

# 工程力学

## 静力学

2009年5月20日星期三



北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

静力学  
——  
受力分析

理论力学:

是研究物体机械运动一般规律的科学。

三部分:

静力学—研究物体在力系作用下平衡的规律。

运动学—从几何角度研究物体运动（轨迹、速度、加速度），不研究物体运动的原因。

动力学—研究受力物体的运动与作用力之间的关系。



# 静力学

静力学:

研究物体在力系作用下的平衡规律。

(研究受力物体平衡时作用力所应满足的条件、受力分析、力系简化)

- \* 力系: 指作用在物体上的一群力。
- \* 平衡: 指物体相对惯性参考系保持静止或作匀速直线运动。



在静力学中，将研究以下三个问题：

1. 物体的受力分析。
2. 力系的等效与简化。

将作用在物体上的一个力系用另一个力系代替，而不改变原力系对物体的作用效果，则称此两力系等效或互为等效力系。

用一个简单力系等效地替换一个复杂力系对物体的作用，称为力系的简化。

3. 力系的平衡条件及其应用。



北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

## 第一章 静力学基本概念和物体的受力分析

§ 1-1 力和刚体的概念

§ 1-2 静力学基本公理

§ 1-3 约束和约束力

\* § 1-4 受力图

静力学  
——  
受力分析

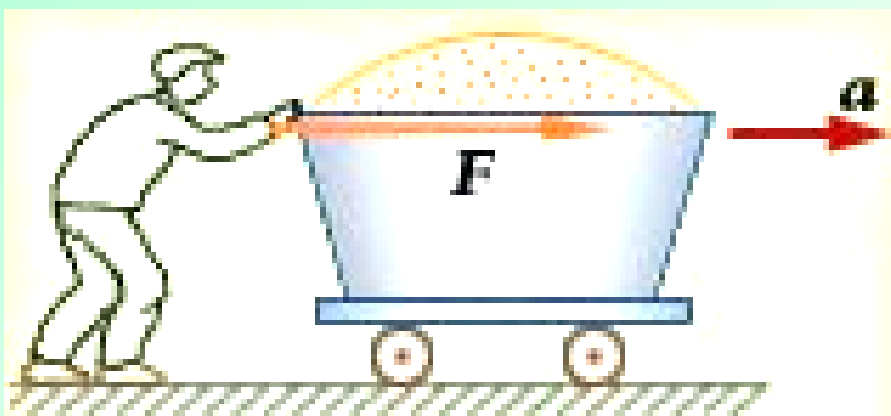


## § 1-1 力和刚体的概念

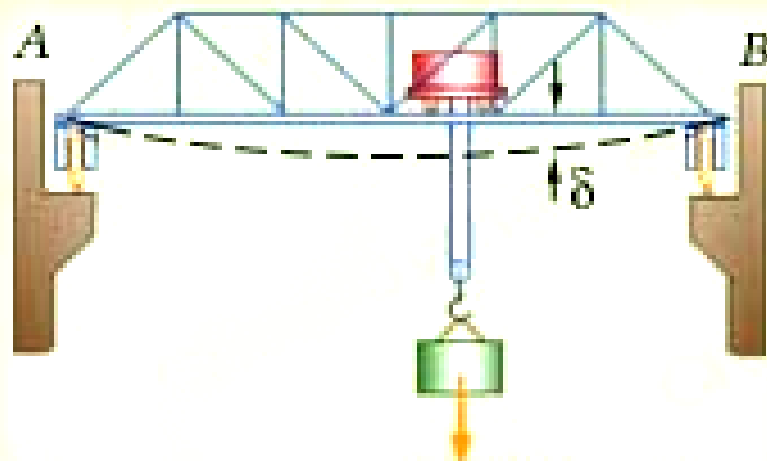
### 1. 力的概念

力是物体间相互的机械作用。

- \* 力的外效应或运动效应
- \* 力的内效应或变形效应



小车的运动



吊车梁变形

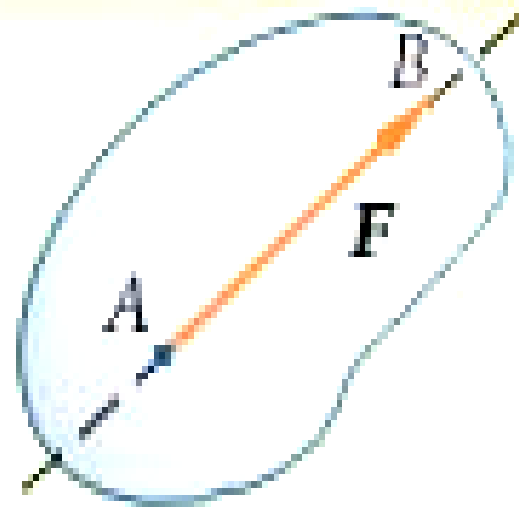


- \* 力对物体的作用效果决定于力的三要素：  
大小、方向和作用点。

## 2. 刚体

在力的作用下不变形的物体。（其内部任意两点之间的距离始终保持不变）

- \* 刚体是实际物体被抽象化的理想的力学模型。



力是定位矢量



北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

## § 1-2 静力学基本公理

公理1 力的平行四边形法则

公理2 二力平衡公理

公理3 加减平衡力系公理

公理4 作用与反作用定律

公理5 刚化公理

静力学  
——  
受力分析



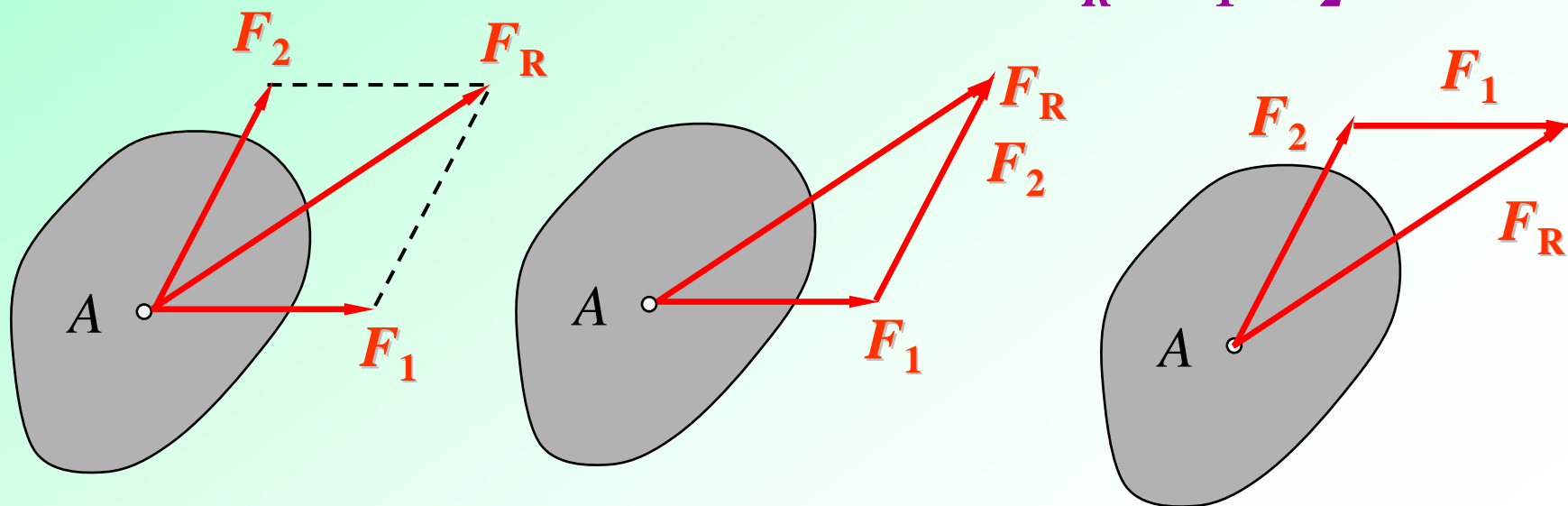


## 公理1: 力的平行四边形法则

作用在物体上同一点的两个力,可合成一个合力。  
合力的作用点仍在该点,其大小和方向由以此两力为边构成的平行四边形的对角线确定。

### ● 力三角形法

矢量表达式:  $F_R = F_1 + F_2$



该法则既是力的合成法则,也是力的分解法则。



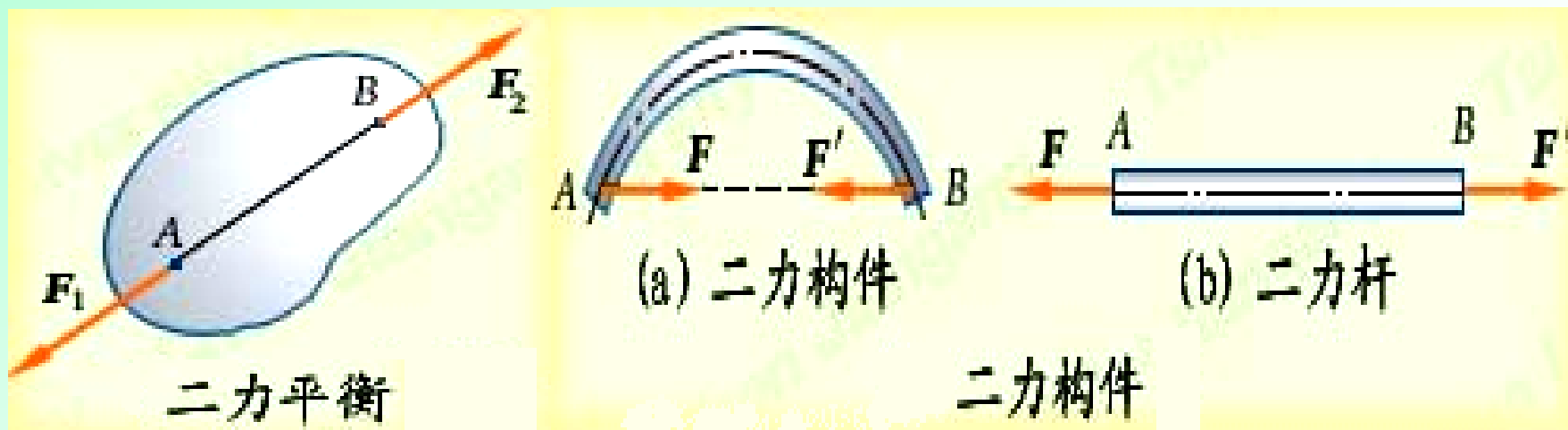
## 公理2 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力，使刚体平衡的必要和充分条件是：两个力的大小相等，方向相反，作用线沿同一直线。

$$F_1 = -F_2$$

只在两力作用下平衡的刚体称为二力构件。

当构件为直杆时称为二力杆。

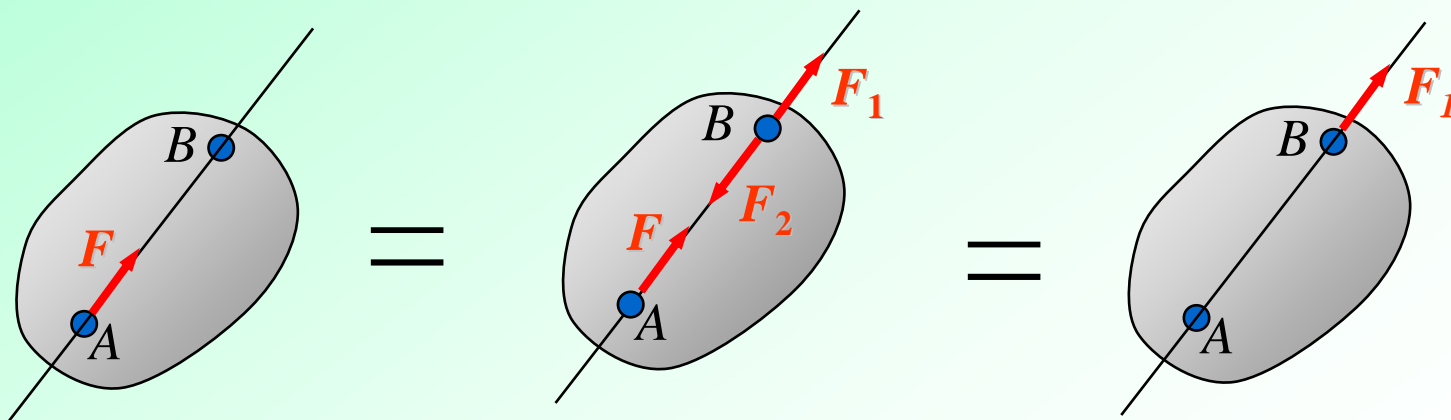




## 公理3 加减平衡力系公理

在已知力系上加或减去任意平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

导出下列推理：推理1 力的可传性



$$F_1 = -F_2 = F$$

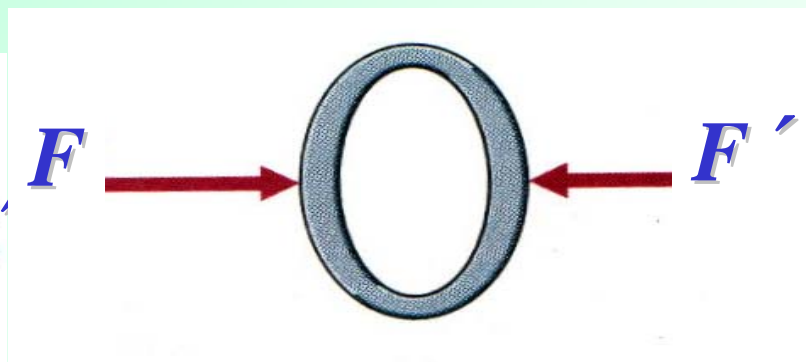
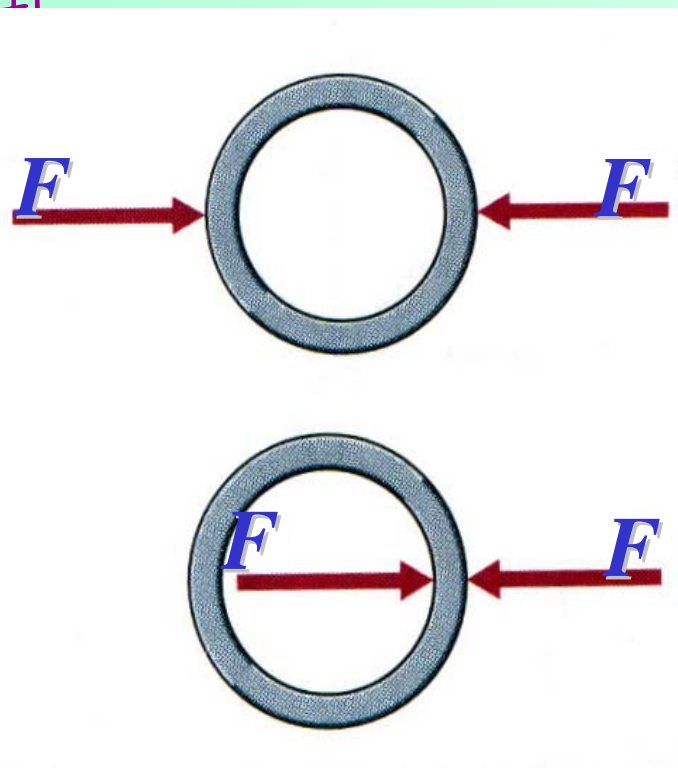


### 推理1 力的可传性:

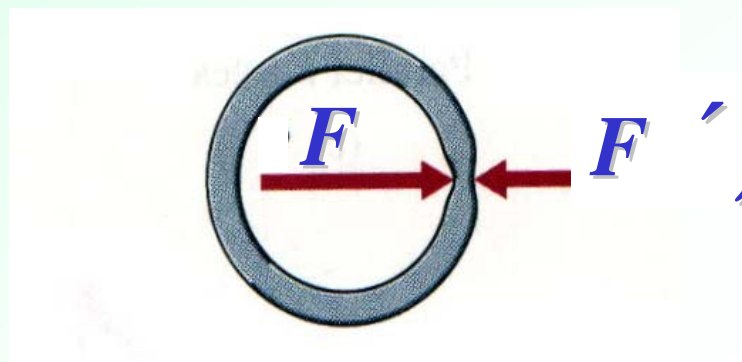
作用在刚体上某点的力,可以沿着它的作用线移到刚体内任意点,并不改变该力对刚体的作用

静力学——受力分析

刚体



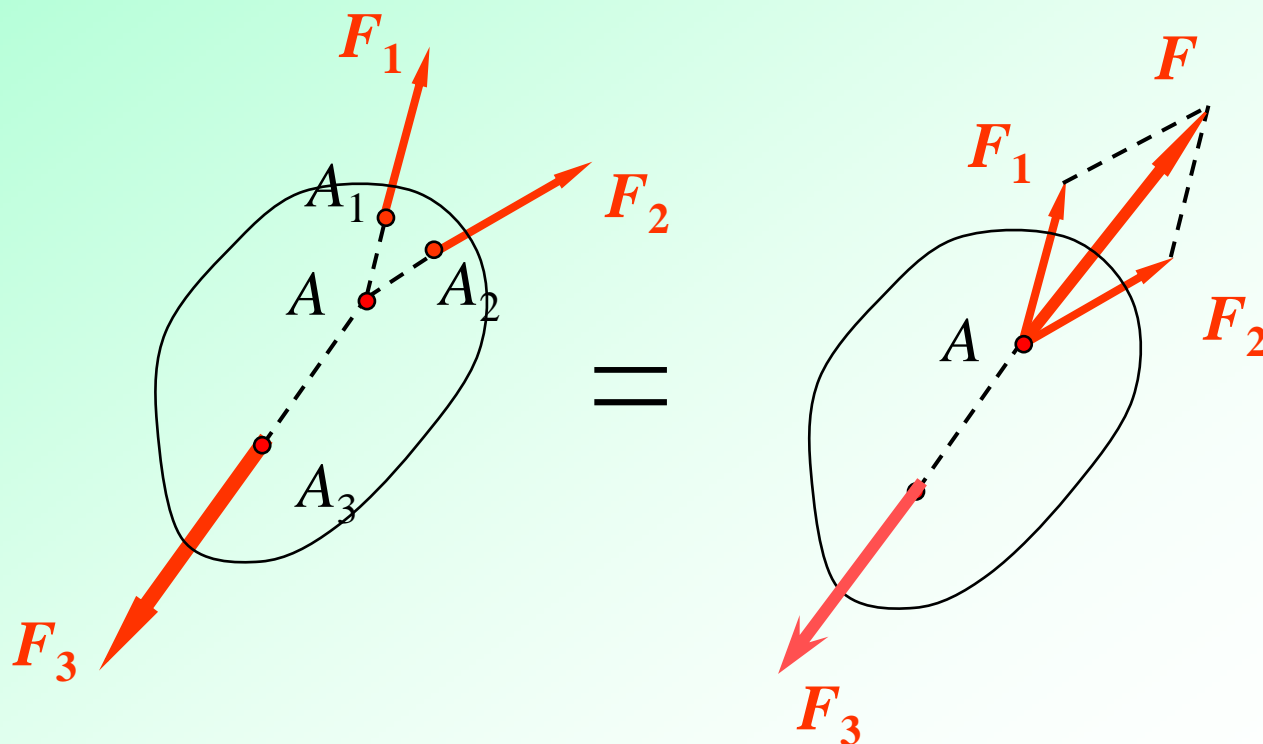
变形体





## 推理2 三力平衡汇交定理

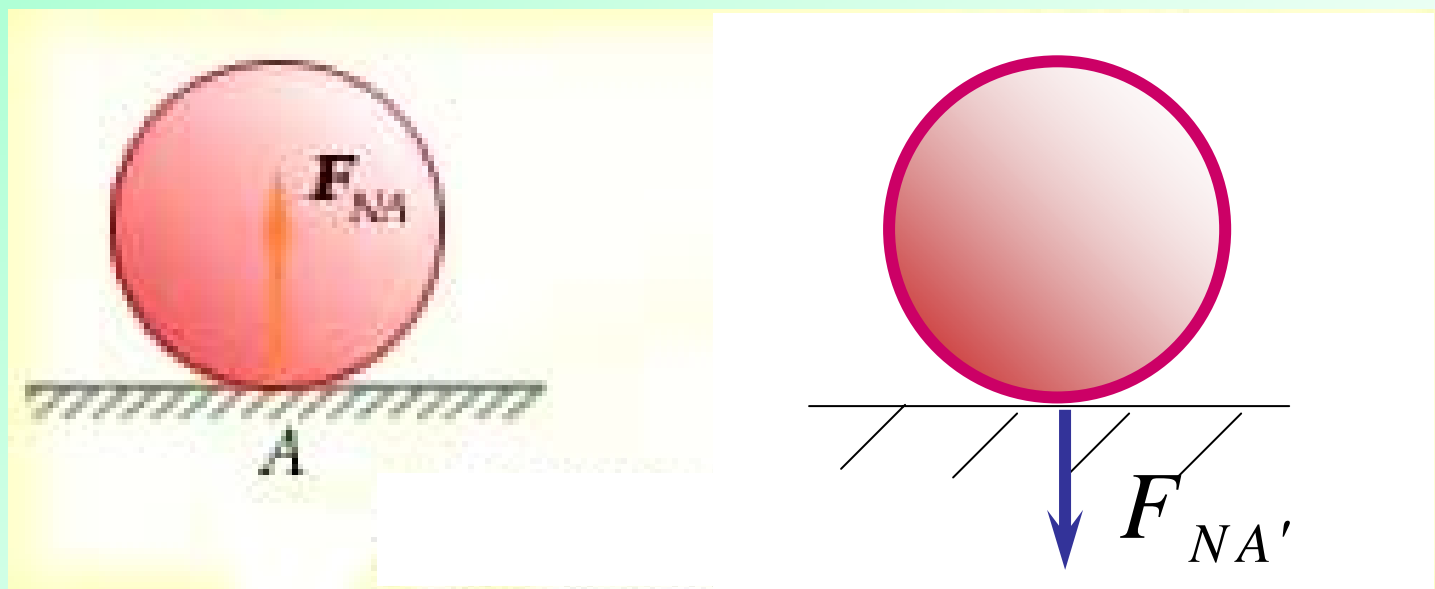
作用于刚体上三个相互平衡的力,若其中两个力的作用线汇交于一点,则此三力必在同一平面内,且第三个力的作用线通过汇交点。





## 公理4 作用与反作用定律

作用与反作用力是两物体间的相互作用力。这两个力大小相等，方向相反，作用线沿同一直线。

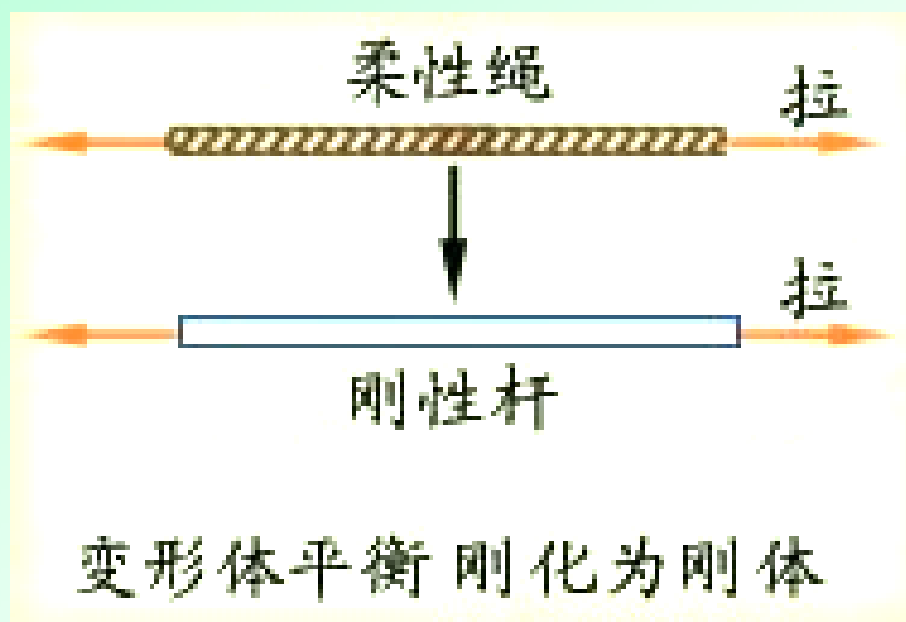


表明作用力与反作用力成对出现，并分别作用在两个不同的物体上。



## 公理5 刚化公理

变形体在某一力系作用下处于平衡时，如将其刚化为刚体，其平衡状态保持不变。  
·刚体平衡是变形体平衡的必要条件而非充分条件。





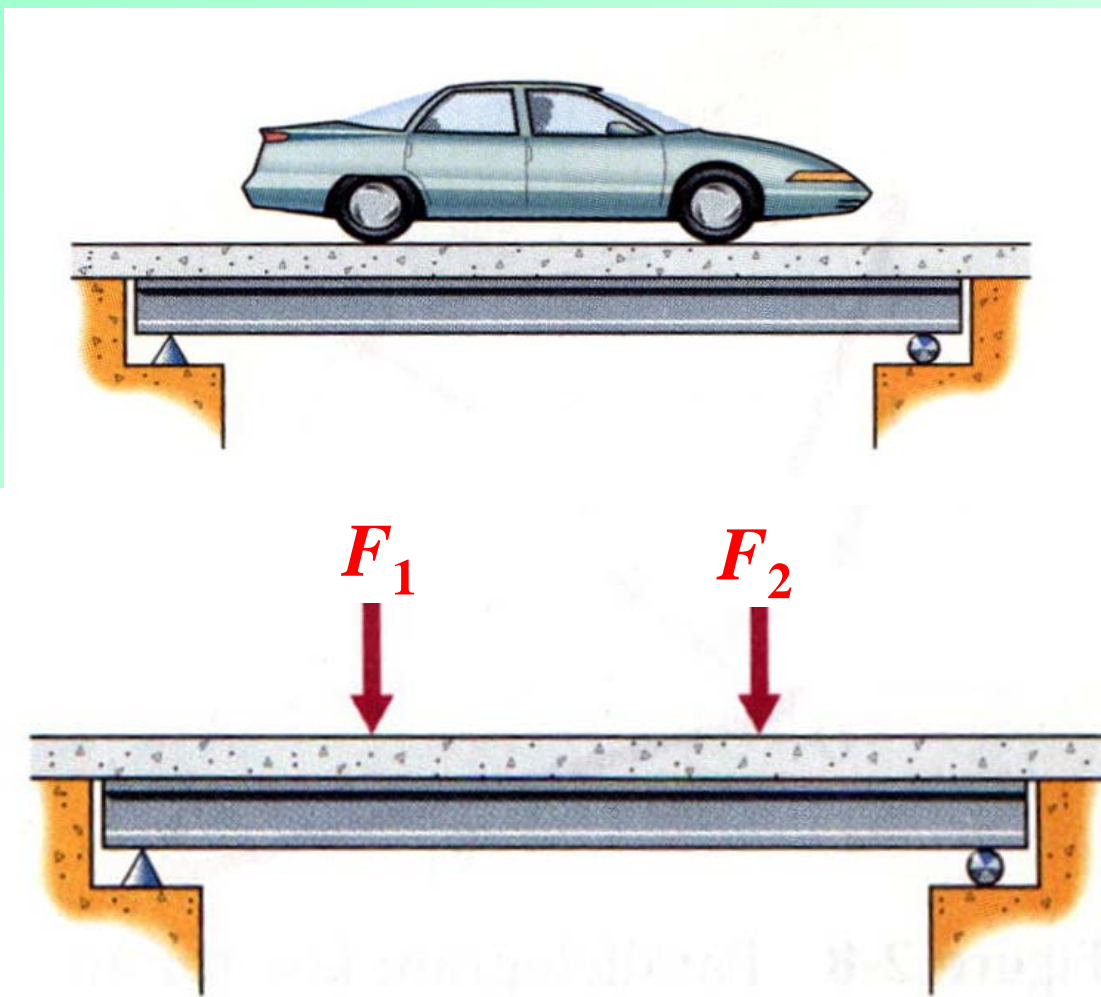
北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

