

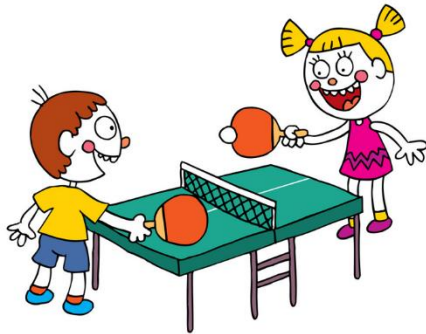
# 1-1静力学基础

# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## 一、力的概念

### 1. 力的定义

力是使物体的运动状态发生改变或使物体产生变形的物体间的相互机械作用。



### 2. 力的效应

- (1) 外作用效应：运动状态改变
- (2) 内作用效应：产生变形

# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## 3. 力的三要素

- (1) 力的大小：力作用效应的强弱；
- (2) 力的方向：力作用效应的方向和指向；
- (3) 力的作用点：力作用的位置。



## 4. 力的图示法

力是一个具有大小又有方向的矢量。即用带箭头的有向线段表示，如下图所示。

- (1) 力的大小：线段的长短（按一定比例）
- (2) 力的方向：箭头的方向
- (3) 力的作用点：线段的始末位置
- (4) 用黑体字母表示矢量，书写时可以在字母上方化一箭头表示



## 5. 力的单位

在国际单位制中，力的单位是牛顿(N)或千牛顿(KN)

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

## 二、静力学的基本公理

### 1. 基本概念

#### (1) 公理的概念

是人们生活和生产实践中长期积累的经验总结，又经过实践反复验证，被确认是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。

#### (2) 刚体的概念

在任何力的作用下，体积和形状都不发生改变的物体叫做刚体。简单的说，刚体就是在讨论问题时可以忽略由于受力而引起的形状和大小改变的理想模型。

刚体内部任意两点间的距离始终不变。



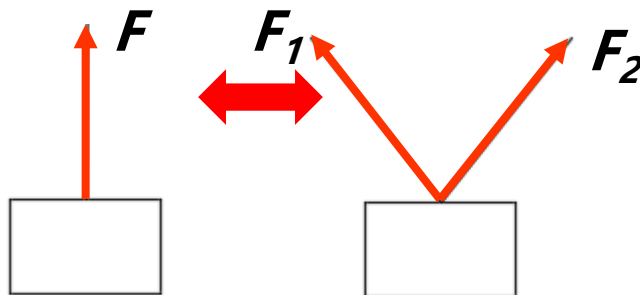
# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## 2. 静力学公理

### (1) 公理1（力的平行四边形公理）

作用于物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力，合力也作用于该点上，其大小和方向可用以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来表示。

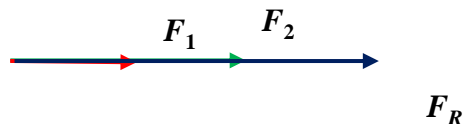
从力的作用效果来看，一个人提一桶水的拉力与两个人提一桶水的拉力相当，可以相互替代。



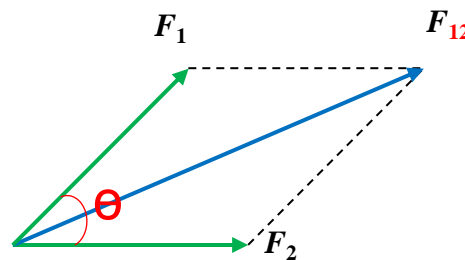
# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

$F_1$ 、 $F_2$ 为作用于物体上同一点的两个力，其合力就是这两个力的矢量和。矢量式表示如下：

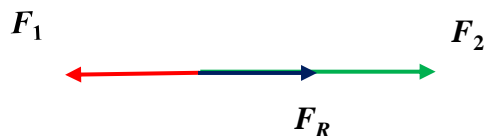
$$F_R = F_1 + F_2$$



(a)  $F_1$ 与 $F_2$ 夹角为 $0^\circ$



(b)  $F_1$ 与 $F_2$ 夹角 $\theta$

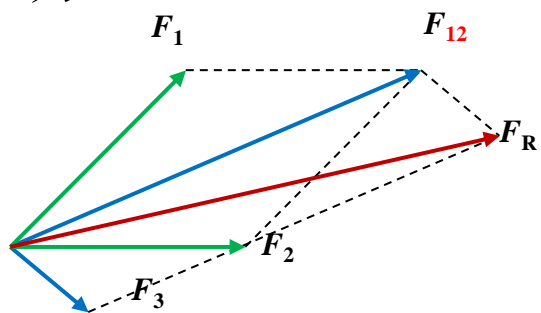


(c)  $F_1$ 与 $F_2$ 夹角为 $180^\circ$

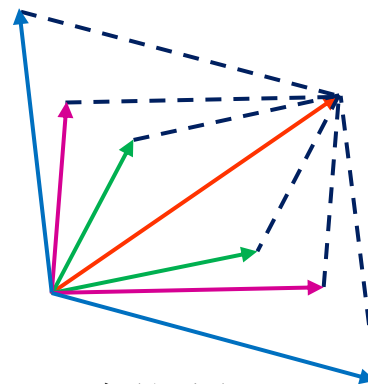
# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## (2) 公理1应用（力的合成与分解）

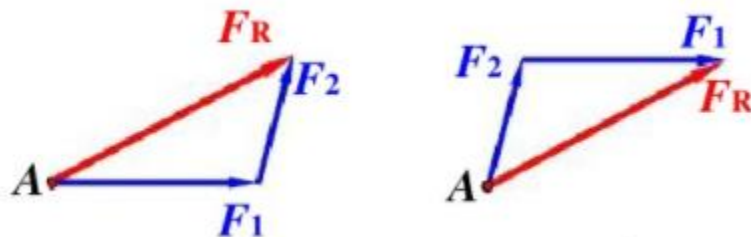
利用平行四边形法则，可以把作用于物体上的多个分力合成为一个合力，也可以将一个力分解为无数大小、方向不同的分力。



