

静力学



静力学： 研究物体在力系作用下的平衡条件的科学。

1、物体的受力分析

2、力系的等效替换（或简化）：力系 \longleftrightarrow 力
复杂力系 \longleftrightarrow 简单力系

3、建立各种力系的平衡条件



几个基本概念

刚体：在力的作用下，其内部任意两点间的距离始终保持不变的物体。

力：物体间相互的机械作用，作用效果使物体的机械运动状态发生改变。**(力是矢量)**

理解：作用方式；作用效应；作用的三要素

力系：

{	平面力系	{	平行力系
			汇交力系
	空间力系		任意力系

平衡：物体相对惯性参考系（如地面）静止或作匀速直线运动。



第1章 静力学公理和物体的受力分析



重点:

- 1、力、刚体、平衡、约束和约束反力的概念
- 2、静力学公理及其应用
- 3、基本约束的特征及其约束反力的画法
- 4、受力分析和受力图

难点:

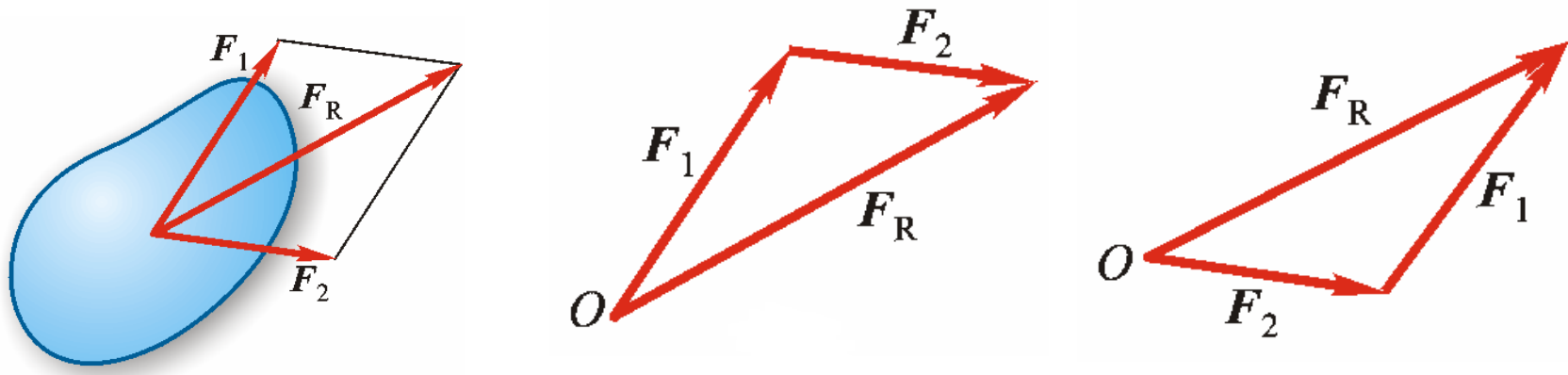
- 1、约束的概念及其特征
- 2、物体系的受力分析及其受力图



§ 1-1 静力学公理

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，可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点，合力的大小和方向，由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定。



合力(合力的大小与方向) $\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ (矢量和)

亦可用力三角形求得合力矢

公理2 二力平衡条件

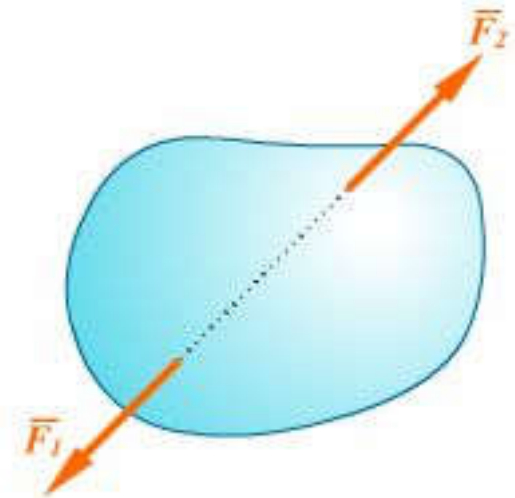
作用在**刚体**上的两个力，使刚体保持平衡的充要条件是：这两个力的大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。

使刚体平衡的充要条件

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

最简单力系的平衡条件

二力构件

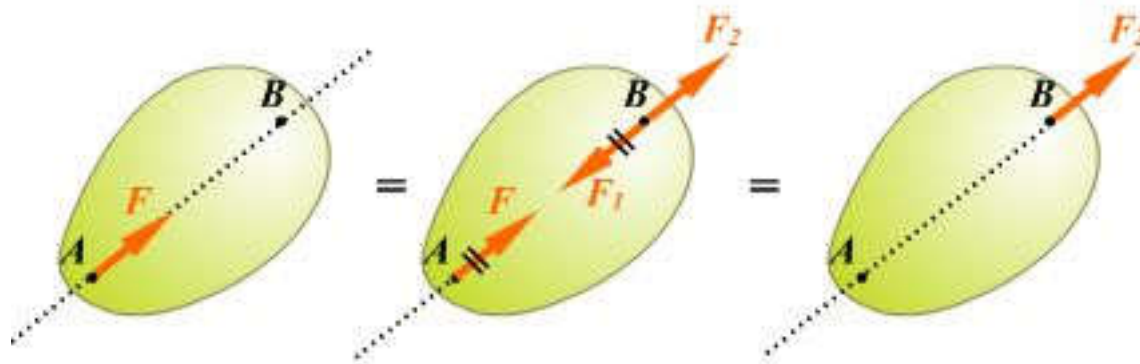


公理3 加减平衡力系原理

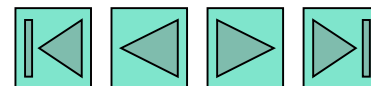
在已知力系上加上或减去任意的平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

推理1 力的可传性

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

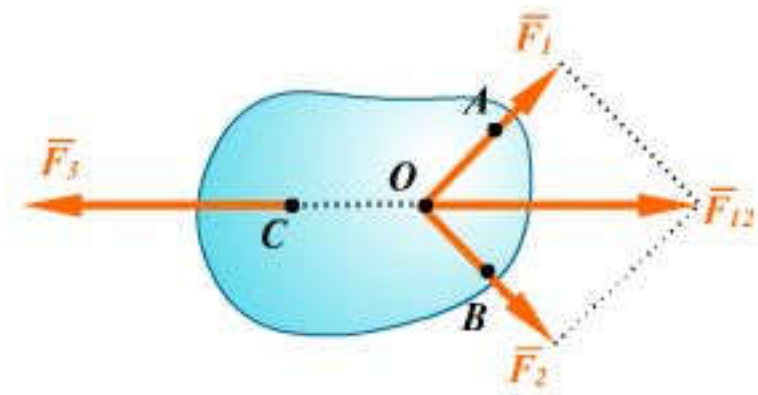


- 注意：**
- 1、力的可传性只适用于刚体；（作用在刚体上的力是滑移矢量，力的三要素为大小、方向和作用线）
 - 2、滑移只能在同一刚体内进行。



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。



平衡时 \vec{F}_3 必与 \vec{F}_{12} 共线，则三力必汇交O点，且共面。

公理4 作用和反作用定律

作用力和反作用力总是同时存在，同时消失，等值、反向、共线，作用在相互作用的两个物体上。

在画物体受力图时要注意此公理的应用。

比较：二力平衡 & 作用力与反作用力



公理5 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡，如将此变形体刚化为刚体，其平衡状态保持不变。