静力学  
——  
受力分析

# □ 受力模型 — 实际载荷的简化





集中力

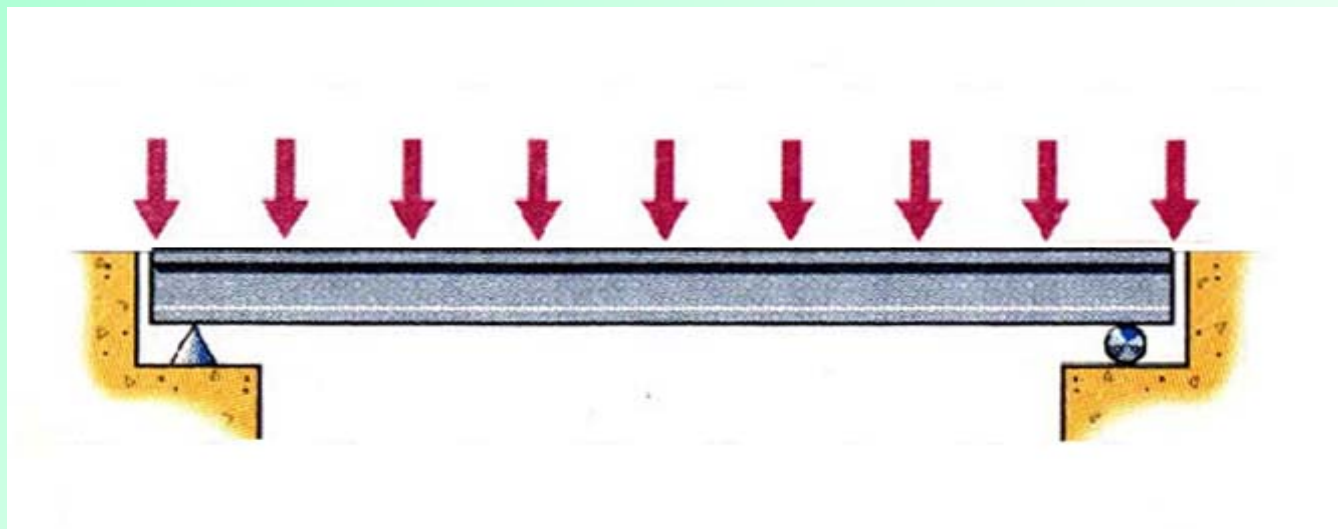
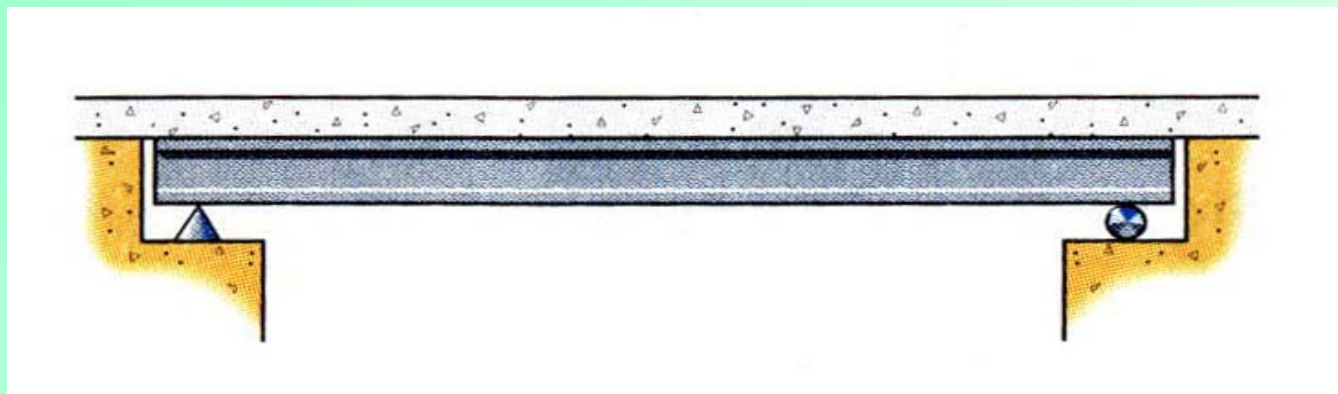
汽车通过轮胎作用在桥面上的力



北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

静力学——受力分析



分布力

桥面板作用在钢梁的力



## § 1-3 约束和约束力

自由体— 在空间的位移不受任何限制的物体。

非自由体— 位移受到限制的物体。

约束— 对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体。

约束力— 约束物体作用于被约束物体上的力。

约束力的方向总是和所限制的位移方向相反，由此可确定约束力的方向和作用线位置。

约束力的大小是未知的，在静力学中，可用平衡条件由主动力求出。



北京交通大学

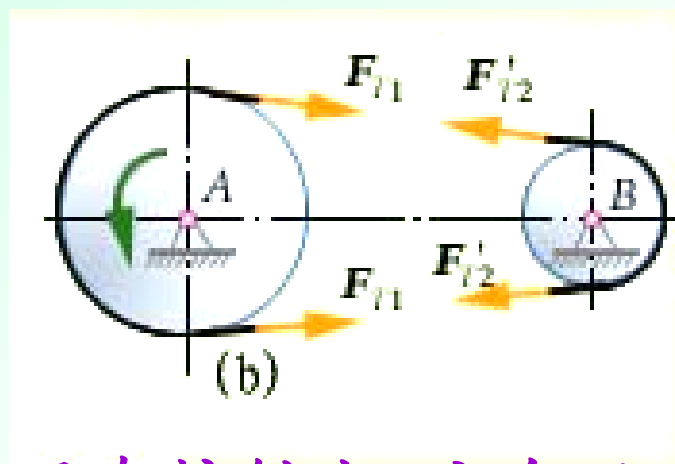
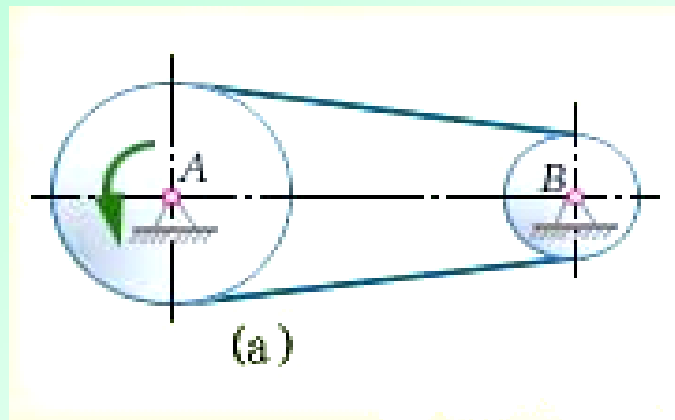
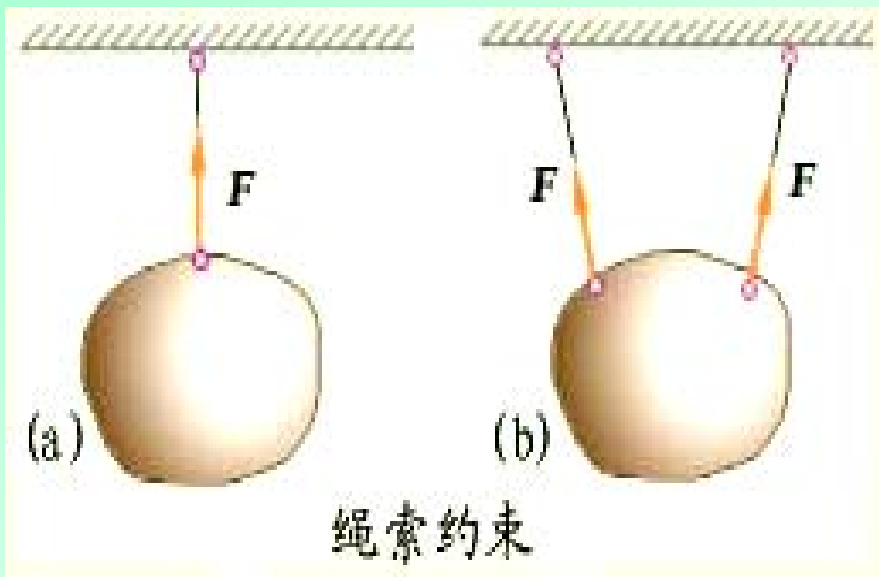
BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

静力学  
——  
受力分析

# 工程中常见的 约束类型及其约束力



### 一、柔索约束

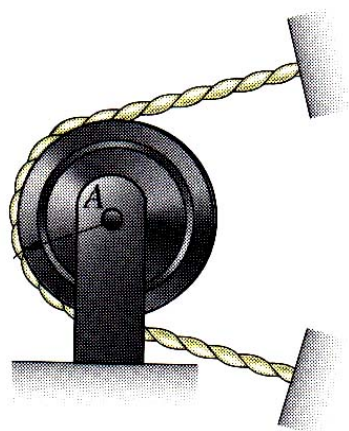
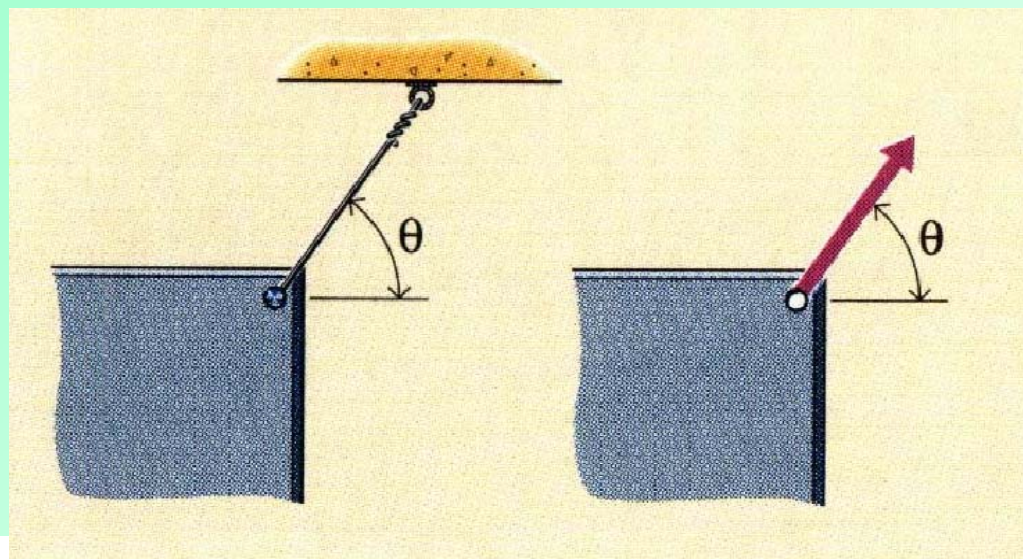


绳索对物体的约束反力,作用在接触点,方向沿着绳索背离被约束物体.

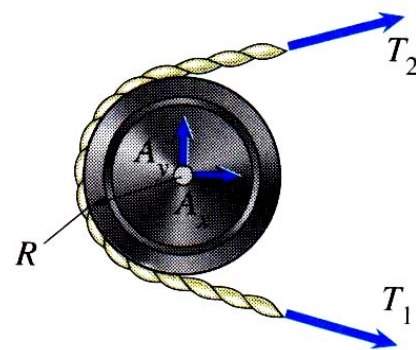


静力学——受力分析

# 柔性约束



(a)

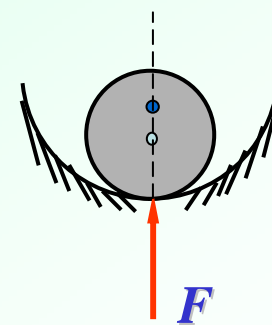
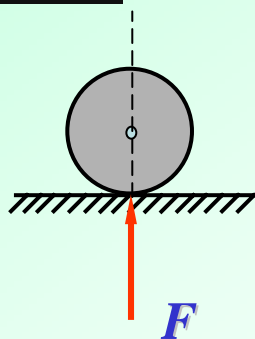
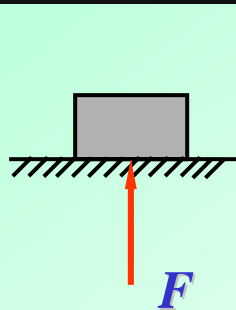
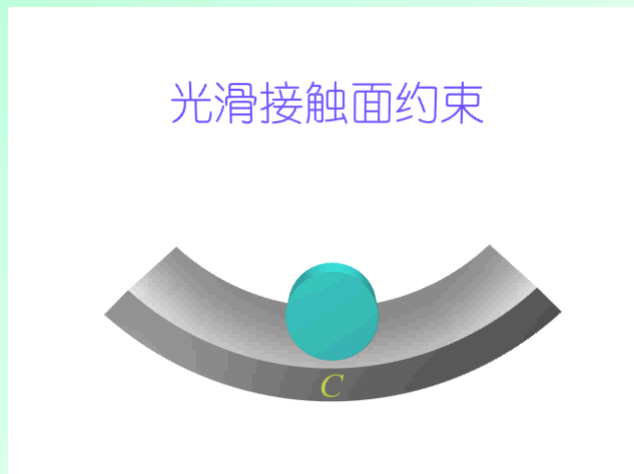
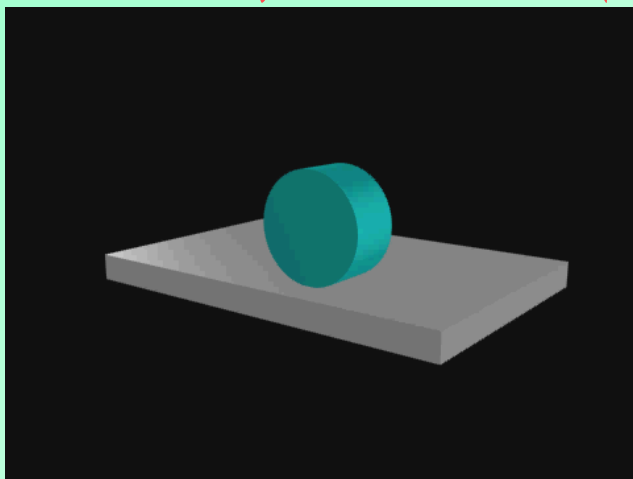


(b)



## 二、光滑面约束

静力学  
——  
受力分析



光滑支承面对物体的约束反力，作用在接触点处，方向沿接触表面的公法线，指向被约束物体。

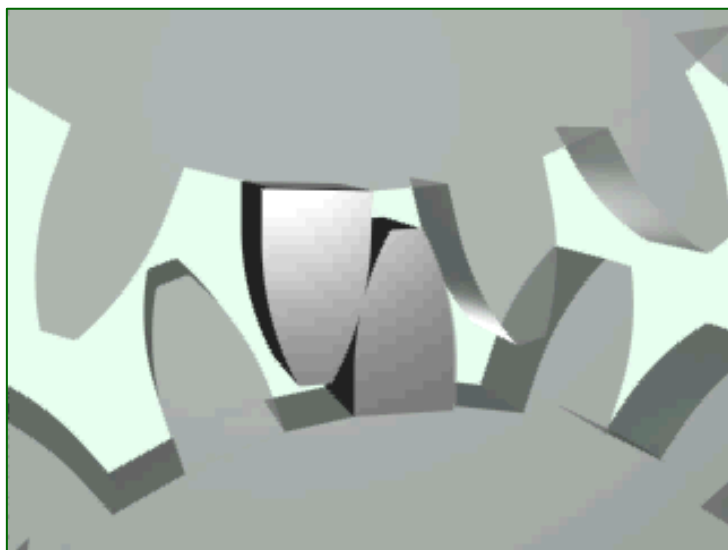
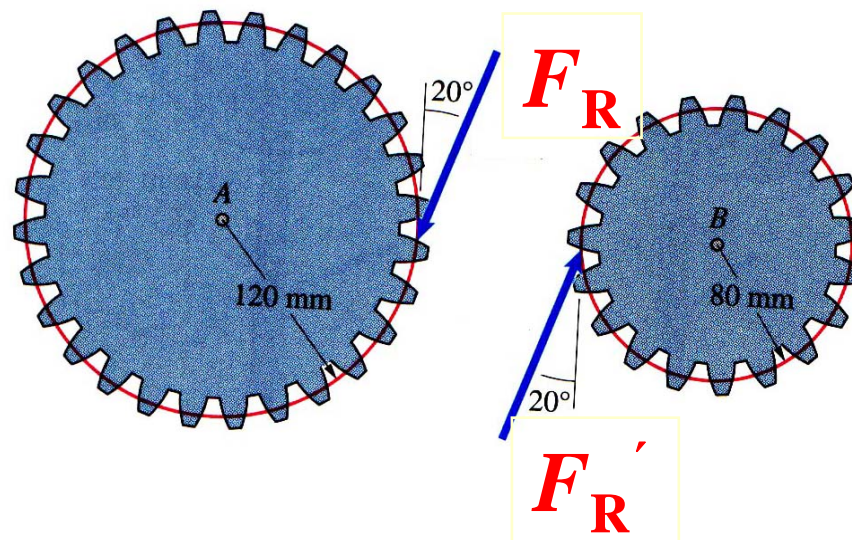
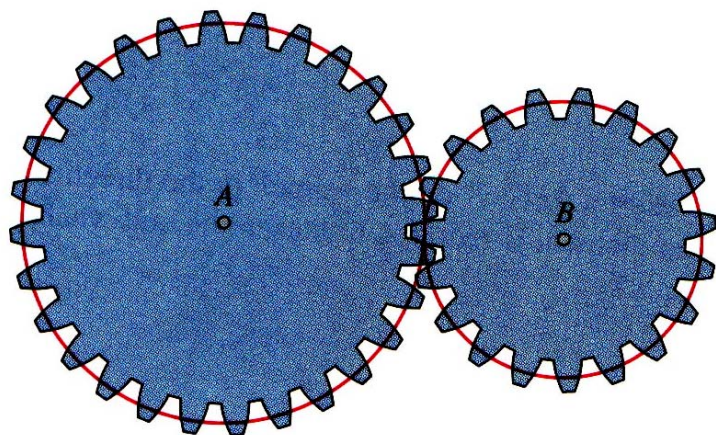


北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

静力学

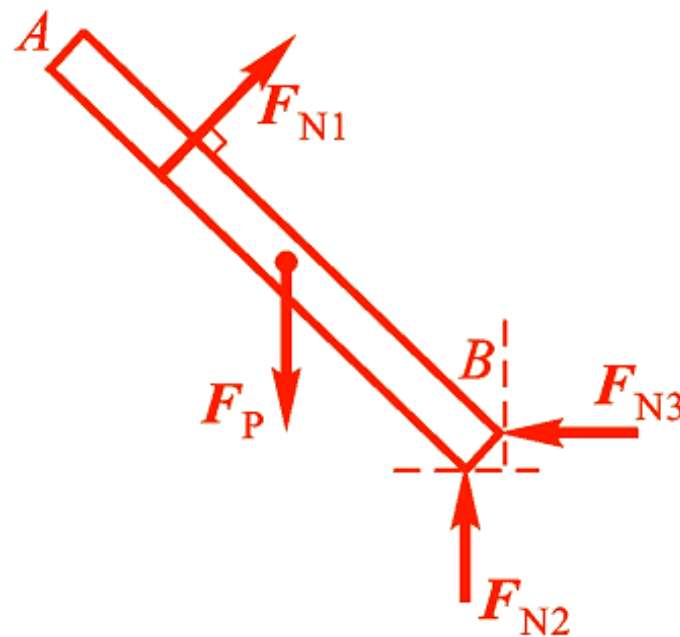
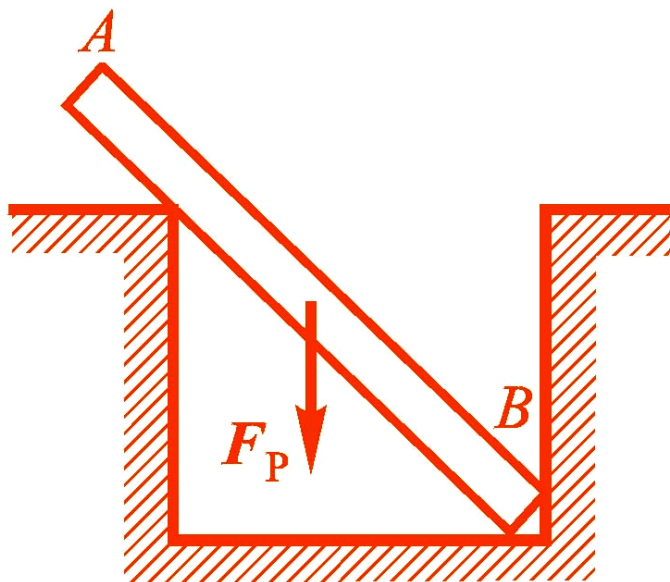
受力分析







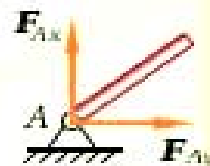
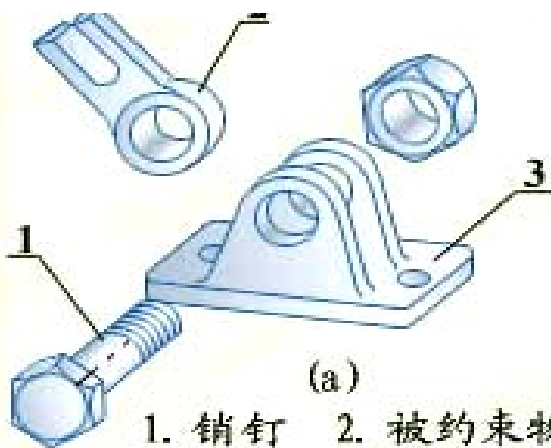
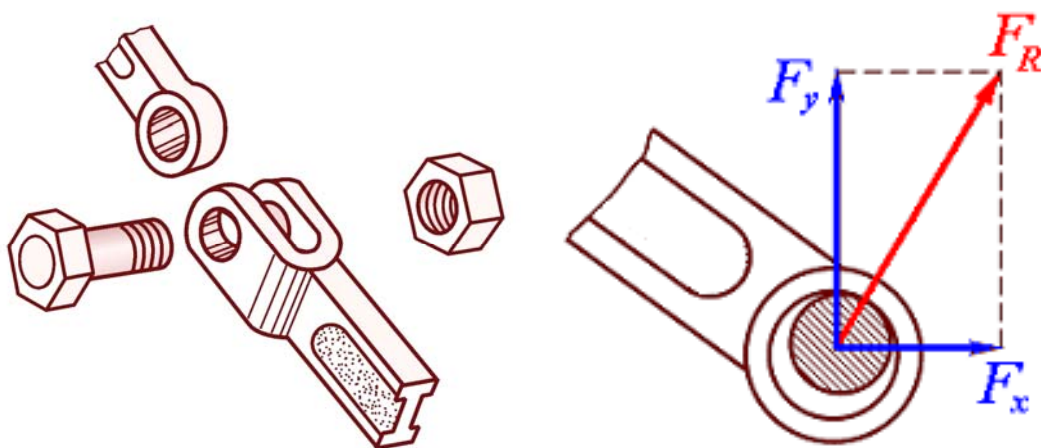
重力为 $F_P$ 的 $AB$ 杆放置在刚性槽内。所有接触处均为光滑接触。试画出 $AB$ 杆的受力图。





