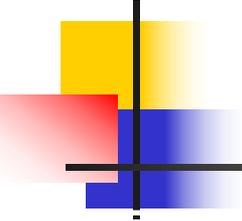


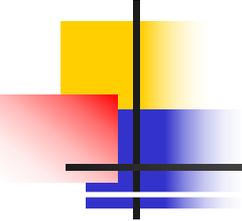
学习情境 二

平面连杆机构的运动分析与设计



能力目标

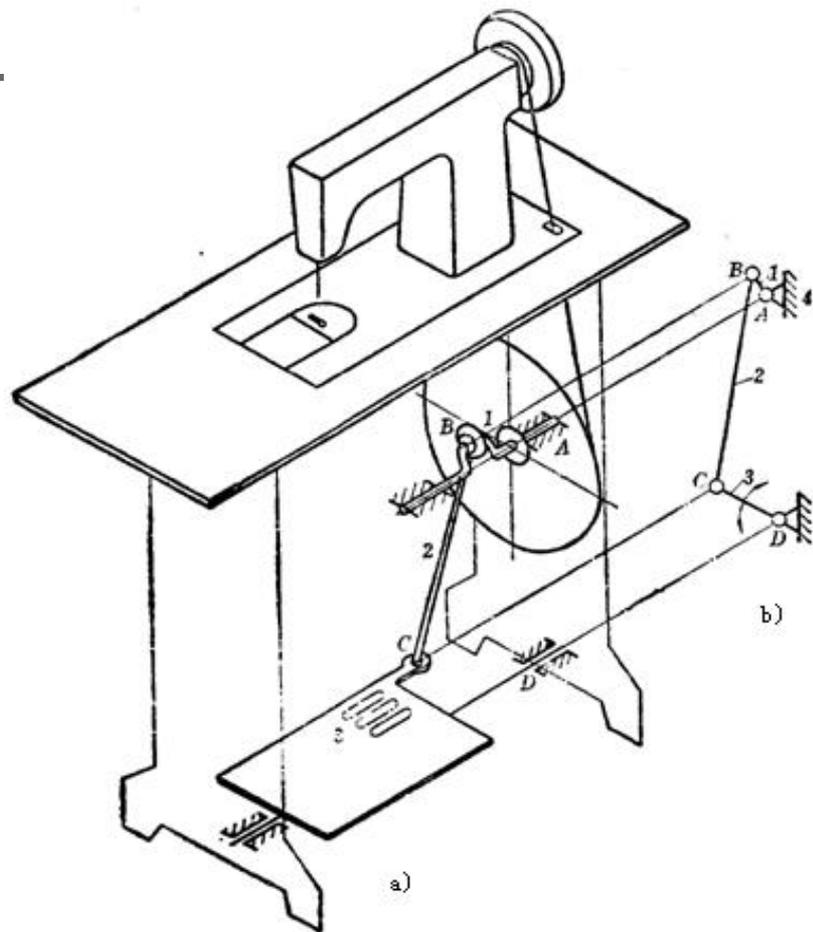
- 能够判断铰链四杆机构的类型并合理应用。
- 能够分析并应用平面四杆机构的工作特性解决实际问题。
- 能够初步运用平面连杆机构进行机械创新设计。



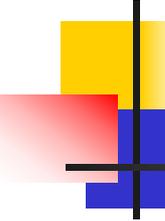
学习内容

- ◆ 2.1 平面连杆机构的特点及其应用
- ◆ 2.2 平面四杆机构的类型及其应用
- ◆ 2.3 平面四杆机构的工作特性及其应用
- ◆ 2.4 平面四杆机构的设计

案例导入



缝纫机的踏板机构



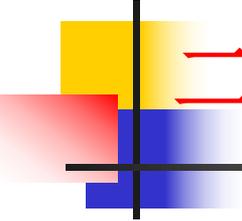
一、平面连杆机构的特点

优点：

- 在传递同样载荷的条件下，可以承受较大的载荷；
- 低副的两元素间便于润滑，不易产生大的磨损；
- 低副两元素的几何形状比较简单，方便加工制造；
- 在连杆机构中，当原动件以相同的运动规律运动时，如果改变各杆件的相对长度关系，也可使从动件得到不同的运动规律。

缺点：

- 运动副磨损后的间隙不能自动补偿，容易积累运动误差；
- 不易精确地实现复杂的运动规律；
- 运动中的惯性力难以平衡。



二、平面连杆机构的应用

各种机械（动力机械、轻工机械、重型机械）和仪表中。诸如活塞发动机的曲柄滑块机构、飞机起落架机构和汽车车门的关闭机构、人造卫星太阳能板的展开机构、折叠伞的收放机构、机械手的传动机构以及人体的假肢机构等。

2.2、平面四杆机构的类型及应用

一、铰链四杆机构的基本类型及其应用

铰链四杆机构：四个运动副都是转动副的四杆机构。

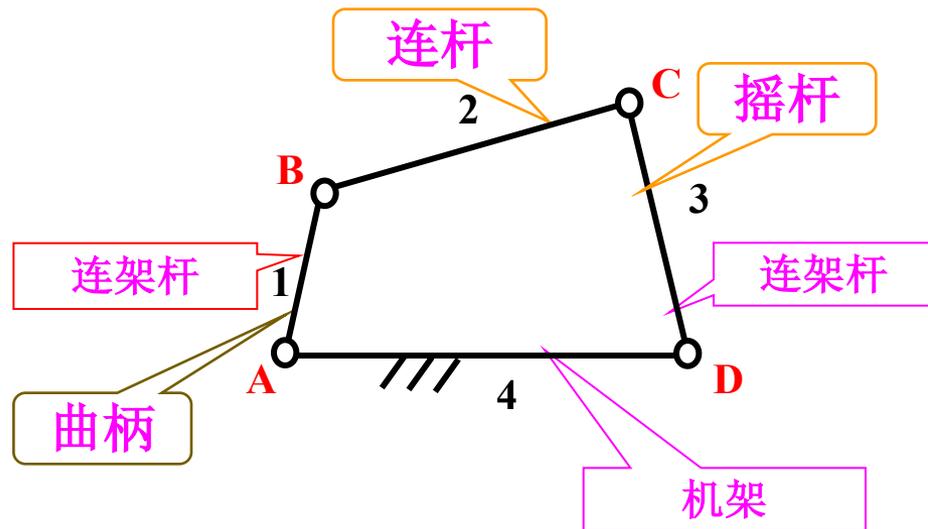
机架—固定不动的构件；

连架杆—与机架相联的构件；

连杆—不与机架相联的构件；

曲柄—作整周定轴回转的连架杆；

摇杆—作定轴摆动的连架杆；

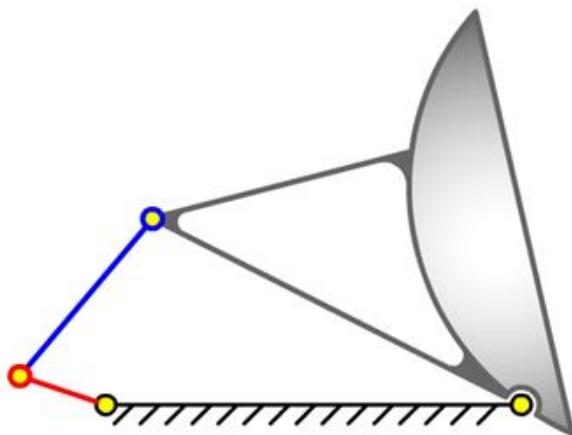


1. 曲柄摇杆机构

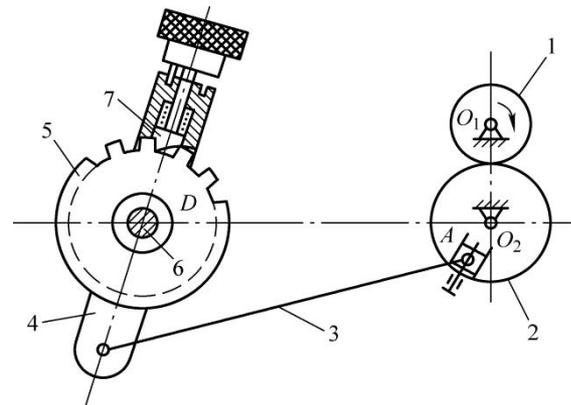
在铰链四杆机构中，若两个连架杆中一个为曲柄，另一个为摇杆，则此铰链四杆机构称为曲柄摇杆机构。