(a) 力的合成



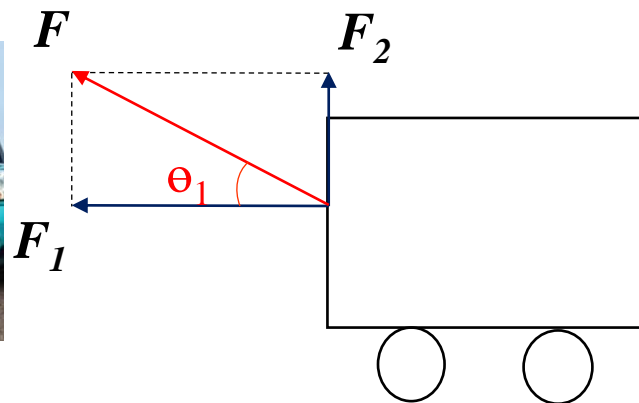
(b) 力的分解



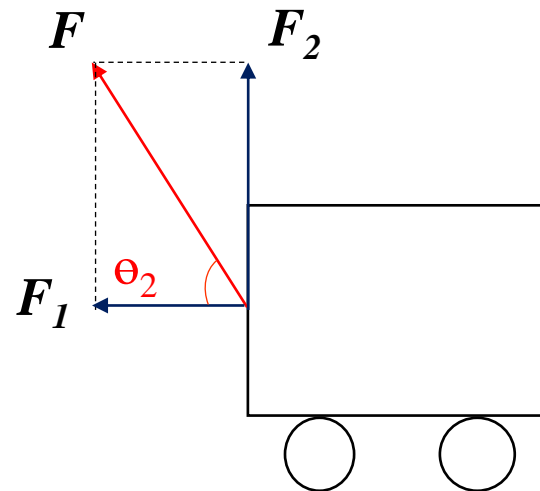
力三角形

# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

在工程中，通常将力分解为相互垂直的两个分力，并且一个分力的方向是沿着物体运动的方向，一个分力垂直于物体运动方向。



$$\begin{cases} F_1 = F \cos \theta_1 \\ F_2 = F \sin \theta_1 \end{cases}$$



$$\begin{cases} F_1 = F \cos \theta_2 \\ F_2 = F \sin \theta_2 \end{cases}$$

在人拉车的拉力相同的情况下，夹角越小，拉车的效果越明显。水平分力起到拉车的作用，谁知分力减少车与地面正压力的作用。



# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## (3) 公理2（作用和反作用定律）

一个物体对另一个物体有一作用力时，另一物体对该物体必有一个反作用力，这两个力大小相等，方向相反，其作用线沿同一直线，分别作用在这两个物体上。

若用 $\mathbf{F}$ 表示作用力， $\mathbf{F}$ 表示反作用力，则

$$\mathbf{F} = -\mathbf{F}$$

这个公理表明，力总是成对出现的，只要有作用力就必有反作用力，而且同时存在，又同时消失。



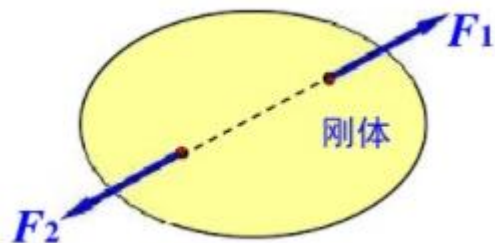
注意：

- ①作用与反作用公理适用于任何物体之间的相互作用；
- ②一切力总是成对出现，揭示了力的存在形式和力在物体间的传递方式。

# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## (4) 公理3 (二力平衡公理)

作用于**同一刚体**上的两个力 ( $F_1$ 、 $F_2$ )，使刚体平衡的必要且充分条件是：这两个力



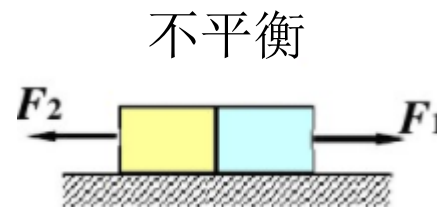
大小相等

$$|F_1| = |F_2|$$

方向相反  $F_1 = -F_2$

在同一条直线上

- 说明：①对刚体来说，上面的条件是充要条件。  
②对变形体来说，上面的条件只是必要条件。



对多刚体不成立

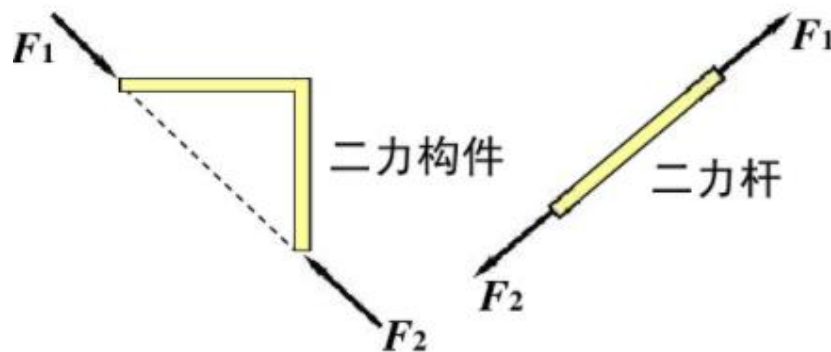
# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

③二力构件：只在两个力的作用下平衡的刚体叫二力构件。

二力杆：略去自重和伸缩，则此构件为二力杆。

二力构件受力时与构件的形状没有关系，只与两力作用点有关，且必定沿两力作用点连线，等值，反向。

二力构件的特点：一是构件两端为铰接，约束反力方向不定；二是除约束力之外，不受其它任何外力，且重力不计。

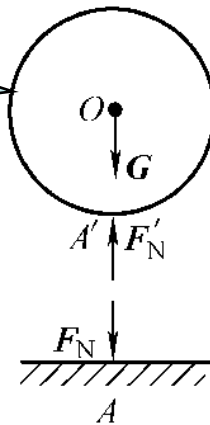
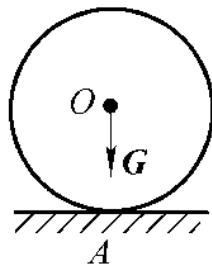


# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

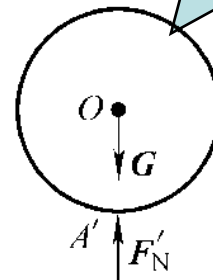
(5) 公理2与公理3的区别：

	研究对象	力的性质	产生时间
作用与反作用	两个物体间的力	相同	同时产生，同时消失
二力平衡	同一物体同时受两个力	不一定相同	有先后之分

$F_N$ 与 $F'_N$ 分别作用于桌面和球上，二力为作用力与反作用力。



重力 $G$ 和桌面施加的作用力 $F'_N$ 是二力是平衡力。



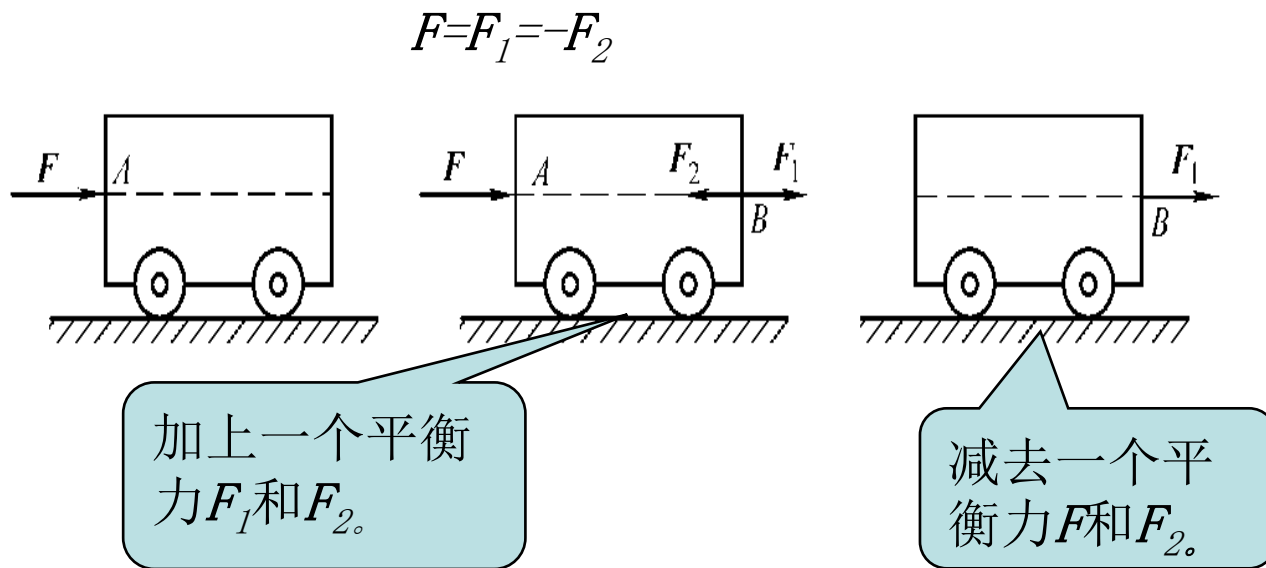
# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## (6) 公理4 (加减平衡力系)

已知任意力系上加上或减去任意平衡力系，与原力系对刚体的作用等效。该公理是研究力系等效替换的重要依据。

## (7) 推论1 (力的可传性)

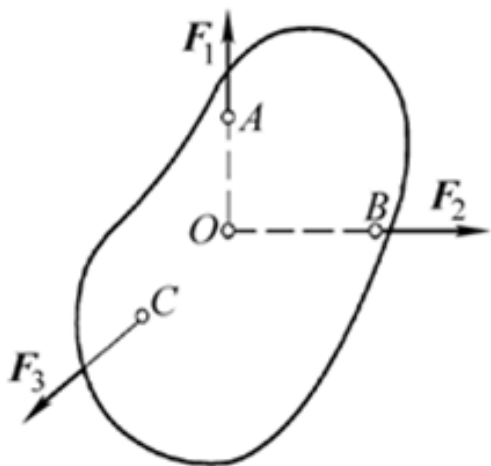
作用在刚体上某点的力，可以沿着它的作用线移到刚体内的任意一点，并不改变该力对刚体的作用。