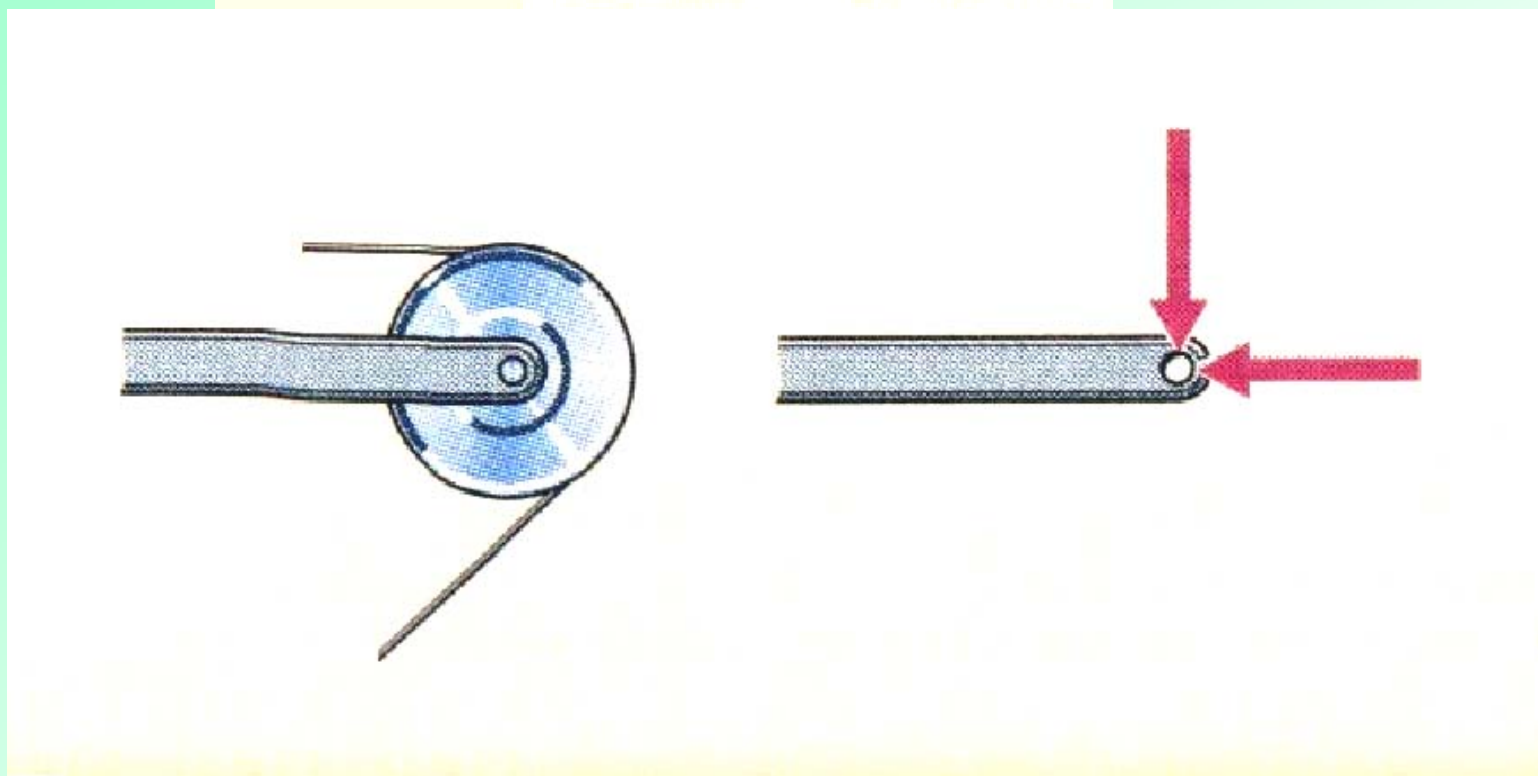
### 三、光滑圆柱铰链约束(中间铰、固定铰支座)

只限制两物体径向的相对移动，而不限制两物体绕铰链中心的相对转动及沿轴向位移。



1. 销钉 2. 被约束物体 3. 固定部分

铰链支座



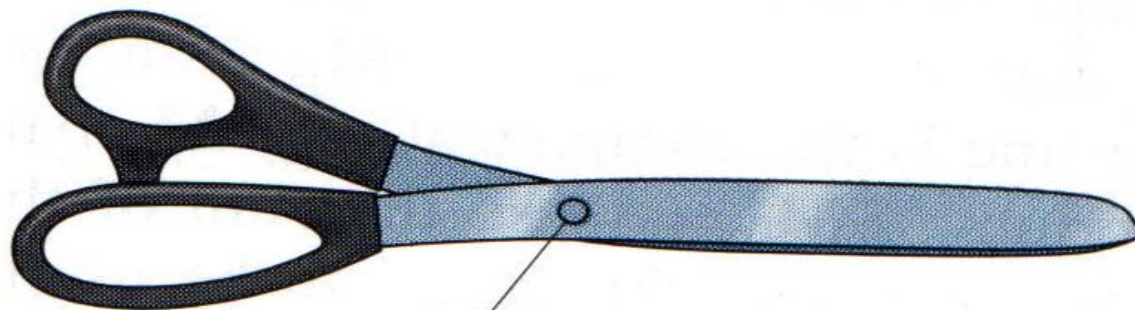
销钉(铰链)



北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

静力学——受力分析



铰



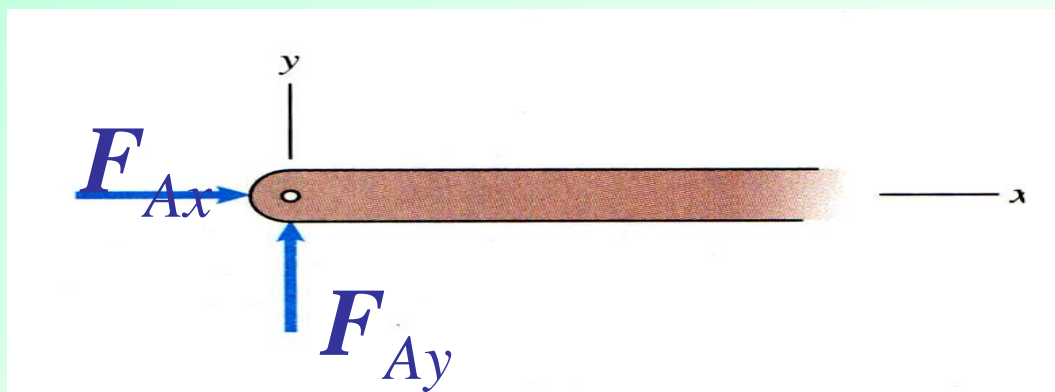
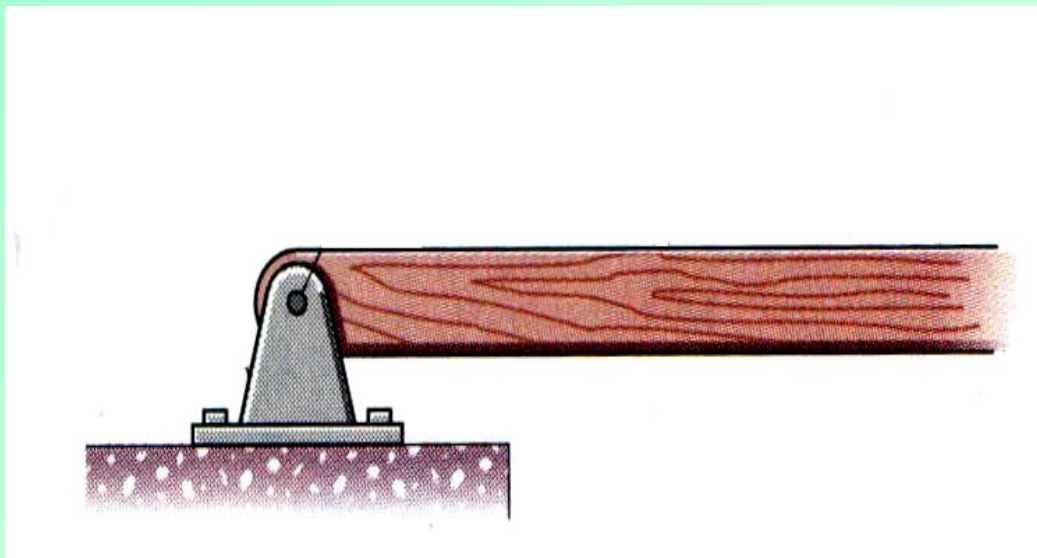
铰



北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

# 固定铰支座



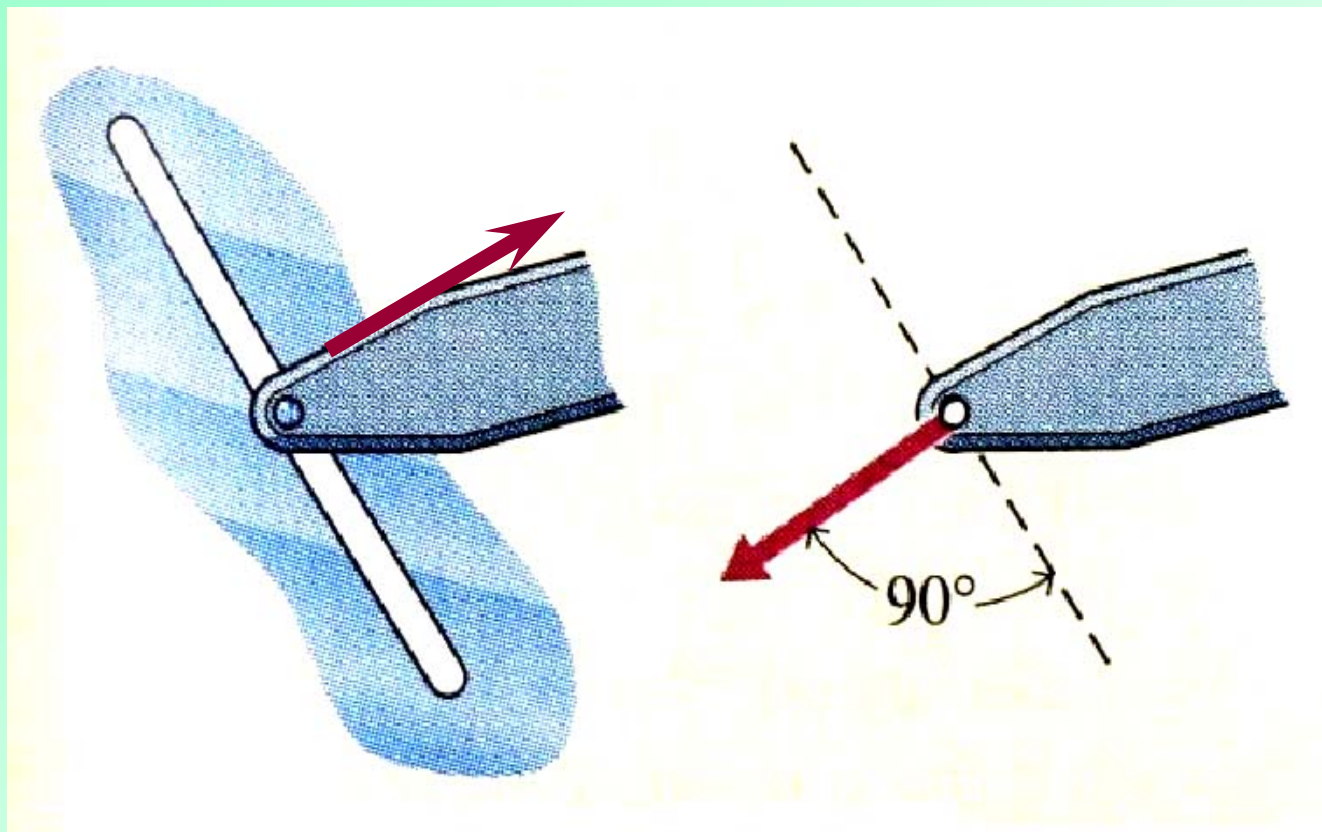
静力学——受力分析



北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

静力学——受力分析

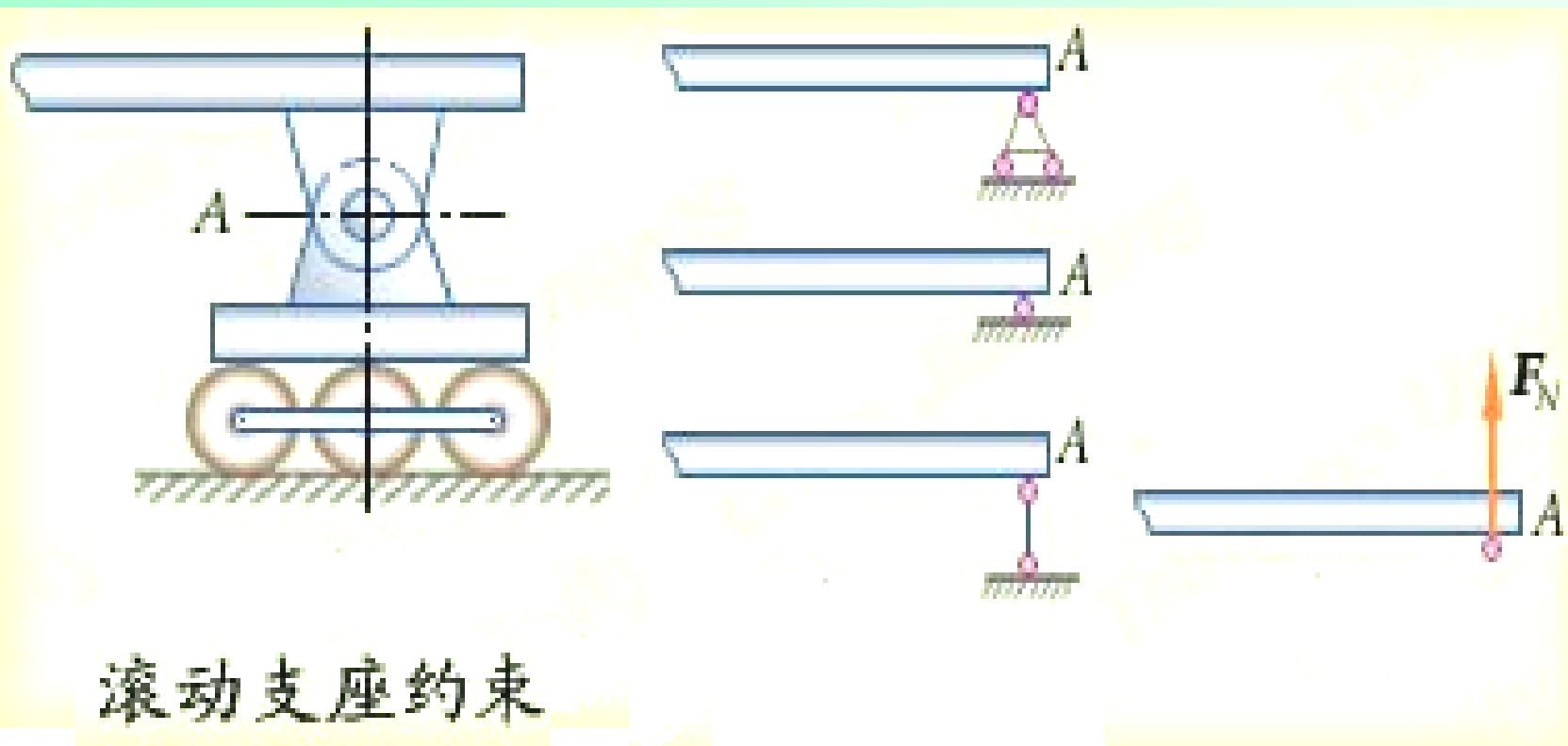


滑槽与销钉



# 四、滚动支座约束

静力学——受力分析



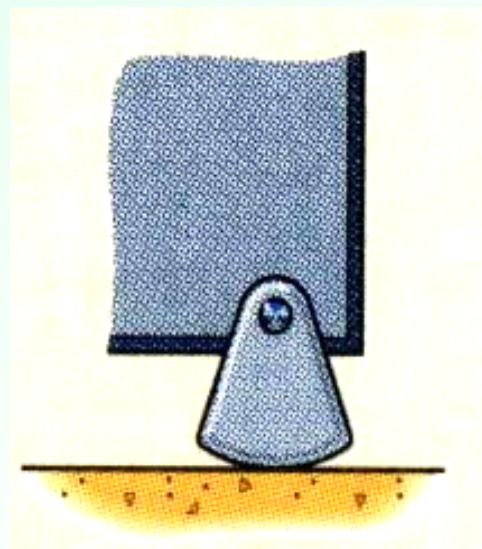
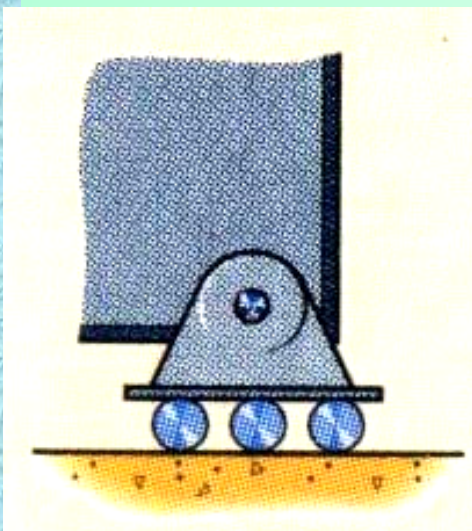
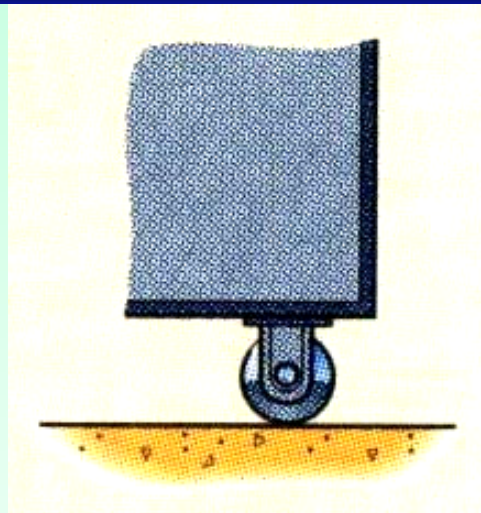
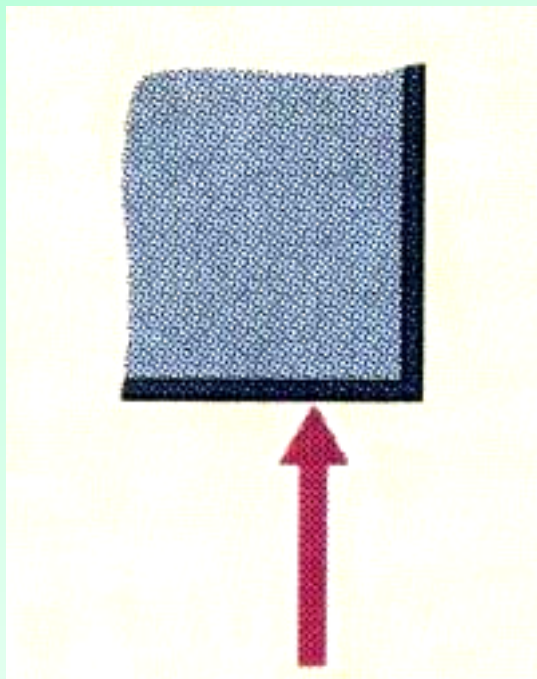
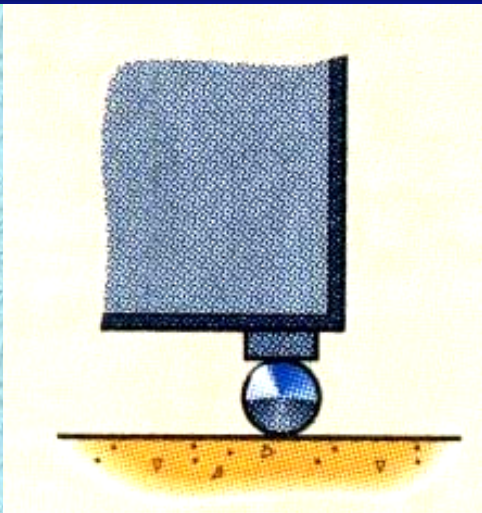


北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

静力学  
——  
受力分析

## 四、滚动支座约束



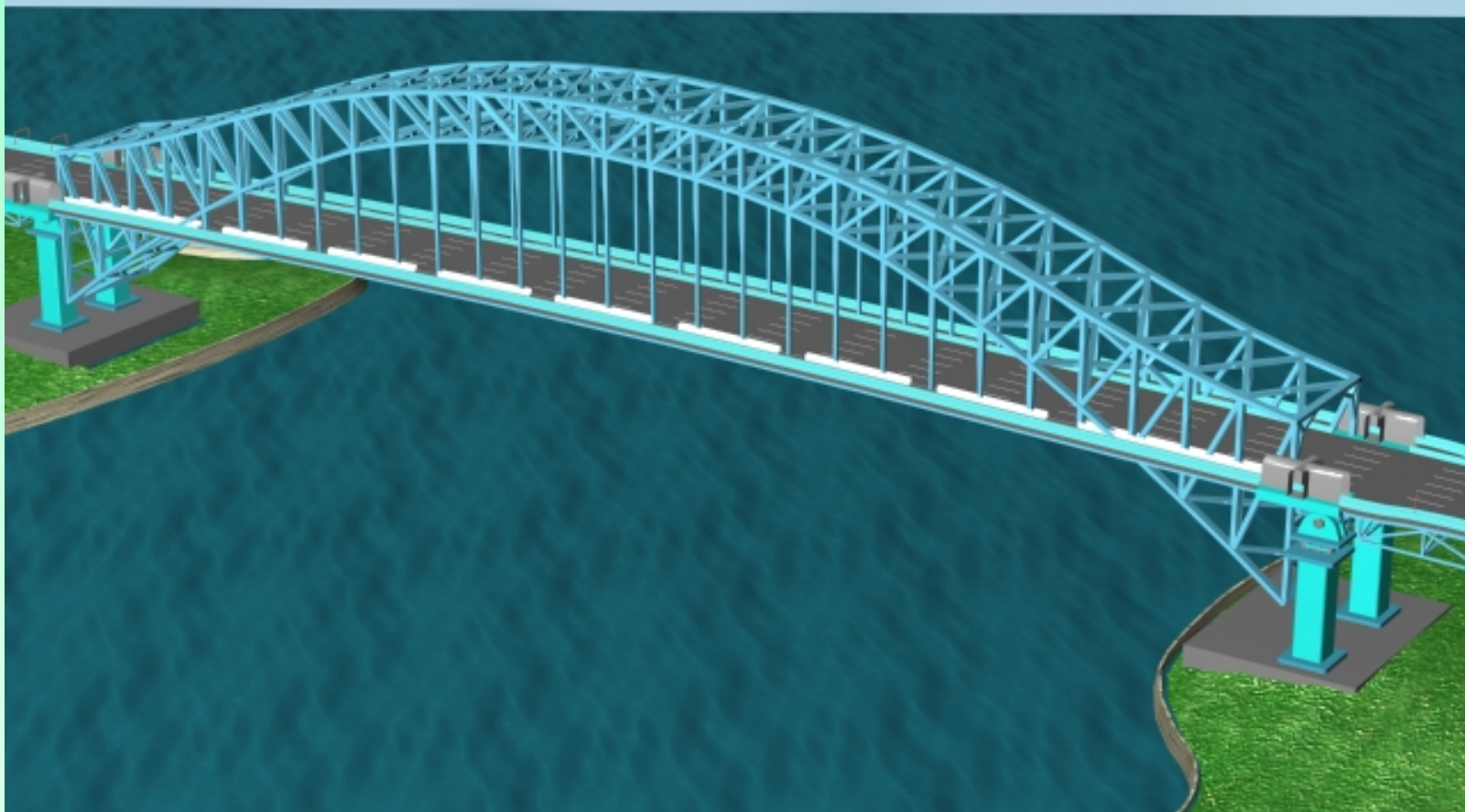




北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

## 固定铰链支座和活动铰链支座实例



静力学——受力分析



北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

静力学  
——  
受力分析



活动铰链支座



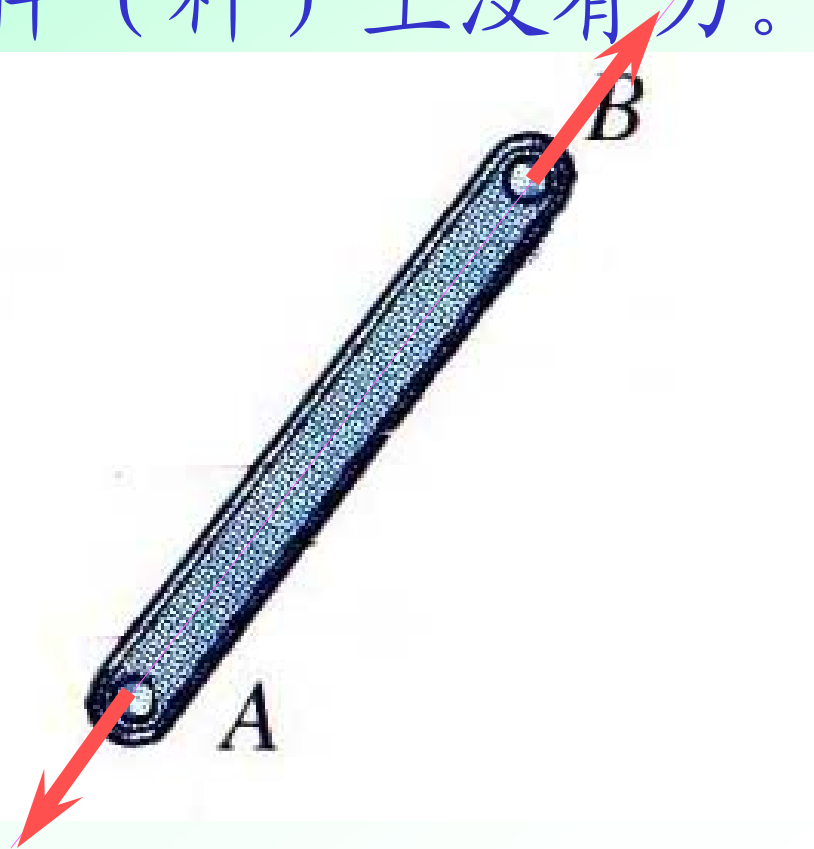
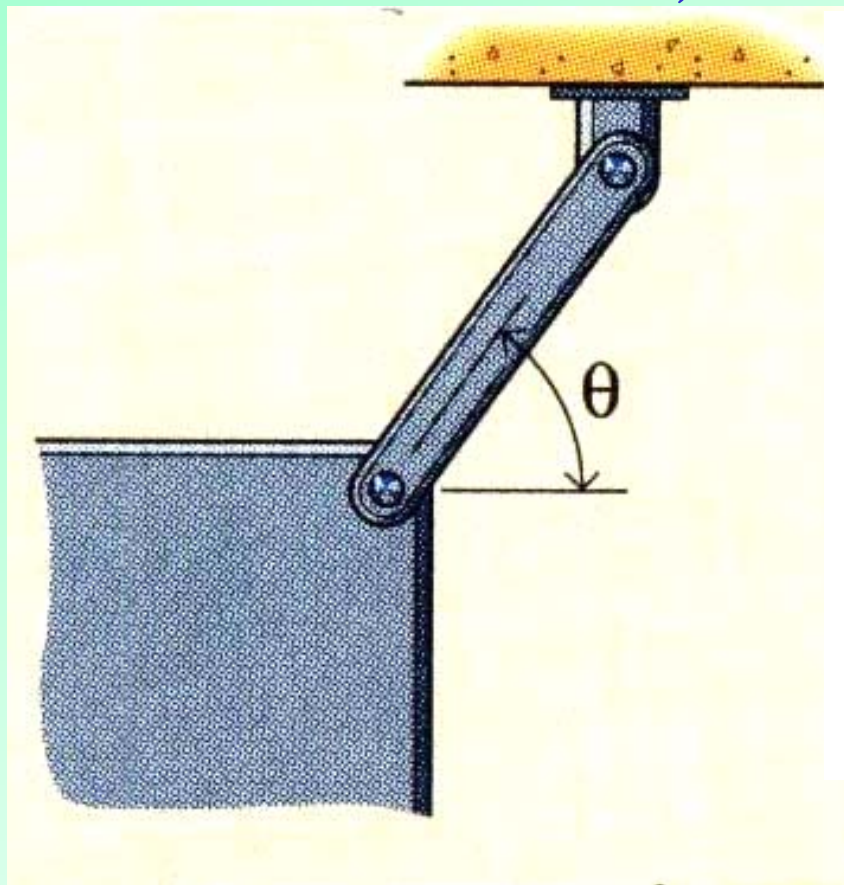
固定铰链支座