柔性体（受拉力平衡）

刚化为刚体（仍平衡）

反之不一定成立．对刚体平衡的充分必要条件，对变形体是必要的但非充分的．



刚体（受压平衡）

柔性体（受压不能平衡）

§ 1-2 约束和约束力

约束： 对非自由体的位移起限制作用的物体。

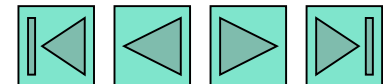
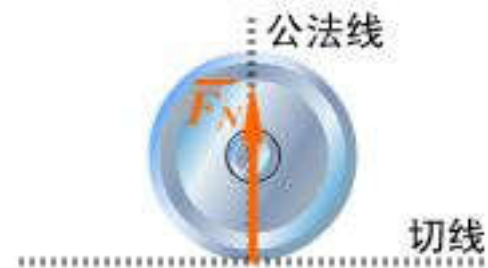
约束力： 约束对非自由体的作用力。

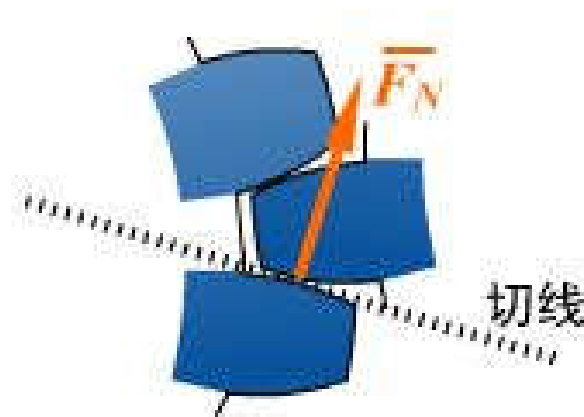
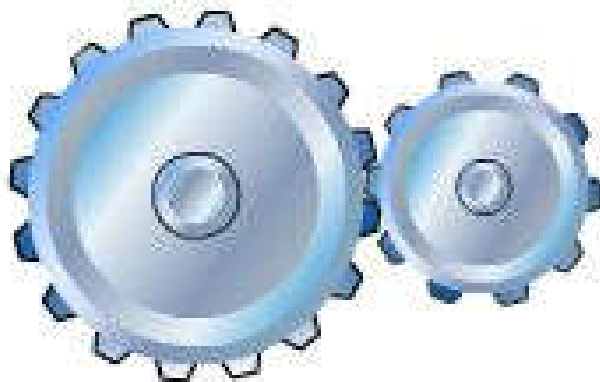
约束力 { 大小——待定
 方向——与该约束所能阻碍的位移方向相反
 作用点——接触处



工程中常见的约束

1.具有光滑接触面（线、点）的约束（光滑接触约束）

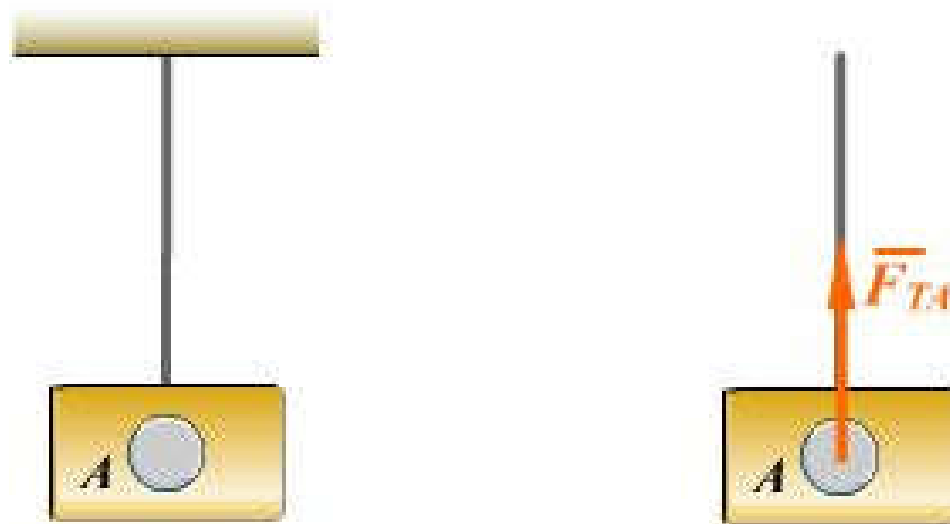




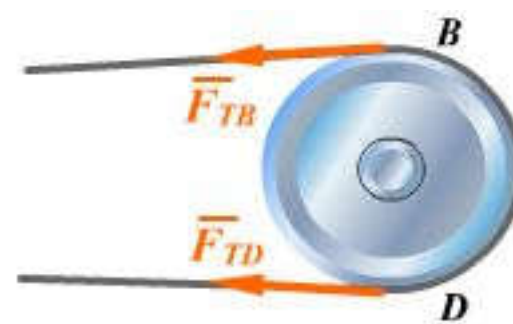
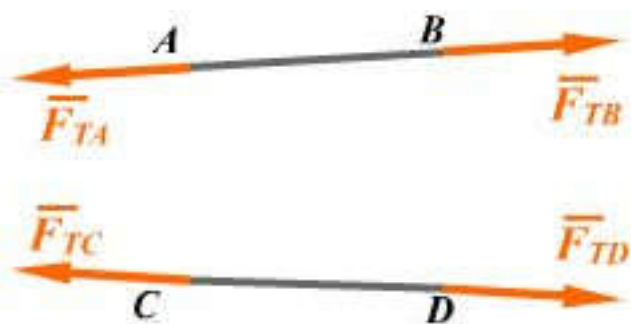
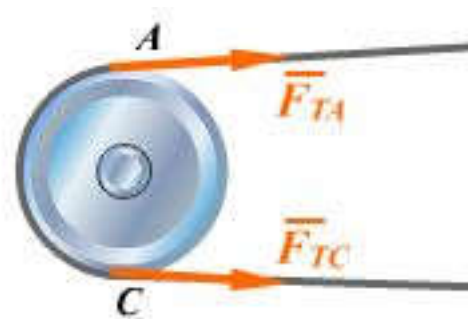
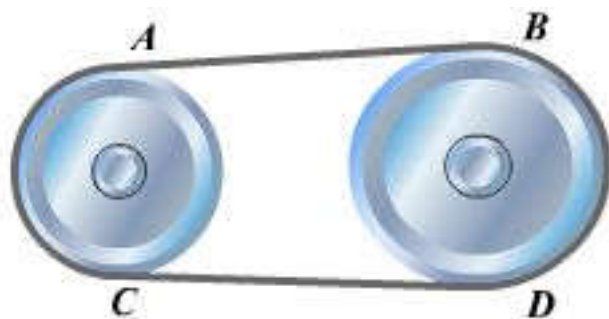
光滑支承接触对非自由体的约束力，作用在接触处；
方向沿接触处的公法线并指向受力物体，故称为法向
约束力，用 \vec{F}_N 表示。



2. 由柔软的绳索、胶带或链条等构成的约束（柔性体约束）



柔索只能受拉力，又称张力. 用 \vec{F}_T 表示.

