中的每个构件，都是相互联系而又相互制约的，它们之间存在着相互作用的力。如机车受铁轨的限制，只能沿着轨道运动；电机转子受轴承的限制，只能绕轴线转动；重物由钢索吊住，不能下落；等等。为此，需要对物体相互联系的方式进行研究。

工程上所遇到的物体通常分为两种：一种是不受任何限制，可向一切方向自由运动的物体，称为自由体，例如飞行的飞机、发射的炮弹等；另一种是受到其他物体的限制，不能沿着某些方向运动的物体，称为非自由体，例如摆在桌子上的粉笔盒、书本等。

限制非自由体运动的其他物体，称为该非自由体的约束。例如，铁轨对于机车、轴承对于电机转子、钢索对于重物而言都是约束。约束对被限制物的作用力称为约束反力，简称约束力。

知识链接

刚体的自由度

一个刚体在空间任意运动时，可分解为质心的平动（ x 方向和 y 方向）和绕通过质心某直线的定点转动，它既有平动自由度也有转动自由度。

刚体在空间方位有3个平动自由度和3个转动自由度，即总共有6个自由度。

受力分析时观察物体哪几个自由度被约束限制了，则可以此考虑相应的约束反力，并且可以确定大致的约束反力的方向和约束的类型。

凡是能主动引起物体运动或使物体有运动趋势的力，统称为主动力，如重力、风压力等。主动力往往是给定的或可测的。

约束反力是限制物体运动的力，所以它的作用点应在约束与被约束物体相互连接或接触之处，它的方向应与约束所能限制的运动方向相反，由此可以确定约束反力的方向或作用线的位置。静力学问题中，约束反力和物体受的其他已知力（主动力）组成平衡力系，可用平衡条件求出未知的约束反力。

工程实际中约束的形式很多，现在常见的约束有柔性约束、光滑接触面约束、光滑铰链约束等类型。下面介绍工程中常见的几种约束类型的特点、简化记号及对应的约束反力的表示方法。

一、 柔性约束

柔性约束是由绳索、链条或胶带等柔性体所形成的约束。绳索、链条等都是柔性体，只能受拉，不能受压。因此，柔性约束只能限制非自由体沿其中心线伸长方向的运动，而不能限制其他方向的运动。因此，柔性约束的约束反力方向是沿着约束的中心线而背离物体，如图 1-10 所示。这种约束的约束反力常用 T 来表示。

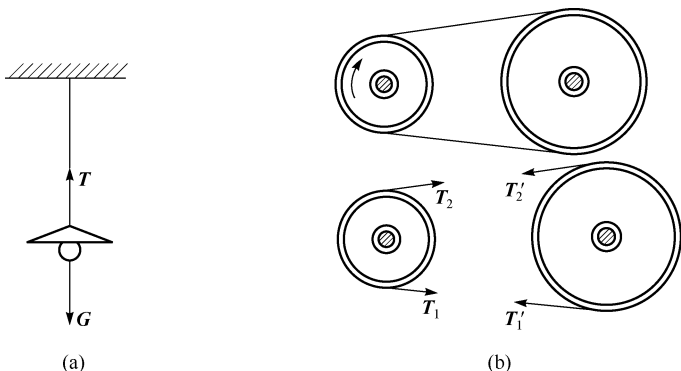


图 1-10

二、 光滑接触面约束

当约束和非自由体成点、线、面接触，无需考虑接触面的变形，且接触位置摩擦力很小（可以略去不计）时，这样的约束称为光滑面约束，如图 1-11 所示。

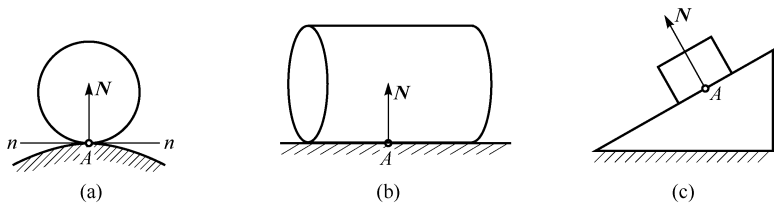


图 1-11

- chapter 01
- chapter 02
- chapter 03
- chapter 04
- chapter 05
- chapter 06
- chapter 07
- chapter 08
- chapter 09