## 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

### (8) 推论2（三力平衡汇交定理）

当刚体受到三个力作用而平衡时，若其中两个力的作用线汇交于一点，则第三个力的作用线必交于同一点，且三个力的作用线在同一平面内。

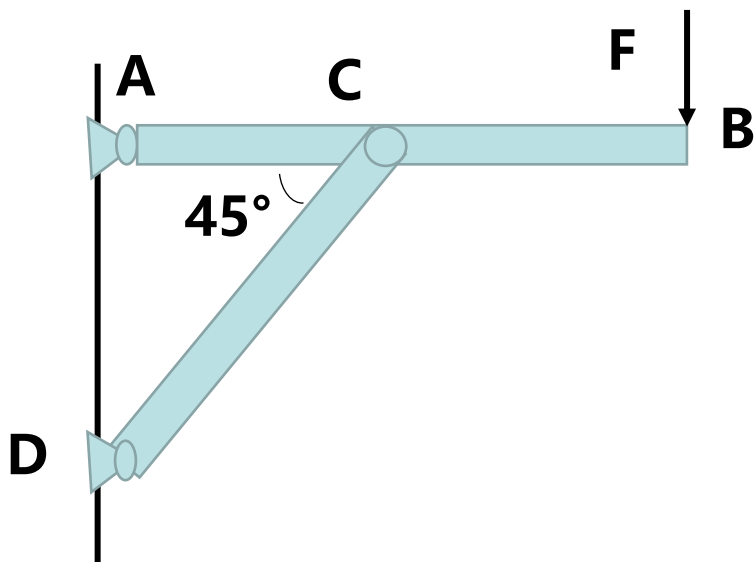


注意：

三力平衡汇交定理是共面且不平行三力平衡的必要条件，但不是充分条件，即同一平面的作用线汇交于一点的三个力不一定是平衡的。

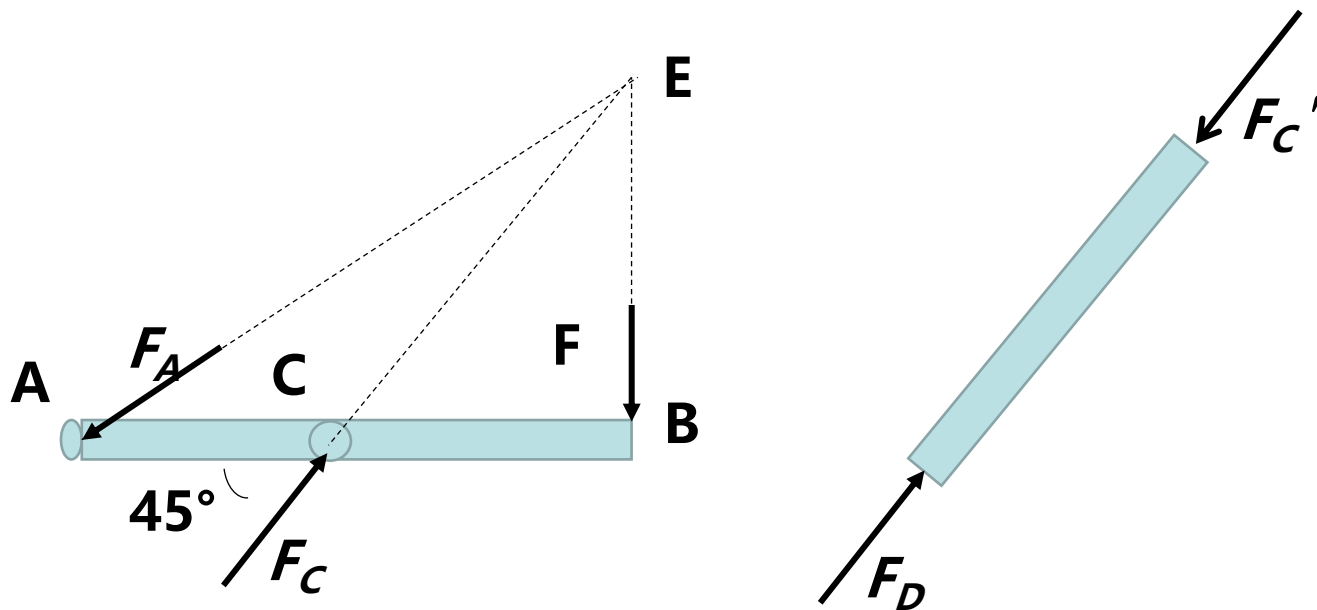
## 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

例1 支架的横梁AB与斜杆DC彼此以铰链C相连接，并各以铰A、D连接与铅直墙上，如下图所示，已知 $AC=CB$ ；杆DC与水平线成 $45^\circ$ 角；载荷F作用于B处。设梁和杆的质量忽略不计，求铰链A的约束力和杆DC所受的力的方向。



## 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

解：选梁 $AB$ 为研究对象，梁在 $B$ 处受到载荷 $F$ 的作用，杆 $DC$ 为二力杆，它对梁 $C$ 处的约束力为 $F_C$ 的作用线必沿着两个铰 $C$ 、 $D$ 中心的连线，铰链 $A$ 的约束力 $F_A$ 的作用线可以根据三力汇交平衡定理确定。





## 三、约束与约束力

### 1. 基本概念

(1) 自由体与非自由体:

在工程实际中,有些物体可以在空间自由运动,获得任何方向的位移,这些物体称为自由体。

一些物体在空间的运动受到其他物体的限制,使其在某些方向不能发生位移,这些物体称为非自由体。



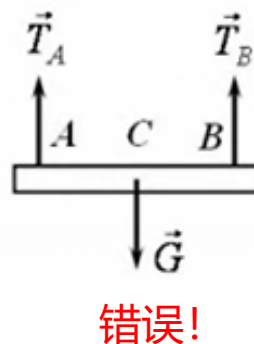
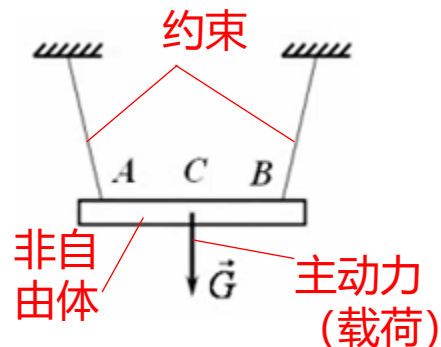
# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## (2) 约束与约束反力:

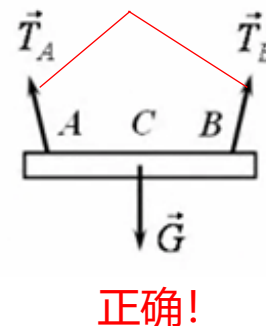
约束：限制非自由体运动的物体。

约束力：约束对被约束物体的作用力，也叫约束反力。

主动力：除约束力以外的力。



约束力 (约束反力, 反力)

