

# 第一章

## 平面机构的自由度和速度分析

# 机构

## .. 机构：

- ✓ 由具有确定的相对运动的一些构件组成；
- ✓ 其中有一个构件为机架；
- ✓ 用以实现运动和动力的传递与转换。

## .. 本章讨论的内容：

- ✓ 构件如何组合，才能形成具有确定的相对运动的机构？
- ✓ 如何实现所要求的相对运动？

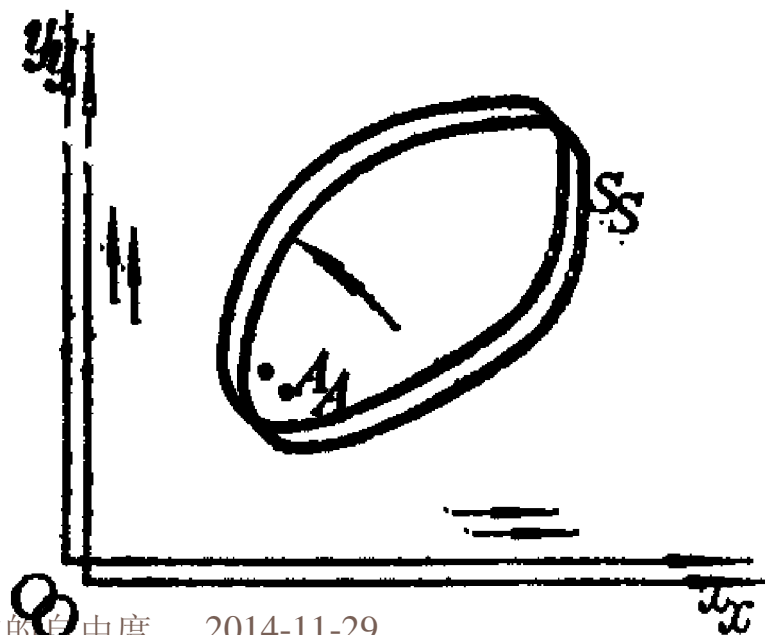
# 机构按运动空间可分

- .. 平面机构：所有的构件都在相互平行的平面内运动的机构。
- .. 空间机构
- .. 本书讨论平面机构

# 1-1 运动副及其分类

在平面运动的一个自由构件**S**，可以用三个独立运动描述其自由运动：

- 随任意基点**A**沿互相垂直的两个方向（**x**轴，**y**轴）的直线运动；
- 绕基点的转动。



# 自由度

- .. 自由度——物体运动过程中可能出现的独立运动。
- .. 一个作平面运动的物体最多有三个自由度：  
两个方向的移动和一个转动。

# 运动副

- .. 运动副——使两个构件直接接触并能产生一定的相对运动的联接。
- .. 运动副的作用：
  - ✓ 联接构件，但不是固接；
  - ✓ 约束构件的一个或几个独立运动：
  - § 减少构件的自由度；
  - § 使自由构件有一定的相对运动。

# 运动副的分类

- .. 低副——两构件通过面接触组成的运动副：
  - ✓ 回转副：铰链
  - ✓ 移动副：活塞
- .. 高副——两构件通过点或线接触组成的运动副：  
    齿轮，凸轮等

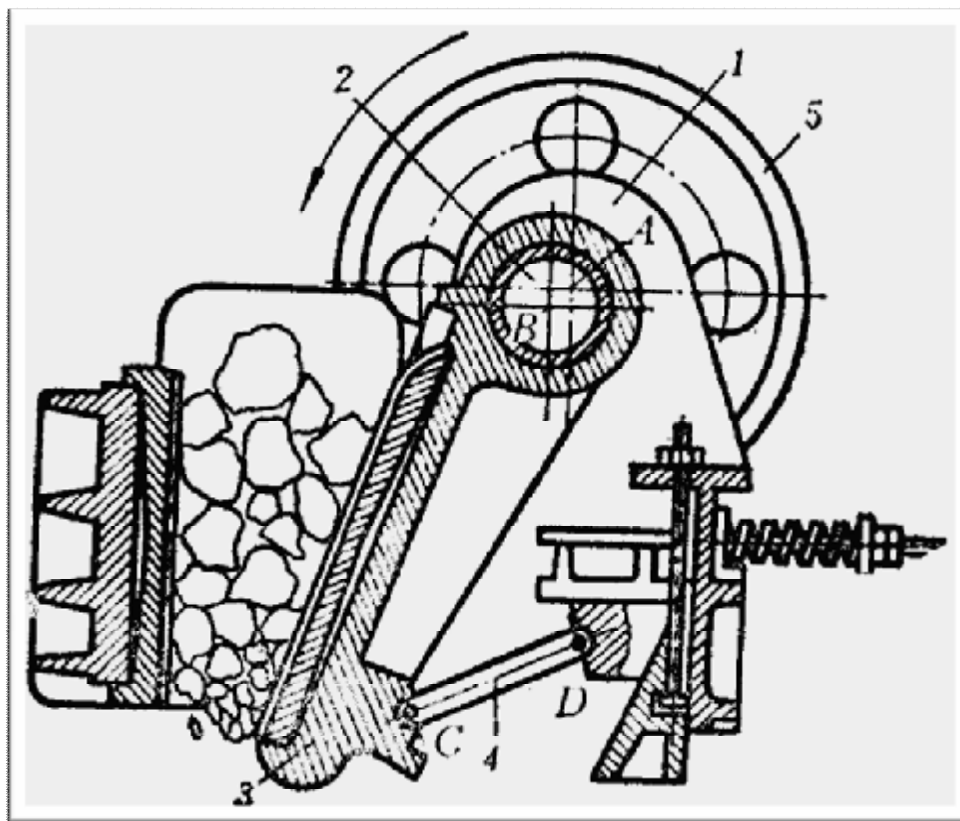
# 1-2 平面机构运动简图

- .. 为什么要画平面机构运动简图?
- .. 什么是机构运动简图?
- .. 如何画?

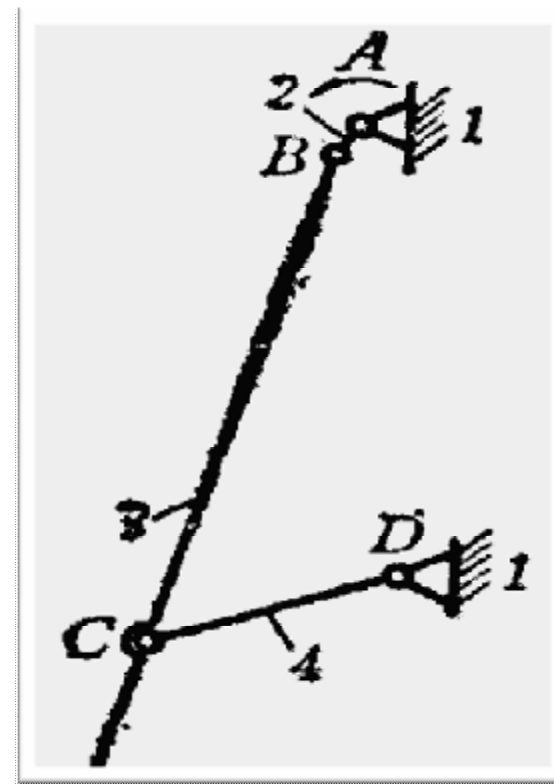


# 画平面机构运动简图的原因

- .. 实际应用的机器是多种多样的，各种机器的零件结构也千差万别。
- .. 完整画这些结构出非常繁琐。
- .. 只表示机器的机构组成和运动原理，可用一种简捷的表达方式（机构运动简图）画图。