光滑接触面约束只限制了物体沿着公法线方向的运动，所以其约束力沿着接触面的公法线，指向受力物体，常用符号 N 表示。

如图 1-11a 所示为点接触（曲面和曲面）， $n-n$ 为公切面，非自由球体受主动力（图中未画出）作用。约束只能限制它沿接触点公法线向约束体的运动，不能限制它向其他任何方向的运动。光滑面约束的约束反力 N 通过接触点沿着公法线（或垂直于公切面）指向球体。

如图 1-11b 所示为线接触（柱面和平面），平面即为公切面。可将接触线段的形心 A 视为接触点，约束反力 N 在 A 点沿着垂直于接触面的方向（公法线）指向物体（圆柱体）。

如图 1-11c 所示为面接触（平面和平面），接触面即为公切面。可将接触面的形心 A 视为接触点，约束反力 N 在 A 点沿着垂直于接触面的方向（公法线）指向物体（矩形体）。

如图 1-12 所示，无论有多少个主动力（方向任意）作用在杆件上，根据光滑接触面约束的性质， A 、 B 、 C 处的约束反力只能是图中的 N_A 、 N_B 和 N_C 。

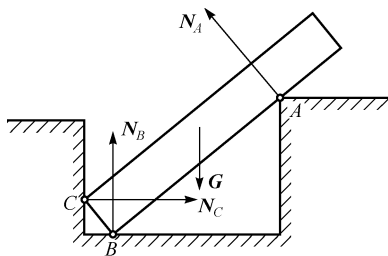


图 1-12

提示

柔性约束和光滑接触面约束的约束反力方向都是确定的。柔性约束的约束反力沿着柔性约束方向背离受力体，光滑接触面约束的约束反力指向受力体并且沿接触面的公法线方向。

三、光滑铰链约束

光滑铰链是力学中一个理想化的模型。凡是两个非自由体相互连接后（接触处的摩擦忽略不计），只能限制二者的相对移动，而不能限制它们的相对转动的约束，都可以称为光滑铰链约束。工程中常用的光滑铰链约束有以下三种形式。

1. 圆柱形销钉连接

用圆柱形销钉 C 将两个物体 A 、 B 连接在一起（见图 1-13a、b），就是圆柱形销钉连接。由其结构可知，只要销钉和钉孔是光滑的，它就具有光滑铰链约束的性质。由于圆柱形销钉常常用作连接两个构件并处在结构物的内部，所以也把它称为中间铰链。这种约束常用图 1-13c 所示简图来表示。

如图 1-14 所示，如果略去微小摩擦，销钉与物体（非自由体）实际上是以两个光滑圆柱面相接触的。当物体受主动力作用后，形成线接触。若把 K 视为接触点，按照光滑接触面约束反力的特点，则可知销钉给非自由体的约束反力应沿接触点 K 处的公法线，且必通过销钉中心（铰链中心），但因主动力的方向不能预先确定，所以约束反力的方向也不能预先确定。综上所述，可得如下结论：圆柱形销钉连接的约束反力必通过铰链中心。由于其方向不定，故常以两正交分力 N_x 和 N_y 来表示。

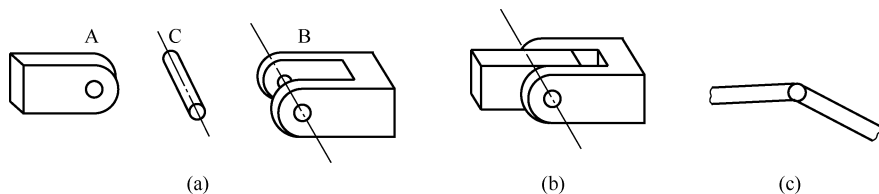


图 1-13

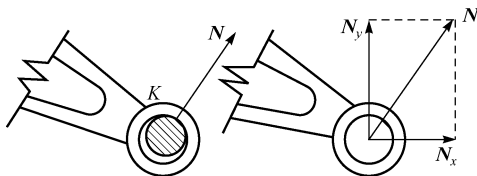


图 1-14

2 固定铰链支座

把圆柱形销钉连接的两个构件中的一个固定起来，就形成固定铰链支座，如图 1-15a 所示。起重臂与机架的连接、钢桥架同固定支承面的连接就使用了这种支座。由固定铰链支座的构造特点，不难看出其约束反力的表示方法和圆柱形销钉连接应该是相同的。通常用图 1-15b、c 所示的简图来表示固定铰链支座，其约束反力常以两正交分力 N_x 和 N_y 表示。

