

第一章 机构的结构设计

主要研究内容

- 构件间可动连接 (Movable connector) 的型式及其运动和传力特征。
- 形成可动连接的构件系统成为机构应满足的条件。
- 获取满足自由度要求的机构的方法 (即机构结构创新设计方法)。
- 机构的结构分析与分类。

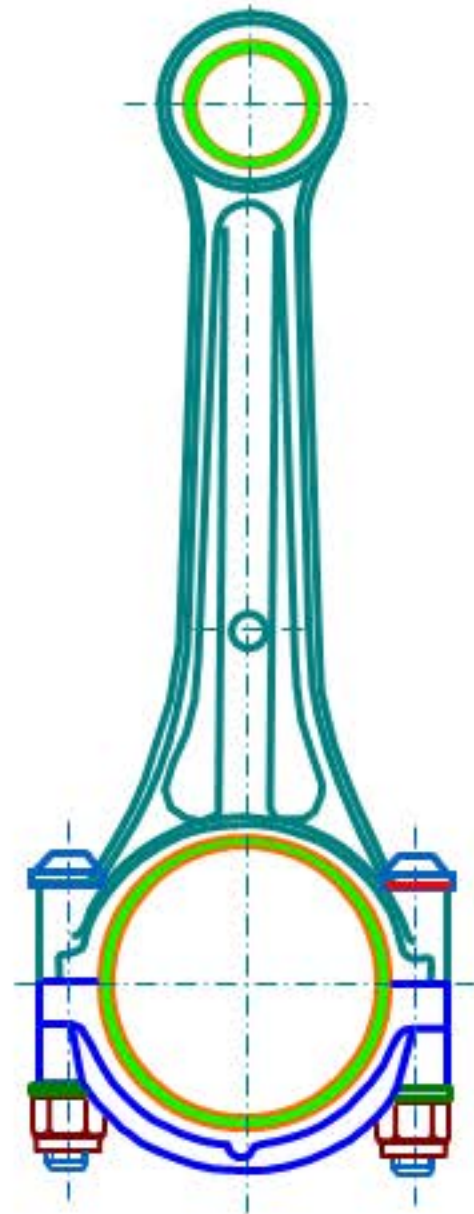
第一节 机构的组成

一、构件与自由度

1. 构件 (Link)

机器的运动单元，传递运动和力的载体。

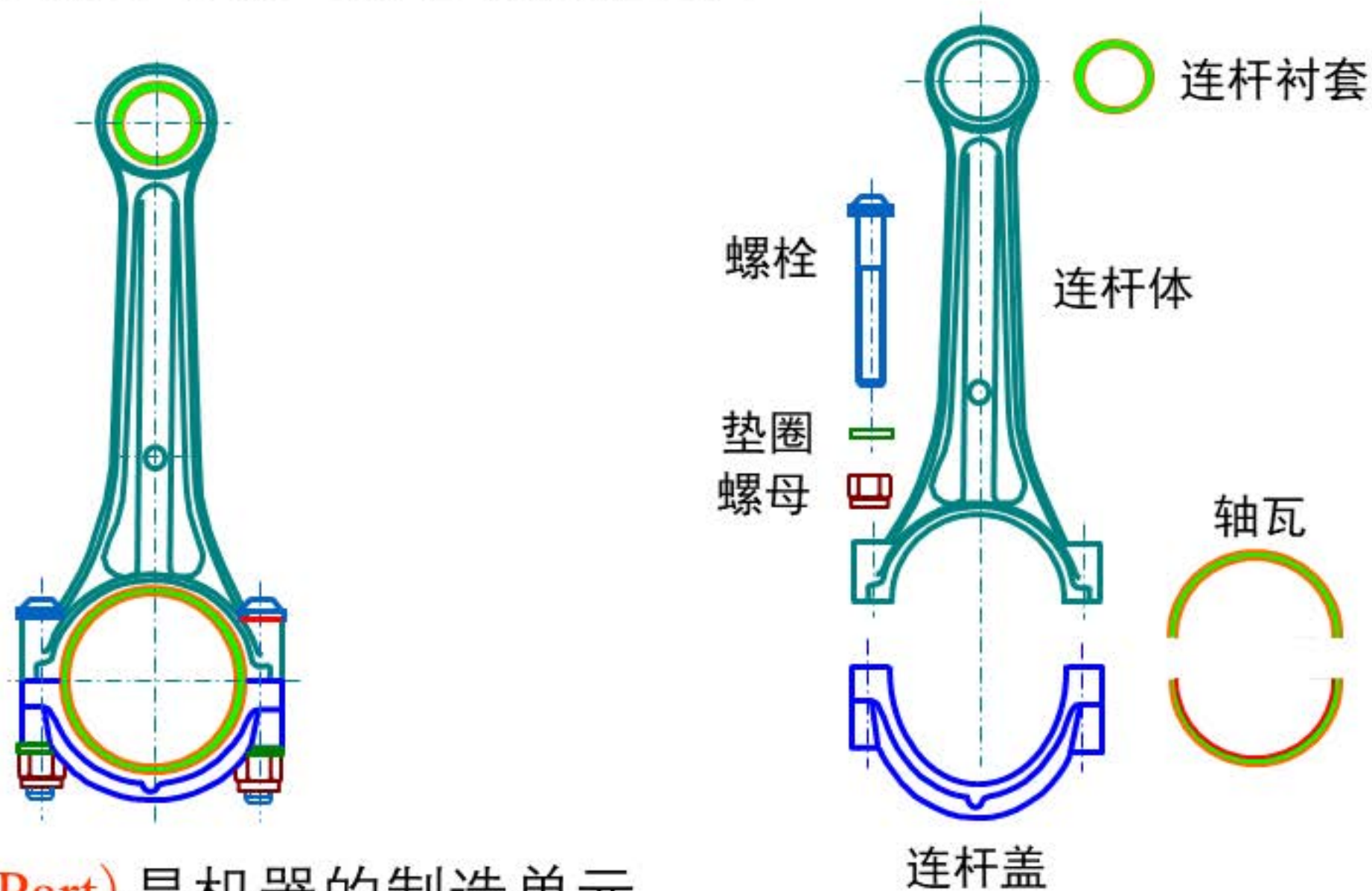
实例 内燃机中的缸体、活塞、连杆、曲轴等。



内燃机连杆

一个构件也可以由几个零件刚性联接组成。

实例 连杆由连杆体、轴瓦、连杆盖、螺栓、垫圈、螺母、连杆衬套等相互刚性联接组成。

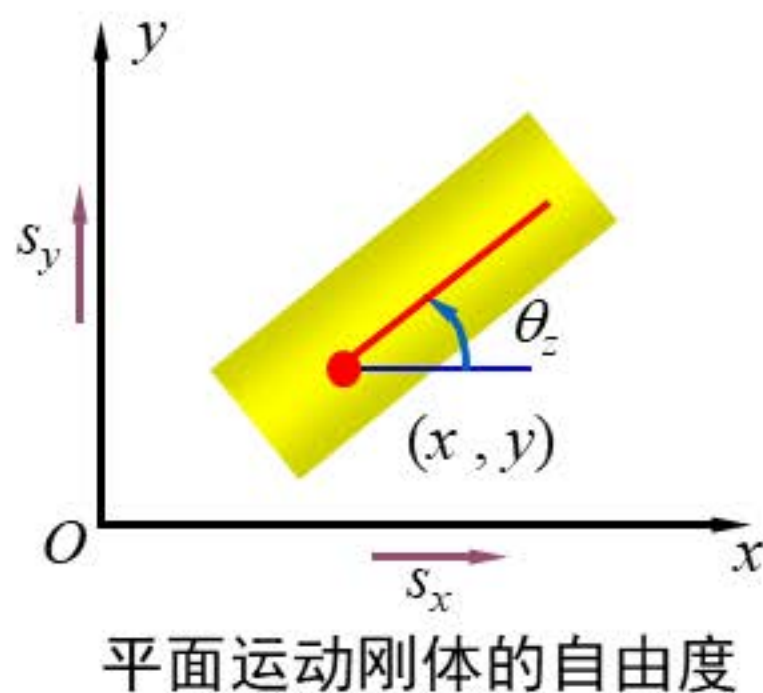
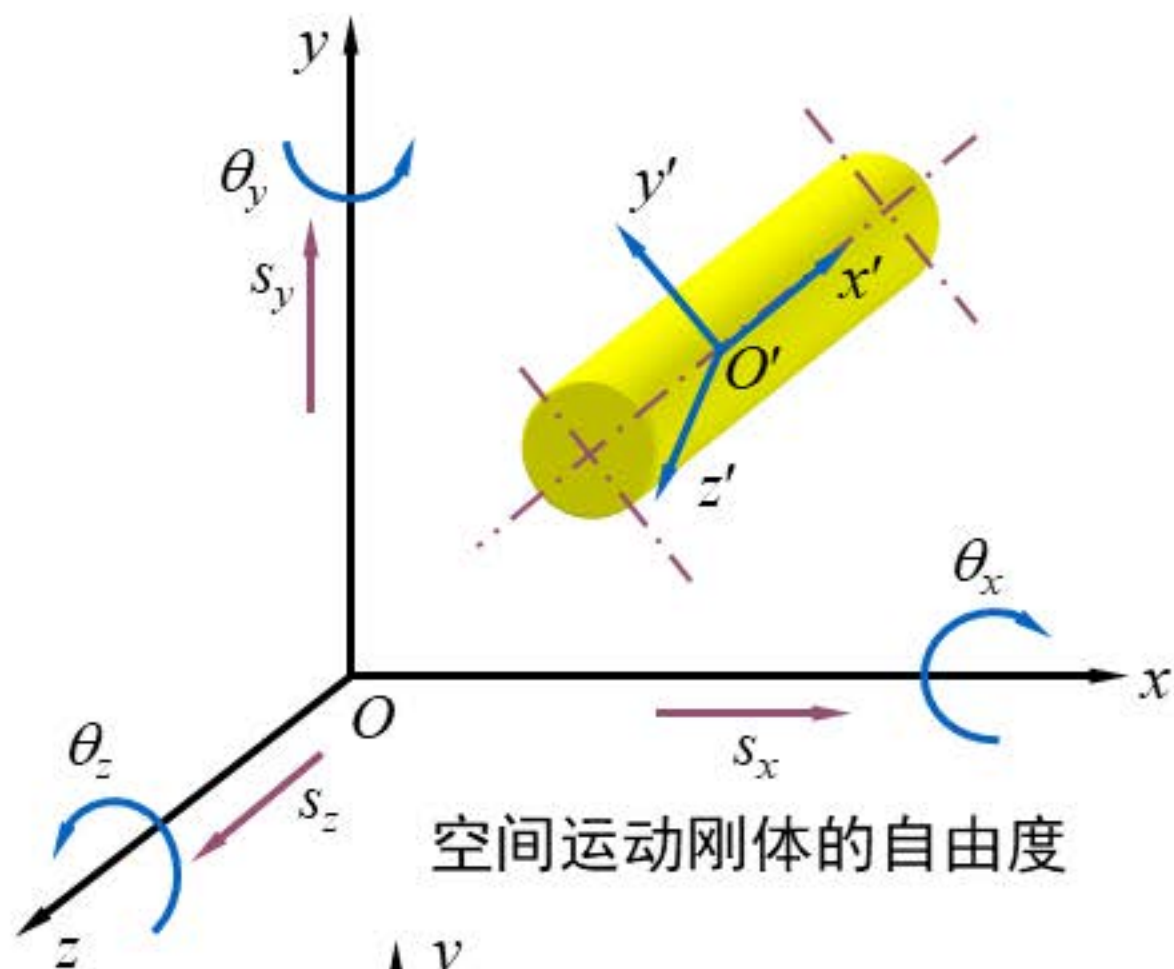


零件 (Part) 是机器的制造单元。

2. 自由度

一个完全独立的刚体在空间直角坐标系下的自由度 (Degree of freedom, Mobility) 为 $s_x, s_y, s_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$, 即自由度数 $f=6$ 。

平面运动刚体的自由度为 s_x, s_y, θ_z , 即自由度数 $f=3$ 。



二、运动副与约束

运动副 (Kinematic pair)

两个构件以一定几何形状和尺寸的表面相互接触所形成的可动联接。

运动副元素 (Pair element)—两个构件上参与接触而构成运动副的点、线、面部分。

约束 (Constraint)—运动副对构件间的相对运动自由度所施加的限制。

观察图示两构件组成的圆柱副 (Cylindric pair)

两构件保留的相对运动

s_z 和 θ_z , 即自由度数 $f=2$ 。

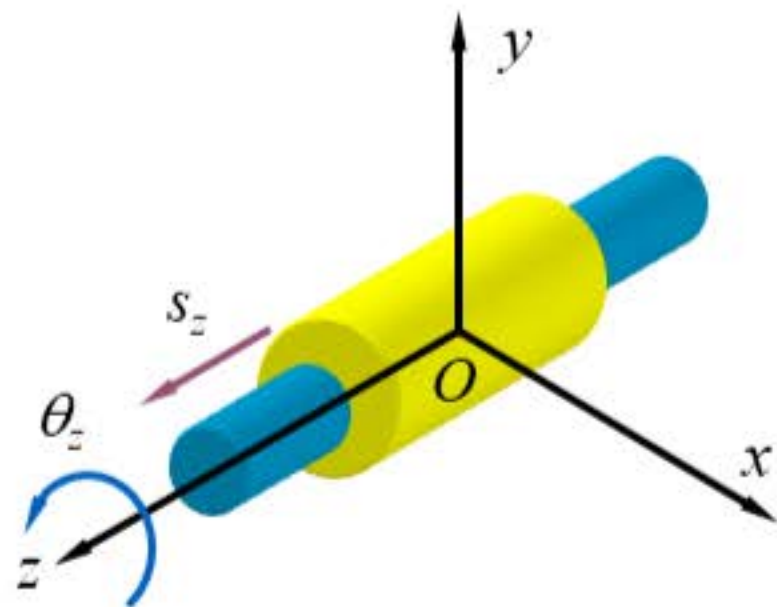
两构件之间受限制的相对运动

s_x, s_y, θ_x 和 θ_y , 即约束数 $s=4$ 。

两构件之间可以传递的力 (力矩)

$$P_x, P_y, M_x, M_y$$

结论 几何约束与力约束本质上是一致的, 是可以相互替代的。



构件的不同接触形式

点接触 (Point contact)

线接触 (Line contact)

特点

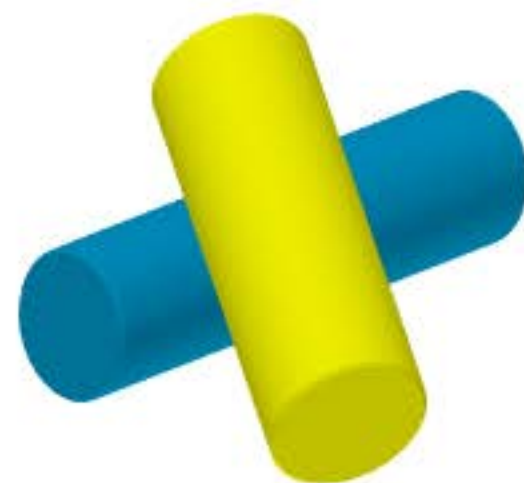
具有较多的自由度，易于构件的自动调整，保持静定特性。

接触应力大，易变形、易磨损、承载能力低。

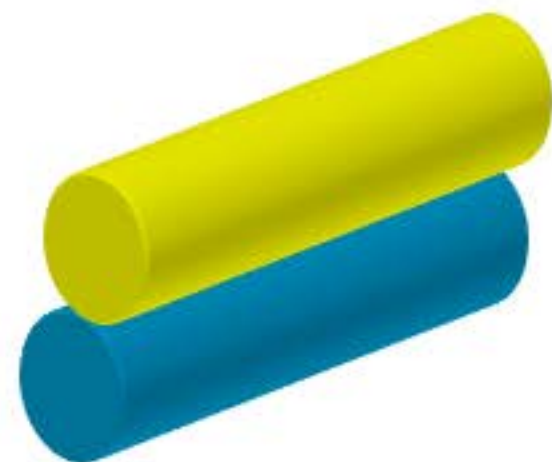
制造比较困难。

适用场合

结构简单，运动精度要求较高，受力较小。



点接触, $f=5, s=1$



线接触, $f=3, s=3$

面接触 (Area contact)

特点

相当于多点接触，承载能力较高，应用广泛。

运动副的自由度一般较低，其接触状况对尺寸、形状及相对位置误差十分敏感，实际接触及受力状况难以准确确定，需要较高的制造精度。

保证运动副可靠工作的措施

- 提高表面硬度
- 正确选用材料
- 添加润滑剂
- 加入中间体，将滑动摩擦改为滚动摩擦

运动副的分类

- 按运动副引入的约束数分类

I级副 (Class I kinematic pair)、II级副、III级副、IV级副、V级副。

- 按运动副的接触形式分类

面与面接触的运动副—低副 (Lower pair)

点、线接触的运动副—高副 (Higher pair)

- 按两构件相对运动的形式分类

平面运动副 (Planar kinematic pair)

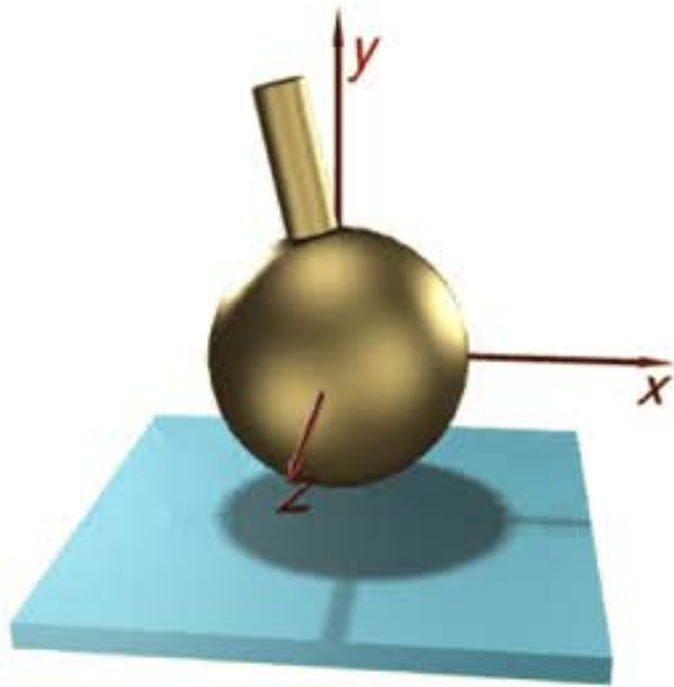
空间运动副 (Spatial kinematic pair)

- 按接触部分的几何形状分类

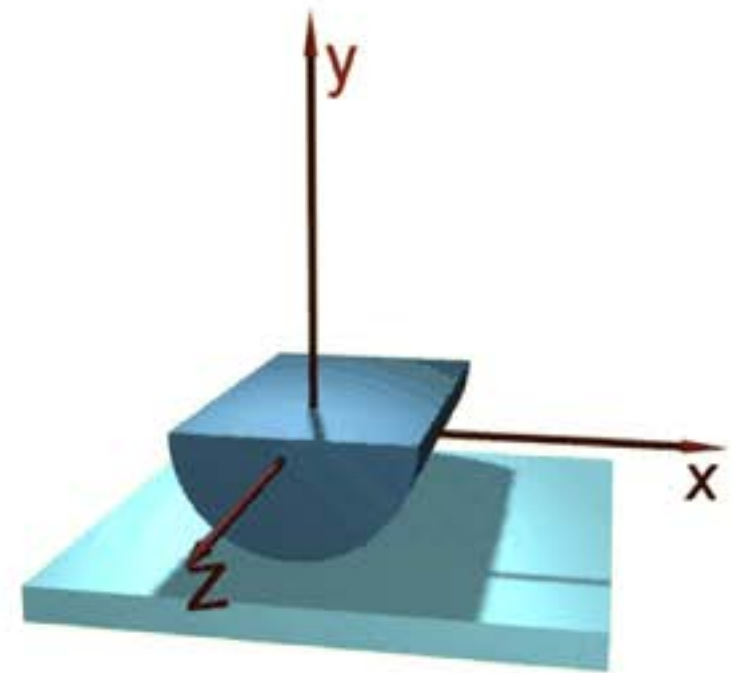
圆柱副、球面副、螺旋副、球面—平面副、平面—平面副、球面—圆柱副、圆柱—平面副等等。

运动副举例

球面-平面副
Sphere-plane pair
空间I级高副



圆柱-平面副
Cylinder-plane pair
空间II级高副



运动副举例

球面副

Spherical pair

空间III级低副



球销副

Sphere-pin pair

空间IV级低副

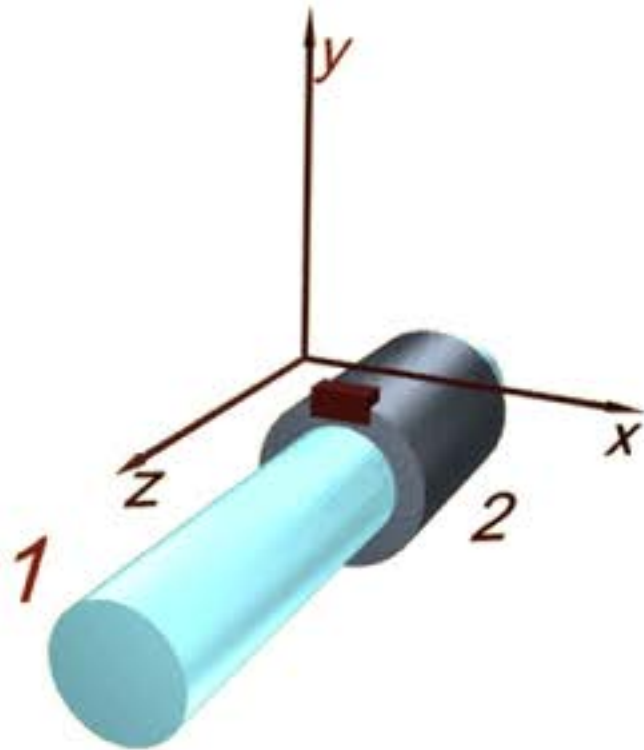


运动副举例

圆柱副

Cylindric pair

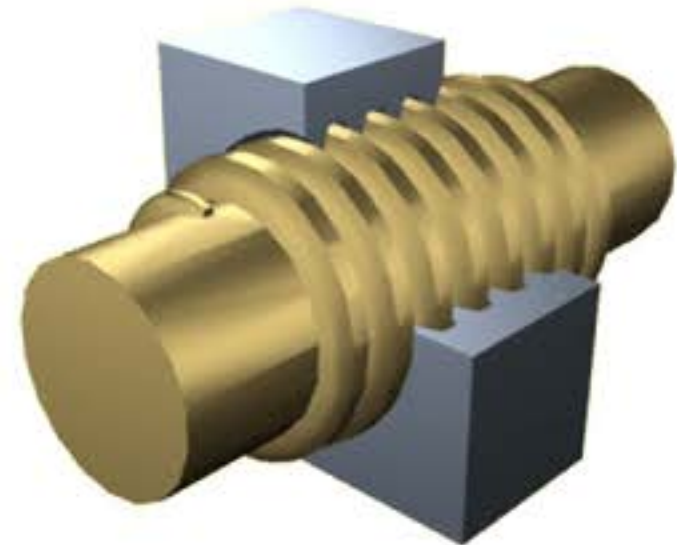
空间IV级低副



螺旋副

Helical pair

空间V级低副



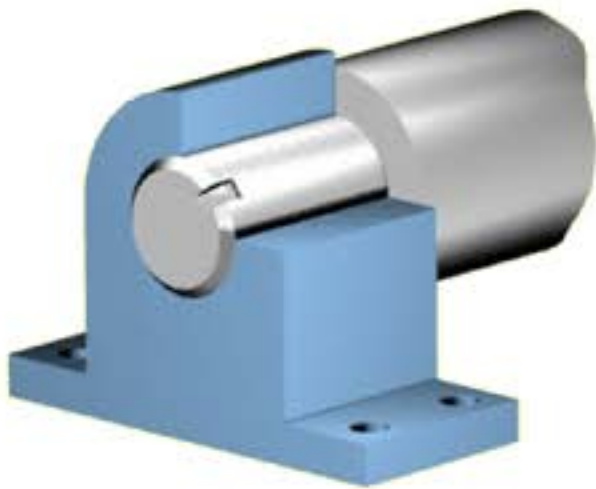
运动副举例

转动副

Revolute pair

空间V级(平面II级)低副

轴承
Bearing



铰链
Hinged joint

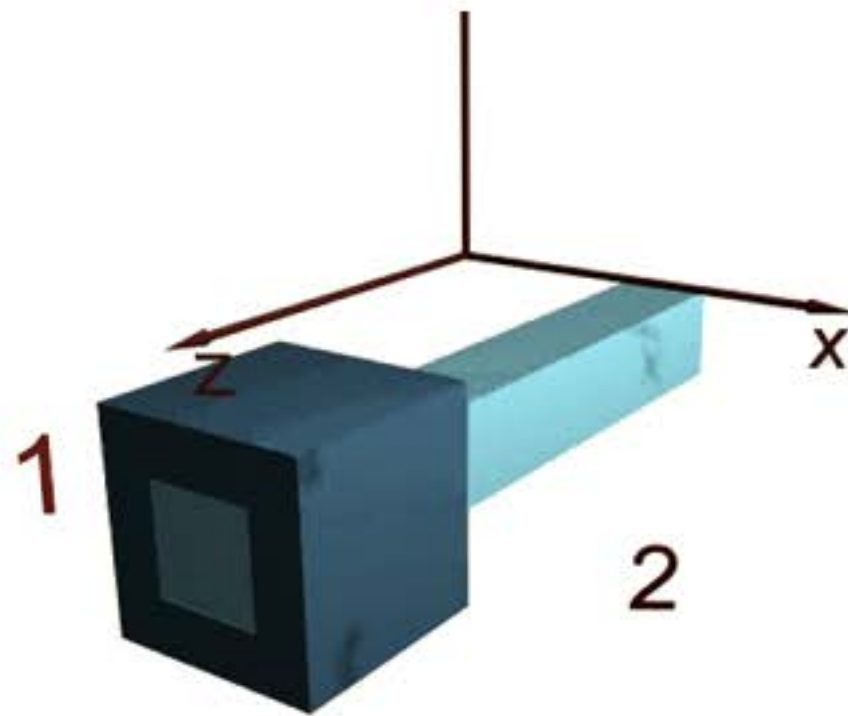


运动副举例

移动副

Prismatic pair, Sliding pair

空间V级(平面II级)低副



平面机构是应用最广泛的机构。

平面运动副的约束数为 $1 \leq s \leq 2$ 。

点、线接触的平面运动副—平面高副

滚动副

凸轮副

齿轮副

面接触的平面运动副—平面低副

转动副

移动副

运动副的封闭

保持运动副元素之间的接触称为运动副的封闭。

- 几何封闭 (Geometric closure)



运动副的封闭

保持运动副元素之间的接触称为运动副的封闭。

- 力封闭 (Force closure)

弹簧力封闭



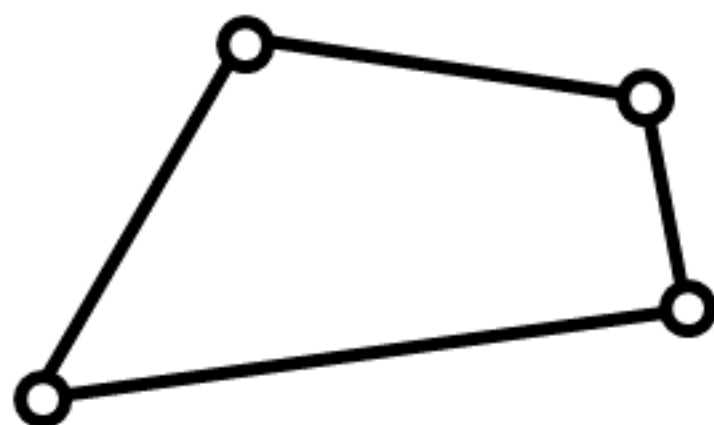
重力封闭



三、运动链 (Kinematic chain)

两个以上构件用运动副联接的构件系统。

闭式运动链 (Closed kinematic chain)



单封闭回路闭链

$$p = N$$

(p 为运动副数, N 为构件数)

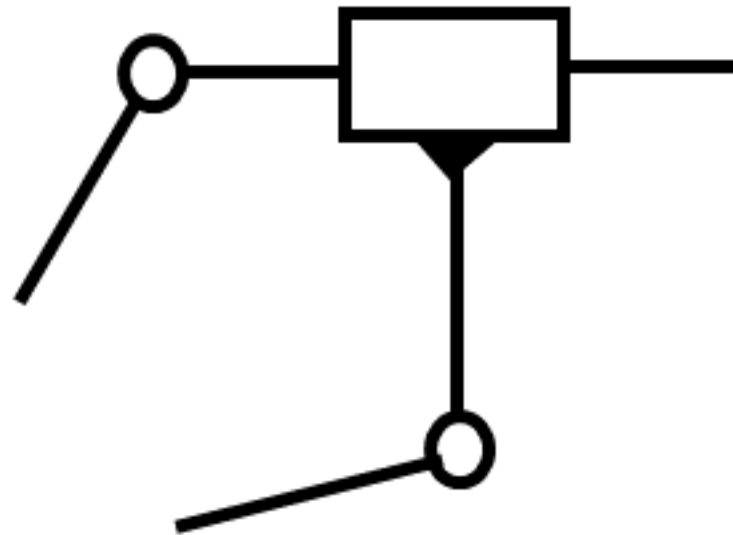


多封闭回路运动闭链

$$k = p - N + 1$$

(k 为回路数)

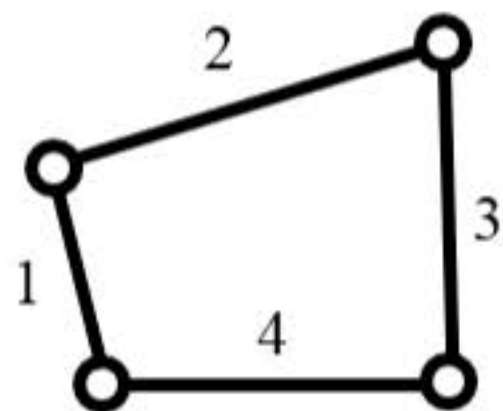
开式运动链 (Open kinematic chain)



