

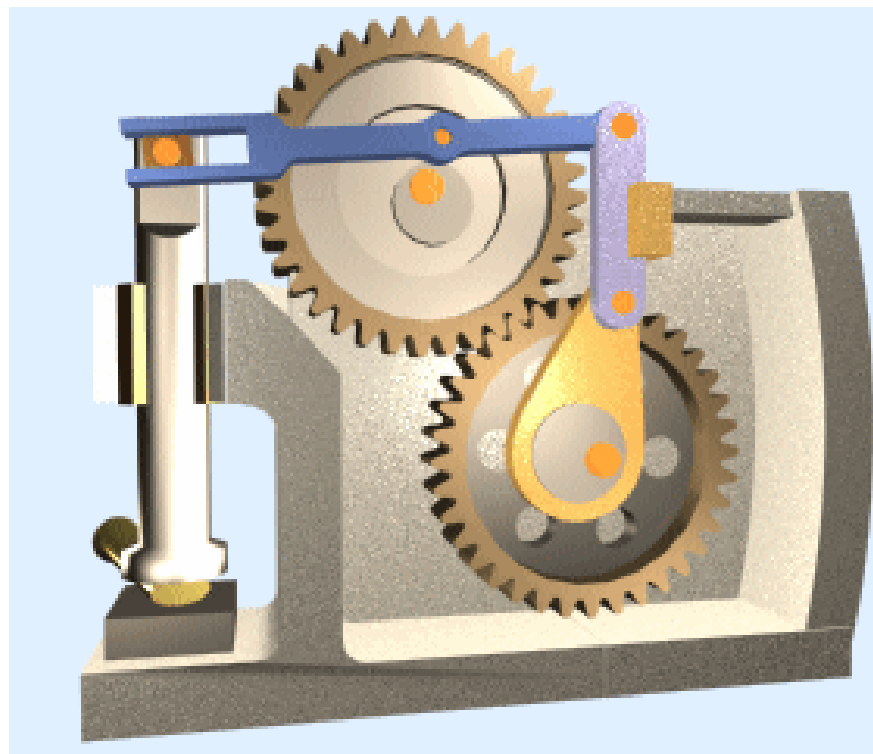
# 第1章 平面机构的结构分析

基本要求及重点、难点

运动副及其分类

平面机构运动简图

平面机构的自由度计算



# 基本要求和重点

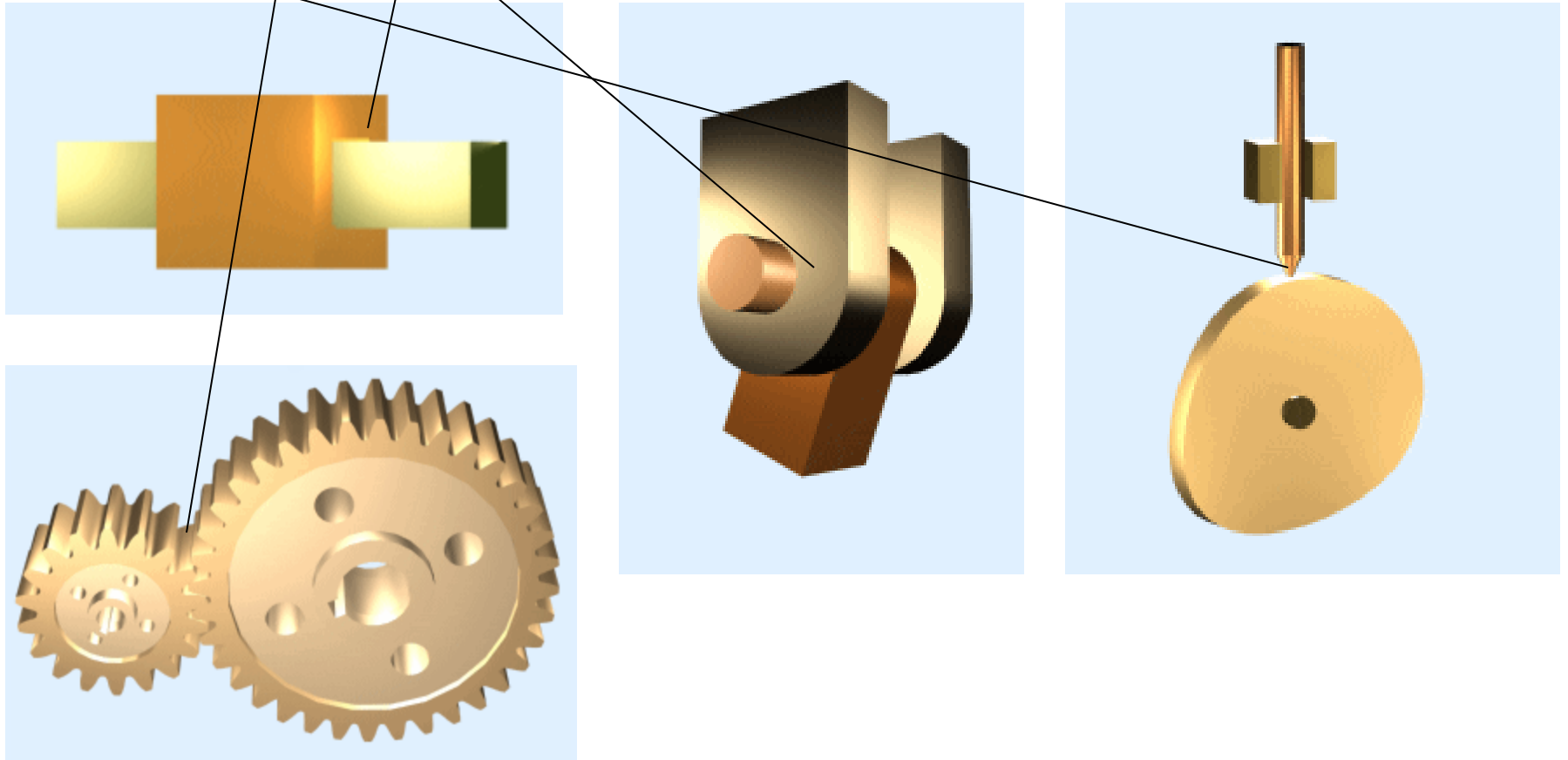
了解研究机构结构的目的是、机构的组成，熟练掌握运动简图的绘制和机构自由度的计算，会进行平面机构组成原理和结构分析

## 1.1 研究机构的目

- 1、探讨机构运动的可能性和确定性
- 2、对机构按结构进行分类，并建立运动分析和动力分析的一般方法
- 3、了解机构的组成原理
- 4、绘制机构运动简图

## 1.2 运动副、运动链和机构

- 1、运动副：两个构件直接接触形成的可动联接。
- 2、运动副元素：两构件构成运动副时直接接触的点、线、面部分。



# 自由度和约束

自由度：构件具有的独立运动的数目  
(确定构件位置的独立参变量的数目)

约束：对独立运动所加的限制


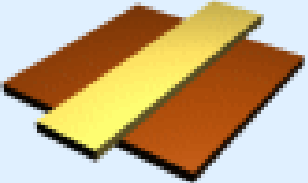
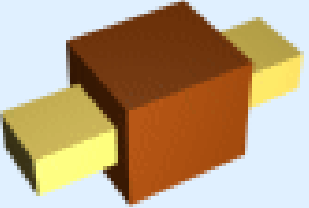
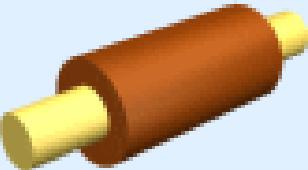
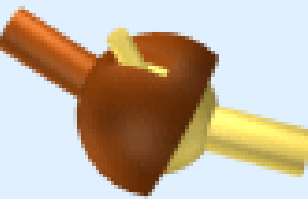

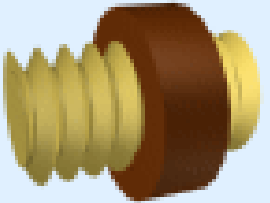
### 3、运动副分类:

(1) 按运动副的接触形式分为低副和高副

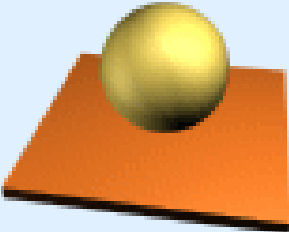
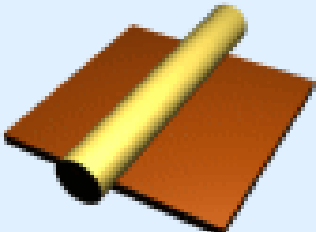


低副: 面与面接触的运动副; 接触面压强较低。

高副: 点或线接触的运动副。接触面压强较高, 易磨损。

#### 常见低副

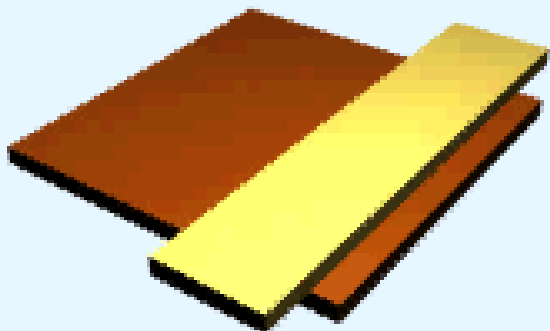
球面副			
圆柱副		平面与平面副	移动副
		转动副	螺旋副
球销副			

#### 常见高副

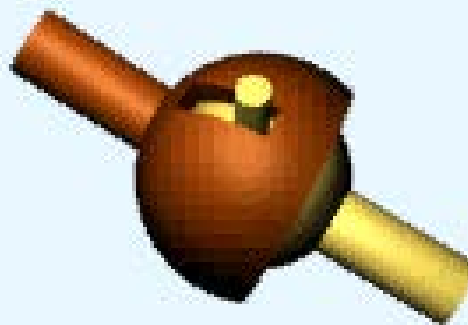
球与平面副	圆柱与平面副
	
球与圆柱副	平面高副
	

## (2) 按相对运动形式分平面副和空间副

平面副

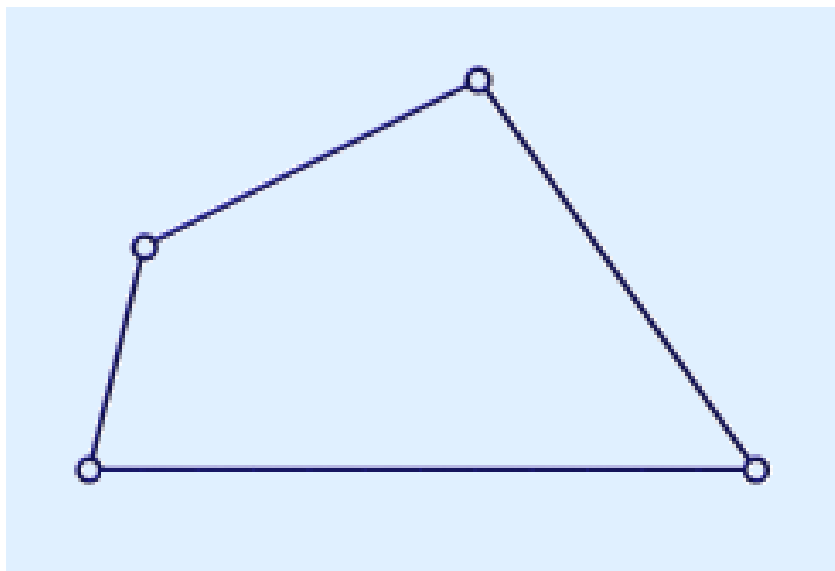


空间副



## 运动链

- 由两个或两个以上构件通过运动副联接而构成的系统。分两类：闭式和开式。

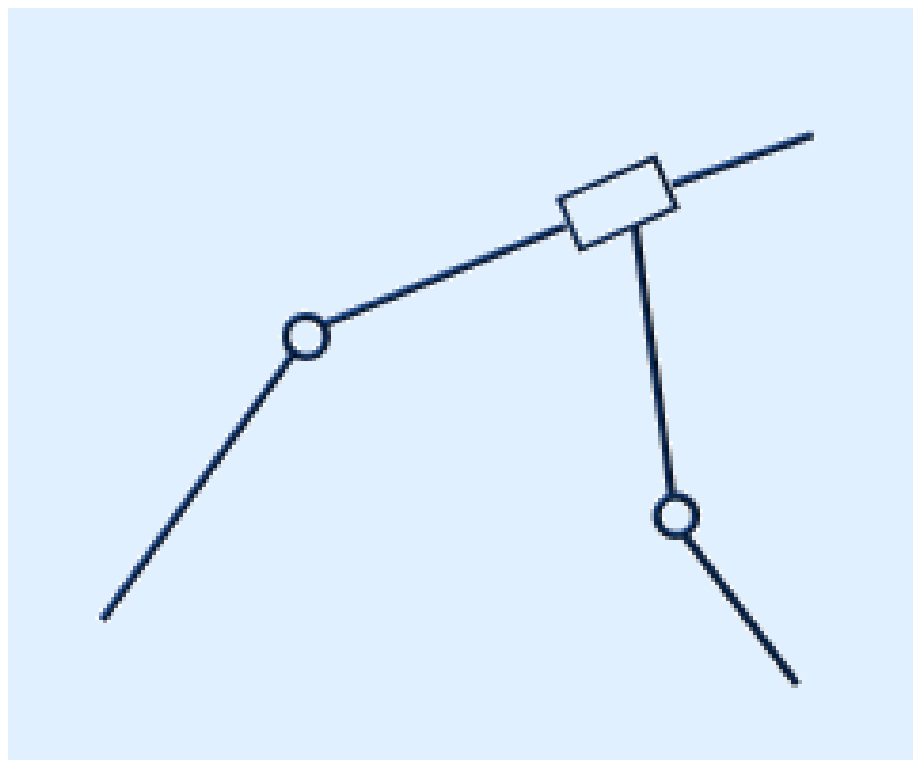


### 闭式运动链

组成运动链的各构件构成首末封闭的系统。简称闭链。



# 开式运动链

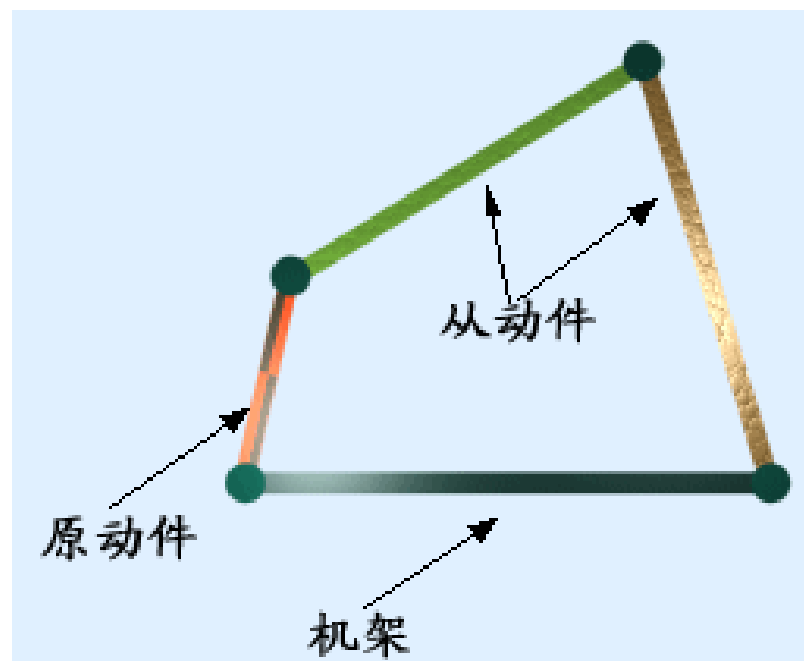
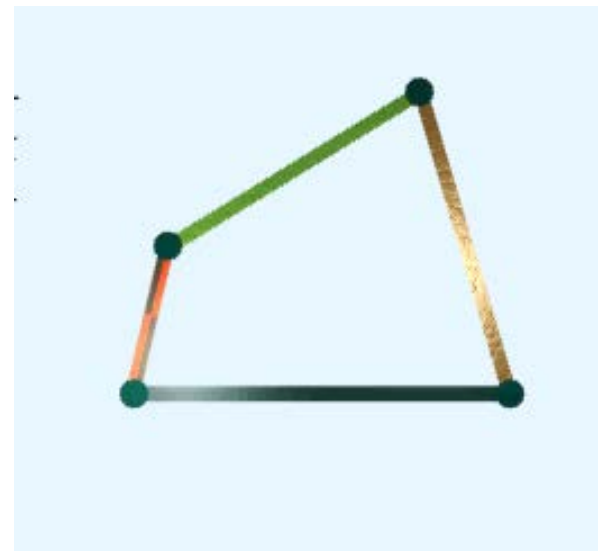