缝纫机的踏板机构



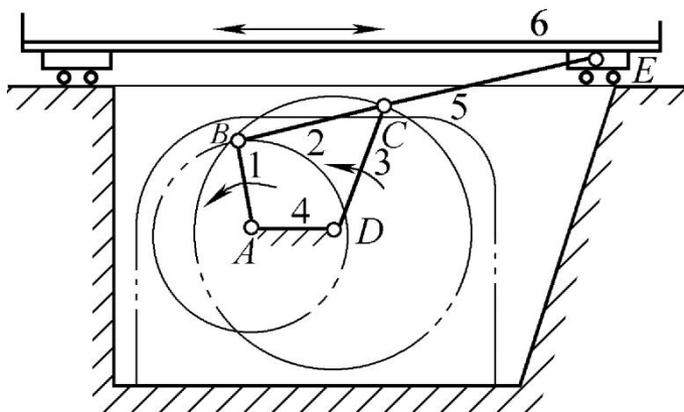
雷达天线仰俯角调整机构



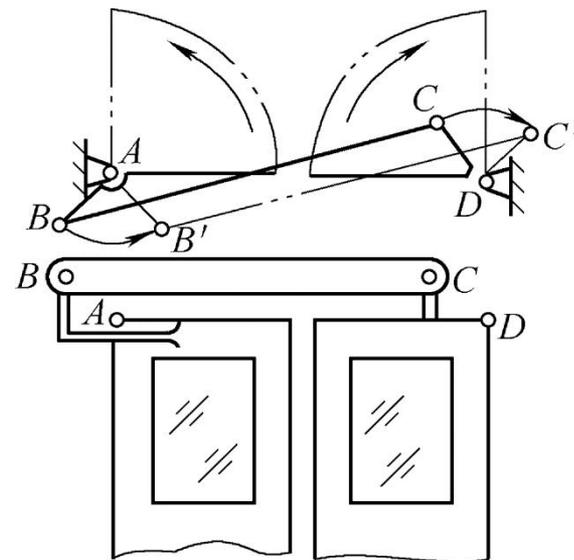
牛头刨床自动进给机构

2. 双曲柄机构

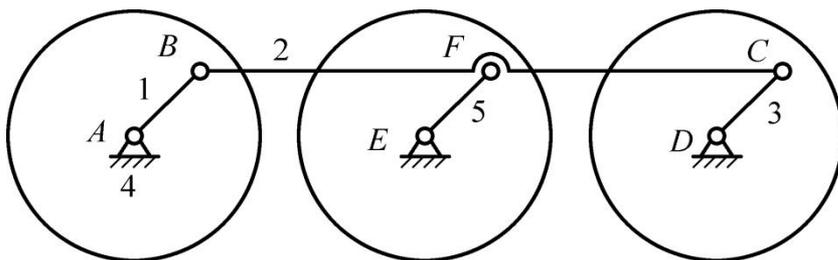
若两连架杆均为曲柄的铰链四杆机构则称为双曲柄机构。



惯性筛



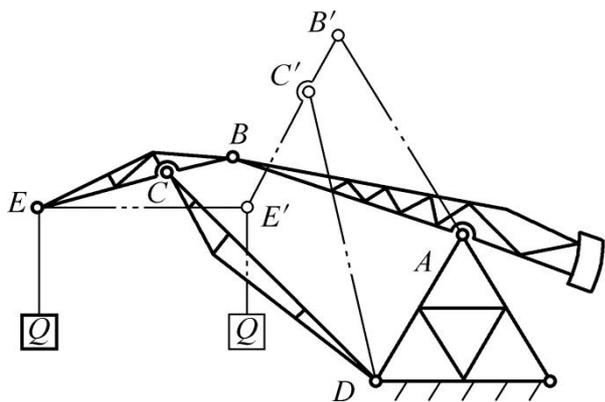
汽车车门开闭机构



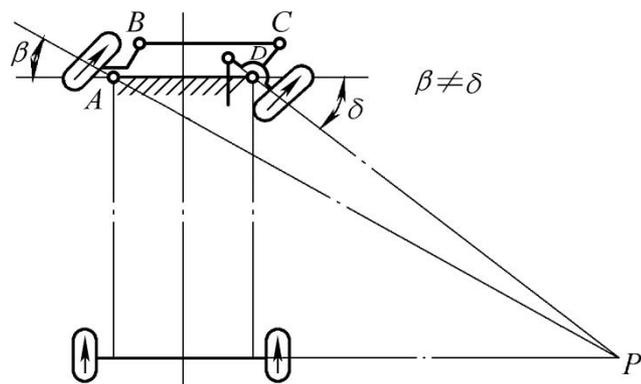
机车驱动轮联动机构

3. 双摇杆机构

在铰链四杆机构中，若两连架杆均为摇杆，则此机构称为双摇杆机构。



鹤式起重机机构



汽车前轮转向机构

二、铰链四杆机构的判定

若 $a \leq d$

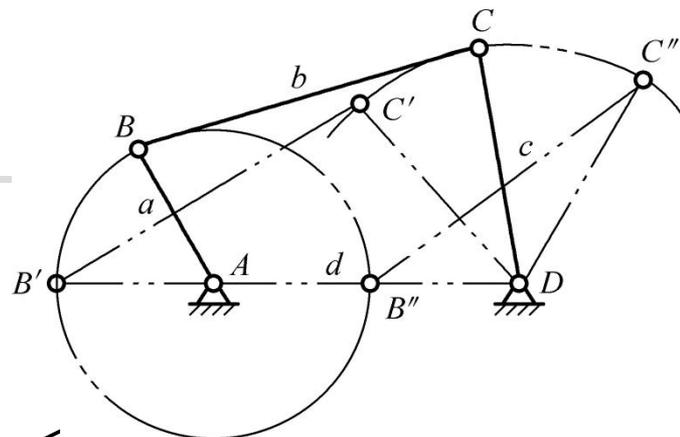
$$a + d \leq b + c$$

$$b \leq (d - a) + c$$

$$c \leq (d - a) + b$$

→

$$\begin{cases} a + d \leq b + c \\ a + b \leq c + d \\ a + c \leq d + b \\ a \leq b, a \leq c, a \leq d \end{cases}$$

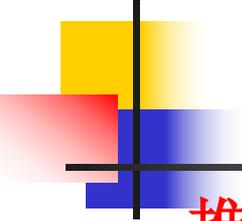


若 $d \leq a$

$$\begin{cases} d + a \leq b + c \\ d + b \leq c + a \\ d + c \leq a + b \\ d \leq a, d \leq b, d \leq c \end{cases}$$

铰链四杆机构曲柄存在条件为：

- (1) 连架杆和机架中必有一杆是最短杆；
- (2) 最短杆与最长杆长度之和小于或等于其余两杆长度之和。



推论:

当 $L_{max} + L_{min} \leq L$ (其余两杆长度之和)时

- 最短杆是连架杆之一

—— 曲柄摇杆机构

- 最短杆是机架

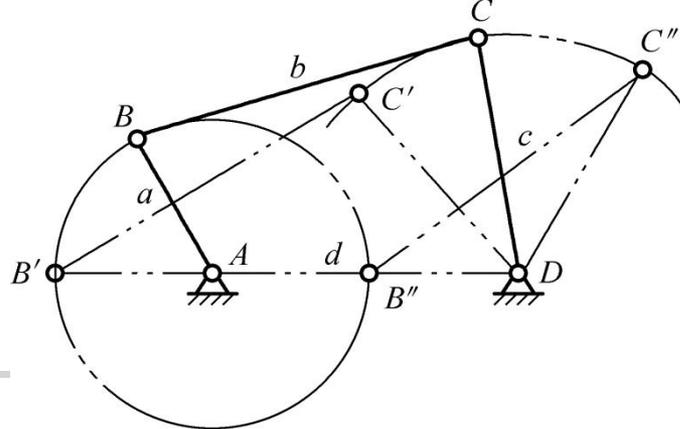
—— 双曲柄机构

- 最短杆是连杆

—— 双摇杆机构

当 $L_{max} + L_{min} > L$ (其余两杆长度之和)时

—— 双摇杆机构



【例2-1】 如图所示四杆机构中，若各杆长度为 $a=25\text{mm}$ ， $b=90\text{mm}$ ， $c=75\text{mm}$ ， $d=100\text{mm}$ ，试求：

