

机械设计基础

第一章 平面机构的自由度和速度分析

本章主要内容

- 1 运动副及其分类
- 2 平面机构运动简图
- 3 平面机构的自由度★
- 4 速度瞬心及其在机构速度分析上的应用

要解决的问题

- 1 **鉴别**：如何判断一些构件的组合是否具有确定的运动？是否成为机构？即研究构件组合体的可动性和运动确定性。
- 2 **设计**：构建怎样组合才能构成一个具有确定运动的机构？
- 3 **表示**：为了便于分析和研究，有必要用简单的线条和符号来表示机构。
- 4 **分析**：如两个回转件间的角速度比、直移构件的运动速度等

机构 { 平面机构 所有构件都在相互平行的平面内运动
空间机构 至少有两个构件能够在三维空间中相对运动

目前工程中常见的机构大多属于平面机构，因此，本章只讨论平面机构

机构的组成要素——构件、运动副

研究机构运动的模型——机构运动简图

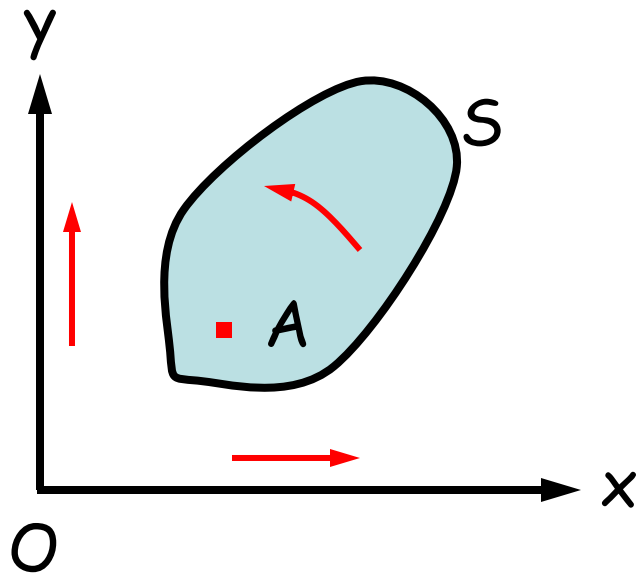
研究机构运动合理性的工具——自由度计算

研究机构运动特性的工具——瞬心法求速度

§ 1-1 运动副及其分类

自由度 (Degree Of Freedom, DOF) 的定义

构件相对于参考系所具有的独立运动称为构件的自由度

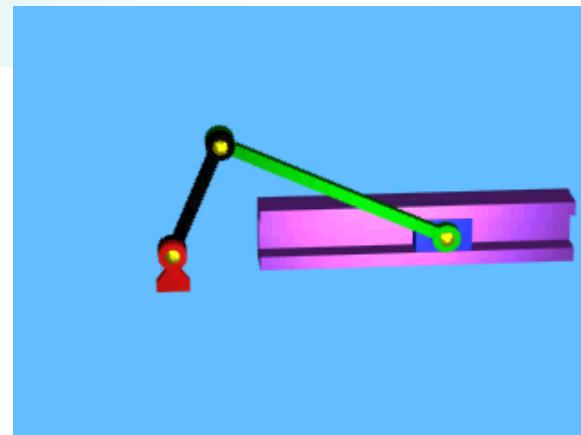


一个做平面运动的自由构件
具有三个独立运动，即
 $DOF=3$

运动副（Kinematic Pairs）的定义

两构件之间直接接触形成的可动连接

- 两个构件对应一个运动副
- 直接接触，产生约束
- 能产生相对运动

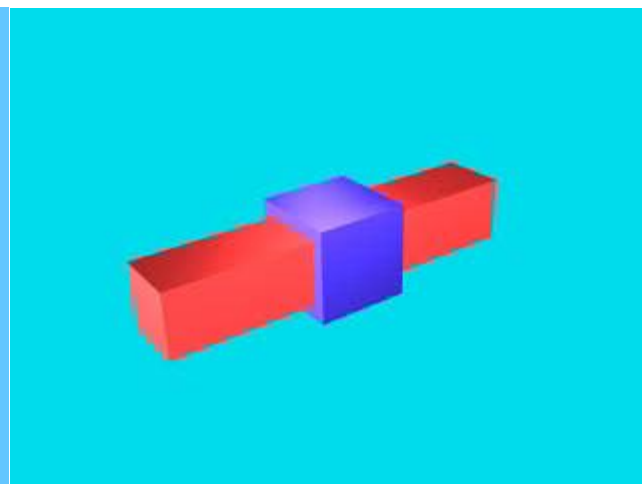
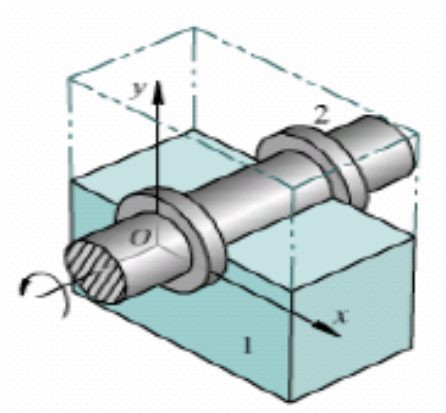


接触形式及分类：

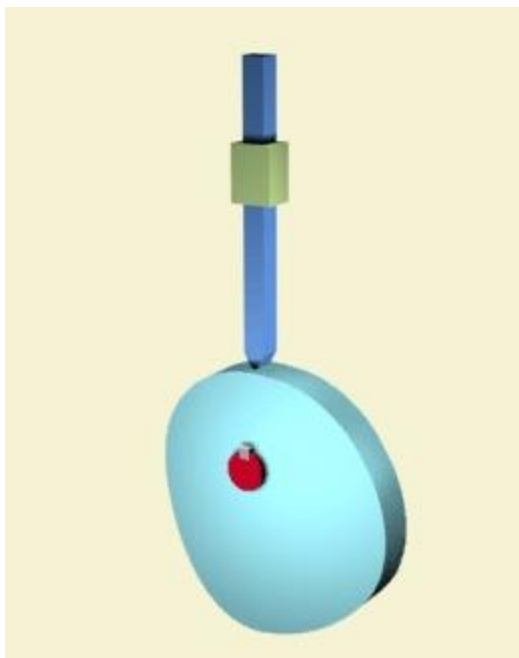
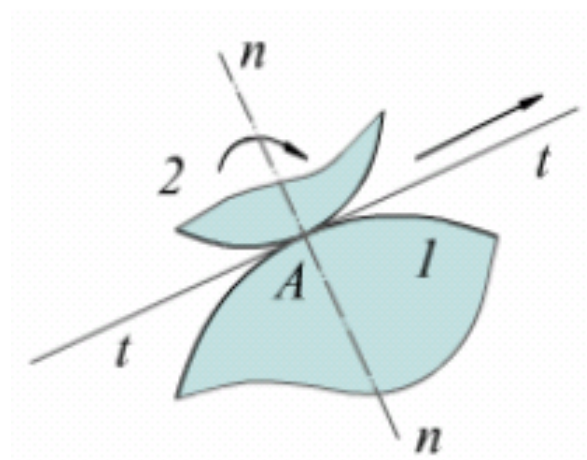
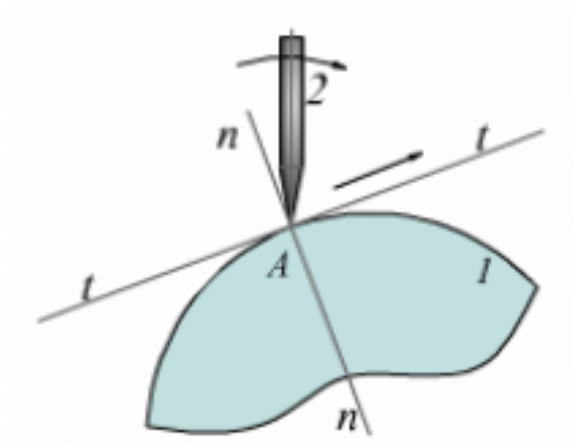
运动副	{	低副： 面接触， 耐磨损， 承载能力高
		高副： 点或线接触， 易磨损， 承载能力低

1 低副

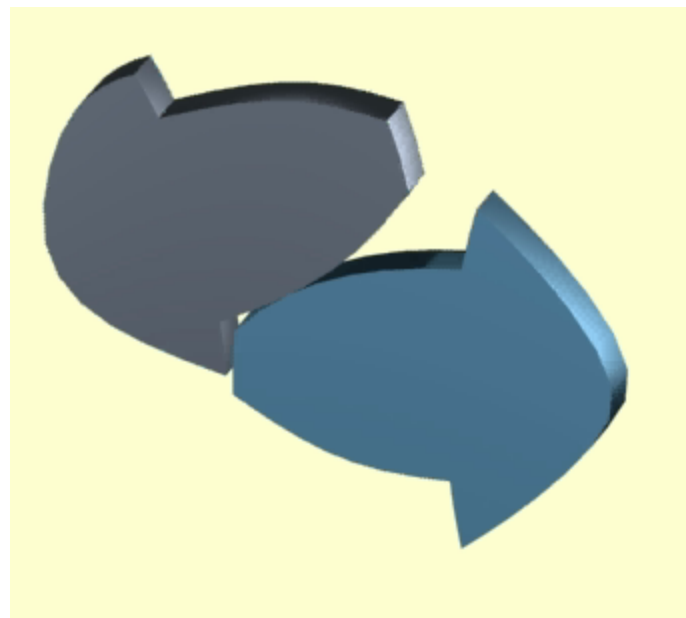
低副 { 转动副(铰链) 两构件之间只能做相对**旋转**运动
移动副 两构件之间只能做相对**移动**运动



2 高副

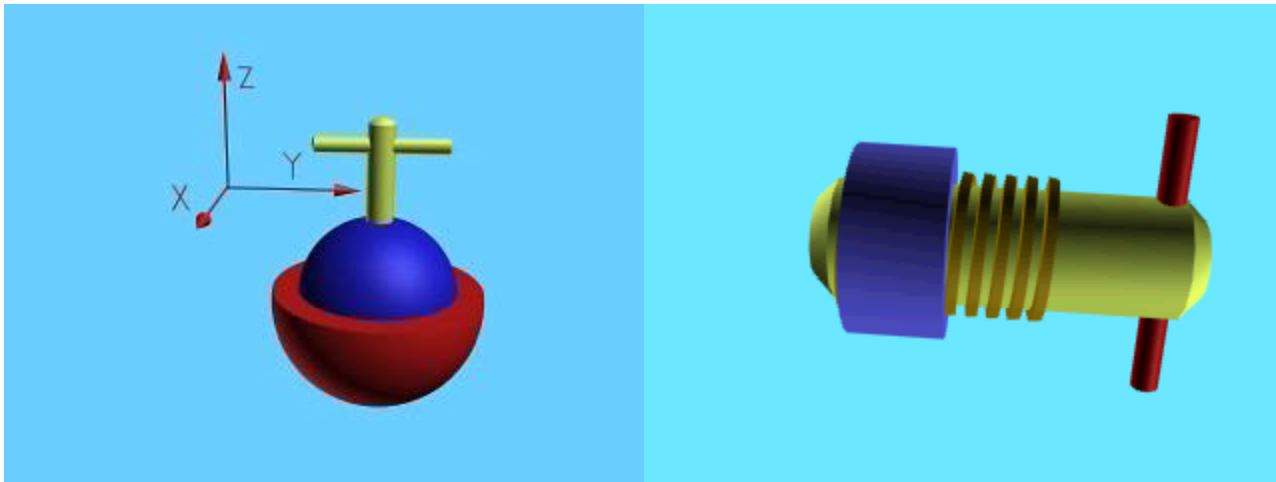


凸
轮
副



齿
轮
副

3 常见空间运动副（超出本章研究范围）



§ 1-2 平面机构运动简图

一 引入机构运动简图的原因

实际机构往往由外形和结构都很复杂的构件所组成。但构件的运动只取决于运动副的类型和机构的运动尺寸（各运动副相对位置尺寸），与构件的外形、断面尺寸、组成构件的零件数目、固联方式及运动副的具体结构等无关。因此，为了便于研究机构的组成原理和运动，可以不考虑构件、运动副的外形和具体构造，只用简单的线条和规定的符号代表构件和运动副，并按比例确定各运动副的位置，表示机构的组成和传动情况。