## 开式运动链

组成运动链的各构件未构成首末封闭的系统。  
简称开链。

# 机构

在运动链中，若固定某一个构件，让另一个(或几个)构件按给定的运动规律相对于固定构件运动时，其余各构件都能得到确定的相对运动，则此运动链成为机构。



**原动件：**按给定运动规律独立运动的构件。

**从动件：**其余的活动构件。

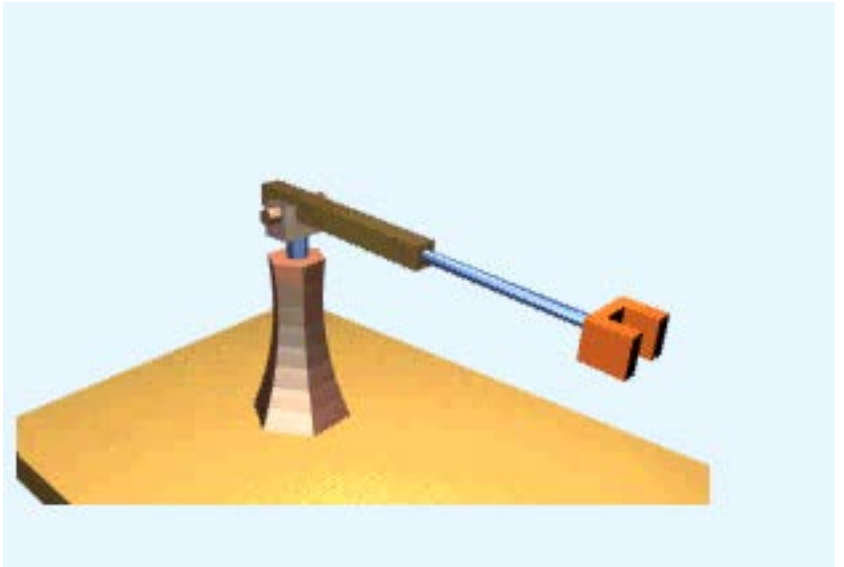
**机架：**固定不动的构件。

# 机构分类： 闭式链机构和开式链机构。

导轨固定, 原动件为可以整周转动的杆件。



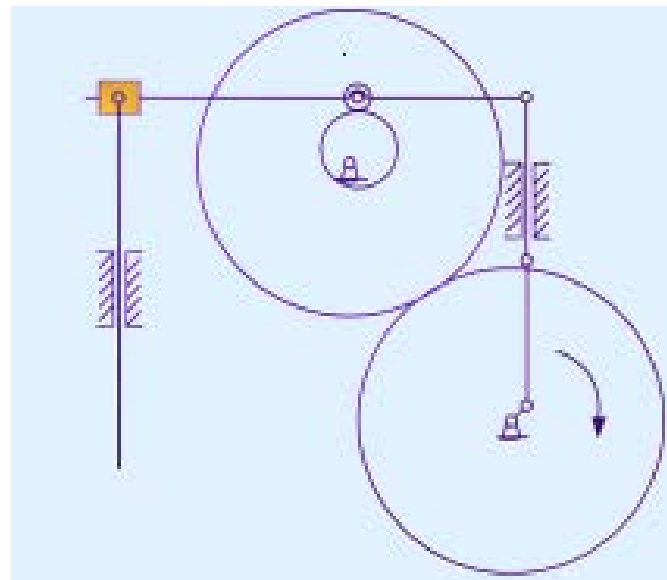
机座固定, 共有三个原动件。



## 1.2 平面机构的运动简图

### 1.2.1 机构运动简图及其用途

**机构运动简图**——用国标规定的简单符号和线条表示运动副和构件，并按一定的比例表示运动副的位置，这种用来说明机构各构件间相对运动关系的图形，称为机构运动简图。



必须与原机构具有完全相同的运动特性，它不仅可以用来表示机构的运动情况，而且还可以根据机构简图对机构进行运动分析和受力分析，它是一种用简单线条和符号表示机构的工程图形语言。应表明：**机构的种类，构件的数目及相互传动的路线，运动副的种类、数目。**没有严格按比例绘制的简图称为机构示意图。

- **用途：**分析现有机械，构思设计新机械。

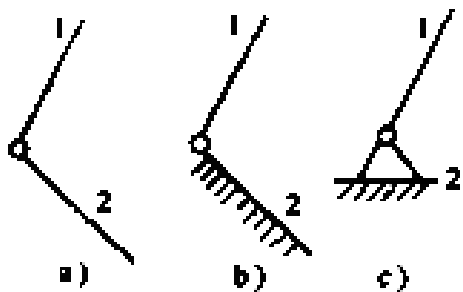
## 运动副与构件的表示方法

### 1. 构件的种类

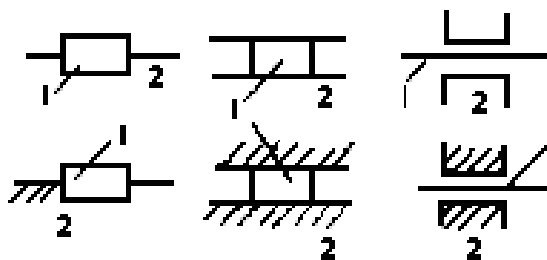
- 1) 固定件或机架；
- 2) 原动件；
- 3) 从动件

\*必须有一个机架，至少有一个原动件，其余为活动构件。

### 2. 运动副的表示方法



转动副符号

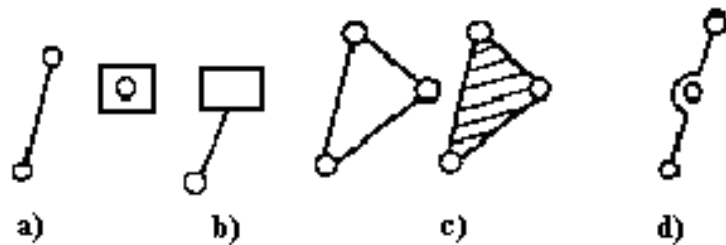


移动副符号

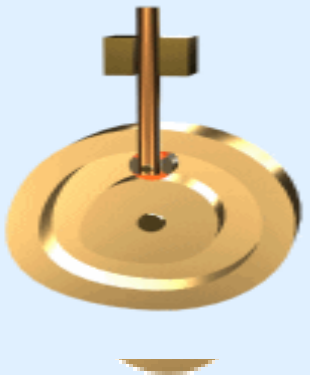
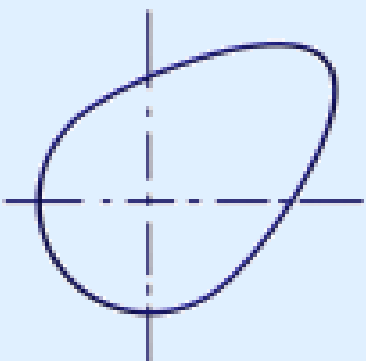
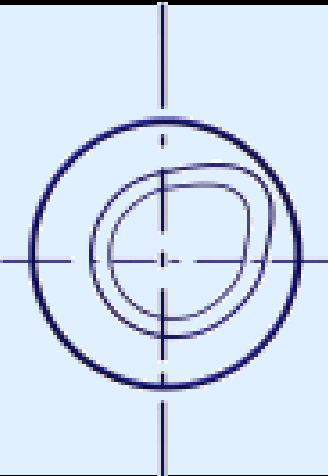
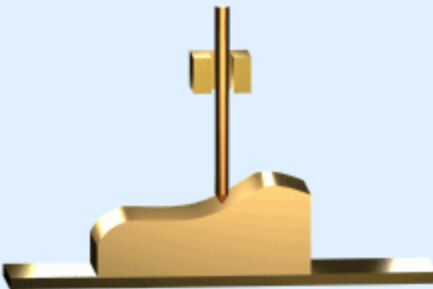
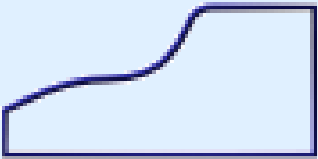


高副符号


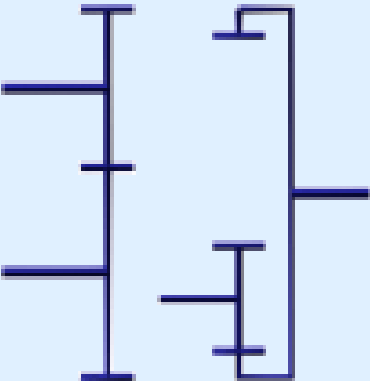
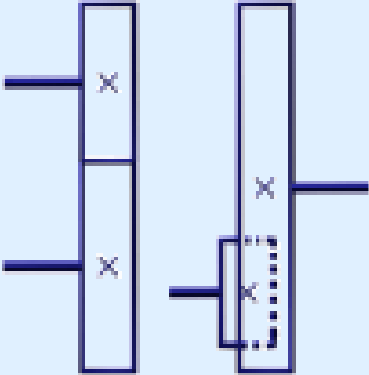

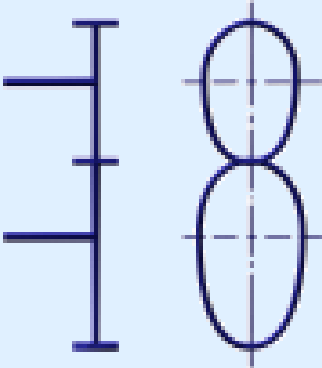
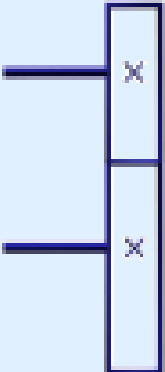
### 3. 构件的表示方法



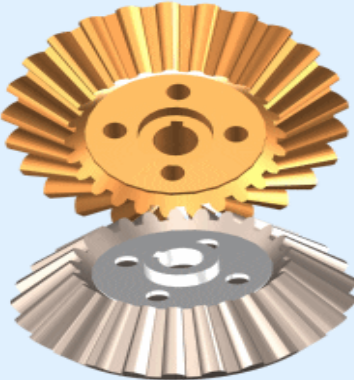
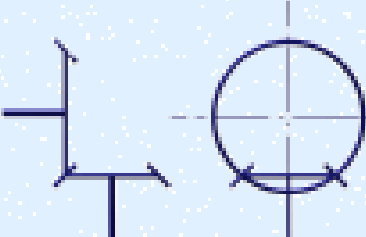
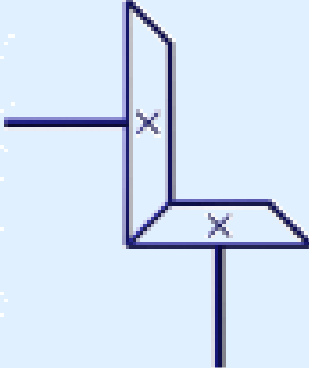

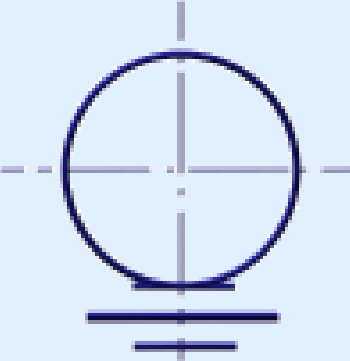
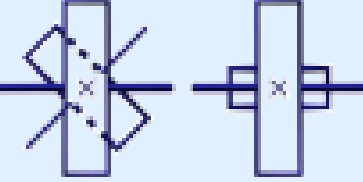
## 常用机构的简图符号 (一)

名称	立体图形	基本符号	可用符号
凸轮机构 (平面凸轮)			
	b) 移动凸轮		

## 常用机构的简图符号 (二)

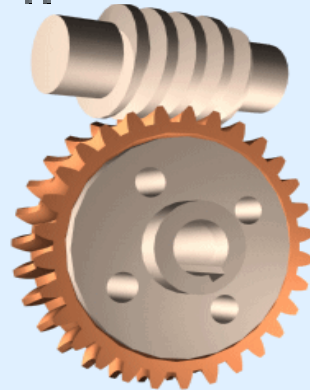
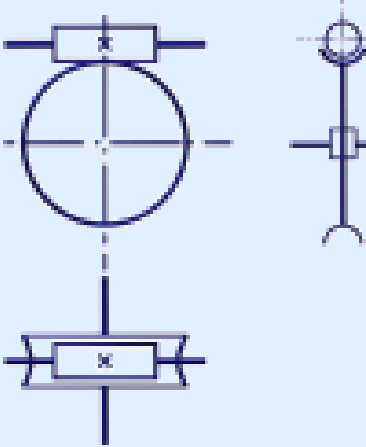
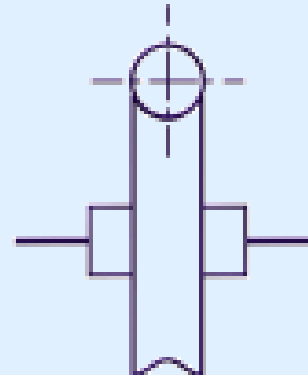
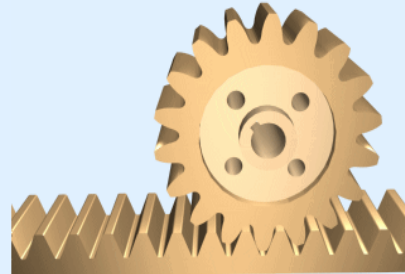
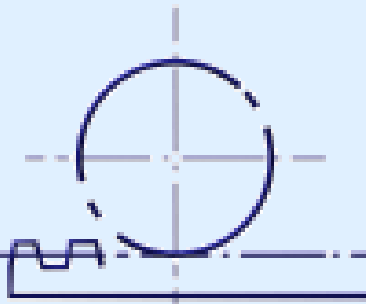
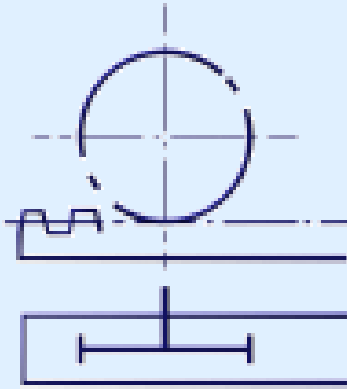
名称	立体图形	基本符号	可用符号
齿轮机构	a) 圆柱齿轮 	外啮合 内啮合 	
	b) 非圆齿轮机构 		

## 常用机构的简图符号 (三)

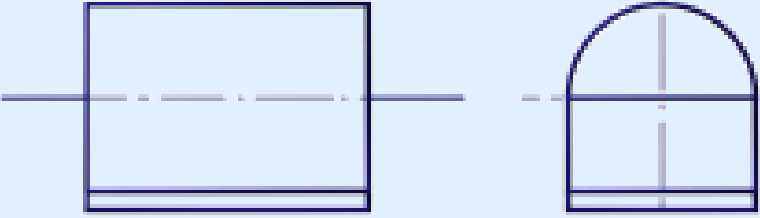
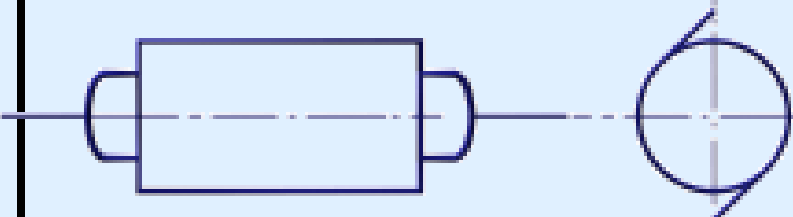
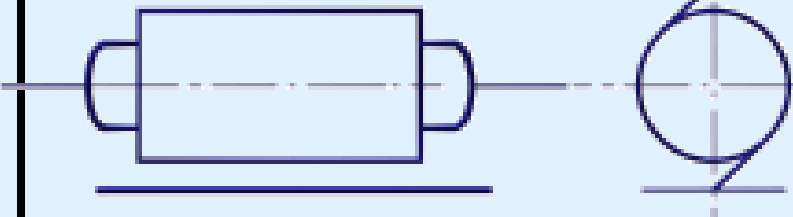
名称	立体图形	基本符号	可用符号
齿轮机构	c) 圆锥齿轮 		
	b) 交错轴斜 齿轮机构 		



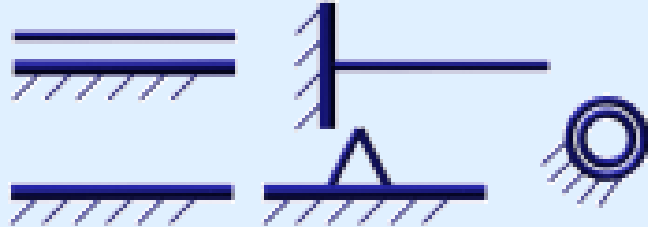
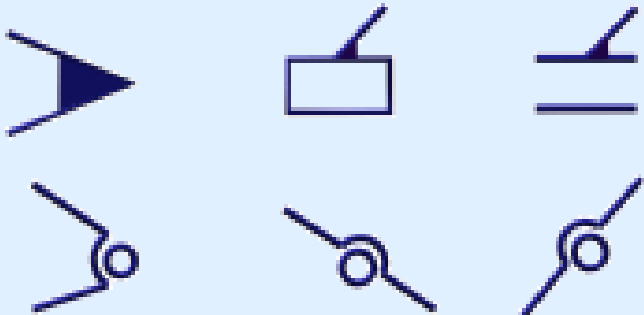
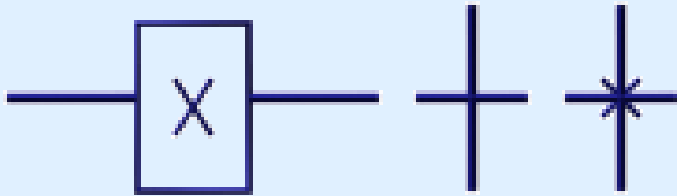
## 常用机构的简图符号 (四)