- 1) 若杆 AB 是机构的主动件， AD 为机架，机构是什么类型的机构？
- 2) 若杆 BC 是机构的主动件， AB 为机架，机构是什么类型的机构？
- 3) 若杆 BC 是机构的主动件， CD 为机架，机构是什么类型的机构？

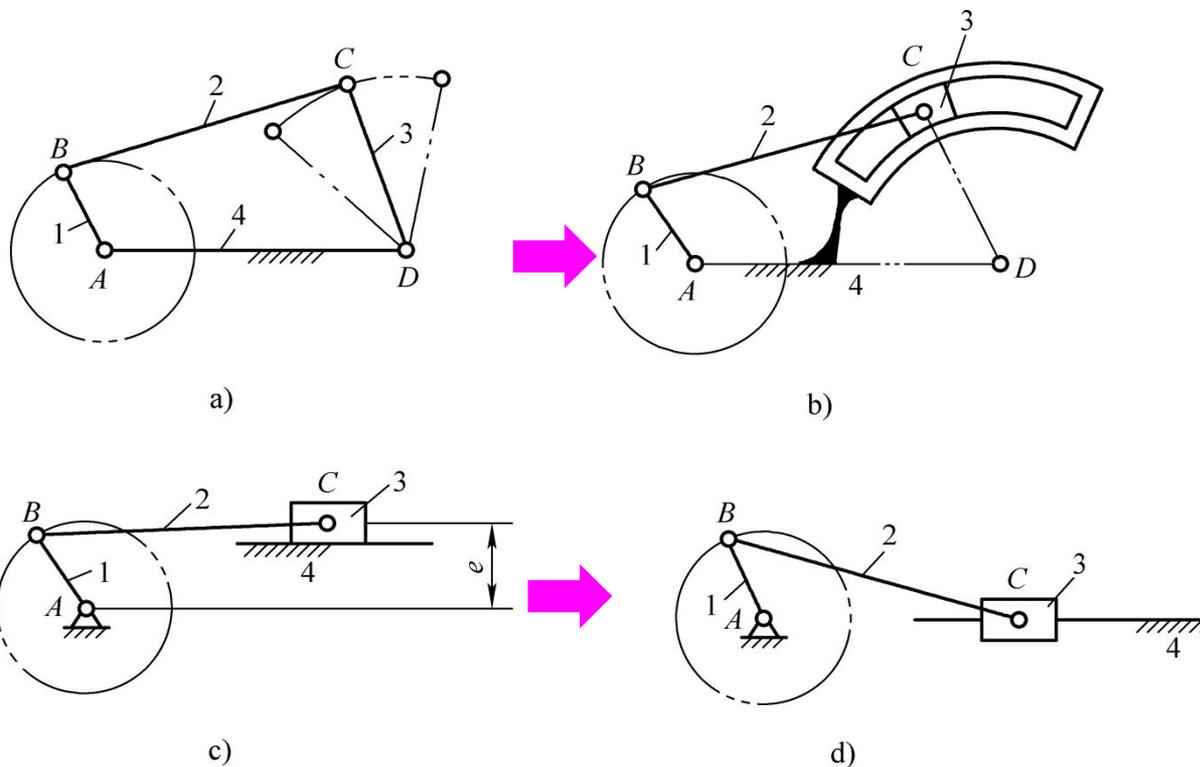
解： $a + d = (25 + 100)\text{mm} = 125\text{mm} < b + c = (90 + 75)\text{mm} = 165\text{mm}$

- 1) 若杆 AB 是机构的主动件， AD 为机架，因为满足杆长之和条件，且最短杆 AB 是连架杆，将得到曲柄摇杆机构。
- 2) 此时最短杆 AB 是机架，将得到双曲柄机构。
- 3) 此时最短杆 AB 是连杆，将得到双摇杆机构。

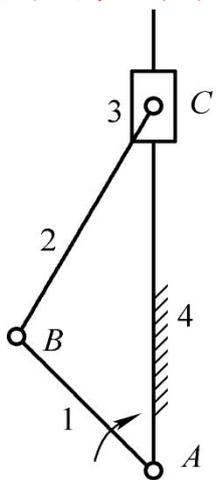
三、铰链四杆机构的演化形式

常用的演化机构

1. 曲柄滑块机构

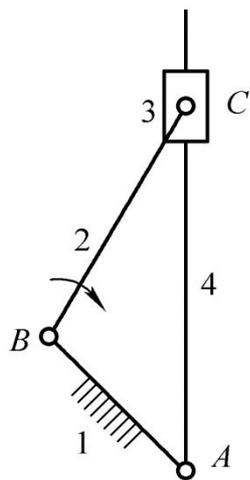


2. 导杆机构
3. 摇块机构
4. 定块机构



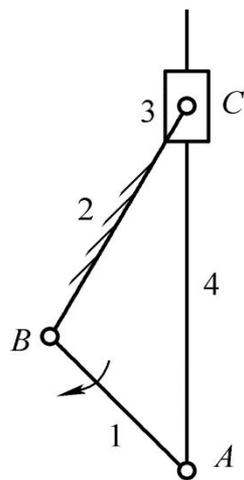
a)

曲柄滑块机构



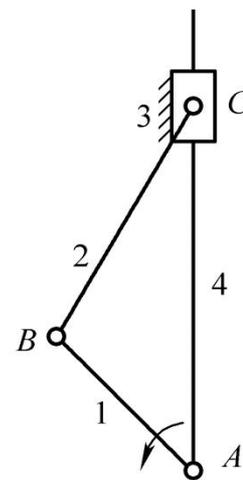
b)

导杆机构



c)

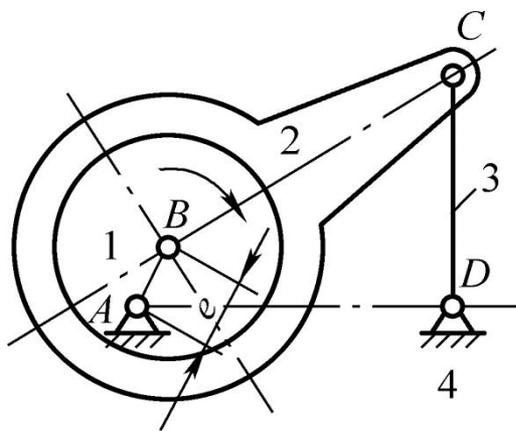
摇块机构



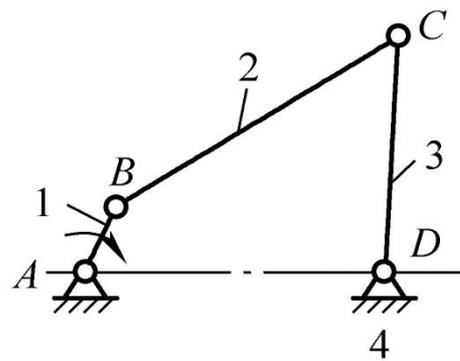
d)

定块机构

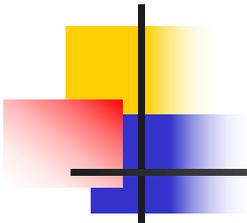
5. 偏心轮机构



a)