二 机构运动简图的定义

用简单的线条和规定的符号来代表构件和运动副，按一定比例表示各运动副的相对位置。

机构运动简图 and 原机构具有相同的运动特性。

机构示意图 ---- 不按比例绘制

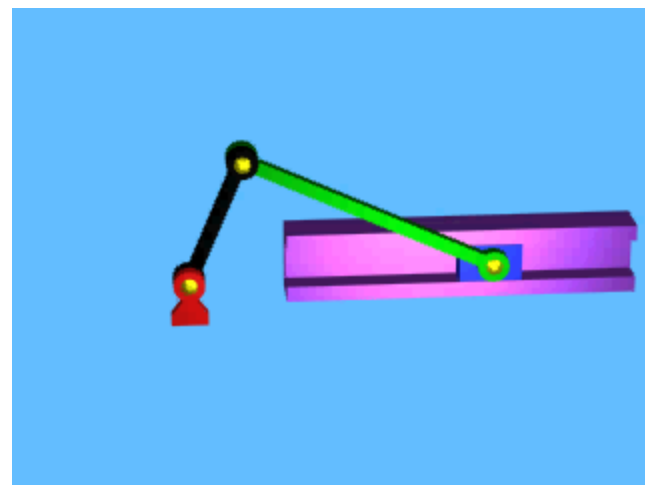
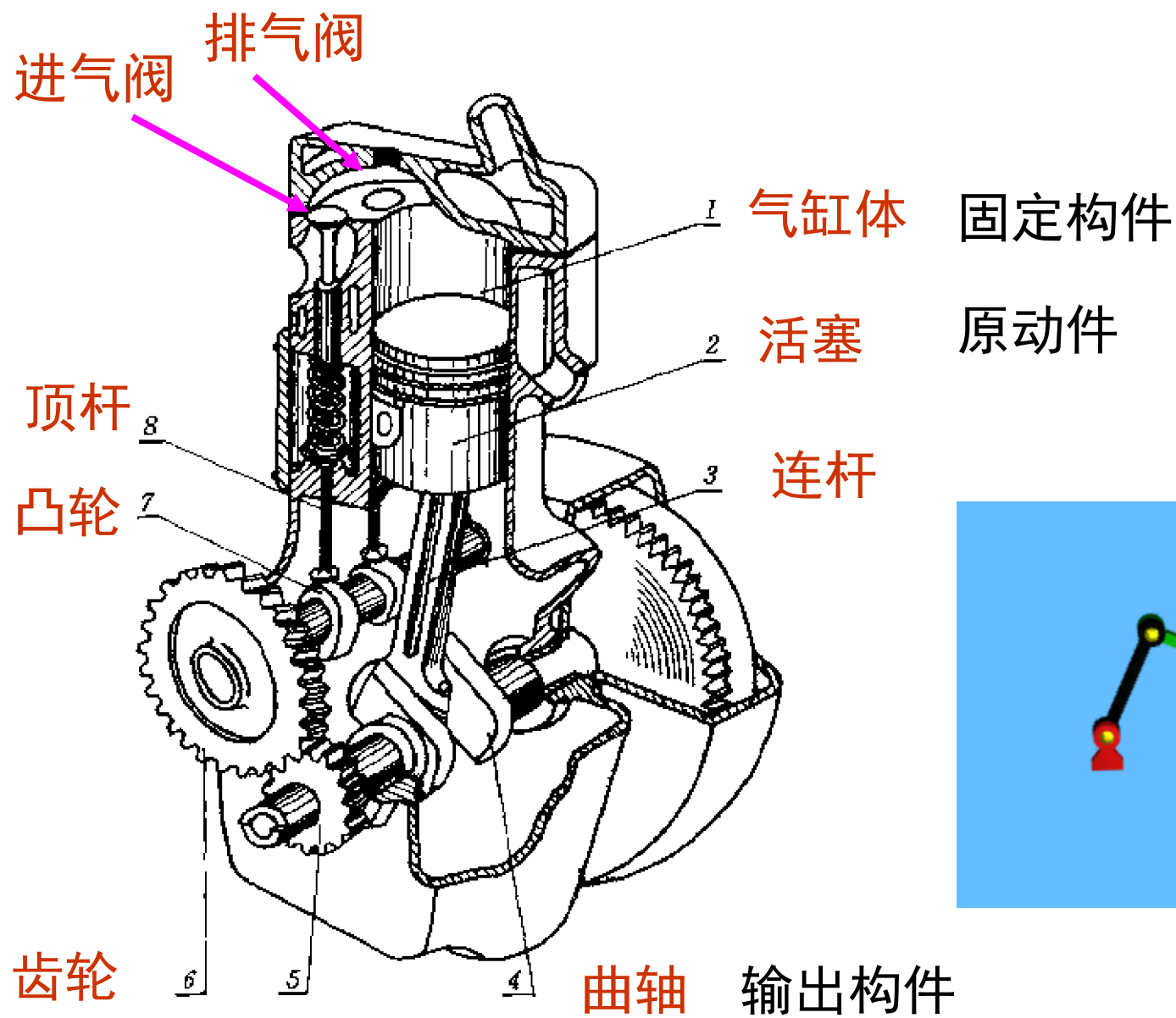
三 机构运动简图的作用

是机构分析和设计的工具

四 机构中构件的分类

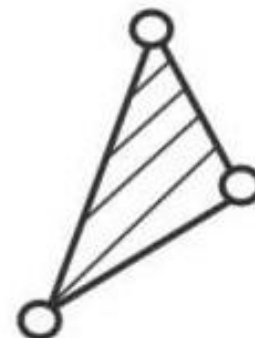
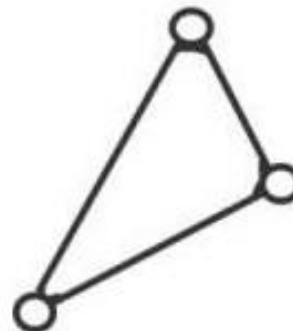
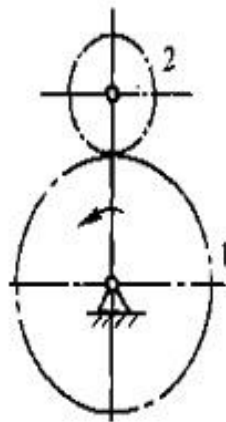
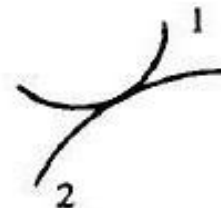
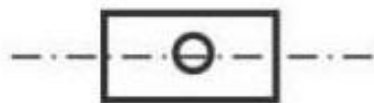
分为三类：

- 1) **固定构件（机架）**：用来支承活动构件的构件。在研究机构中活动构件的运动时，常以固定构件作为参考坐标系；
- 2) **原动件（主动件）**：运动规律已知（外界输入）的构件；
- 3) **从动件**：机构中其余的活动构件。其中输出预期运动的从动件称为**输出构件**。

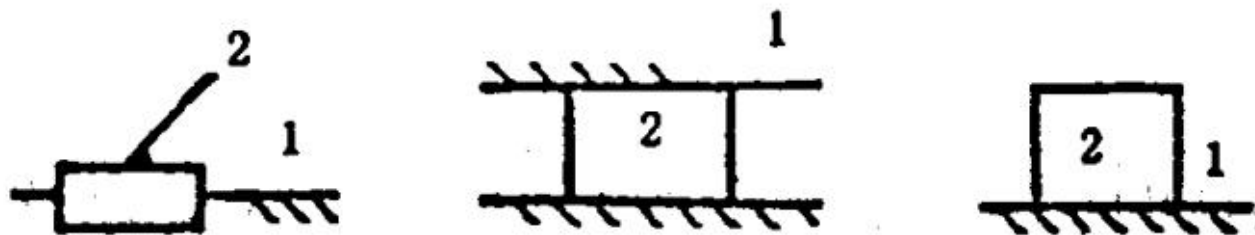


构件的表示方法

用简单线条、块体、圆、盘形和组合体等来抽象表达。

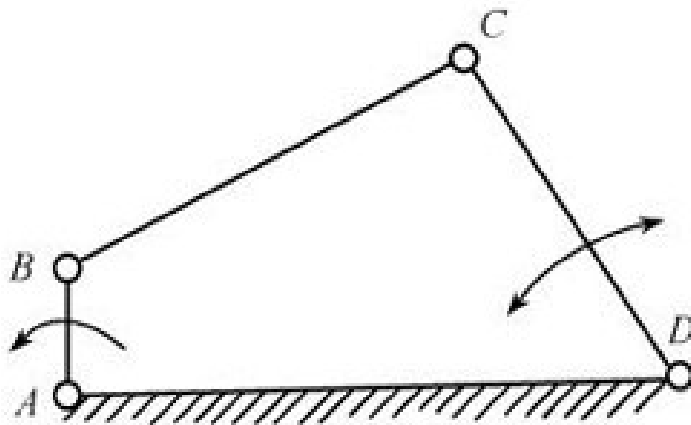


机架：构件标识上加**平行细斜线**



注意：一个机构运动简图中含有多个机架符号，**只计一个构件。**

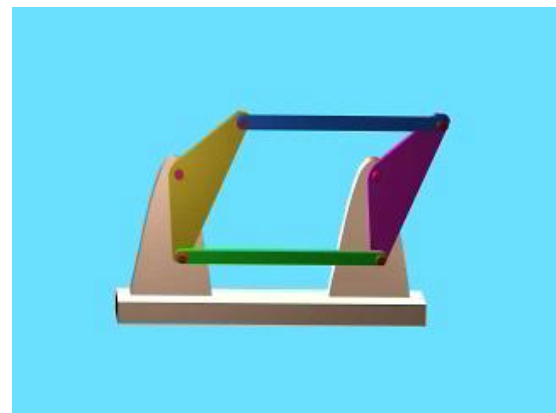
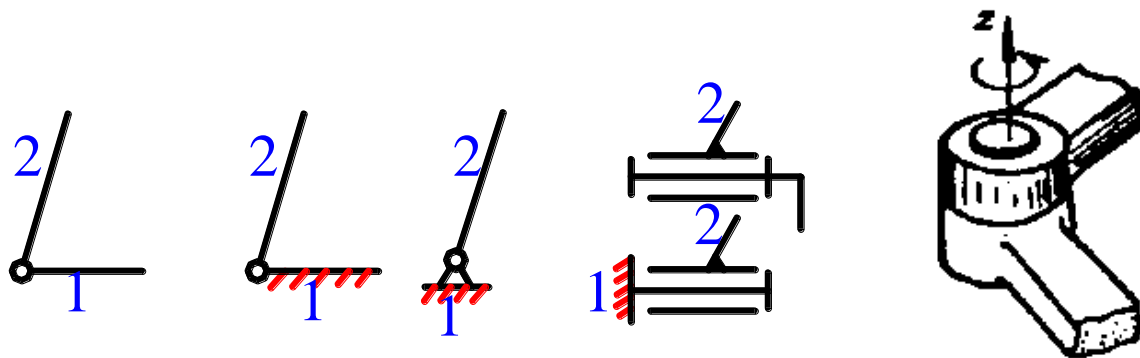
原动件：构件标识上加**运动方向**。



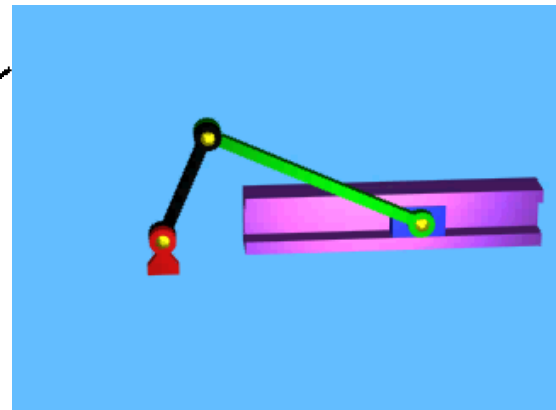
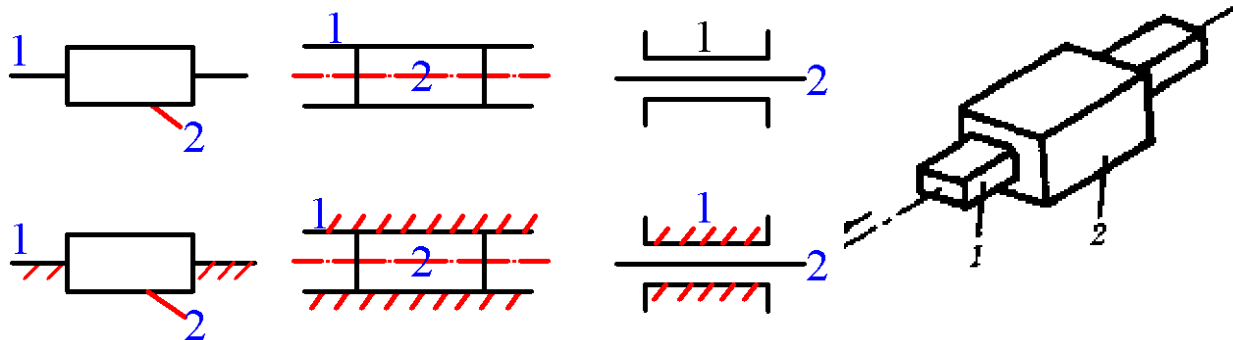
五 机构运动简图中运动副的表示方法

运动副：两构件直接接触的可动连接部分。

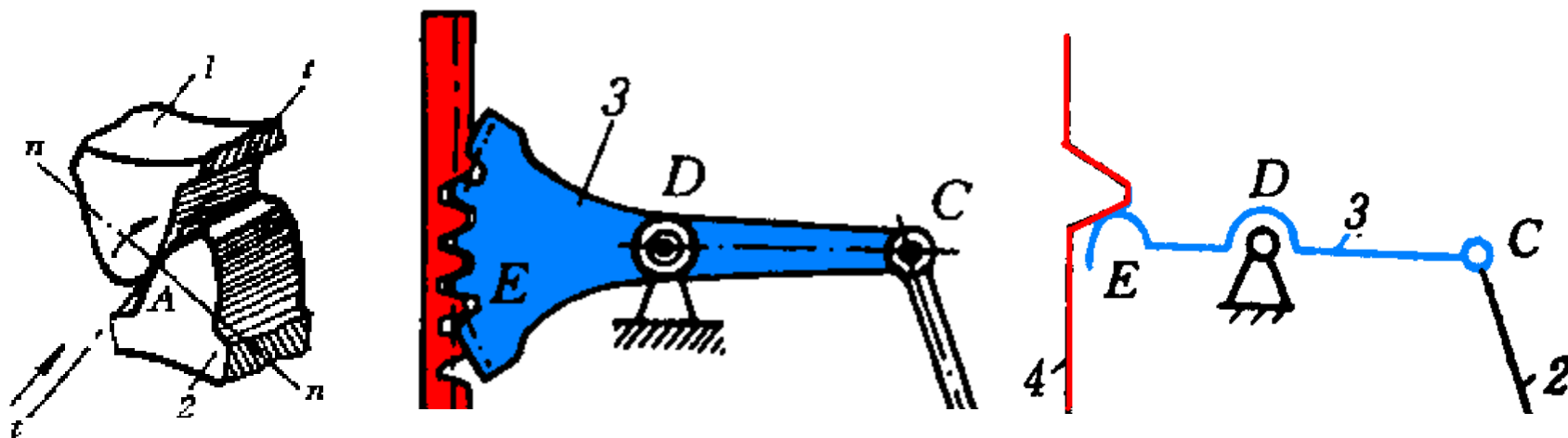
1) 转动副



2) 移动副



3) 高副：应画出接触处的曲线轮廓



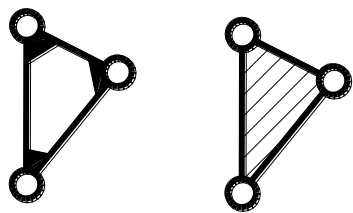
六 机构运动简图中构件的表示方法



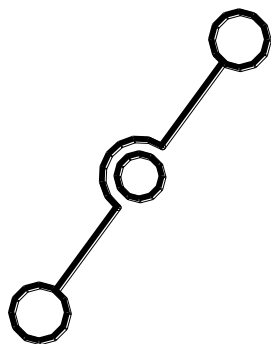
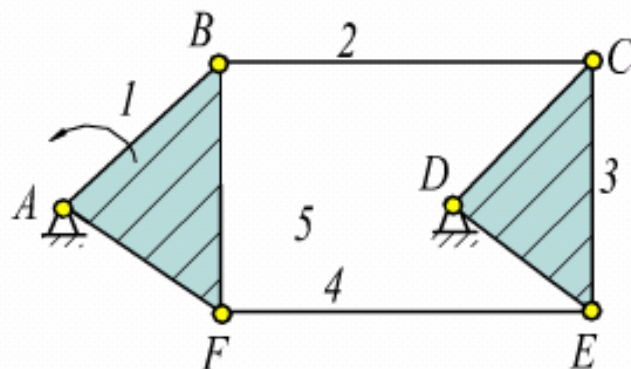
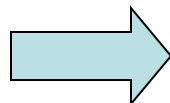
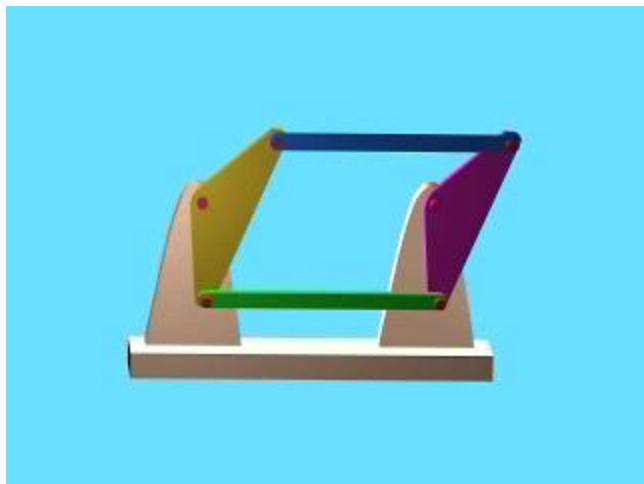
参与组成两转动副的构件



