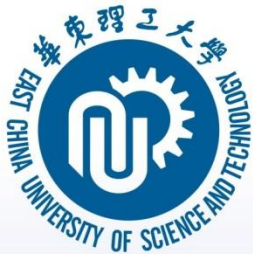




第2章 平面机构的结构分析

本章学习内容:

1. 平面机构运动副的分类及其表示方法
2. 平面机构运动简图绘制
3. 平面机构具有确定运动的条件



第1节 平面机构的运动副及其分类

平面机构：所有构件都在同一平面或相互平行的平面中运动，称为**平面机构**。否则称为**空间机构**。

平面机构的运动简图：用规定的**符号**和**线条**按一定的比例表示**构件**和**运动副**的相对位置，并能完全反映机构特征的简图，称**平面机构的运动简图**。

- 运动副的分类及其表示方法
- 构件的分类及其表示方法
- 常用机构的运动简图

※**机构**是由若干**构件**以**运动副**相联接并具有确定相对运动的组合体。



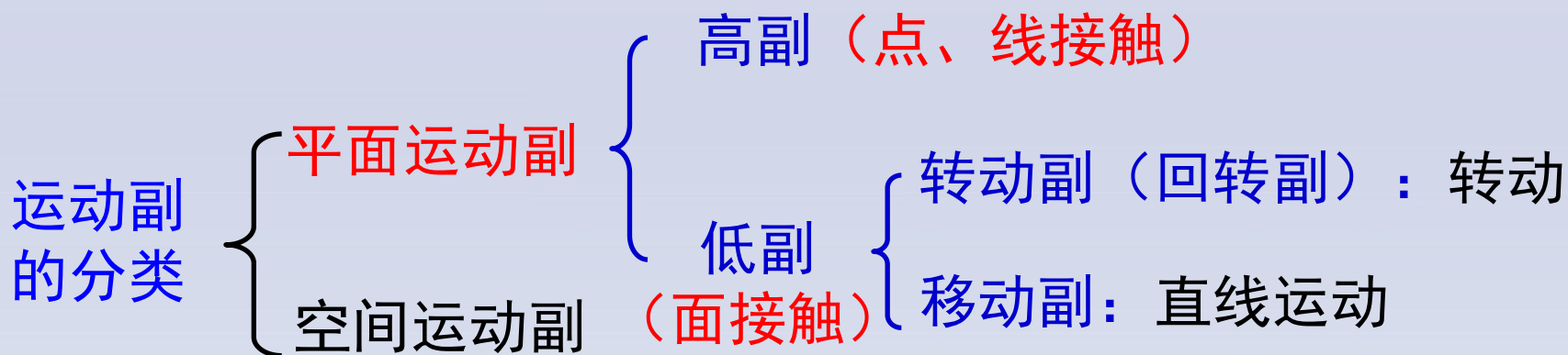
第1节 平面机构的运动副及其分类

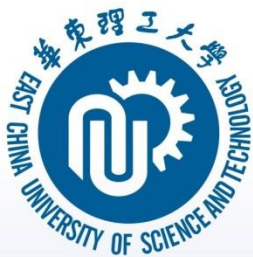
➤ 运动副的分类及表示方法

运动副：两个构件直接接触产生的可动连接，称为运动副。

平面运动副：只允许被连接的两个构件在同一平面或相互平行的平面内作相对运动的运动副。

平面机构中的运动副都是平面运动副。





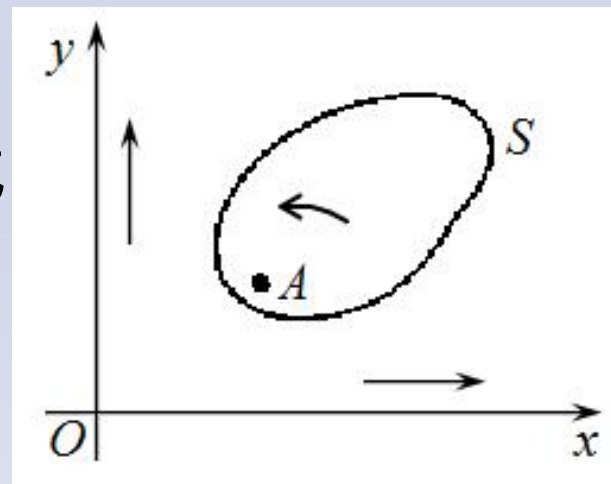
第1节 平面机构的运动副及其分类

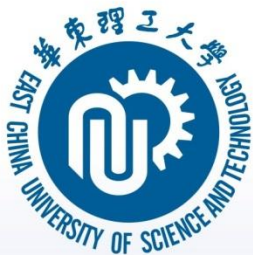
◆ 自由度

一个作平面运动的自由构件有3个独立运动的可能性，即3个自由度，即构件 S 可随其上任一点 A 沿 x 轴、 y 轴方向移动，绕 A 点转动。

当自由构件用运动副连接后，独立运动受到约束，自由度将减少。

两构件可以通过点、线或面接触组成运动副。按照接触特性，平面运动副可以分为低副和高副。





第1节 平面机构的运动副及其分类

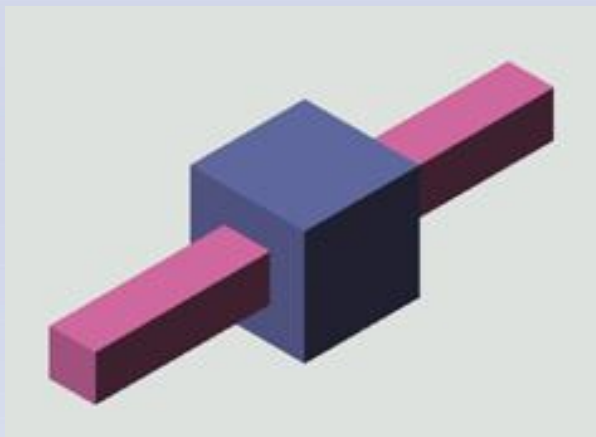
□ 低副

失去两个自由度，只保留一个自由度。

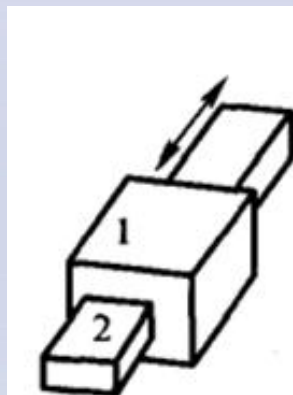
低副：两构件通过**面接触**而构成的运动副。

移动副：组成运动副的两构件只能沿某一直线相对运动。

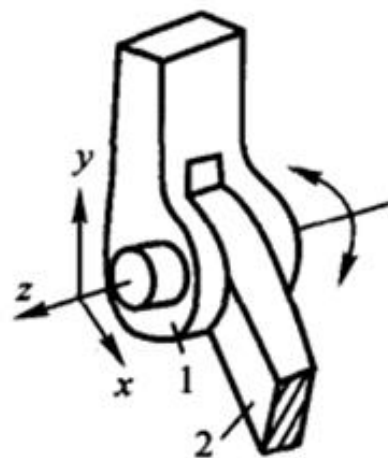
转动副：组成运动副的两构件只能绕同一轴线作相对转动，又称为**回转副**，**铰链**。



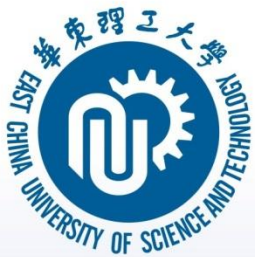
移动副



移动副



转动副

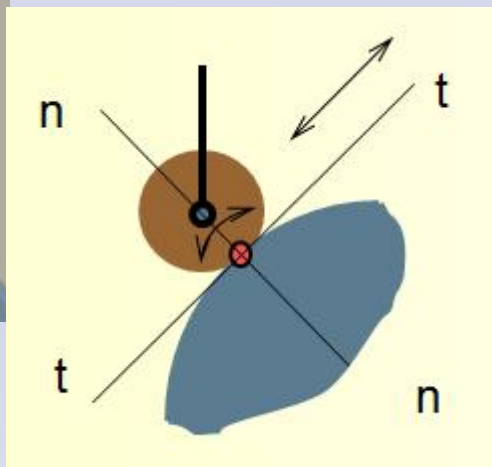
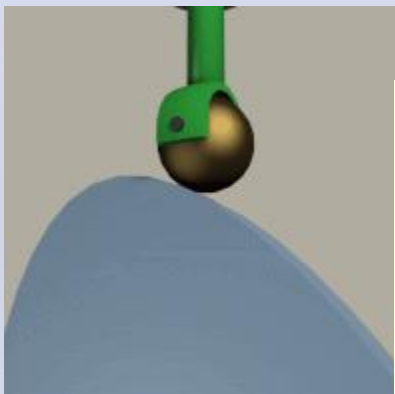


第1节 平面机构的运动副及其分类

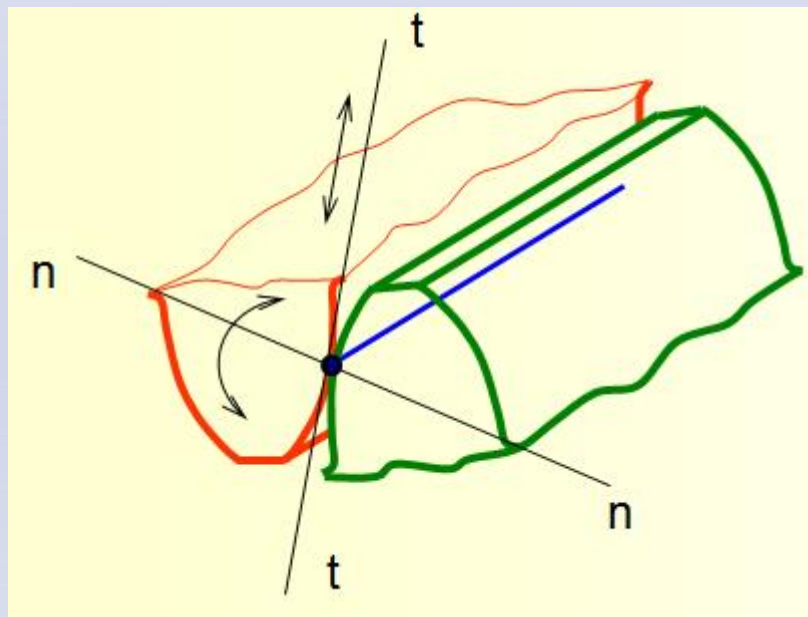
失去一个自由度，保留两个自由度。

□ 高副

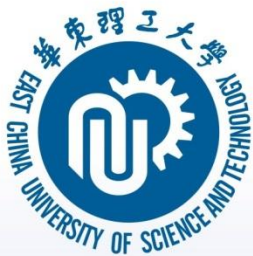
高副：两构件通过**点接触**或**线接触**而构成的运动副。失去了沿接触点公法线 $n-n$ 方向移动的自由度，保留了绕接触点转动和沿接触点公切线 $t-t$ 方向移动两个自由度。