颞式破碎机



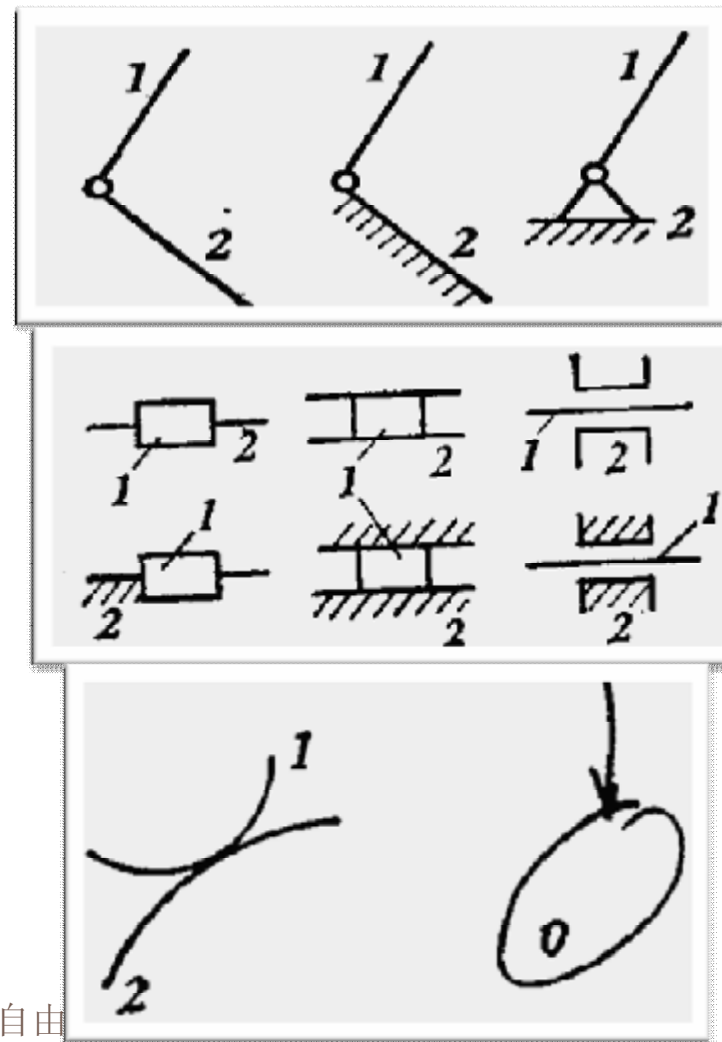
其机构简图

# 机构运动简图

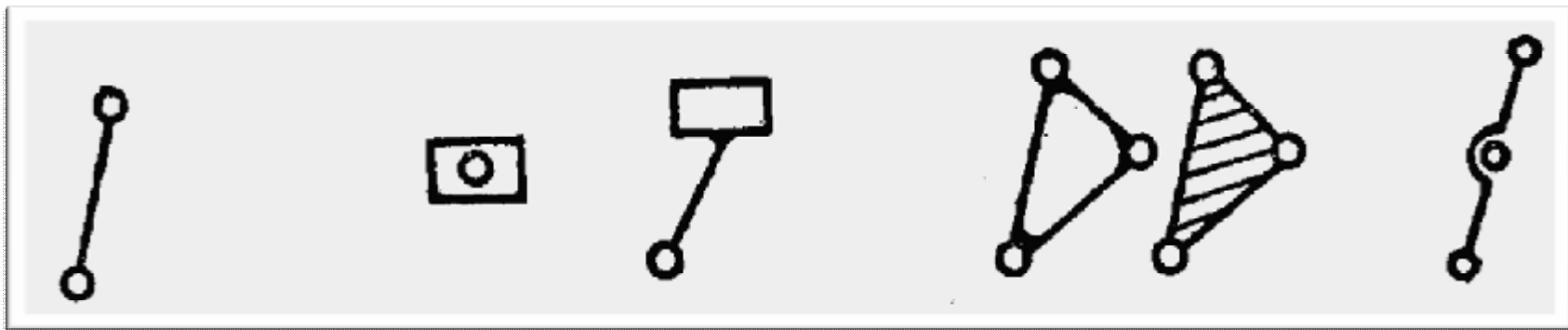
- .. 省略与运动无关的构件外形、运动副的具体构造；
- .. 用简单线条、符号表示构件、运动副；
- .. 按比例定出各运动副的位置；
- .. 能表明机构的组成、各构件间相对运动关系；
- .. 图形简单。

# 机构中运动副的表示方法

- 回转副
- ✓ 用圆圈表示转动副；
- ✓ 圆心代表相对转动轴线。
- 移动副：移动副的导路必须与移动方向一致。
- 高 副：应画出构件接触处的轮廓曲线。



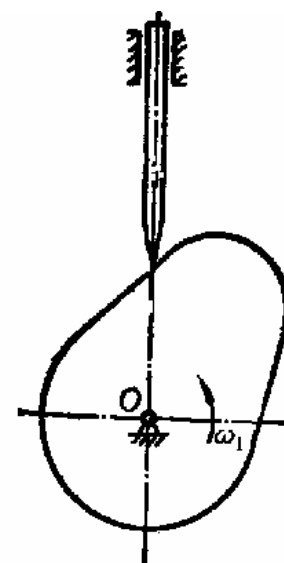
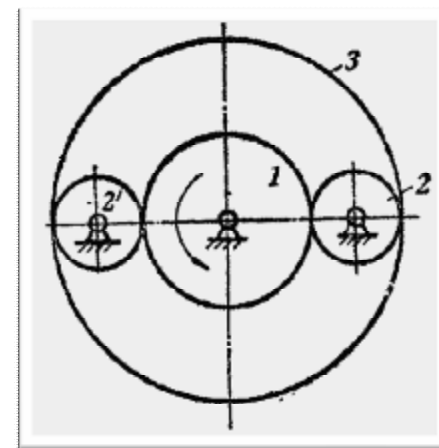
# 构件的表示方法



- 组成两个转动副的构件；
- 组成一个转动副、一个移动副的构件；
- 组成三个转动副的构件；
- 表示三角形等形状是一个刚体画法有：
  - 在形状内部加剖面线；
  - 在各角上涂焊缝的标记。

# 构件的表示方法

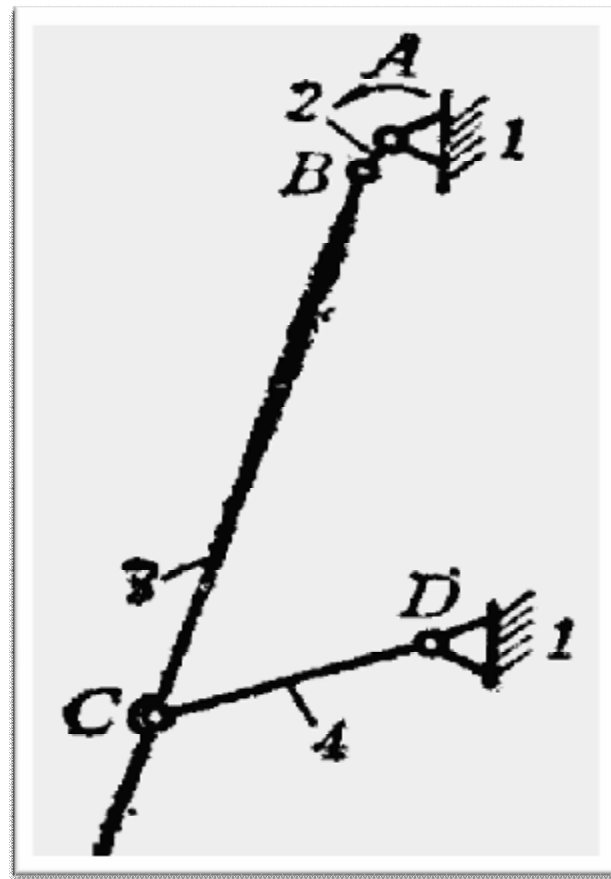
- 相互啮合的齿轮——用粗实线或点划线画出一对节圆表示；
- 凸轮——用完整的轮廓曲线表示。
- 常用零部件的表示方法可参看国家标准



# 机构中构件的分类

1  
5

- .. 固定件（构件1）：机架，用于支承活动构件。
- .. 运动件：
  - ✓ 原动件（构件2）：输入构件，运动规律已知。
  - ✓ 从动件（构件3、4）：其余构件，包括输出构件。



