

第2章 平面连杆机构

本章内容

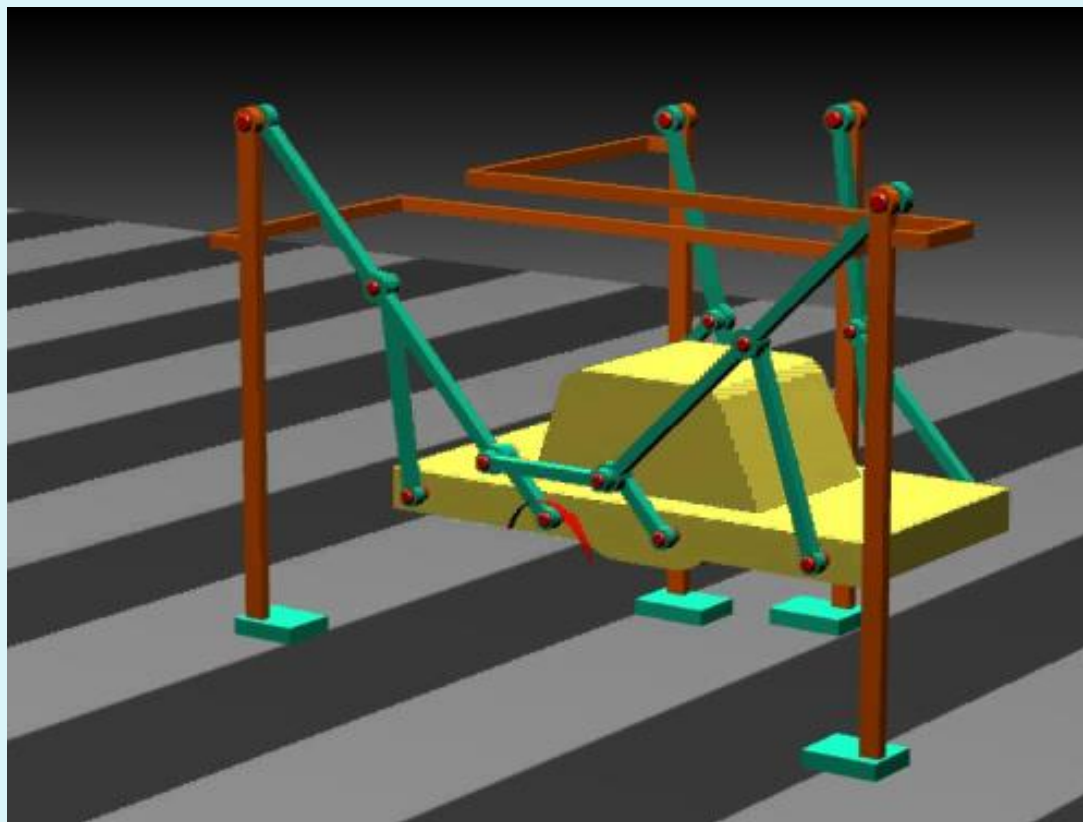
- 平面四杆机构的基本类型及其应用
- 平面四杆机构的基本特性
- 平面四杆机构的设计

本章重点

- ✓ 平面四杆机构的基本形式和演化；
- ✓ 平面四杆机构的基本特性。

第2章 平面连杆机构

1. 平面连杆机构

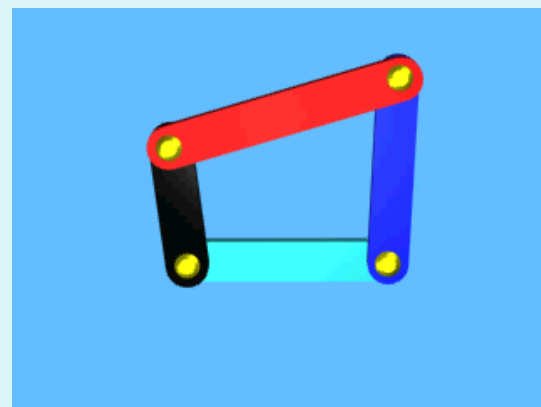
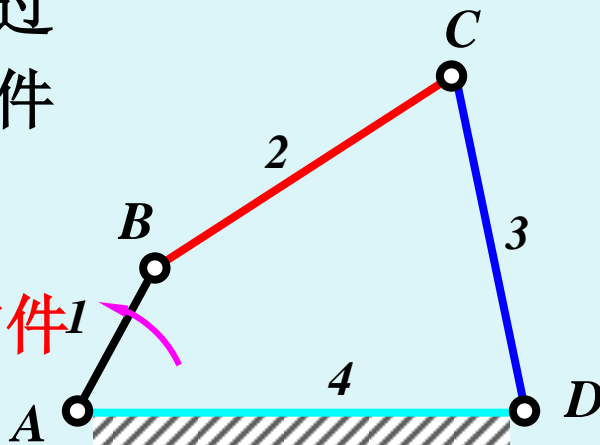


四足机器人

连杆机构：由若干刚性构件用低副（移动副、转动副）联接而成的机构，称为**平面连杆机构**。

共同特点——原动件通过不与机架相连的中间构件传递到从动件上。

不与机架相连的中间构件——**连杆**

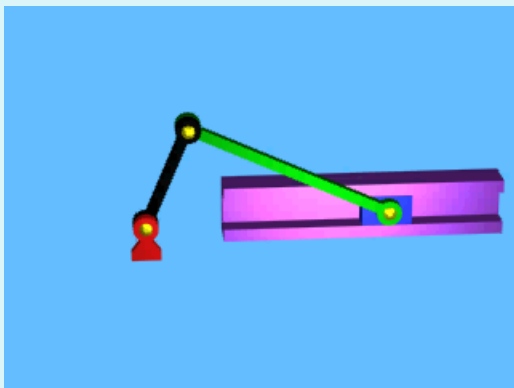


具有连杆的机构——**连杆机构**

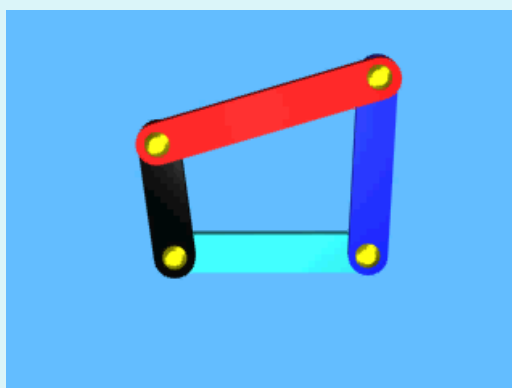
连杆机构根据各构件间的相对运动是平面还是空间运动分为

空间连杆机构
平面连杆机构

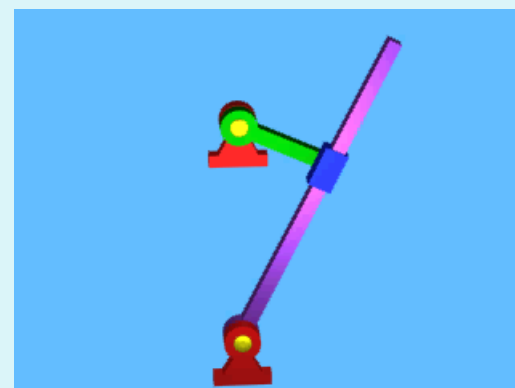




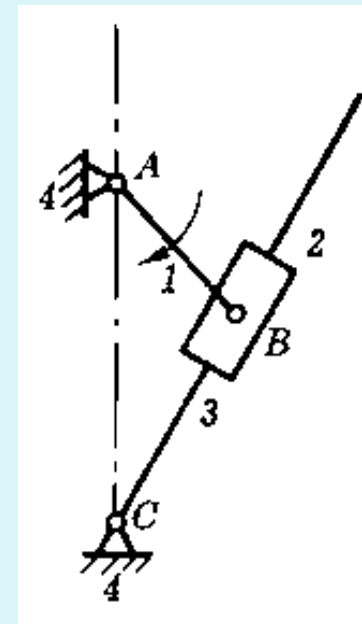
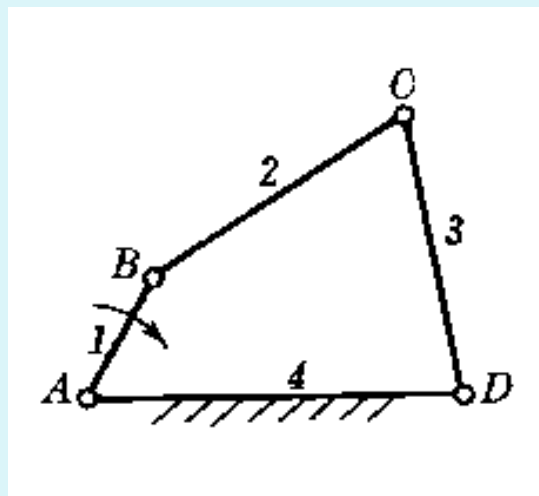
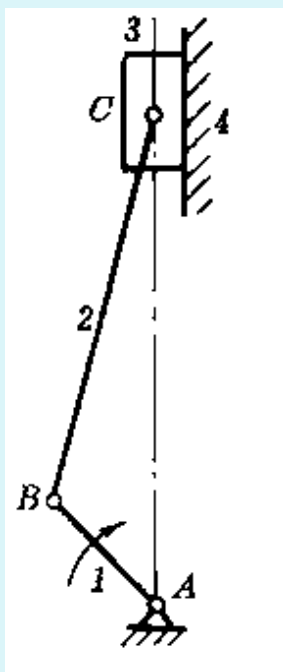
曲柄滑块机构



曲柄摇杆机构



导杆机构



2. 传动特点

● 优点

① 运动副一般均为低副；

面接触，承载能力强，易润滑，故磨损小；运动副元素几何形状简单，故加工制造方便，成本低。

② 构件多呈现杆的形状；

加工制造简单，可实现扩大行程和远距离传动等目的。

③ 可实现多种运动变换和运动规律；

④ 连杆曲线形状丰富，可满足各种轨迹要求。[连杆曲线](#)

● 缺点

① 运动链长，累积误差大，效率低；

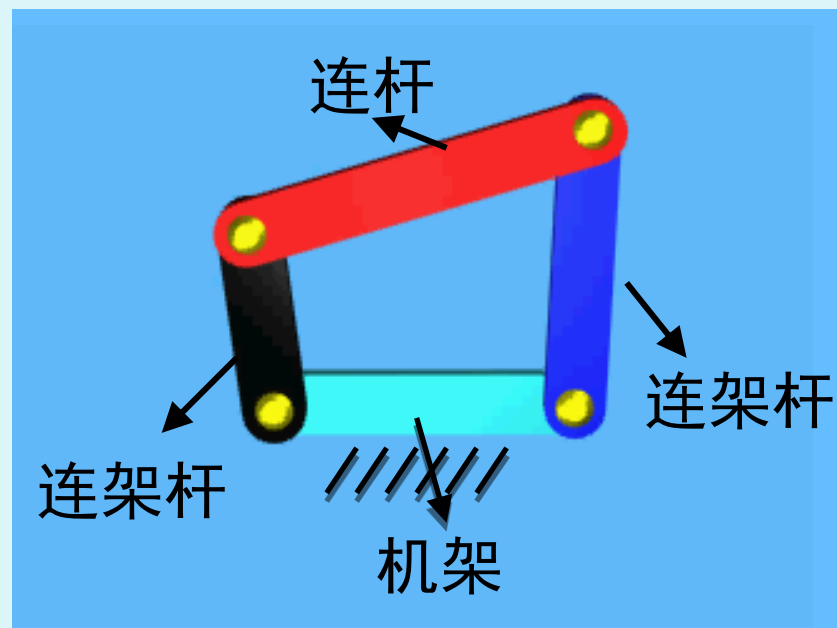
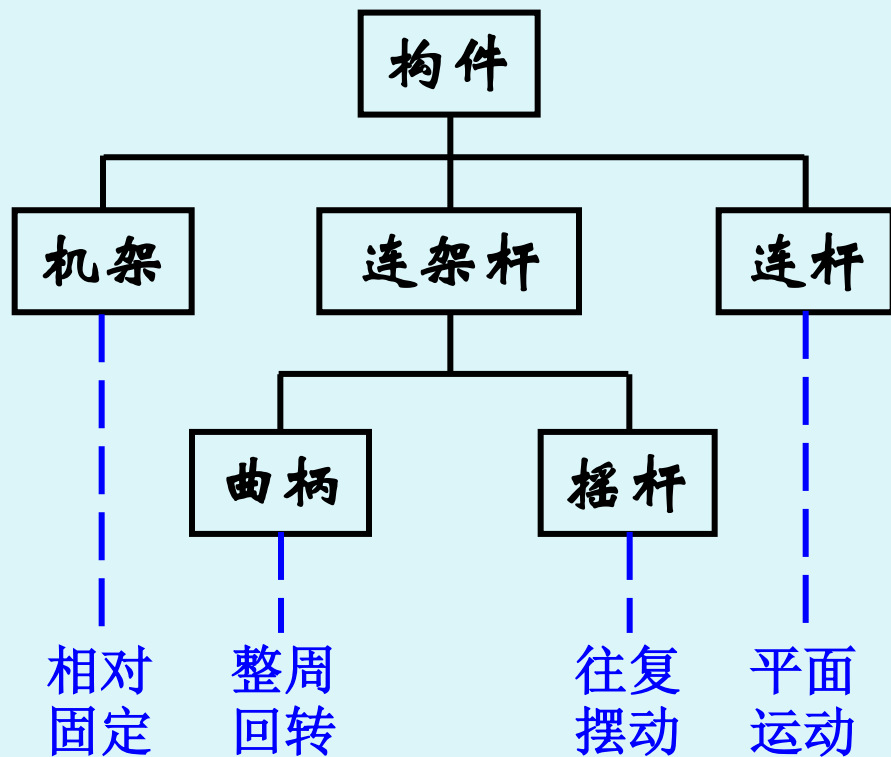
② 惯性力难以平衡，动载荷大，不宜用于高速运动；

③ 一般只能近似满足运动规律要求。

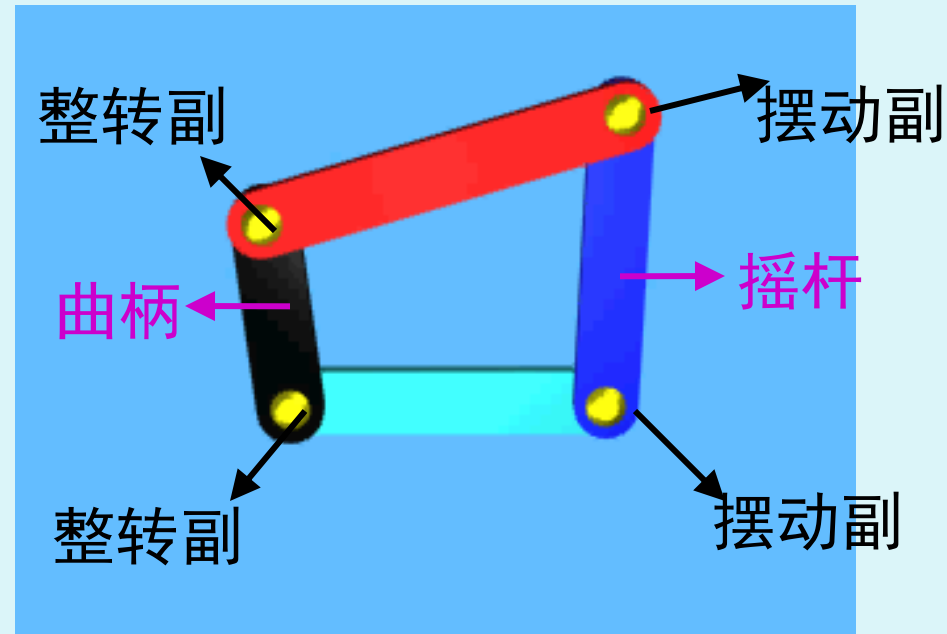
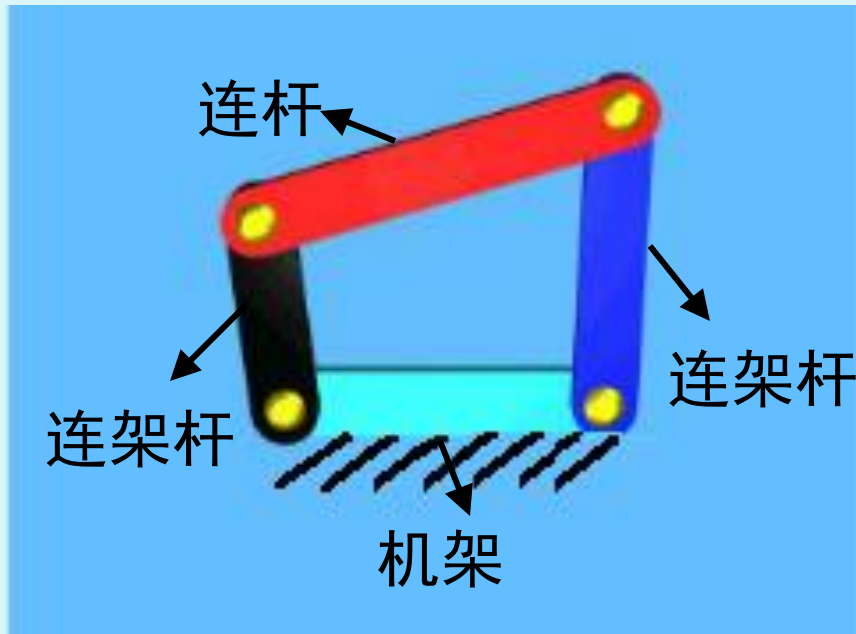
§ 2-1 平面四杆机构的基本类型及其应用

一、平面四杆机构的基本型式——铰链四杆机构

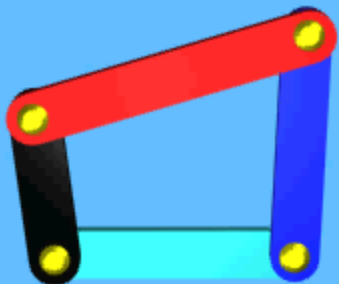
➤ 铰链四杆机构：全部用转动副相连的平面四杆机构。



- 铰链四杆机构：全部用转动副相连的平面四杆机构。

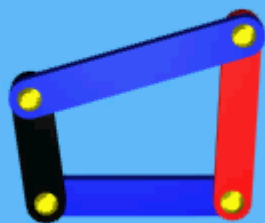


- 转动副 {
- 整转副：两构件能作整周相对转动的转动副。
 - 摆动副：两构件不能作整周相对转动的转动副。
- 连架杆 {
- 曲柄：与机架组成整转副的连架杆。
 - 摇杆：与机架组成摆动副的连架杆。

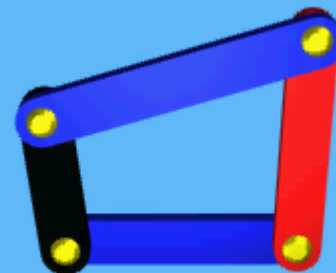


➤ 机构命名：原动件名 + 输出构件名
(也可以几何特点命名)

曲柄摇杆机构
(1个曲柄)



双曲柄机构
(2个曲柄)



双摇杆机构
(0个曲柄)

铰链四杆机构

曲柄摇杆机构

双曲柄机构

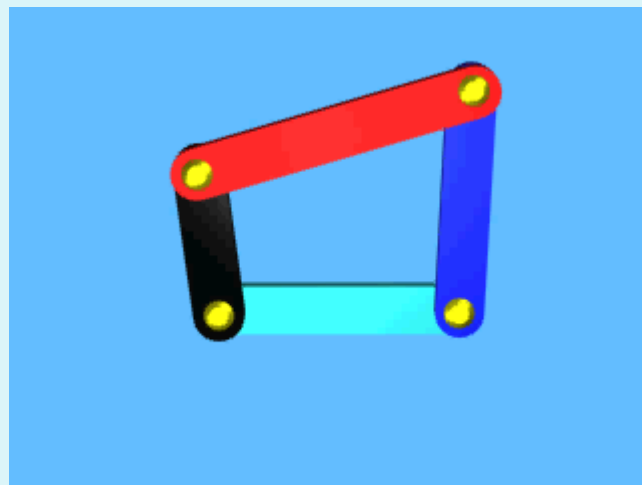
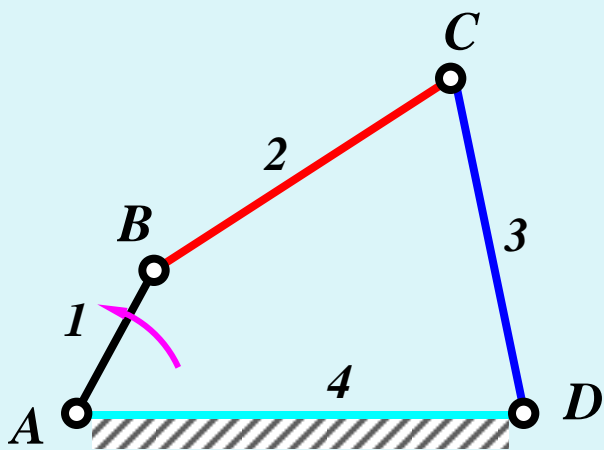
双摇杆机构

平行四边形机构
反平行四边形机构

等腰梯形机构

1. 曲柄摇杆机构

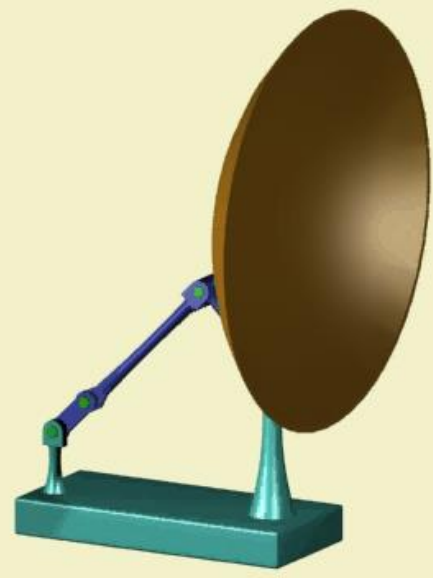
——铰链四杆机构中，若其两个连架杆一为曲柄，一为摇杆，则此四杆机构称为曲柄摇杆机构。



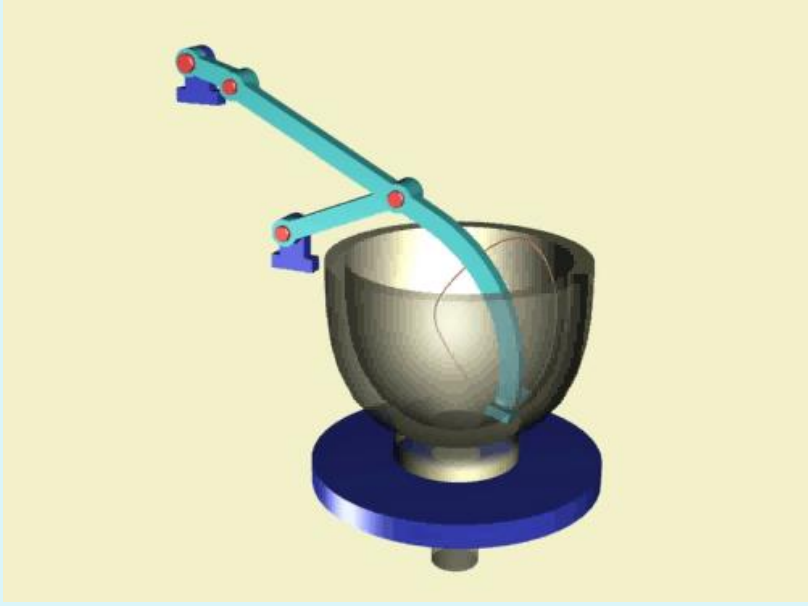
功能： 连续转动 \longleftrightarrow 往复摆动

曲柄摇杆机构应用实例：

达俯仰机雷构



搅拌机构



缝纫机踏板机构

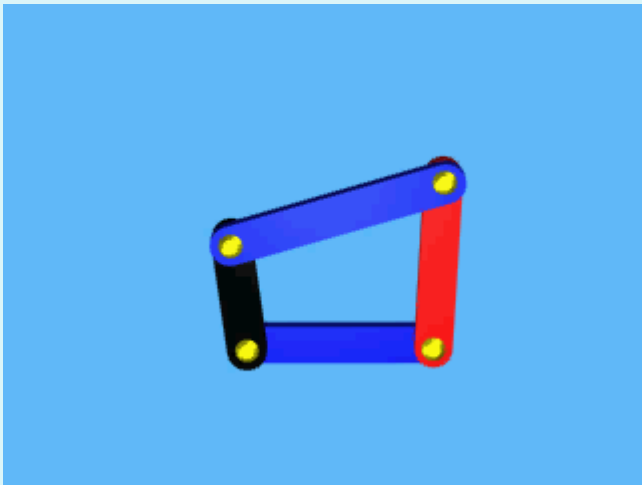
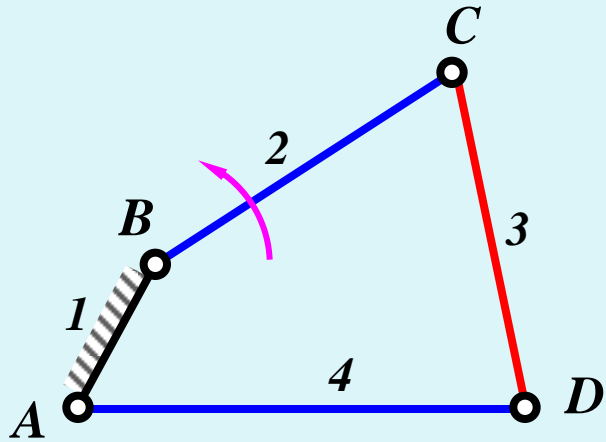


抽油机机构

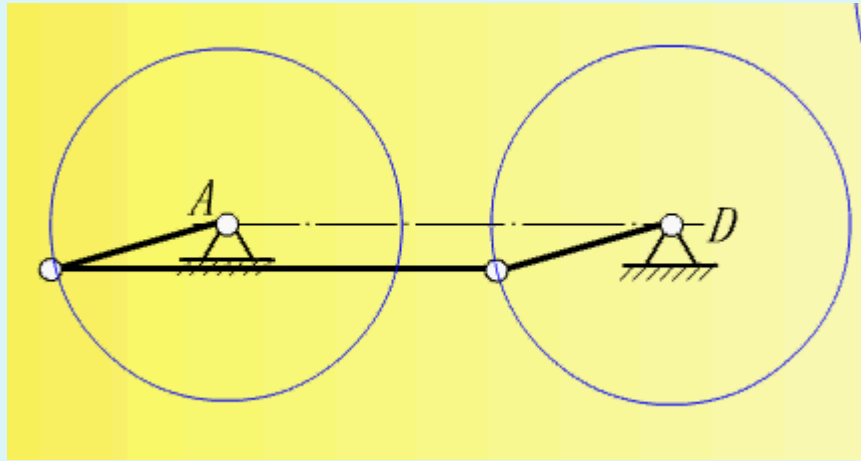


2. 双曲柄机构

—两个连架杆都是曲柄的铰链四杆机构。



特例：若机构中相对两杆平行且相等，则成为平面四边形机构。



平行四边形机构特性：

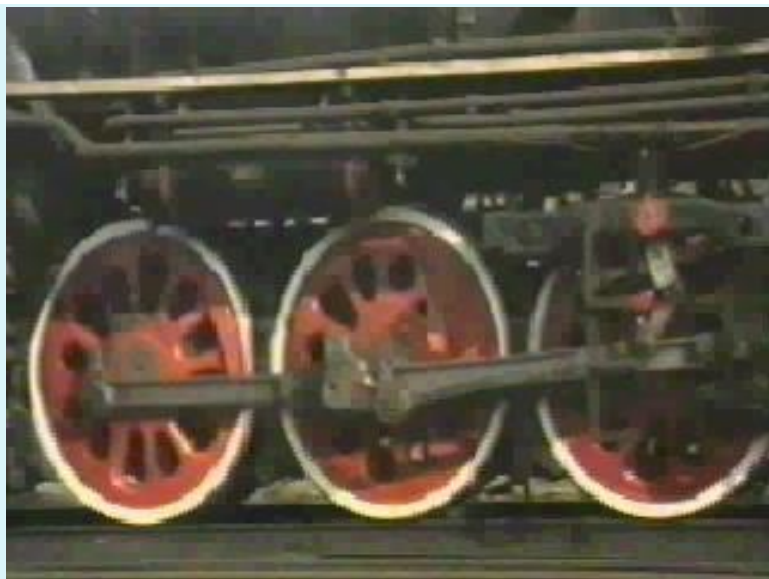
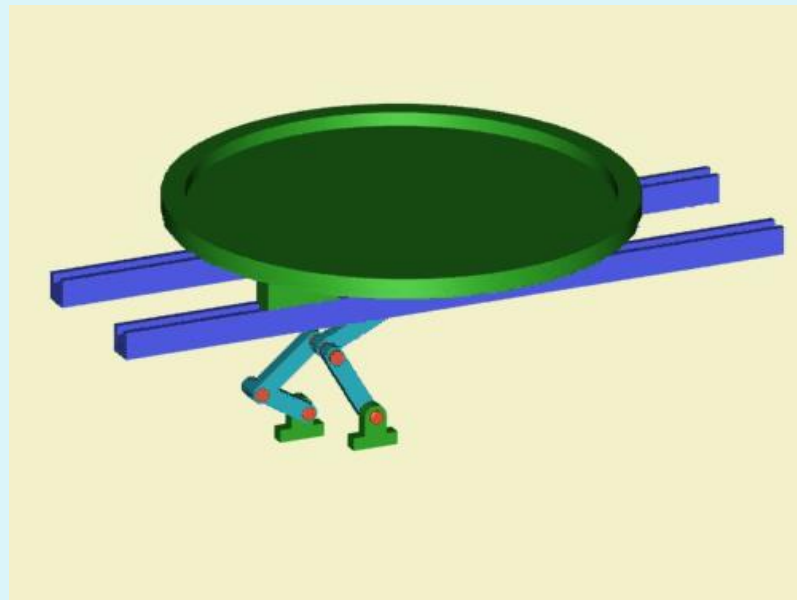
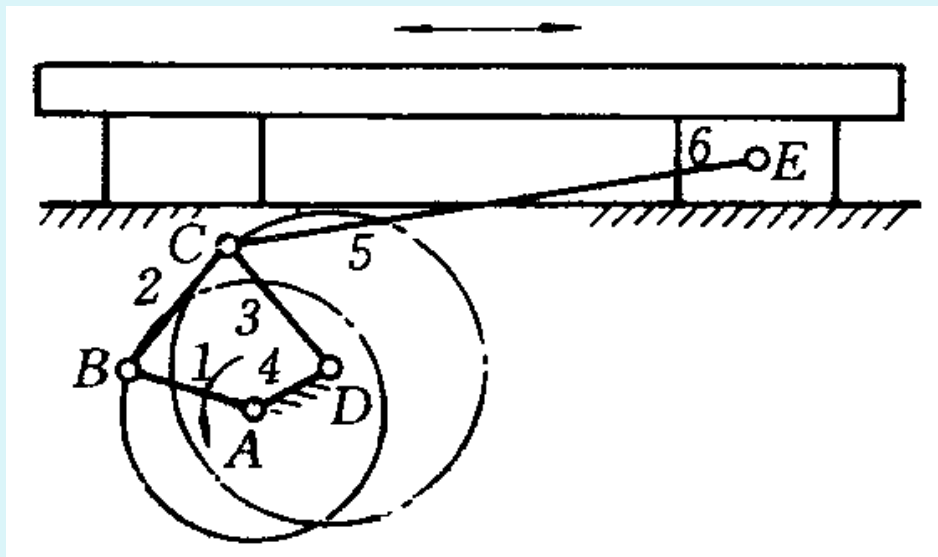
▲ 两曲柄同速同向转动