凸轮与杆件**点接触**



齿轮1与齿轮2**线接触**



第1节 平面机构的运动副及其分类

二、构件的分类及其表示方法

构件按其运动性质可以分为：

固定件（机架）：支承活动构件的构件，用作参考坐标系。

用斜线表示

原动件：运动规律已知的活动构件，其运动规律由外界给定，在一个机构中必须有一个或几个原动件。

用箭头表示

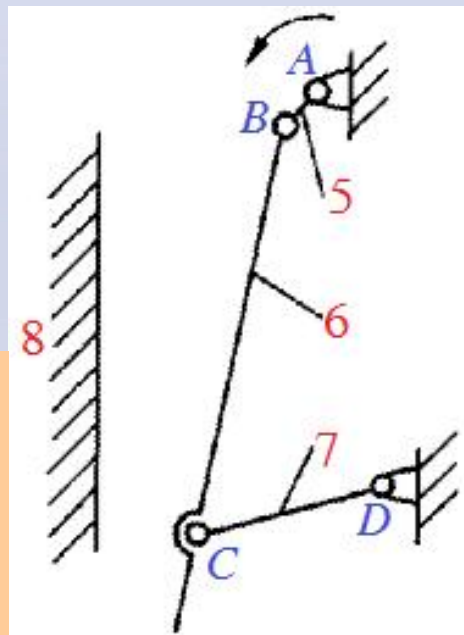
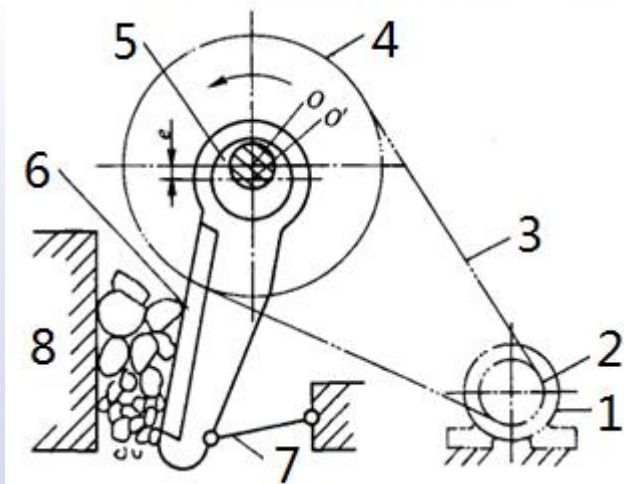
从动件：随着原动件的运动而运动的其余构件。

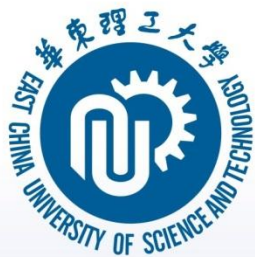
分析机构的运动，必须确定机架，原动件，从动件。

固定件：定颚8

原动件：偏心轴5

从动件：动颚6，肘板7

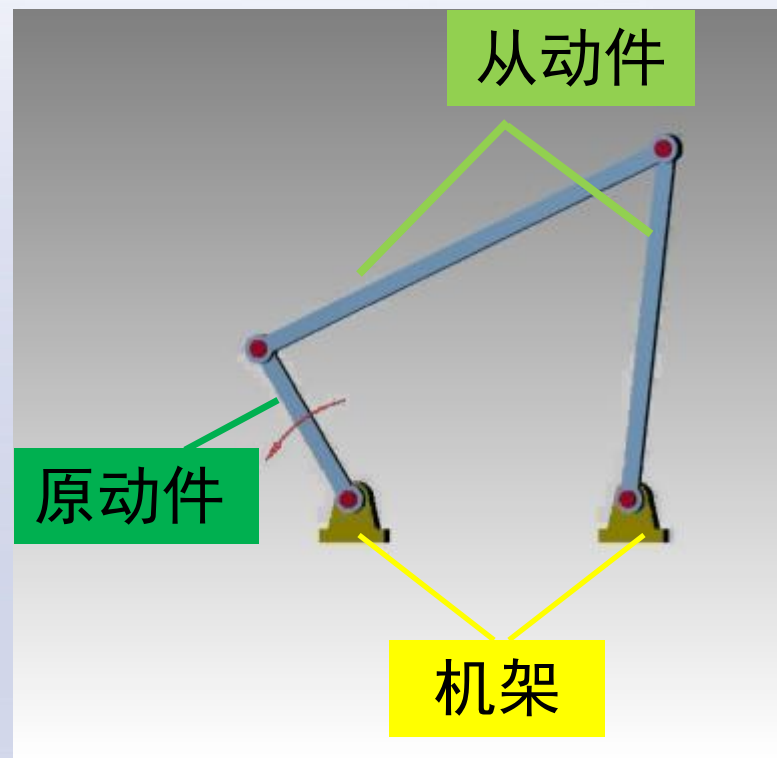
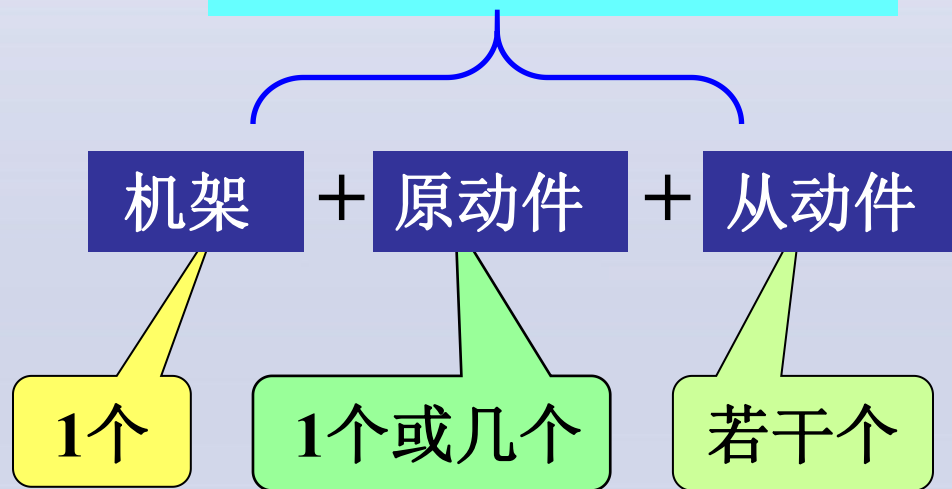




