3 平面机构力分析

3-1 运动副中的反力

3-2 力分析的图解法

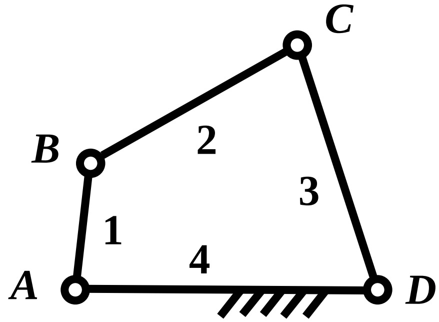
3-3 力分析的杆组法

3-4 机械的效率

3-5 机械的自锁

3 平面机构力分析

- 思考题
  - 铰链四杆机构中，构成回转副两构件能作整周回转的条件是什么？



3-1 运动副中的反力

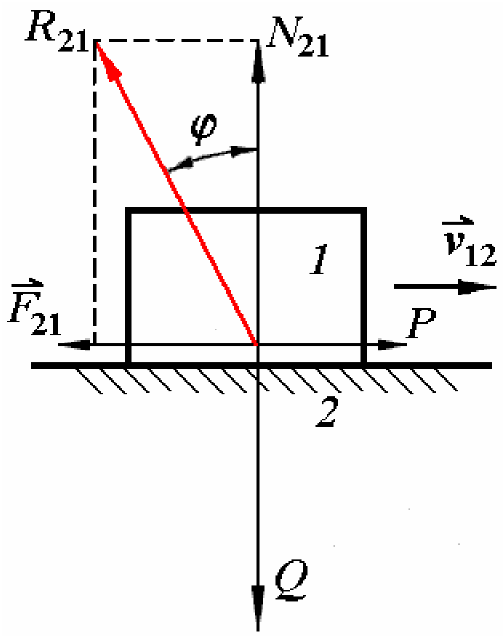
- 移动副中的反力

  1) 总反力方向已知，但大小未知。

  2) 总反力的作用点在接触线上，但具体位置未知。

  因此有2个未知量。

  其中：摩擦角 $\varphi = \arctan f$



3-1 运动副中的反力

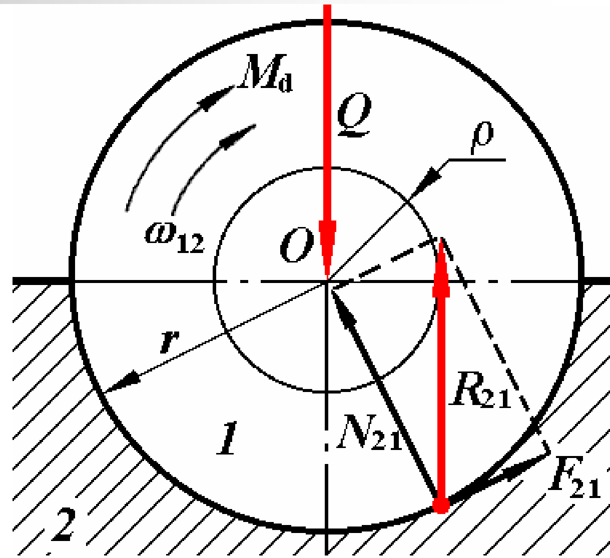
- **回转副中的反力**

  1) 总反力必切于摩擦圆。

  2) 总反力大小与作用点均未知。因此有2个未知量。

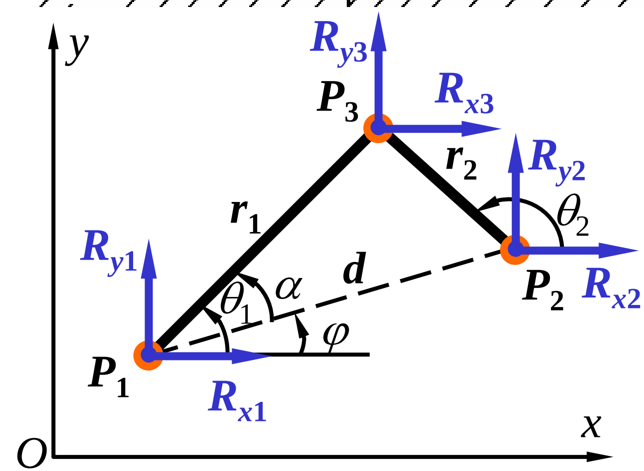
  其中摩擦圆半径 $\rho = f_v r$

  f_v 为当量摩擦系数



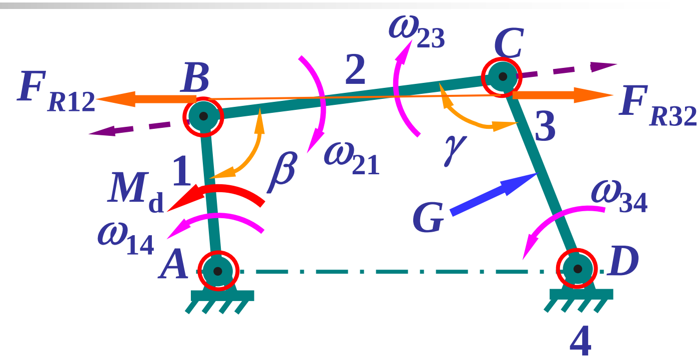
- **杆组满足静定条件**