▲ 连杆作平动

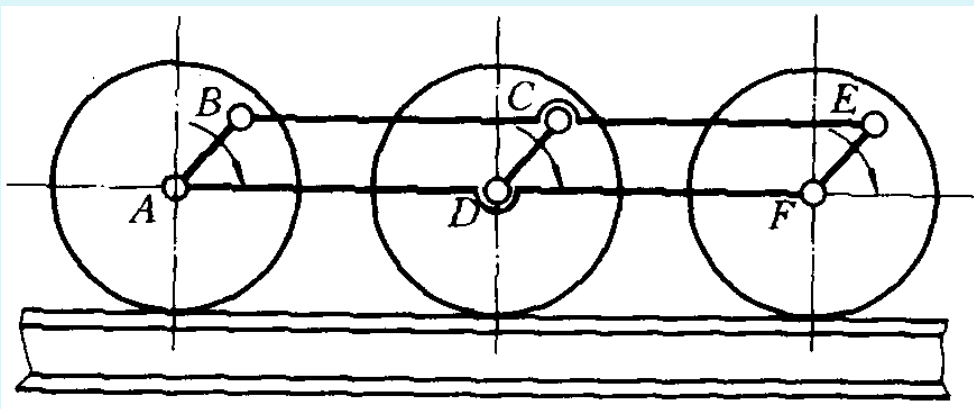
功能：连续转动 \longleftrightarrow 连续转动

双曲柄机构应用实例：

惯性筛机构



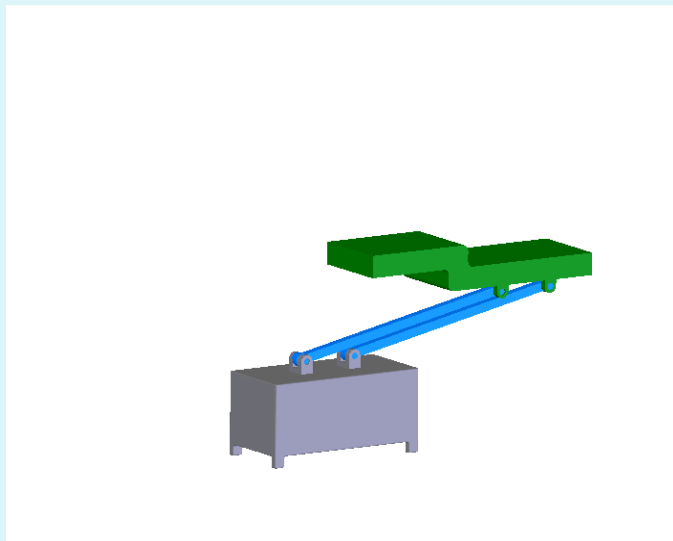
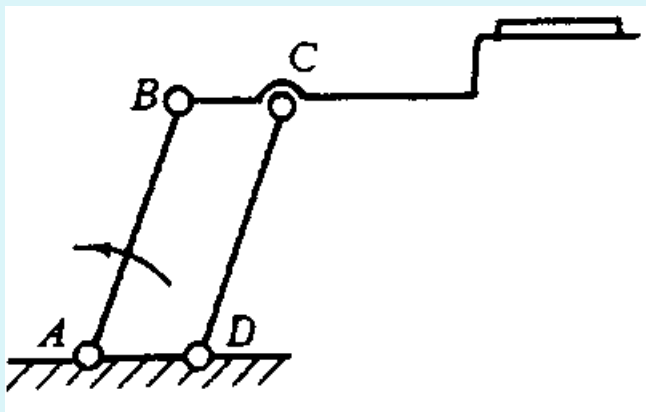
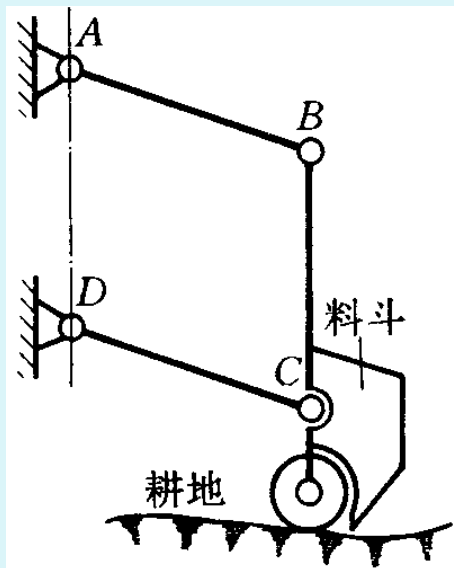
机车车轮联动机构



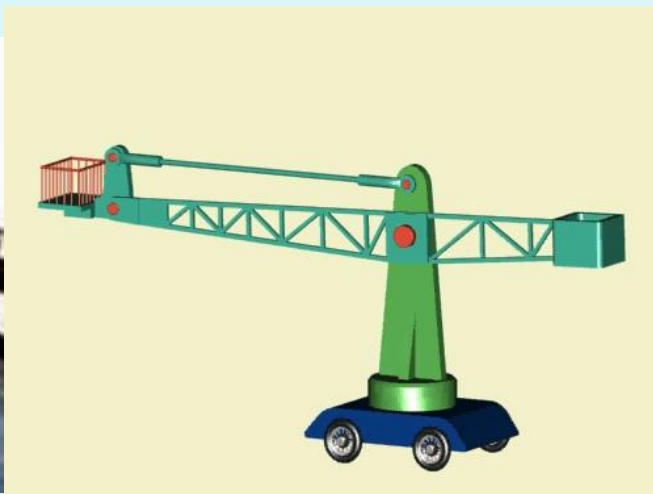
双曲柄机构应用实例：

升降机构

播种机料斗机构

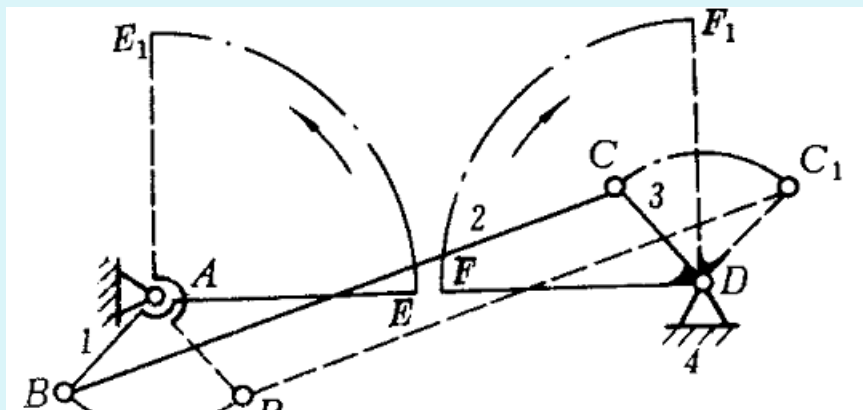


台灯伸展机构

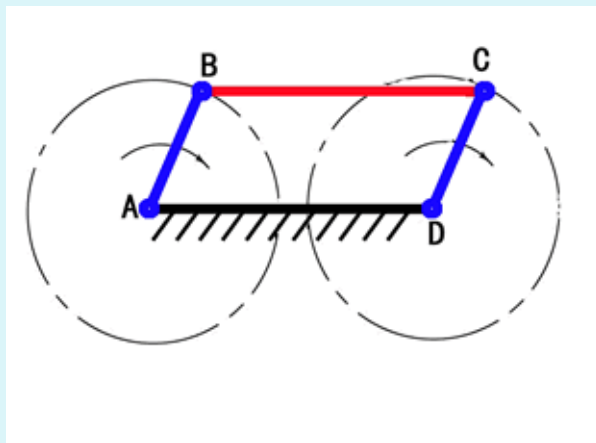
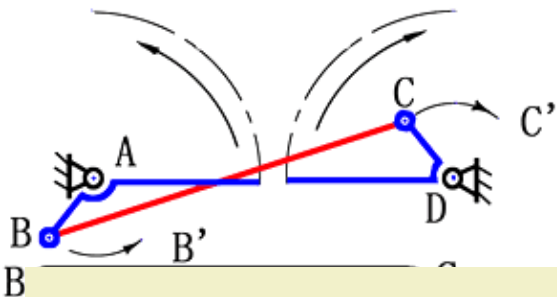
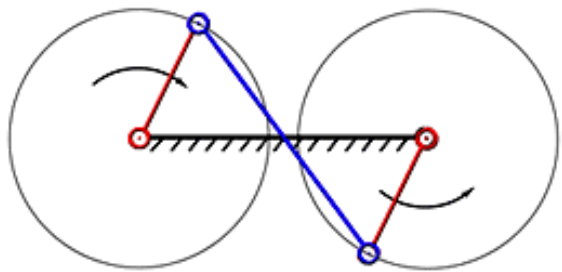


双曲柄机构应用实例：

车门开闭机构

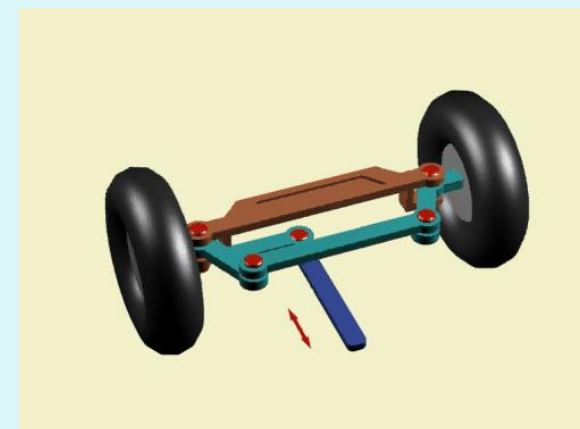
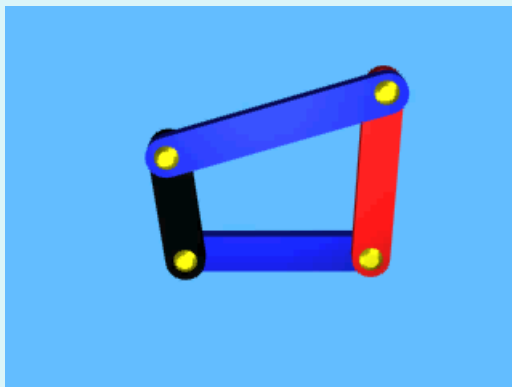
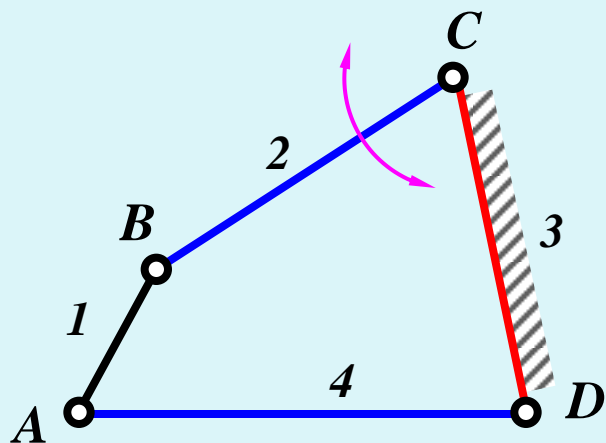


——逆平行（反平行）四边形机构（两相对杆长相等但不平行的双曲柄机构）

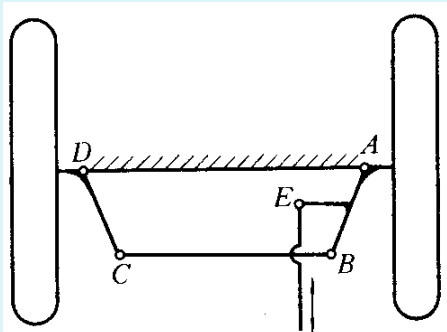


3. 双摇杆机构

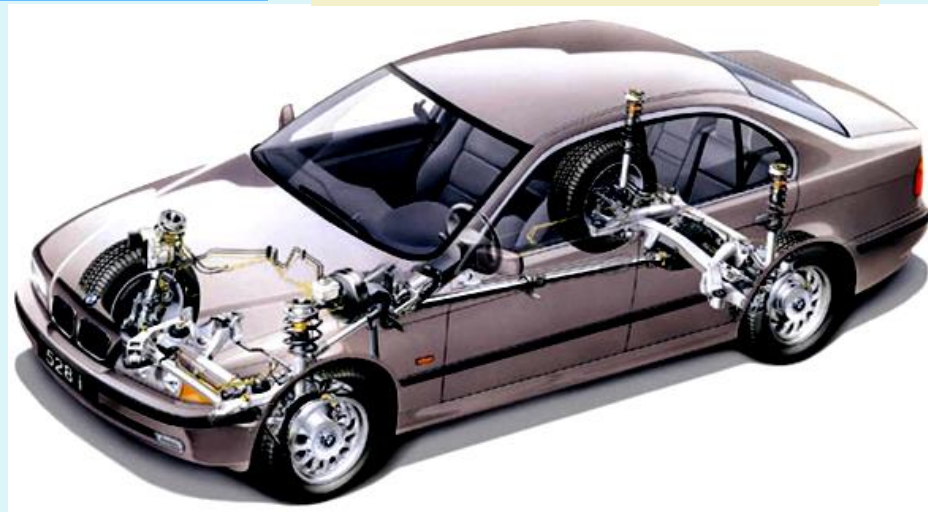
—两个连架杆都是摇杆的铰链四杆机构。



特例：**等腰梯形机构**——两**摇杆长度相等**的双摇杆机构



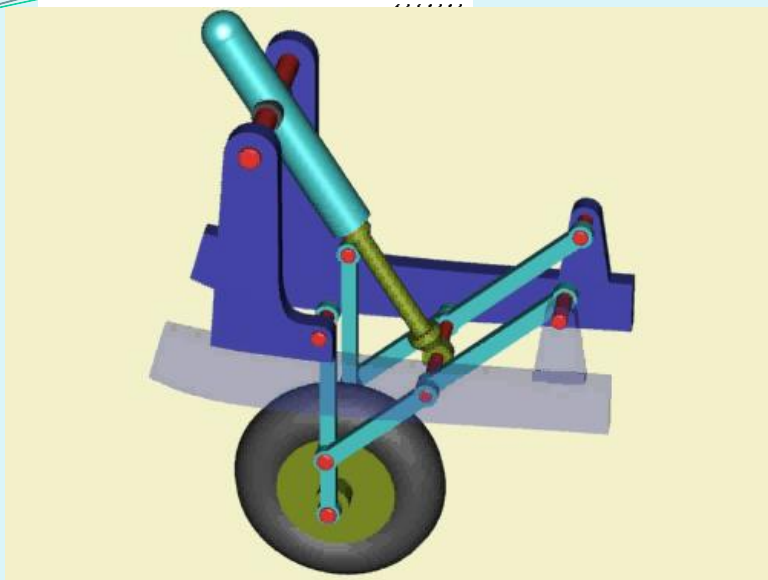
汽车前轮转向机构



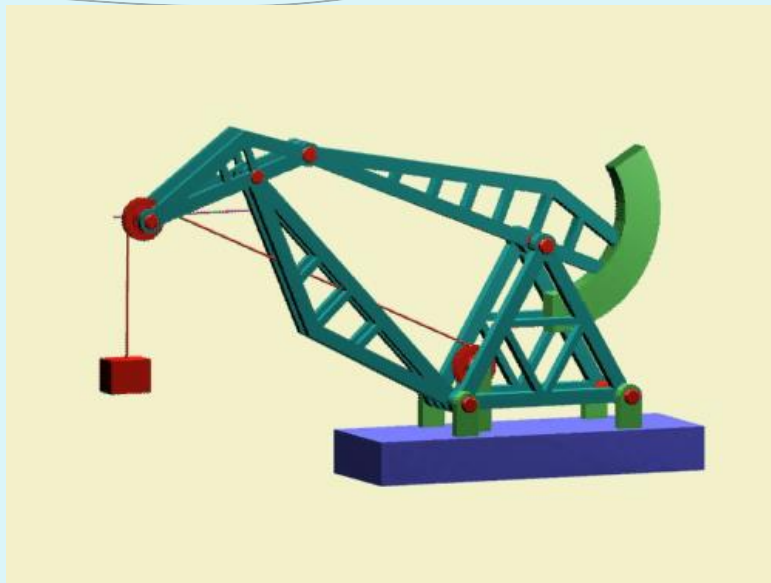
功能：往复摆动 \longleftrightarrow 往复摆动

双摇杆机构应用实例：

飞机起落架机构



鹤式起重机



电风扇摇头机构



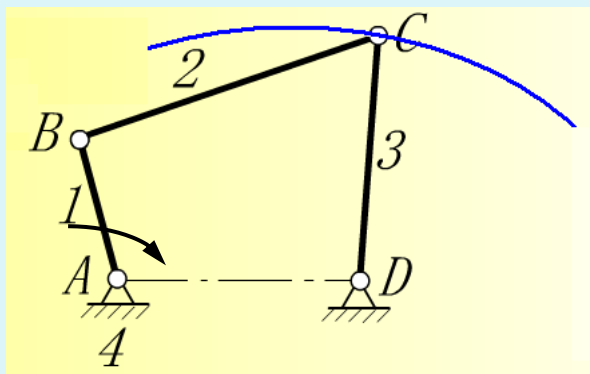
推土机铲斗机构



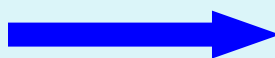
二、含有一个移动副的四杆机构——演化型式I

改变构件的形状及运动尺寸

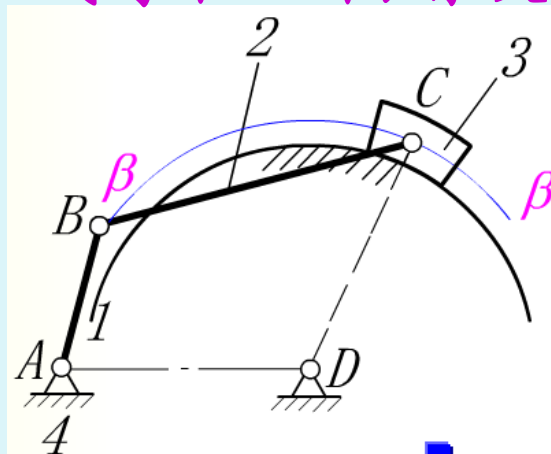
曲柄摇杆机构



变摇杆
为滑块



曲线导轨曲柄滑块机构

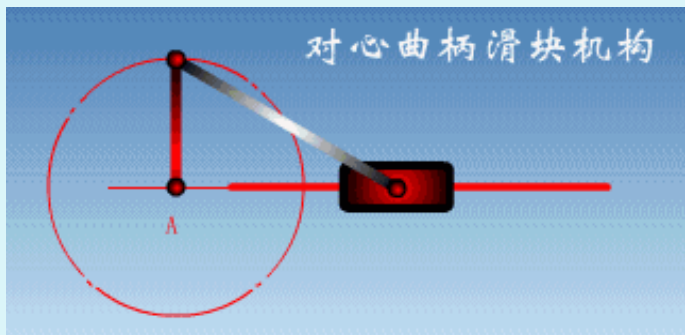


摇杆尺寸为无穷大

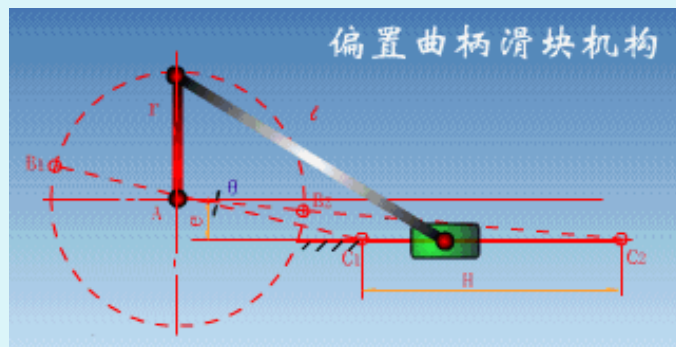


偏置曲柄滑块机构

对心曲柄滑块机构

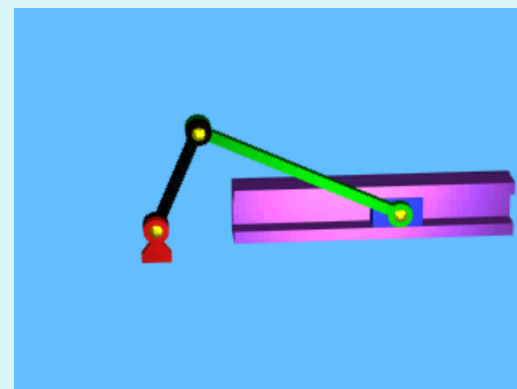
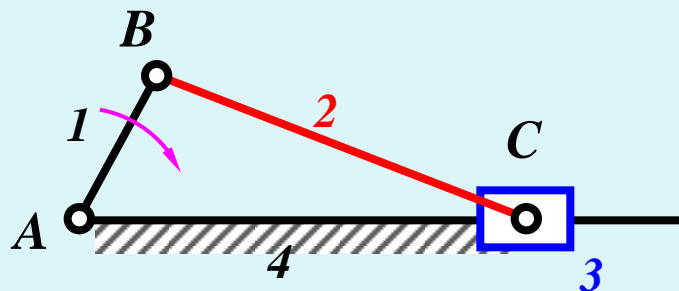


$e=0$

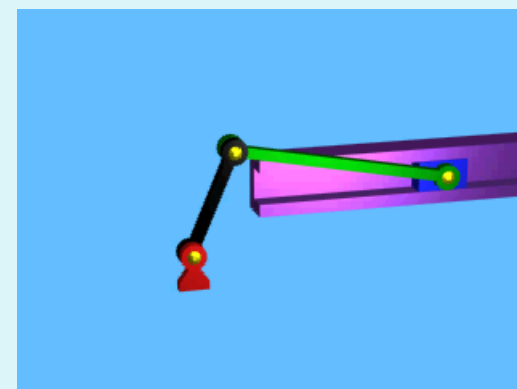
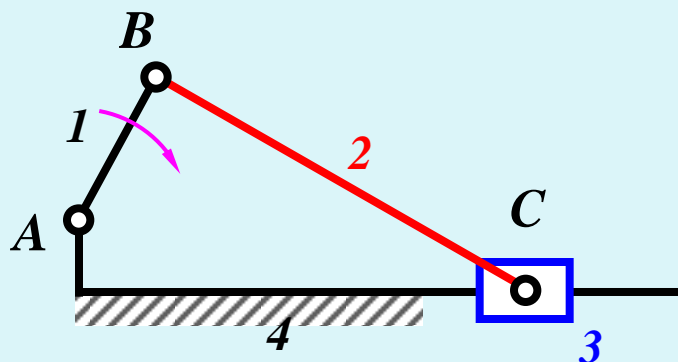


1. 曲柄滑块机构

对心曲柄滑块机构



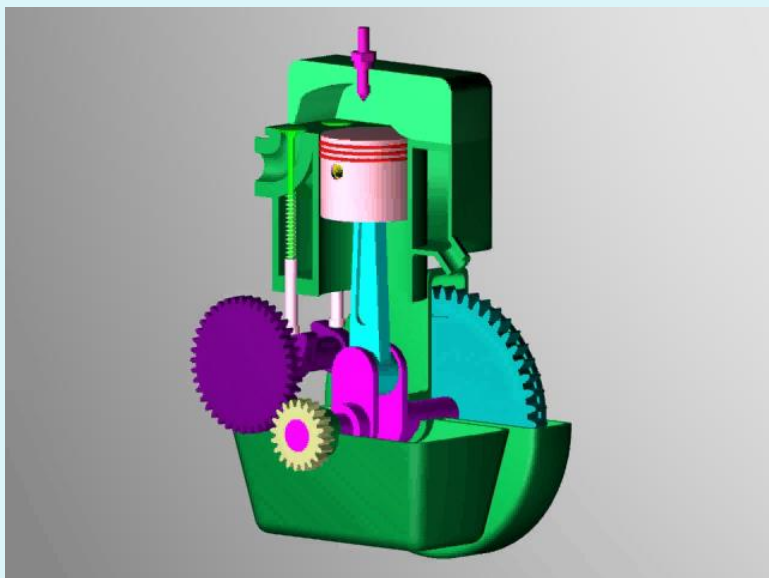
偏置曲柄滑块机构



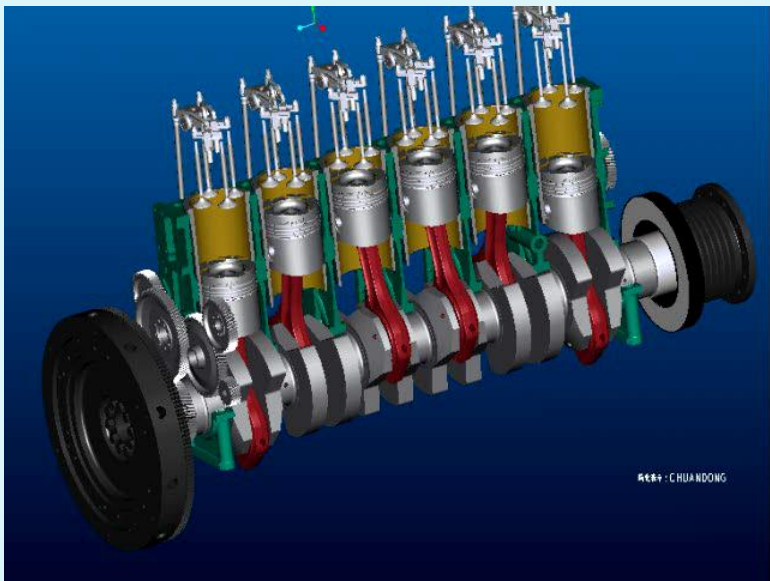
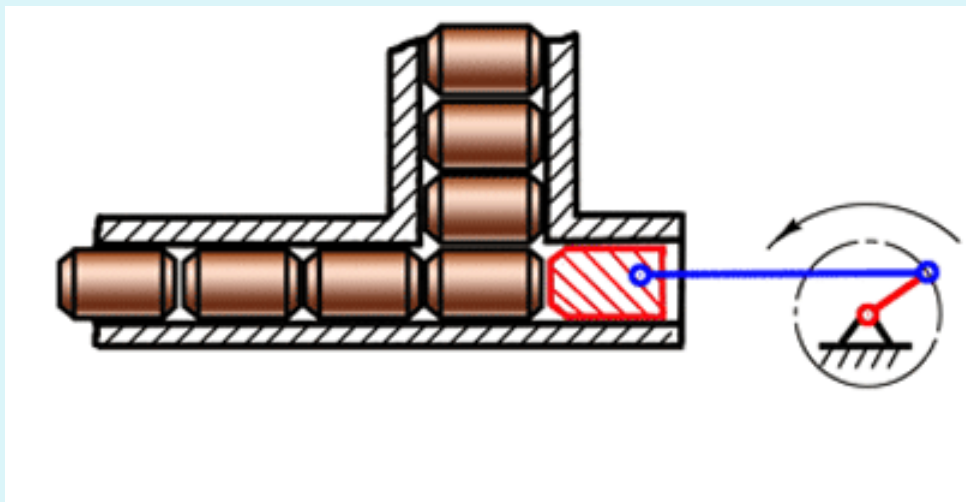
功能：连续转动 \longleftrightarrow 往复移动