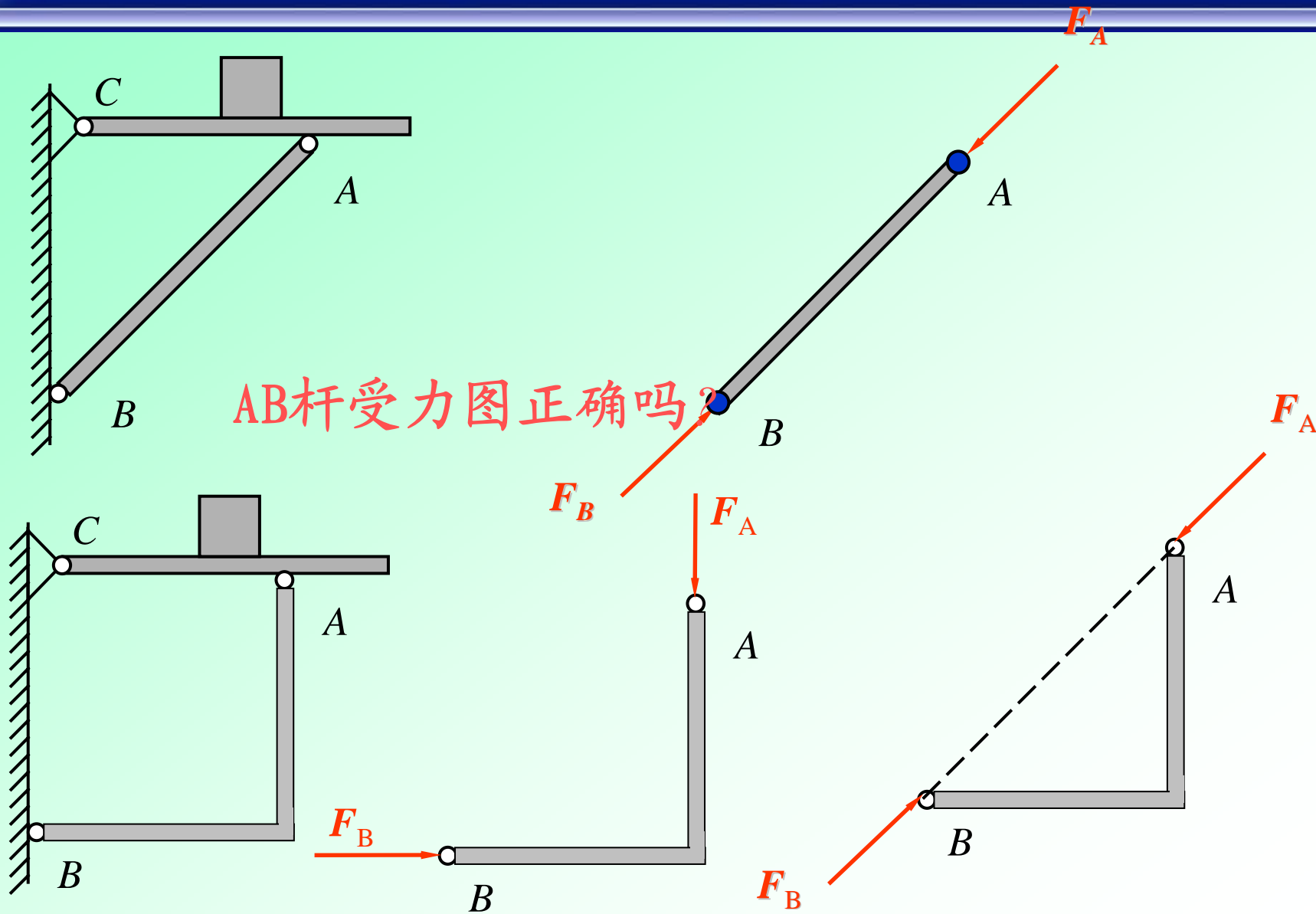


## 二力构件(杆):

两端用铰链连接; 构件(杆)上没有力。

静力学——受力分析

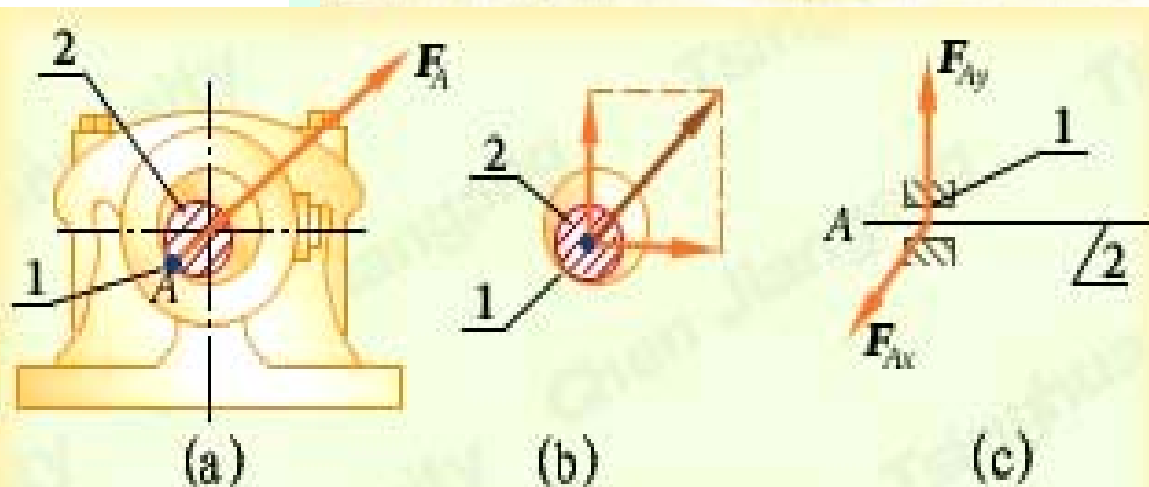
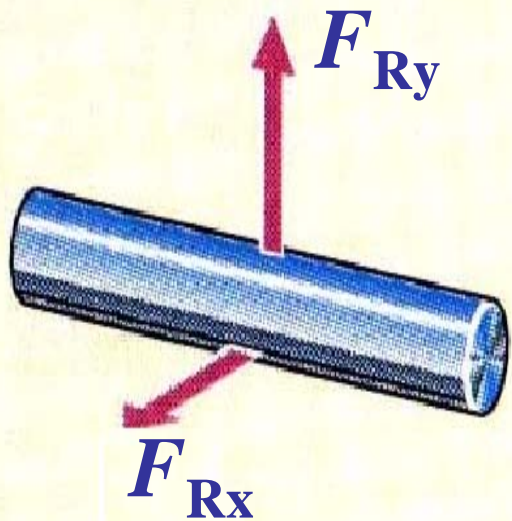
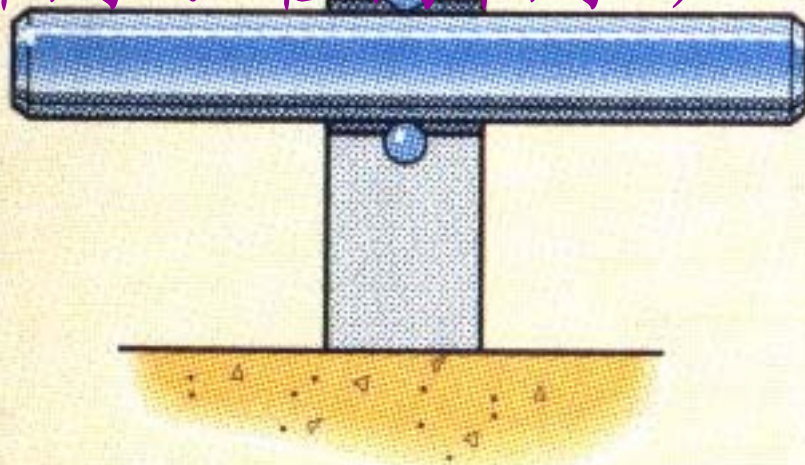
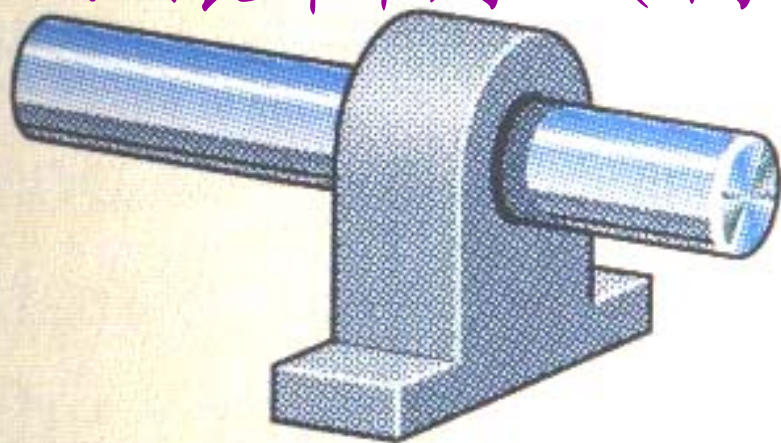






### 五、滚珠轴承（向心轴承、径向轴承）

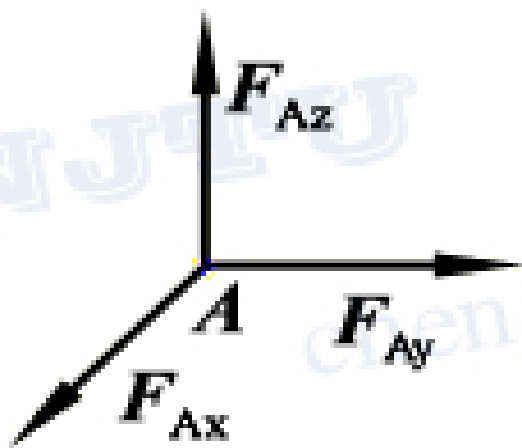
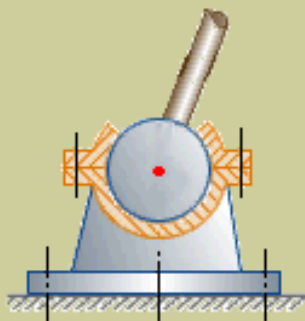
静力学——受力分析



轴承约束



球铰约束



(a)



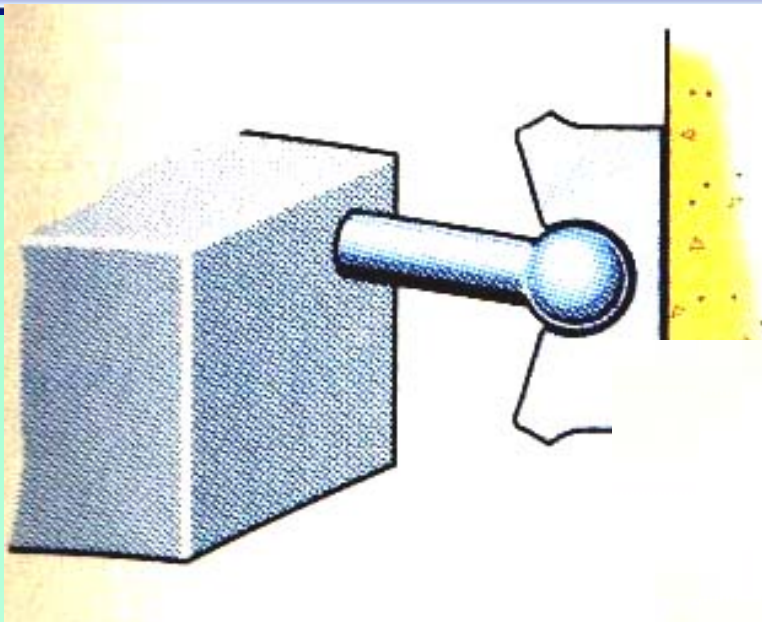
(b)



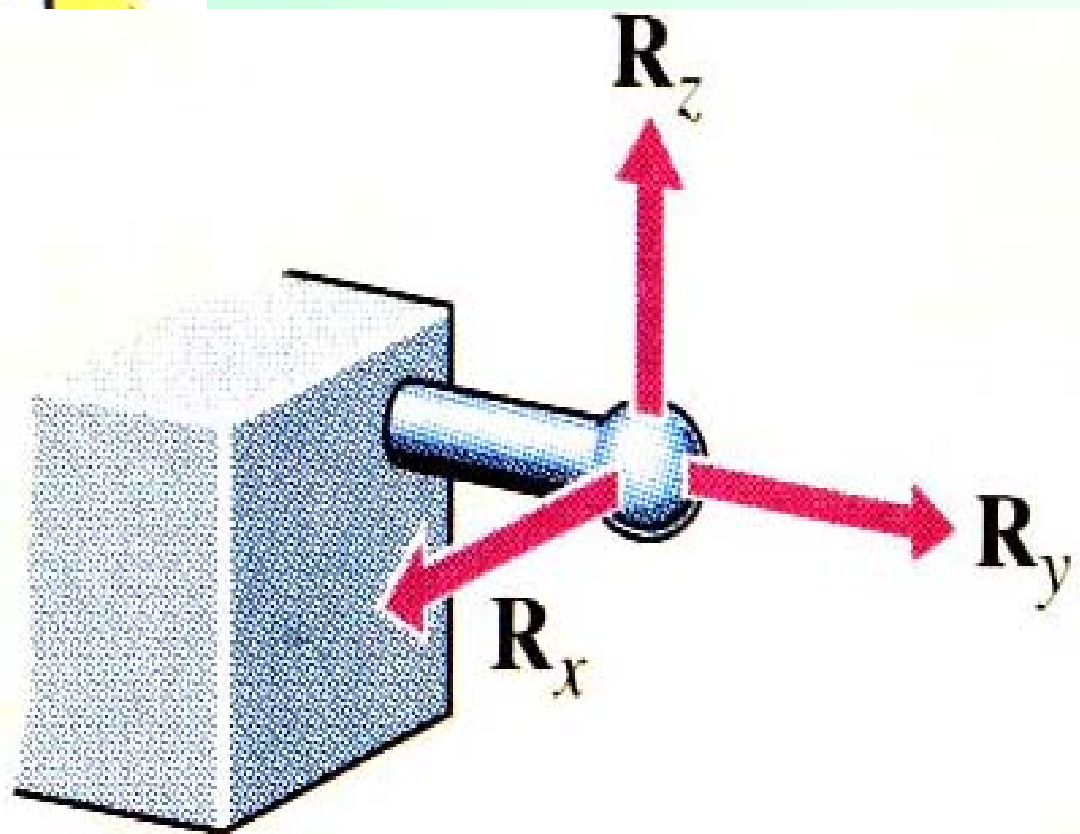
北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

静力学——受力分析



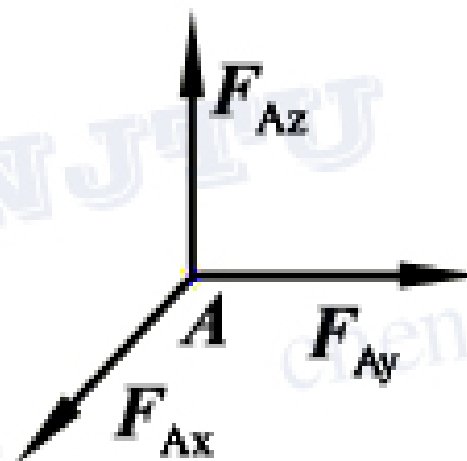
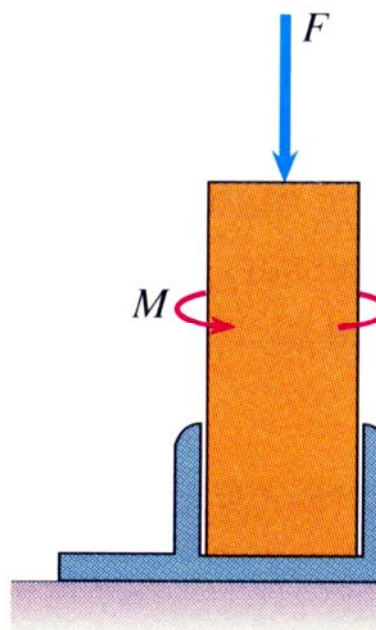
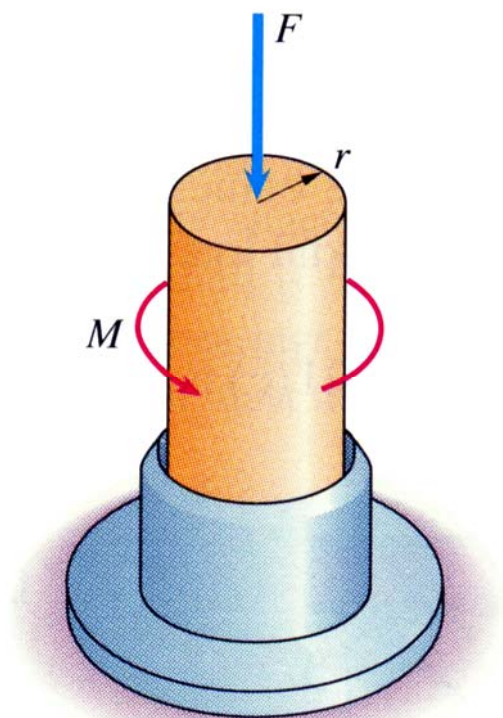
球 铰



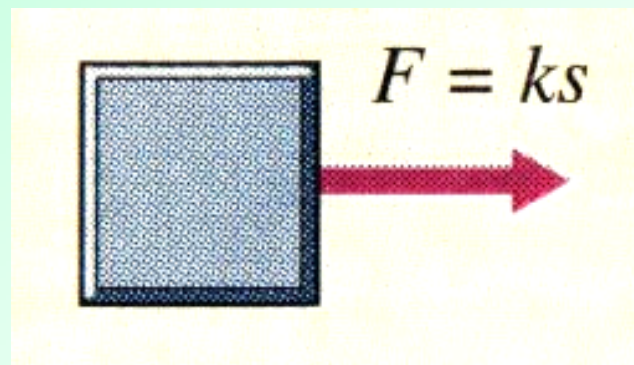
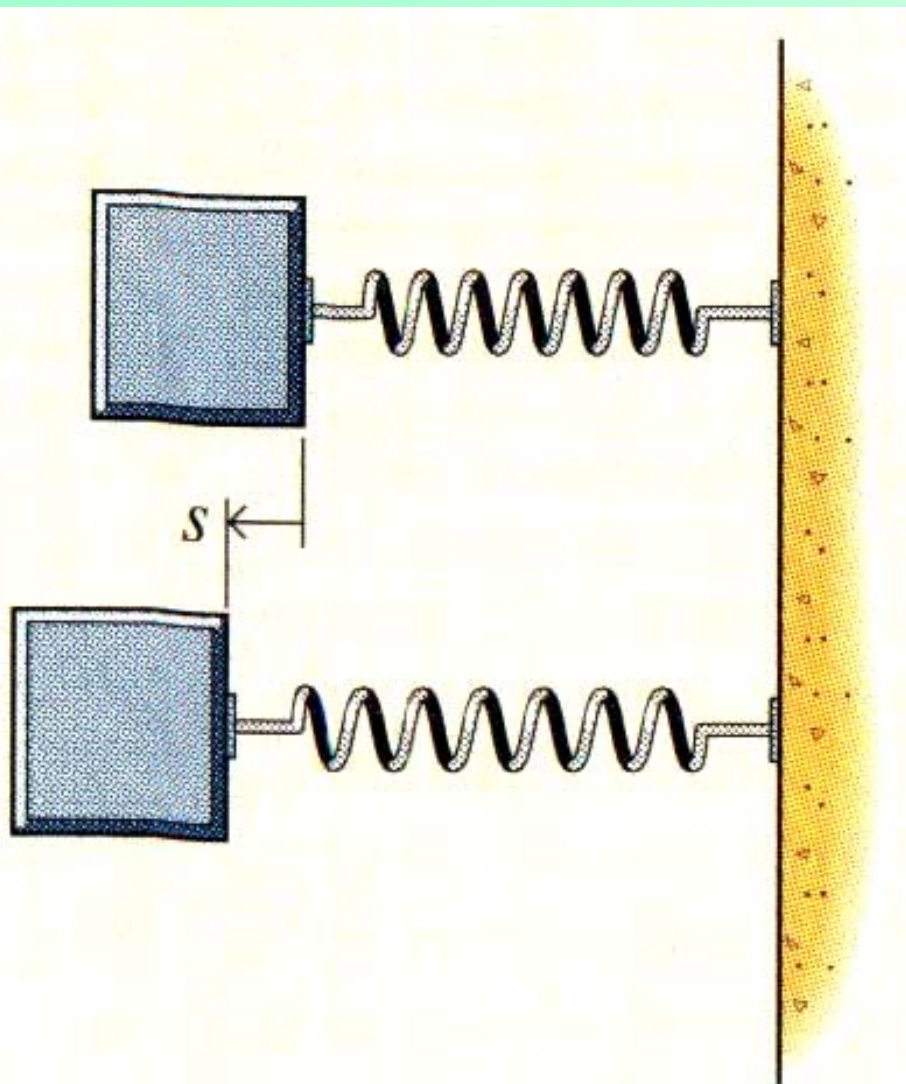