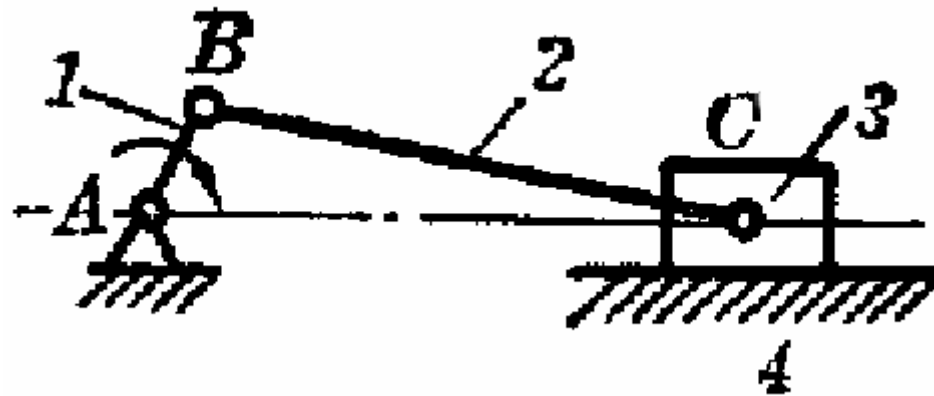
# 简图的绘制步骤

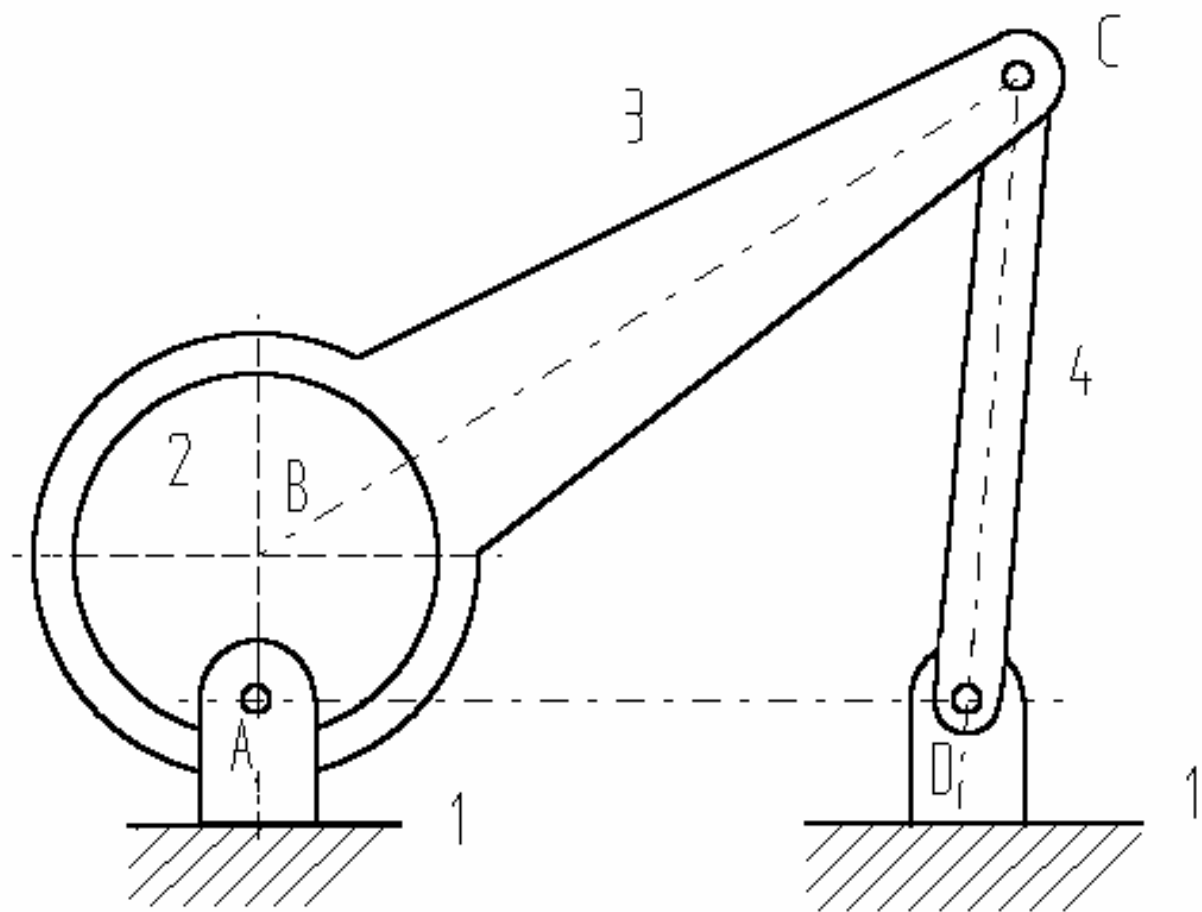
- 1 找出机架、原动件；
- 2 分析机构的组成构件及其运动传递关系；
- 3 确定运动副的类型；
- 4 选好投影面和机构的相互位置，以清楚的表达构件间的运动关系；
- 5 必须按比例定出机构中各运动副间的相对位置；
- 6 从机架开始，按国家标准规定的表达方法，画出各运动副和构件，作图要规矩；
- 5 标明机架、原动件、运动副及各构件。