名称	立体图形	基本符号	可用符号
<p>齿轮机构</p>	<p>e) 蜗轮蜗杆</p> 		
	<p>f) 齿轮齿条机构</p> 		

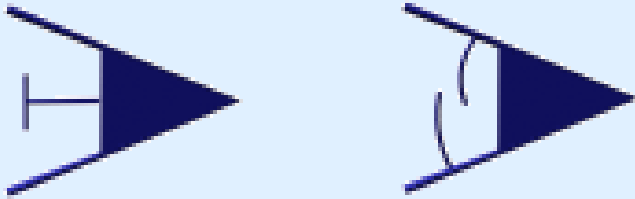
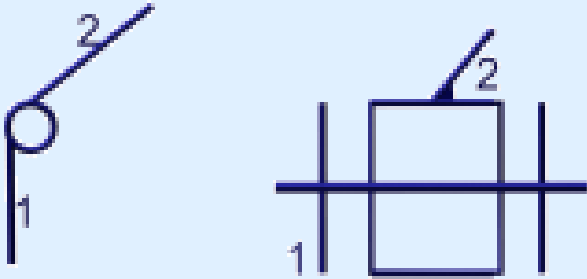
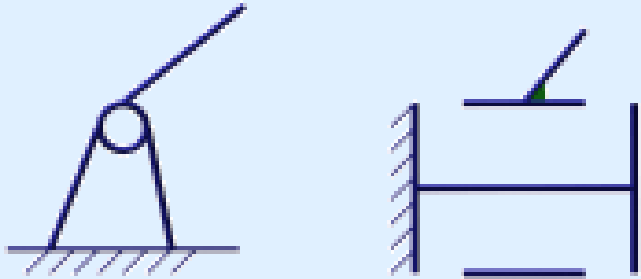
## 常用机构的简图符号 (五)

名称	类别	基本符号
原 动 机	1. 通用符号 (不指明类型)	
	2. 电动机 (一般符号)	
	3. 装在支架 上的电动机	

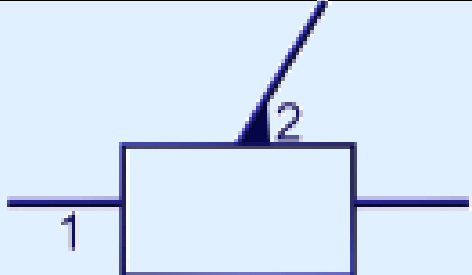

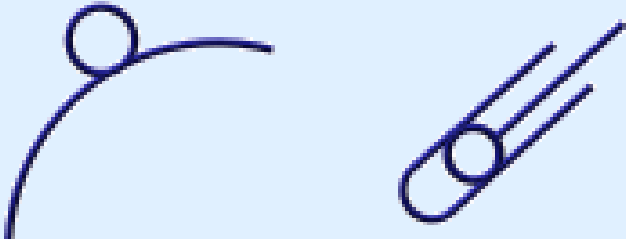
## 构件及其运动副相联接的表达方法(一)

名称	表示内容	常用符号
机架		
固定联接	构件的永久联接	
	构件与轴的固定联接	

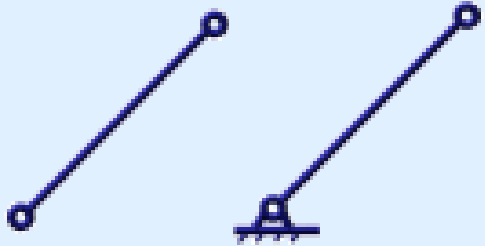
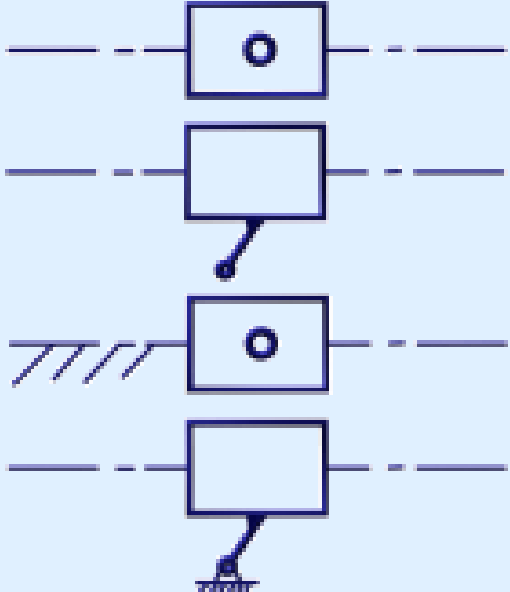
## 构件及其运动副相联接的表达方法(二)

名称	表示内容	常用符号
可调联接		
两构件以运动副相联接。 (两构件与一内副)	两活动构件以转动副相联接	
内副为联接所研究的两个构件的运动副	活动构件与机架以转动副相联接	

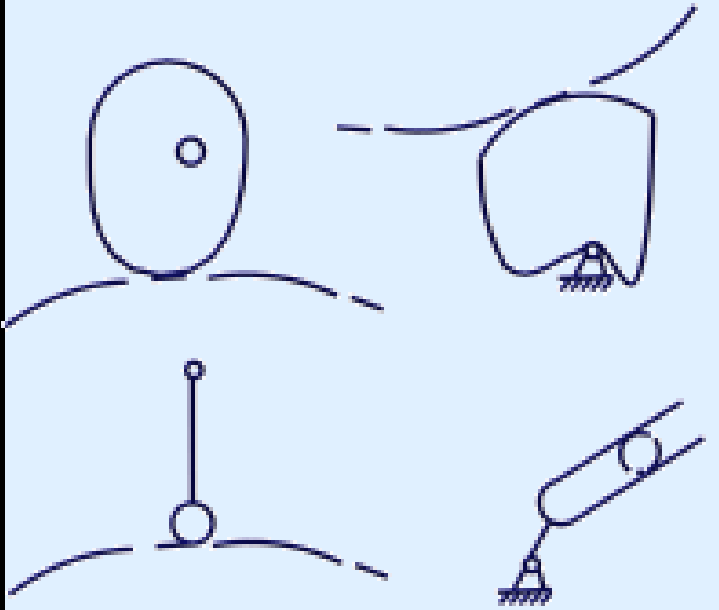
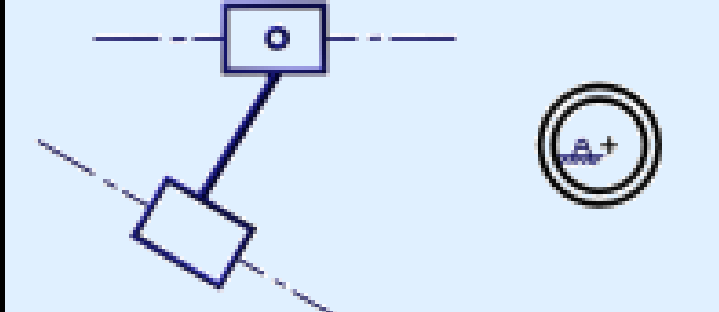
## 构件及其运动副相联接的表达方法 (三)

名称	表示内容	常用符号
两构件以运动副相联接。 (两构件与一内副)	两活动构件以移动副相联接	
	活动构件与机架以移动副相联接	
	两活动构件以平面高副相联接	

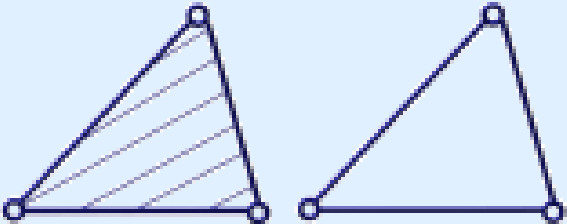
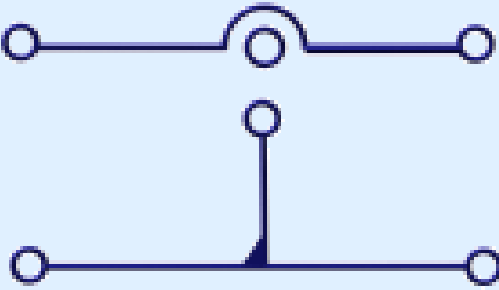
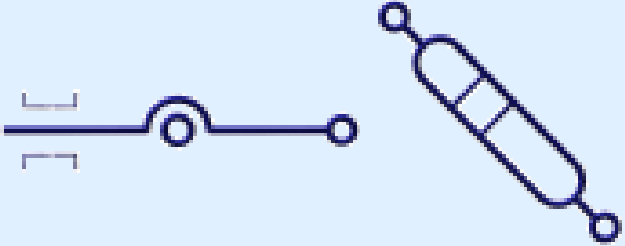
## 构件及其运动副相联接的表达方法(四)

名称	表示内容	常用符号
双副构件 (一构件 与两外副)	带两个转动副 的构件	
外副指的是 研究的构件 将与其它构 件相联接的 运动副  点划线代表 以移动副与 其它构件	带一个转动副 和一个移动副 的构件	

## 构件及其运动副相联接的表达方法 (五)

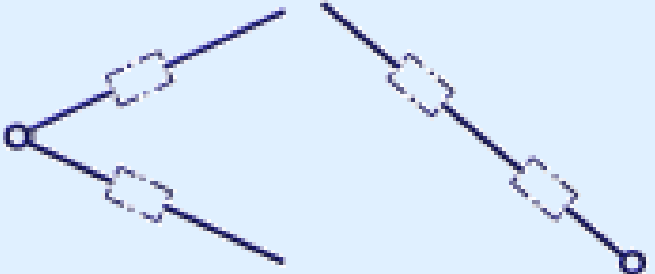
名称	表示内容	常用符号
双副构件 (一构件 与两外副)	带一个转动副 和一个平面高 副的构件	 The diagram illustrates a link with two types of joints. On the left, a link with a central pivot point is shown connected to a curved surface, representing a revolute joint. On the right, a link with a curved profile is shown in contact with a hatched surface, representing a high pair. Below these, a link with a pivot point is shown connected to a curved surface, and another link with a cylindrical end is shown in contact with a hatched surface, also representing high pairs.
	带两个移动副的 构件  偏心轮	 The diagram shows a link with two rectangular blocks connected by a diagonal line, representing two sliding joints. To the right, there is a circular symbol with a plus sign and a hatched area, representing an eccentric wheel.

## 构件及其运动副相联接的表达方法(六)

名称	表示内容	常用符号
三副构件 (一构件 与三外副)	带三个转动副 形成封闭三角 性的构件	
	带三个转动副 的杆状构件	
	带两个转动副 和一个移动副 的构件	



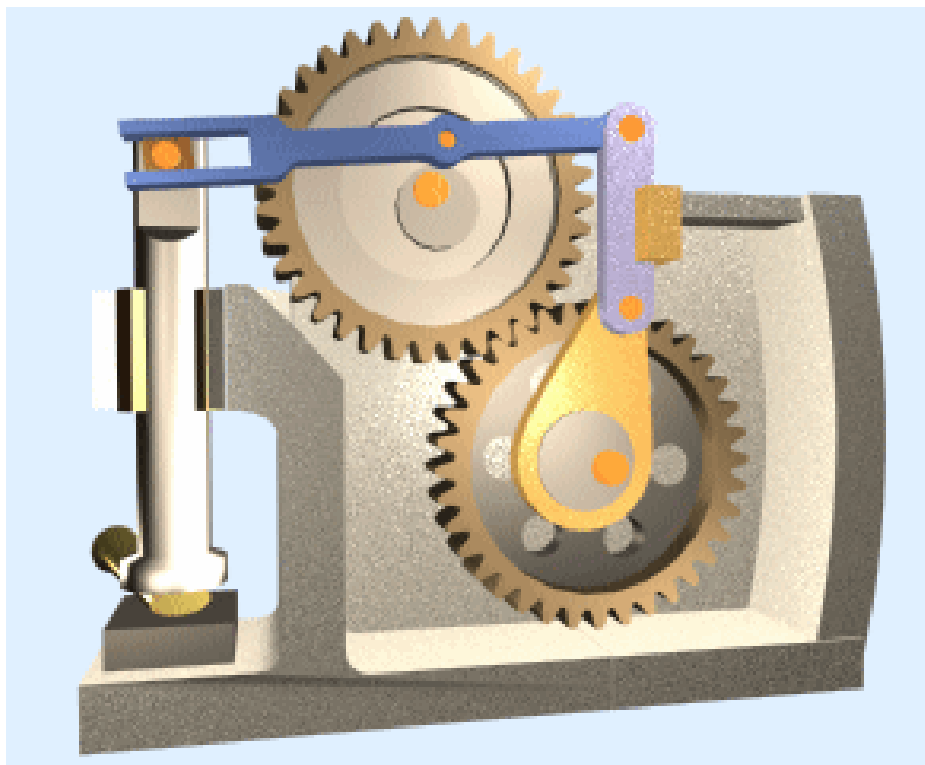
## 构件及其运动副相联接的表达方法(七)