# 七、止推轴承

静力学  
——  
受力分析







弹性约束



## § 1-4 受力分析·受力图

### 一、受力分析的基本步骤

确定研究对象

取隔离体

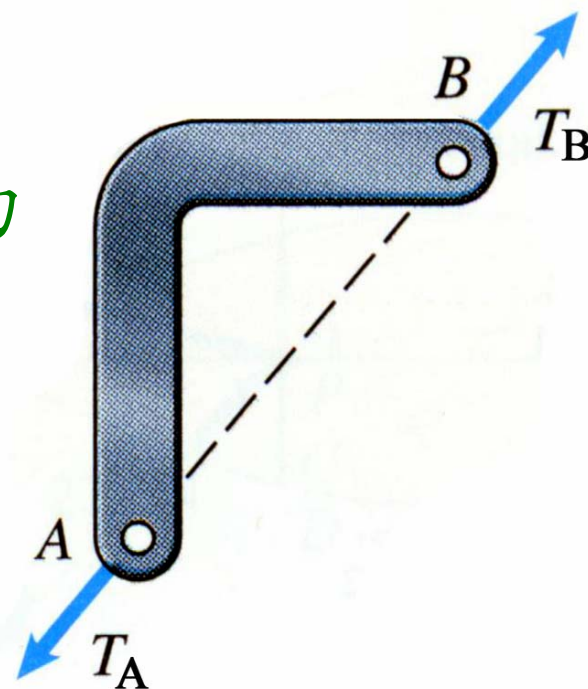
画出主动载荷

依次根据约束的性质画出约束反力

### 二、受力分析中的特别要求

二力构件必须找出

作用力和反作用力的规则要遵循



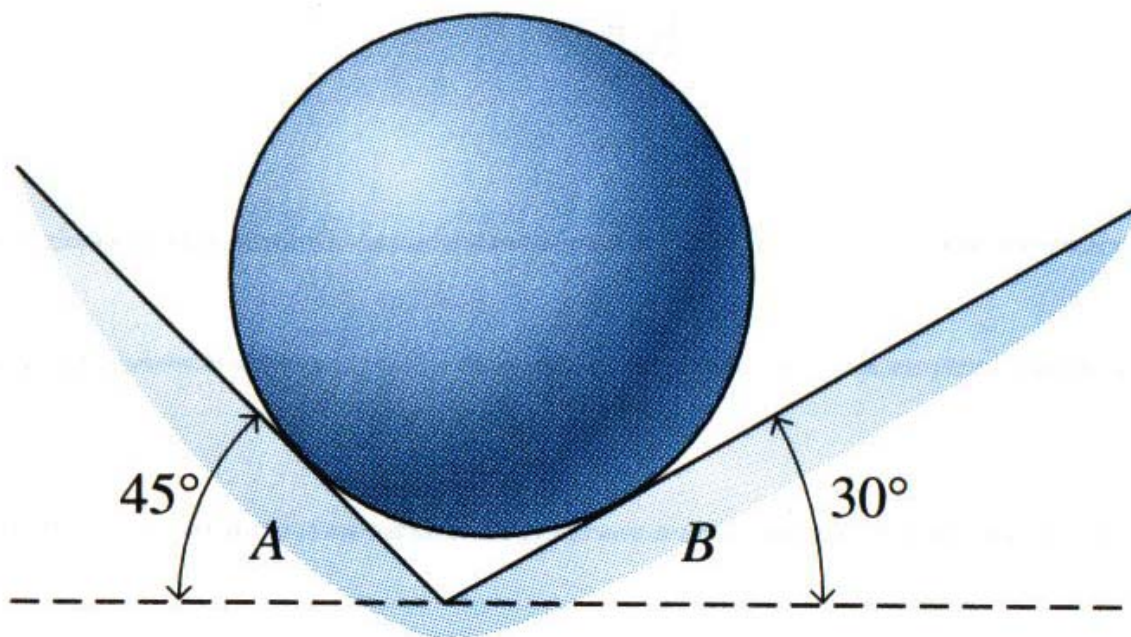


北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

# 受力分析示例(1)

静力学  
——  
受力分析

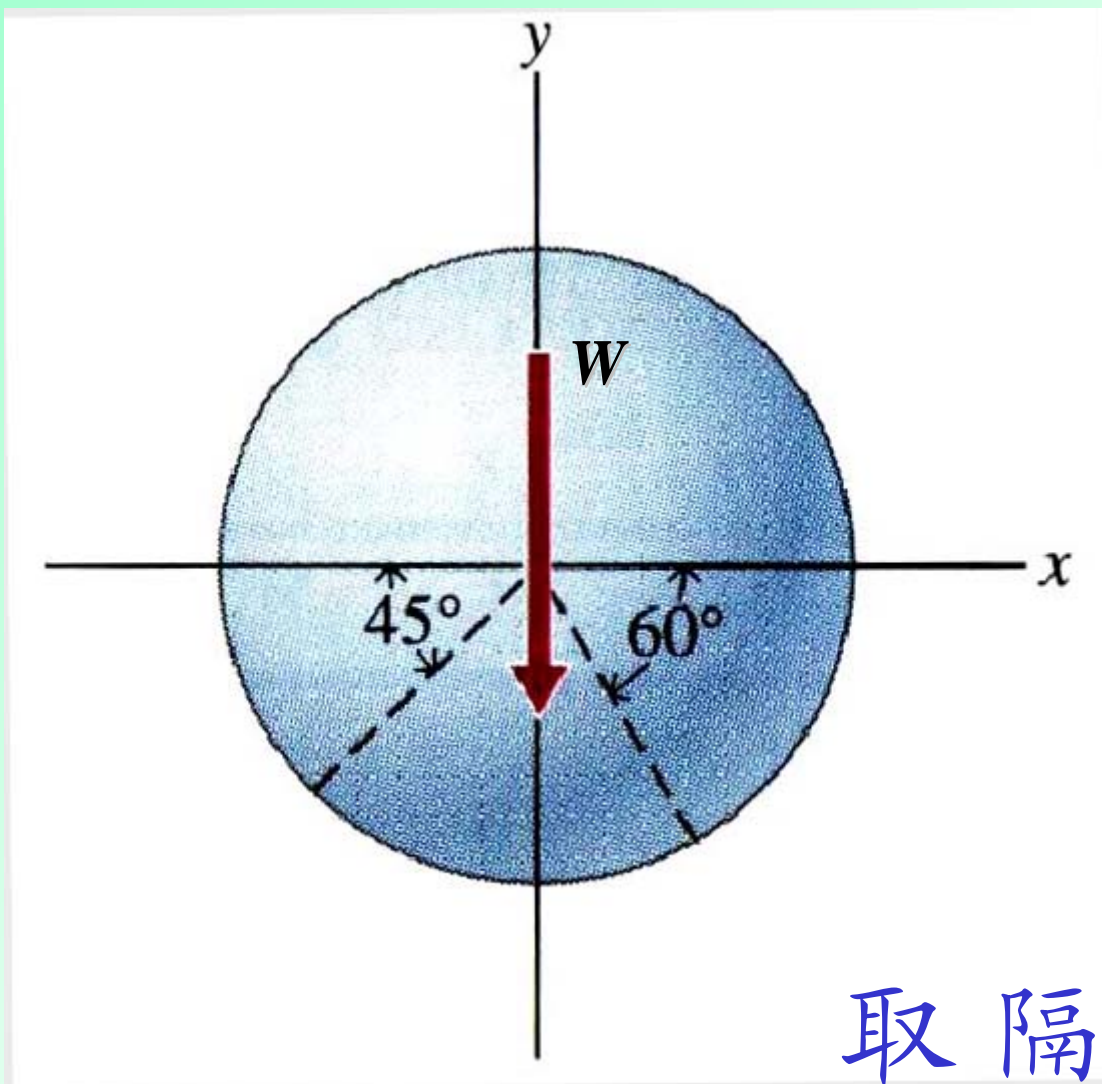




北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

静力学  
——  
受力分析



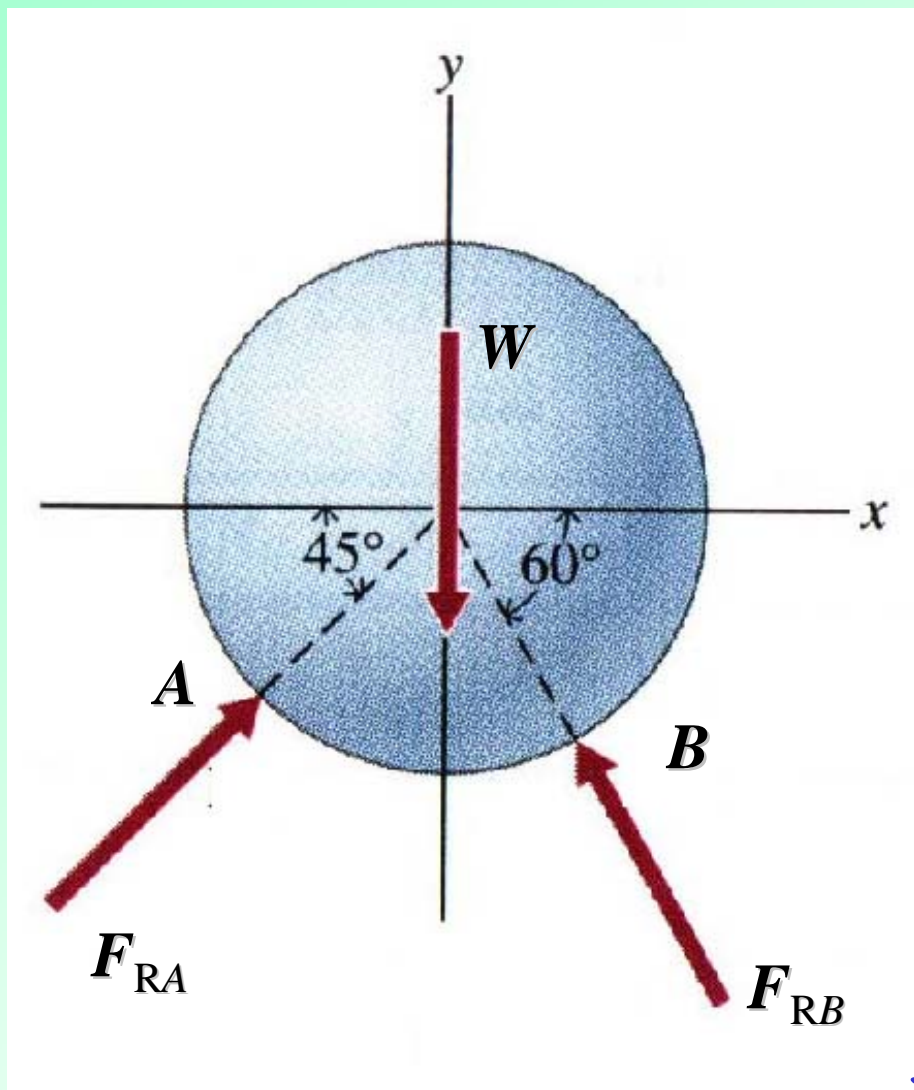
取隔离体



北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

静力学  
——  
受力分析

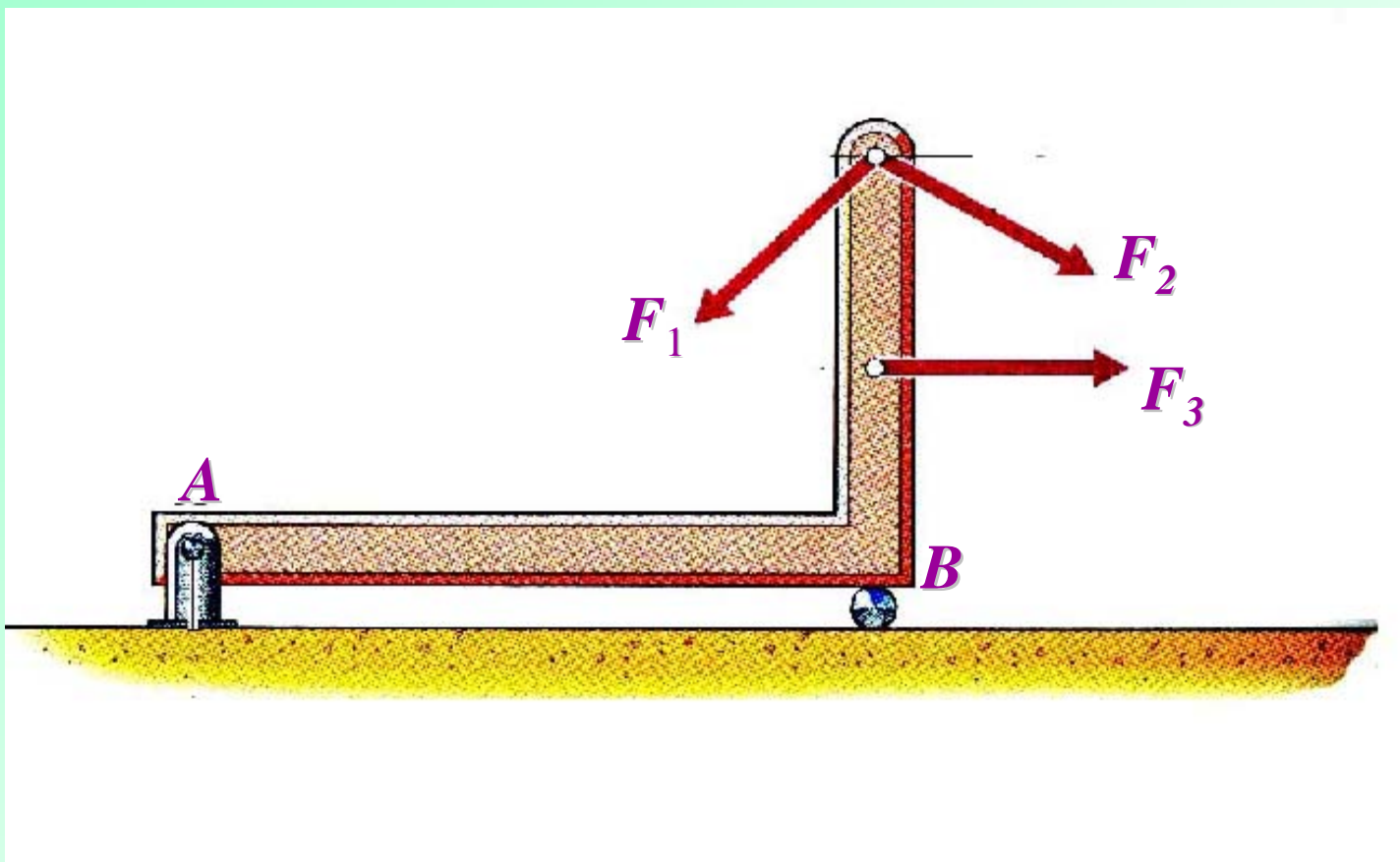


画受力图

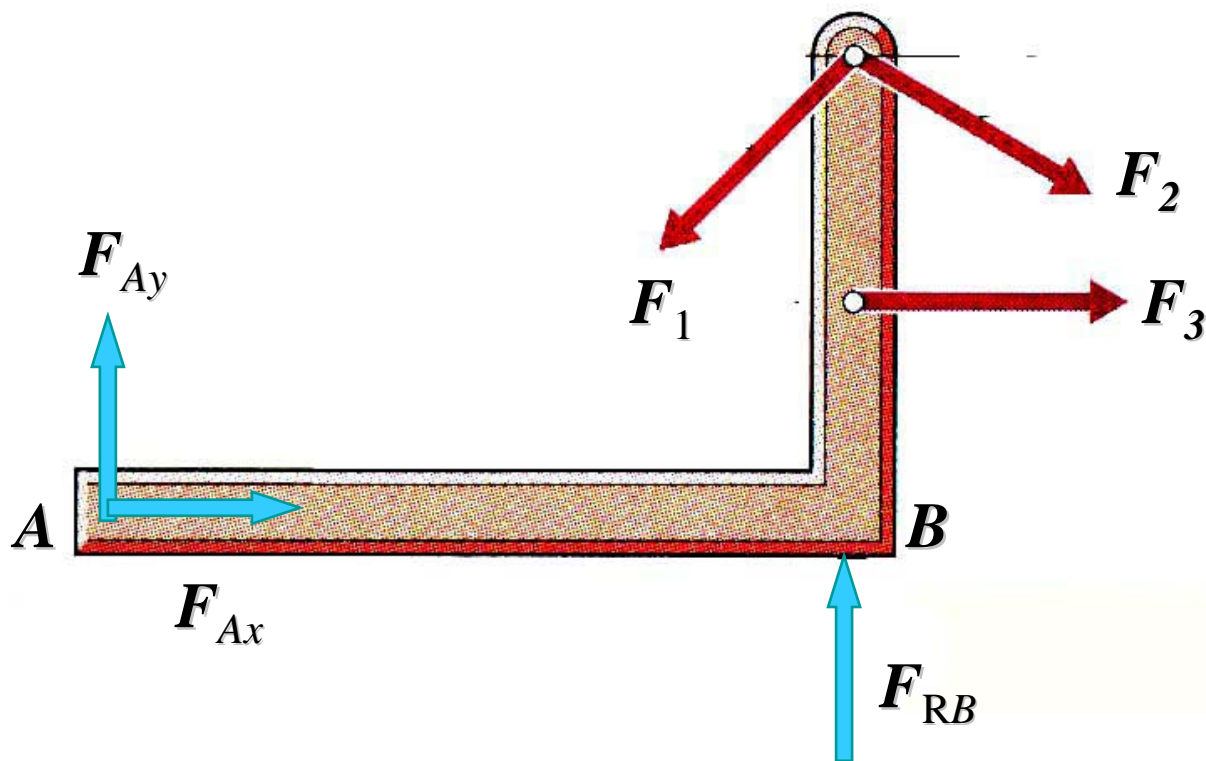


## 受力分析示例(2)

静力学  
——  
受力分析



确定A、B二处的约束力



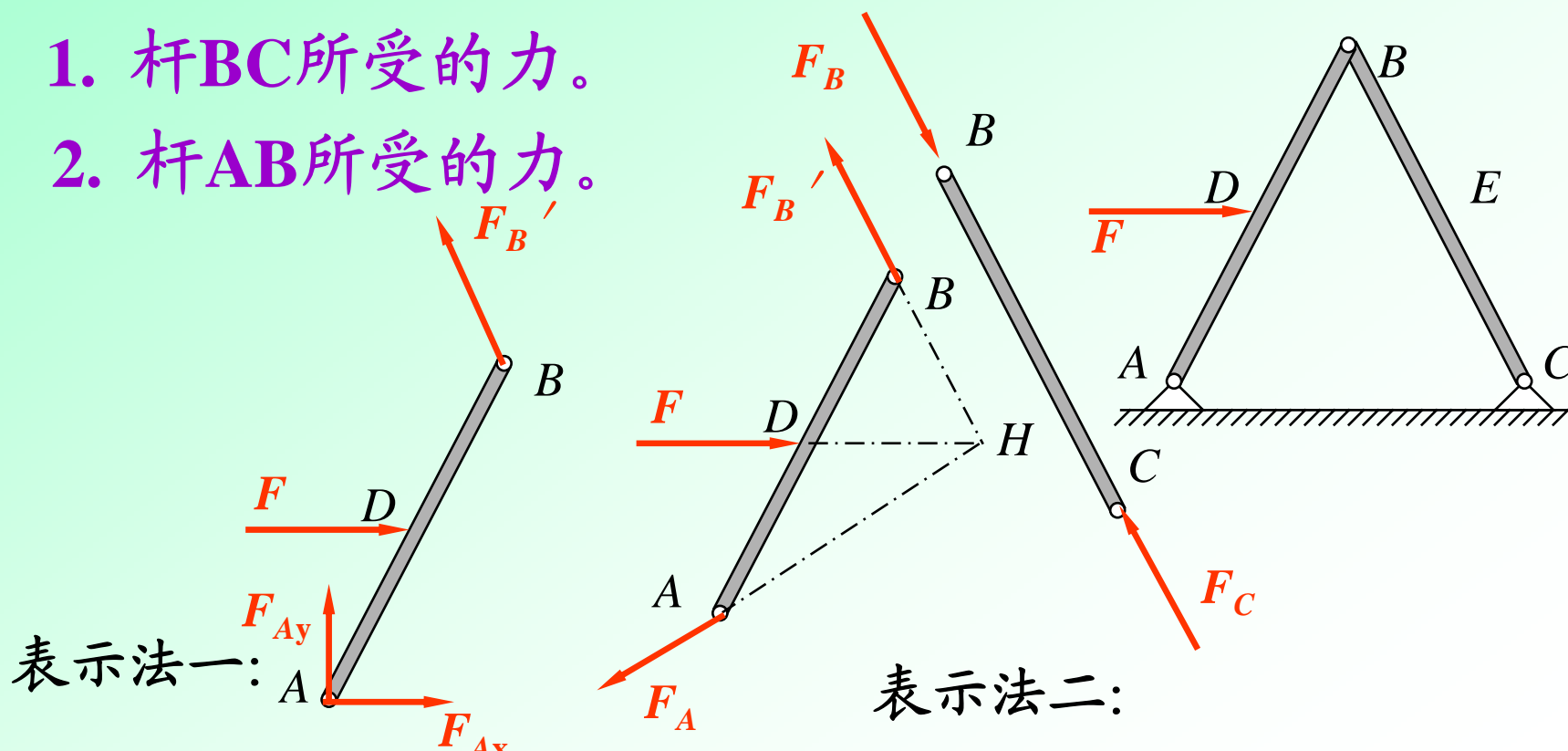
画受力图



### 受力分析示例(3)

等腰三角形构架ABC的顶点A, B, C都用铰链连接, 底边AC固定, 而AB边的中点D作用有平行于固定边AC的力F, 如图所示。不计各杆自重, 试画出AB和BC的受力图

1. 杆BC所受的力。
2. 杆AB所受的力。

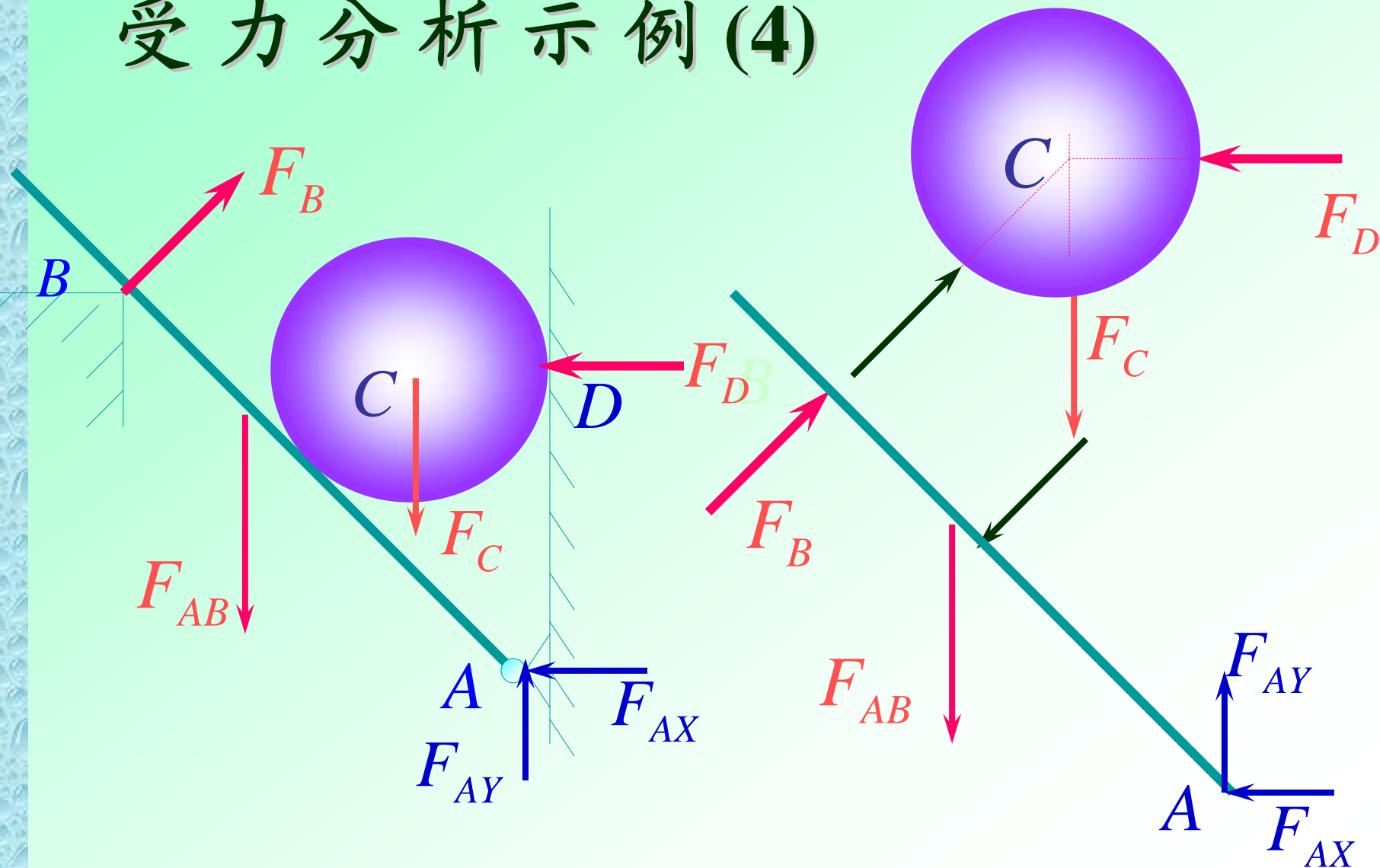






# 受力分析示例 (4)

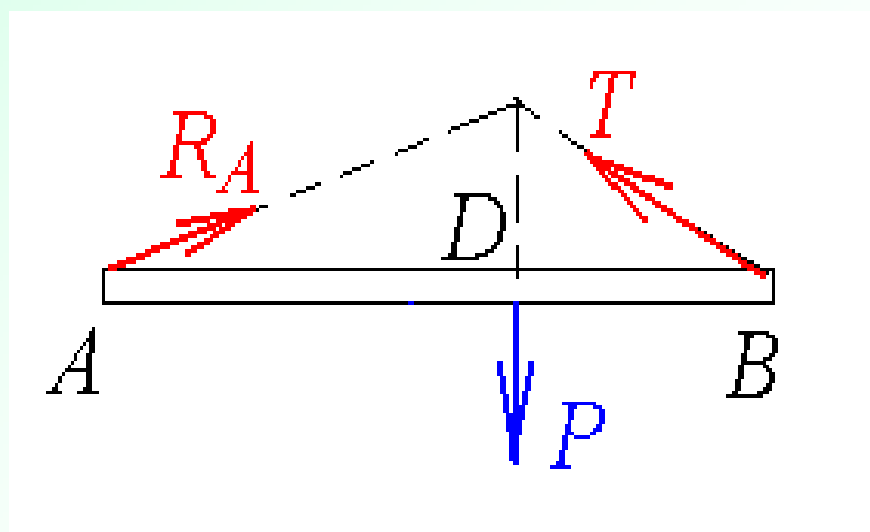
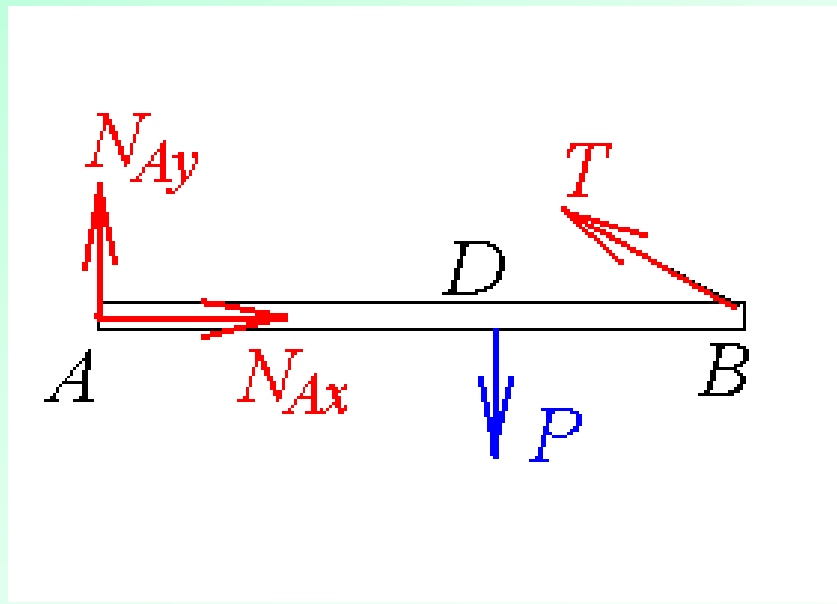
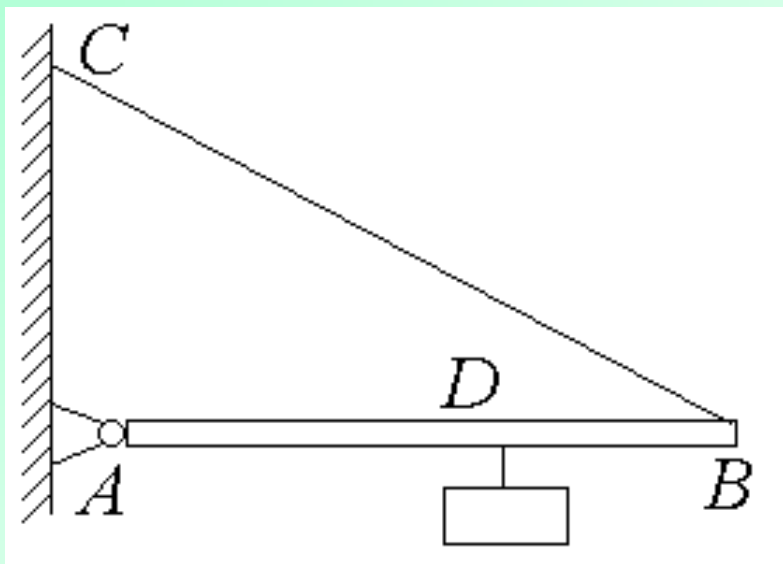
静力学  
——  
受力分析





