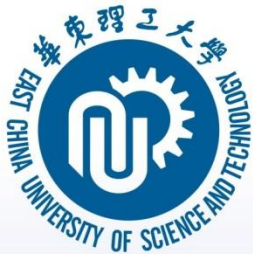


# 第3章 平面连杆机构

第1节 铰链四杆机构及其演化

第2节 平面四杆机构的运动特性

第3节 平面四杆机构的设计



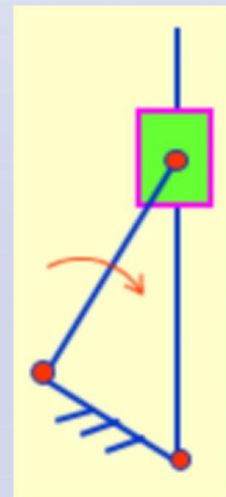
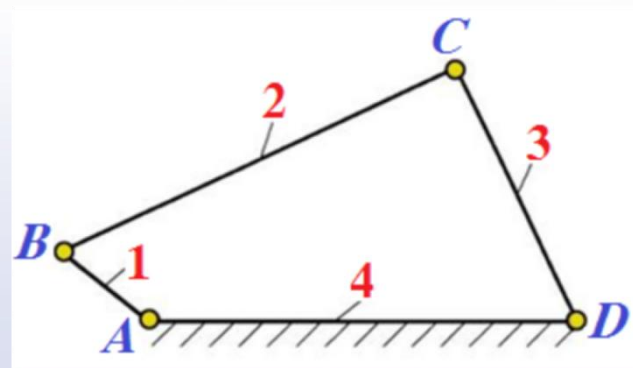
## § 概述

### 连杆？连杆机构？

特点：

- 1) 构件多呈杆状，简称为**杆**，构件间用低副（移动副、转动副）连接；
- 2) 原动件的运动经过不与机架直接相连的**中间构件**传递到从动件上。
- 3) **中间构件**称为**连杆**（连接原动件与从动件），故称之为**连杆机构**。

**连杆机构**：由若干构件通过**低副**连接而成，又称为**低副机构**。



机构，由多个构件组成，各构件间具有确定的**相对运动**。



## § 概述

### 连杆机构的类型

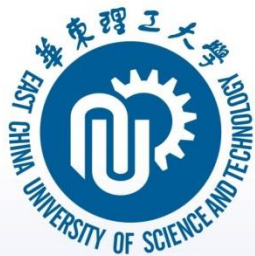
1. 根据各构件间的相对运动关系 { 平面连杆机构  
空间连杆机构

2. 根据杆数可分 { 四杆机构  
五杆机构  
六杆机构

二杆，三杆？？

平面四杆机构应用非常广泛，是多杆机构的基础。

平面四杆机构中，铰链四杆机构是基本形式，其他形式均可以由铰链四杆机构演化得到。

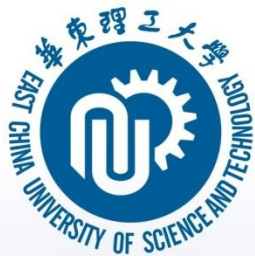


## § 概述

### 平面连杆机构的特点

#### 优点：

- 1) 能够实现运动形式的转化，从动件可以获得多种运动规律、运动轨迹；
- 2) 平面连杆机构为低副机构，运动副为面接触，压强小，磨损小，承载能力大，耐冲击，能够实现力的传递和大小的变换；
- 2) 运动副元素的几何形状多为平面或圆柱面，便于加工制造。

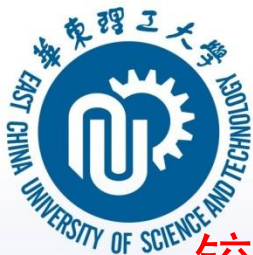


## § 概述

### 平面连杆机构的特点

#### 缺点：

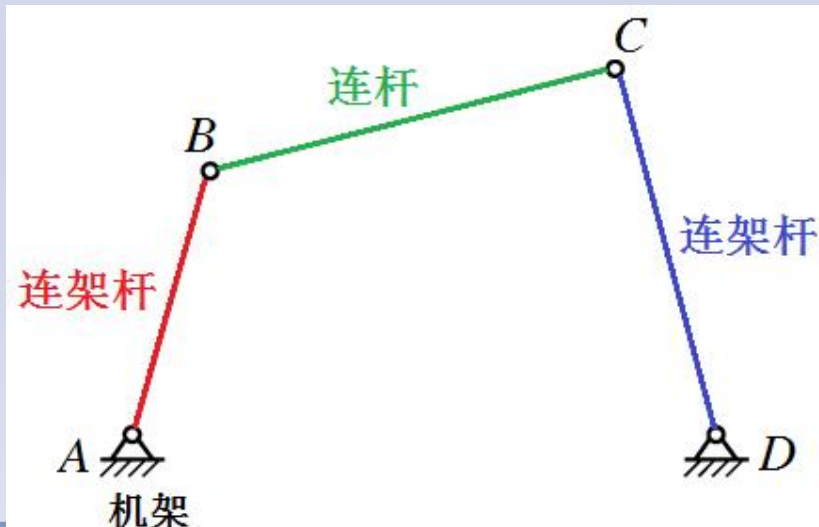
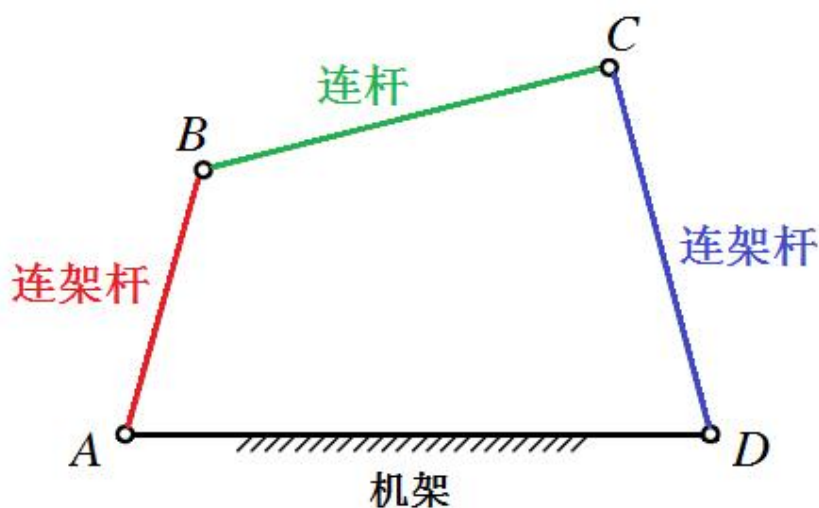
- 1) 运动副中存在间隙，当构件数目较多时，从动件的运动积累误差较大，影响传动精度；
- 2) 力的传递经过多个摩擦副，系统传递效率较低；
- 3) 高速运转时动载荷较大；
- 4) 不容易精确地实现复杂的运动规律，设计方法比较复杂。

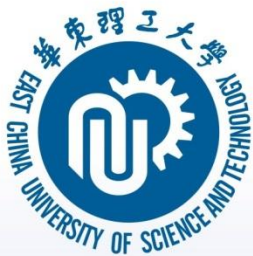


# 第1节 铰链四杆机构及其演化

**铰链四杆机构**：全部用**转动副**（铰链）相连的平面四杆机构，称为铰链四杆机构。铰链四杆机构是平面四杆机构的基本形式，其他四杆机构都可由它演变得到。

- (1) **机架**——固定构件；“也是一个构件”
- (2) **连架杆**——与机架用转动副相连接的构件；
- (3) **连杆**——不与机架直接相连的构件，作复杂的平面运动。





# 第1节 铰链四杆机构及其演化

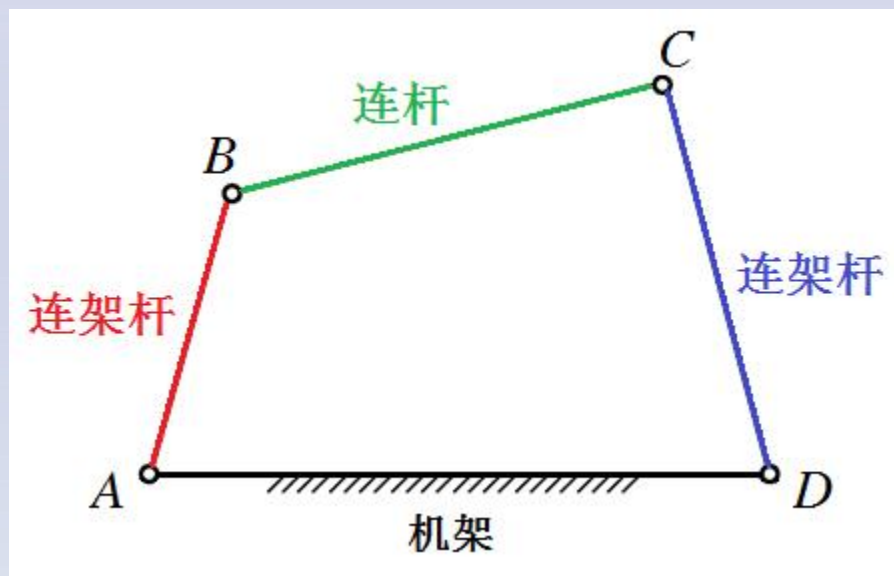
## (2) 连架杆——分曲柄、摇杆

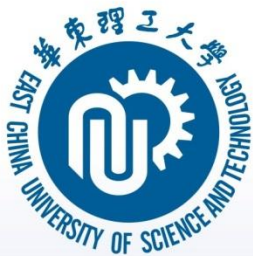
**曲柄**：连架杆能做作**整周转动**；

**摇杆**：连架杆仅能在某一角度（通常小于 $180^\circ$ ）内摆动。

按**两连架杆是否成为曲柄或摇杆**，铰链四杆机构可分为三种基本形式：

- 曲柄摇杆机构
- 双曲柄机构
- 双摇杆机构





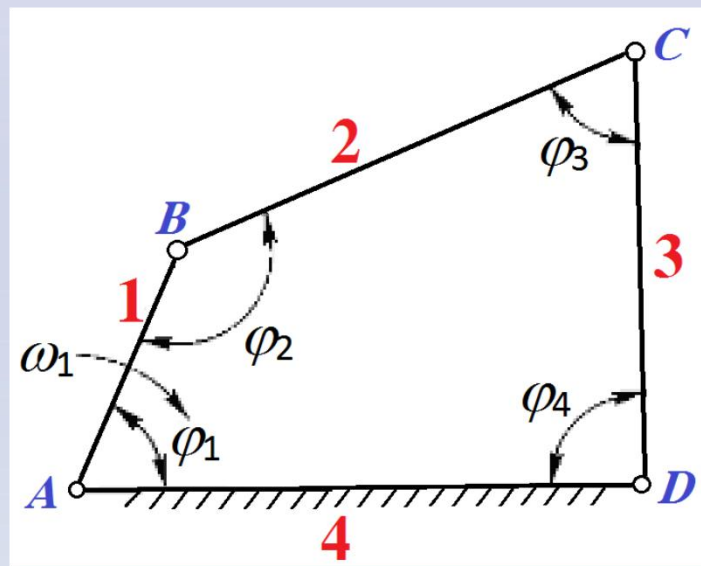
# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ➤ 曲柄摇杆机构——铰链四杆机构的最基本形式

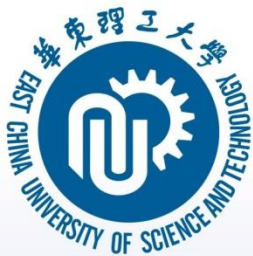
在铰链四杆机构的两连架杆中，一个为曲柄，另一个为摇杆，则此四杆机构称为曲柄摇杆机构。

曲柄摇杆机构：构件1是曲柄，构件3是摇杆。曲柄能作整周转动，所有角 $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$ 的变化范围都是 $0^\circ \sim 360^\circ$ ；摇杆不能作整周转动，角 $\varphi_3$ 、 $\varphi_4$ 的变化范围一定小于 $360^\circ$ ，实则小于 $180^\circ$ 。

曲柄与摇杆的长度关系？



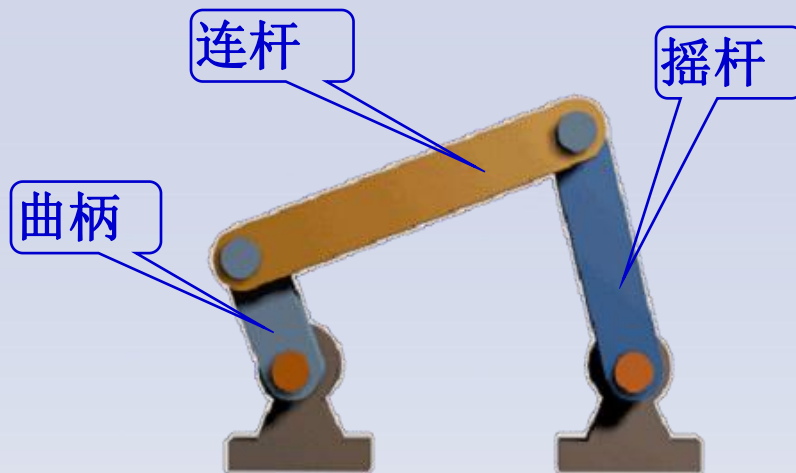
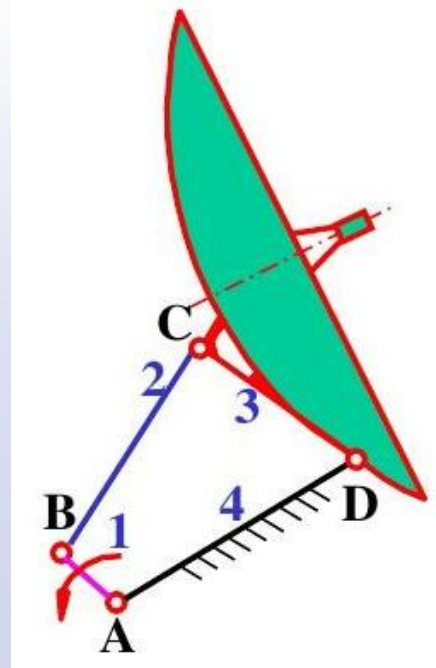
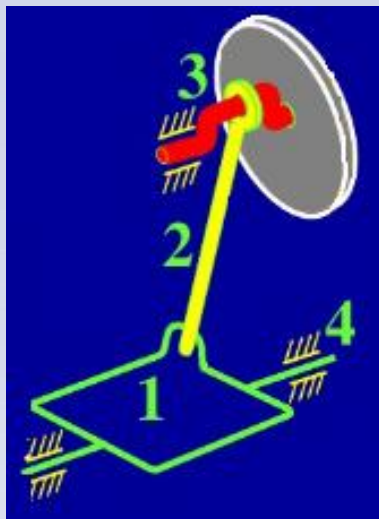




# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ➤ 曲柄摇杆机构——应用

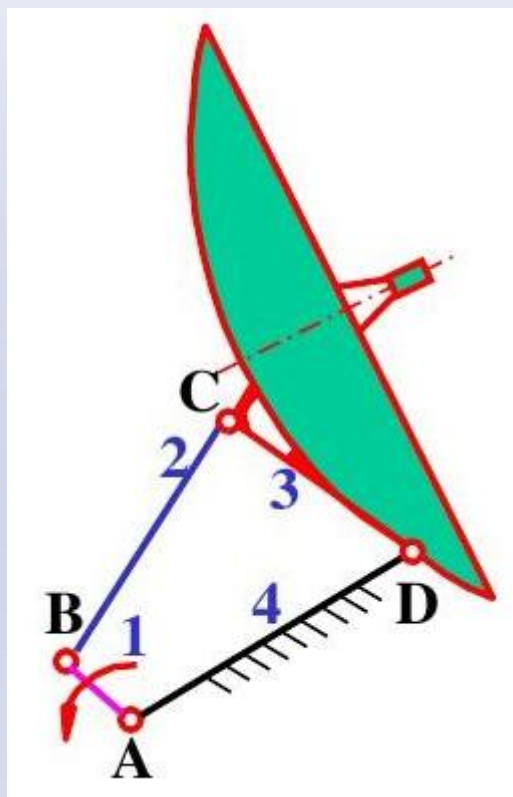
通常**曲柄**为**主动构件**且等速转动，摇杆为从动构件作变速往复摆动，如**雷达天线**俯仰调整机构，搅拌机机构；若**摇杆**作**主动构件**，摇杆的往复摆动转换成曲柄的转动，如缝纫机踏板机构。





# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ➤ 曲柄摇杆机构——应用



雷达天线调整机构

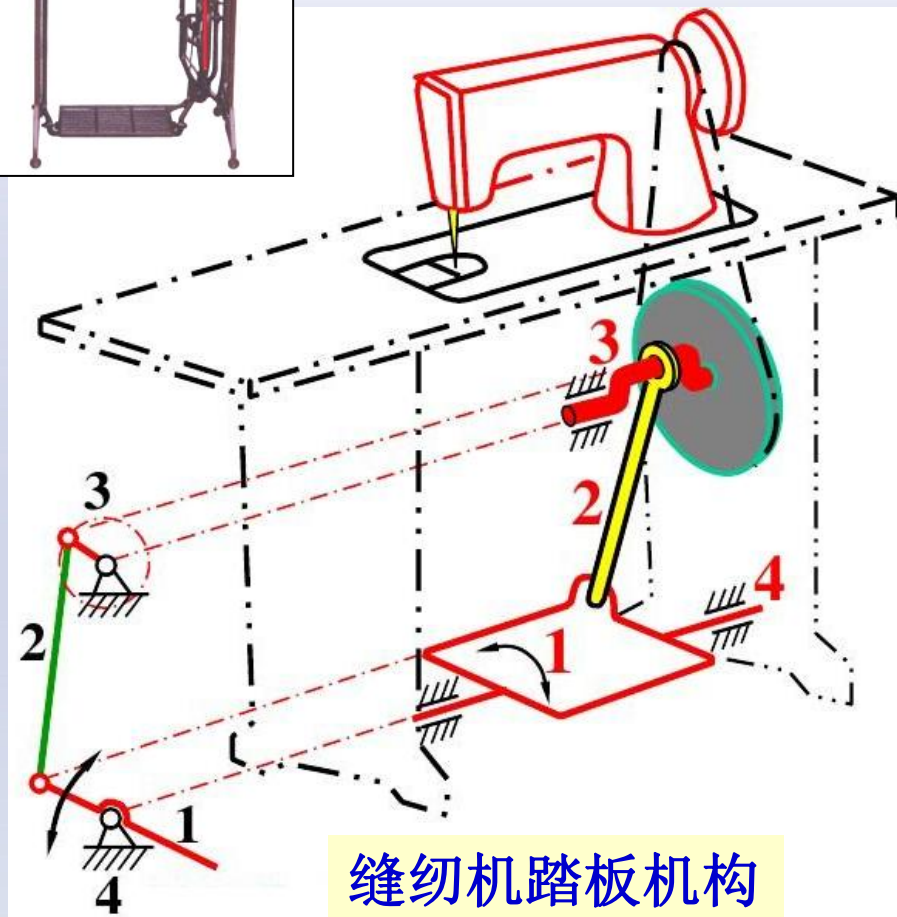
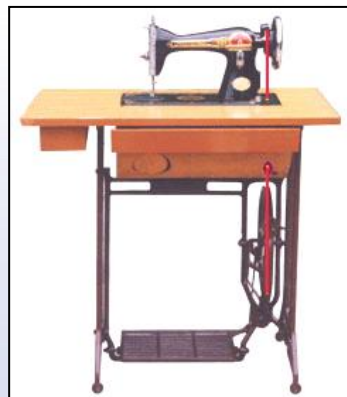
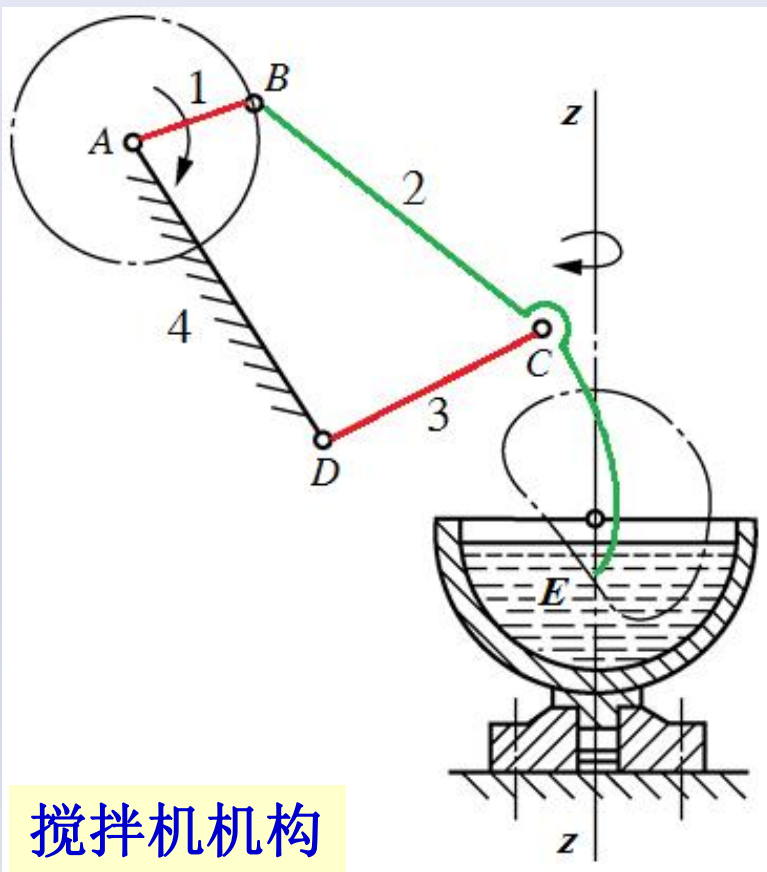
雷达用来辐射和接收电磁波并决定其探测方向的设备。雷达在发射时须把能量集中辐射到需要照射的方向；而在接收时又尽可能只接收探测方向的回波，同时分辨出目标的方位和仰角。通信设备





# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ➤ 曲柄摇杆机构——应用





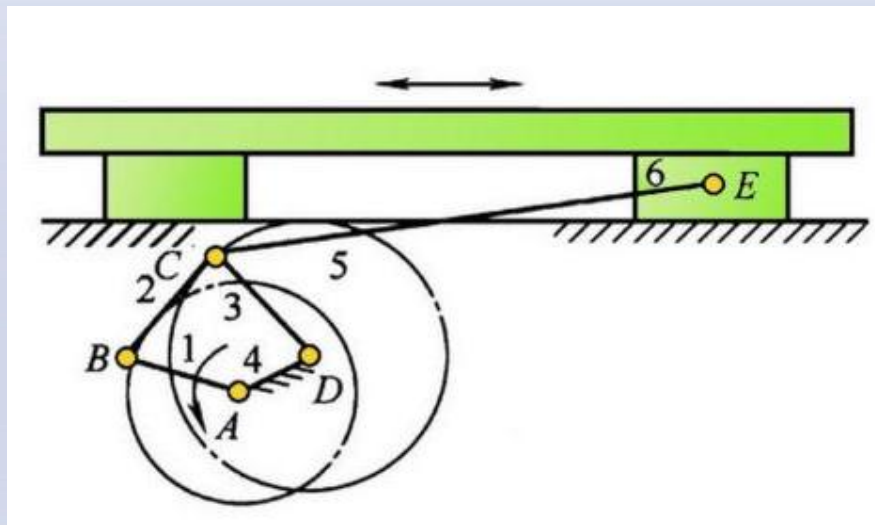
# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ➤ 双曲柄机构

两连架杆均为曲柄的铰链四杆机构称为双曲柄机构。

通常主动曲柄等速转动一周，通过连杆驱动从动曲柄作变速转动一周。

如图惯性筛机构，由构件1、2、3、4构成的铰链四杆机构为双曲柄机构。原动曲柄1匀速转动，从动曲柄3则作周期性变速回转运动，通过连杆5使筛子在往复运动中具有所需的加速度，达到筛分物料的目的。



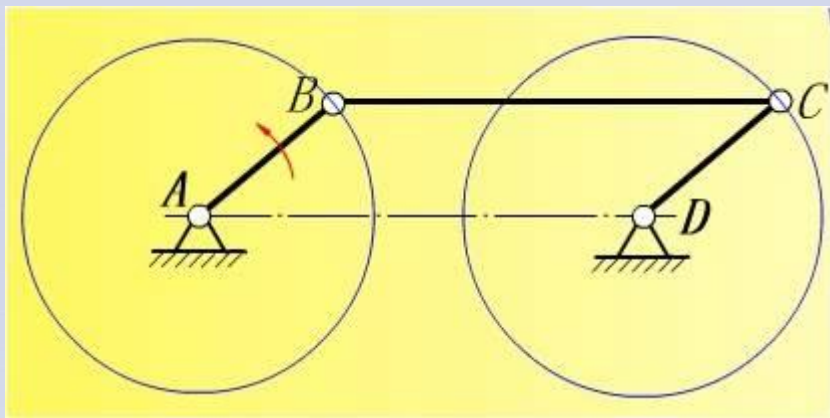




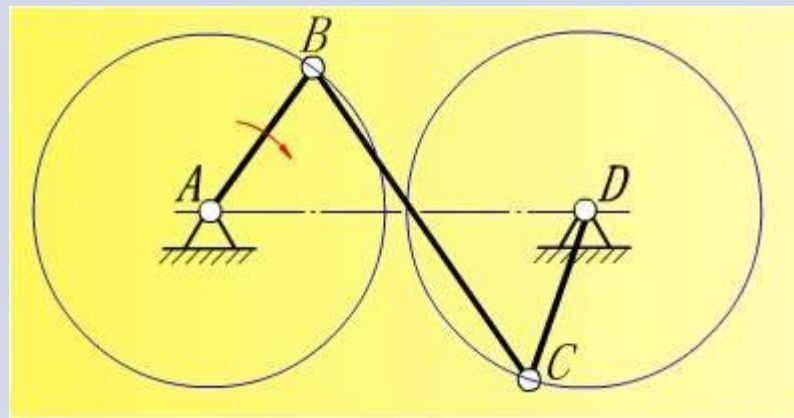
# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ➤ 双曲柄机构——特例

