

第一章 平面机构的自由度

§ 1-1 运动副

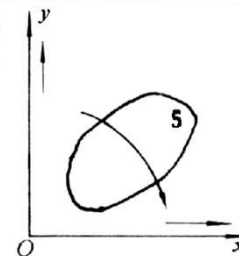
§ 1-2 平面机构的运动简图

§ 1-3 平面机构的自由度

§ 1-1 运动副

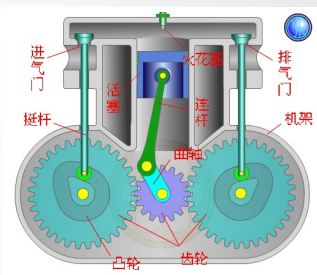
自由度：一个自由物体可能出现的独立运动。

一个作平面运动的自由构件具有三个自由度。



平面机构中，一个自由构件具有三个独立运动的可能性，即有3个自由度。

§ 1-1 运动副



- 机构是由多个构件组成的，构件之间都以某种方式相互连接，这种连接是彼此之间能产生一定相对运动的连接。

§ 1-1 运动副

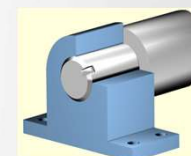
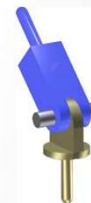
一、运动副

定义：两构件直接接触并产生一定相对运动的连接称为运动副。

三个条件： a) 两个构件、b) 直接接触、c) 有相对运动

a、低副——两构件通过**面**接触而构成的运动副，主要包括**转动副（铰链）**和**移动副**。

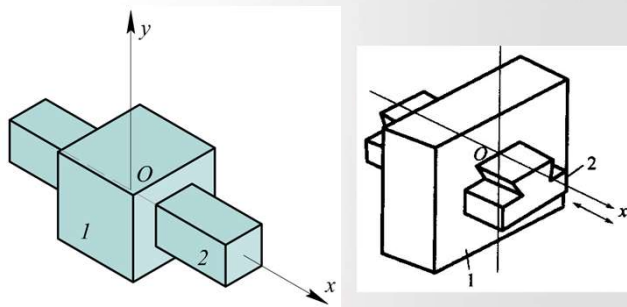
(1) 转动副——组成运动副的两构件之间只能绕同一轴线作相对转动。



只具有**1个**独立的相对转动

§ 1-1 运动副

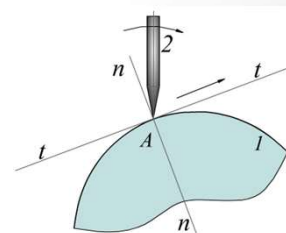
(2) **移动副**——组成运动副的两构件之间只能沿某一轴线相对移动。



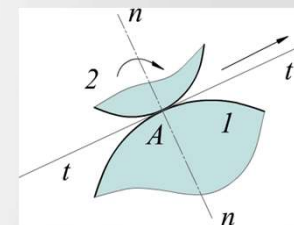
只具有沿1个方向独立的相对移动

§ 1-1 运动副

(3) **高副**——两构件通过点接触或线接触而构成的运动副，具有2个独立相对运动，主要包括凸轮高副和齿轮高副。



凸轮高副 (点接触)



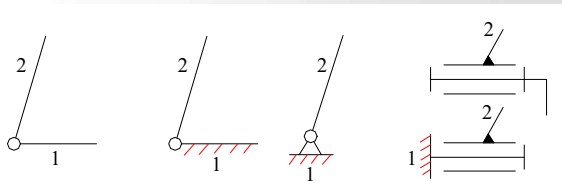
齿轮高副 (线接触)

