

# 第一章

## 静力学基础

### 【问题导入】

刚体静力学是一门研究物体在力系作用下的平衡规律的学科，是工程力学的基础部分，也为后续变形体静力学、运动学和动力学的学习奠定基础。静力学基础部分研究刚体及刚体系统受力图的画法。如图 1.1 所示为鄂式破碎机机构，如果给定矿石施加给颚板的作用力  $F$ ，试设计电机作用在偏心轴上的力矩。我们应该如何进行设计呢？设计过程的第一步就是破碎机机构各个构件的受力分析。我们通过后续课程的学习还将知道受力分析不但是外力分析和计算的基础，还是强度、刚度和稳定性计算的基础。

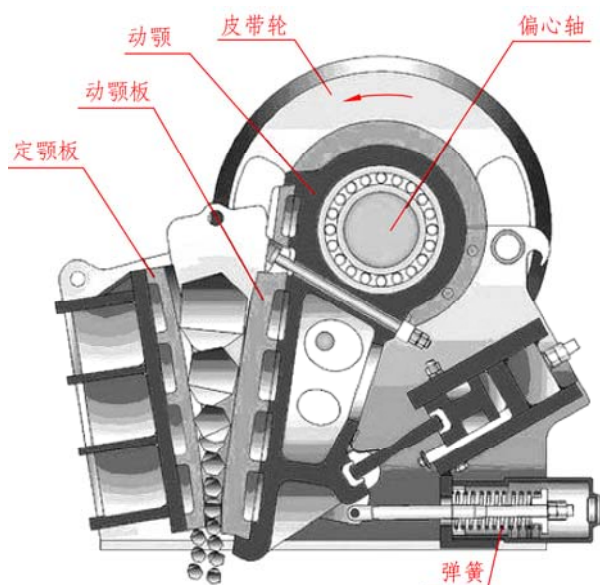


图 1.1

## 第一节 静力学基本概念

### 一、力

力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的机械运动状态发生变化。物体间的机械作用，大致可分成两类：一类是物体相互接触的作用，如人在推车时的推力、地面对人的支持力等；另一类是“场”对物体的作用，如电场对电荷的引力、地球重力场对物体的引力等。尽管物体间相互作用力的来源和性质不同，但我们只需要研究不同力对物体所产生的共同效果。力对物体产生的效果一般有两方面：一是使物体的运动状态发生变化，即**运动效应（外效应）**；二是使物体形状发生变化，即**变形效应（内效应）**。一般来说，这两种效应是同时存在的。但是，为了使分析的问题简化，通常将外效应和内效应分开来研究。刚体静力学部分主要研究物体的外效应。

力对物体的作用效果取决于三个要素：**力的大小、方向和作用点**。力的方向包含**方位和指向**两层含义。例如，重力的方向为“竖直向下”，其中“竖直”是方位，“向下”是指向。人们通常用矢量来描述力的三要素，如图 1.2 中的矢量  $F$ ，用有向线段  $AB$

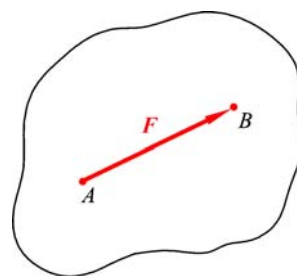


图 1.2

的长度表示力的大小，箭头的指向表示力的方向，箭头的起端  $A$  或终端  $B$  表示力的作用点。力的单位是**牛顿 (N)** 或**千牛顿 (kN)**。这里规定用黑体字母  $F$  表示力的矢量，而普通字母  $F$  表示力的大小。

### 二、力系

同时作用在物体上的一组力称为**力系**。根据力作用线在空间分布的不同形式，力系可分

为汇交力系、平行力系和一般力系。按照各力作用线是否位于同一平面内，上述三种力系各自又可分为平面力系和空间力系两类，如平面汇交力系、空间一般力系等。

### 三、刚 体

在力的作用下永远不变形的物体称为**刚体**。刚体在实际工程中并不存在，仅仅是为了分析问题方便而建立起的理论模型。应指出，并不是变形很微小就是刚体，变形较大就是变形体。研究模型被视作刚体还是变形体应视分析的具体问题而定，当研究的问题涉及物体的受力和平衡时应视作刚体，当研究的问题涉及强度、刚度或稳定性问题的讨论时则应视作变形体。