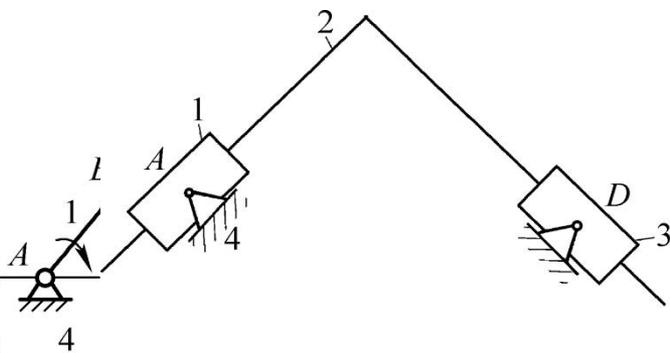


b)

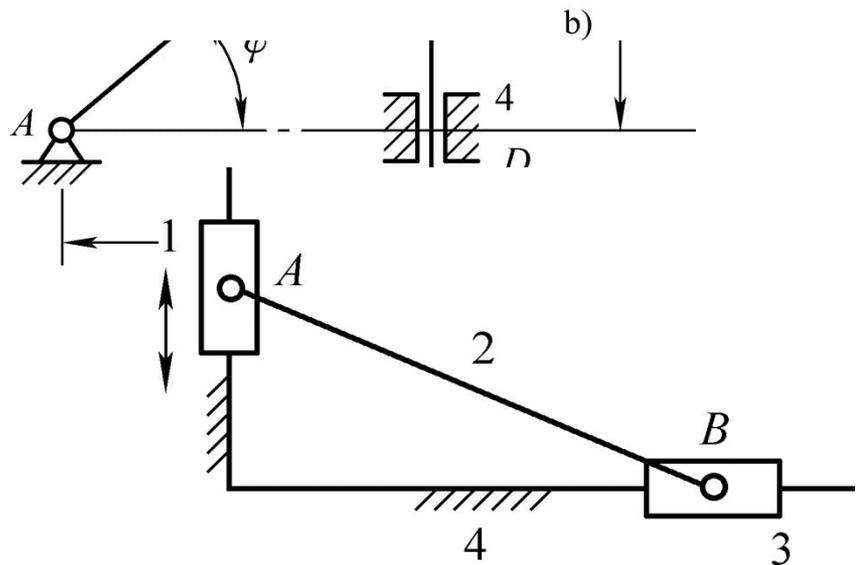
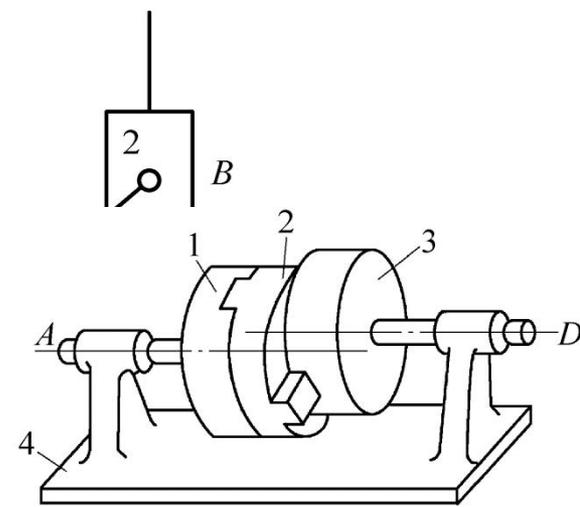


6. 双滑块机构

- ① 两个移动副不
- ② 两个移动副相
- ③ 两个移动副相
- ④ 两个移动副都与机架相连



a)



b)

2.3 平面四杆机构的工作特性及其应用

一、急回运动特性

◆ 摇杆摆角 ψ 与 极位夹角 θ :

摇杆CD两极限位置间的夹角 ψ 称摇杆摆角;