名称	表示内容	常用符号
三副构件 (一构件 与三外副)	带一个转动副 和两个移动副 的构件	

点划线代表以移动副与其相联接的其它构件

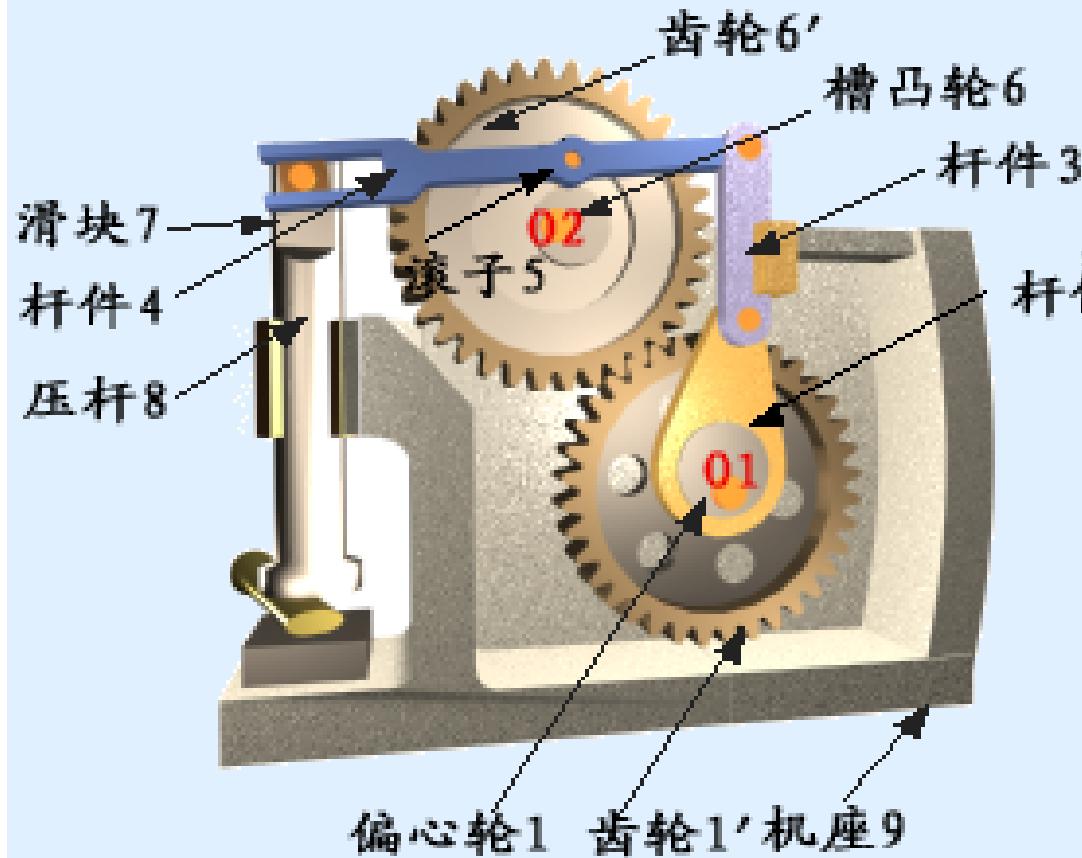
其他零部件的表示方法可参看GB4460—84“机构运动简图符号”。

- 绘制小型压力机机构运动简图



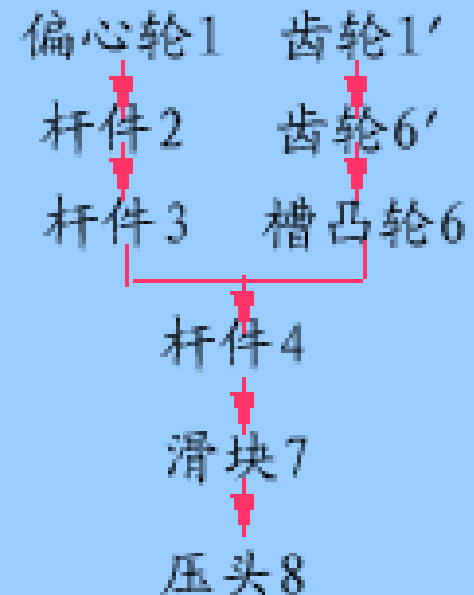
## 组成情况

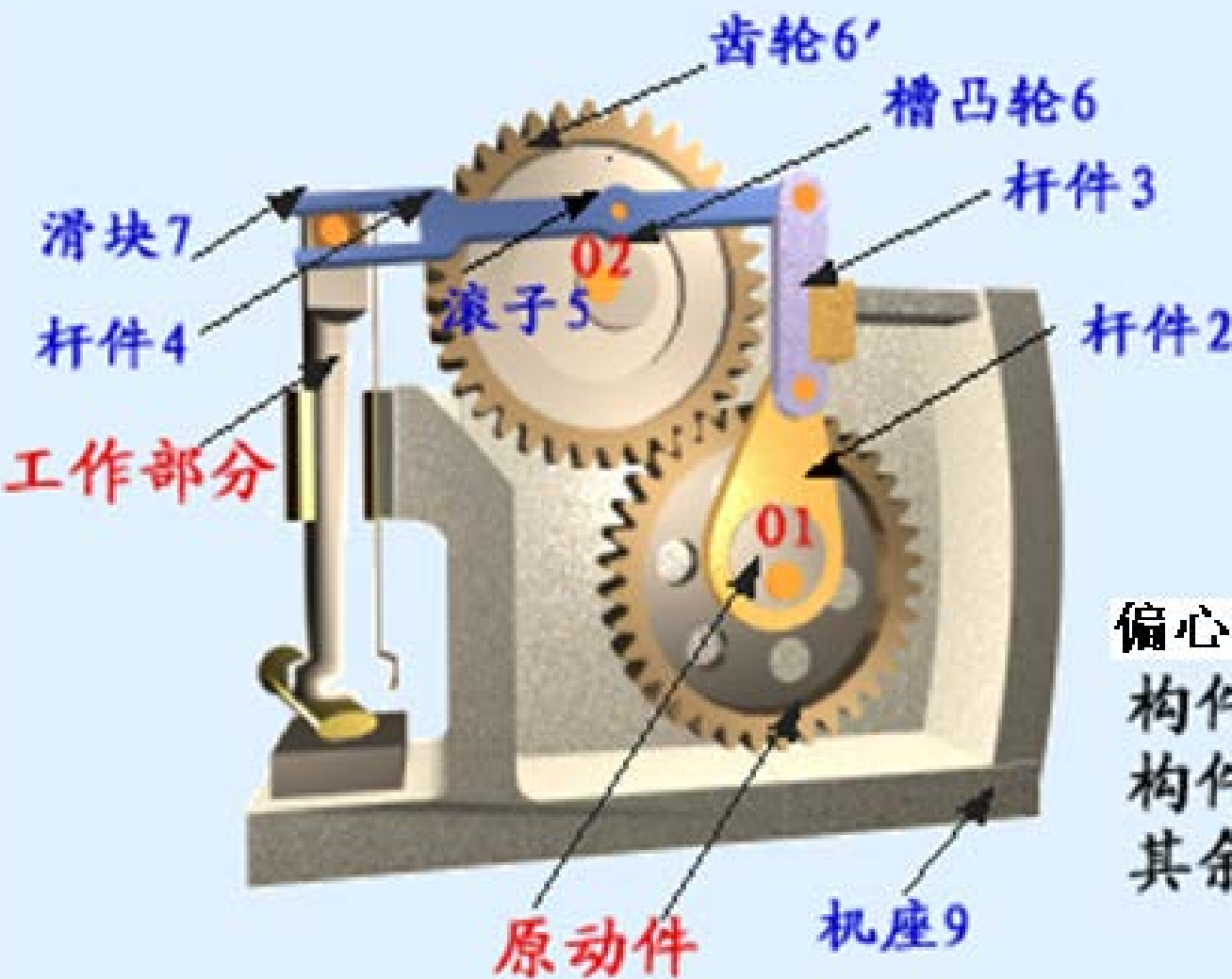
(1) 分析机构的组成情况、动作原理和运动情况。



齿轮6'和槽凸轮6固结在转轴02上,它们是一个构件,齿轮1'和偏心轮1固结在转轴01上,它们也是一个构件;即该压力机共有9个构件。机座9为机架。

杆件2 **动作原理和运动情况**





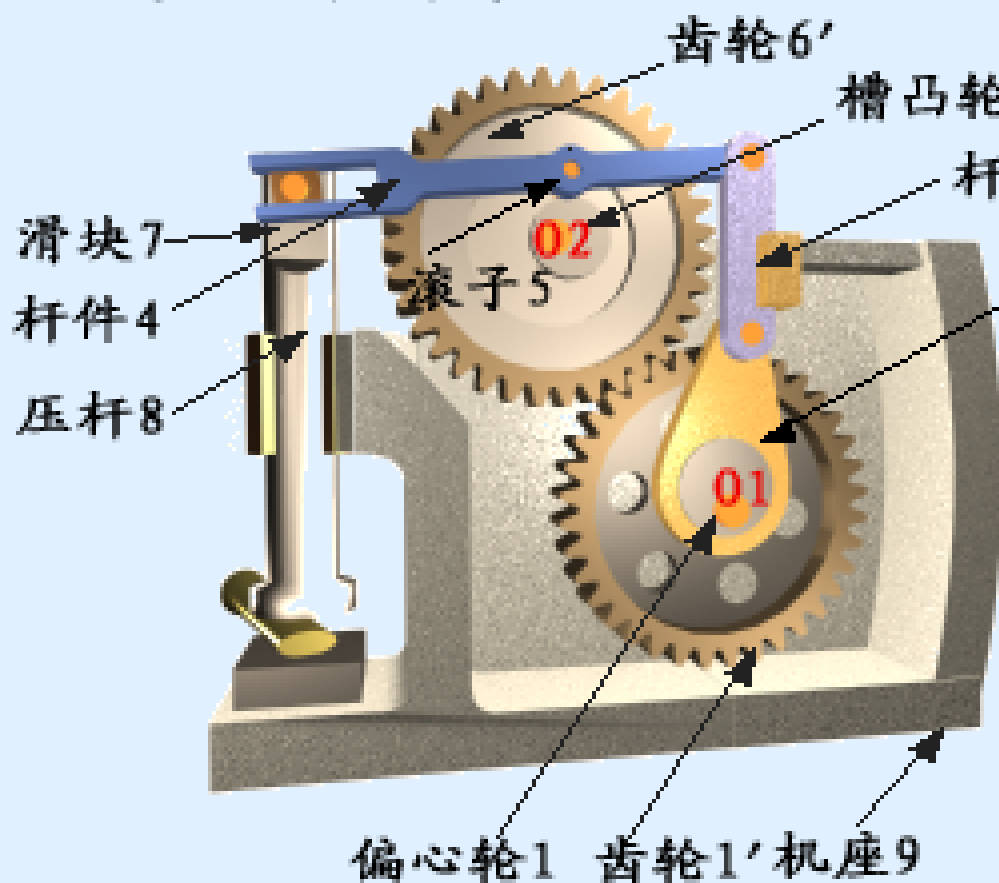
分析该机构的原动件、传动部分和执行部分。

**偏心轮-齿轮**

构件1-1' 为原动件；  
 构件8为工作部分；  
 其余部分为传动部分。

(2) 分析各连结构件之间相对运动性质，  
确定各运动副的类型。

平面低副



移动副

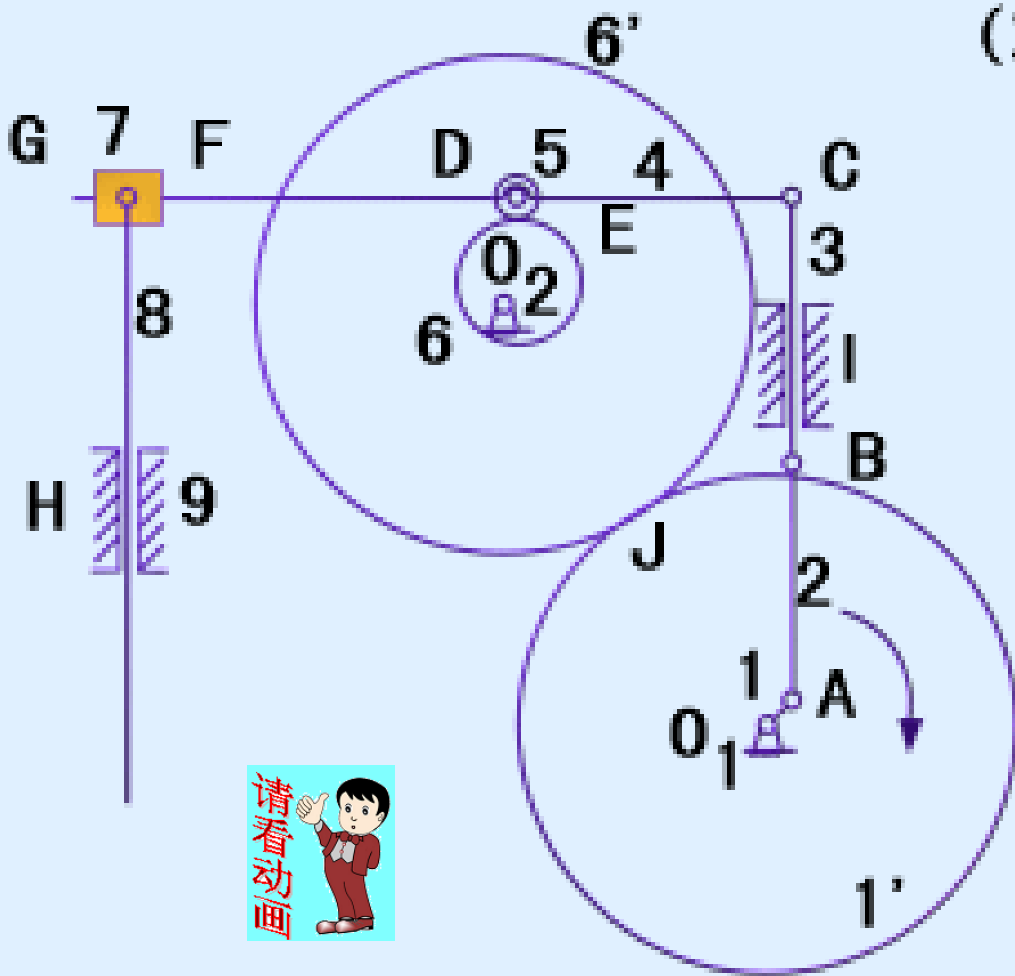
3—9
8—9
4—7

转动副

9—1-1'
1—2
2—3
3—4
4—5
9—6-6'
7—8

平面高副

1'—6'
5—6



(3) 选择视图投影面及比例尺, 绘制出机构运动简图, 标出原动件转向。

在本例中选取投影平面平行于正视图平面。各运动副均在此平面或其平行平面内。



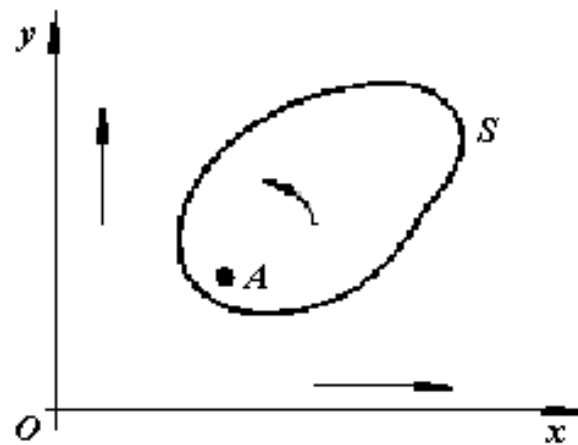
## 1.3 平面机构的自由度

- **自由度**——可能出现的独立运动称为构件的自由度。

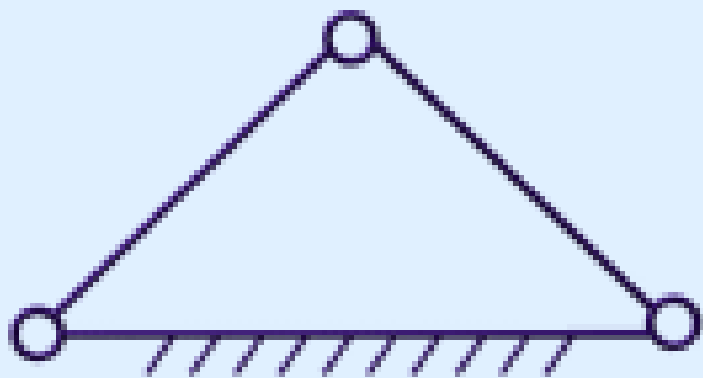
### 1.3.1 平面机构自由度及其计算公式

设平面机构共有 $N$ 个构件，低副和高副数目分别为 $P_L$ 和 $P_H$ ，如将机构中某一构件固定为机架，则机构中的活动构件数为 $n=N-1$ 。由于活动构件给机构带进 $3n$ 个自由度，而机构中全部运动副所引入的约束总数为 $2P_L + P_H$ 。因此活动构件的自由度总数减去由运动副引入的约束总数就是该机构的自由度，用 $F$ 表示，即

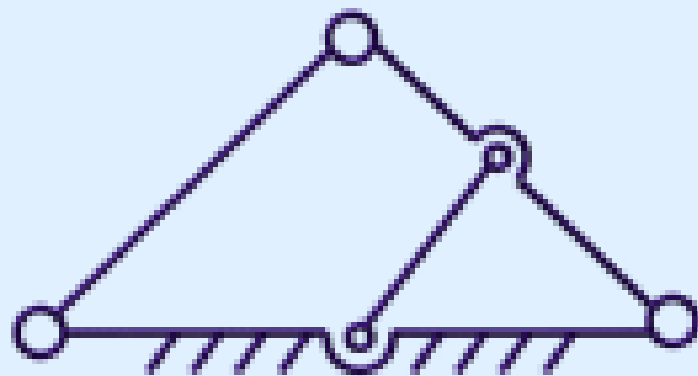
$$F = 3n - 2P_L - P_H$$



## 1.3.2 机构具有确定相对运动的条件



(a)

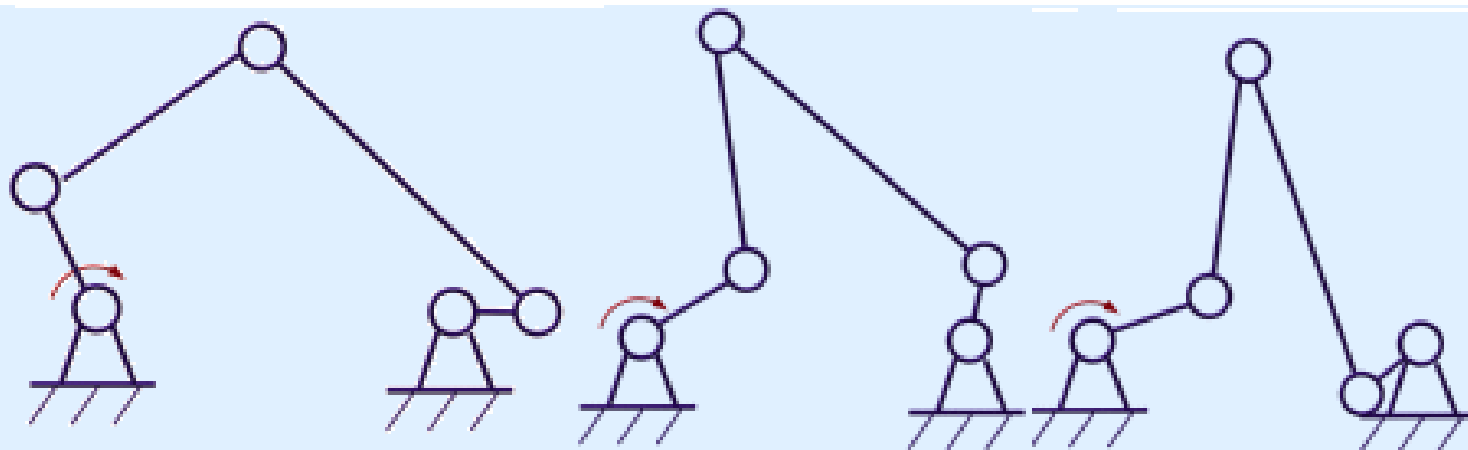


(b)

$$F_a = 3 \times 2 - 2 \times 3 = 0 \quad F_b = 3 \times 3 - 2 \times 5 = -1$$

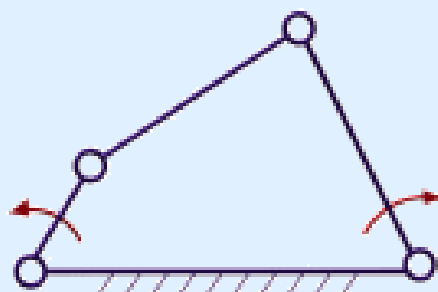
$F \leq 0$ , 运动链约束过多, 已成为桁架, 不能成为机构。



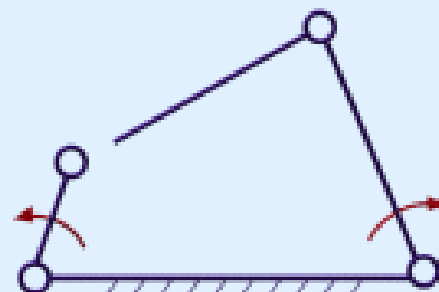


$$F = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$$

$F > 0$ , 但原动件的数目小于自由度的数目, 运动链没有确定的运动, 不能成为机构。



$$F = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$



$F > 0$ , 但原动件的数目大于自由度的数目, 运动链将破坏, 不能成为机构。



机构具有确定相对运动的条件：  
机构的自由度等于原动件个数。

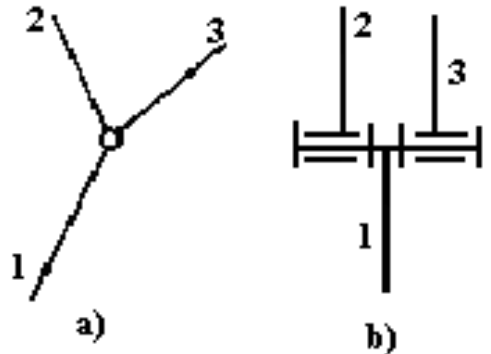


原动件活  
塞，自由  
度为1。  
将直线运  
动变位往  
复摆动。

# 1.3.3 计算平面机构自由度的注意事项

## 1. 复合铰链

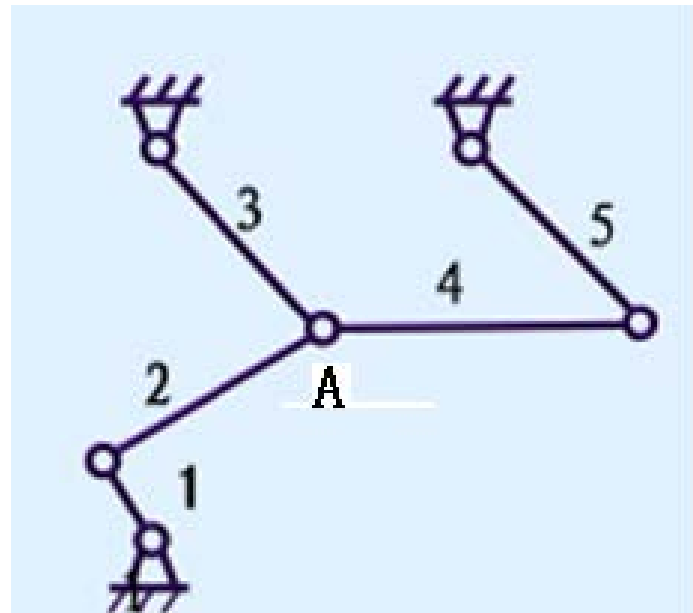
• 两个以上的构件在同一轴线上用转动副连接起来形成复合铰链。由K个构件汇交成的复合铰链应当包含(K-1)个回转副。计算时不可漏算。