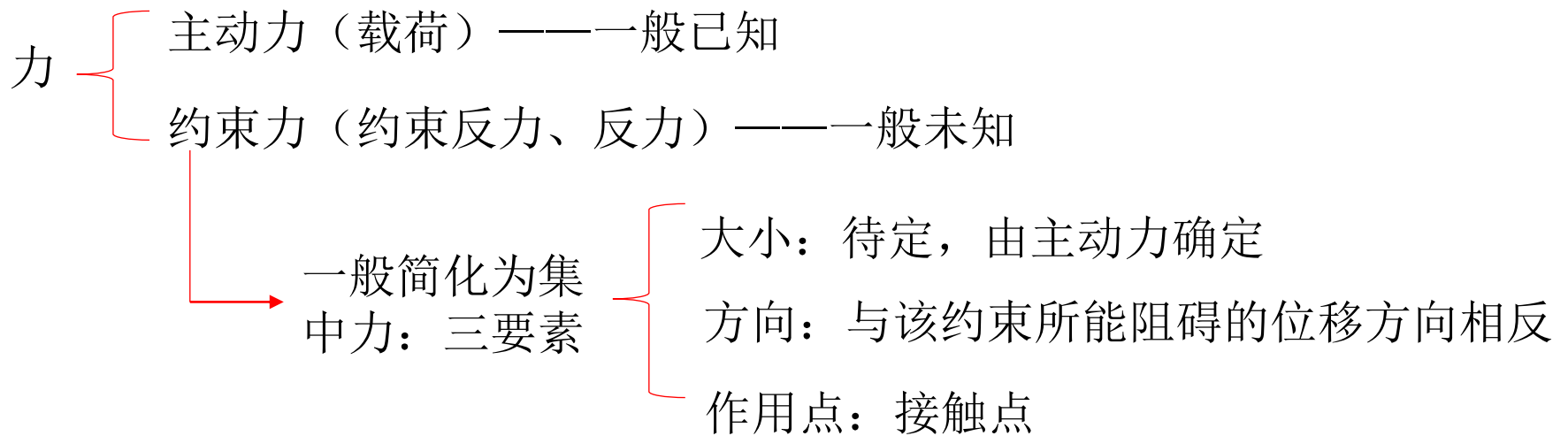


# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## (3) 主动力与约束力的区别

	主动力	约束力
定义	使物体运动或有运动趋势的力	阻碍物体运动的力，随主动力而变化，是一种被动力
特征	大小与方向预先确定，可改变运动状态	大小未知，取决于约束本身的性质，与主动力的大小有关，可由平衡条件求出。约束力的作用点在约束与被约束物体的接触处。约束力的方向与约束所能限制的运动相反。

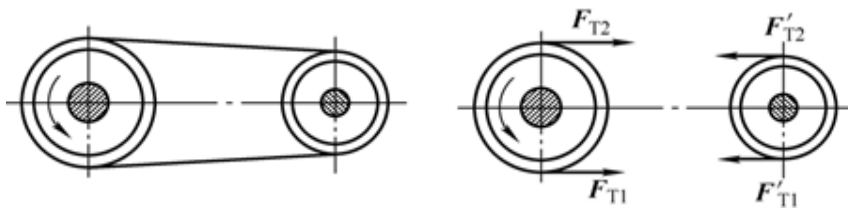
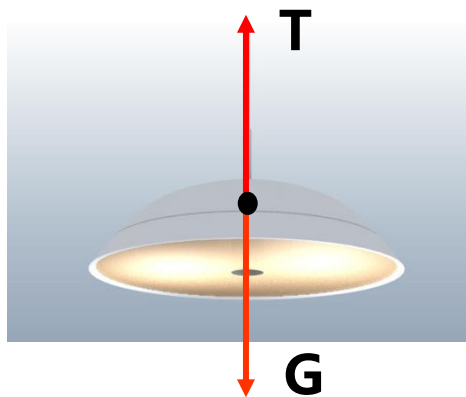
# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础



# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## 2. 常见约束类型

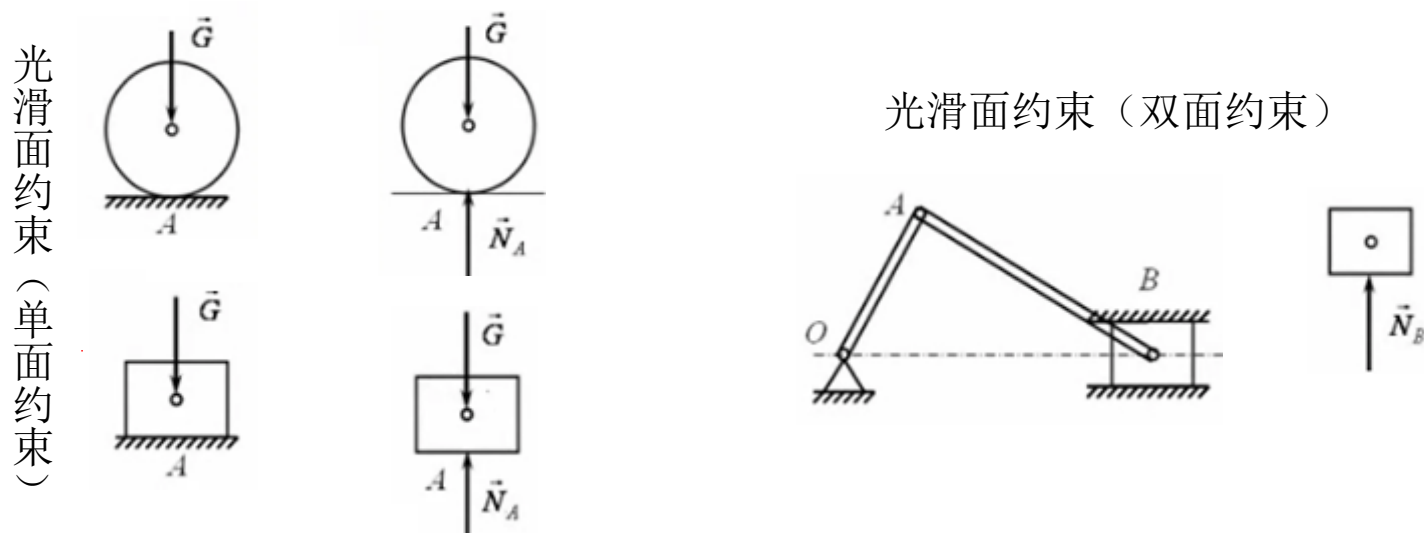
(1) 柔性约束: 由柔软的绳索、链条或皮带等构成的约束。



- a) 特点: 只能受拉力, 不能受压力  
一般用 $F$ 或 $F_T$ 表示。
- b) 方向: 沿着绳索, 背离物体。

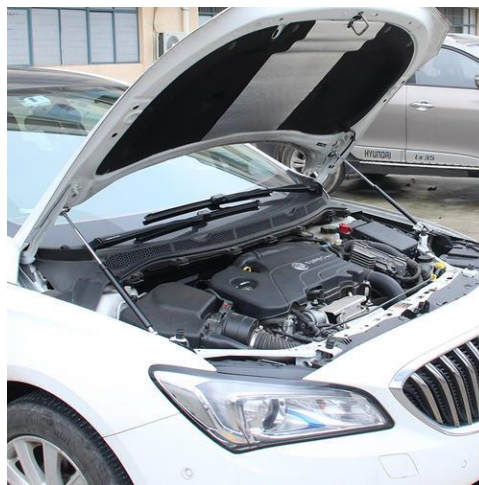
# 模块一 构件的静力分析 1-1 静力学基础

(2) 光滑接触表面约束：由光滑接触面所构成的约束。当两物体接触面之间的摩擦力小到可以忽略不计时，可将接触面视为理想光滑的约束。



- a) 特点：只能限制物体沿着接触面的公法线d的运动，不能限制无提沿支撑面的运动。一般用 $F_{NA}$ 表示。
- b) 方向：沿接触表面的公法线，指向物体。

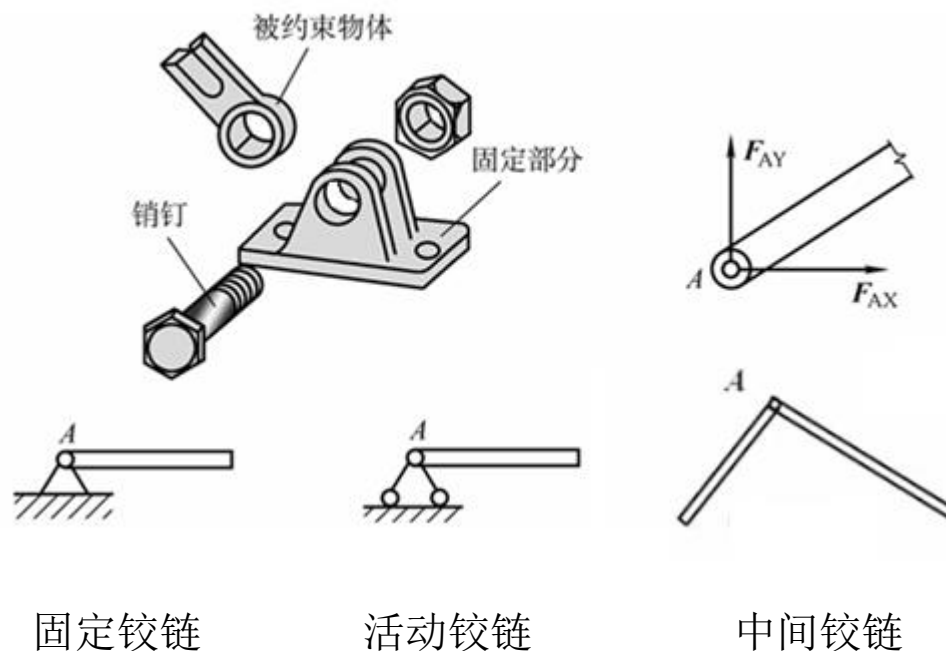
# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础





# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

(3) 光滑铰链约束：是用销钉将两个具有相同直径圆柱孔的物体连接起来，且不计销钉与销钉孔壁之间摩擦的约束。





# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## (a) 固定铰链支座

圆柱销连接的两构件中，如果连接铰链中有一个构件与地基或机架相连，便构成固定铰链支座。



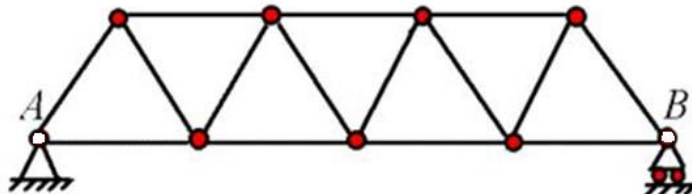
a) 特点：能限制物体（构件）沿圆柱销半径方向的移动，但不限制其转动。

b) 方向：作用在与销钉轴线垂直的平面内，并通过销钉中心，但方向待定，工程中常用通过铰链中心的相互垂直的两个分力  $X_A$ 、 $Y_A$  表示。

# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## (b) 活动铰链

工程中常将桥梁，房屋等结构用铰链连接在有几个圆柱形滚子的活动支座上，支座在滚子上可做左右相对运动，允许两支座间距离可稍有变化，这种约束称为活动铰链支座。



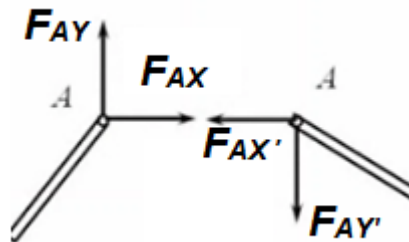
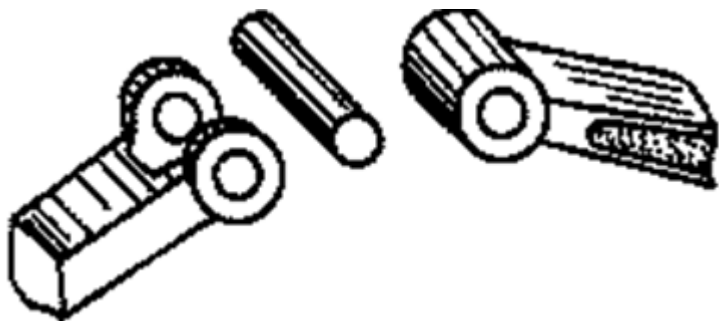
a) 特点：在不计摩擦的情况下，能够限制被连接件沿着支承面法线方向的上下运动。

