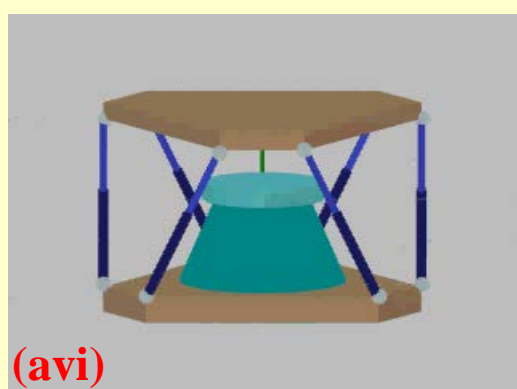
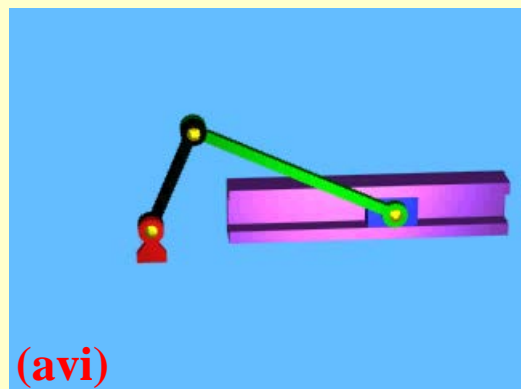
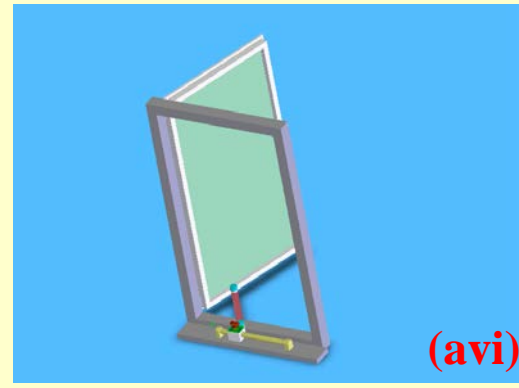
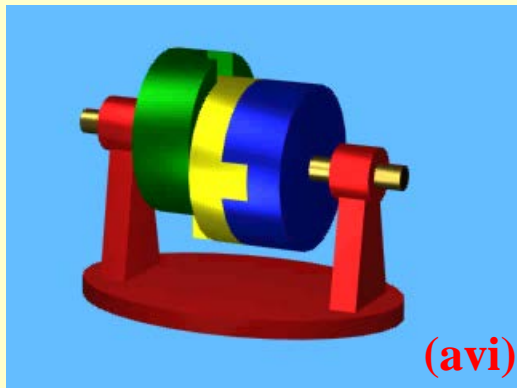
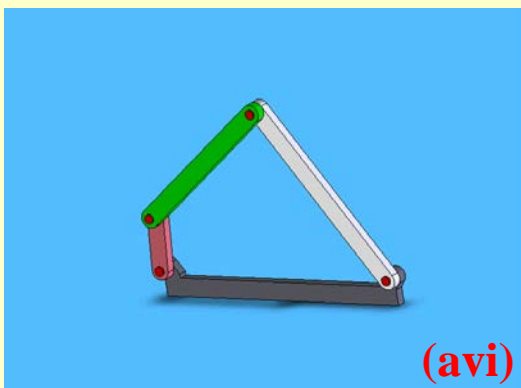


第三章 平面连杆机构及其设计

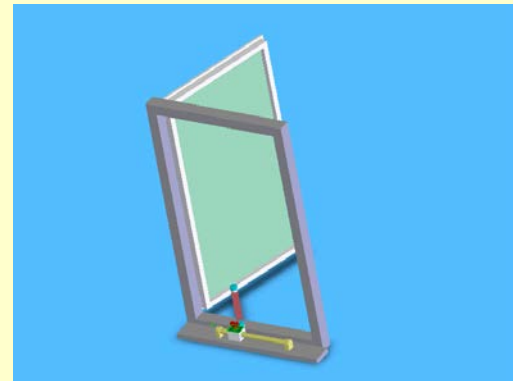
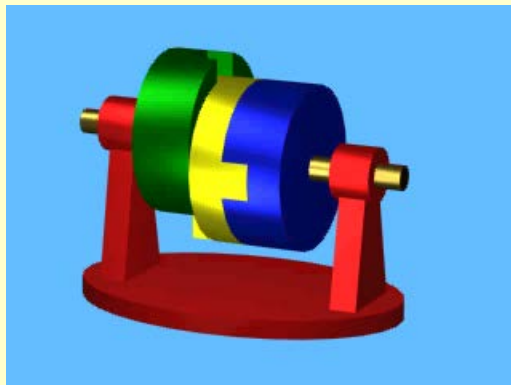
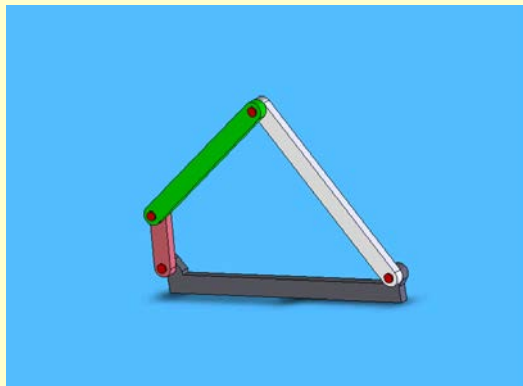
§ 3-1 概述

一、定义与分类

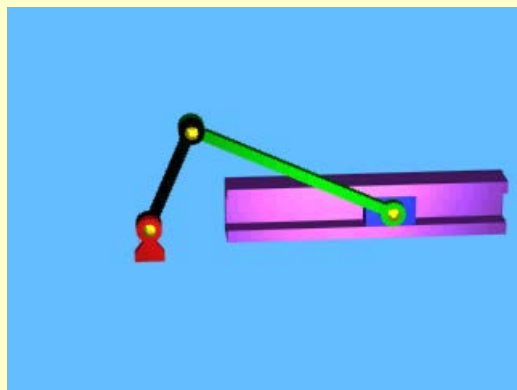
1. 定义 由若干刚性构件用低副联接而成的机构称为**连杆机构(Linkage Mechanisms)**；连杆机构又称为**低副机构**。



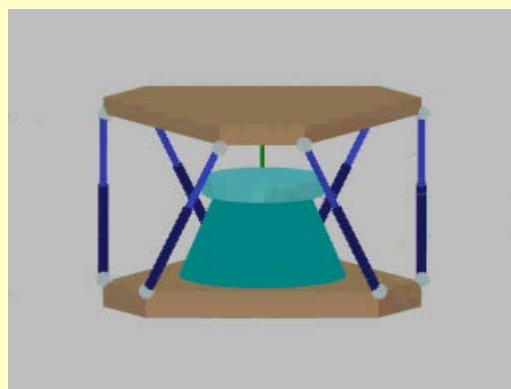
2. 分类 连杆机构可分为空间连杆机构和平面连杆机构



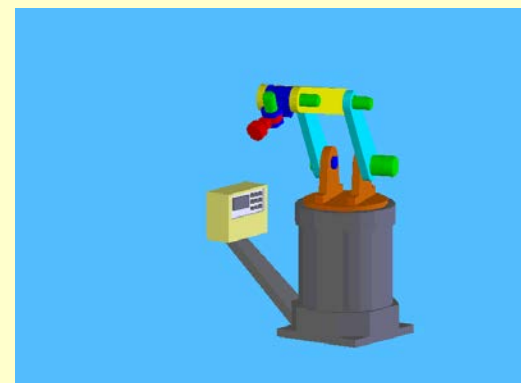
以上三图为平面连杆机构



平面连杆机构



空间连杆机构

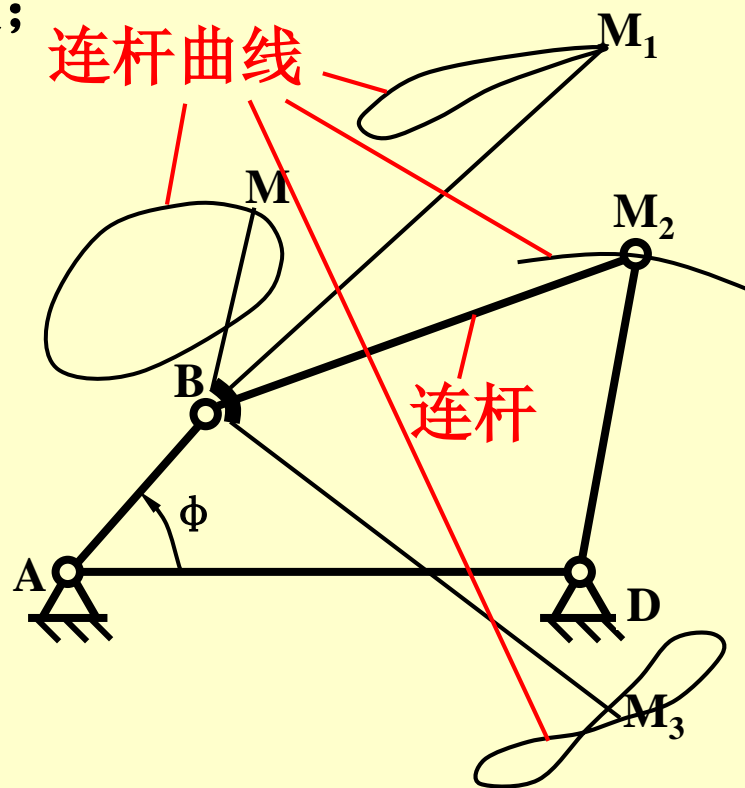
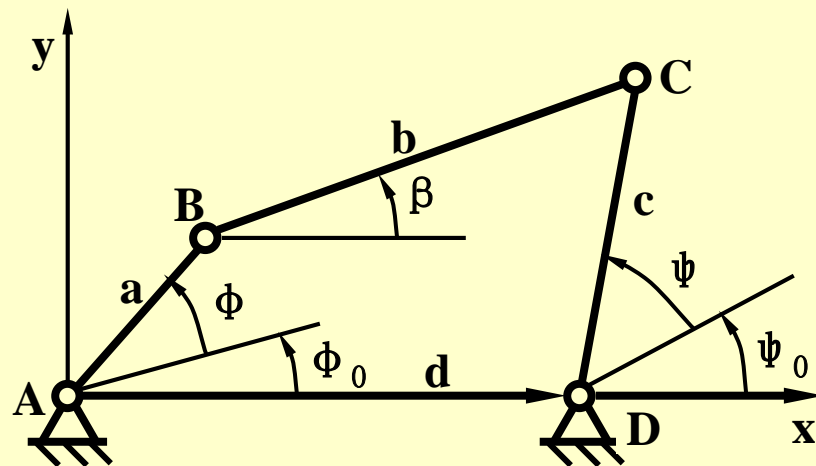


空间连杆机构

二、连杆机构的特点

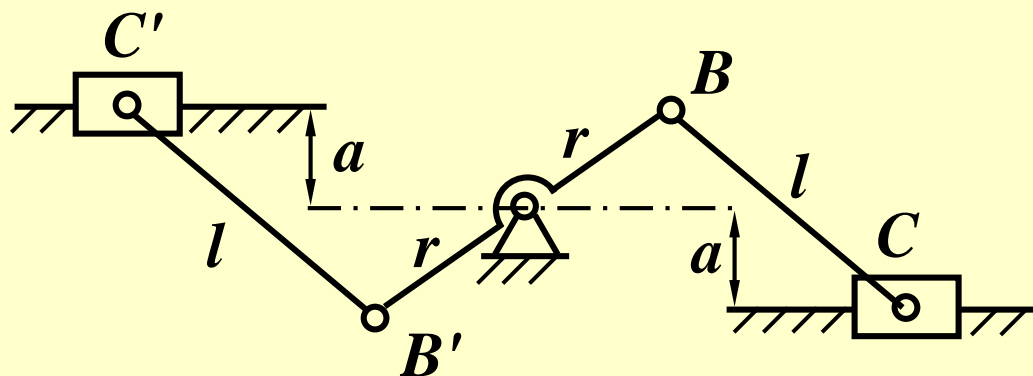
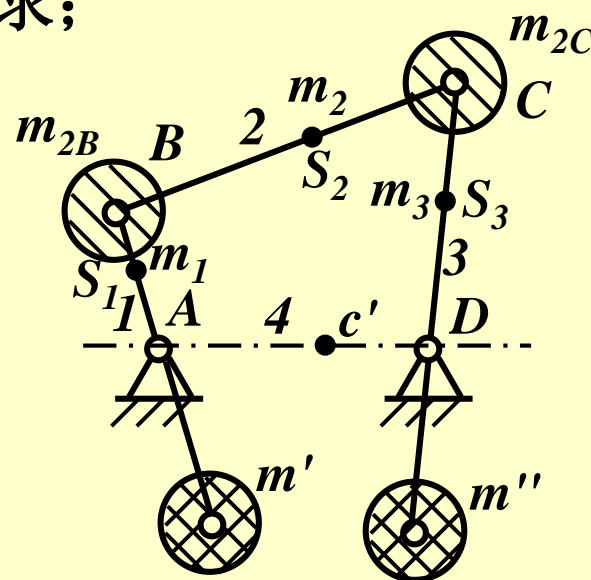
优点：

- 承载能力高、磨损少，便于润滑；
- 制造简单；
- 两构件之间的接触靠几何封闭实现；
- 实现多种运动规律和轨迹要求。



缺点:

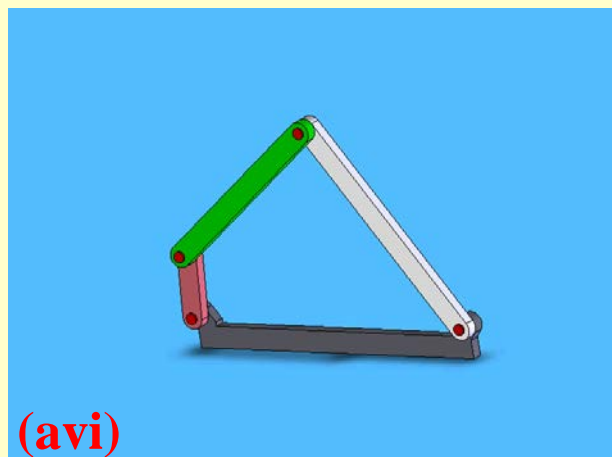
- 不易精确实现各种运动规律和轨迹要求;
- 机械效率较低;
- 产生动态不平衡。



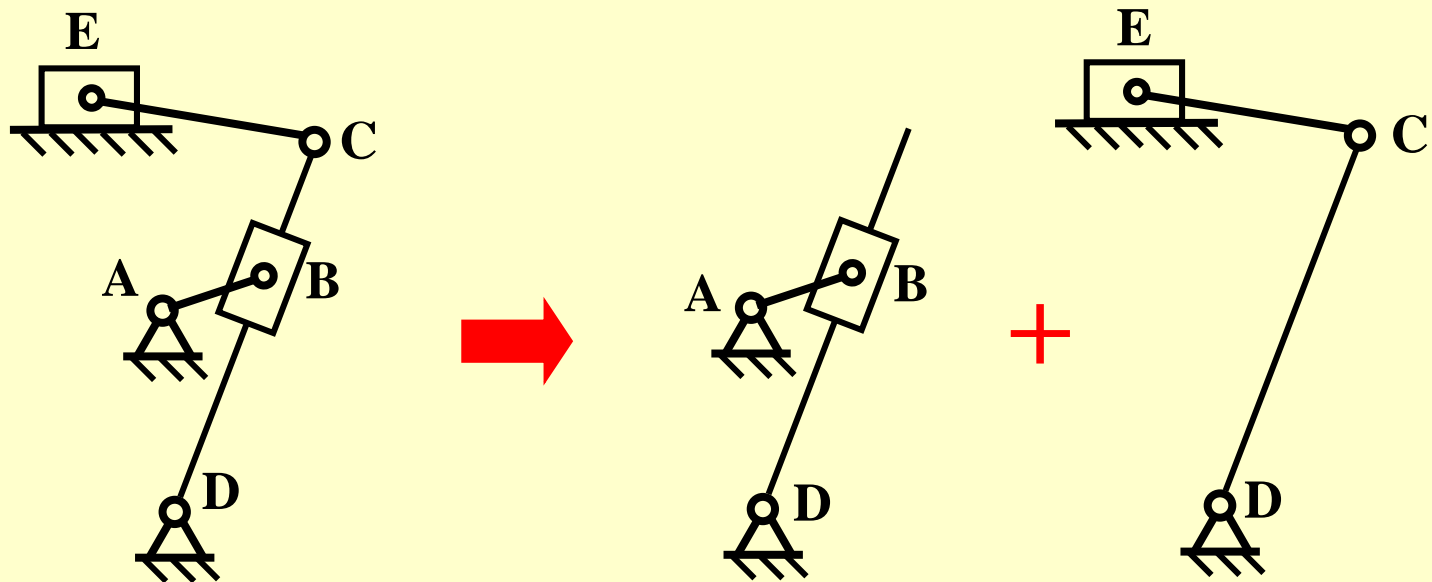
§ 3-2 平面四杆机构的类型及应用

补充:

1. 四杆机构是最简单的连杆机构



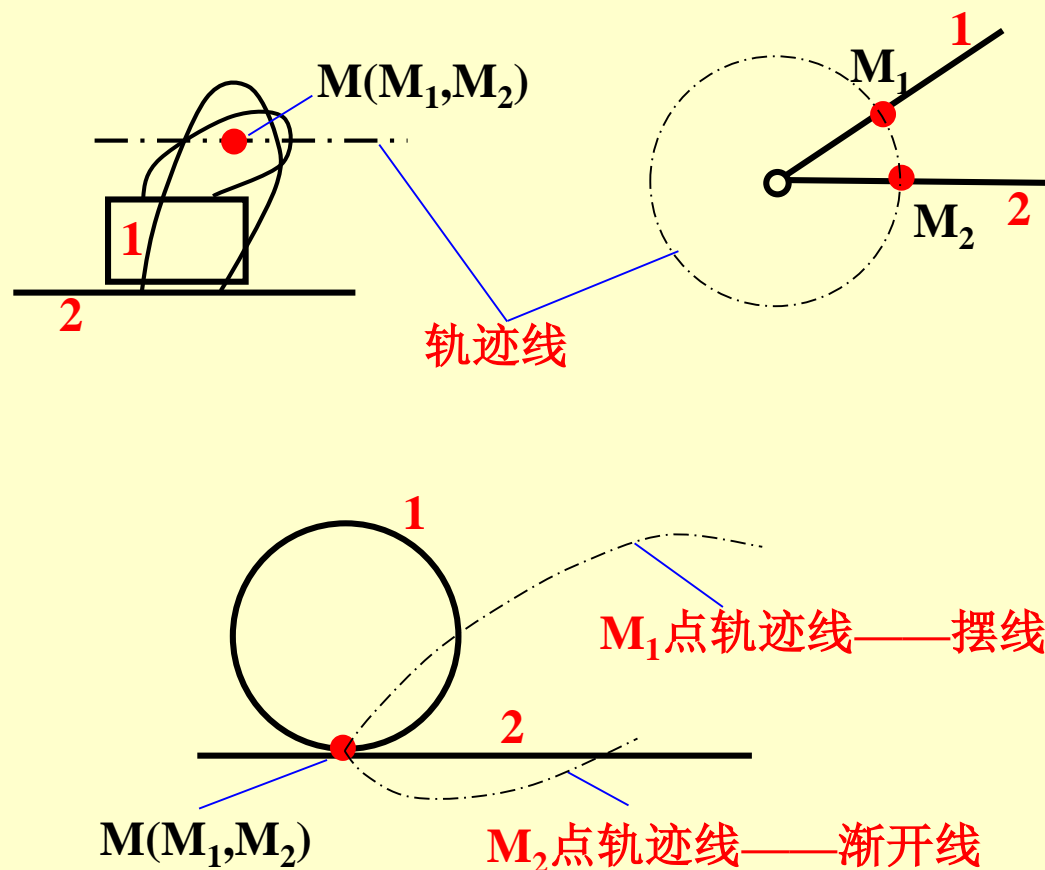
2. 平面四杆机构是平面连杆机构研究的基础



在 $F=1$ 的前提下，六杆、八杆机构均可分解为由一系列的
四杆机构组成。

3. 低副机构具有运动可逆性

运动可逆性：两构件上任一重合点，其相对运动轨迹是相同的，亦即，不论哪一个构件固定，另一构件上一点的运动轨迹都是相同的。



一、基本类型

1. 构件及运动副名称

构件名称： 连架杆——与机架连接的构件

曲柄——作整周回转的连架杆

摇杆——作来回摆动的连架杆

连杆——未与机架连接

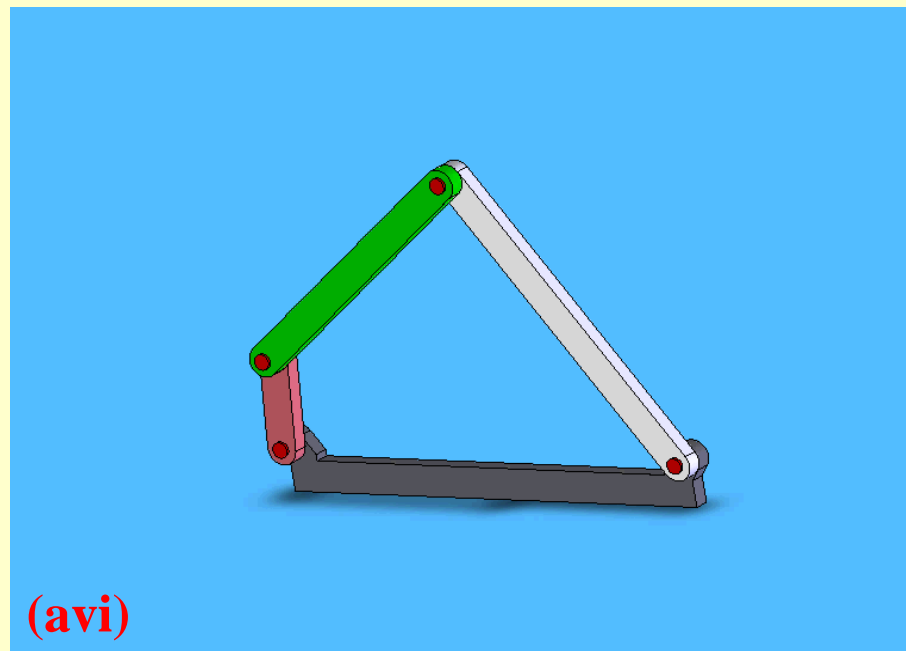
的构件

机架

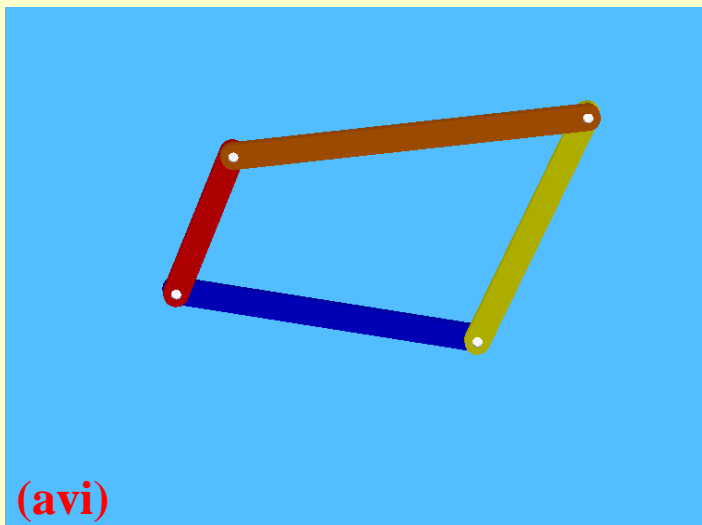
运动副名称：

回转副(又称铰链)

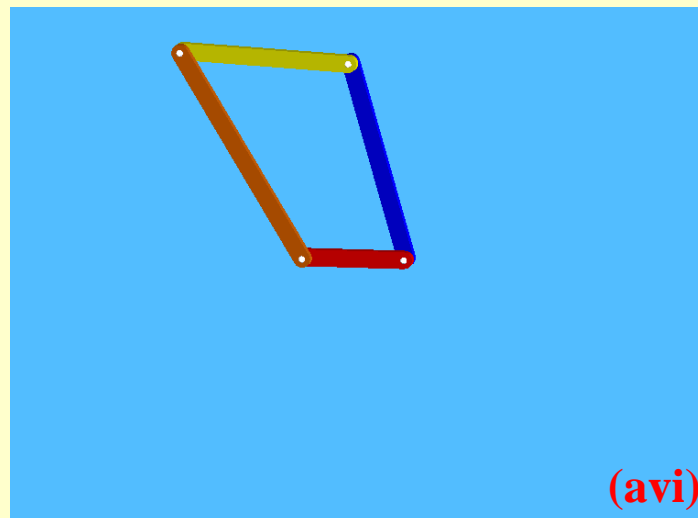
移动副



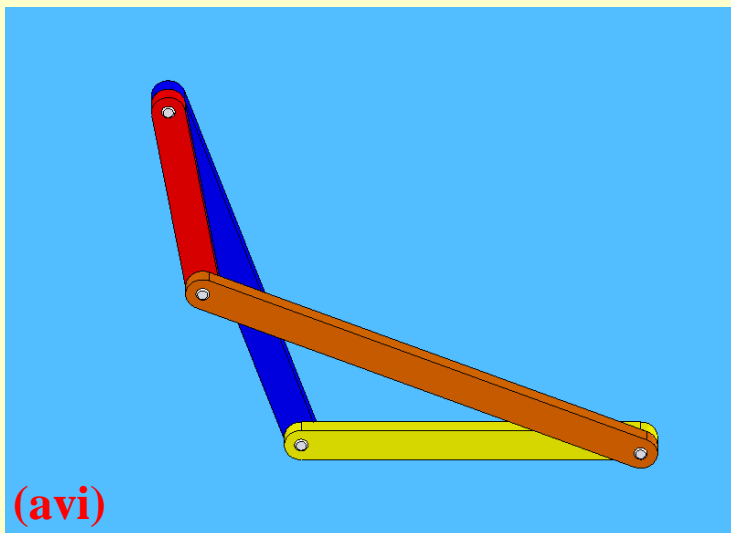
2. 基本 类型



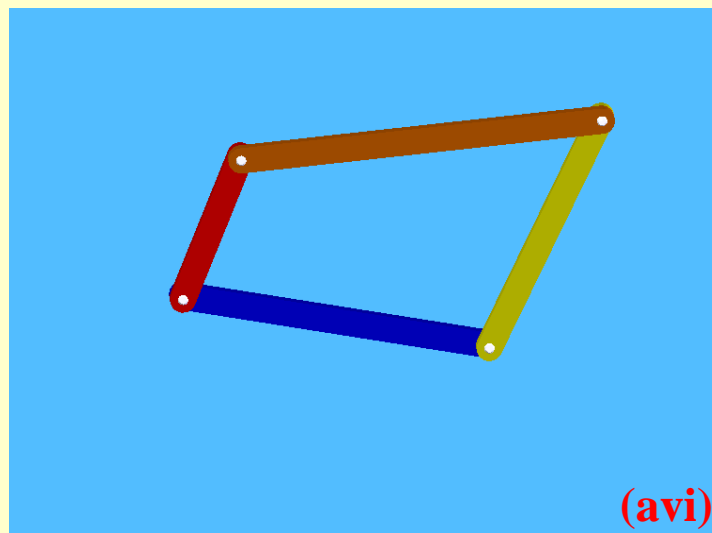
曲柄摇杆机构(avi)