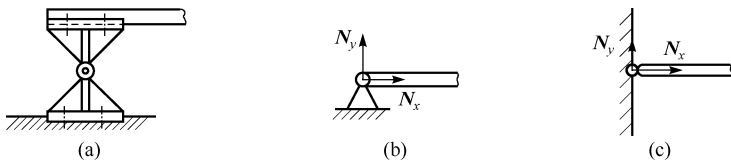


图 1-15

必须指出的是，当中间铰链和固定铰链约束的是二力构件时，其约束力满足二力平衡条件，约束力方向是确定的，即两作用点的连线。

3 可动铰链支座

在固定铰链支座的下边加装滚轮，就构成可动铰链支座（辊轴支座），如图 1-16a 所示。可动铰链支座只限制构件沿支承面法线方向的运动，所以可动铰链支座的约束反力必垂直于支承面且通过铰链中心，常用 N 来表示。如图 1-16b 所示是可动铰链支座的简化图。

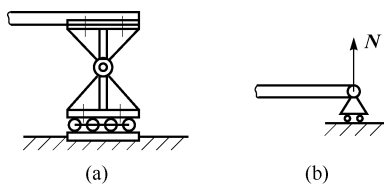


图 1-16

- chapter 01
- chapter 02
- chapter 03
- chapter 04
- chapter 05
- chapter 06
- chapter 07
- chapter 08
- chapter 09

课堂讨论

光滑铰链约束的特点以及几种铰链约束类型的联系和区别是什么？

光滑铰链约束的三种形式可以看成是一个销钉连接两个杆件，可限制两个杆件之间的相对移动，但是不限制相对转动，并且在转动到不同的角度时，两个杆件之间的接触点会发生变化。所以，如果这两个杆件接触点位置不定，约束反力则可以分解为水平方向和垂直方向的两个力，中间铰链和固定铰链支座约束就是这种情况，只是固定铰链支座约束中一个杆件是固定不动的。可动铰链支座约束的接触部位是固定的，所以可以确定其约束反力的方向，只是在实际的分析中需要确定其具体的指向。可以先假定一个方向为正，如果分析计算结果与假定方向一致，则约束反力方向为正，反之为负。其实光滑面接触约束也可以看成是一种特殊的可动铰链支座约束，将圆柱销及销孔的半径看做无限大，这样光滑面接触约束的约束反力指向接触面的公法线方向，但是应由约束物体指向受力物体，而不能由受力物体指向约束物体。

学习单元 4 物体的受力分析与受力图

知识目标

掌握对物体进行受力分析的步骤。

技能目标

掌握用约束力代替约束的方法，了解物体模型简化为力学模型的过程，能够分析并绘制简单受力物体的受力图。

基础知识

解决实际工程问题时，需要根据已知力，利用平衡条件，求出未知力。为此，我们把所研究的非自由体解除全部约束，将它所受的全部主动力和约束反力正确地以力矢表示在自由体上，这样所得到的图形，称为受力图。为了正确地画出受力图，最好按下列步骤进行。

(1) 首先要明确研究对象，画出分离体。所谓研究对象就是所要研究的非自由体。一般来说，在研究力系的平衡问题时，问题中的待求量（未知力）与哪个非自由体直接发生关系，我们就把这个非自由体确定为研究对象。研究对象可以是单个物体，也可以是多个物体组成的物体系统。把所研究的非自由体（即研究对象）从约束中分离出来（即解除研究对象的全部约束），使之成为自由体，这个人造的（假想的）自由体就称为分离体。