曲柄滑块机构的应用实例：

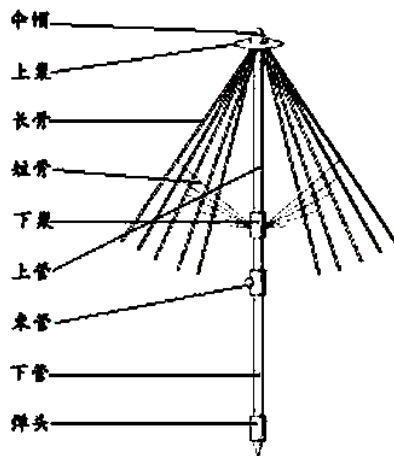
发动机



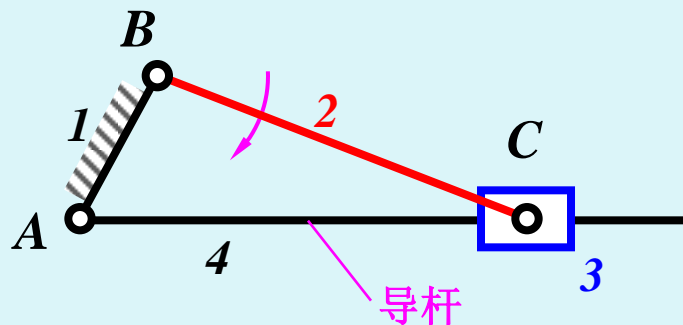
送料装置



伞骨结构图

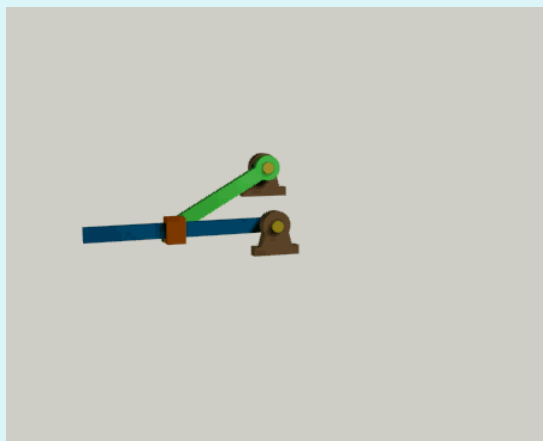


2. 导杆机构



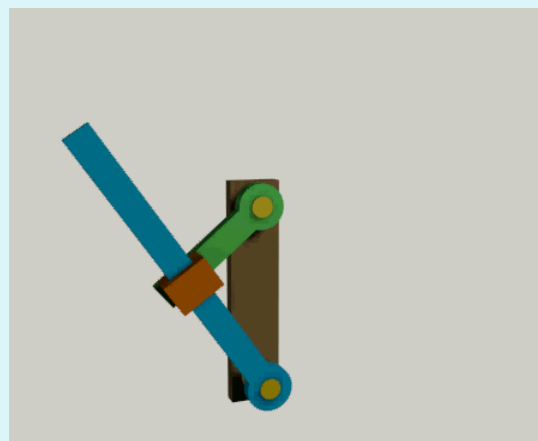
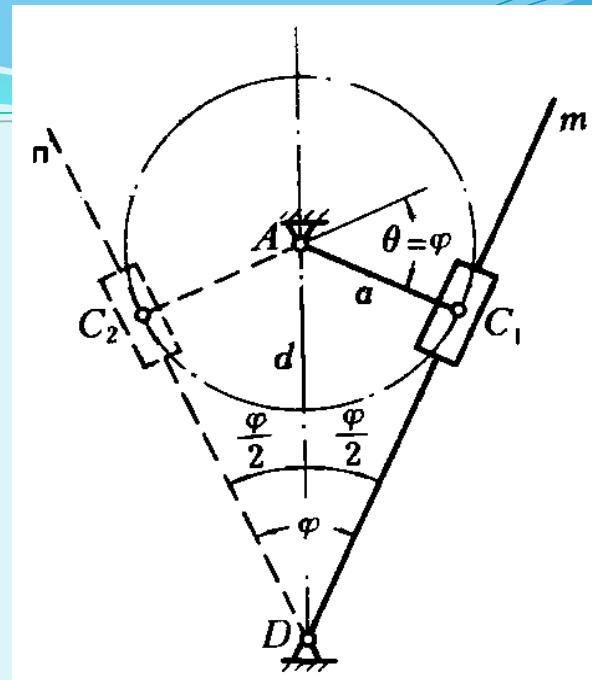
★ 回转导杆机构

导杆能作整周转动



★ 摆动导杆机构

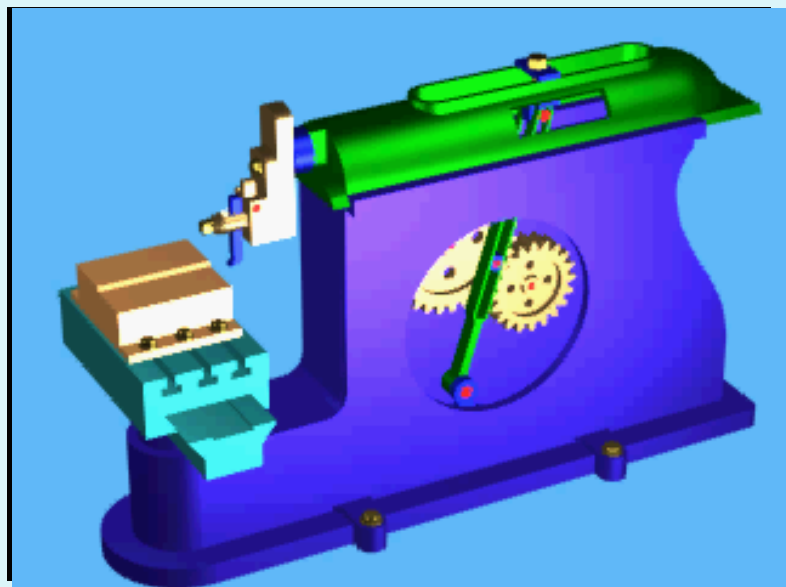
导杆只能在一定的角度内摆动



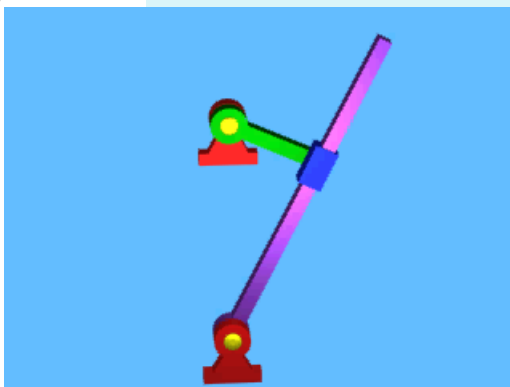
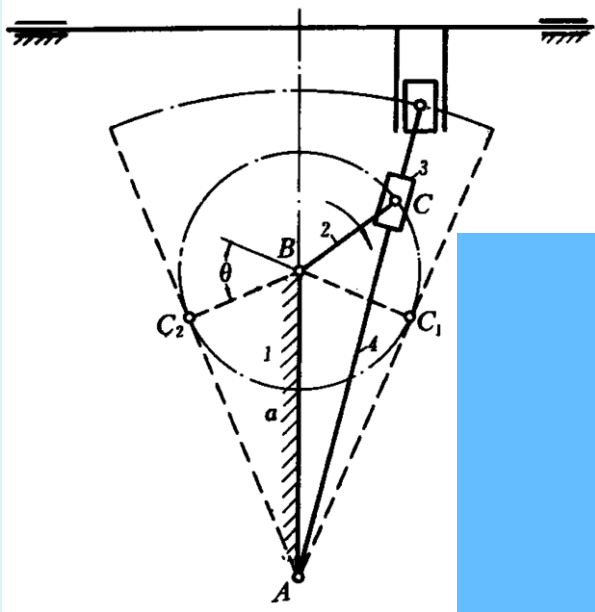
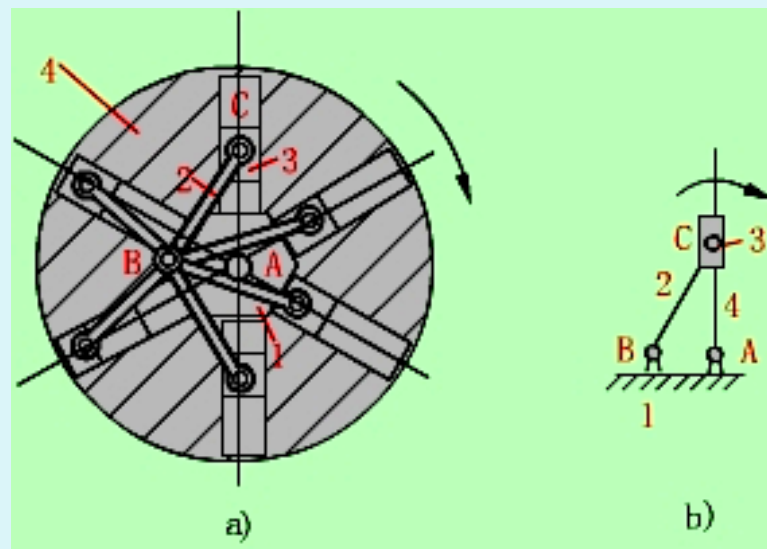
功能：连续转动 ↔ 连续转动 连续转动 ↔ 往复摆动

导杆机构的应用实例：

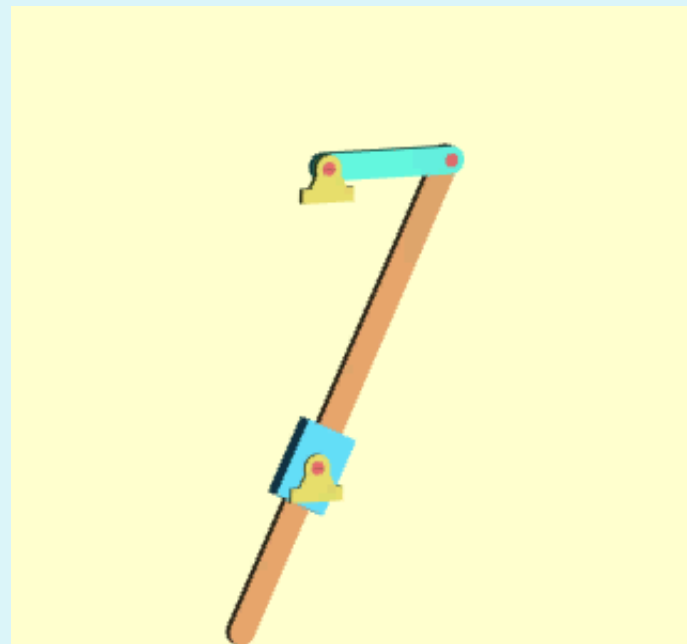
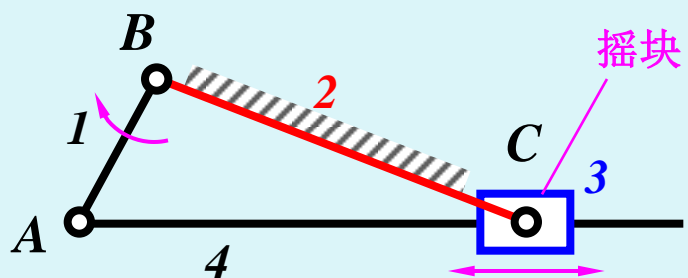
牛头刨床



回转柱塞泵



3. 摇块机构



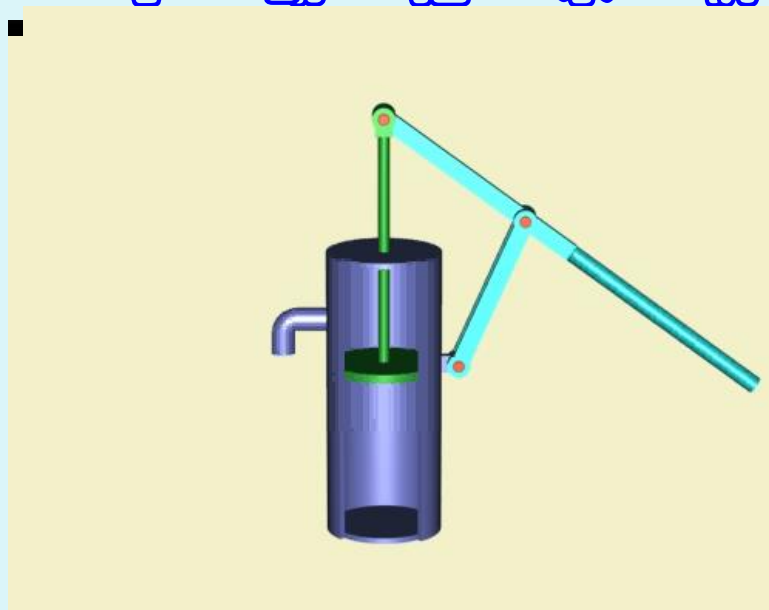
功能：连续转动 \longleftrightarrow 往复摆动

摇块机构的应用实例：

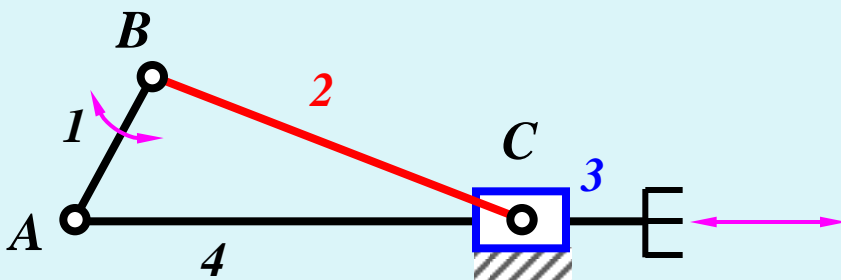
自卸车



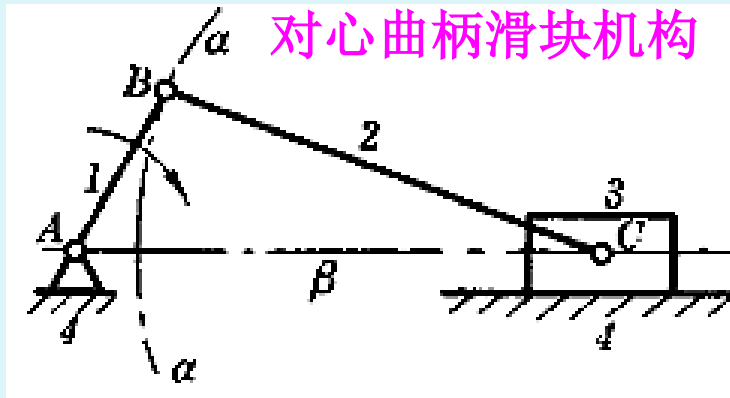
手动抽水机



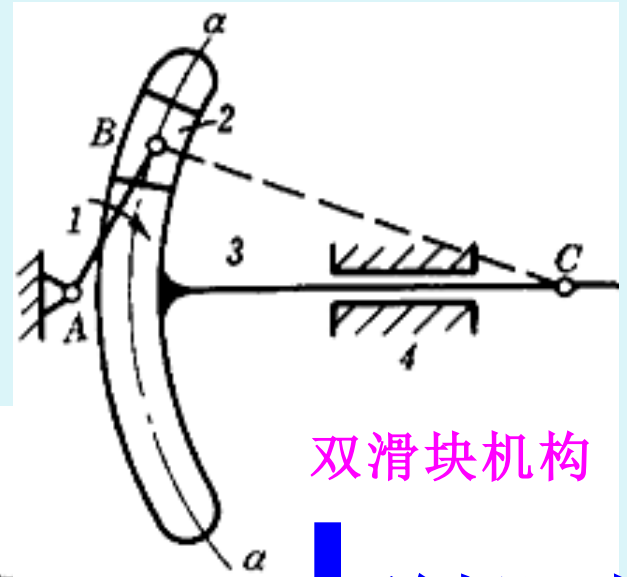
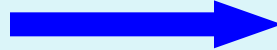
炉门送料装置



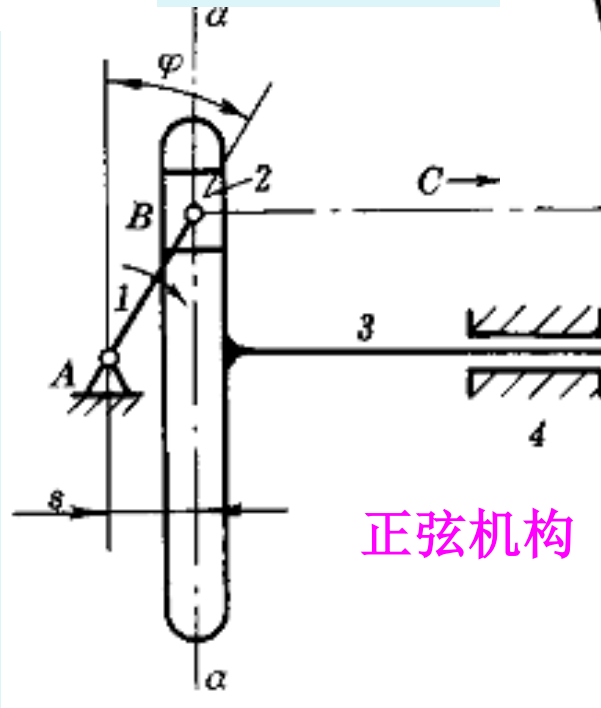
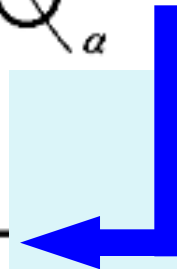
三、含有两个移动副的四杆机构——演化型式II



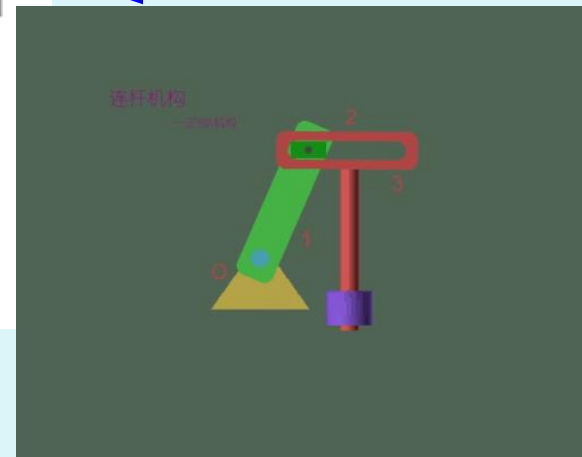
变连杆
为滑块



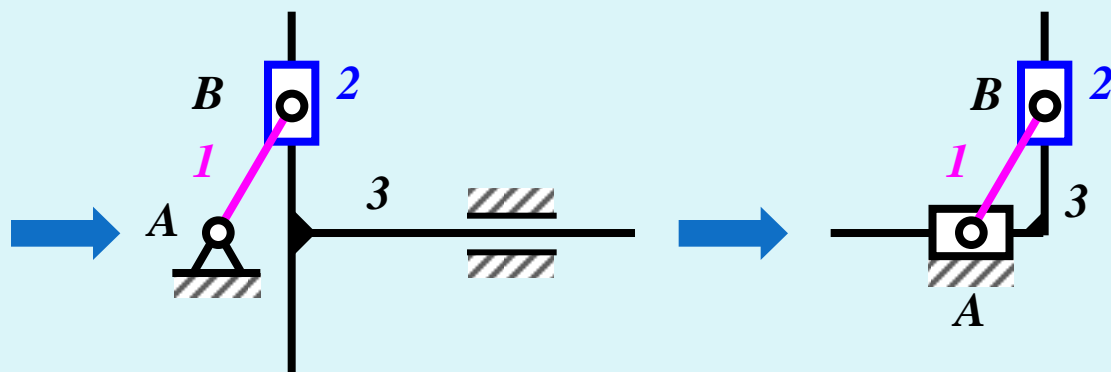
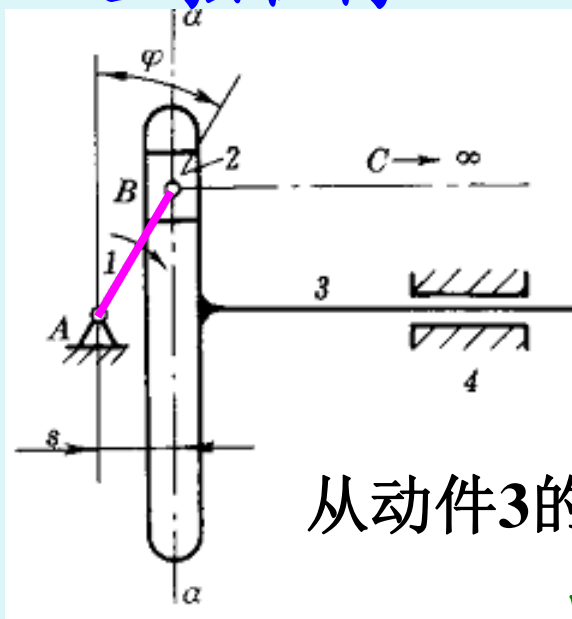
连杆尺寸
为无穷大



移动副可认为是回
转中心在无穷远处
的转动副演化而来



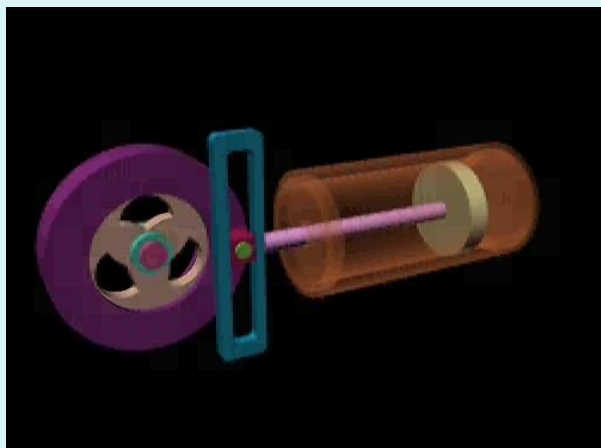
1. 正弦机构



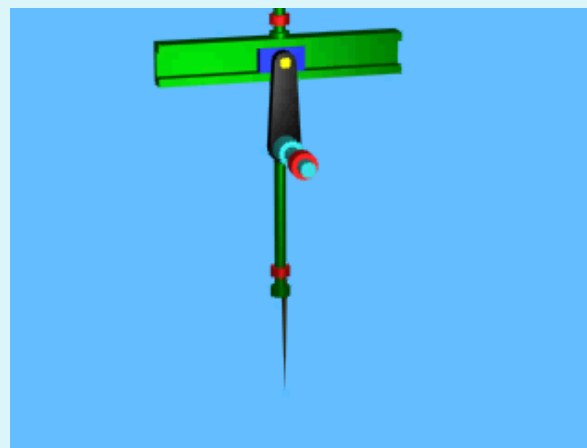
从动件3的位移与原动件1的转角成正比 $s = l_{AB} \sin \varphi$

正弦机构应用实例

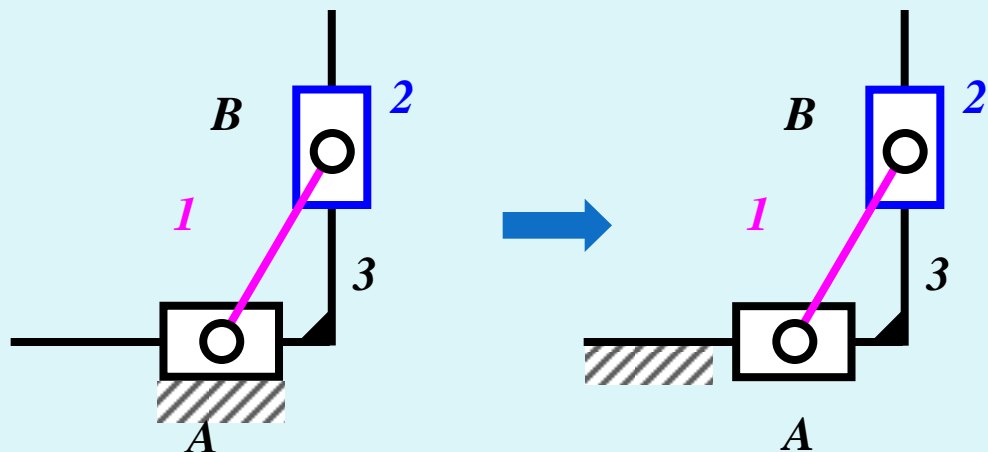
压缩机



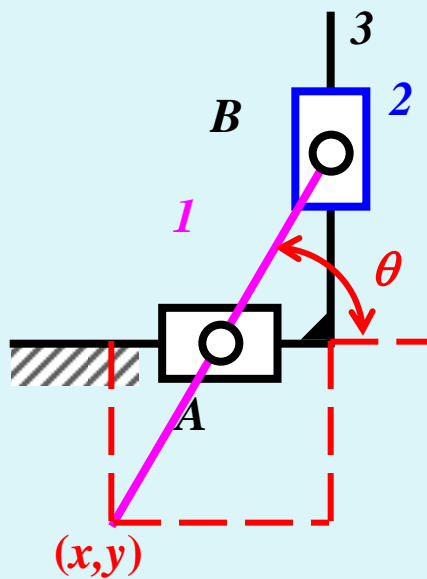
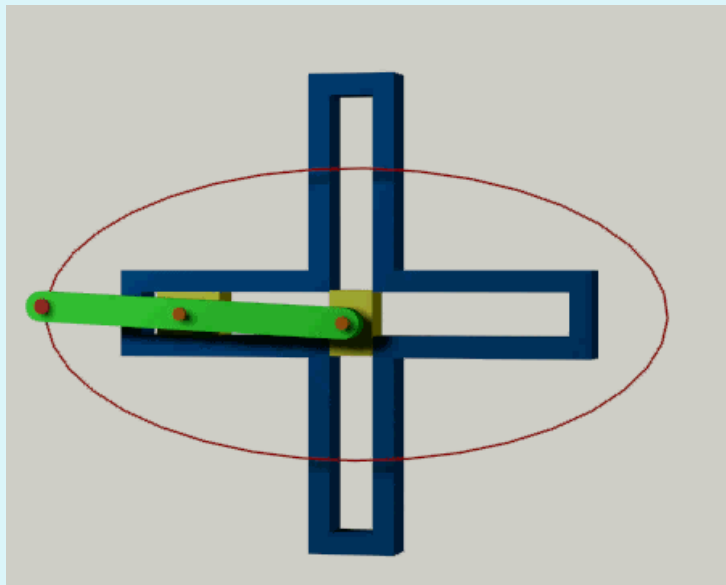
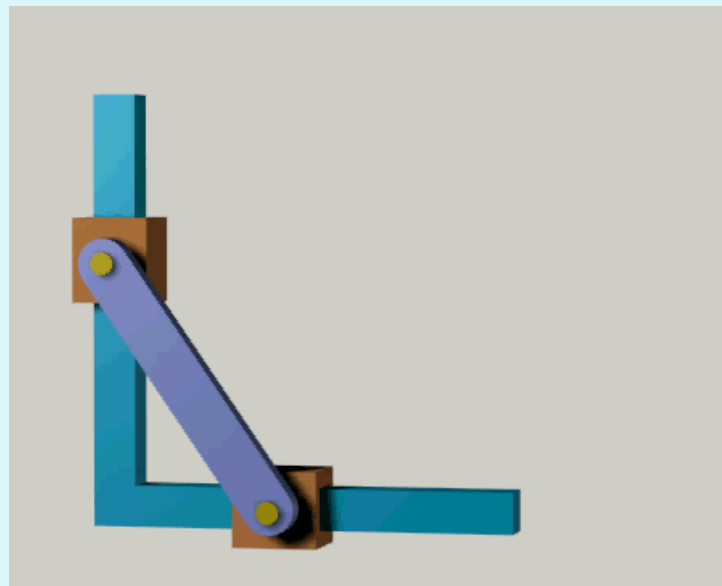
缝纫机进针机构



2. 双滑块机构



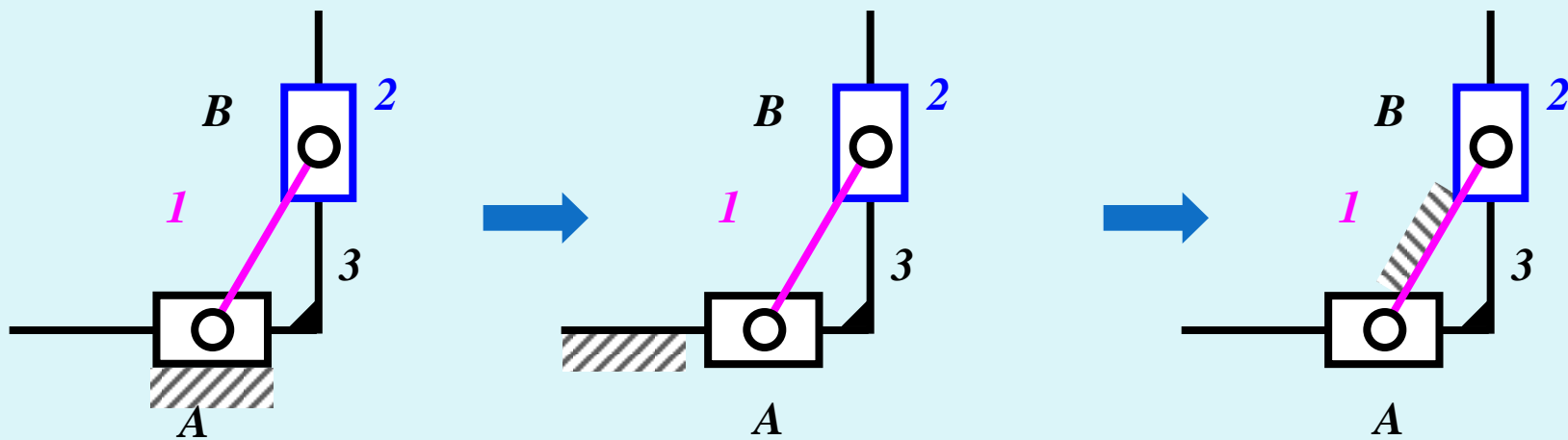
应用实例 椭圆仪



$$(x - y \cdot \text{ctg} \theta)^2 + (y + x \cdot \text{tg} \theta)^2 = a^2$$

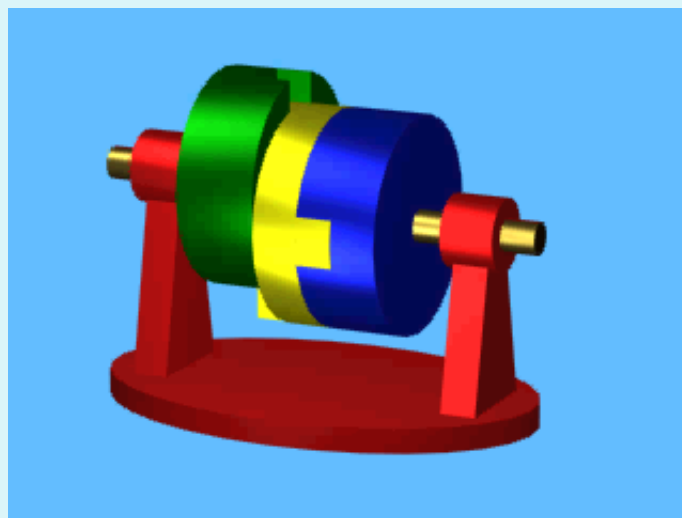
$$\left(\frac{x}{a \cos \theta} \right)^2 + \left(\frac{y}{a \sin \theta} \right)^2 = 1$$