双曲柄机构(avi)



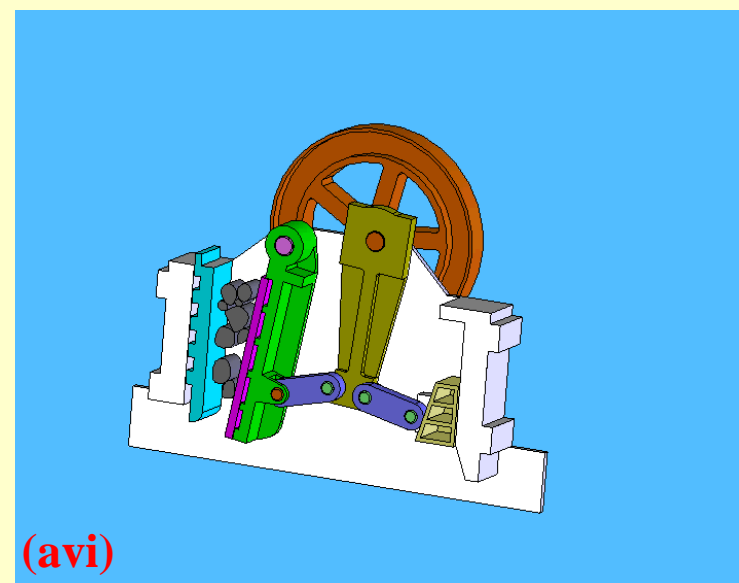
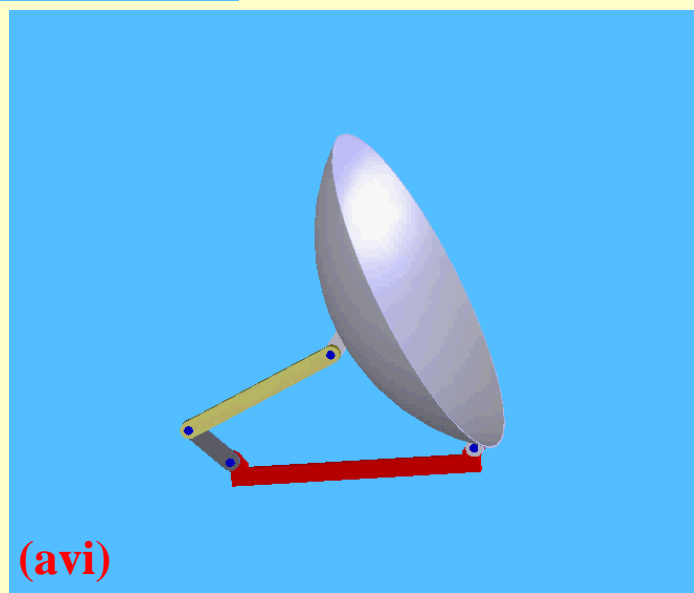
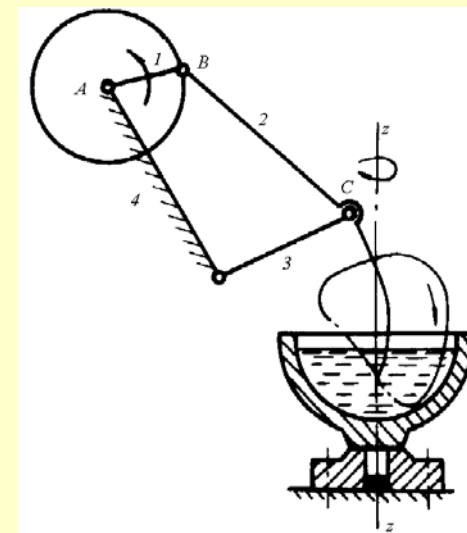
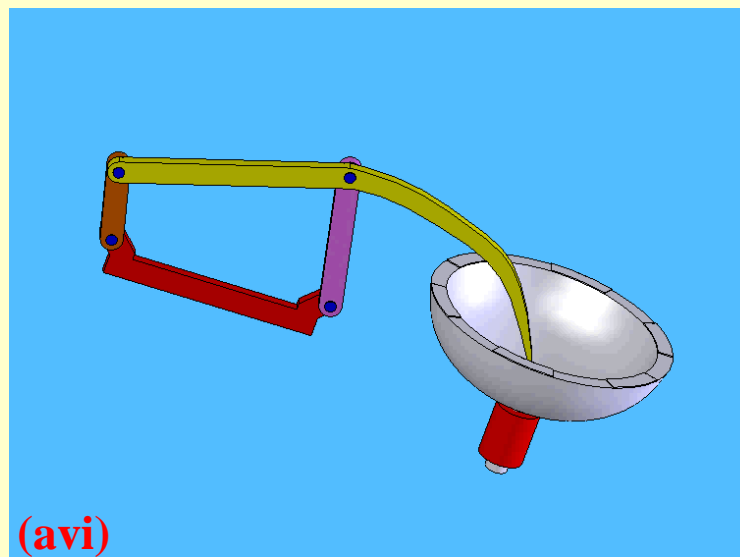
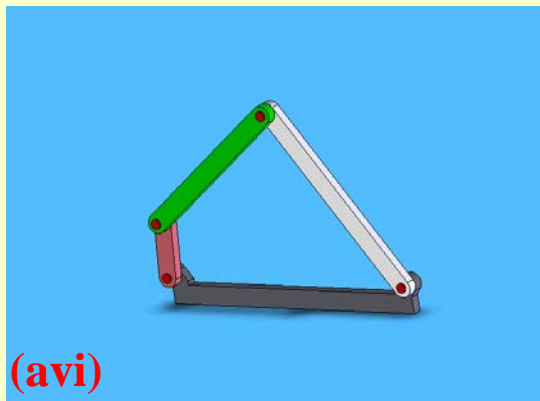
双摇杆机构(avi)



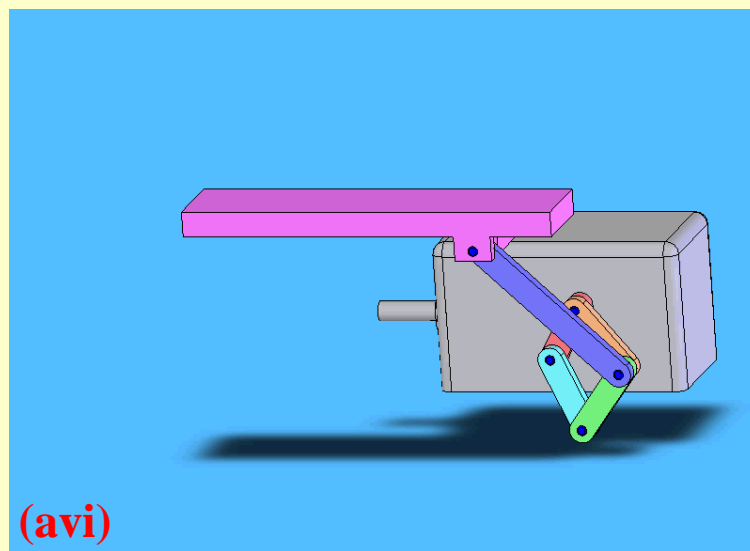
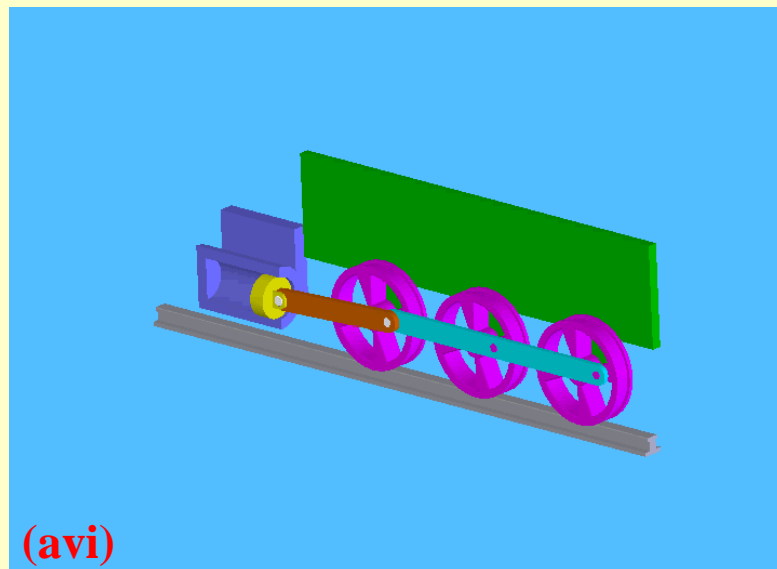
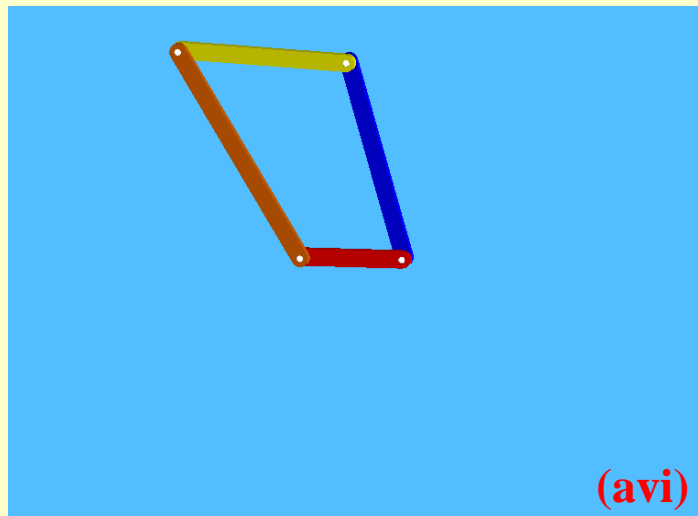
曲柄摇杆机构(avi)

二、应用

1. 曲柄摇杆机构

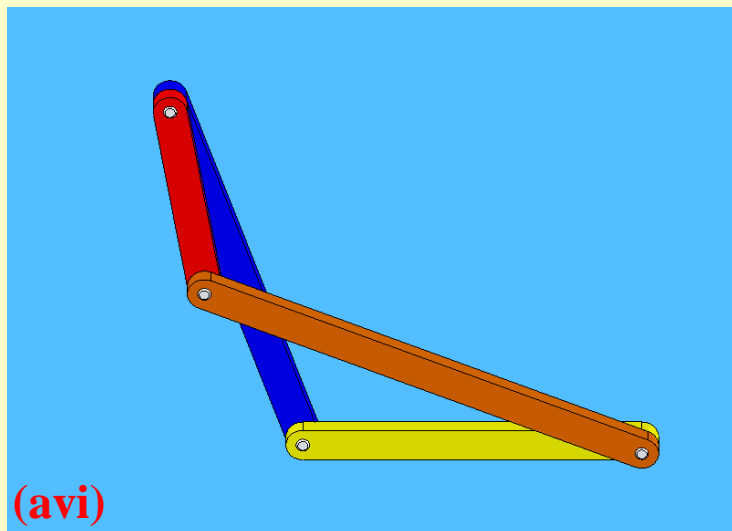


2. 双曲柄机构

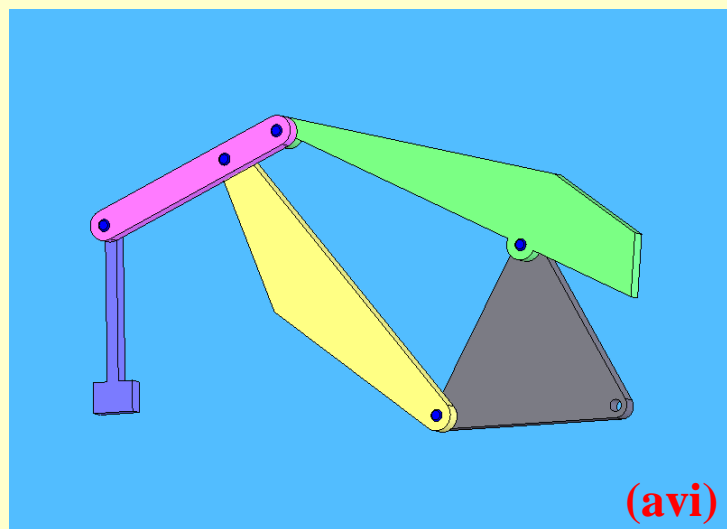
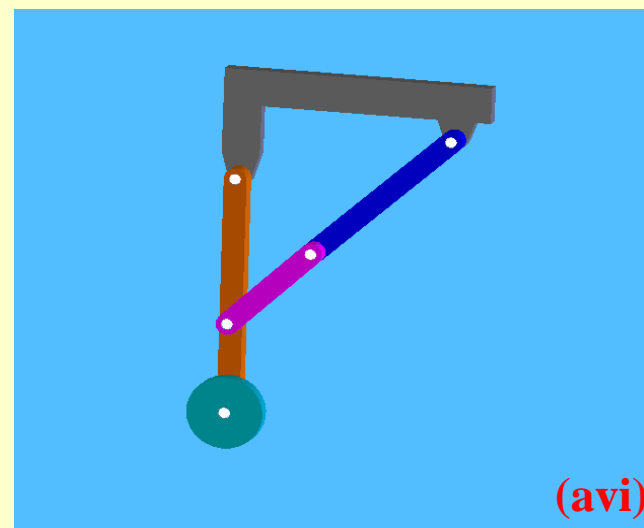


惯性筛

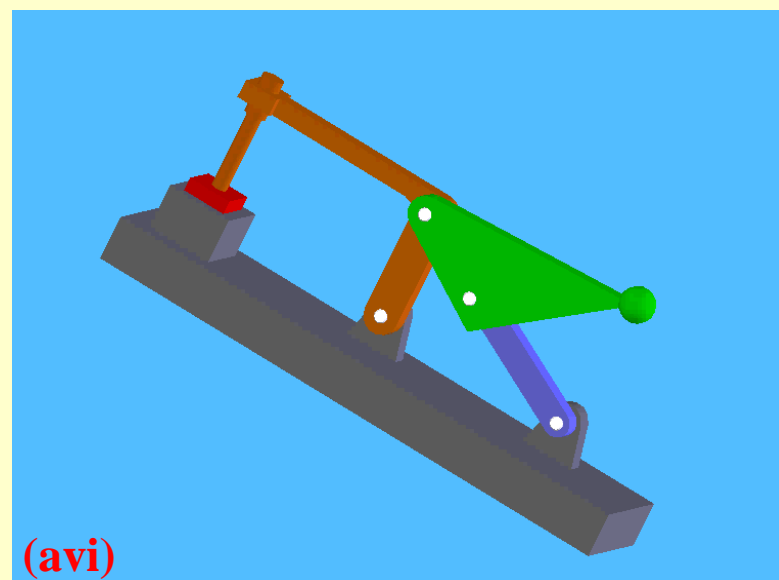
3. 双摇杆机构



起落架



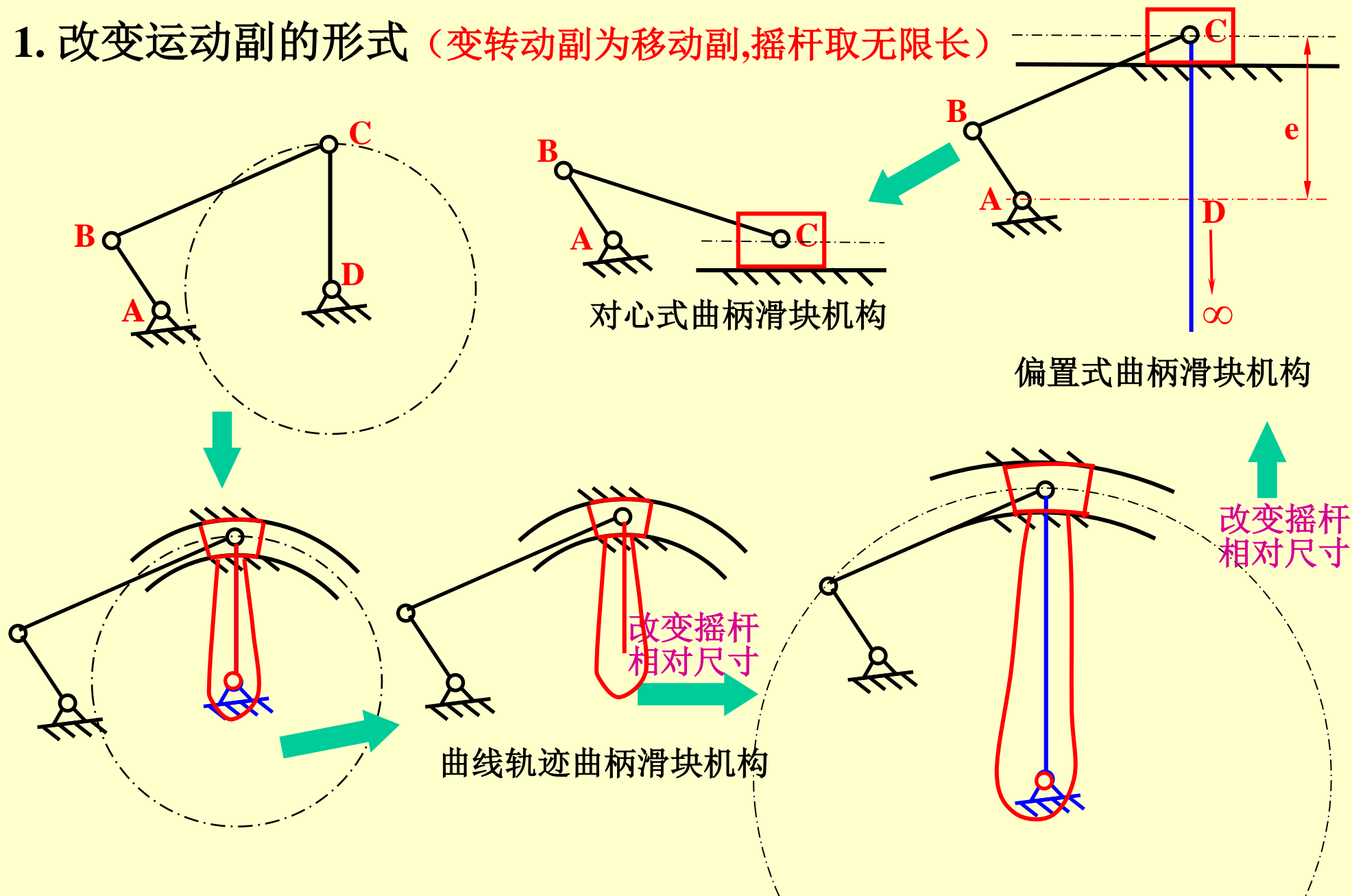
吊车



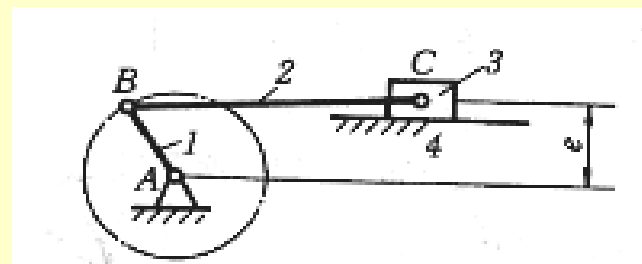
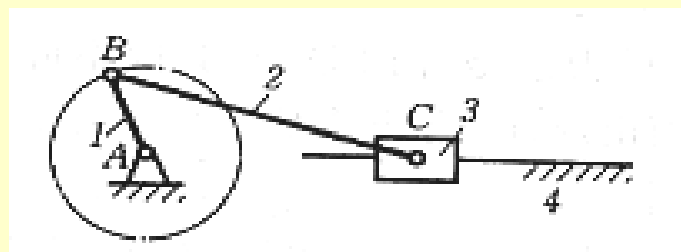
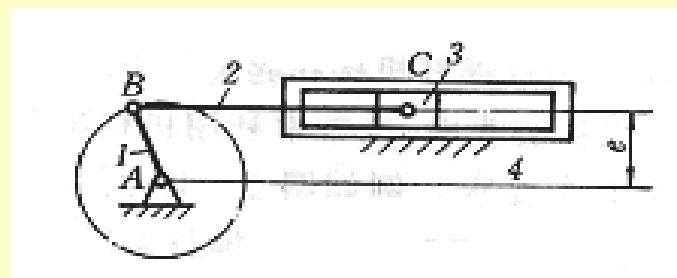
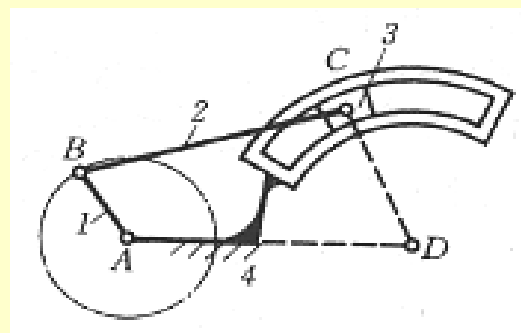
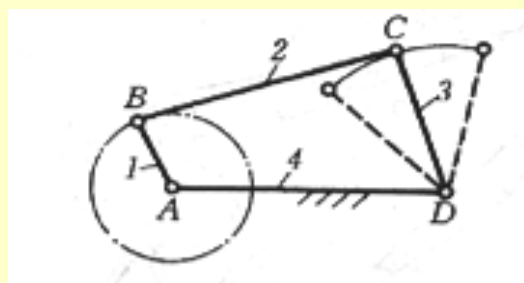
夹具

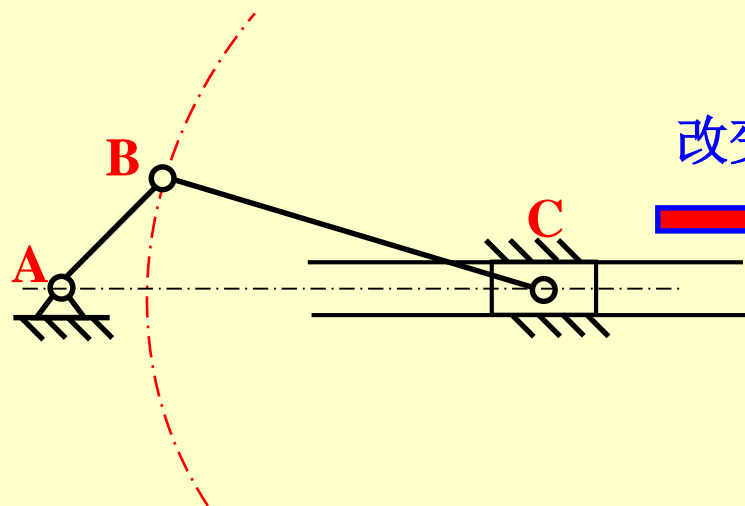
§ 3-3 平面四杆机构的演化

1. 改变运动副的形式 (变转动副为移动副, 摇杆取无限长)

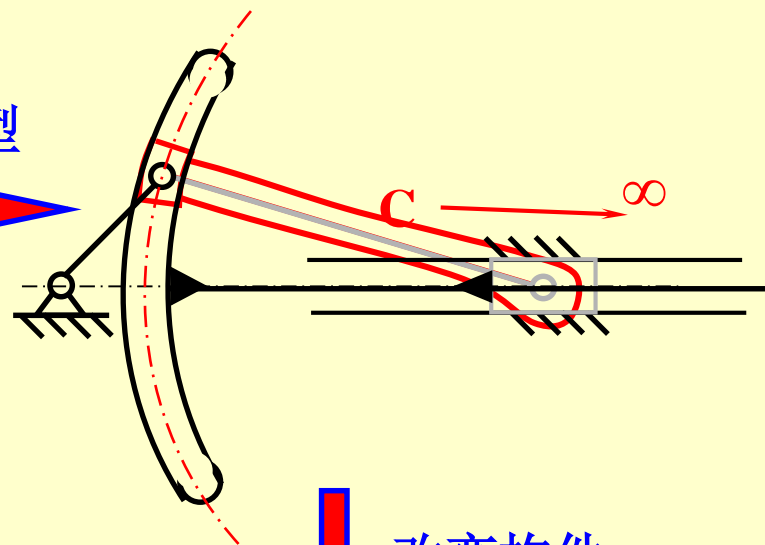


演示1

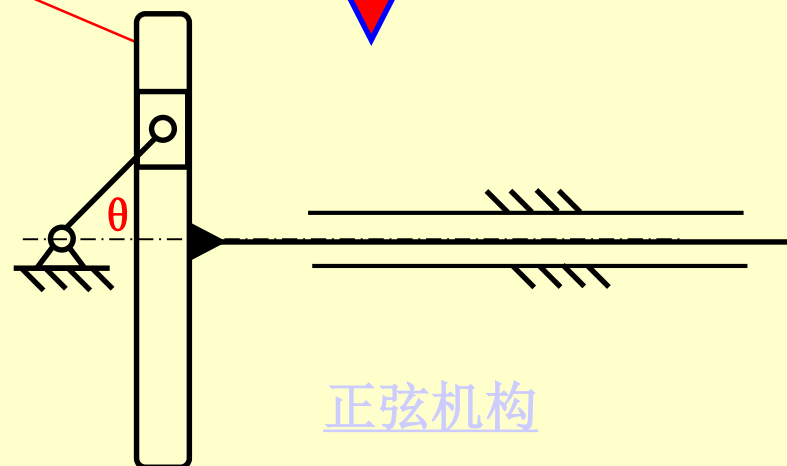
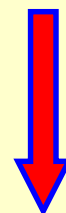