§ 1-2 平面机构的运动简图

机构运动简图：用简单的线条和符号表示机构各构件间相对运动关系，并按一定的比例确定各运动副的相对位置的图形。

1、运动副的表示

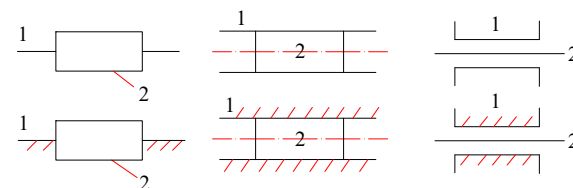
□ **转动副**：以圆圈表示，圆心代表转动轴线。



§ 1-2 平面机构的运动简图

□ **移动副**：导路必须与相对移动方向一致。

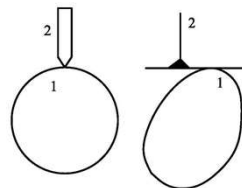
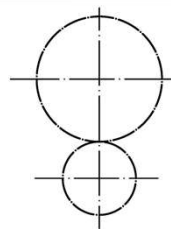
若组成运动副的两构件中有一个为机架，则在代表机架的构件上加阴影线。



□ 高副：画出两构件接触处的曲线轮廓。

齿轮副：以点划线画出一对节圆表示齿轮副。

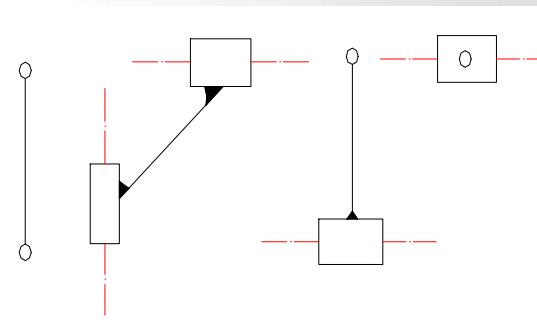
凸轮副：用完整或部分轮廓曲线表示凸轮。



§ 1-2 平面机构的运动简图

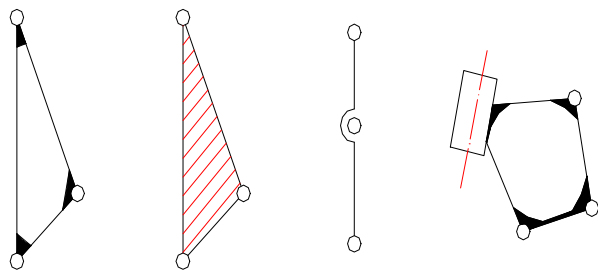
2、构件的表示—用最简单的线条直线表示

构件和两个运动副联接时的表示方法：



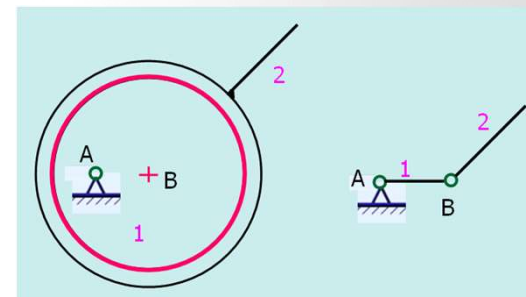
§ 1-2 平面机构的运动简图

一般来说，参与组成3个转动副的构件可用三角形表示。



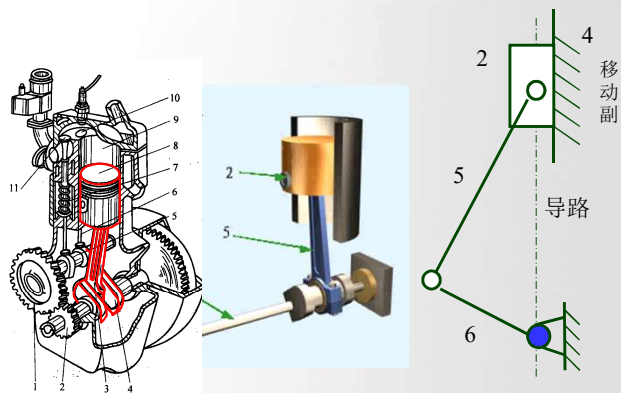
通常在三角形内加剖面线或在三个角上分别涂以焊缝的标记，表明三角形是一刚性整体。

□ 偏心轮：几何中心与回转中心不重合

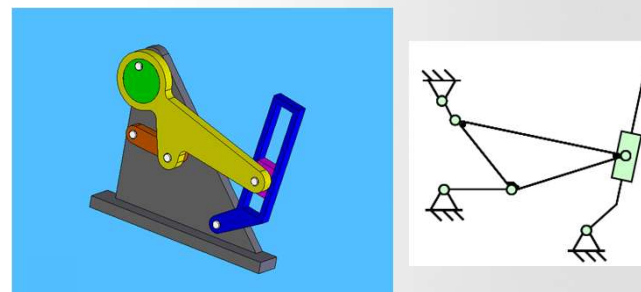


§ 1-2 平面机构的运动简图

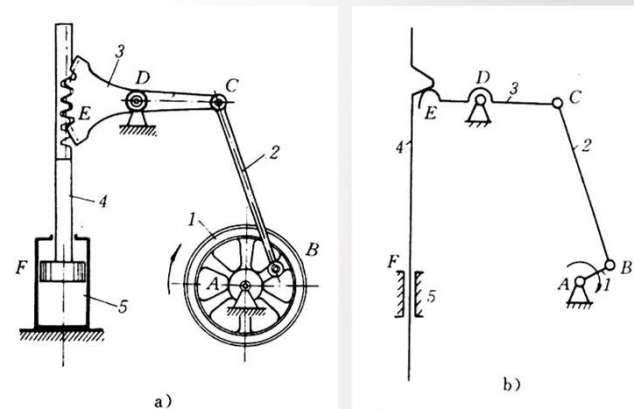
3、机构运动简图实例