- 平行四边形机构：指相对两杆平行且相等的双曲柄机构。
- 逆（反）平行四边形机构：指两相对杆长相等但不平行的双曲柄机构。



平行四边形机构



反平行四边形机构



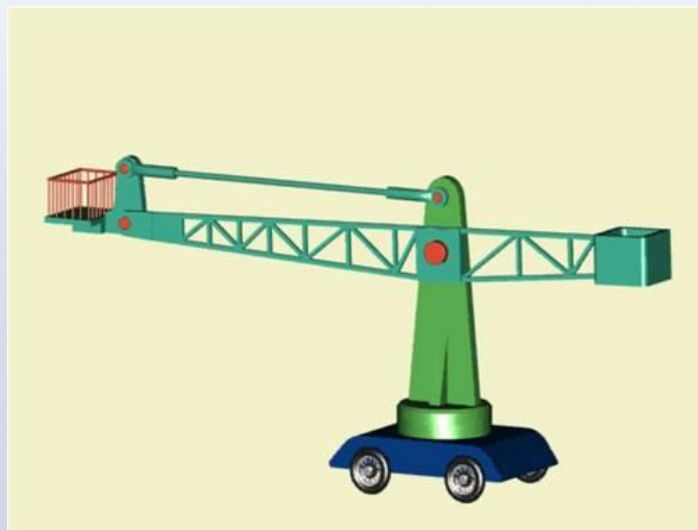
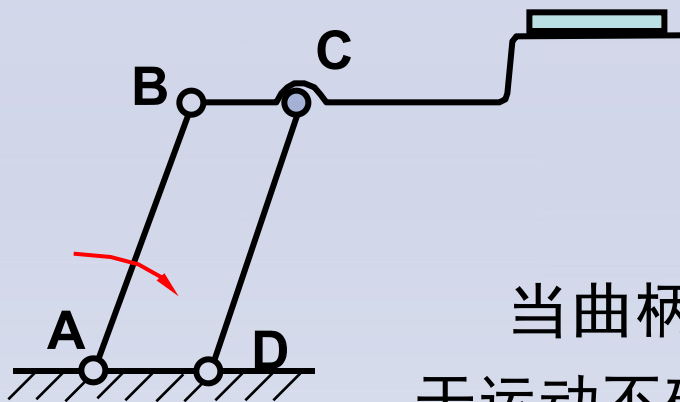
# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ➤ 双曲柄机构——特例

平行四边形机构运动特性：

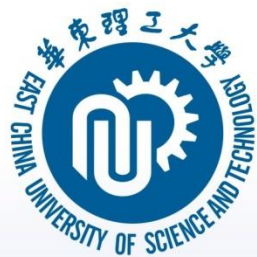
▲ 两曲柄同速同向转动

▲ 连杆作平动



摄像机升降平台

当曲柄转动到与机架共线的位置时，机构处于运动不确定状态。此时，可以增加构件，或利用惯性维持从动曲柄转向不变。



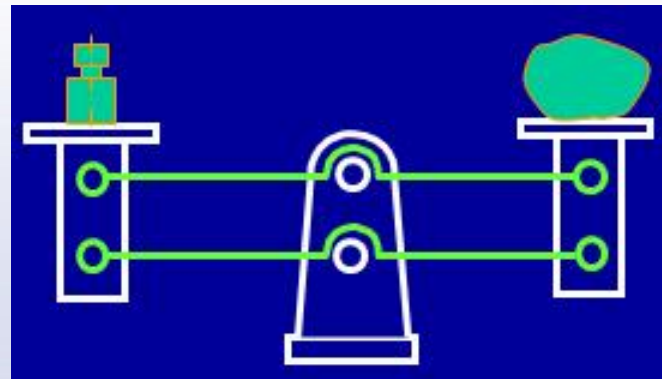
# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ➤ 双曲柄机构——特例

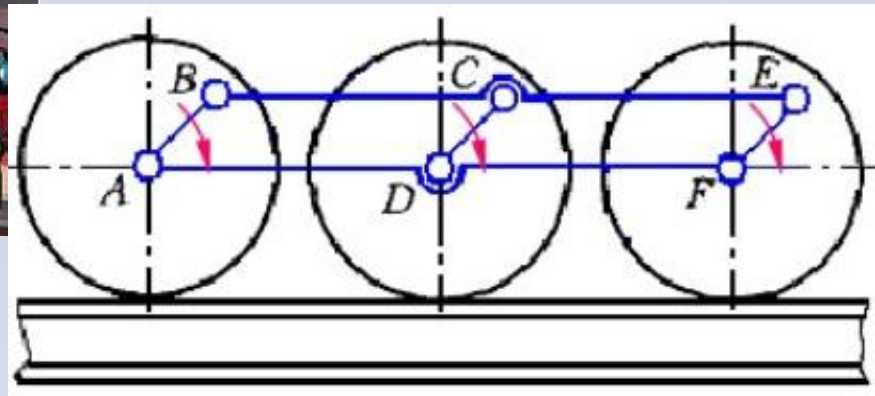
### 平行四边形机构实例

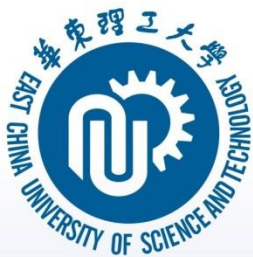


火车机车车轮联动装置



天平机构



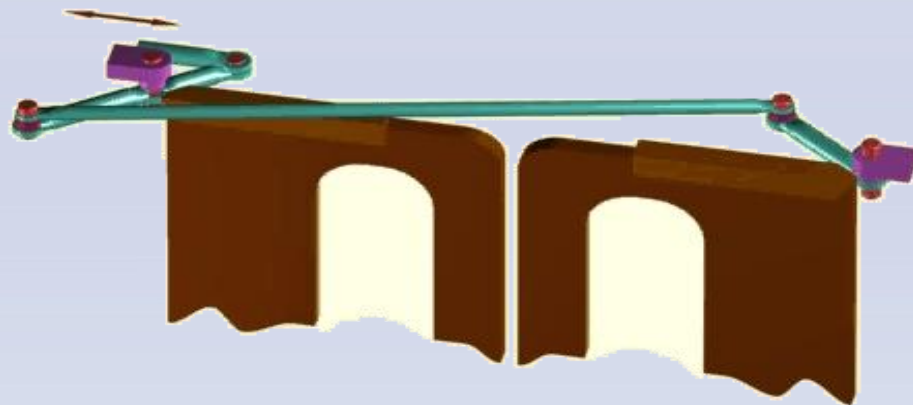
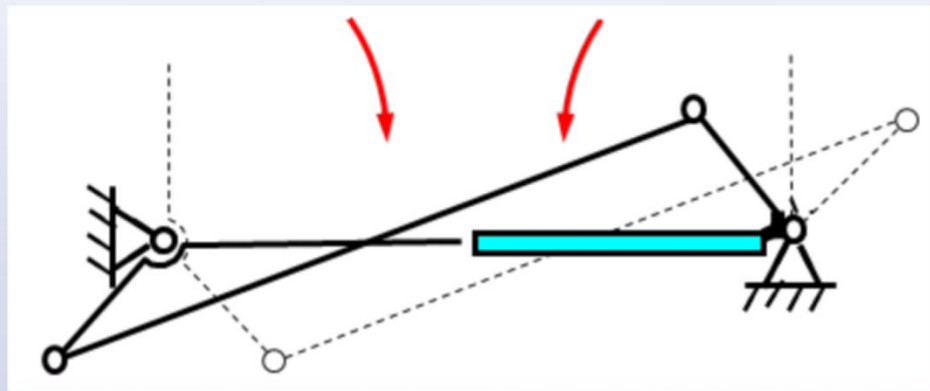


# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ➤ 双曲柄机构——特例

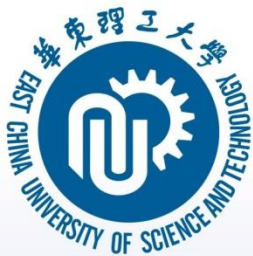
反平行四边形机构运动特性：

▲ 两曲柄**同速反向**转动，如巴士汽车的车门启闭机构，使两扇门反向开启和关闭。



巴士汽车的车门开闭机构



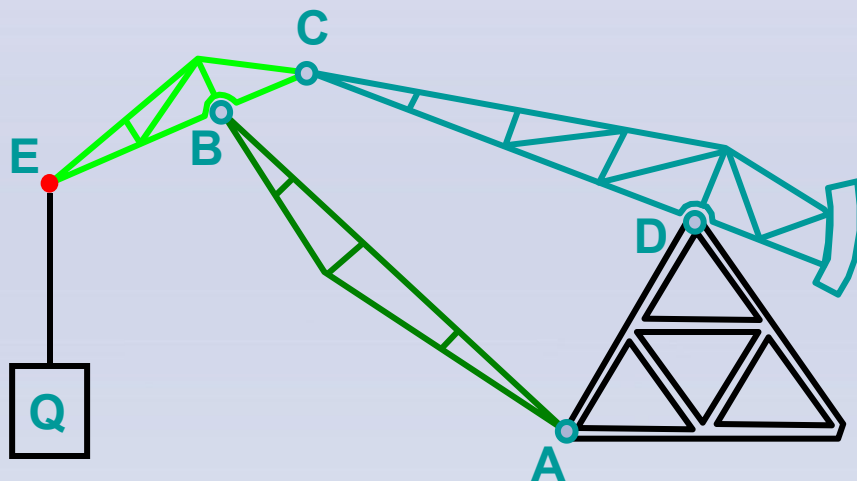
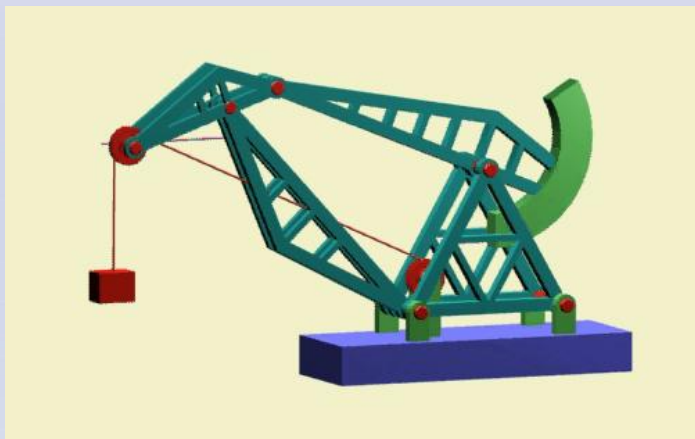
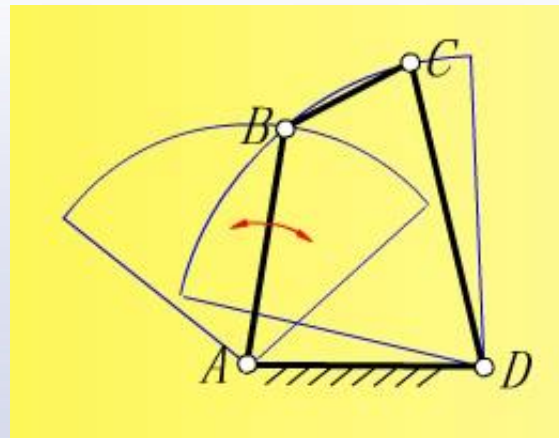


# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ➤ 双摇杆机构

两连架杆均为摇杆的铰链四杆机构称为双摇杆机构。

功能：将一种摆动转换为另一种摆动。



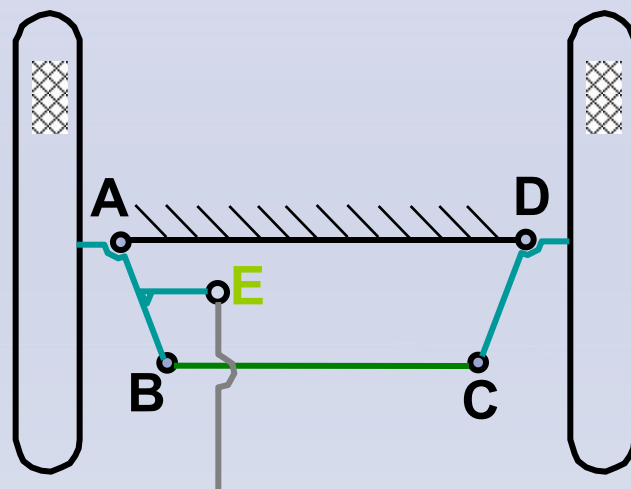
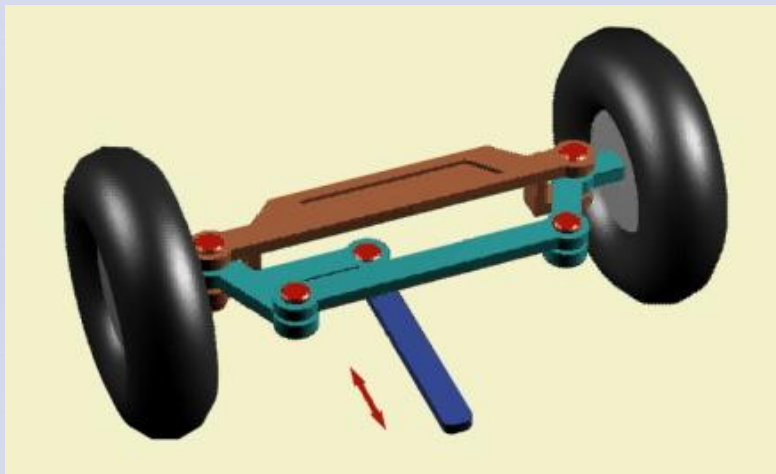
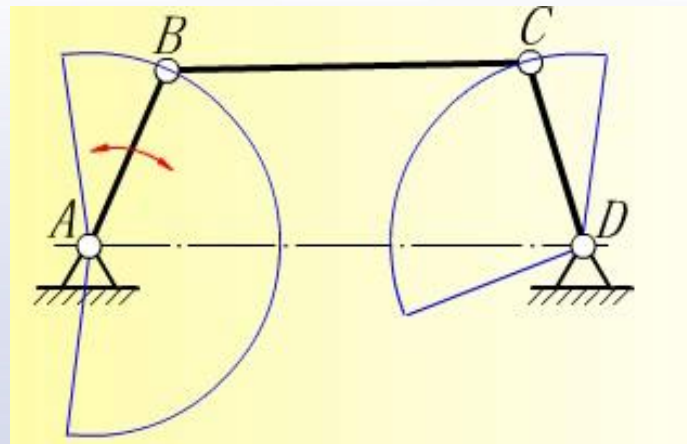
鹤式起重机