3. 双转块机构



应用实例

十字滑块联轴器

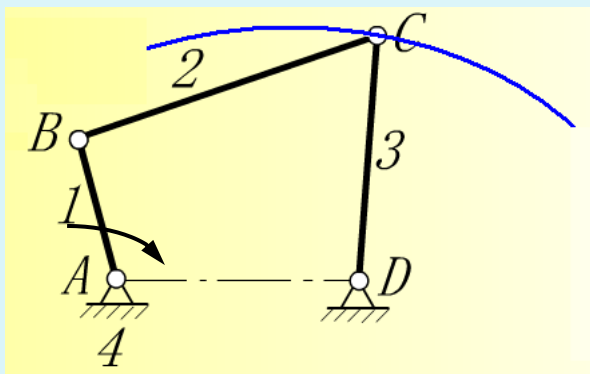


小结

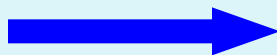
平面四杆机构的演化方式：

1、改变构件的形状和运动尺寸：转动副 \Rightarrow 移动副

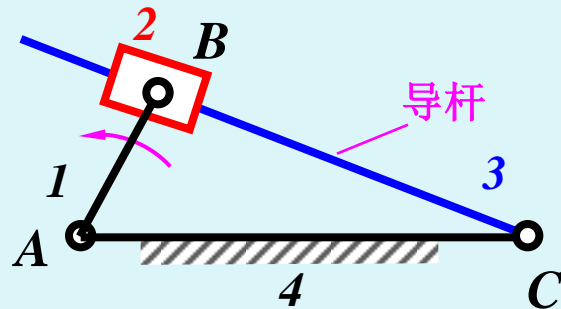
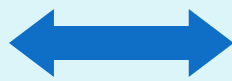
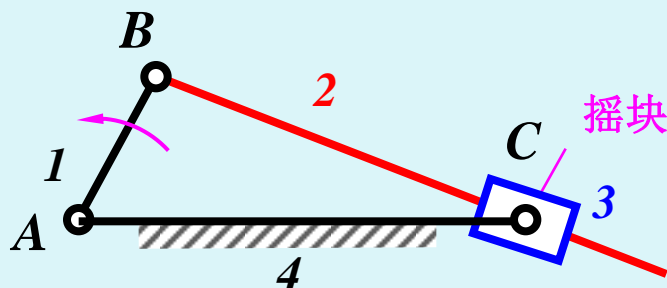
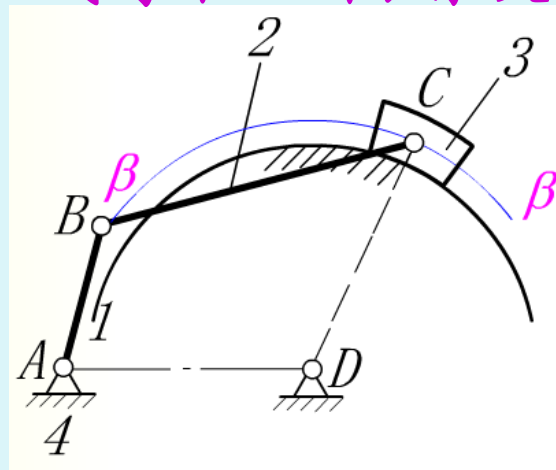
曲柄摇杆机构



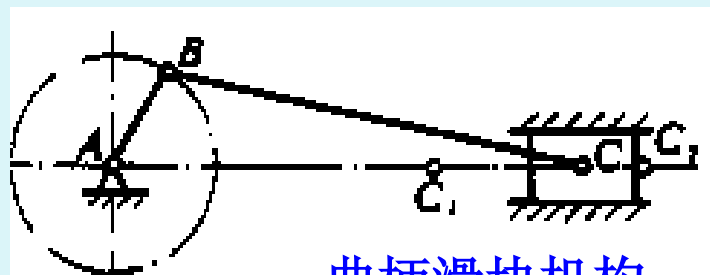
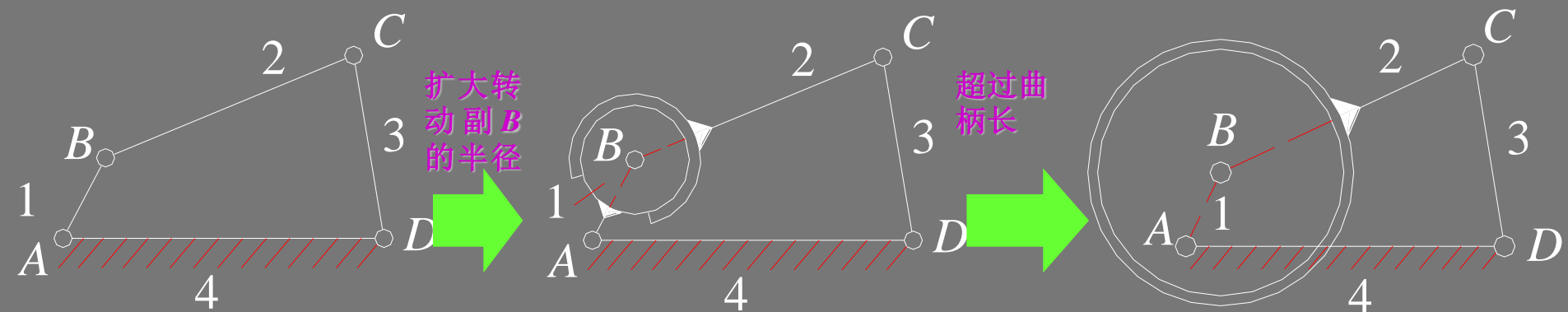
变摇杆
为滑块



曲线导轨曲柄滑块机构

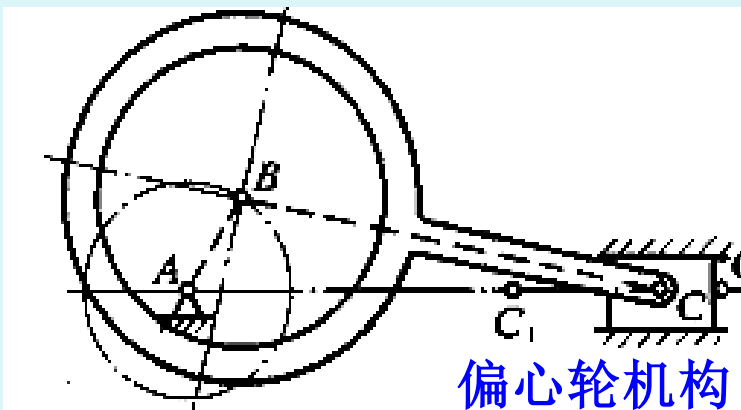


2、改变运动副尺寸：曲柄⇒偏心轮

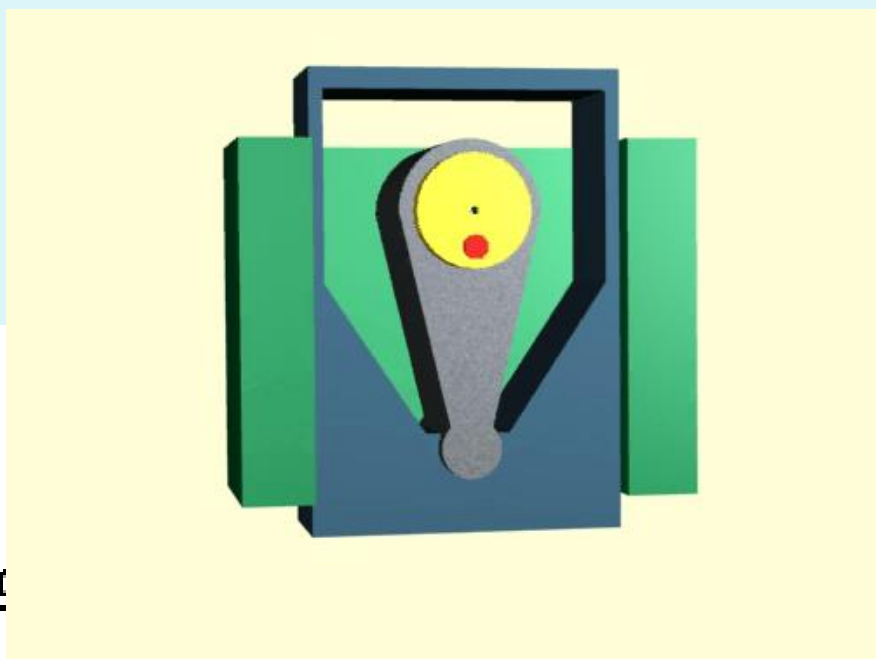


曲柄滑块机构

转动副B的半径扩大超过曲柄长

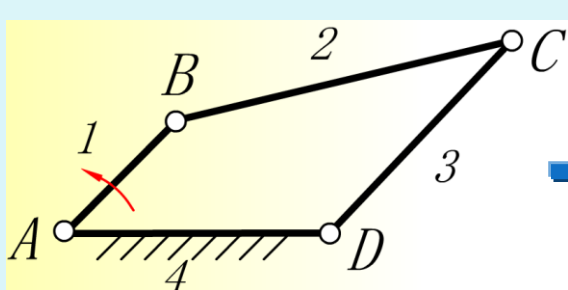


偏心轮机构

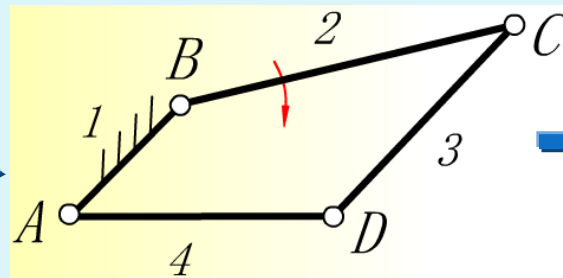


3、选用不同构件为机架：——倒置法

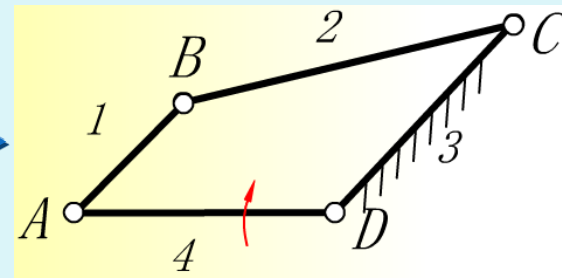
机构的倒置：选运动链中不同的构件作机架以获得不同机构的演化方法称为机构的倒置。



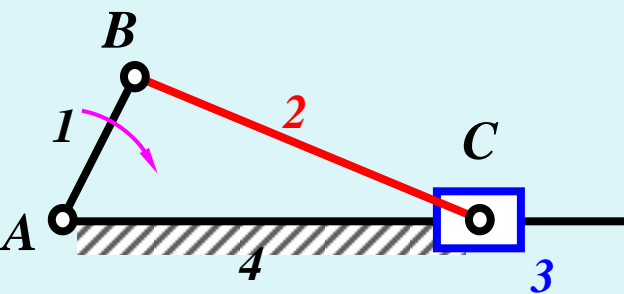
曲柄摇杆机构



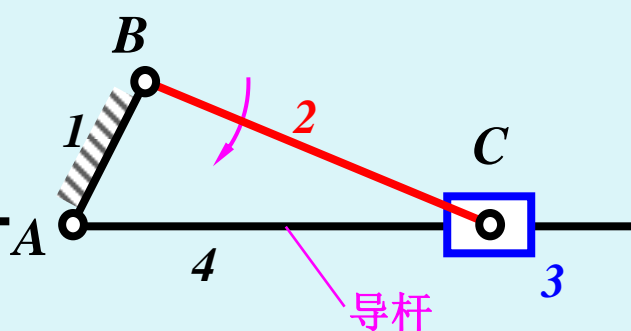
双曲柄机构



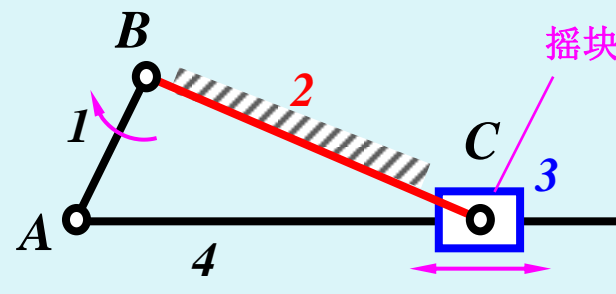
双摇杆机构



曲柄滑块机构



导杆机构



曲柄摇块机构

铰链四杆机构的类型

平面四杆机构

铰链四杆机构

曲柄摇杆机构

双曲柄机构

双摇杆机构

含一个移动副四杆机构

滑块机构

(含一个固定导路)

对心曲柄滑块机构

偏置曲柄滑块机构

导杆机构

(含一个活动导路)

回转导杆机构

摆转导杆机构

摇块机构

定块机构

含两个移动副四杆机构

正弦机构

正切机构

双滑块机构

双转块机构

★ § 2-2 平面四杆机构的基本特性

➤ 铰链四杆机构中曲柄存在的条件

➤ 急回运动特性

➤ 压力角和传动角

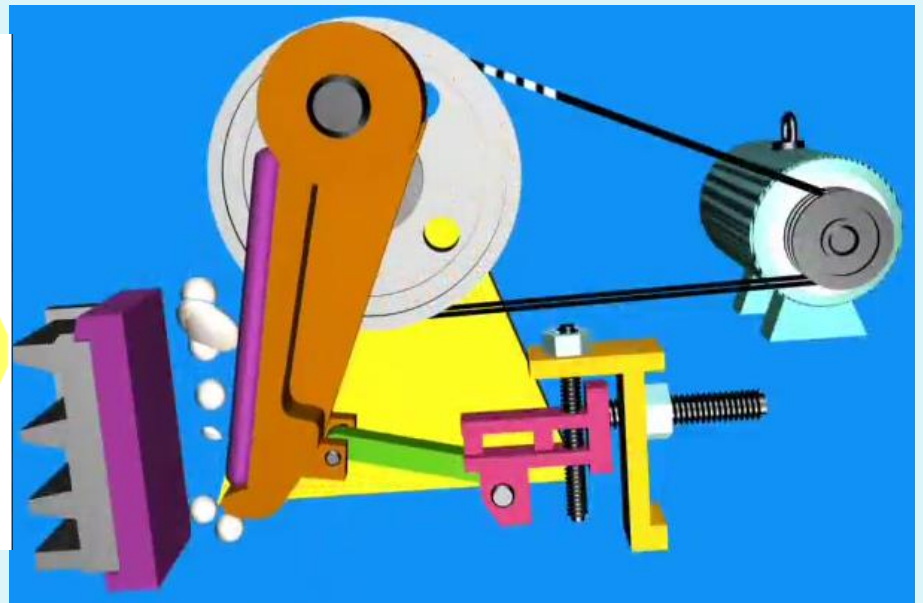
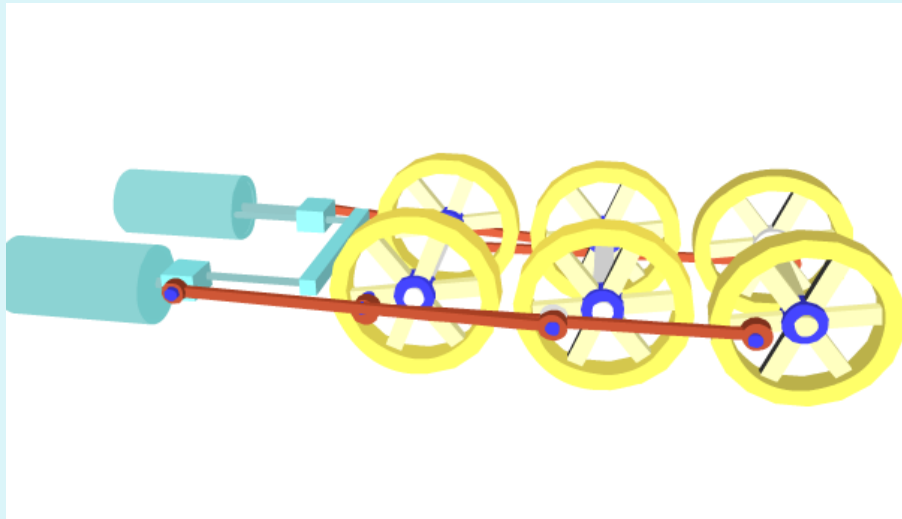
➤ 死点位置

} 运动特性

} 动力特性

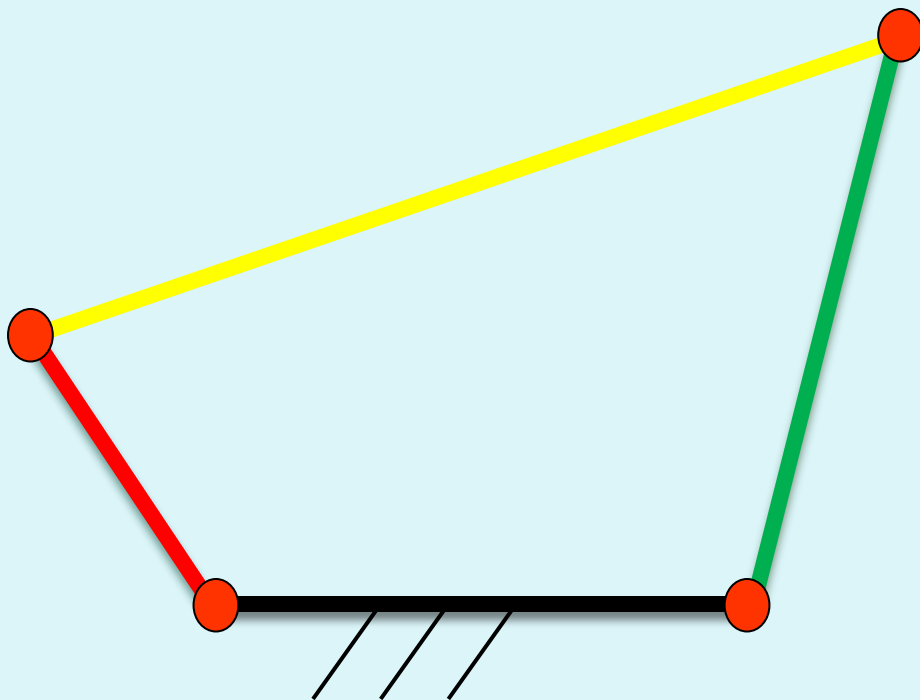
为什么要研究曲柄？

- 机构的需要
- 具有连续转动的原动机（电动机）的需要



一. 铰链四杆机构中曲柄存在的条件

- 铰链四杆机构整转副的条件
- 曲柄存在的条件



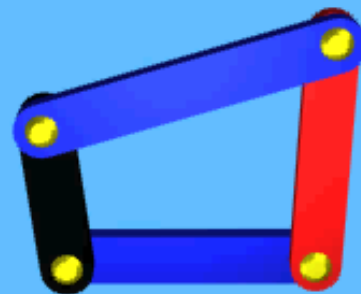


← 曲柄摇杆机构
(1个曲柄)

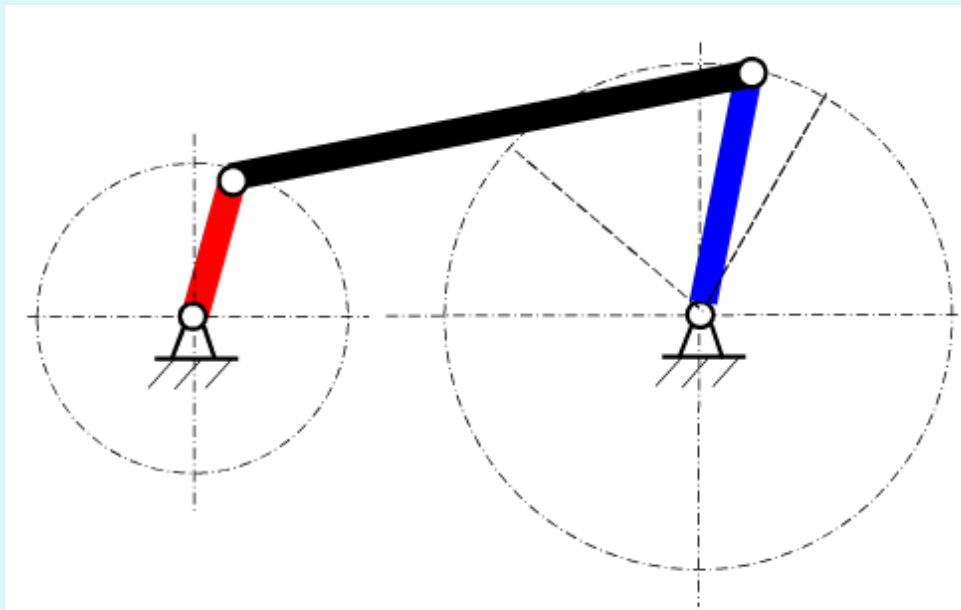
双曲柄机构
(2个曲柄)



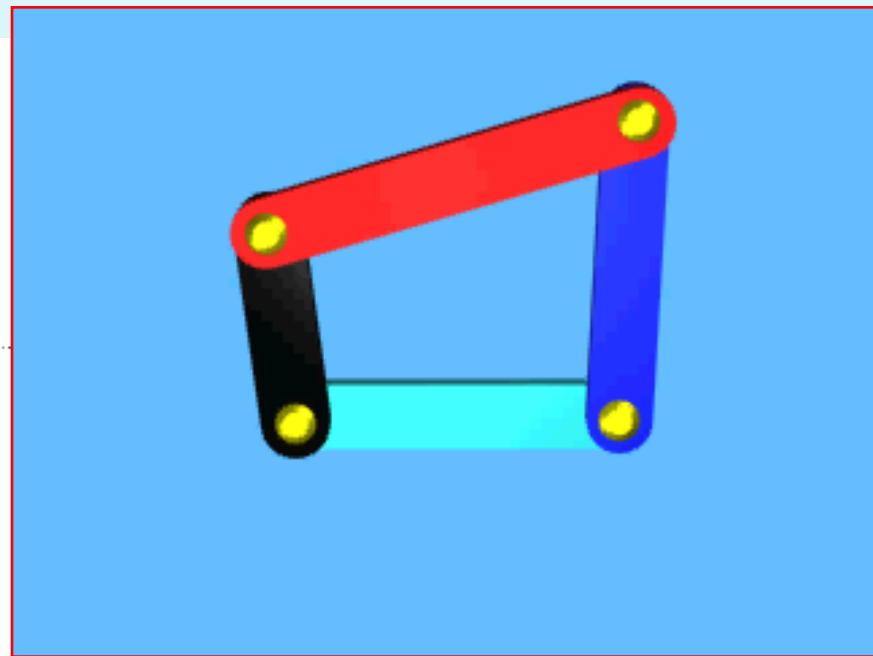
双摇杆机构
(0个曲柄)



1. 铰链四杆机构有整转副的条件

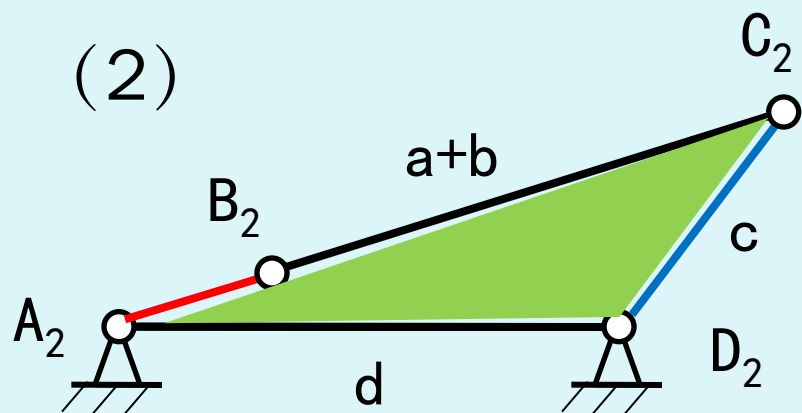
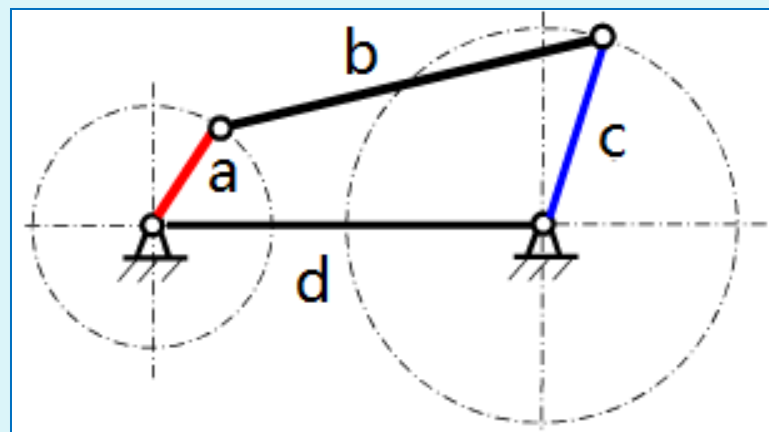
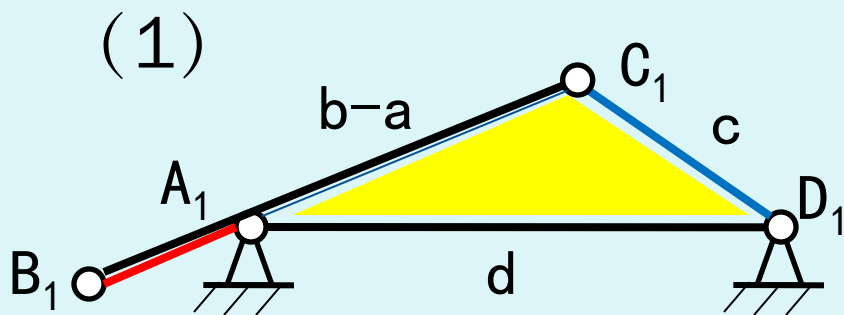


举例：曲柄摇杆机构



[动画](#)

曲柄摇杆机构两个极限位置



在 $\triangle A_1C_1D_1$ 中 $b+c \geq a+d$ ①

$b+d \geq a+c$ ②

在 $\triangle A_2C_2D_2$ 中 $c+d \geq a+b$ ③

①+② $\rightarrow b \geq a$ 杆a为最短

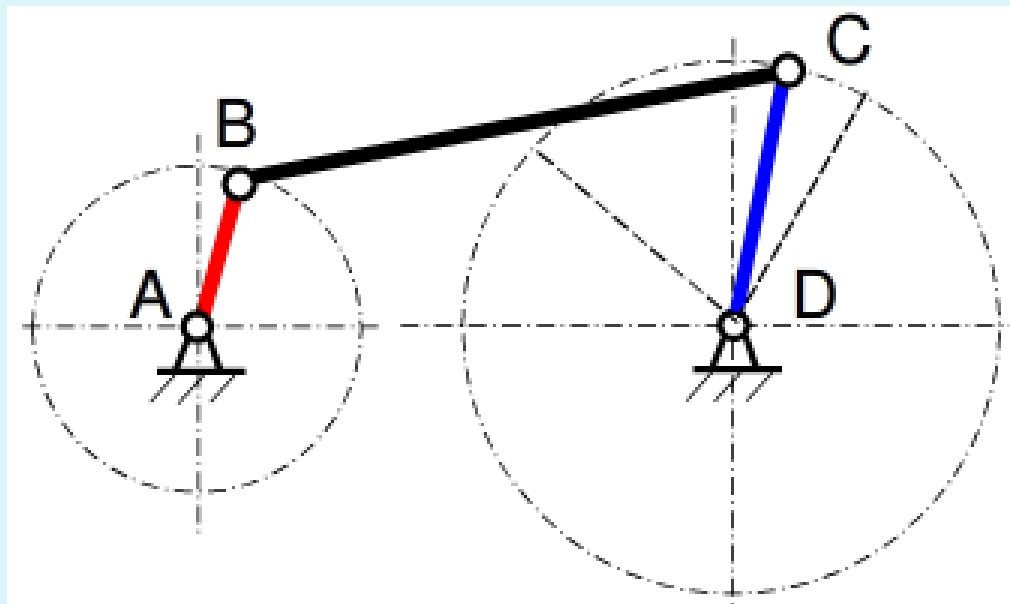
①+③ $\rightarrow c \geq a$ 杆, 杆b, c,

②+③ $\rightarrow d \geq a$ d中存在最

长杆

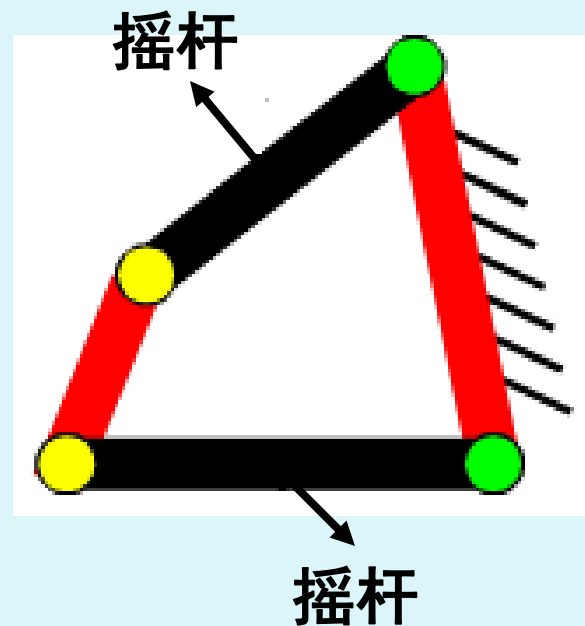
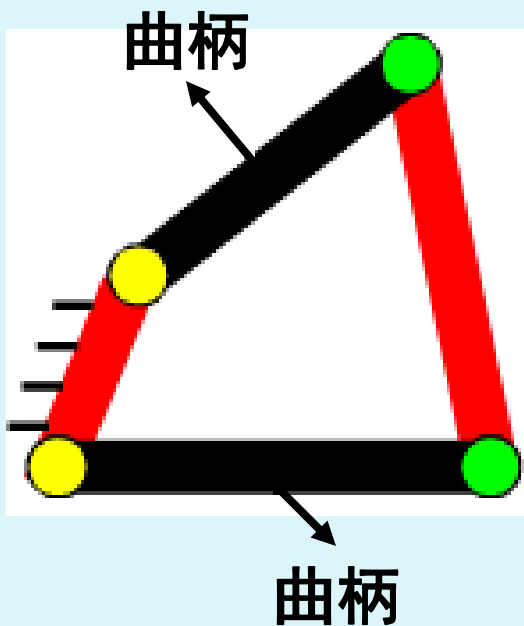
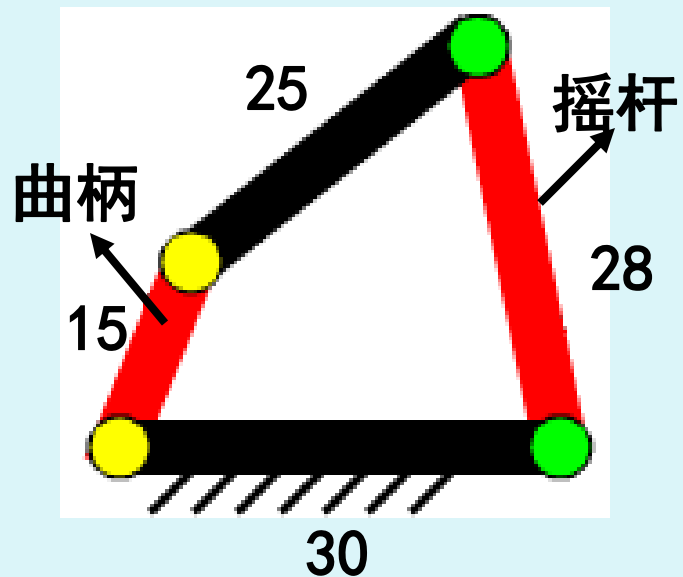
★结论:

- ▶ 铰链四杆机构具有整转副的条件（**杆长条件**）：最短杆与最长杆长度之和**小于或等于**其余两杆长度之和。
- ▶ 铰链四杆机构中，**整转副**是由最短边及其邻边组成的。



具有整转副的铰链四杆机构是否存在曲柄？

2. 曲柄存在的条件

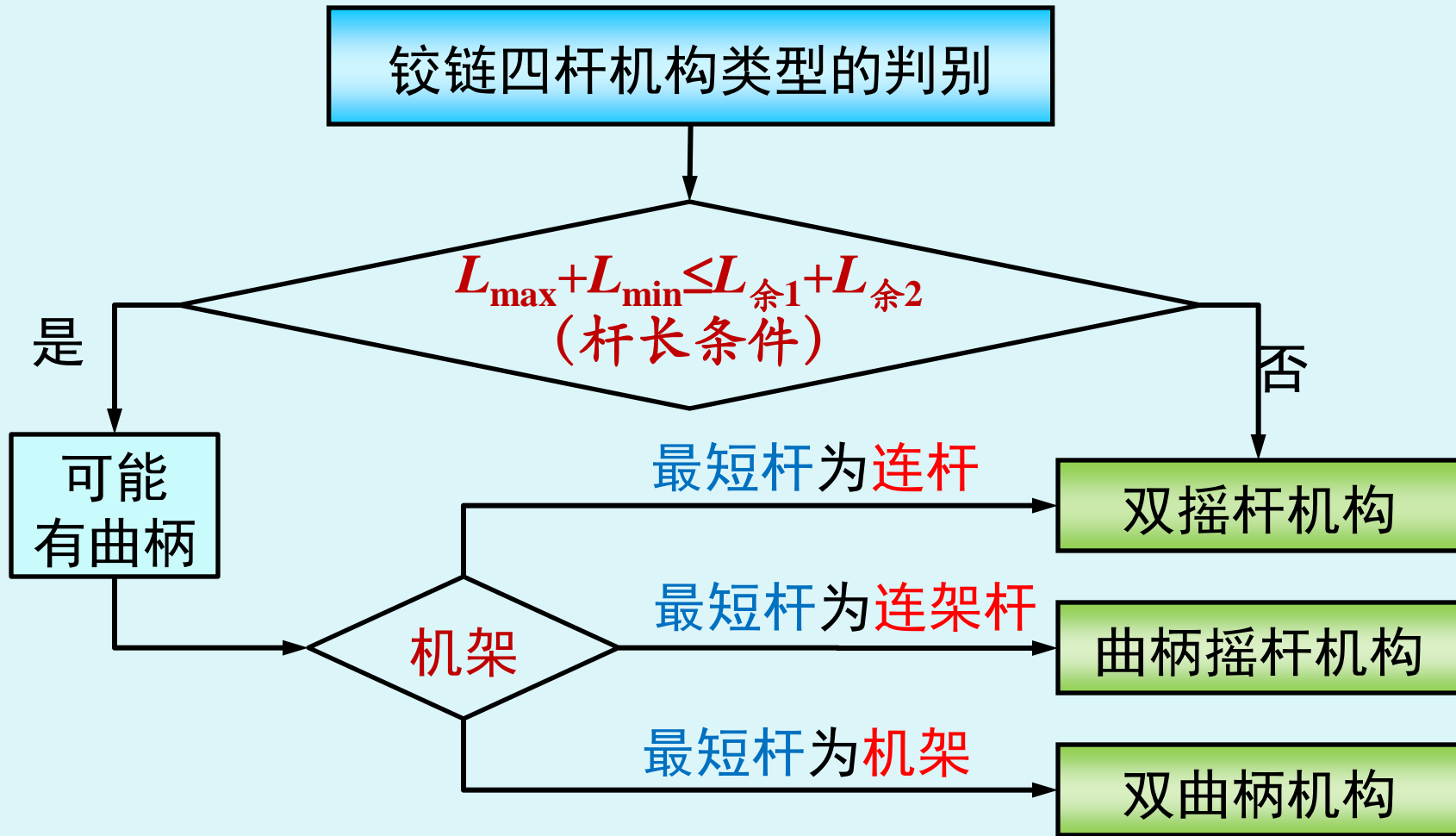


曲柄一定是最短杆吗？

曲柄不一定是最短杆。

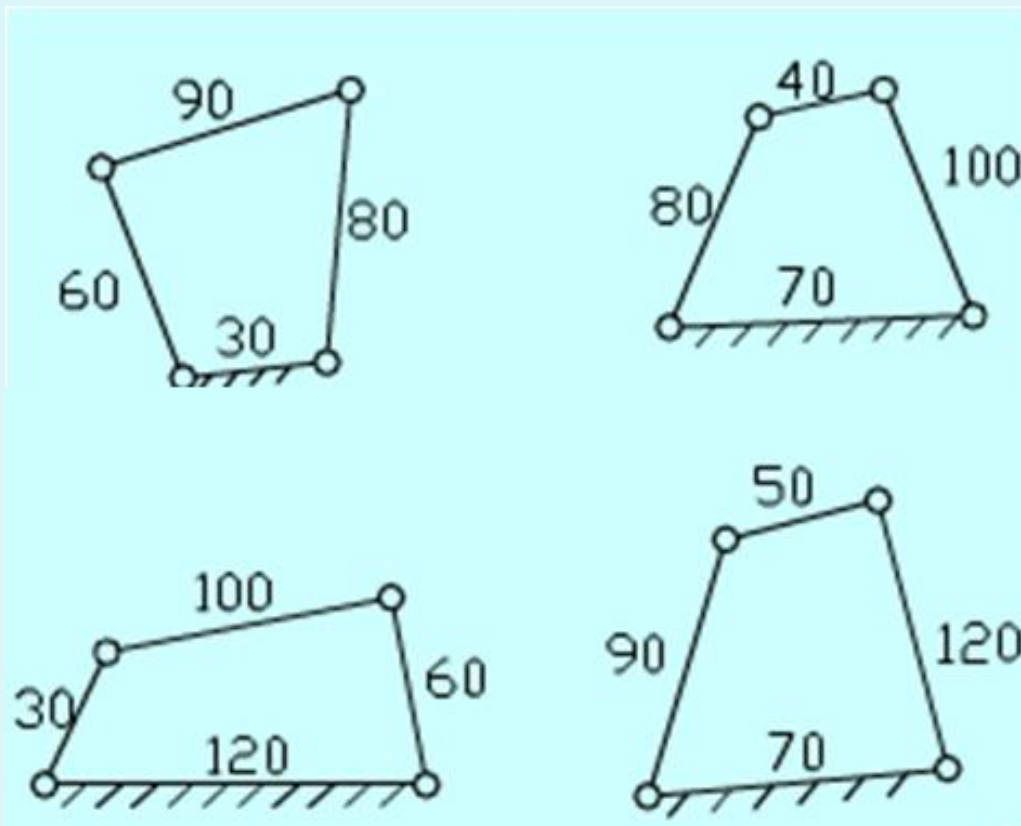
组成整转副的两构件之一必为最短杆。

铰链四杆机构曲柄存在的条件



注意：铰链四杆机构取不同构件为机架时演化为不同类型的铰链四杆机构是有条件的。即机构的各杆长度应满足杆长条件。

• 1. 确定铰链四杆机构的类型？



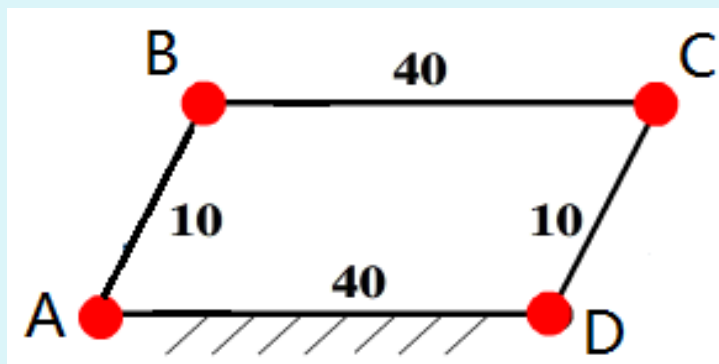
• 2. 确定铰链四杆机构的类型?

解:

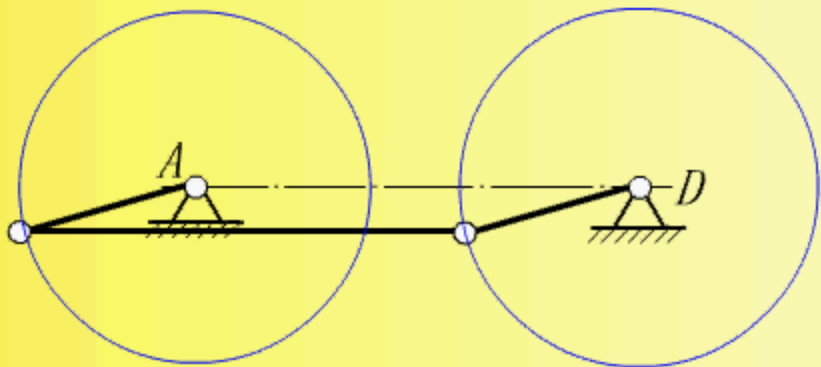
$$10 + 40 = 10 + 40$$



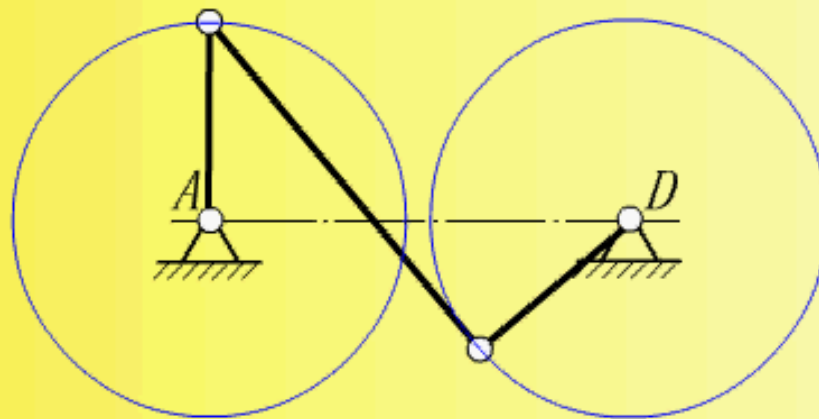
双曲柄机构



正平行四边形机构

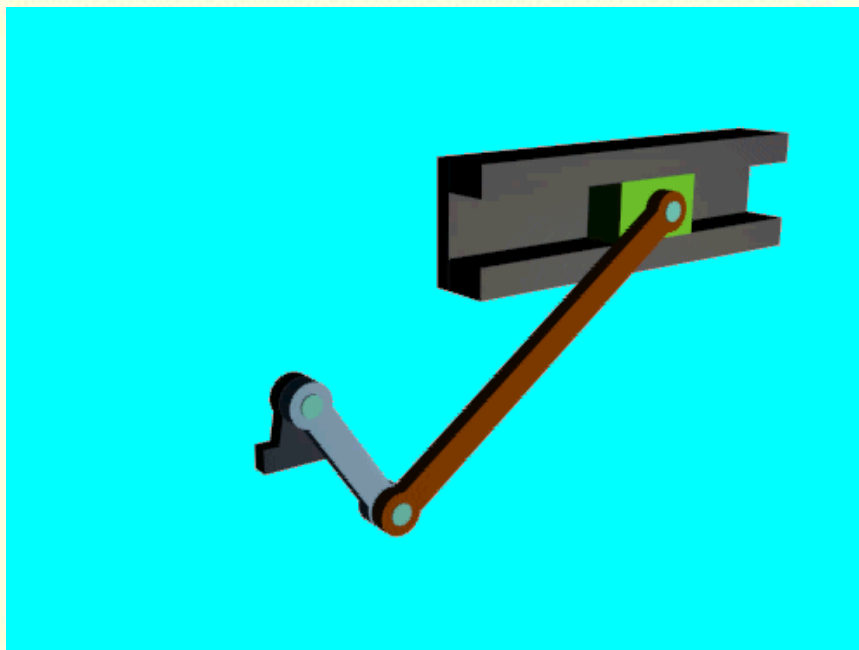


反平行四边形机构



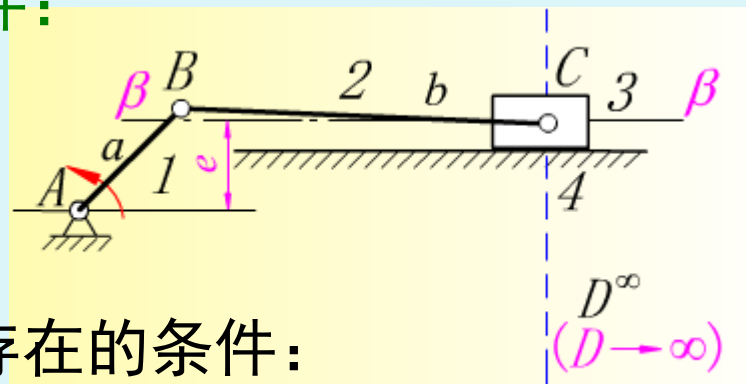
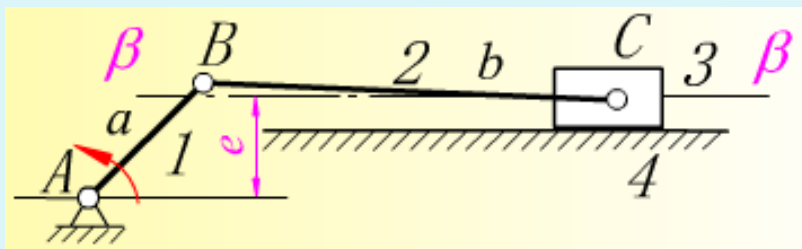
思考题

曲柄滑块机构中曲柄存在的条件是什么？



曲柄滑块机构存在曲柄的条件？

1. 偏置曲柄滑块机构曲柄存在的条件：

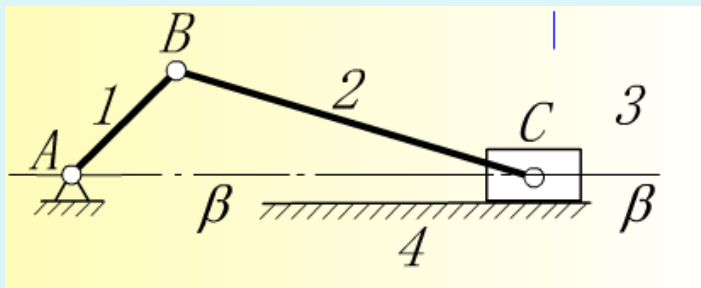


铰链四杆机构 $A B C D^\infty$ 满足曲柄存在的条件：

$$a + C D^\infty \leq b + A D^\infty \quad (\text{杆长条件})$$

偏置曲柄滑块机构有曲柄存在条件：
 $a + e \leq b$ ，且最短杆为连架杆。

2. 对心曲柄滑块机构曲柄存在的条件：

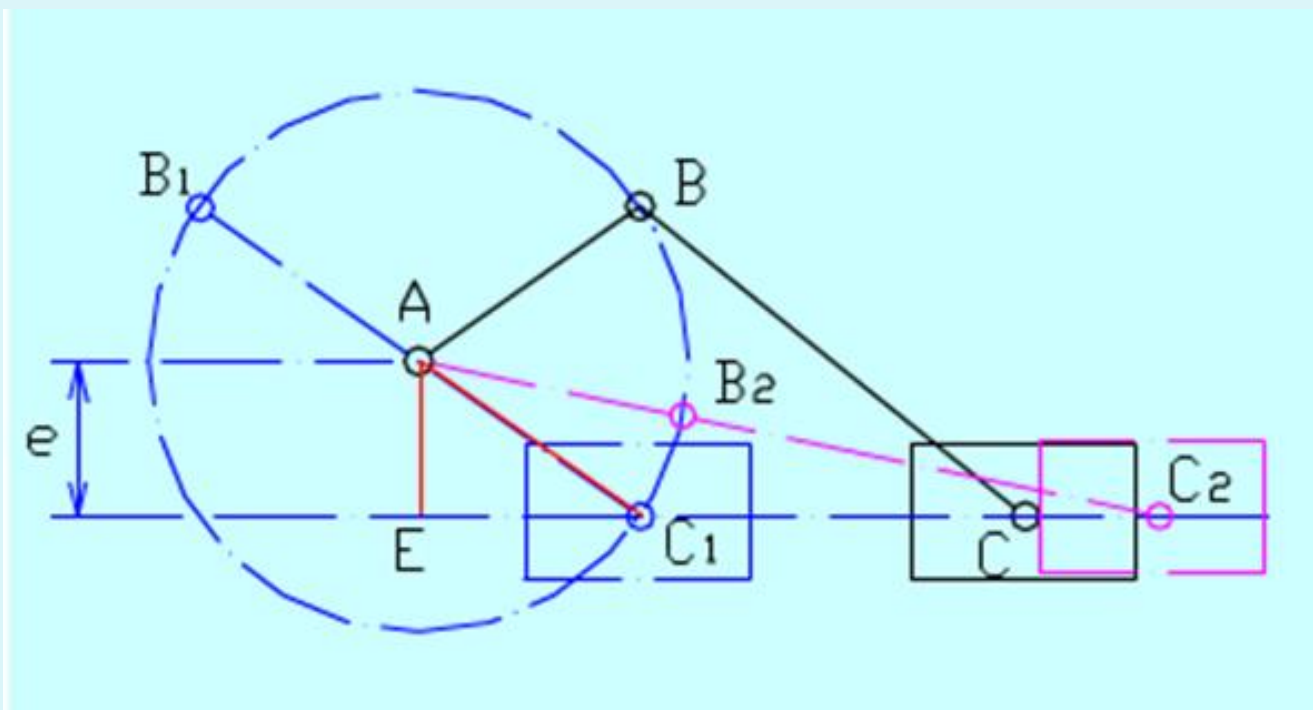


当 $e=0$ 时，对心曲柄滑块机构有曲柄存在条件：
 $a \leq b$ ，且最短杆为连架杆。

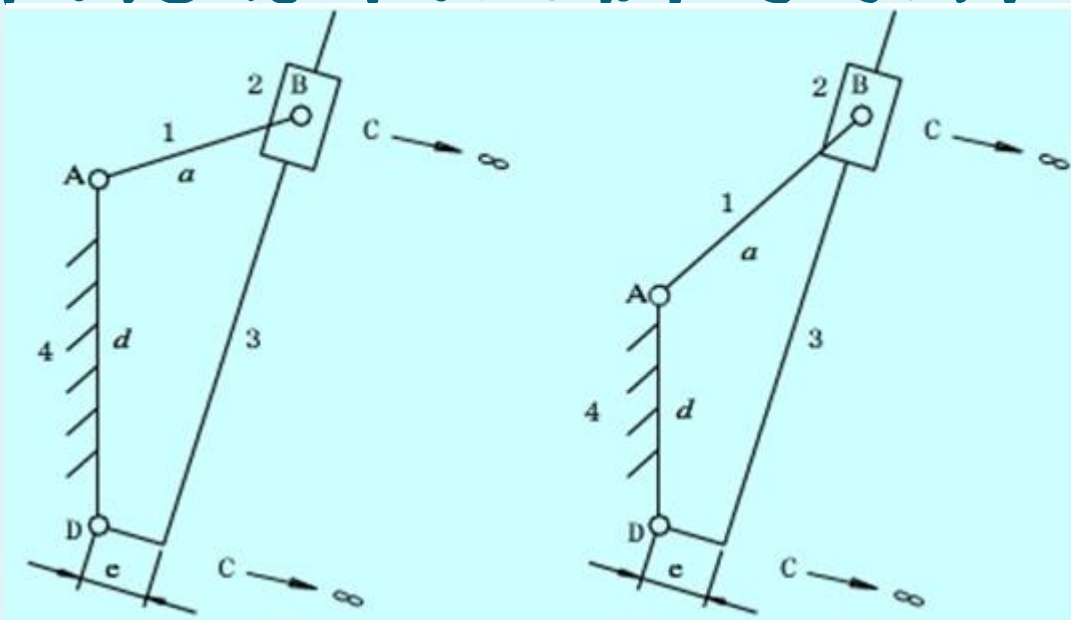
曲柄滑块机构存在曲柄的条件

曲柄滑块机构中应使 $AC_1 > AE$ ，即： $b - a > e$

故： $b > a + e$ 或 $a < b - e$ ，对心式， $e = 0$ ， $\therefore a < b$



导杆机构存在曲柄的条件？



$$a + DC \leq d + BC \quad \text{或}$$

$$a + (DC - BC) \leq d$$

$\therefore a + e \leq d$ 当 $e = 0$ 时, $a \leq d$

此为摆动导杆机构

$$d + DC \leq a + BC \quad \text{或}$$

$$d + (DC - BC) \leq a$$

$\therefore d + e \leq a$ 当 $e = 0$ 时, $d \leq a$

此为转动导杆机构

曲柄存在条件小结

曲柄存在的条件：

- (1) 最短杆与最长杆长度之和小于或等于其余两杆长度之和
- (2) 最短杆是连架杆或机架

• 推论1:

- 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

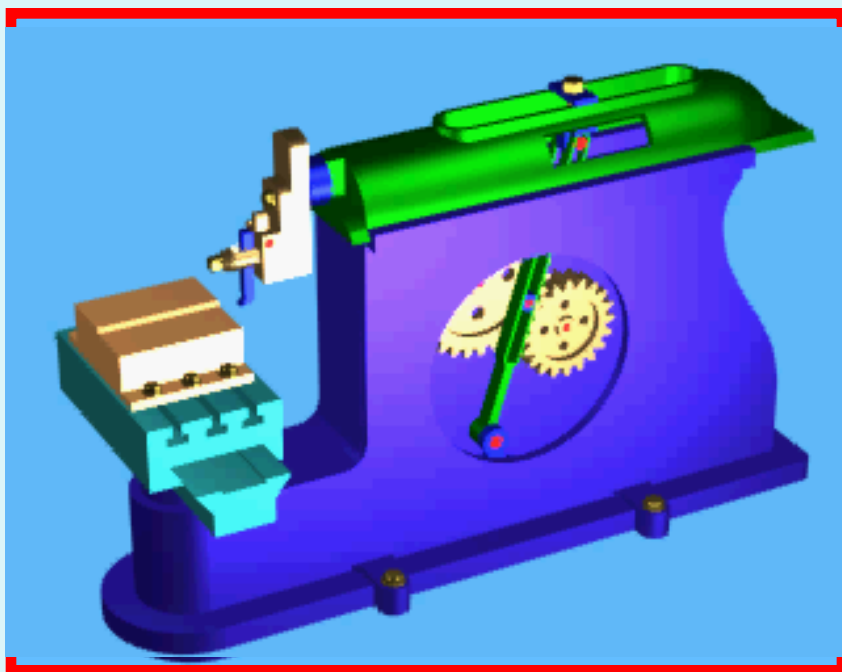
• 推论2:

- 当 $L_{\max} + L_{\min} > L$ (其余两杆长度之和) 时
 - ——双摇杆机构

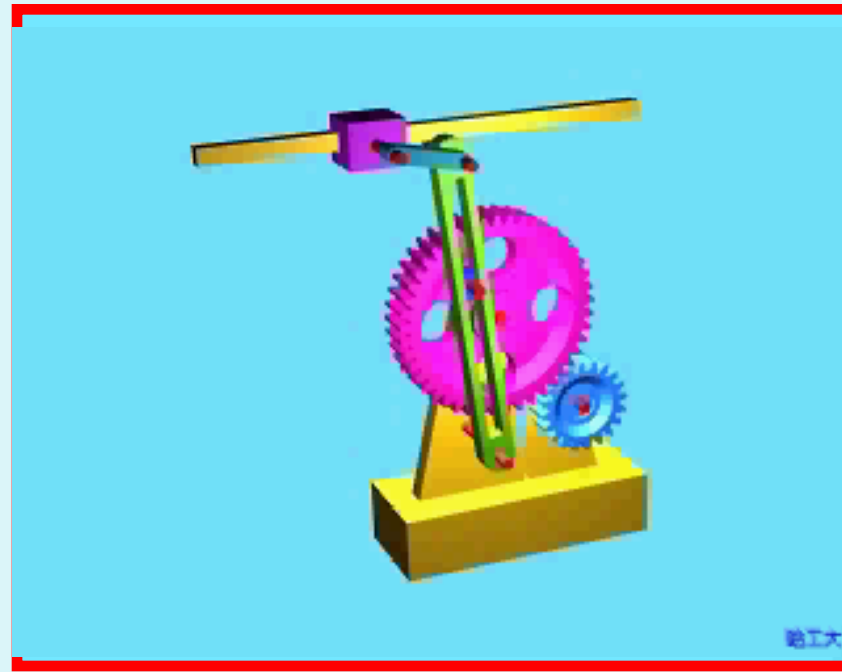
二、平面四杆机构的急回特性

1、急回特性

当机构的原动件匀速连续回转时，从动件往复运动平均速度不等的性质。



牛头刨床



牛头刨床进给机构

意义：节省空回时间，提高生产效率。

- 极位

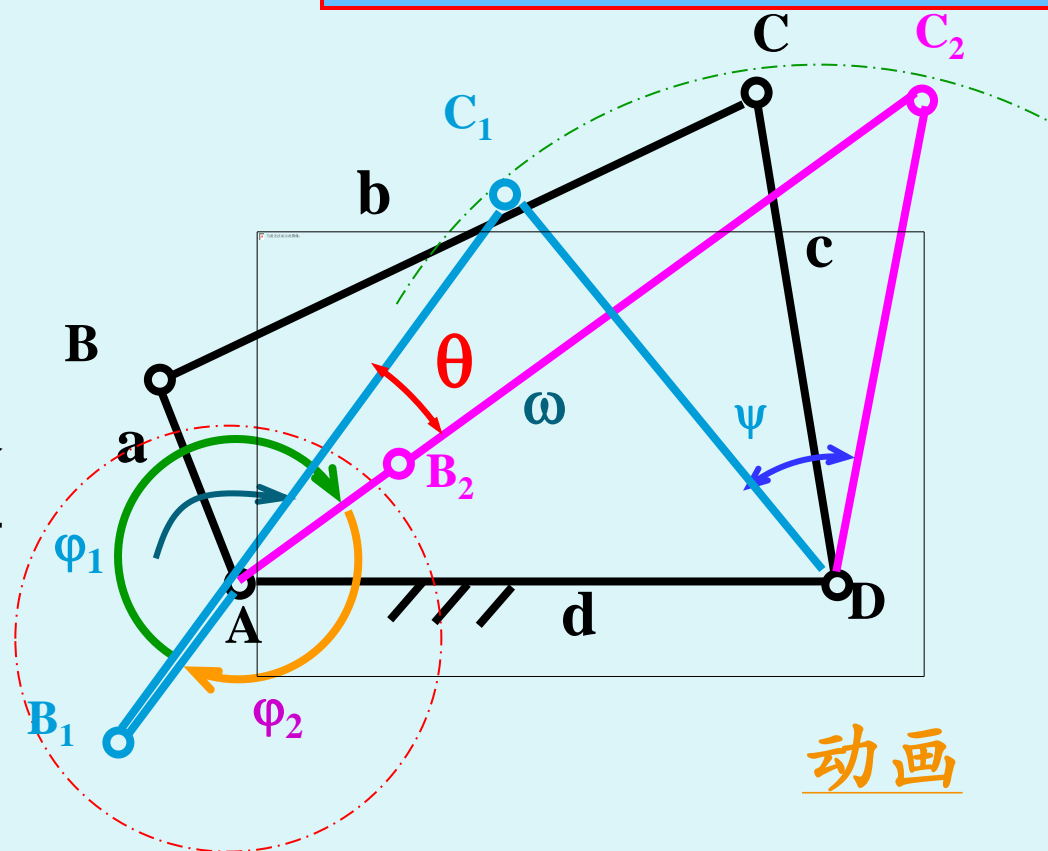
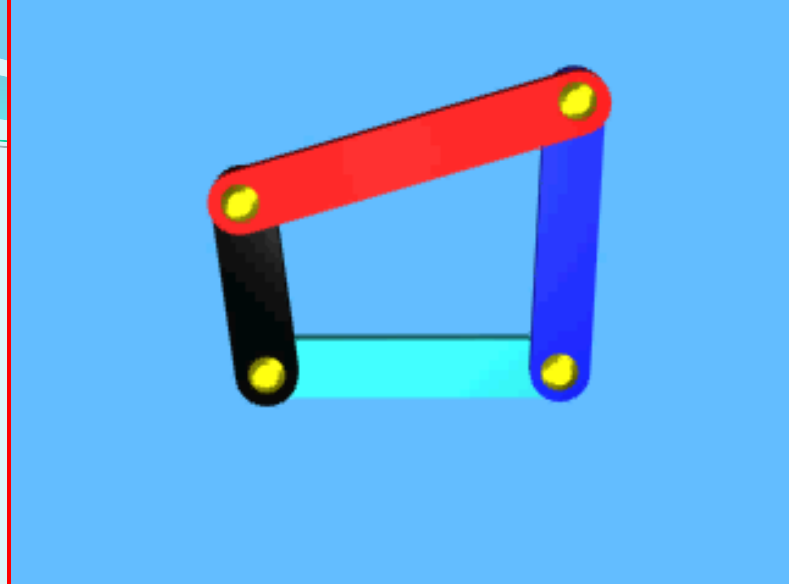
曲柄与连杆两次共线时，从动件所处的两个极限位置。