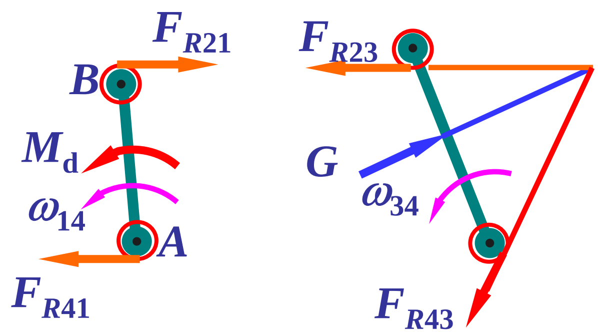
$$3n=2P_L$$



3-2 力分析的图解法

例 已知各构件的尺寸、各转动副的半径r和当量摩擦系数f_v、作用在构件3上的工作阻力G及其作用位置，求作用在曲柄1上的驱动力矩M_d(不计重力和惯性力)。





解

(1) 根据已知条件作摩擦圆

(2) 作二力杆反力的作用线

(3) 分析其它构件的受力状况

3-2 力分析的图解法

(4) 列力平衡向量方程

$$\boldsymbol{F}_{R43}+\boldsymbol{F}_{R23}+\boldsymbol{G}=0$$

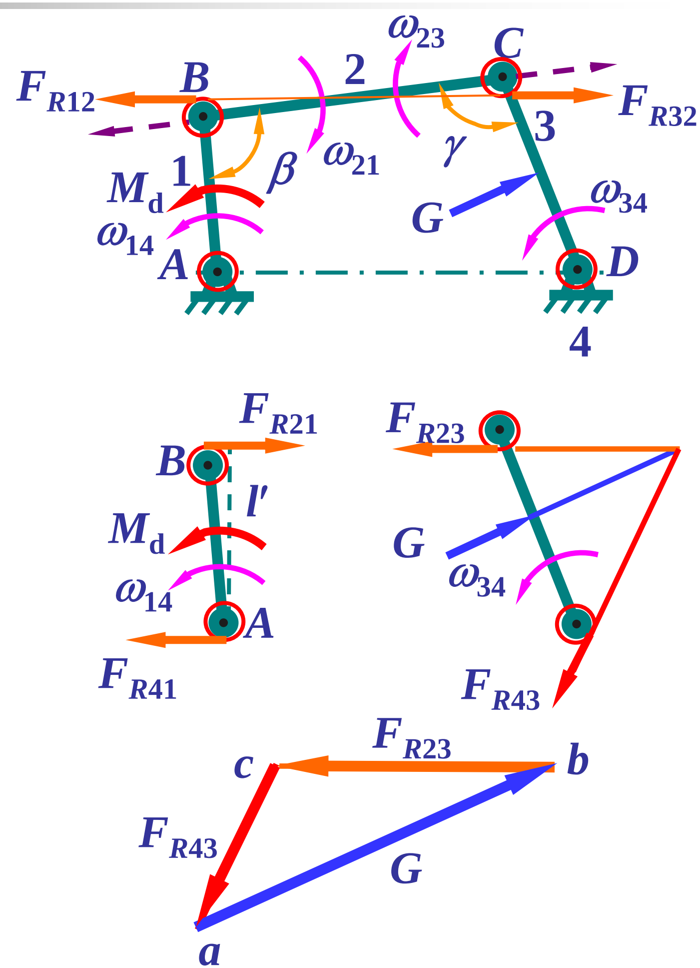
大小	?	?	✓
方向	✓	✓	✓

选比例尺μ_F(N/mm)作图

$$F_{R23}=\mu_F\,bc$$

$$F_{R21}=-F_{R23}$$

$$M_d=\mu_F\,bc\times l'$$

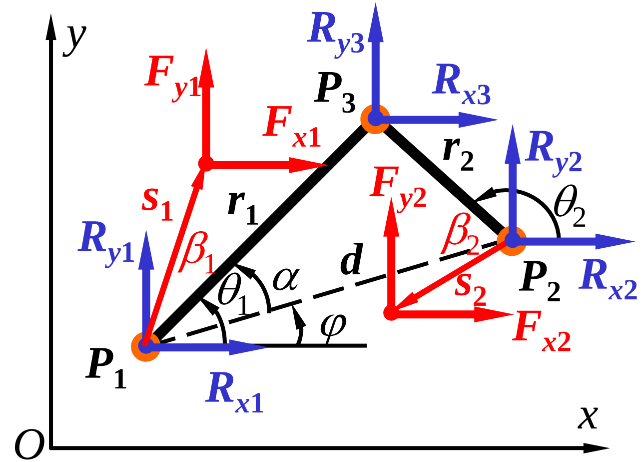


3-3 力分析的杆组法

基本思想:

1）对基本杆组进行受力分析并编制相应的求解函。

2）从输出构件开始，依次对各杆组调用相应的求解函数，完成整个机构的受力分析。

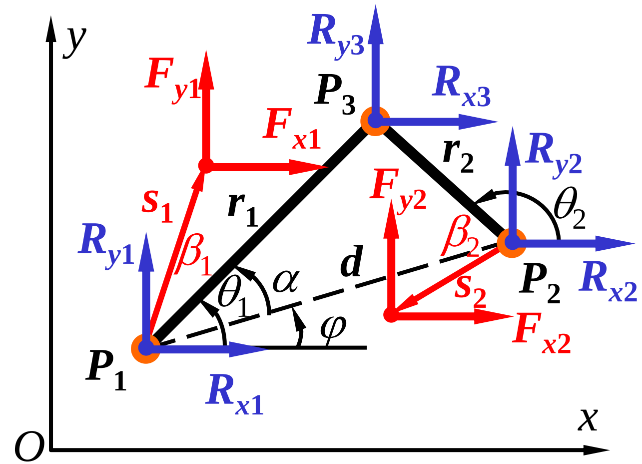


以二级杆组RRR为例:

已知P_1、P_2的几何参数、两杆长度及其所受主动力及其作用点。求运动副处的全部反力。各反力约定如下：外接副，指该杆组受到的作用力；内接副，指构件1受到的作用力。

3-3 力分析的杆组法

线性方程组如下：



$$
\begin{cases}
R_{x1} + R_{x3} + F_{x1} = 0 \\
R_{y1} + R_{y3} + F_{y1} = 0 \\
-r_1 \sin(\theta_1) R_{x3} + r_1 \cos(\theta_1) R_{y3} \\
\qquad - s_1 \sin(\theta_1 + \beta_1) F_{x1} + s_1 \cos(\theta_1 + \beta_1) F_{y1} = 0 \\
R_{x2} - R_{x3} + F_{x2} = 0 \\
R_{y2} - R_{y3} + F_{y2} = 0 \\
r_2 \sin(\theta_2) R_{x3} - r_2 \cos(\theta_2) R_{y3} \\
\qquad - s_2 \sin(\theta_2 + \beta_2) F_{x2} + s_2 \cos(\theta_2 + \beta_2) F_{y2} = 0
\end{cases}
$$

3-3 力分析的杆组法

计入摩擦力时，非线性方程组需用逼近法求解:

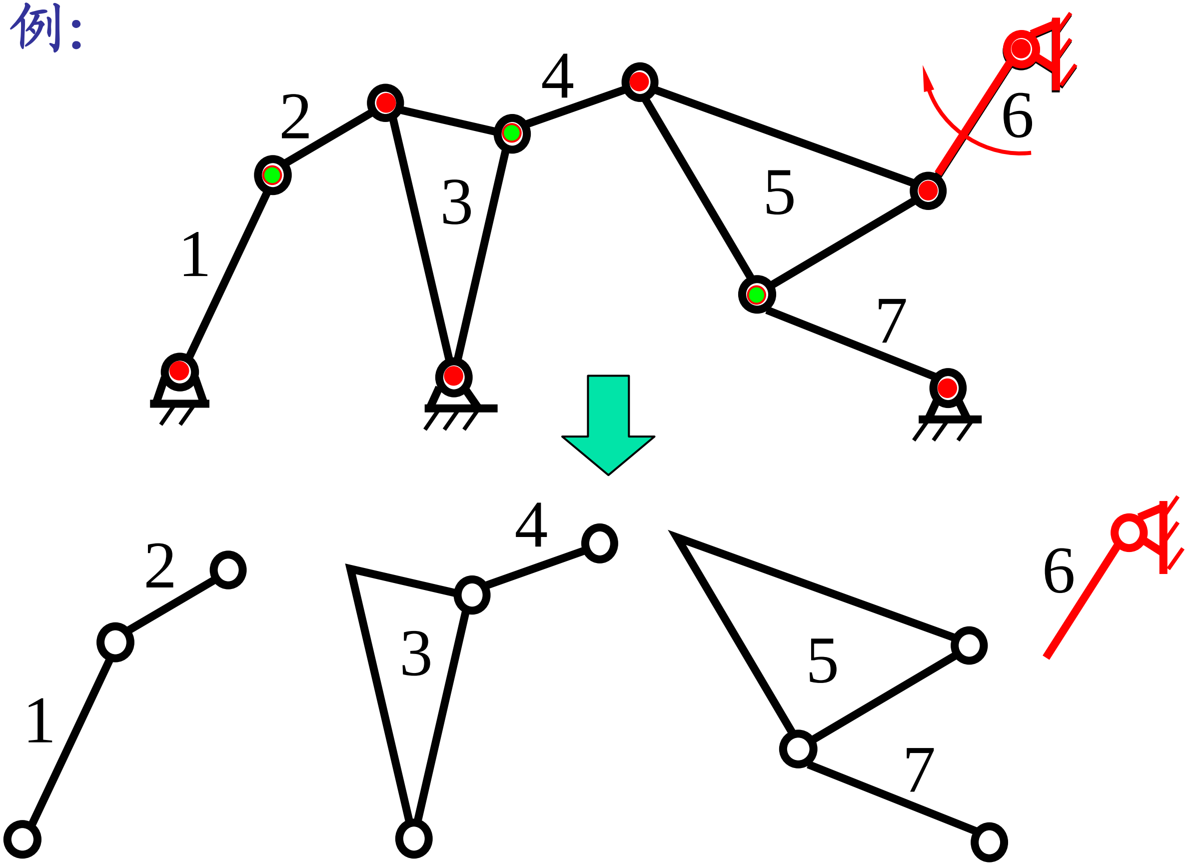
(1)令f_v=0，求出理想机械中的约束反力。

(2)根据求出的约束反力计算运动副中的摩擦力和摩擦力矩，将其作为已知力加在相应的构件上重新计算约束反力。

(3)重复(2)，直到相邻两次计算的约束反力误差满足分析精度要求为止。

3-3 力分析的杆组法

例：

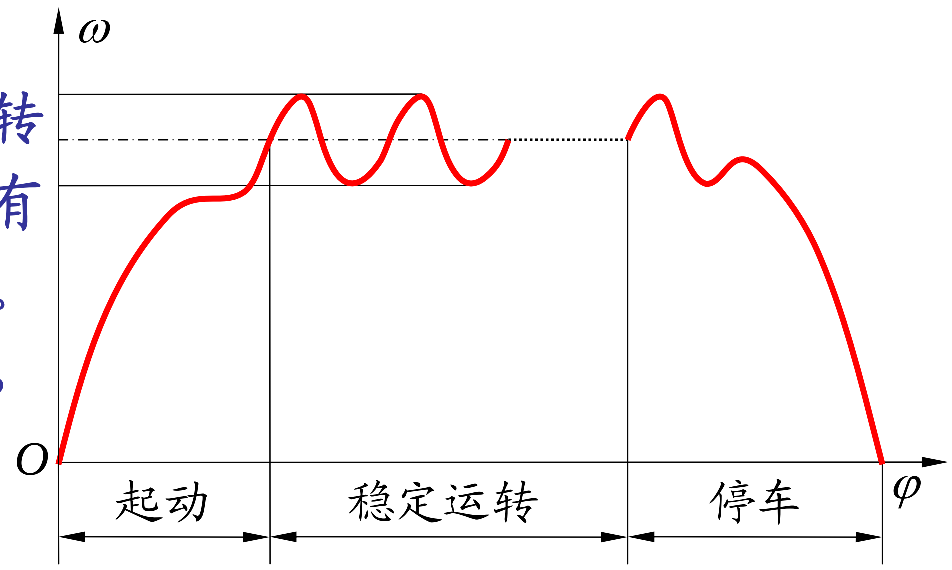


3-4 机械的效率

机器的真实运动：起动+稳定运转+停车

在稳定运转阶段的一个周期内，**输入功**等于克服工作阻力所作的**有益功**与克服摩擦阻力所作的**无用功**之和。