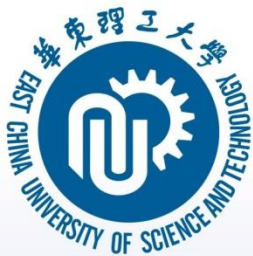
第1节 平面机构的运动副及其分类

二、构件的分类及其表示方法

机构的组成：
机构 = 构件 + 运动副



说明：任何一个机构中，必有一个构件相对地看作机架，即在任何一个机构中 **有且只有一个固定件**。

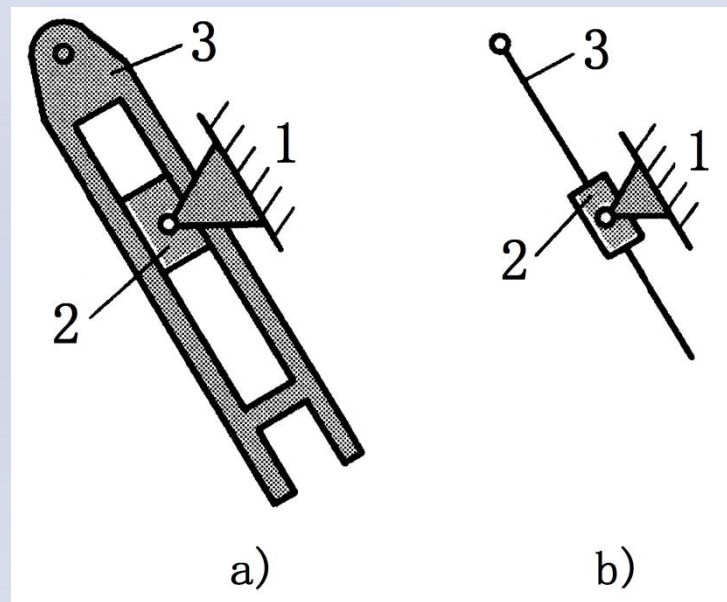


第1节 平面机构的运动副及其分类

二、构件的分类及其表示方法

绘制机构运动简图，**构件的表达原则**：撇开与运动无关的构件外形和结构，仅把与运动有关的尺寸用**简单的线条**表示。

例如：构件3与滑块2组成移动副，构件3的外形和结构与运动无关，因此用简单线条来表示。

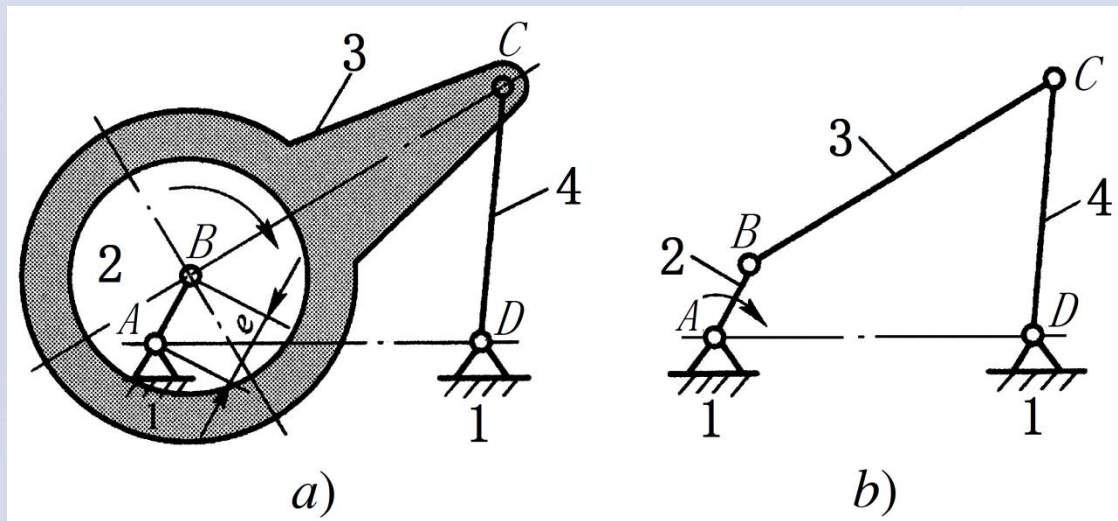




第1节 平面机构的运动副及其分类

二、构件的分类及其表示方法

例如：偏心轮机构中的偏心轮2与连杆3，它们的外形和结构与运动无关，与机构运动有关的只是A与B及B与C之间的距离，因此构件2、3用简单线条来表示。

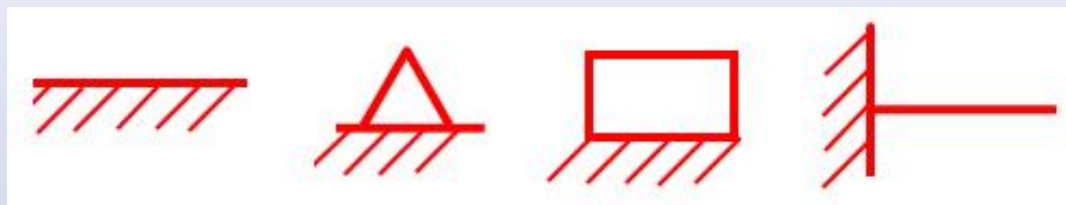


构件均用**线段**或**小方块**表示（忽略其外形），斜线表示机架。

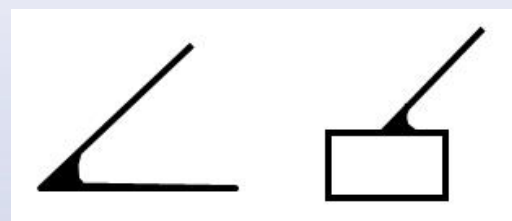


第1节 平面机构的运动副及其分类

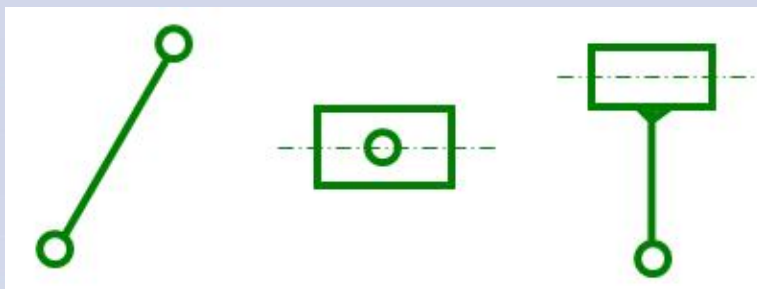
➤ 常用构件的图形符号



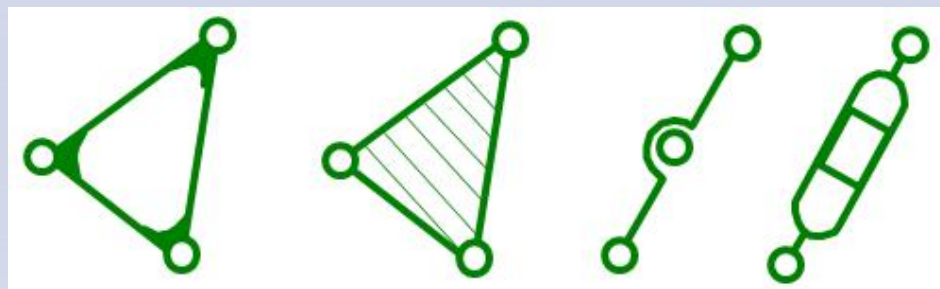
机架（固定构件）



同一构件



两副构件



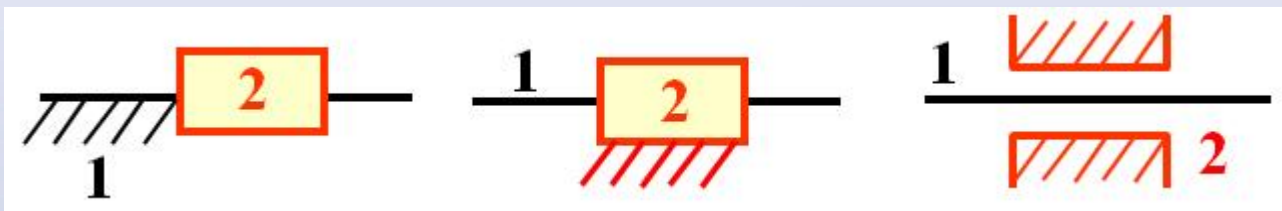
三副构件



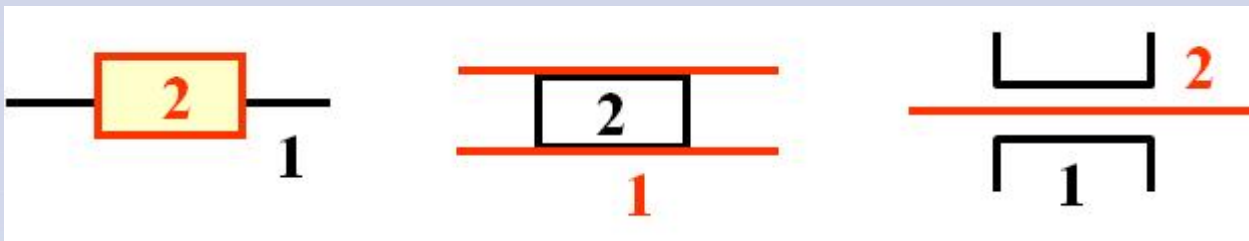
第1节 平面机构的运动副及其分类

➤ 平面运动副的图形符号

※ 滑块代表移动副，其导路方向必须与相对运动方向一致。



移动副 (一个活动构件)

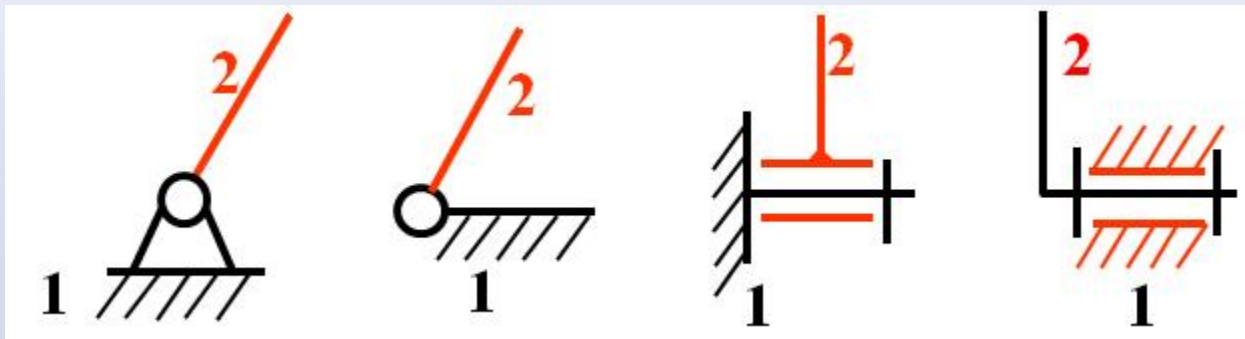


移动副 (两个活动构件)