(2) 在分离体上画出全部主动力。如重力、拉力、压力等，这些力都是已知力。

(3) 在分离体上画出全部约束反力。即把解除的约束，通过分析其约束类型，代之以相应的约束反力。对于指向确定的约束反力，要正确画出其方向；对于暂时

不能确定方向的，其指向可以假设。

完成了上面的步骤就完成了受力图。下面举例说明受力图的画法。

【例 1-1】 一个重量为 G 的钢球，用绳挂在光滑的铅直墙上，在 A 点与墙接触（见图 1-17a）。画出此钢球的受力图。

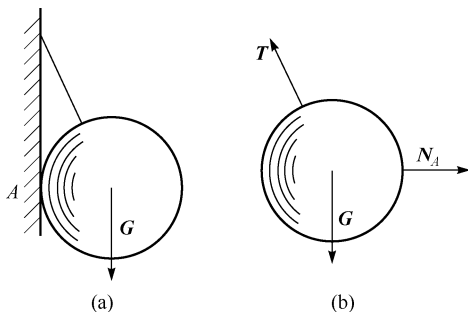


图 1-17

【解】 (1) 以球为研究对象并画出分离体，如图 1-17b 所示，解除绳和墙约束。

(2) 画出主动力 G 。

(3) 画出全部约束反力：绳的约束反力 T 和光滑面约束反力 N_A 。

【例 1-2】 梁 AB 的 A 端为固定铰链支座， B 端为可动铰链支座，梁中点 C 受压力 F 作用，如图 1-18a 所示，梁自重不计。试分析梁的受力情况。

【解】 (1) 以梁 AB 为研究对象并画出分离体，如图 1-18b 所示。

(2) 画出主动力 F 。

(3) 画约束反力。可动铰链支座约束反力 N_B ，铅垂向上且通过铰链中心。固定铰链支座约束反力方向不定，但可用大小未知的水平分力 N_{Ax} 和铅垂分力 N_{Ay} 来表示，如图 1-18b 所示。

固定铰链支座的约束反力也可用一个大小、方向均未知的力 N_A 表示，因梁 AB 受平面内三力作用而平衡，根据三力平衡汇交定理， N_A 方向极易确定。延长 N_B 和 F 作用线交于 D 点，梁平衡时， N_A 必在 AD 连线上，如图 1-18c 所示。

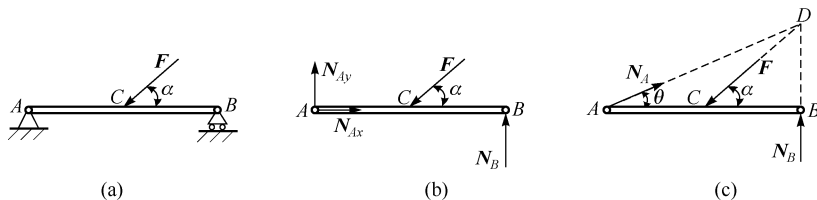


图 1-18

【例 1-3】 两根钢管堆放在槽中，如图 1-19a 所示，钢管重分别为 G_1 、 G_2 。试分析每根钢管的受力情况。

- chapter 01
- chapter 02
- chapter 03
- chapter 04
- chapter 05
- chapter 06
- chapter 07
- chapter 08
- chapter 09

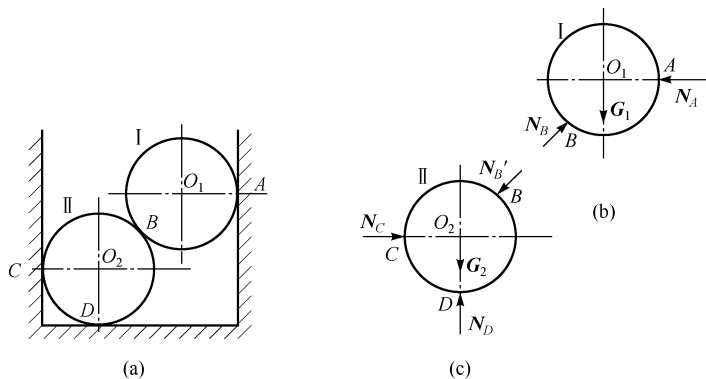


图 1-19

【解】 先分析钢管 I 的受力情况。取钢管 I 为研究对象画出分离体；钢管 I 的主动力只有自重 G_1 ；钢管 I 在 A 和 B 两处，都受到光滑面约束，其反力 N_A 、 N_B ，都通过钢管的中心。钢管 I 的受力如图 1-19b 所示。