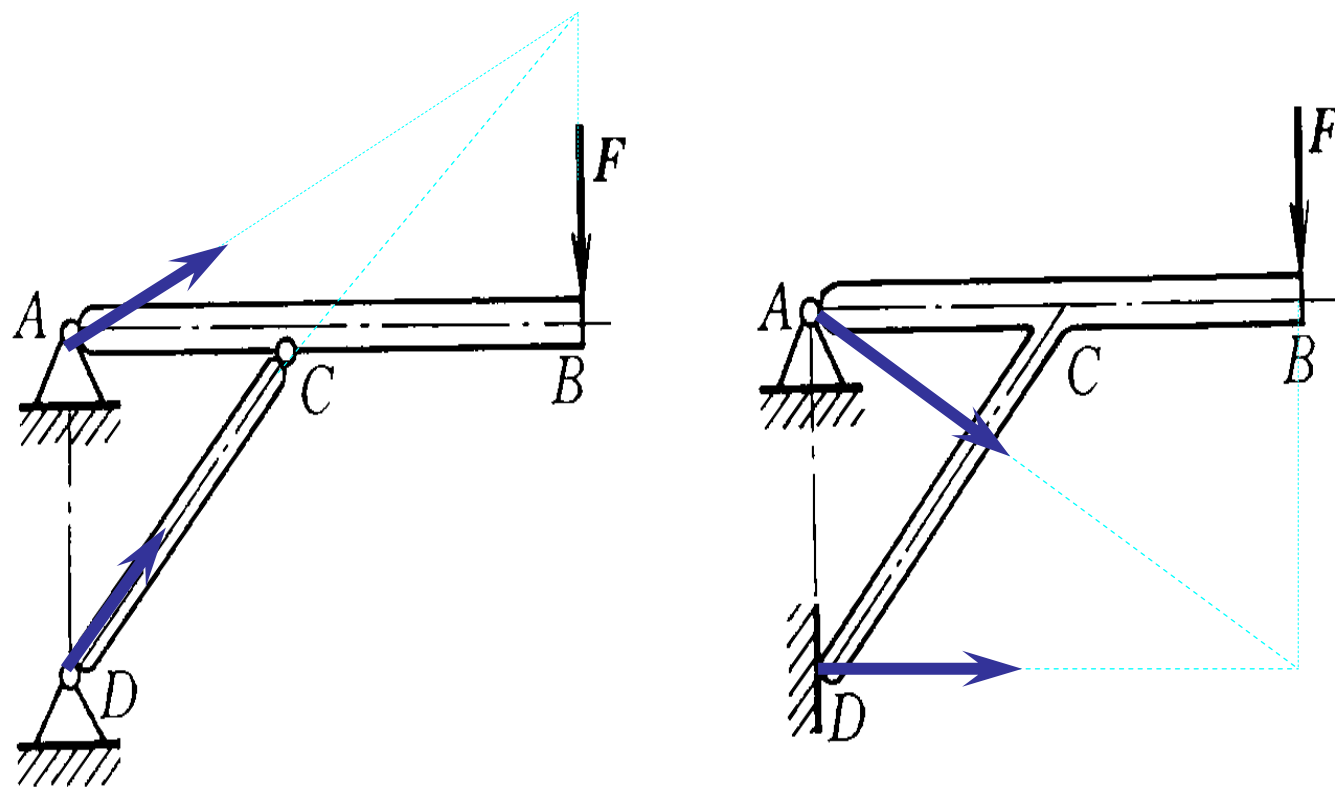
## 受力分析示例(5)

分析AB杆的受力(不考虑杆自重):





# 受力分析示例 (6)



(a)

(b)

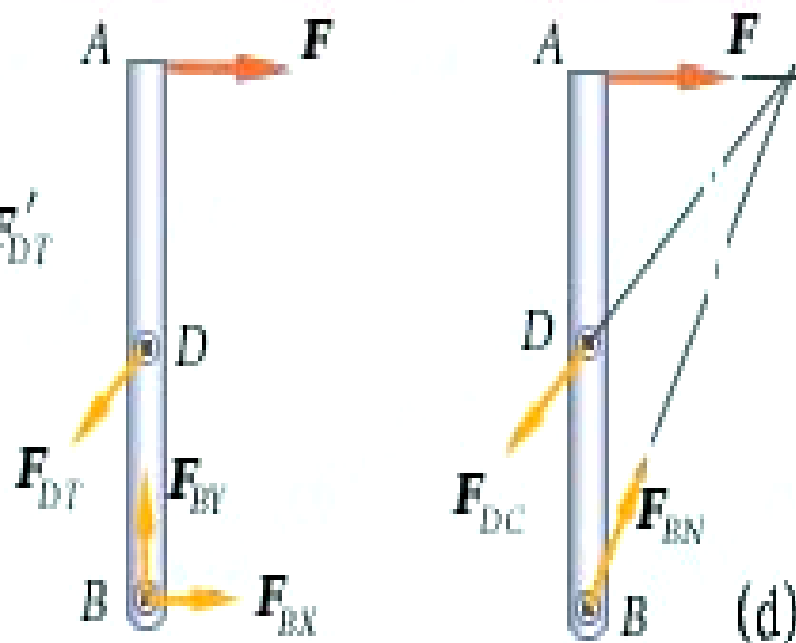
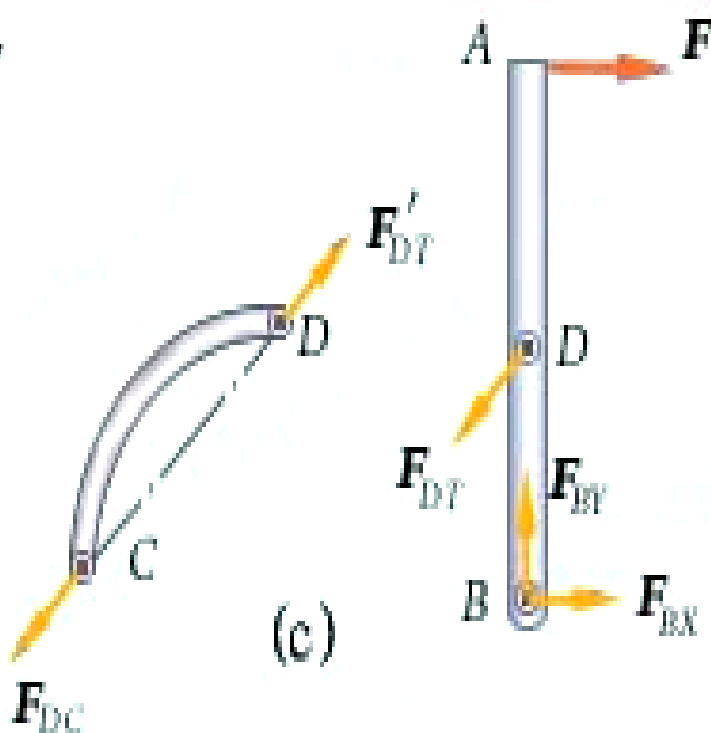
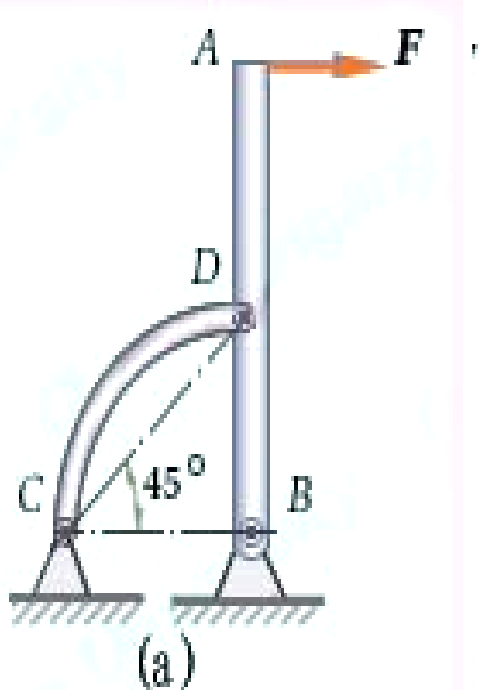
## 二力构件与三力汇交



### 受力分析示例(7)

试画出结构中的主要构件的受力图

静力学  
——  
受力分析

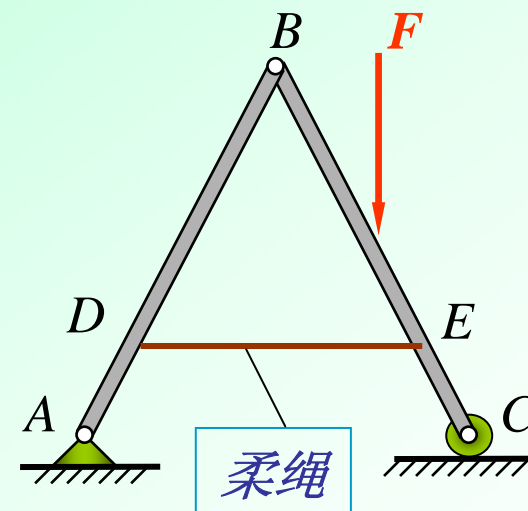




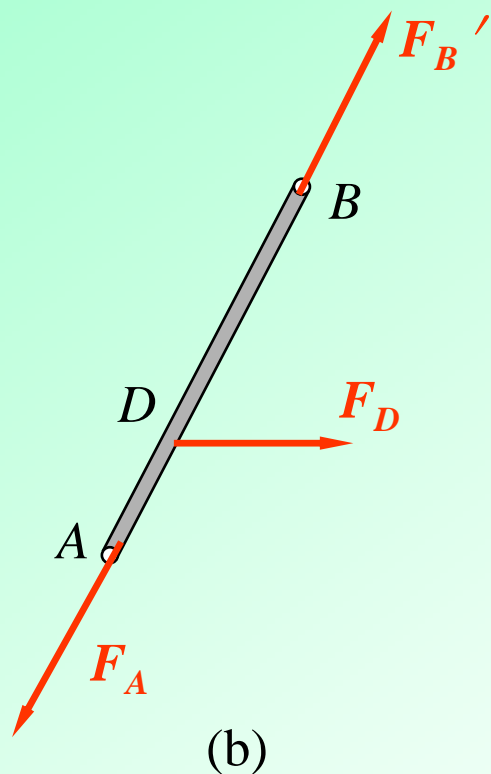
### 受力分析示例(8)

思考题

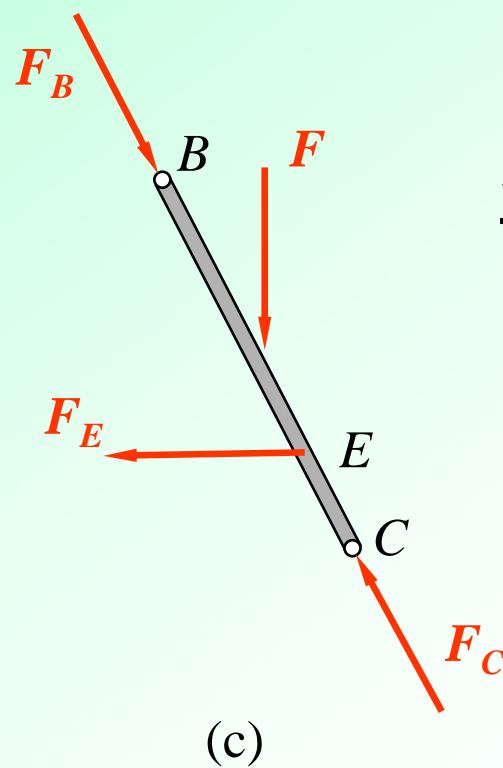
图 (b), (c) 受力图正确吗?



(a)



(b)

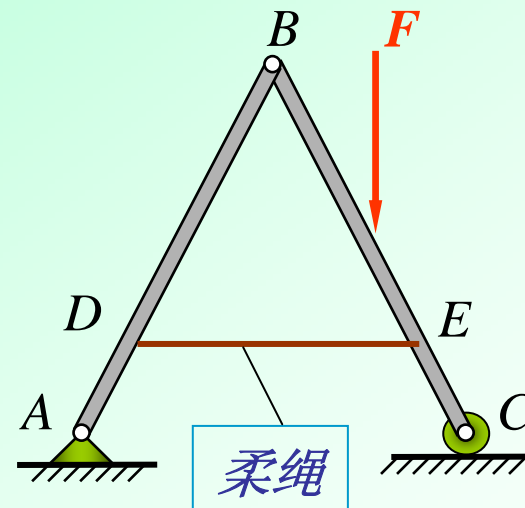
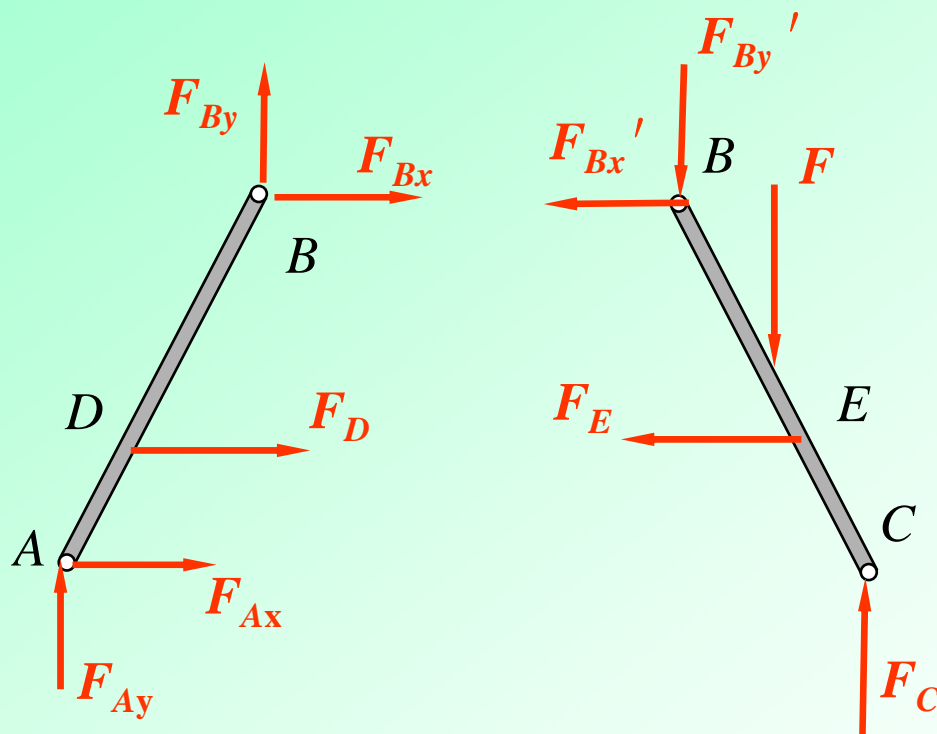


(c)



解答

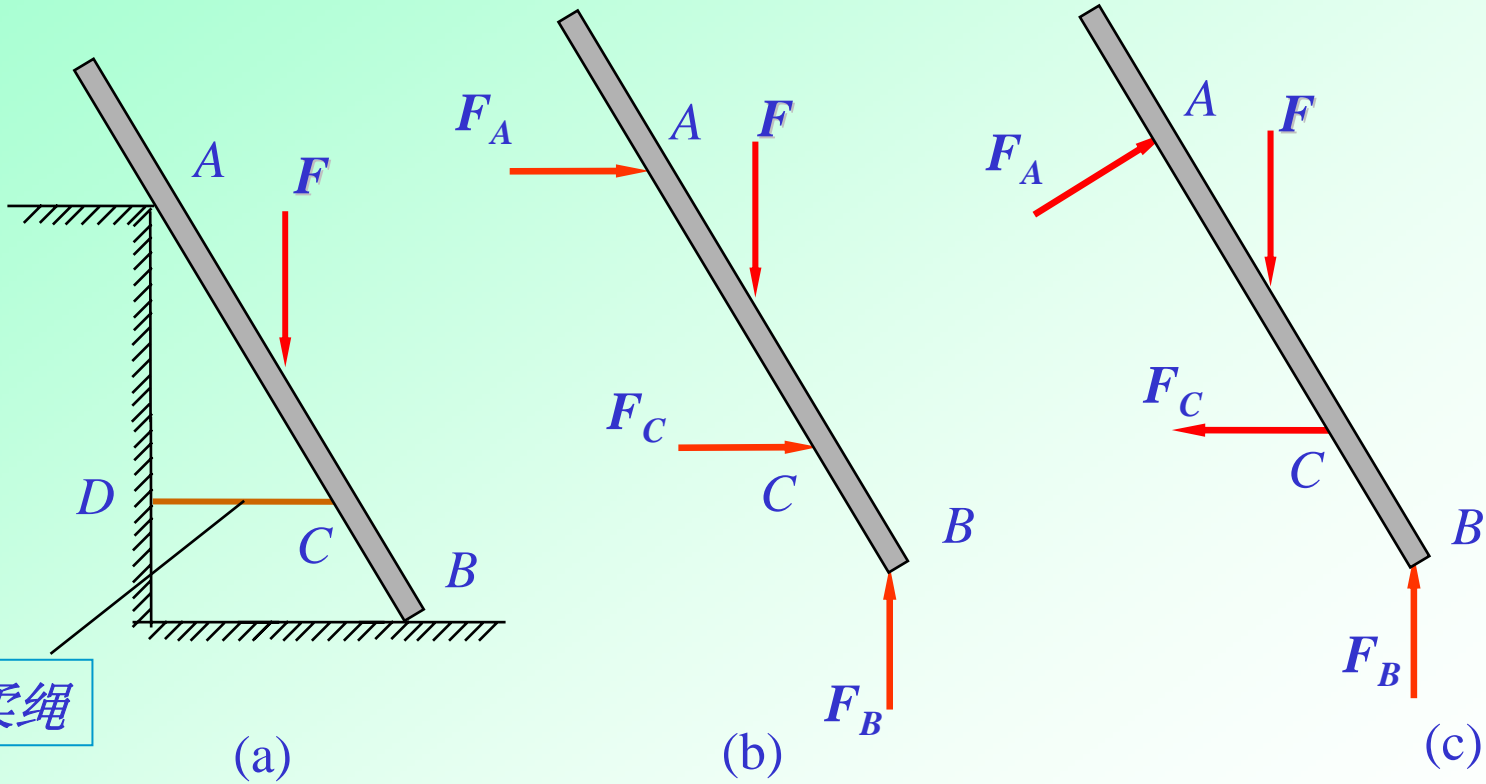
静力学  
——  
受力分析





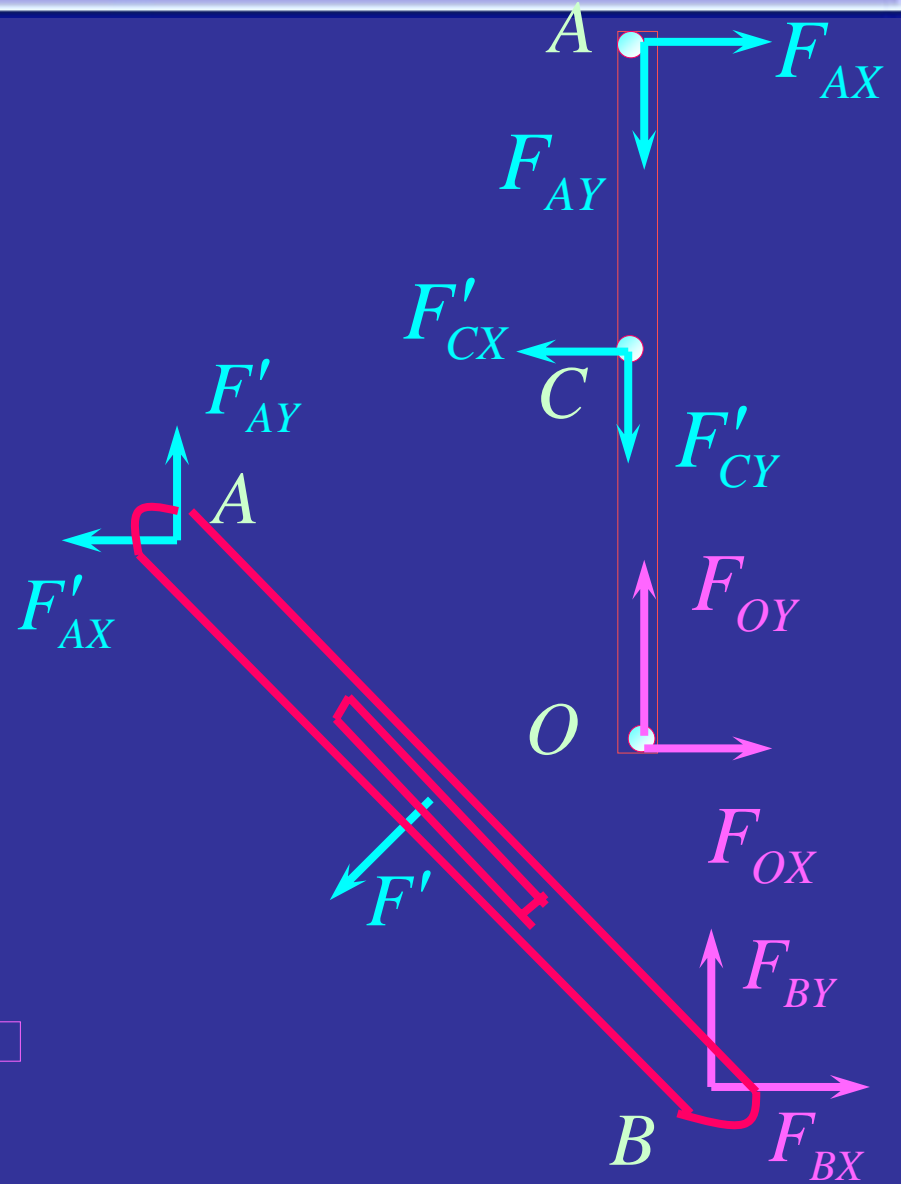
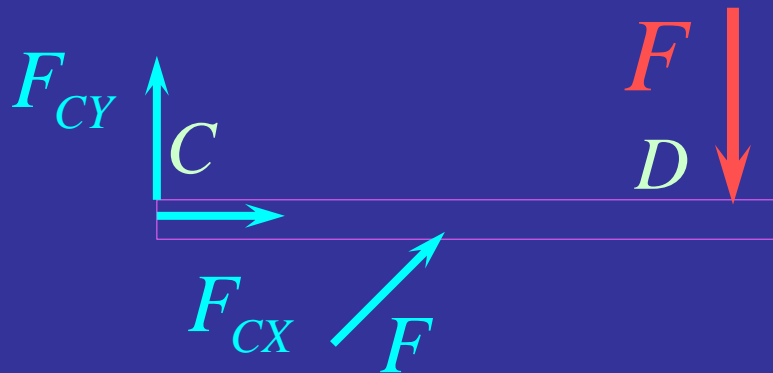
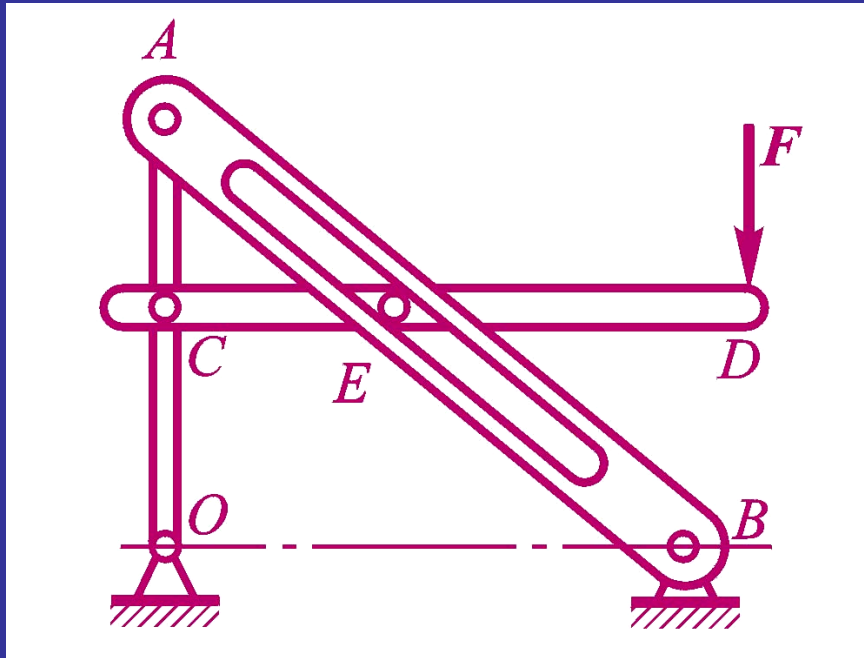
### 思考题