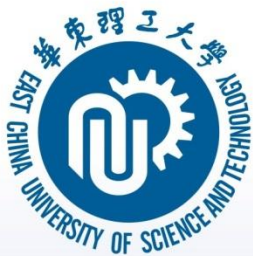
# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ➤ 双摇杆机构

两摇杆长度相等的双摇杆机构称为等腰梯形机构。



汽车前轮导向机构



# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## 二、铰链四杆机构类型的判别

三种基本类型，取决于有无曲柄，和有几个曲柄，这也是判别铰链四杆机构类型的依据。

### 1. 曲柄存在的条件

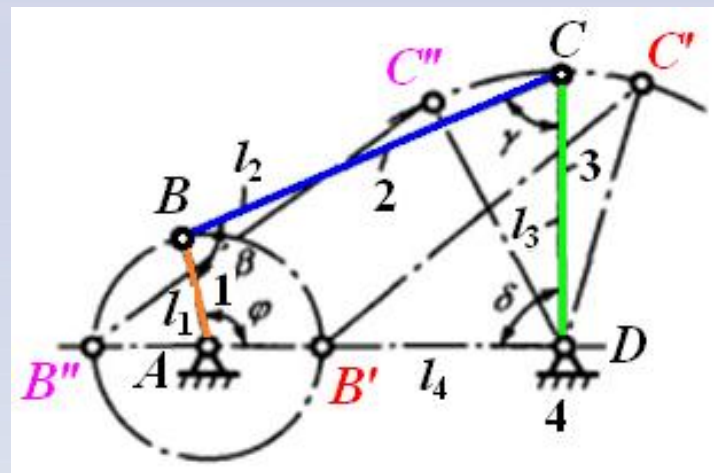
如图，杆4为机架，1、3连架杆，假设 $l_4 > l_1$ 。若连架杆1为曲柄，曲柄1必须能顺利通过与机架4共线的两个位置 $AB'$ 和 $AB''$ 。

当曲柄处于 $AB'$ 位置时，形成 $\triangle B'C'D$ ，得

$$l_2 \leq (l_4 - l_1) + l_3 \quad l_3 \leq (l_4 - l_1) + l_2$$

当曲柄处于 $AB''$ 位置时，形成 $\triangle B''C''D$ ，得

$$l_1 + l_4 \leq l_2 + l_3$$





# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## 1. 曲柄存在的条件

当曲柄处于 $AB'$ 位置时，形成 $\triangle B'C'D$ ，得

$$l_2 \leq (l_4 - l_1) + l_3 \quad l_3 \leq (l_4 - l_1) + l_2$$

当曲柄处于 $AB''$ 位置时，形成 $\triangle B''C''D$ ，得

$$l_1 + l_4 \leq l_2 + l_3$$

将上面三式整理，得  $l_1 + l_2 \leq l_3 + l_4$ ;  $l_1 + l_3 \leq l_2 + l_4$ ;  $l_1 + l_4 \leq l_2 + l_3$

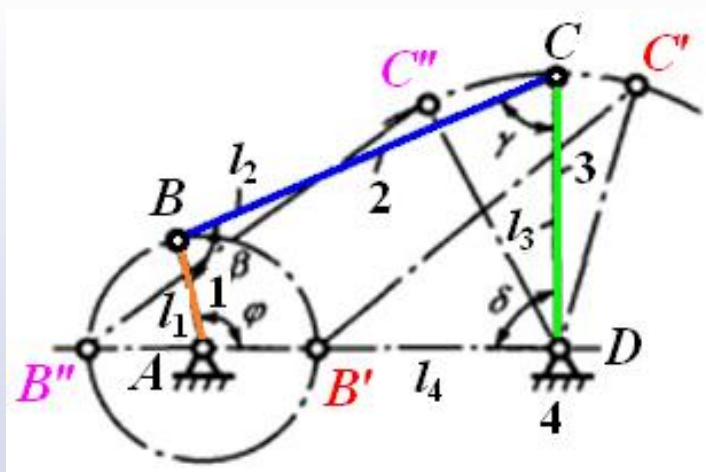
将上式两两相加，得  $l_1 \leq l_2$ ;  $l_1 \leq l_3$ ;  $l_1 \leq l_4$

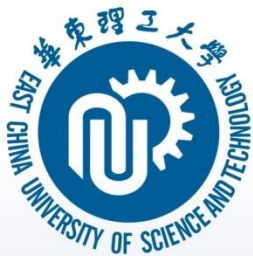
铰链四杆机构存在一个曲柄的条件：

(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。

“杆长条件”，存在整转副条件

(2) 曲柄是最短杆。





# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## 1. 曲柄存在的条件

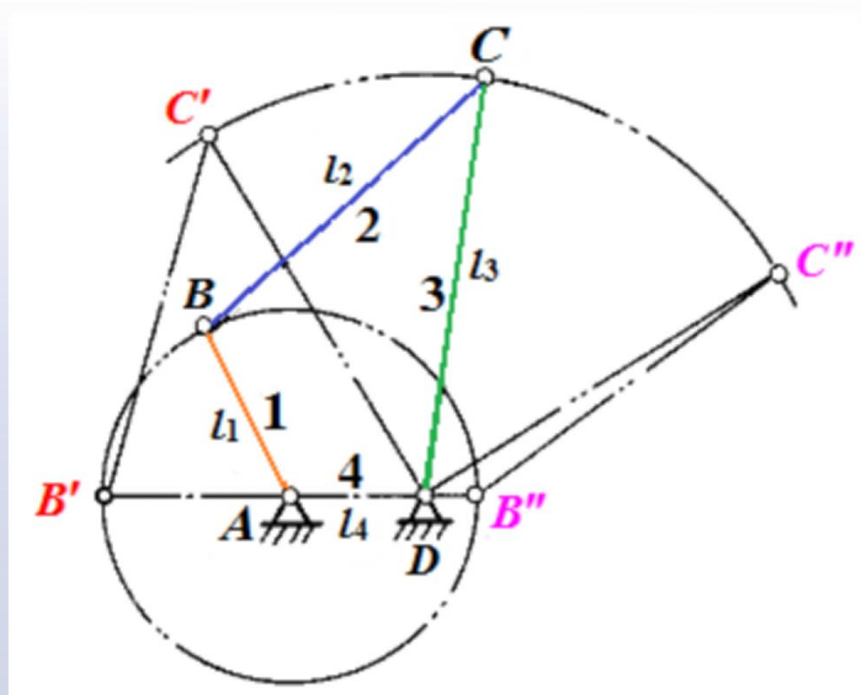
假设  $l_4 \leq l_1$ ，同样得到

$$l_4 + l_1 \leq l_2 + l_3$$

$$l_4 + l_2 \leq l_1 + l_3$$

$$l_4 + l_3 \leq l_1 + l_2$$

$$l_4 \leq l_1; \quad l_4 \leq l_2; \quad l_4 \leq l_3$$

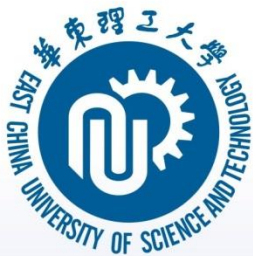


铰链四杆机构存在曲柄的条件：

(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。

“杆长条件”，即存在整转副条件

(2) 曲柄或机架为最短杆。



# 第1节 铰链四杆机构及其演化

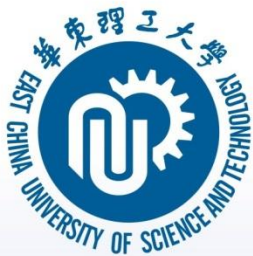
## 2. 铰链四杆机构类型的判别

(1) 若最短杆与最长杆长度之和**小于或等于**其余两杆长度之和，  
则 “杆长条件”，即存在整转副条件

- ◆ 最短杆为**连架杆**时，该机构为**曲柄摇杆机构**；
- ◆ 最短杆为**机架**时，该机构为**双曲柄机构**；
- ◆ 最短杆为**连杆**时，该机构是**双摇杆机构**。

(2) 若最短杆与最长杆长度之和**大于**其余两杆长度之和，**不可能有曲柄存在**，必为双摇杆机构。 不满足“杆长条件”

(3) 若构件的长度具有特殊的关系，如不相邻的杆长两两相等，不论以哪个构件为机架，都是双曲柄机构。

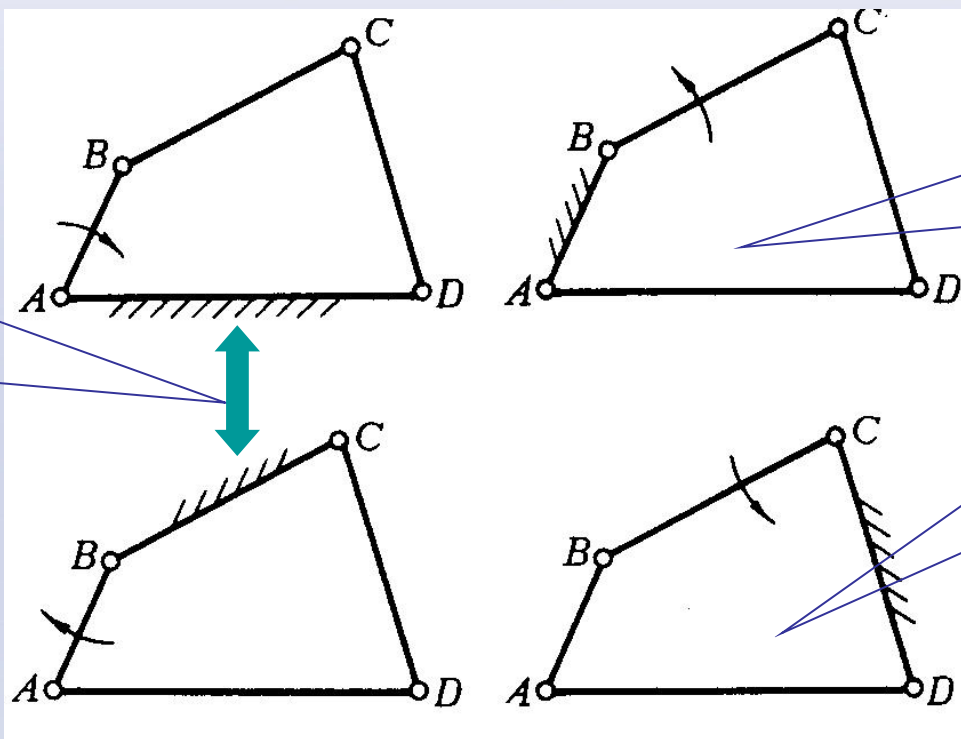


# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## 2. 铰链四杆机构类型的判别

机构尺寸**满足杆长条件**，AB为最短杆，当取不同构件为机架时各得什么机构？

取最短杆为连架杆，得**曲柄摇杆机构**

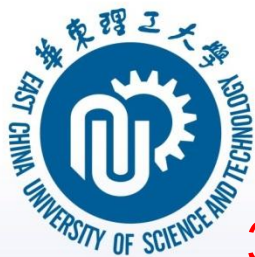


取最短杆为机架，得**双曲柄机构**

取最短杆为连杆，得**双摇杆机构**

如果四杆机构**不满足杆长条件**，则不论取哪个构件为机架，均为双摇杆机构。





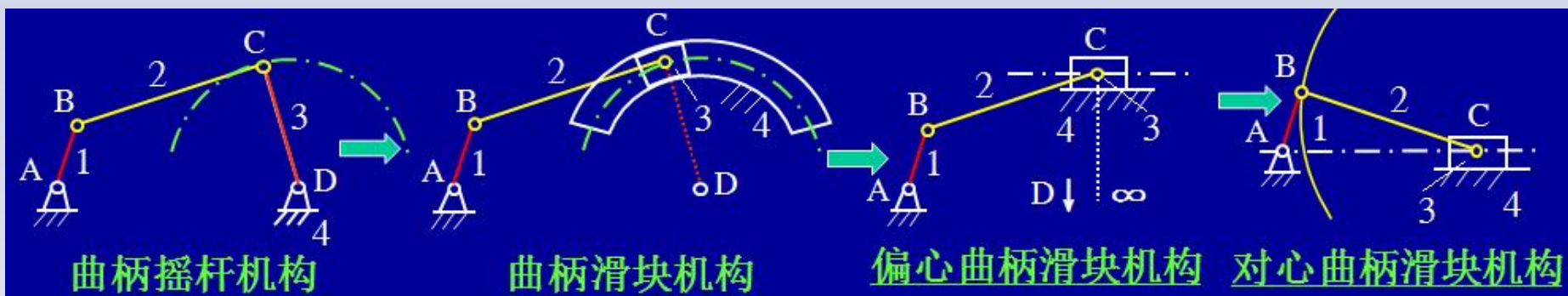
# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## 3. 铰链四杆机构的演化

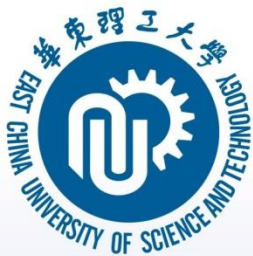
通过将回转副用移动副取代，改变固定构件，变更杆件长度以及扩大回转副等途径，可以将铰链四杆机构“演化”成其他形式。

### ◆ 回转副转化成移动副——曲柄滑块机构

摇杆3上C点运动轨迹是以D点为圆心，CD为半径的圆弧。将此圆弧半径增大到无穷大，即回转副中心D移到无穷远，则圆弧变成直线槽，回转副D转化为移动副，摇杆3演化成滑动，原曲柄摇杆机构演化成曲柄滑块机构，有偏置曲柄滑块机构和对心曲柄滑块机构。