一个转动副+一个移动副的构件



参与组成三个转动副的构件

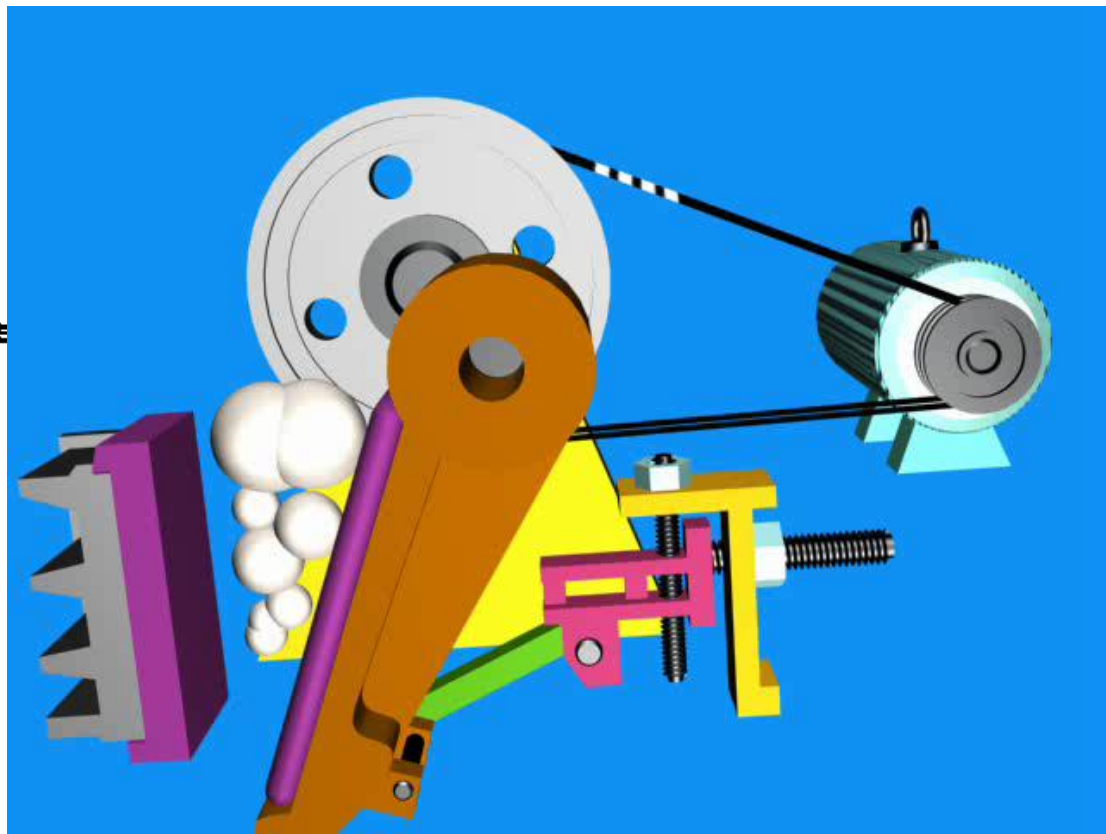
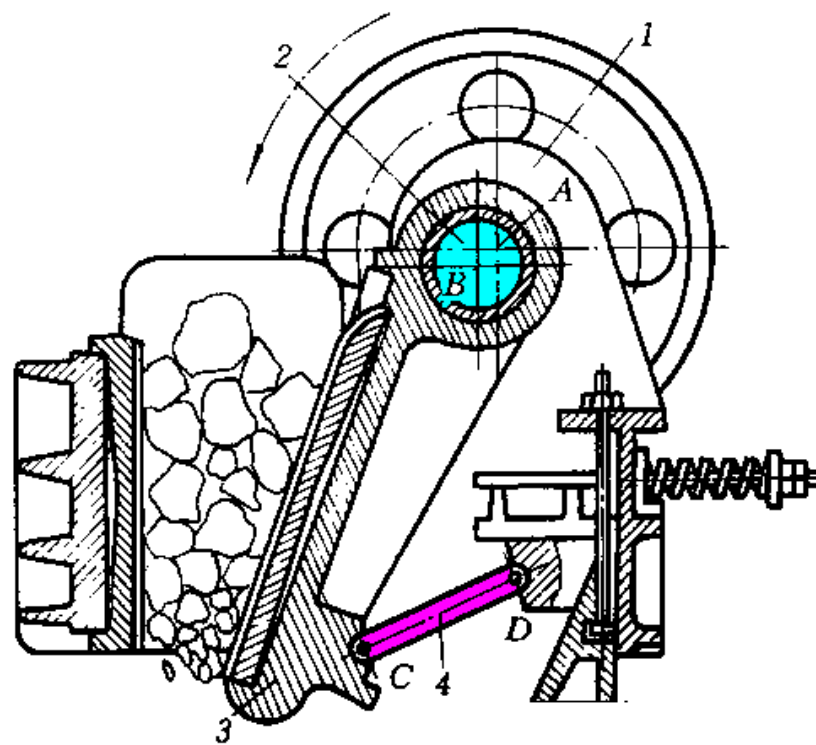


三个转动副在一直线上

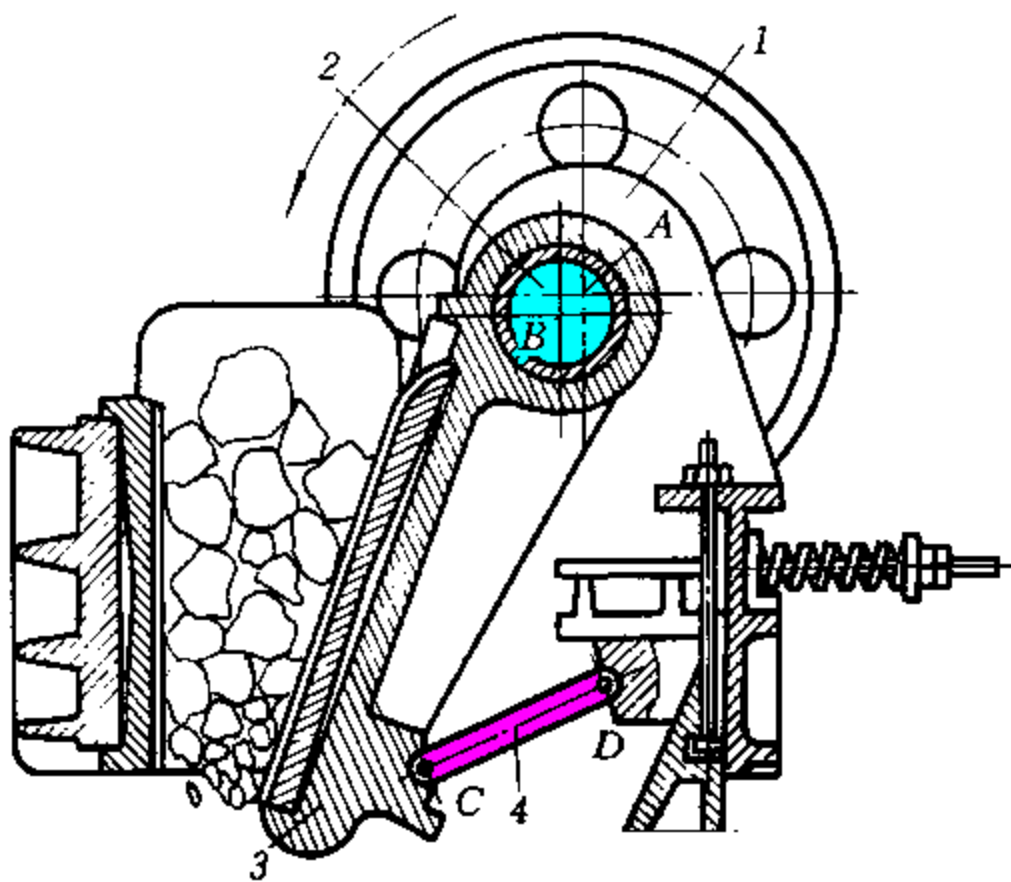
引入运动副的目的：对构件进行“**约束**”，使构件间保持一定的相对运动。

七 机构运动简图的绘制步骤

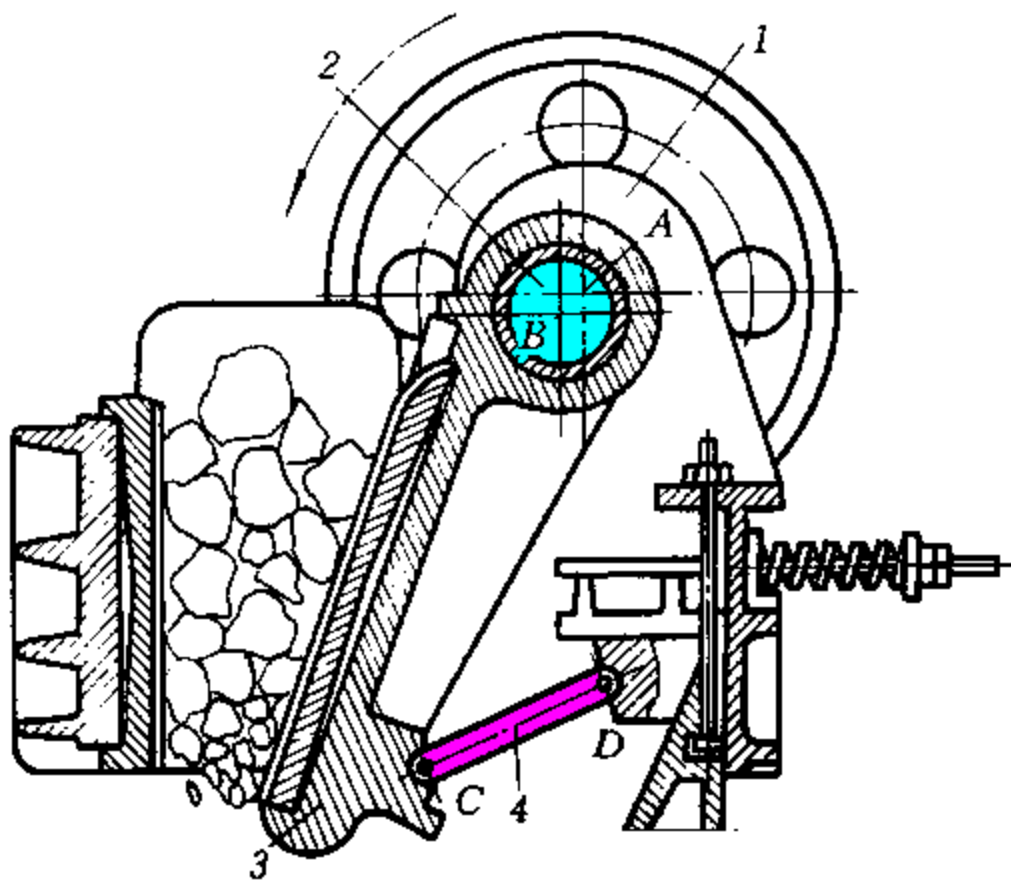
- 1) 分析机械的运动原理和结构情况，确定其原动件、机架、执行部分和传动部分，确定机构中含有多少构件。



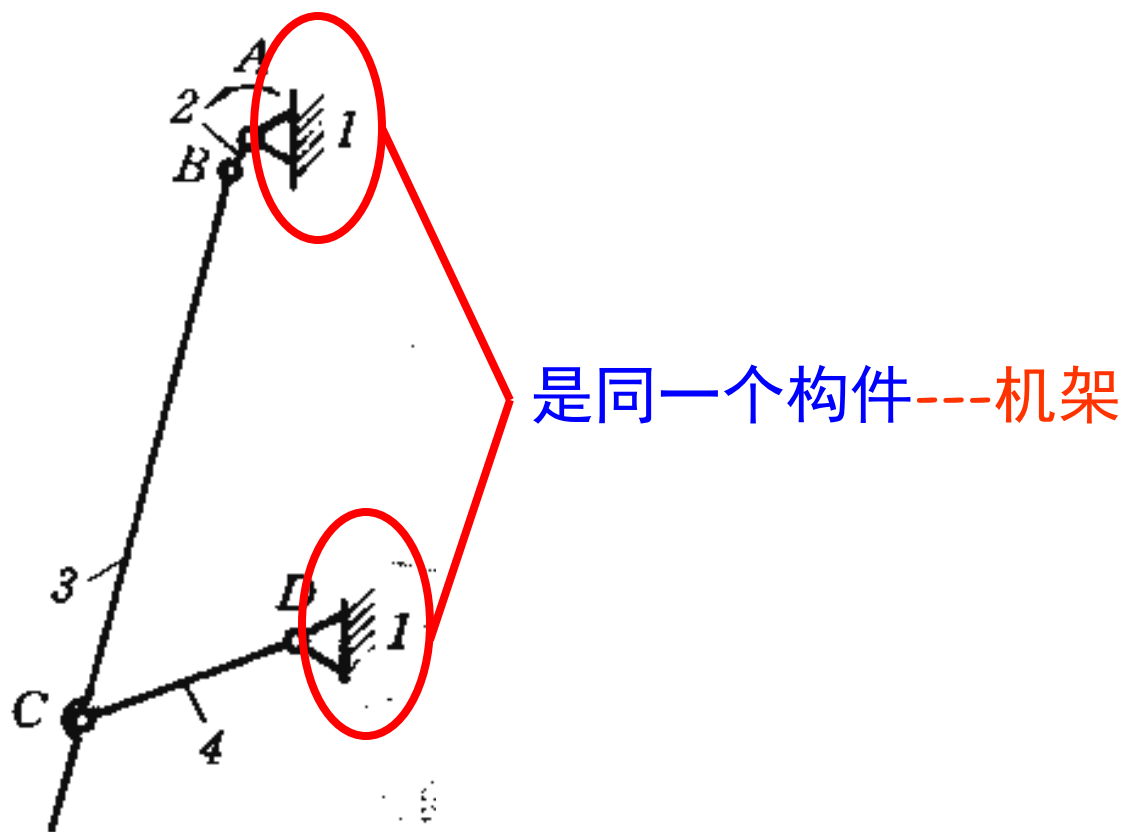
2) 沿着运动传递路线，逐一分析每个构件间的相对运动形式，
确定各构件间的运动副。