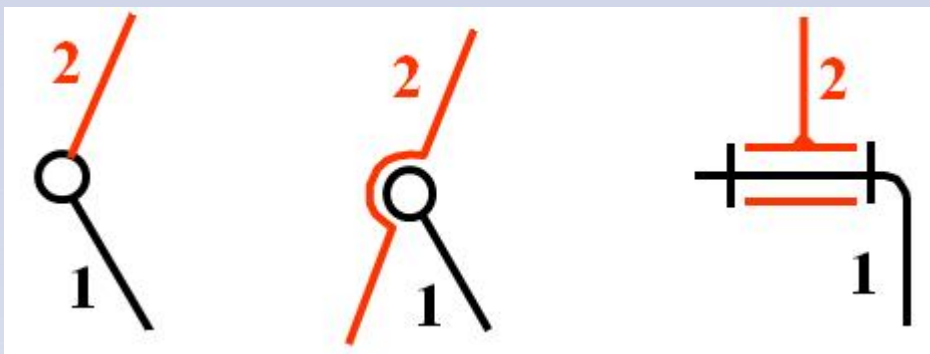


第1节 平面机构的运动副及其分类

➤ 平面运动副的图形符号



转动副（一个活动构件）



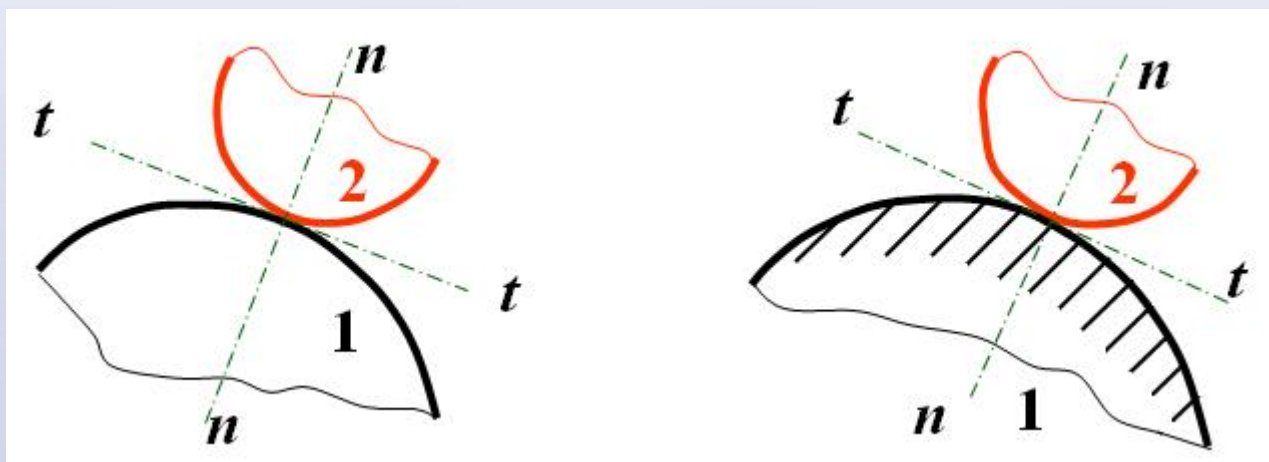
转动副（两个活动构件）

※ 小圆代表回转副，其圆心必须与相对运动回转中心重合。



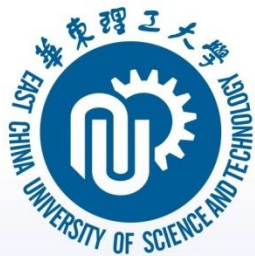
第1节 平面机构的运动副及其分类

➤ 平面运动副的图形符号



平面高副（两个活动构件）

平面高副（一个活动构件）



第2节 平面机构运动简图绘制

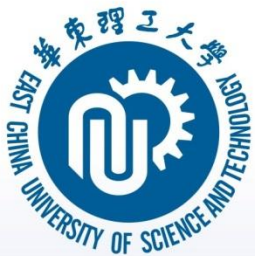
平面机构的运动简图：用规定的**符号**和**线条**按一定的比例表示**构件**和**运动副**的相对位置，并能完全反映机构特征的简图，称**平面机构的运动简图**。

运动简图的作用：表达机构的运动特性，对机构进行运动和动力分析。

长度比例尺，用 μ_l 表示，约定：

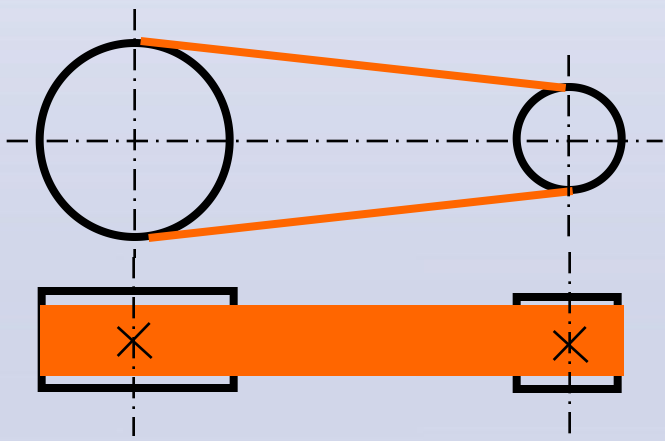
$$\mu_l = \frac{\text{实际长度}}{\text{图示长度}} \quad (\text{计算单位常用 } m / mm \text{ 或 } mm / mm)$$

因此， $\text{图示长度} = \text{实际长度} / \mu_l$

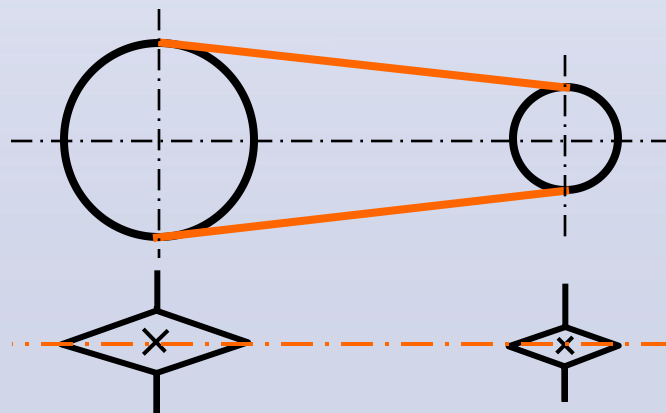


第2节 平面机构运动简图绘制

➤ 常用机构的运动简图



带传动

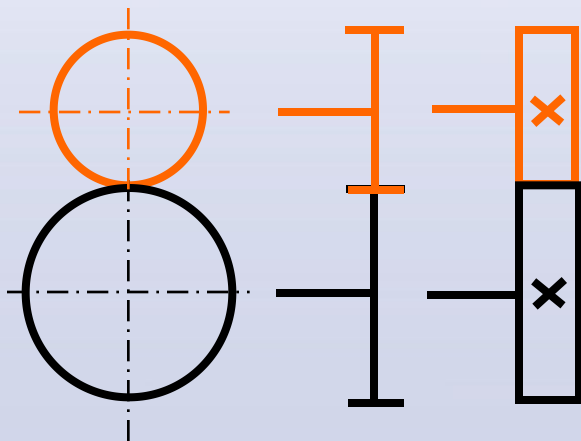


链传动

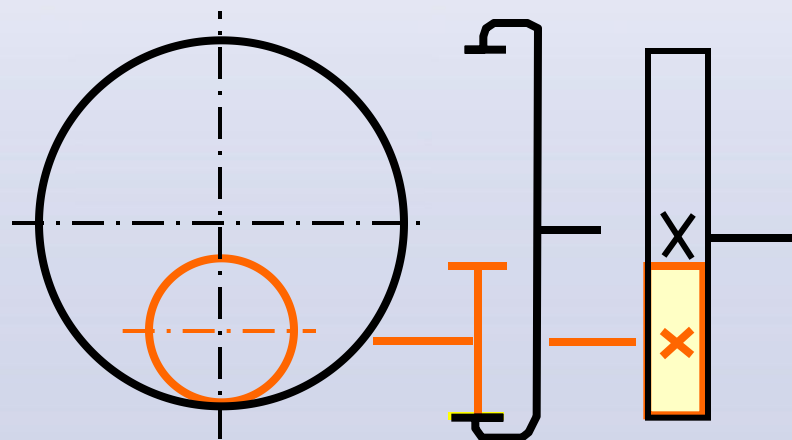


第2节 平面机构运动简图绘制

➤ 常用机构的运动简图



外啮合圆柱
齿轮传动

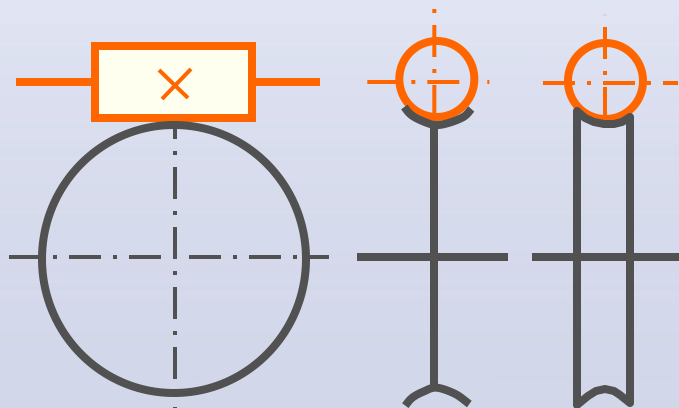


内啮合圆柱
齿轮传动

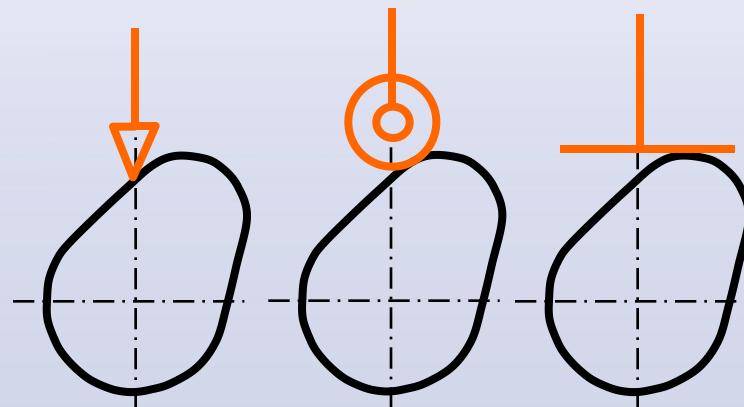


第2节 平面机构运动简图绘制

➤ 常用机构的运动简图



圆柱蜗杆蜗轮传动



凸轮传动

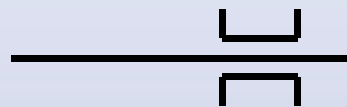


第2节 平面机构运动简图绘制

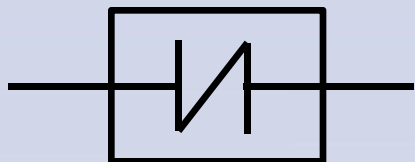
► 常用机构的运动简图——联轴器，轴承



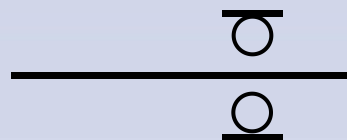
联轴器



向心普通轴承



弹性联轴器



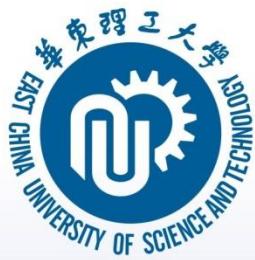
向心滚子轴承



第2节 平面机构运动简图绘制

◆ 平面机构运动简图的绘制——步骤

1. 分析机构的运动，判别**构件**的类型及数目（固定件，原动件，从动件）。
2. 分析各构件间**运动副**的类型和数目。
3. **选择视图平面**，为了能清楚地表明各构件间的相对运动关系，通常选择平行于构件运动的平面作为视图平面。
4. **确定比例尺**。
5. 用规定的构件和运动副图形符号绘制机构运动简图（**从原动件开始画**）