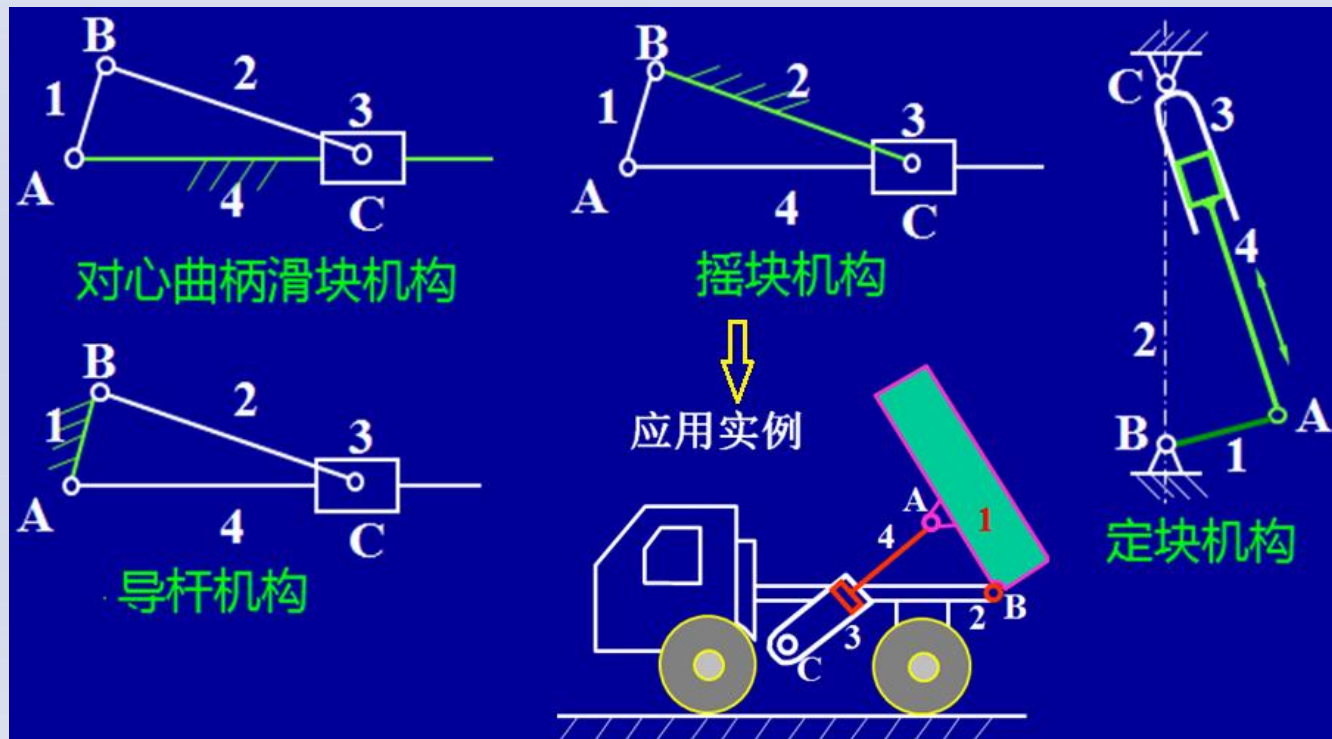
# 第1节 铰链四杆机构及其演化

通过选择不同构件作为机架以获得不同机构的方法称为“**机构的倒置**”。

## ◆ 改变固定构件——导杆机构

将原曲柄滑块机构的构件4为机架，改为构件2为机架，则为**摇块机构**；或改构件1为机架，则为**导杆机构**；改滑块为机架，则为定块机构。

改变固定构件，原机架4与滑块可作相对移动，**构件4称为导杆**。





# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ◆ 改变固定构件——导杆机构

导杆机构的特殊组成：滑块、导杆（与滑块作移动构件）

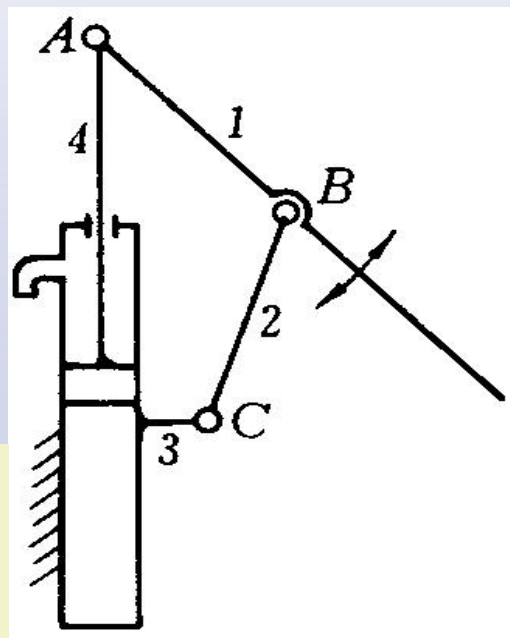
导杆机构的类型：

- 1) 曲柄转动导杆机构：一个曲柄，一个作整周转动的导杆
- 2) 曲柄摆动导杆机构：一个曲柄，一个摆动的导杆
- 3) 移动导杆机构：导杆移动，滑块作固定（机架）“定块”
- 4) 摆动导杆滑块机构：导杆摆动，滑动移动

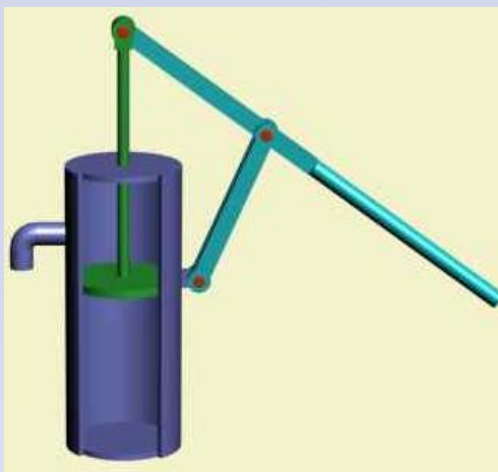


# 第1节 铰链四杆机构及其演化

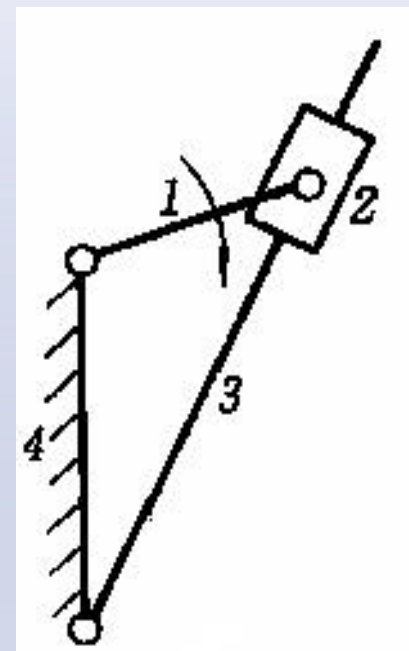
## 3) 移动导杆机构



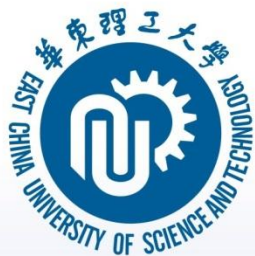
抽水唧筒



## 4) 摆动导杆滑块机构



构件2包容构件3



# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## 平面四杆机构

铰链四杆机构  
(全转动副)

曲柄摇杆机构

双曲柄机构

双摇杆机构

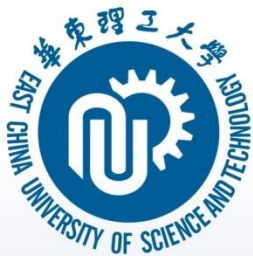
含有移动副的  
平面四杆机构

曲柄滑块机构

曲柄导杆机构 (导杆转动)

移动导杆机构

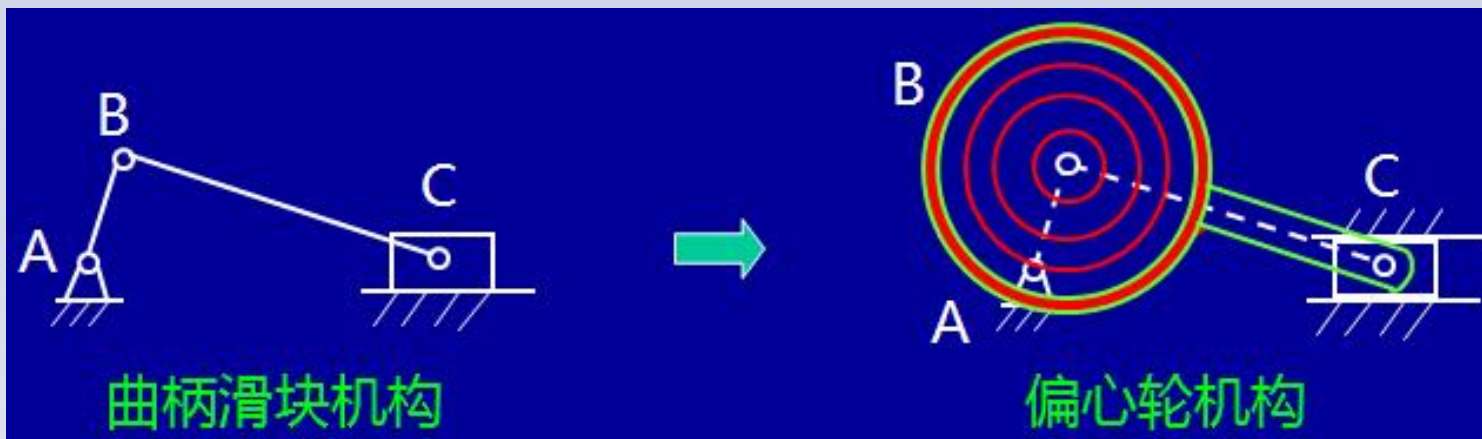
摆动导杆滑块机构

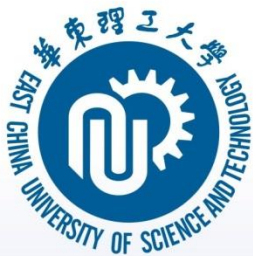


# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ◆ 扩大回转副——偏心轮

回转副B是曲柄上的**轴销**和连杆上的**销孔**所组成。为承载更大的力，将轴销直径加大，则连杆的轴孔也须相应加大。当曲柄的轴销直径加大到大于连杆的宽度时，则连杆的轴孔B就形成了环状。继续加大轴销直径，直到其半径大于曲柄AB的长度时，曲柄AB变成一个仍然绕A点转动而几何中心为B的圆盘，亦称**偏心轮**。因各杆长度未变，各构件间的相对运动关系均未改变。





# 第1节 铰链四杆机构及其演化

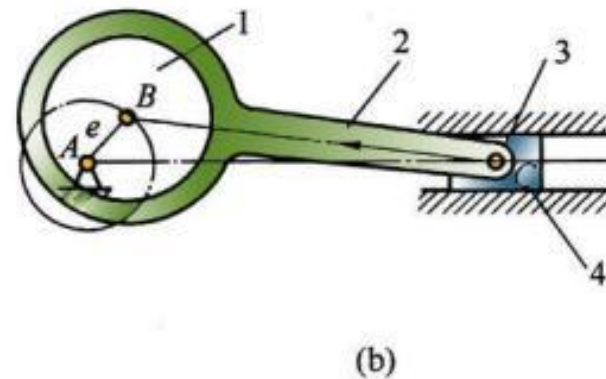
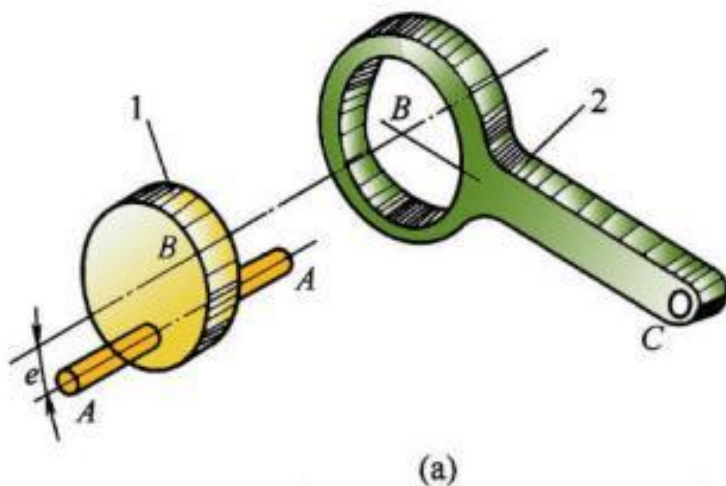
## ◆ 扩大回转副——偏心轮