改变运动副类型

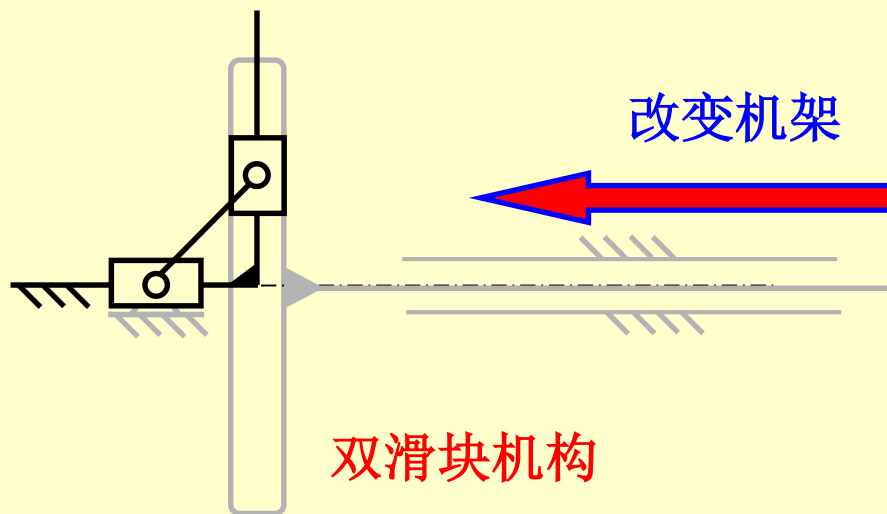


改变构件
相对尺寸



定为机架

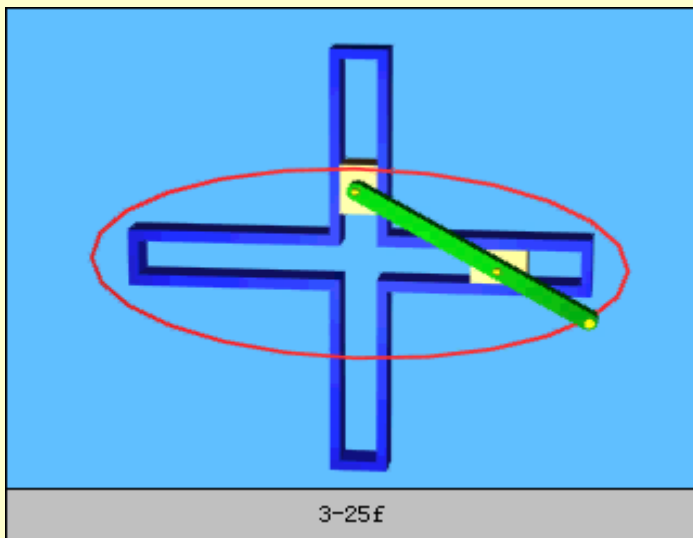
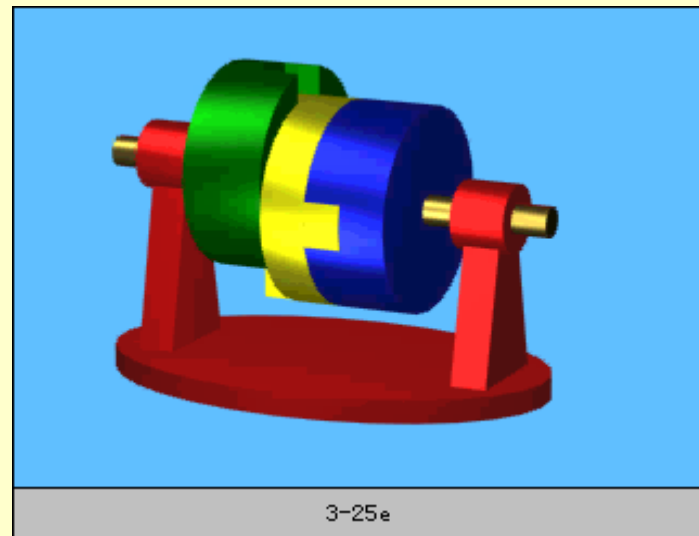
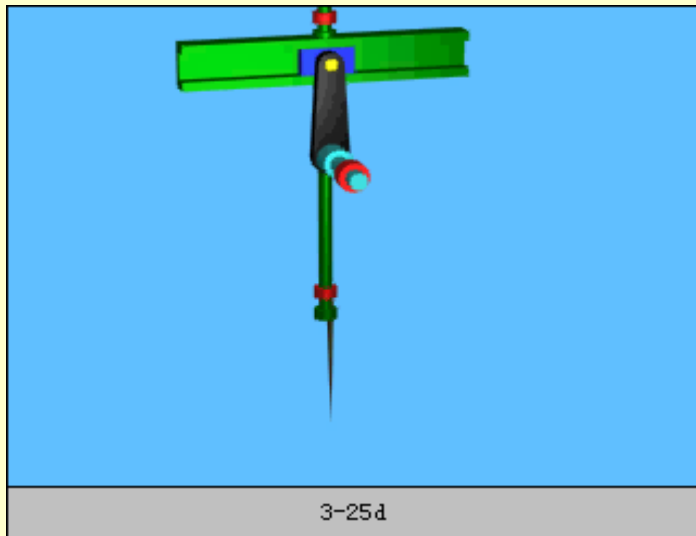
改变机架



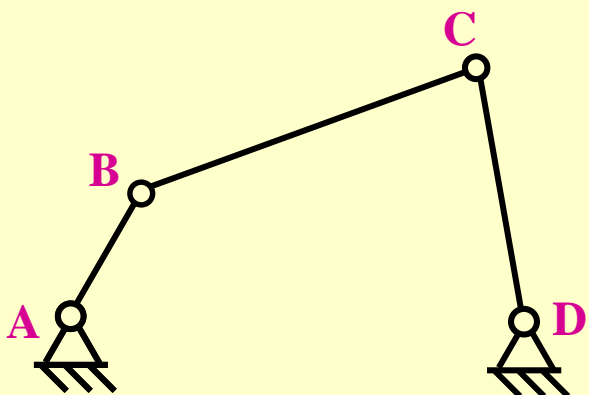
双滑块机构

正弦机构

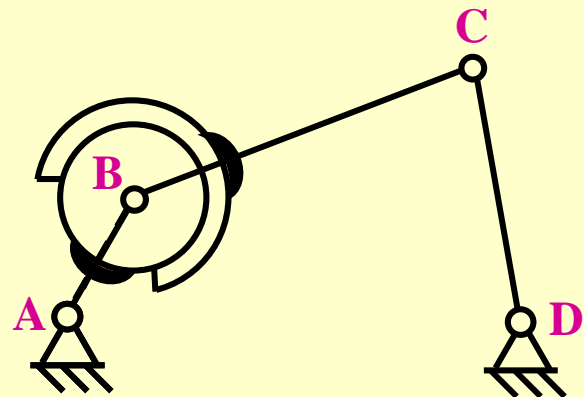
双滑块机构



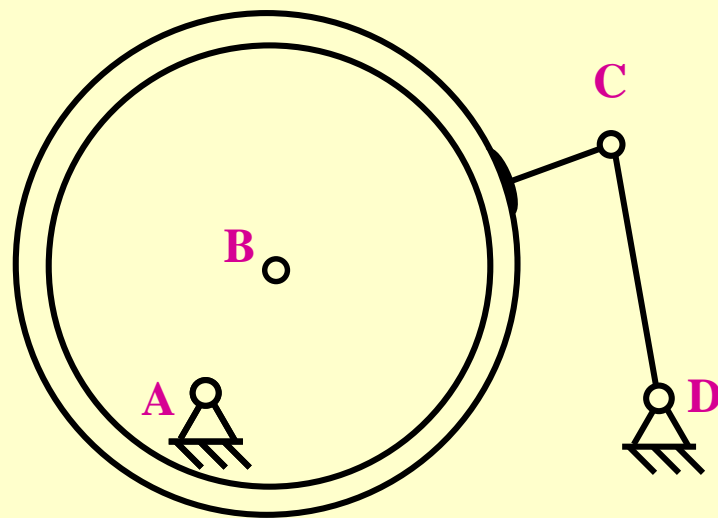
2. 扩大铰链副



扩大铰链副



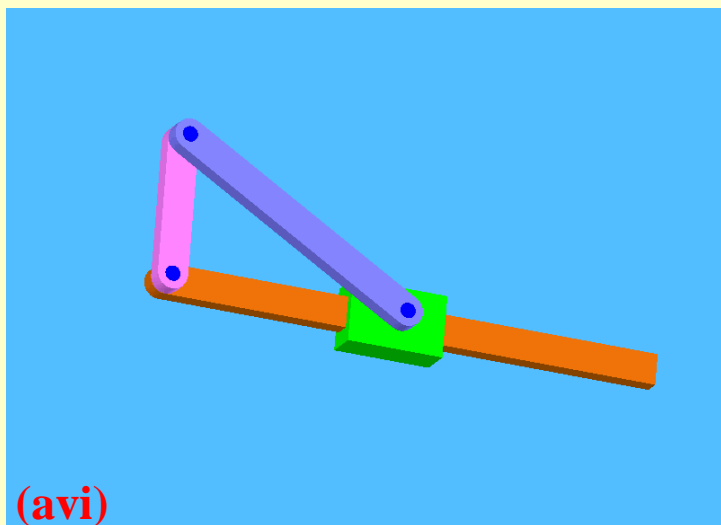
扩大铰链副



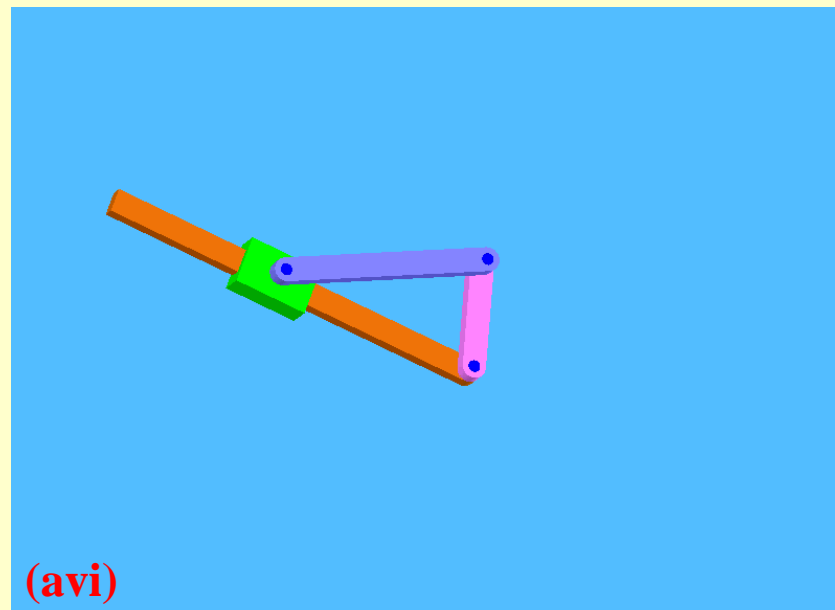
演示

偏心轮机构

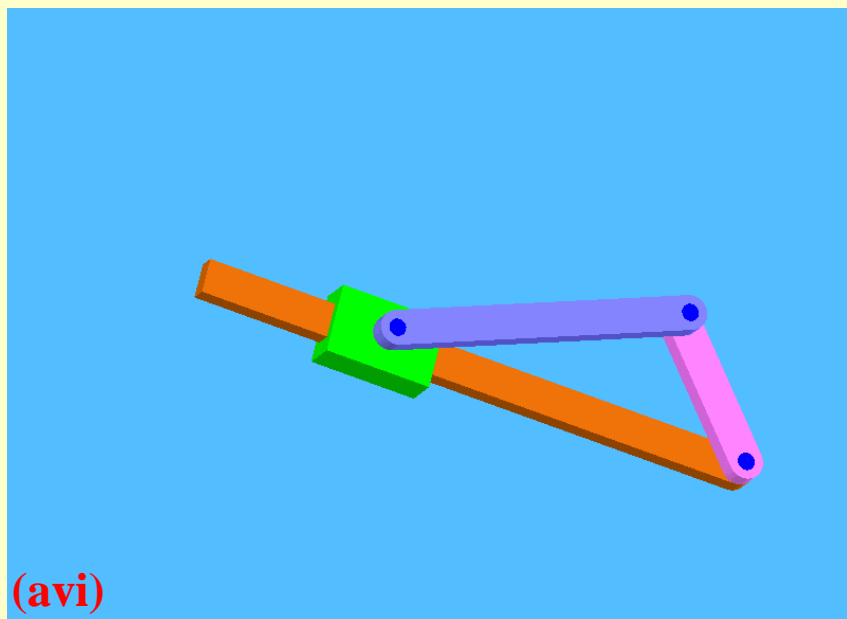
3. 取不同构件作为机架



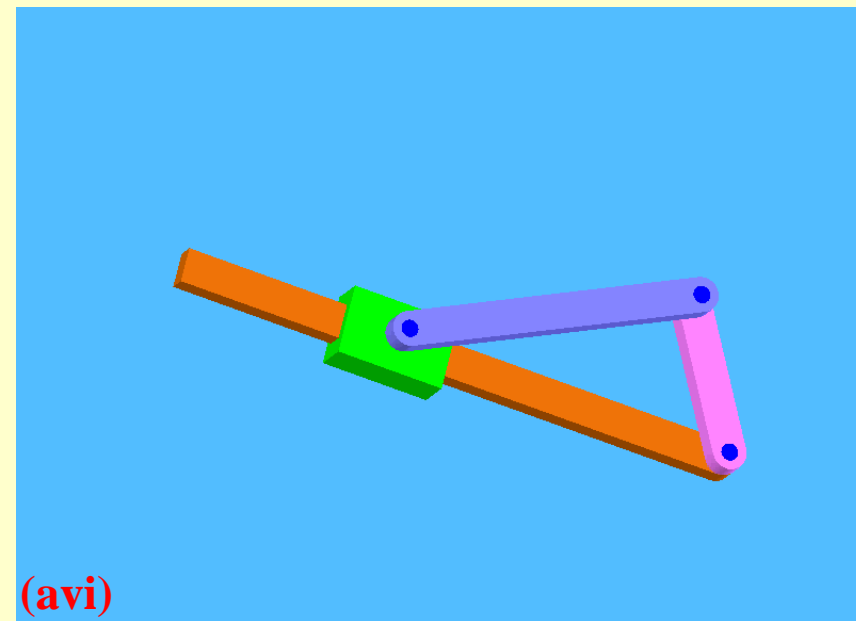
曲柄滑块机构



导杆机构

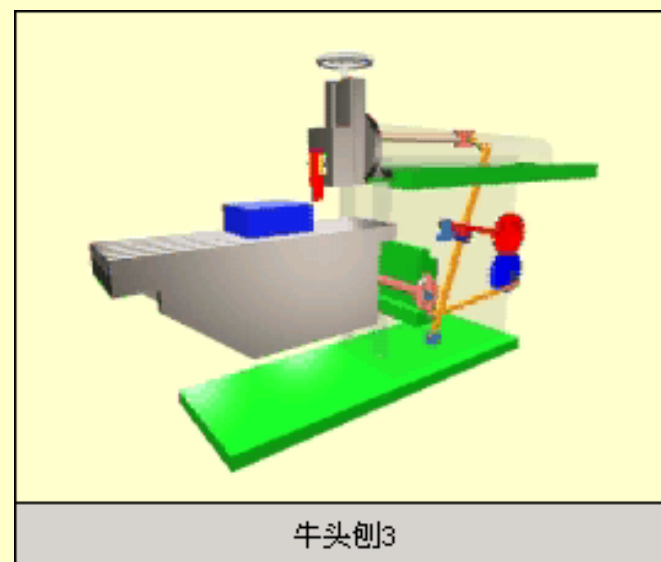
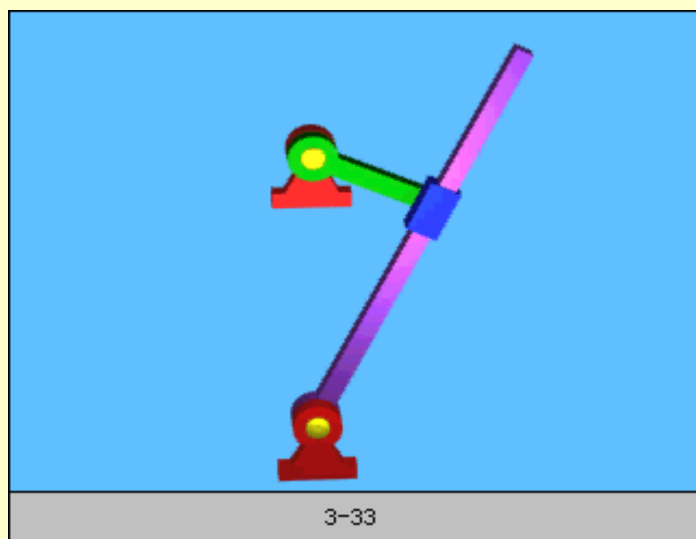
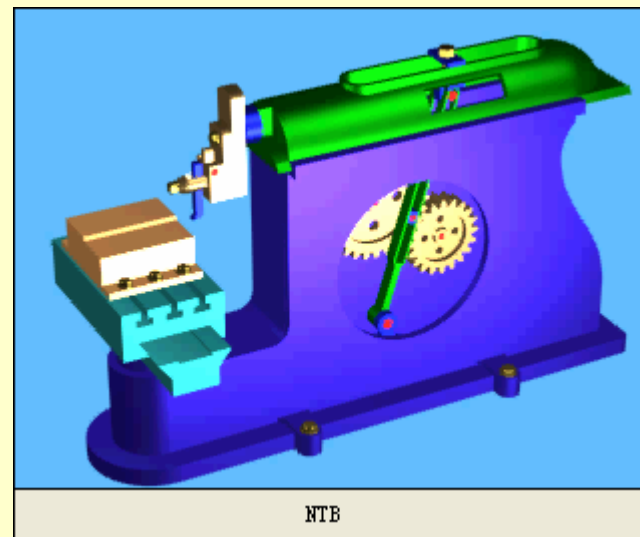
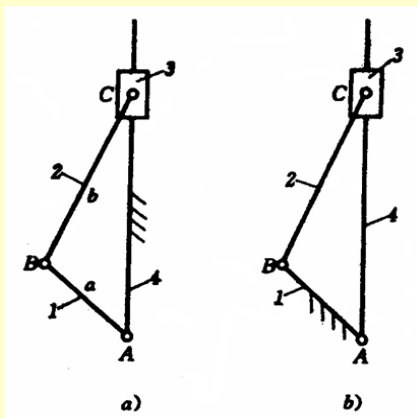


摇块机构



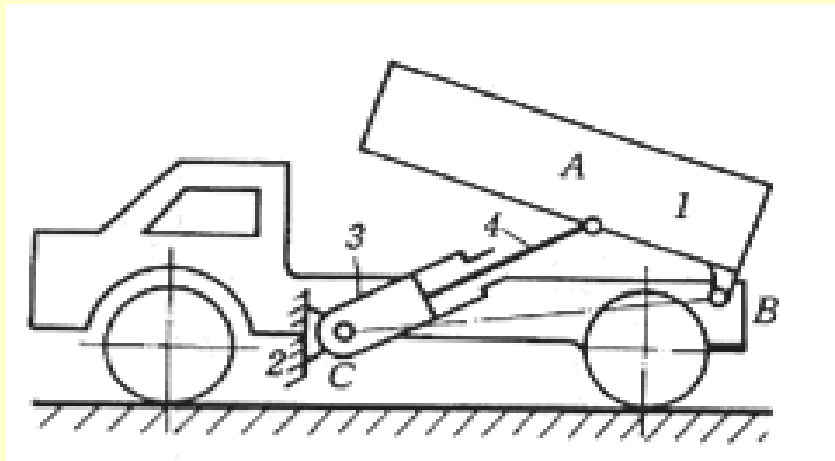
定块机构

(1). 导杆机构 用于牛头刨床

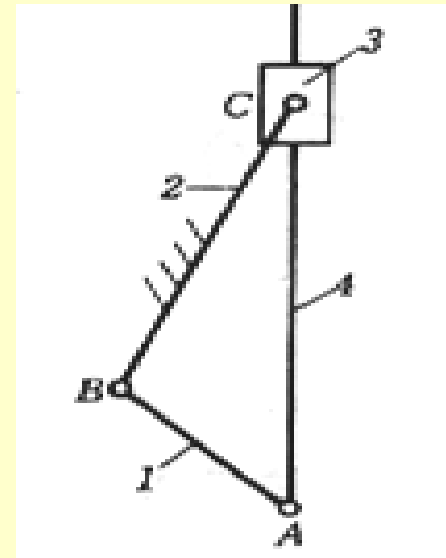


(2). 曲柄摇块机构

卡车自动卸料机构

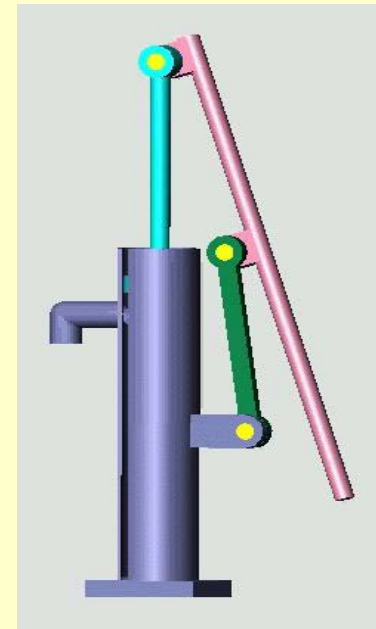
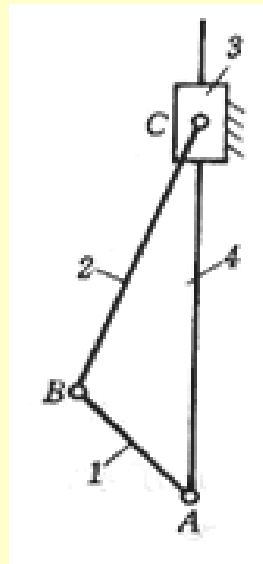


细部



(3). 定块机构

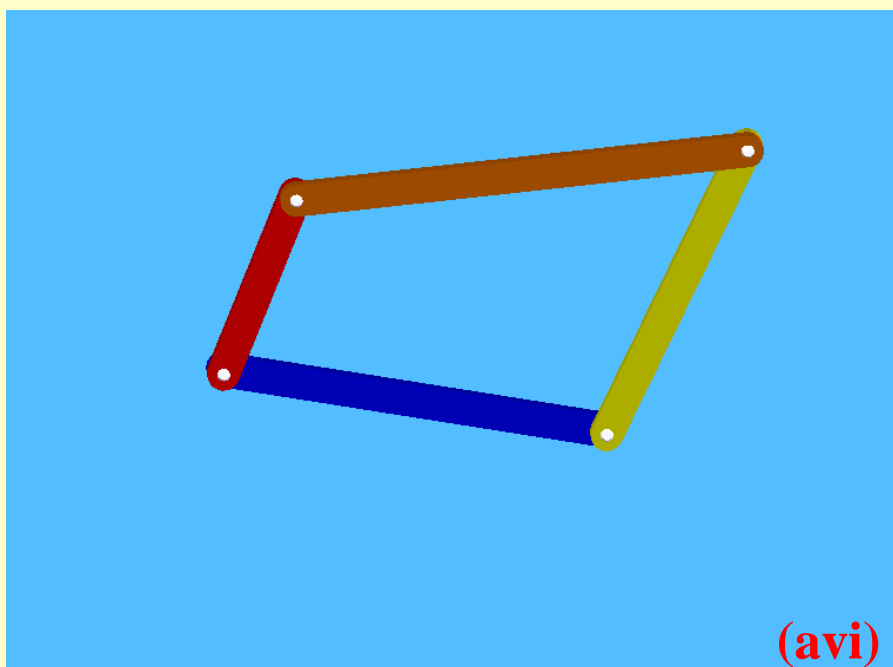
手动泵



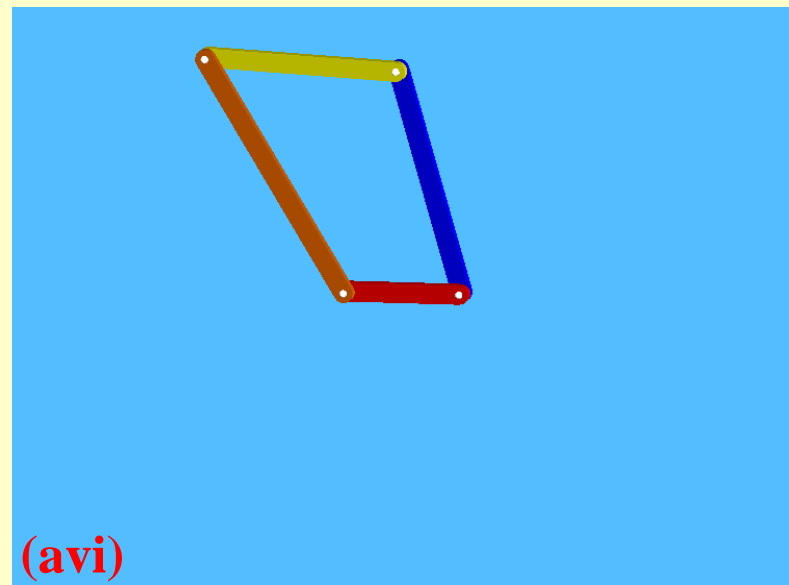
§ 3-4 平面四杆机构的几个特性

一、平面四杆机构有曲柄的条件

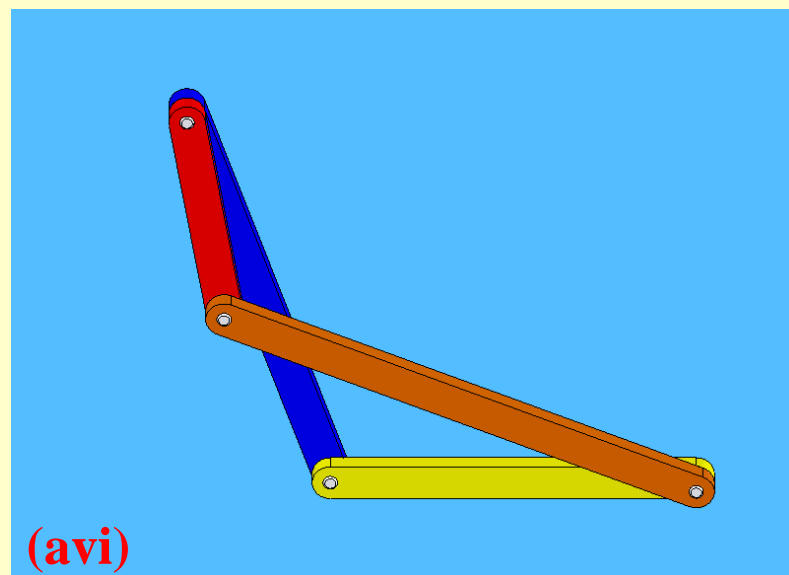
1、铰链四杆机构有曲柄的条件



曲柄摇杆机构

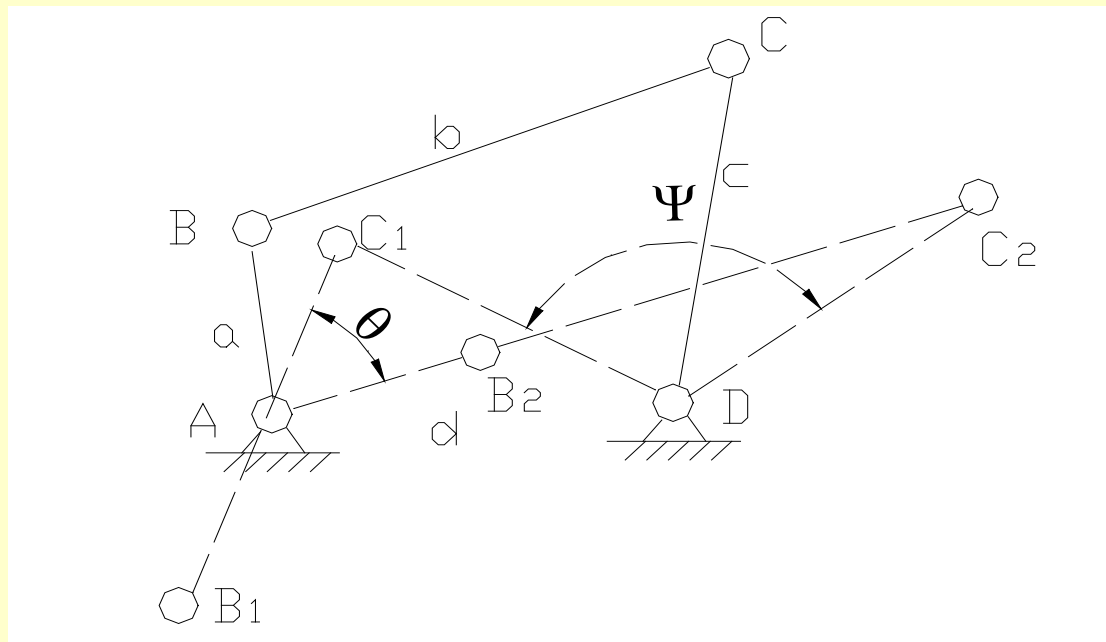


双曲柄机构



双摇杆机构

(1) 证明



在 ∇AC_1D 中 $b - a + c \geq d$ $a + d \leq c + b$

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

在 ∇AC_2D 中 $d + c \geq a + b$ $a + b \leq c + d$

将上式相加得 $a \leq b$ $a \leq c$ $a \leq d$

结论：1. 曲柄为最短杆（最短杆邻边作机架）

2. 最短杆与最长杆之和小于或等于其它两杆之和

曲柄存在条件的推论：

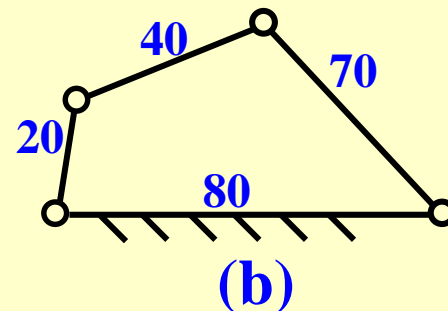
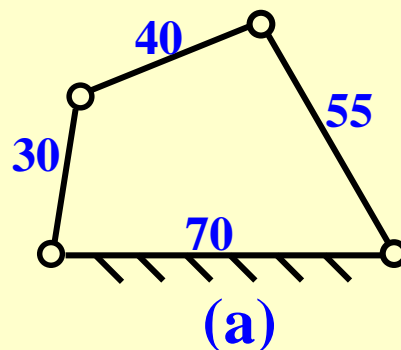
- i) 不满足结论2，最短杆与最长杆之和大于其它两杆之和皆为双摇杆机构
- ii) 满足结论2，最短杆与最长杆之和小于或等于其它两杆之和，则：
 - a) 以最短杆邻边为机架——曲柄摇杆机构；
 - b) 以最短杆为机架——双曲柄机构
 - c) 以最短杆对边为机架—— 双摇杆机构