再分析钢管 II 的受力情况。取钢管 II 为研究对象画出分离体，如图 1-19c 所示；钢管 II 的主动力除自重 G_2 外，还有上面钢管 I 传来的压力 N'_B ，注意到 N'_B 与 N_B 互为作用力与反作用力，故 N'_B 必过钢管 II 中心，且有 $N'_B = -N_B$ ；钢管 II 在 C、D 处受光滑面约束，其约束反力 N_C 、 N_D 都指向钢管 II 且通过其中心。

【例 1-4】 一个简易的吊装结构如图 1-20a 所示，梁 AD 的 A 端为固定铰链，D 端挂一重为 G 的重物 E，中间由直杆 BC 支撑。若不计梁及直杆自重，画出梁 AD 及直杆 BC 的受力图。

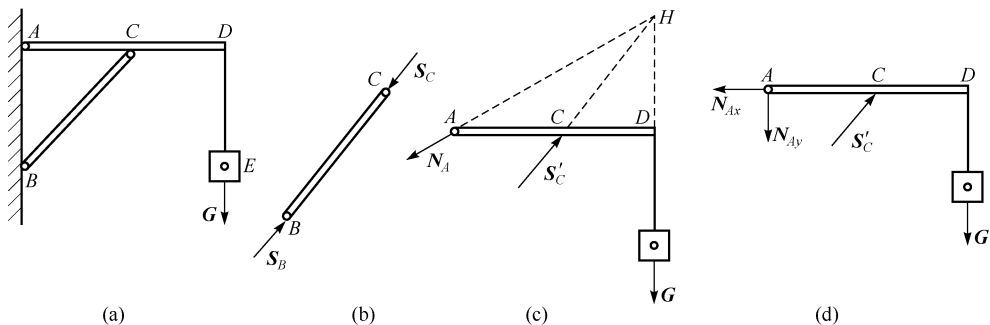


图 1-20

【解】 先画杆 BC 的受力图，如图 1-20b 所示。以直杆 BC 为研究对象并画分离体；直杆 BC 两端是圆柱铰链约束，其约束反力可以分解为水平方向和受力方向的两个力，两个力又可以看作是一个力，只是该力的方向不确定。这样，杆件两端受到两个力的作用，并且处于平衡的状态，适合二力平衡公理，所以直杆是二力杆件。故 S_B 、 S_C 必沿 BC 杆中心线，方向可以假设（拉或压）。显然，本题中 BC 杆应受压。

再画梁 AD 受力图。以梁 AD 为研究对象并画出分离体，如图 1-20c 所示。画主动力 G ，画出约束反力 $S'_C = -S_C$ ， S'_C 与 G 相交于 H，由三力平衡汇交定理可确定铰链 A 的约束反力 N_A 必交上述二力于 H 点，即 N_A 沿 AH 连线。铰链 A 的约束

反力亦可画成两正交分力 N_{Ax} 、 N_{Ay} ，如图 1-20d 所示。

有时，我们研究的问题是由几个物体组成的一个系统，通常称其为物体系或物系。下例说明物系受力图的画法。

【例 1-5】 如图 1-21a 所示的支撑结构，共有四个物体，杆 AC、BC、DE，球 I。A、B 点是固定铰链约束，C、D、E 是圆柱铰链约束，球 I 在 DE 杆上面是光滑接触面约束，自重未画出者均略去不计。试画出物系及每个物体的受力图。

【解】 画整体的受力图，如图 1-21b 所示。以整个物系为研究对象并画出分离体；画主动力 G ；画出 A、B 处约束反力 N_{Ax} 、 N_{Ay} 及 N_B 。因物系内部物体之间的作用与反作用是互相抵消的（是物系的内力），所以 C、D、E 三点及球与杆 DE 的接触处不画约束反力。