## 计算自由度

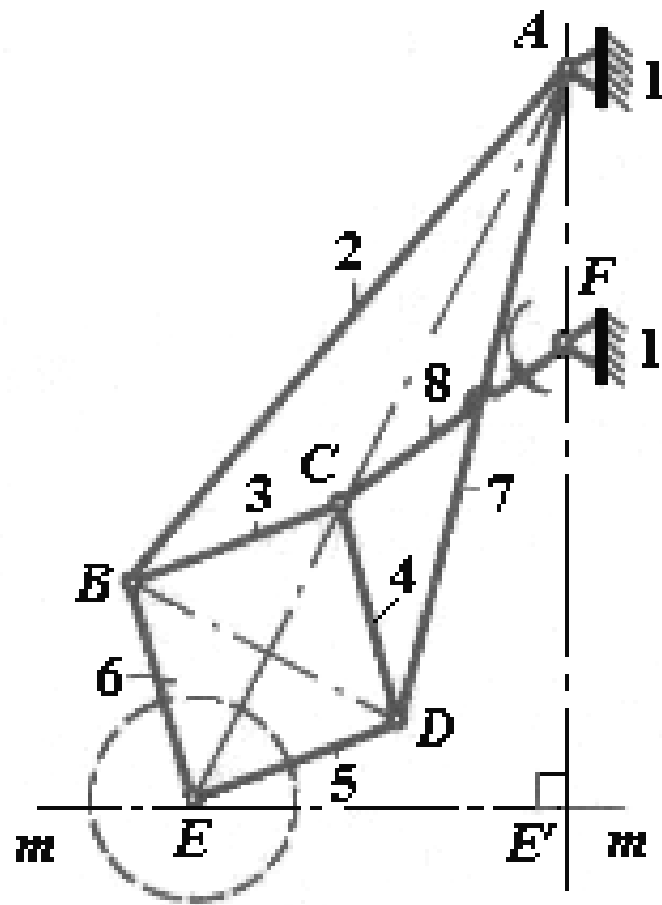
$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 * 5 - 2 * 7 = 1$$

A为复合铰链



例：计算图所示圆盘锯主体机构的自由度。

解 机构中有7个活动构件， $n = 7$ ， $E, B, C, D$  4处都是3个构件汇交成的复合铰链，各有二个回转副，故 $P_L = 10$ 。



$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 10 = 1$$

$F$ 与机构原动件个数相等。因此，当原动件8转动时，圆盘中心 $E$ 将确定地沿直线 $EE'$ 移动。

## 2. 局部自由度

机构中某些构件所具有的自由度仅与其自身的局部运动有关，并不影响其它构件的运动，则称该自由度为局部自由度。

发生场合：有滚子的地方，就一定有局部自由度

解决方法：将滚子与安装滚子的构件固结在一起，将二者视为一个构件。



$$F = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 \times 1 = 2$$



$$F = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 \times 1 = 1$$

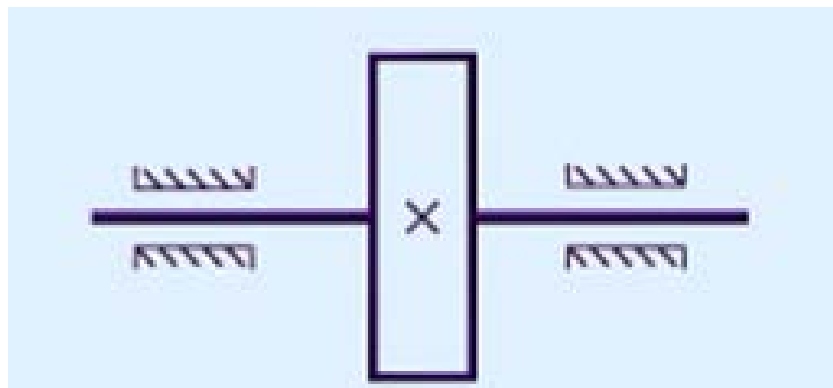
### 3. 虚约束

在特定几何条件或结构条件下，某些运动副所引入的约束可能与其它运动副所起的限制作用一致，这种不起独立限制作用的重复约束为序约束，**计算自由度时去掉。**

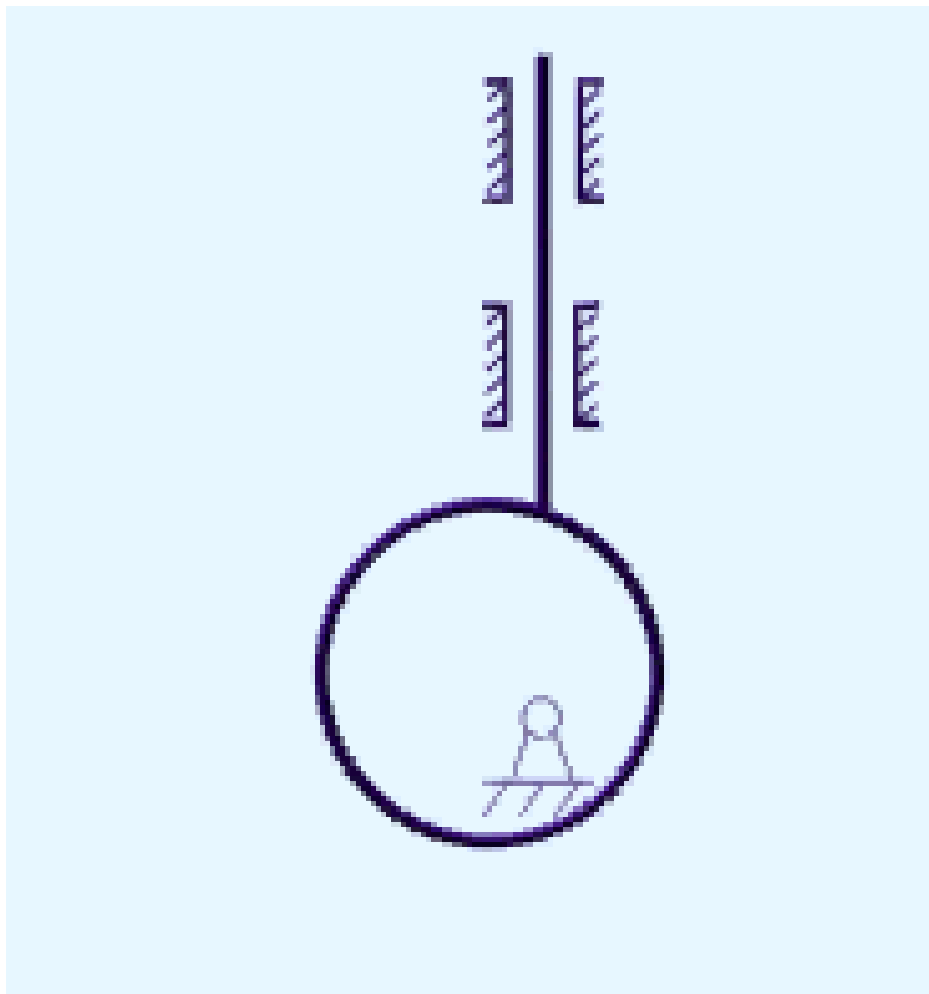
虚约束经常出现在场合：

(1) 两构件构成多个运动副时

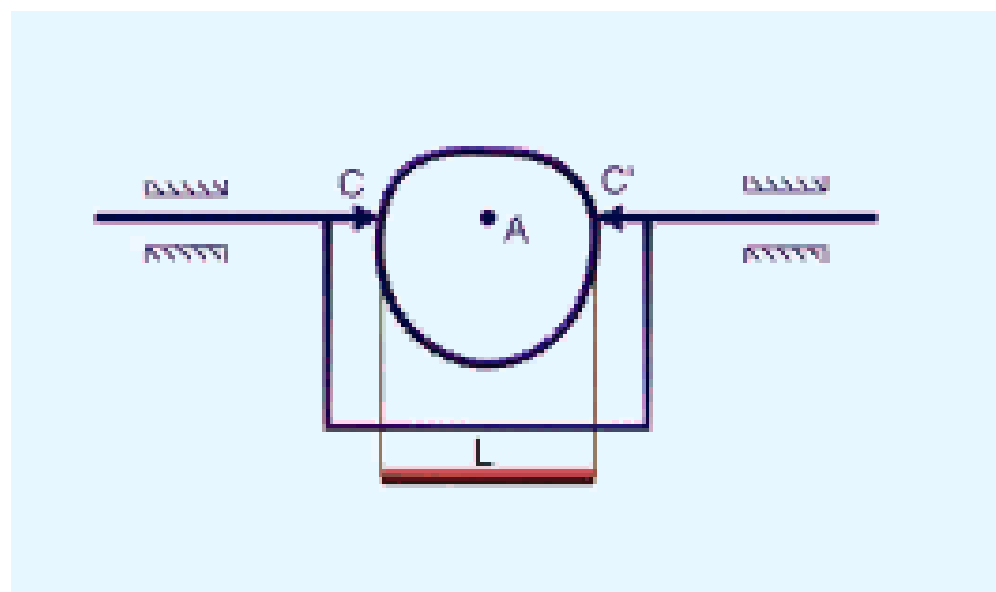
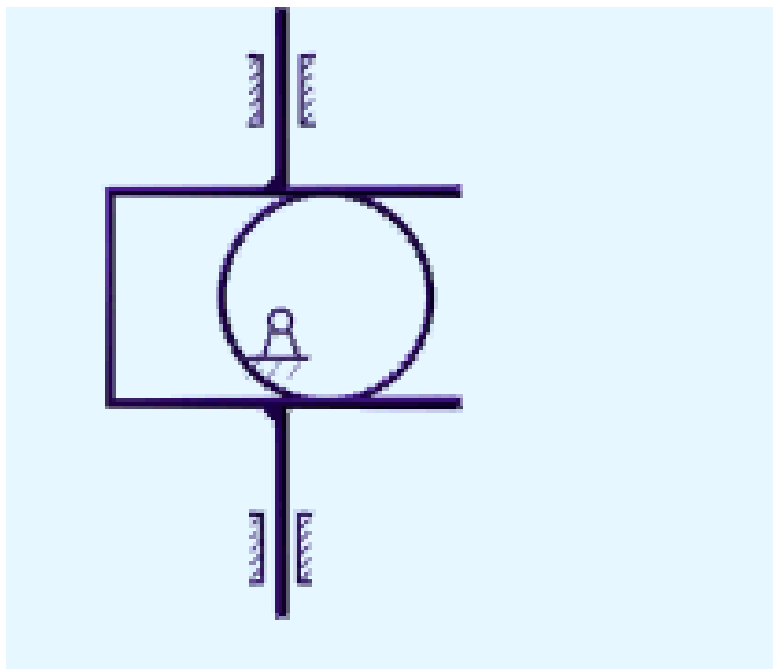
两构件构成多个转动副，但其轴线相重合：为了改善构件受力情况。



两构件构成多个运动副时，但其导路相互平行或重合：为了改善构件受力情况。

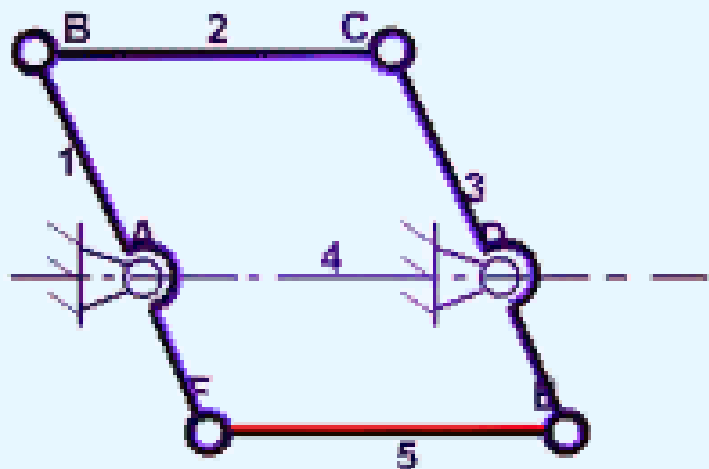


两构件组成多个平面高副，但接触点之间的距离为常数



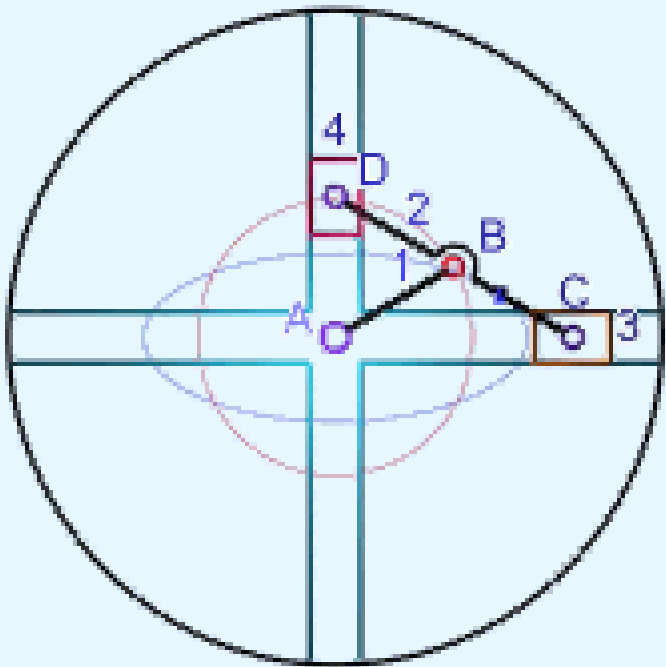


(2) 两构件上某两点间的距离在运动过程中始终保持不变。



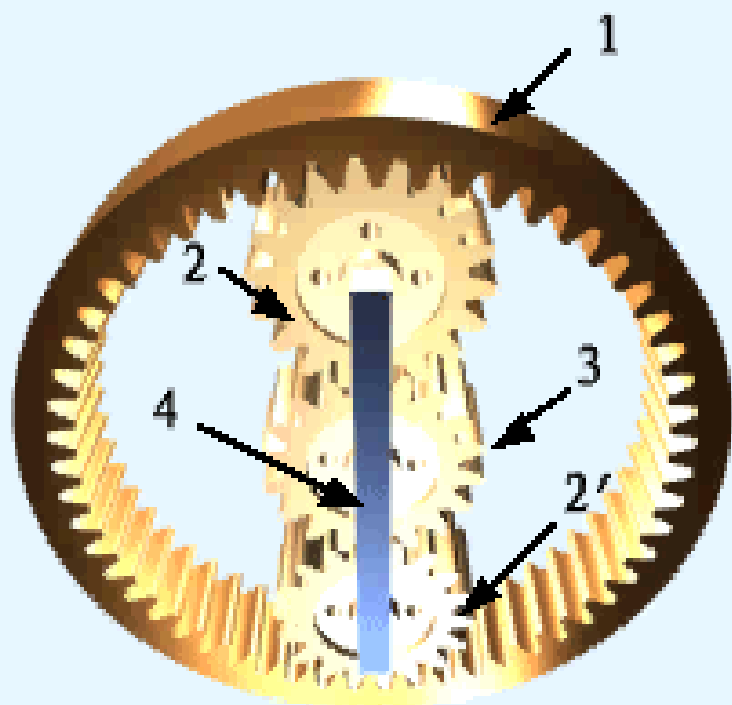
在图示平面连杆机构中  $AB // CD$ ,  $AF // DE$ , 故在机构运动过程中, 构件1上的E点与构件2上的F点距离保持不变. 若将E、F两点以构件5相联, 则引入了一个虚约束。