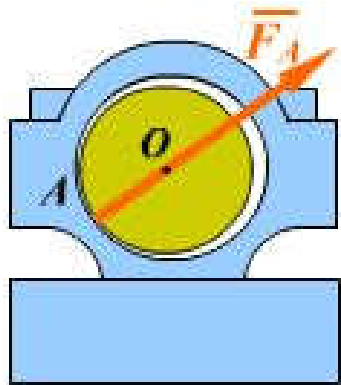


柔索对物体的约束力沿着柔索背向被约束物体。

胶带对轮的约束力沿轮缘的切线方向，为拉力。

3.光滑铰链约束（径向轴承、圆柱铰链、固定铰链支座等）

(1) 径向轴承（向心轴承）



约束特点:

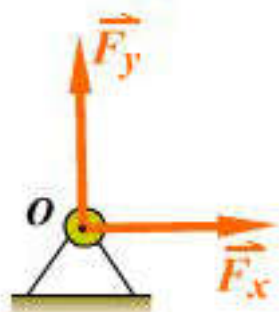
轴在轴承孔内，轴为非自由体、
轴承孔为约束。

约束力：当不计摩擦时，轴与孔在接触处为光滑接触约束——法向约束力。约束力作用在接触处，沿径向指向轴心。

当外界载荷不同时，接触点会变，则约束力的大小与方向均有改变。

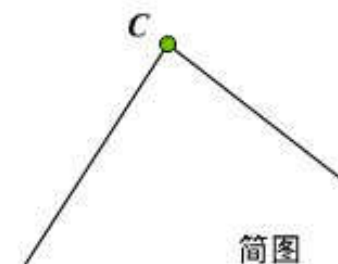
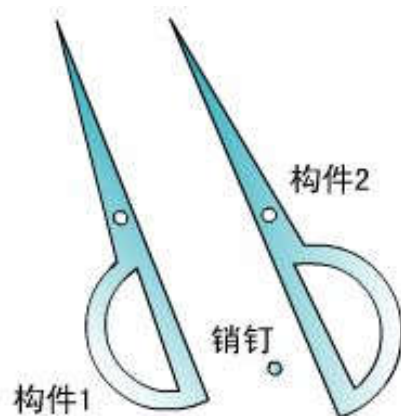


可用二个通过轴心的正交分力 \vec{F}_x, \vec{F}_y 表示。



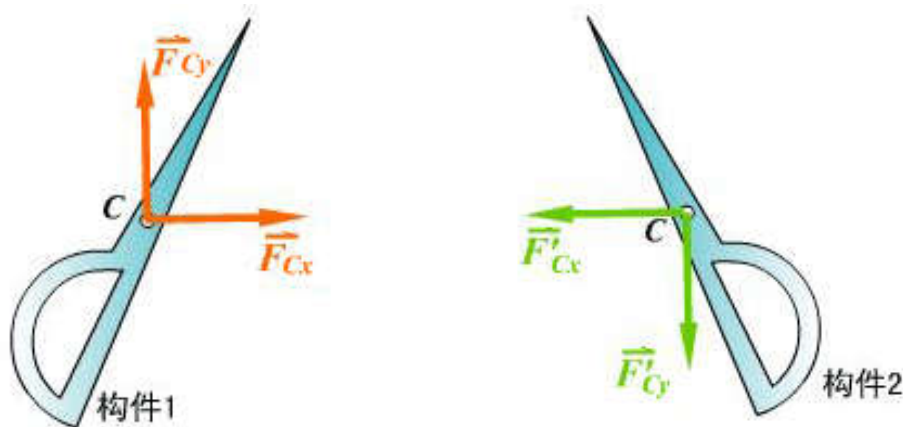
(2) 光滑圆柱铰链

约束特点：由两个穿孔的构件及圆柱销钉组成，如剪刀。



约束力:

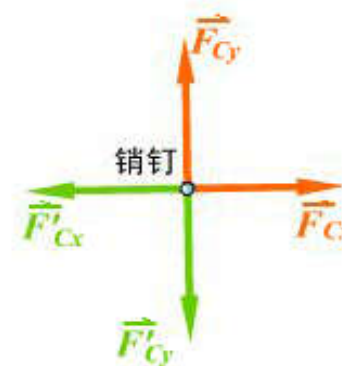
光滑圆柱铰链：亦为孔与轴的配合问题，与径向轴承一样，可用两个正交分力表示。



其中有作用、反作用关系

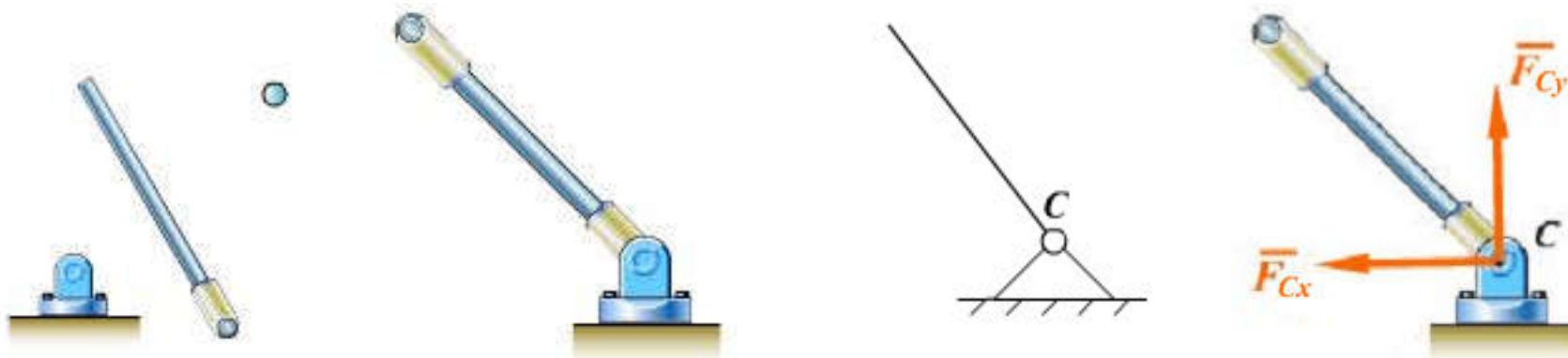
$$\vec{F}_{Cx} = -\vec{F}'_{Cx}, \vec{F}_{Cy} = -\vec{F}'_{Cy}$$