$$A_d = A_r + A_f$$



机械效率：在稳定运转阶段的一个周期内，有益功与输入功的比值。

当按匀速运转考虑时，上式等价于：

$$N_d = N_r + N_f$$

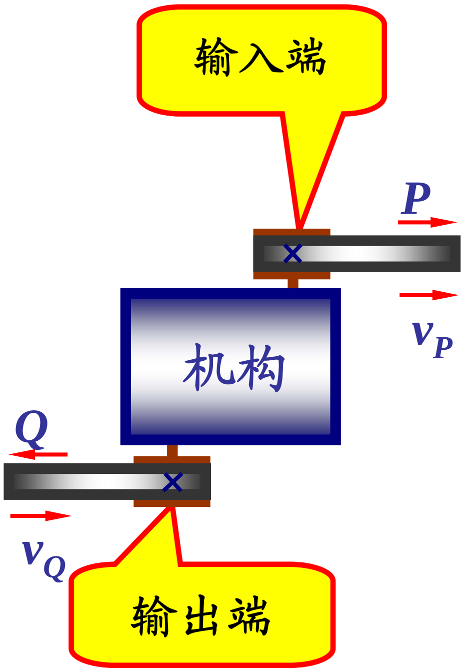
3-4 机械的效率

由机械效率定义导出其表达式为:

$$\eta = \frac{A_r}{A_d} = 1 - \frac{A_f}{A_d}$$

当按匀速运转考虑时，上式等价于

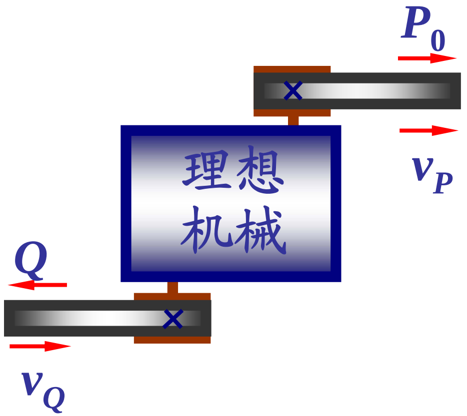
$$\eta = \frac{N_r}{N_d} = \frac{Qv_Q}{Pv_P}$$