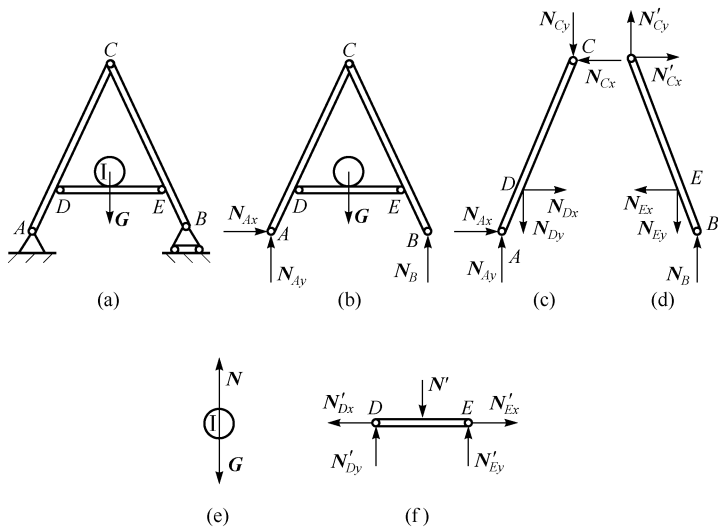


图 1-21

画杆 AC 受力图，如图 1-21c 所示。以杆 AC 为研究对象并画出分离体；主动力 G 不直接作用在杆 AC 上，故不能画入；画出 A、C、D 处光滑铰链的约束反力 N_{Ax} 、 N_{Ay} 、 N_{Cx} 、 N_{Cy} 、 N_{Dx} 、 N_{Dy} 。

画杆 BC 受力图，如图 1-21d 所示。以杆 BC 为研究对象并画出分离体；E 点画两正交分力 N_{Ex} 和 N_{Ey} ，箭头方向可以假设，正交的方法也可变更。B 点约束反力仍为 N_B 。C 点约束反力必须根据 $N'_{Cx} = -N_{Cx}$ 和 $N'_{Cy} = -N_{Cy}$ 画出，不可任意假设方向和改变位置。

画球的受力图，如图 1-21e 所示。球受主动力 G 和光滑接触面约束的约束反力 N 的作用，处于平衡状态。

画杆 DE 受力图，如图 1-21f 所示。以杆 DE 为研究对象并画出分离体；由作用与反作用关系画出光滑接触面约束反力的反作用力 N' 、杆 AC 对 DE 的反作用力 N'_{Dx} 和 N'_{Dy} 、杆 BC 对 DE 的反作用力 N'_{Ex} 与 N'_{Ey} 。

作图的过程中必须注意反作用力的方向与作用力的方向相反，这样可以使分析方便，并且与工程实际是一致的。

- chapter 01
- chapter 02
- chapter 03
- chapter 04
- chapter 05
- chapter 06
- chapter 07
- chapter 08
- chapter 09

知识链接

综合以上例题可以看出，画受力图必须注意以下几点。

- (1) 必须首先确定研究对象并画出分离体，分离体的大小和方位都必须和原物体保持一致。
- (2) 与研究对象不直接相关的主动力和约束反力都不能画出。
- (3) 画受力图时，要根据约束的类型，画出相应的约束反力。
- (4) 画物系中单个物体的受力图时，必须注意作用和反作用的关系。物系内力不能画出。

学习案例

重量为 G 的梯子 AB ，放置在光滑的水平地面上并靠在铅直墙上，用一根水平绳索在 D 点拉住，如图 1-22 所示。分析梯子的受力情况，解释梯子为什么能够保持静止状态。

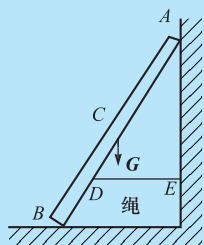


图 1-22

案例分析

将梯子从周围的物体中分离出来，作为研究对象，画出其分离体。先画主动力即梯子的重力 G ， G 作用于梯子的重心（几何中心），方向铅垂向下。再画墙和地面对梯子的约束反力。根据光滑接触面约束的特点，去掉墙面、地面对梯子的约束，以约束反力 N_A 、 N_B 在 A 、 B 处取代约束。根据光滑接触面约束反力的特点，约束反力 N_A 、 N_B 分别与接触面（墙面、地面）垂直并指向梯子。绳索的约束反力为柔性约束，约束反力 F_D 应为沿着绳索的方向背离梯子的拉力。