取不同构件为机架

(2) 应用

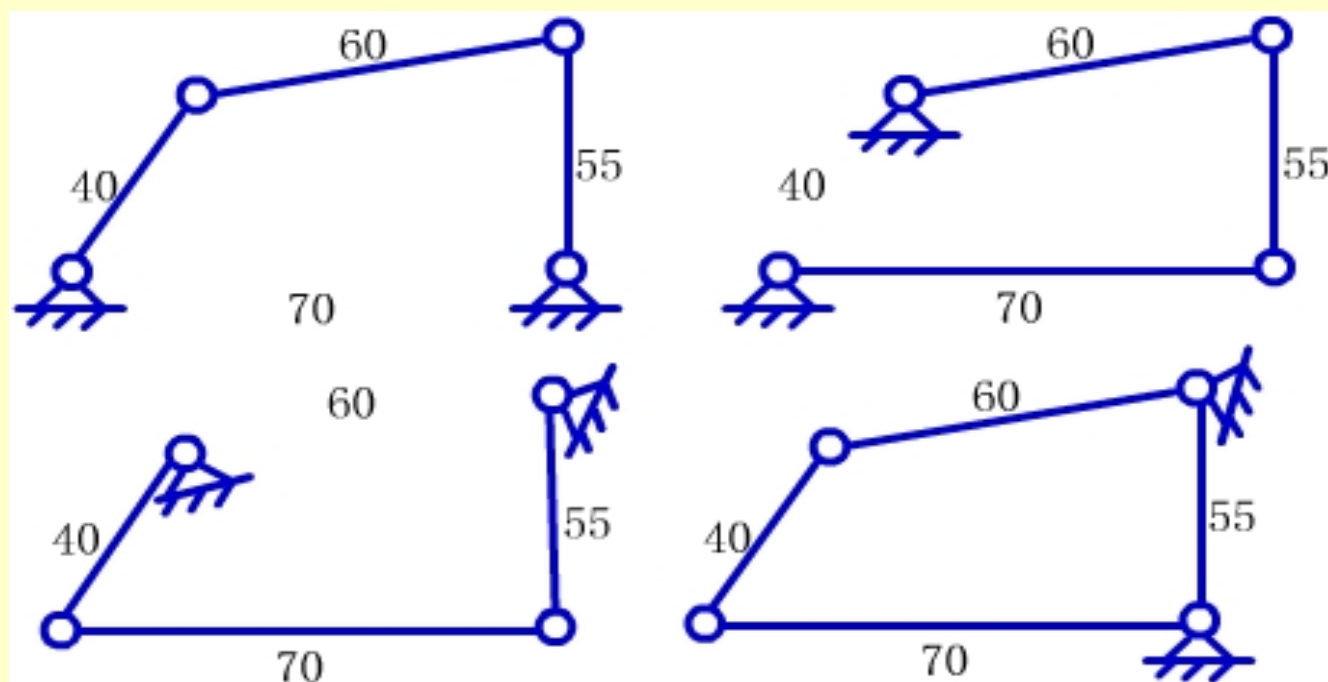
a. 判断机构类型

例：判断图示两机构类型



解：对图(a)，有： $\because 30 + 70 > 40 + 55$
 \therefore 该机构为双摇杆机构。

对图(b)，有： $\because 20 + 80 < 40 + 70$ ，
且最短杆为连架杆，
 \therefore 该机构为曲柄摇杆机构。



若将机架70变为80?

b. 确定构件尺寸

例：若要求该机构为曲柄摇杆机构，问AB杆尺寸应为多少？

解：1. 设AB为最短杆

$$\text{即 } L_{AB} + 110 \leq 60 + 70 \quad \longrightarrow \quad L_{AB} \leq 20$$

2. 设AB为最长杆

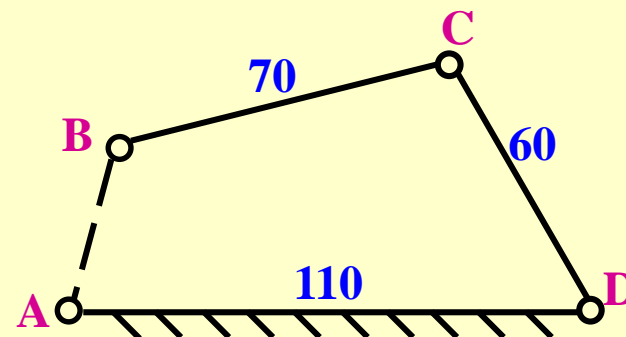
$$\text{即 } L_{AB} + 60 \leq 110 + 70 \quad \longrightarrow \quad L_{AB} \leq 120$$

3. 设AB为之间杆

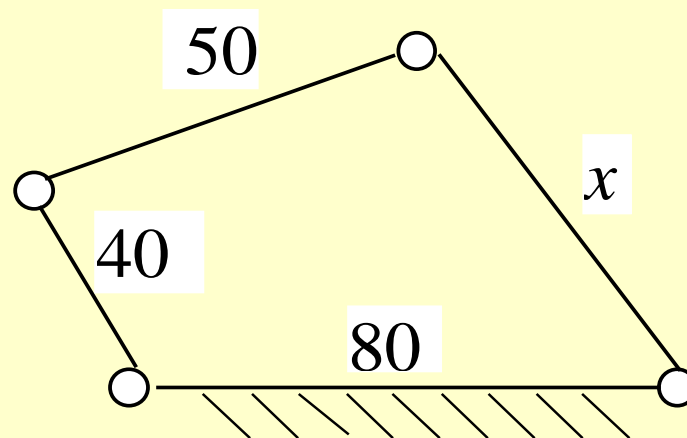
$$\text{即 } 110 + 60 \leq L_{AB} + 70 \quad \longrightarrow \quad 100 \leq L_{AB}$$

所以AB杆的取值范围为：

$$L_{AB} \leq 20, \quad 100 \leq L_{AB} \leq 120$$



例：求图示四杆机构为双摇杆机构时， x 的取值范围。



解：

1. 假设 x 为最短杆长度, 有:

$$80+x > 40+50 \quad 40 \geq x > 10$$

2. 假设 x 为最长杆长度, 有:

$$40+x > 80+50 \quad x > 90$$

3. 假设 x 既非最长也非最短杆长度, 有:

$$40+80 > 50+x \quad 40 \leq x < 70$$

所以, 结果为 $70 > x > 10$ 或 $90 < x < 170$

2. 推广到曲柄滑块机构

a. 偏置式

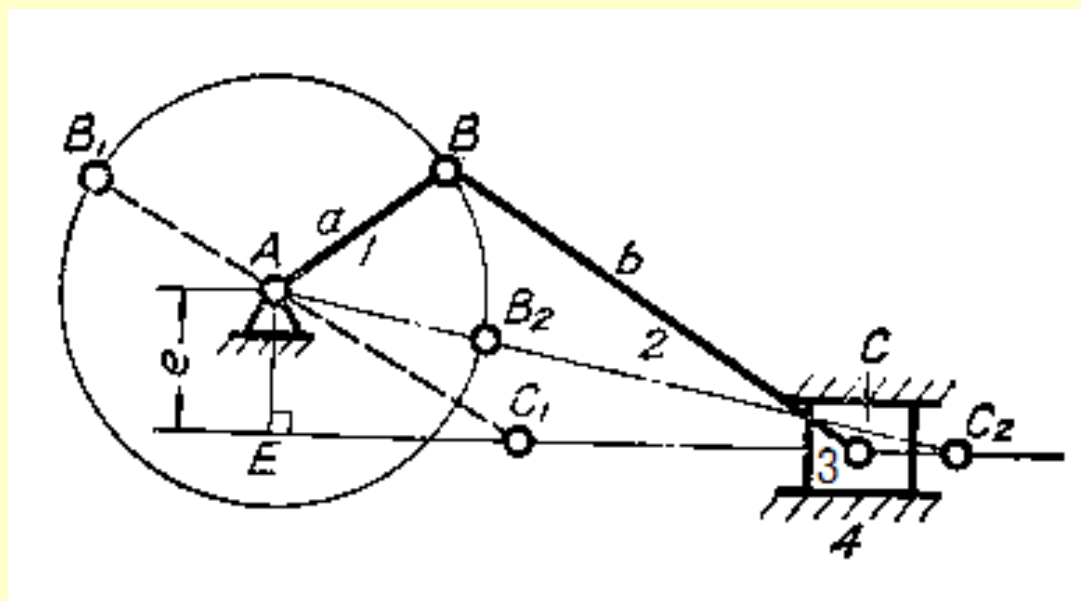
在直角三角形 AC_1E 中, $AC_1 > AE$, 即 $b - a > e$ 。

在直角三角形 AC_2E 中, $AC_2 > AE$, 即 $b + a > e$ 。

故偏置式曲柄滑块机构有曲柄的条件是: $b > a + e$

b. 对心式

对心式曲柄滑块机构有曲柄的条件是: $b > a$

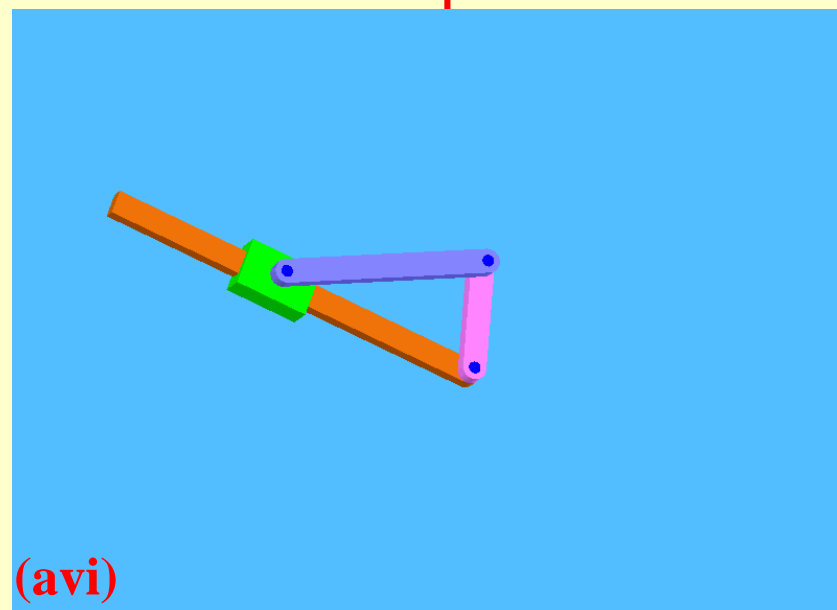
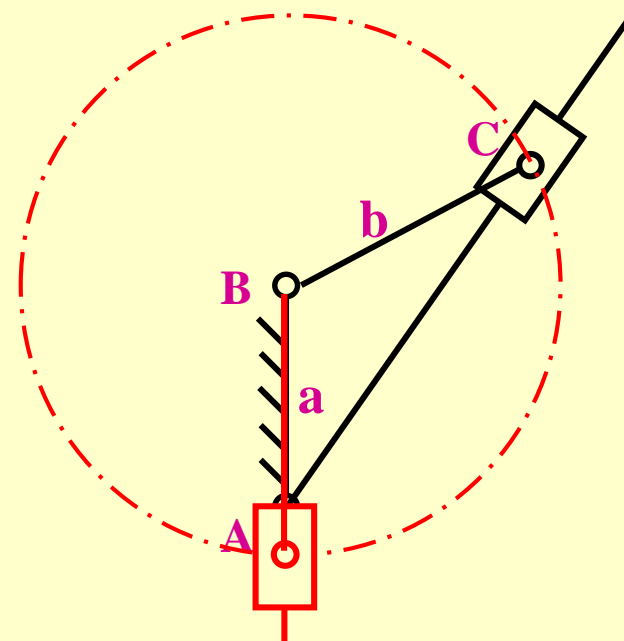
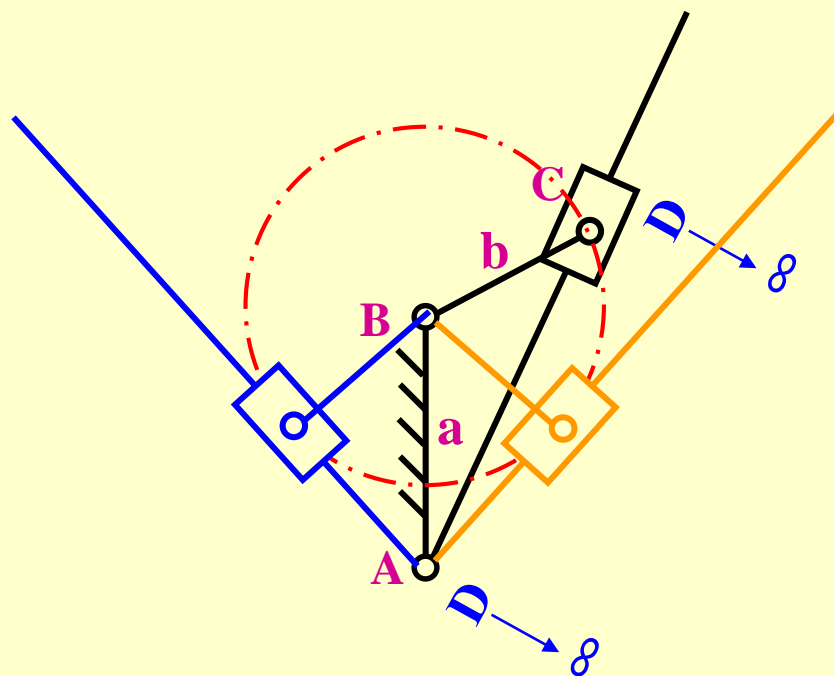


3. 推广到导杆机构

若两连架杆均整周回转，则机架应最短，而 $L_{AD\infty} = L_{CD\infty}$ ，所以有：

$a < b$ 时，转动导杆机构；

$a > b$ 时，摆动导杆机构。



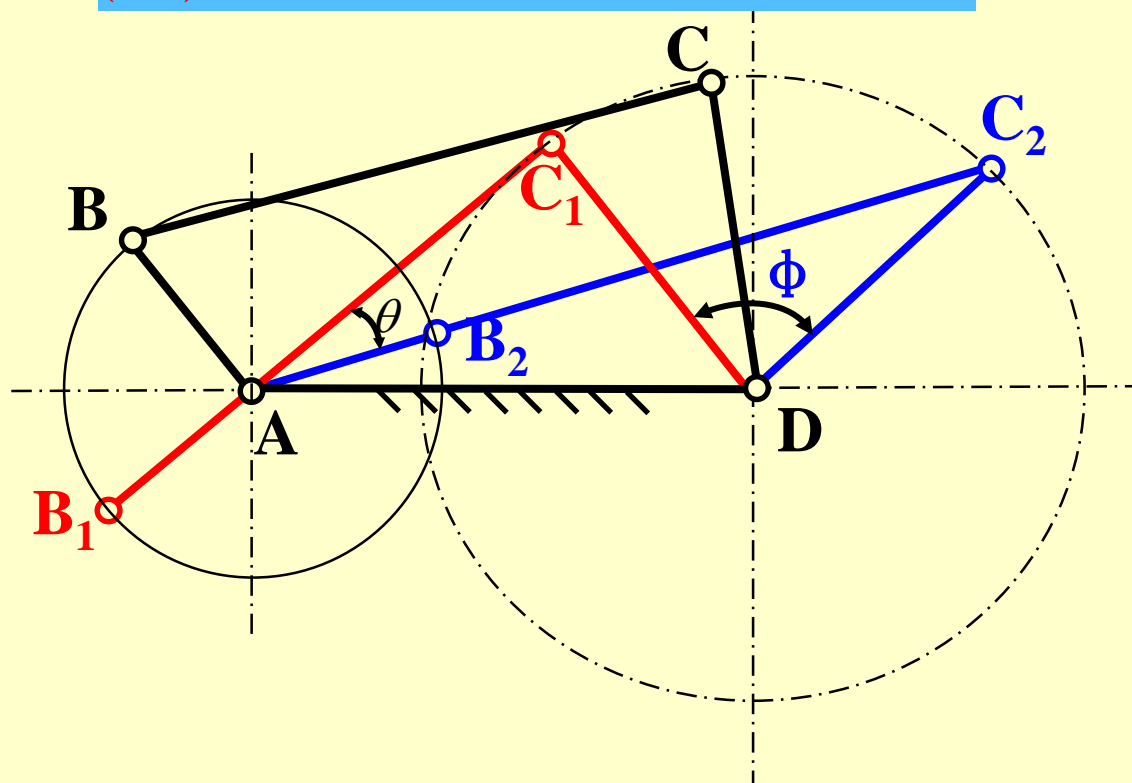
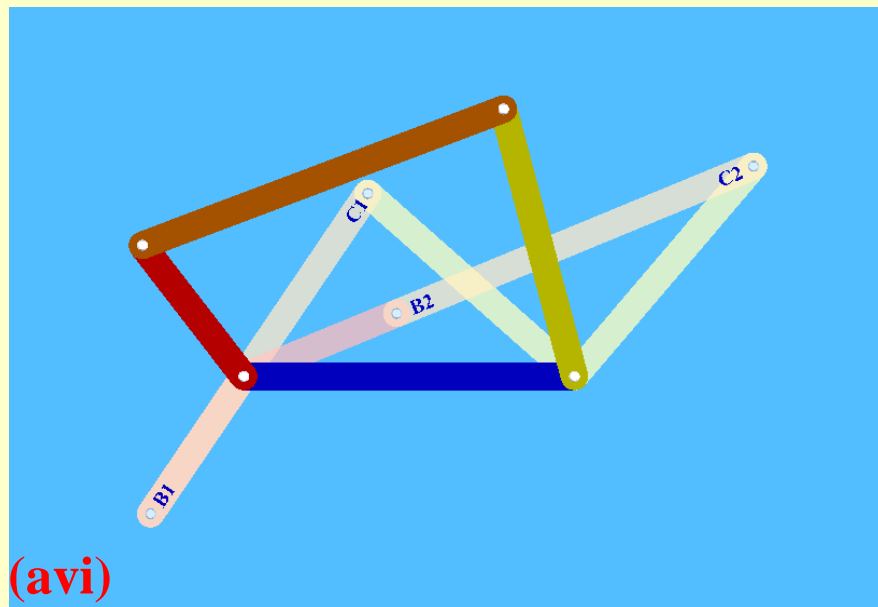
二、急回运动和行程速度变化系数

1. 极限位置与极位夹角

极限位置：当曲柄与连杆共线时，机构中摇杆所处的位置。亦称机构此时的位置称为机构处于极限位置。

极位夹角 θ ：当机构处于两极限位置时，曲柄所在线所夹的锐角。

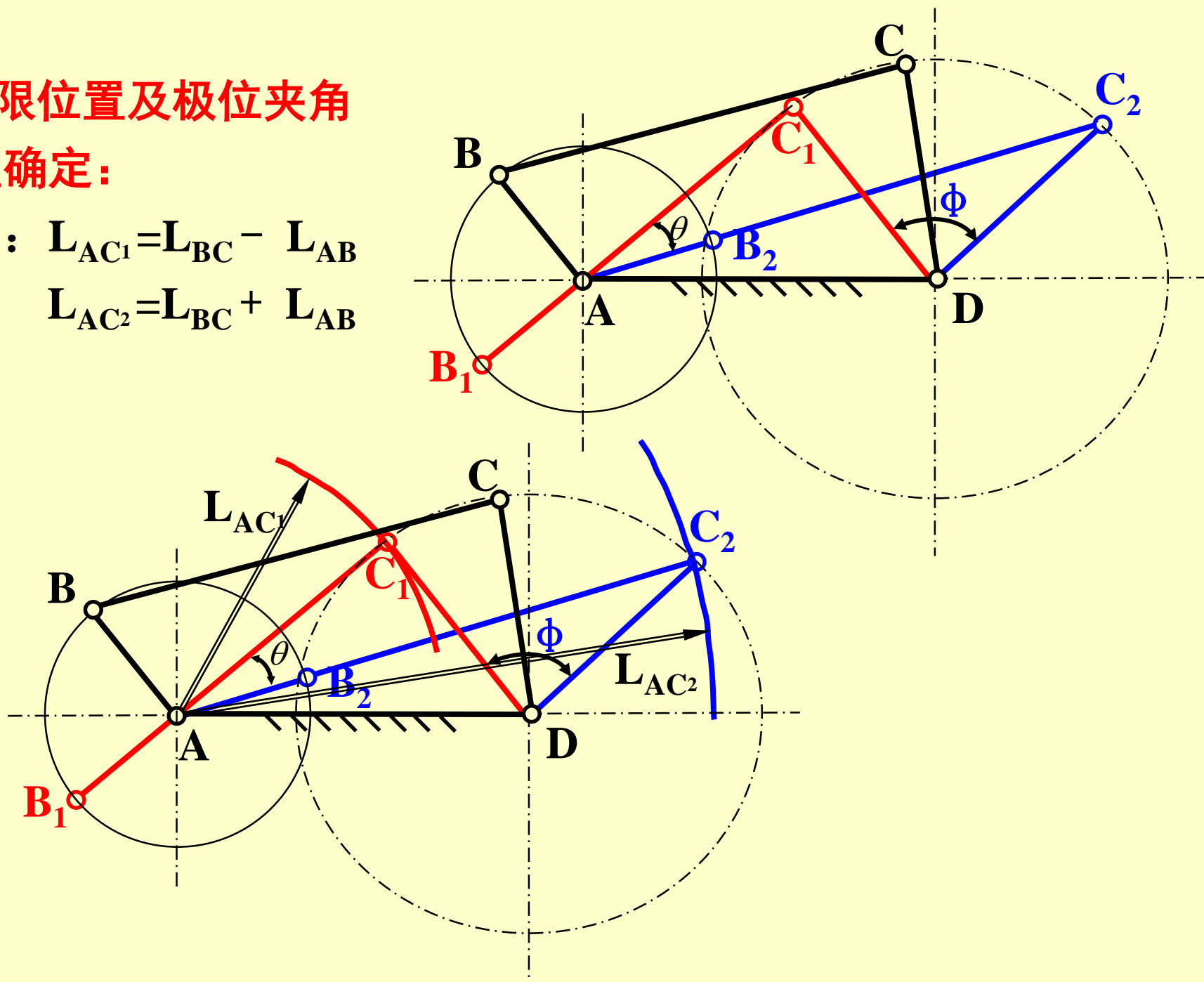
演示



极限位置及极位夹角 的位置确定：

观察知： $L_{AC1} = L_{BC} - L_{AB}$

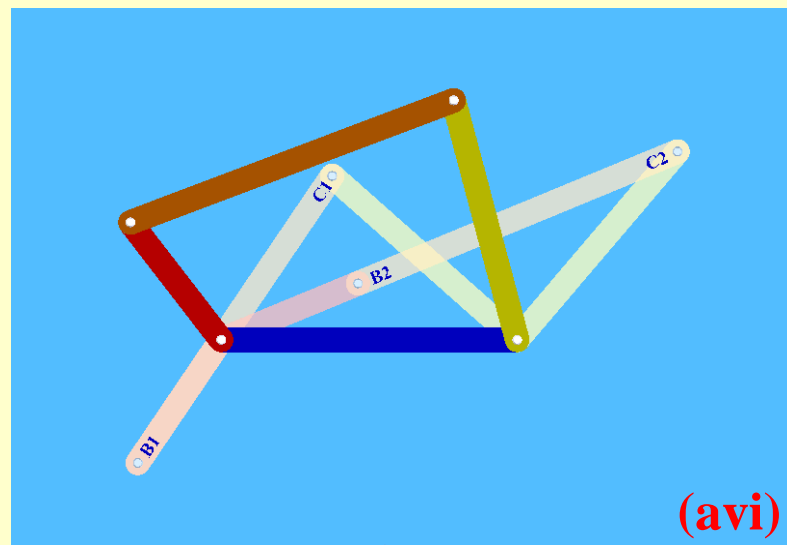
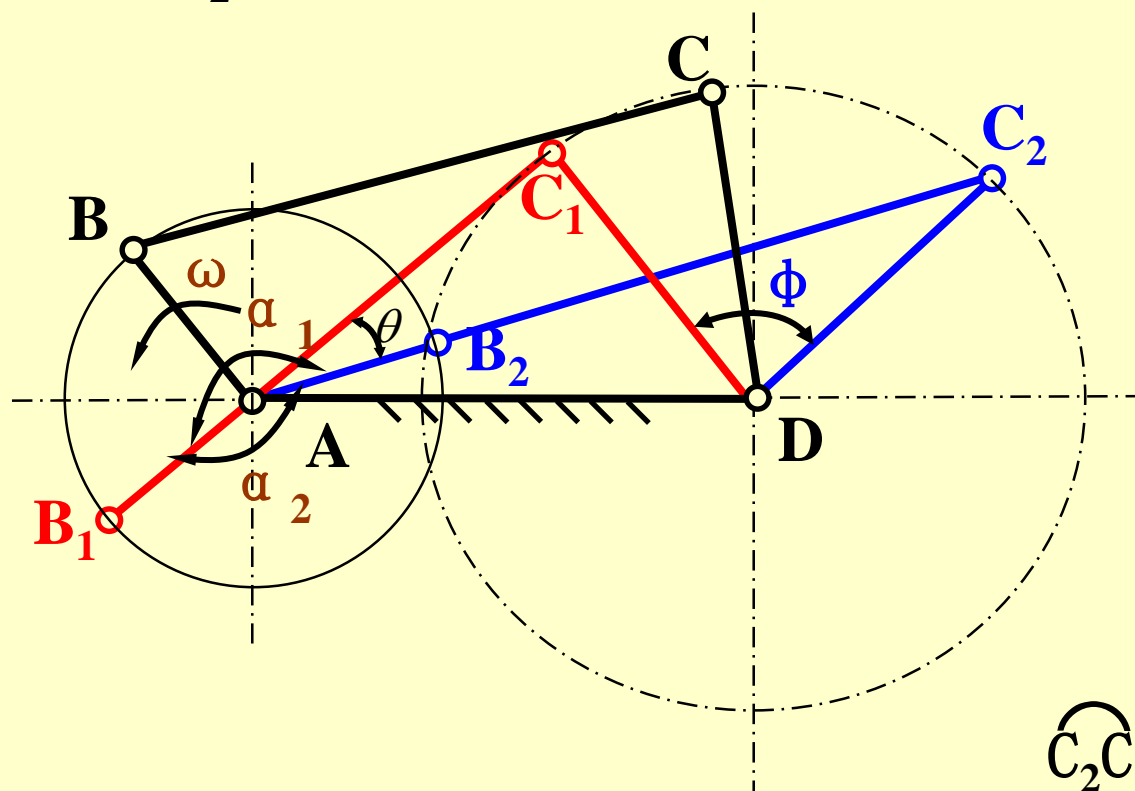
$L_{AC2} = L_{BC} + L_{AB}$