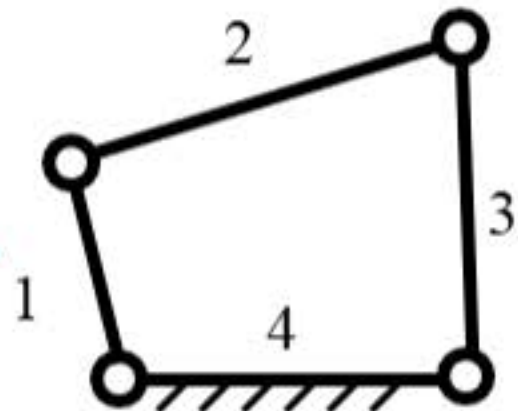
$$N = p + 1$$

开式运动链广泛应用于机械手和机器人中。

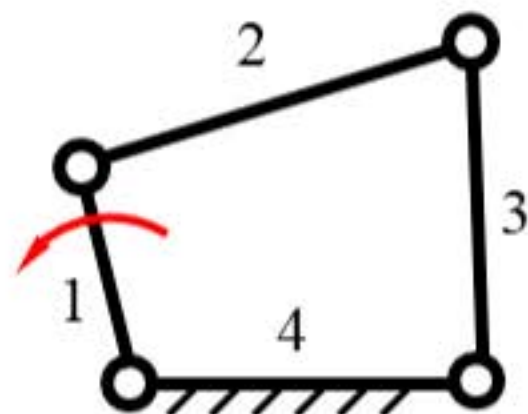
四、机构



运动链



固定一个构件



在另一个（或几个）构件上加上已知运动

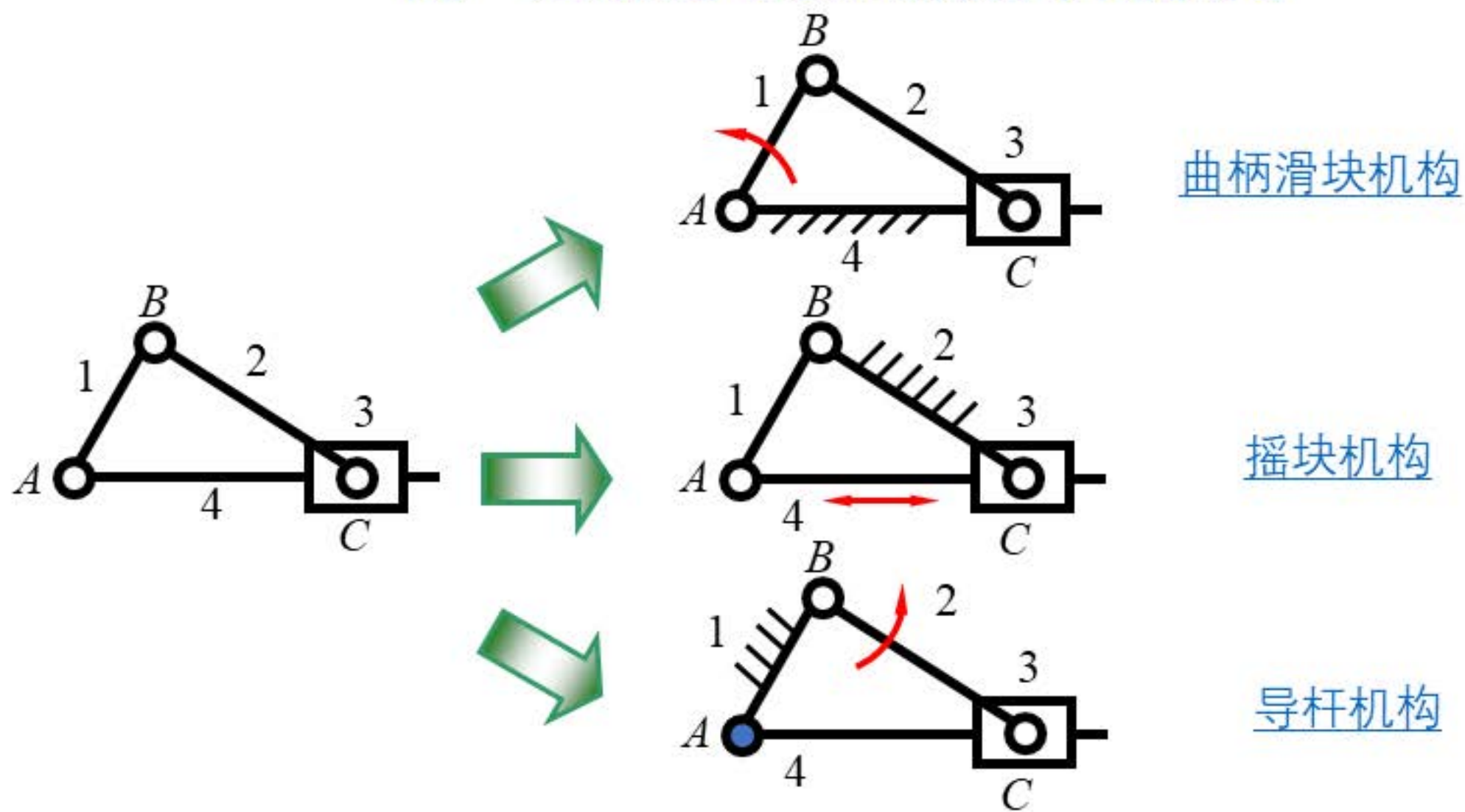


其余构件运动是否确定？

满足条件

机构

同一运动链可以生成的不同机构



运动链的生成是创造、获取新机构的重要手段。运动链的设计只关注构件数和联接这些构件的运动副的数量和类型，所以又称为机构的**型数综合**(Type and number synthesis)。

构件的类型

原动件 (Driving link)—机构中按给定运动规律运动的构件，也称为**输入构件 (Input link)**。

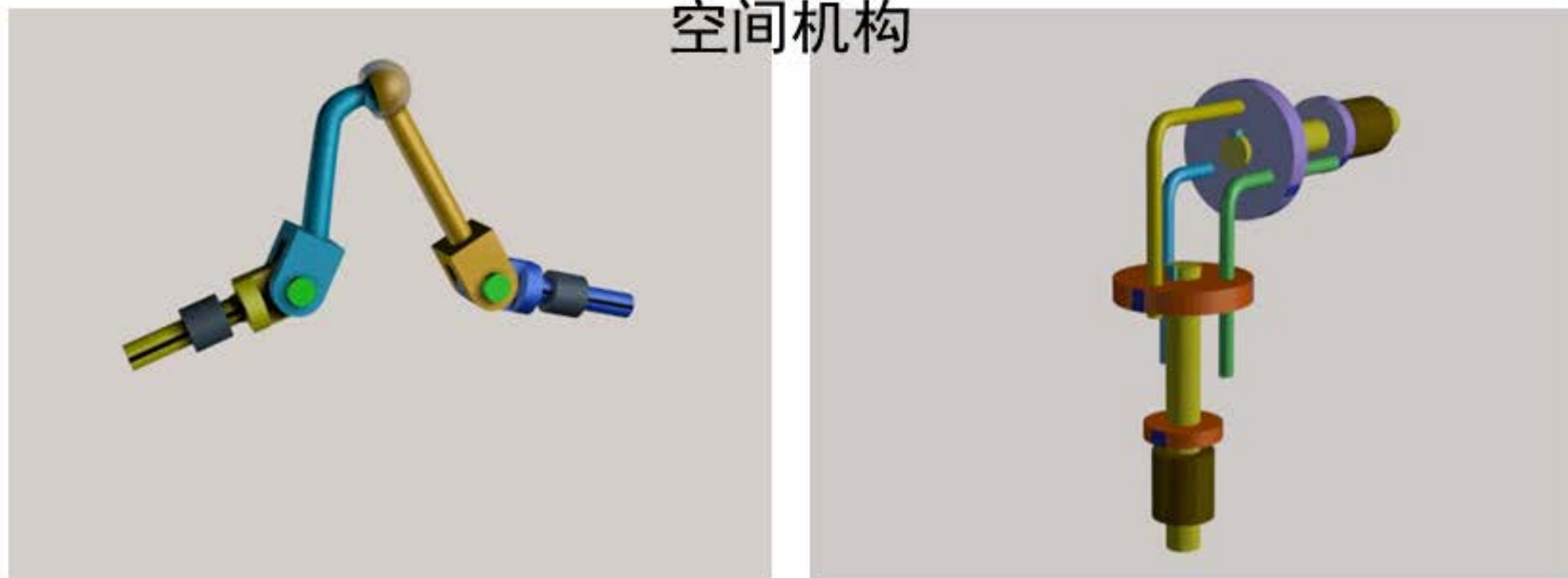
从动件 (Driven link, Follower)—其余的可动构件。具有预期的运动规律、对外完成某种工艺动作的从动件也称为**输出构件 (Output link)**或**执行构件 (Executive link)**。

机架 (Fixed link, Frame)—固定不动的构件。



根据机构中各构件的相对运动是否在同一平面或平行平面内，可将机构分为平面机构 (Planar mechanism) 和空间机构 (Spatial mechanism)。

空间机构



平面机构是我们的主要研究对象。

第二节 机构运动简图

一、机构运动简图

机构运动简图 (Kinematic sketch) 是从运动学角度出发, 将实际机械中与运动无关的因素加以抽象和简化后, 得到的反映实际机械的运动特性和运动传递关系的图形。

机构运动简图应满足的条件:

- (1) 构件数目与实际机构相同;
- (2) 运动副的类型、数目与实际机构相符;
- (3) 运动副之间的相对位置以及构件尺寸与实际机构成比例。

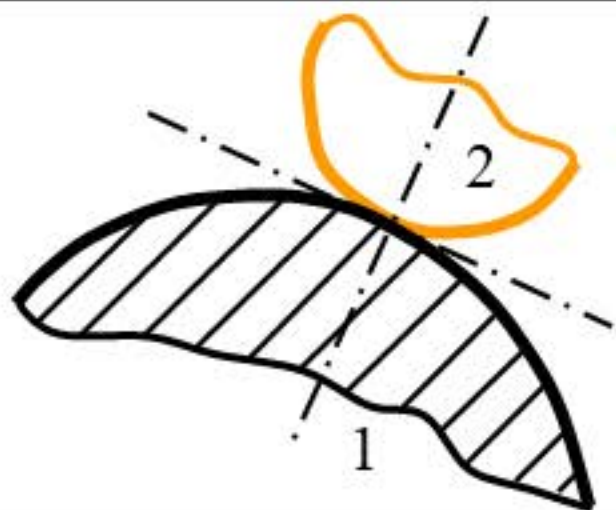
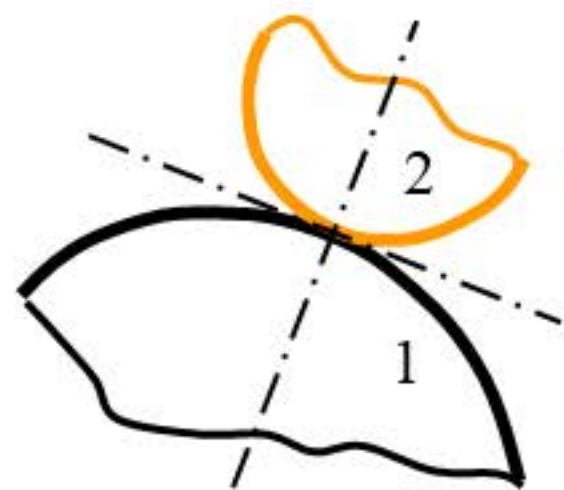
机构示意图 为不严格按比例绘制的简图, 用于表达机械的结构特征。

常用运动副的符号

运动副名称		运动副符号	
		两运动构件构成的运动副	两构件之一为固定时的运动副
平面运动副	转动副		
	移动副		

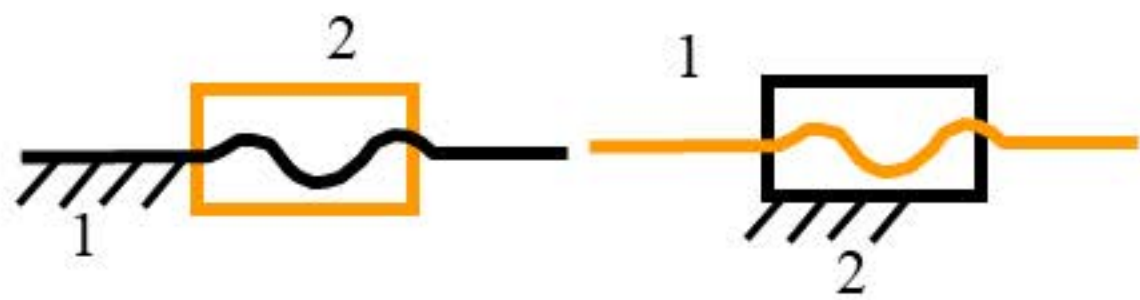
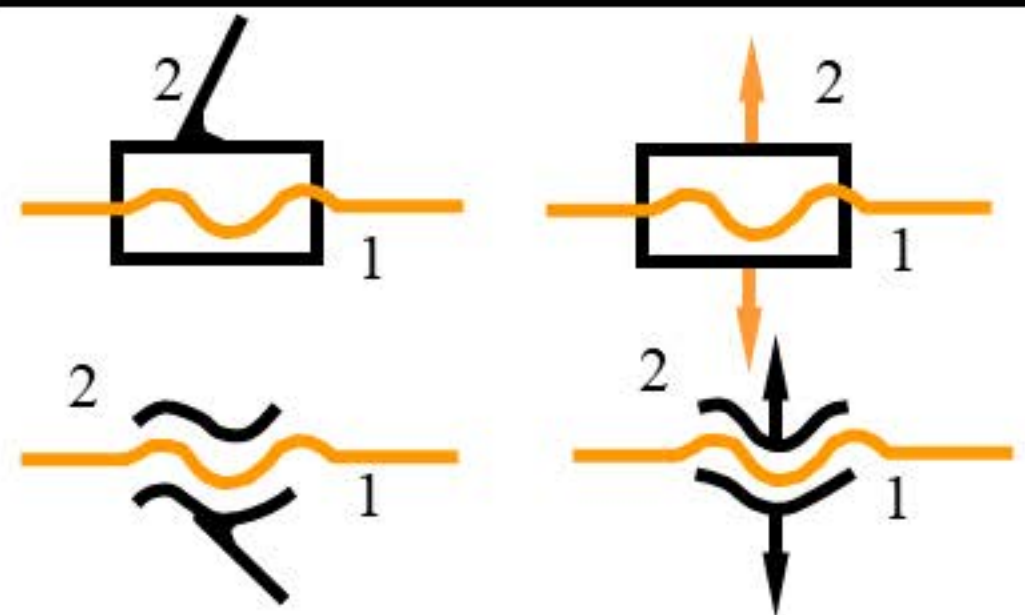
平面运动副

平面高副

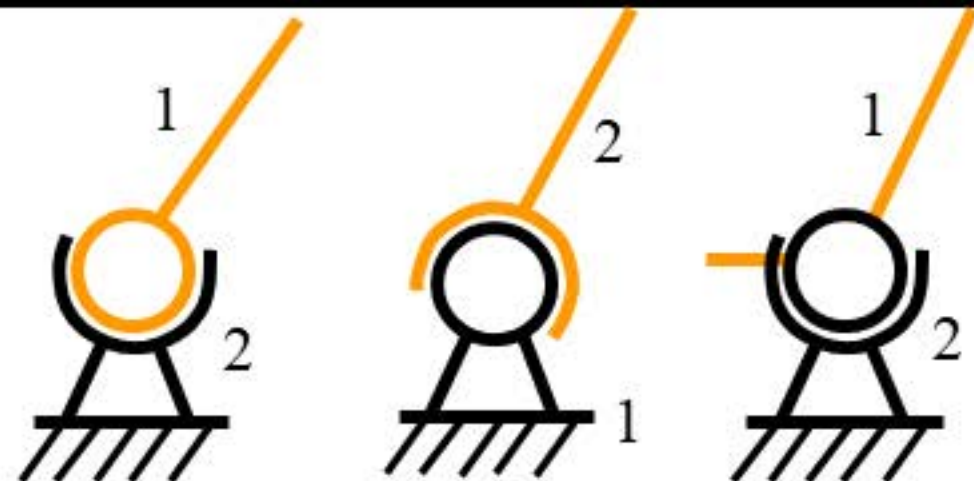
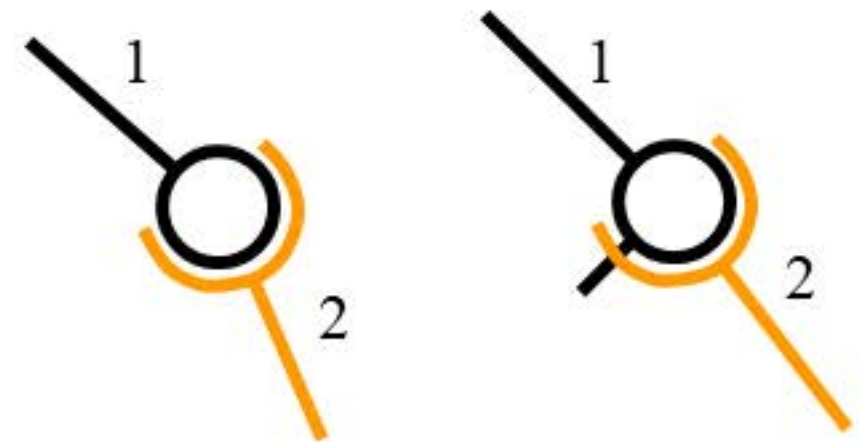


空间运动副

螺旋副



球面副球销副

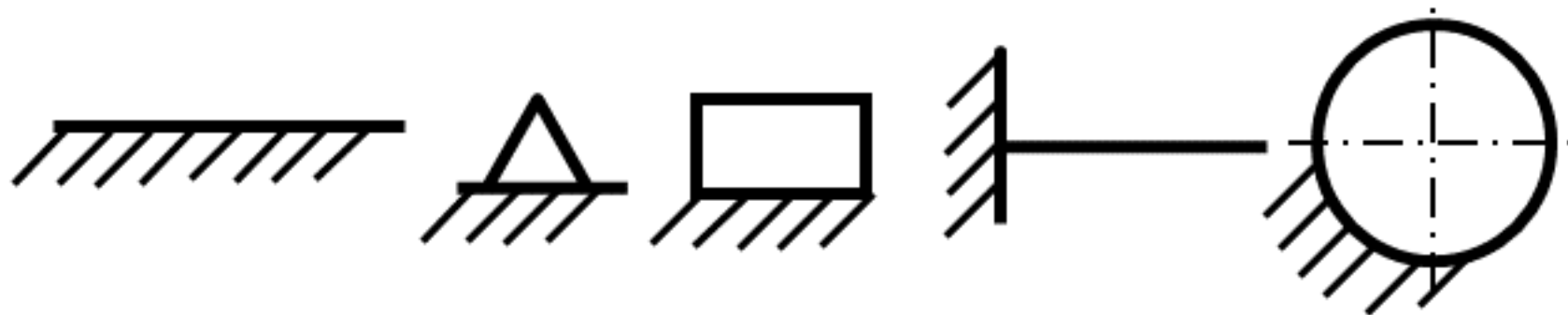


构件的表示方法

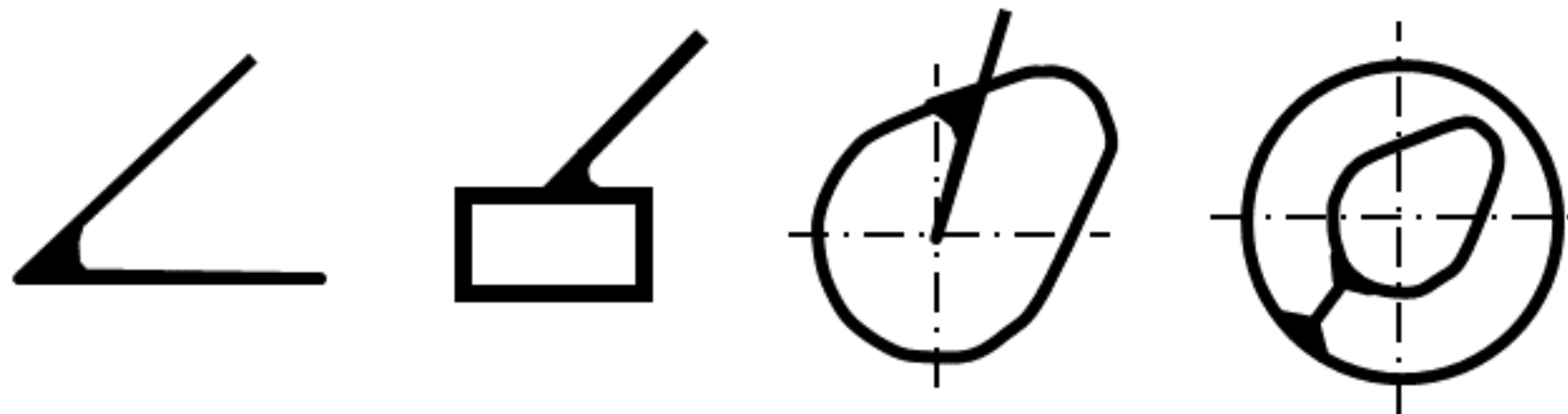
杆、轴构件



固定构件

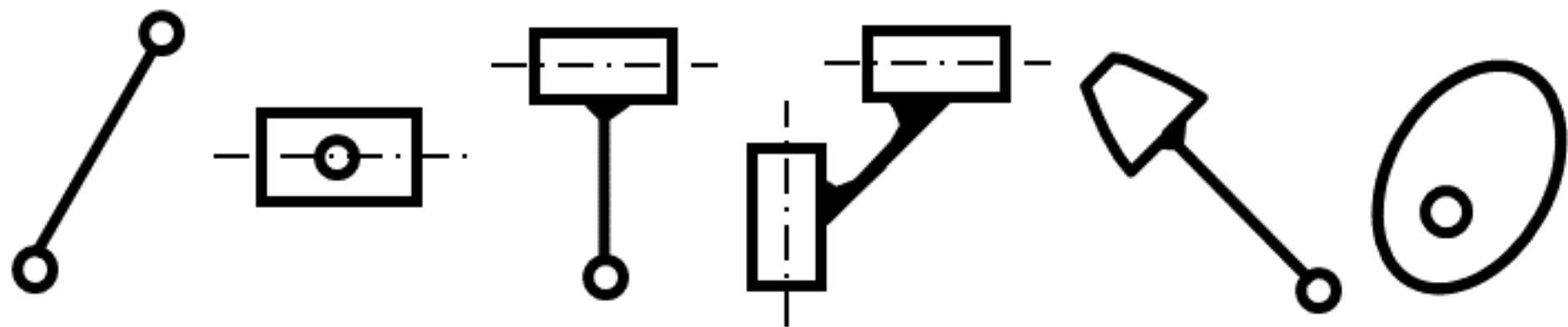


同一构件

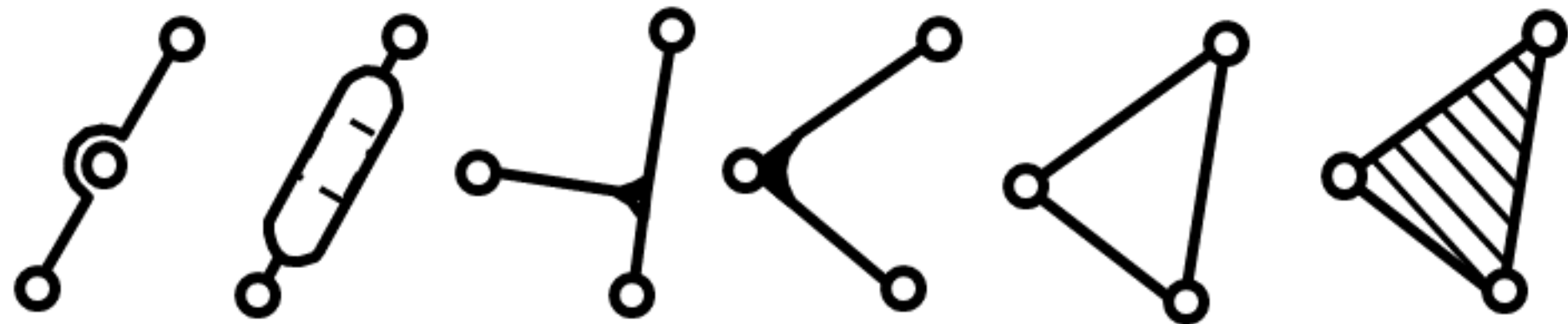


构件的表示方法

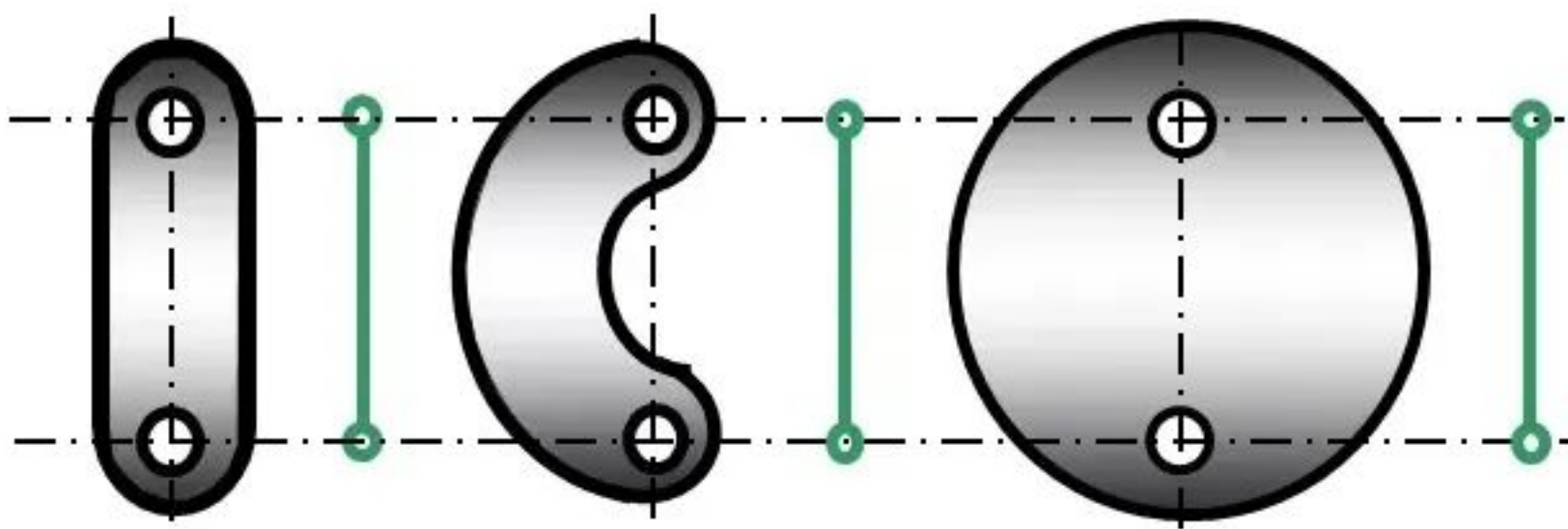
两副构件



三副构件

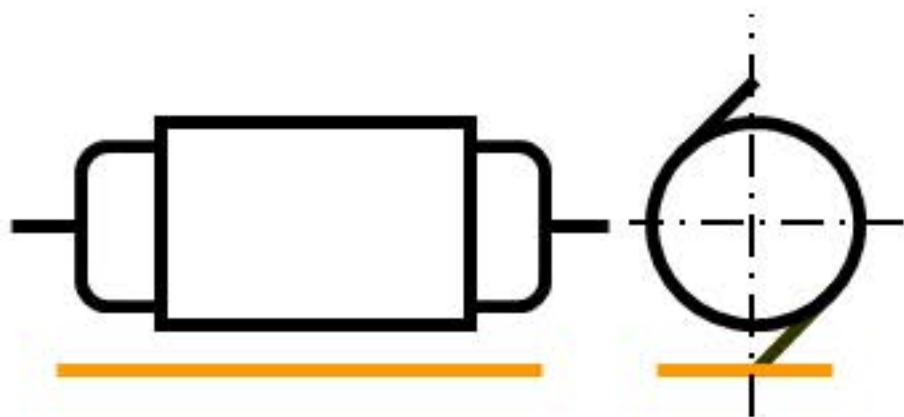


画构件时应撇开构件的实际外形，而只考虑运动副的类型。

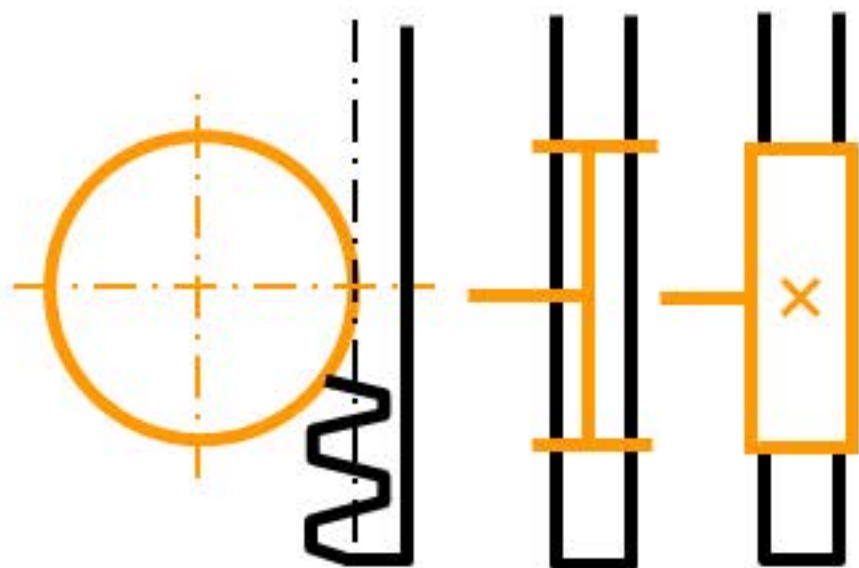


常用机构运动简图符号 (摘自GB/T4460-1984)

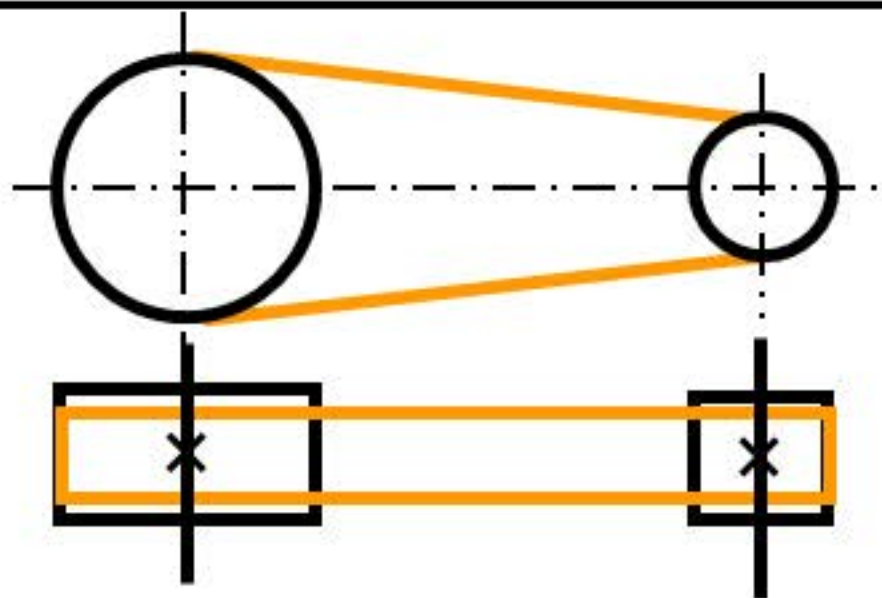
在机架上的电机



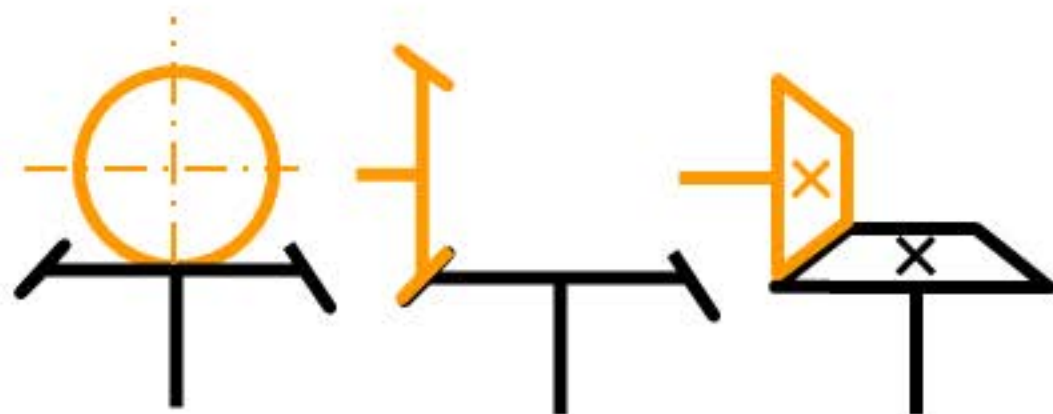
齿轮齿条传动



带传动

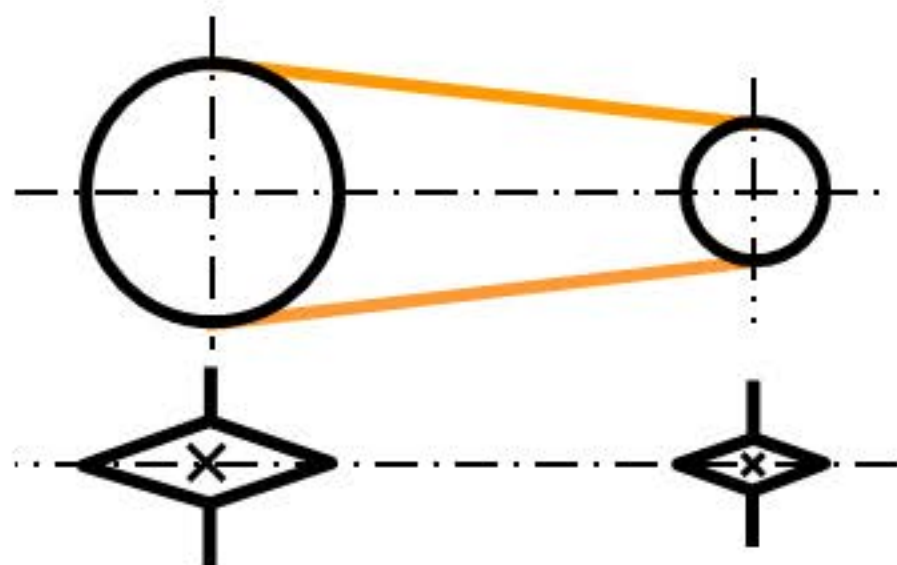


圆锥齿轮传动

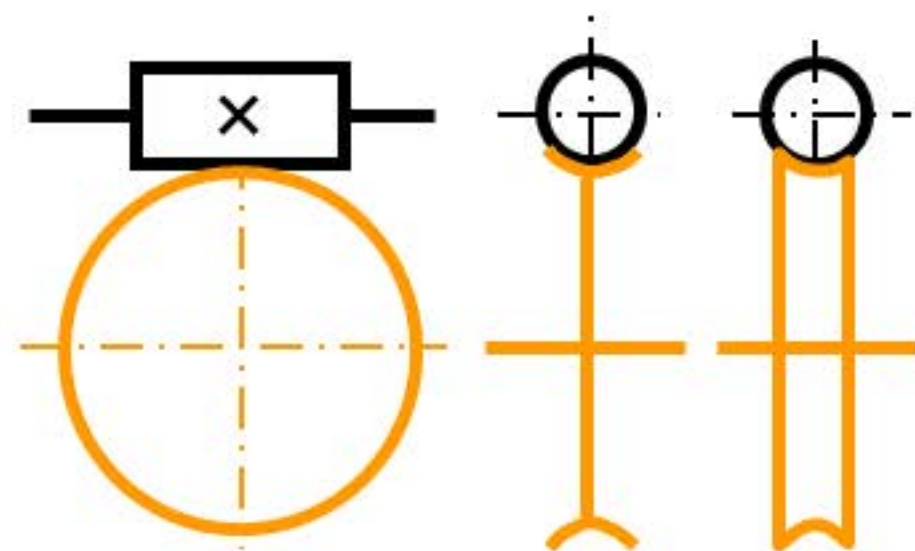


常用机构运动简图符号 (续)