第2节 平面机构运动简图绘制

【例2-1】绘制如图所示抽水唧筒的机构运动简图。

【解】1. 分析机构的运动

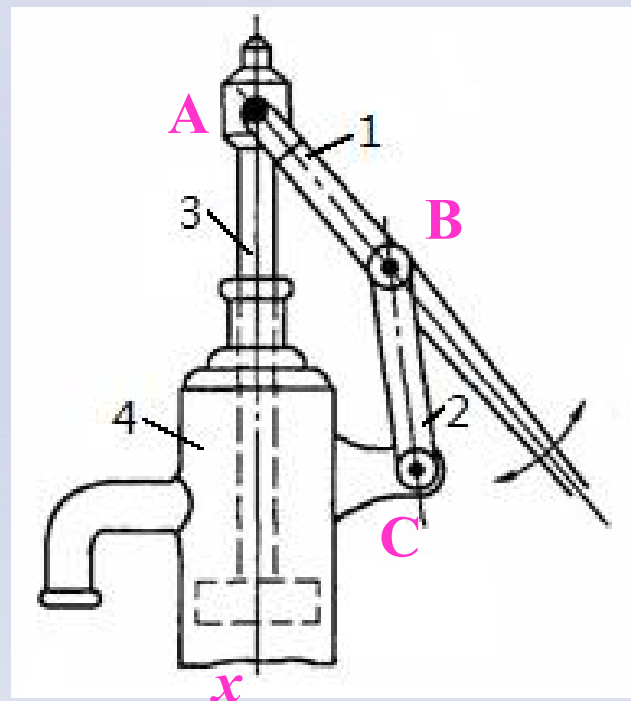
抽水唧筒由手柄1、杆件2、活塞及活塞杆3和抽水筒4等构件组成，抽水筒4是固定件，手柄1是原动件，其余构件是从动件。

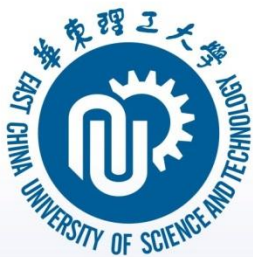
2. 分析各构件间运动副的类型和数目

手柄1和活塞杆3、杆件2分别在A点和B点形成转动副。杆件2和抽水筒4在C点也为转动副连接。活塞杆3上的活塞与抽水筒4之间则以移动副 A_x 连接。

3. 选择视图平面

4. 确定比例尺

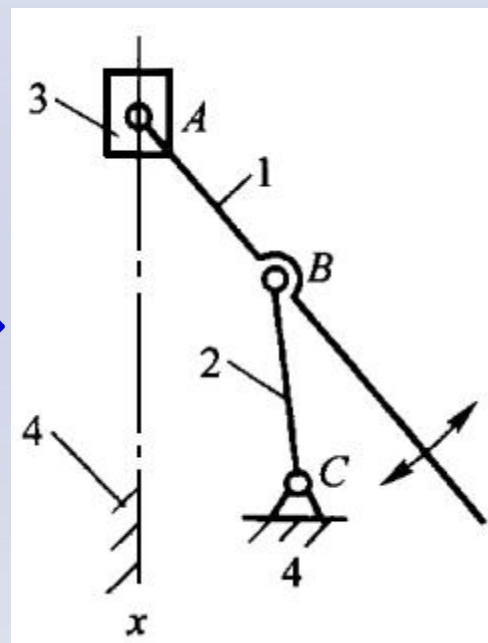
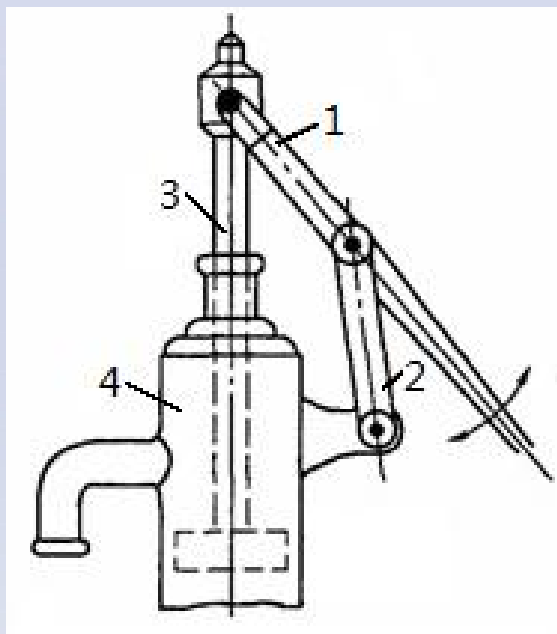


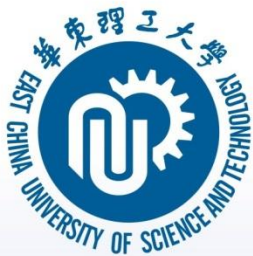


第2节 平面机构运动简图绘制

【解】 5. 用规定的构件和运动副图形符号绘制机构运动简图

- 1) 画出**固定件抽水筒4**和**原动件手柄1**的转动副中心 A 及活塞杆3的移动导路直线 Ax ;
- 2) 按比例画出手柄1和杆件2的转动副中心 B 及杆件2和固定件抽水筒4的转动副中心 C ;
- 3) 用构件和运动副的图形符号把各点联接起来, 并在原动件上用箭头标明运动方向。





第3节 平面机构具有确定运动的条件

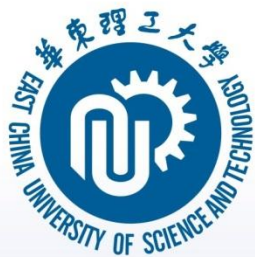
构件系统：两个以上的构件，用平面运动副连接起来组成**构件系统**（又称**运动链**）。

机构：将构件系统中一个构件固定为机架，当另一构件（或少数几个构件）按给定的运动规律（即为原动件）相对于机架运动时，其余构件都随之作确定的运动，这时构件系统则成为**机构**。

为了保证所设计机械具有确定的相对运动，必须使其符合机构具有确定运动的条件。

“什么条件？”

机构具有确定的运动与机构的自由度有关。



第3节 平面机构具有确定运动的条件

一、平面机构的自由度

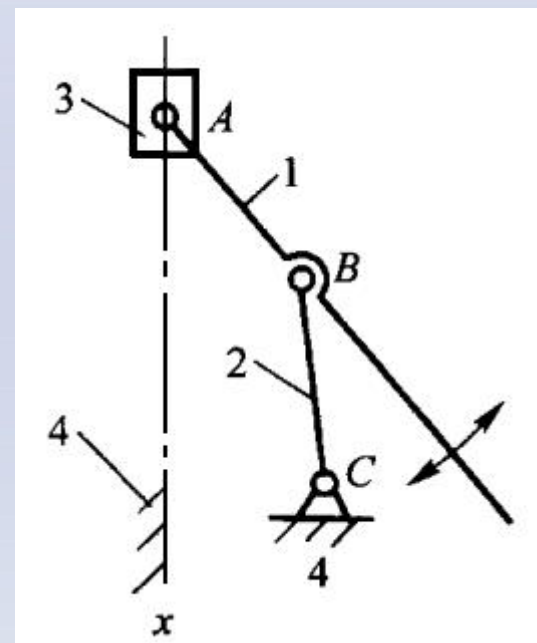
设平面机构中构件总数为 N ，活动构件数为 n ($n=N-1$)，低副和高副数分别为 P_L 、 P_H 。全部获得构件具有 $3n$ 个自由度，用运动副连接后约束掉 $2P_L+P_H$ 个自由度，则机构所具有的自由度为：

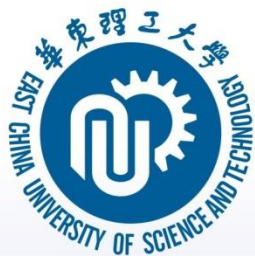
$$F = 3n - 2P_L - P_H$$

如图所示平面机构， $n=3$ ， $P_L=4$ ， $P_H=0$ ，则

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

即该机构的自由度为1。



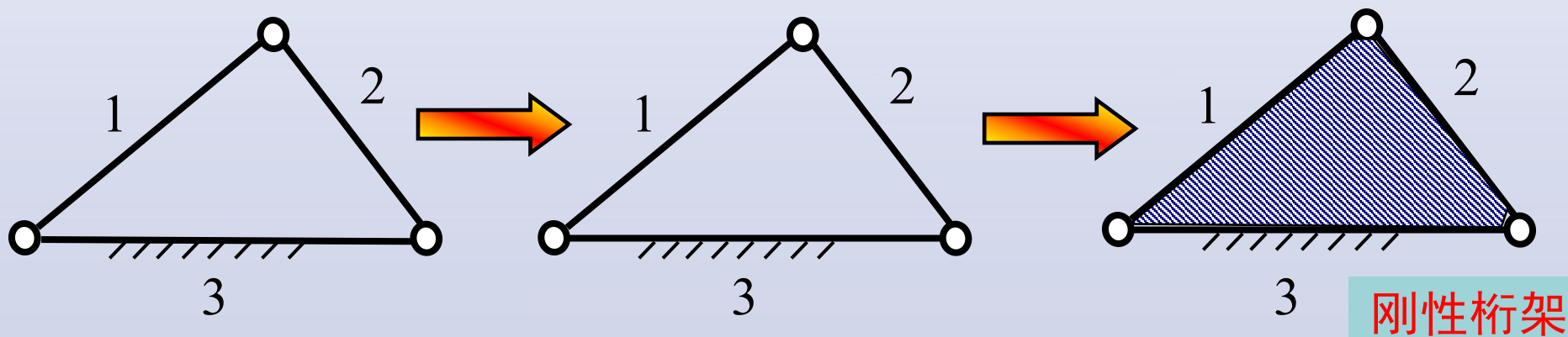


第3节 平面机构具有确定运动的条件

结论： $F \leq 0$ ，机构不能运动。

【例2-2】计算自由度

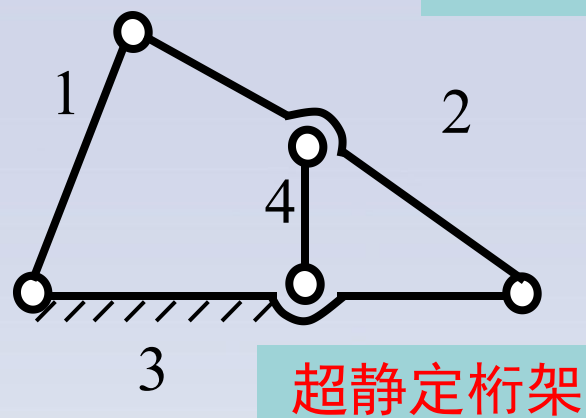
【解】 $n=2$ ， $P_L=3$ ， $P_H=0$ ，则 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 2 - 2 \times 3 - 0 = 0$