2. 急回特性及行程速度变化系数K

$$\alpha_1 = 180^\circ + \theta$$

$$\alpha_2 = 180^\circ - \theta$$



(avi)

$$\begin{array}{l} B_2 \rightarrow B_1 \xrightarrow{t_1} C_2 \rightarrow C_1 \\ \alpha_1 \quad \overline{v}_1 = \widehat{C_2 C_1} / t_1 \quad \widehat{C_2 C_1} \\ B_1 \rightarrow B_2 \xrightarrow{t_2} C_1 \rightarrow C_2 \\ \alpha_2 \quad \overline{v}_2 = \widehat{C_1 C_2} / t_2 \quad \widehat{C_1 C_2} \end{array}$$

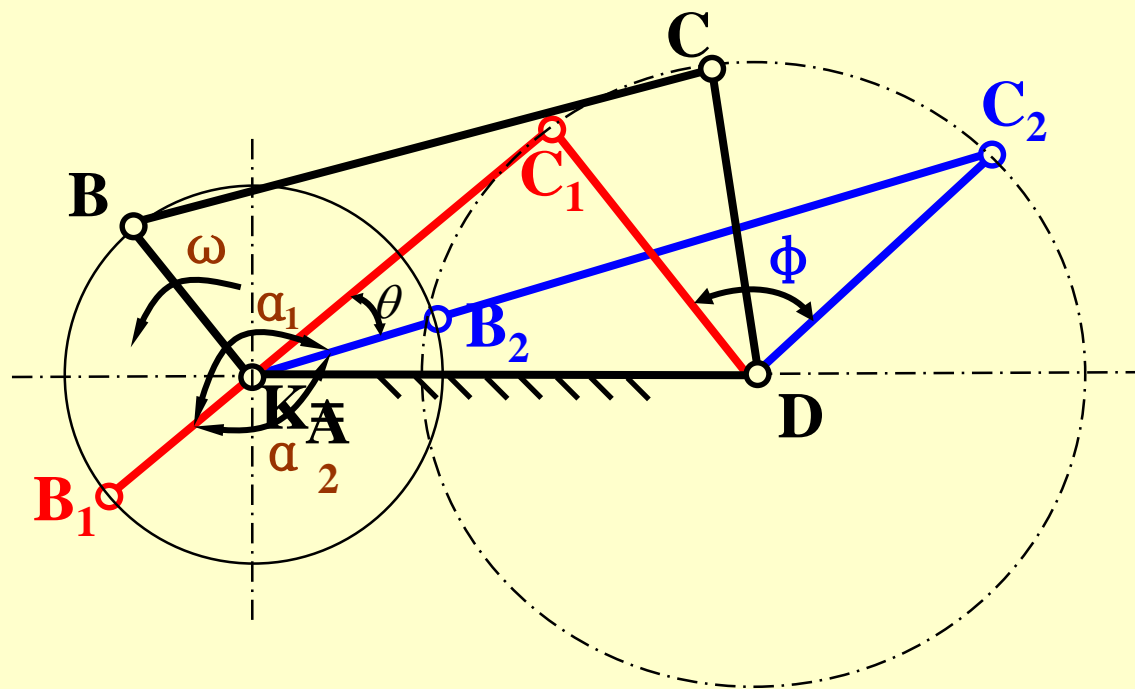
因为 $\omega = C$, 且 $\alpha_1 > \alpha_2$,

$$\widehat{C_2 C_1} = \widehat{C_1 C_2} \quad \text{所以 } t_1 > t_2, \quad \overline{v}_2 > \overline{v}_1$$

急回特性：从动件正反两个行程的平均速度不相等

在曲柄等速回转的情况下，通常将作往复运动从动件速度快慢不同的运动称为急回运动。

$$K = \frac{\text{从动件回程的平均速度(或角速度)}}{\text{从动件去程的平均速度(或角速度)}} = \frac{\overline{V}_2}{\overline{V}_1} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{\frac{\alpha_1}{\omega}}{\frac{\alpha_2}{\omega}} = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta}$$



$$\begin{array}{lcl} B_2 \rightarrow B_1 & \xrightarrow{t_1} & C_2 \rightarrow C_1 \\ \alpha_1 & v_1 = \frac{\widehat{C_2 C_1}}{t_1} & \widehat{C_2 C_1} \\ B_1 \rightarrow B_2 & \xrightarrow{t_2} & C_1 \rightarrow C_2 \\ \alpha_2 & v_2 = \frac{\widehat{C_1 C_2}}{t_2} & \widehat{C_1 C_2} \end{array}$$

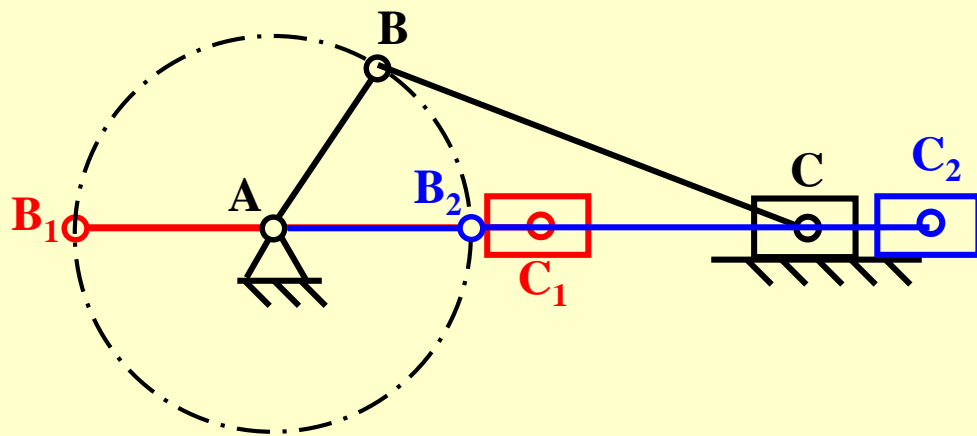
3. 推广

(1) 推广到曲柄滑块机构

● 对心式曲柄滑块机构

$$\theta = 0$$

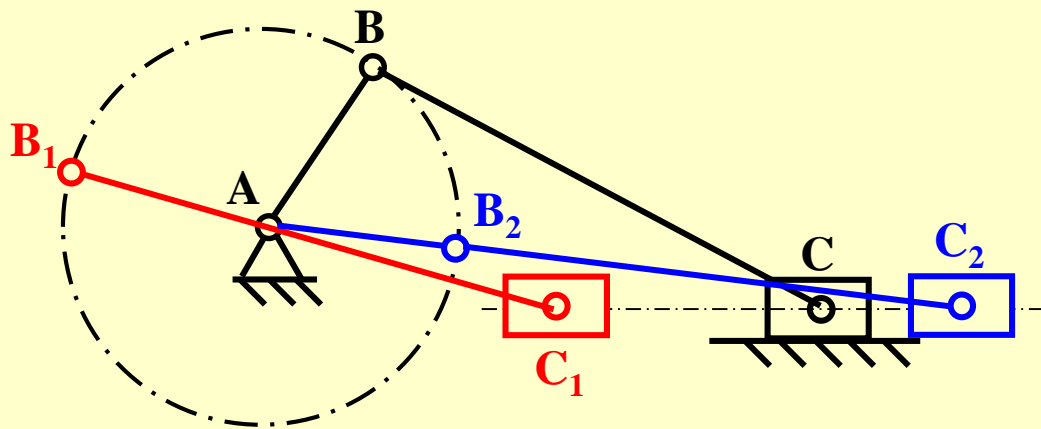
结论：对心式曲柄滑块机构无急回特性。



● 偏置式曲柄滑块机构

$$\theta \neq 0$$

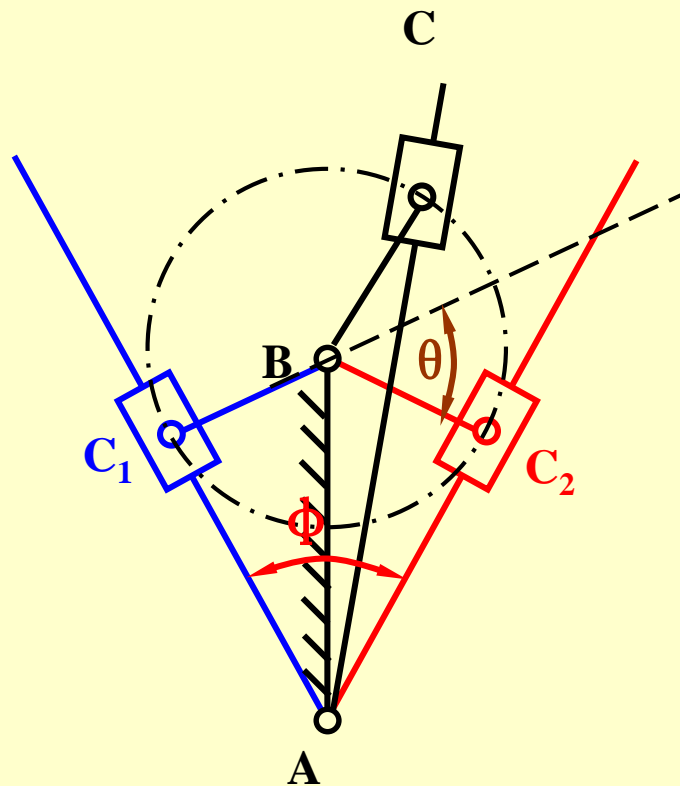
结论：偏置式曲柄滑块机构有急回特性。



(2) 推广到导杆机构

结论：有急回特性，且极位夹角等于摆杆摆角，即

$$\theta = \phi$$



三、压力角和传动角

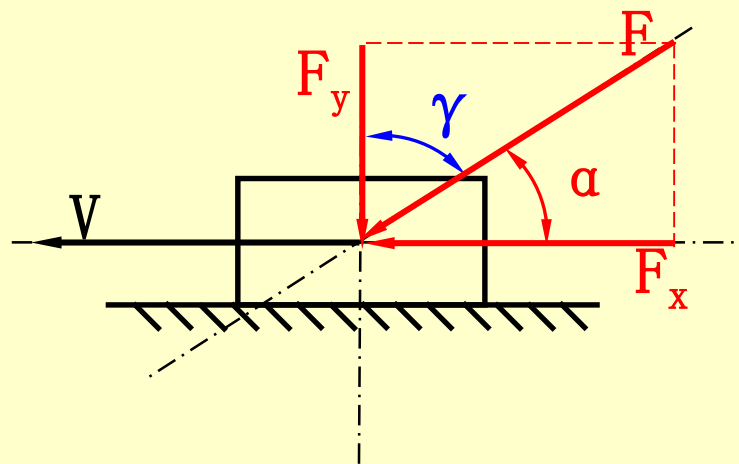
1. 定义

压力角 α ：力 \mathbf{F} 的作用线与力作用点绝对速度 \mathbf{V} 所夹的锐角

$$F_x = F * \cos \alpha$$

传动角 γ ：压力角的余角

压力角 α 是衡量机构传力性能的一个重要指标。



2. 曲柄摇杆机构的压力角与传动角

α : 连杆对从动件力作用线与从动件上被作用点绝对速度方向线所夹锐角

因为: $\gamma = 90^\circ - \alpha$

所以: 当 $\angle BCD < 90^\circ$ 时, $\gamma = \angle BCD$

当 $\angle BCD > 90^\circ$ 时, $\gamma = 180^\circ - \angle BCD$

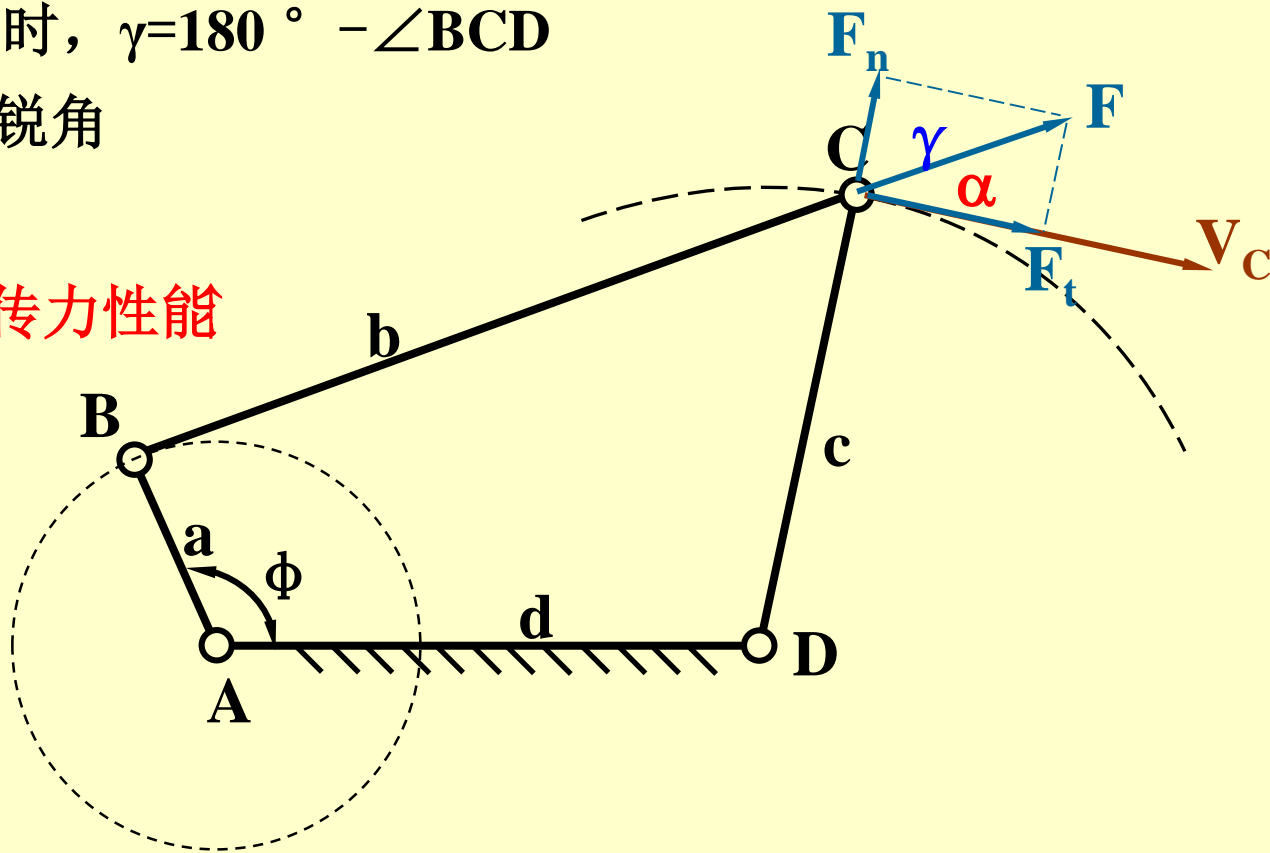
连杆线与从动杆线所夹锐角

3. 意义

显然: $\alpha \rightarrow \gamma \uparrow \rightarrow F \uparrow \rightarrow$ 传力性能

往往将 γ 作为度量连杆机构传力性能的一个重要指标。

显然: $\gamma = 90^\circ$ 时最好。



4. γ' 的大小(连杆与摇杆之夹角)

由 $\triangle BCD$: $f^2 = c^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos \gamma'$

$\triangle ABD$: $f^2 = a^2 + d^2 - 2ad \cdot \cos \varphi$

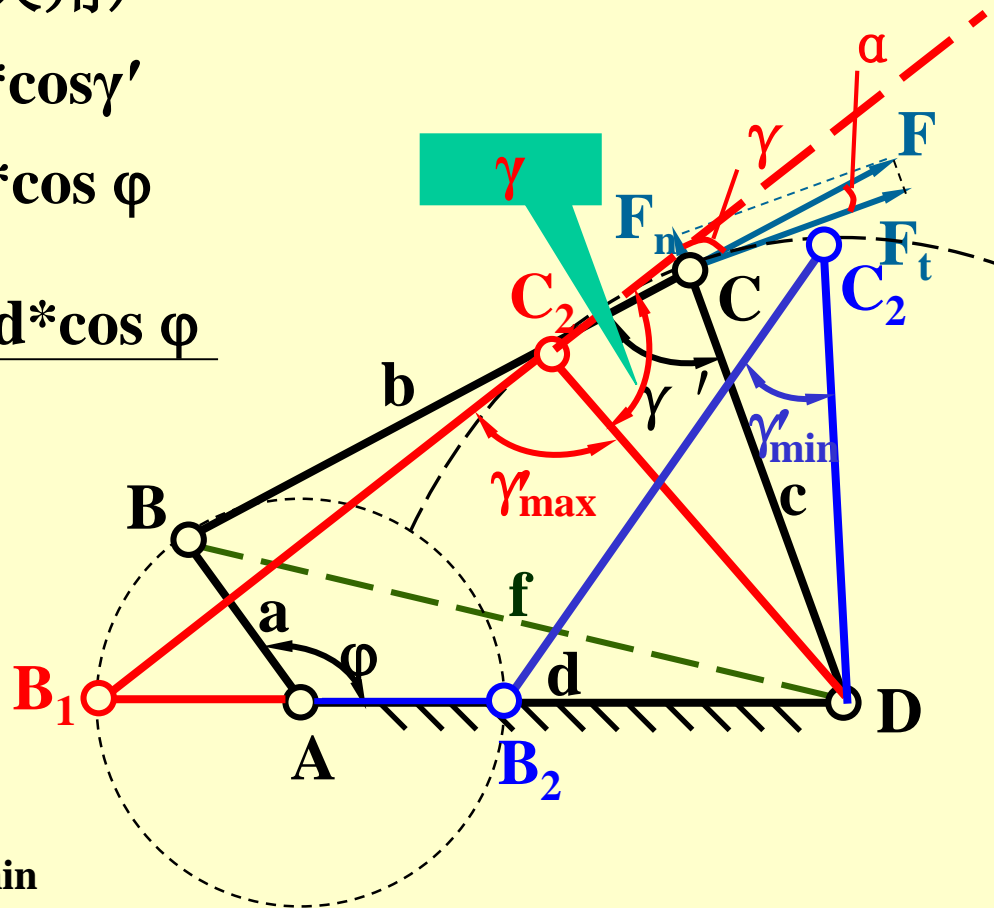
$$\cos \gamma' = \frac{b^2 + c^2 - a^2 - d^2 + 2ad \cdot \cos \varphi}{2bc}$$

显然: $\varphi = 0^\circ$ 时, 有 γ'_{\min}

$\varphi = 180^\circ$ 时, 有 γ'_{\max}

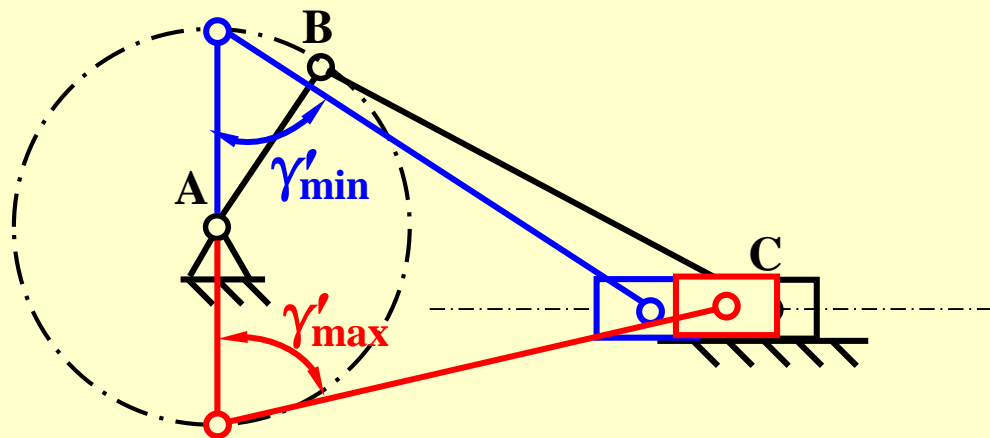
5. γ_{\min} 的确定

$$\gamma_{\min} = \text{Min}[180^\circ - \gamma'_{\max}, \gamma'_{\min}]$$



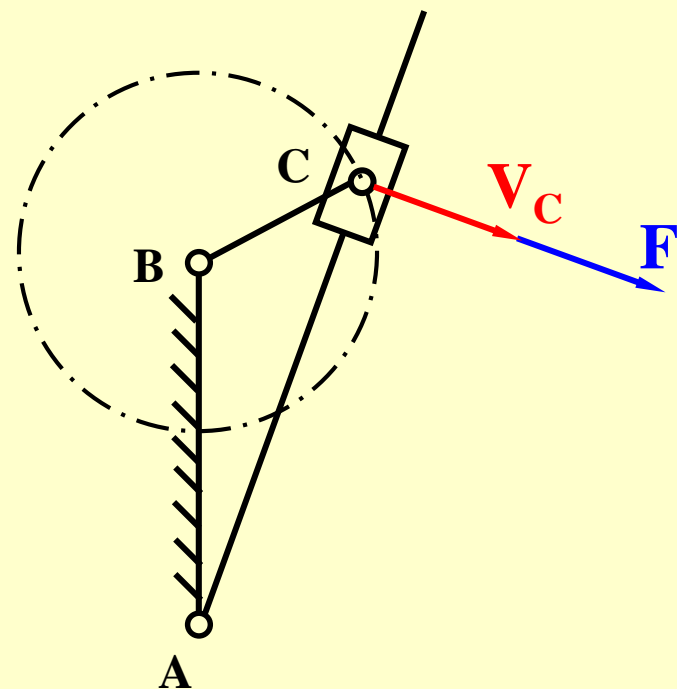
结论: 最小传动角出现在曲柄与机架共线或重合处。

6. 曲柄滑块机构最小传动角的确定



7. 导杆机构最小传动角的确定

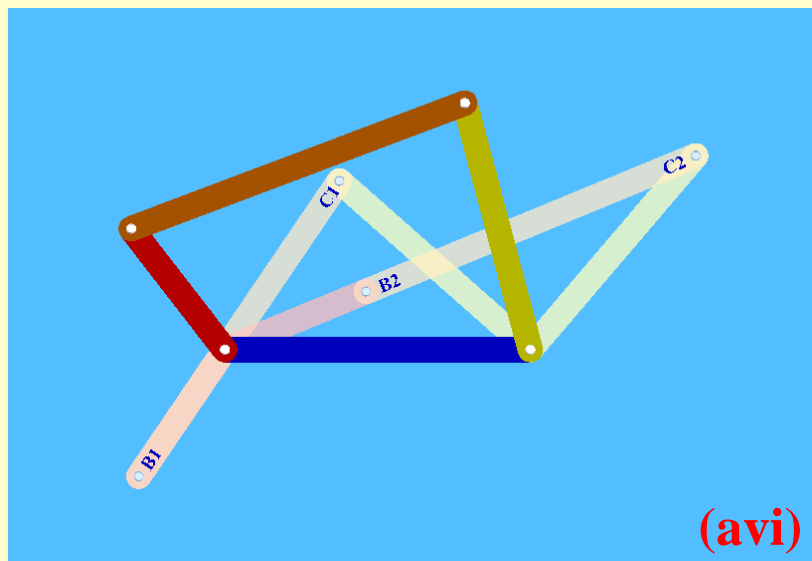
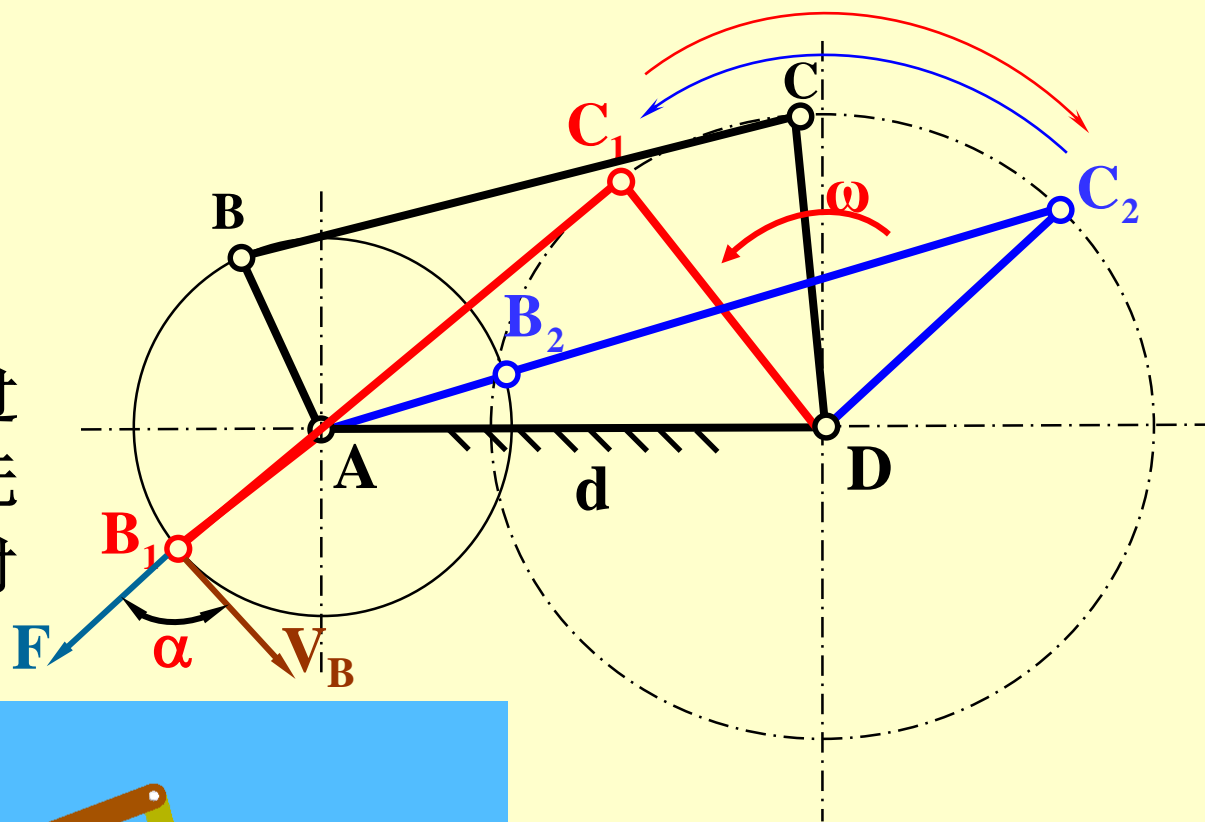
结论：导杆机构传动角 $\gamma_{\text{衡}}$ 等于 90° ，
即压力角 $\alpha_{\text{衡}}$ 等于 0° 。