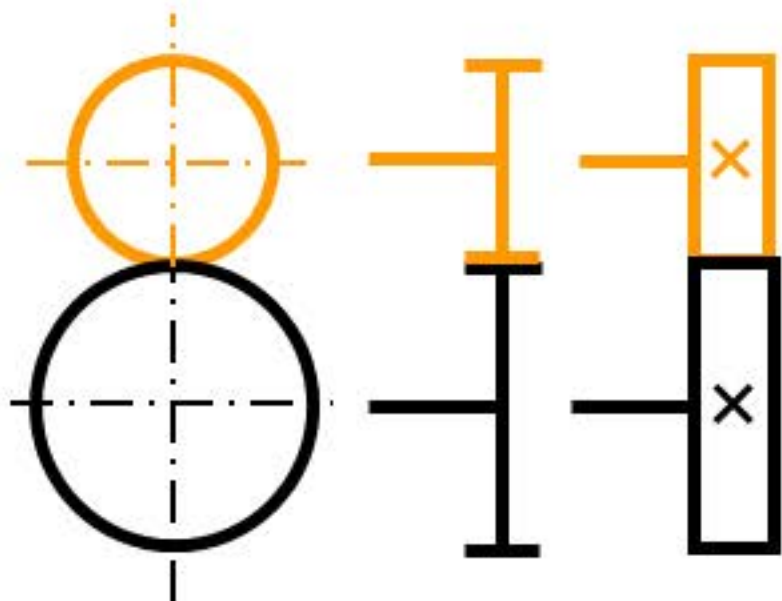
链传动



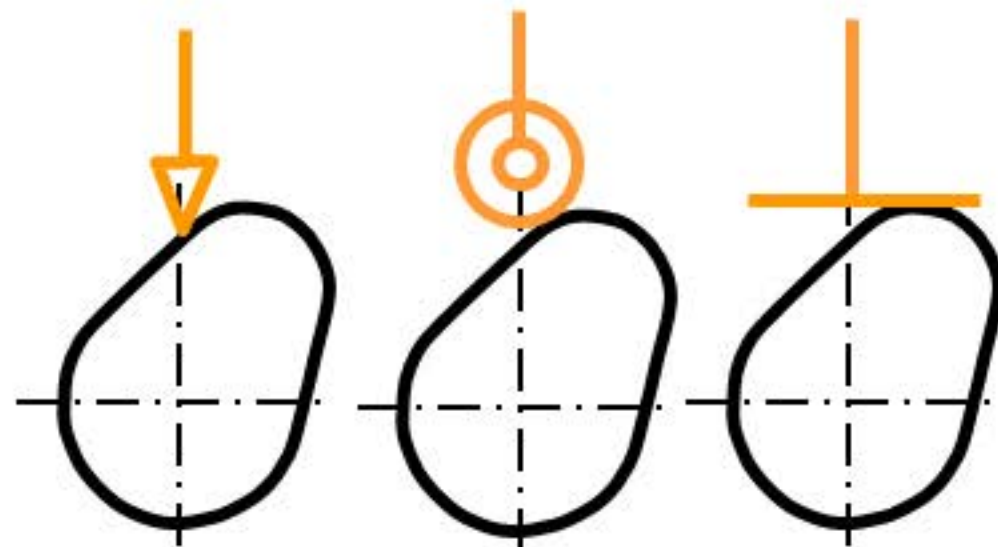
圆柱蜗杆蜗轮传动



外啮合圆柱齿轮传动

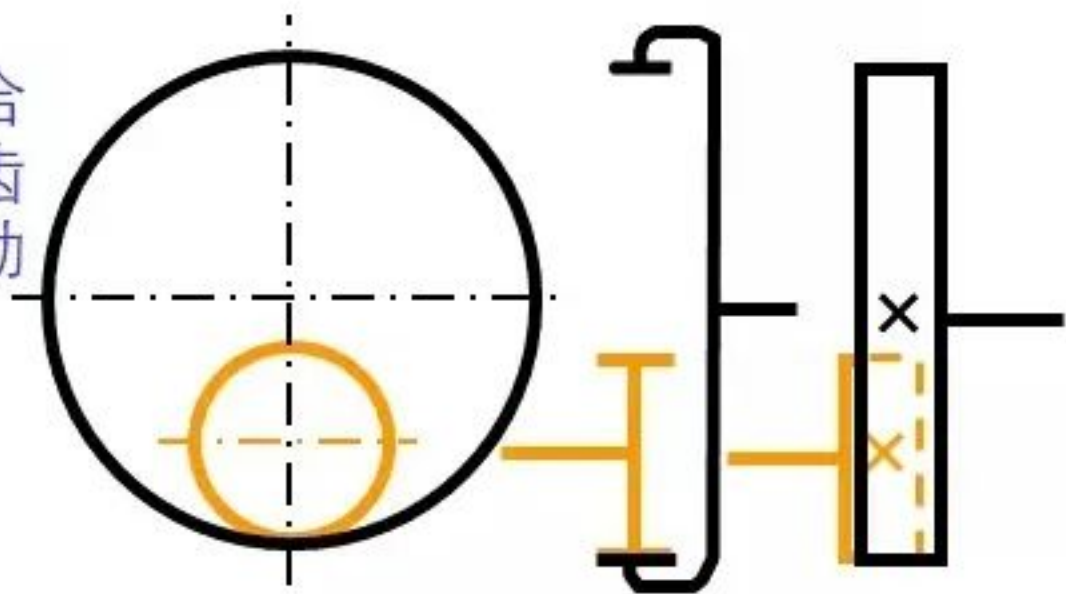


凸轮传动

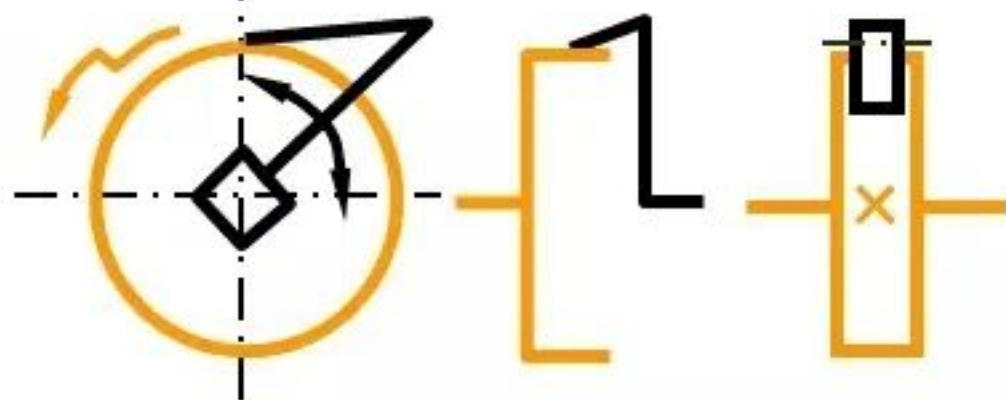


常用机构运动简图符号 (续)

内啮合
圆柱齿
轮传动



棘
轮
机
构



二、机构运动简图的绘制

步骤:

(1) 分析机构的动作原理、组成情况和运动情况，确定原动件、机架、执行部分和传动部分。

(2) 沿着运动传递路线，逐一分析每两个构件间相对运动的性质，确定运动副的类型和数目。

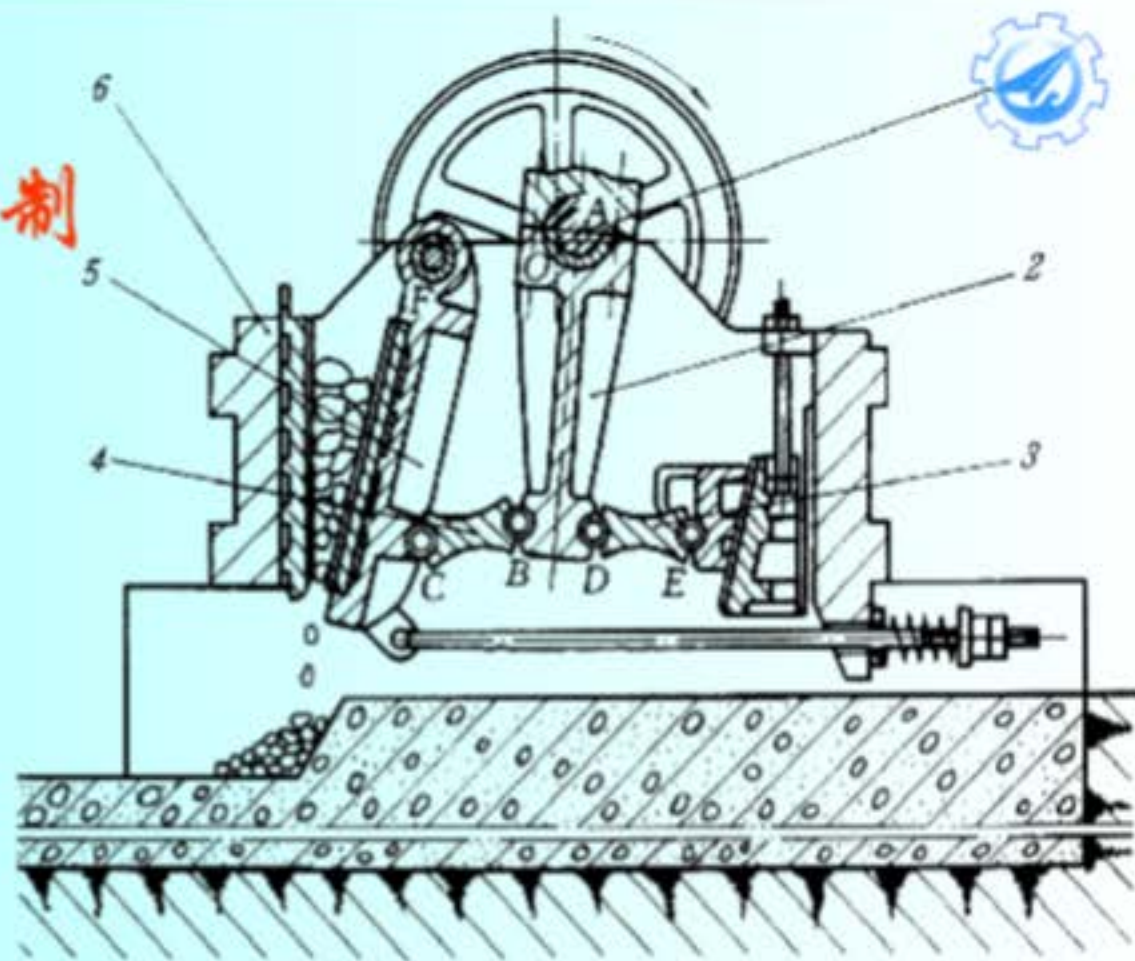
(3) 选择与机械多数构件的运动平面平行的平面，作为机构运动简图的视图平面。

(4) 选择适当的机构运动瞬时位置和比例尺 $\mu_l(\text{m/mm})$ ，定出各运动副的相对位置，并用各运动副的代表符号、常用机构的运动简图符号和简单线条，绘制机构运动简图。

(5) 从原动件开始，按运动传递顺序标出各构件的编号和运动副代号。在原动件上标出箭头以表示其运动的方向。

颞式破碎机

机构运动简图绘制

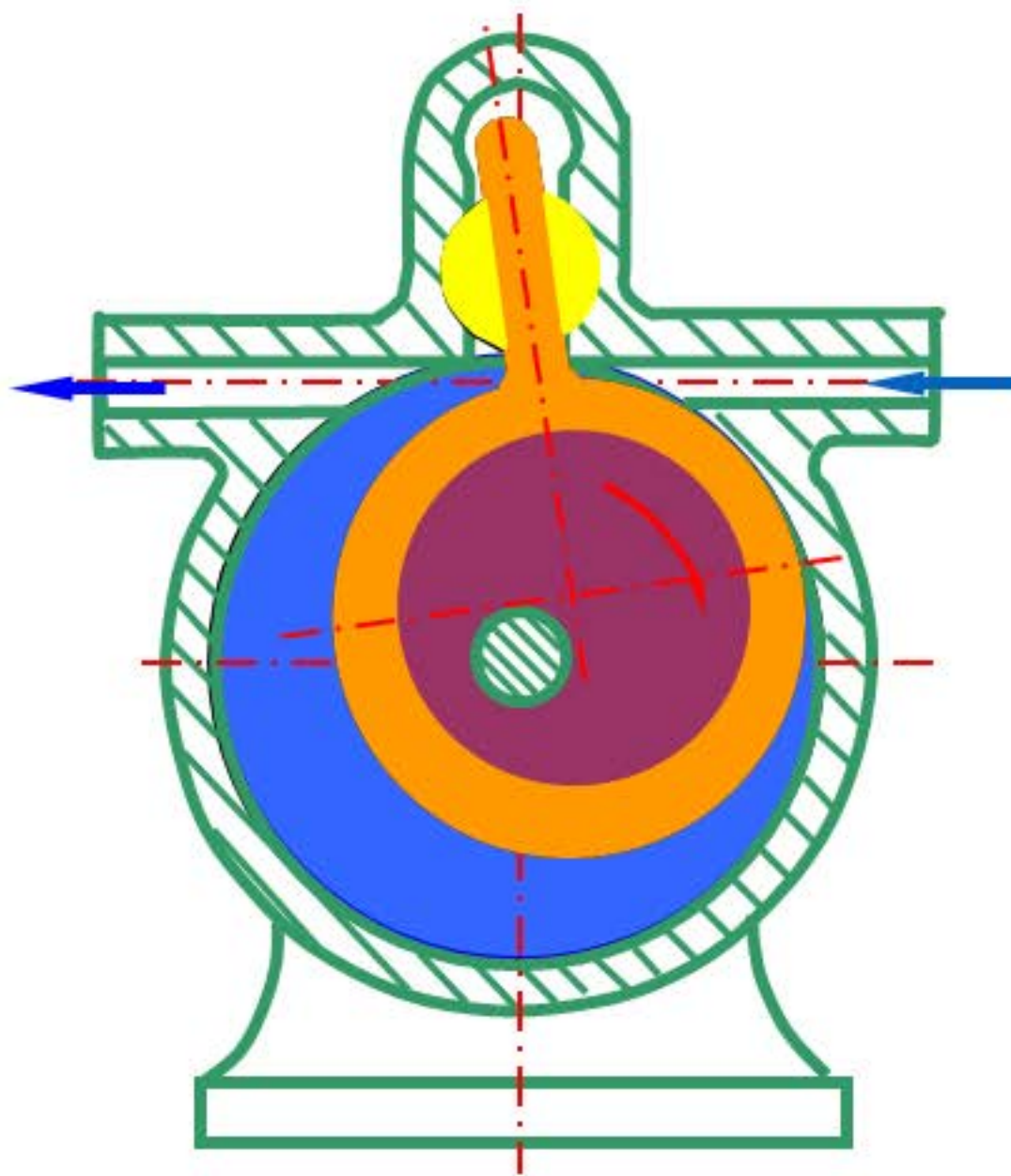
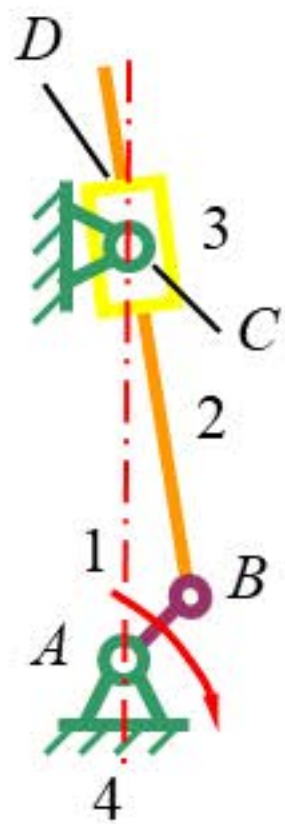


开始

上一步

下一步

结束



偏心泵

第三节 运动链成为机构的条件

一、运动链的自由度计算

运动链的自由度—确定运动链中各构件相对于其中某一构件的位置所需的独立参变量的数目。

考察由 N 个构件组成的运动链，活动构件数 $n=N-1$ 。

空间运动

构件	I级副	II级副	III级副	IV级副	V级副
总自由度	约束数	约束数	约束数	约束数	约束数
$6n$	p_1	$2p_2$	$3p_3$	$4p_4$	$5p_5$

运动链自由度：

$$F = 6n - (p_1 + 2p_2 + 3p_3 + 4p_4 + 5p_5) = 6n - \sum_{k=1}^5 kp_k$$

具有 q 个公共约束的运动链，其自由度计算公式为：

$$F = (6 - q)n - \sum_{k=q+1}^5 (k - q)p_k$$

平面运动链 $q = 3$ ，其自由度计算公式为：

$$F = (6 - 3)n - \sum_{k=4}^5 (k - 3)p_k \quad \Rightarrow \quad F = 3n - 2p_5 - p_4$$

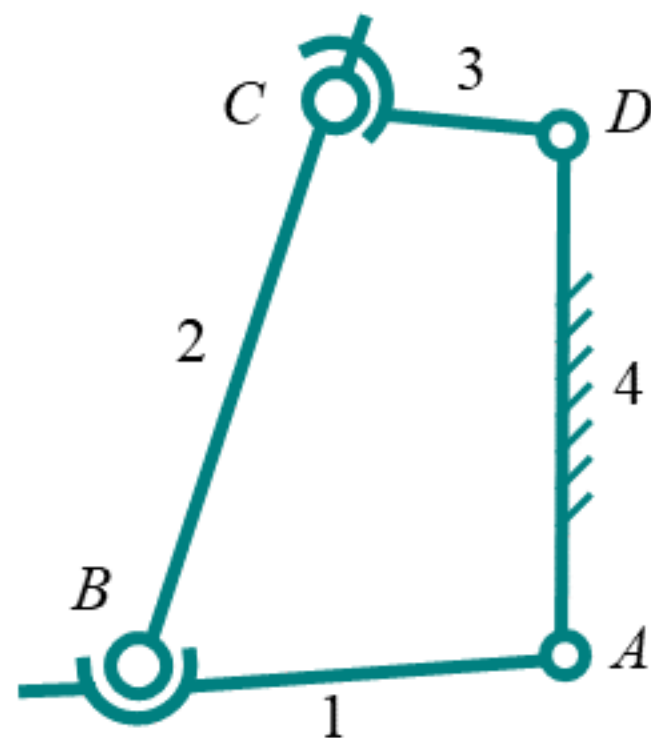
$$\Rightarrow \quad F = 3n - 2p_L - p_H$$

例1 缝纫机脚踏板运动链自由度计算

分析: $n = 3$, $p_5 = 2$, $p_4 = 1$, $p_3 = 1$

$$\begin{aligned} \text{计算: } F &= 6n - (3p_3 + 4p_4 + 5p_5) \\ &= 6 \times 3 - (3 \times 1 + 4 \times 1 + 5 \times 2) = 1 \end{aligned}$$

只要给定1个独立位置参数, 各构件间的相对位置关系就确定了。



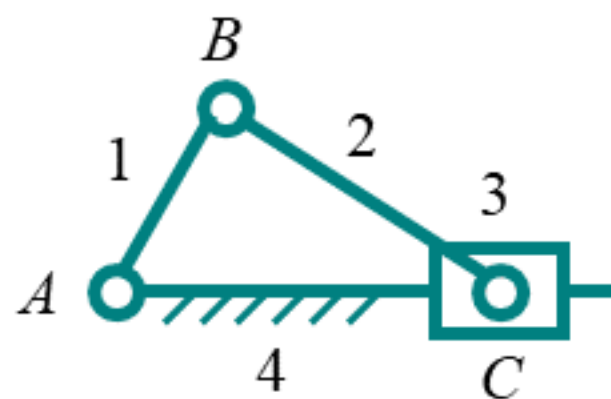
缝纫机脚踏板运动链

例2 平面四杆运动链自由度计算

分析: $n = 3$, $q = 3$, $p_L = 4$, $p_H = 0$

$$\begin{aligned} \text{计算: } F &= 3n - 2p_L - p_H \\ &= 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1 \end{aligned}$$

只要给定1个独立位置参数, 各构件间的相对位置关系就确定了。



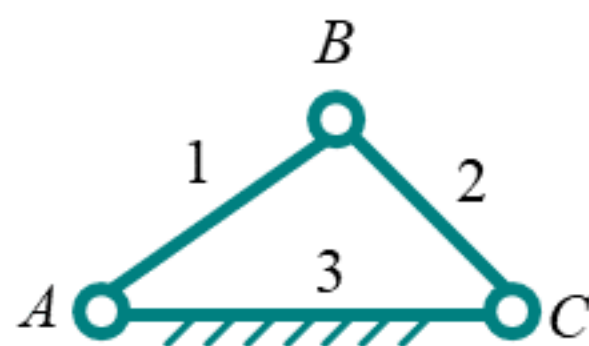
平面四杆运动链

二、运动链成为机构的条件

判断所设计的运动链是否能成为机构，是提出新的设计方案时自行评价方案可行性的关键步骤。

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 2-2\times 3=0$$

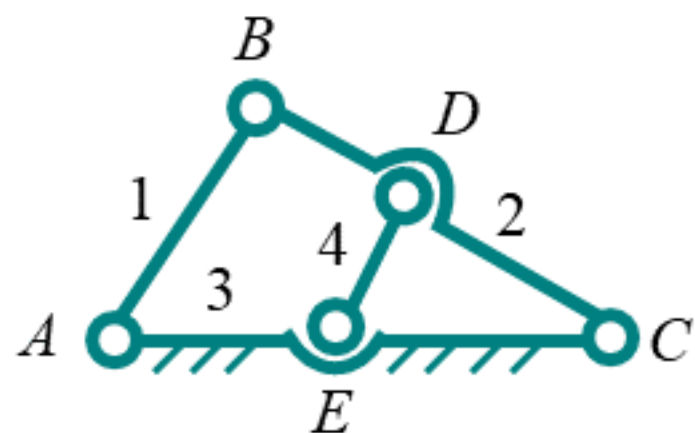
运动链为一刚性桁架，不能成为机构。



平面三构件运动链

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 3-2\times 5=-1$$

该运动链约束过多，成为超静定桁架，不能成为机构。



平面四构件运动链

**运动链成为机构的首要条件：
运动链自由度必须大于零。**

在 $F > 0$ 的条件下，进一步判断运动链是否具有确定的运动。

平面五杆运动链

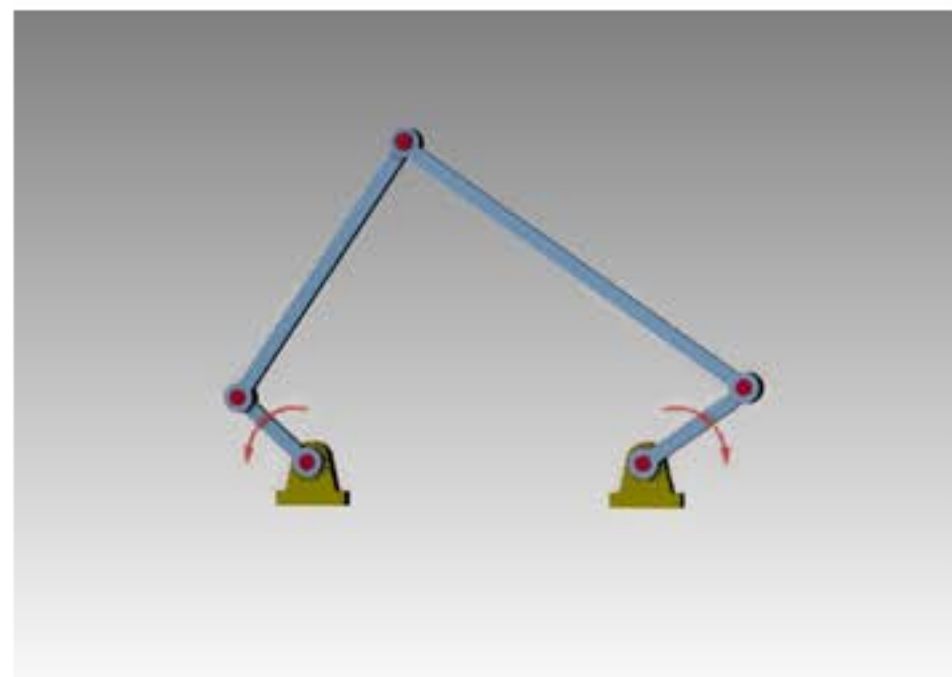
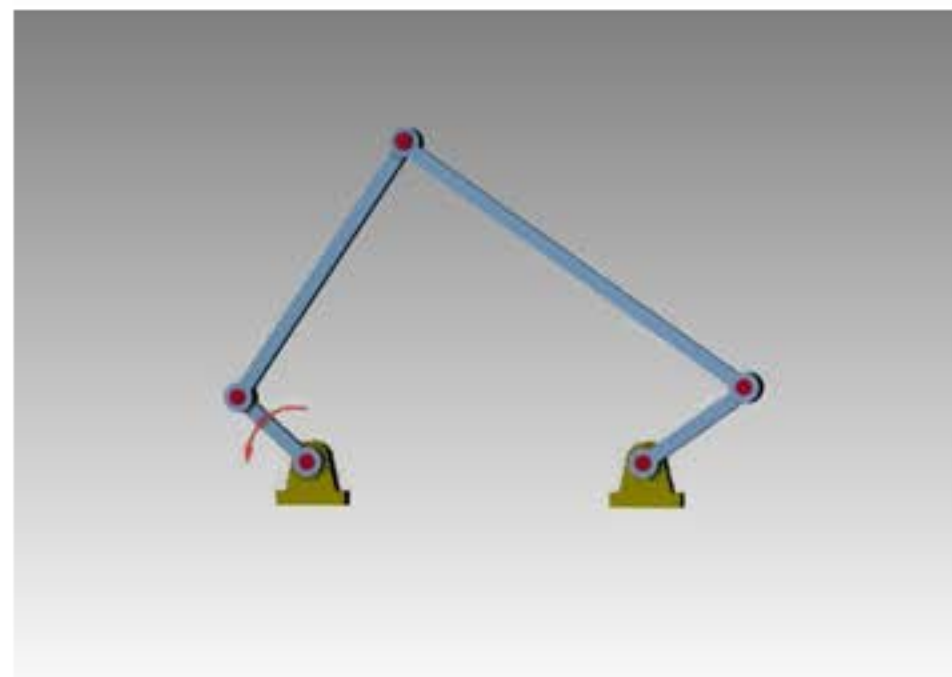
$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 = 2$$

原动件数 $< F$ ，运动链内部各构件的运动关系不确定。

运动链不能成为机构。

原动件数 $= F$ ，运动链内部各构件运动关系确定。

运动链成为机构。



平面四杆运动链

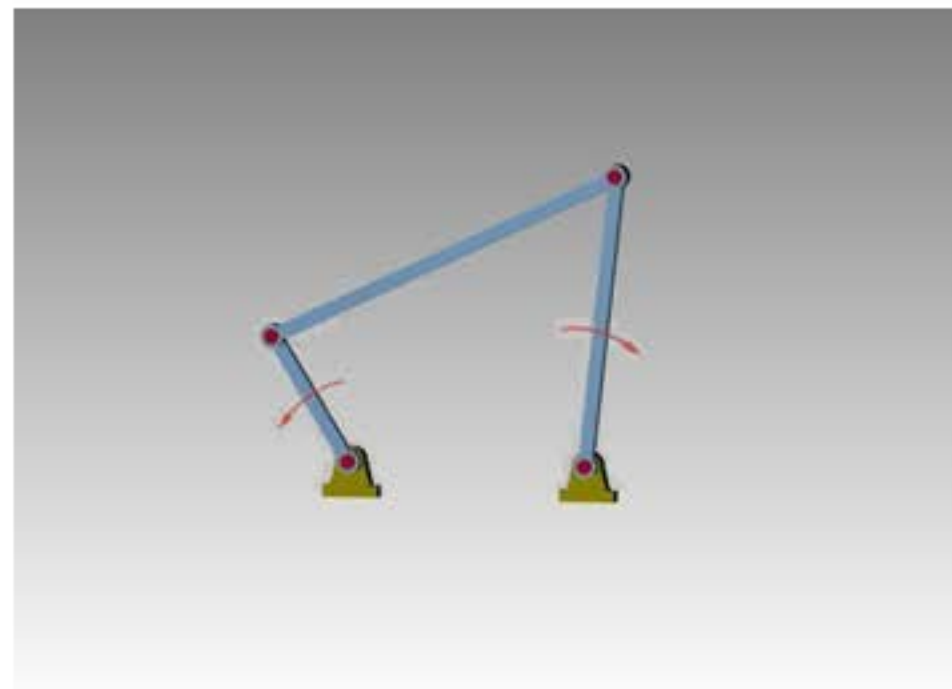
$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 3-2\times 4=1$$

原动件数 $> F$ ，运动链内部的运动关系将发生矛盾，其中最薄弱的构件将会损坏。

运动链不能成为机构。

原动件数 $= F$ ，运动链内部各构件运动关系确定。

运动链成为机构。



运动链成为机构的条件是：取运动链中一个构件相对固定作为机架，运动链相对于机架的自由度必须大于零，且原动件的数目等于运动链的自由度数。

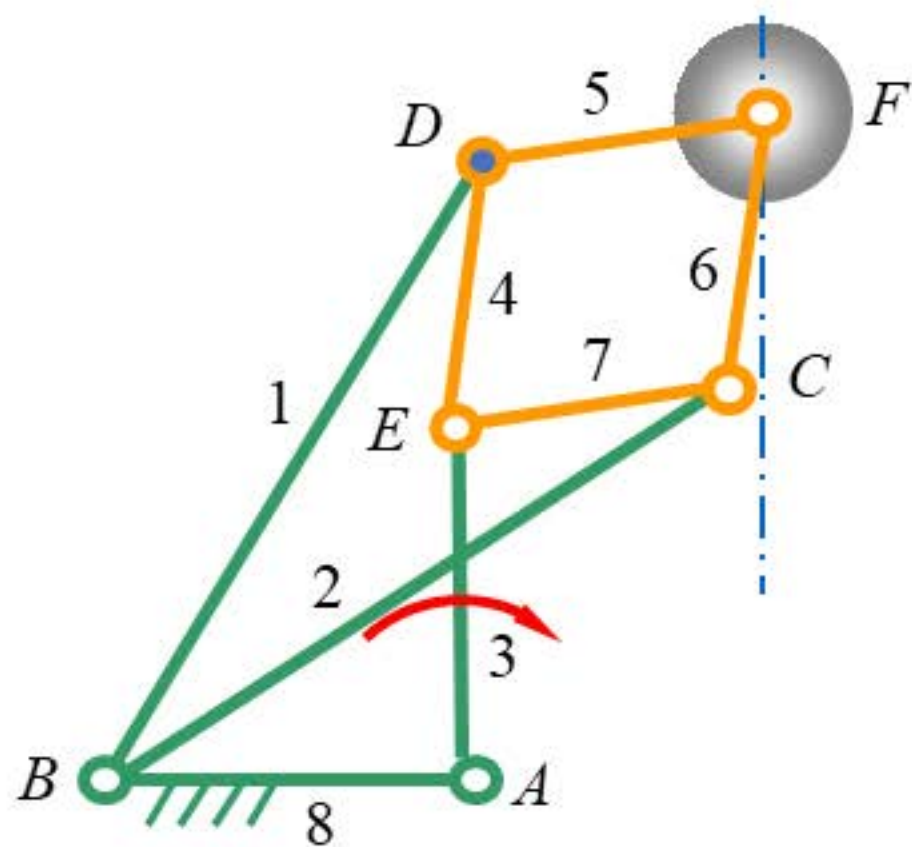
满足以上条件的运动链即为机构，机构的自由度可用运动链自由度公式计算。

例题 圆盘锯机构自由度计算

解 $n=7, p_L=6, p_H=0$

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 7-2\times 6=9$$

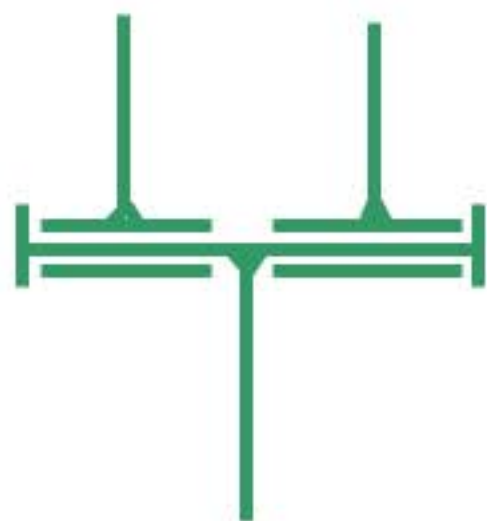
错误的结果!