### 四、平 衡

所谓**平衡**，是指物体相对于惯性参考系(通常指地球)处于静止或匀速直线运动的状态。平衡是机械运动的特殊形式。作用在刚体上使刚体处于平衡状态的力系即为**平衡力系**，平衡力系应满足的条件称为**平衡条件**。刚体静力学研究的是刚体的平衡规律，即作用在刚体上力系的平衡条件。

### 五、分布力与集中力

力的作用点是物体间机械位置作用的抽象化。一般来说，物体间相互接触时，力总是分布作用在一定的面积上。如果力作用的面积较大，这种力称为**分布力**。如果力作用的面积较小可忽略时，可认为力集中作用在一个点，这种力称为**集中力**。集中力并不存在，是分布力在特殊情形下的理想化模型。图 1.3 ( a ) 所示汽车通过轮胎施加给混凝土桥面的压力可视为

集中力，图 1.3 (b) 所示混凝土桥面施加给桥梁的压力可视作沿着梁长度的分布力，在一般情况下可视作均布荷载，用  $q$  表示，单位为牛/米或千牛/米。

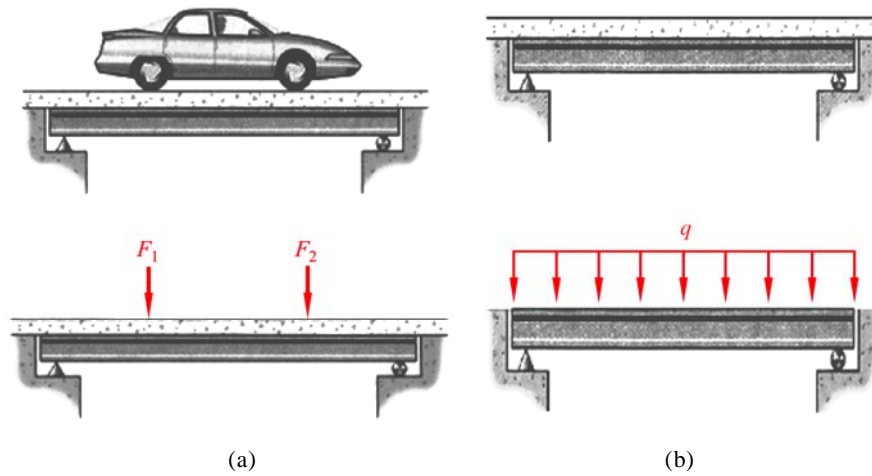


图 1.3

## 第二节 静力学公理

公理是人们在日常生活和生产实践中，经过长期积累的经验总结和实践反复检验，被确认为是符合客观实际的最一般的规律。

### 公理一 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，合力也作用于该点，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 1.4 所示，图中  $F_R$  表示合力， $F_1$ 、 $F_2$  表示作用于物体上点  $A$  的两个力即分力。力的平行四边形法则指出，两个力合成求的是矢量的几何和，即合力  $F_R$  的矢量等式为

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (1.1)$$

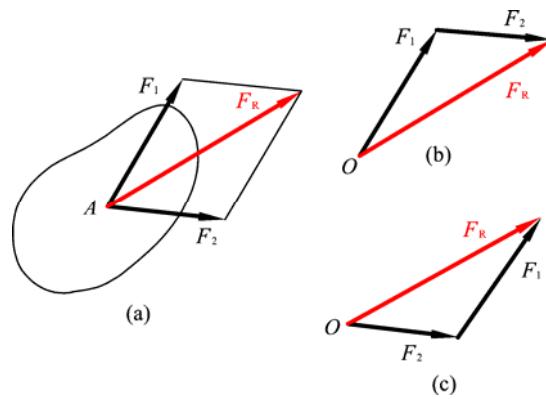


图 1.4

矢量的几何作图如图 1.4 (a) 所示。有时, 也可由任意一点  $O$  起, 只画出平行四边形的一半, 即一个力三角形。如图 1.4 (b) 所示, 力三角形的两个边为分力矢量  $F_1$  和  $F_2$ , 从  $F_1$  的起点开始到  $F_2$  的终点, 首尾相连, 最后画的第三边  $F_R$  代表合力矢量。当然也可以先从  $F_2$  起再到  $F_1$ , 最后画第三边  $F_R$ , 如图 1.4 (c) 所示。