一般不必分析销钉受力，当要分析时，必须把销钉单独取出。



光滑圆柱铰链实例

(3) 固定铰链支座



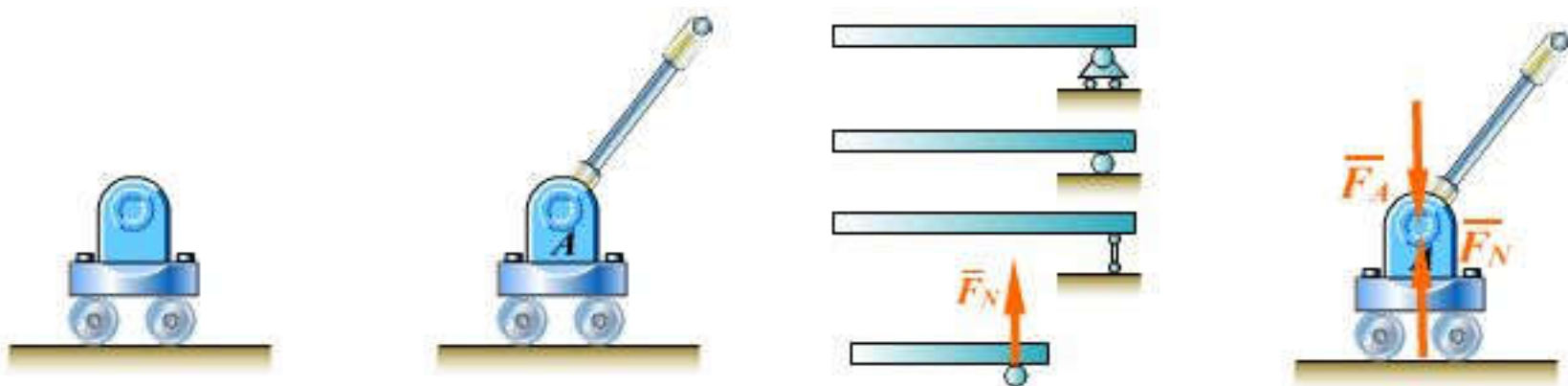
约束特点：由上面构件1或2之一与地面或机架固定而成。

约束力：与光滑圆柱铰链相同

以上三种约束（径向轴承、光滑圆柱铰链、固定铰链支座），其约束特性相同，均为轴与孔的配合问题，都可称为光滑铰链约束。

4. 其它类型约束

(1) 滚动支座 (可动铰约束)

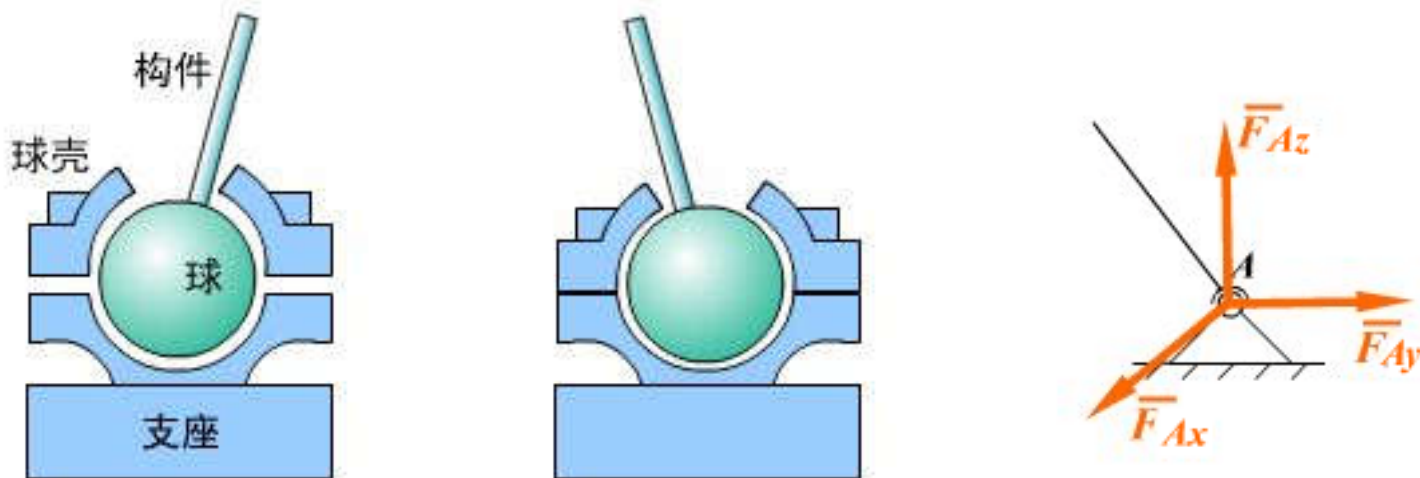


约束特点：在上述固定铰支座与光滑固定平面之间装有光滑辊轴而成。

约束力：

构件受到垂直于光滑面的约束力（通过铰链中心）。

(2) 球铰链



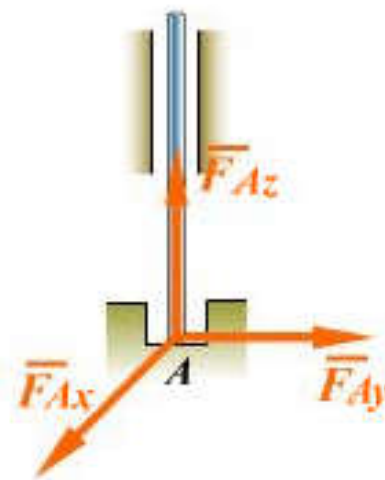
约束特点：通过球与球壳将构件连接，构件可以绕球心任意转动，但构件与球心不能有任何移动。

约束力：当忽略摩擦时，球与球座亦是光滑约束问题。约束力通过接触点，并指向球心，是一个不能预先确定的空间力。可用三个正交分力表示。

(3) 止推轴承

约束特点:

止推轴承比径向轴承多一个轴向的位移限制.



约束力: 比径向轴承多一个轴向的约束力, 亦有三个正交分力 \vec{F}_{Ax} , \vec{F}_{Ay} , \vec{F}_{Az}

总结

(1) 光滑面约束——法向约束力 \vec{F}_N

(2) 柔索约束——张力 \vec{F}_T

(3) 光滑铰链—— $\vec{F}_{Ay}, \vec{F}_{Ax}$

(4) 滚动支座—— $\vec{F}_N \perp$ 光滑面

球铰链——空间三正交分力

止推轴承——空间三正交分力

? 人体指关节、腕关节简化为何种约束?