圆盘锯

计算错误的原因

两个转动副



三、计算机构自由度时应注意的问题

● 复合铰链 (Compound hinges)

两个以上的构件在同一处以转动副联接所构成的运动副。

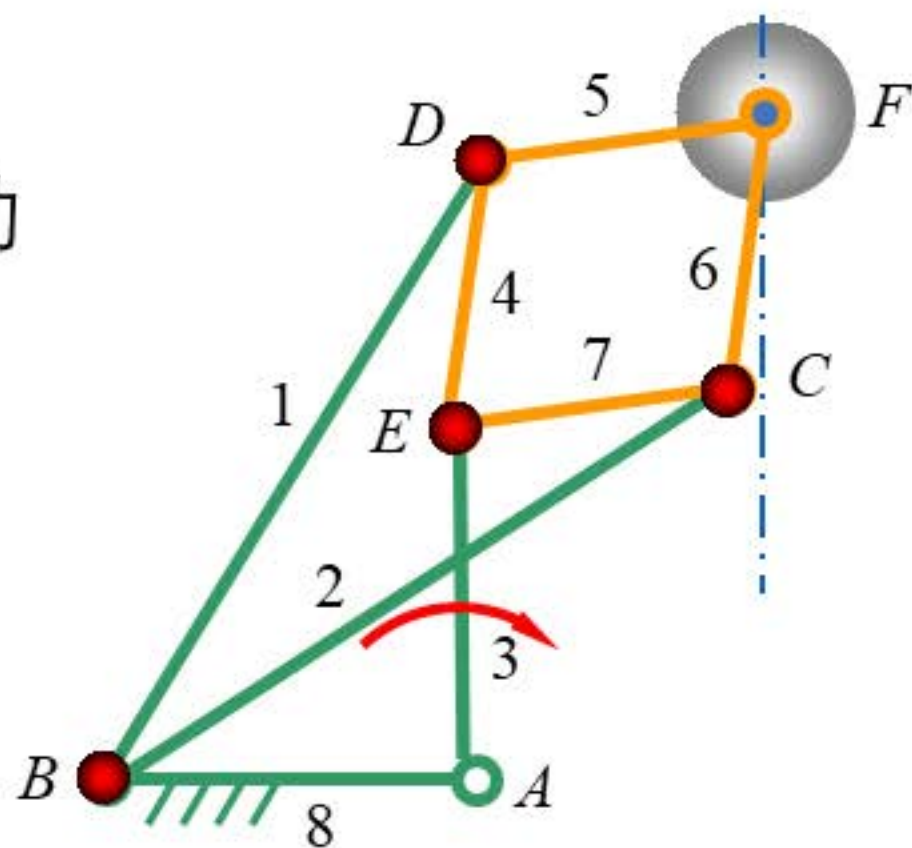
k 个构件组成的复合铰链，有 $(k-1)$ 个转动副。

正确计算

B 、 C 、 D 、 E 处为复合铰链，转动副数均为2。

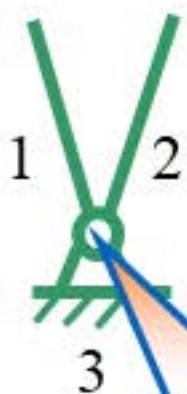
$$n=7, p_L=10, p_H=0$$

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 7-2\times 10=1$$

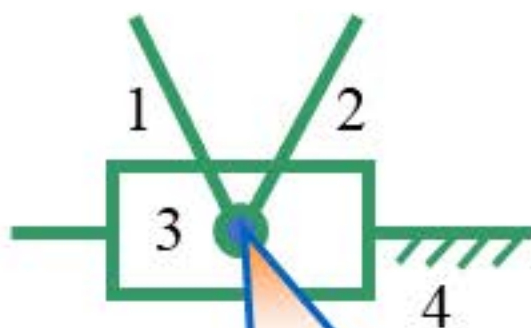


准确识别复合铰链举例

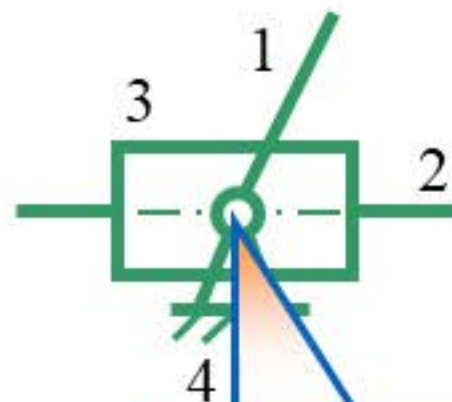
关键：分辨清楚哪几个构件在同一处用转动副联接



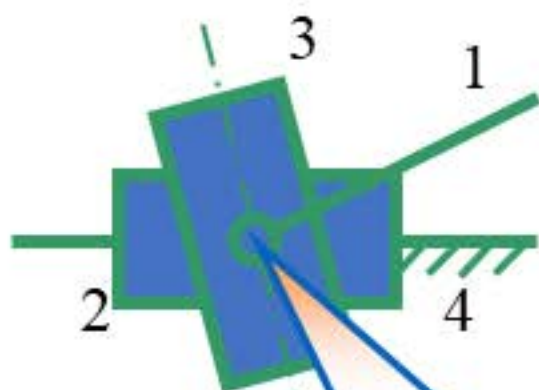
两个转动副



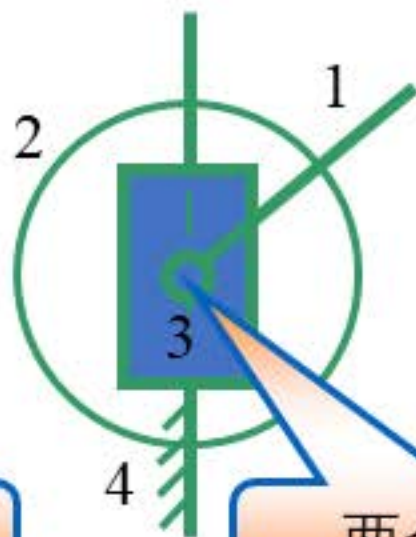
两个转动副



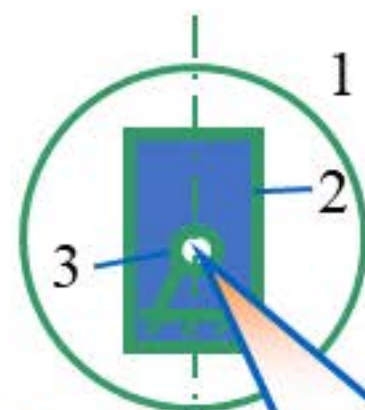
两个转动副



两个转动副



两个转动副



两个转动副

例题 计算凸轮机构自由度

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 3-2\times 3-1=2 \quad ?$$

● 局部自由度 (Passive degree of freedom)

机构中某些构件所具有的仅与其自身的局部运动有关的自由度。

考虑局部自由度时的机构自由度计算

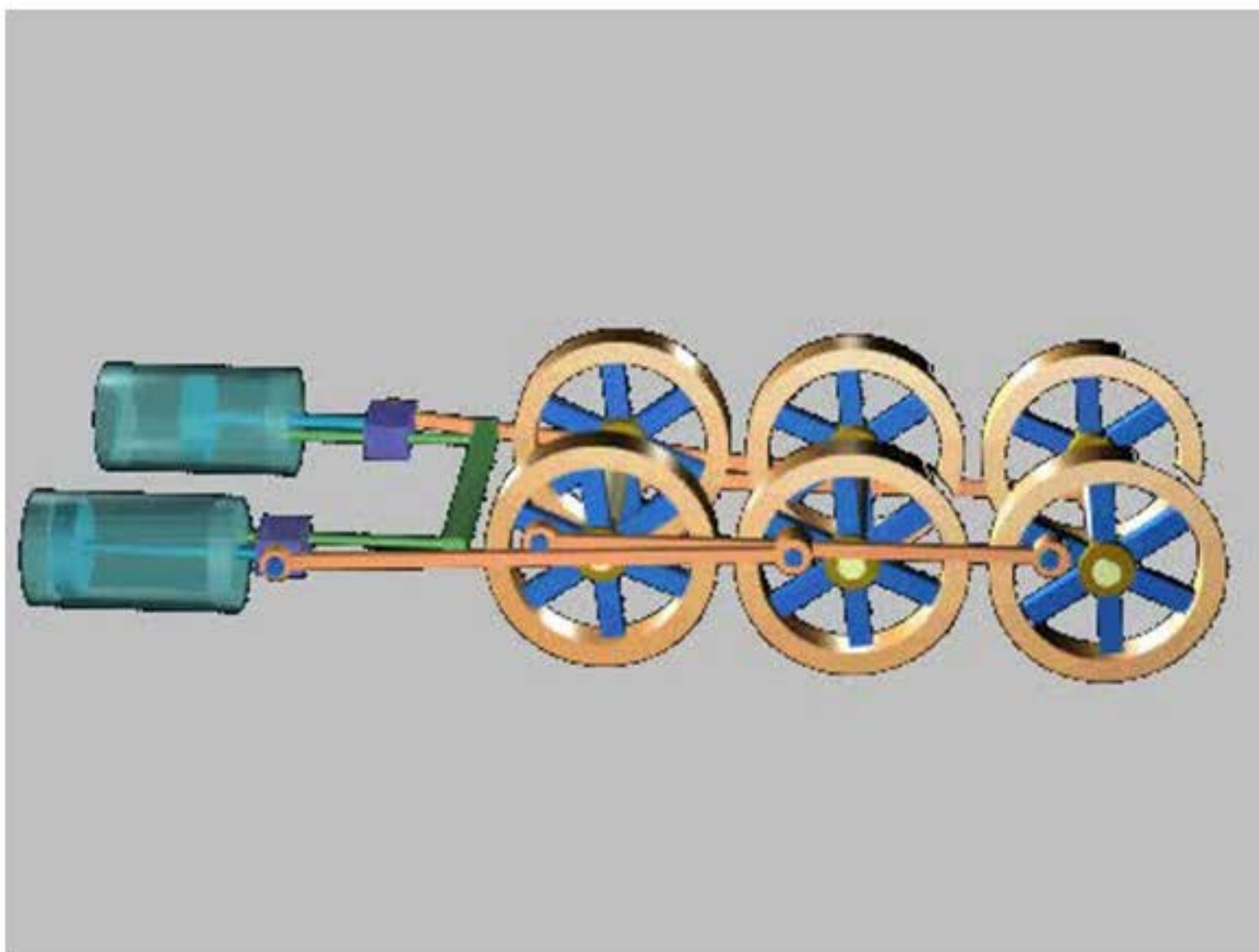
设想将滚子与从动件焊成一体

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 2-2\times 2-1=1$$

计算时减去局部自由度 F_P

$$\begin{aligned} F &= 3n-2p_L-p_H-F_P \\ &= 3\times 3-2\times 3-1-1=1 \end{aligned}$$





例题 计算机车车轮联动机构的自由度

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 6-2\times 9=0 \quad ?$$

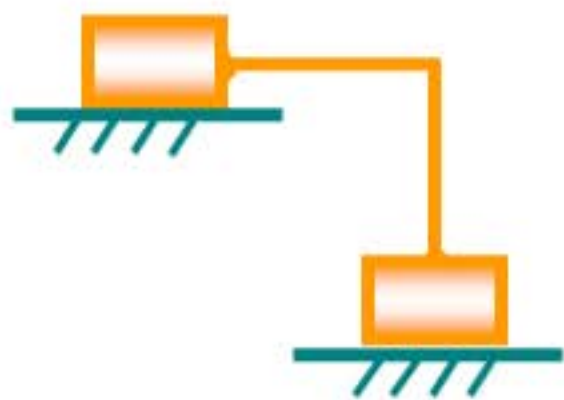
- 虚约束 (Redundant constraint, Passive constraint)

机构中不起独立限制作用的重复约束。

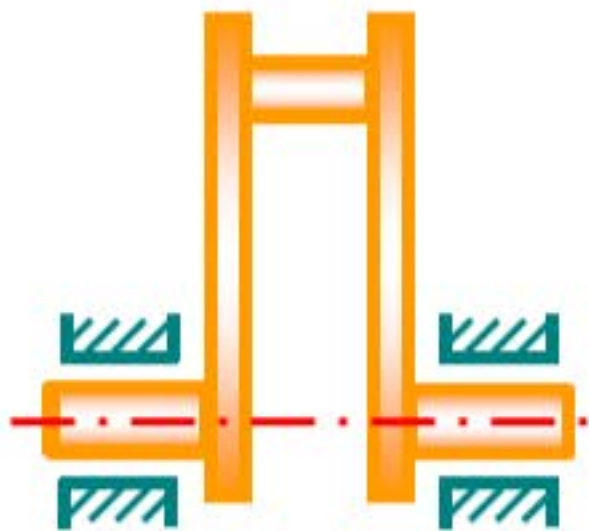
计算具有虚约束的机构的自由度时，应先将机构中引入虚约束的构件和运动副除去。

虚约束发生的场合

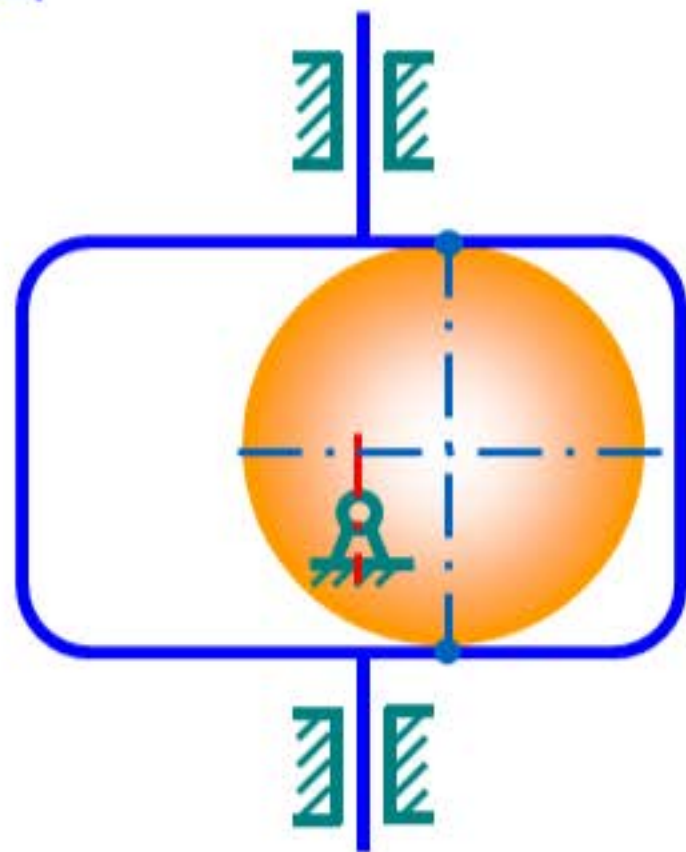
(1) 两构件间构成多个运动副



两构件构成多个
导路平行的移动副



两构件构成多个
轴线重合的转动副

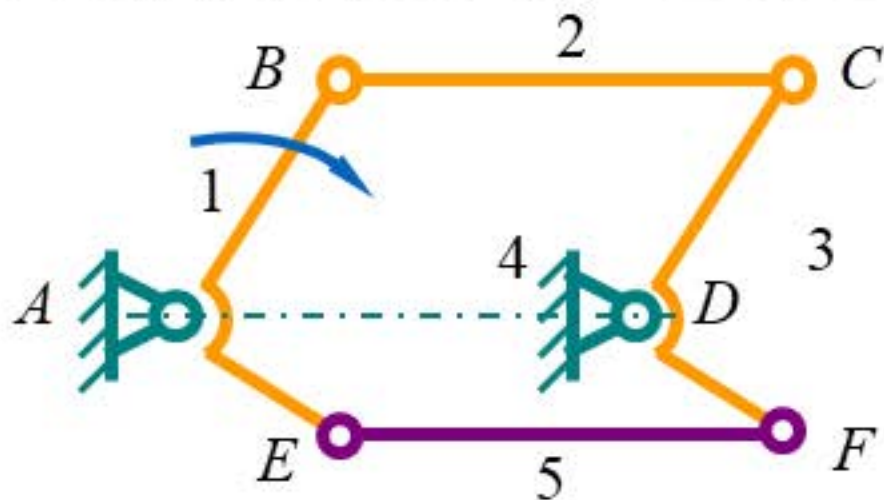


两构件构成多个接触点
处法线重合的高副

(2) 两构件上某两点间的距离在运动过程中始终保持不变

$$\overline{AB} \neq \overline{CD}$$

$$\overline{AE} \neq \overline{DF}$$



未去掉虚约束时

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 4 - 2 \times 6 = 0 \quad ?$$

构件5和其两端的转动副E、F提供的自由度

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 1 - 2 \times 2 = -1$$

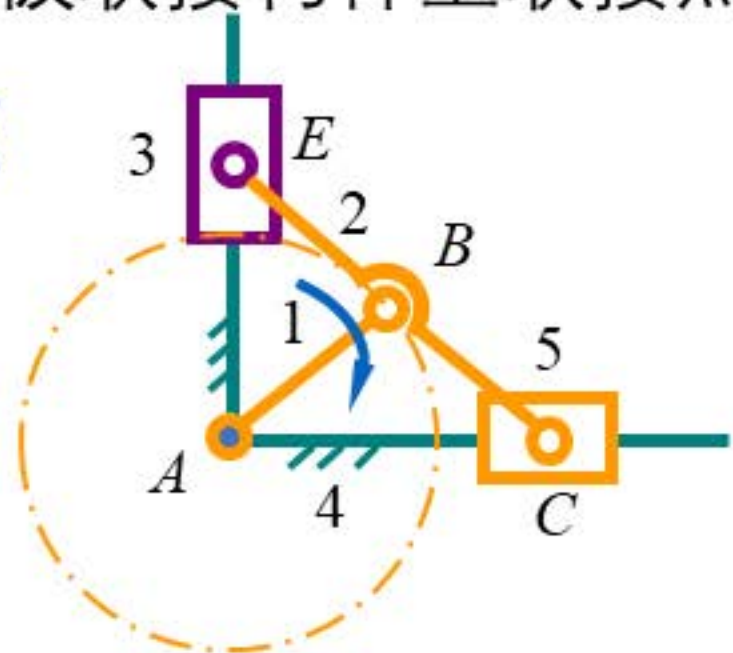
即引入了一个约束，但这个约束对机构的运动不起实际约束作用，为虚约束。去掉虚约束后

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 = 1$$

(3) 联接构件与被联接构件上联接点的轨迹重合

构件2和3在E点
轨迹重合

$$BE=BC=AB$$
$$\angle EAC=90^\circ$$



椭圆仪机构

未去掉虚约束时 $F=3n-2p_L-p_H=3\times 4-2\times 6=0$?

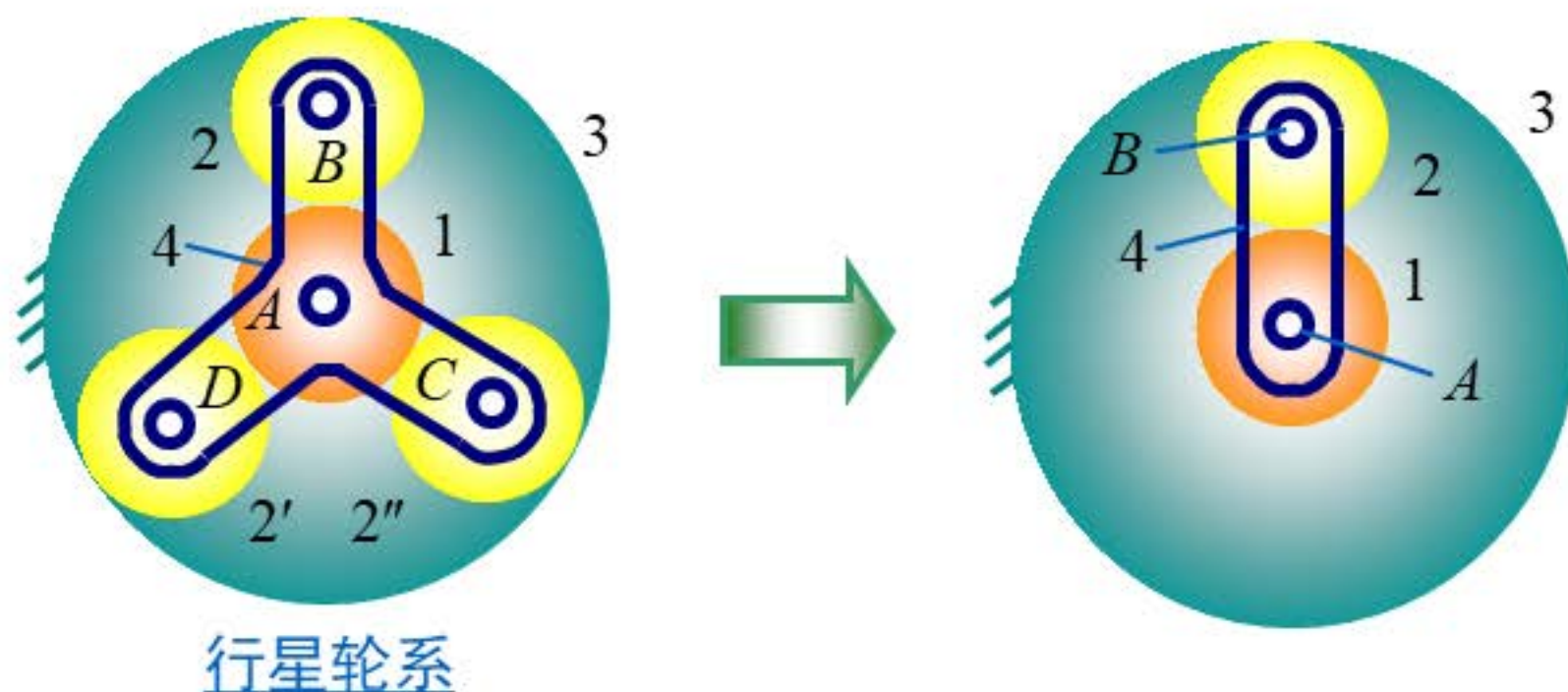
构件3与构件2组成的转动副E及与机架组成的移动副提供的自由度

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 1-2\times 2=-1$$

即引入了一个约束，但这个约束对机构的运动不起实际约束作用，为虚约束。去掉虚约束后

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 3-2\times 4=1$$

(4) 机构中对传递运动不起独立作用的对称部分



未去掉虚约束时 $F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 5 - 2 \times 5 - 1 \times 6 = -1$

对称布置的两个行星轮2'和2''以及相应的两个转动副D、C和4个平面高副提供的自由度

$$F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 \times 4 = -2$$

即引入了两个虚约束。

去掉虚约束后 $F = 3n - 2p_L - p_H = 3 \times 3 - 2 \times 3 - 1 \times 2 = 1$

虚约束的作用

- (1) 改善构件的受力情况，分担载荷或平衡惯性力，如多个行星轮。
- (2) 增加结构刚度，如轴与轴承、机床导轨。
- (3) 提高运动可靠性和工作的稳定性。

注意 机构中的虚约束都是在一定的几何条件下出现的，如果这些几何条件不满足，则虚约束将变成实际有效的约束，从而使机构不能运动。

例3 计算包装机送纸机构的自由度

分析

活动构件数 $n=9$

复合铰链 运动副 D

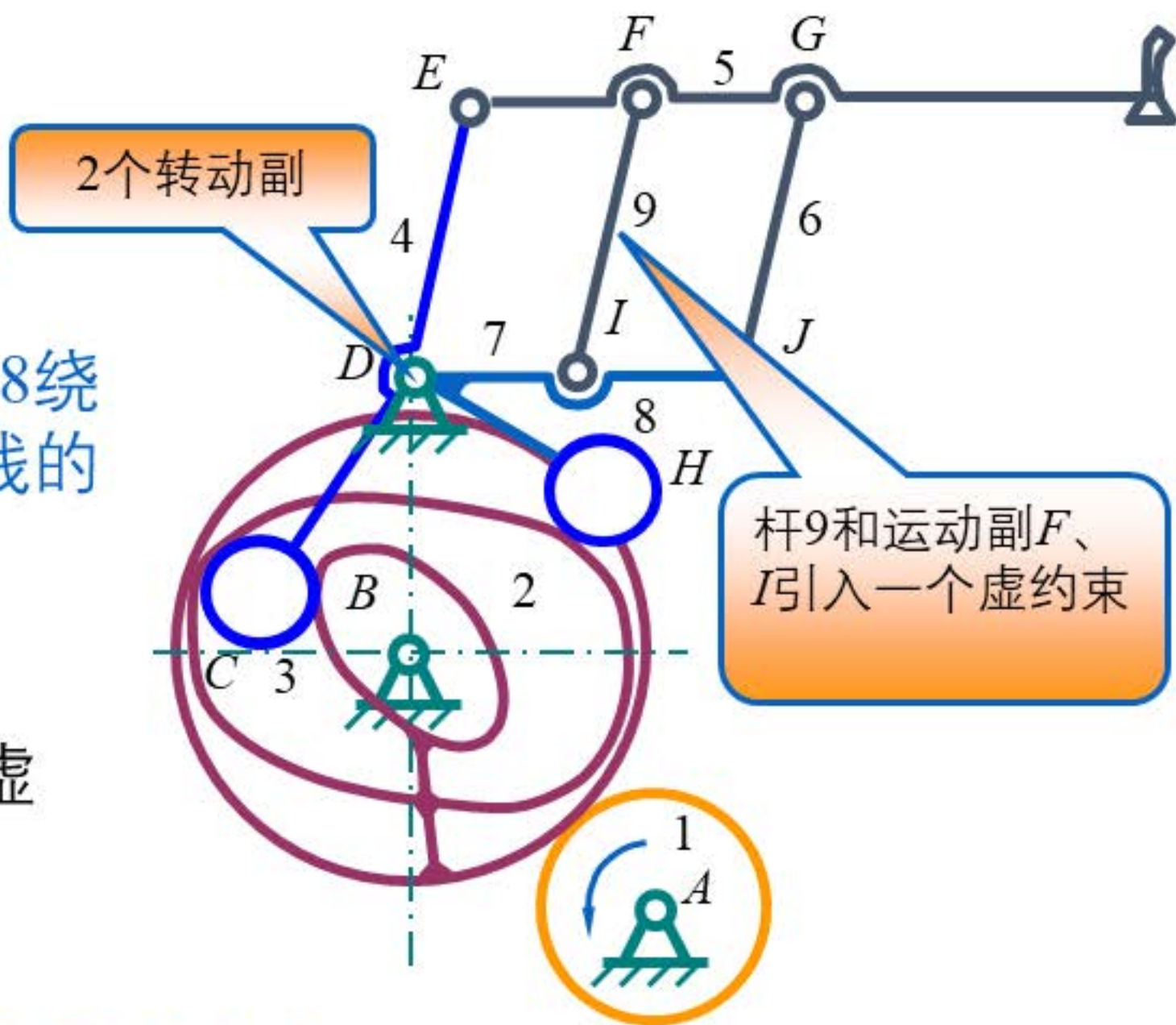
局部自由度 滚子3、8绕自身轴线的转动

虚约束 1处

去掉局部自由度和虚约束

$$n=6, p_L=7, p_H=3$$

$$F=3n-2p_L-p_H=3\times 6-2\times 7-1\times 3=1$$



第四节 平面运动链与机构的结构设计

一、平面运动链的结构设计

机构的构件数 n 、运动副数 p_k 与自由度数 F 之间存在着一定的关系。

运动链结构设计（机构的型数综合）的目的

确定在满足一定自由度的前提下运动链的所有结构形式，从而获得能满足各种工作要求的机构。

这是机构**创新设计 (Creative design)**的基本途径。

假定所有运动副为单一转动副。平面机构自由度计算公式简化为

$$F=3n-2p_L=3(N-1)-2p$$

自由度 F 是机构型数综合的目标。

二、运动链结构公式推导法

改写前述公式

$$p = \frac{3}{2}N - \frac{(F+3)}{2}$$

p , N 均应为正整数, 因此

- 当 F 为奇数时, 构件 N 必为偶数; 反之, 当 F 为偶数时, 构件数 N 必为奇数。
- 当 $F=1$ 时, N 必须大于2。

结论 对于 $F=1$ 的平面闭链机构

构件数 N 必为4, 6, 8, 10, ...等;

对应的运动副数 p 为4, 7, 10, 13, ...等。

由 $k=p-N+1$ 可知, 对于4~10杆运动链, 对应的封闭回路数为1, 2, 3, 4,。

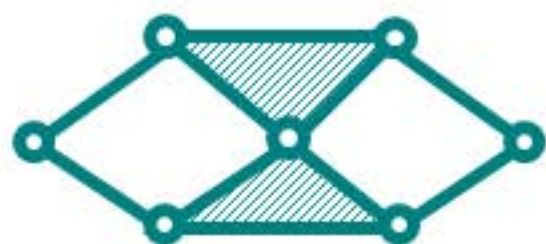
$F=1$ 的运动链

$$N_3+2N_4+5N_5=N-4$$

$$N=N_2+N_3+N_4+N_5$$

式中， N_k 表示 k 副构件的数目。

自由度 $F=1$ 的6杆运动链的可能结构型



$N_3=2, N_2=4$
Watt链



$N_3=2, N_2=4$
Stephenson链



$N_3=2, N_2=4$
与Watt链同构



$N_3=2, N_2=4$
等同于4杆链



$N_4=1, N_2=5$
等同于4杆链

第五节 按基本杆组的机构结构综合与结构分析

一、机构结构综合的基本杆组法 基本思路

驱动杆组 + 基本杆组  机构
(Driving groups) (Basic groups)