3-4 机械的效率

对相同的工作阻力Q，理想机械，有

$$\eta_0 = \frac{N_r}{N_d} = \frac{Qv_Q}{P_0 v_P} = 1$$

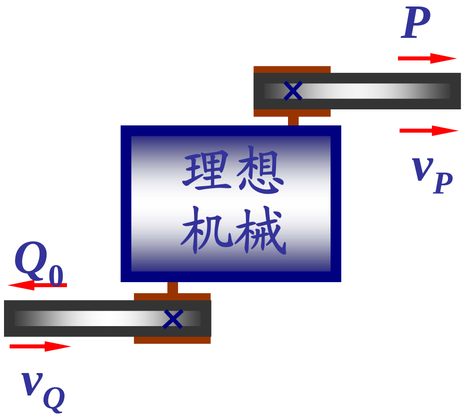


从而，对实际机械

$$\eta = \frac{Qv_Q}{Pv_P} = \frac{P_0 v_P}{Pv_P} = \frac{P_0}{P}, \quad \eta = \frac{M_{P0}}{M_P}$$

3-4 机械的效率

对相同的驱动力*P*，理想机械，有



$$\eta_0 = \frac{N_r}{N_d} = \frac{Q_0 v_Q}{P v_P} = 1$$

实际机械

$$\eta = \frac{Q v_Q}{P v_P} = \frac{Q v_Q}{Q_0 v_Q} = \frac{Q}{Q_0}, \quad \eta = \frac{M_Q}{M_{Q0}}$$

$$\eta = \frac{\text{理想驱动力}}{\text{实际驱动力}} = \frac{\text{理想驱动力矩}}{\text{实际驱动力矩}}$$

$$= \frac{\text{实际工作阻力}}{\text{理想工作阻力}} = \frac{\text{实际工作阻力矩}}{\text{理想工作阻力矩}}$$

3-4 机械的效率

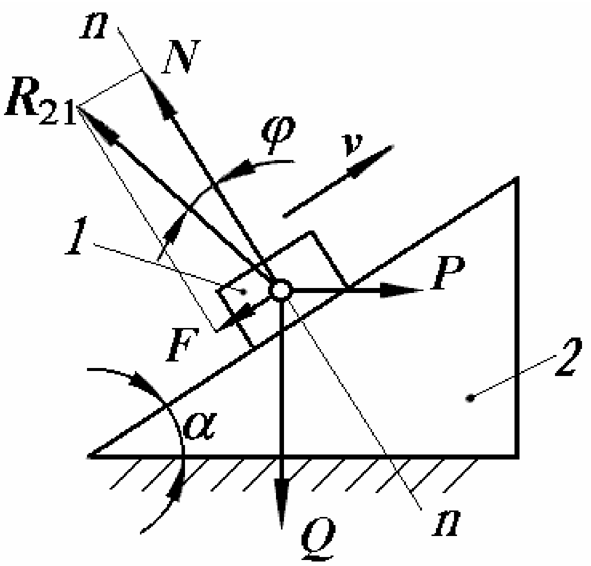
例 试分析斜面机构的效率。

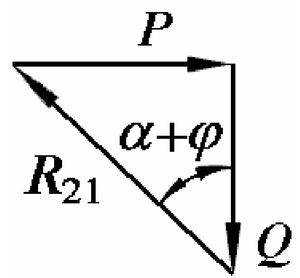
解

1) 当滑块向上匀速滑动时。

$$\eta = \frac{P_0}{P} = \frac{Q\tan(\alpha+0)}{Q\tan(\alpha+\varphi)}$$

$$= \frac{\tan\alpha}{\tan(\alpha+\varphi)}$$

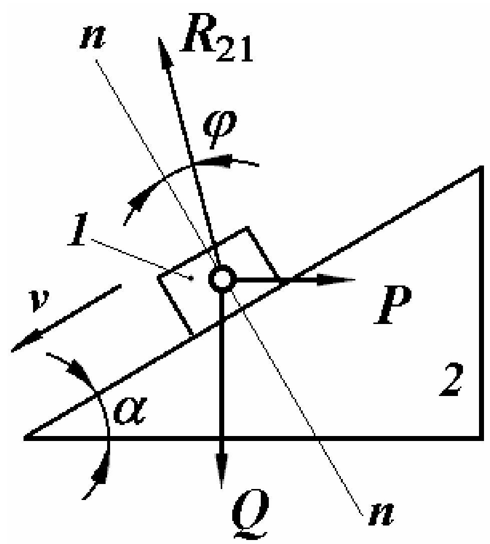


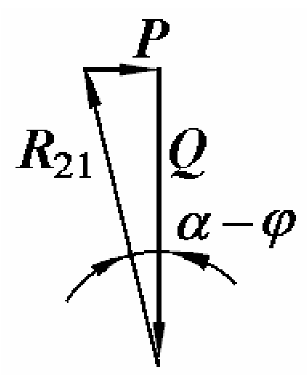


3-4 机械的效率

2) 当滑块向下匀速滑动时。

$$\eta^{*} = \frac{P}{P_0} = \frac{Q\tan(\alpha-\varphi)}{Q\tan(\alpha-0)} = \frac{\tan(\alpha-\varphi)}{\tan\alpha}$$