图 (b) 受力图正确吗？





静力学——受力分析



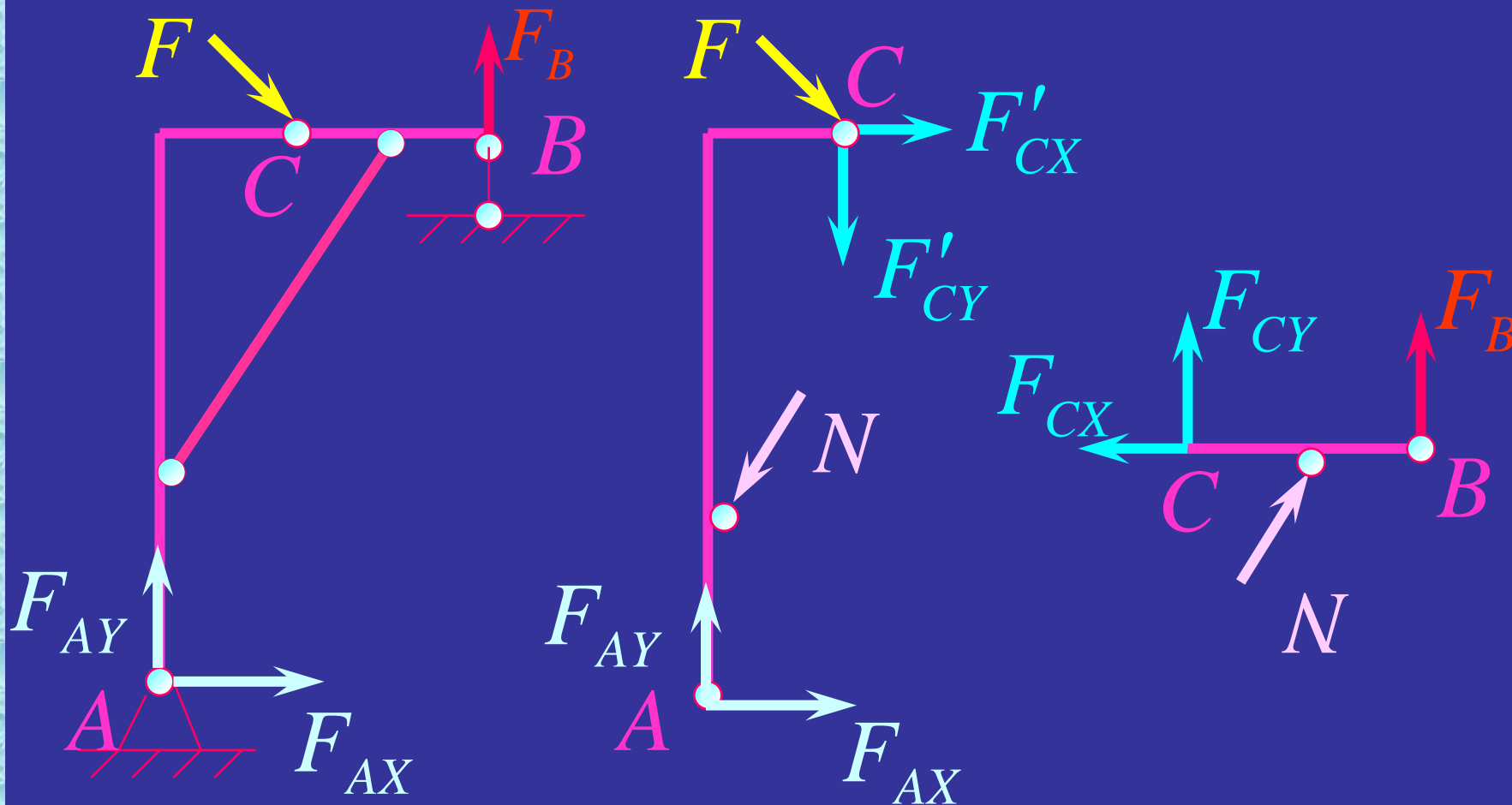




## 受力分析示例 (11)

画出AC、CB及整体受力图

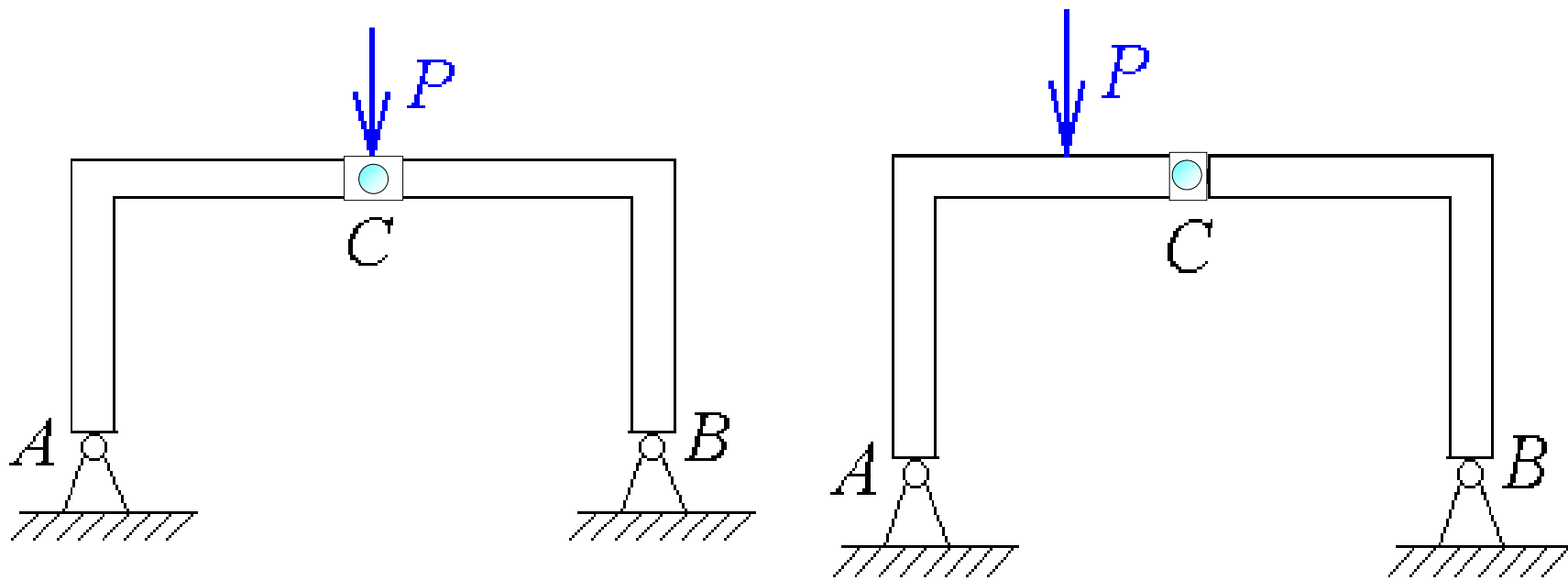
静力学  
——  
受力分析





# 受力分析示例(12)

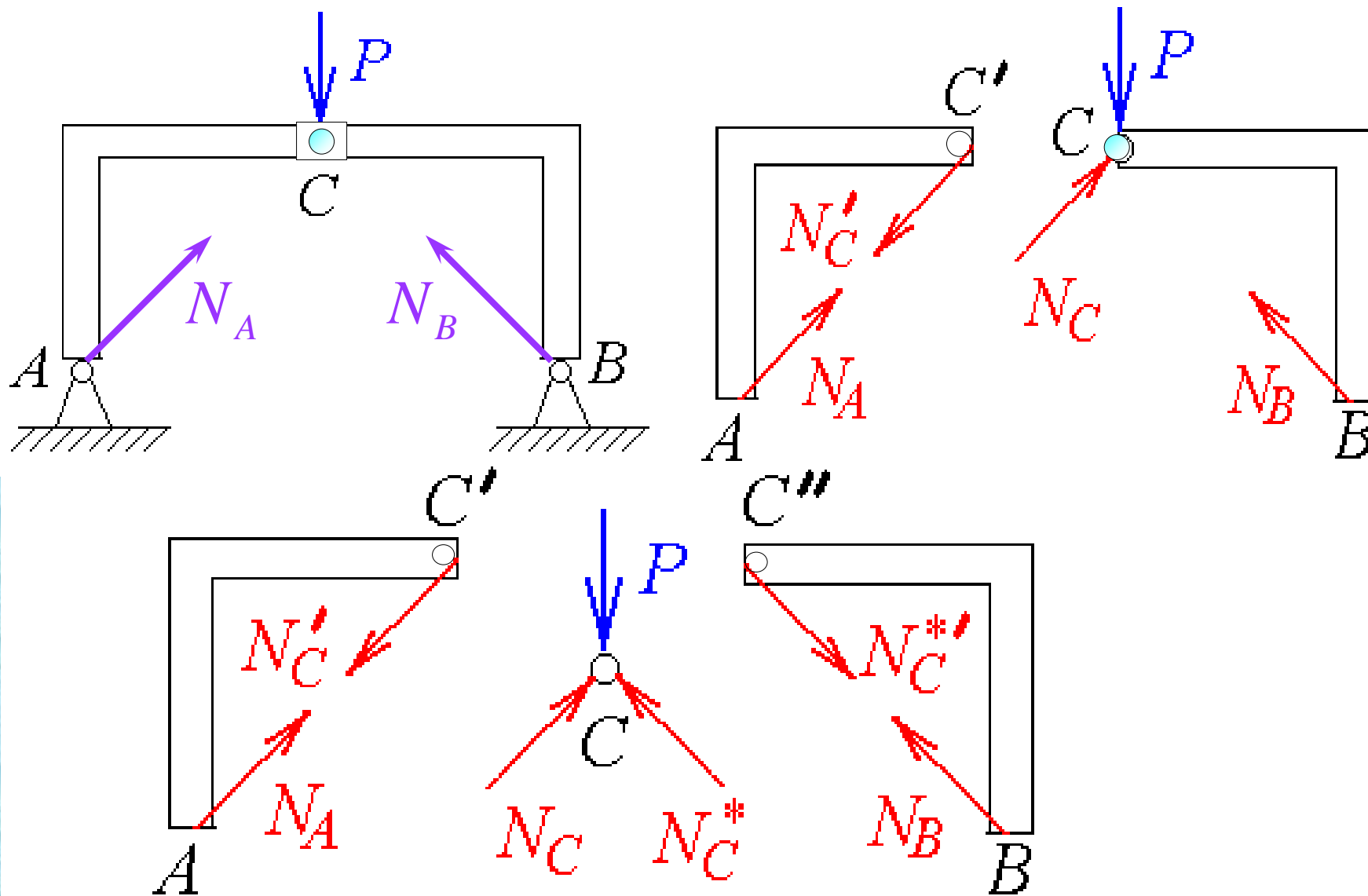
## 三铰拱受力分析



当销钉与两个物体连接并且不要求画销钉受力时，可将销钉归属在某一物体上。

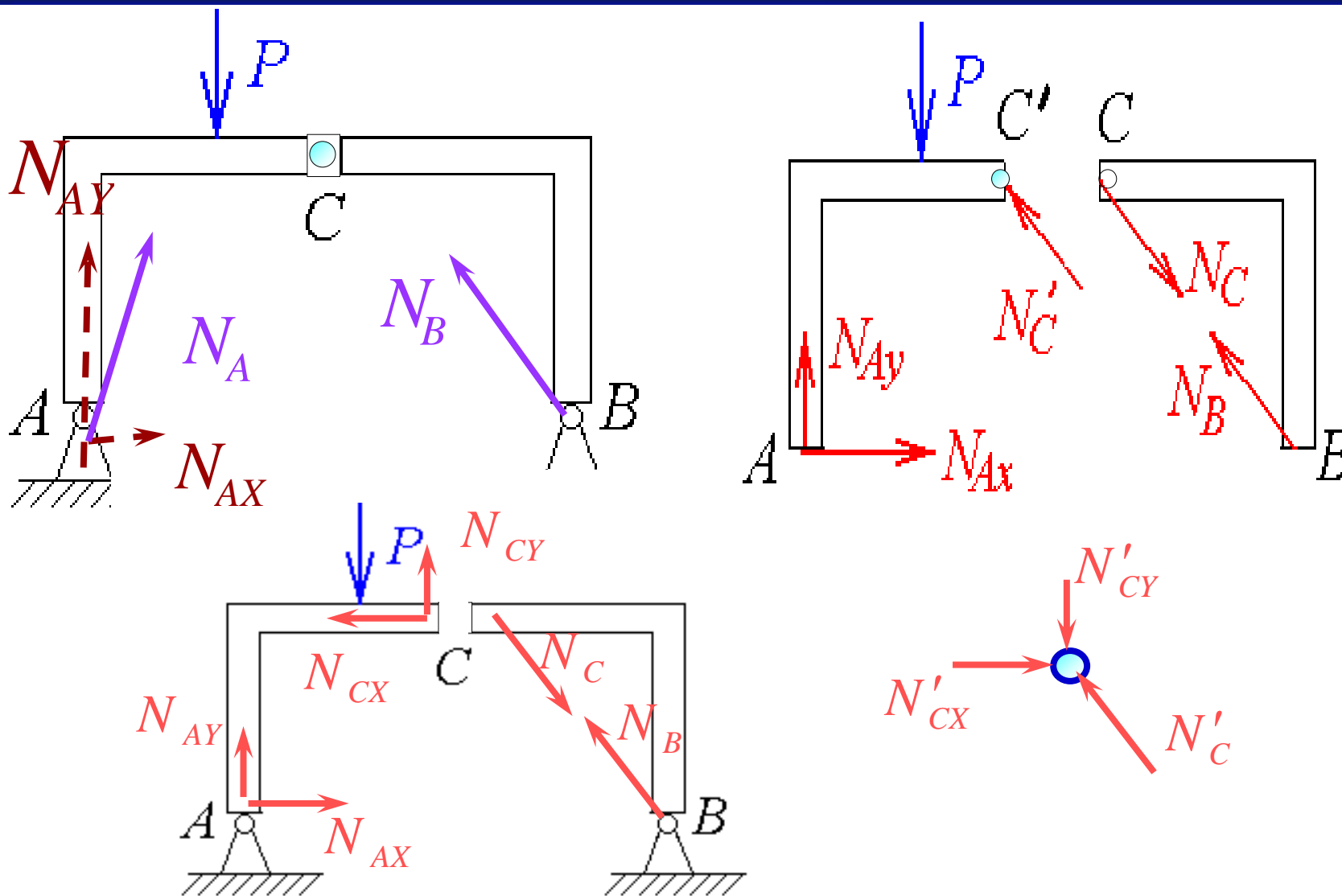


静力学  
——  
受力分析





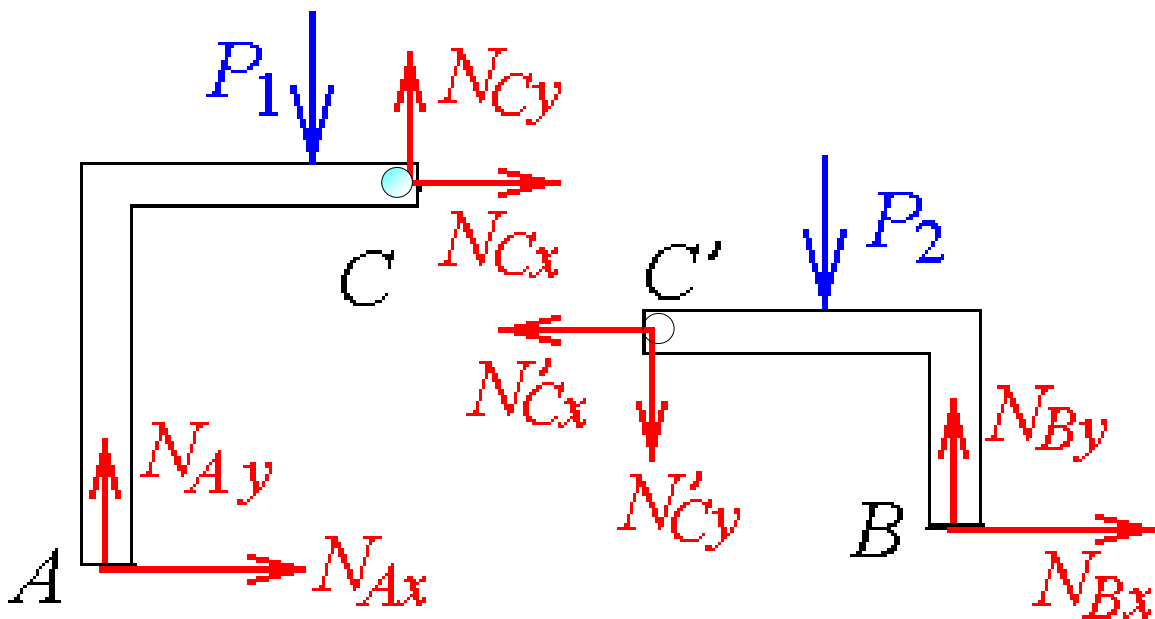
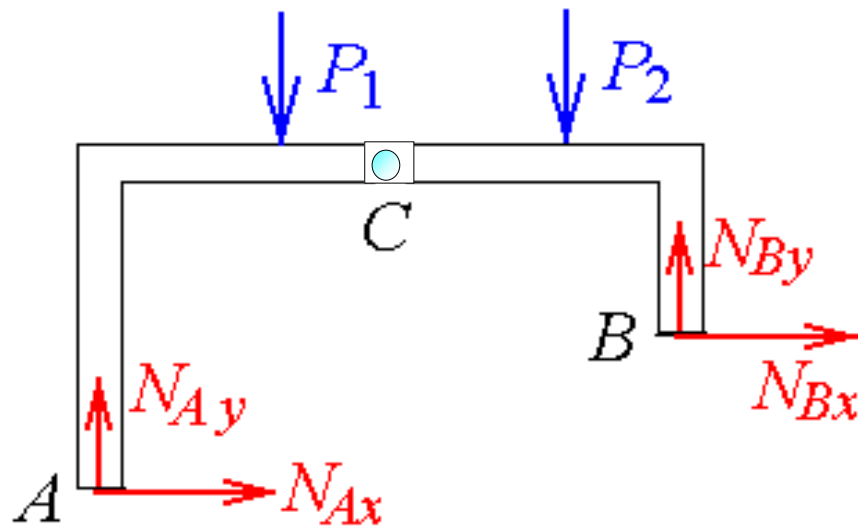
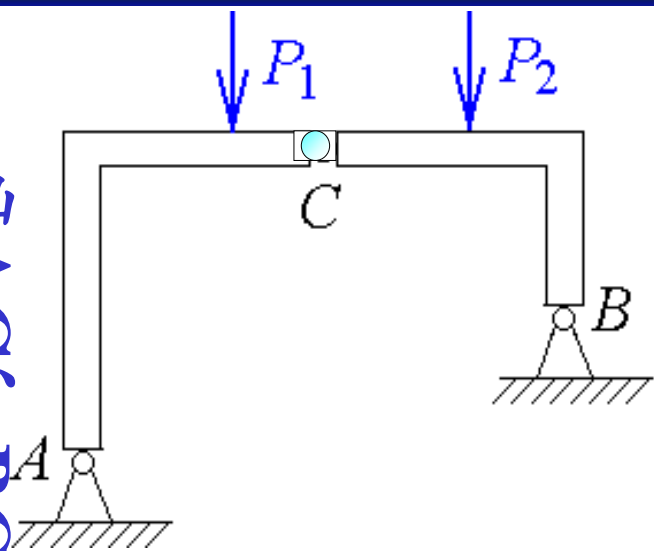
静力学  
——  
受力分析





静力学——受力分析

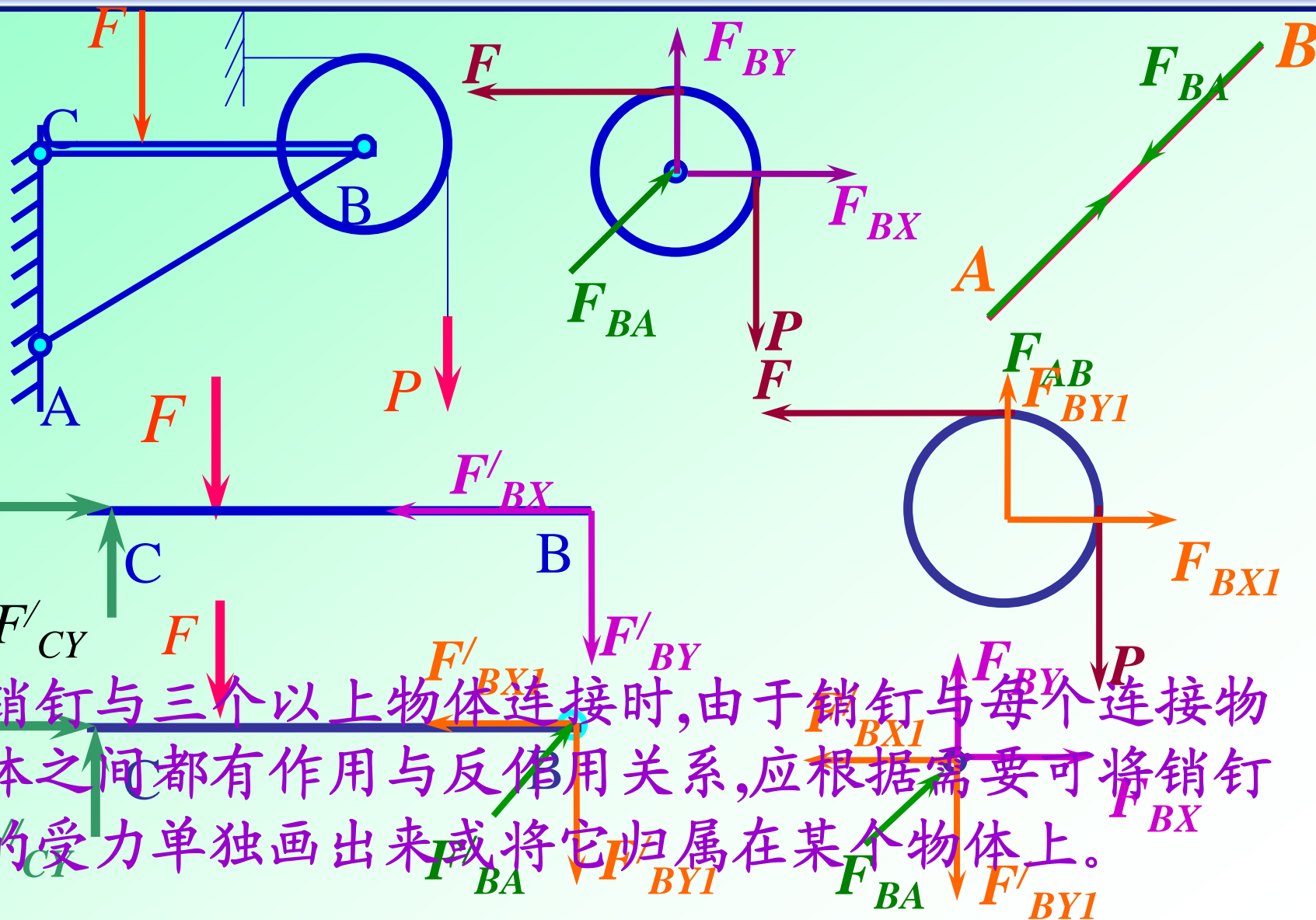
画AC、BC及整体的受力图





静力学

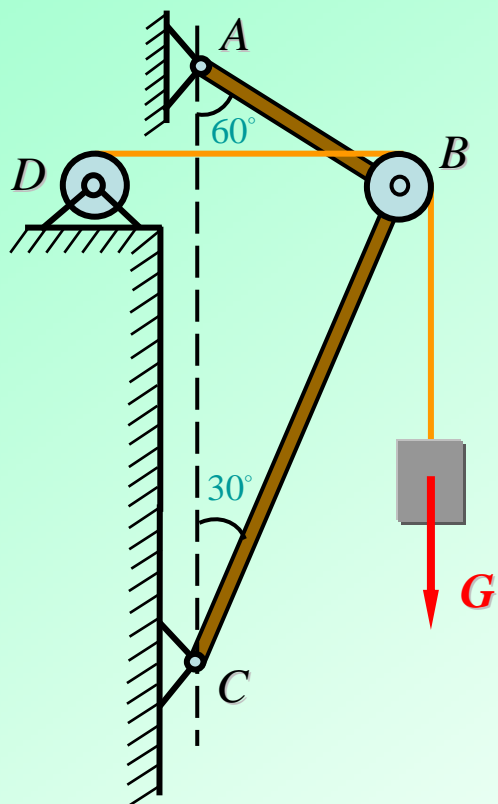
受力分析



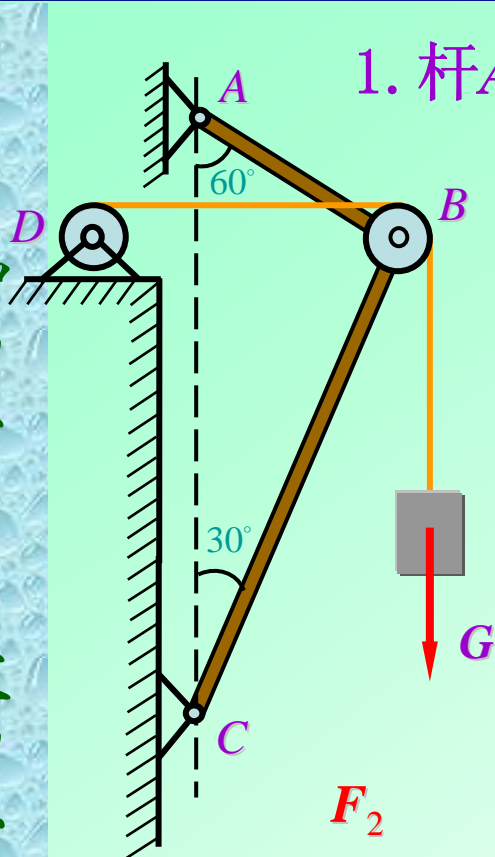
静力学  
受力分析



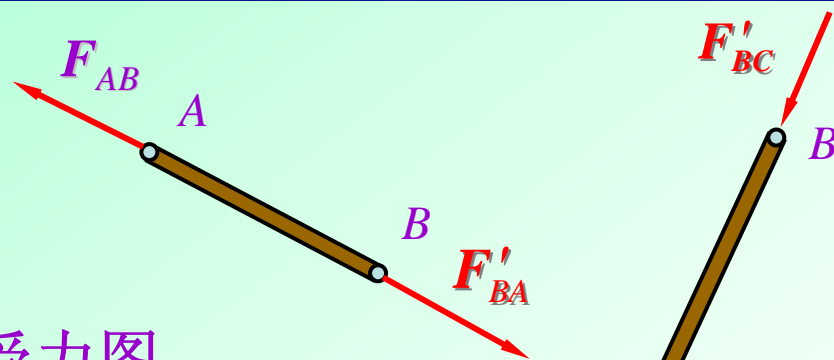
## 受力分析示例 (14)



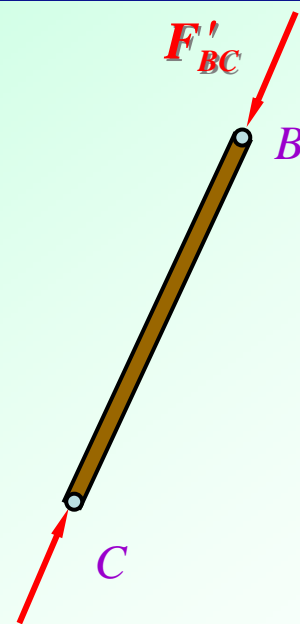
如图所示，重物重  $G = 20 \text{ kN}$ ，用钢丝绳挂在支架的滑轮  $B$  上，钢丝绳的另一端绕在铰车  $D$  上。杆  $AB$  与  $BC$  铰接，并以铰链  $A$ ， $C$  与墙连接。如两杆与滑轮的自重不计并忽略摩擦和滑轮的大小，试画出杆  $AB$  和  $BC$  以及滑轮  $B$  的受力图。