由原动件和机架组成，
自由度等于机构自由
度

不可再分的自由度
为零的构件组合

核心问题：如何获得各种 $F=0$ 的基本杆组？

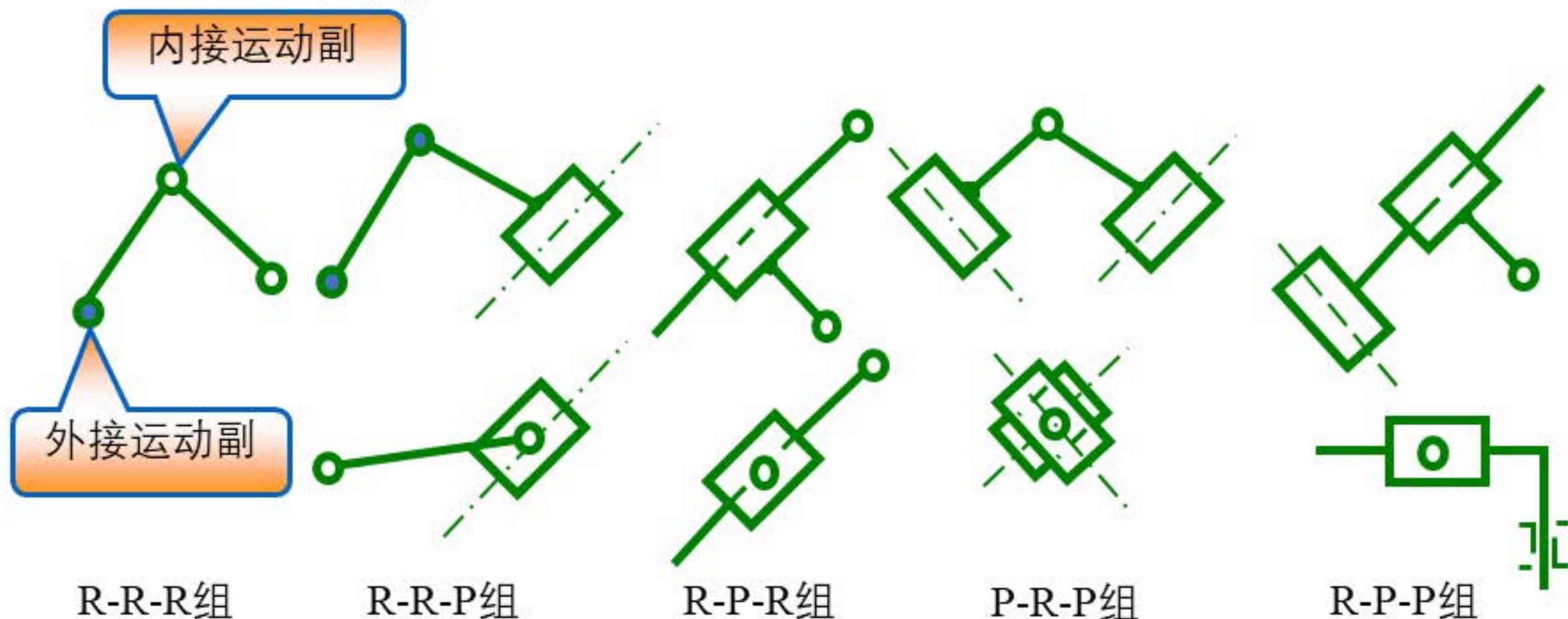
基本杆组应满足的条件

$$F=3n-2p_L=0 \quad \text{即} \quad n=(2/3)p_L$$

基本杆组的构件数 $n=2, 4, 6, \dots$

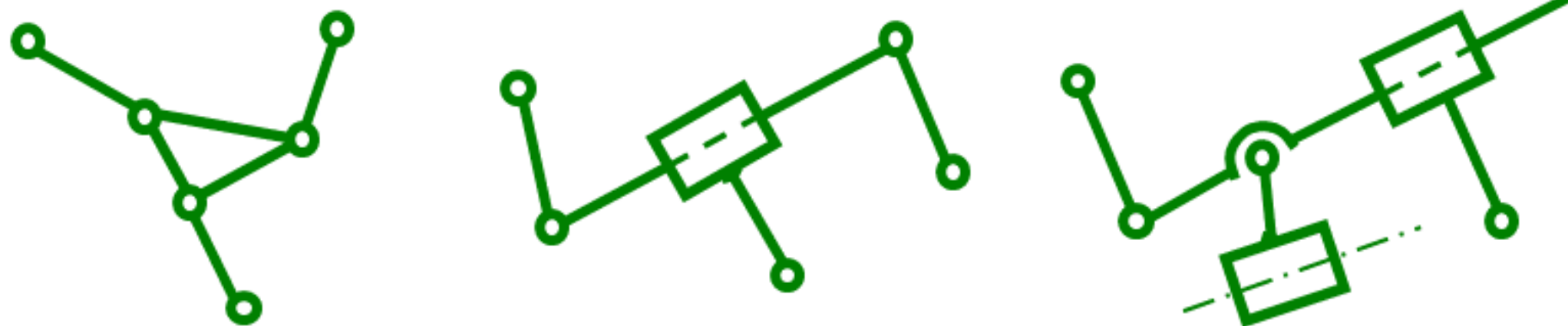
基本杆组的运动副数 $p_L=3, 6, 9, \dots$

1. $n=2, p_L=3$ 的双杆组(II级组)



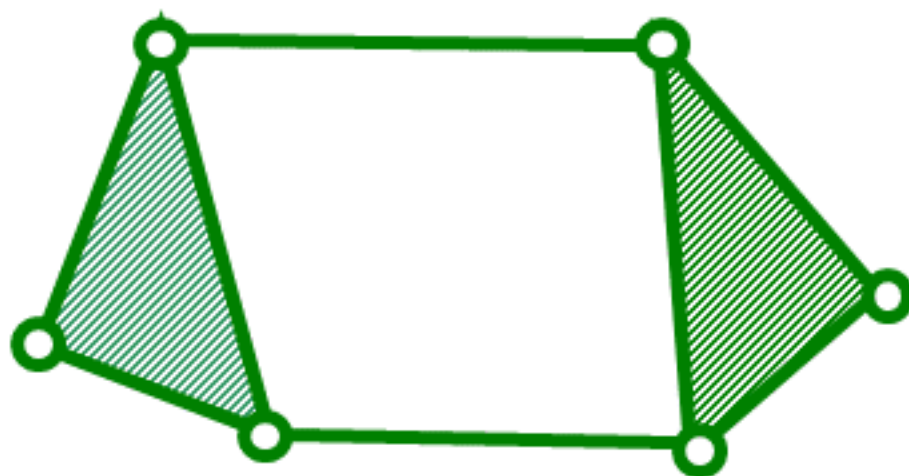
2. $n=4$, $p_L=6$ 的多杆组

(1) III级组



结构特点 有一个三副构件，而每个内副所联接的分支构件是两副构件。

(2) IV级组



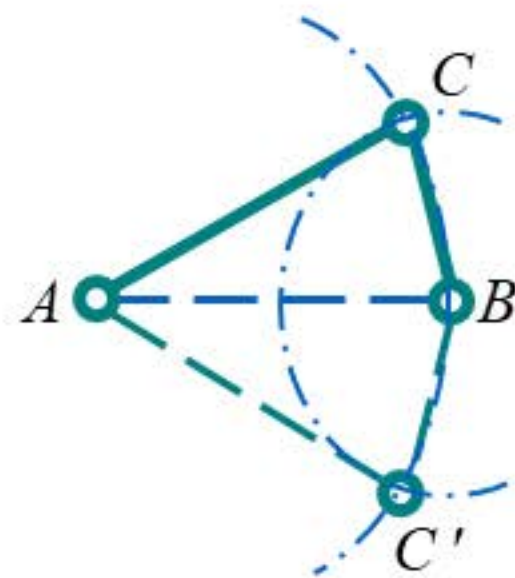
结构特点 具有两个三副构件，杆组的四个内副形成四边形。

不同级别的杆组，其构形的难度和位置解的数量都很不相同，从而决定了由它们所构成的机构可能实现的运动规律，以及它们的运动与受力分析的难易程度都不相同。

杆组的构形解

杆组不同的构形解即各构件的相对位置解，又称为杆组的**装配模式 (Assemble modes)**。

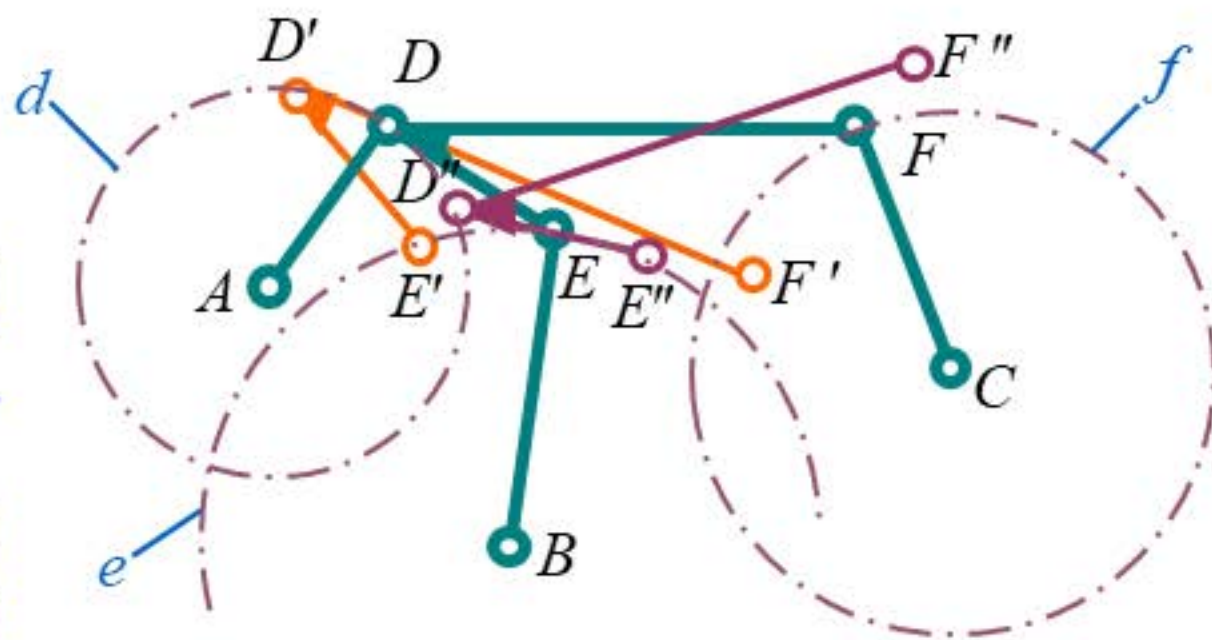
II级组有两种装配模式，为 ABC 或 ABC' 。



II级组的构形解

III级组的装配模式多达六种。

由不同级别的基本杆组组成的机构，其分析设计的复杂程度不一样。为此，常根据机构中的杆组级别来确定机构的级别。



III级组的构形解

二、平面机构的高副低代

平面机构中的高副低代



开始

上一步

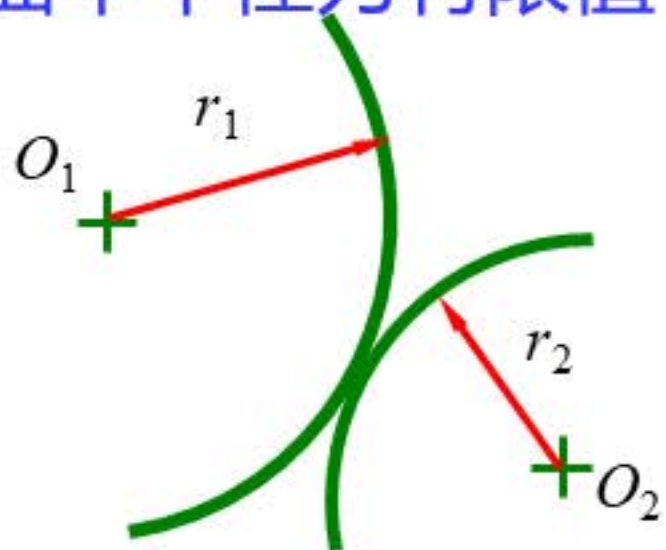
下一步

结束

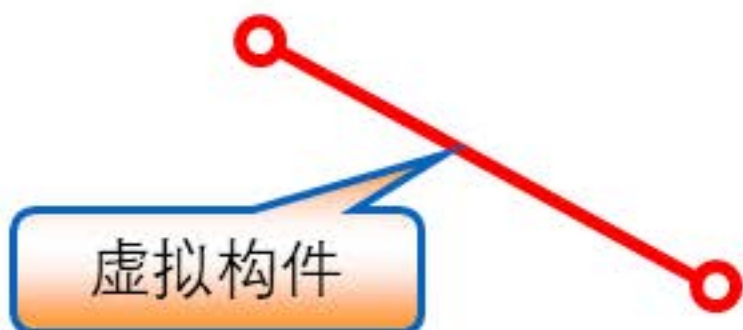


二、平面机构的高副低代

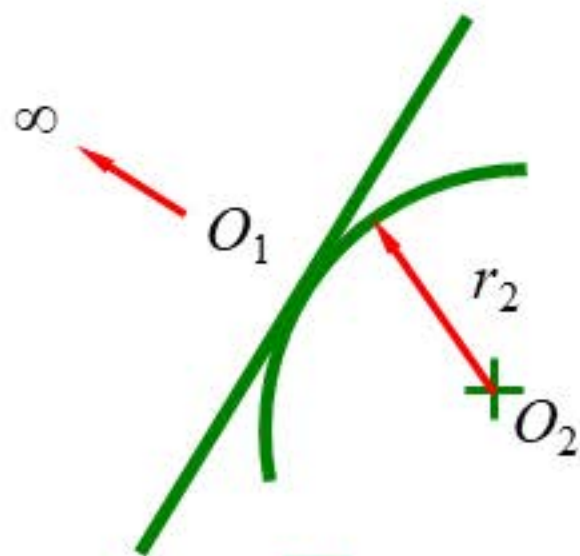
接触点处两高副元素的曲率半径为有限值



高副低代



接触点处两高副元素之一的曲率半径为无穷大



高副低代



三、机构的组成原理

基本概念

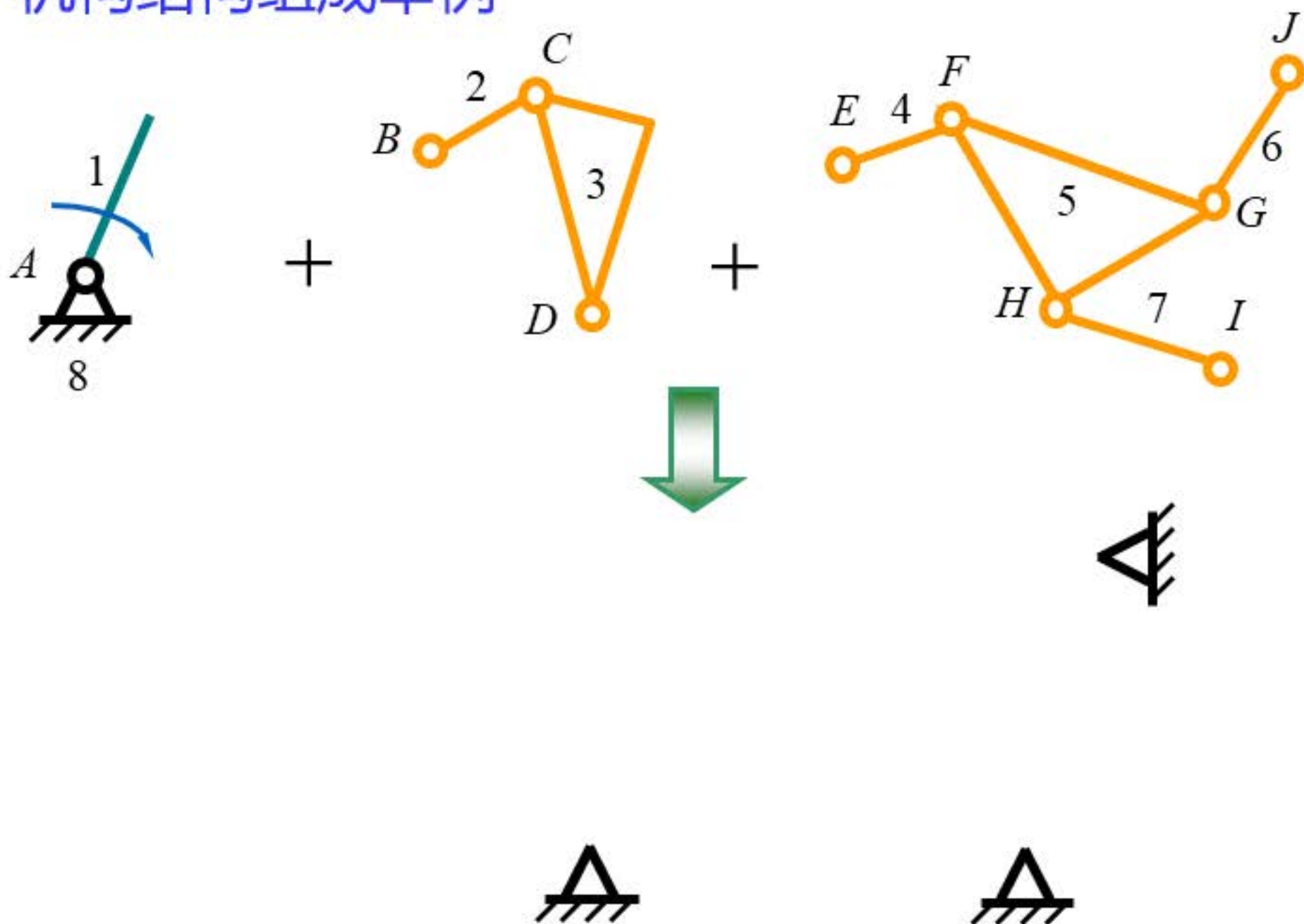
基本机构—仅由一个基本杆组构成的机构。

复合机构—由一个以上基本杆组构成的机构。

按基本杆组的机构结构综合步骤

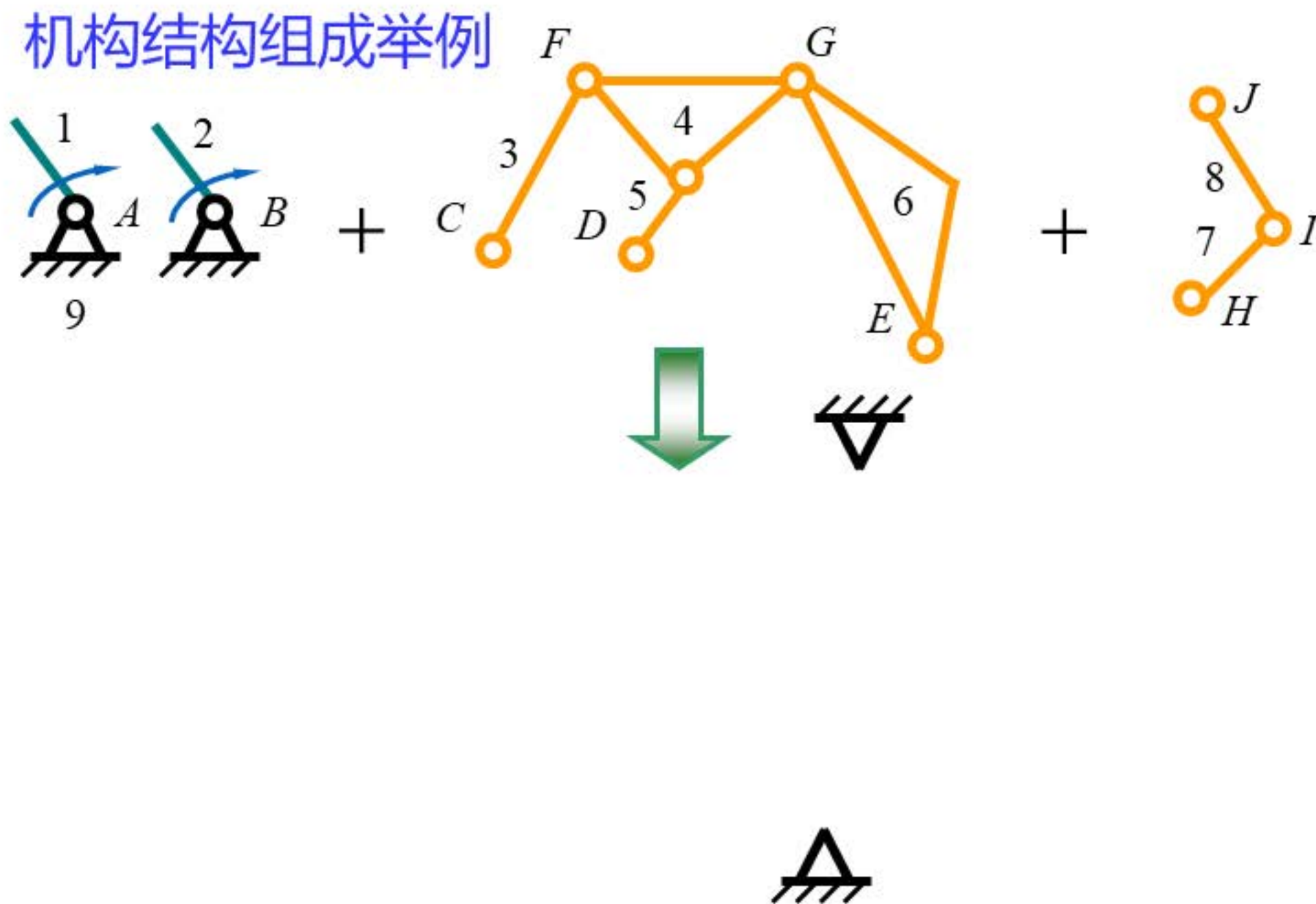
- 按自由度要求设计出驱动杆组；
- 将基本杆组依次联接到原动件、机架上，或者机架和其它基本杆组的构件上，组成机构。

机构结构组成举例



注意 杆组的各外接运动副不能全部联接在同一个构件上。

机构结构组成举例



在进行新机械方案设计时，可以按设计要求由杆组组成机构，进行创新设计。

四、机构的结构分析

在对已有的机构或已设计完毕的机构进行运动分析和动力分析时，通常需要对机构进行结构分析。

意义

基本杆组是组成机构的核心，具有自由度为零和不可再分拆的属性以及运动和动力的确定性。

通过机构的结构分析，可以将类型繁多的各种机构分析问题归纳为数量有限的几种基本杆组的分析和求解问题，从而简化了机构的分析。

问题核心

正确划分出机构的基本杆组

机构的结构分析过程与机构的组成过程相反。

步骤

(1) 计算机构的自由度，确定原动件。

(2) 将机构中的高副用低副替代。

(3) 从传动关系上离原动件最远的构件开始，依次进行试拆。试拆时，先按Ⅱ级组试拆，若无法拆除，再试拆高一级别的杆组。

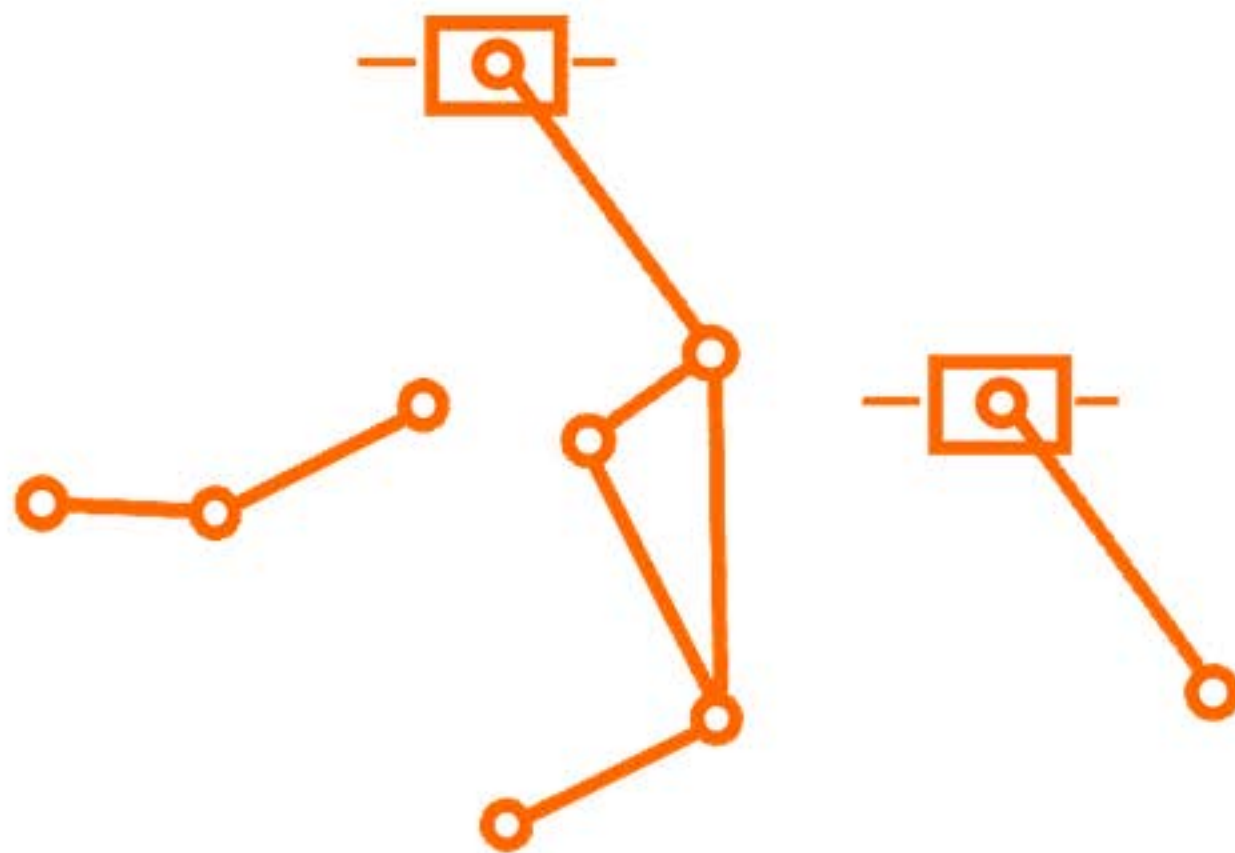
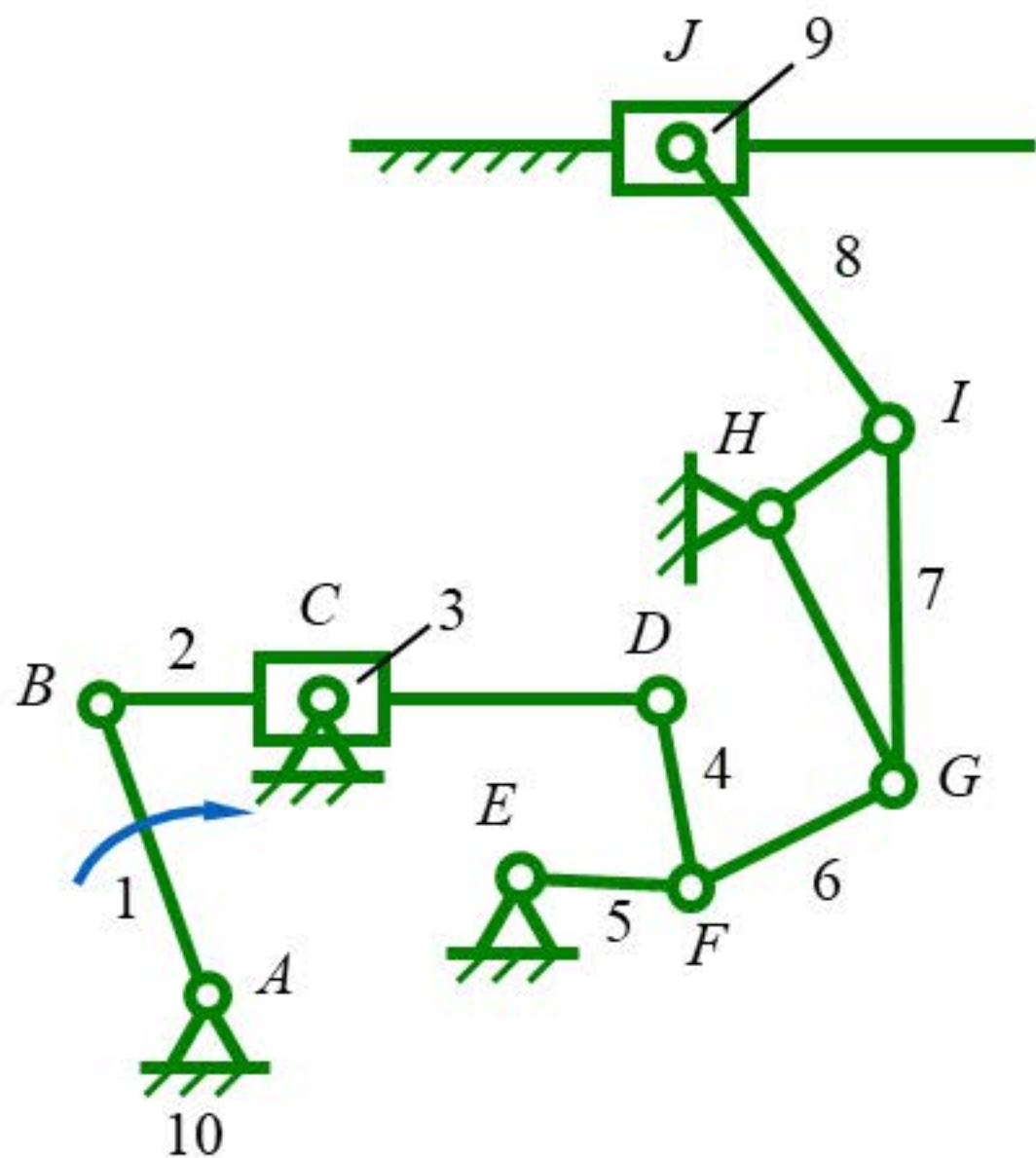
(4) 每拆除一个杆组后，机构的剩余部分仍应是一个自由度不变的完整机构，直至只剩下驱动杆组。

(5) 按所有基本杆组中的最高级别杆组确定该机构的类别，作为对机构进行运动分析和动力分析时，选择相应方法的依据。

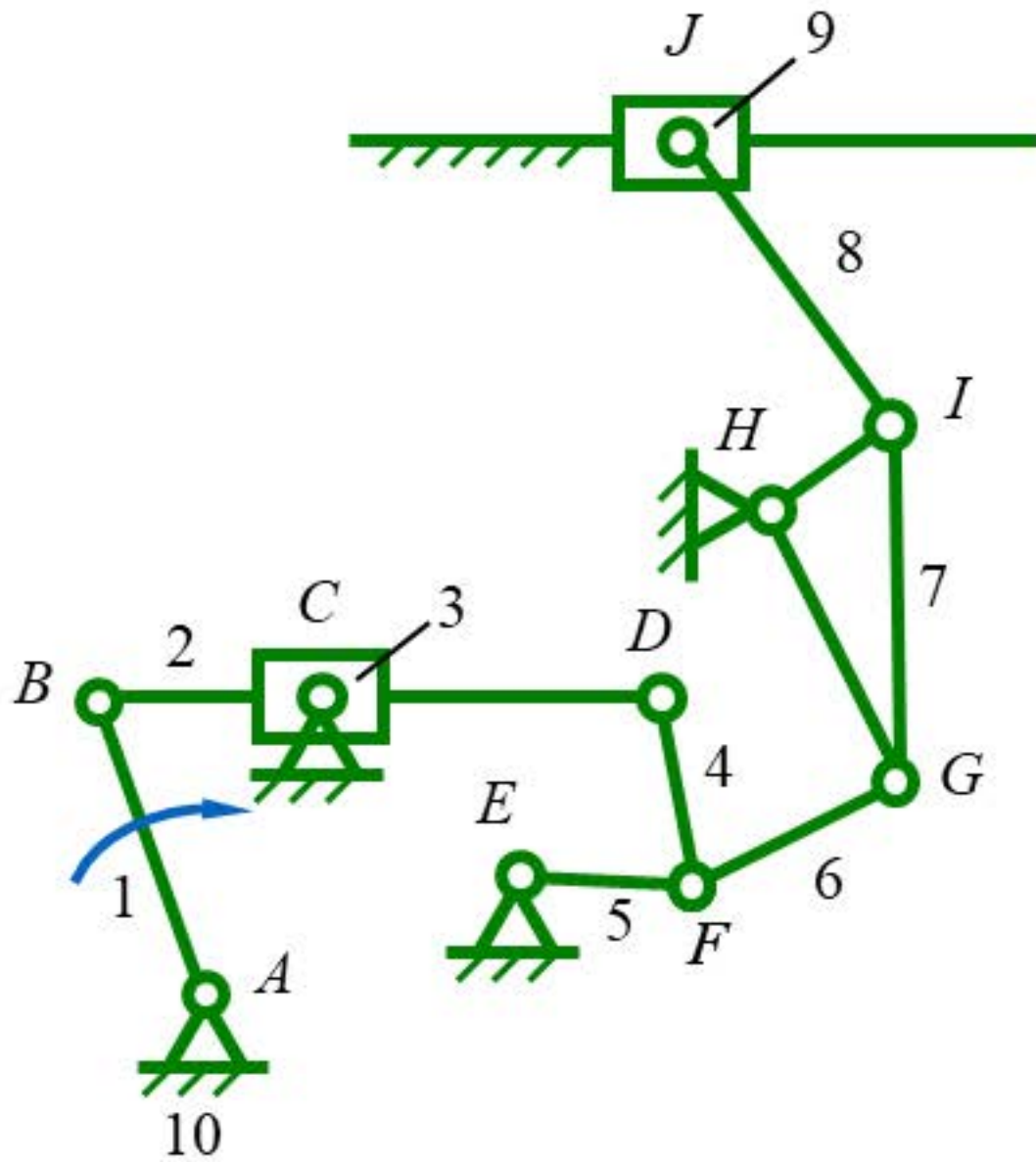
机构结构分析例题

以构件1为原动件

第一次试拆



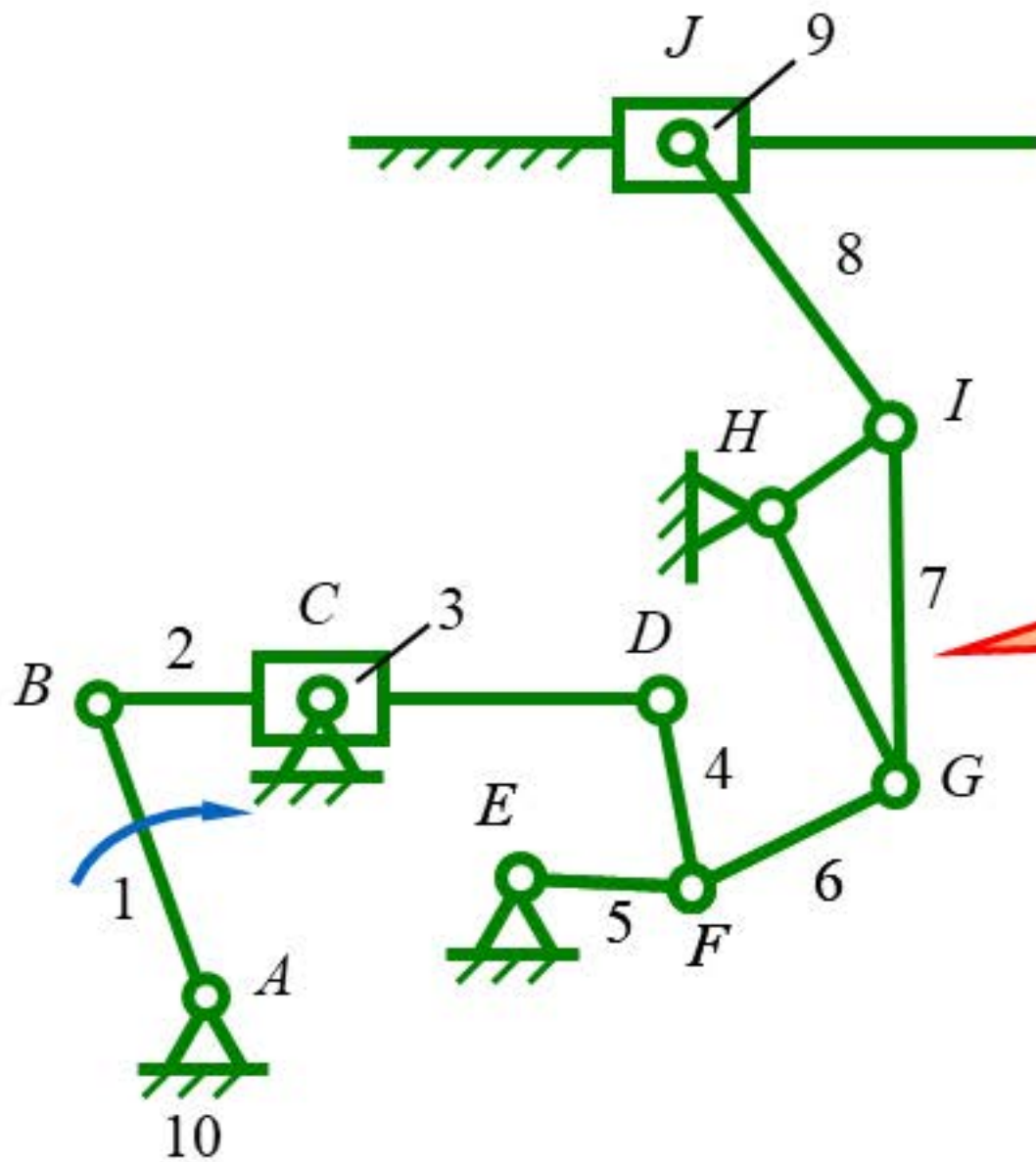
机构结构分析例题



错误!
不是III级组。



机构结构分析例题



错误!