### (3) 联接构件与被联接构件上联接点的轨迹重合



在图示椭圆仪中，由于  $BD=BC=AB$ ， $\angle DAC = 90^\circ$ ，故可证明其连杆上除B、C、D三点外，其余各点的运动轨迹为椭圆，而D点轨迹为沿Y轴的直线。此时，若在D处安装一个导路与Y轴重合的滑块4，使其与连杆2组成转动副，与机架5组成移动副，引入一个虚约束。

## (4) 机构中对运动不起作用的对称部分

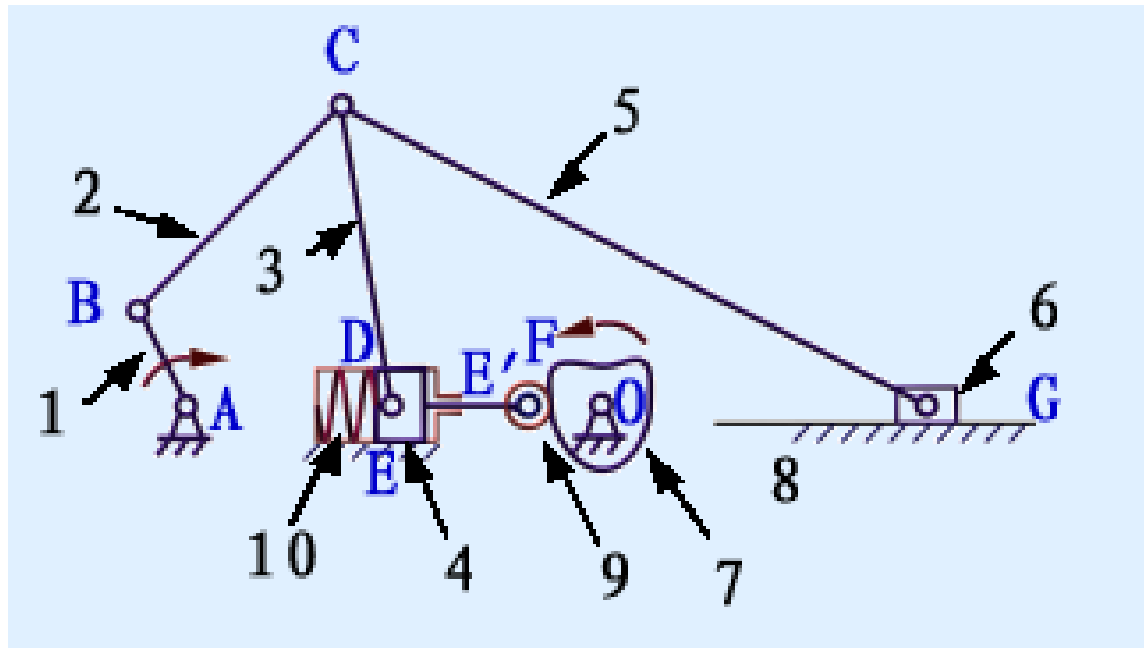


在图示行星轮系中从运动传递角度看,只需要一个行星轮2就够了。

但为了使机构受力均衡和传递较大功率,增加了与2对称的行星轮2'。增加的行星轮2'和一个转动副及两个移动副引入了一个约束。

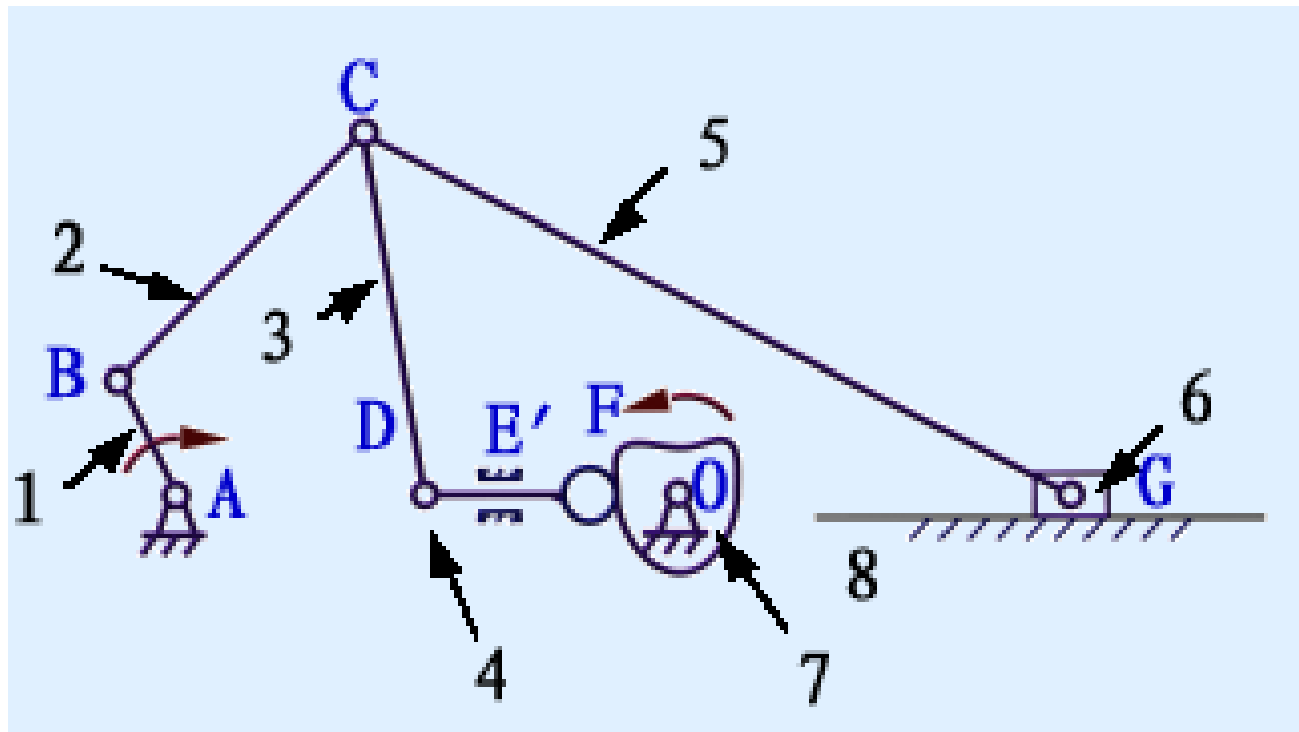
由于添加的行星轮2'和行星轮2完全相同,并不影响机构的运动情况,故为虚约束。

# 计算图示大筛机构的自由度



复合铰链：C点；局部自由度：滚在9与活塞4视为一体；  
虚约束：E与E<sup>1</sup>两处移动副，去掉一个虚约束；弹簧  
10不影响机构自由度，去掉。

# 得机构



$$n = 7, p_5 = 9, p_4 = 1$$

$$F = 3n - 2p_5 - p_4$$

$$= 3 \times 7 - 2 \times 9 - 1 = 2$$

## 1.4 机构的组成原理和结构分析

### 1.4.1 平面机构的高副低代

根据一定条件对机构中的高副以低副代替，称为高副低代。

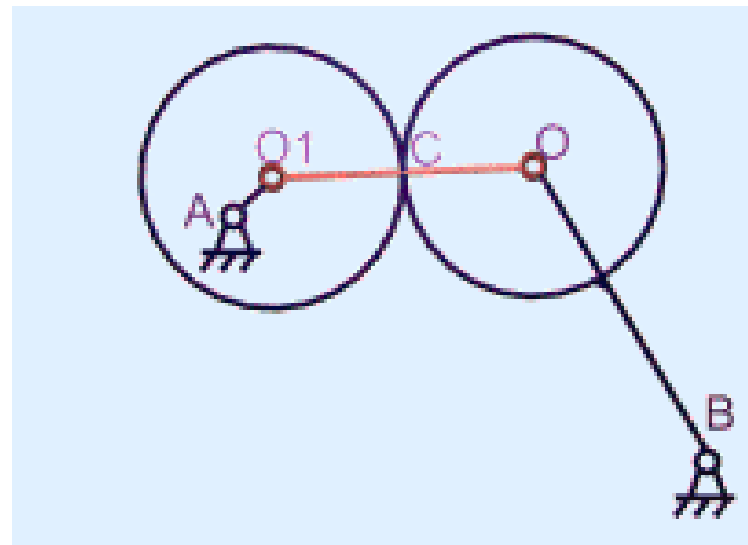
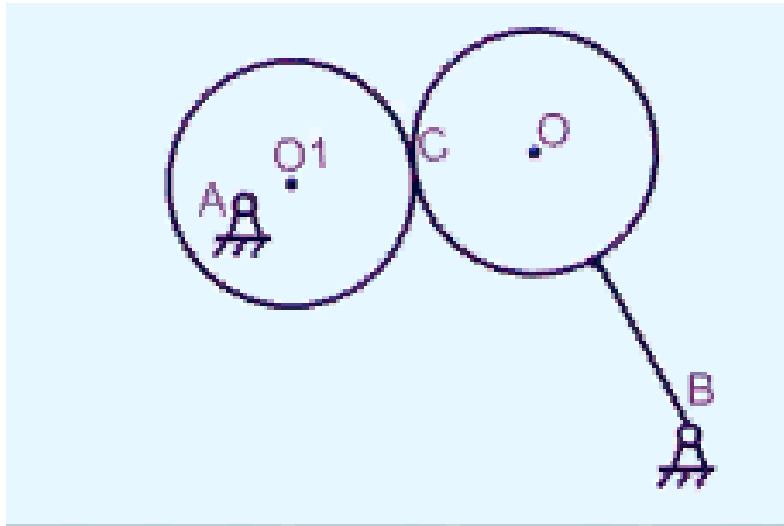
代替条件：代替前后机构自由度不变；瞬时度和瞬时加速度不变。

方法：一个构件加两个低幅。构件：过接触点法线，两个低幅：即为接触点圆弧曲率中心。

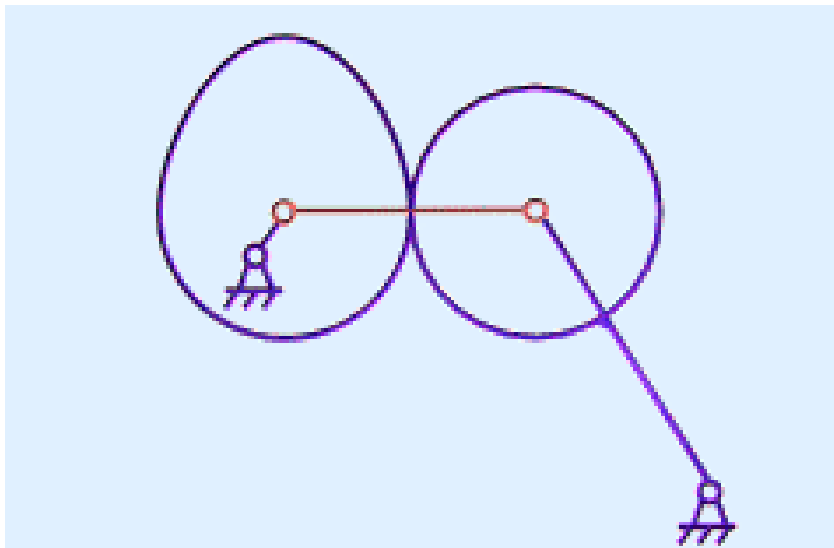
高副接触有三种：圆弧和圆弧接触；点和圆弧接触；线和圆弧接触。

# 1、圆弧和圆弧接触

(1) **圆形曲线**：图示，两构件在c点构成高副，机构在运动过程中， $AO_1$ 、 $BO$ 、 $O_1O$ 长度不变，用一杆 $O_1O$ 加两副 $O_1$ 和 $O$ 代替了原高副C。



## (2) 非圆形曲线

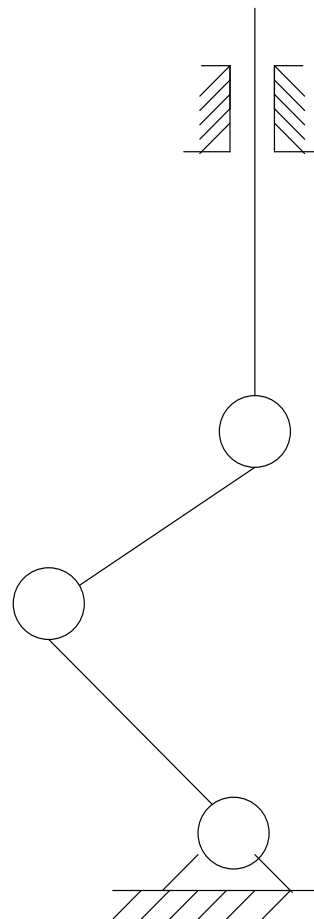
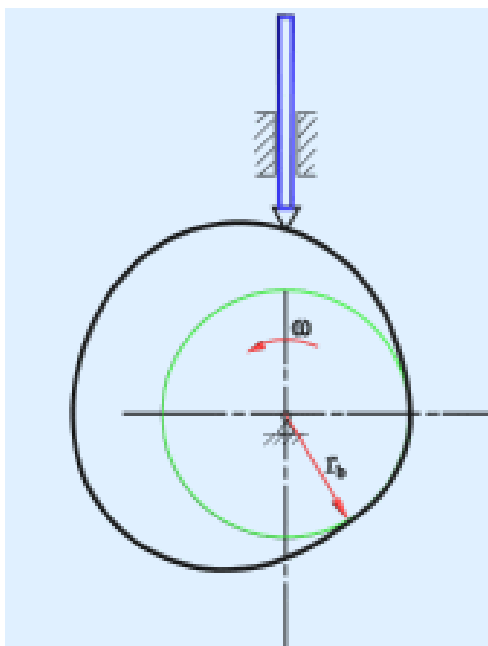


由于曲线各处曲率中心的位置不同，故在机构运动中随着接触点的改变，曲率中心 $O_1$ 相对于构件1、2的位置及 $O_1$ 间的距离也会随之改变。因此对于一般的高副机构，在不同的位置有不同的瞬时替代机构。[实例](#)

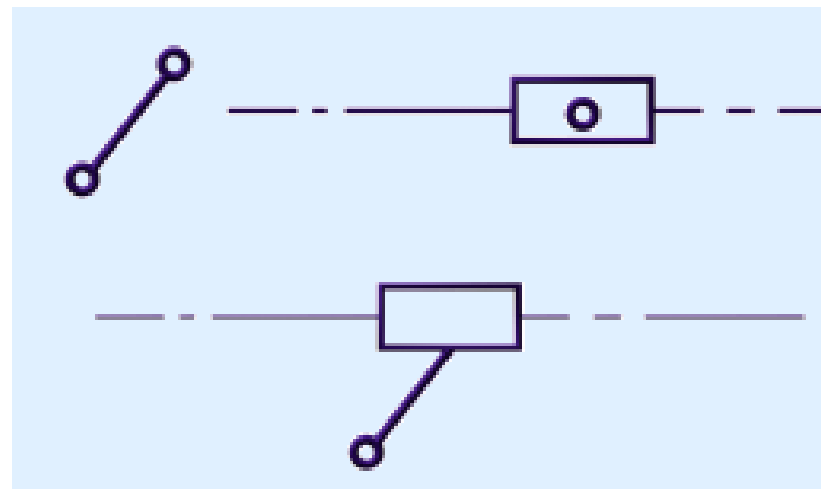
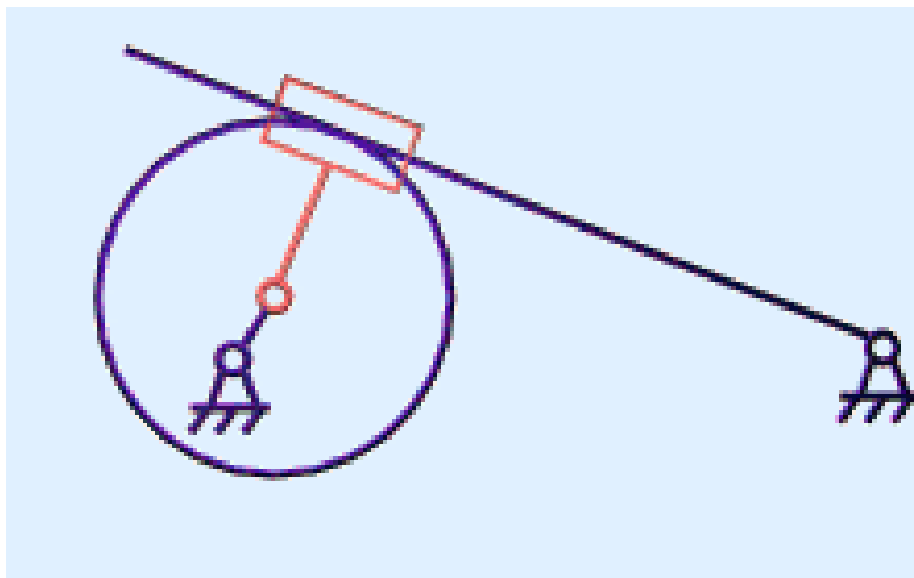
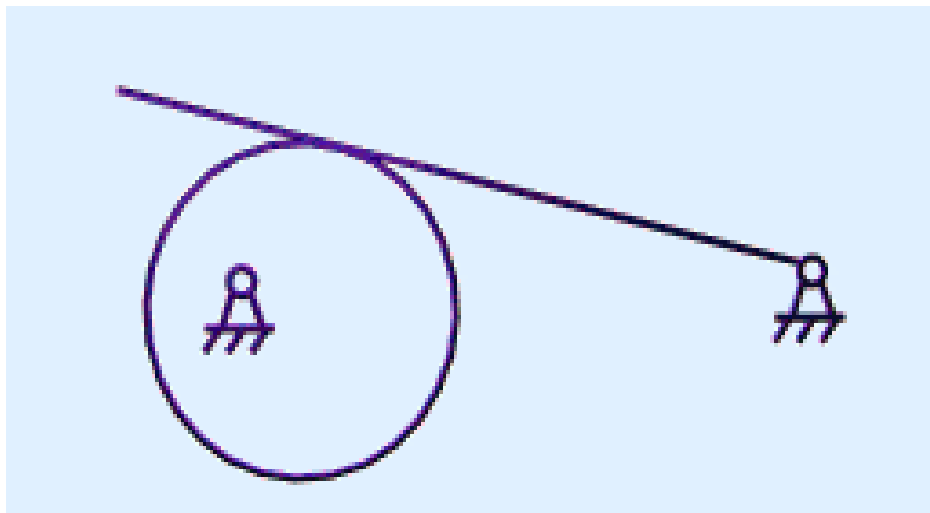
如果是一对齿轮，如何替代？