四、机构的死点位置

1. 定义

当 $\gamma = 0^\circ$ ($\alpha = 90^\circ$)时,
 $F_x = F * \cos\alpha = 0$, 即**主动连
杆**作用在从动件上的力通过
了从动件的回转中心, 将无法
使从动件产生运动, 此时
称机构处于死点位置。



(avi)

2. 死点位置的确定

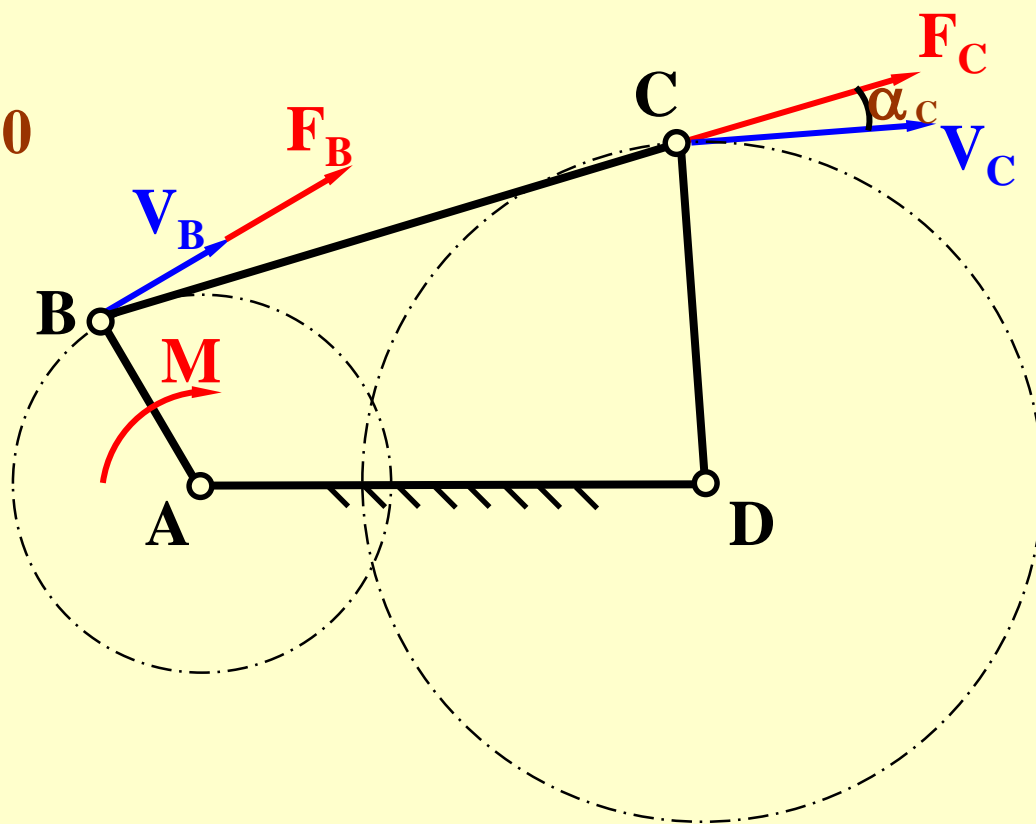
在四杆机构中当从动件与连杆共线或重合时，机构处于死点位置。

● 曲柄摇杆机构中曲柄为主动件时

$$F_B = \frac{M}{L_{AB}}$$

$$\alpha = 0$$

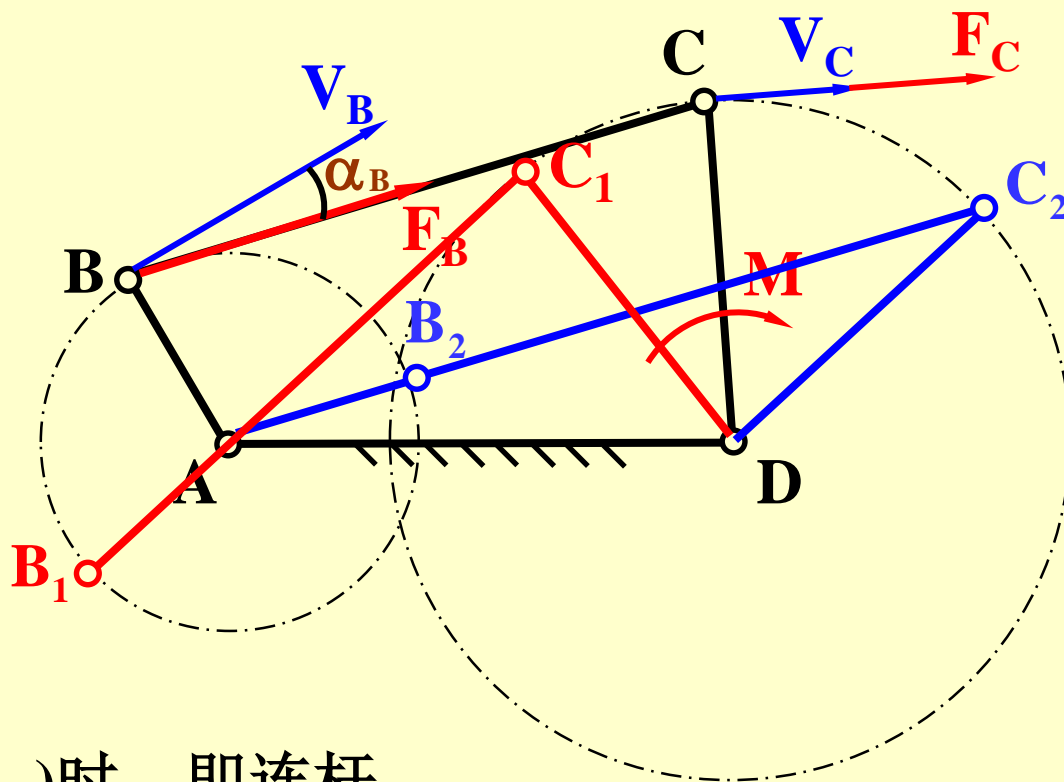
结论：无死点位置存在



● 曲柄摇杆机构中摇杆为主动件时

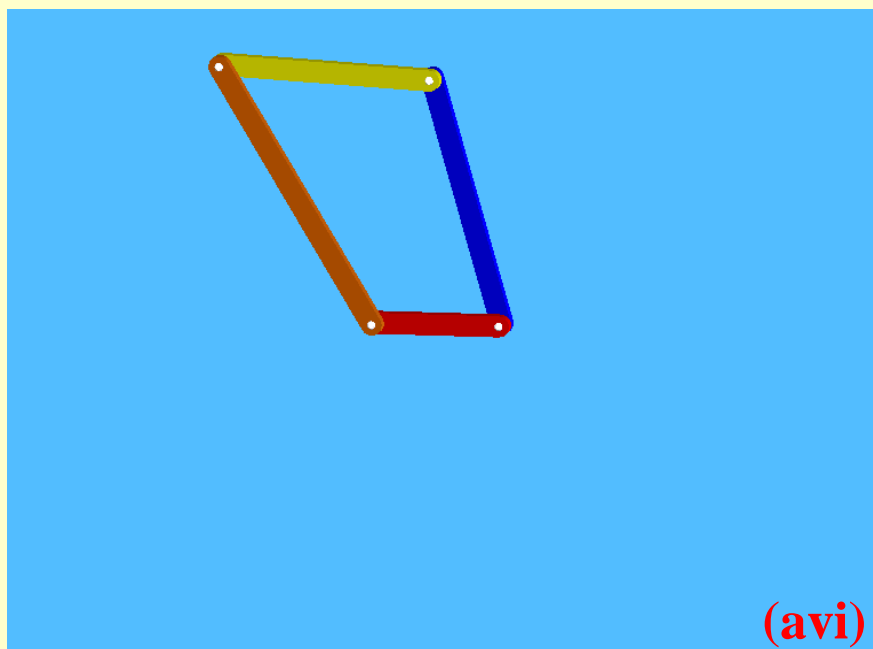
$$F_C = \frac{M}{L_{CD}}$$

$$\alpha_c \equiv 0$$

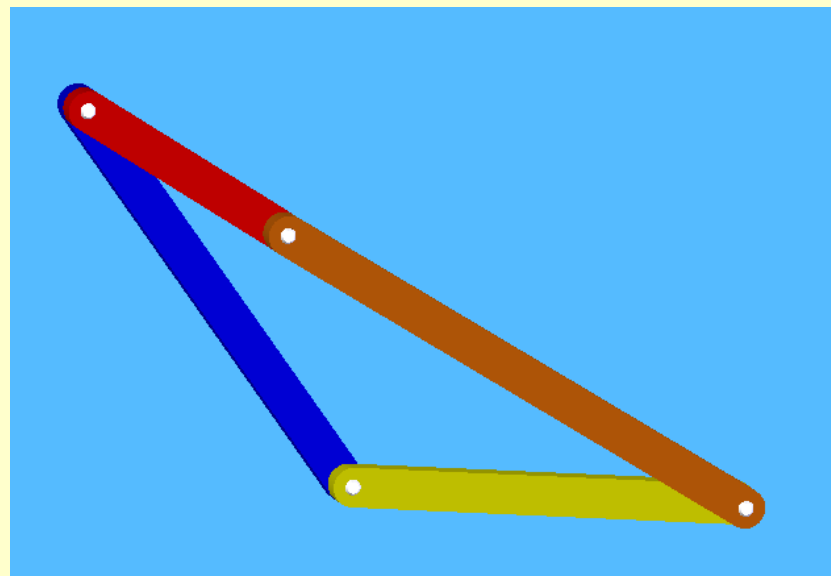
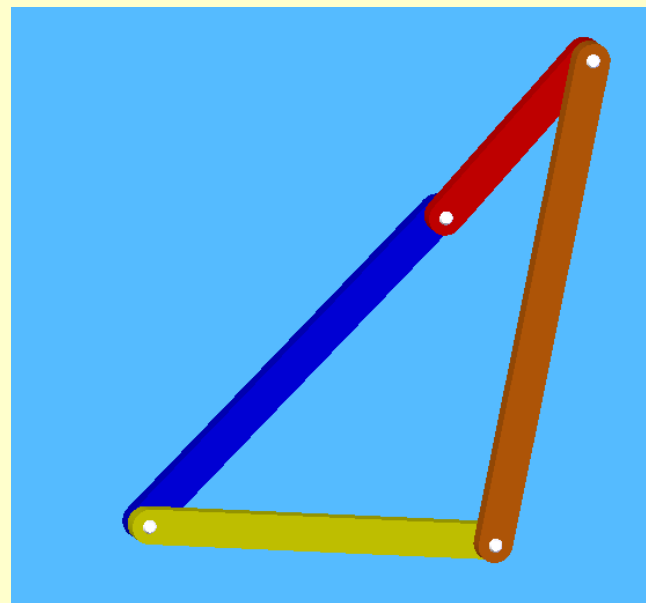


结论： 当 $\alpha = 90^\circ$ ($\gamma = 0^\circ$) 时，即连杆与曲柄出现共线和重合时，机构出现死点位置。

● 双曲柄机构和双摇杆机构



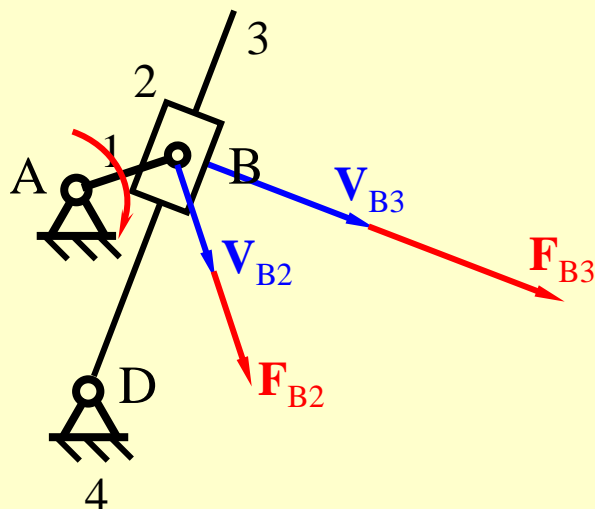
结论：双曲柄机构无论哪个曲柄做原动件，都无死点位置存在；
双摇杆机构无论哪个摇杆做原动件，都有死点位置存在；



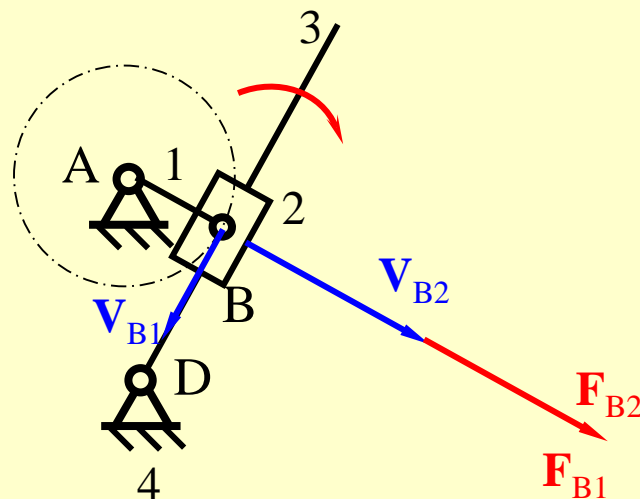
●导杆机构（曲柄为主动件）

$$\alpha_{B2} \equiv 0$$

$$\alpha_{B3} \equiv 0$$



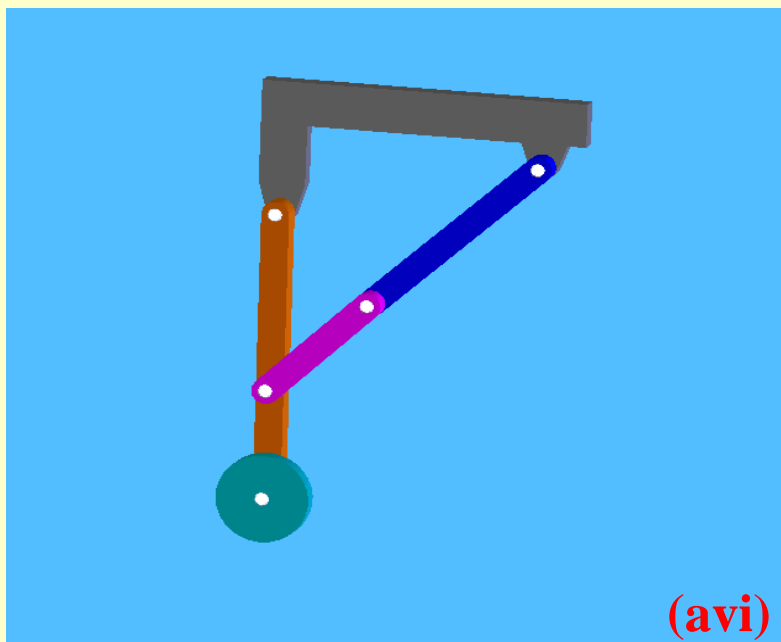
●导杆机构（摇杆为主动件）



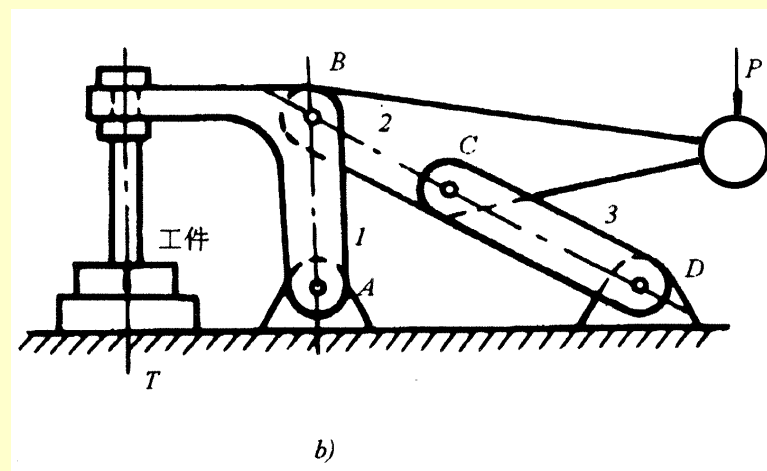
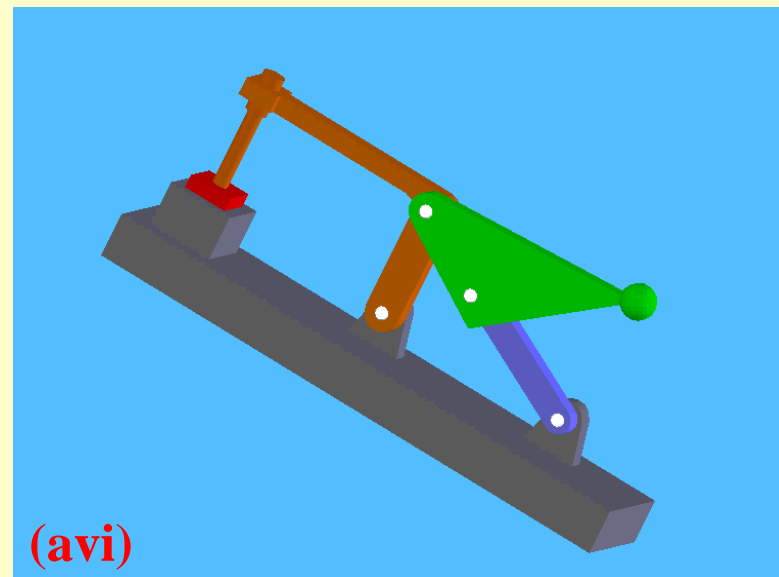
机构是否出现死点的判断：

若原动件作往复运动，则一定会出现死点位置；其处于连杆与从动件共线和重合之处。

3. 死点位置的应用



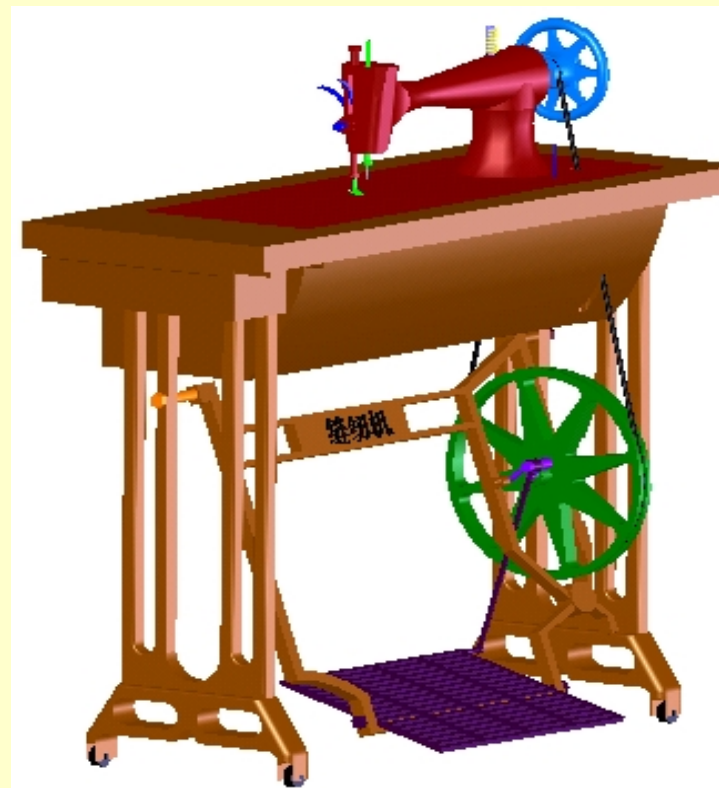
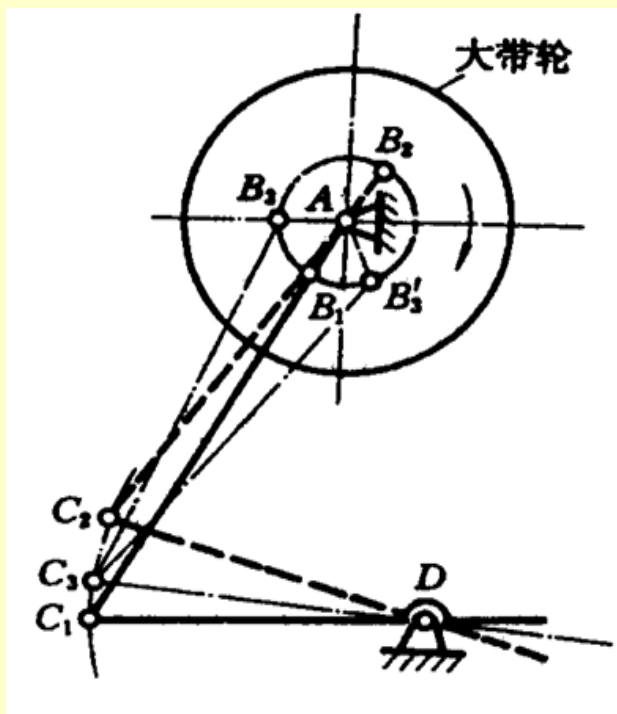
飞机

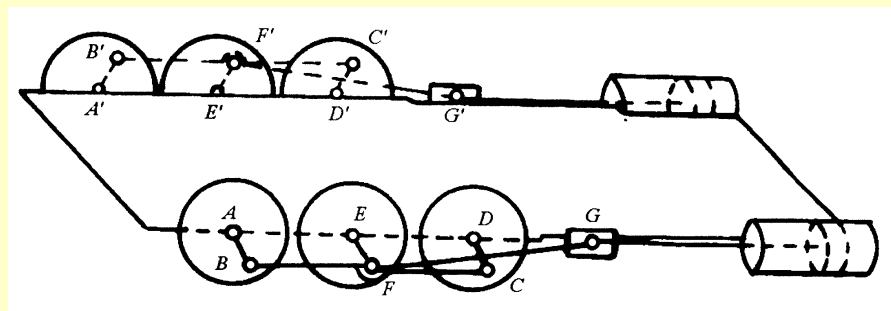
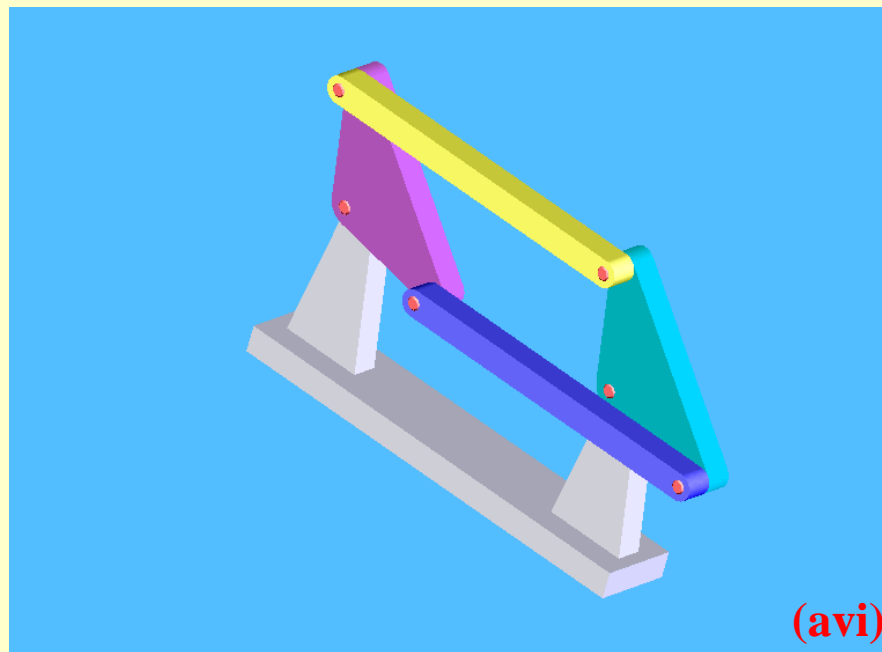
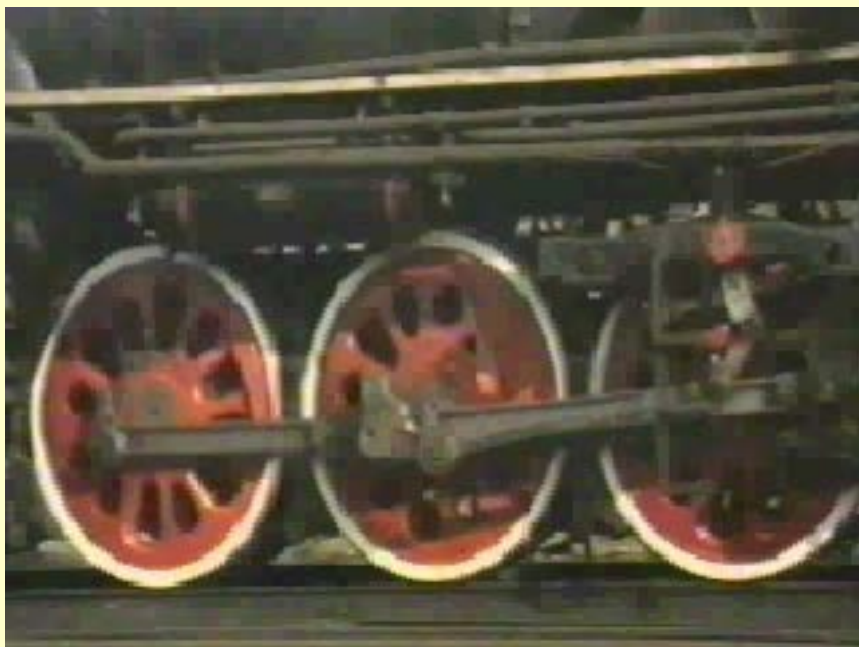


4.克服死点位置的措施:

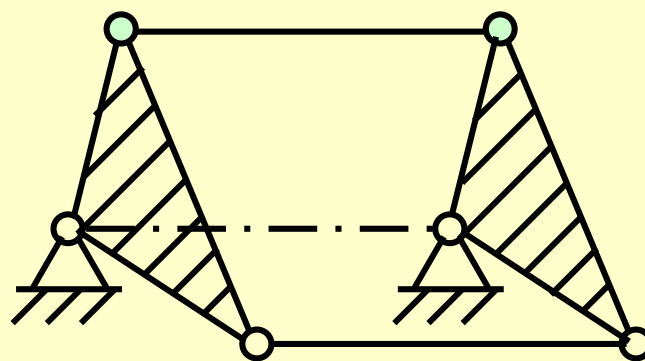
(1).利用外力或惯性力

(2).机构错位排列 a





火车轮



加虚约束的平行四边形机构

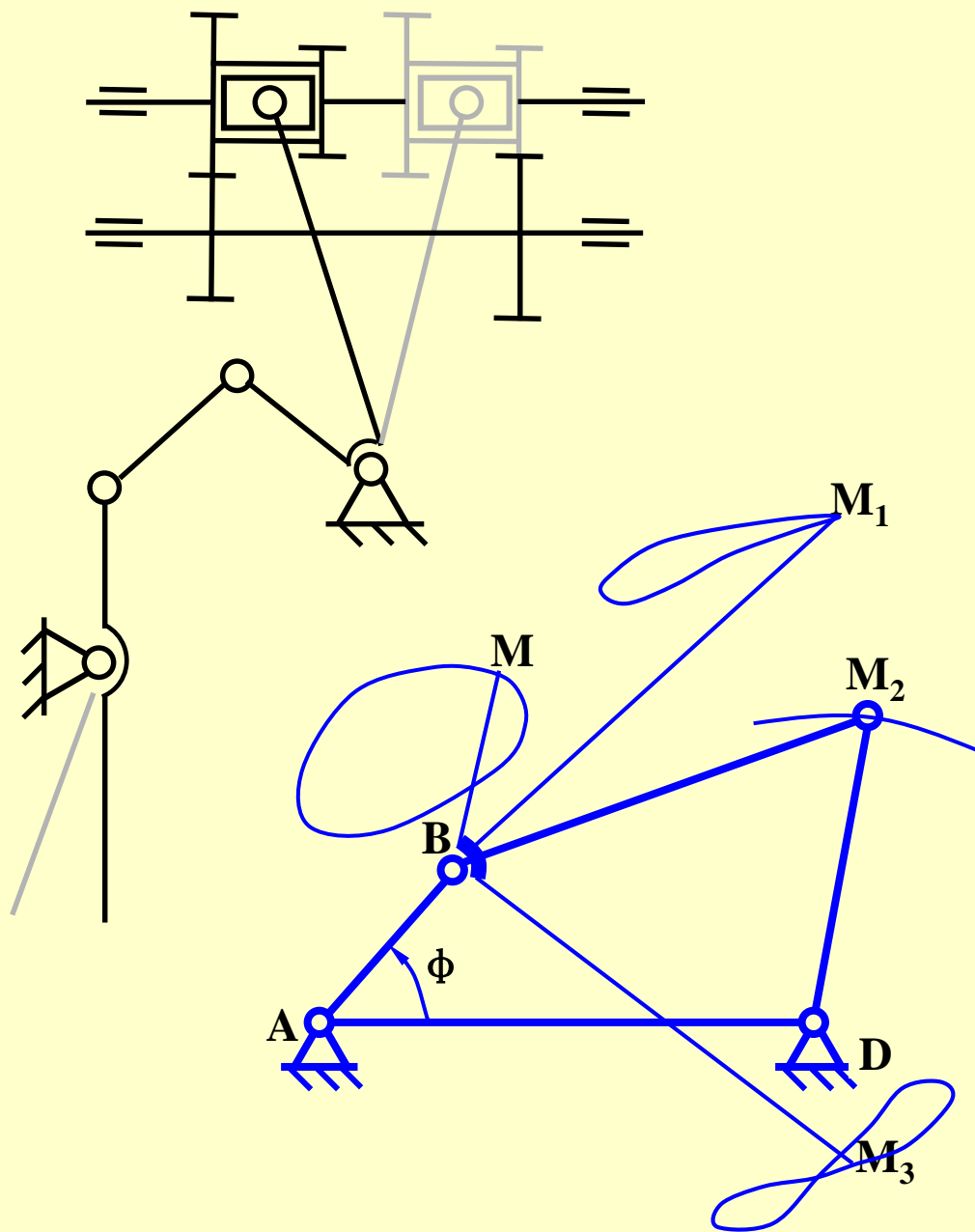
§ 3-5 平面四杆机构的设计

一、四杆机构设计的基本问题和方法

设计中的已知条件： 运动条件(如行程速度变化系数)、几何条件及传力条件(如最小传动角)。

基本问题：

- ◆ 要求满足预定的位置或运动规律
- ◆ 要求满足给定的轨迹



设计方法

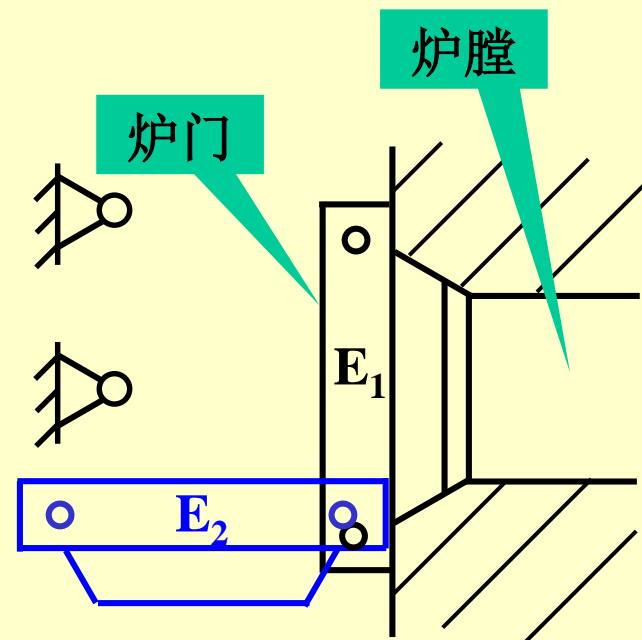
图解法、解析法和实验法

二、用图解法设计四杆机构

1. 按连杆预定位置设计四杆机构

观察分析：

- ◆ 炉门不可能是连架杆，只能是连杆
 - ◆ 只对此两位置的准确性有要求
 - ◆ 所要解决的问题是寻找A、B、C、D，即各杆杆长
- 根据所给定条件的不同，有两种情况：
- a. 已知连杆位置及活动铰链找固定铰链
 - b. 已知连杆平面上任意两点找固定铰链

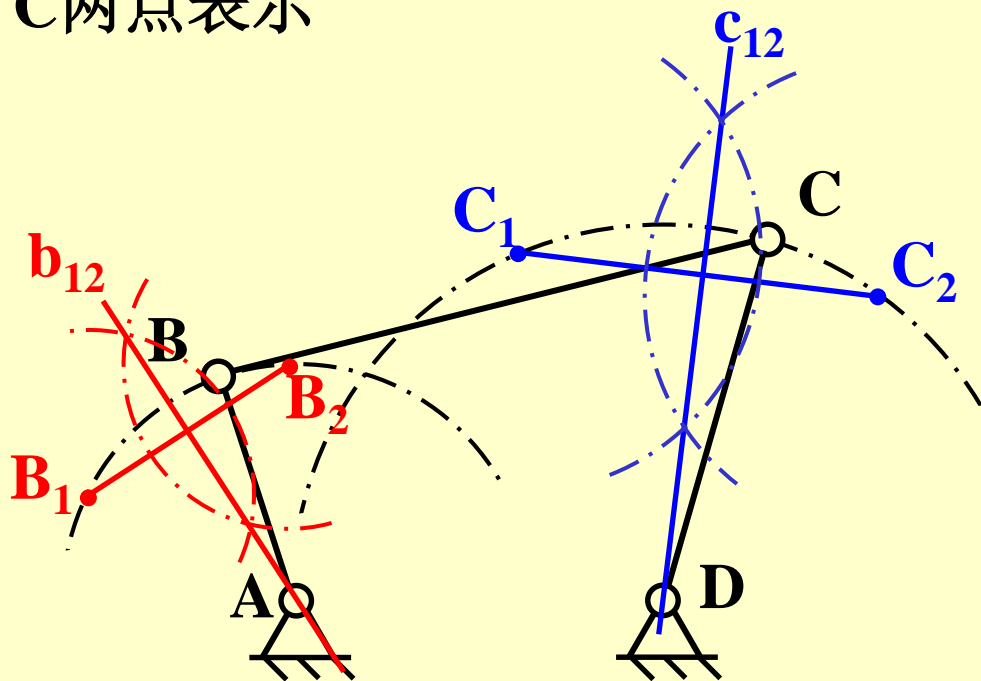
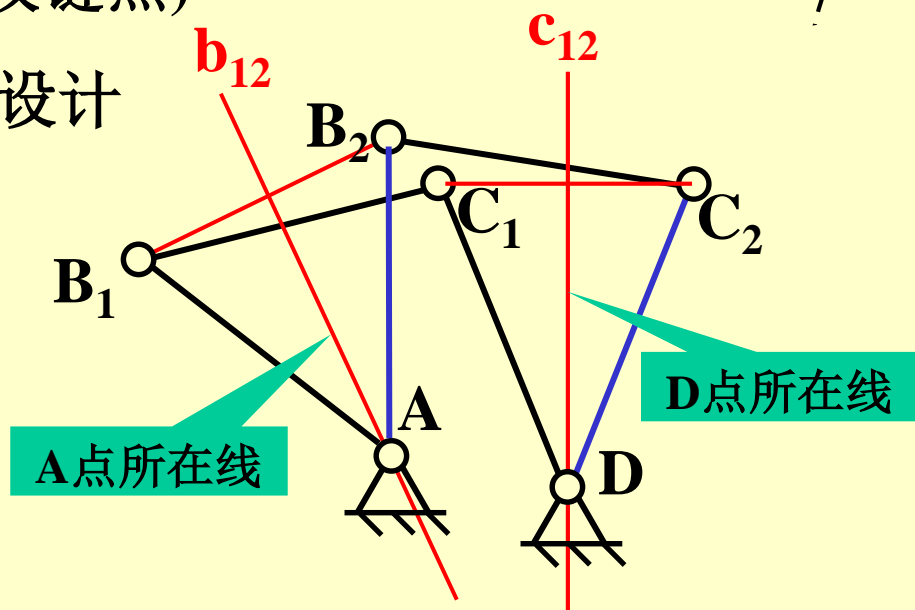


(1) 连杆位置用动铰链中心B、C两点表示

a. 分析

几何特点： 活动铰链轨迹
圆上任意两点连线的垂直
平分线必过回转中心(固
定铰链点)

b. 设计



★ 已知连杆两位置

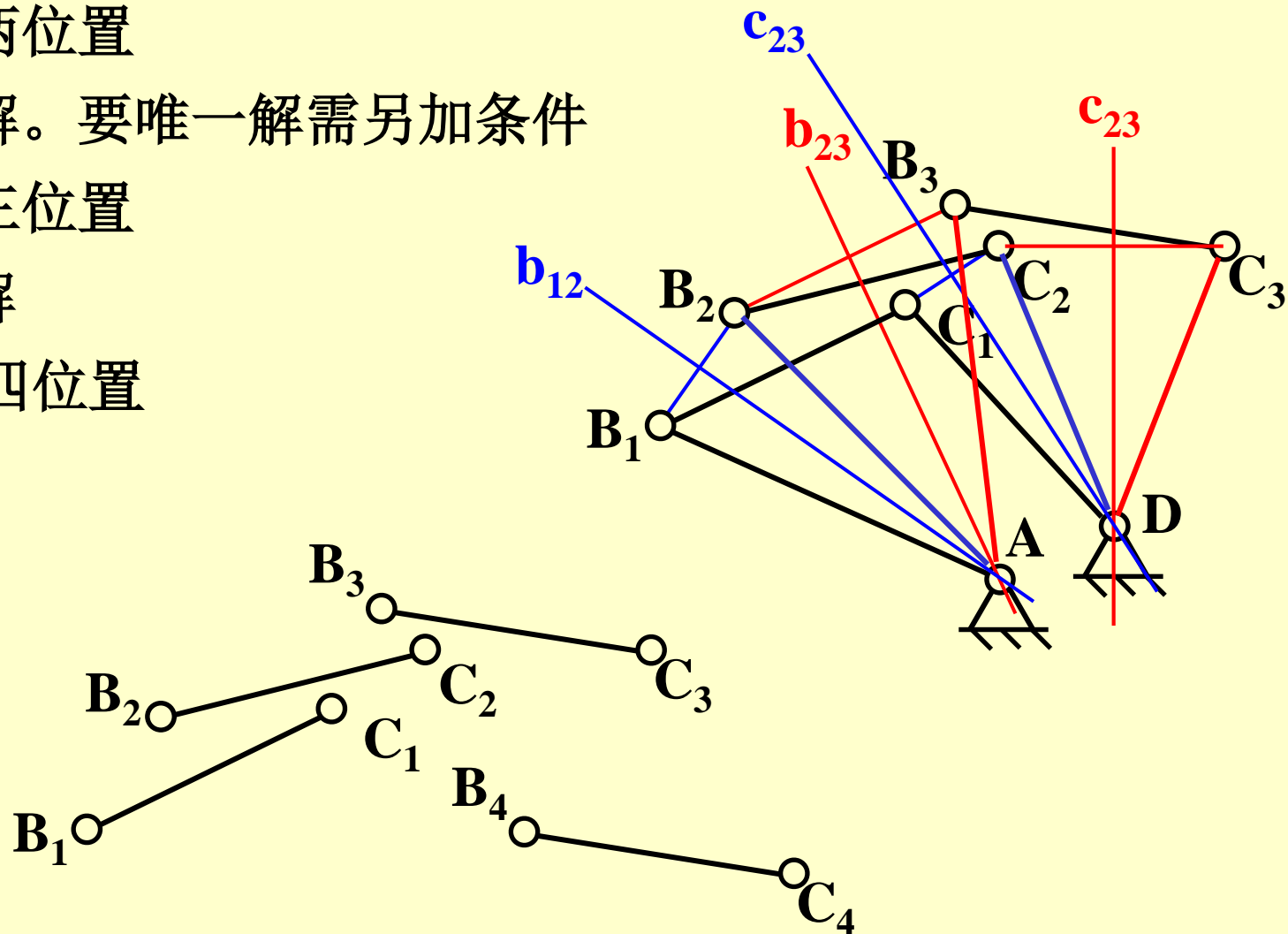
——无穷解。要唯一解需另加条件

★ 已知连杆三位置

——唯一解

★ 已知连杆四位置

——无解



(2) 连杆位置用连杆平面上任意两点表示

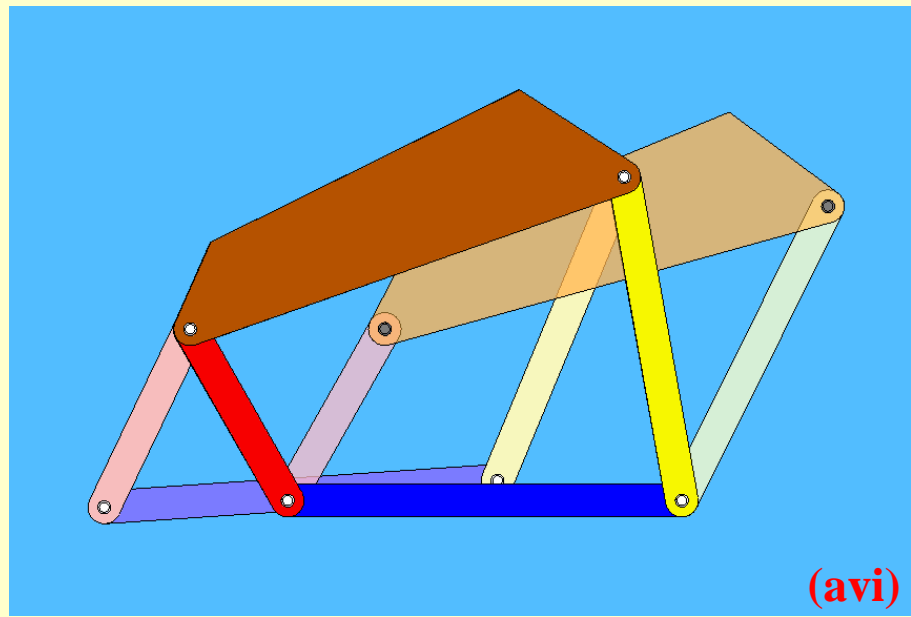
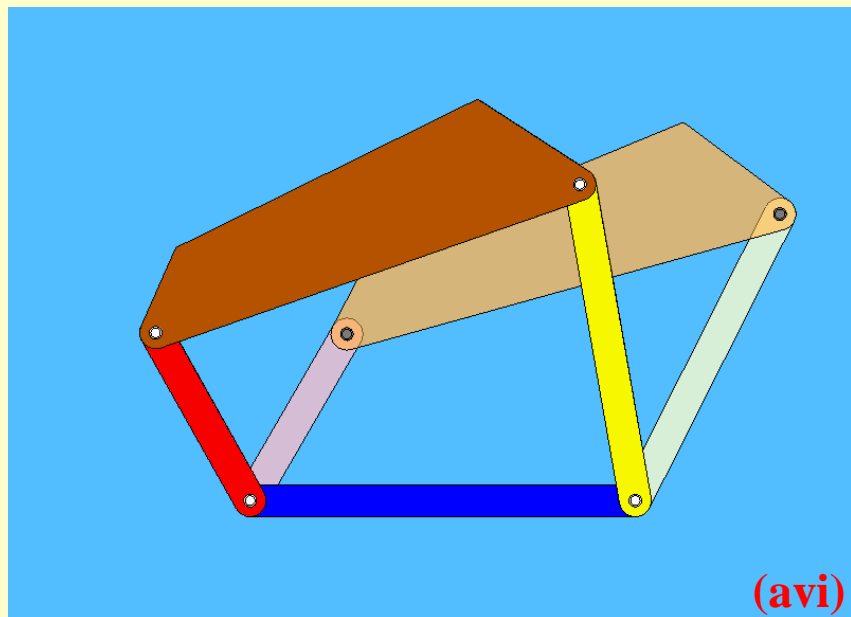
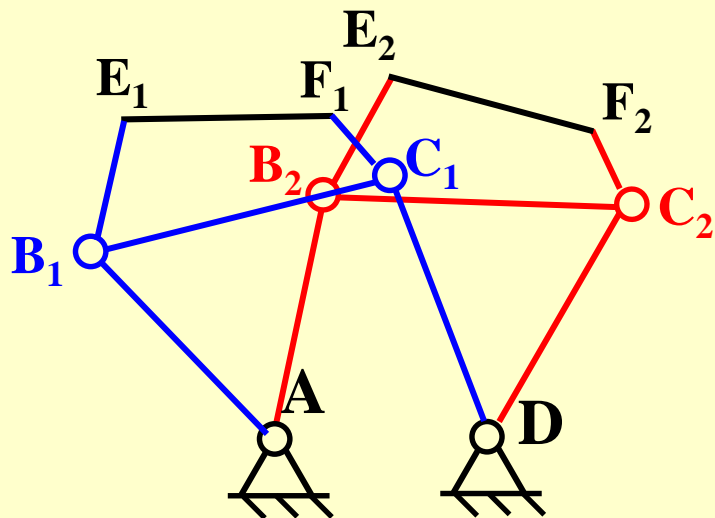
a. 问题

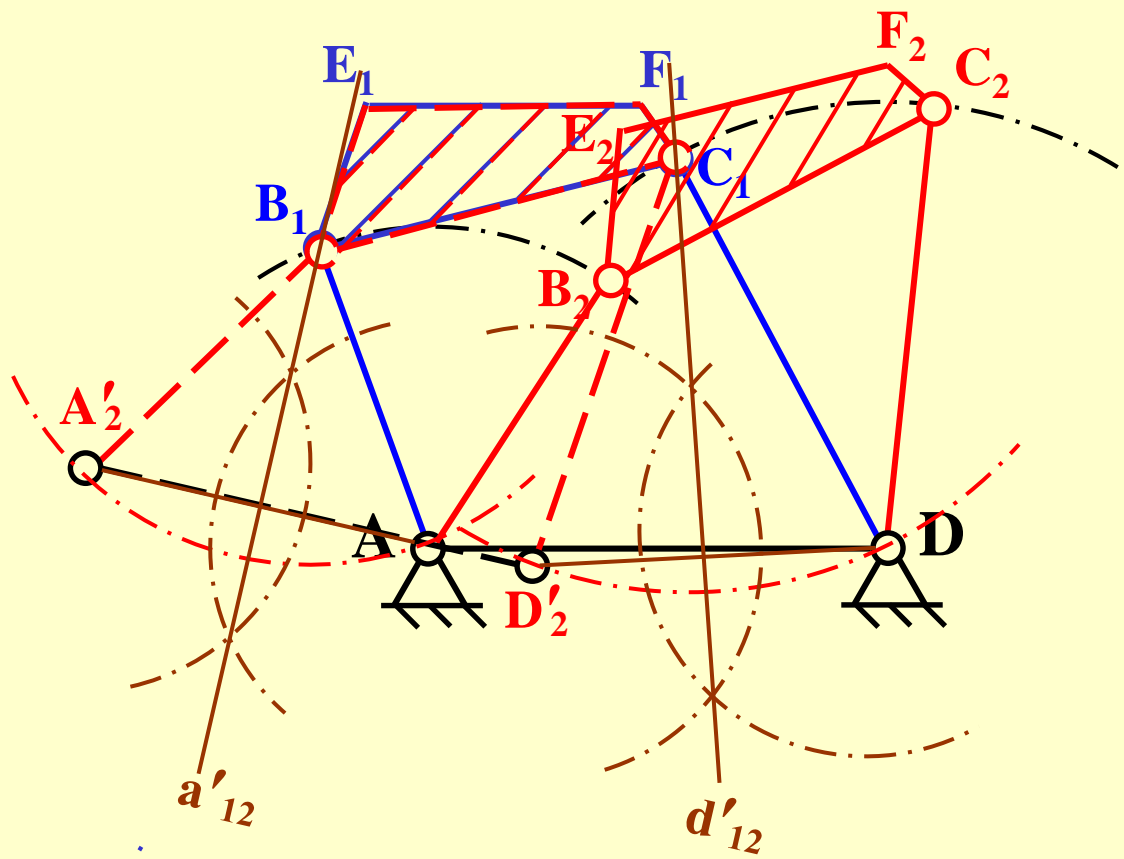
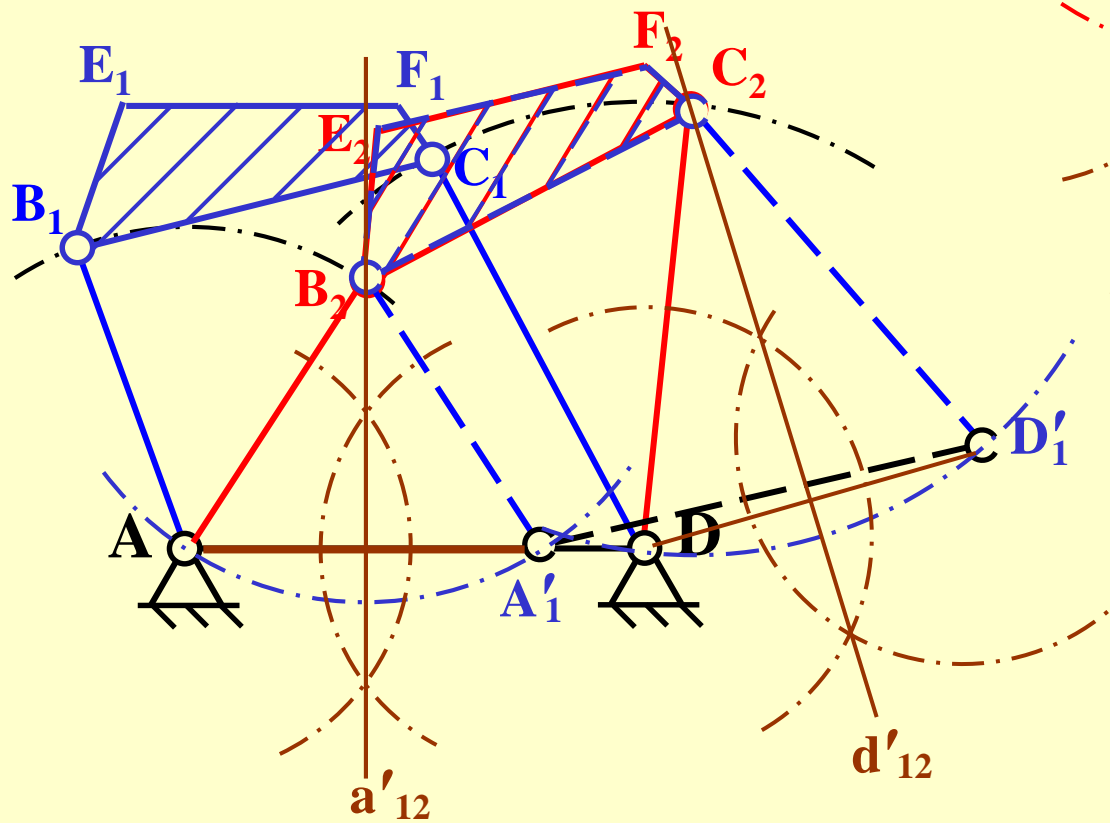
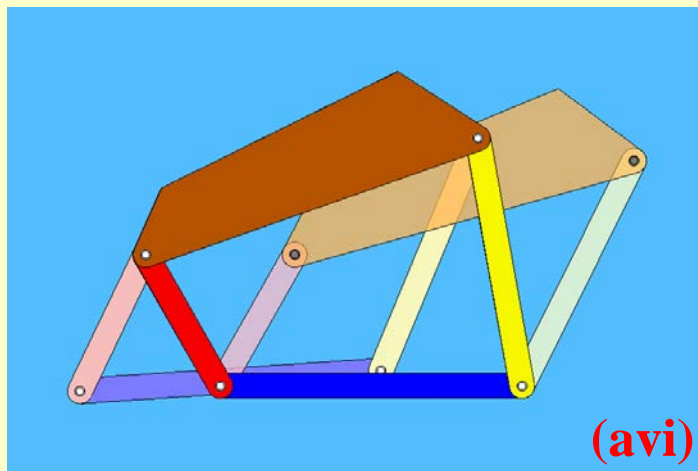
b. 相对运动分析