3) 恰当地选择视图平面，通常可选择机械中多数构件的运动平面为视图平面。



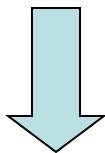
- 4) 选择适当的比例尺，定出各运动副的相对位置，用构件和运动副的规定符号绘制机构运动简图。
- 5) 从原动件开始，按传动顺序标出各构件的编号和运动副的代号。在原动件上用箭头表示其运动方向。



注意：

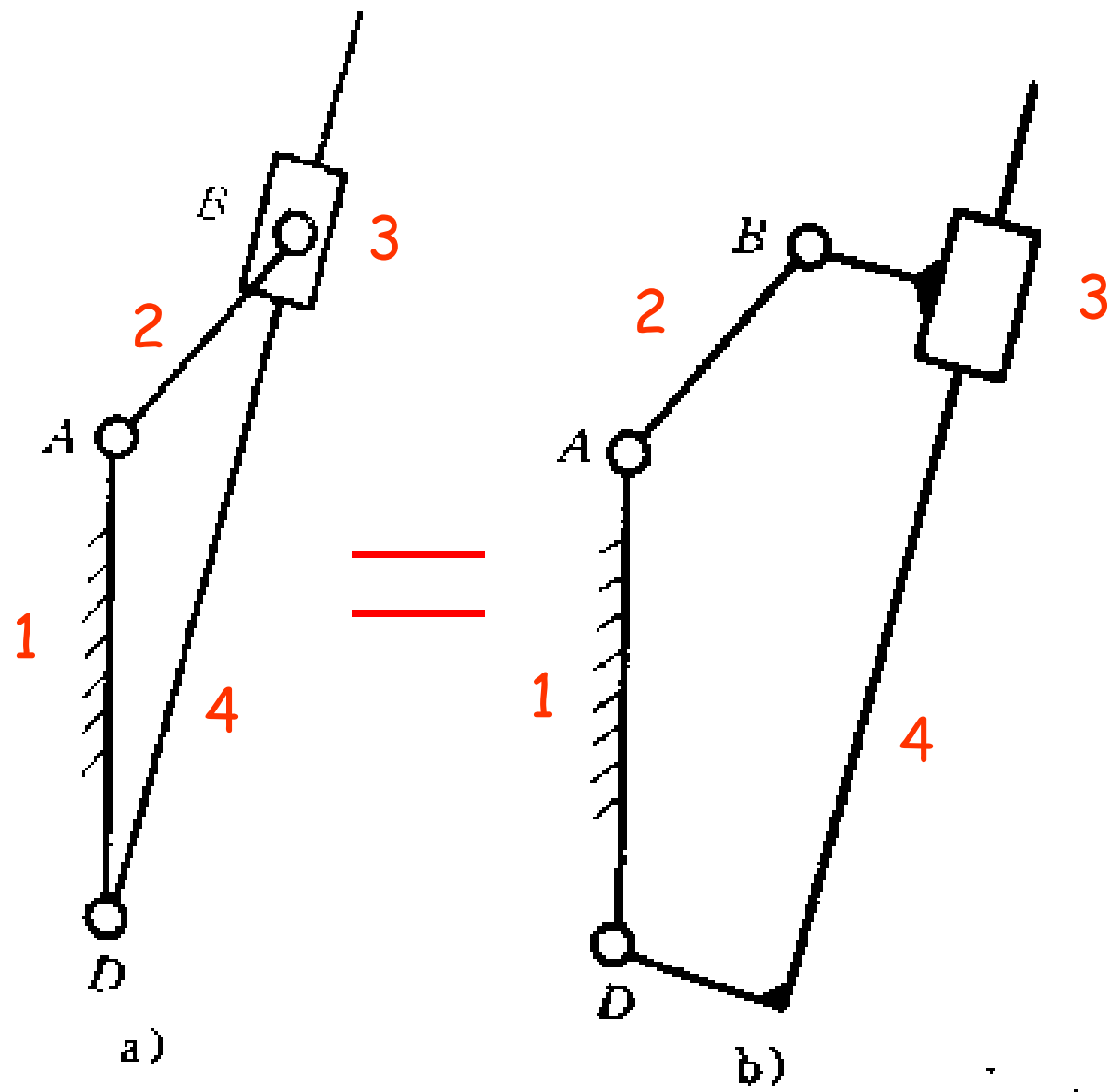
简图中只要求移动副的导路方向与相对移动方向一致，而导路的具体位置则不受限制；

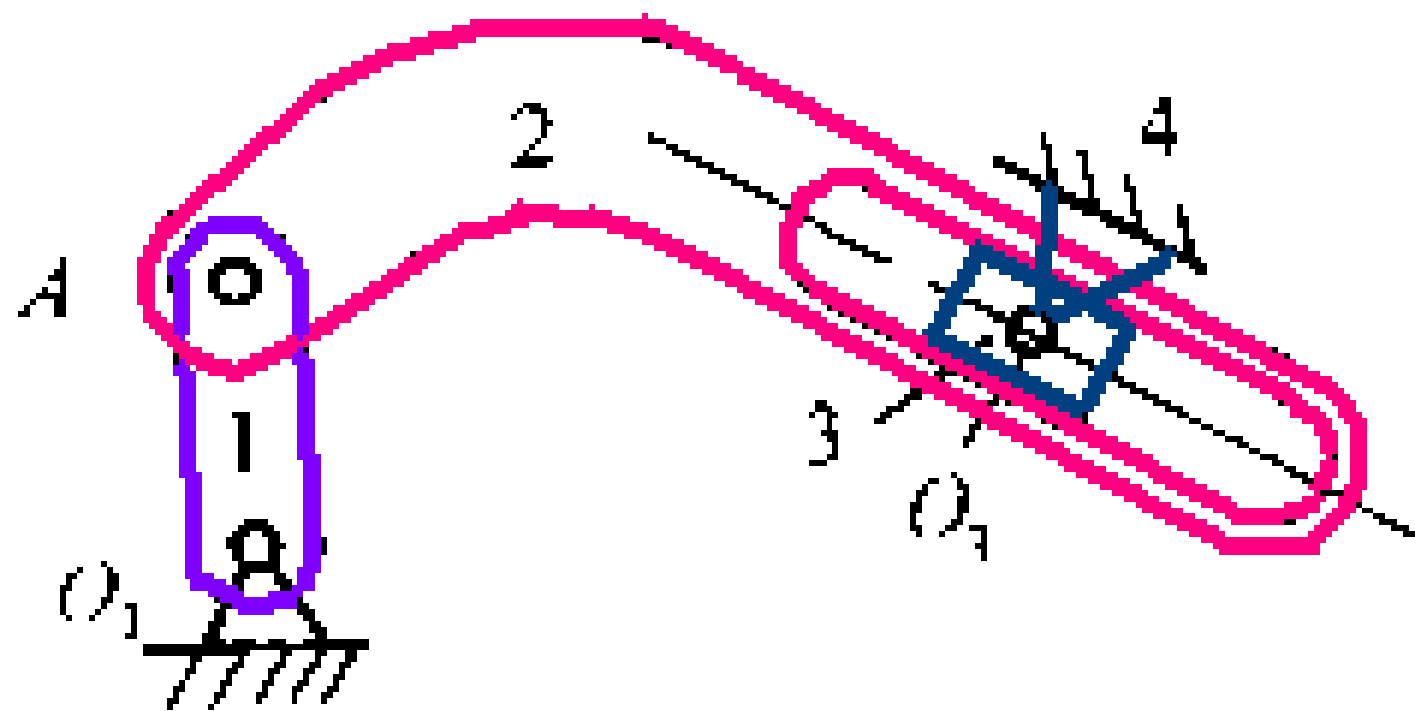
对于哪个构件上的移动副以长方框或直线表示也未作统一规定。



移动副的表示方法因人而异，同一机构可以有不同的简图，但本质上它们是同一个机构。

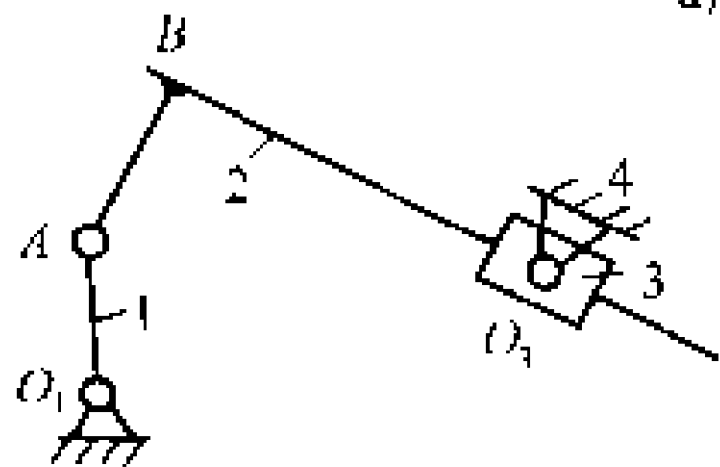




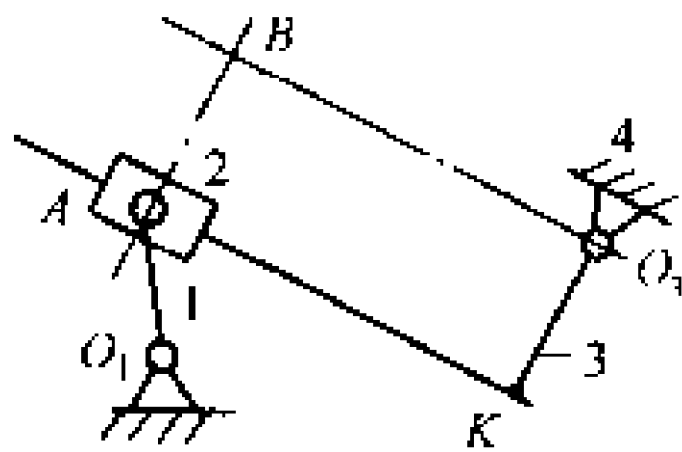
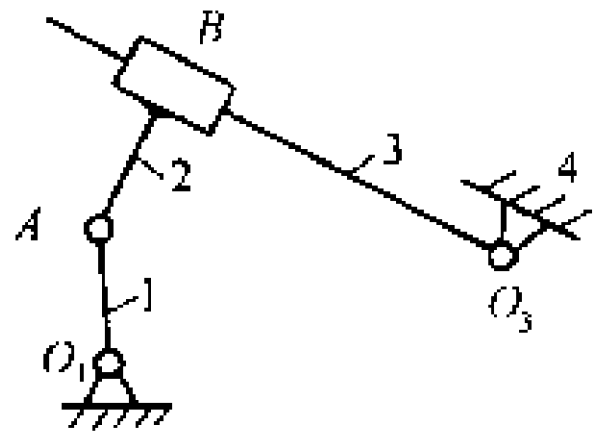
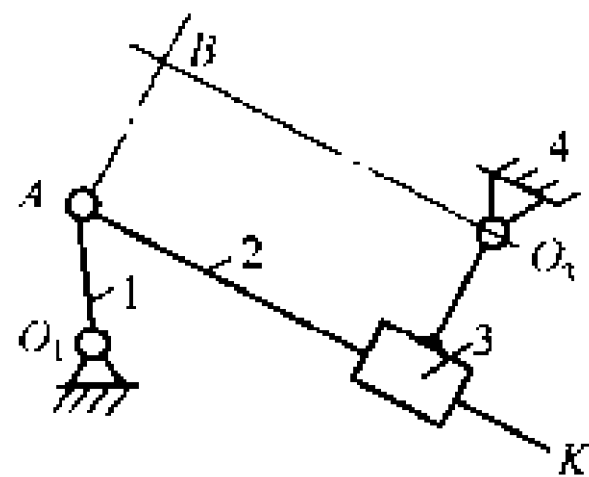


a)

a)



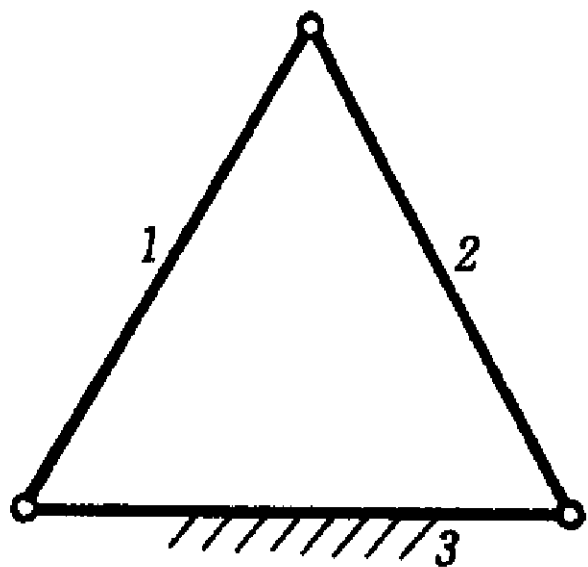
c)