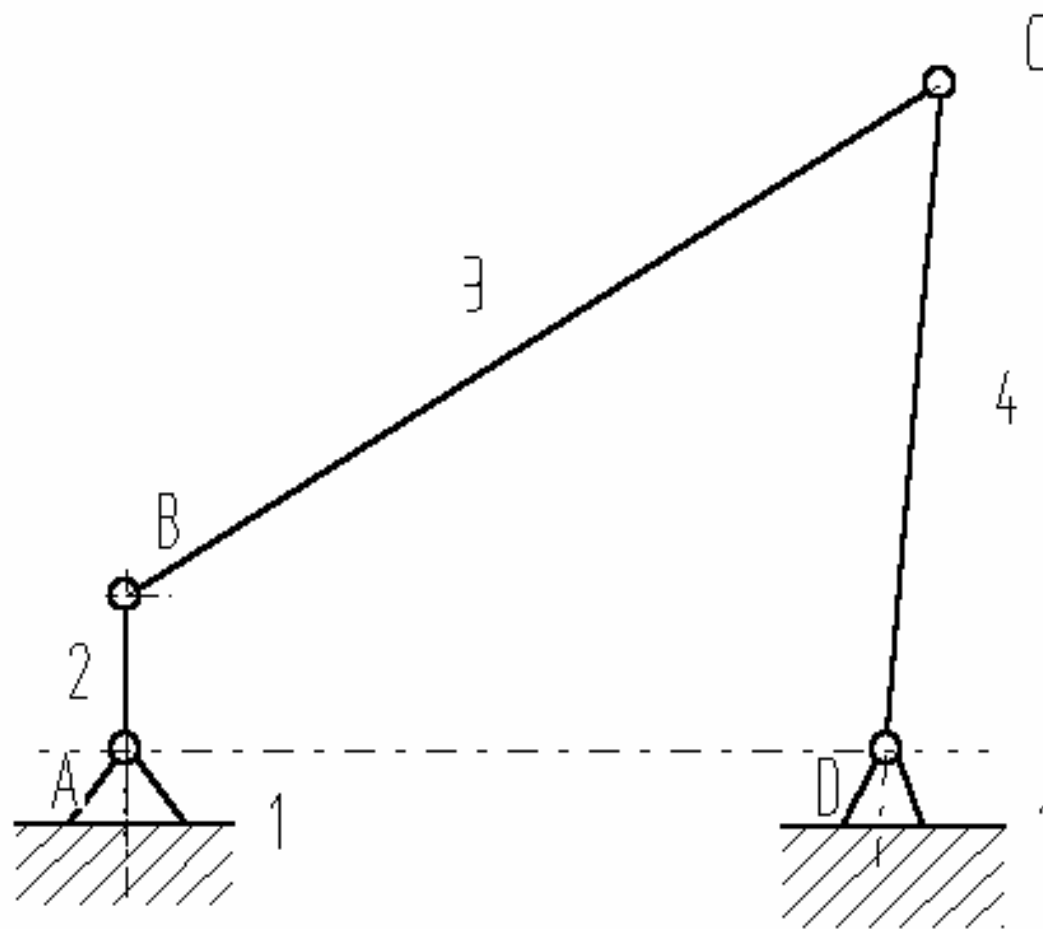


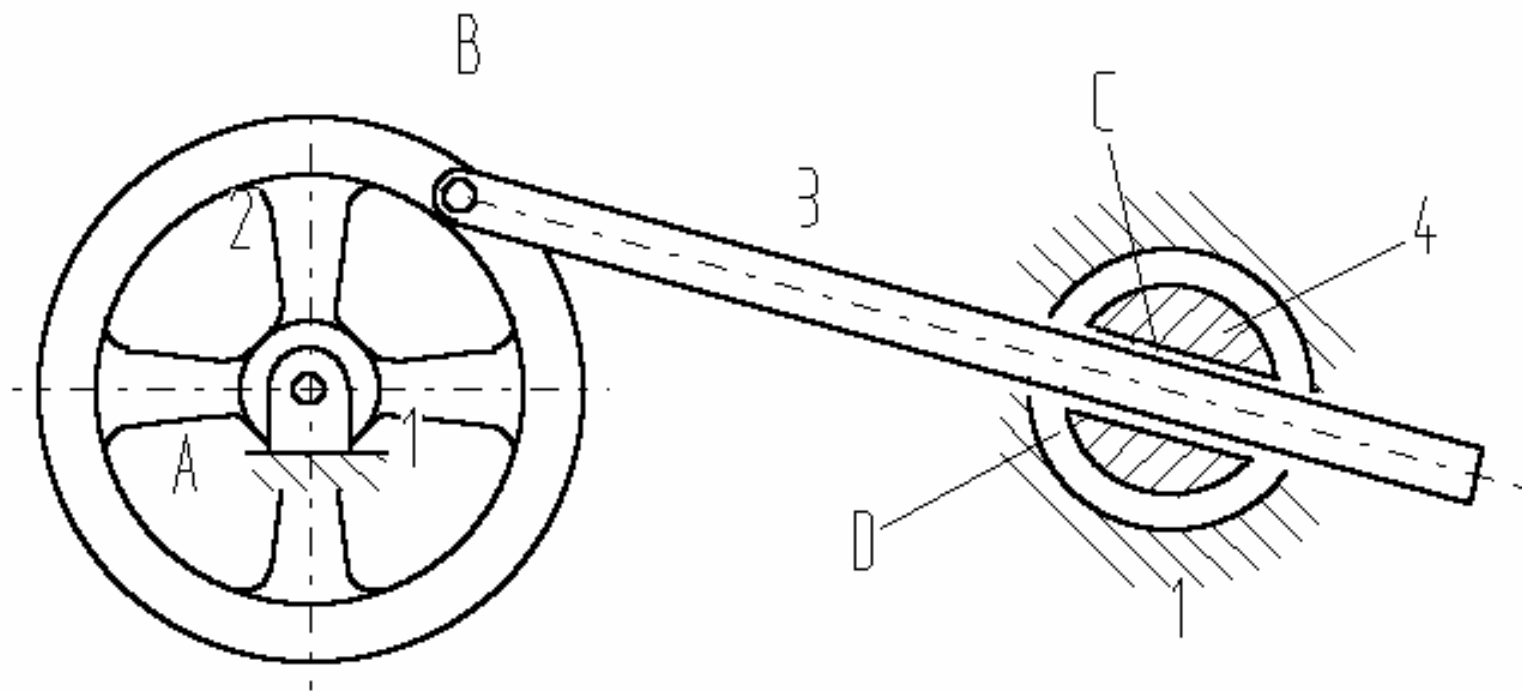
# 机构运动简图中机架、原动件、运动副及各构件的标法

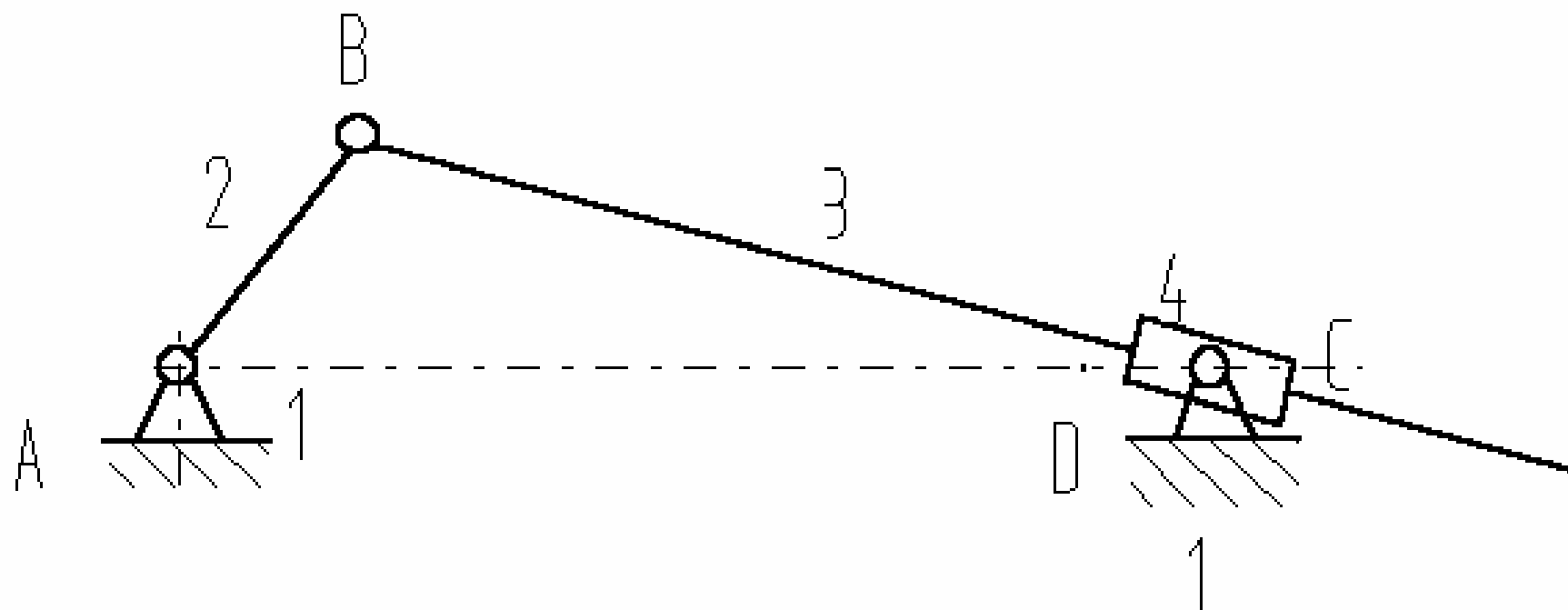
- 机架 —— 用阴影线表示；
- 原动件 —— 用箭头表示；
- 运动副 —— 用大写的英文字母编号；
- 构件 —— 用阿拉伯数字编号。