1-偏心轮

2-连杆

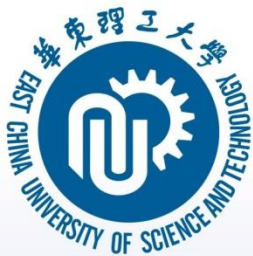
3-滑块

4-机架



偏心轮机构适用于曲柄短、受力大的场合。



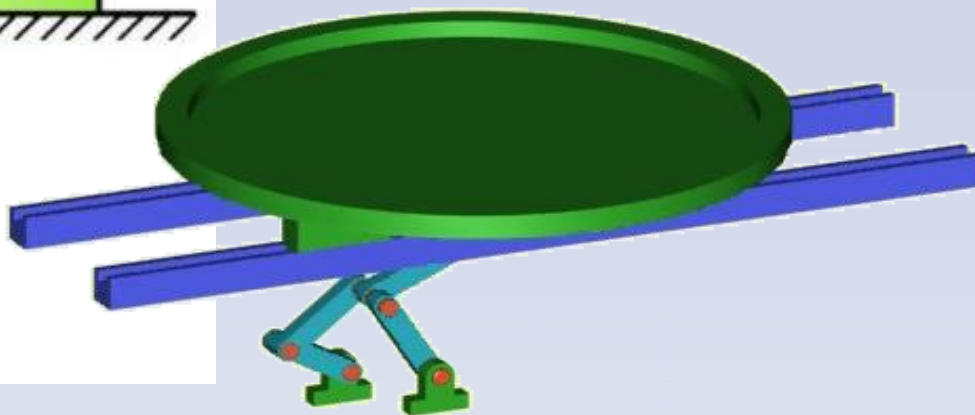
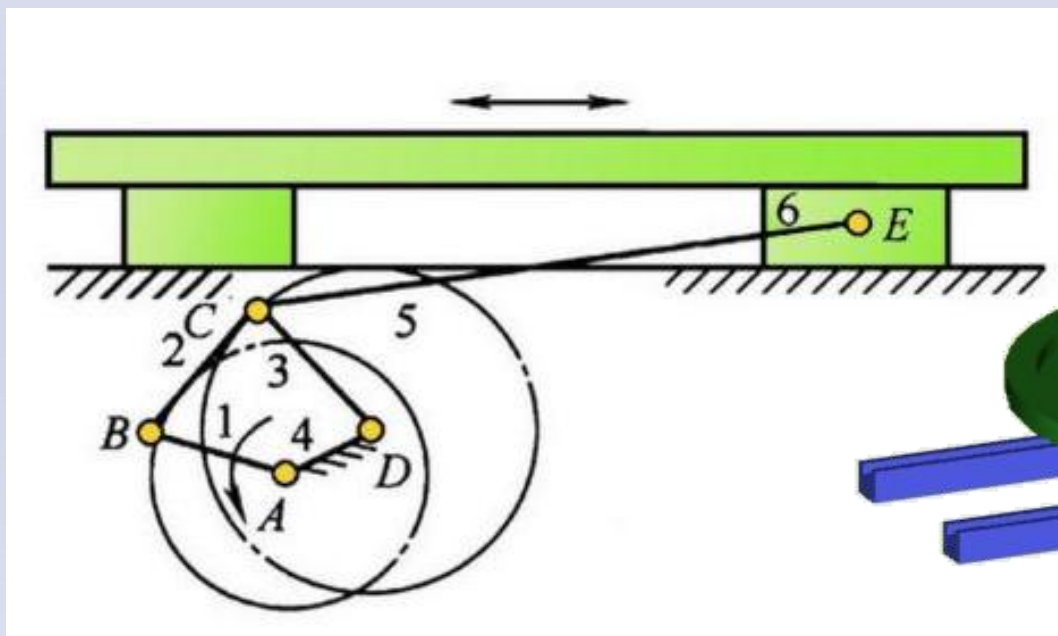


# 第1节 铰链四杆机构及其演化

## ➤ 平面多杆机构

将多个平面四杆机构组合在一起，构成平面多杆机构。

惯性筛是由构件1、2、3、4组成的**双曲柄机构**和由构件3、4、5、6组成的**曲柄滑块机构**组合而成的六杆机构。





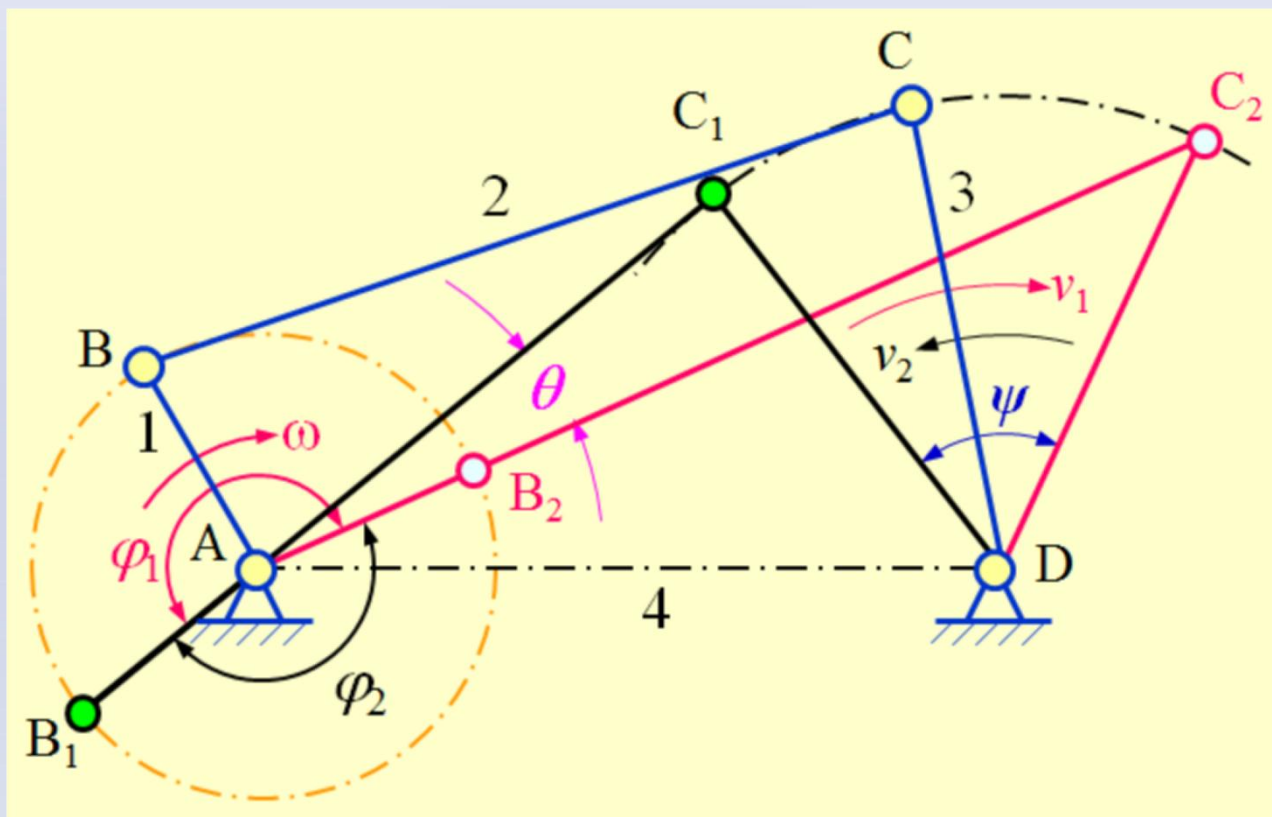
## 第2节 平面四杆机构的运动特性

### 一、曲柄摇杆机构的运动特性

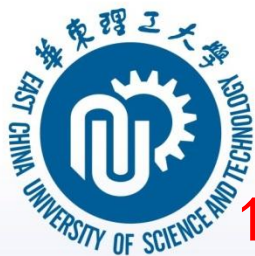
**机构极位：**曲柄回转一周，与连杆两次共线，此时摇杆分别处于两个极限位置，称为机构极位。

**极位夹角：**机构处在两个极位时，原动件所处两个位置之间所夹的锐角  $\theta$  称为极位夹角。

**摇杆摆角：**摇杆在两个极限位置间的夹角  $\psi$  称为摇杆的摆角。







## 第2节 平面四杆机构的运动特性

### 1. 急回特性

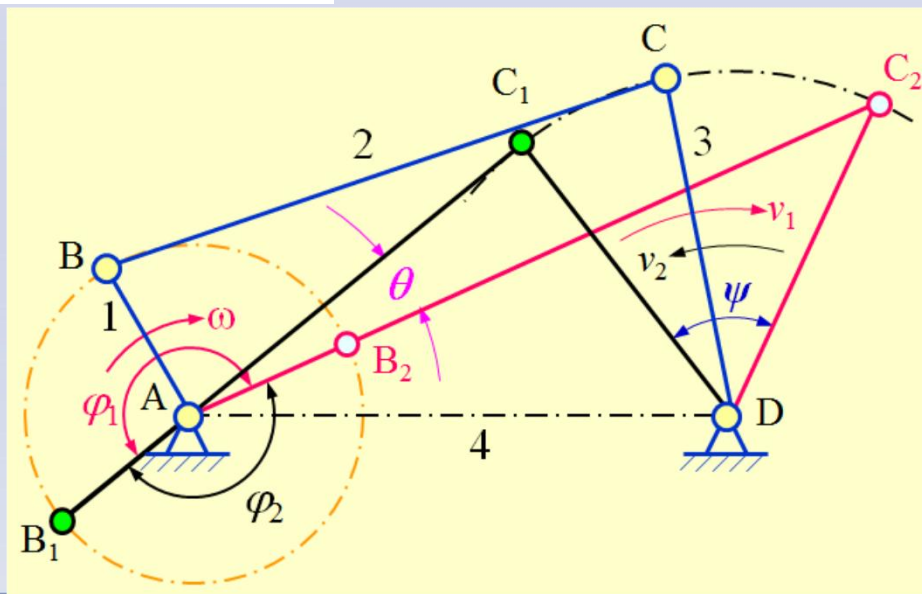
曲柄顺时针以等角速度由位置 $AB_1$ 转到 $AB_2$ 时，摇杆从 $C_1D$ 摆到 $C_2D$ ；曲柄继续由位置 $AB_2$ 转到 $AB_1$ 时，摇杆从 $C_2D$ 摆回到 $C_1D$ ，曲柄转过的角度，摇杆上C点的平均速度分别为：

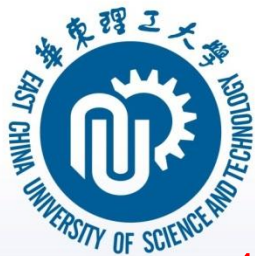
$$\begin{cases} C_1D \rightarrow C_2D & \varphi_1 = 180^\circ + \theta & v_1 = \widehat{C_1C_2} / t_1 \\ C_1D \leftarrow C_2D & \varphi_2 = 180^\circ - \theta & v_2 = \widehat{C_1C_2} / t_2 \end{cases}$$

曲柄等角速度，  
 $t_1 > t_2$ ，因此  $v_2 > v_1$

曲柄等角速度转动情况下，摇杆往复摆动的平均速度一快一慢，机构的这种运动性质称为**急回特性**。

机构急回的作用是节省空回时间，提高工作效率。





## 第2节 平面四杆机构的运动特性

### 1. 急回特性

$$v_1 = \hat{C}_1 \hat{C}_2 / t_1$$

$$v_2 = \hat{C}_1 \hat{C}_2 / t_2$$

为表示急回特性的相对程度，用行程速比系数 $K$

来衡量：

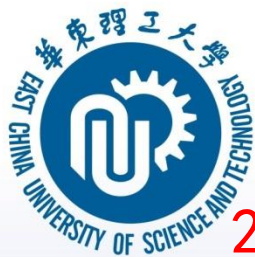
$$K = \frac{v_2}{v_1} = \frac{C_1 C_2 / t_2}{C_1 C_2 / t_1} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{\varphi_1 / \omega}{\varphi_2 / \omega} = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta}$$

分析：

- 1)  $K > 1$ 时（即  $v_2 > v_1$ ），铰链四杆机构具有急回特性。
- 2) 急回运动特性的产生是由于 $\theta$ 的存在， $\theta$ 越大， $K$ 越大，急回特性越显著； $K = 1$ 时（ $v_2 = v_1$ ），机构无急回特性。
- 3) 曲柄摇杆机构具有急回特性的条件是：极位夹角 $\theta$ 不等于零。

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

根据急回特性要求，确定 $K$ ，由 $K$ 值得到 $\theta$ 。



## 第2节 平面四杆机构的运动特性

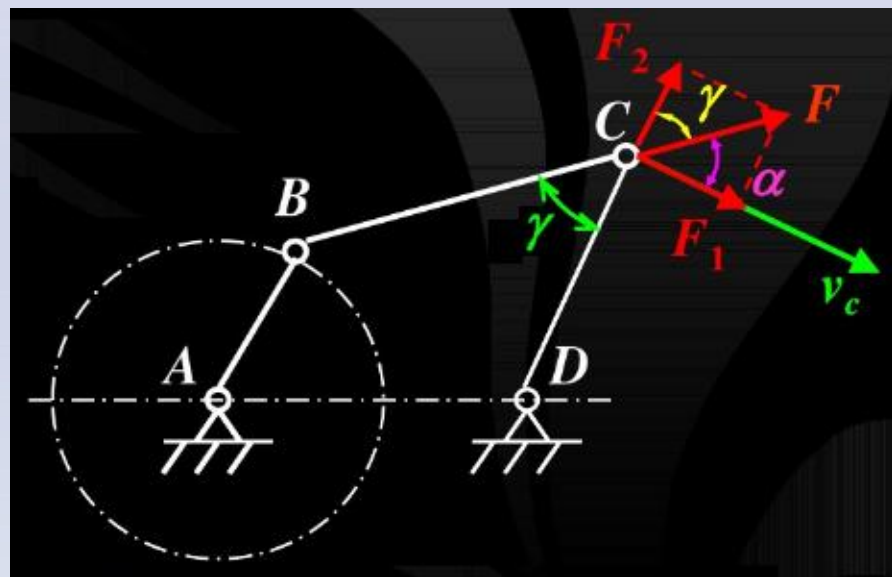
### 2. 压力角和传动角

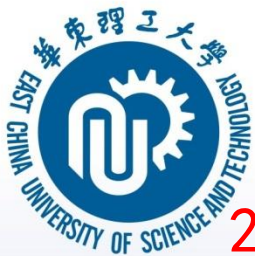
**压力角 $\alpha$** ：从动件上某点的受力方向与从动件上该点速度方向的所夹的锐角。