§ 1-2 平面机构的运动简图



§ 1-2 平面机构的运动简图



§ 1-3 平面机构的自由度

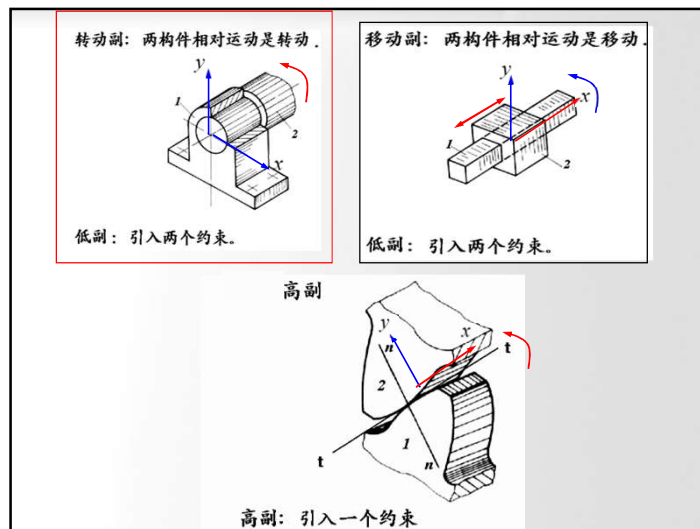
一. 构件的自由度及运动副的约束

构件自由度：构件所具有的**独立**运动数。

平面构件自由度为3个

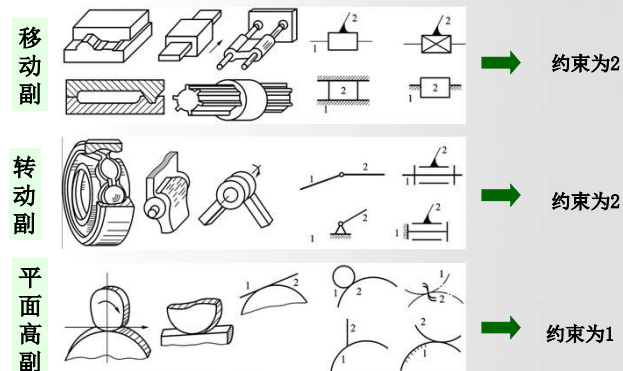
空间构件自由度为6个

约束：运动副对独立运动所加的**限制**称为约束。



§ 1-3 平面机构的自由度

一. 构件的自由度及运动副的约束



§ 1-3 平面机构的自由度

二. 机构的自由度

机构的自由度：机构中各构件相对于机架所具有的独立运动的个数。

每个作平面运动的自由构件有3个自由度；

每个低副引入2个约束，即所限制的自由度为2。

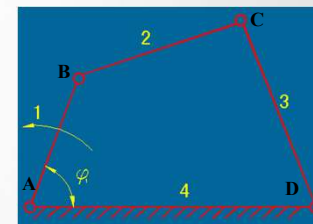
每个高副引入1个约束，即所限制的自由度为1；

所以，若某机构含有 n 个活动构件， P_L 个低副， P_H 个高副，则该机构的自由度 (degrees of Freedom)：

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

§ 1-3 平面机构的自由度

机构所具有的独立运动的个数，取决于活动构件的数目以及运动副的性质



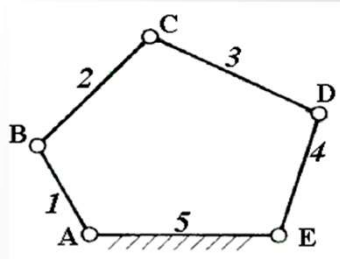
解：该机构具有4个构件，活动构件数 n 为3；低副数 $P_L=4$ ；高副数 $P_H=0$ 。根据机构自由度计算公式，该机构的自由度 F 为

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

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