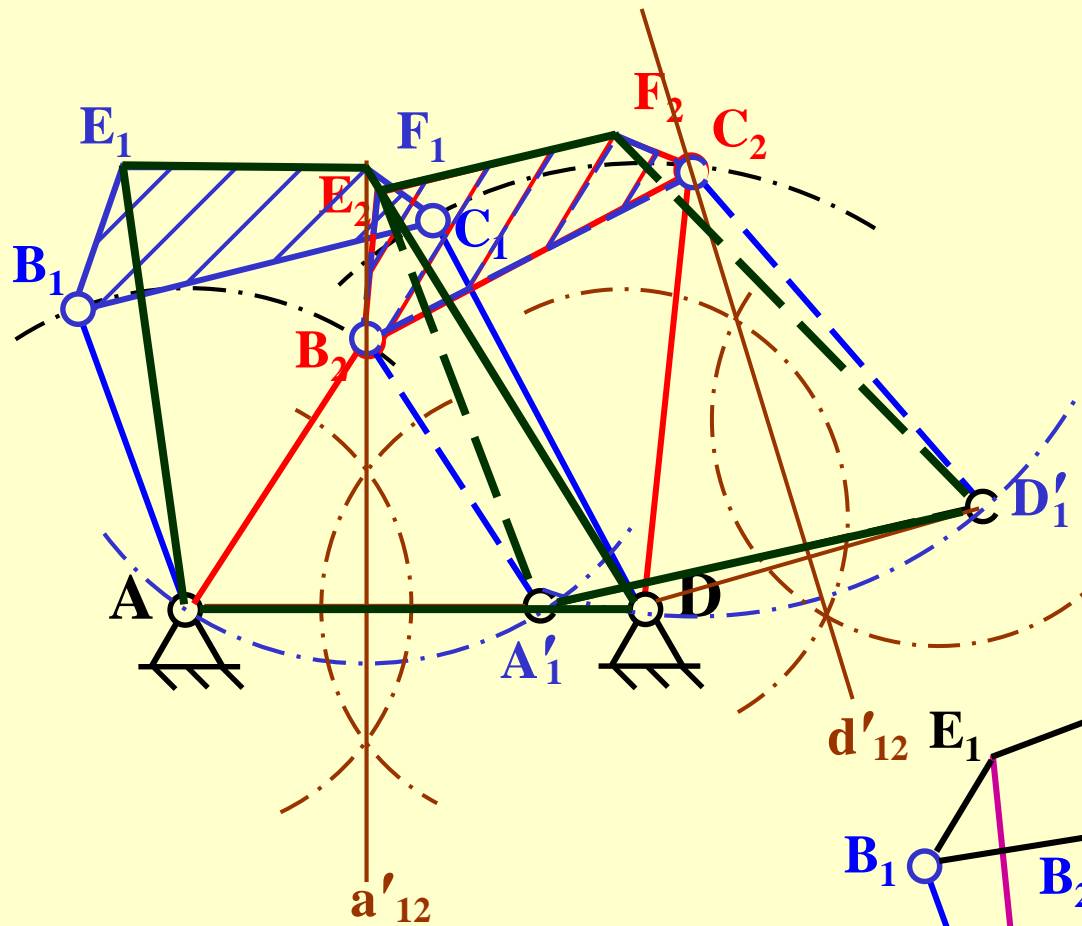
站在机架上^看：B点^绕A点^{顺时针}转动，C点^绕D点^{顺时针}转动。

站在连杆上^{观察}：从位置1到位置2，

$\angle ABC$ 增大， $\angle BCD$ 减小，即A点^绕B点^{逆时针}转动，C点^绕D点^{逆时针}转动。

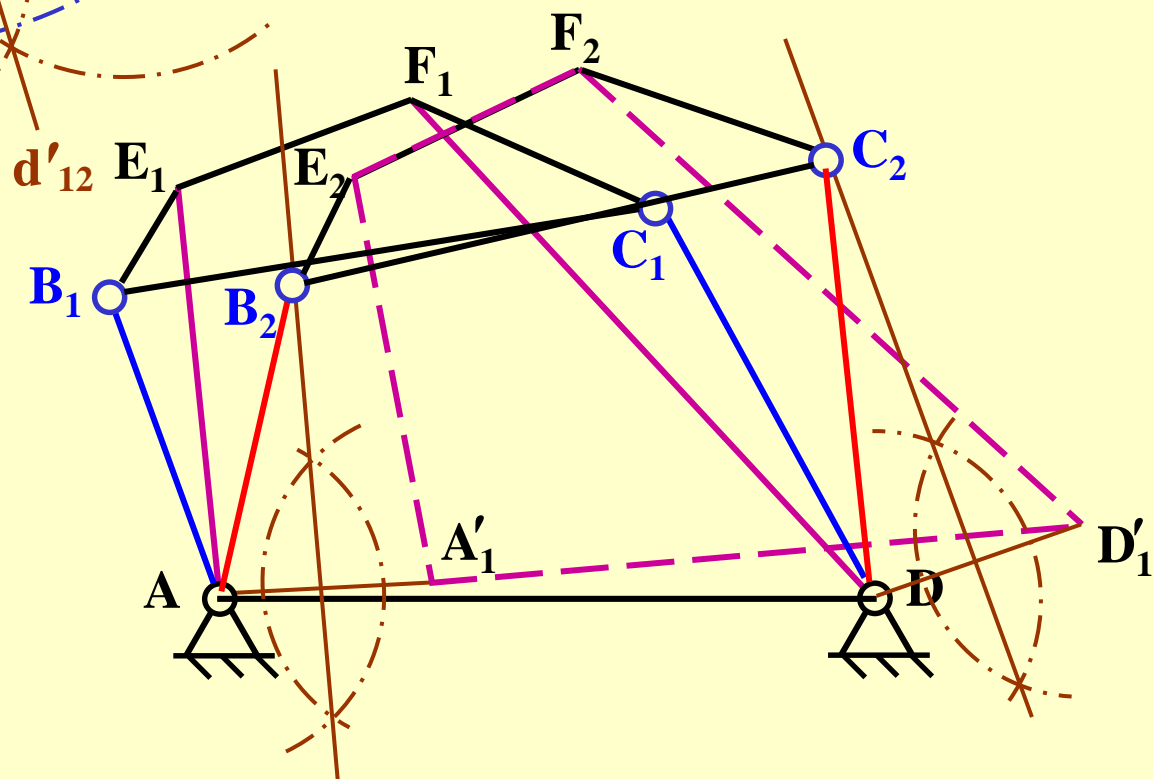






c. 设计

● 两对应位置



● 三对应位置

设计步骤:

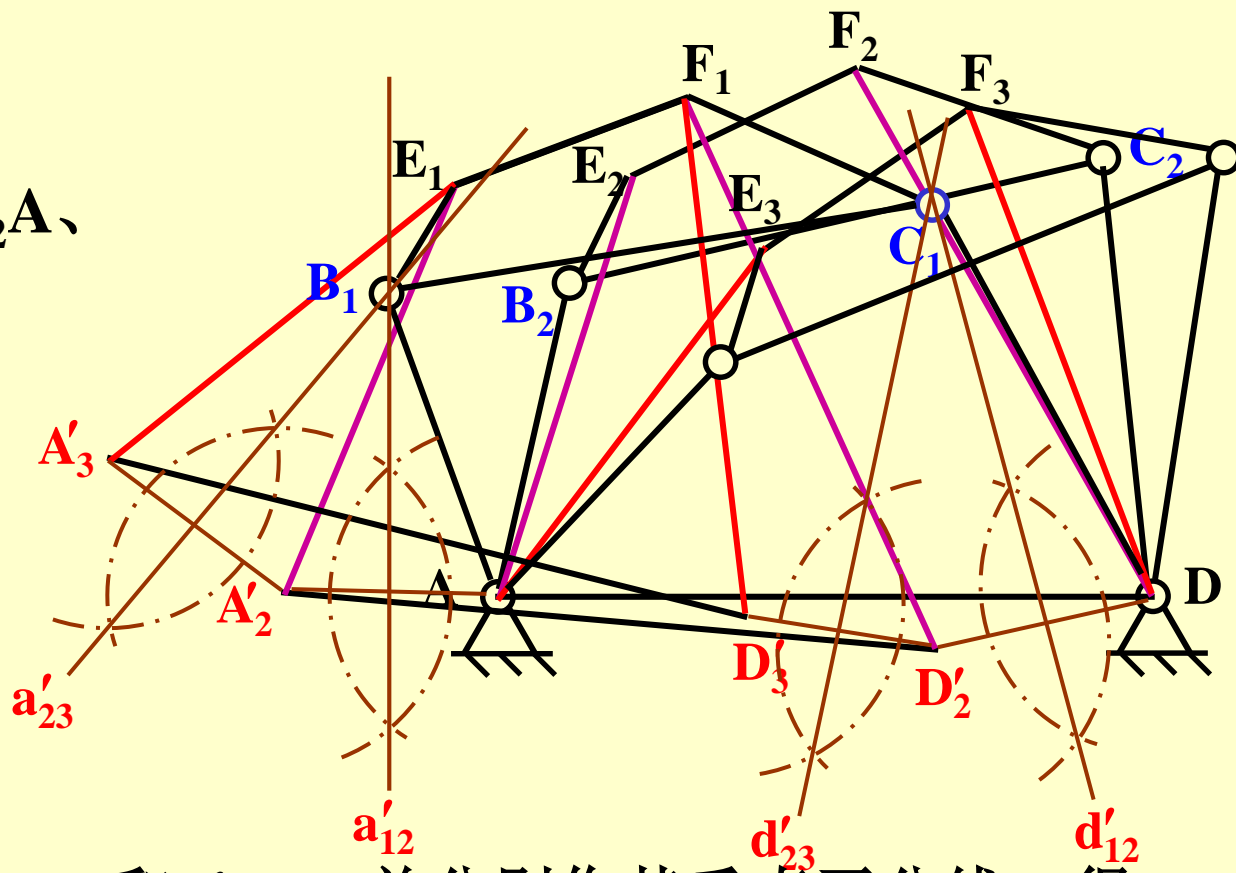
◆ 连接 E_1A 、 F_1D 、 E_2A 、 F_2D (或 E_3A 、 F_3D ;

◆ 刚化 E_1F_1DA 、 E_2F_2DA (或 E_3F_3DA), 并将 E_1F_1 和 E_2F_2 分别重合于 E_3F_3 , 得到 A'_1 、 D'_1 、 A'_2 和 D'_2 点;

◆ 连接 $A'_1A'_2$ 、 $A'_2A'_3$ 、 $D'_1D'_2$ 和 $D'_2D'_3$ 、并分别作其垂直平分线, 得交点, B_3 和 C_3 ;

◆ 连接 AB_3 、 DC_3 、 B_3C_3 、 B_3E_3 和 C_3F_3 得所需机构。

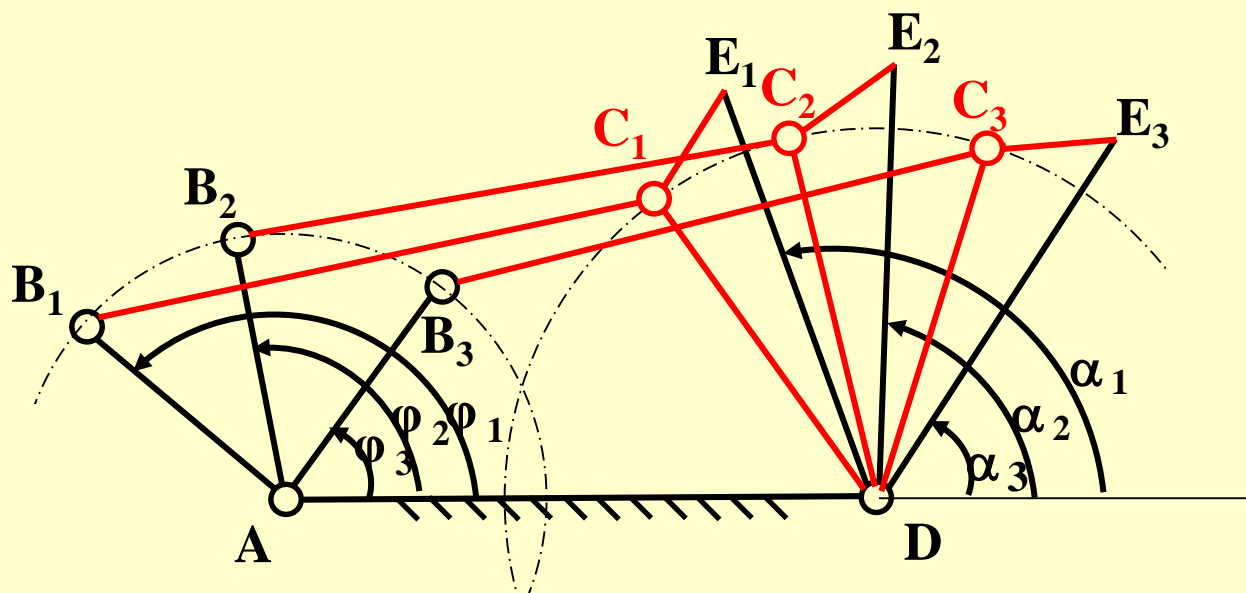
◆ 根据图中线长, 乘以比例尺得到各构件尺寸。



2. 按已知运动规律设计四杆机构

(1). 按两连架杆预定对应位置设计四杆机构

已知条件：一连架杆杆长 L_{AB} 、机架长 L_{AD} 、连架杆对应位置，即 φ_1 、 φ_2 、 φ_3 ； α_1 、 α_2 、 α_3 。求活动铰链点C。

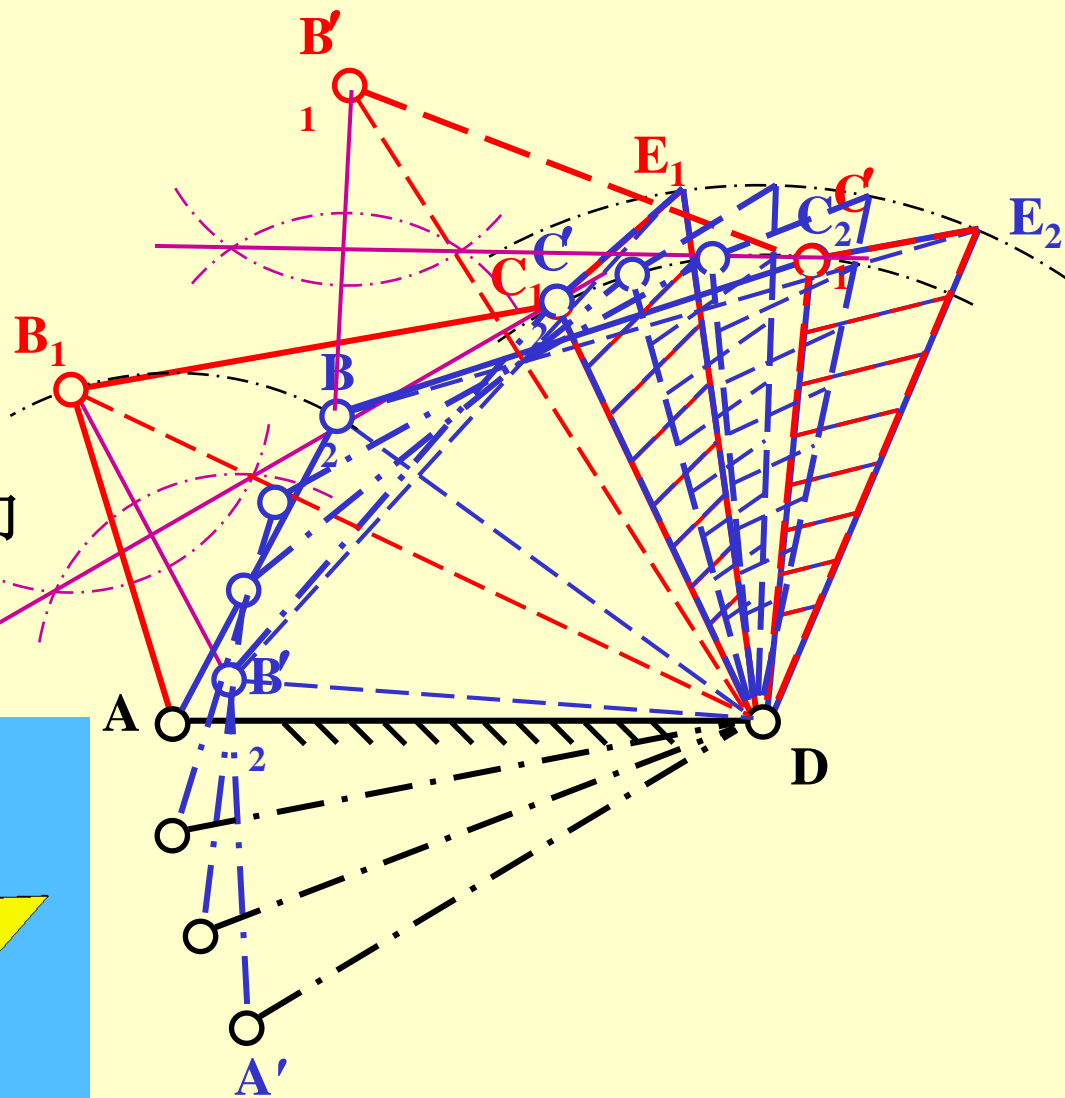
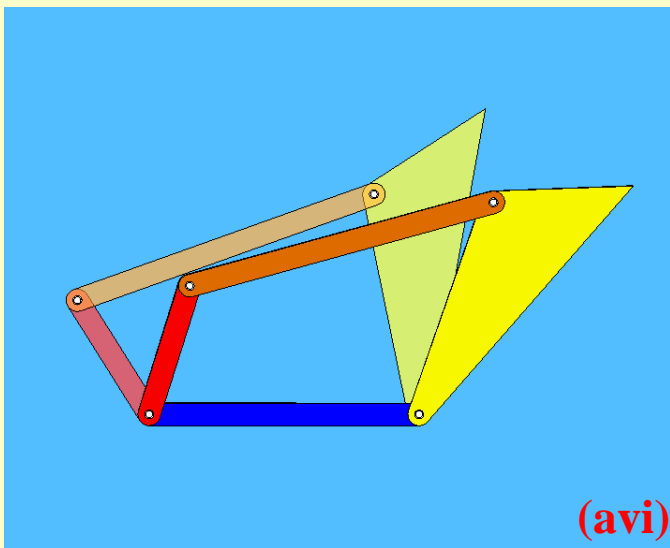


a. 分析

b. 设计步骤

(a). 刚化 $\triangle E_2B_2D$ ，并使其绕D点反转到 E_1D 重合于 E_1D ，得 B_2' 点。

(b). 作连线的垂直平分线，即得活动铰链点所在直线——
无穷解



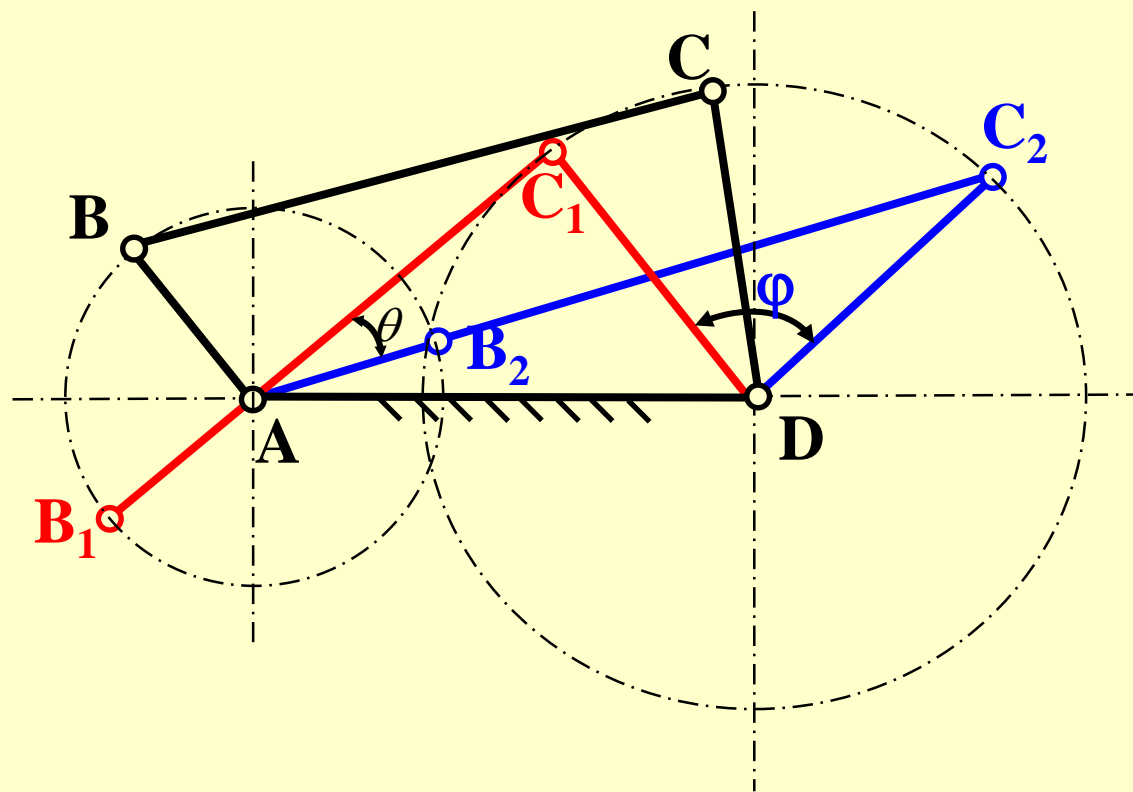
(2) 按给定的行程速度变化系数 K 设计四杆机构

① 曲柄摇杆机构

已知条件： 摇杆长 L_{CD} 、摆角 φ 及行程速比系数 K

a. 分析

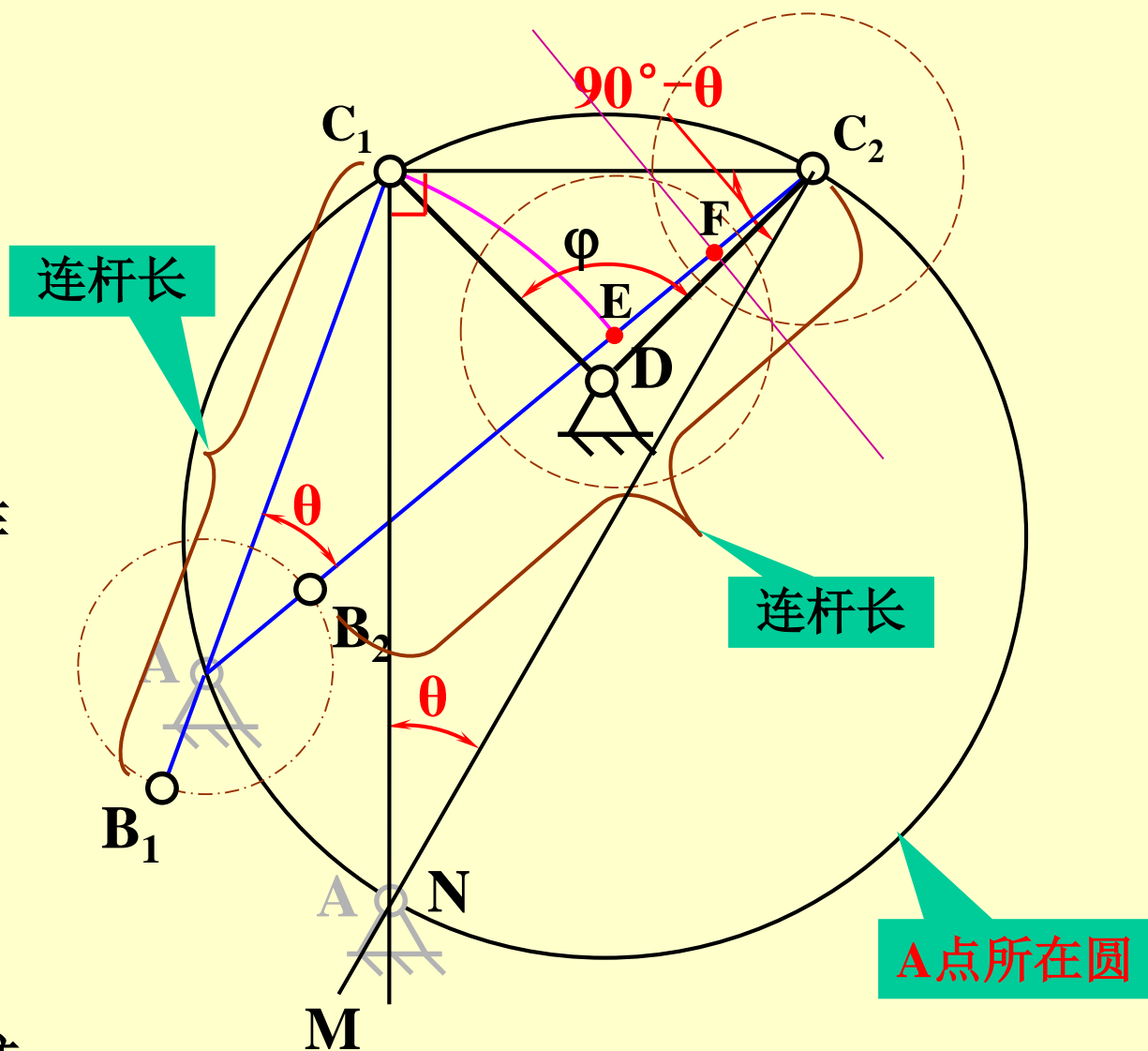
$$\theta = \frac{K-1}{K+1} \times 180^\circ$$



b. 寻找A点的位置

c. 设计步骤

- 已知条件线条化;
- 由K计算出 θ ;
- 过 C_1 (或 C_2)点作 C_1C_2 连线的垂线, 过 C_2 作 $\angle C_1C_2M=90^\circ - \theta$ 与垂线交于N点;
- 作 $\triangle C_1C_2N$ 外接圆——曲柄回转中心A点所在圆——无穷解;
- 利用另外条件获取唯一解;



- 用作图法(或公式计算)得曲柄和连杆尺寸

② 曲柄滑块机构

已知条件：滑块行程 H ，偏距 e 及行程速度变化系数 K $90^\circ - \theta$

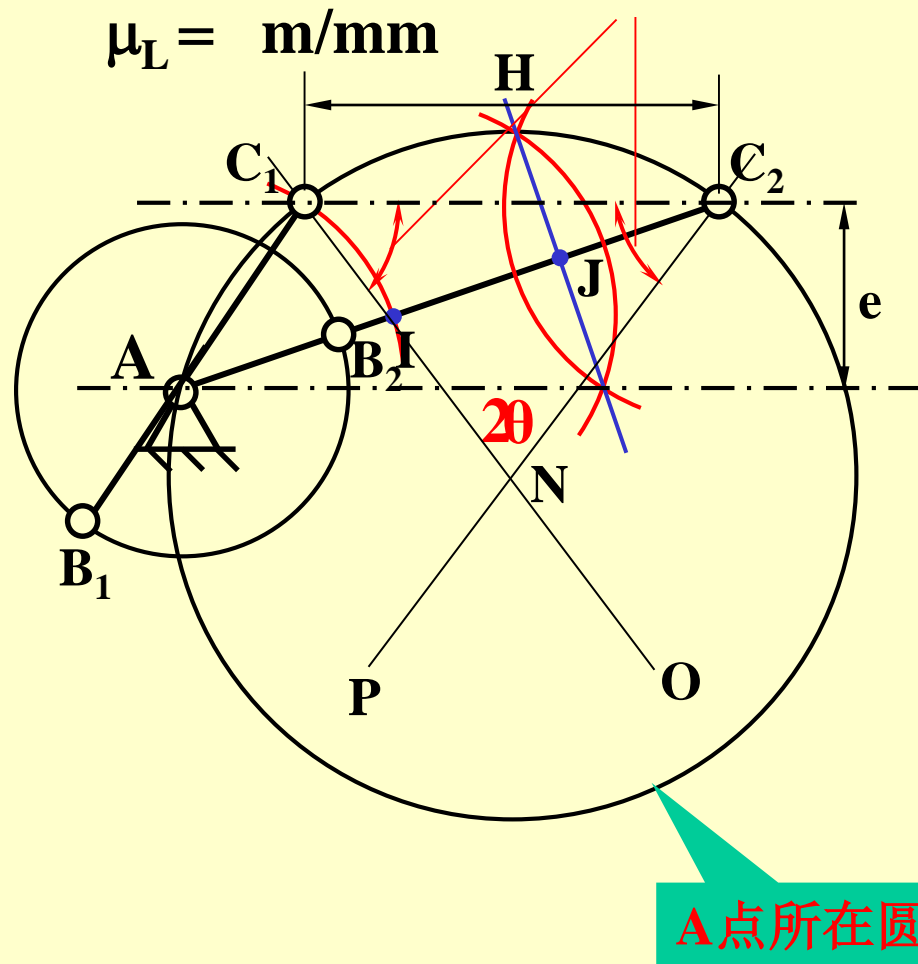
解：1. 计算 $\theta = 180^\circ (K-1)/(K+1)$;

2. 选取比例尺 μ_L ，并将已知条件线条化;

3. 过 C_1 、 C_2 分别作射线 C_1O 、 C_2P ，使 $\angle C_1C_2P = \angle C_2C_1O = 90^\circ - \theta$ ，得交点 N ;

4. 以 N 点为圆心，以 NC_1 为半径，画圆——A点所在圆，并与A点所在线交于两点;

.....



作业:

题3-4、题3-9、补充课堂练习册题

本章结束