如图 1-23 所示即为梯子的受力图。

这样，不论梯子的重量是多少，地面是如何的光滑，只要梯子、绳子的结构强度足够，梯子都能保证不会在地面上滑动而发生安全事故。

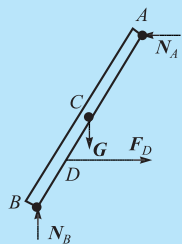


图 1-23

知识拓展

力的多边形及多个汇交力的合成

设作用于物体上 O 点的力 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 组成平面汇交力系，现求其合力，如图 1-24a 所示。应用力的三角形法则，首先将 F_1 与 F_2 合成得 F_{12} ，然后把 F_{12} 与 F_3 合成得 F_{123} ，再将 F_{123} 与 F_4 合成得 F_{1234} ，再将 F_{1234} 与 F_5 合成得 $F_{\text{合}}$ ，力 $F_{\text{合}}$ 就是原汇交力系 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 的合力，如图 1-24b 所示即是该汇交力系合成的几何示意图，矢量关系的数学表达式为

$$\mathbf{F}_{\text{合}} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_4 + \mathbf{F}_5 \quad (1-1)$$

实际作图时，可以不必画出图中虚线所示的中间合力 \mathbf{F}_{12} 、 \mathbf{F}_{123} 和 \mathbf{F}_{1234} ，只要按照一定的比例尺将表达各力矢的有向线段首尾相接，形成一个不封闭的多边形，如图 1-24c 所示，然后再画一条从起点指向终点的矢量 $\mathbf{F}_{\text{合}}$ ，即为原汇交力系的合力，如图 1-24d 所示。这种由各分力和合力构成的多边形称为力多边形。按照与各分力同样的比例，封闭边的长度表示合力的大小，合力的方位与封闭边的方位一致，指向则由力多边形的起点至终点，合力的作用线通过汇交点。这种求合力矢的几何作图法称为力多边形法。

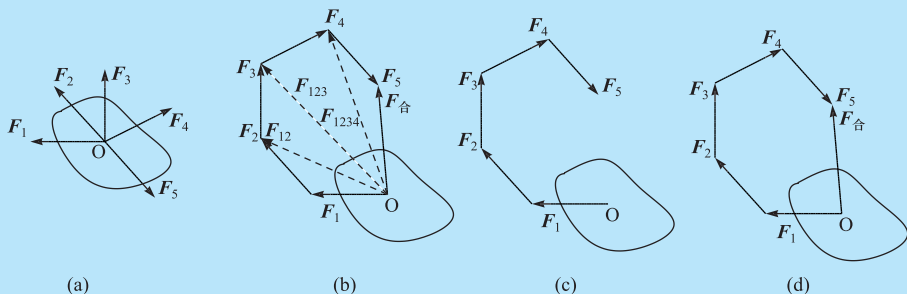


图 1-24

在作力多边形时，按不同顺序画各分力，并首尾相接，只会影响力多边形的形状，但不会影响合成的最后结果。

将这一作法推广到由 n 个力组成的平面汇交力系，可得结论：平面汇交力系合成的最终结果是一个合力，这个合力是力系中各分力的矢量和，可由力多边形的封闭边确定，合力的作用线通过力系的汇交点。矢量关系式为：

$$\mathbf{F}_{\text{合}} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \dots + \mathbf{F}_n = \sum \mathbf{F} \quad (1-2)$$

若力系中各力的作用线位于同一条直线上，力多边形将变成一条直线，此时合力为：

$$\mathbf{F}_{\text{合}} = \sum F \quad (\text{代数和}) \quad (1-3)$$

情境小结

- (1) 力的概念：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。
- (2) 力系的概念：同时作用在一个物体上的若干个力称为一个力系。
- (3) 刚体的概念：在任何外力作用下，大小和形状始终保持不变的物体。
- (4) 二力平衡公理：作用于刚体的两个力，使刚体保持平衡的充分和必要条件是：这两个力大小相等，方向相反并且作用在同一直线上。
- (5) 加减平衡力系公理：在作用于刚体的已知力系上加上或者减去任意一个平

- chapter 01
- chapter 02
- chapter 03
- chapter 04
- chapter 05
- chapter 06
- chapter 07
- chapter 08
- chapter 09