【例2-3】计算自由度

【解】 $n=3$ ， $P_L=5$ ， $P_H=0$ ，则

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 5 - 0 = -1$$





第3节 平面机构具有确定运动的条件

二、机构具有确定运动的条件

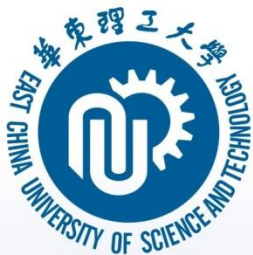
使机构具有确定的运动，必须使机构的自由度大于0；必须使给定独立运动规律的构件数目等于机构的自由度。

给定的独立运动规律是通过原动件提供，通常每个原动件只有一个自由度。

机构具有确定运动的条件是：

- 1) 机构的自由度大于零，即 $F > 0$ ；
- 2) 机构的原动件数目等于机构的自由度。

例如，抽水唧筒机构中，自由度为1，有一个原动件，因此该机构具有确定的运动。



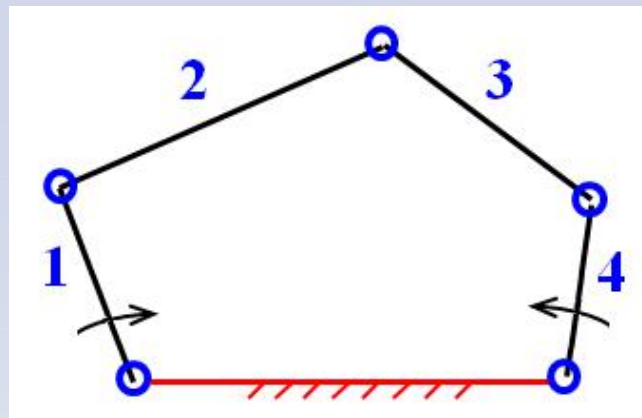
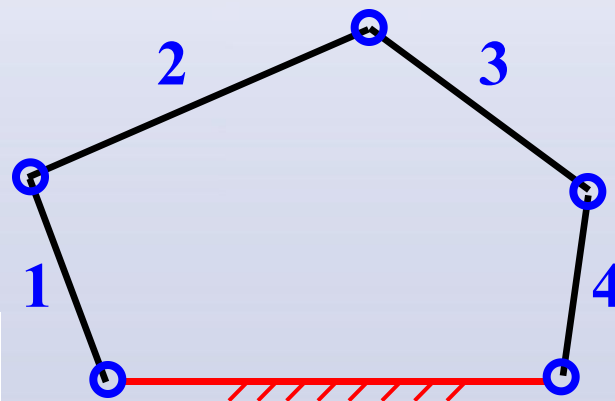
第3节 平面机构具有确定运动的条件

【例2-4】计算机构自由度，并判断满足什么条件机构才具有确定的运动。

【解】活动构件数 $n=4$ ，低副数 $P_L=5$ ，
高副数 $P_H=0$ ，机构自由度为：

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 = 2$$

使机构具有确定的运动，需要两个
原动件。





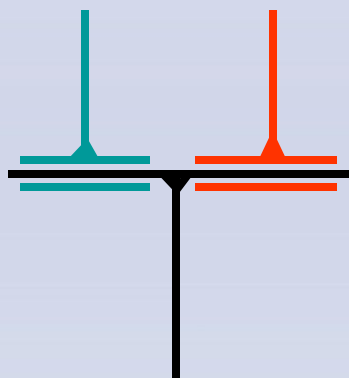
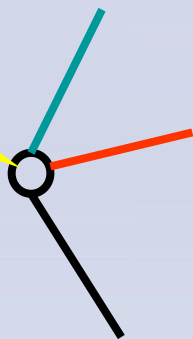
第3节 平面机构具有确定运动的条件

三、计算平面机构自由度时应注意的问题

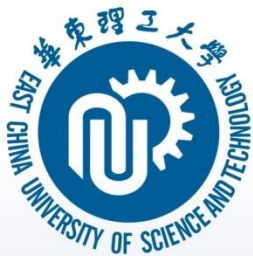
1. 复合铰链

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。如图三个构件组成的复合铰链，共组成两个转动副。

两个转动副



K 个构件在同一处铰接，构成 $K-1$ 个转动副。



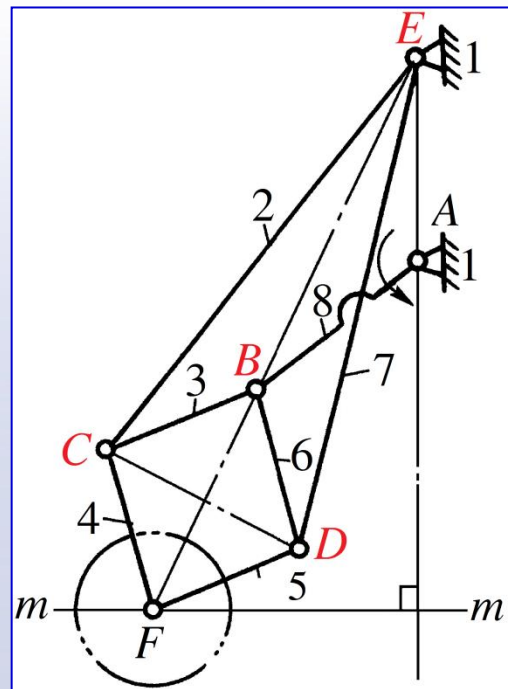
第3节 平面机构具有确定运动的条件

【例2-5】计算如图所示机构自由度，判断该机构是否具有确定的运动。

【解】机构中有7个活动构件，即 $n=7$ ，另外，B、C、D、E处都是由3个构件组成的复合铰链，所以机构中有10个转动副，即 $P_L=10$ ，没有高副， $P_H=0$ 。机构的自由度为：

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$$

构件8是原动件，原动件数目等于机构的自由度，所以该机构具有确定的运动。



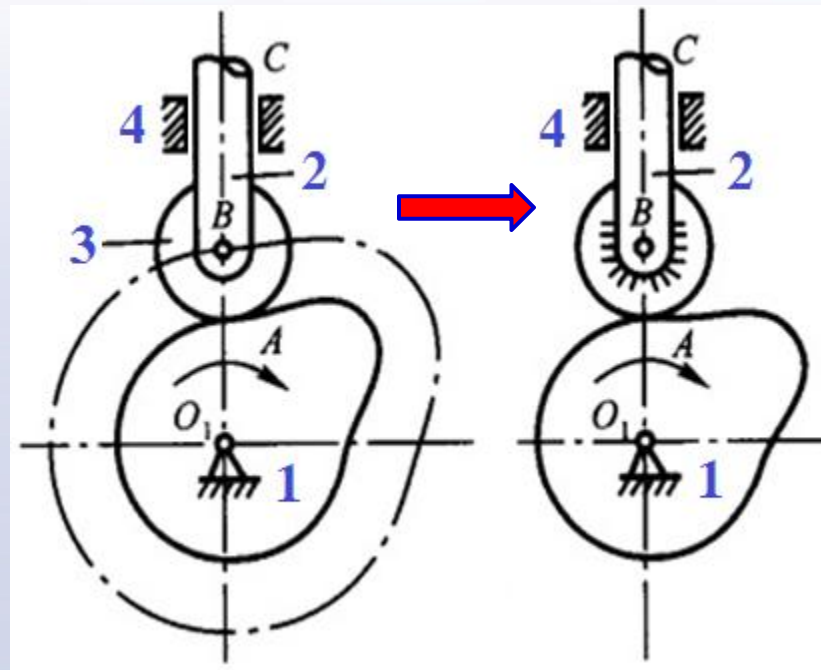


第3节 平面机构具有确定运动的条件

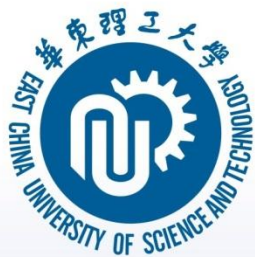
2. 局部自由度

与机构整体运动无关的自由度称为局部自由度，计算机构自由度时应除去不计。

【例2-6】计算如图所示机构自由度，判断该机构是否具有确定的运动。



【解】这是一个滚子从动杆盘形凸轮机构，滚子3绕其轴线C的转动不影响凸轮1与从动杆2的运动关系，是局部自由度。可以设想将滚子3与从动杆2固连成一体，C处的转动副随之消失。



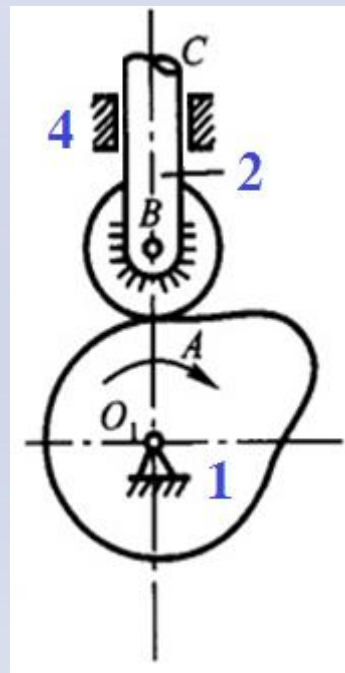
第3节 平面机构具有确定运动的条件

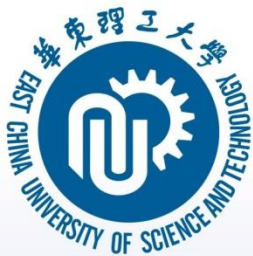
【解】 这样机构中， $n=2$ ， $P_L=2$ ， $P_H=1$ 。机构的自由度为：