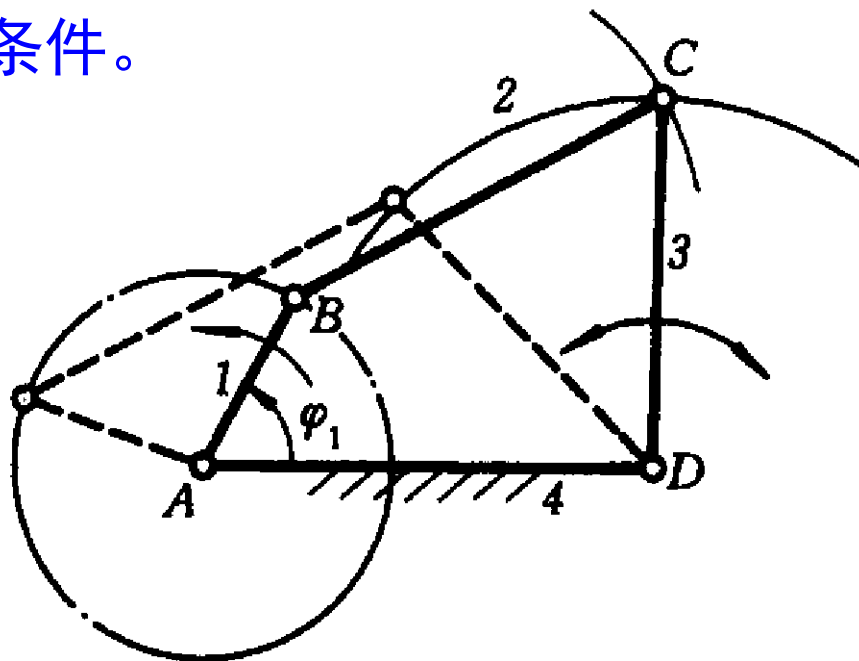
§ 1-3 平面机构的自由度★

研究平面机构自由度的目的：

讨论机构具有**确定运动**的条件。

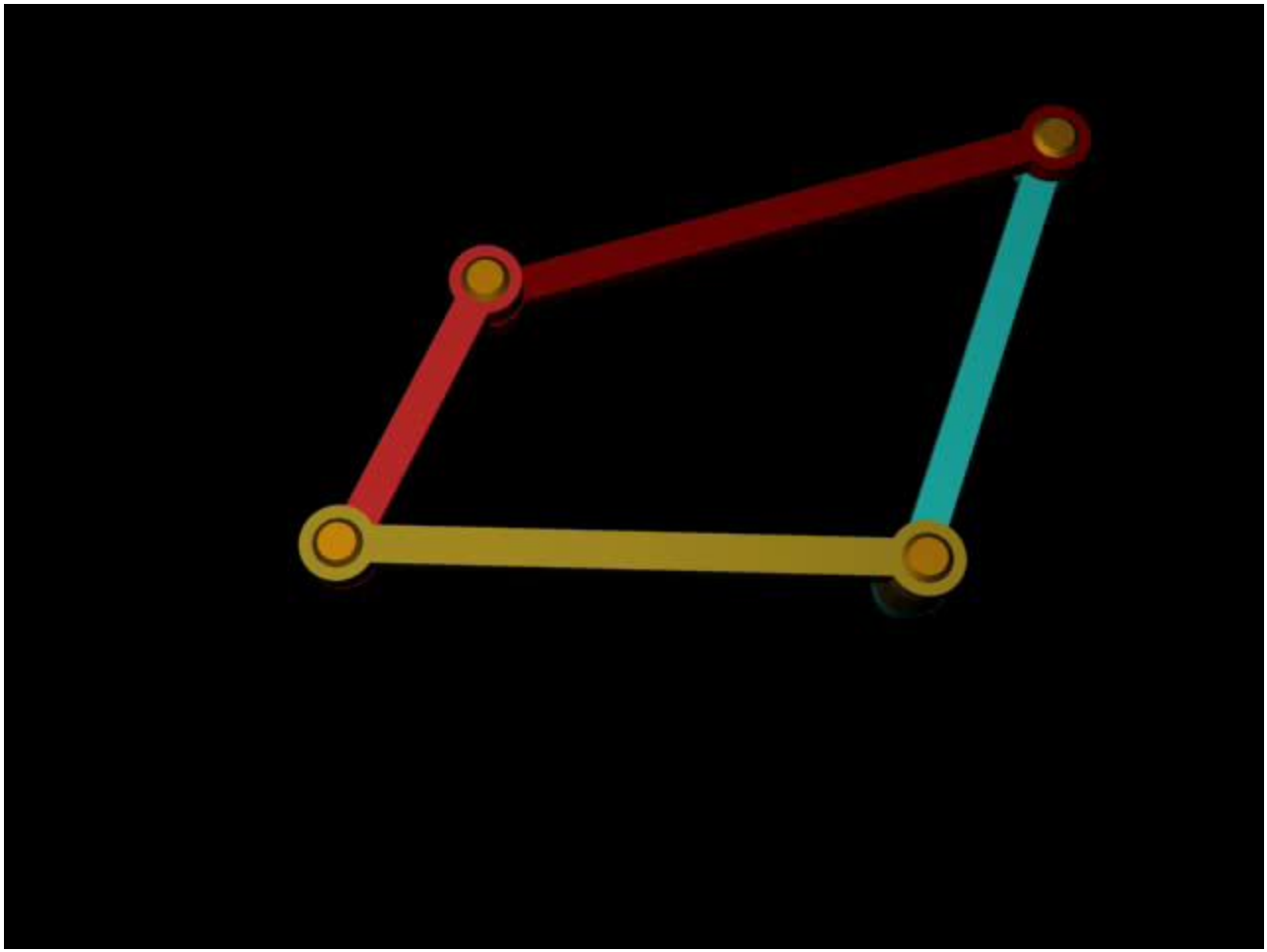


不能产生运动

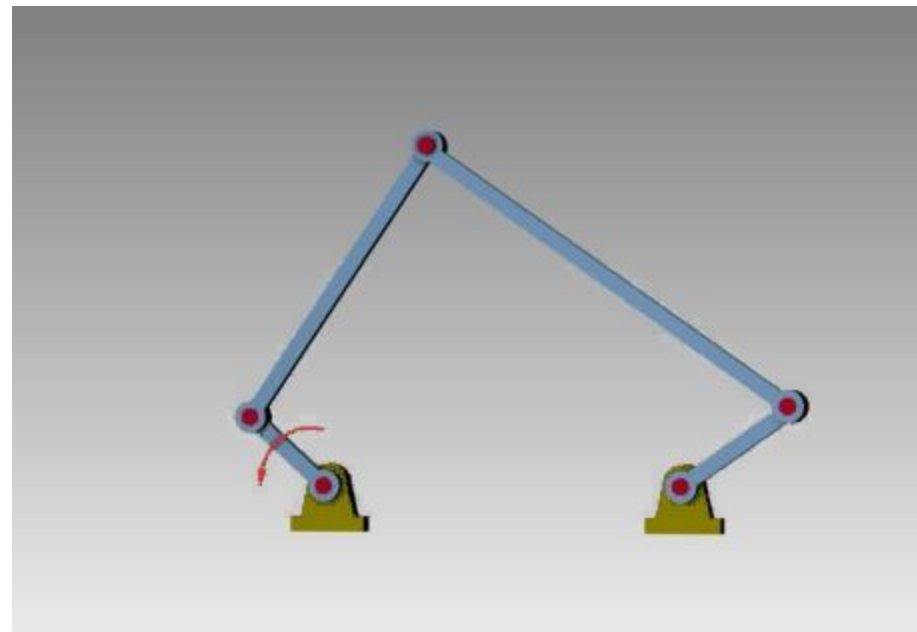


给定构件1运动参数 $\varphi_1 = \varphi_1(t)$

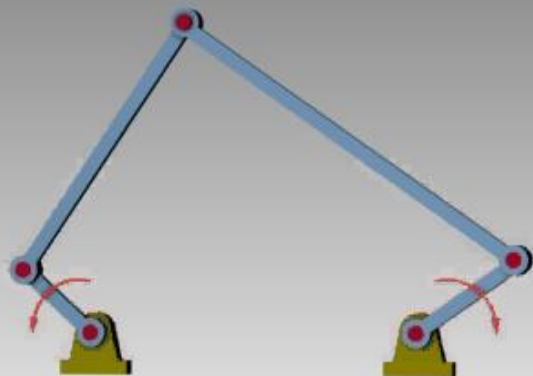
构件2、3的运动是确定的



给定构件1运动参数 $\varphi_1 = \varphi_1(t)$ ，构件2、3、4的运动是不确定的



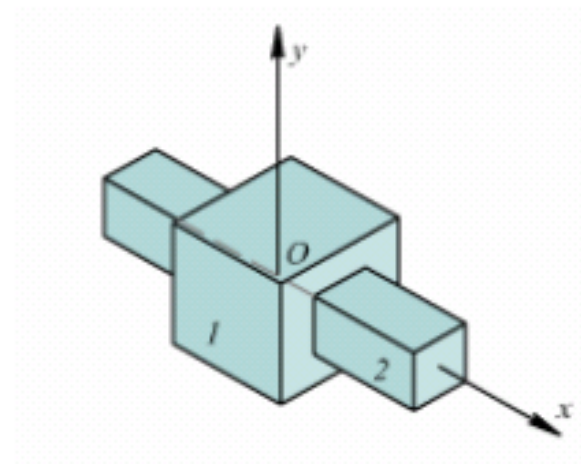
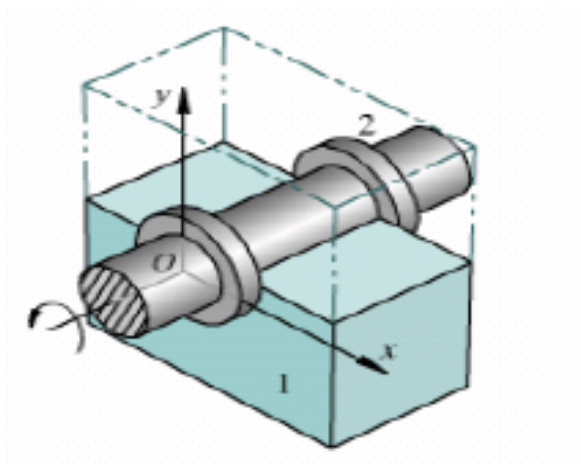
再给定构件4运动参数 $\varphi_4 = \varphi_4(t)$ ，构件2、3的运动是确定的



一 平面机构自由度计算公式

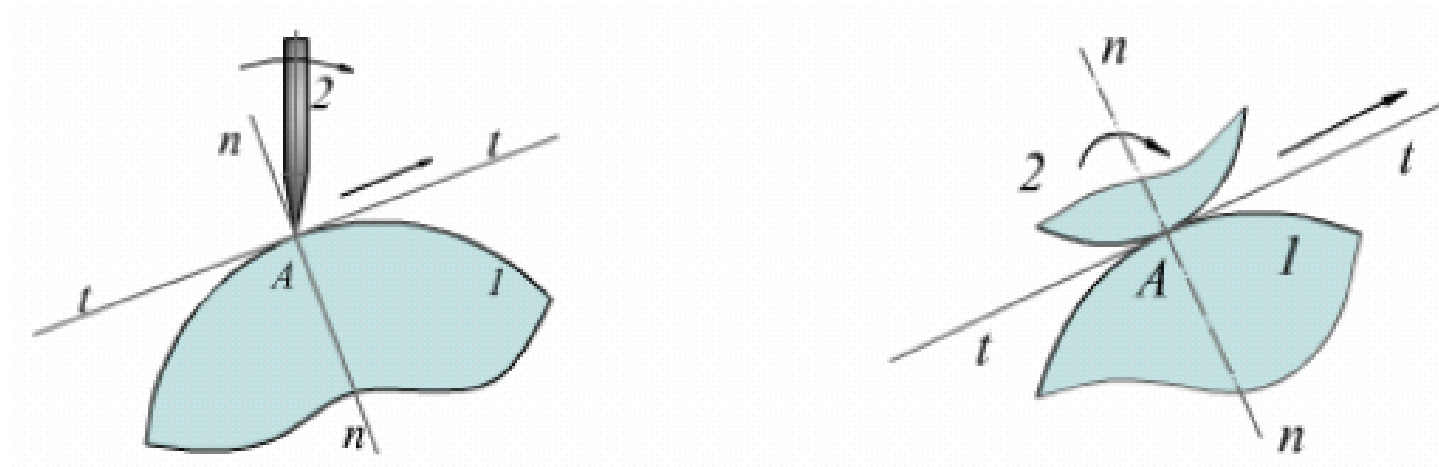
一个作平面运动的自由构件有三个自由度。当两个构件组成运动副之后，它们的相对运动就受到约束，使得某些独立的相对运动受到限制。对独立的相对运动的限制，称为约束。约束增多，自由度就相应减少。由于不同种类的运动副引入的约束不同，所以保留的自由度也不同。

1. 低副



每个低副引入两个约束，使构件失去两个自由度

2. 高副



每个高副引入一个约束，使构件失去一个自由度

机架自由度=0（固定件）

设平面结构共有K个构件，则活动构件个数为 $n=K-1$ 。

未用运动副联接之前， n 个构件共有 $3n$ 个自由度。

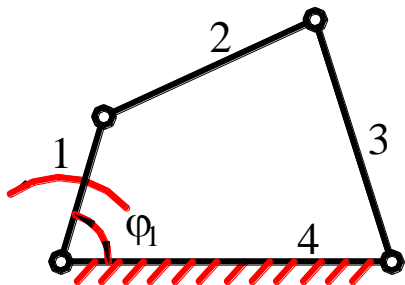
用运动副联接组成机构后，若机构中低副为 P_L 个，高副 P_H 个，
运动副引入的约束总数为： $2P_L+P_H$

所以，机构自由度

$$F=3n-2P_L-P_H$$

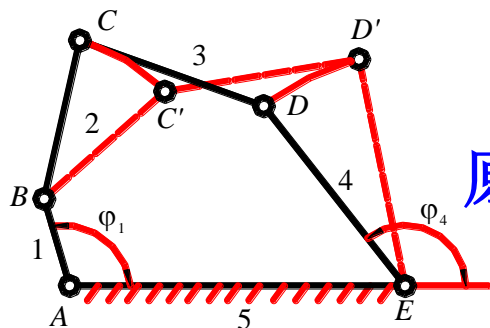
——平面机构自由度计算公式

杆1为原动件



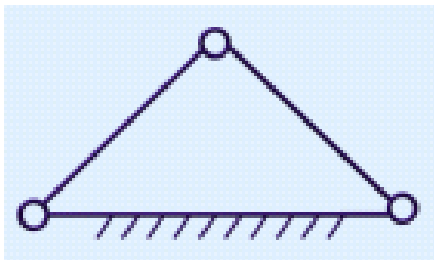
$$F = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

原动件数=机构自由度，机构运动确定



$$F = 3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$$

原动件数小于机构自由度数，机构运动不确定



$$F = 3 \times 2 - 2 \times 3 = 0$$

构件间不能产生相对运动

总结：

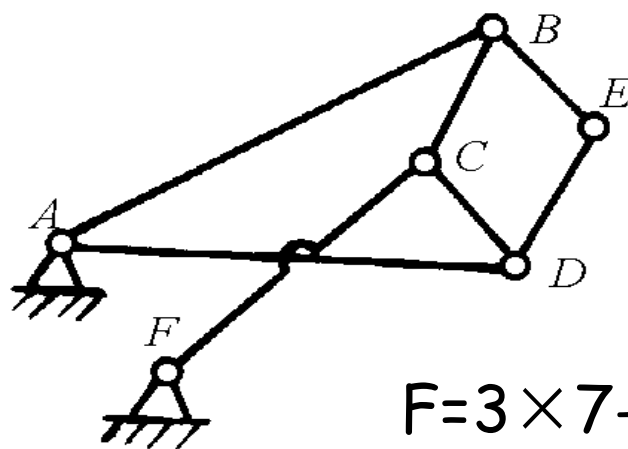
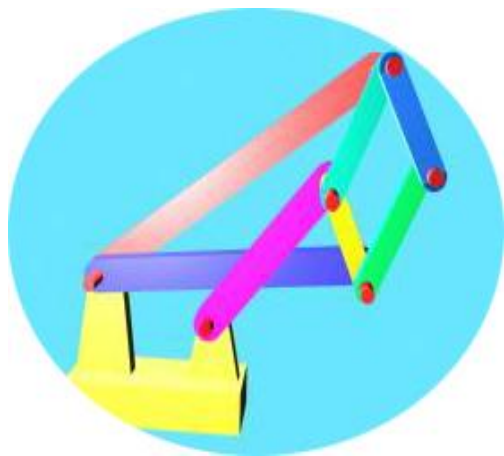
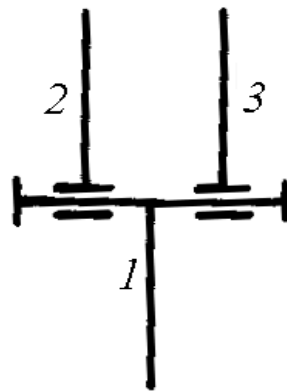
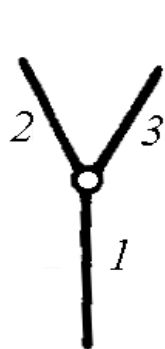
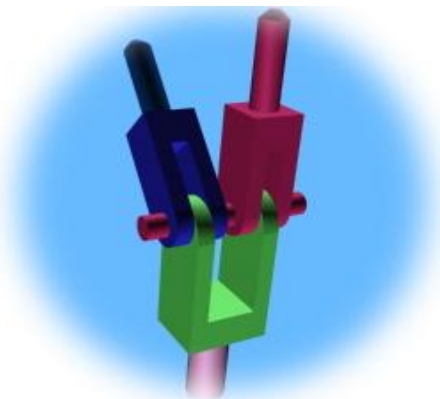
$F \leq 0$ 构件间无相对运动，不成为机构。