# 1-3 平面机构的自由度

- ∴ 构件的自由度
- ∴ 机构的自由度
- ∴ 机构具有确定相对运动的条件

# 构件的自由度

2  
3

- 作平面运动的自由构件具有三个自由度

# 机构的自由度

- 构件通过运动副联接起来形成机构。
- 运动副限制了构件间的相对运动。
- 机构的自由度小于各构件的自由度之和。
- 运动副如何限制构件的自由度？



# 运动副如何限制构件的自由度

- .. 运动副——相对运动受到约束——自由度减少；
- .. 一个高副：引入一个约束；
- .. 一个低副：引入二个约束；

# 机构自由度计算公式

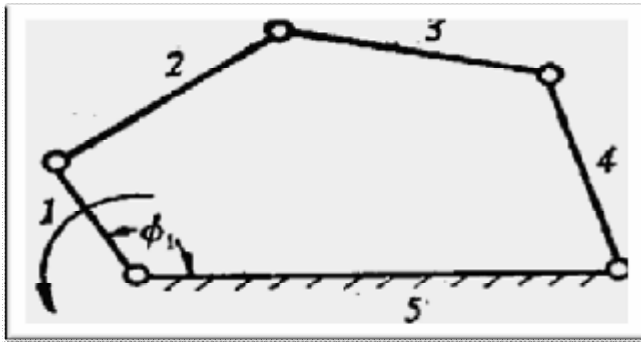
26

- .. 设：机构的运动构件数为 $n$ ，低副个数为 $P_L$ ，高副个数为 $P_H$ 。
- .. 机构各构件自由度的和 $=3n$
- .. 每个低副限制了两个自由度， $P_L$ 个低副限制了 $2 P_L$ 个自由度；
- .. 每个高副限制了一个自由度， $P_H$ 个低副限制了 $P_H$ 个自由度；
- .. 机构的自由度 $F$ 为：

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

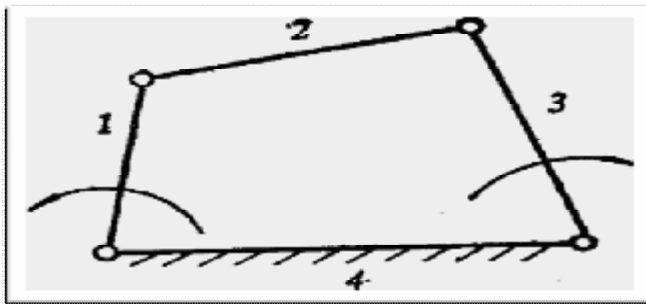
# 机构具有确定运动的条件

- ∴ 机构的自由度也即机构所具有独立运动的个数。
- ∴ 只有原动件才具有独立运动。
- ∴ 机构具有确定运动的条件：
  - ✓ 机构的自由度等于原动件的数目；
  - ✓  $F > 0$ 。



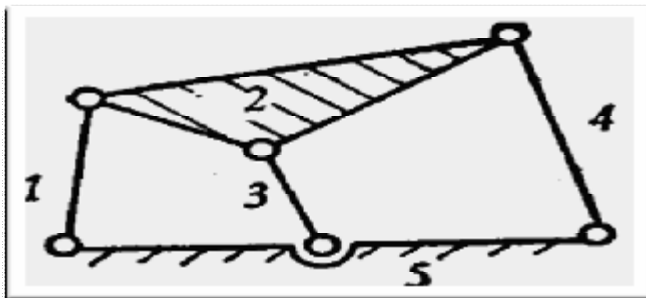
$$F=2$$

原动件数  $< F$



$$F=1$$

原动件数  $> F$



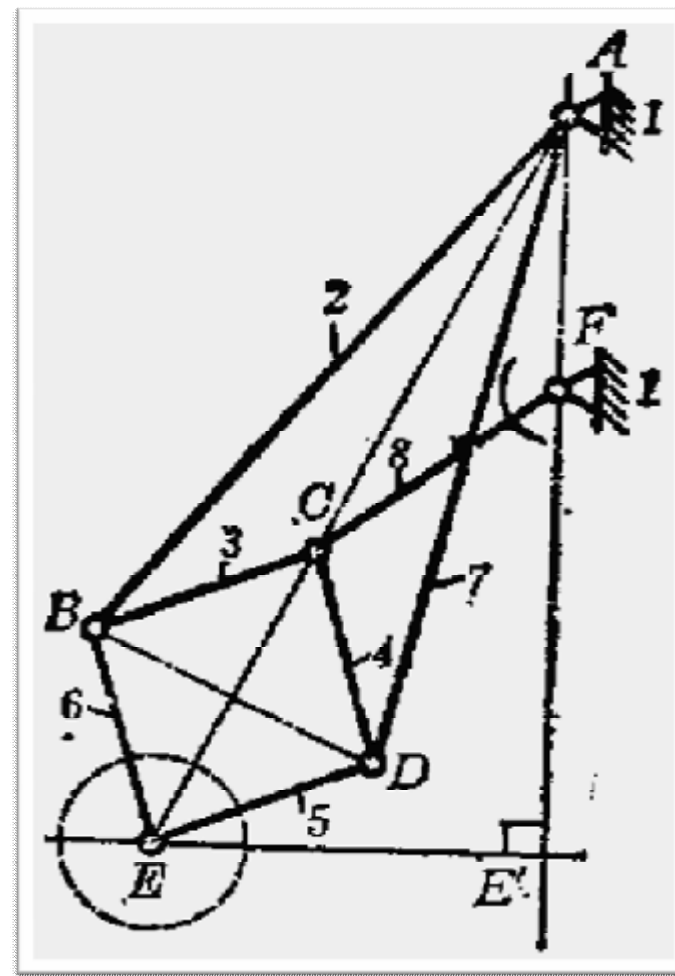
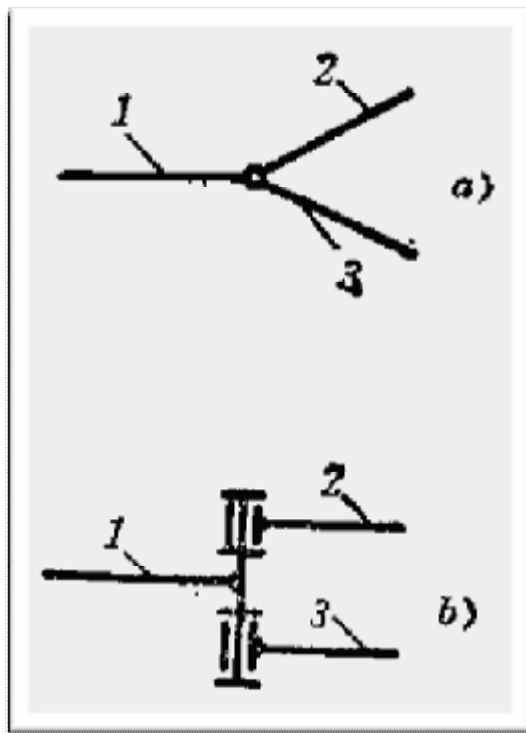
$$F=0$$