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

构件1为原动件，原动件数目等于机构的自由度，所以该机构具有确定的运动。

局部自由度不影响整个机构的运动，但可使高副接触处的滑动摩擦转变为滚动摩擦，减小摩擦和磨损，所以在机械中常有局部自由度存在。



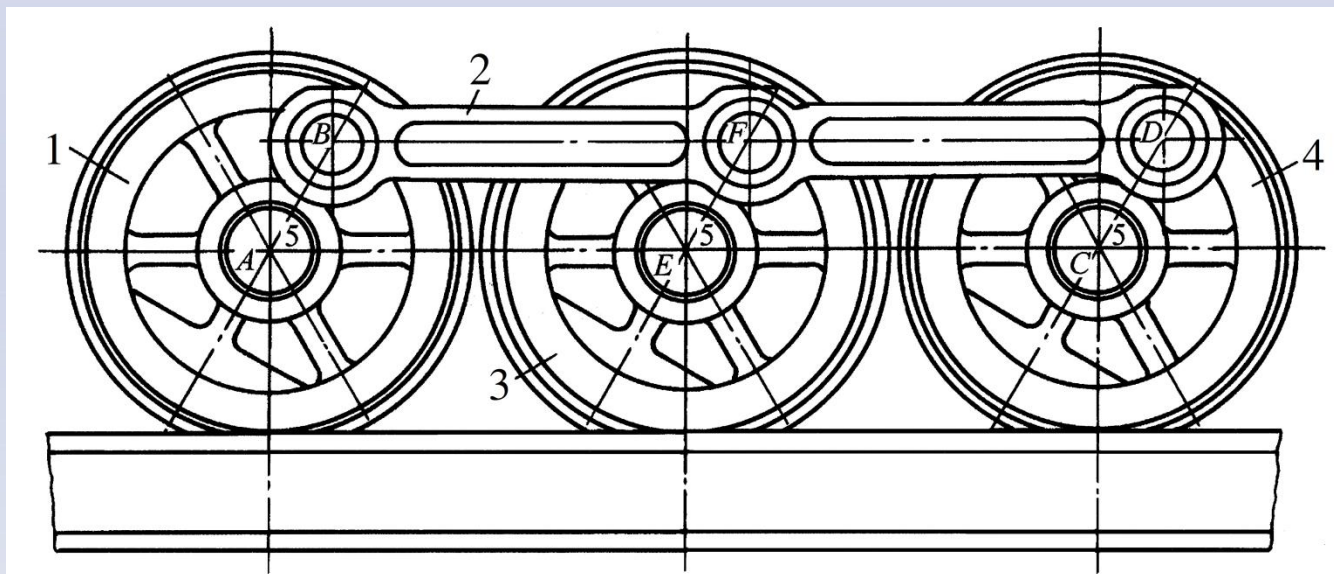


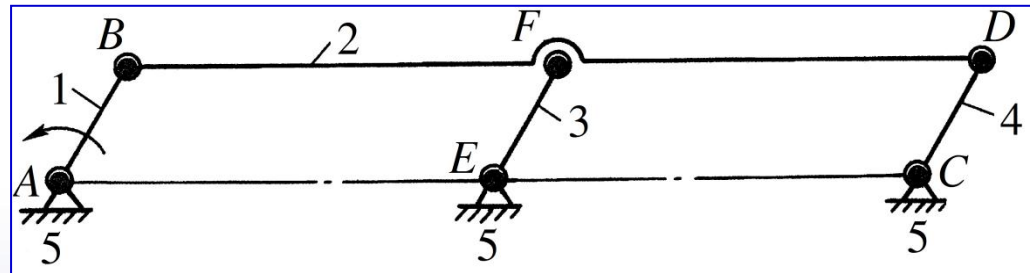
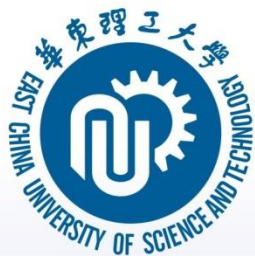
第3节 平面机构具有确定运动的条件

3. 虚约束

运动副引起的约束对机构运动的限制是重复的，这些重复的约束称为虚约束，在计算机构自由度时应除去不计。

【例2-7】计算如图机车车轮联动装置自由度，判断其是否具有确定的运动。

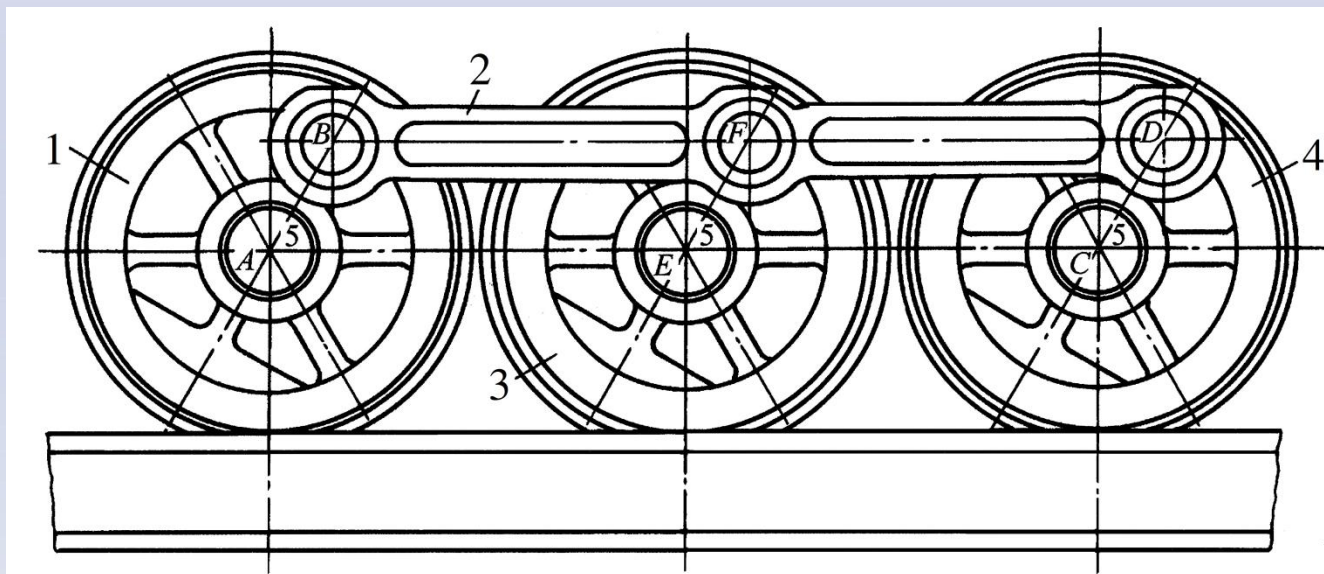


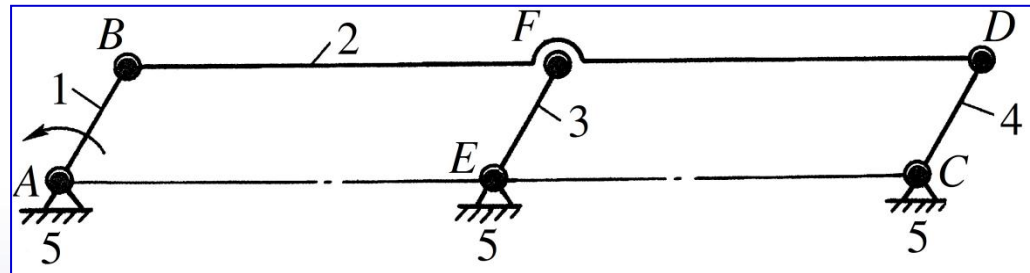
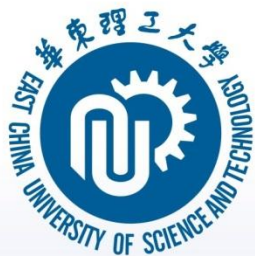


【解】 分析，机车车轮联动装置实际上是一个平行四边形机构。如按如图所示机构计算其自由度，其中 $n=4$ ， $P_L=6$ ， $P_H=0$ ，机构的自由度为：

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 6 - 0 = 0$$

表明机构不能运动，显然这与实际不符。

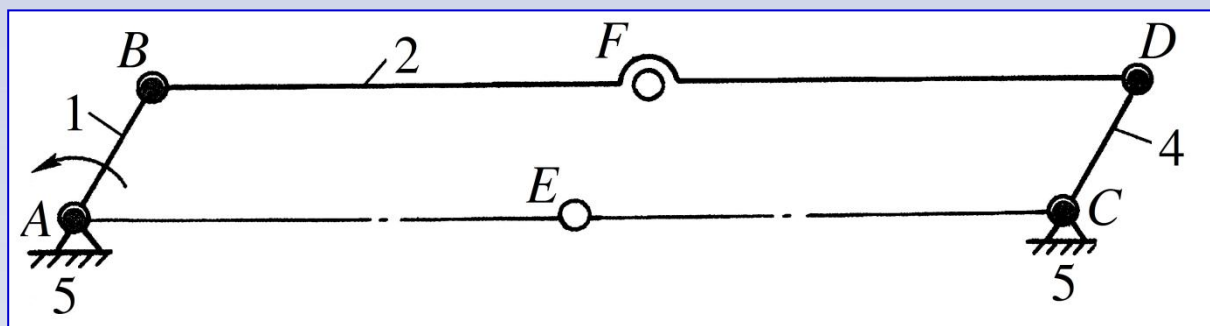


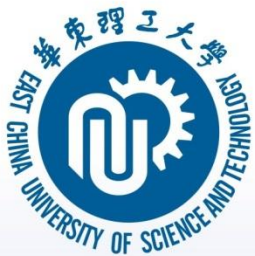


【解】 实际上，由于 $l_{AB}=l_{CD}=l_{EF}$ ， $l_{AE}=l_{BF}$ ， $l_{CE}=l_{DF}$ ，当去掉构件3时，构件2上F点的轨迹仍然是以E为圆心，以 l_{EF} 为半径的圆。这表明构件3与转动副E、F存在与否，对整个机构的运动没有影响。构件3与转动副E、F是虚约束，应去除。去掉虚约束后， $n=3$ ， $P_L=4$ ， $P_H=0$ ，机构的自由度为：