b) 方向：作用线通过铰链中心，并垂直于支承面，其方向随受载荷情况不同指向或背离物体。

# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## (c) 中间铰链

构件用圆柱形销钉连接且均不固定，即构成中间铰链，其约束反力用两个正交的分力 $F_{AX}$ 和 $F_{AY}$ 表示，



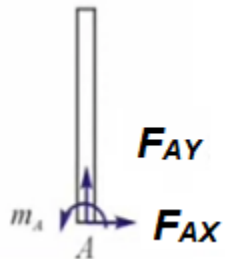
a) 特点：能限制物体（构件）沿圆柱销半径方向的移动，但不限制其转动。

b) 方向：作用在与销钉轴线垂直的平面内，并通过销钉中心，但方向待定，工程中常用通过铰链中心的相互垂直的两个分力 $F_{AX}$ 、 $F_{AY}$ 表示。

# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## (4) 固定端约束

如下图所示，一根杆插入地面较深，因而杆在A点，既不能移动，又不能转动，地面对杆的约束，称为固定端约束。



- a) 特点：不允许被约束物体与约束之间发生任何相对移动和转动。
- b) 方向：通过A点的相互垂直的两个分力 $F_{AX}$ 、 $F_{AY}$  及一个约束力偶 $M_A$ 。

## 四、物体受力和受力图

### 1. 有关概念

(1) 杆件：指纵向（长度方向）尺寸远大于横向（垂直于长度方向）尺寸的构件，如下图所示。

(2) 直杆：杆件的轴线（各横截面形心的连线）是直线。

(3) 等截面直杆：杆件的轴线（各横截面形心的连线）是直线，且各横截面都相等，简称等直杆。

(4) 研究对象：我们把所研究的物体称为研究对象。

(5) 分离体：为分析研究对象的受力情况而解除限制该物体运动的全部约束，将其从相联系的周围物体中分离出来的物体。

(6) 受力图：在分离体上画上它所受的全部主动力和约束反力，就称为该物体的受力图。



# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

## 2. 画受力图的步骤:

- (1) 确定研究对象，取分离体——对所研究的对象单独画出简图；
- (2) 画主动力——在分离体上画出研究对象所受到的全部主动力，如重力、载荷、风力、浮力、电磁力等；
- (3) 画约束反力——在解除约束处，根据约束的不同类型，画出约束反力。

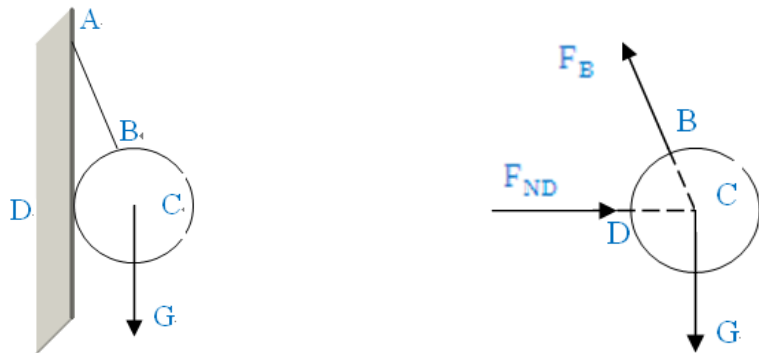
## 3. 注意问题:

- (1) 在分离体简图上画，一般不要再原图上画；
- (2) 先判断二力杆，受力图上有二力杆时，其约束必须按二力杆画；
- (3) 先画主动力，在画约束力；
- (4) 约束力的画法要按照典型约束的性质去画，特别是其方位和指向；
- (5) 一般问题中要画即个受力图时，各受力图之间必须满足作用、反作用定律；这一对作用力和反作用力要用同一字母，在其中一个力的字母上加上一撇以示区别。
- (6) 凡题目没说明或图中未画出重力的就是不计重力，凡没有提及摩擦时视为光滑。
- (7) 在对物体进行受力分析时，一定不能“漏力”、“多力”。

## 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

例1 如下图所示，绳AB悬挂一重为 $G$ 的球。试画出球C的受力图。  
(摩擦不计)

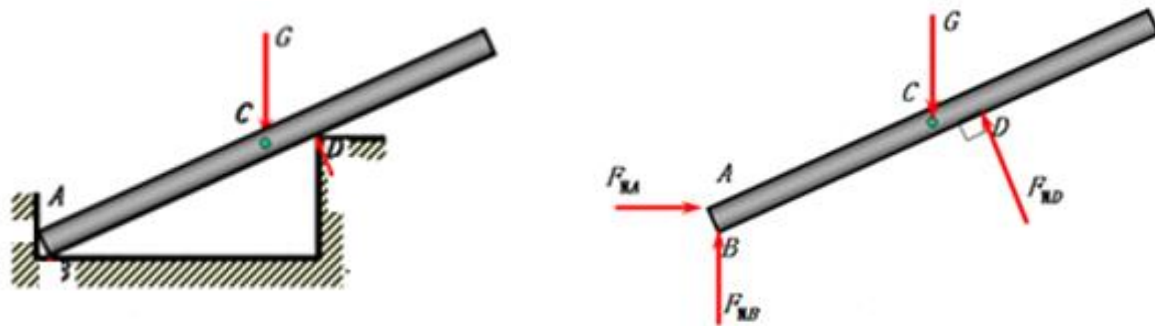
分析：球在其质心上作用有一个主动力 $G$ ，在B处受柔体约束，在D处受光滑面约束，如下图。



## 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

例2 如下图所示，重量为 $G$ 的均质杆 $AD$ ，其 $A$ 端靠在光滑铅垂墙的顶角处， $B$ 端放在光滑的水平面上，在点 $D$ 处是直角尖，试画出杆 $AD$ 的受力图。