### 公理二 二力平衡条件

仅受两个力作用的刚体, 其平衡的充分必要条件是: 这两个力大小相等、方向相反, 且作用在同一直线上。满足二力平衡条件的刚体称为二力体或二力构件, 二力构件可以为任何形状。

如图 1.5 所示, 根据二力平衡条件, 得

$$F_1 = -F_2 \quad (1.2)$$

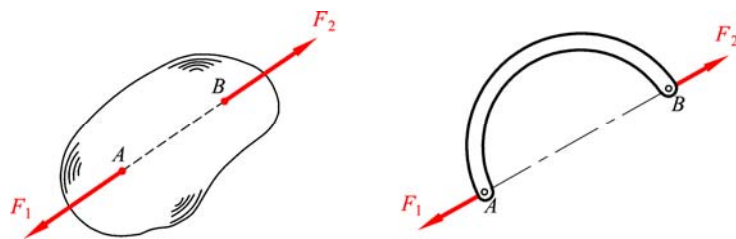


图 1.5

### 公理三 加减平衡力系原理

在作用于刚体的力系中加上或减去任意的平衡力系，并不会改变原力系对刚体的作用效应。

根据上述公理可以导出下列推论：

#### 推论一 力的可传性原理

作用于刚体上某点的力，可沿其作用线移至刚体上任意一点，而并不改变力对刚体的作用效应。

证明：力  $F$  作用在点  $A$ ，如图 1.6 (a) 所示。根据加减平衡力系原理，可在力的作用线上任取一点  $B$ ，并加上两个相互平衡的力  $F_1$  和  $F_2$ ，使  $F = F_2 = -F_1$ ，如图 1.6 (b) 所示。由于  $F$  和  $F_1$  也是一个平衡力系，故可除去，这样只剩下一个力  $F_2$ ，即原来的力  $F$  沿其作用线移到了点  $B$ ，如图 1.6 (c) 所示。

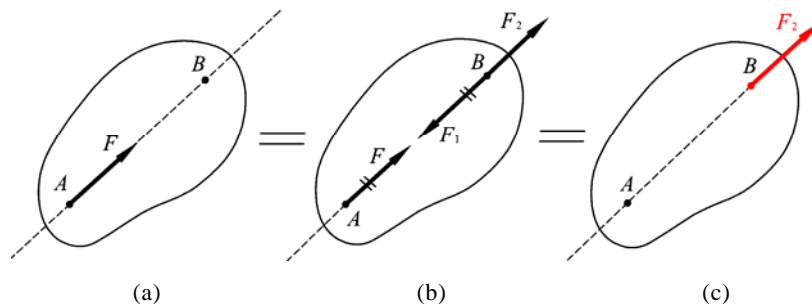


图 1.6

由此可见，对于刚体来说，力的作用点不是决定力作用效应的要素，它被作用线所代替。

于是作用于刚体上的力的三要素是：力的大小、方向和作用线。由于作用在刚体上的力可以沿着作用线移动，这种矢量为滑移矢量。

#### 推论二 三力平衡汇交定理

刚体上作用的三个力构成了平衡力系，若其中两个力的作用线汇交于一点，则此三个力必在同一平面内，且第三个力的作用线通过汇交点。

证明：如图 1.7 所示，在刚体的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点上分别作用三个相互平衡的力  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 。根据力的可传性，将力  $F_1$  和  $F_2$  移到汇交点  $O$ ，然后由力的平行四边形法则得合力  $F_{12}$ ，则力  $F_3$  与  $F_{12}$  平衡。由于两个力平衡必须共线，所以力  $F_3$  必定与力  $F_1$  和  $F_2$  共面，且通过力  $F_1$  与  $F_2$  的交点  $O$ 。