**传动角 $\gamma$** ：压力角的余角  $\gamma$ ,  $\gamma = 90^\circ - \alpha$ 。

曲柄摇杆机构，曲柄为主动件，不考虑构件的质量、惯性力和摩擦力，则**连杆BC是二力杆**。

曲柄AB通过连杆BC作用于从动摇杆CD上的力 $F$ 是沿杆BC方向，摇杆CD绕D点摆动，C点速度方向垂直于CD，压力角 $\alpha$ 为 $F$ 与速度 $v_c$ 之间所夹的锐角。





## 第2节 平面四杆机构的运动特性

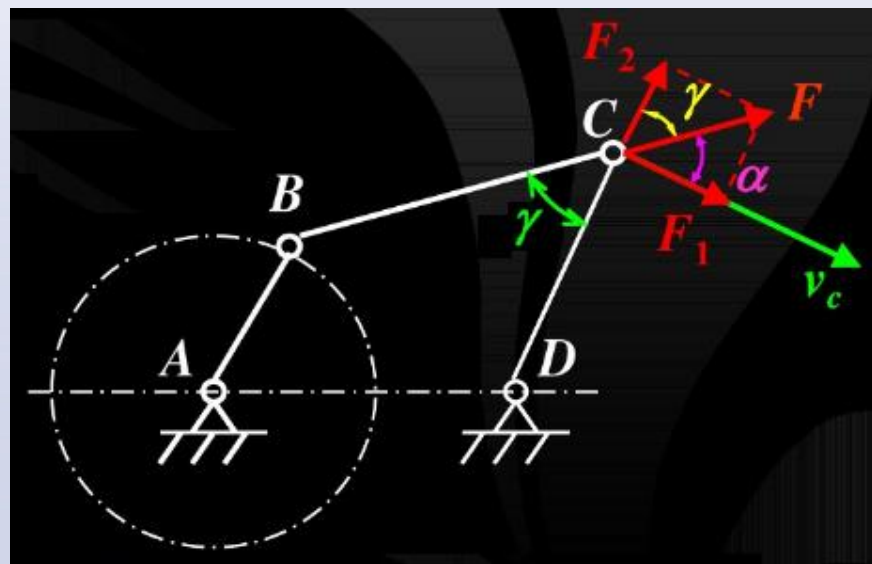
### 2. 压力角和传动角

将 $F$ 分解为相互垂直的两个分力 $F_1$ 和 $F_2$ ，其方向与铰链C点的速度 $v_c$ 方向一致或垂直，有：

$$\begin{cases} F_1 = F \cos \alpha \\ F_2 = F \sin \alpha \end{cases}$$

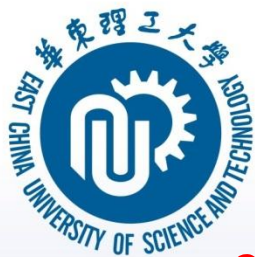
$F_1$ ：推动从动件CD转动的**有效力**，对从动件产生有效力矩；

$F_2$ ：使铰链产生附加压力，加速铰链的摩擦磨损，**有害力**。



**分析：**

$F$ 一定，**压力角** $\alpha \downarrow$ ，**有效力** $F_1 \uparrow$ ，传力性能越好。压力角是衡量机构传力性能的重要标志。



## 第2节 平面四杆机构的运动特性

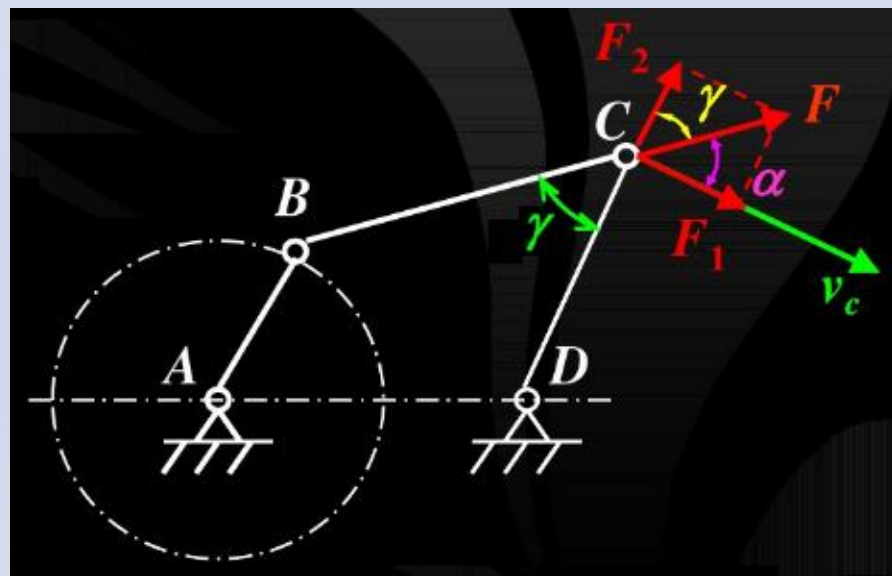
### 2. 压力角和传动角

为了便于度量和直观分析，工程上用**压力角**的余角，即**传动角  $\gamma$**  来分析机构的传力性能。

$$F_1 = F \cos \alpha \quad F_2 = F \sin \alpha$$

**传动角  $\gamma$**  是连杆BC与摇杆CD所夹的锐角。

**传动角  $\gamma \uparrow$** （即压力角  $\alpha \downarrow$ ），  
**有效力  $F_1 \uparrow$ ，传力性能越好；**  
 $\gamma = 90^\circ$  时，传力性能最好。



## 第2节 平面四杆机构的运动特性

### 2. 压力角和传动角

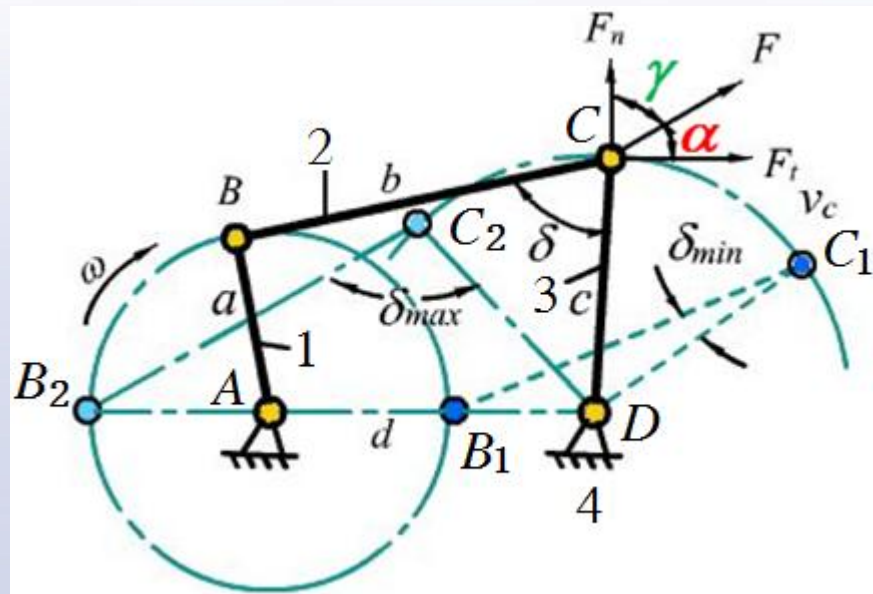
机构运转过程中，传动角  $\gamma$  是变化的。为了保证机构良好的传力性能，设计时对传动角规定：

一般机构：

$$\gamma_{\min} \geq 40^\circ$$

高速、传递大功率：

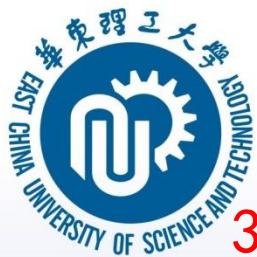
$$\gamma_{\min} \geq 50^\circ$$



$$\gamma_{\min} = \min(\delta_{\min}, 180^\circ - \delta_{\max})$$

可以证明，曲柄摇杆机构的最小传动角  $\gamma_{\min}$  出现在曲柄与机架拉直共线和重叠共线的两个位置之一处，比较此两位置  $\gamma$  角的大小，取其中较小的一个作为机构的最小传动角  $\gamma_{\min}$ 。



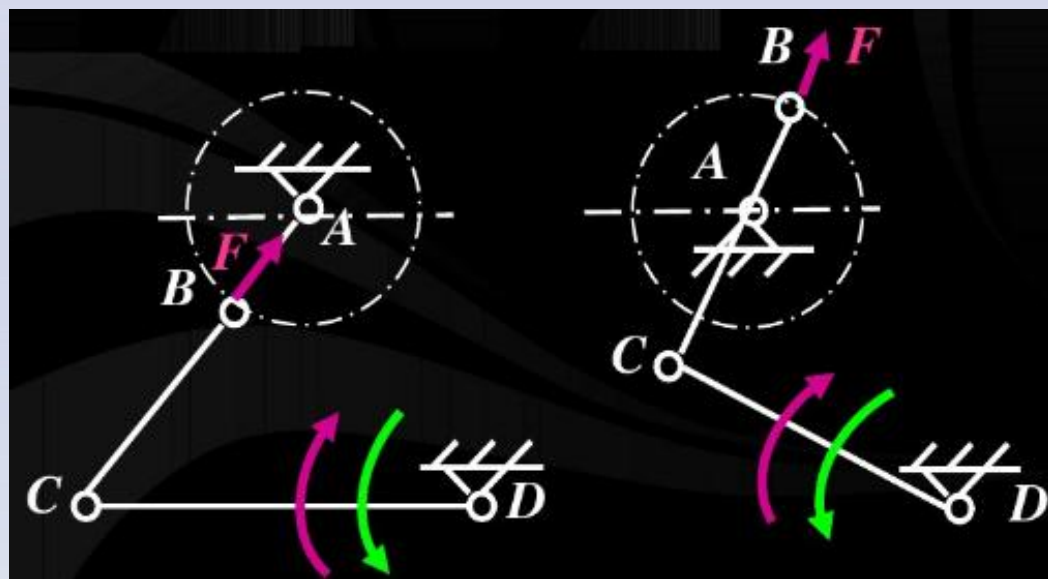


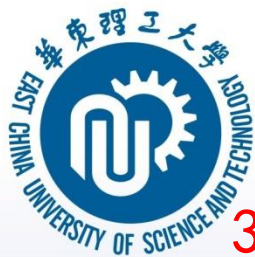
## 第2节 平面四杆机构的运动特性

### 3. 止点位置

**止点位置：**指从动件的传动角等于零时，机构所处的位置。

当摇杆作主动件往复摆动，一般可驱动从动件曲柄作整周运动。当摇杆处于极限位置时，即连杆和从动曲柄共线。若忽略不计运动副中的摩擦与各构件的质量和转动惯量，摇杆通过连杆加给曲柄的力将通过铰链 A 的中心。该力对 A 点不产生力矩，不能驱动曲柄转动。机构所处的这种位置称为“**止点**”位置，又称“**死点**”位置。