# 自由度计算中注意的问题

- .. 复合铰链
- .. 局部自由度
- .. 虚约束

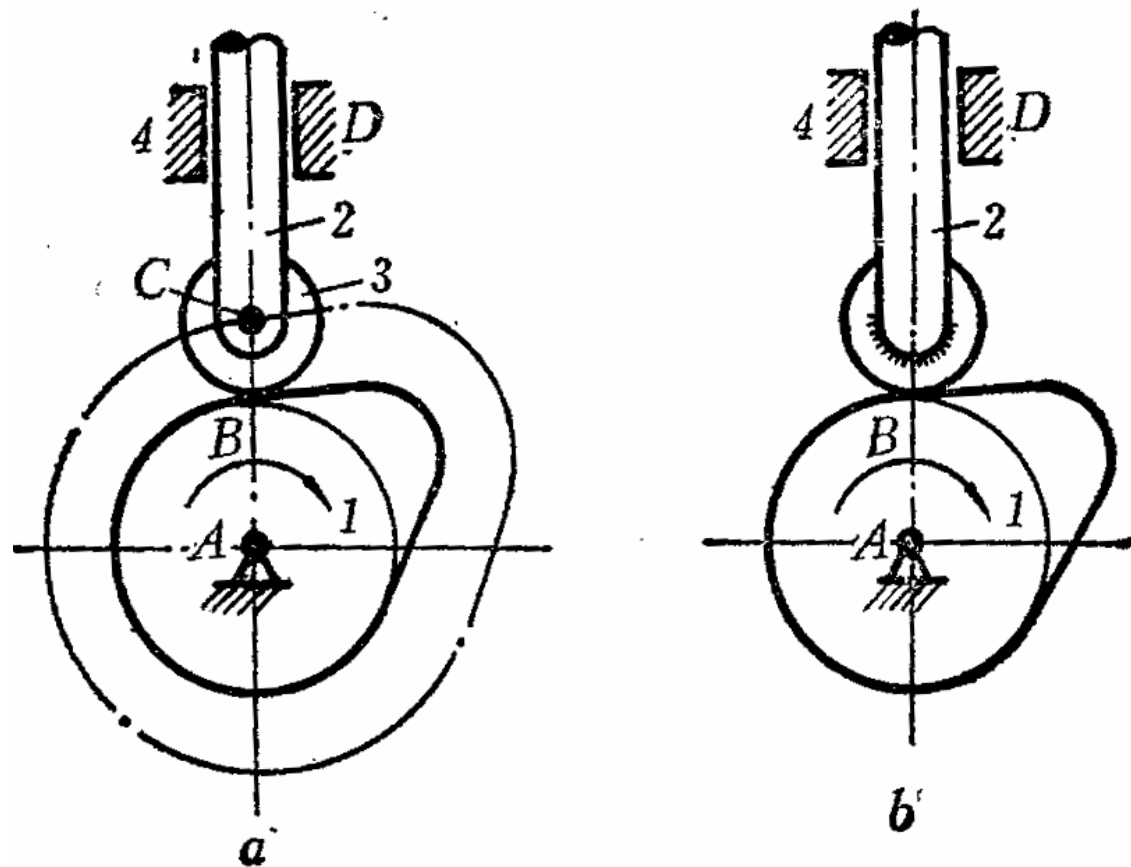
# 复合铰链

- 两个以上构件同时在一处用转动副相联接



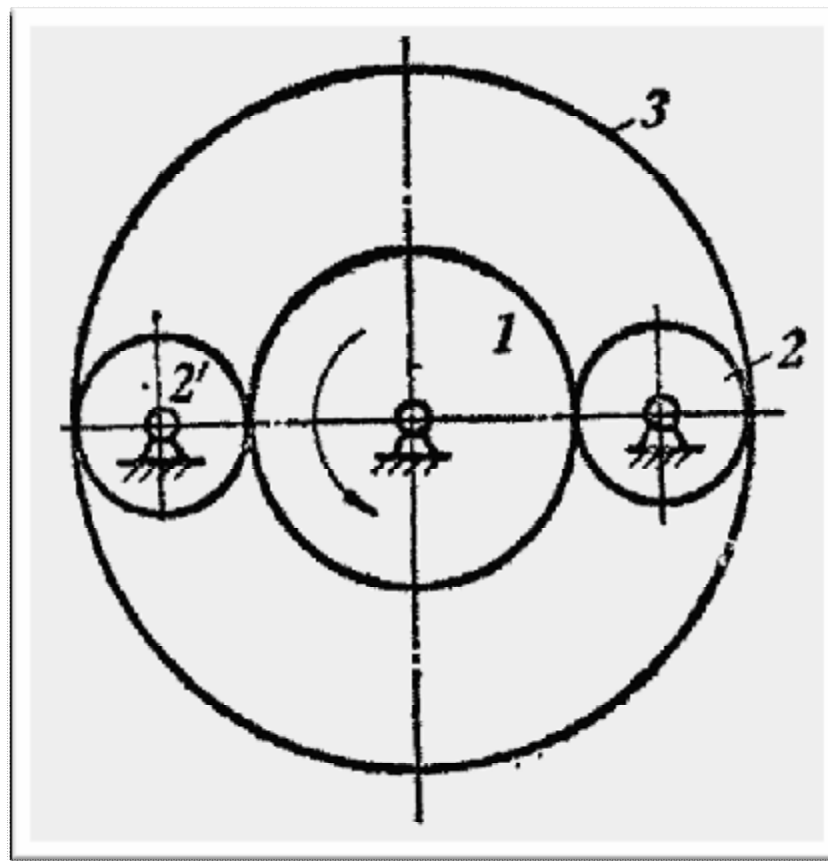
# 局部自由度

- 与输出构件运动无关的自由度



# 虚约束

- .. 机构中传递运动不起独立作用的**对称部分**。
- .. 两构件间组成多个轴线重合的转动副。
- .. 两构件间组成多个导路平行的移动副。





## 33

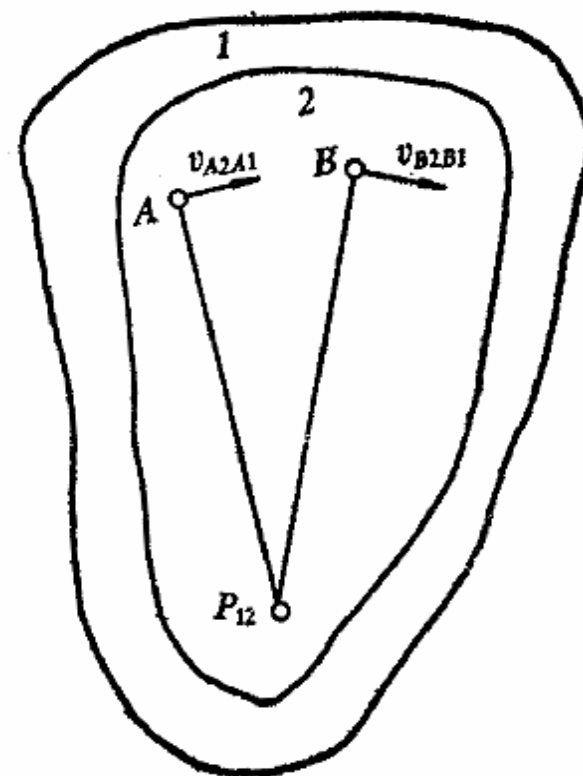


## 1-4 速度瞬心及其在机构速度分析上的应用

### 分析机构中构件运动速度的方法

#### 速度瞬心

- 平面内，作相对运动的二构件的重合点；
- 二构件瞬时作相对回转的中心点；
- 二构件相对速度为0的点；
- 二构件绝对速度相等的点；



# 速度瞬心可分为：

- ∴ 绝对瞬心——两相互运动的构件之一是静止的。
- ∴ 相对瞬心——两构件都是运动的。

# 瞬心

3  
6

- .. 任意两相对运动的刚体间，都存在一个瞬心；
- .. 任意两刚体间的相对运动，在任一瞬时，都可以看作绕某一重合点的相对转动；
- .. 不同瞬时，瞬心可能不在同一点上；
- .. 瞬心有可能在构件上，也可能在构件的延长线（面）上，或在某方向无穷远处。

# 瞬心的数量

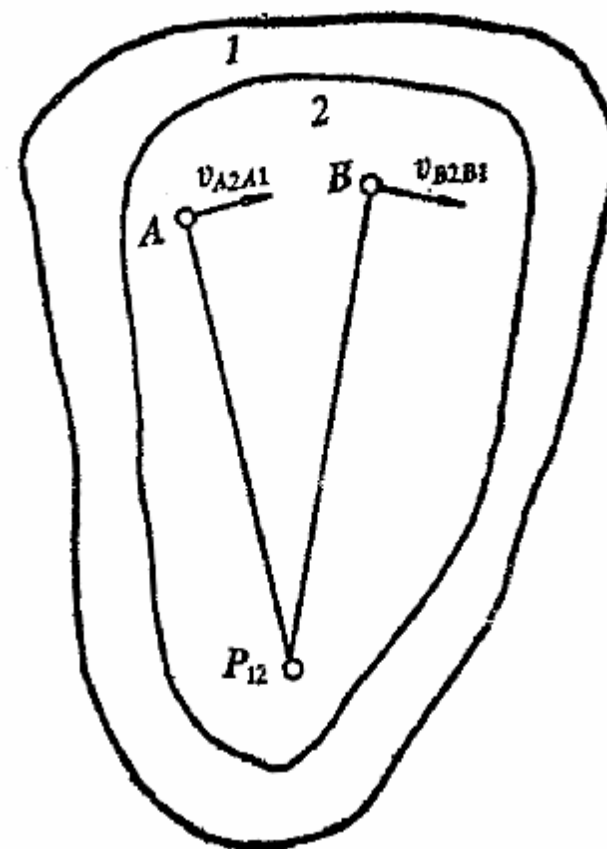
- .. 每两个构件之间有一个瞬心；
- .. **K**个构件组成的机构，总的瞬心数**N**为：