- 摆角 ψ

从动件摇杆两极限位置的夹角 ψ 。

- 极位夹角 θ

对应从动杆的两个极限位置，主动件两相应位置所夹角 θ 。(0, 180)



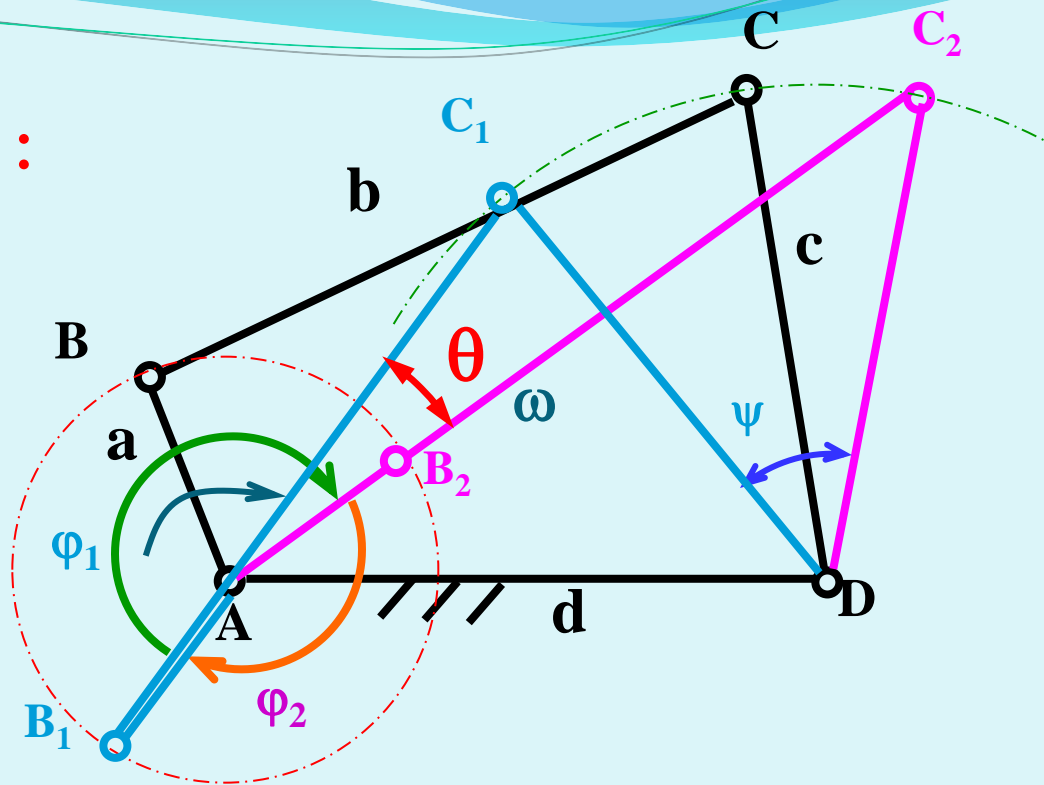
动画

- 急回特性产生的本质原因：

θ 存在 ($\theta \neq 0, \theta > 0$) 。

- 急回特性具有方向性：

若主动件的回转方向改变，
则急回行程也跟着改变。



	曲柄AB			摇杆CD			
	曲柄AB	转角	转速	摇杆CD	摆角	时间	平均速度
工作行程	$AB_1 \rightarrow AB_2$	$\varphi_1 = 180 + \theta$	ω	$C_1D \rightarrow C_2D$	ψ	t_1	V_1
空回行程	$AB_2 \rightarrow AB_1$	$\varphi_2 = 180 - \theta$	ω	$C_2D \rightarrow C_1D$	ψ	t_2	V_2
结果比较	—	$\varphi_1 > \varphi_2$	-	—	-	$t_1 > t_2$	$V_1 < V_2$

2.行程速度变化系数

无急回特性的曲柄摇杆机构。

从动件快行程平均速度与慢行程平均速度的比值称为从动件行程速度变化系数，用K表示。

$$K = \frac{v_2}{v_1} = \frac{C_2 C_1 / t_2}{C_1 C_2 / t_1} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta}$$

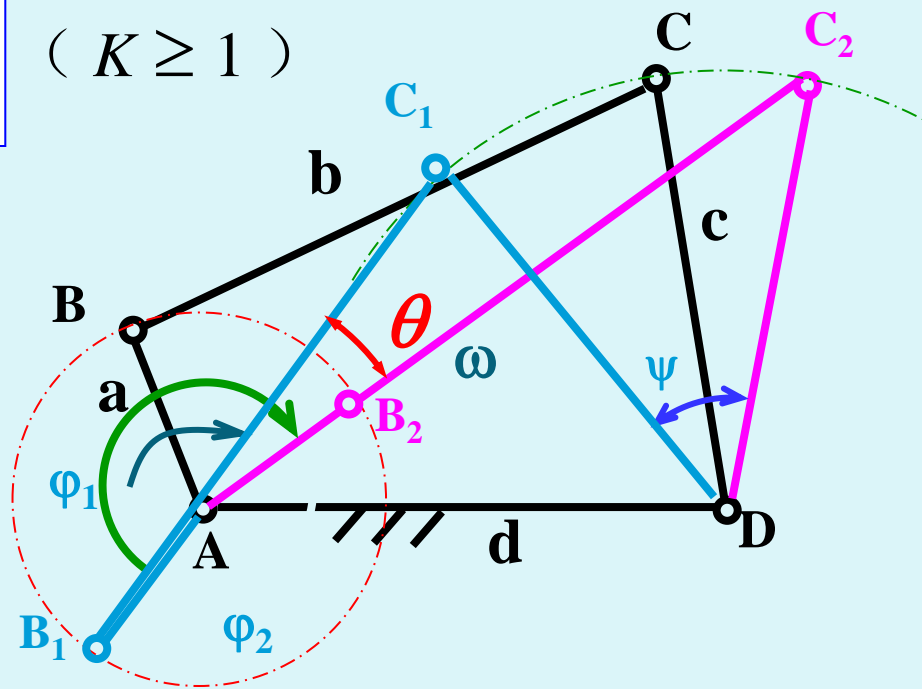
($K \geq 1$)

问题？铰链四杆机构的行程速比系数的最小值？

$$\theta = \frac{K - 1}{K + 1} \times 180^\circ$$

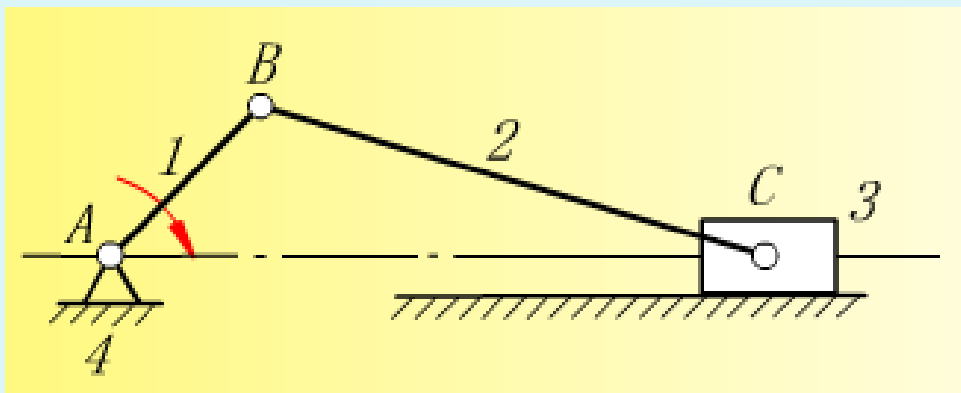
分析：

- 1) $\theta > 0$ 时, $\theta \uparrow \rightarrow K \uparrow \rightarrow$ 急回特性 \uparrow
- 2) $\theta = 0 \rightarrow K = 1 \rightarrow$ 无急回特性

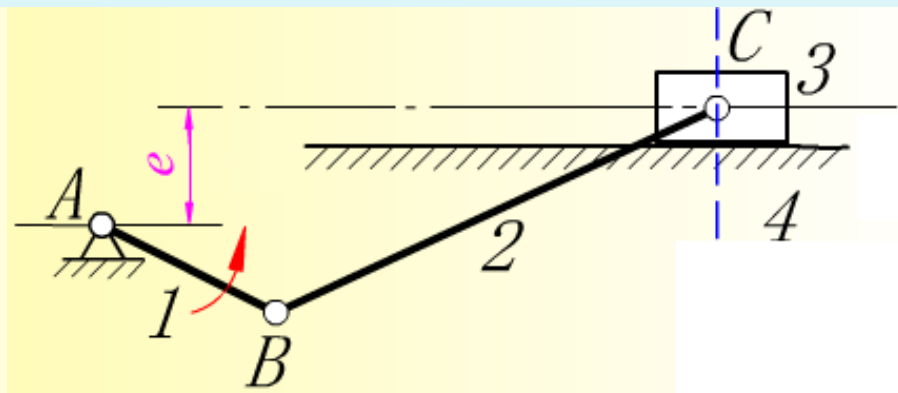


用途：设计具有急回运动的机构时，根据所需的行程速比系数K来设计，这时应先利用此式求出θ，然后再设计各杆尺寸。

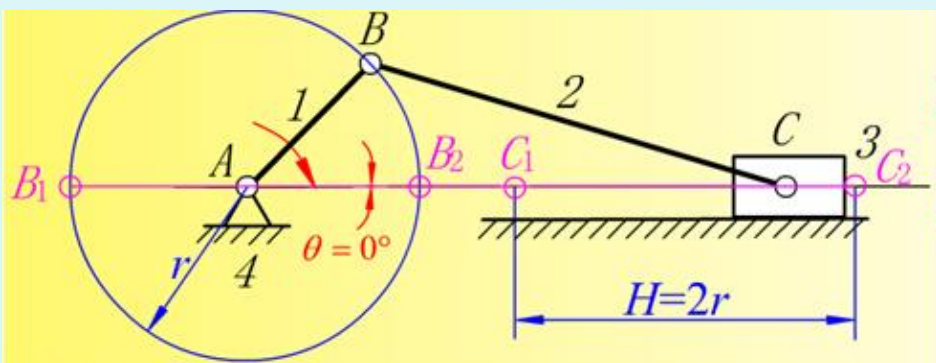
问题讨论：判断下列机构是否有急回特性？若有，标出极位夹角。



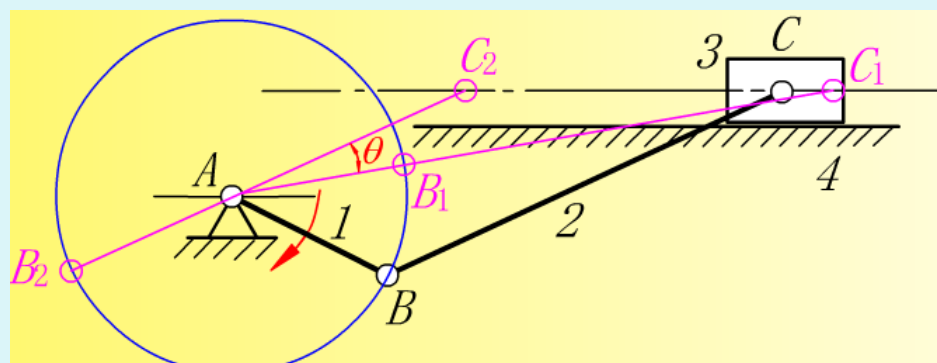
对心曲柄滑块机构



偏置曲柄滑块机构



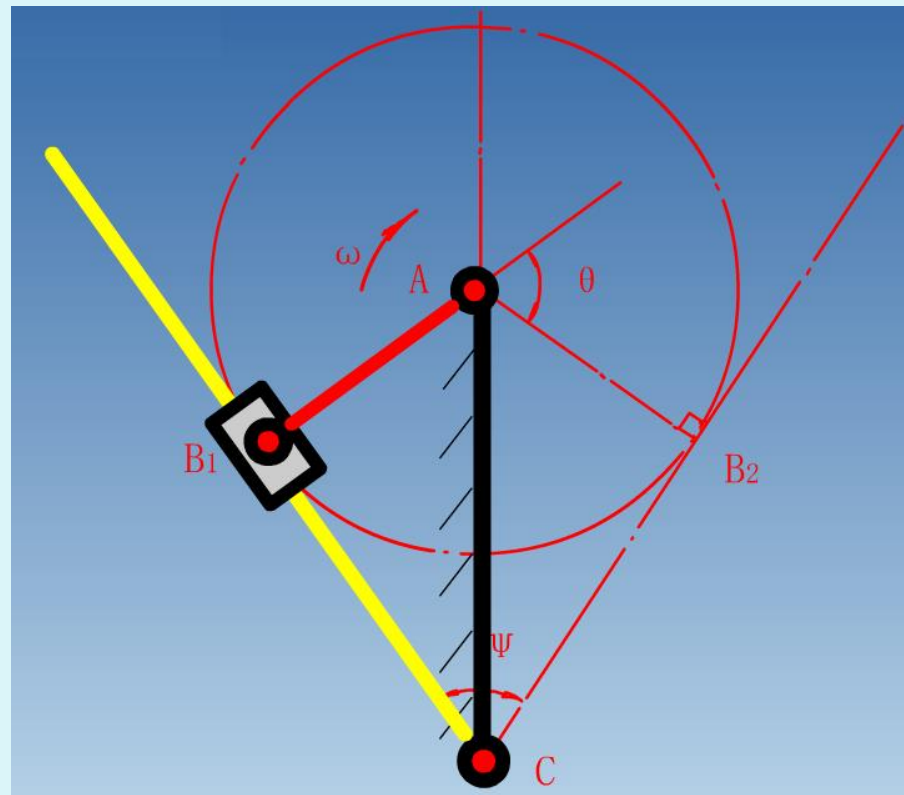
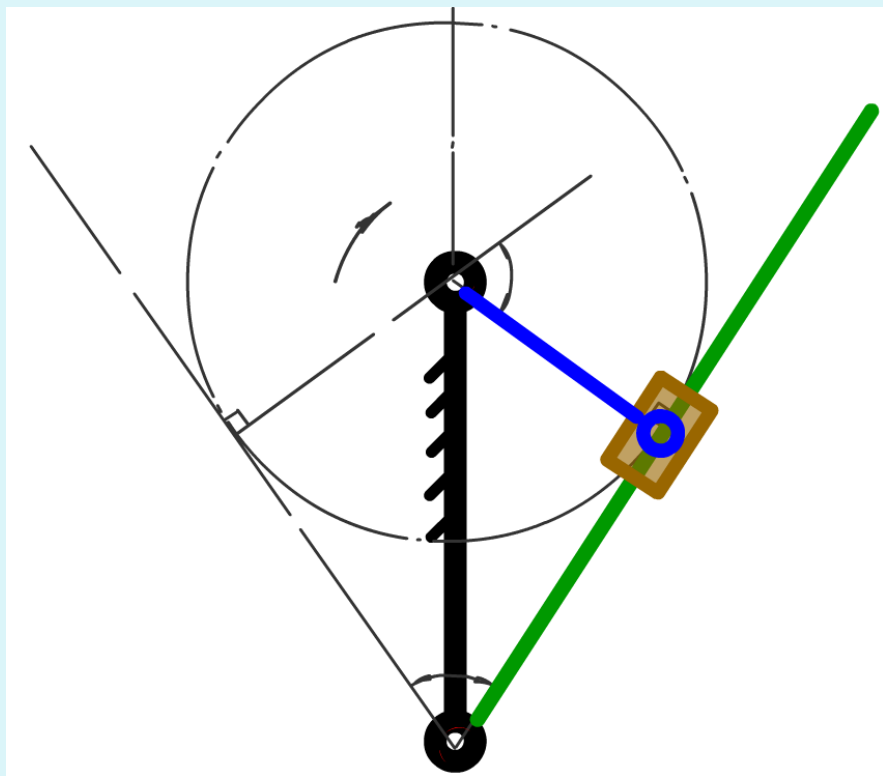
$\theta = 0^\circ$, $K = 1$, 故机构无急回运动。



$\theta \neq 0^\circ$, $K > 1$, 故机构有急回运动。



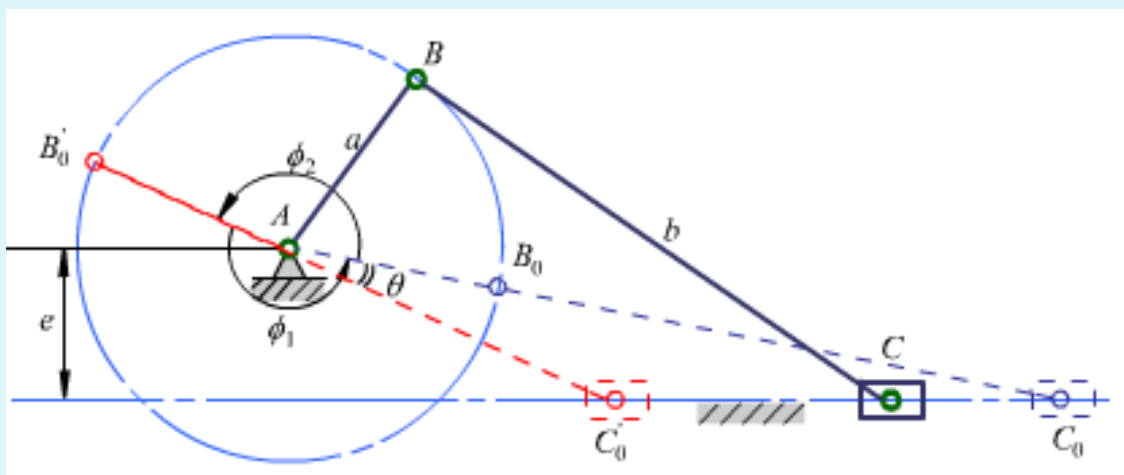
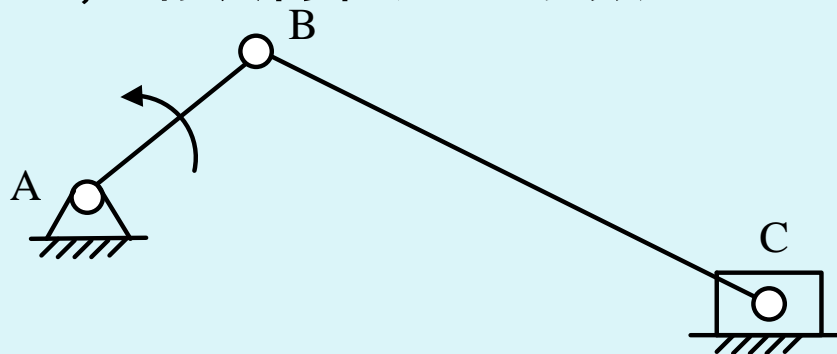
摆动导杆机构急回特性



$$\theta = \psi$$

练习

- 1、已知某曲柄摇杆机构的曲柄匀速转动，极位夹角 $\theta = 30^\circ$ ，摇杆工作行程需时7s. 试问（1）摇杆空回行程需时几秒？（2）曲柄每分钟转数是多少？
- 2、偏置曲柄滑块机构中，曲柄AB为原动件，其长为20 cm，且逆时针匀速转动。又知连杆长BC为60cm，滑块行程速比系数 $K=2$ 。试求：滑块行程



急回特性小结

- 理解并掌握急回特性产生的原因
- 理解并掌握四概念：极位，极位夹角，急回特性，行程速比系数
- 了解急回特性的生产意义

三、压力角和传动角

- 压力角 α

从动件(运动输出件)受力点的力作用线与该点速度方向线所夹锐角。(不考虑摩擦)用 α 表示。

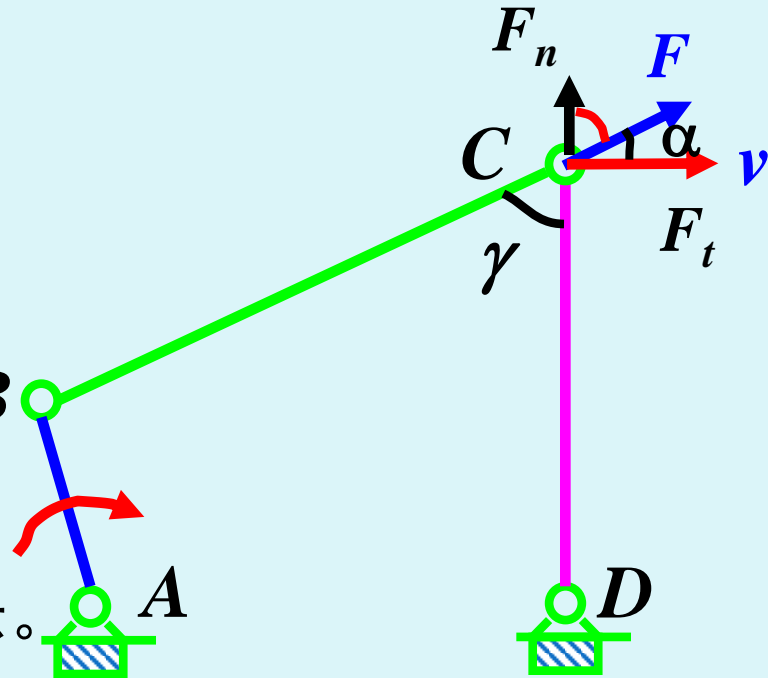
$$F \begin{cases} F_t = F \cos \alpha & \text{有效分力} \\ F_n = F \sin \alpha & \text{有害分力} \end{cases}$$

压力角 α 越小,推动机械运动的有效分力越大.故压力角越小越好。

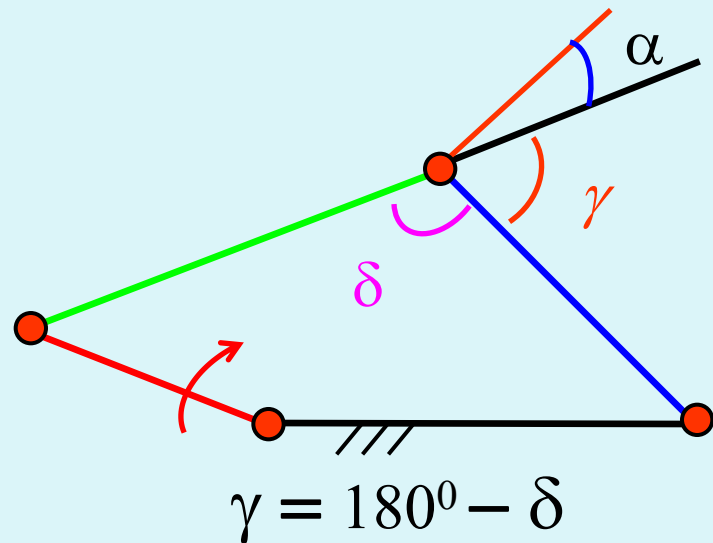
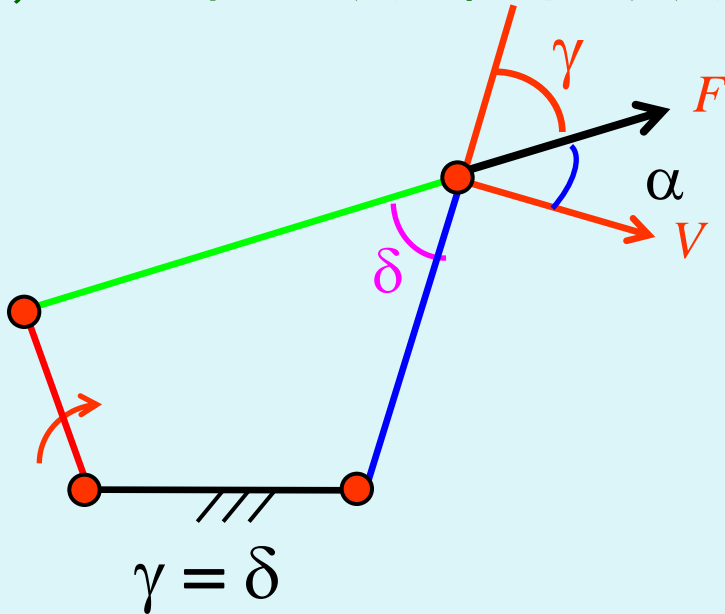
- 传动角 γ 压力角的余角, 用 γ 表示。
(连杆轴线与从动杆轴线所夹锐角)

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

传动角 γ 越大,推动机械运动的有效分力越大. 故传动角越大越好。



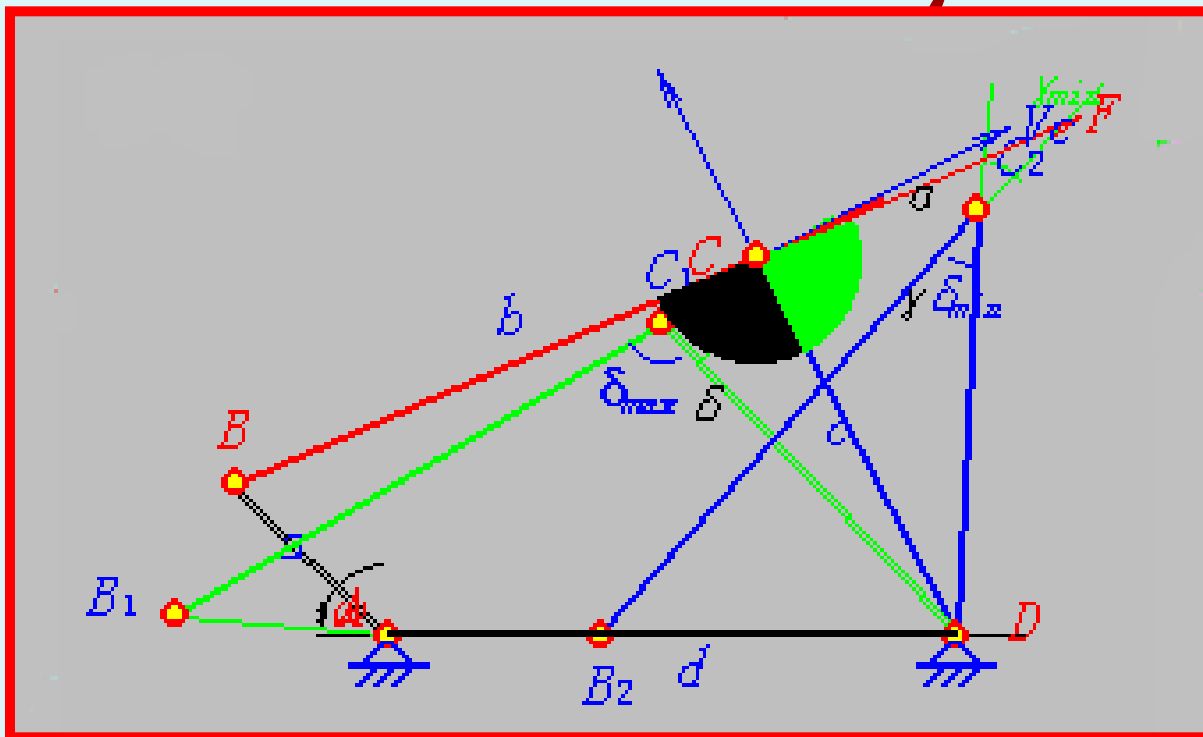
通常，机构在运动过程中传动角 γ 是变化的。



注意 因机构运动时，传动角是变化的，为了保证机构的正常工作，必须保证最小传动角 γ_{\min} 的下限。

一般机械，常取 $\gamma_{\min} > 40^\circ$ ；对于鄂式破碎机、冲床等大功率机械，最小传动角应取大一些，可取 $\gamma_{\min} > 50^\circ$ ；对于小功率的控制机构和仪表，则 γ_{\min} 可略小于 40° 。