## 2、点和圆弧接触



## 2、直线和圆弧接触



## 1.4.2 机构的组成原理（低副机构）

任何机构中都包含原动件、机架和从动件系统三部分，而原动件的个数与自由度相等，所以去掉原动件，从动件系统的自由度为零。

**杆组：**从动件系统可分解成若干个不可再分的自由度为零的构件组合，称为基本杆组。简称杆组。

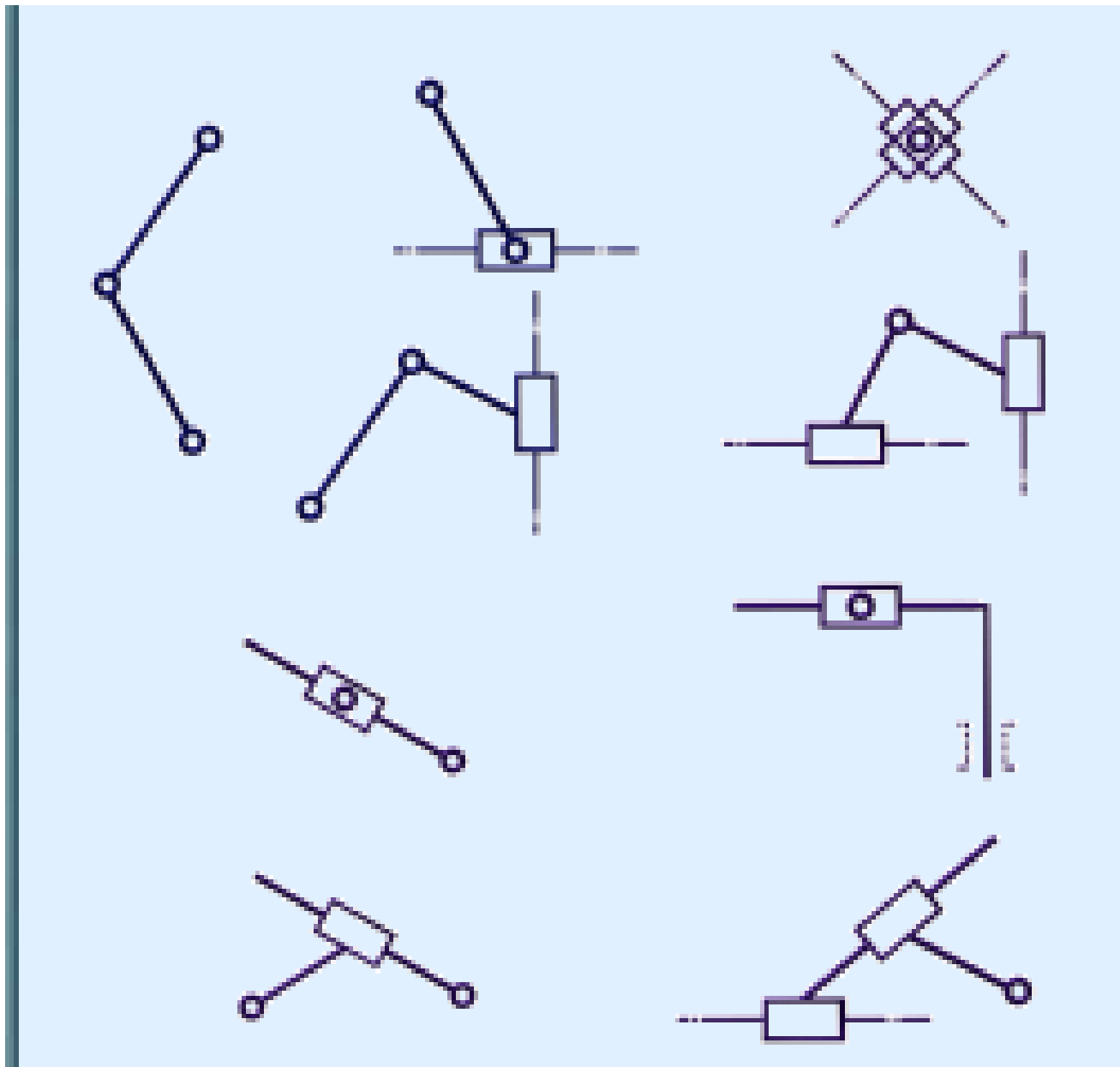
分类：从动件系统的自由度  $F=3n-2P_L=0$

1)  $n=2, P_L=3$  ----- 二类杆组（二杆三副）

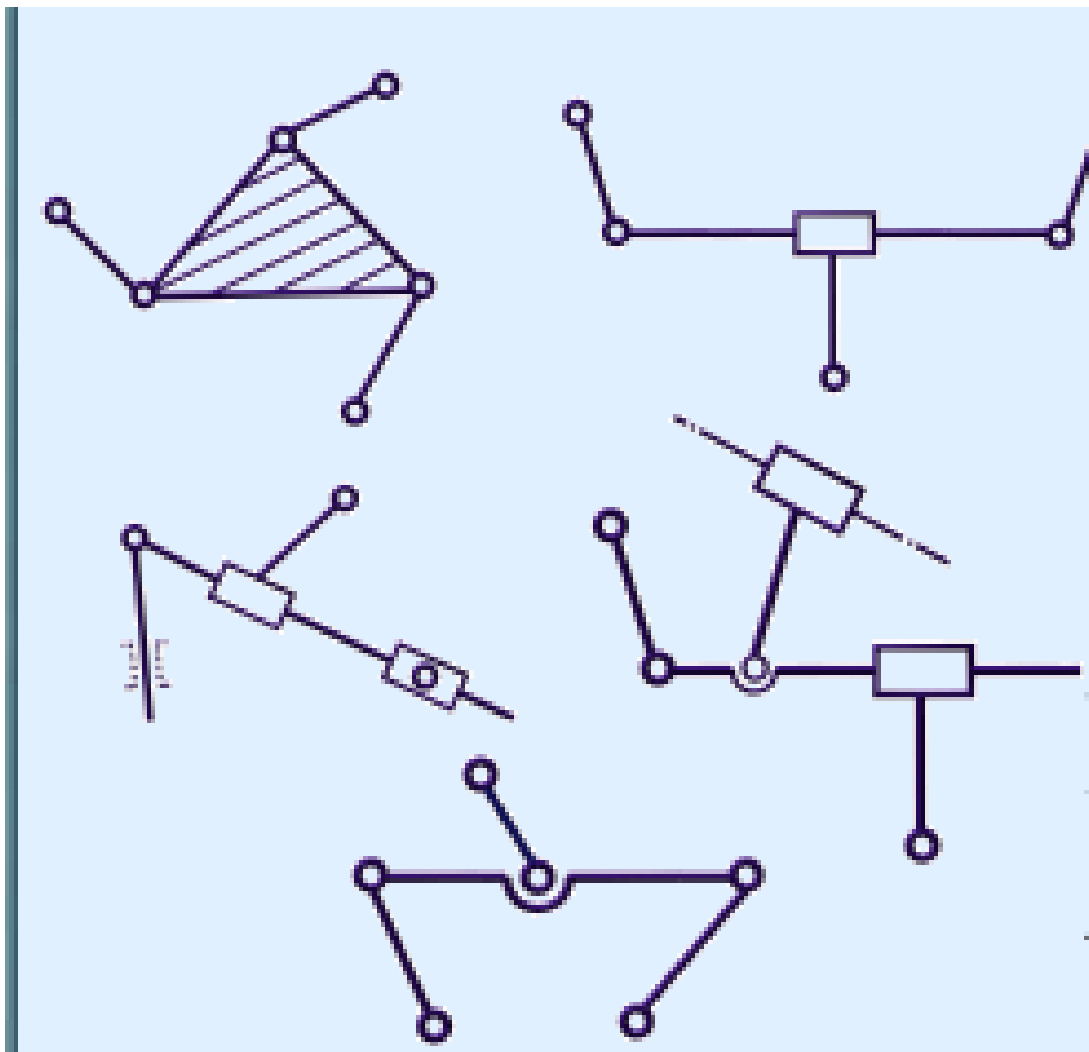
2)  $n=4, P_L=6$  ----- 多类杆组（四杆六副）

更高级别的基本杆组在实际机构中很少遇到。

# 常见二级杆组：



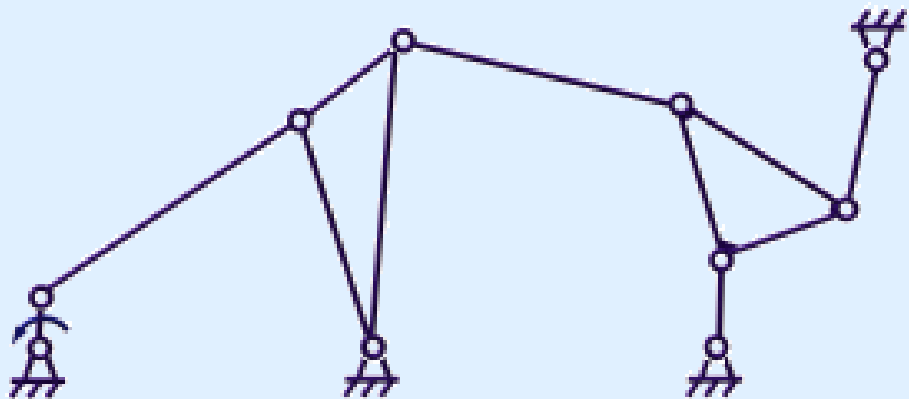
## 常见多级杆组：



最常见的是如左图所示的三级杆组。其特征是有一个三副构件，而每个内副所联接的分支机构是双福机构。

## 机构的组成原理：

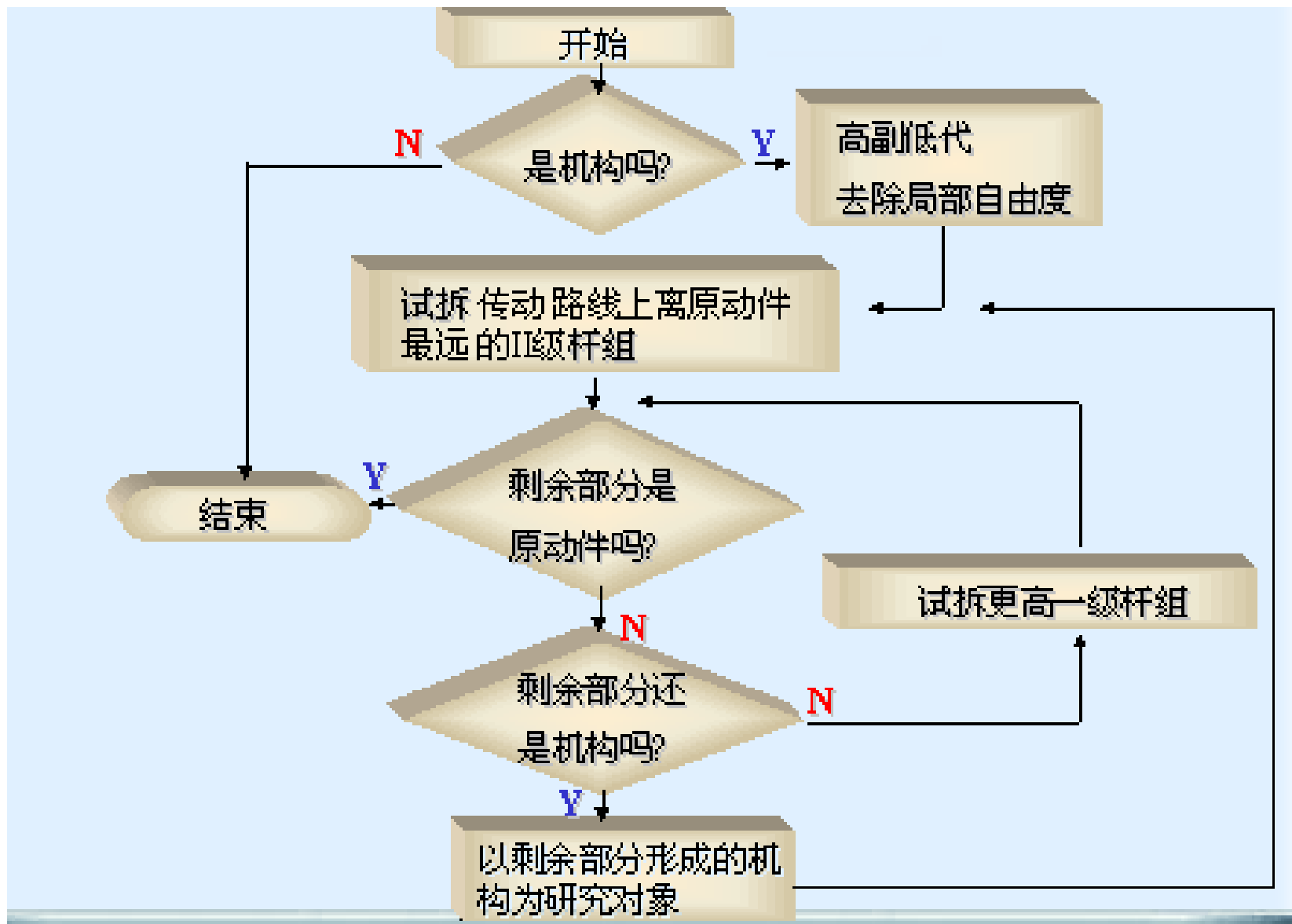
把若干个自由度为零的基本杆组依次联接到原动件和机架上，就可组成一个新的机构，其自由度与原动件数目相等。



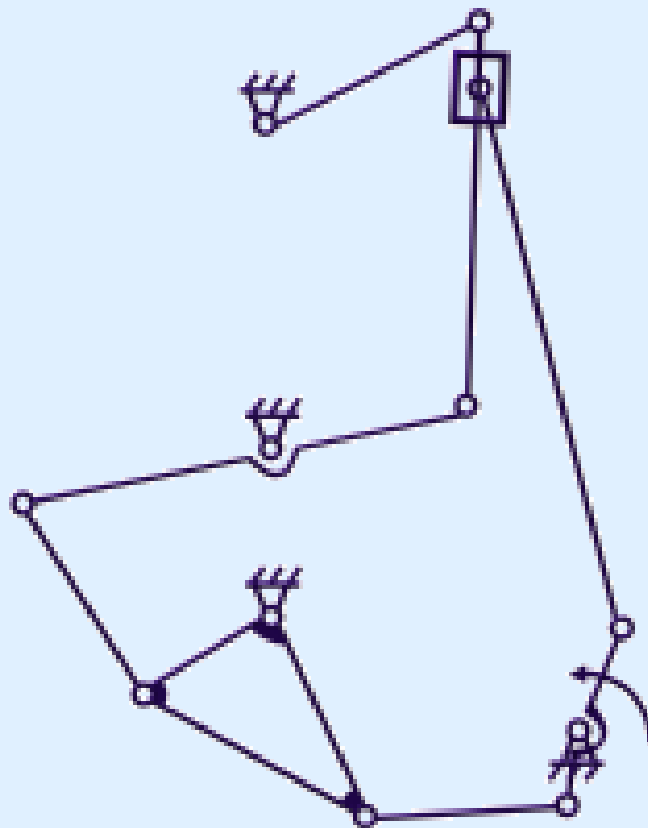
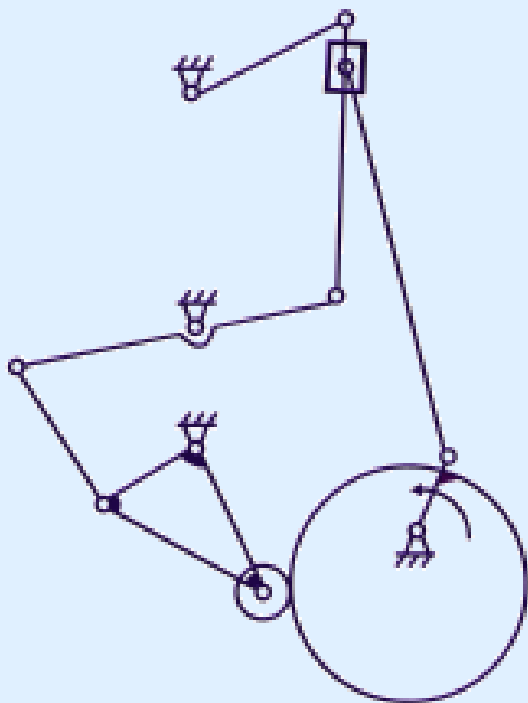
设计机构的准则：在满足相同工作要求的前提下，机构的结构越简单，杆组的级别越低，构件的运动副数目越少越好。