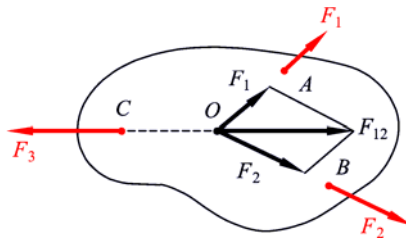


图 1.7

#### 公理四 作用与反作用定律

作用力与反作用力同时产生，两个力大小相等、方向相反，且沿同一直线并分别作用在两个物体上。

如图 1.8 (a) 所示，物体在重力  $W$  和地面支持力  $F_N$  的作用下处于平衡状态，如图 1.8 (b) 所示，其中地面对物体的支持力  $F_N$  与物体对地面的压力  $F'_N$  [见图 1.8 (c)] 就是一对作用力与反作用力，有  $F_N = F'_N$ 。

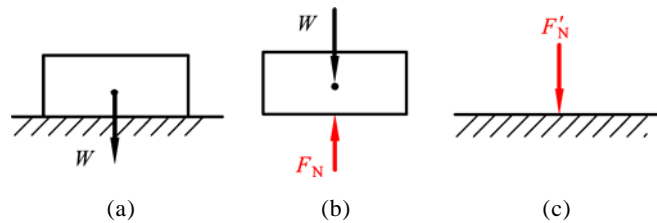


图 1.8

### 第三节 约束和约束力

#### 一、约束和约束力的概念

在空间的位移不受任何限制的物体称为**自由体**，如空中飞行的飞机、飞船等。在空间的位移受到限制的物体称为**非自由体**，如：火车受铁轨的限制，只能沿轨道行驶；人受到地面的限制，只能在地面运动；重物被钢束吊起，不能下落等。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为**约束**，如铁轨对火车、地面对人、钢束对重物等起限制作用的这些物体都是约束。

约束对物体的作用称为**约束力**。约束力的方向与该约束所能限制物体的位移方向相反。非自由体的受力一般分为两类：主动力和约束力。**主动力**一般是一些已知力或通过简单的计算可以得到的力，而约束力大小通常是未知的。在静力学问题中，主动力和约束力组成平衡力系，因此可用平衡条件求出未知的约束力。进行受力分析的时候，判定约束力的方向是一难点。我们通常将工程中常见的约束理想化，归纳为几种基本类型，并根据约束的特性分别说明其约束力。掌握约束力要从对力的三要素的分析入手。**约束力的作用点在约束与研究对象的接触处，它的方向与约束所能限制的运动方向相反，至于它的大小，由于受力分析仅仅是定性分析，不涉及定量的计算，所以其大小暂时不予考虑。**

#### 二、几种常见的约束

##### 1. 柔索约束

缆绳、链条、皮带等统称为**柔索**。柔索约束的特点是，柔软易变形，不能抵抗弯曲，只能受拉，不能受压，因此所产生的约束力沿柔索方向，且只能为**拉力**（见图 1.9）。因此，**柔**



索对物体的约束力过连接点或接触点，方向沿柔索并背离物体，通常用符号  $F_T$  表示。应指出，若柔体包络了轮子一部分，如图 1.9 (b) 所示的链传动或带传动等，应把包络在轮上的柔体看成是轮子的一部分，从柔体与轮子的切点处解除柔体。

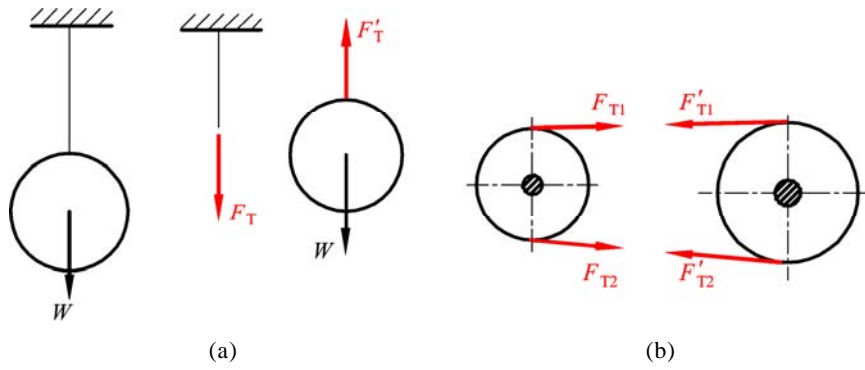


图 1.9