§ 1-3 物体的受力和受力图

在受力图上应画出所有力，主动力和约束力（被动力）

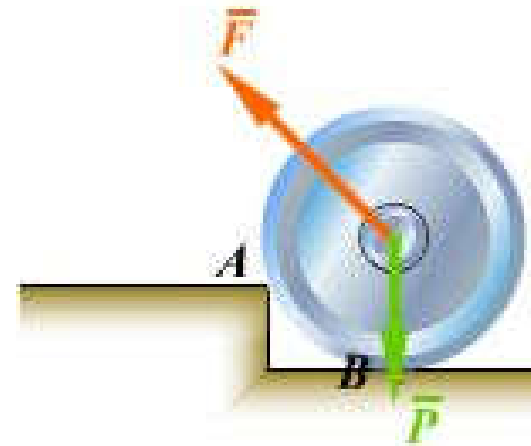
画受力图步骤：

- 1.取所要研究物体为研究对象（分离体），画出其简图
- 2.画出所有主动力
- 3.按**约束性质**画出所有约束（被动）力



例1-1

碾子重为 \vec{P} , 拉力为 \vec{F} , A 、 B 处光滑接触, 画出碾子的受力图.



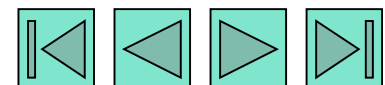
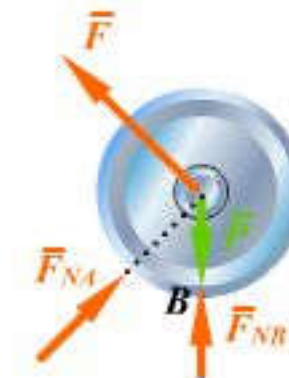
解: 画出简图



画出主动力



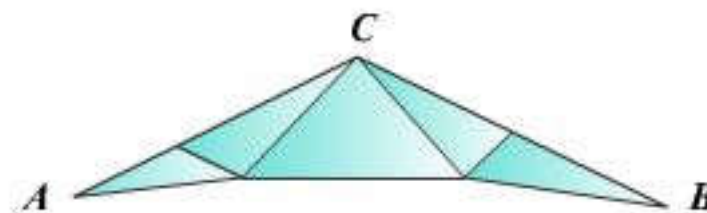
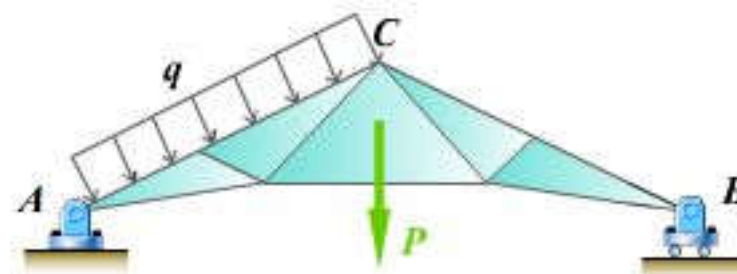
画出约束力



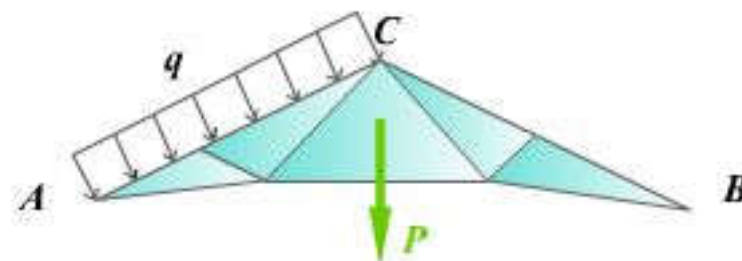
例1-2

屋架受均布风力 $q(\text{N/m})$,
屋架重为 \bar{P} , 画出屋架的受力图.

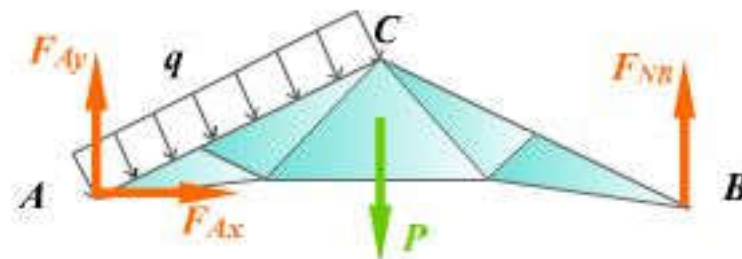
解: 取屋架 画出简图



画出主动力



画出约束力



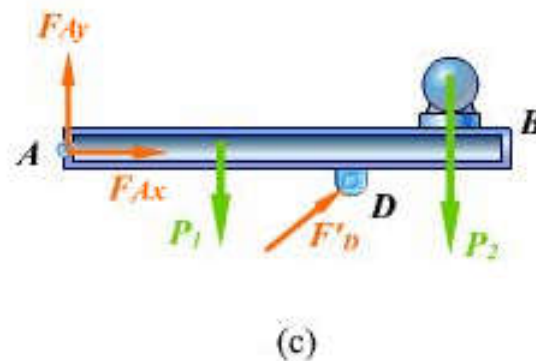
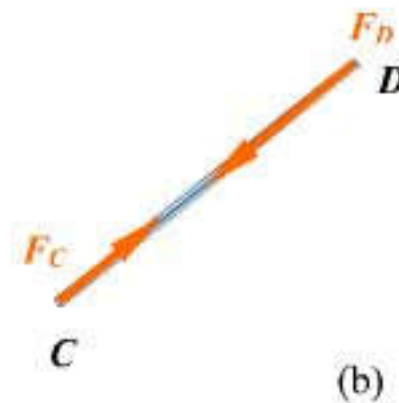
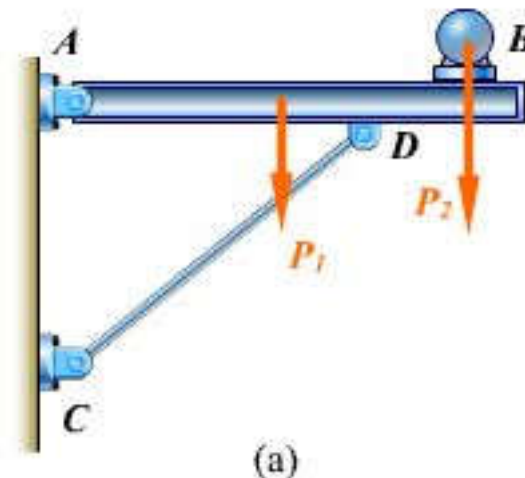
例1-3