§ 1-3 平面机构的自由度

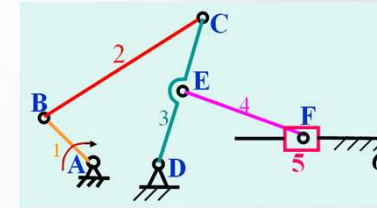
例1：计算图示机构的自由度



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

§ 1-3 平面机构的自由度

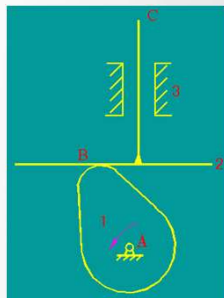
例2：计算图示机构的自由度



解： $F = 3n - 2P_L - P_H$
 $F = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$

§ 1-3 平面机构的自由度

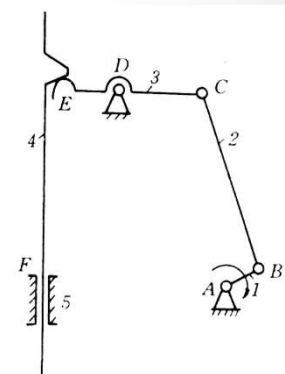
例3：计算图示机构的自由度



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

§ 1-3 平面机构的自由度

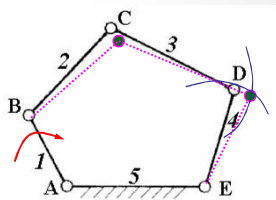
例4：计算图示机构的自由度



解：
 $F = 3n - 2P_L - P_H$
 $= 3 \times 4 - 2 \times 5 - 1$
 $= 1$

§ 1-3 平面机构的自由度

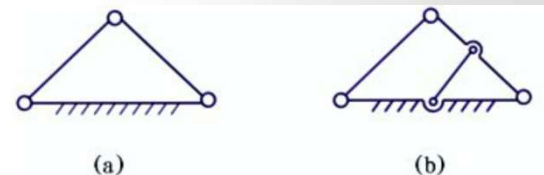
三. 机构具有确定运动的条件



$$\begin{aligned}
 F &= 3n - 2P_L - P_H \\
 &= 3 \times 4 - 2 \times 5 - 0 \\
 &= 2
 \end{aligned}$$

- 自由度等于2的机构在具有2个原动件时，运动是确定的。
- 自由度等于2的机构在具有1个原动件时，运动是不确定的。
- 自由度等于2的机构在具有3个原动件时，机构中最弱的构件被损坏。