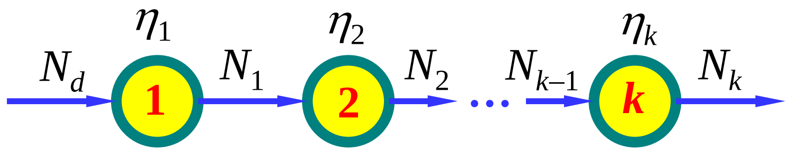




3-4 机械的效率

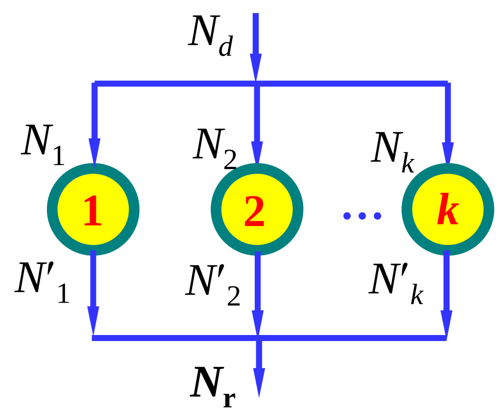
机械系统的机械效率

(1) 串联



$$\eta = \frac{N_k}{N_d} = \frac{N_1}{N_d} \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{N_3}{N_2} \cdots \frac{N_k}{N_{k-1}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdots \eta_k$$

(2) 并联



$$N_d = N_1 + N_2 + \cdots + N_k$$

$$N_r = N_1' + N_2' + \cdots + N'$$

$$= N_1\eta_1 + N_2\eta_2 + \cdots + N_k\eta_k$$

$$\eta = \frac{N_r}{N_d} = \frac{N_1\eta_1 + N_2\eta_2 + \cdots + N_k\eta_k}{N_1 + N_2 + \cdots + N_k}$$