$F > 0$ {
 原动件数 = F ，运动确定
 原动件数 $< F$ ，运动不确定
 原动件数 $> F$ ，机构破坏

机构具有确定运动的条件是： $F > 0$ ，且 F 等于原动件数

二 计算平面机构自由度的注意事项

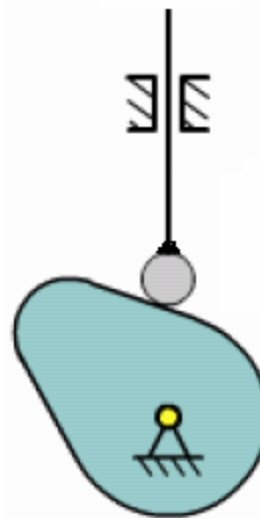
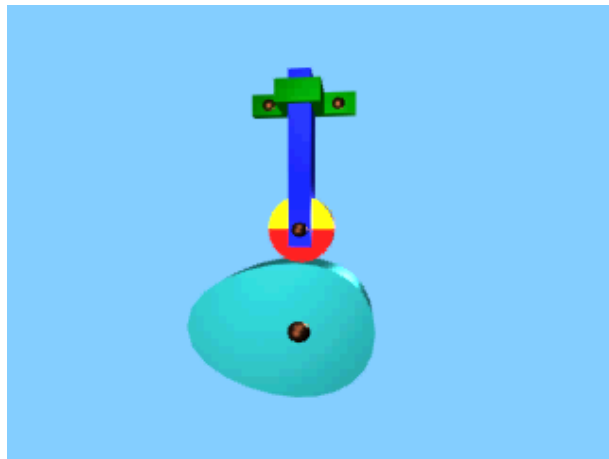
1. 复合铰链：两个以上的构件同时在一处用转动副相连接



$$F = 3 \times 7 - 2 \times 10 = 1$$

若K个构件构成复合铰链，应有K-1个转动副

2. 局部自由度：不影响输入件与输出件之间运动关系的个别构件的独立运动的自由度



自由度计算时应**去除局部自由度**，即将组成运动副的两构件**刚化**

$$F=3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 = 1 \quad (\text{去除局部自由度之前 } F=2)$$

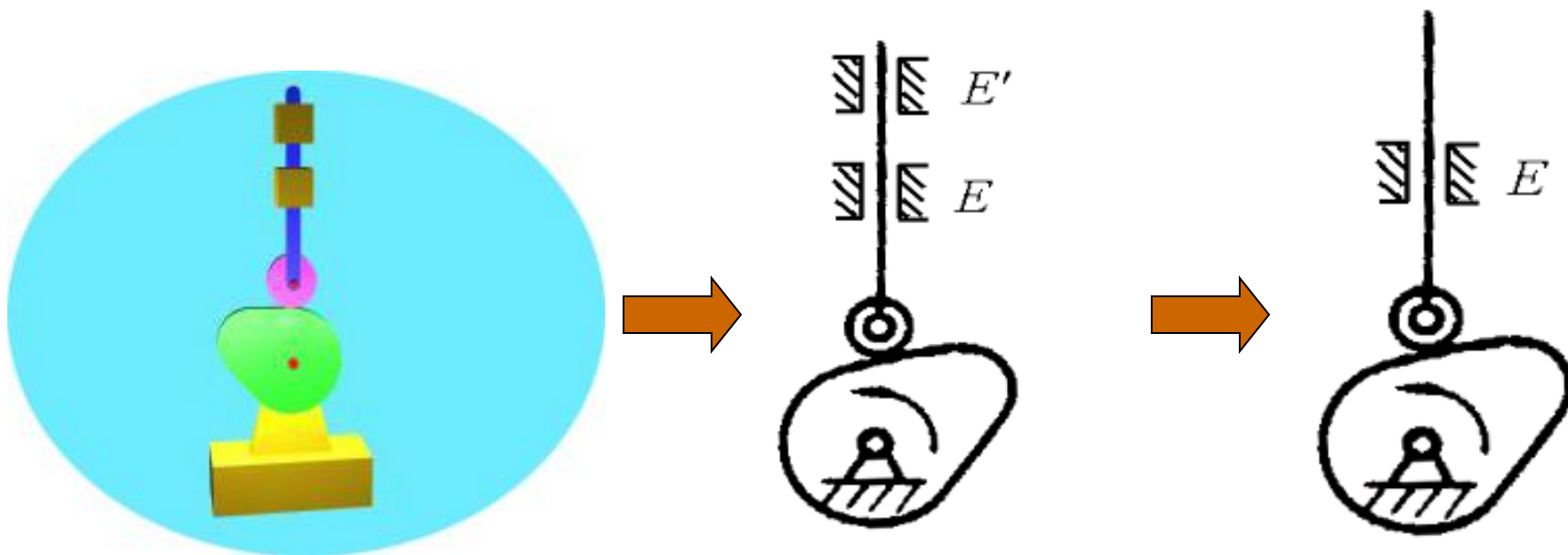
局部自由度作用：**使高副接触处的滑动摩擦变成滚动摩擦，降低磨损**

3. 虚约束（又称消极约束）

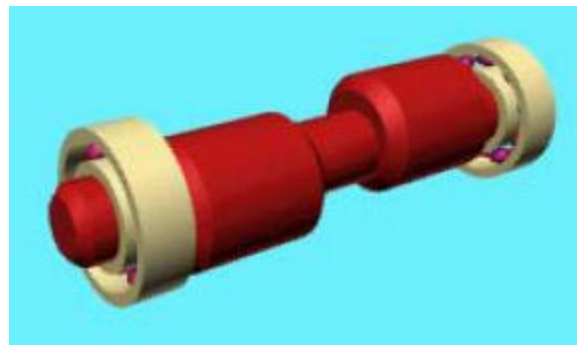
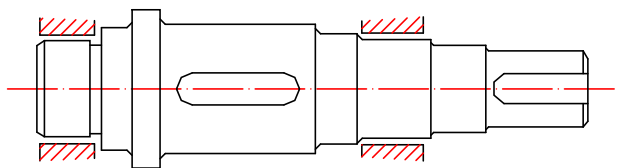
特定几何条件下不产生实际约束效果的重复约束
在计算自由度时应去除虚约束

平面机构中出现虚约束的常见场合：

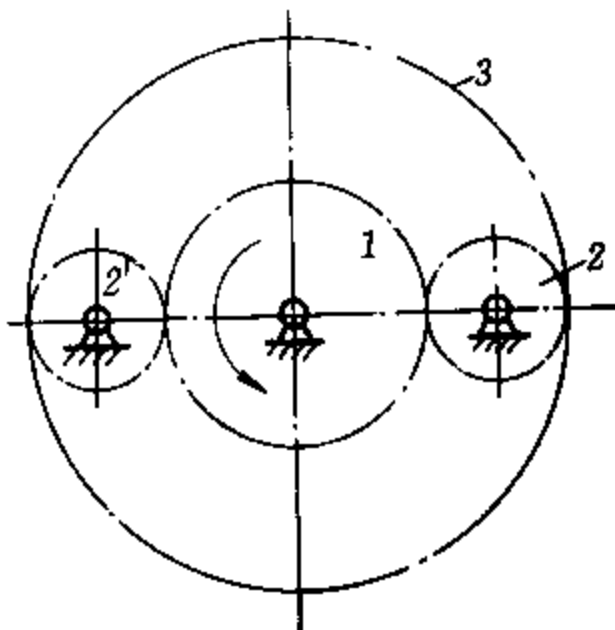
- ① 两构件之间组成多个导路平行的移动副时，只有一个移动副起作用，其余都是虚约束；



- ② 两构件之间组成多个轴线重合的转动副时，只有一个转动副起作用，其余都是虚约束；



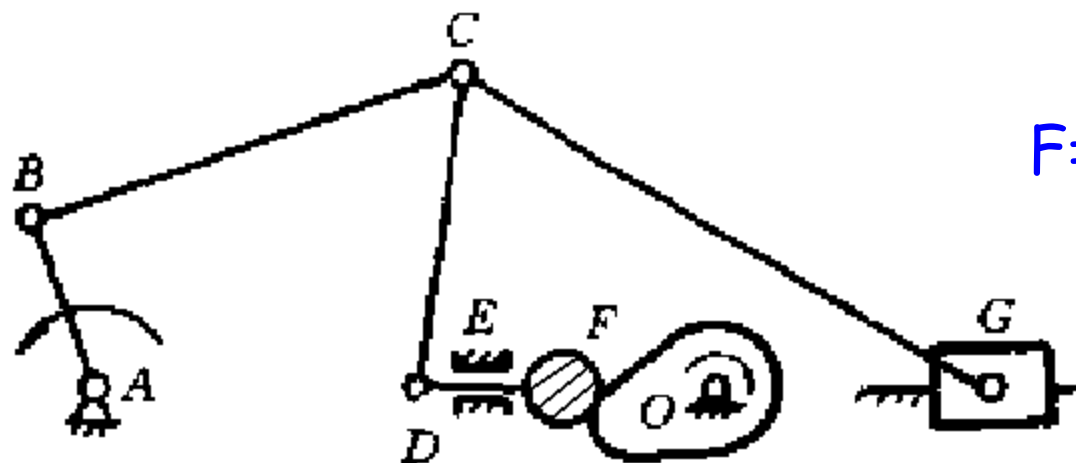
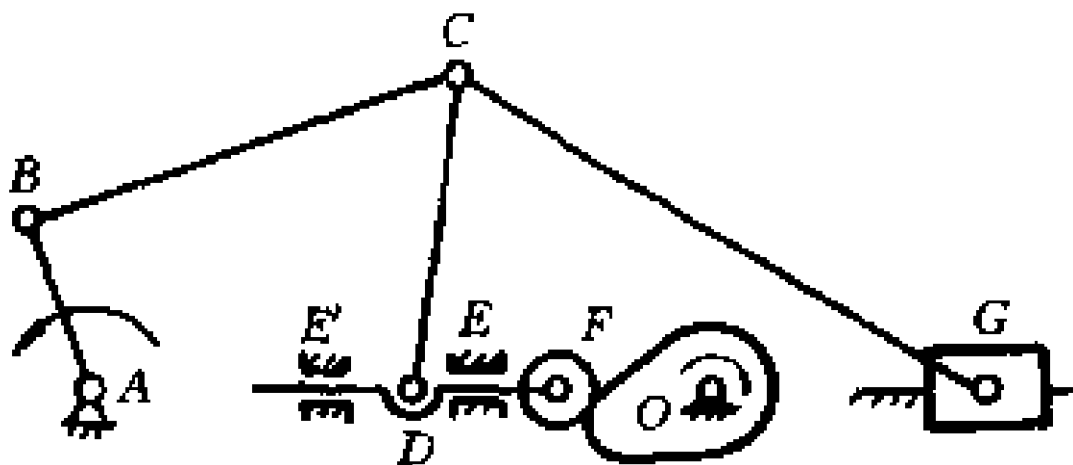
- ③ 机构中传递运动不起独立作用的对称部分。