水平均质梁 AB 重为 \vec{P}_1 ，电动机重为 \vec{P}_2 ，不计杆 CD 的自重，画出杆 CD 和梁 AB 的受力图。

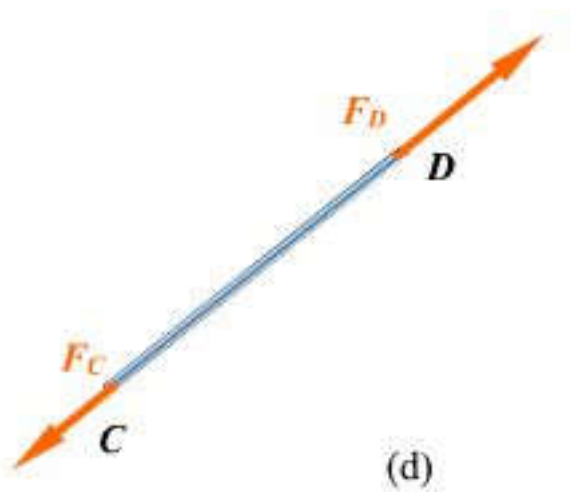
解：

取 CD 杆，其为二力构件，简称二力杆，其受力图如图(b)

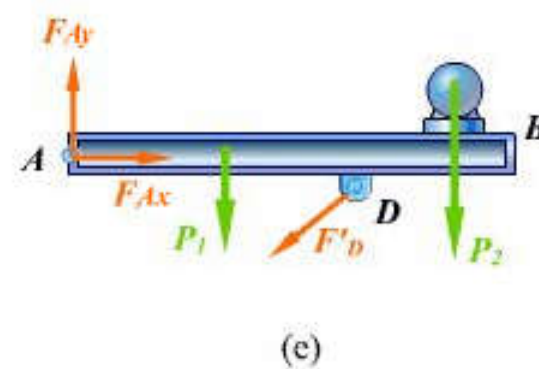
取 AB 梁，其受力图如图 (c)



CD 杆的受力图能否
画为图 (d) 所示?



若这样画, 梁 AB 的受力
图又如何改动?

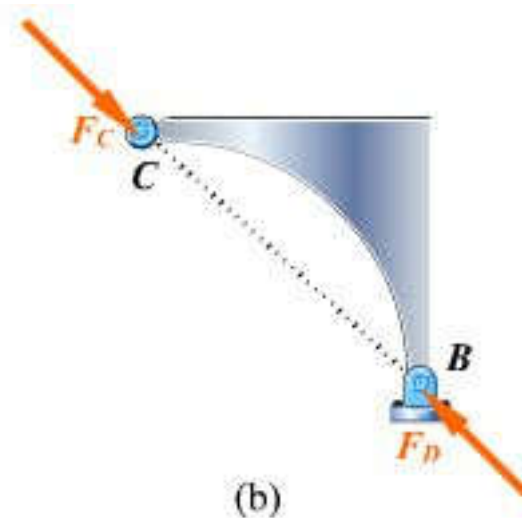
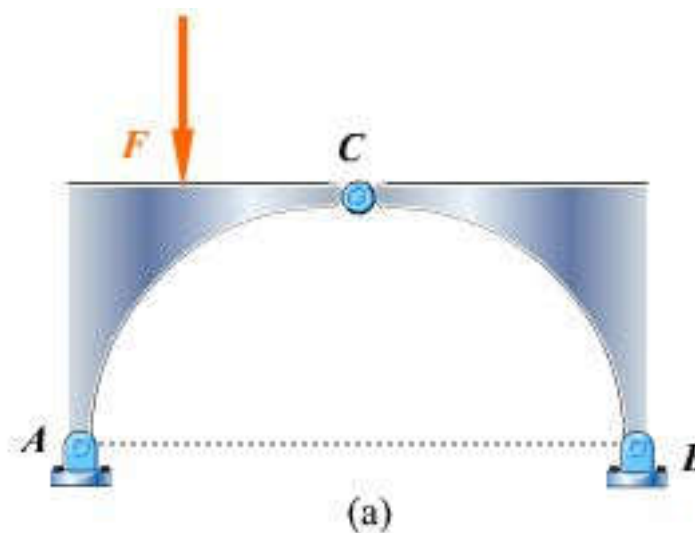


例1-4

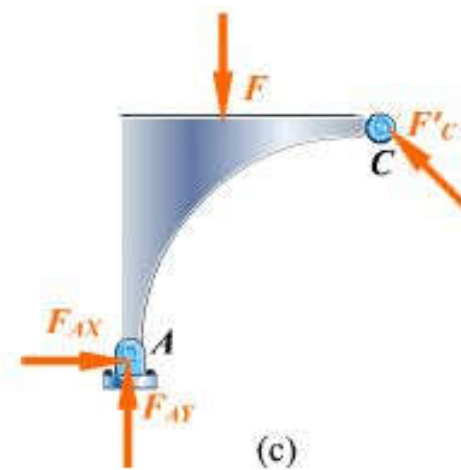
不计三铰拱桥的自重与摩擦，
画出左、右拱 AC, CB 的受力
图与系统整体受力图。