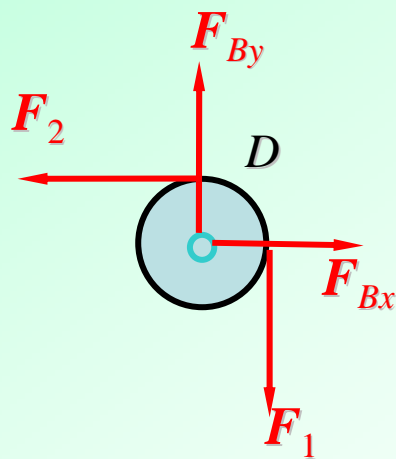
1. 杆AB的受力图。



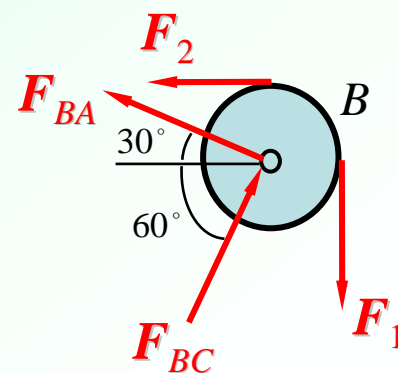
2. 杆BC的受力图。



3. 滑轮B (不带销钉) 的受力图。 $F_{CB}$



4. 滑轮B (带销钉) 的受力图。

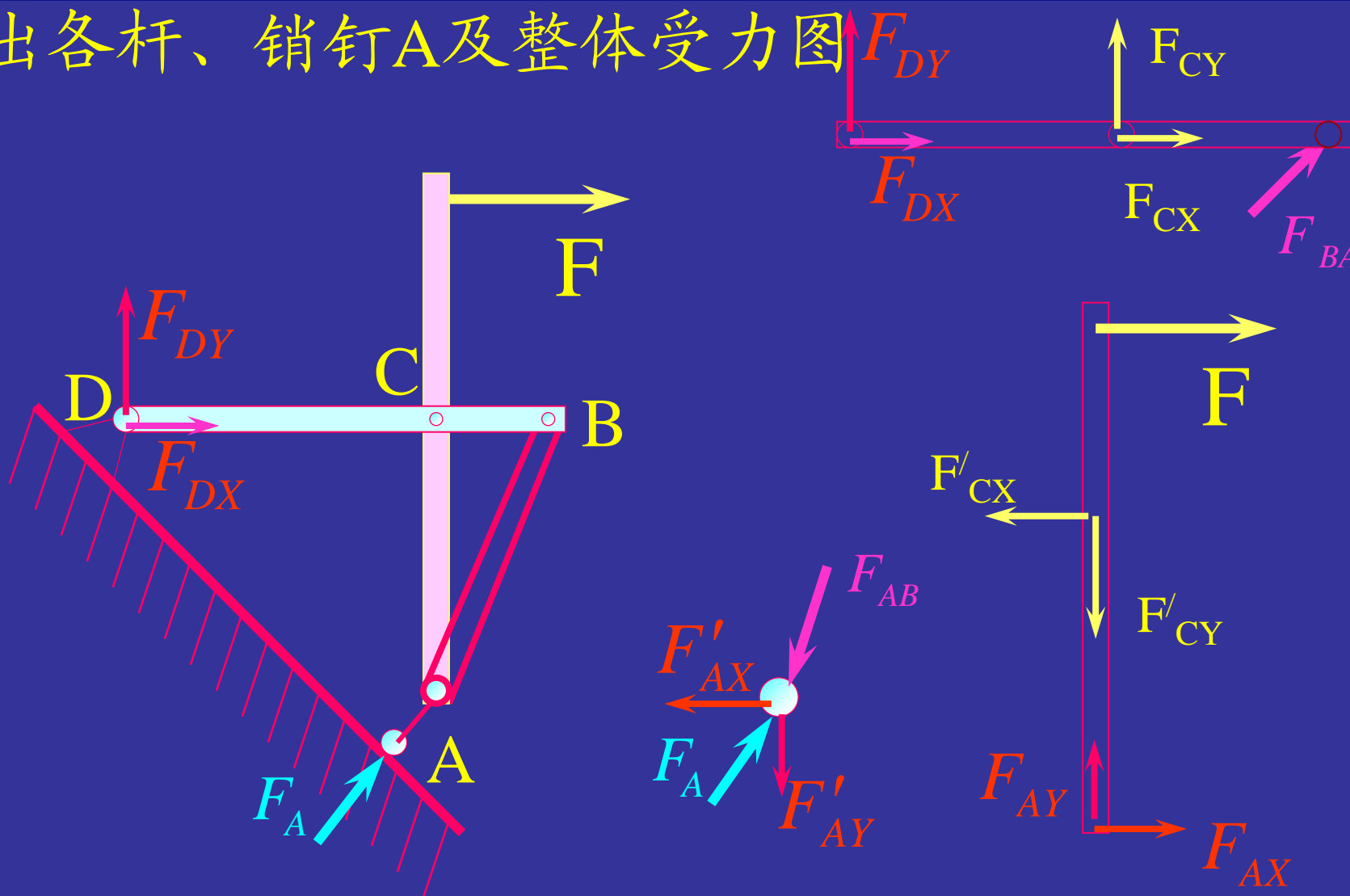






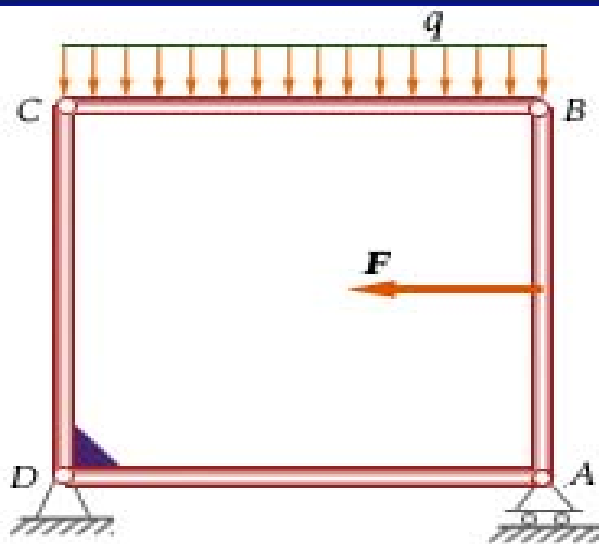
画出各杆、销钉A及整体受力图

静力学  
——  
受力分析

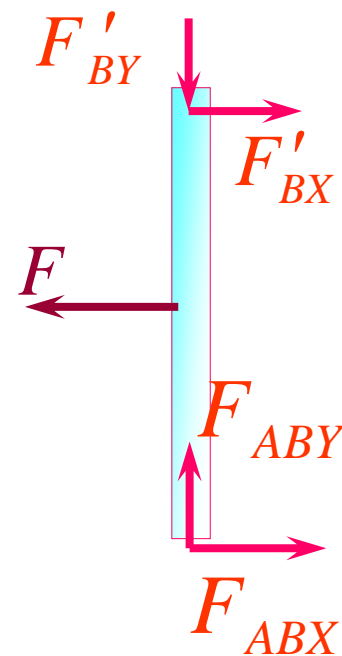
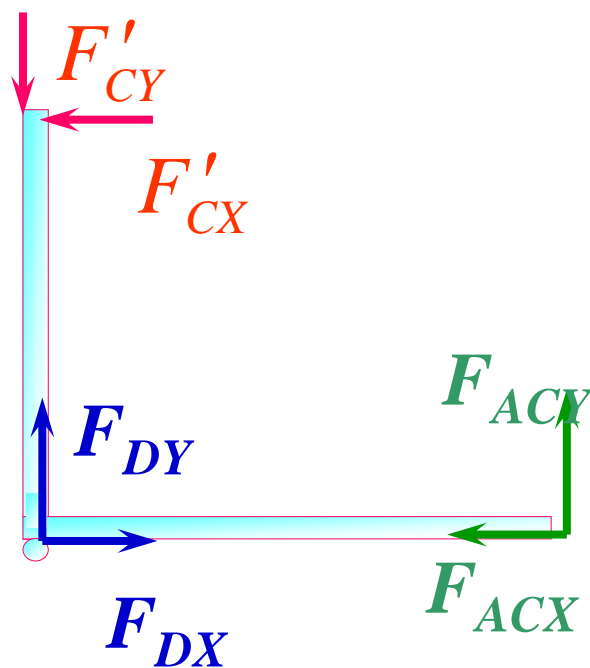
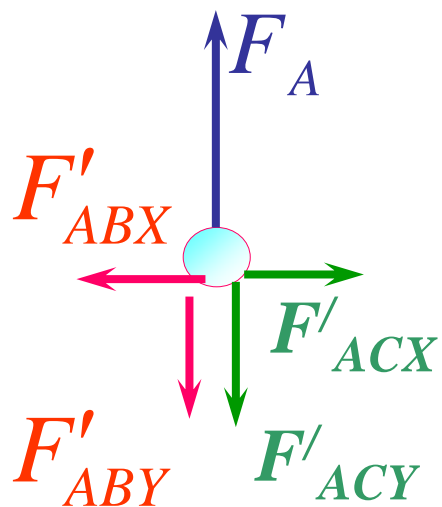
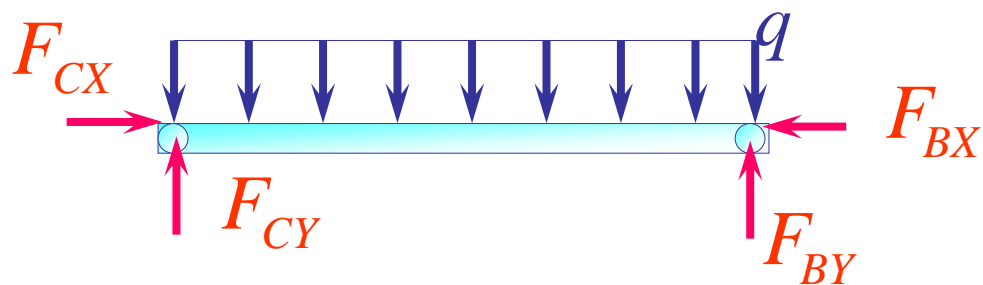




静力学  
——  
受力分析



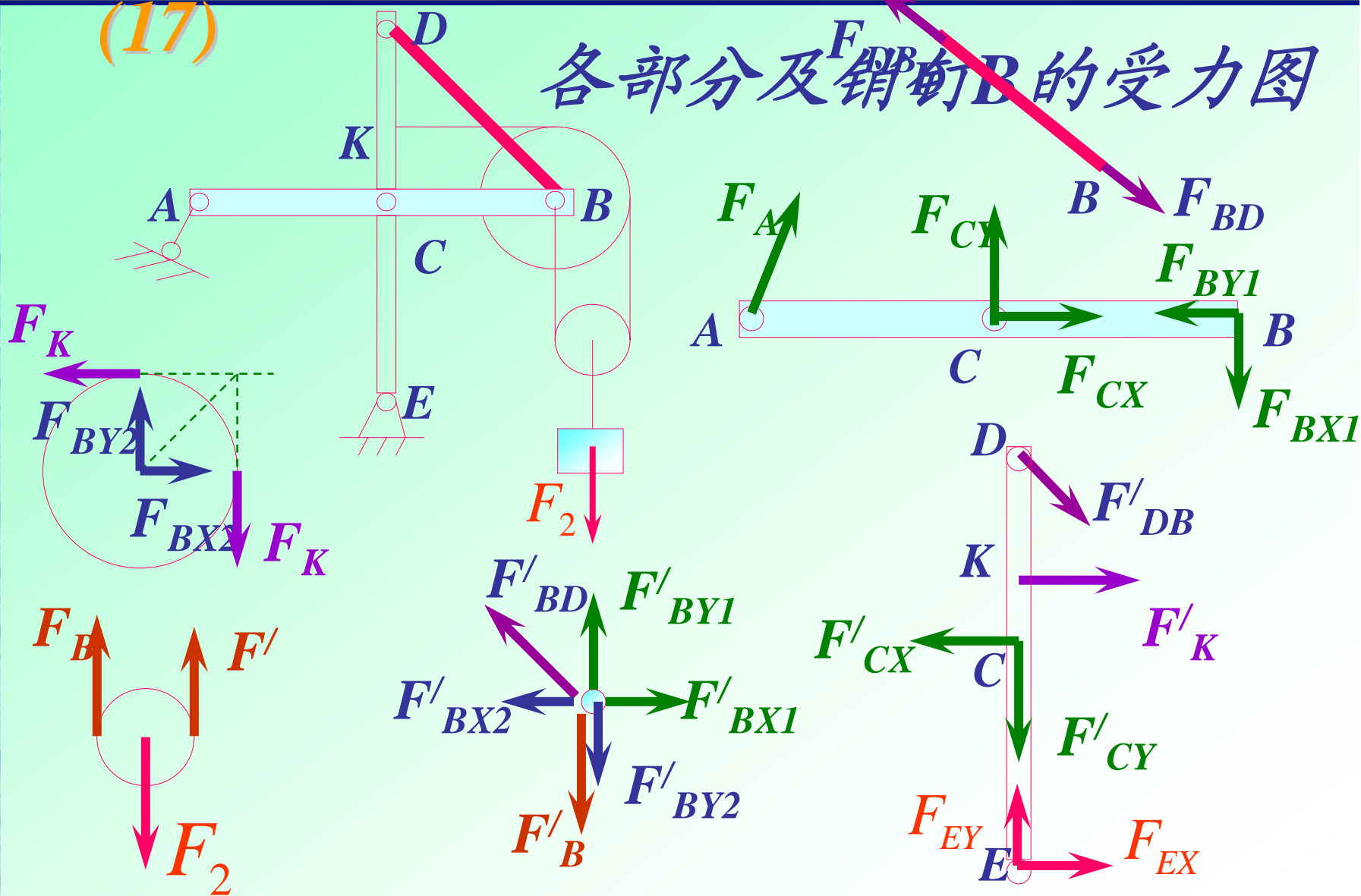
### 各构件及销钉A的受力图





(17)

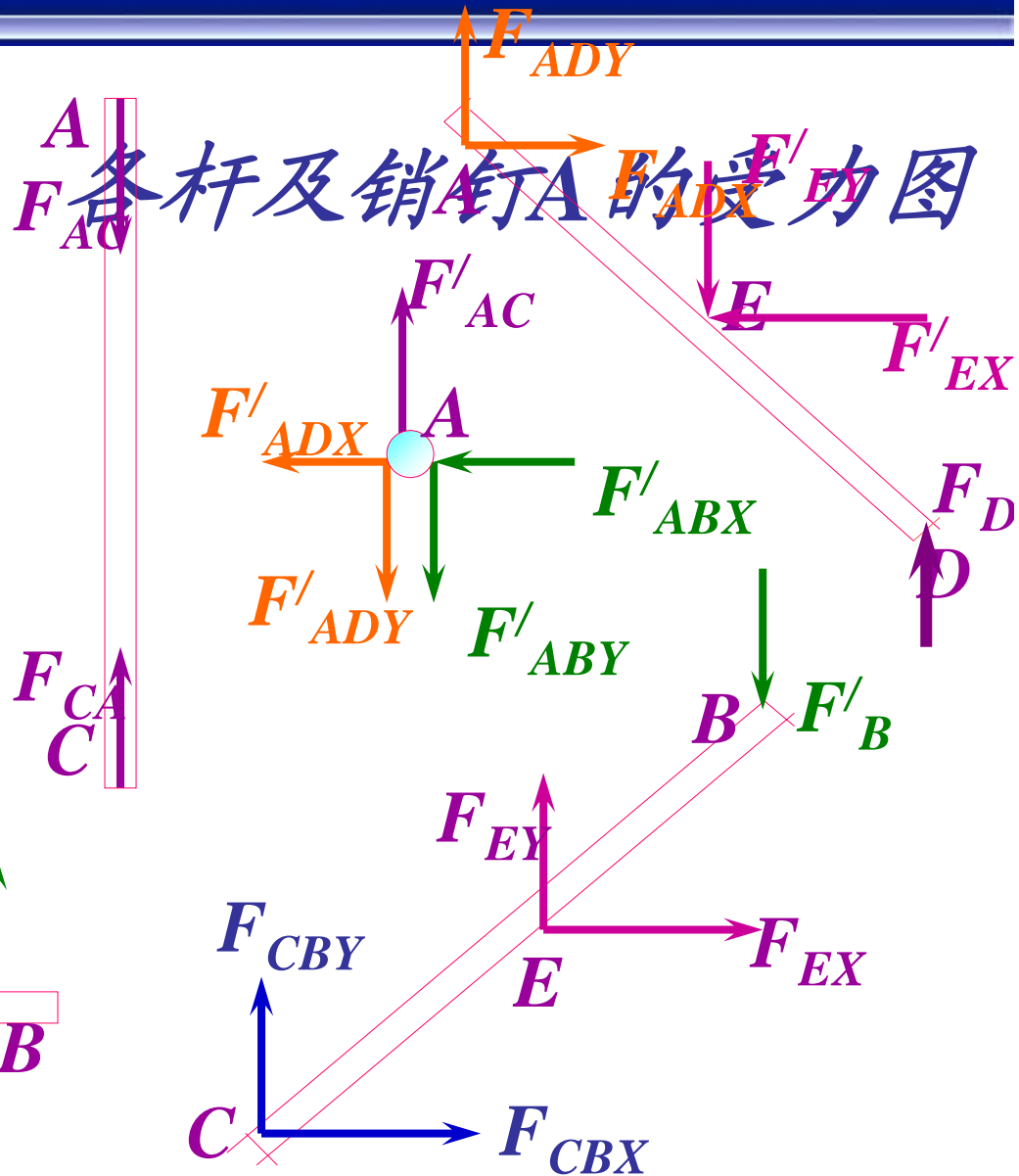
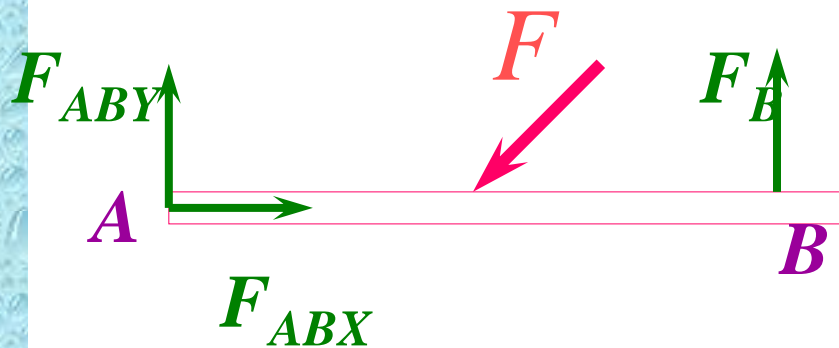
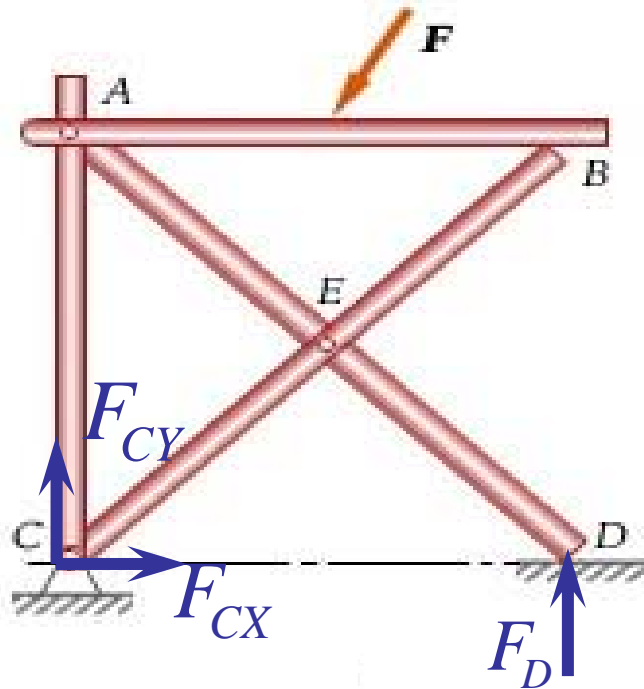
### 各部分及销钉B的受力图



静力学  
——  
受力分析



静力学  
——  
受力分析

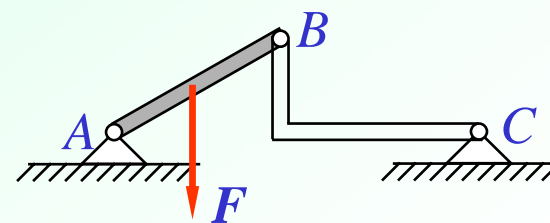
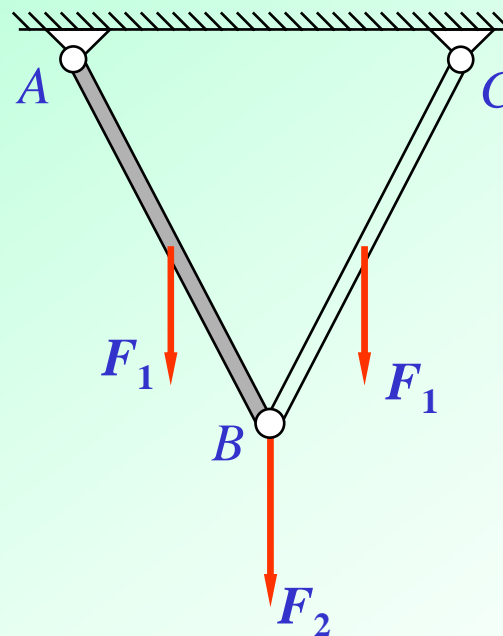
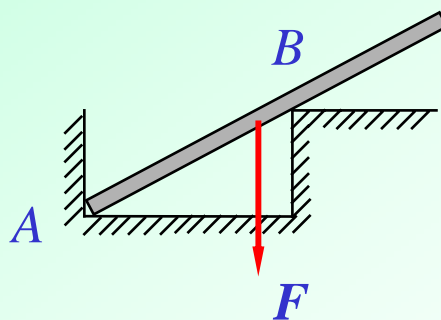
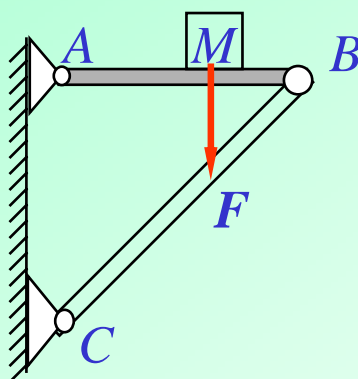
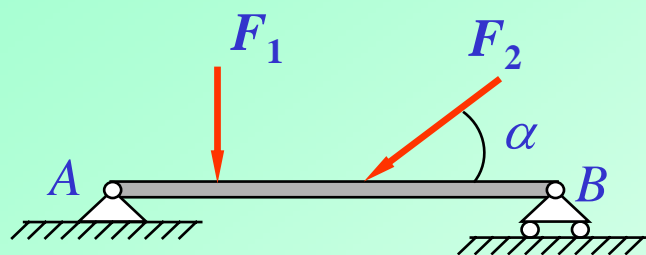


各杆及销钉A的受力图



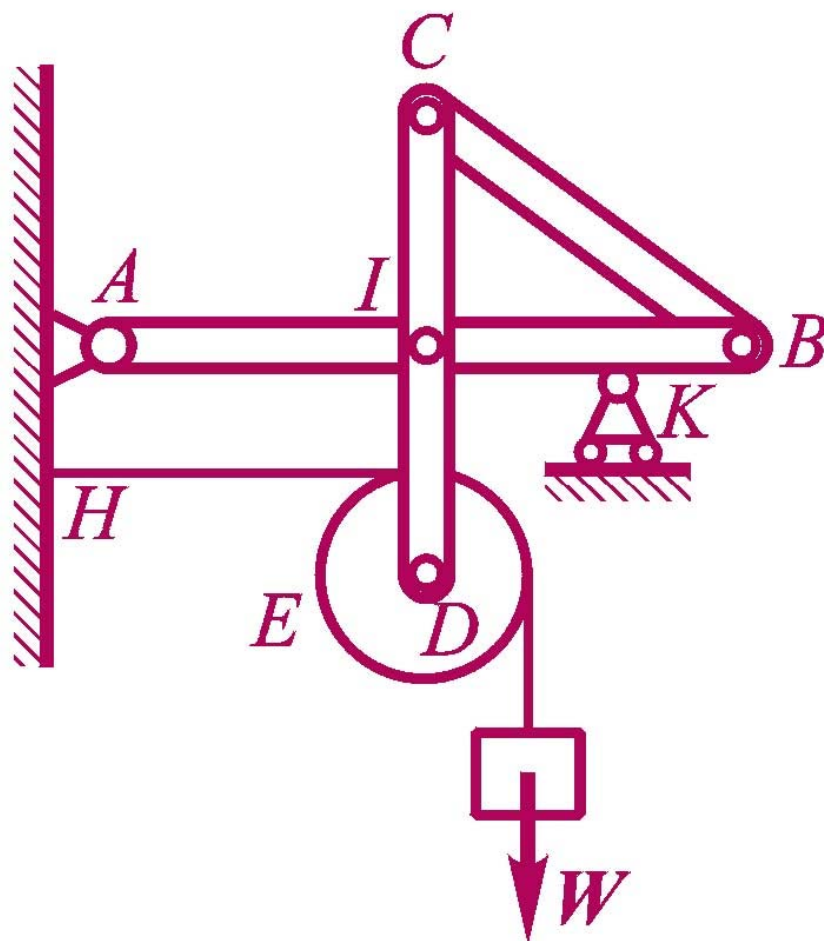
### 练习题

画出杆AB的受力图。





练习: 图示结构中各杆重力均不计, 所有接触处均为光滑接触。试画出: 各构件的受力图。





## 1 力与刚体的概念

## 2. 静力学公理

公理1: 力的平行四边形法则

公理2 二力平衡公理

公理3 加减平衡力系公理

公理4 作用与反作用定律

公理5 刚化公理

## 3. 约束和约束力

限制非自由体某些位移的周围物体，称为约束。

约束对被约束体施加的力称为约束反力

约束反力的方向与该约束所阻碍的位移方向相反。

力的可传性

三力平衡汇交定理



## 4. 物体的受力和受力图

(1) 明确研究对象。

不同的研究对象画出的受力图不同

(2) 确定研究对象所受的力。

先画主动力再画约束反力。

研究对象与周围物体接触的地方一定存在约束反力。

(3) 分析多个物体组成的系统受力时，  
要分清内力与外力。

作业：





北京交通大学

BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

静力学  
——  
受力分析

谢谢大家