虚约束的作用：

- 改善构件的受力情况，使**受力均衡**。如多个行星轮。
- 增加机构的刚度**。如轴和轴承、机床导轨。

例1-7 计算大筛机构的自由度



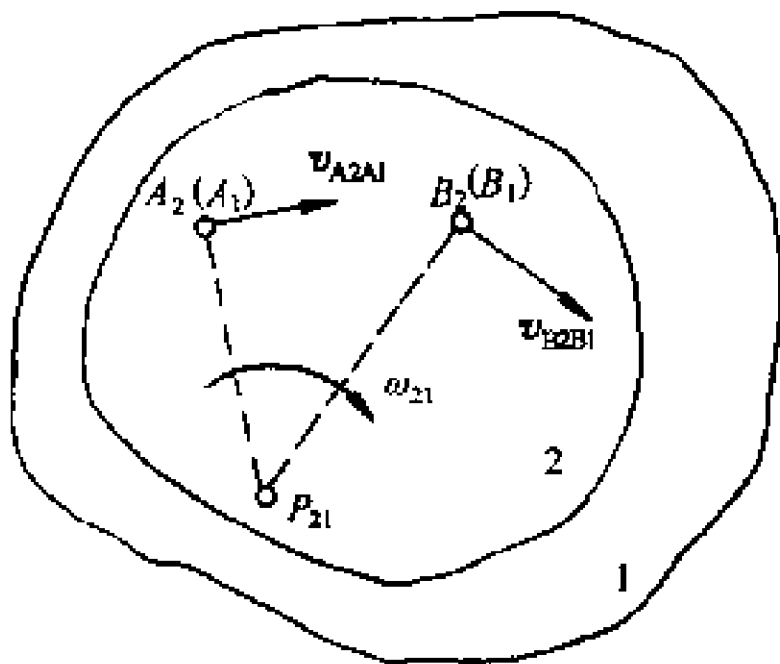
$$F=3 \times 7 - 2 \times 9 - 1 = 2$$

需两个原动件

§ 1-4 速度瞬心及其在机构速度分析上的应用

一 速度瞬心及其求法

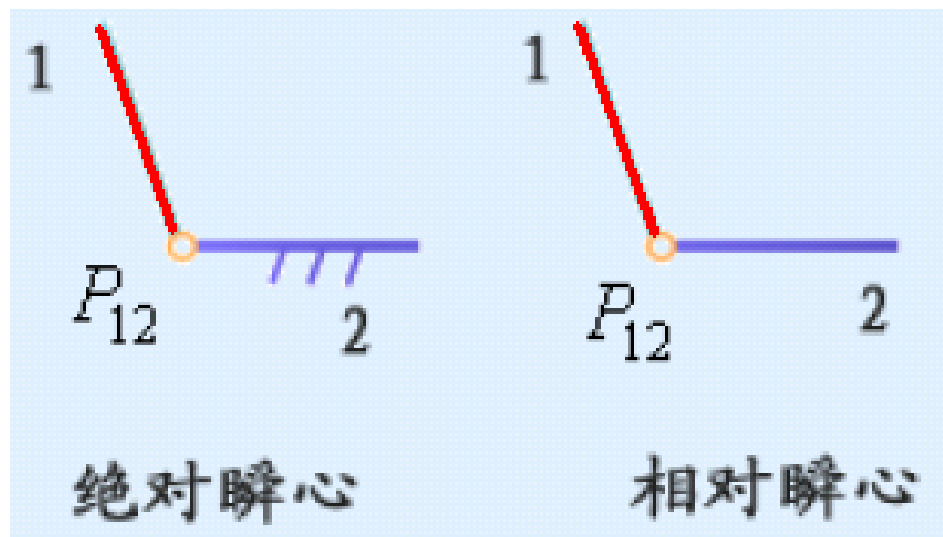
1 瞬心的定义



在任一瞬时，作平面运动的两构件上相对速度等于零的点或绝对速度相等的点，称为**速度瞬心**，简称为**瞬心**

在此瞬时，其余点的相对运动可看作是绕瞬心转动。

因此，瞬心又称为**瞬时回转中心**

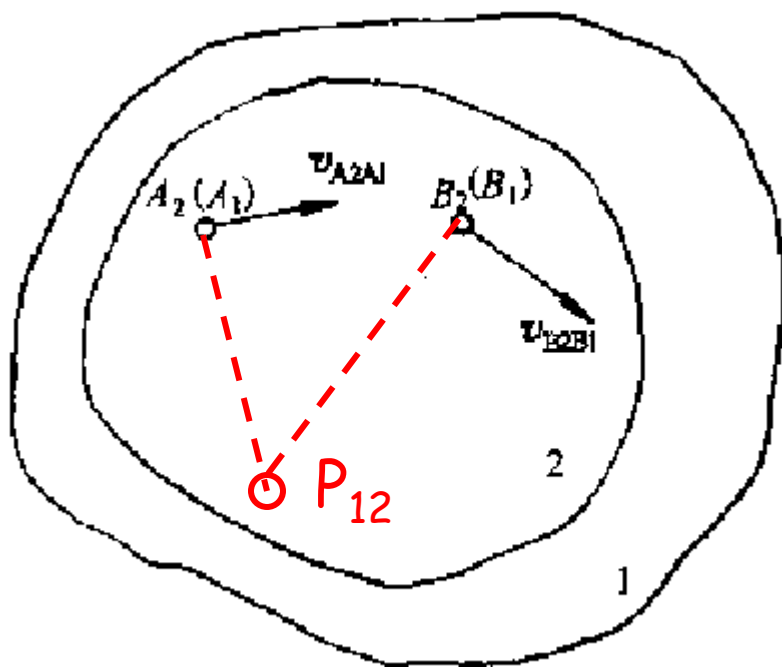


因为发生相对运动的任意两个构件间都有一个瞬心，如果机构由K个构件组成，则瞬心数为：

$$N = \frac{K(K-1)}{2}$$

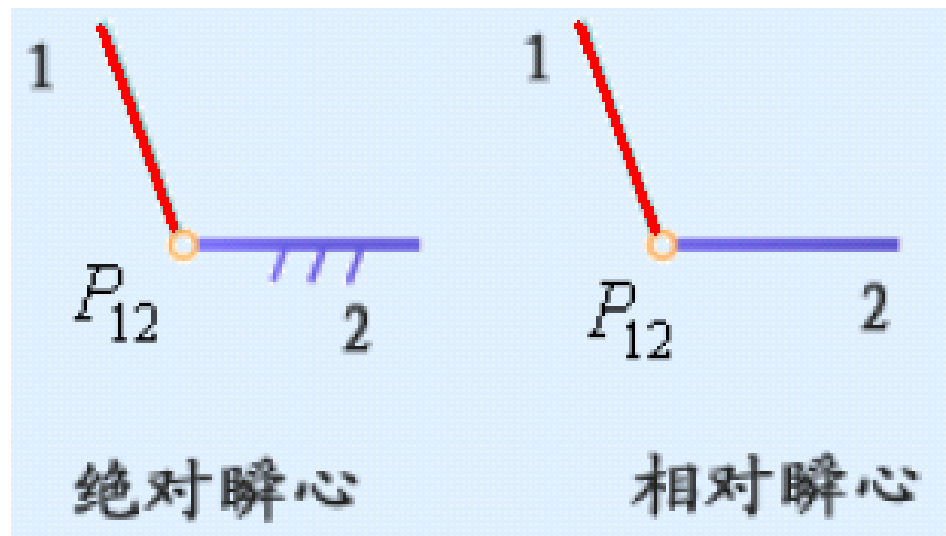
2 瞬心位置的确定

① 已知两对重合点的相对速度

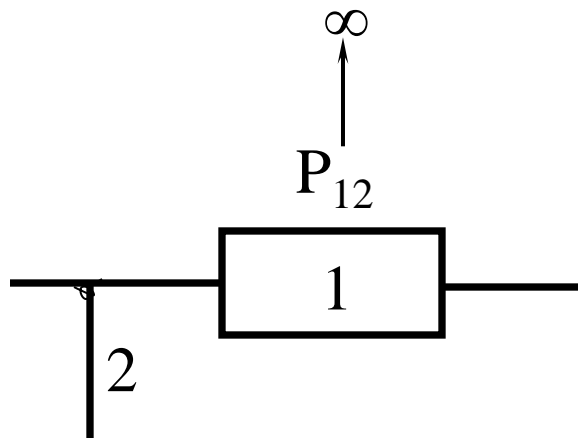


已知A1、A2点相对速度 v_{A2A1}
B1、B2点相对速度 v_{B2B1}

② 两构件组成转动副时

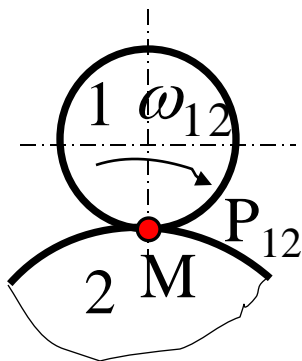


③ 当两构件组成移动副时



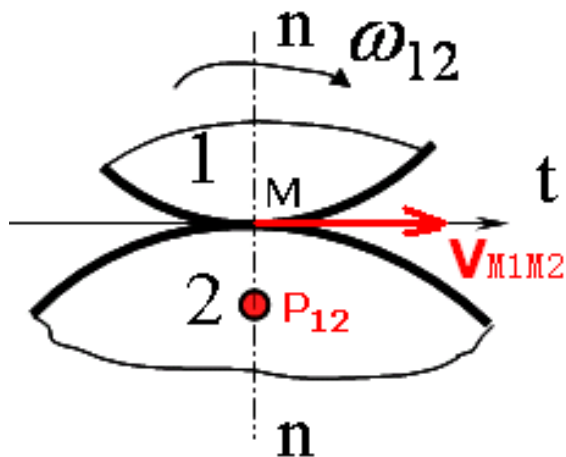
瞬心在垂直于导路的无穷远处

④ 当两构件组成纯滚动高副时



接触点就是瞬心

⑤ 当两构件组成滑动兼滚动的高副时

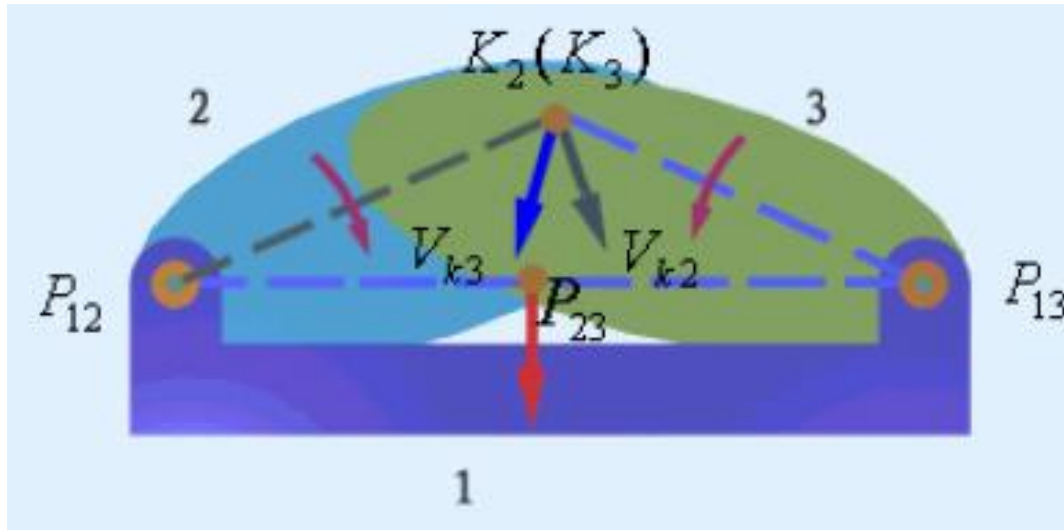


瞬心在高副接触点公法线nn上

⑥ 对于不直接组成运动副的构件——三心定理

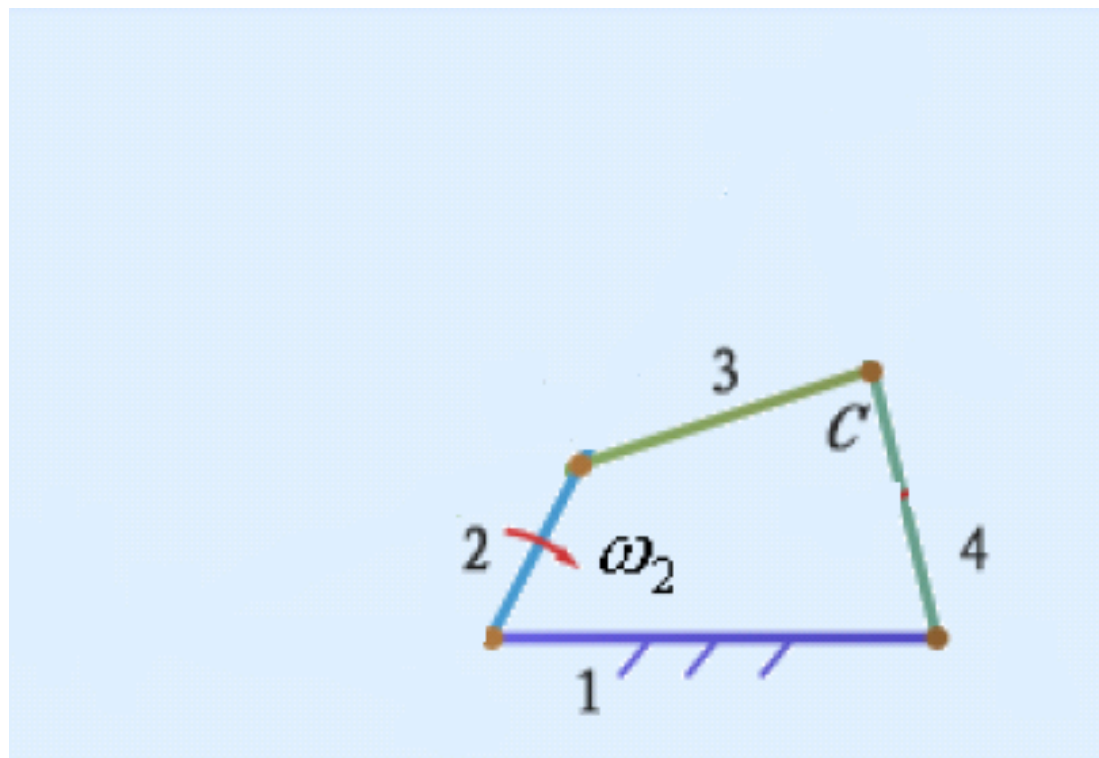
三心定理：作相对平面相对运动的三个构件共有三个瞬心，
这三个瞬心位于同一条直线上。