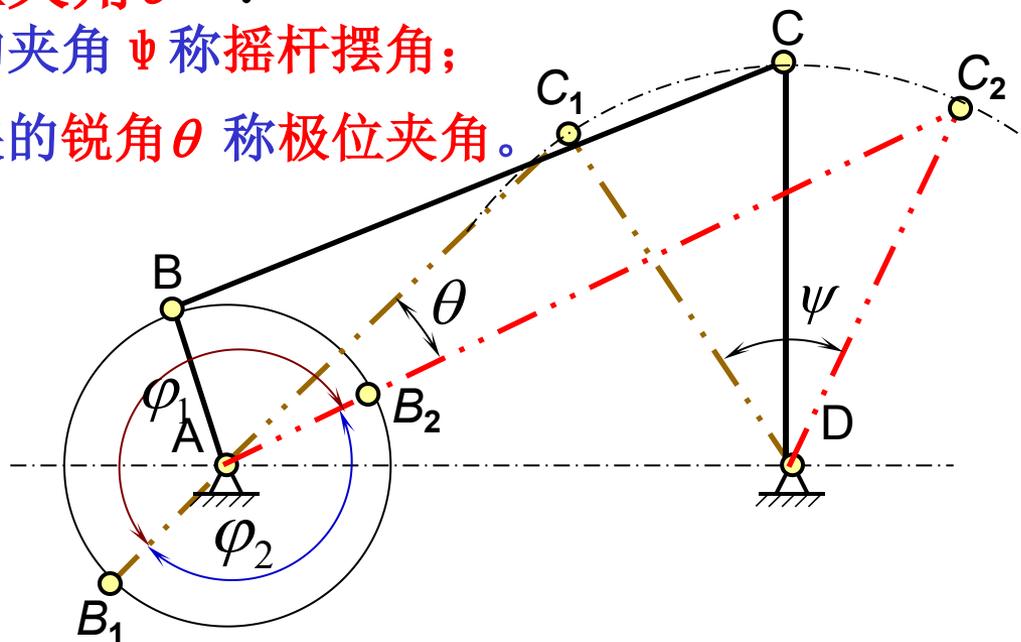
此时曲柄AB对应位置所夹的锐角 θ 称极位夹角。

◆ 急回运动特性

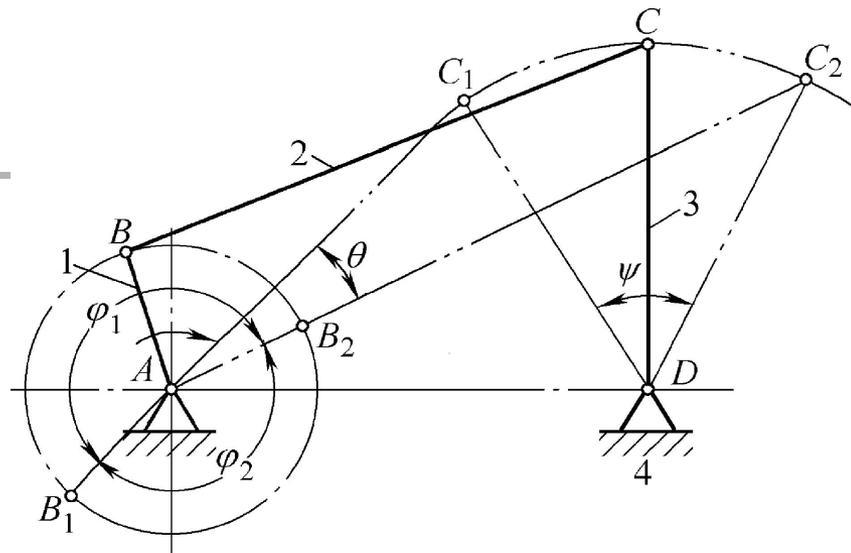
$$\varphi_1 = 180^\circ + \theta$$

$$\varphi_2 = 180^\circ - \theta$$

$$\varphi_1 > \varphi_2, \quad t_1 > t_2$$



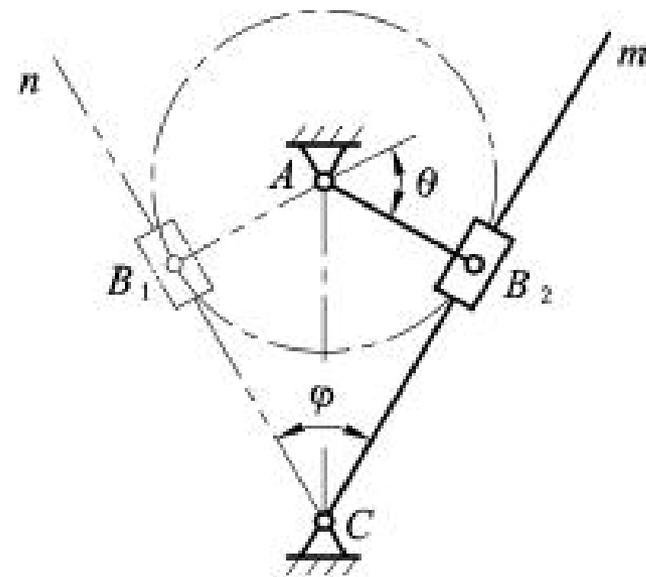
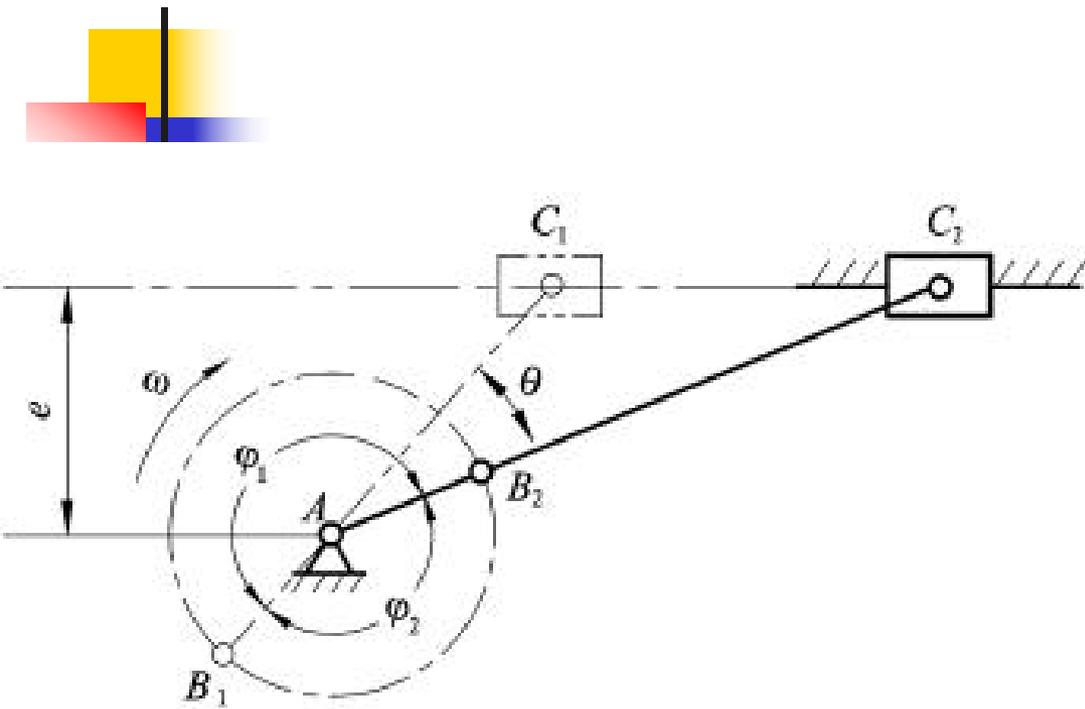
返回速度大于推进速度的性质称急回运动特性。



◆ 行程速比系数K

$$K = \frac{v_2}{v_1} = \frac{C_1C_2/t_2}{C_1C_2/t_1} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta} \quad \theta = 180^\circ \cdot \frac{K-1}{K+1}$$

θ 越大, K 越大, 则急回运动特征越明显; 反之则越不明显。



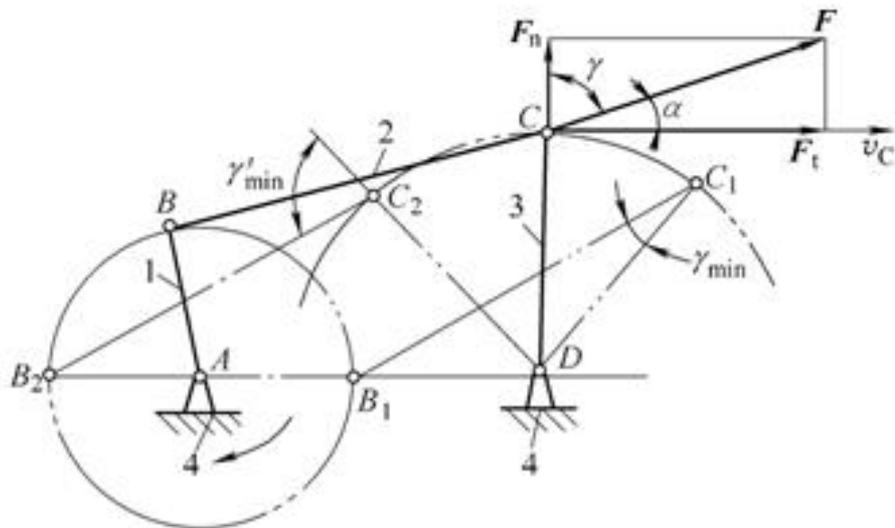
偏置曲柄滑块机构和摆动导杆机构的极位夹角

二、压力角和传动角

➤ 压力角 α :

作用在从动件上的驱动力
与该力作用点绝对速度方向之
间所夹之锐角为**压力角**

作用在从动件受力点的力为 F



$$F \text{ 分解 } \begin{cases} F_t = F \cos \alpha & \text{有效分力} \\ F_n = F \sin \alpha & \text{有害分力} \end{cases}$$