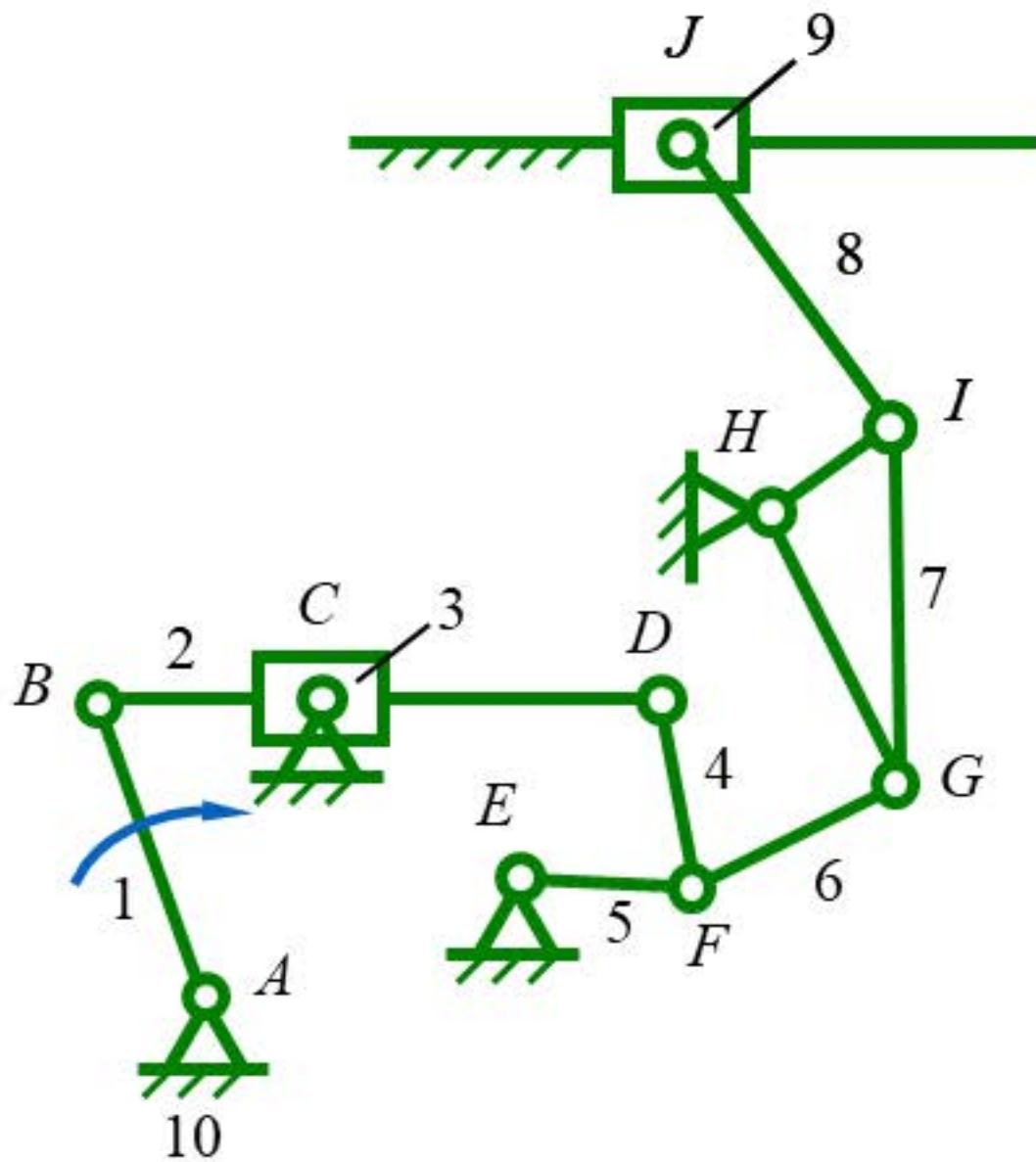
剩余部分不是完整机构，存在运动不确定构件。



机构结构分析例题

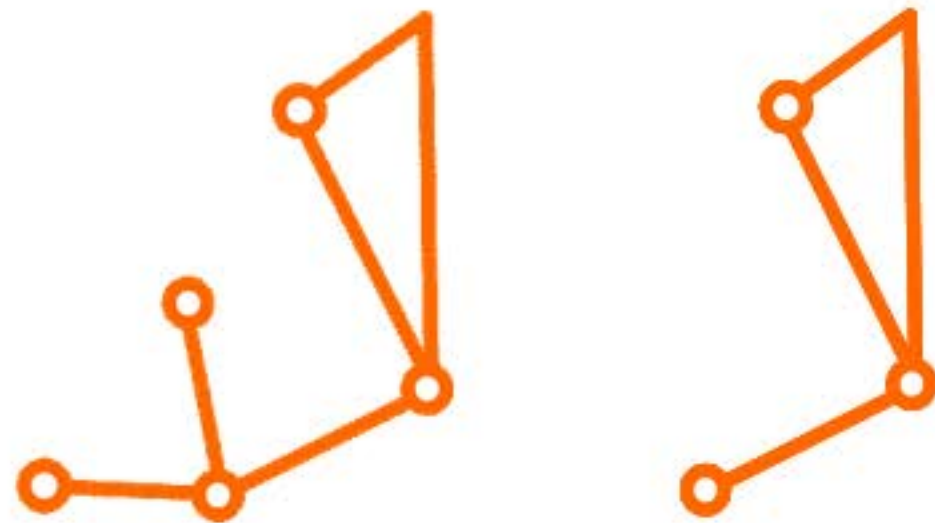
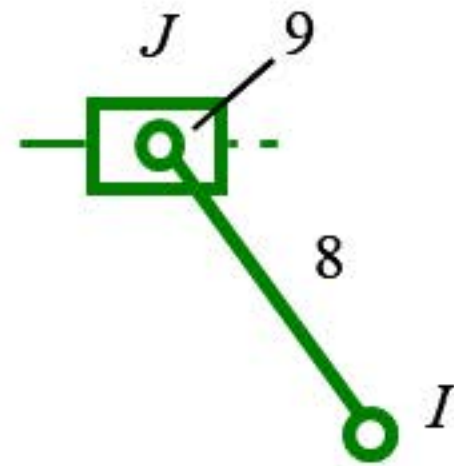
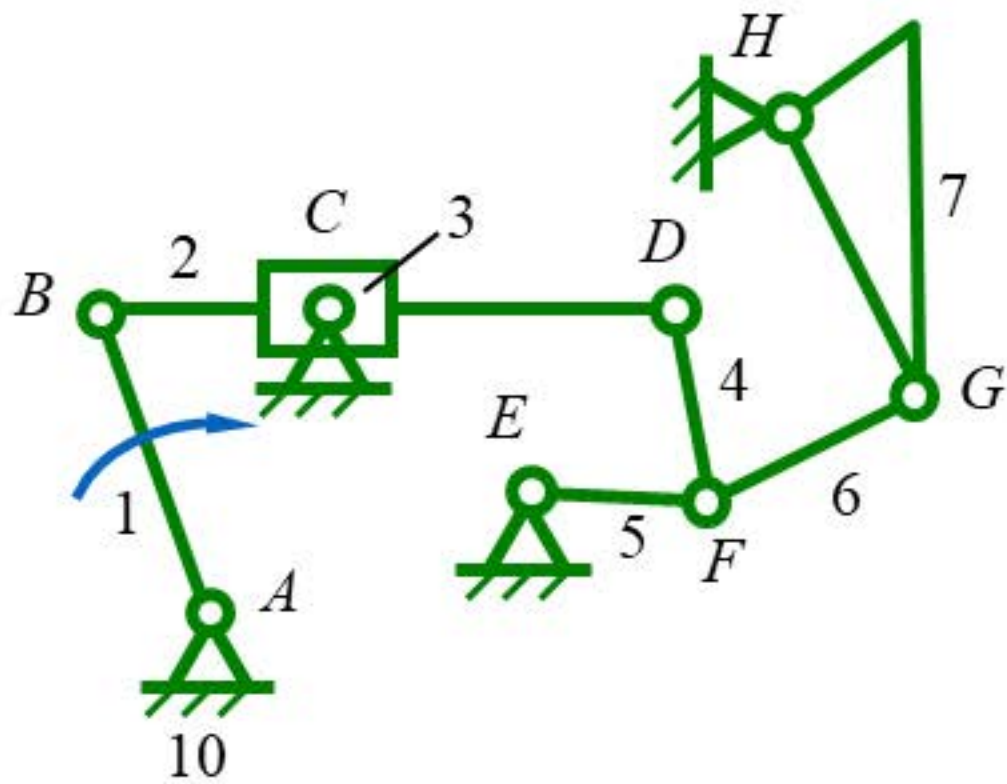
正确!

继续拆分基本杆组。

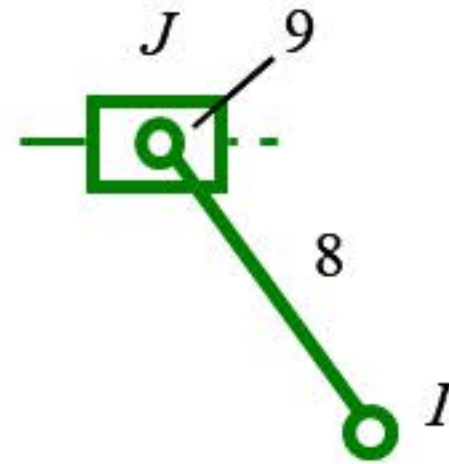
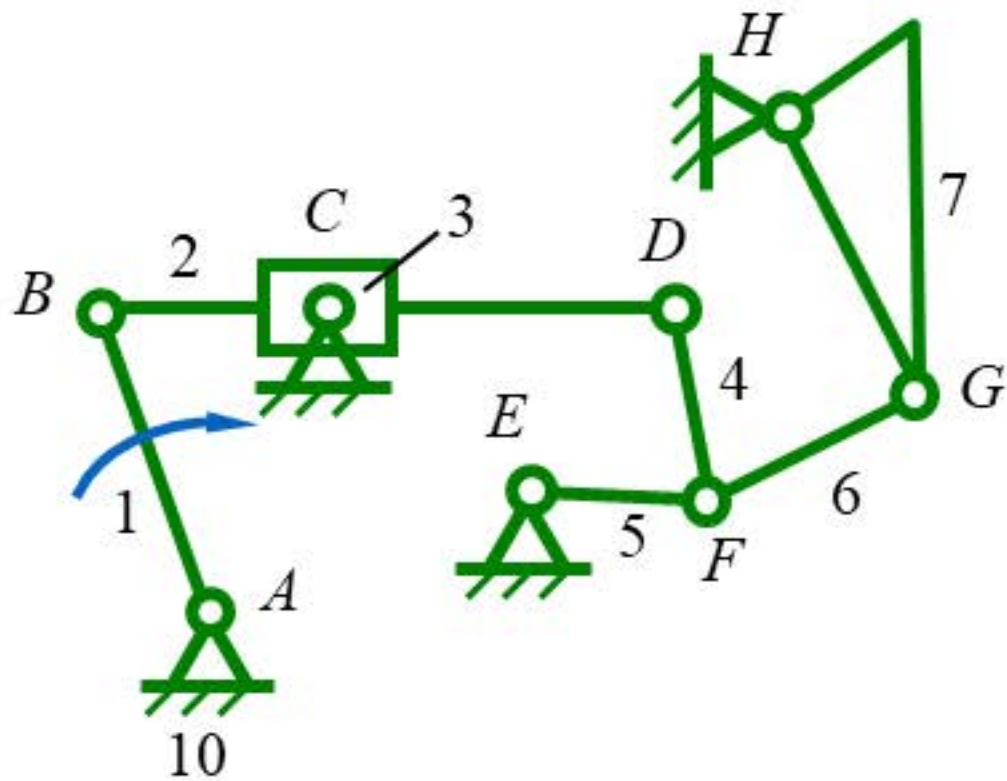


机构结构分析例题

第二次试拆



机构结构分析例题



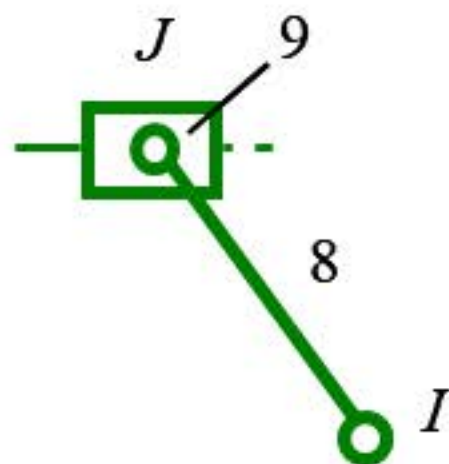
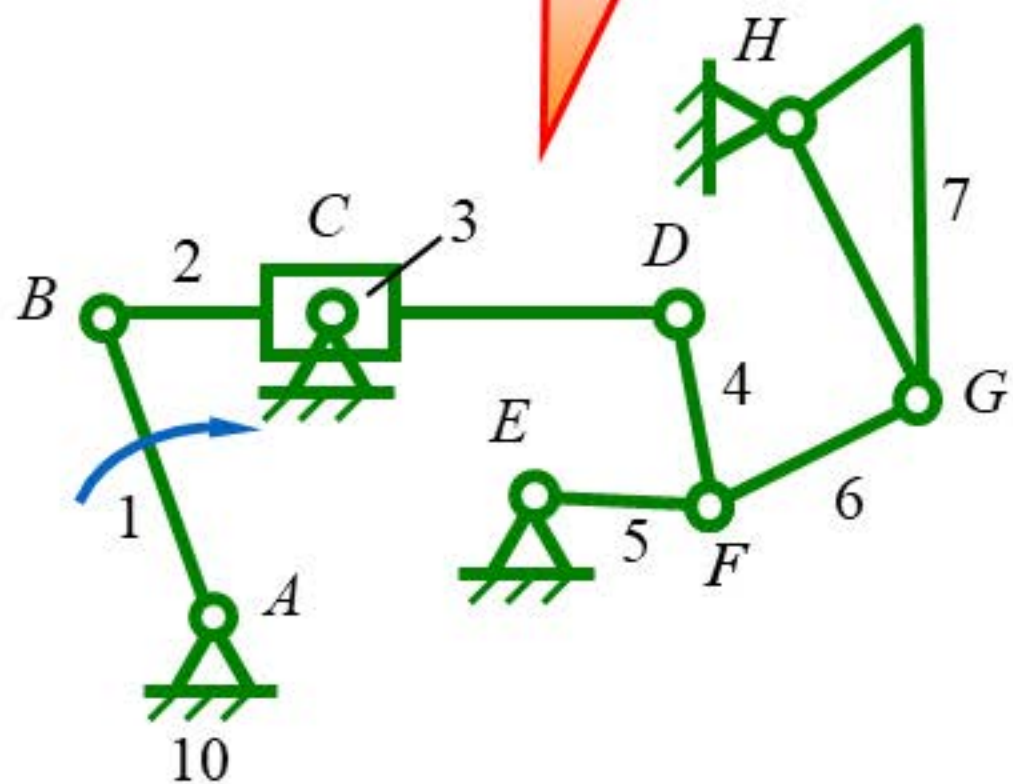
错误!
不是III级组。



机构结构分析例题

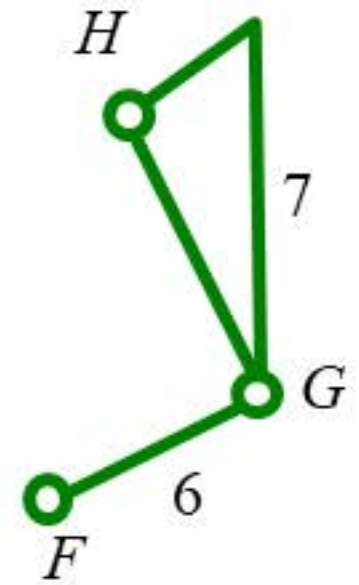
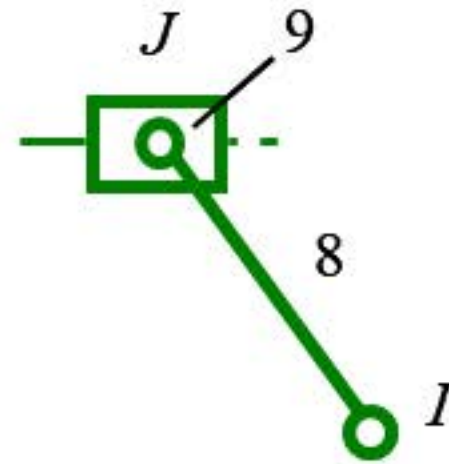
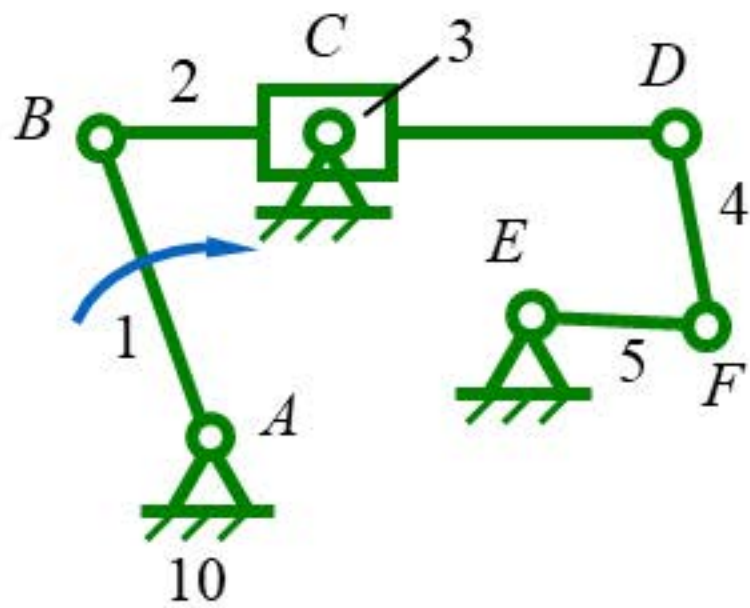
正确!

继续拆分基本杆组。



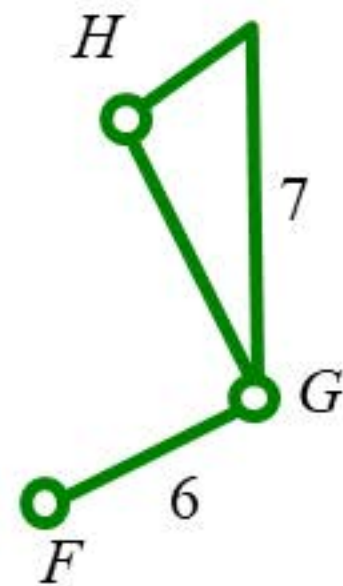
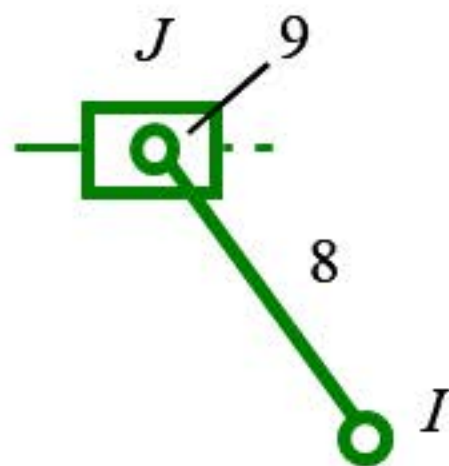
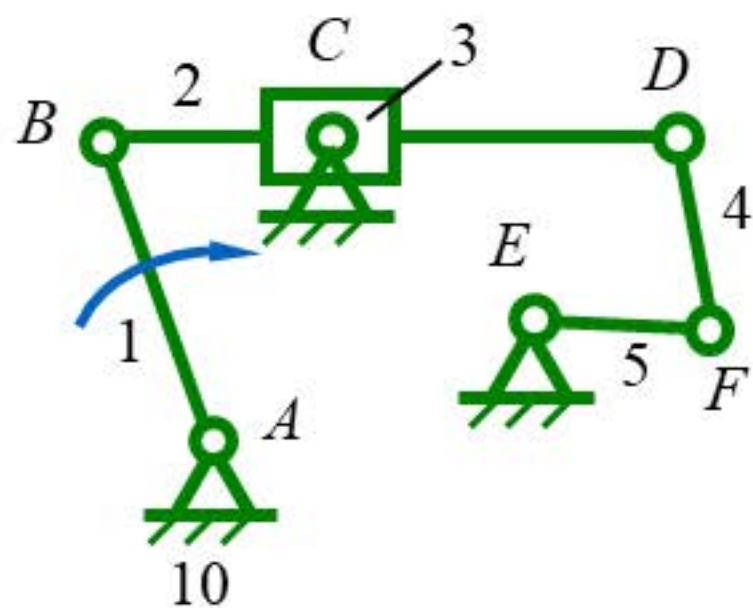
机构结构分析例题

第三次试拆



机构结构分析例题

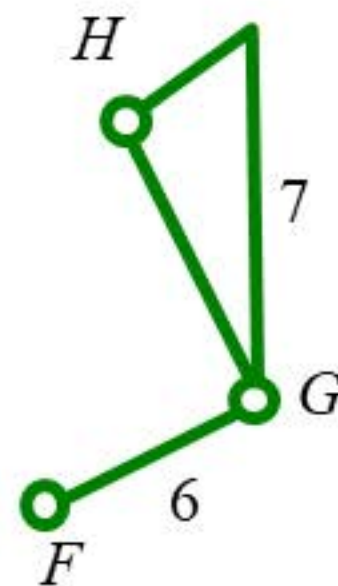
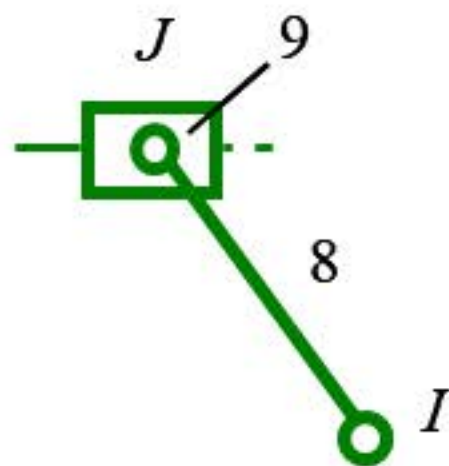
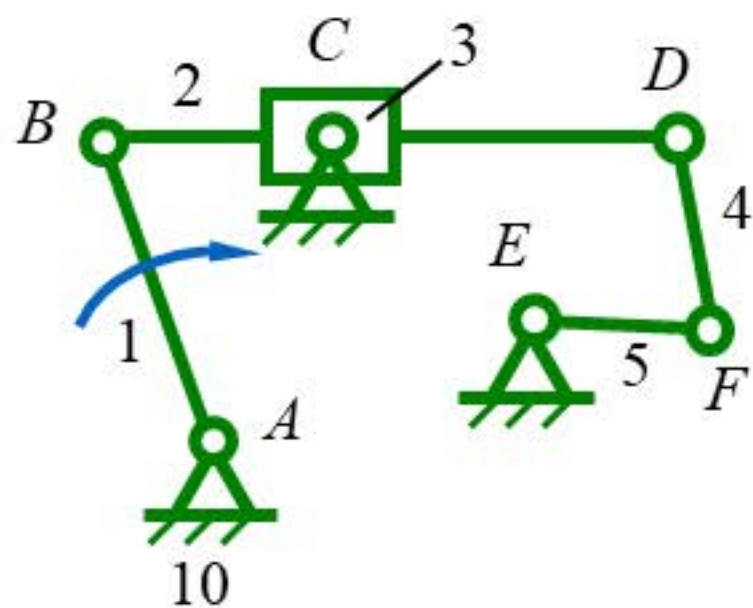
错误!
不是III级组。



机构结构分析例题

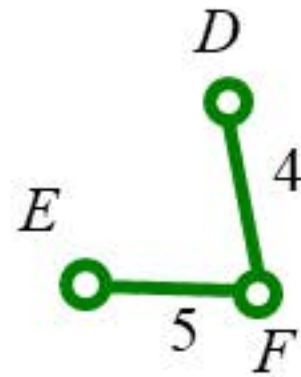
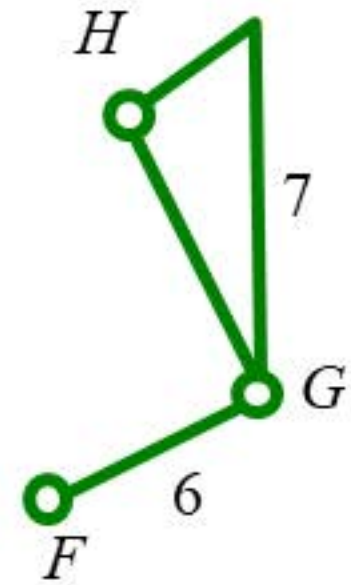
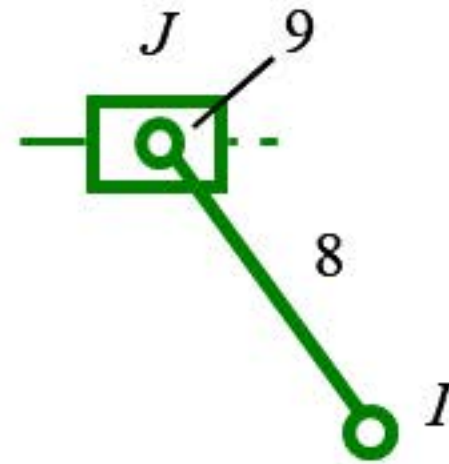
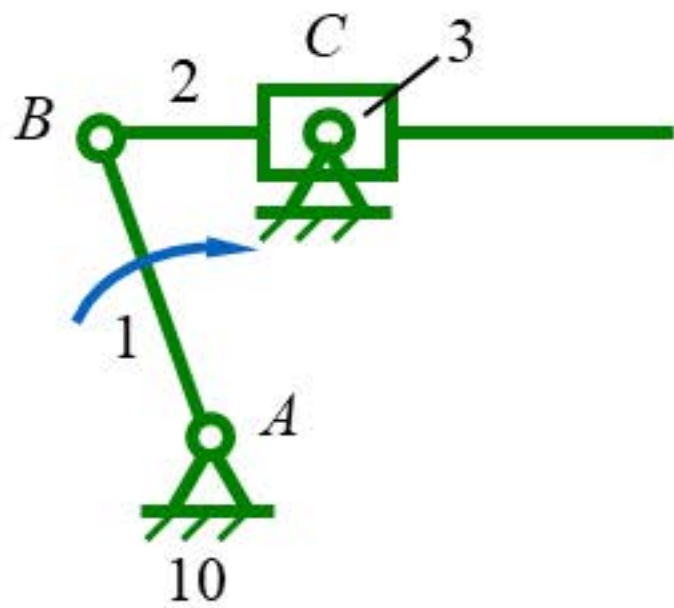
正确!

继续拆分基本杆组。



机构结构分析例题

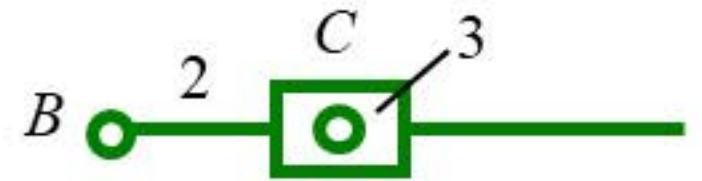
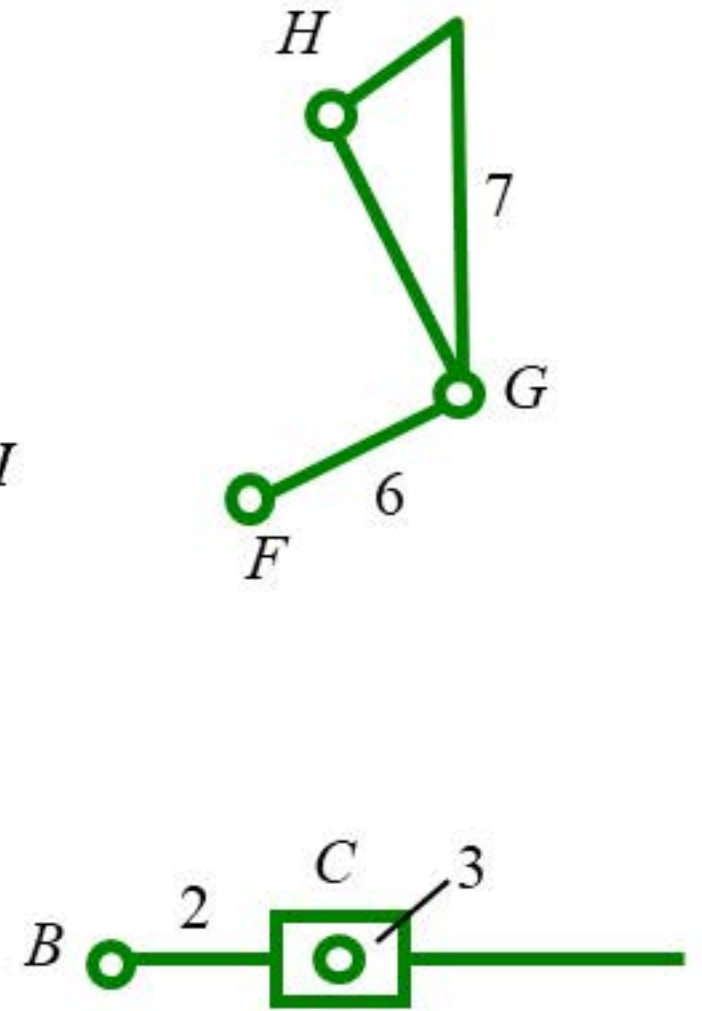
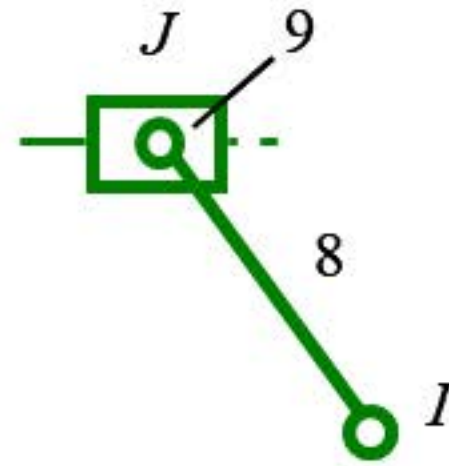
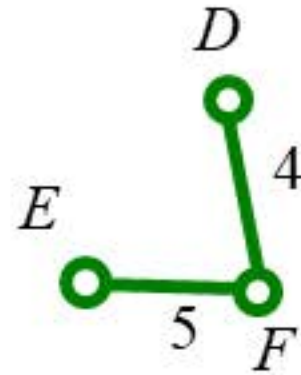
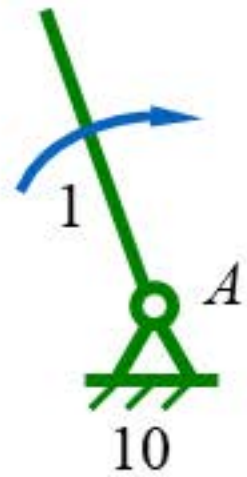
第四次试拆



机构结构分析例题

拆杆组完成!