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

# 瞬心的求法

3  
8

- 根据瞬心的定义求：
- 若已知两构件1和2上两重合点A和B的相对运动的速度 $V_{A1A2}$ 和 $V_{B1B2}$ 方向；
- 过A、B两点，分别做速度 $V_{A1A2}$ 和 $V_{B1B2}$ 的垂线，垂线的交点即为此时的瞬心。
- 瞬心用 $P_{12}$ 表示。



# 通过低副联接的二个构件间的瞬心求法

3  
9

- ∴ 回转副中心为瞬心；
- ∴ 垂直移动副导路的无穷远处为瞬心；

# 通过高副联接的二个构件间的瞬心求法

4  
0

- .. 两构件组成纯滚动高副时，接触点相对速度为零，是瞬心。
- .. 两构件组成滑动兼滚动的高副时，接触点相对速度沿切线方向，瞬心应在过接触点的公法线上。



# 不直接相联的构件间的瞬心求法： 三心定理

∴ 三心定理——作平面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。

∴ 证明：反证法：

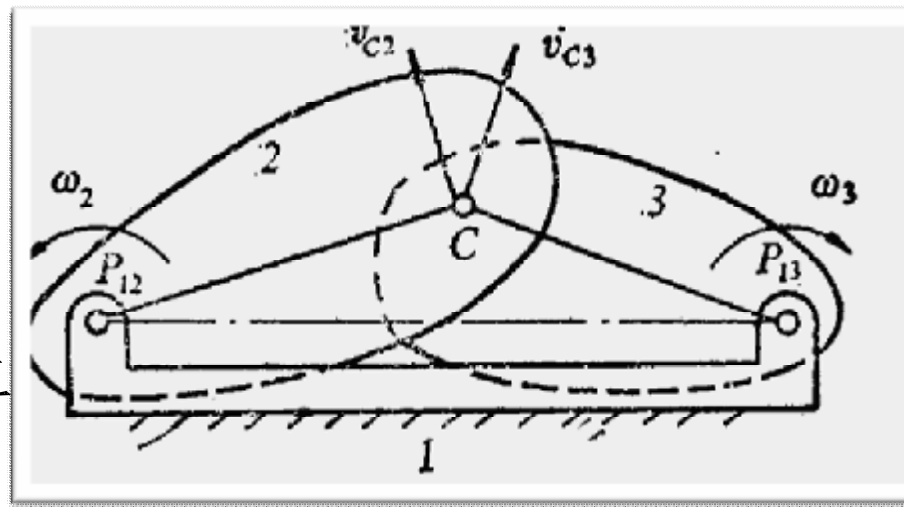
设  $P_{32}$  位于  $C$ ；

$v_{C2}$  垂直于  $P_{12}$

$v_{C3}$  垂直于  $P_{13}$

$v_{C2}$  与  $v_{C3}$  相等，方向相同；

所以  $P_{32}$  应在  $P_{12}P_{13}$  联线上



# 求瞬心时注意的问题

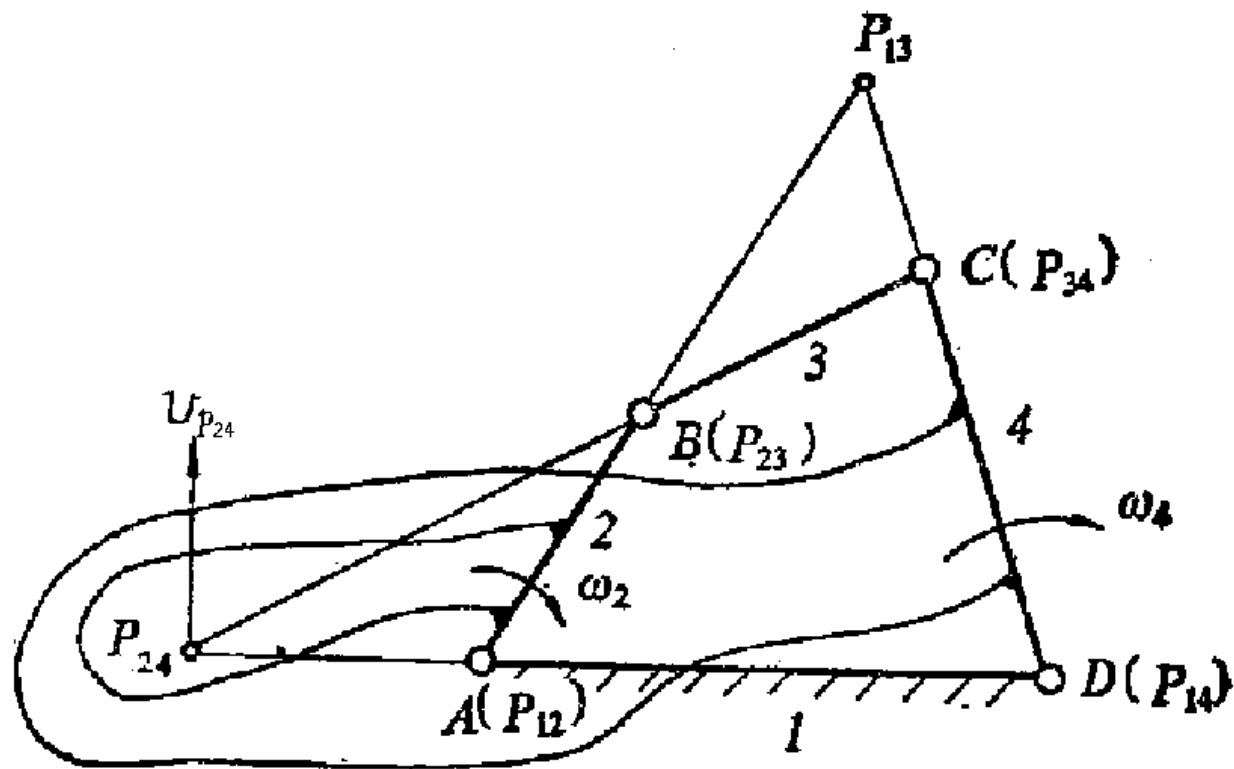
- ∴ 每两个构件间都有一个瞬心；
- ∴ 瞬心有可能在构件的延长线（面）上；
- ∴ 瞬心是位于两个构件上的重合点；
- ∴ 求法可分两种情况：
  - ✓ 用运动副相联
  - ✓ 不相联

# 应用瞬心进行机构的速度分析

- .. 速度瞬心是两个构件的重合点；
- .. 在这点上，二构件的绝对速度相等，相对速度为0；
- .. 已知一个构件上的瞬心点的速度，即可得另一个构件上该点的速度；
- .. 二构件在瞬心以外点相对速度为：
  - ✓ 大小等于二构件绕瞬心的相对角速度乘该点到瞬心的距离；
  - ✓ 方向处置于该点到瞬心的连线。