➤ 传动角 γ

$$\gamma = 90^\circ - \alpha$$

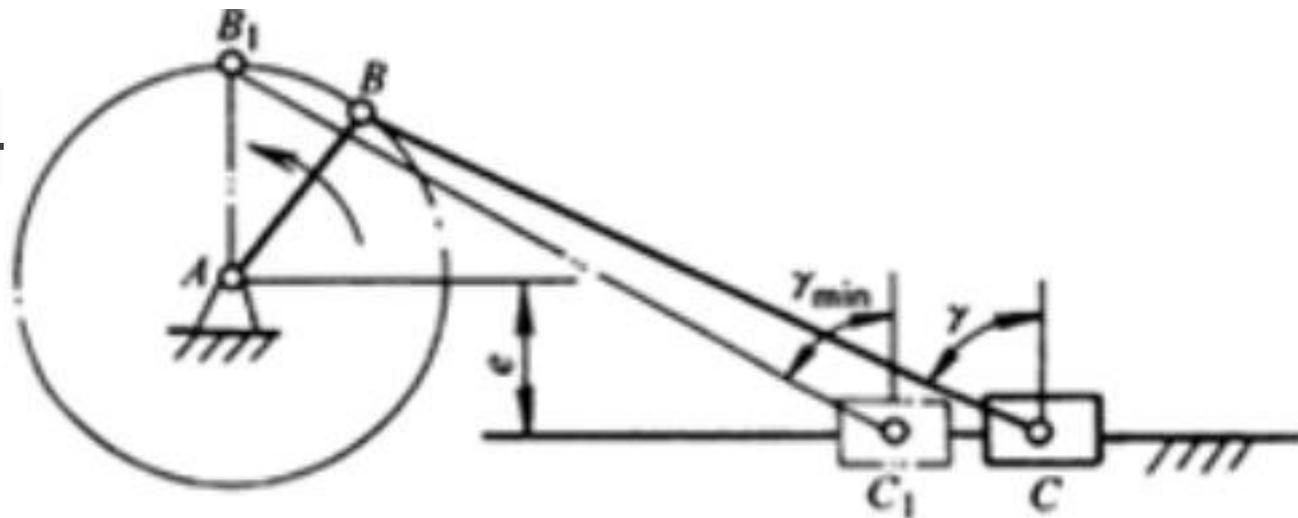
常用 γ 来检验传力性能。

γ 愈大，传力性能愈好。

传力要求 $\gamma_{\min} \geq 40^\circ \sim 50^\circ$

γ_{\min} 出现位置：曲柄与机架共线。即

$\varphi = 0^\circ$ 或 $\varphi = 180^\circ$ 时出现

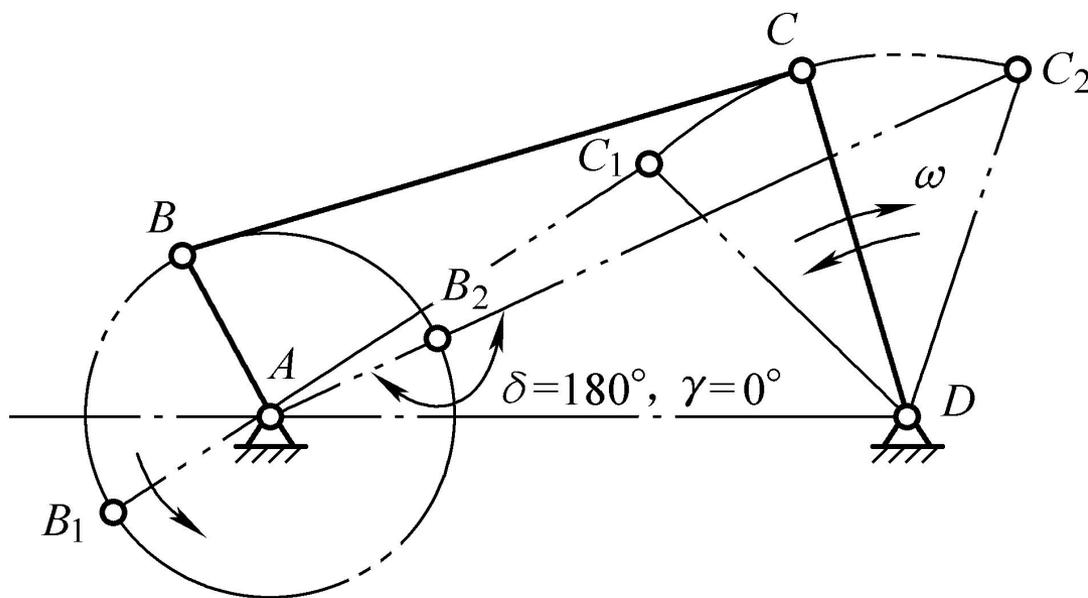


偏置曲柄滑块机构以曲柄为当主动件，传动角 γ 为连杆与导路垂线所夹锐角，且最小传动角 γ_{\min} 出现在曲柄垂直于导路时的位置，并且位于与偏距方向相反的一侧。

对心曲柄滑块机构，即偏距 $e=0$ 的情况，其最小传动角 γ_{\min} 出现在曲柄垂直于导路的位置。

三、死点

死点位置:在从动曲柄与连杆共线的位置，出现机构的传动角 $\gamma=0$ ，压力角 $\alpha=90^\circ$ 的情况，这时连杆对从动曲柄的作用力恰好通过其回转中心，不能推动曲柄转动，机构的这种位置。



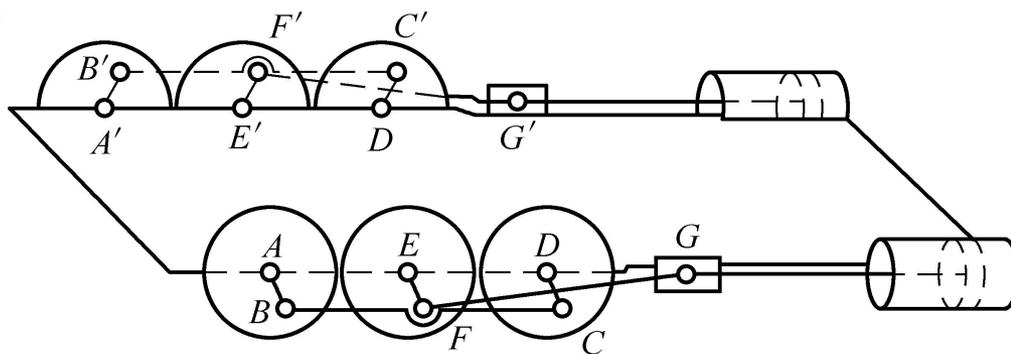
克服死点:

①利用构件惯性力。

如**缝纫机机构**。

②采用多套机构错位排列，使得止点位置错开。

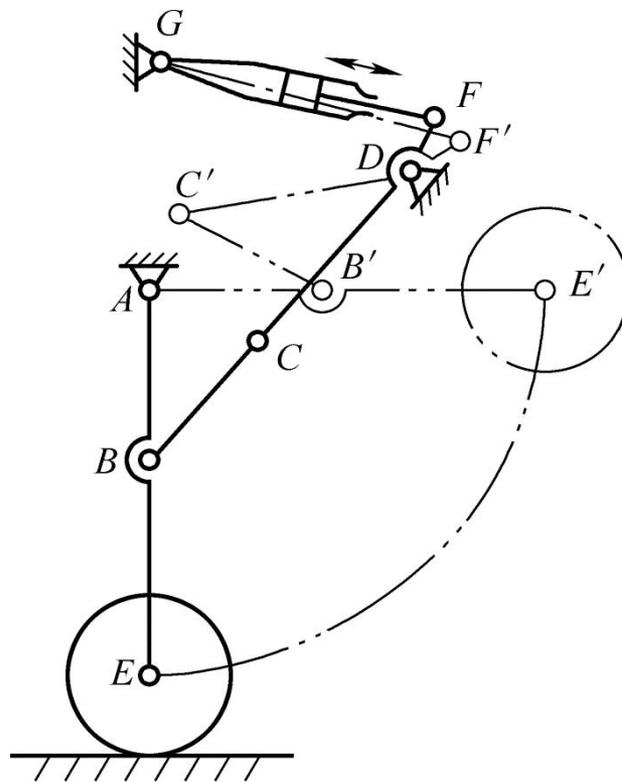
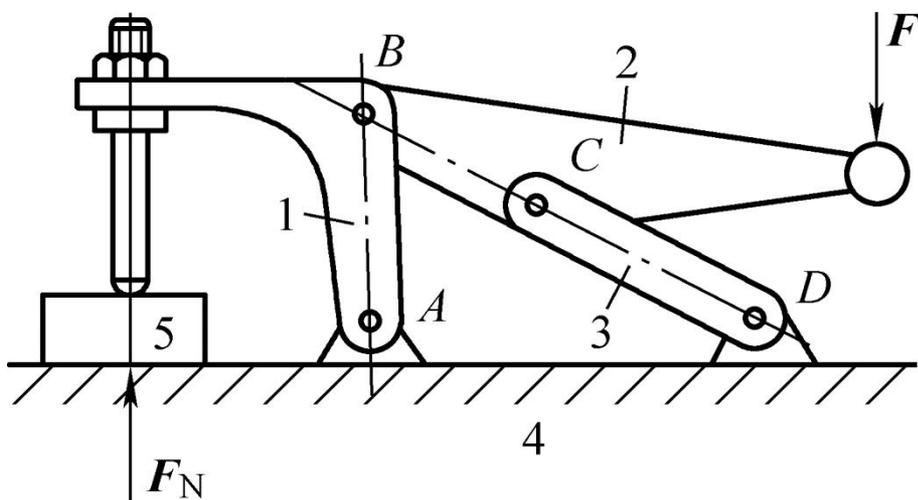
如**机车车轮联动机构**。

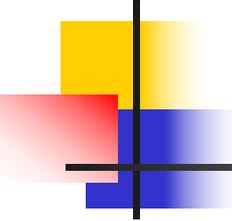


利用死点:

① 夹紧机构

② 飞机起落架





2.4 平面四杆机构的设计

□ 两类基本问题：

- 实现给定运动规律；
- 实现给定运动轨迹。

□ 三种设计方法：

- 图解法 简明易懂，精确性差。
- 解析法 精确度好，计算繁杂。
- 实验法 形象直观，过程复杂。

一、图解法

1. 按给定连杆位置设计四杆机构

设已知连杆的长度和它的三个位置 B_1C_1 、 B_2C_2 、 B_3C_3 ，如图2-29所示，试设计该铰链四杆机构。

要求：设计铰链四杆机构

设计步骤：

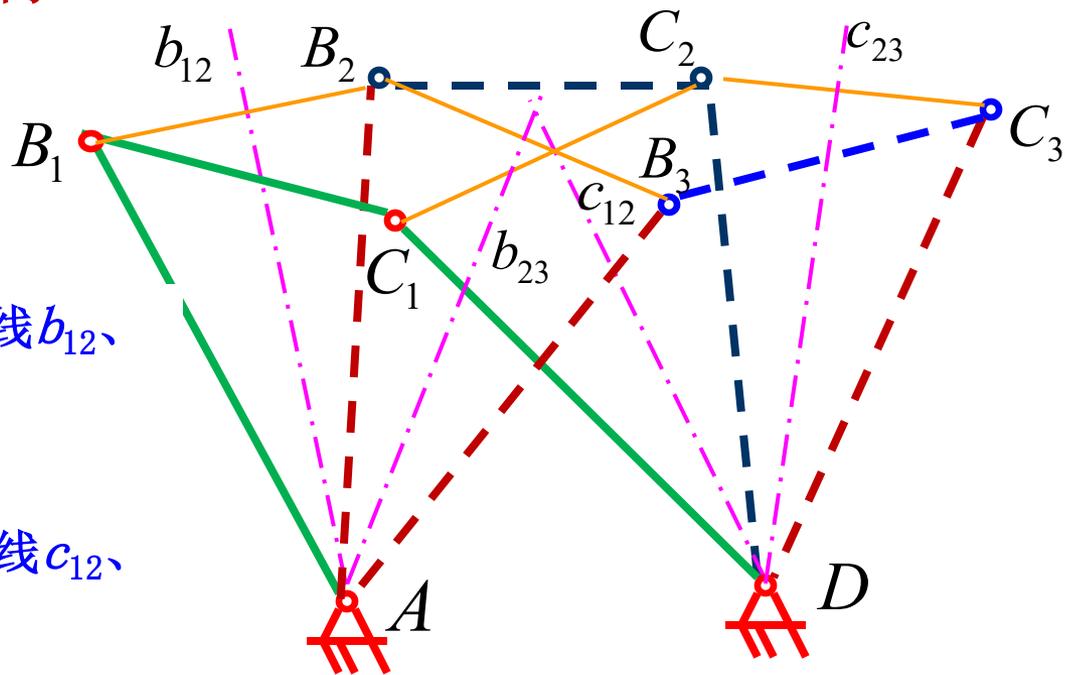
①连接 B_1B_2 、 B_2B_3 ，

作线 B_1B_2 、 B_2B_3 的垂直平分线 b_{12} 、 b_{23} ，交于 A 点；

②连接 C_1C_2 、 C_2C_3 ，

作线 C_1C_2 、 C_2C_3 的垂直平分线 c_{12} 、 c_{23} ，交于 D 点；

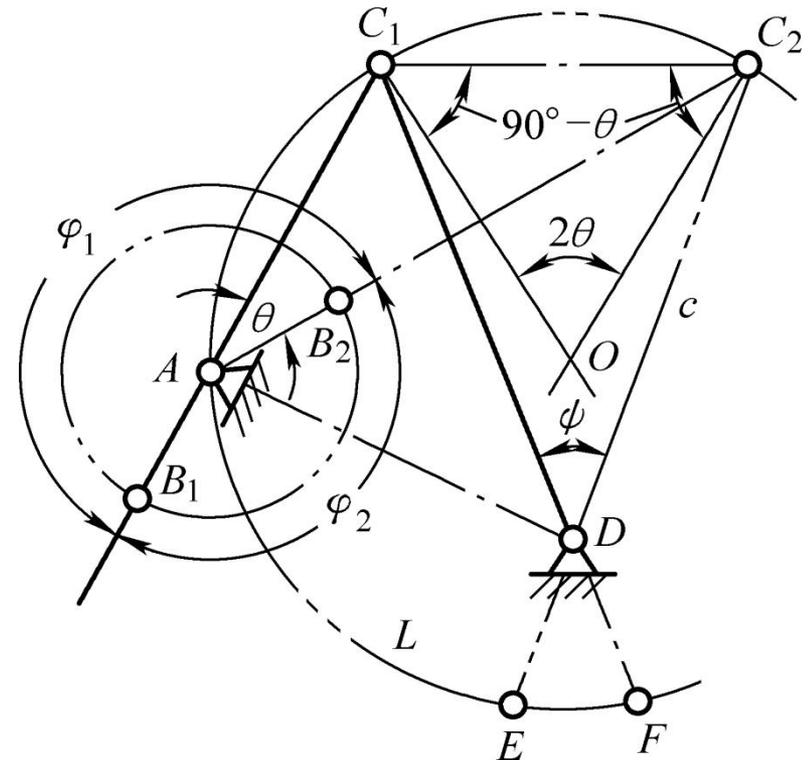
③连接 AB_1 、 C_1D 。



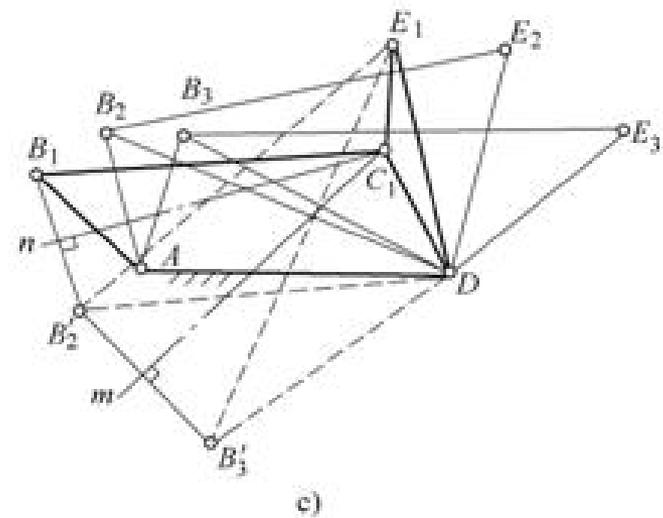
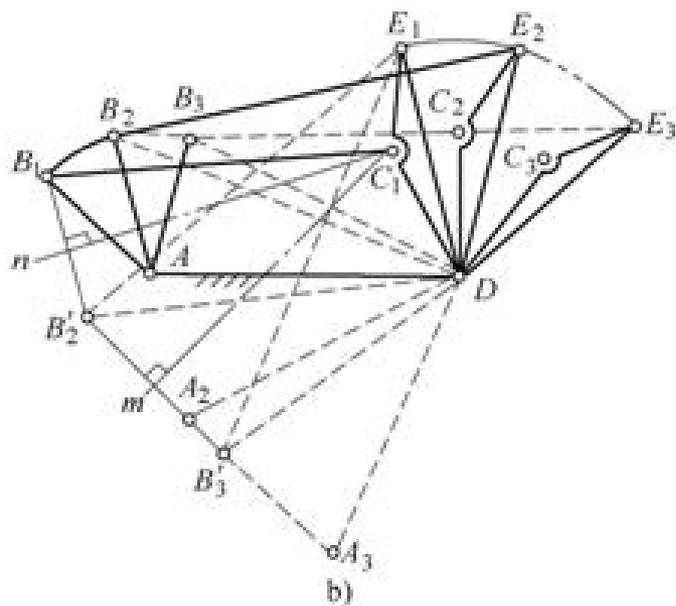
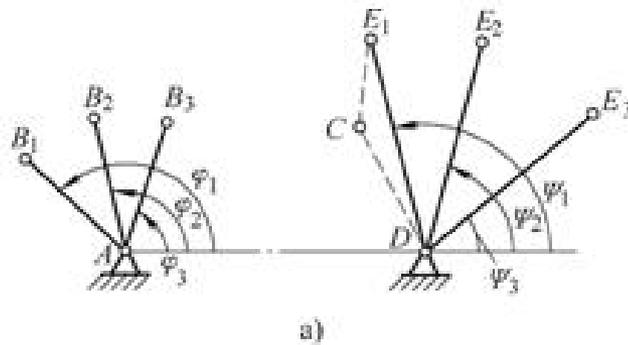
2. 按照给定的行程速比系数设计四杆机构