□ 机构是否具有确定的相对运动，取决于原动件数目与独立运动个数（自由度）是否相等。思考：可否等于0？



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

$$F = 3 \times 3 - 2 \times 5 = -1$$

刚性桁(héng)架

超静定桁架

$F \leq 0$ 时，构件间不能产生相对运动；相当于一个构件。

因此，机构具有确定运动的条件有两个：

- (1) 机构的自由度 $F > 0$ （先决条件）；
- (2) 机构的原动件数等于自由度数。

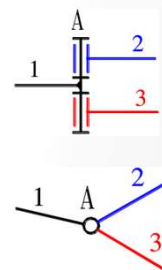
只有同时满足了这两个条件，机构才具有确定的运动。

§ 1-3 平面机构的自由度

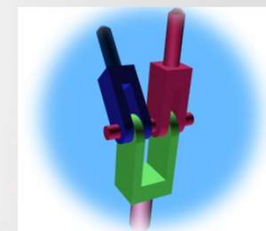
四. 计算自由度时应注意的几个问题

1. 复合铰链

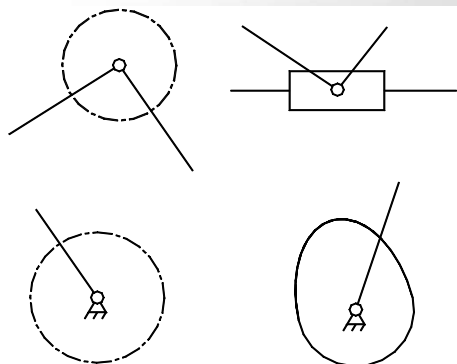
三个以上构件在一点形成若干个转动副。



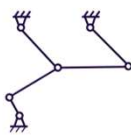
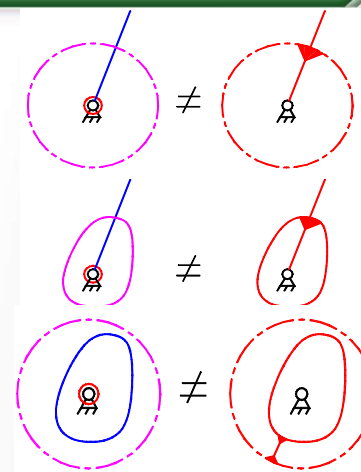
K 个构件汇交而成的复合铰链应该具有 $(K-1)$ 个转动副。



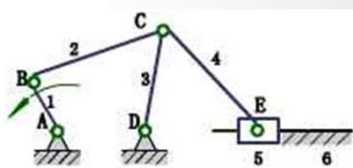
复合铰链



复合铰链



习题1



习题2

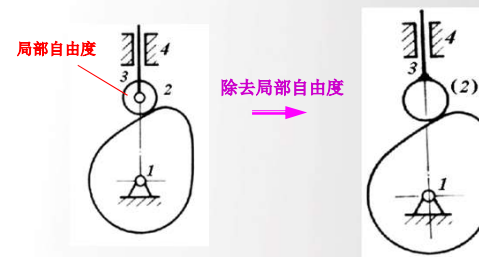


习题3

§ 1-3 平面机构的自由度

2. 局部自由度

若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，并不影响其他构件的运动，则称这种自由度为局部自由度（如滚子绕自身轴的转动）。



设想将滚子与从动件焊成一体。

局部自由度



滚子只是为了减少磨损而加入的从动件。

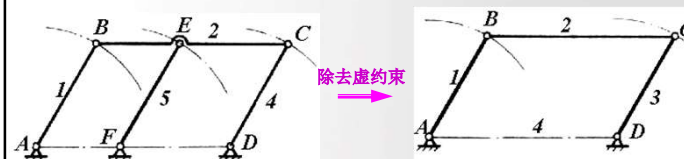
§ 1-3 平面机构的自由度

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他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称为虚约束。**