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 3 - 2 \times 4 - 0 = 1$$

以构件1为原动件，原动件数目等于机构的自由度，该装置具有确定的运动。

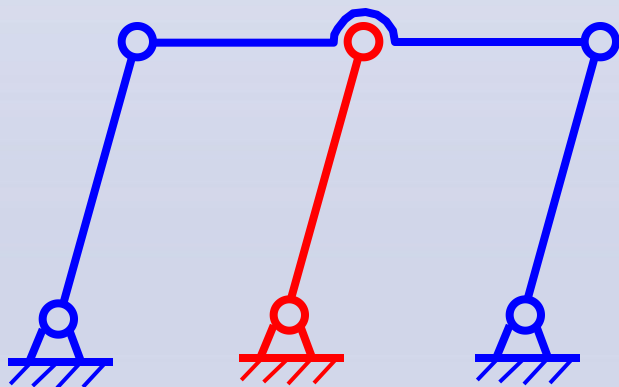


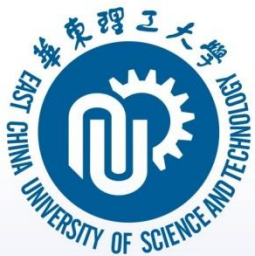


第3节 平面机构具有确定运动的条件

◆ 虚约束的应用

1) 两构件联接前后，联接点的轨迹重合，如平行四边形机构，火车车轮装置。

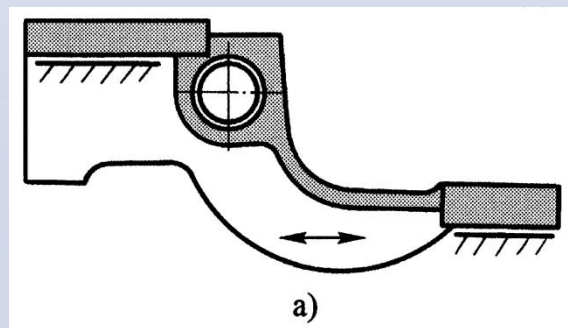
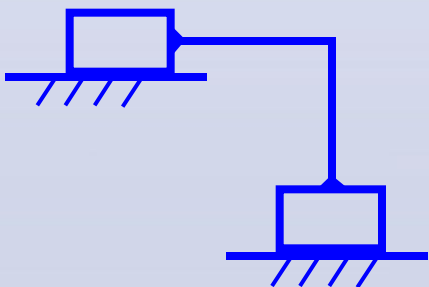




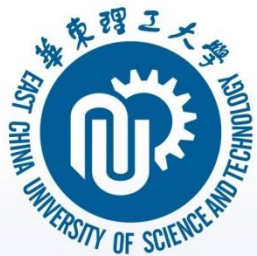
第3节 平面机构具有确定运动的条件

◆ 虚约束的应用

2) 两个构件构成多个移动副，且导路平行，只有一个移动副起作用。



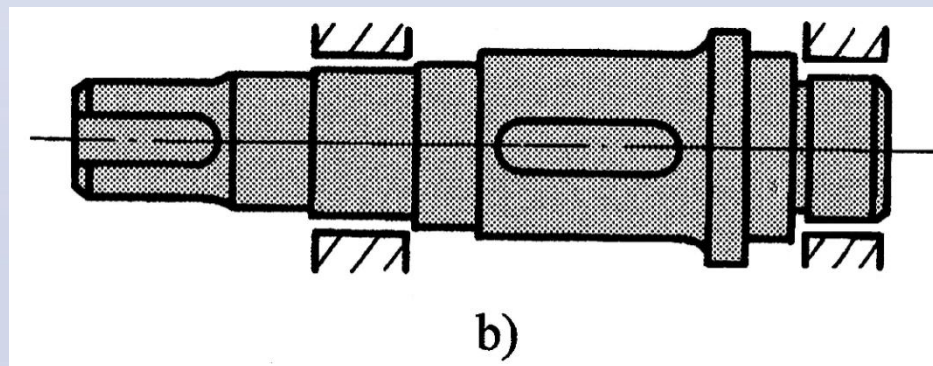
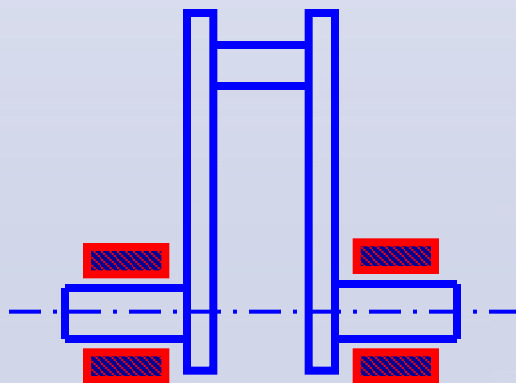
移动副虚约束



第3节 平面机构具有确定运动的条件

◆ 虚约束的应用

3) 两个构件构成多个转动副，且同轴，只有一个转动副起作用。



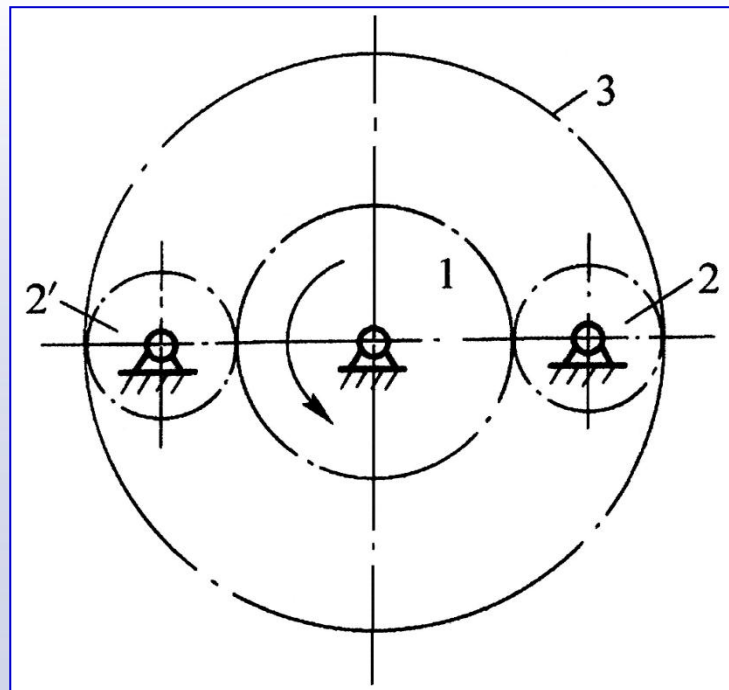
转动副虚约束



第3节 平面机构具有确定运动的条件

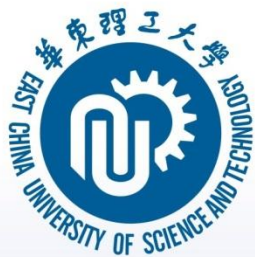
◆ 虚约束的应用

4) 对运动不起作用的对称部分或结构重复部分，也是虚约束，如多个中间齿轮，行星轮。



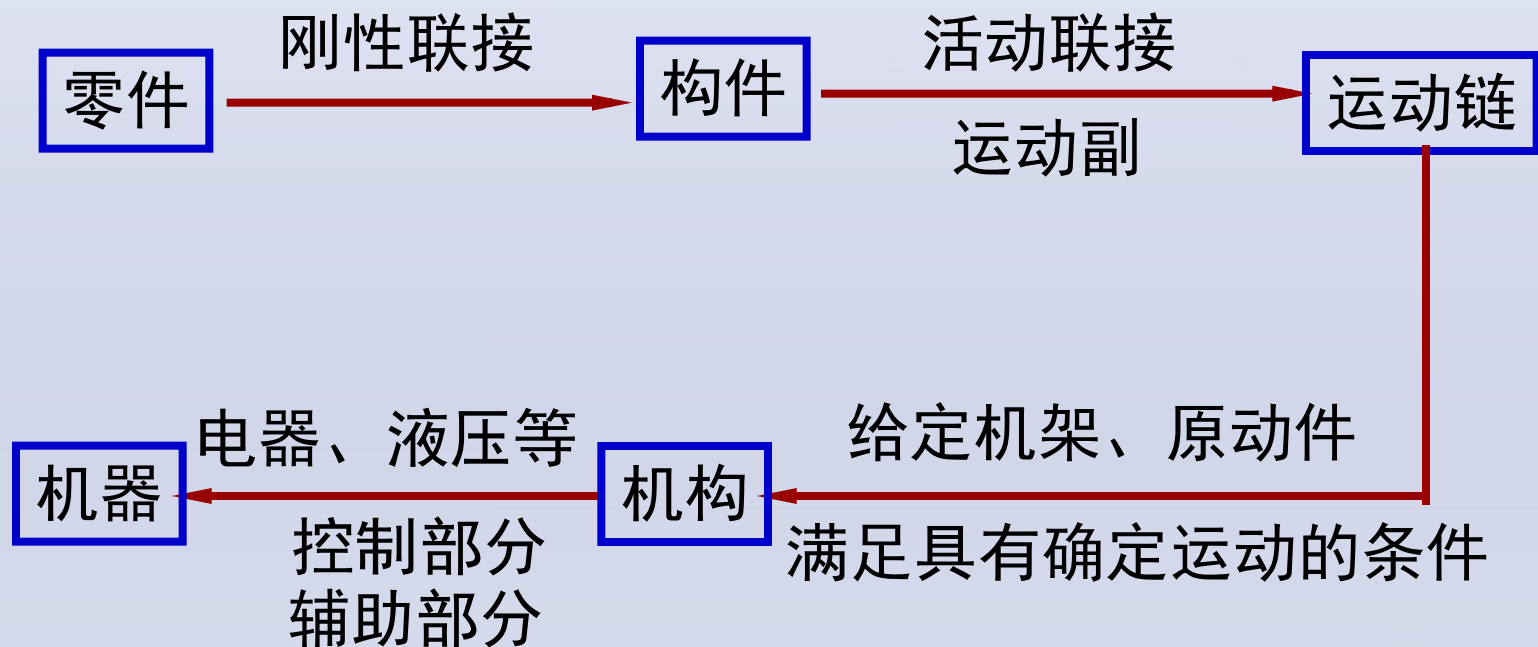
对称结构的虚约束

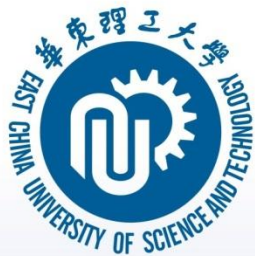
虚约束可以使机构的受力和运动状况大为改善。但虚约束有其特定的几何条件和较高的精度要求，若达不到，虚约束可能成为运动的障碍。



第3节 平面机构具有确定运动的条件

◆ 零件、构件、运动链、机构、机器的关系





本章小结

- 平面运动副、构件的分类及表示
- 平面机构的自由度计算
- 机构具有确定运动的条件及判断