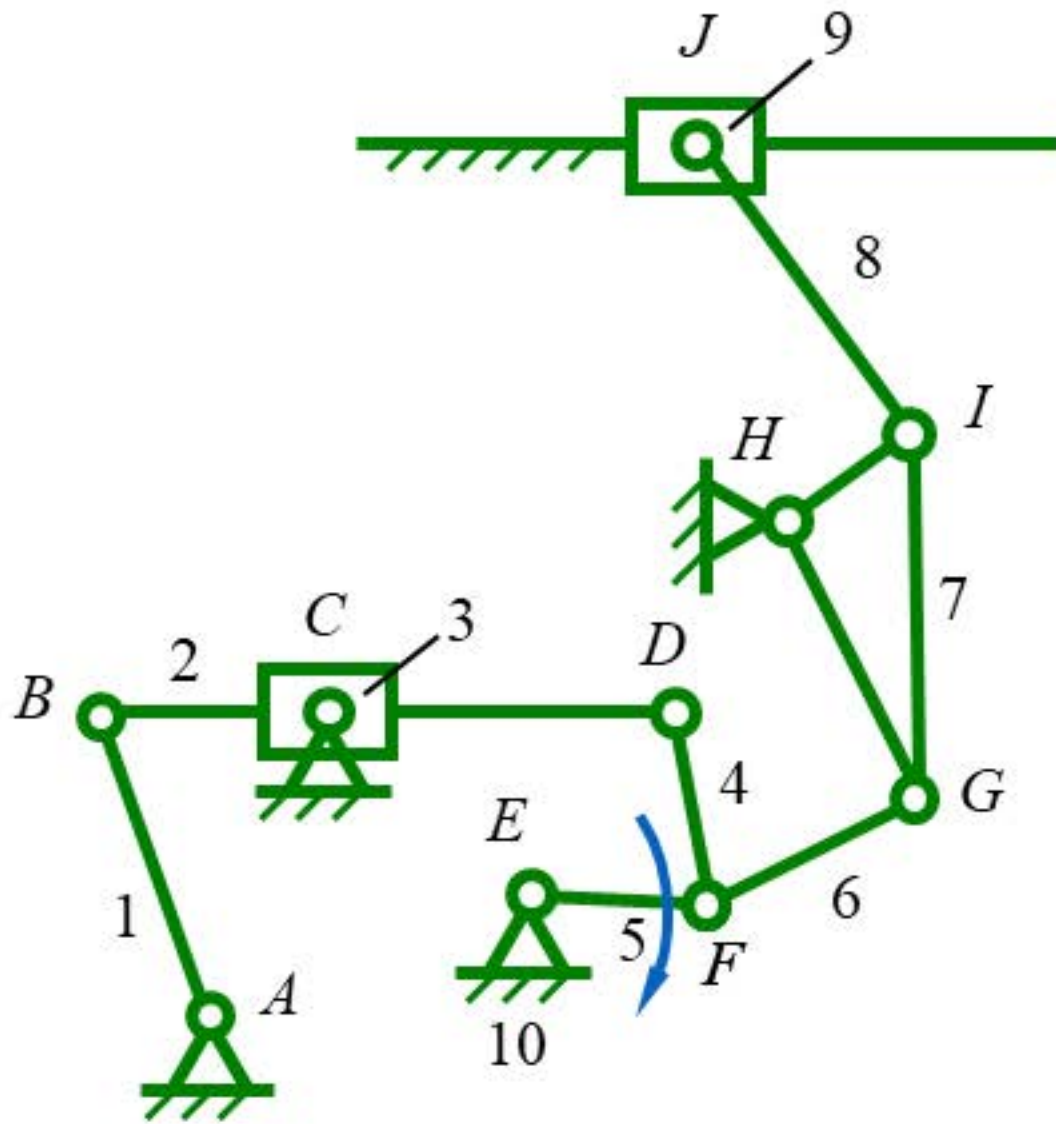
II级机构



机构结构分析例题

以构件5为原动件

第一次试拆

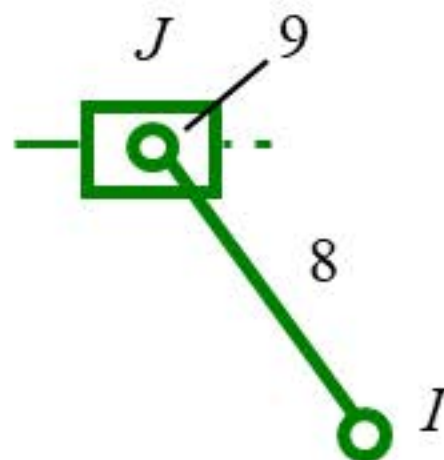
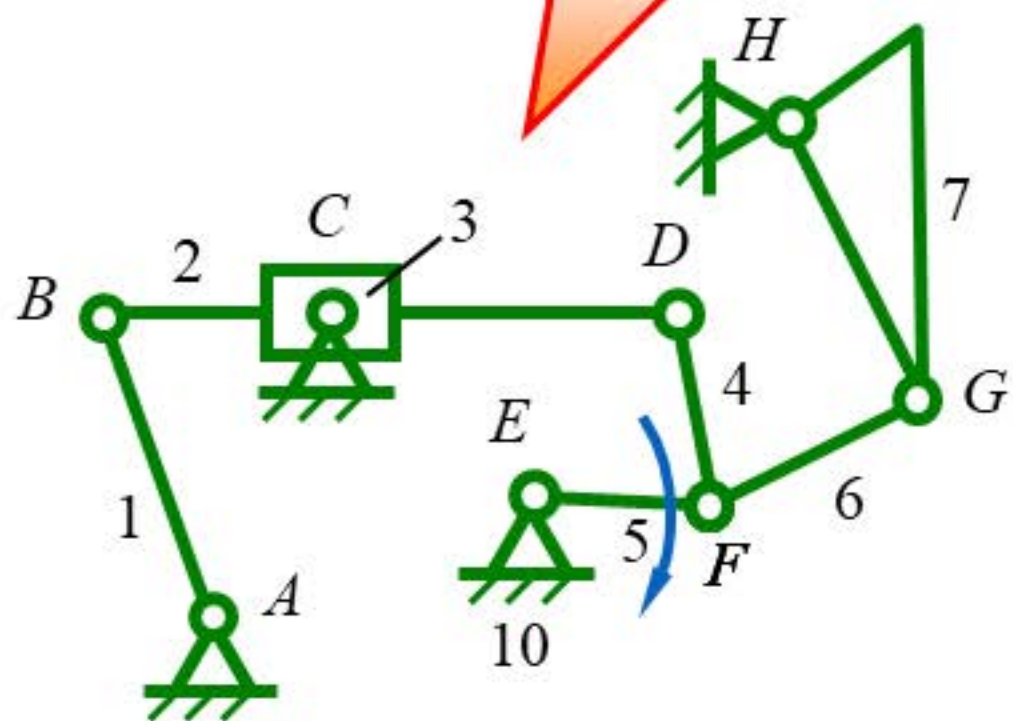


机构结构分析例题

第二次试拆

正确!

继续拆分基本杆组。

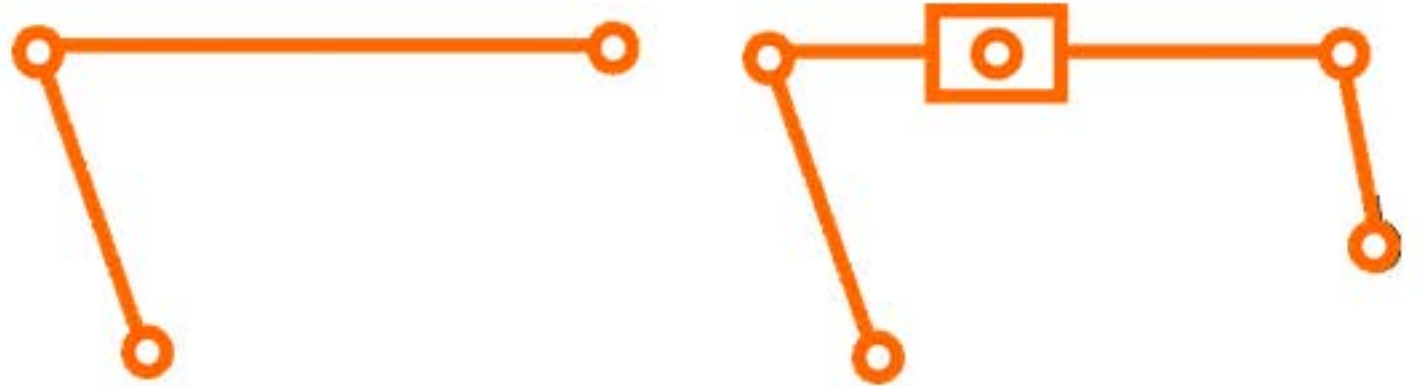
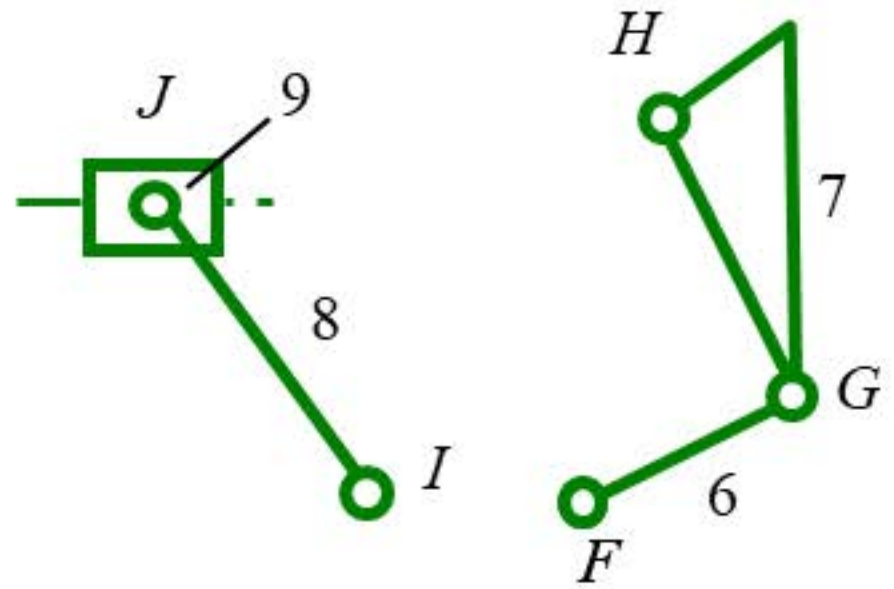
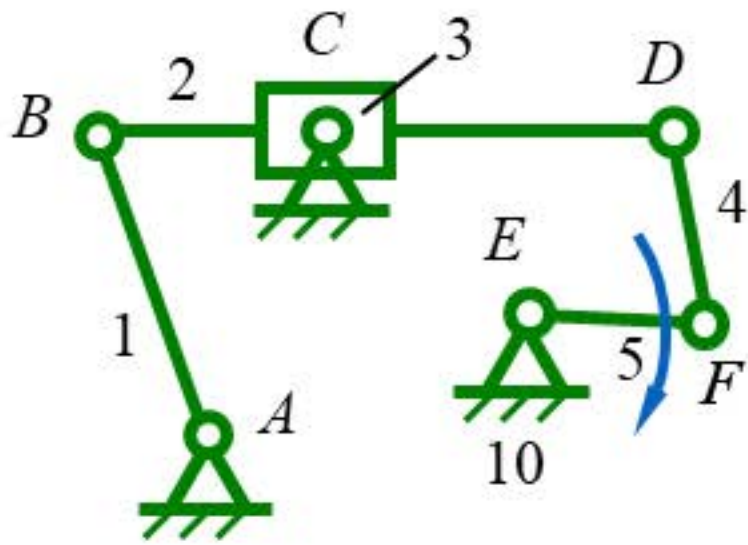


机构结构分析例题

第三次试拆

正确!

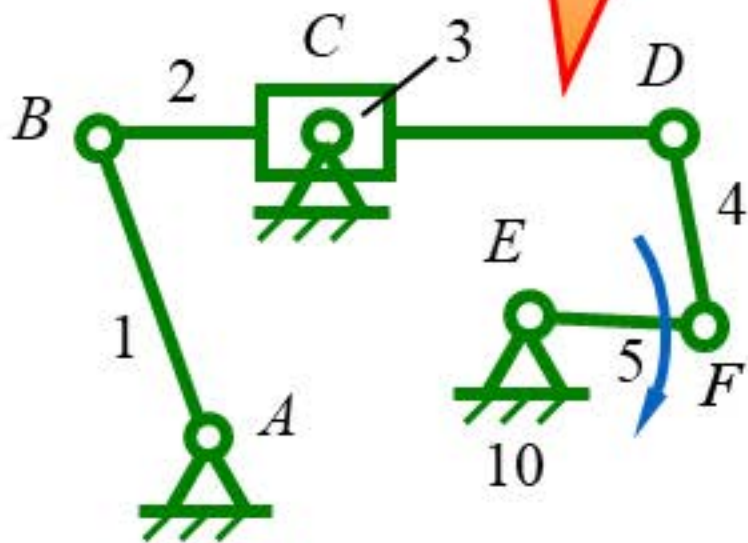
继续拆分基本杆组。



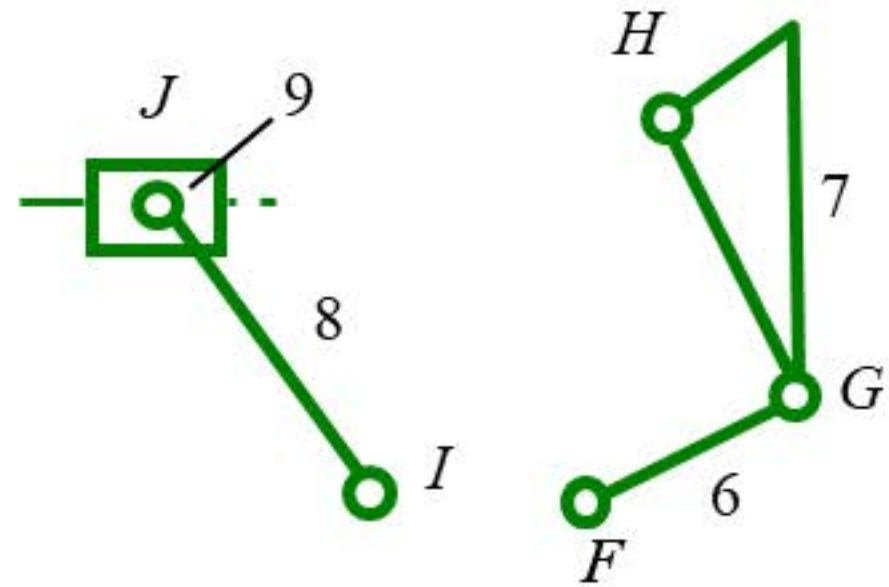
机构结构分析例题

错误!

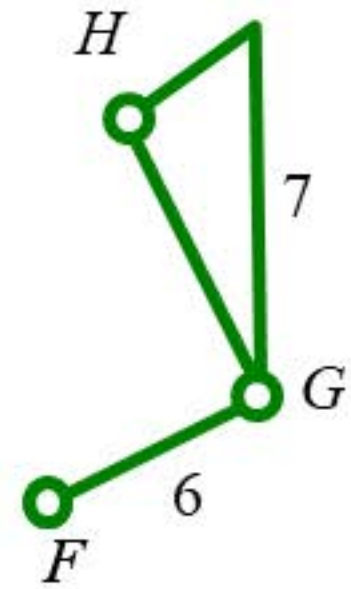
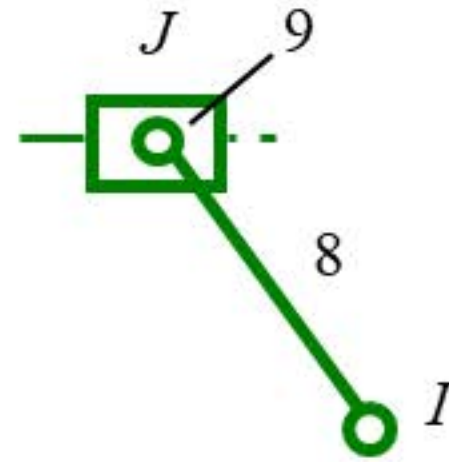
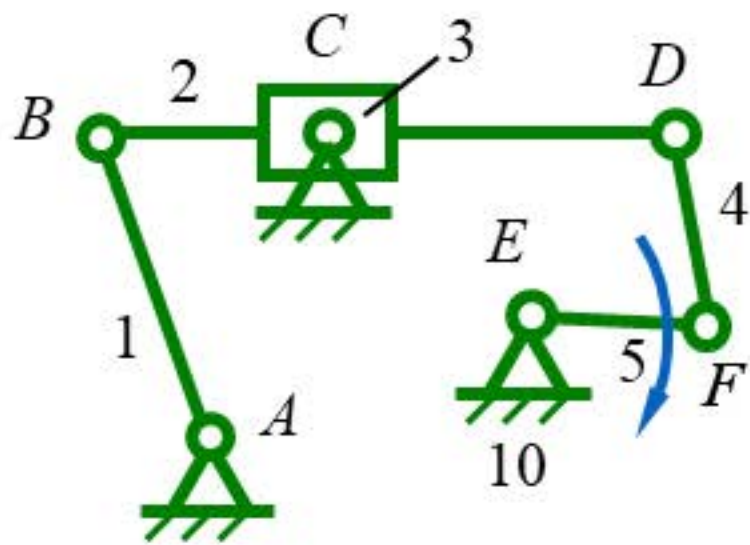
剩余部分不是完整机构，存在运动不确定构件。



第三次试拆



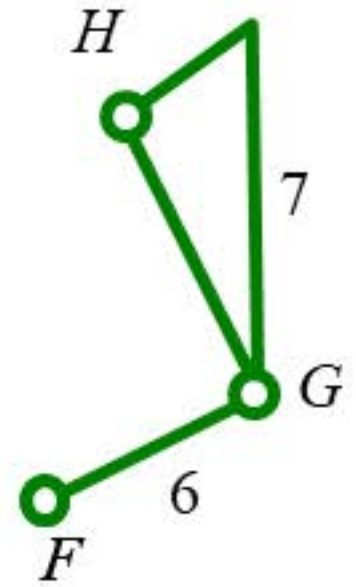
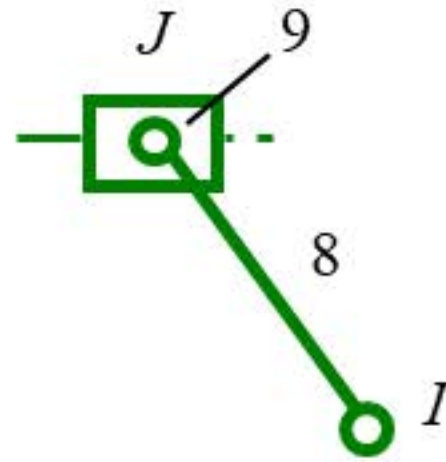
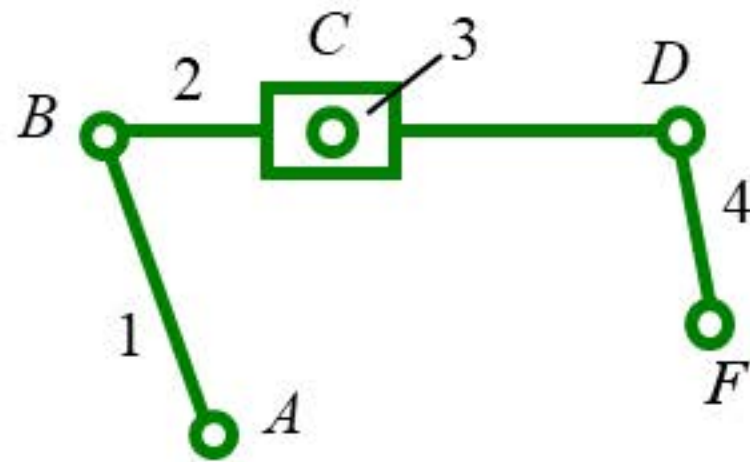
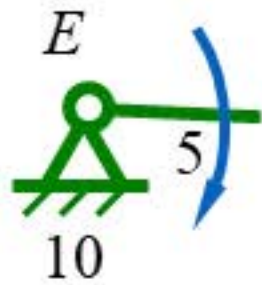
机构结构分析例题



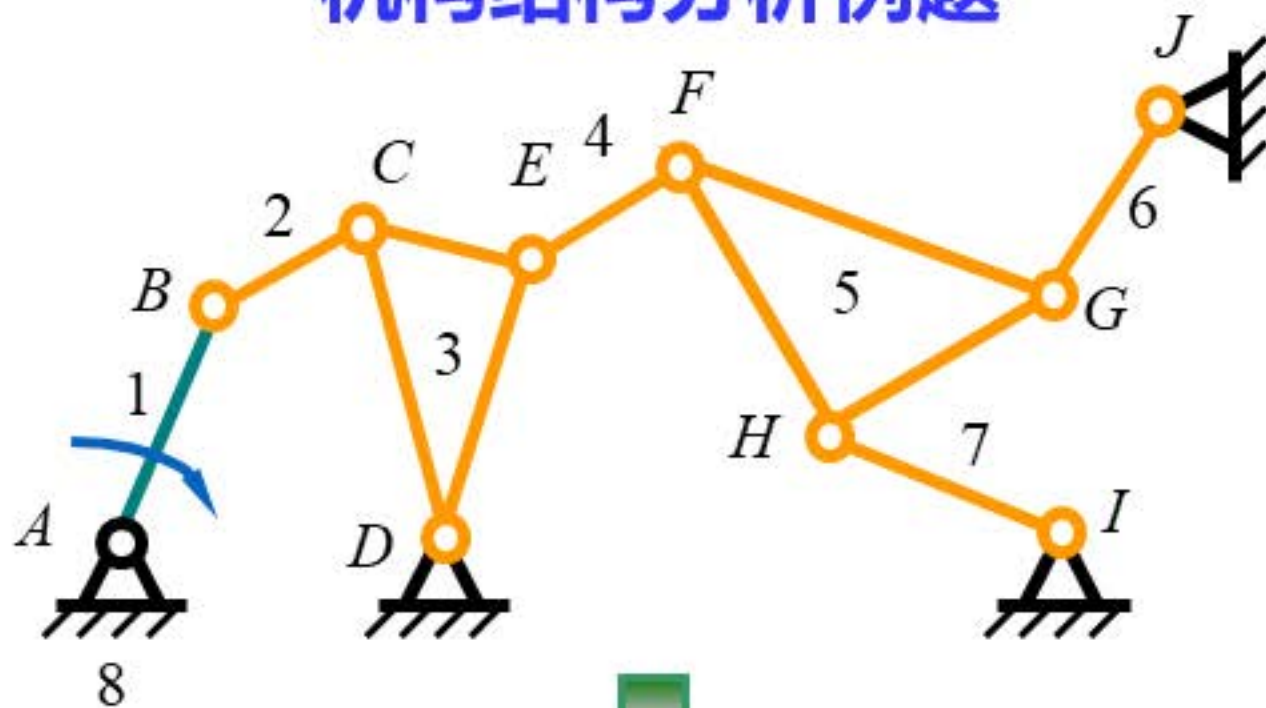
机构结构分析例题

拆杆组完成!

III级机构



机构结构分析例题



III级组



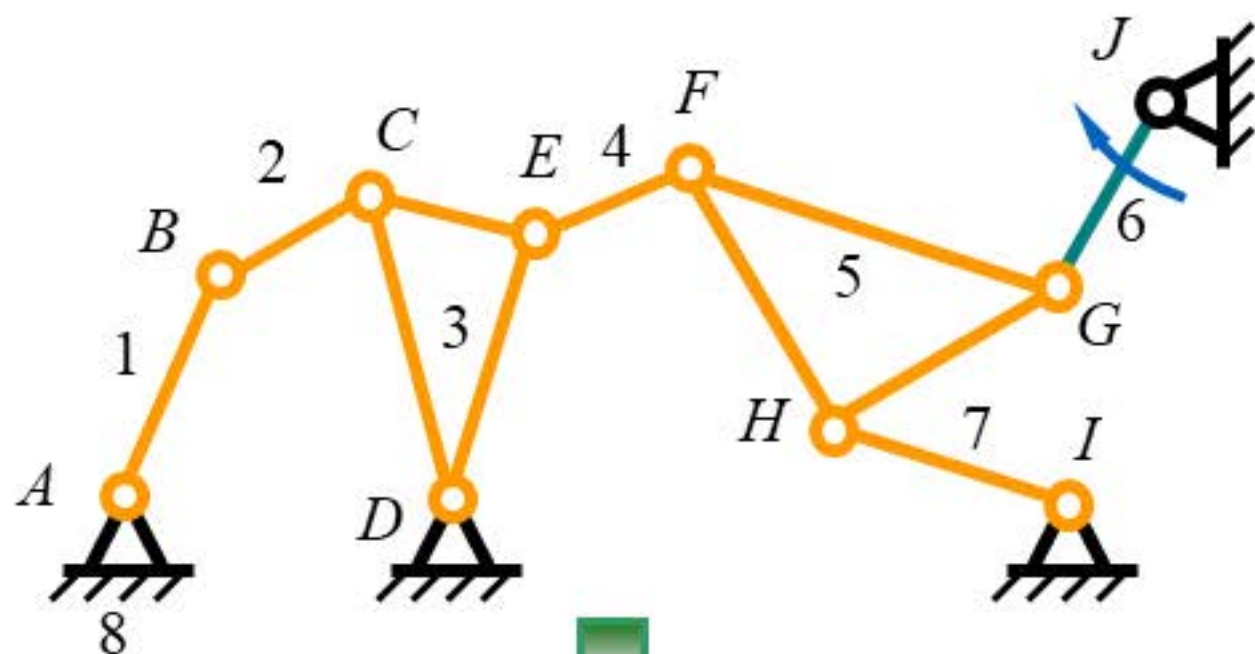
II级组

驱动杆组

+

+

机构级别 III级机构



II级组

II级组

II级组

驱动杆组

+

+

+

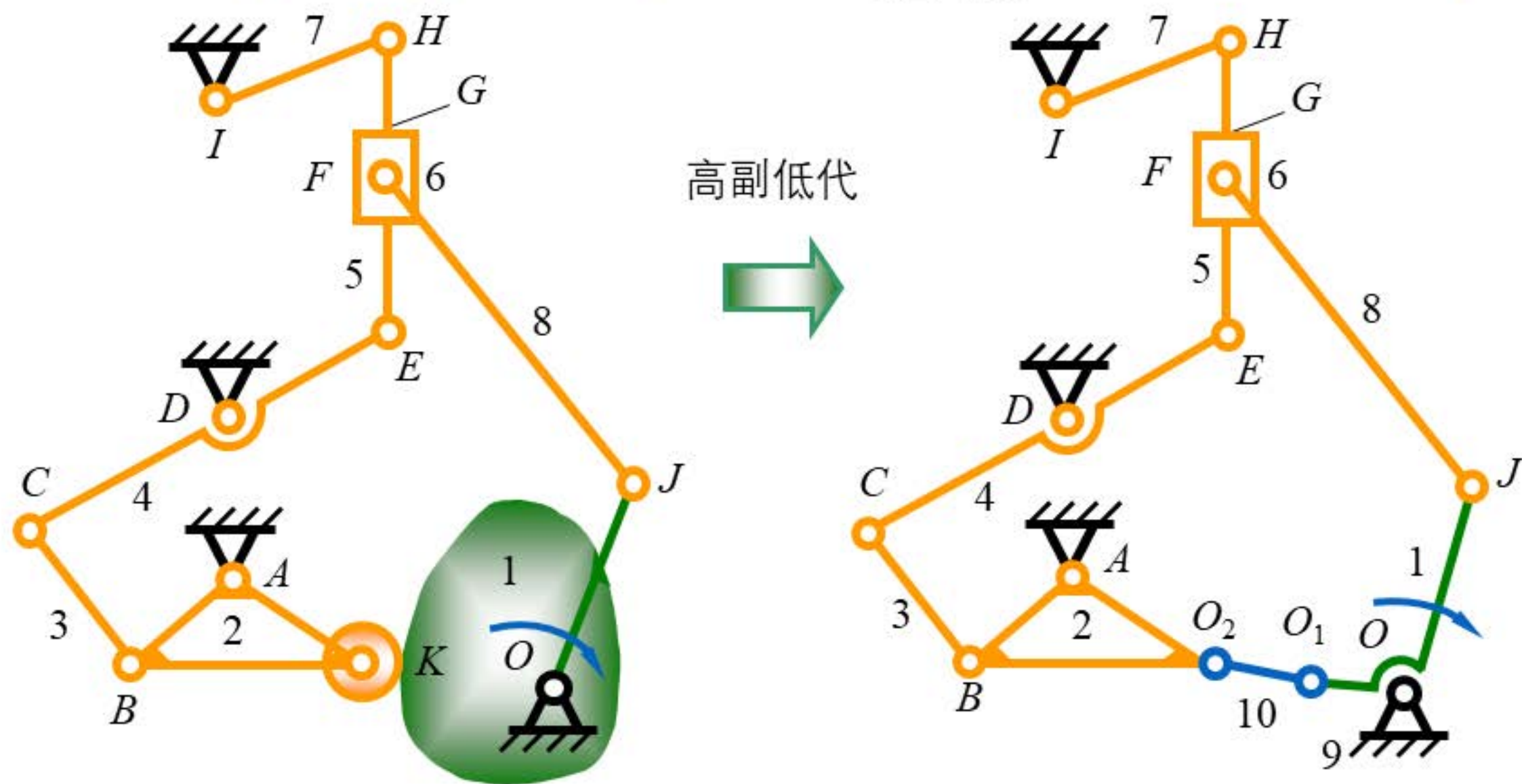
机构级别 II级机构

注意 机构的级别与原动件的选择有关。

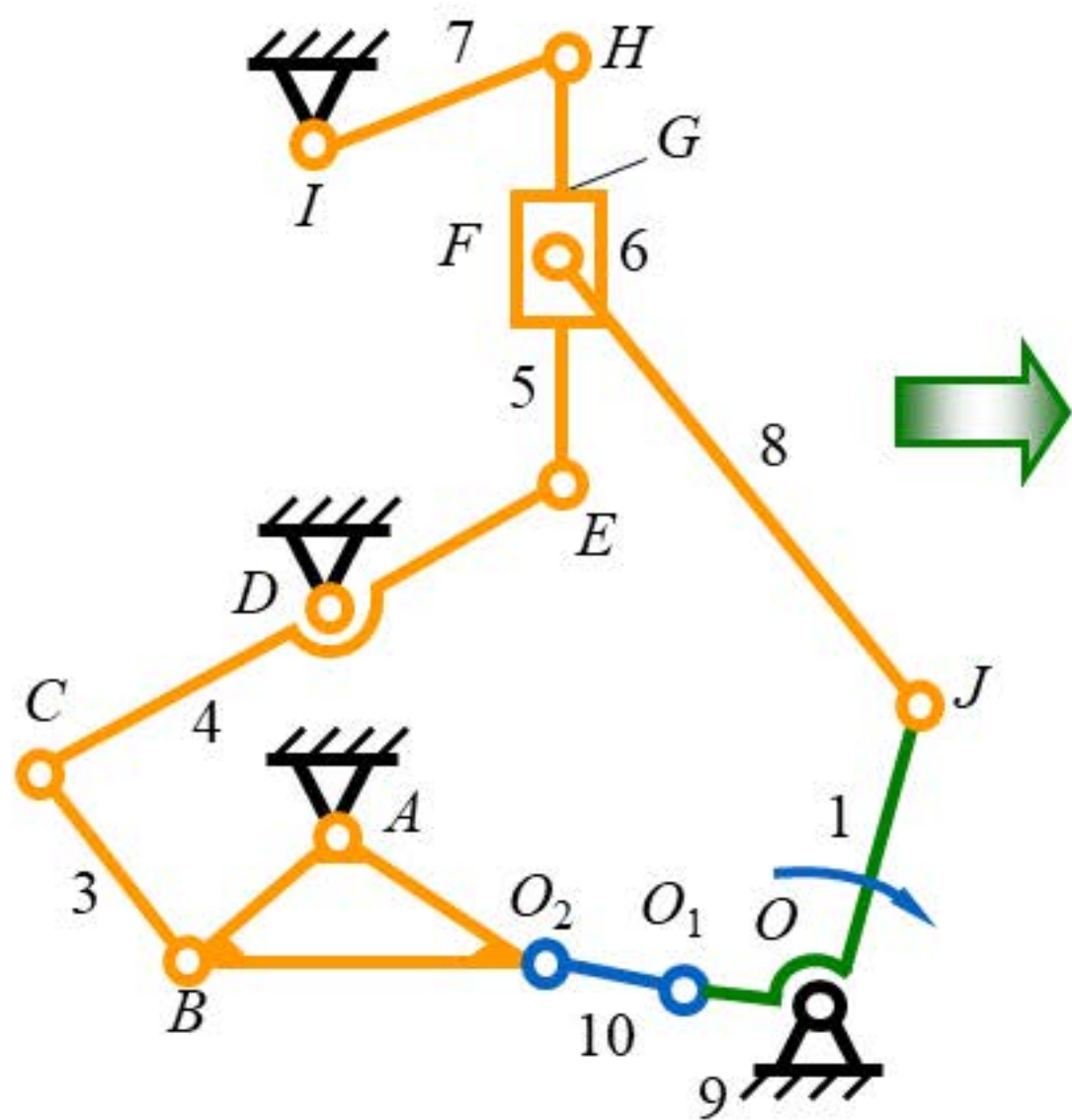
例4 对图示电锯机构进行结构分析。

解 机构无复合铰链和虚约束，局部自由度为滚子绕自身轴线的转动。

$$n=8, p_L=11, p_H=1, F=3n-2p_L-p_H=3\times 8-2\times 11-1\times 1=1。$$



拆分基本杆组



II级机构

基本要求

- 从功能与结构设计的角度认识 and 了解运动副与运动副元素。
- 掌握机构运动简图的绘制方法。能够将实际机构或机构的结构简图绘制成机构运动简图；能看懂各种复杂机构的运动简图；能用机构运动简图表达自己的设计构思。
- 了解运动链和机构的结构以及机构结构设计的理论和方法，掌握运动链成为机构的条件。