假设构件1为固定构件

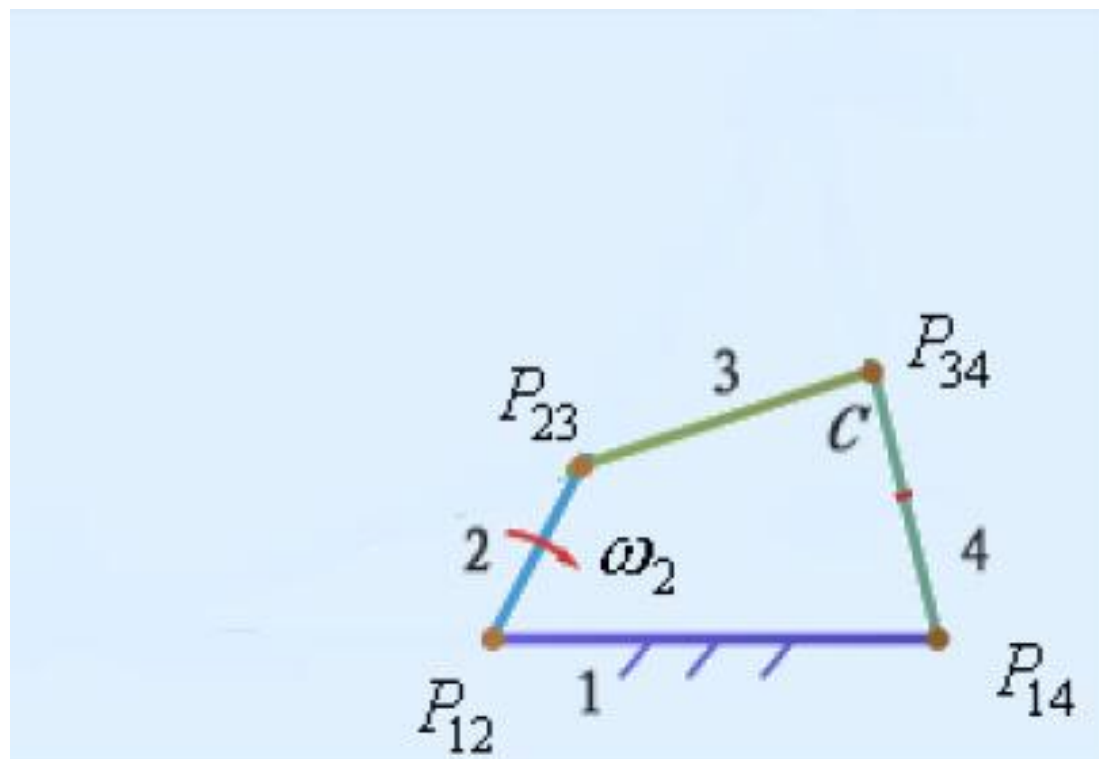


三心定理：作相对平面相对运动的三个构件共有三个瞬心，
这三个瞬心位于同一条直线上。

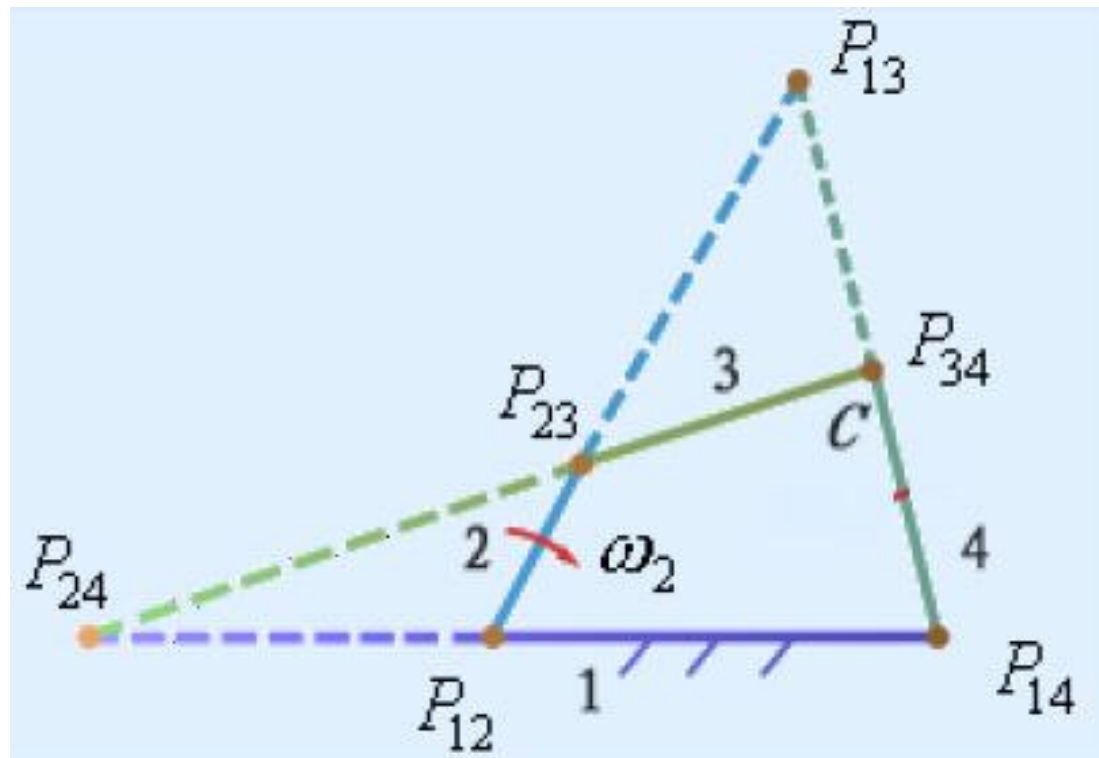
例1-8 求铰链四杆机构的瞬心



例1-8 求铰链四杆机构的瞬心



例1-8 求铰链四杆机构的瞬心

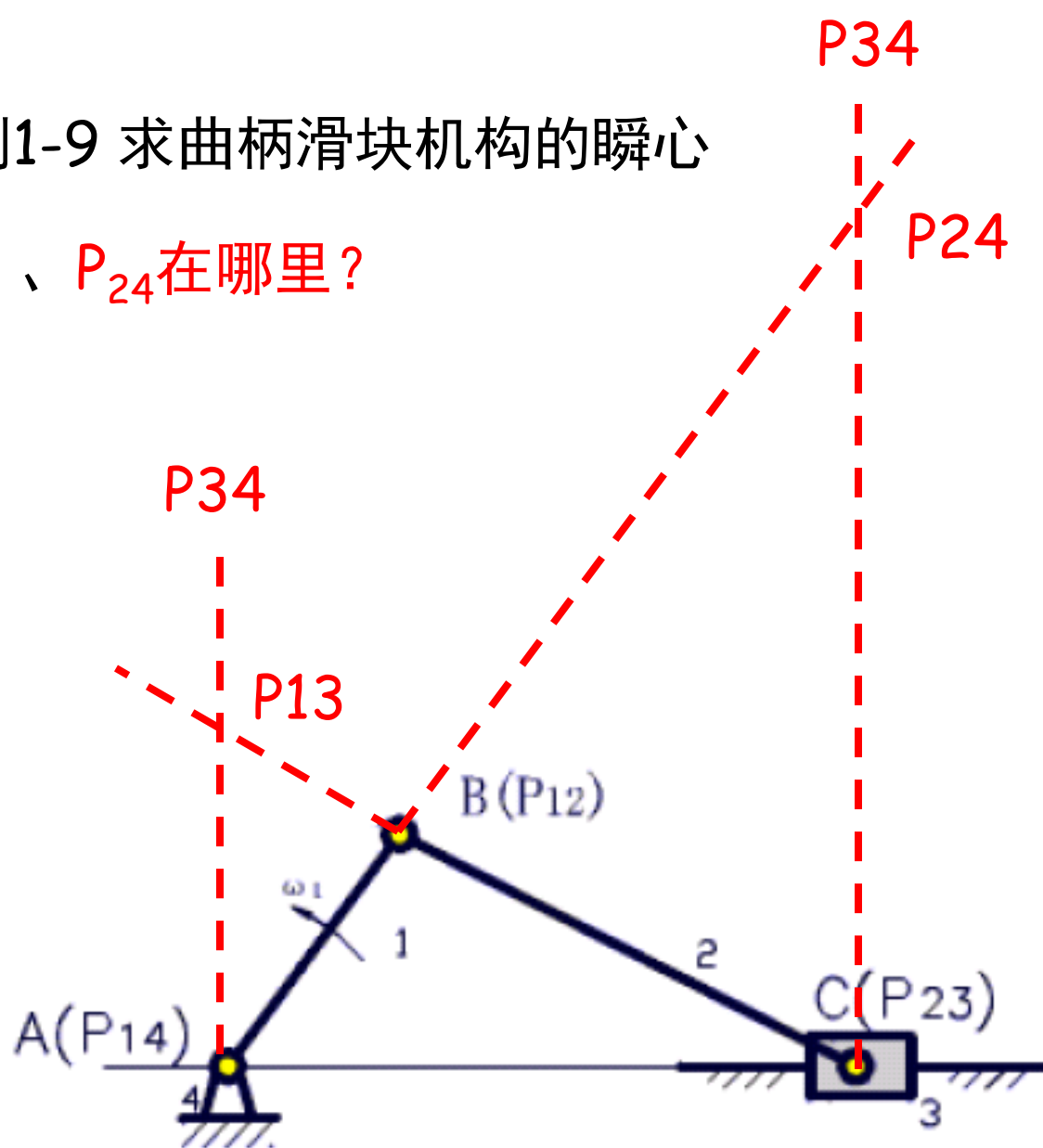


P_{13} : 杆1、2、3三瞬心共线，杆1、4、3三瞬心共线

P_{24} : 杆2、1、4三瞬心共线，杆2、3、4三瞬心共线

例1-9 求曲柄滑块机构的瞬心

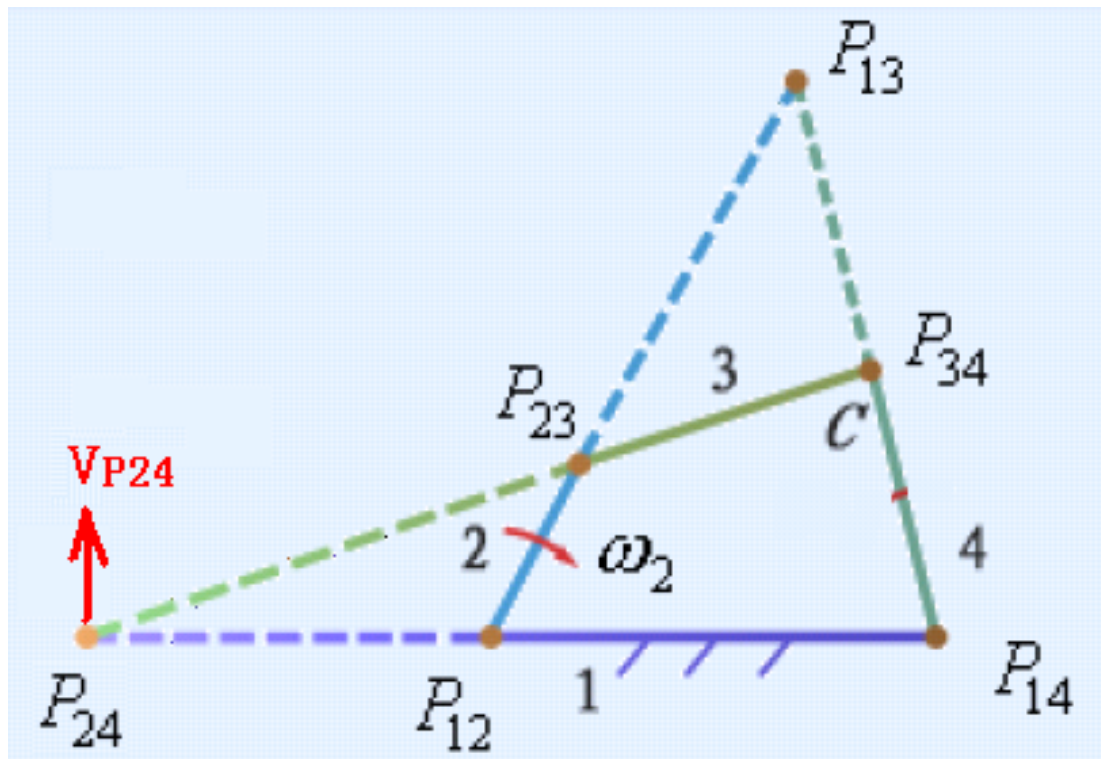
P_{13} 、 P_{24} 在哪里？



二 瞬心在速度分析上的应用

1. 铰链四杆机构

求构件2、4的角速度比？



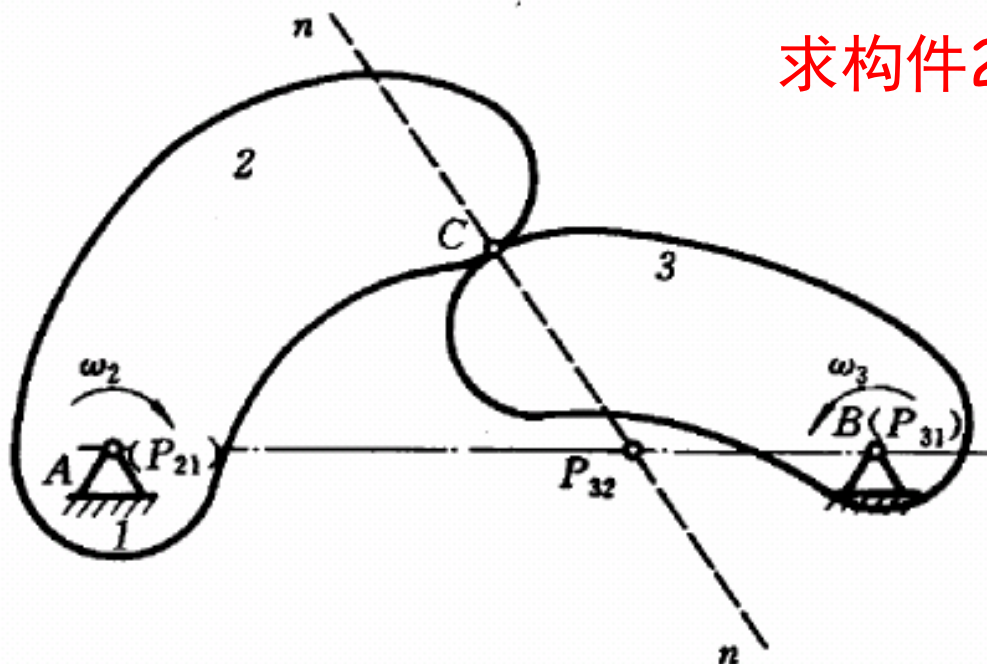
$$v_{P24} = \omega_4 \times l_{P24P14}$$

$$v_{P24} = \omega_2 \times l_{P24P12}$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_4} = \frac{l_{P24P14}}{l_{P24P12}} = \frac{P_{24}P_{14}}{P_{12}P_{24}}$$

2. 齿轮或摆动从动件凸轮机构

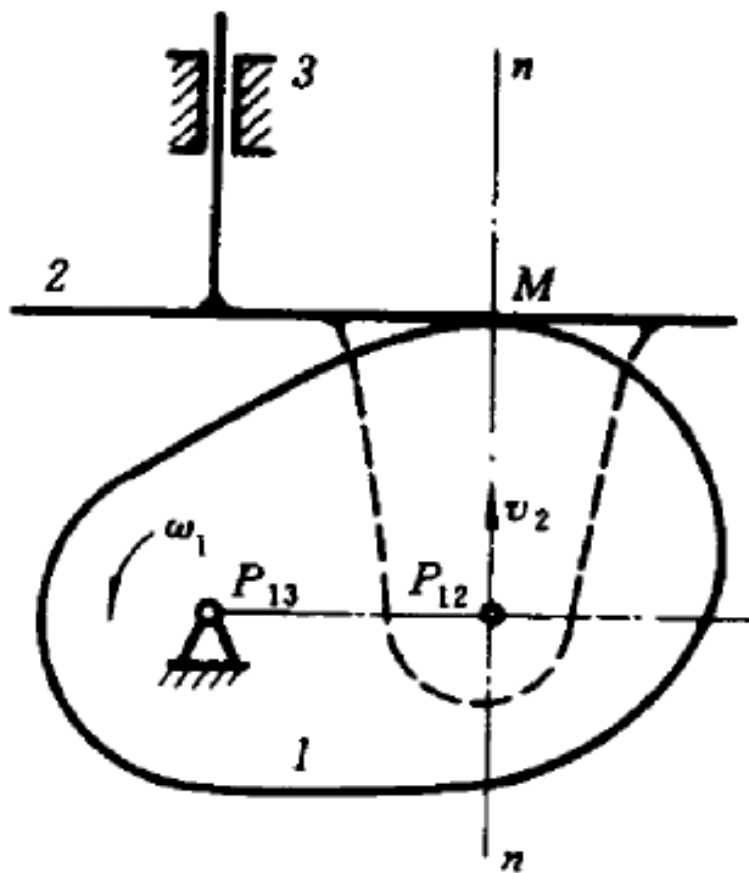
求构件2、3的角速度比？



$$v_{P_{32}} = \omega_2 l_{P_{21}P_{32}} = \omega_3 l_{P_{31}P_{32}}$$

$$\omega_2 / \omega_3 = l_{P_{31}P_{32}} / l_{P_{21}P_{32}}$$

3. 直动从动件凸轮机构



求构件2的速度？

$$v_2 = \omega_1 l_{P_{13}P_{12}}$$

瞬心法特点：

适合于求简单机构的速度，多构件机构瞬心数多，求解复杂；

仅适合于求速度（角速度），应用有一定局限性。