给定行程速比系数 K 、摇杆长度 c 及其摆角 ψ ，请用图解法设计此曲柄摇杆机构。

- ① 算出极位夹角 θ ;
- ② 任选一点 D ，由摇杆长度 c 及摆角 ψ 作摇杆的两个极限位置 C_1D 和 C_2D ;
- ③ 连直线 C_1C_2 ，作 $\angle C_1C_2O = \angle C_2C_1O = \angle 90^\circ - \theta$ ，得 C_1O 与 C_2O 的交点 O ，可得 $\angle C_1OC_2 = 2\theta$;
- ④ 以 O 为圆心、 OC_1 为半径作圆 L ，则该圆周上任意点 A 与 C_1 和 C_2 连线夹角 $\angle C_1AC_2 = \theta$ 。

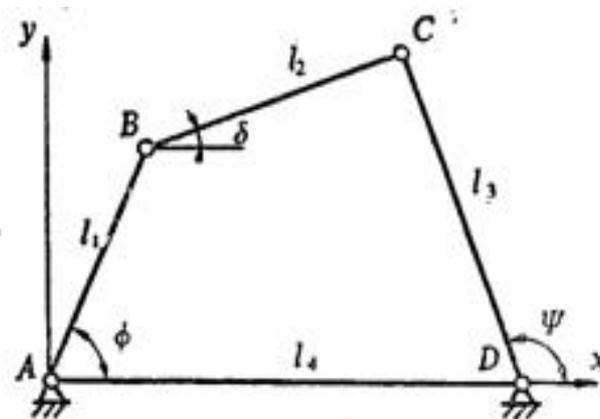


3. 按照给定的两连架杆相对位置设计四杆机构



二、解析法

在图所示的铰链四杆机构中，已知连架杆 AB 和 CD 的三对对应位置 $\phi_1, \psi_1, \phi_2, \psi_2$ 和 ϕ_3, ψ_3 ，要求确定各杆的长度 l_1, l_2, l_3 和 l_4 。



解析法设计四杆机构

解：由于此机构各杆长度按同一比例增减时，各杆转角间的关系不变，故可只需确定各杆的相对长度。若取 $l_1=1$ ，则该机构待求参数只有三个。

该机构的四个杆组成封闭多边形。取各杆在坐标轴 x 和 y 上的投影，可得到以下关系式：

$$\begin{cases} \cos \phi + l_2 \cos \delta = l_4 + l_3 \cos \psi \\ \sin \phi + l_2 \sin \delta = l_3 \sin \psi \end{cases}$$

将 $\cos\phi$ 和 $\sin\phi$ 移到等式右边，再把等式两边平方相加，消去 δ ，整理后得

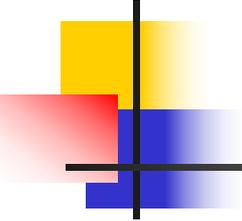
$$\cos\phi = \frac{l_4^2 + l_3^2 + 1 - l_2^2}{2l_4} + l_3 \cos\psi - \frac{l_3}{l_4} \cos(\psi - \phi)$$

令

$$\begin{cases} P_0 = l_3 \\ P_1 = \frac{l_3}{l_4} \\ P_2 = \frac{l_4^2 + l_3^2 + 1 - l_2^2}{2l_4} \end{cases} \quad (1)$$

则有 $\cos\phi = P_0 \cos\psi + P_1 \cos(\psi - \phi) + P_2$ (2)

上式(2)即为两连架杆转角之间的关系式。将已知的三对对应转角 ϕ_1 、 ψ_1 、 ϕ_2 、 ψ_2 和 ϕ_3 、 ψ_3 分别代入式(2)，可得到方程组：



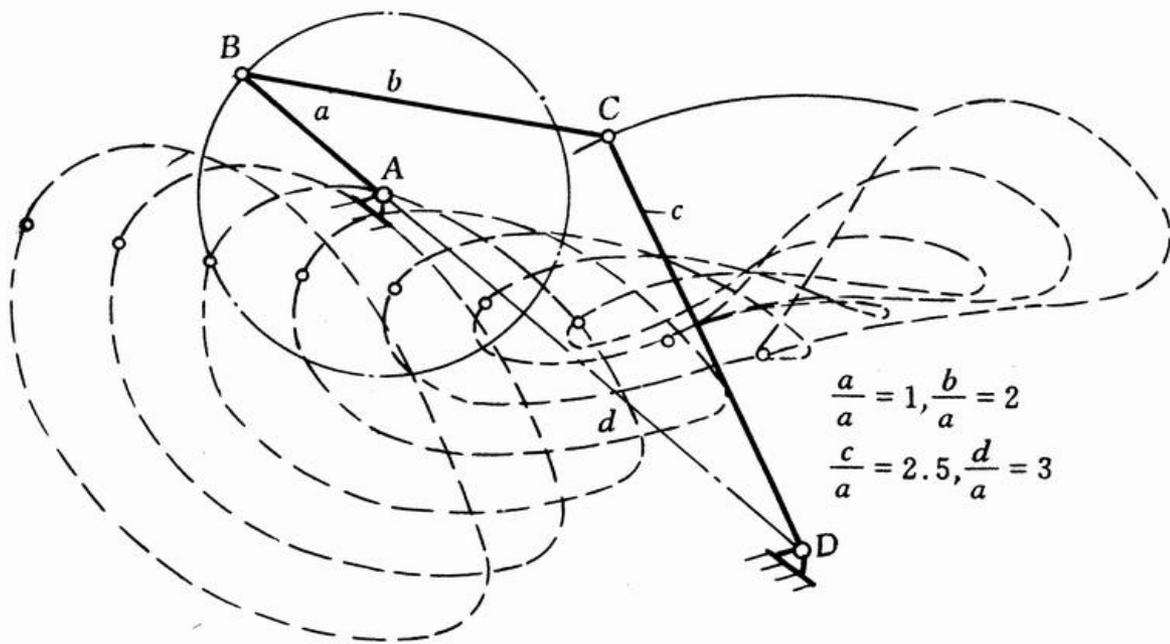
$$\begin{cases} \cos \phi_1 = P_0 \cos \psi_1 + P_1 \cos(\psi_1 - \phi_1) + P_2 \\ \cos \phi_2 = P_0 \cos \psi_2 + P_1 \cos(\psi_2 - \phi_2) + P_2 \\ \cos \phi_3 = P_0 \cos \psi_3 + P_1 \cos(\psi_3 - \phi_3) + P_2 \end{cases}$$

由方程组可以解出三个未知数 P_0 、 P_1 、 P_2 。将它们代入式(1)，即可得 l_2 、 l_3 、 l_4 。以上求出的杆长 l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 可同时乘以任意比例常数，所得的机构都能实现对应的转角。

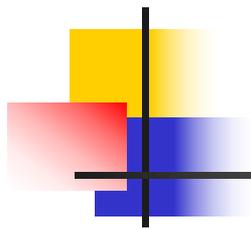
三、实验法

连杆曲线：四杆机构运动时，连杆作平面复杂运动对其上面任一点都能描绘出一条封闭曲线，这种曲线称为连杆曲线。

原理：连杆曲线的形状随点在连杆上的位置和构件的相对长度的不同而不同。



方法与步骤：借用已编成册的连杆曲线图谱，根据预定运动轨迹从图谱中选则形状相近的曲线，同时查得机构各杆尺寸及描述杆在连杆上的位置，再用缩放仪求出图谱曲线与所需轨迹曲线的缩放倍数，即可求得四杆机构的结构及运动尺寸。



END