基本要求

- 熟练掌握机构自由度的计算方法，从结构和功能设计的角度了解局部自由度及虚约束，能准确识别出机构中存在的复合铰链、局部自由度和虚约束，并作出正确处理。
- 掌握机构的组成原理和结构分析方法。了解高副低代的方法；会判断杆组、杆组的级别和机构的级别；学会将II级、III级机构分解为机架、原动件和若干基本杆组的方法。

第一章习题

1.27、1.28、1.29a)、c)、d)、f)、h)、j)、1.30、1.31

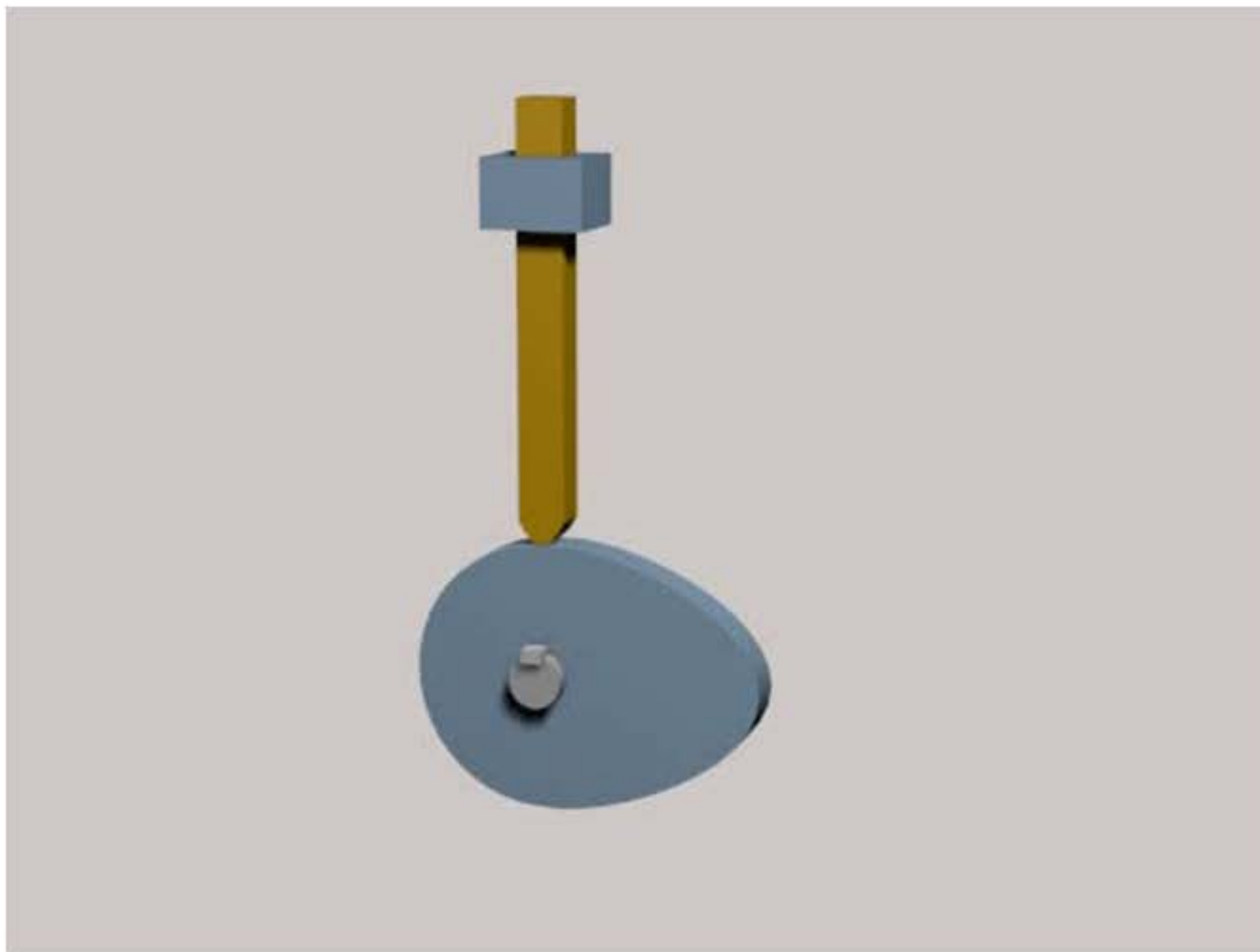
构件



滚动副



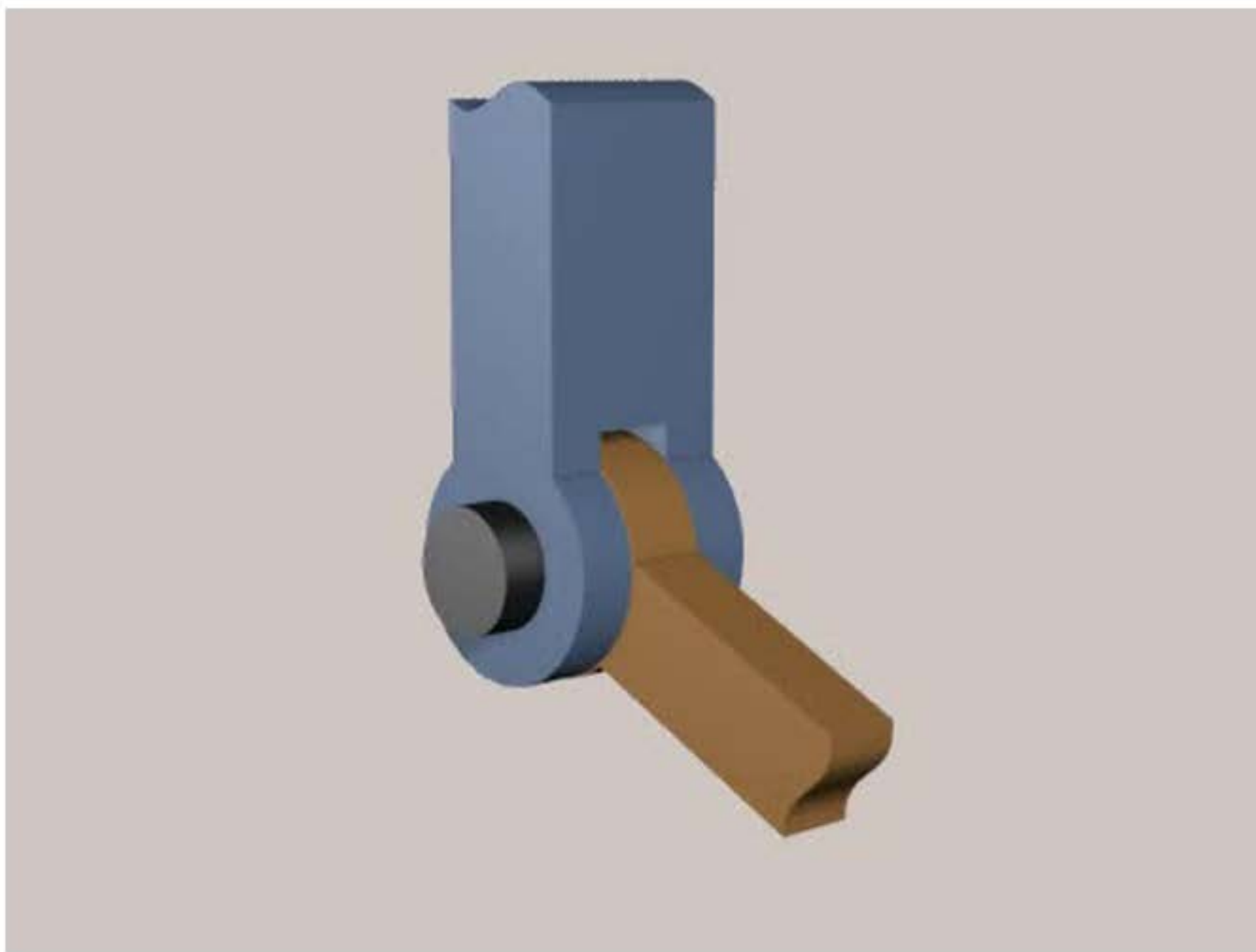
凸轮副



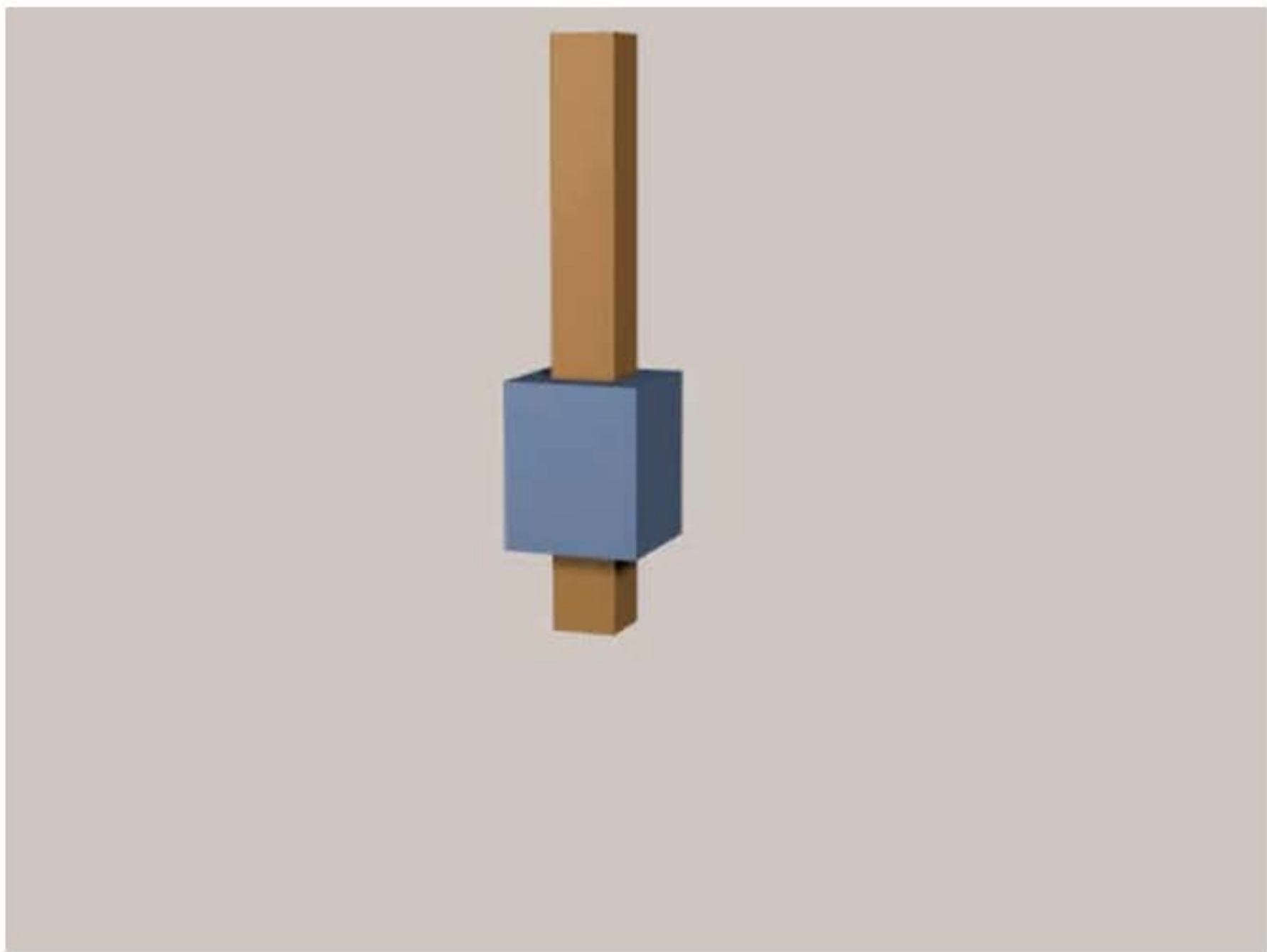
齿轮副



转动副



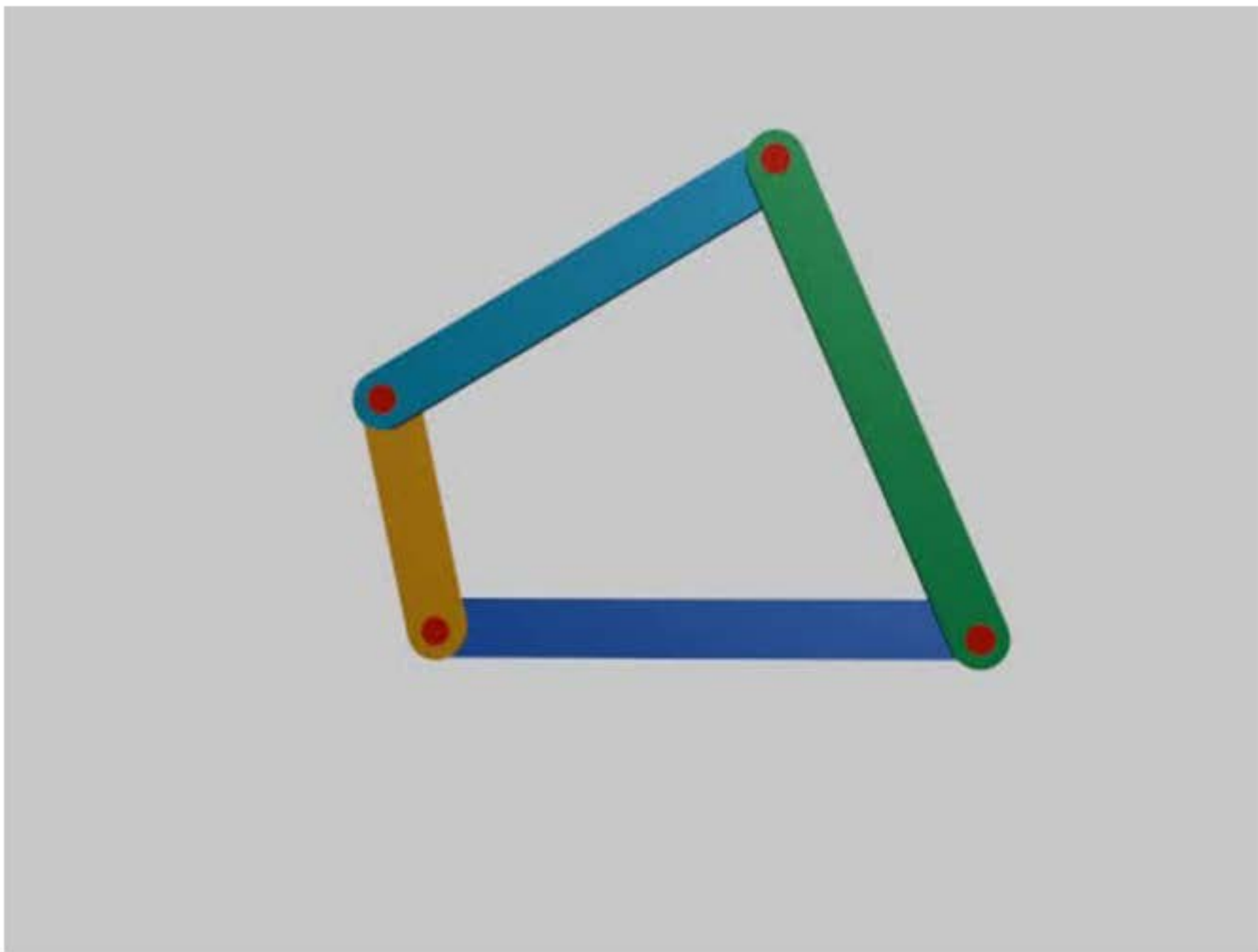
移动副



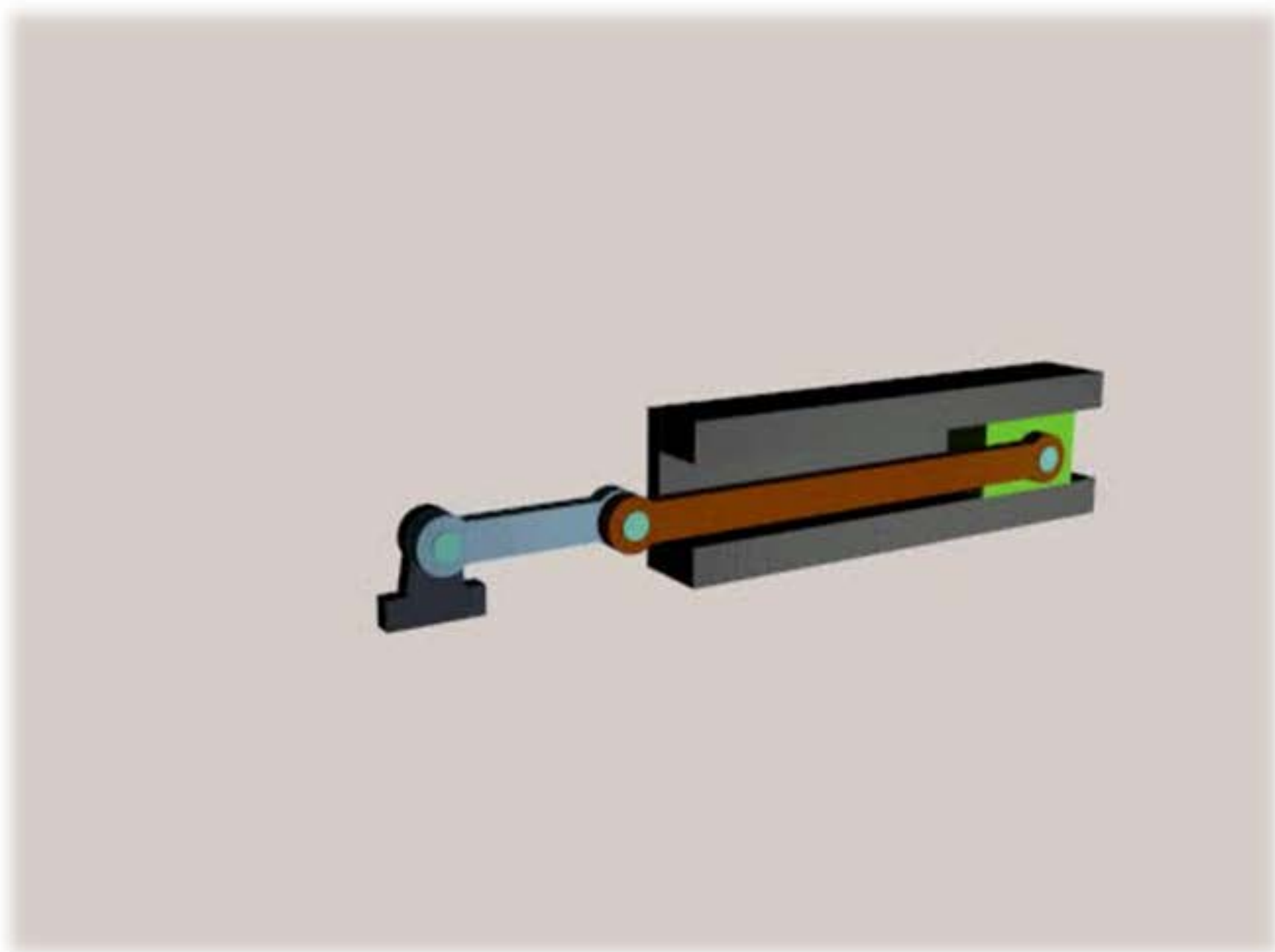
开式运动链



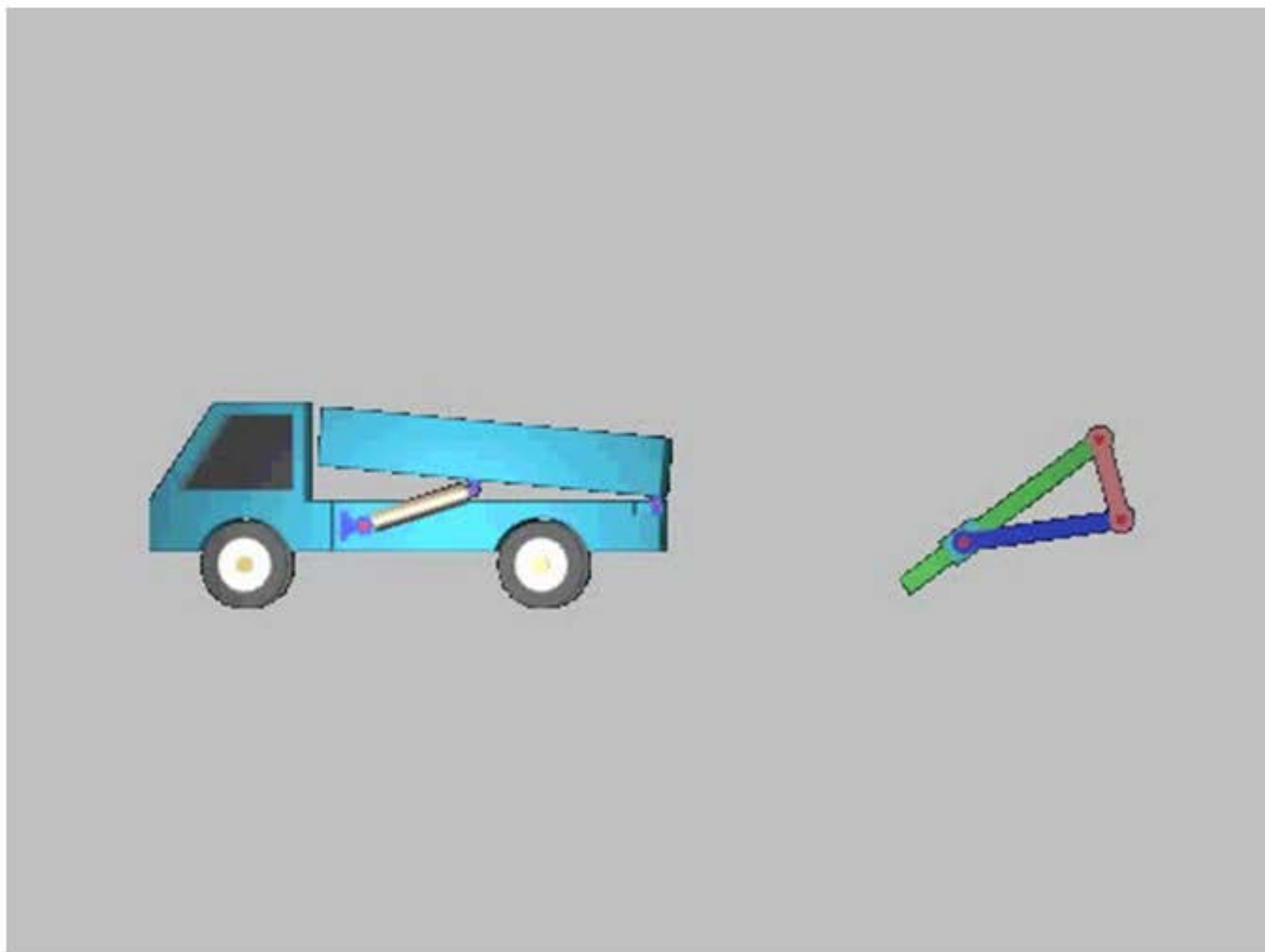
机构



曲柄滑块机构



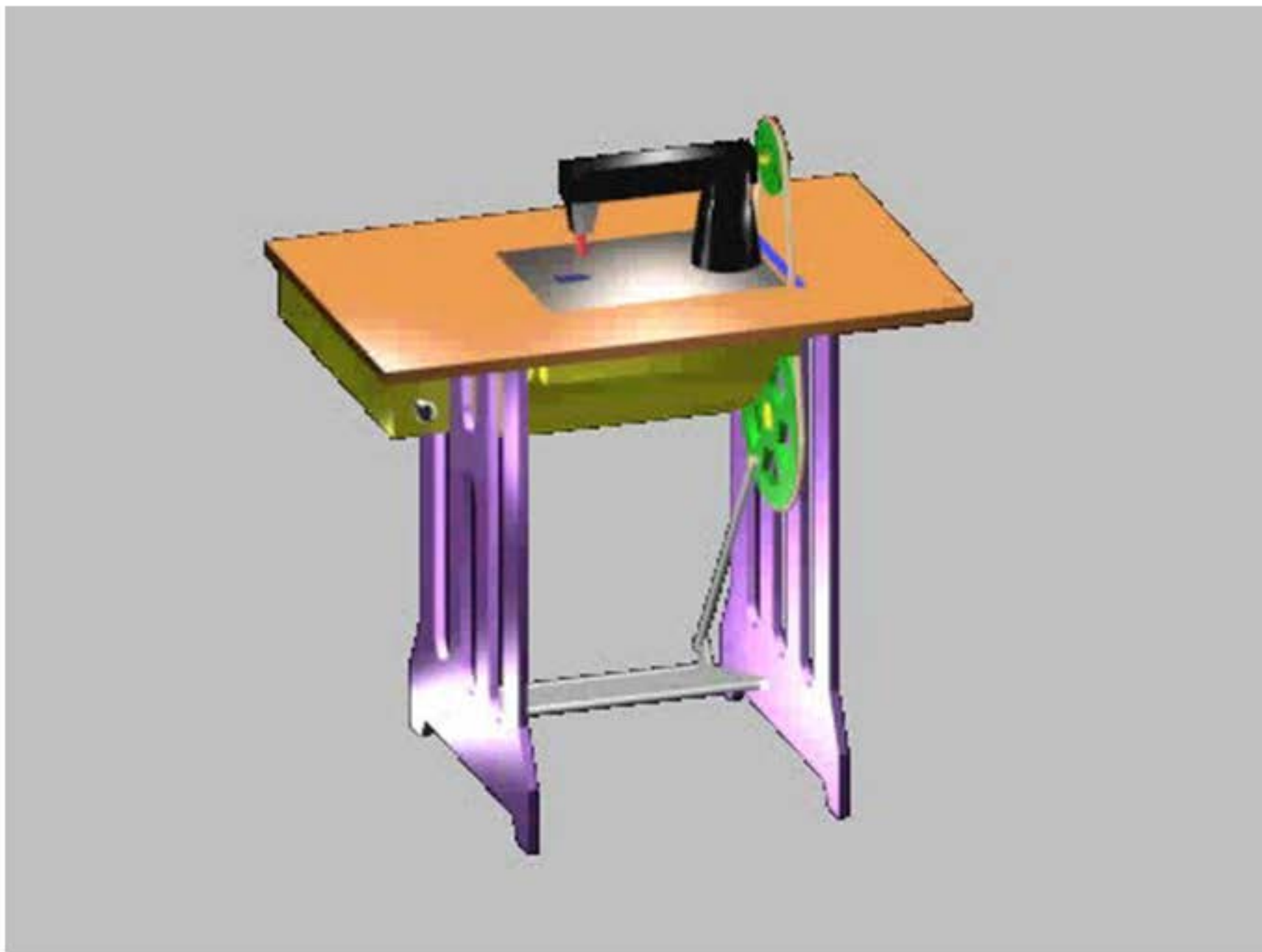
摇块机构



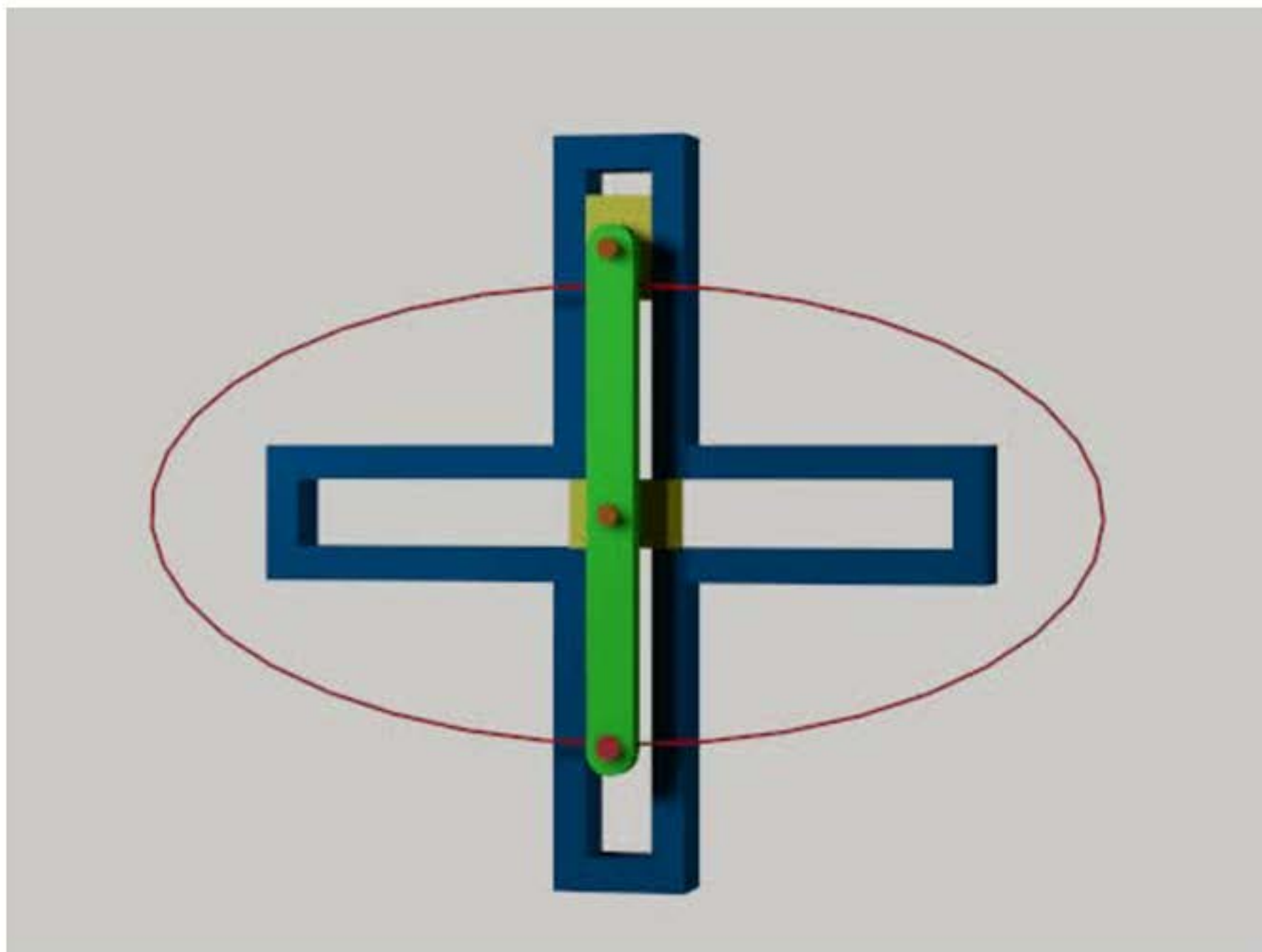
导杆机构



缝纫机脚踏板



椭圆仪



行星轮系