衡力系，不会改变原力系对物体的外效应。

(6) 力的平行四边形公理：作用于某一点的两个力的合力，其作用线必通过该点，其大小和方向可由以此二力的力矢为邻边所作的平行四边形的对角线矢量表示。

(7) 作用与反作用公理：物体对另一物体有一作用力时，另一物体对此物体必有一反作用力。这两个力大小相等，方向相反，且分别作用在两个物体上。

教学检测

- 力的三要素是指力的大小、方向和_____。当这三个要素中任何一个有所改变时，力的作用效果就会改变。
- 任何外力作用下，大小和形状始终保持不变的物体称为_____。
- 如果一个力系作用在物体上，使物体处于平衡状态，则称此力系为_____。
- 作用于刚体的两个力，使刚体保持平衡的充分和必要条件是：这两个力大小相等，方向相反并且作用_____。

下列习题中，凡未标出自重的物体，自重不计。接触处都不考虑摩擦。

- 画出如图 1-25 所示圆球的受力图。

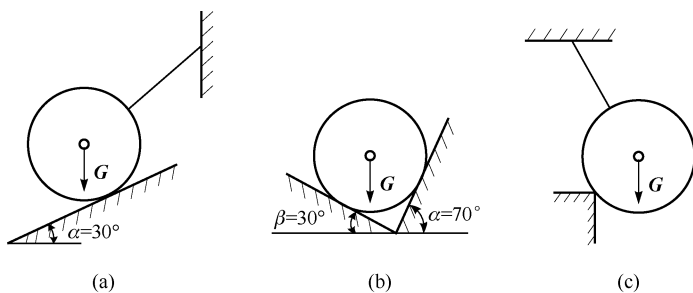


图 1-25

- 画出如图 1-26 所示 AB 杆的受力图。
- 画出如图 1-27 所示杆 AB 和球 C 的受力图。
- 如图 1-28 所示，力 F 作用在销钉上，试画出杆 AB 、 BC 及销钉 B 的受力图。
- BC 、 AD 两杆及物块 E 的位置，如图 1-29 所示，试画出整个物系和物系中每个物体的受力图。

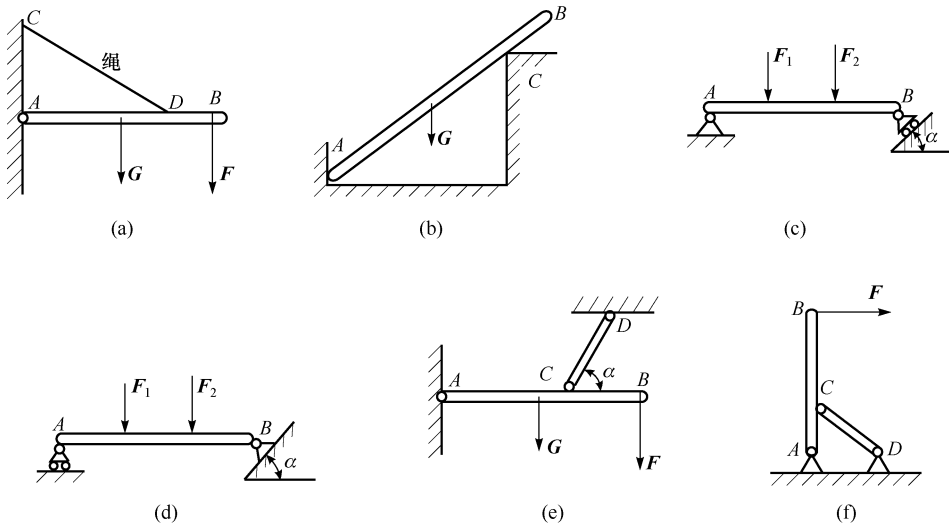


图 1-26

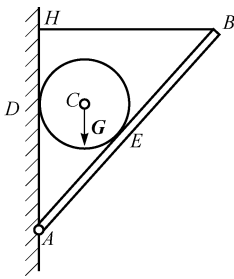


图 1-27

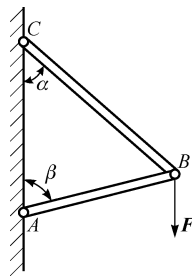


图 1-28

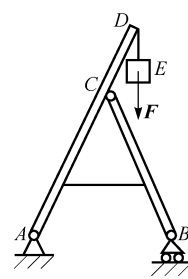


图 1-29

- chapter 01
- chapter 02
- chapter 03
- chapter 04
- chapter 05
- chapter 06
- chapter 07
- chapter 08
- chapter 09