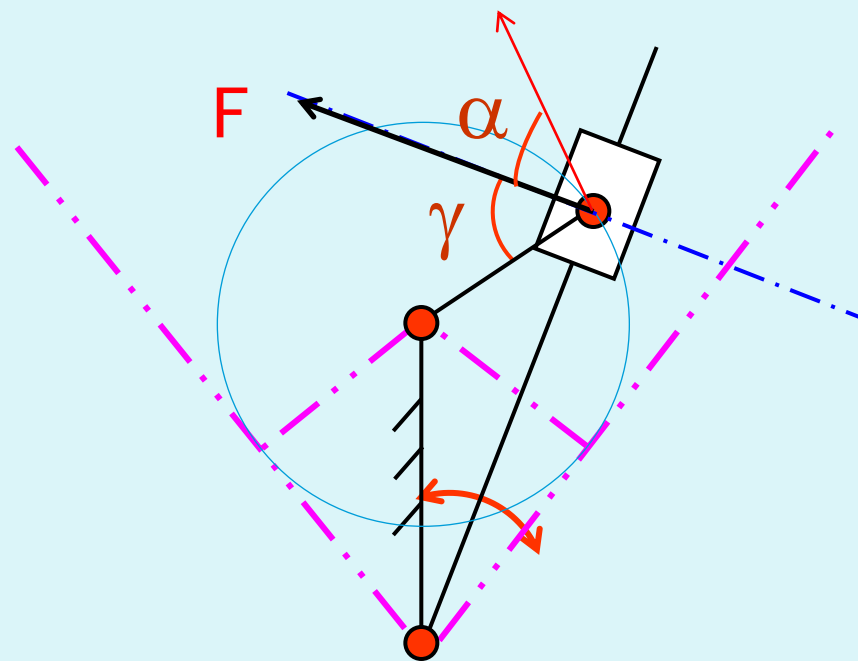
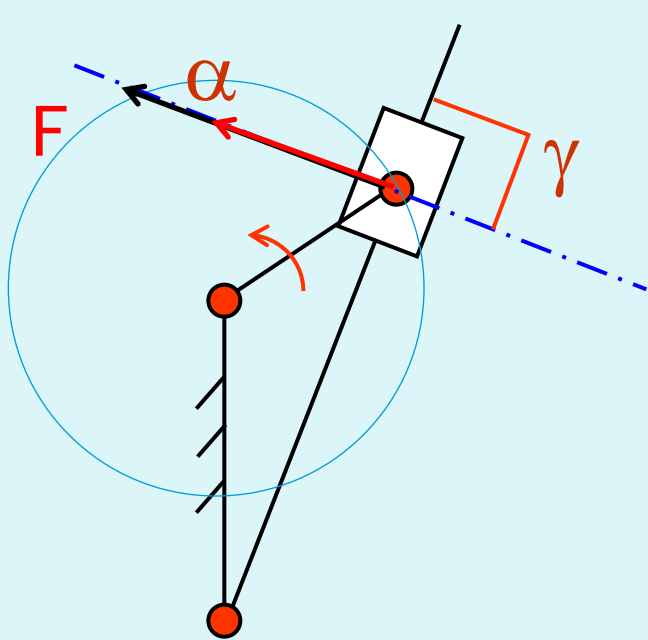
问题：如何找出 γ_{\min} ？



曲柄摇杆机构, 当曲柄主动时, 在曲柄与机架共线的两个位置之一, 传动角最小.

$$\gamma = \angle BCD = \arccos \frac{b^2 + c^2 - (d \mp a)^2}{2bc}$$

问题讨论：标出下列机构压力角和传动角

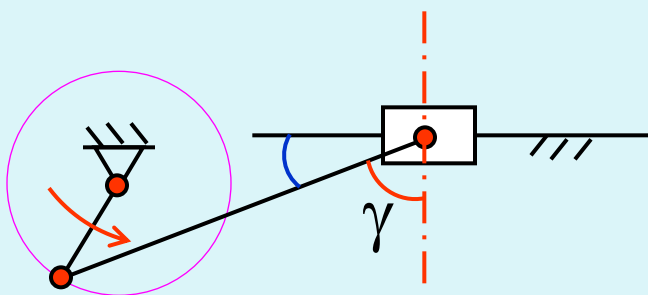


导杆受力：垂直导路

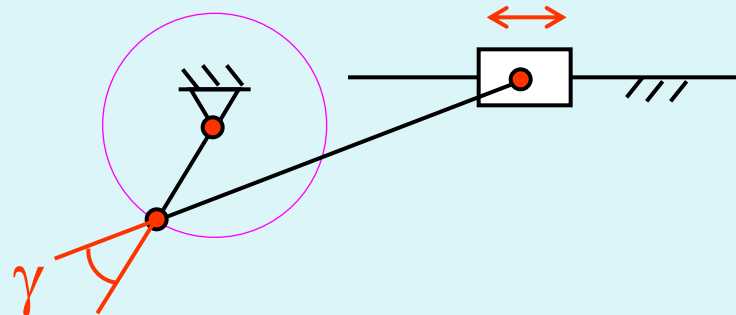
曲柄受力：垂直导路

问题？：哪个机构传力性能好？

问题讨论：标出下列机构压力角和传动角



滑块受力



曲柄受力

问题：如果机构传动角为0度，机构能不能动？

死点位置

- 死点定义：

从动件的传动角等于0时 ($\gamma = 0$) 机构的位置为死点位置。

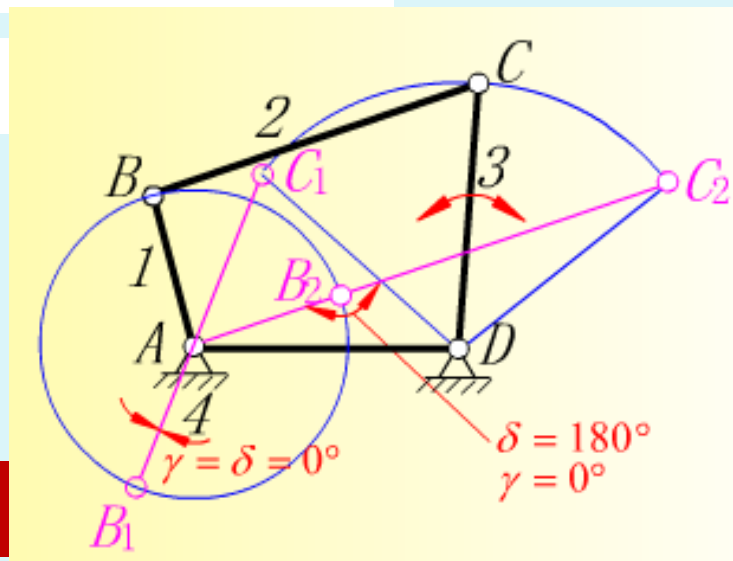
产生原因：输出件所受到驱动力（或力矩）为零

死点后果：机构顶死或运动不确定。

讨论：曲柄摇杆机构中，当曲柄为主动件时有死点吗？

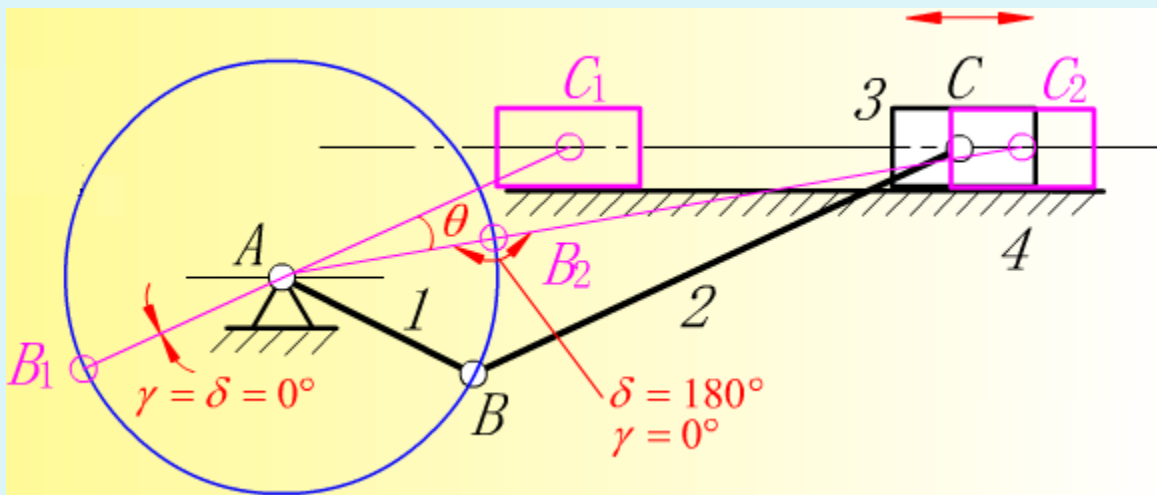
问题：若是转动从动件死点在什么位置？

连杆与转动从动件共线位置



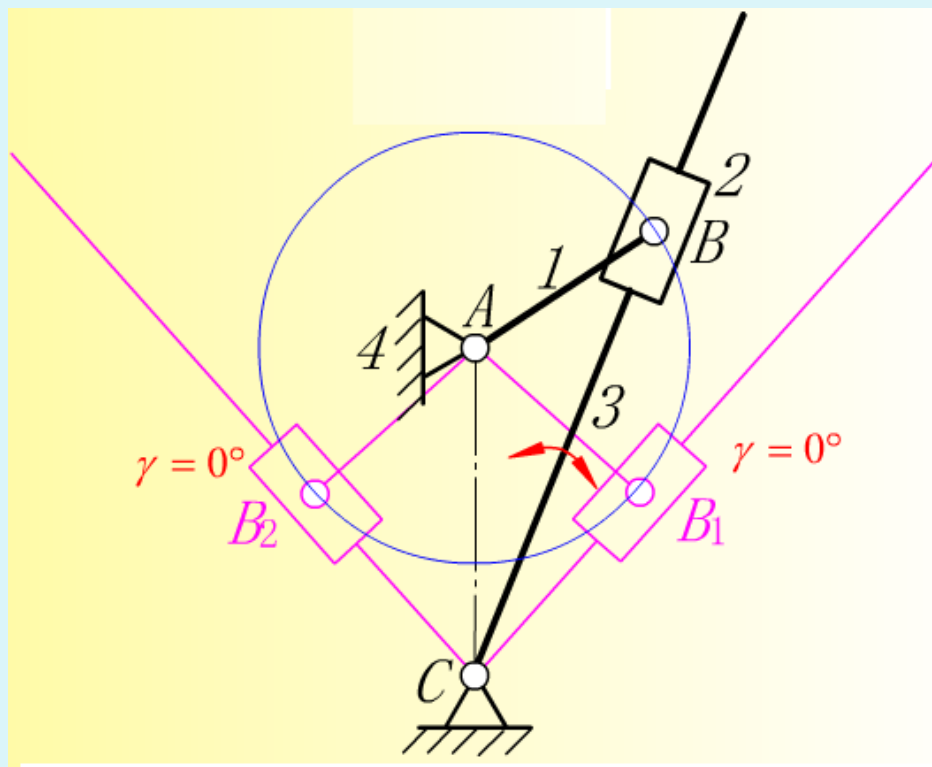
偏置曲柄滑块机构

连杆2与从动件曲柄1共线，机构处于死点位置



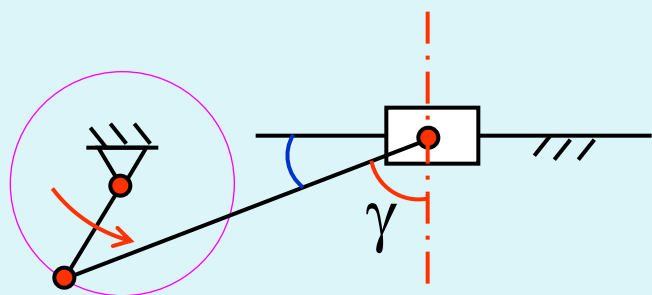
导杆机构

滑块2导路垂直方向与从动件曲柄1共线，机构处于死点位置

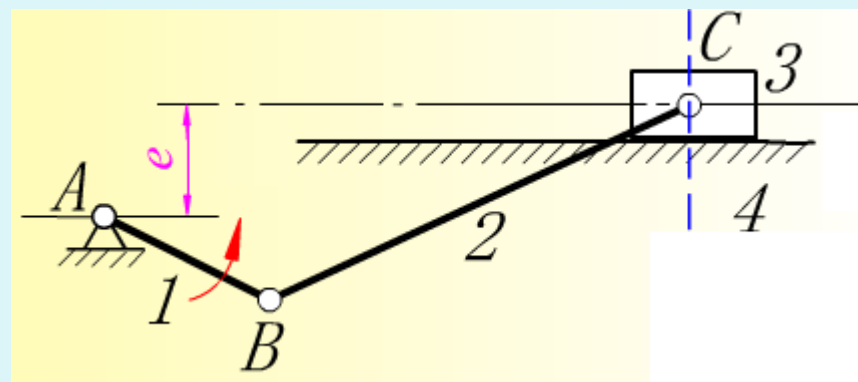


问题：若是移动从动件，死点在什么位置？

连杆与移动从动件导路垂直的位置

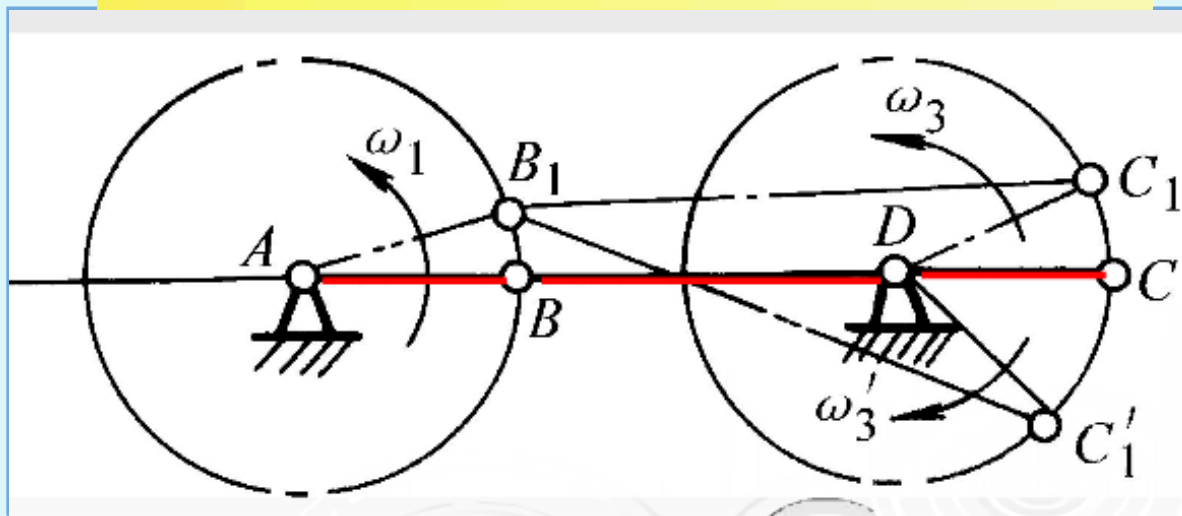
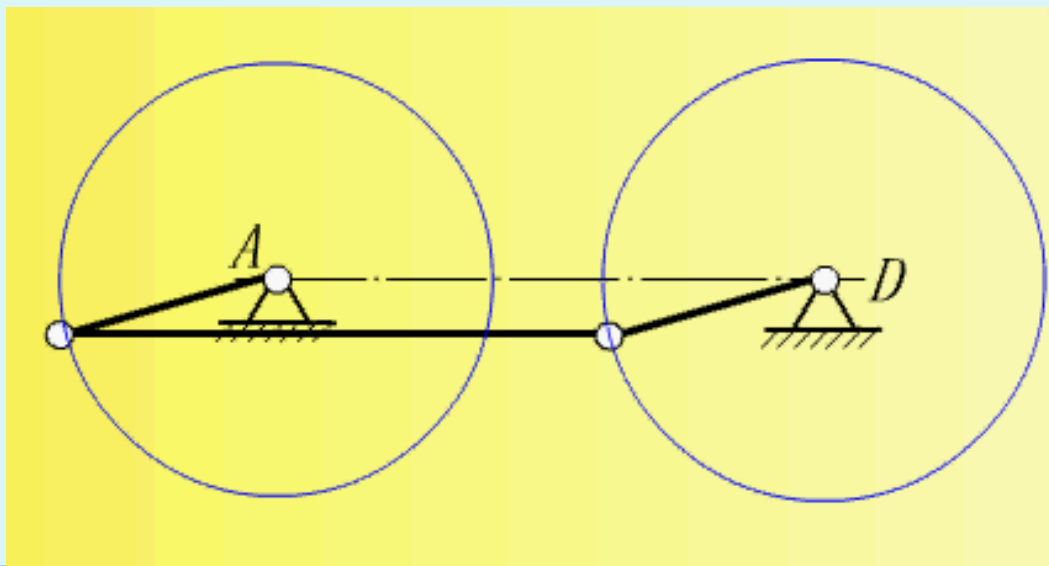


对心曲柄滑块机构



偏置曲柄滑块机构

转向点——平行四边形机构



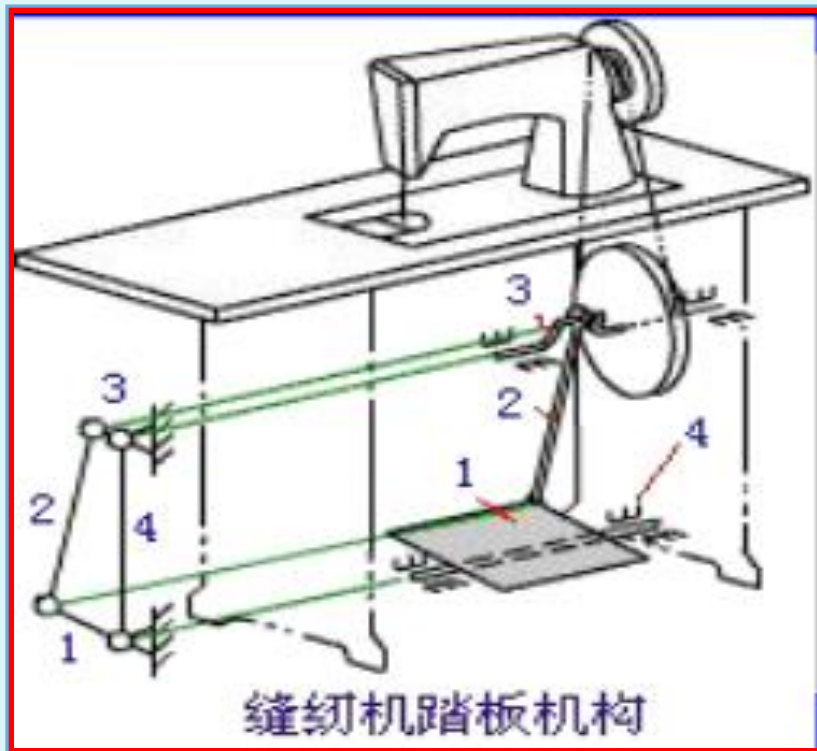
克服死点

- 从动件安装飞轮利用惯性来克服死点。

缝纫机踏板机构



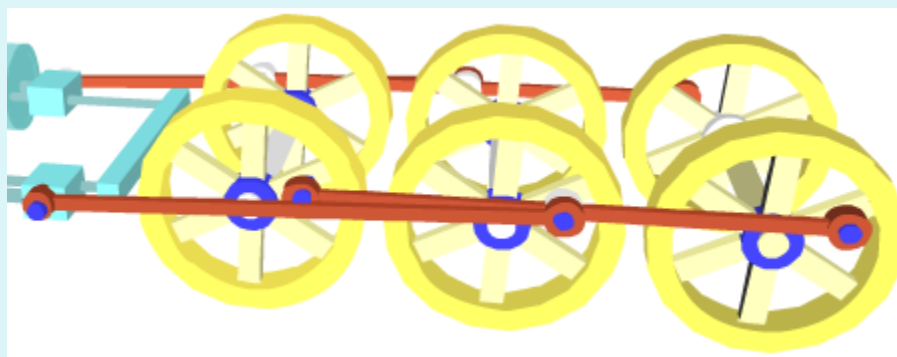
缝纫机踏板机构



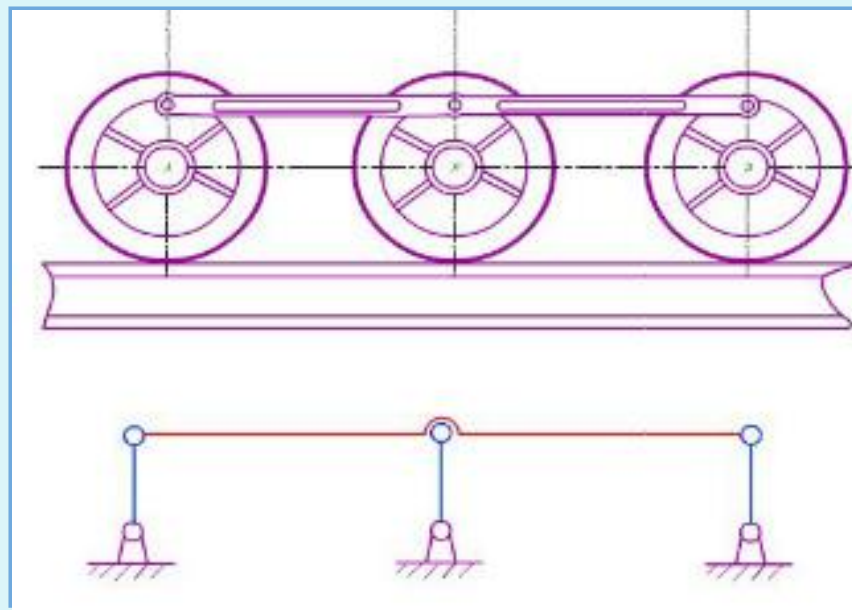
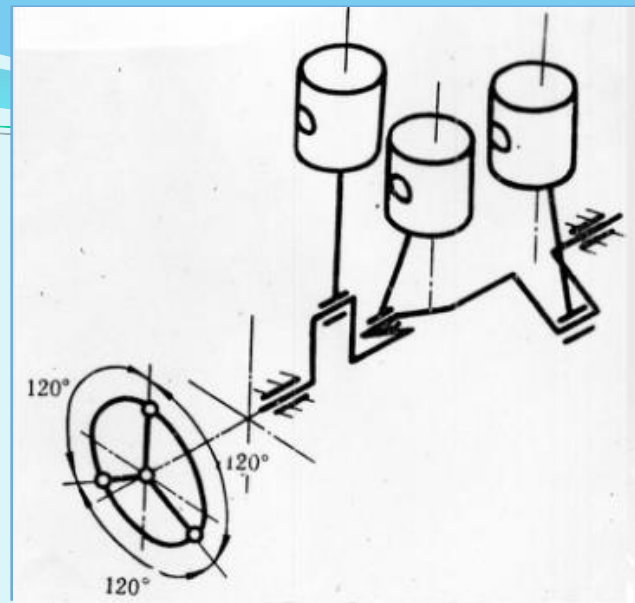
缝纫机踏板机构

克服死点

- 利用相同机构错位排列的方法
汽车发动机、火车车轮

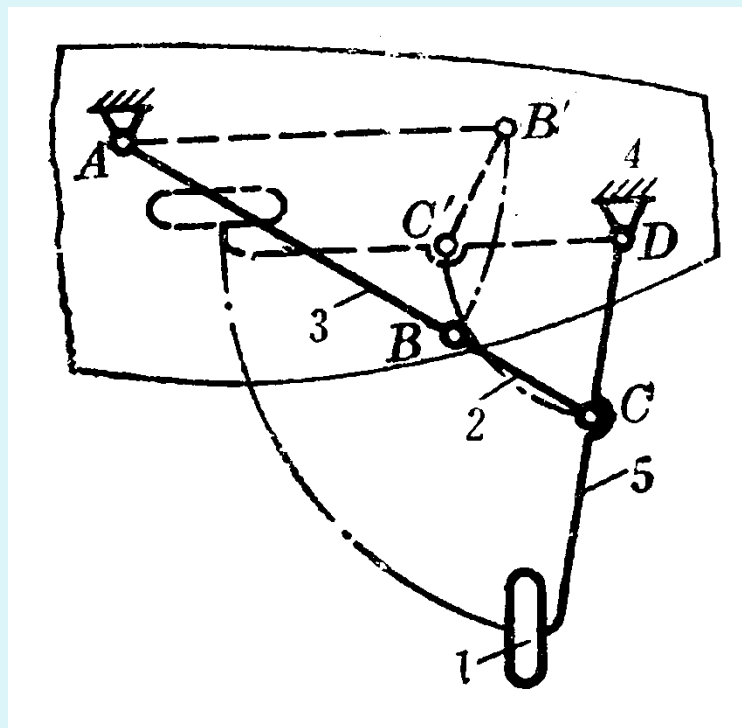
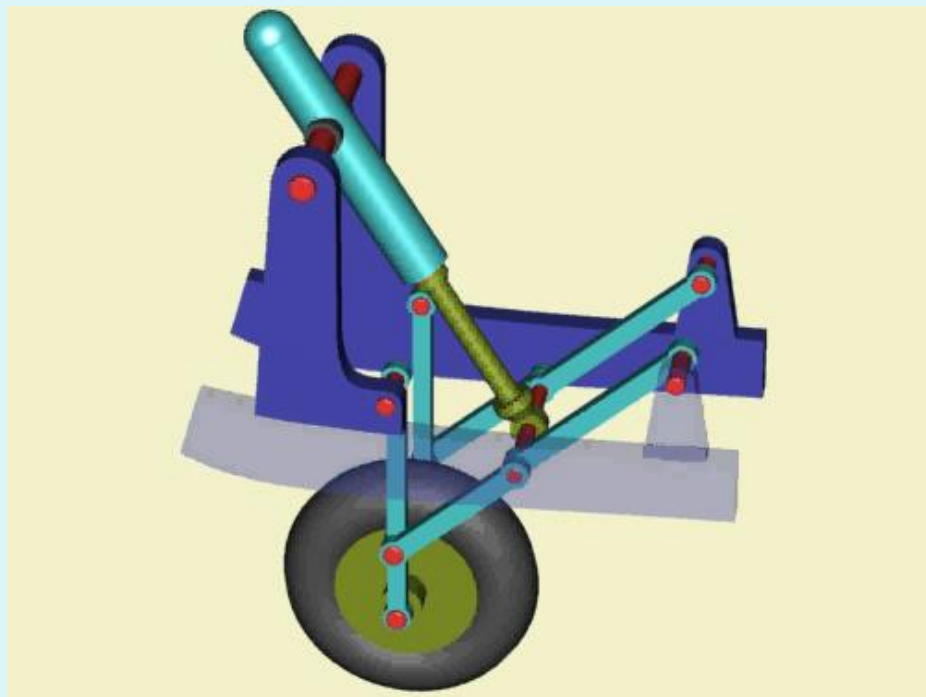


机车车轮联动机构



利用死点位置

- 利用死点位置实现特定工作要求
- 飞机起落架——落地后不会使起落架反转，保证飞机安全可靠降落。



飞机起落架

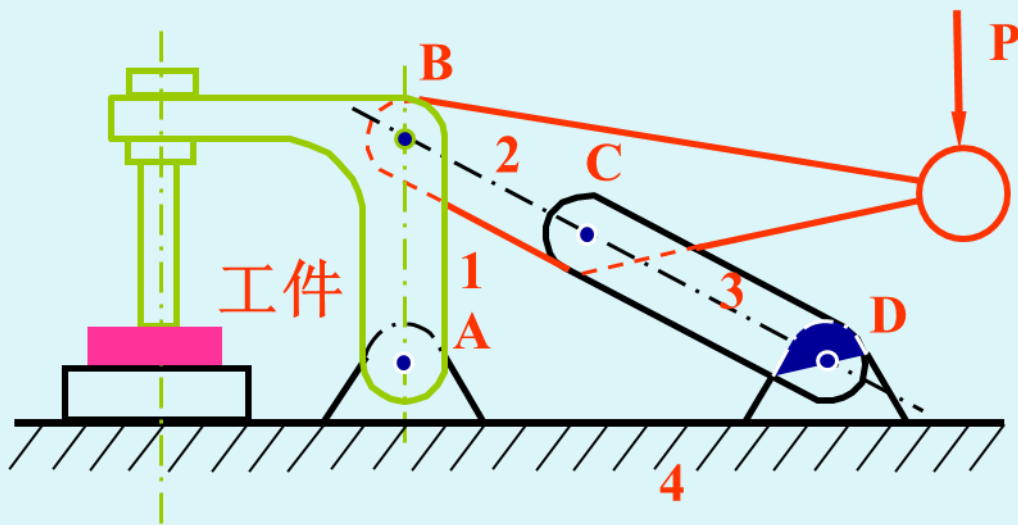
2011年11月1日，一架波兰航空公司的波音767飞机，在准备降落时发现飞机后起落架出现故障。



飞机用机身在铺满塑料泡沫的跑道上迫降，机身摩擦出少量火星，完美降落。

利用死点位置

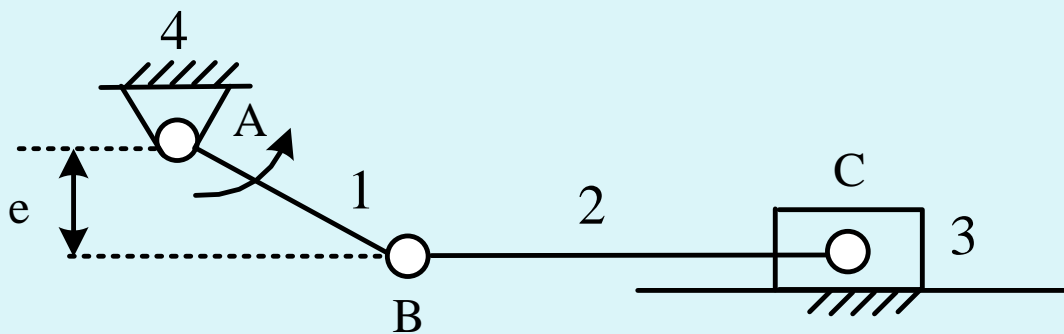
- 夹具的夹紧机构——机构不松脱



连杆式快速夹具

练习

- 图示偏置曲柄滑块机构中，已知曲柄，偏心距，连杆，主动件曲柄逆时针匀速转动，角速度。试求：请标出该时刻机构的传动角并求出其大小；



小 结

- 铰链四杆机构有曲柄存在的条件
 - (1) 当 $L_{\max} + L_{\min} \leq L$ (其余两杆长度之和)
 - (2) 最短杆是连架杆或机架

- 急回特性和行程速比系数

$$K = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta} \quad \theta = \frac{K - 1}{K + 1} \times 180^\circ$$

- 连杆机构压力角和传动角及死点
 - 曲柄与机架共线的两个位置之一, 传动角最小.