## 1.4.3 机构的结构分析

### 1、拆杆组：流程如下图



# 实例1



$$F = 3n - 2 \times p_5 - p_4$$

$$F = 3 \times 8 - 2 \times 11 - 1 = 1$$

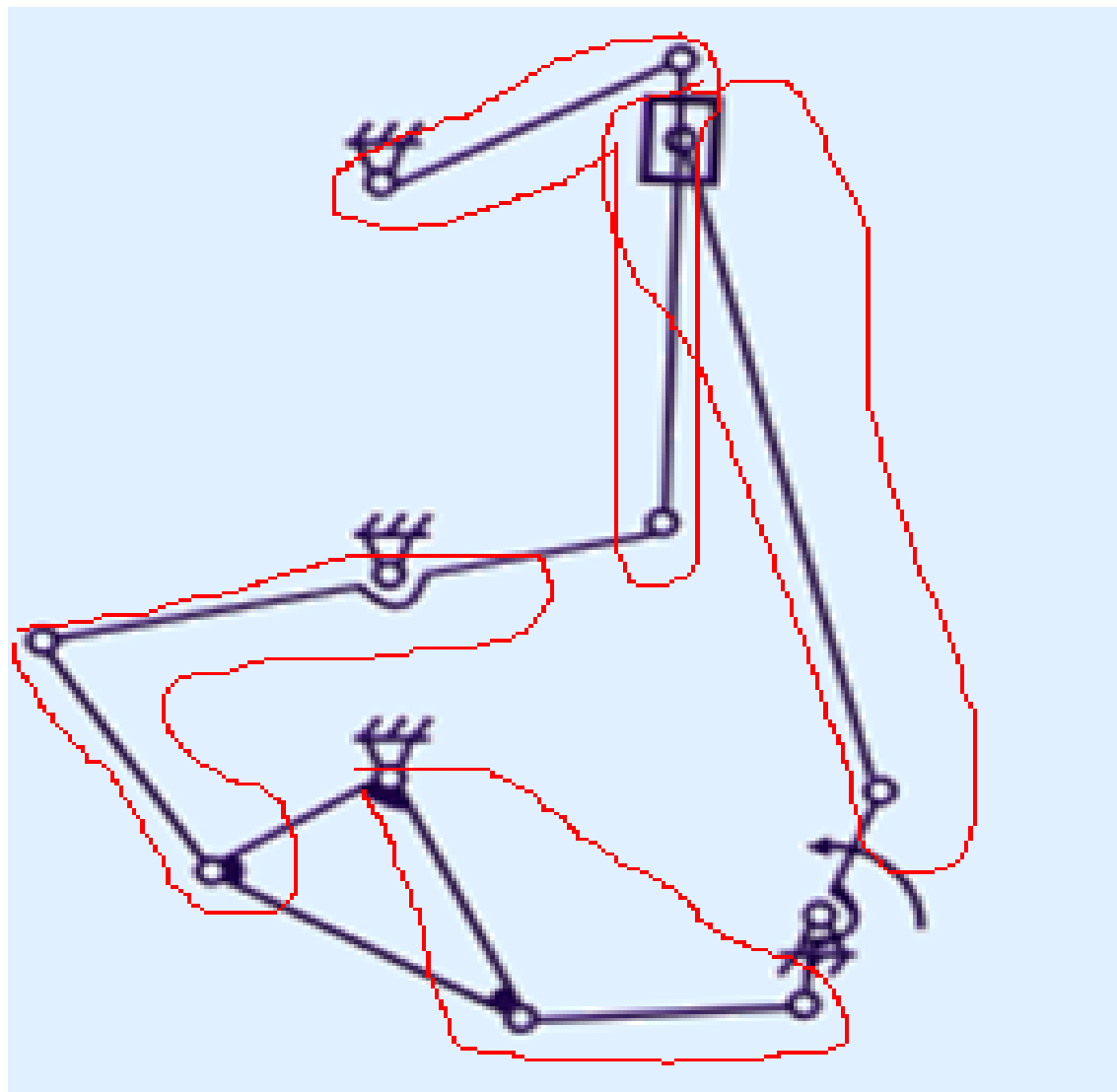
原动件的数目为1  
与自由度的数目相一致

高副低代

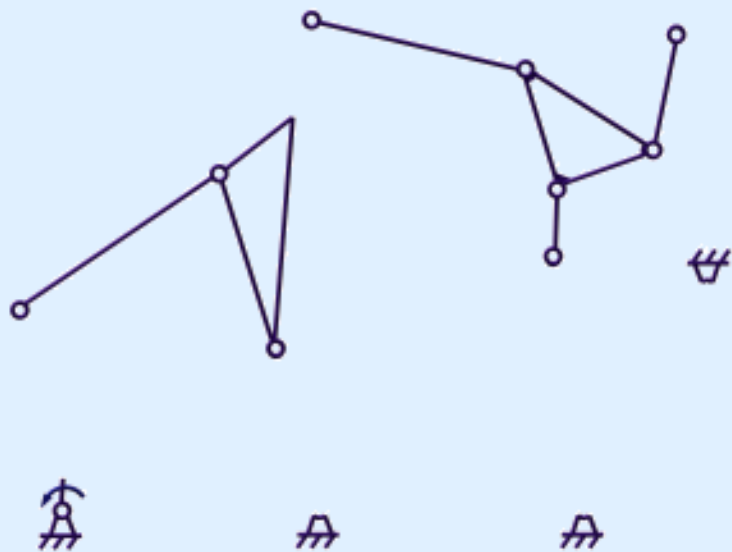
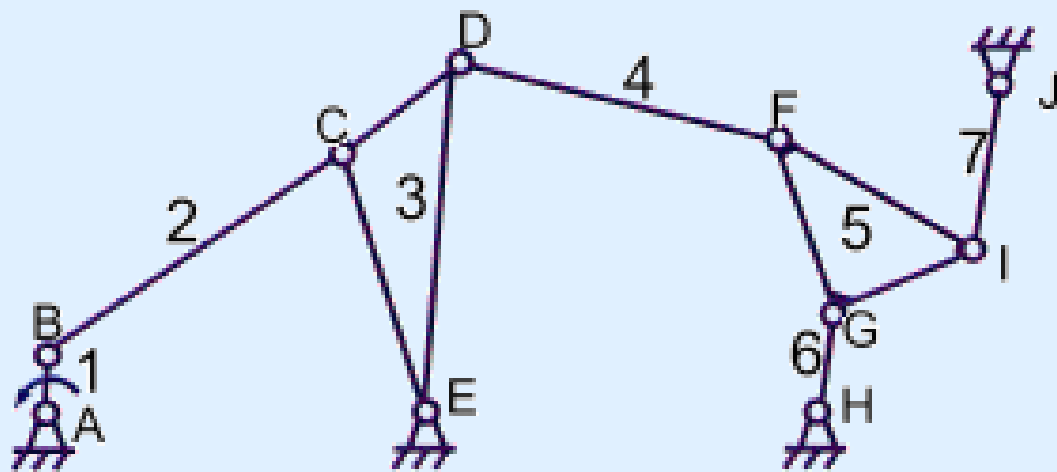
去除局部自由度



拆成4个二级杆组



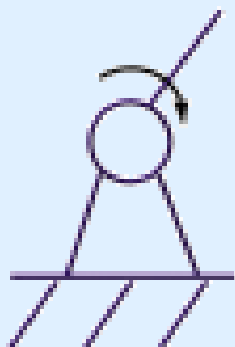
# 实例2



# 机构的级别:

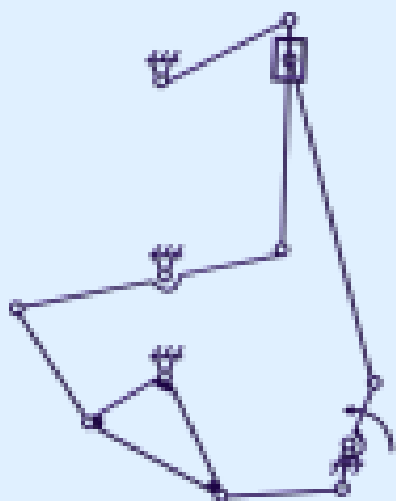
机构可由不同级别的杆组组成,通常以机构中包含的基本杆组的最高级来命名。

I级机构



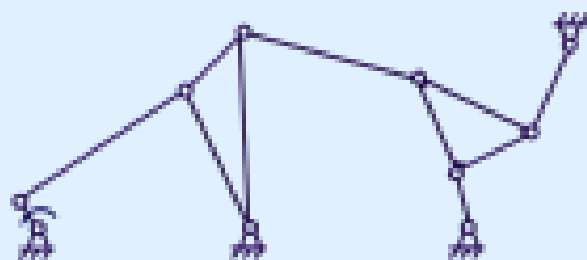
只由一个原动件  
和机架组成

II级机构



四个II级杆组

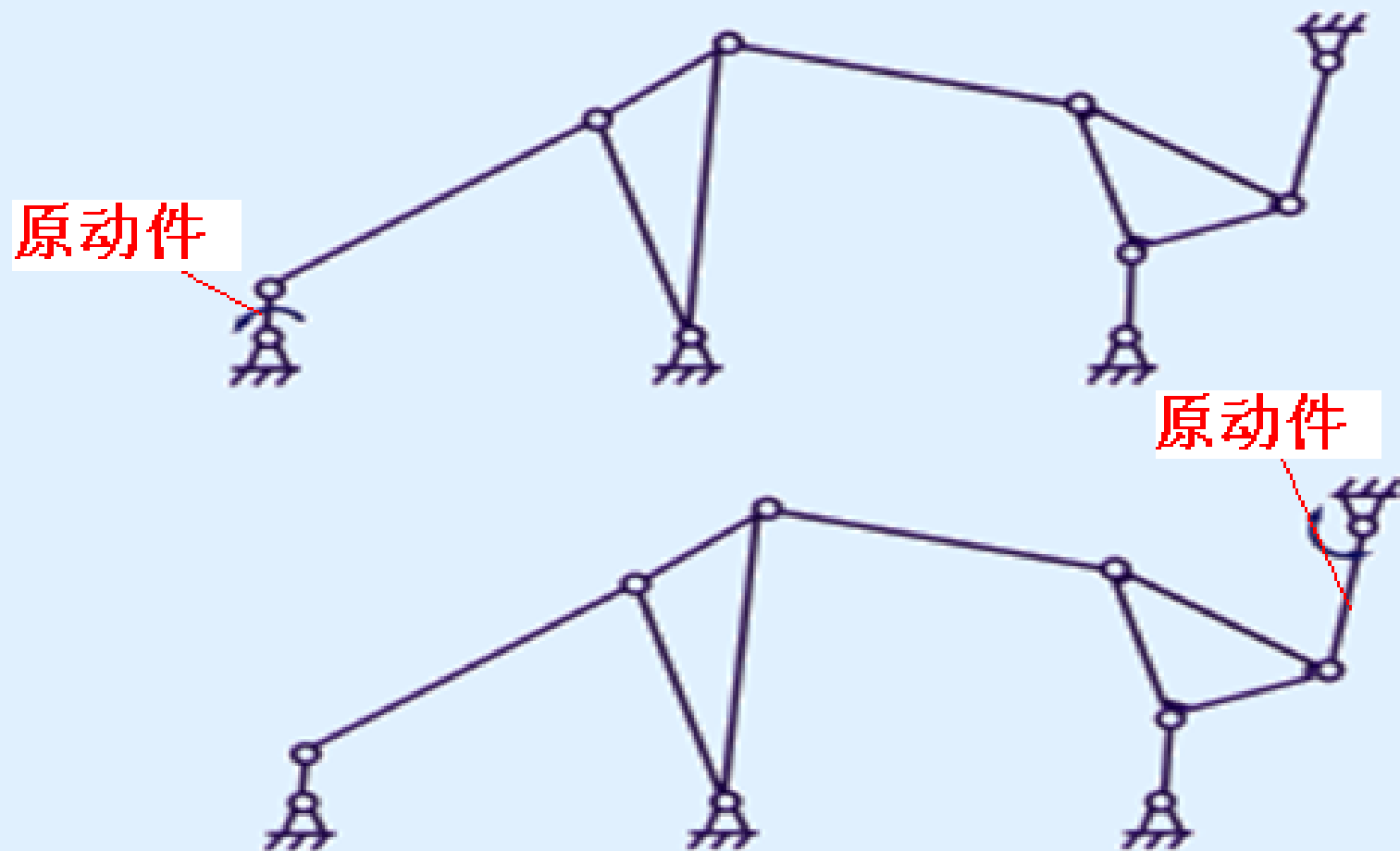
III级机构

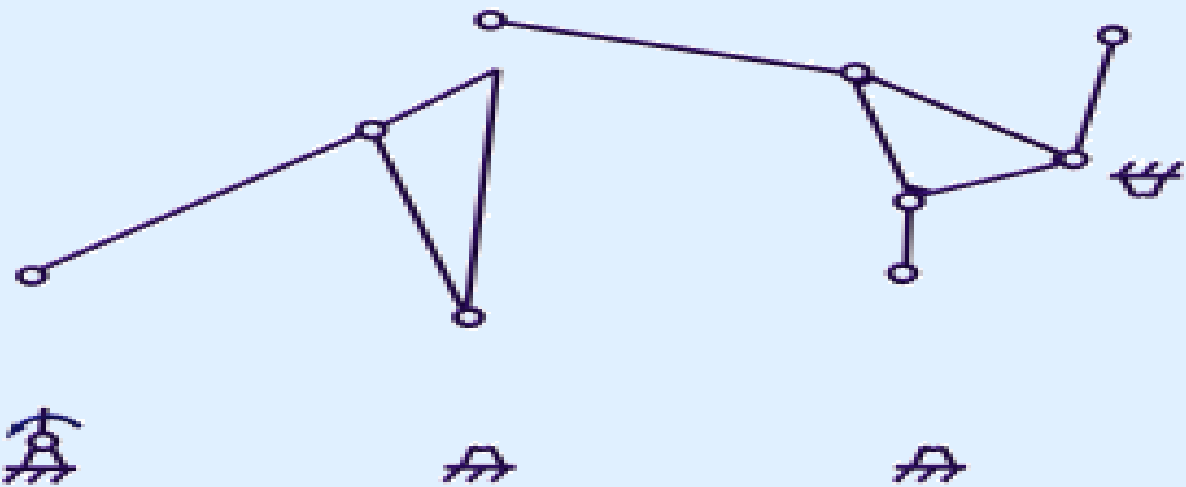


一个II级杆组和  
一个III级杆组

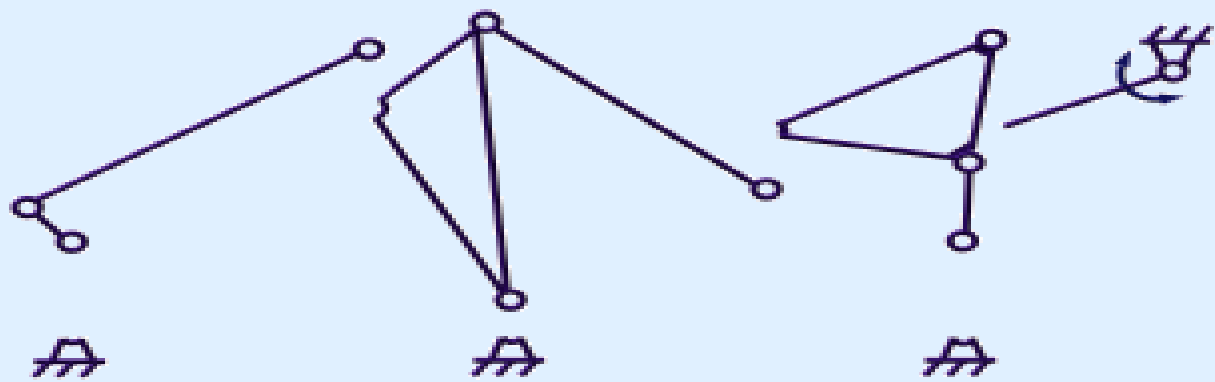
# 原动件更换时对机构级别的影响

考虑下面两个机构的级别





上图所示机构为 III 级机构



上图所示机构为 II 级机构