分析：杆在其质心 $C$ 上作用有一个主动力 $G$ ，在 $A$ 处光滑面约束，在 $D$ 处受光滑面约束，如下图。

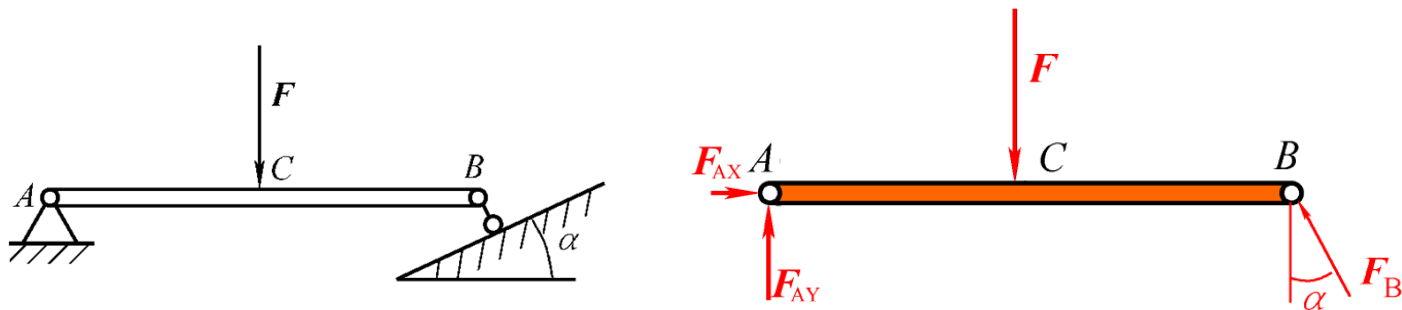




## 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

例3 如下图所示，简支梁AB，在梁AB中点C处受到集中力F作用，A端为固定铰链支座约束，B端为活动铰链支座约束，试画出梁的受力图。

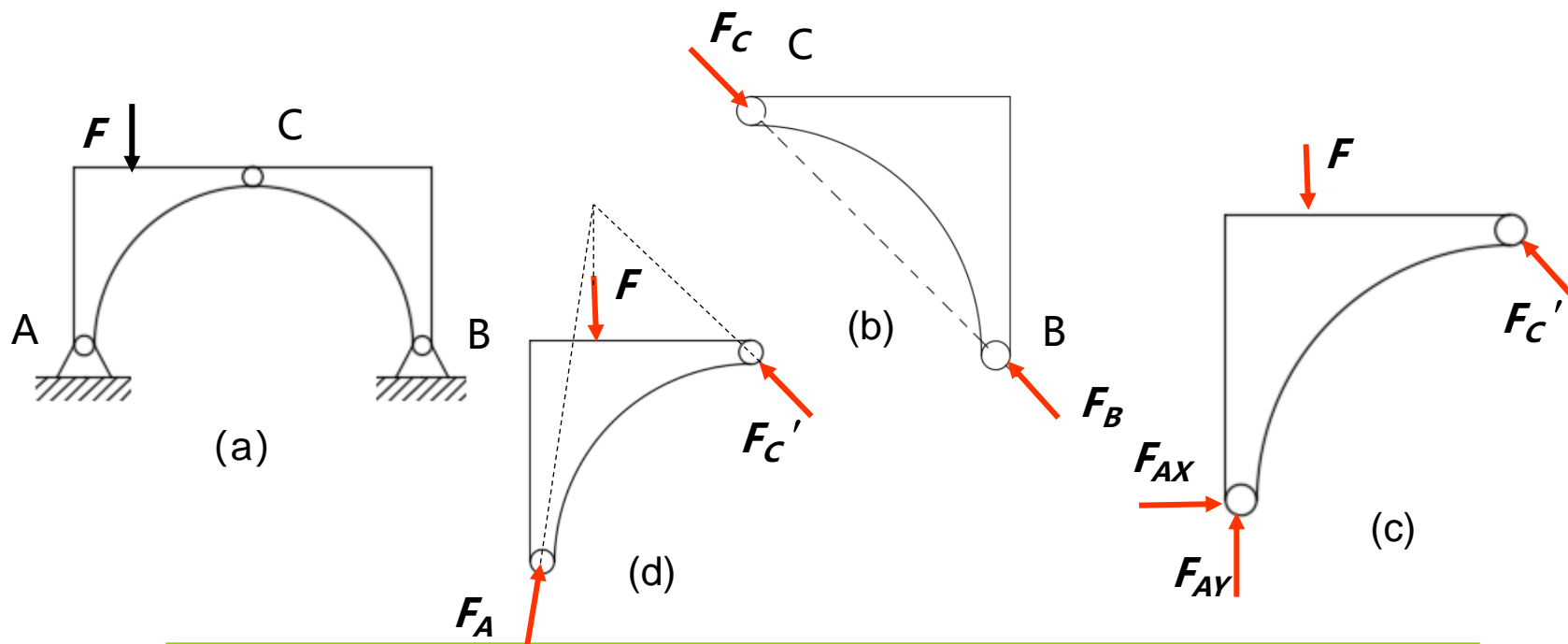
分析：杆在C上作用有一个主动力F，在A处是固定铰约束约束，在B处受活动铰约束，如下图。



# 模块一 构件的静力分析 1-1静力学基础

例4 由下图所示，三铰拱桥，由左、右两拱铰接而成，不计自重及摩擦，在拱AC上作用有载荷F，试分别画出拱AC和CB的受力图。

分析：拱BC受力，由于拱BC自重不计，且只在B、C两处受到铰链约束，因此拱BC为二力构件，在铰链中心B、C处分别受到 $F_B$ 、 $F_C$ 两力的作用，且 $F_B = -F_C$ ，这两个力的方向如图（b）所示。



## 五、小结

1. 理解力、刚体、平衡和约束等重要概念
2. 理解静力学公理及力的基本性质
3. 明确各类约束对应的约束力的特征
4. 对物体进行受力分析