§ 2-3平面四杆机构的设计



了解

➤ 平面四杆机构设计任务

按给定运动等方面要求，在选定机构型式后进行机构运动简图的设计，也及确定构件的几何尺寸。

➤ 基本问题

- 1.实现预定运动规律（如公交车门、牛头刨床）
- 2.实现连杆给定位置（如炉门翻转机构）
- 3.实现预定运动轨迹（如鹤臂吊）

➤ 设计方法

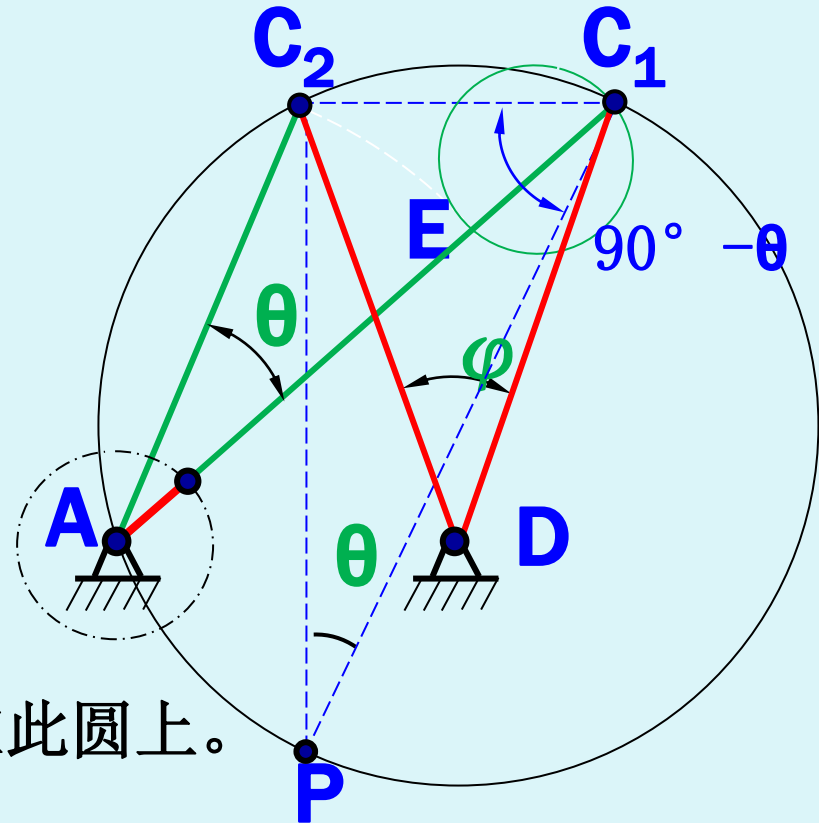
图解法、解析法、实验法

一、按给定的行程速比系数K设计四杆机构

1. 曲柄摇杆机构

已知：**CD**杆长，摆角 φ 及K，
设计此机构。步骤如下：

- ①计算 $\theta = 180^\circ (K-1)/(K+1)$;
- ②任取一点D，作等腰三角形腰长为CD，夹角为 φ ；
- ③作 $C_2P \perp C_1C_2$ ，作 C_1P 使 $\angle C_2C_1P = 90^\circ - \theta$ ，交于P；
- ④作 $\triangle PC_1C_2$ 的外接圆，则A点必在此圆上。



- ⑤选定A，设曲柄为 l_1 ，连杆为 l_2 ，则：

$$AC_1 = l_1 + l_2 \quad , \quad AC_2 = l_2 - l_1 \quad \Rightarrow \quad l_1 = (AC_1 - AC_2) / 2$$

- ⑥以A为圆心， AC_2 为半径作弧交于E，得：

$$l_1 = EC_1 / 2 \quad l_2 = AC_1 - EC_1 / 2$$

2.导杆机构

已知：机架长度 d ， K ，设计此机构。

分析：

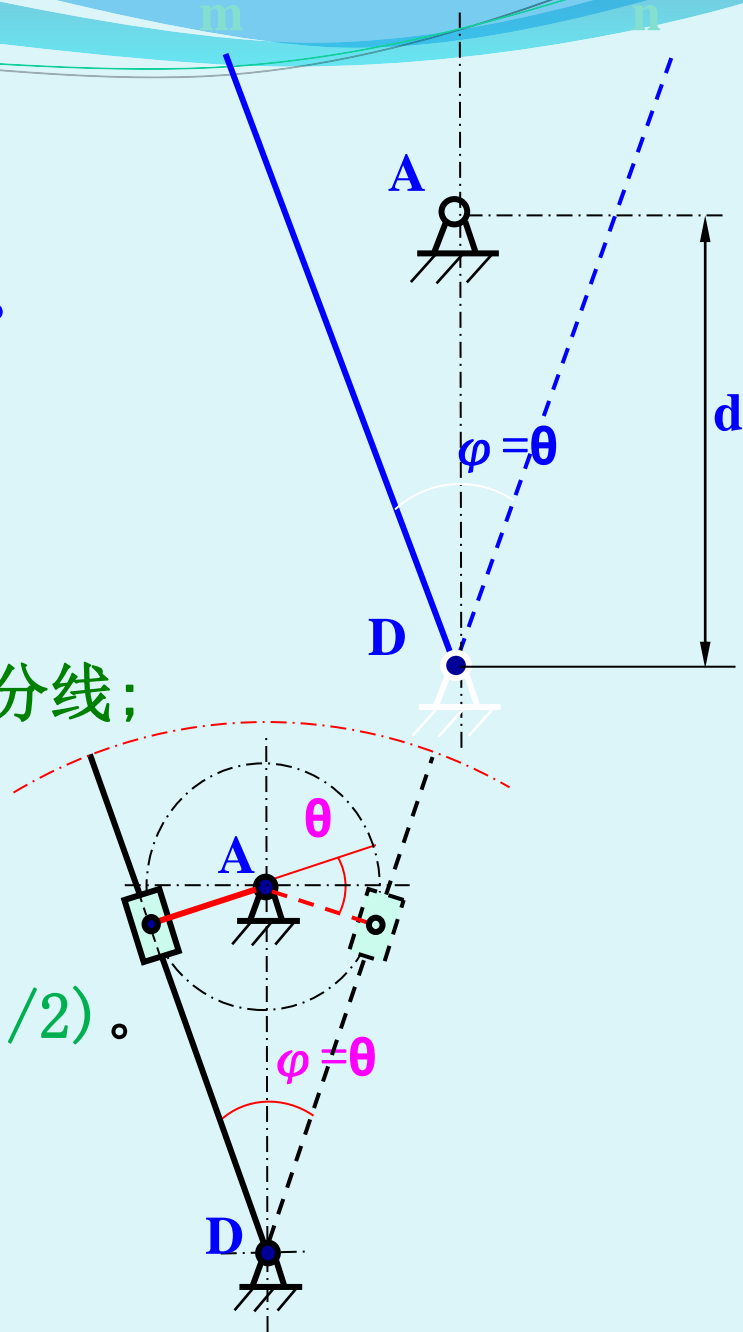
由于 θ 与导杆摆角 φ 相等，设计此机构时，仅需要确定曲柄 a 。

①计算 $\theta = 180^\circ (K-1)/(K+1)$ ；

作角分线；

②任选D作 $\angle mDn = \varphi = \theta$ ，

③取A点，使得 $AD=d$ ，则： $a = d \sin(\varphi/2)$ 。



二、按预定连杆位置设计四杆机构

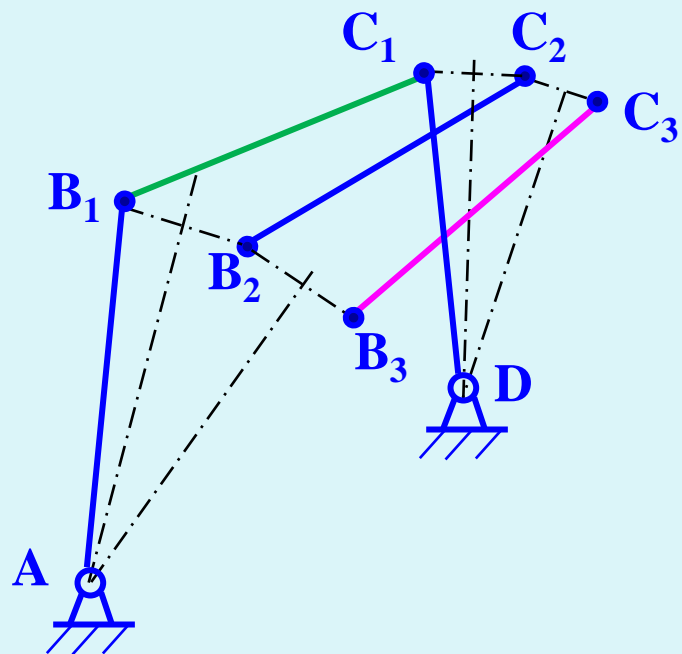
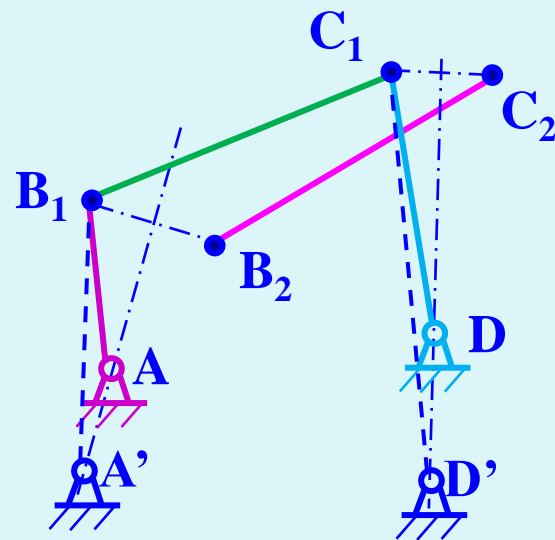
a) 给定连杆两组位置

将铰链A、D分别选在 B_1B_2 ， C_1C_2 连线的垂直平分线上任意位置都能满足设计要求。

有无穷多组解。

b) 给定连杆上铰链BC的三组位置

有唯一解。



图解法注意事项：

- (1) 线条清楚， 步骤不用写；（设计线条保留）
- (2) 给出作图比例尺 μ_L ；
- (3) 最后连出设计机构ABCD；

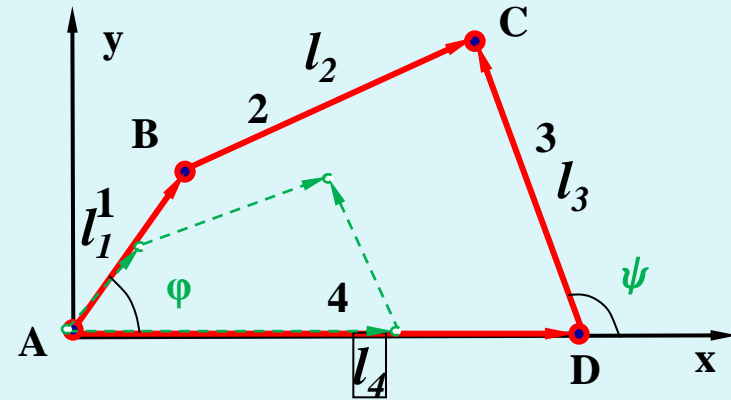
三、给定两连架杆对应位置设计四杆机构

给定连架杆对应位置：

构件3和构件1满足以下位置关系：

$$\psi_i = f(\varphi_i) \quad i = 1, 2, 3 \dots n$$

设计此四杆机构（求各构件长度）。



建立坐标系，设构件长度为： l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4

$$\vec{l_1} + \vec{l_2} = \vec{l_3} + \vec{l_4}$$

在x, y轴上投影可得：

$$l_1 \cos \varphi + l_2 \cos \delta = l_3 \cos \psi + l_4$$

$$l_1 \sin \varphi + l_2 \sin \delta = l_3 \sin \psi$$

机构尺寸比例放大时，不影响各构件相对转角。

令： $l_1 = 1$

带入移项得:

$$l_2 \cos \delta = l_4 + l_3 \cos \psi - \cos \varphi$$

$$l_2 \sin \delta = l_3 \sin \psi - \sin \varphi$$

消去 δ 整理得:

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

令: P_0 P_1 P_2

则化简为: $\cos \varphi = \boxed{P_0} \cos \psi + \boxed{P_1} \cos(\psi - \varphi) + \boxed{P_2}$

代入两连架杆的三组对应转角参数, 得方程组:

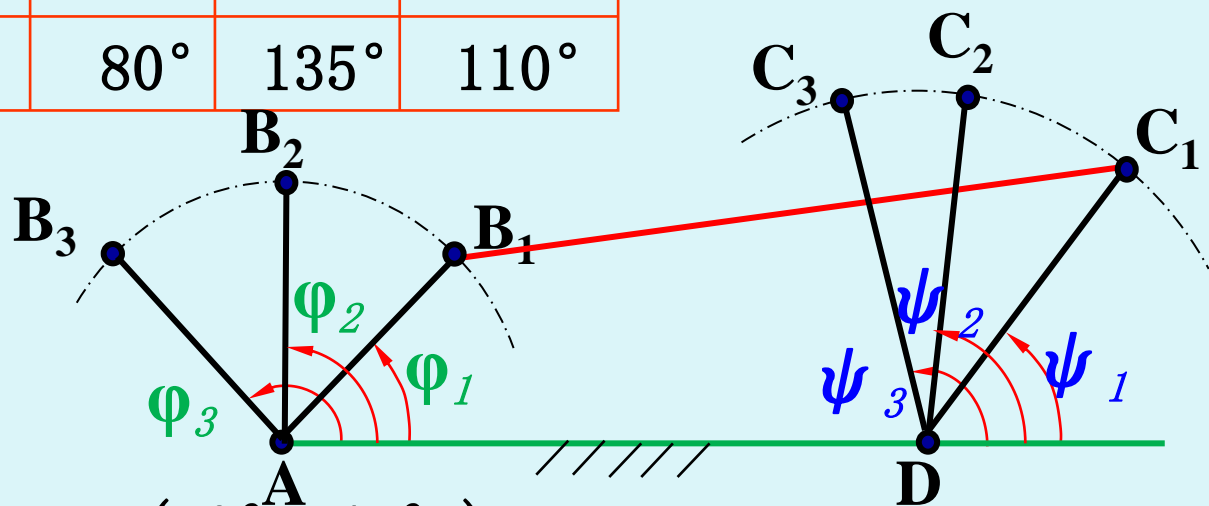
$$\left. \begin{aligned} \cos \varphi_1 &= P_0 \cos \psi_1 + P_1 \cos(\psi_1 - \varphi_1) + P_2 \\ \cos \varphi_2 &= P_0 \cos \psi_2 + P_1 \cos(\psi_2 - \varphi_2) + P_2 \\ \cos \varphi_3 &= P_0 \cos \psi_3 + P_1 \cos(\psi_3 - \varphi_3) + P_2 \end{aligned} \right\}$$

可求系数: P_0 、 P_1 、 P_2 以及: l_2 、 l_3 、 l_4

将相对杆长乘以任意比例系数, 所得机构都能满足转角要求。若给定两组对应位置, 则有无穷多组解。

举例：设计一四杆机构满足连架杆三组对应位置：

φ_1	ψ_1	φ_2	ψ_2	φ_3	ψ_3
45°	50°	90°	80°	135°	110°



带入方程得：

$$\cos 45^\circ = P_0 \cos 50^\circ + P_1 \cos (50^\circ - 45^\circ) + P_2$$

$$\cos 90^\circ = P_0 \cos 80^\circ + P_1 \cos (80^\circ - 90^\circ) + P_2$$

$$\cos 135^\circ = P_0 \cos 110^\circ + P_1 \cos (110^\circ - 135^\circ) + P_2$$

解得相对长度： $P_0 = 1.533$, $P_1 = -1.0628$, $P_2 = 0.7805$

各杆相对长度为： $l_3 = P_0 = 1.553$, $l_4 = -l_3 / P_1 = 1.442$

$$l_2 = (l_4^2 + l_3^2 + 1 - 2l_3 P_2)^{1/2} = 1.783 \quad l_1 = 1$$

选定构件 l_1 的长度之后，可求得其余杆的绝对长度。

本章小结

- 连杆机构的类型及应用
 - 铰链四杆机构；
 - 含有一个移动副机构；
 - 含有两个移动副机构；
- 平面连杆机构的演化方法
- ★ 机构中曲柄存在的条件
 - 杆长条件； 机架条件
- ★ 机构的急回特性和行程速比系数
- ★ 连杆机构中压力角和传动及死点
- 平面连杆机构的设计

一、填空选择

1. 摆动导杆机构，导杆摆角 30° ，其行程速比变化系数 K (**1.4**)
2. 铰链四杆机构中能实现急回运动的机构有
(**曲柄摇杆机构、摆动导杆机构、偏置曲柄滑块机构**)
3. 平行四边形机构的行程速比系数 (**$K=1$**)。
4. 在铰链四杆机构中，取 () 杆作为机架，则可得到双摇杆机构
A. 最短杆； B. 最短杆的对边； C. 最长杆； D. 连杆
5. 平面连杆机构中，当传动角较大时，则机构的()。
(A)传动性能较好； (B)传动性能较差； (C)自锁性能好； (D)效率较低。
6. 一个低副引入的约束数为()。
(A)1个约束； (B)2个约束； (C)3个约束； (D)4个约束。

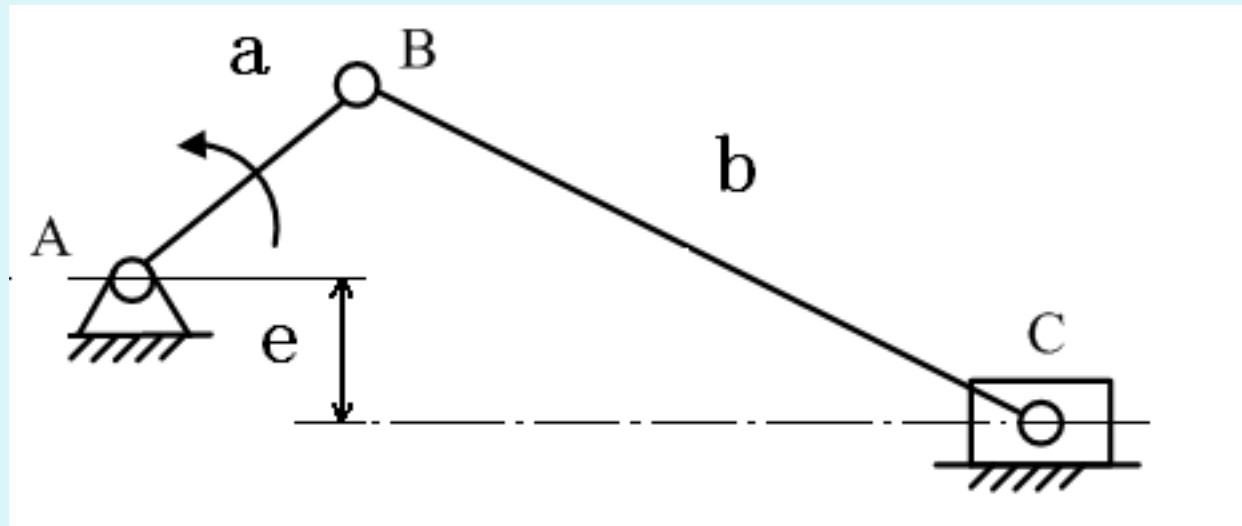
二、判断

1. 曲柄滑块机构中只要原动件是滑块就必然有死点存在。 (**√**)
2. 在转动导杆机构中，不论取曲柄或导杆为原动件，机构均无死点位置 (**×**)
3. 机构出现不能运动的死点位置是因为驱动力太小。 (**×**)
4. 摆动导杆机构中的导杆一定具有急回特性 (曲柄为原动件)。 **√**
5. 在铰链四杆机构中，如果以最短构件为机架，则一定存在一个曲柄； (**×**)

1. 曲柄滑块机构如图所示, $b=60\text{mm}$, $e=10\text{mm}$, AB为曲柄且逆时针匀速转动。

求 (1) a 的取值范围

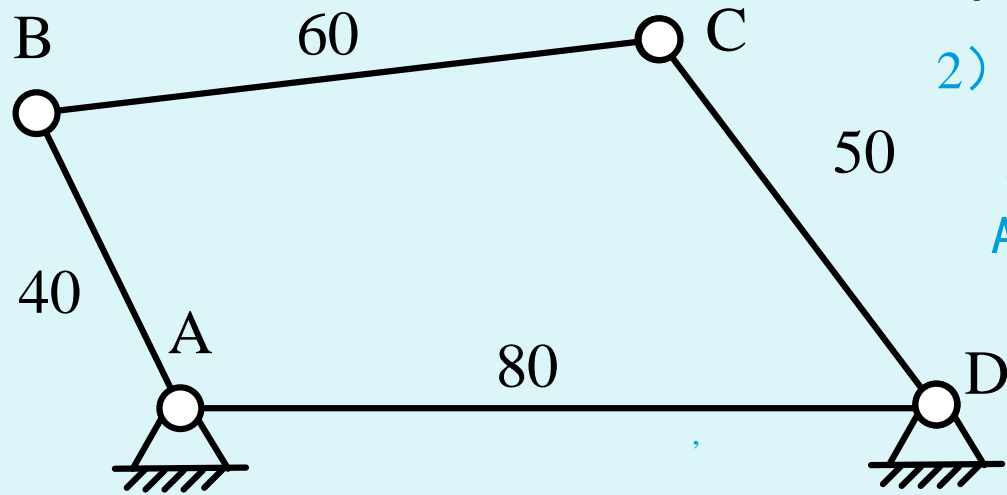
(2) 若 $a=30\text{mm}$, 且为原动件, 则滑块的 $K=?$



2. 图示铰链四杆机构中，所标数字代表杆长，单位为cm。

试求：（2011）

- 1) 通过计算判断该机构属于铰链四杆机构中的何种类型；
- 2) 欲使该机构为曲柄摇杆机构，现调整AB杆长，试确定出AB杆长的取值范围。



解：1) 因为

$40 + 80 > 50 + 60$ ，属于双摇杆机构

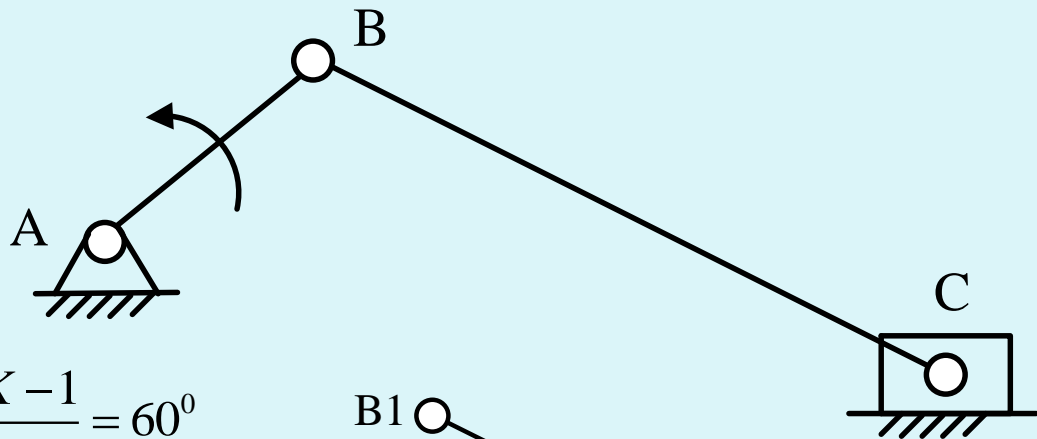
2) AB最短时， $x + 80 \leq 50 + 60$ $0 \leq x \leq 30$

AB居中时， $50 + 80 \leq x + 60$ $70 \leq x \leq 80$

AB最长时， $x + 50 \leq 80 + 60$ $80 \leq x \leq 90$

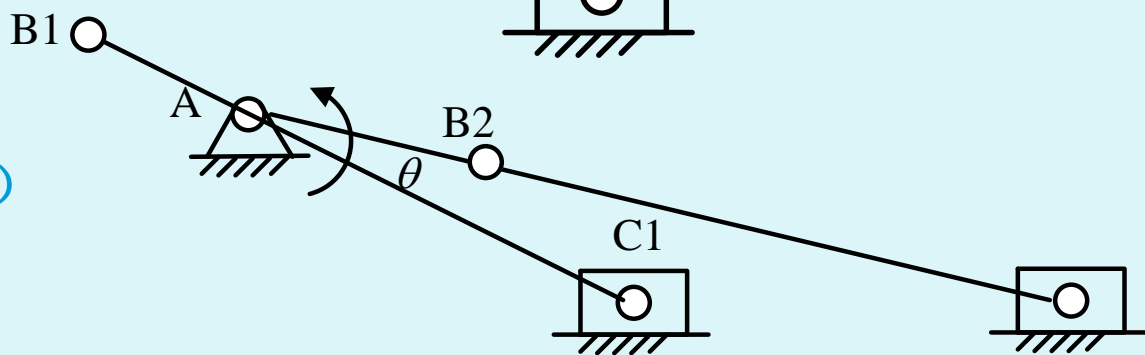
所以 $0 \leq x < 30$ $70 \leq x \leq 90$

3. 偏置曲柄滑块机构中，曲柄AB为原动件，其长为20 cm，且逆时针匀速转动。又知连杆长BC为60cm，滑块行程速比系数 $K=2$ 。试求：滑块行程？（2011）



解： $\theta = 180^\circ \frac{K-1}{K+1} = 60^\circ$

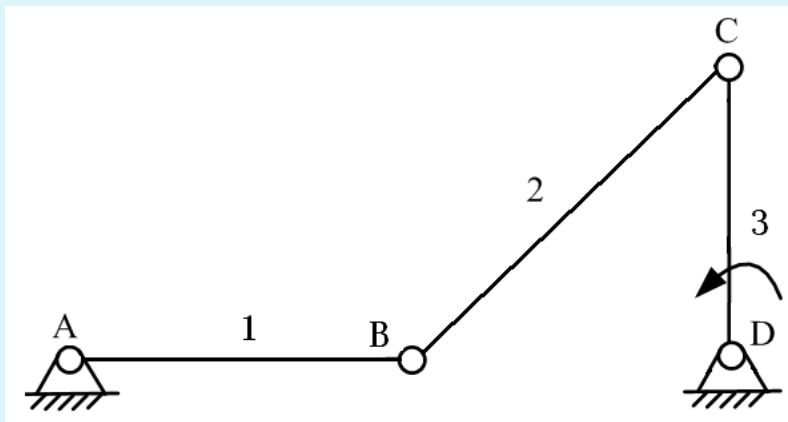
(2) 画出两极限位置 (4)



所以 $s = \sqrt{80^2 + 40^2 - 2 \times 80 \times 40 \cos 60^\circ} = 69.28$ (4)

4. 铰链四杆机构ABCD, $l_1=15, l_2=50\text{mm}, l_3=30\text{mm}$. 图示A、B、D三点共线, $CD \perp AD$. 试解答:

- (1) 判断该机构属于四铰销机构中的何种类型?
- (2) 若CD为原动件, 计算图示位置B点处压力角 $\alpha=?$ 在机构运动中 α 最大值是多少?
- (3) 保证机构类型不变, 将AB杆尺寸加大, 确定出尺寸加大范围。



1) $l_{AD} = 50 + 40 = 90, 30 + 90 > 50 + 50$, 双摇杆机构

2) $\alpha = \cos^{-1} \frac{3}{5} = 53.13^\circ$

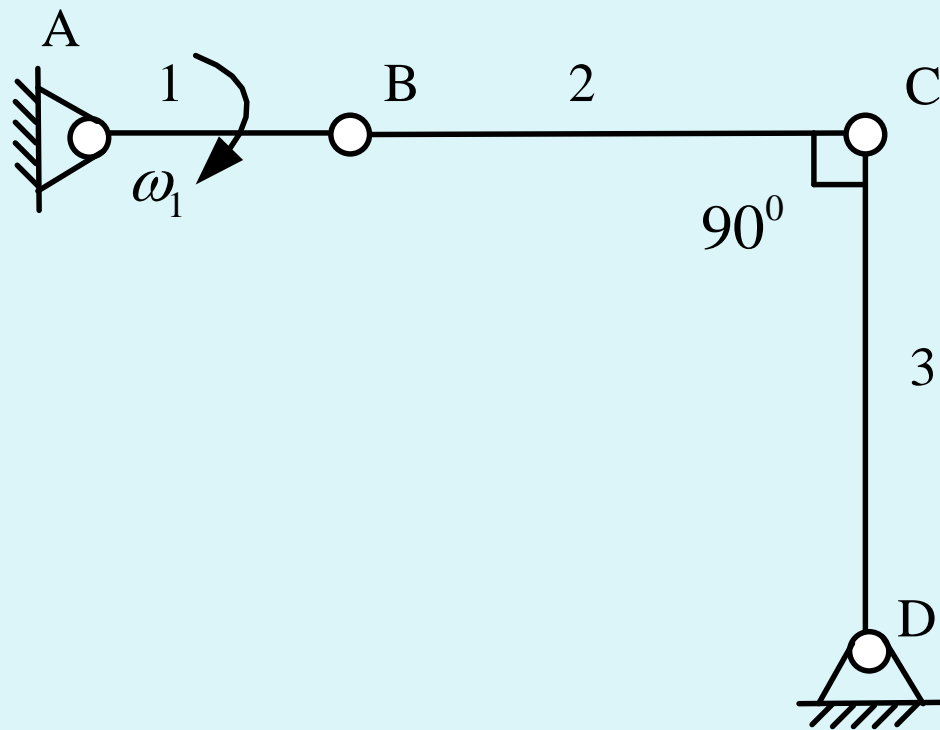
3) AB 居中 $3 + 90 > x + 50$ 得出 $x < 70$
 AB 最长 $30 + x > 90 + 50$ 得出 $x > 110$
 所以 $50 \leq x < 70, 110 \leq x < 170$

5、在图示机构中， $AB=100\text{ mm}$ ， $BC=CD=400\text{ mm}$ 。

试解答：(2012)

1) 判断该机构属于铰链四杆机构中的何种类型。

2) 若改换以CD杆为机架，该机构又属于何种类型？



7. 图示为偏心曲柄滑块机构的运动简图，已知： $AB=15\text{mm}$ ， $BC=48\text{mm}$ ， $e=20\text{mm}$ 曲柄为原动件，。

- (1) 在机构运动简图上标出该位置时滑块的压力角；
- (2) 在机构运动简图上画出机构的两个极限位置；
- (3) 在机构运动简图上标出极位夹角 θ 和滑块的行程 H ；