解：

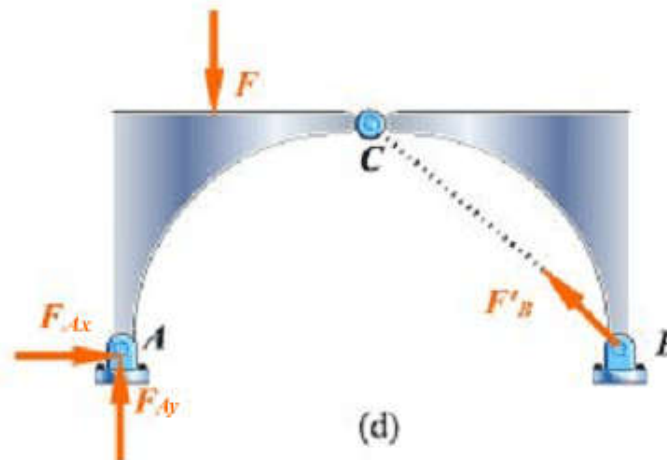
右拱 CB 为二力构件，其受力
图如图 (b) 所示



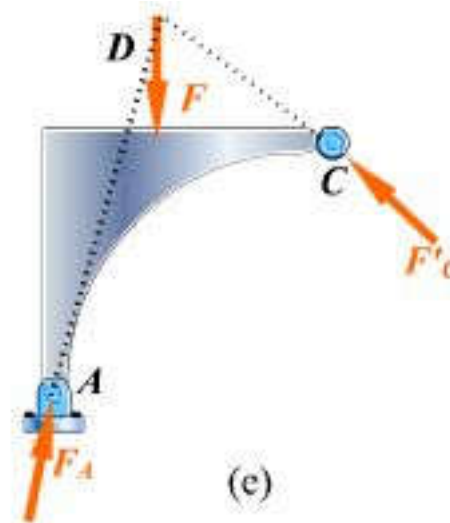
取左拱 AC , 其受力图如图
(c) 所示



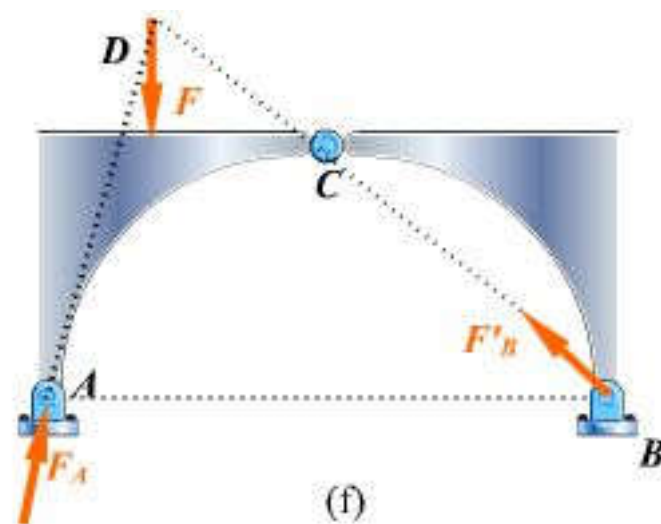
系统整体受力图如图
(d) 所示



考虑到左拱 AC 三个力作用下平衡，也可按三力平衡汇交定理画出左拱 AC 的受力图，如图 (e) 所示

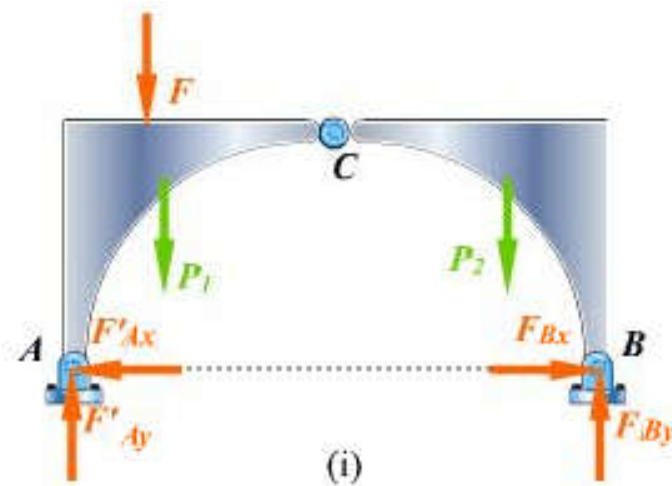
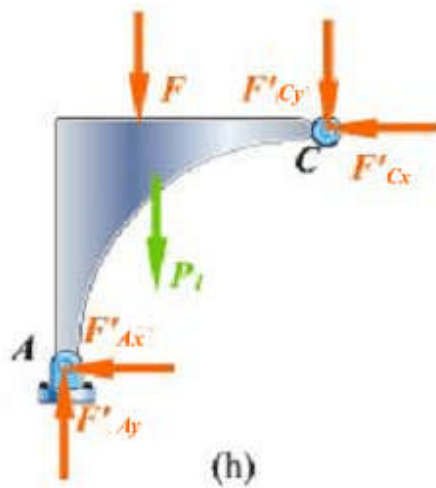
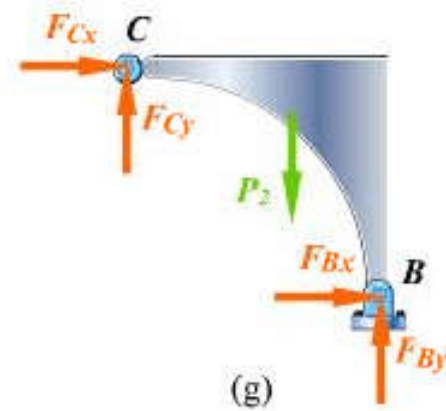


此时整体受力图如图 (f) 所示



讨论：若左、右两拱都考虑自重，如何画出各受力图？

如图 (g) (h) (i)