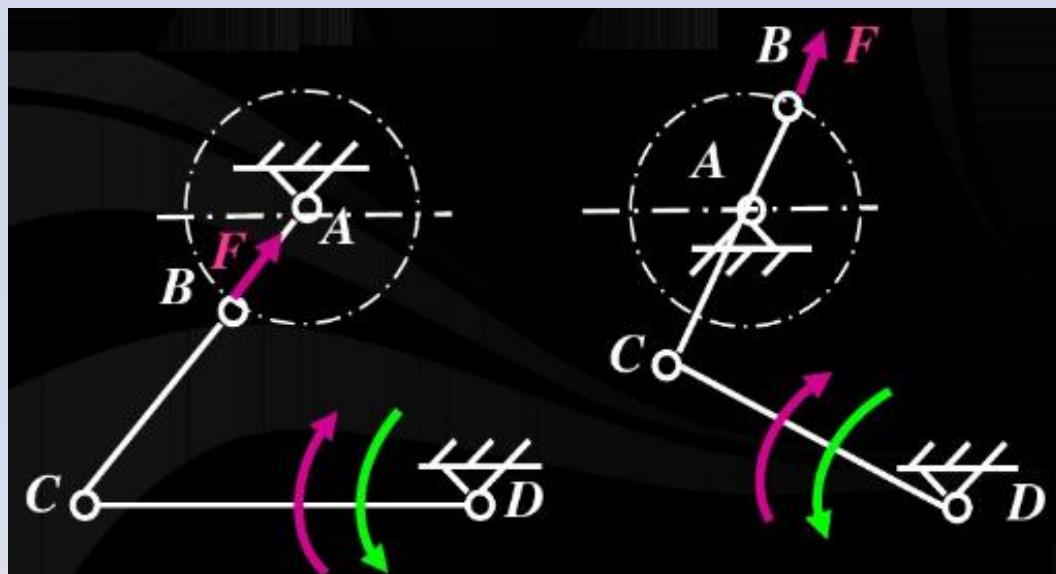


## 第2节 平面四杆机构的运动特性

### 3. 止点位置

机构处于“止点”位置时，从动件会出现自锁或曲柄正反转不确定现象。

为使传动连续运转，可以利用回转构件的惯性（如缝纫机踏板机构）以及添加辅助构件、使机构止点位置相互错开（如火车轮机构）等措施。





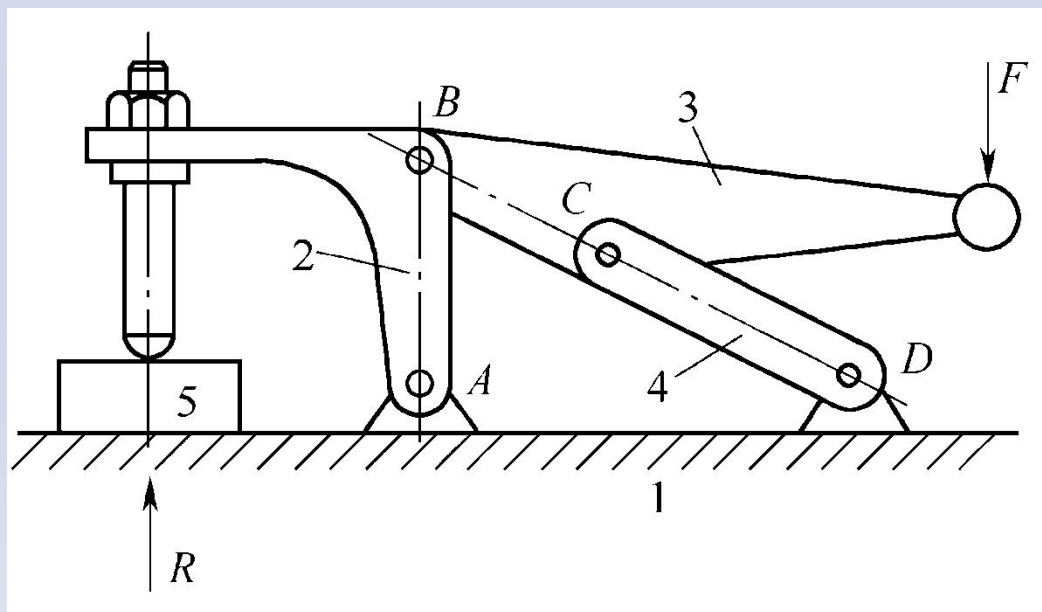
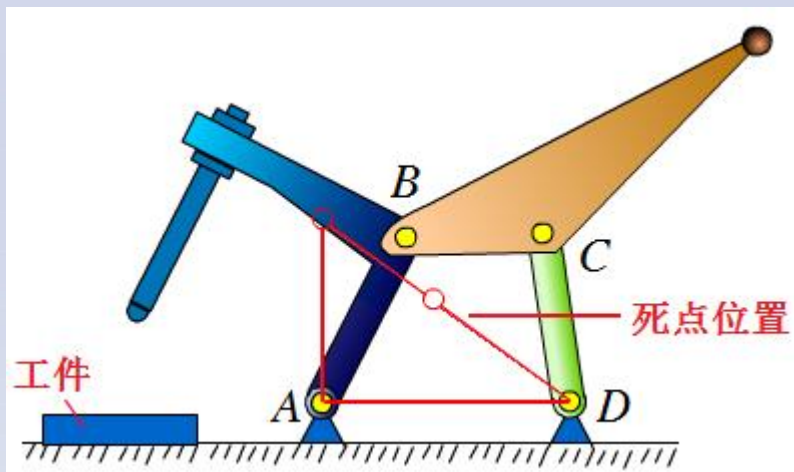
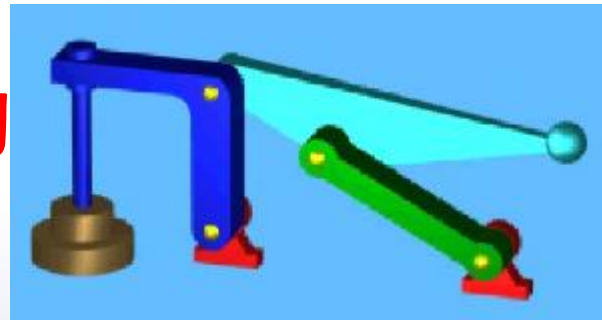


## 第2节 平面四杆机构

### 3. 止点位置

利用“止点”位置的性质进行工作。

如图，工件夹紧机构，抬起手柄，夹头抬起，将工件放入工作台；用力按下手柄，夹头向下压紧工件，BC和CD共线，机构处于死点位置；当去除外力 $F$ 后仍，无论工件对夹头的作用力多大，也不能使CD绕D转动，工件仍处在被夹紧的状态。





## 第2节 平面四杆机构的运动特性

### ➤ 曲柄摇杆机构——基本特性

#### 【思考题】

1. 曲柄摇杆机构是否一定有急回特性？
2. 曲柄摇杆机构是否一定存在止点位置？

1. 极位夹角和摆角
2. 急回特性
3. 压力角和传动角
4. “止点”位置

1. 曲柄为原动件，当机构有极位夹角时，有急回特性；当极位夹角  $\theta=0^\circ$ ， $K=1$ 时，无急回特性。
2. 存在止点位置的判别：连杆与从动件共线。  
摇杆为原动件，有2个止点位置；  
曲柄为原动件，没有止点位置，因为此时连杆与从动件不会共线。



## 第2节 平面四杆机构的运动特性

【例9-1】图示铰链四杆机构中，已知铰链四杆机构各构件的长度分别为 $L_{AB}=20\text{mm}$ ， $L_{BC}=60\text{mm}$ ， $L_{CD}=85\text{mm}$ ， $L_{AD}=50\text{mm}$ 。要求：

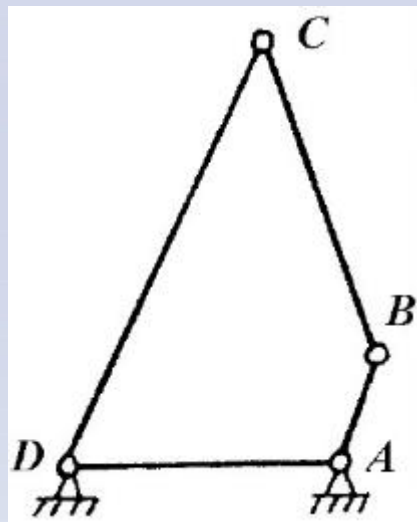
(1) 试确定该机构是否有曲柄？(2) 若以AB为原动件，试画出该机构在图示位置时的压力角和该机构的最小传动角；(3) 在什么情况下该机构有止点位置？在图上标出止点位置。

【解】： (1)  $L_{AB} + L_{CD} = 20 + 85 = 105$

$$L_{BC} + L_{AD} = 60 + 50 = 110$$

$$L_{AB} + L_{CD} < L_{BC} + L_{AD}$$

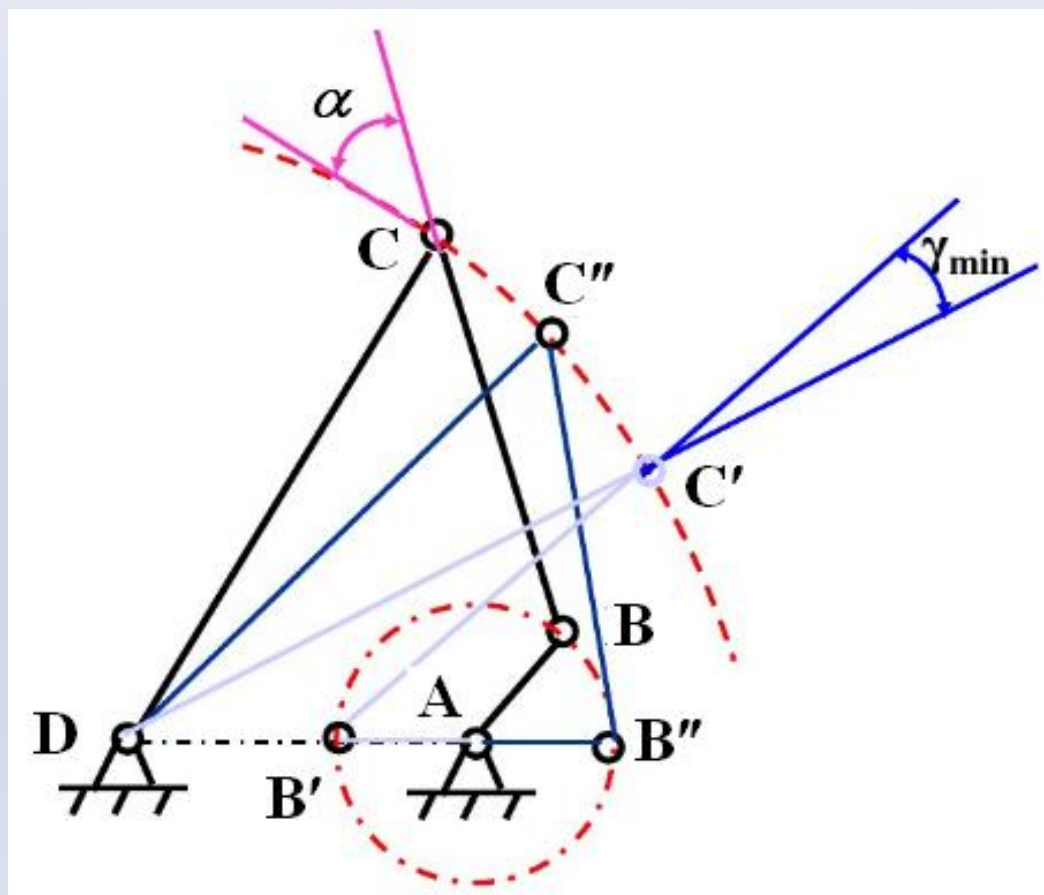
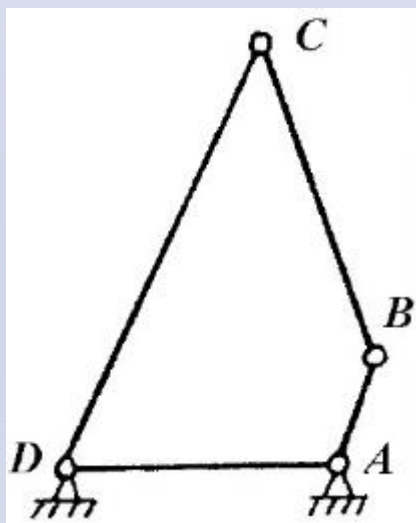
AB为连架杆，所有该机构存在曲柄，构件AB是曲柄。

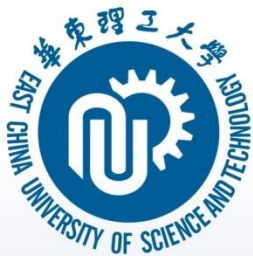




## 第2节 平面四杆机构的运动特性

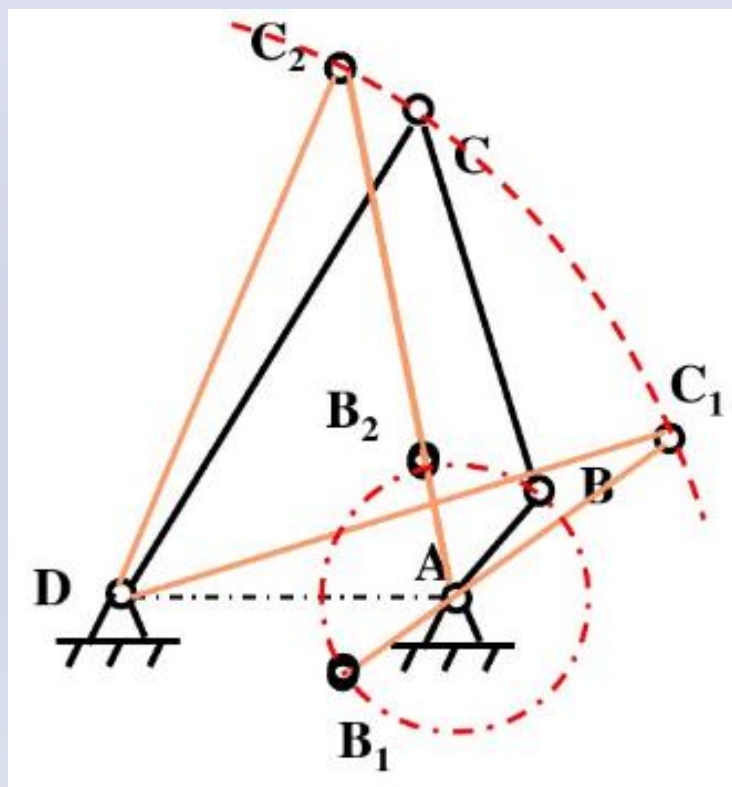
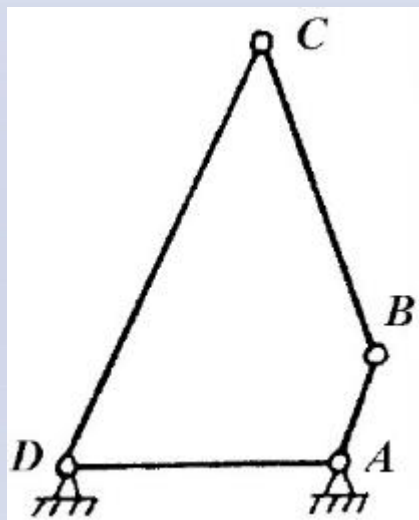
【解】：（2）AB为原动件，压力角和最小传动角，如图所示。

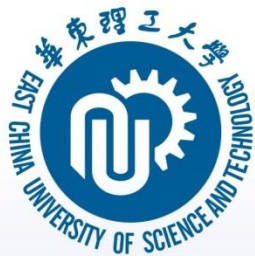




## 第2节 平面四杆机构的运动特性

【解】：（3）如图所示，当以摇杆CD为主动件，且曲柄AB与连杆BC共线时的位置为止点位置， $AB_1C_1$ ， $AB_2C_2$ 。





## 本章小结

- 1、铰链四杆机构的类型及判断
- 2、铰链四杆机构的演化
- 3、平面四杆机构的运动特性