(1) 二构件某二点间的距离始终不变，若在二点间加上一个构件和二个转动副，虽不改变机构运动，但引入一个虚约束。

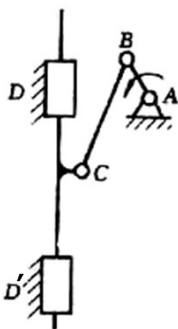
如图所示机构：AB//CD//EF 且相等



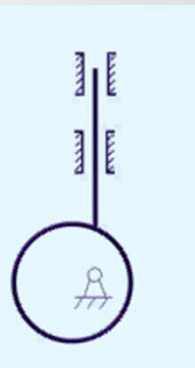
这里虚约束是为了增加机构的刚性。

虚约束

(2) 两构件构成多个移动副且其导路互相平行，这时只有一个移动副起约束作用，其余移动副都是虚约束。

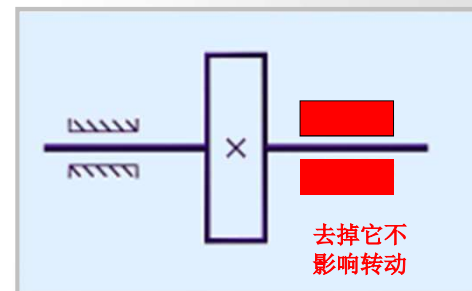


这里虚约束是为了提高支承的稳定性。



虚约束

(3) 两构件构成多个转动副且其轴线互相重合，这时只有一个转动副起约束作用，其余转动副都是虚约束。

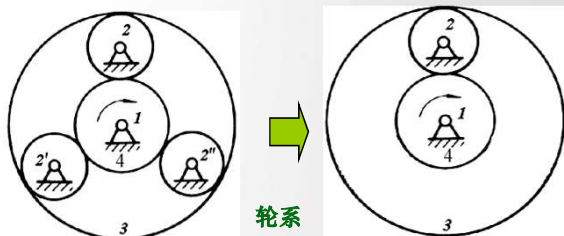


去掉它不影响转动

这里虚约束是为了提高支承的稳定性。

虚约束

(4) 在输入件与输出件之间用多组完全相同的运动链来传递运动时，只有一组起独立传递运动的作用，其余各组常引入虚约束。



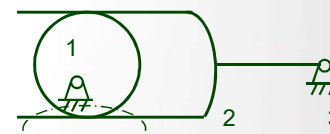
$$F = 3 \times 5 - 2 \times 5 - 6 = -1 \quad (\text{错误})$$

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

这里虚约束是为了受力均衡。

虚约束

(5) 二构件组成若干个高副，但接触点间的距离为常数。



去掉一个高副

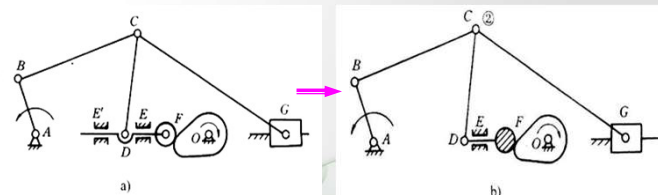


$$\text{计算自由度: } F = 3 \times 2 - 2 \times 2 - 1 \times 2 = 0$$

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

这里虚约束是为了改善受力。

习题1

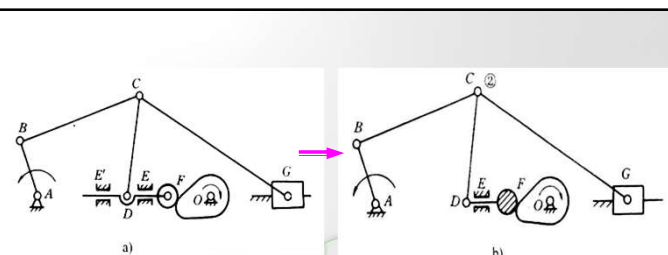


滚子F：一个局部自由度；

E和E'：两个平行的移动副，其中之一为虚约束；

C：复合铰链。

解题方法：将滚子与顶杆焊为一体，去掉移动副E'，并在C点注明转动副数，如图b。



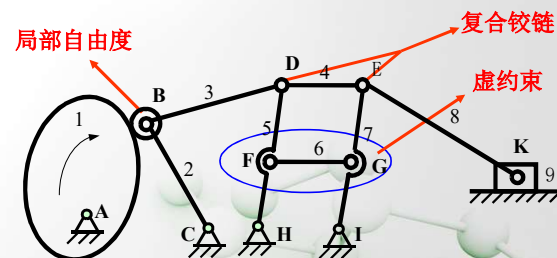
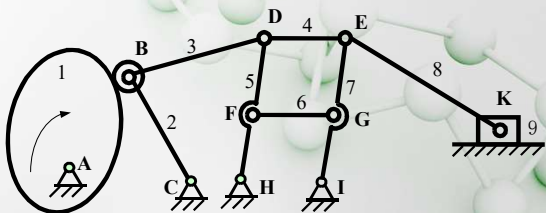
图b中， $n=7$ ， $P_L=9$ ， $P_H=1$ ，则：

$$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 1 = 2$$

此机构的自由度为2，有两个原动件，因此具有确定的相对运动

习题2

如图所示，已知：DE=FG=HI，且相互平行；DF=EG，且相互平行；DH=EI，且相互平行。计算此机构的自由度（若存在局部自由度、复合铰链、虚约束请标出）。



$$n=8; p_L=11; p_H=1$$

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

作业：