# 铰链四杆机构的瞬心

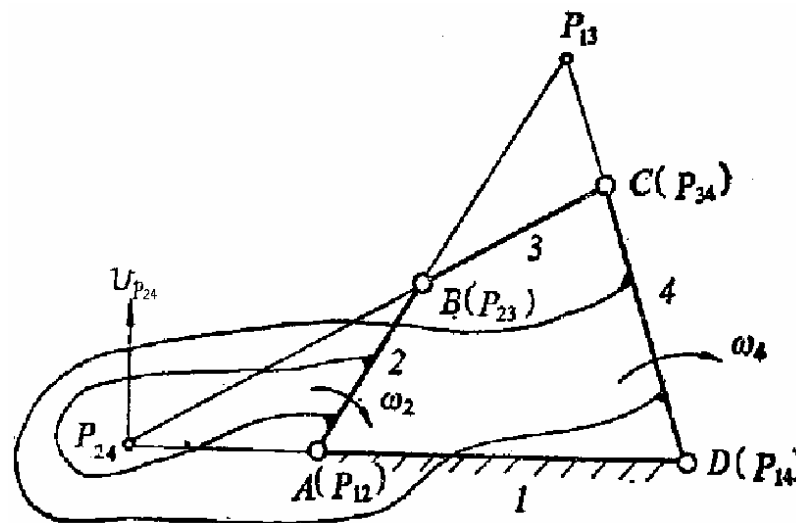
- 找出全部瞬心： $P_{12}$   $P_{23}$   $P_{34}$   $P_{14}$   $P_{13}$   $P_{24}$



# 求铰链四杆机构瞬心点的速度

$$v_{P_{24}} = \omega_2 l_{P_{12}P_{24}} = \omega_4 l_{P_{24}P_{14}}$$

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

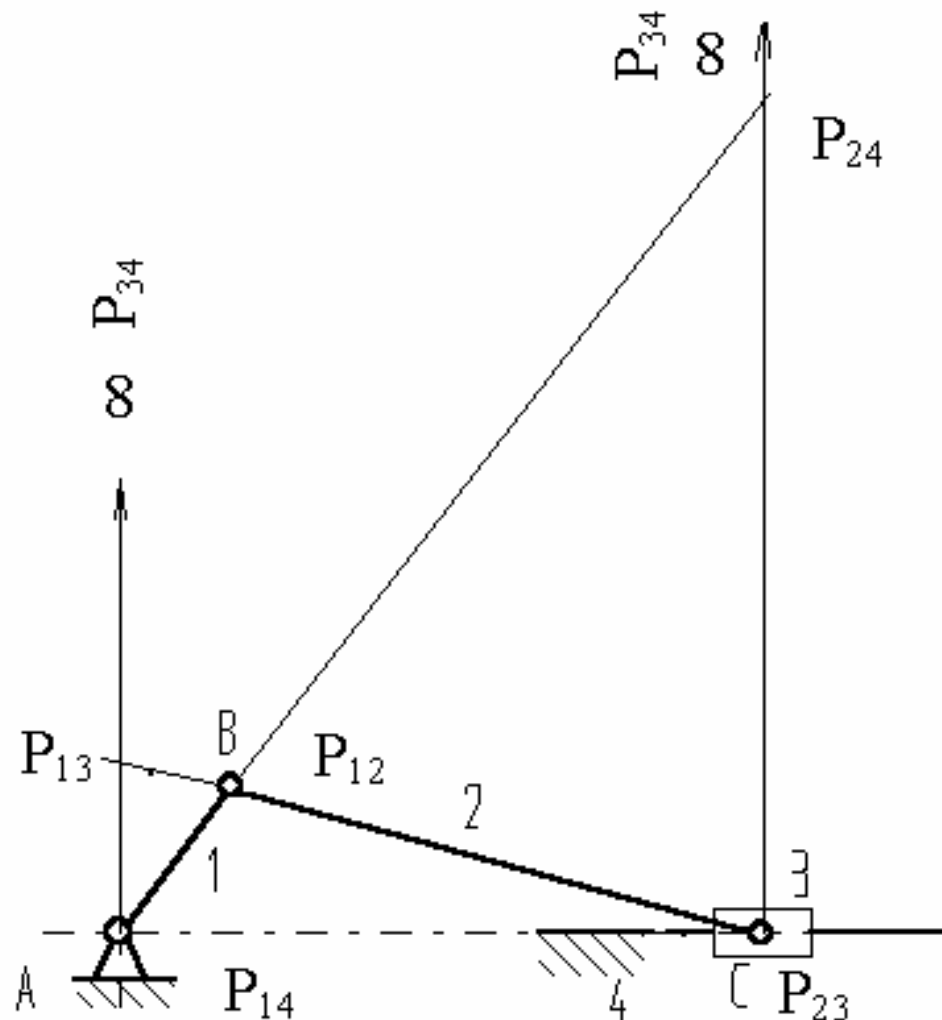


- $P_{24}$ 在  $P_{14}$ 和 $P_{12}$ 的同侧，则 $\omega_2$ 和 $\omega_4$ 同向；
- $P_{24}$ 在  $P_{14}$ 和 $P_{12}$ 之间，则 $\omega_2$ 和 $\omega_4$ 反向；
- 用此法，可求任意两构件的角速度比的大小和角速度的方向。

# 求曲柄滑块机构的瞬心

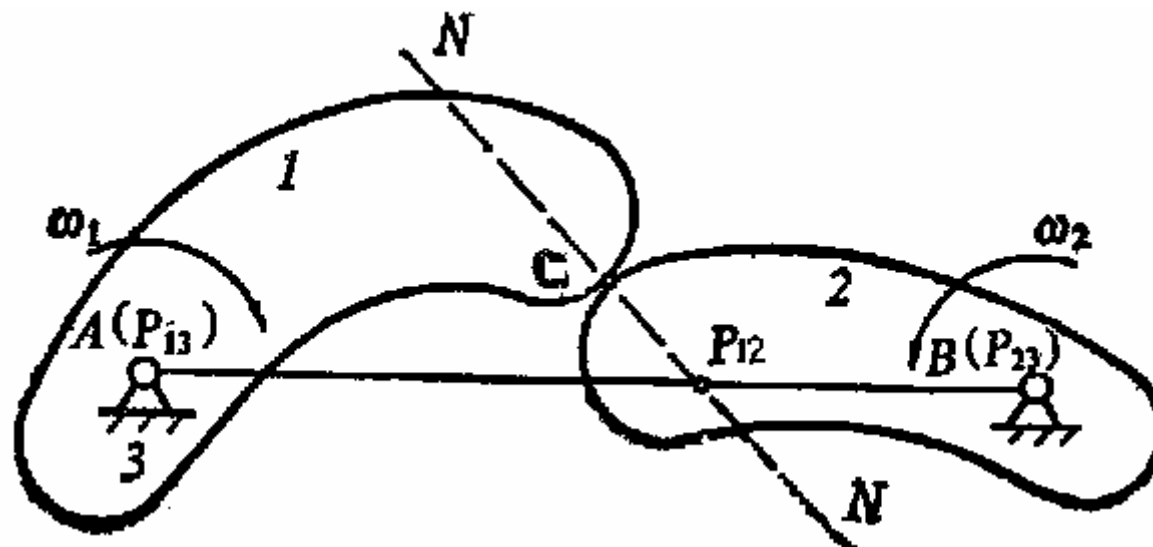
- 找出全部瞬心： $P_{12}$   
 $P_{23}$   $P_{34}$   $P_{14}$   $P_{13}$   $P_{24}$
- 已知杆1的角速度 $\omega_1$ 和几何尺寸；
- 则滑块3的速度为：

$$v_3 = \omega_1 l_{P_{14}P_{13}}$$



# 齿轮或摆动凸轮机构

- $P_{12}$ 在 $P_{13}$ 和 $P_{23}$ 连线上;
- $P_{12}$ 应在高副接触点的公法线 $n-n$ 上;
- 二线交点即为瞬心 $P_{12}$



$$\begin{aligned} v_{P12} &= \omega_2 l_{P23P12} \\ &= \omega_1 l_{P13P12} \end{aligned}$$

# 直动从动件凸轮机构

4  
8

- $P_{12}$  在  $P_{13}$  和  $P_{23}$  连线上;
- $P_{12}$  应在高副接触点的公法线  $n-n$  上;
- 二线交点即为瞬心  $P_{12}$

$$\begin{aligned} v_{P_{12}} &= v_2 \\ &= \omega_1 l_{P_{13}P_{12}} \end{aligned}$$