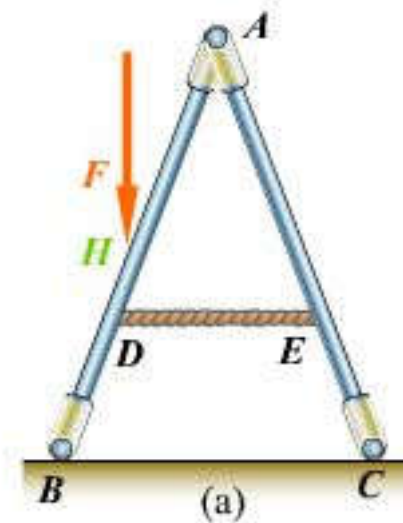


例1-5

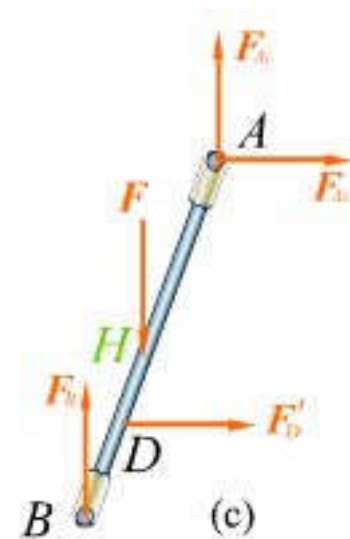
不计自重的梯子放在光滑水平地面上，画出绳子、梯子左右两部分与整个系统受力图。

解：

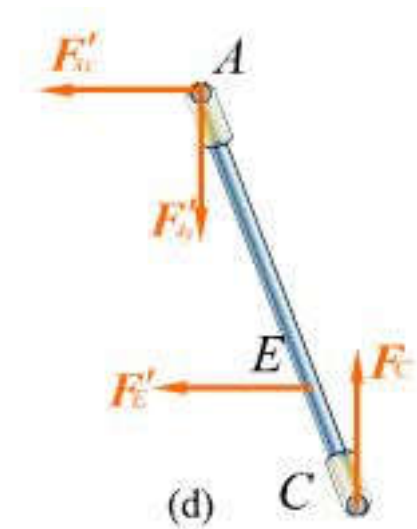
绳子受力图如图 (b) 所示



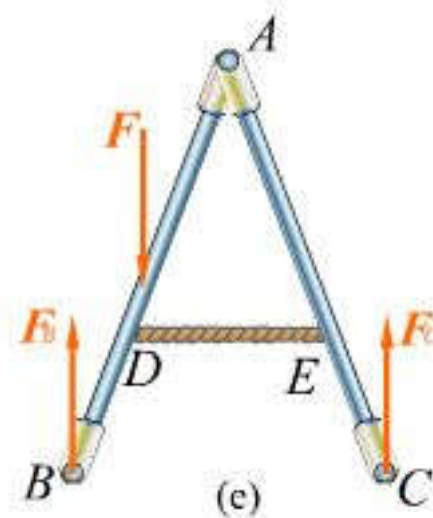
梯子左边部分受力图
如图 (c) 所示



梯子右边部分受力图
如图 (d) 所示



整体受力图如图 (e) 所示



提问：左右两部分梯子在 A 处，绳子对左右两部分梯子均有力作用，为什么在整体受力图没有画出？

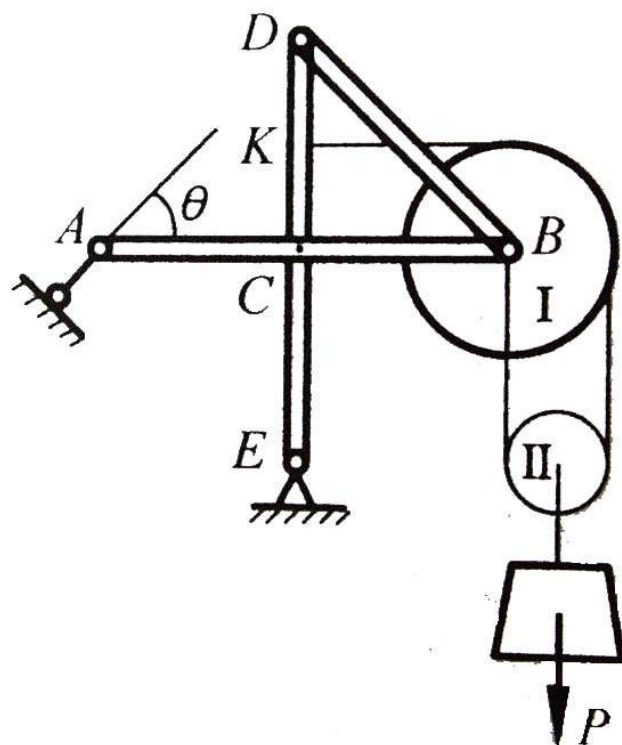
受力分析中应注意的问题：

- 1、明确研究对象；
- 2、只能画出施力物体对研究对象作用的力；
- 3、核心问题是如何分析约束反力；
- 4、二力构件？三力平衡汇交？
- 5、根据作用力与反作用力（或解除约束的个数）
检验力是否多画或少画。

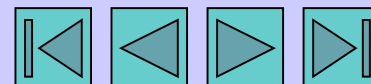
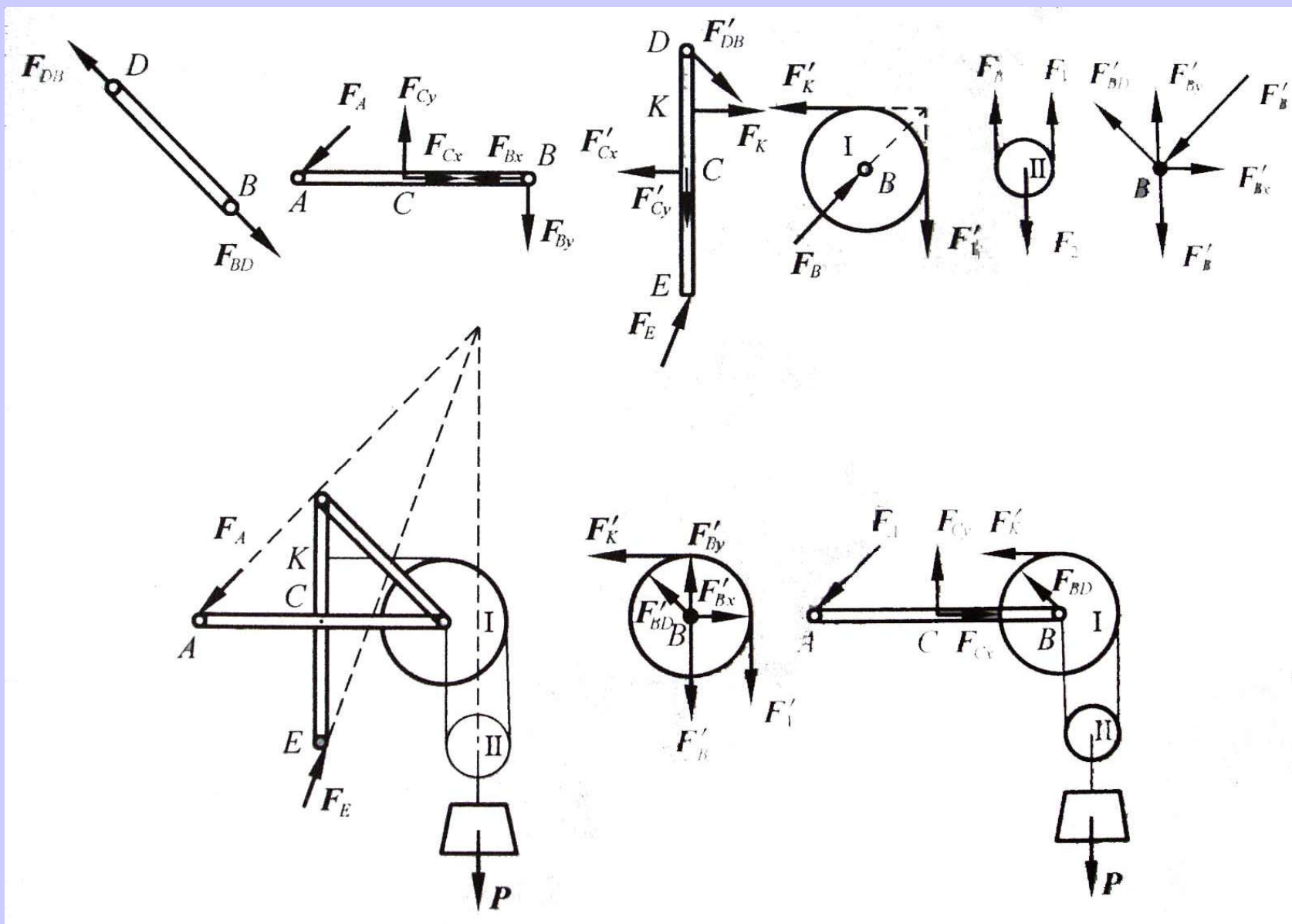
练习

图示结构，画出

- (1) 各个构件、销钉B及整体的受力图；
- (2) 带销钉B的滑轮I的受力图；
- (3) 杆AB、重物、两滑轮和绳为一整体的受力图。



解:



思考：

第1章 思考题

作业：

**习题1-1 (abcf) 、 1-2
(bcdhilmno) 、 1-3 (cef)**