3-4 机械的自锁

移动副的自锁条件：

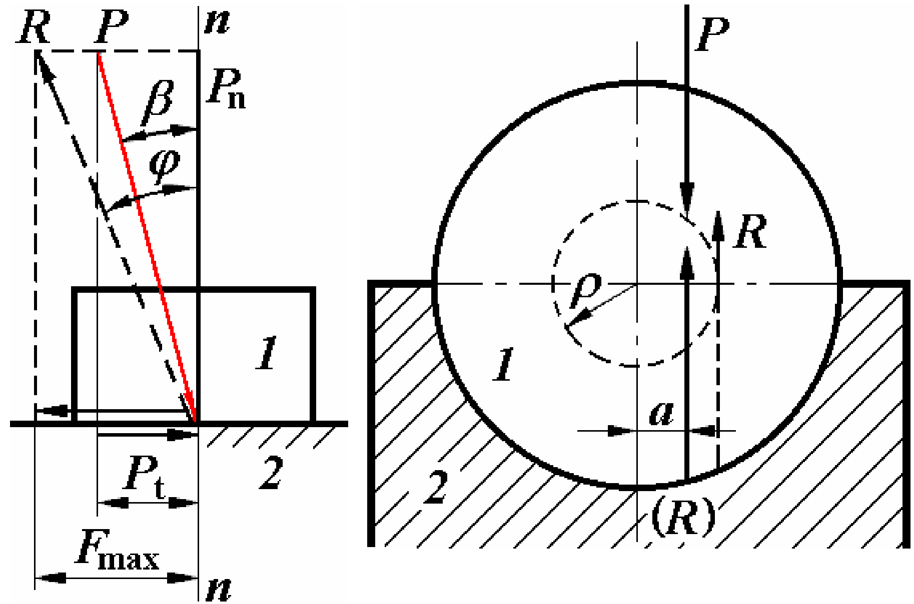
$$\beta \leq \varphi$$

回转副的自锁条件：

$$a \leq \rho$$

机械的自锁条件：

$$\eta^{*} \leq 0$$



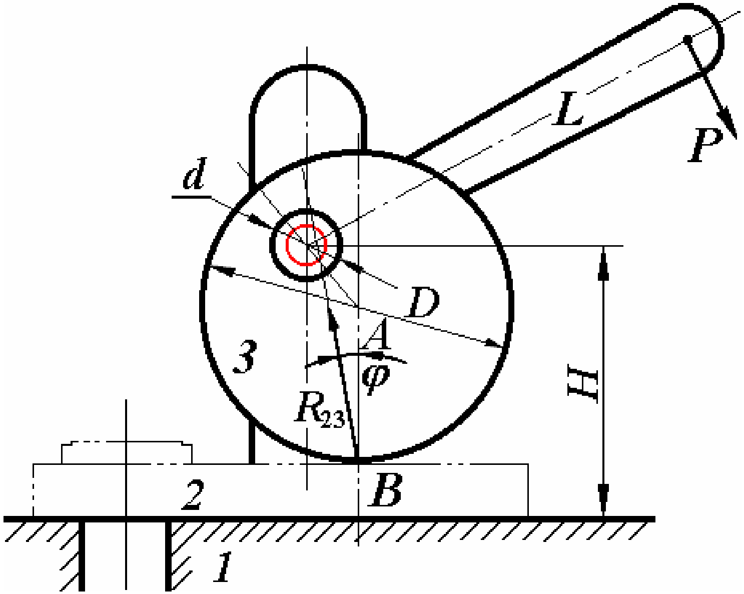
以斜面机构为例： $\eta^{*} = \dfrac{\tan(\alpha - \varphi)}{\tan\alpha} \leq 0 \quad \Leftrightarrow \quad \alpha \leq \varphi$

3-5 机械的自锁

例1 已知偏心夹具的几何尺寸，偏心轴颈的摩擦圆半径为ρ，摩擦角为φ，分析该夹具反行程的自锁条件。

解

若总反力R_{23}与摩擦圆相割，则夹具发生自锁。



3-5 机械的自锁

自锁条件为:

$s - s_1 \le \rho$

在直角ΔABC中

$s_1 = AC = (D\sin\varphi)/2$

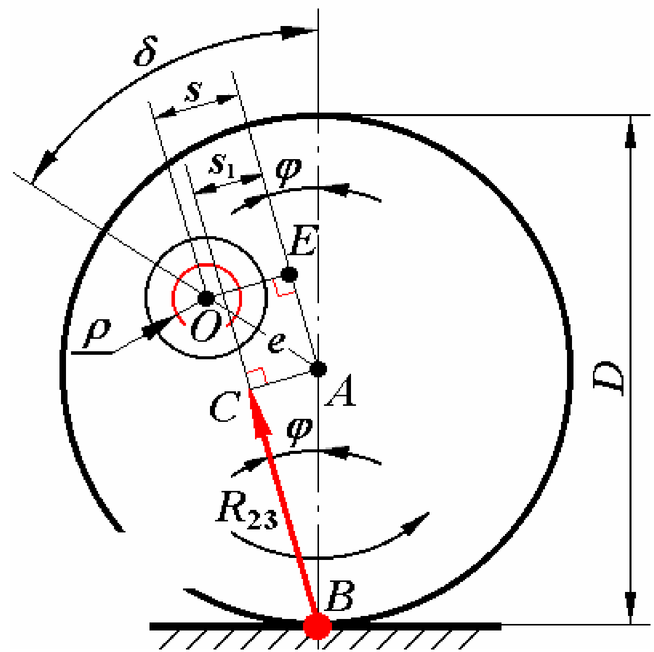
在直角ΔOEA中

$s = OE = e\sin(\delta - \varphi)$

δ称为楔紧角。

自锁条件为:

$e\sin(\delta-\varphi) - (D\sin\varphi)/2 \le \rho$



3-5 机械的自锁

例2 分析斜面压榨机的自锁条件。

解 最小的平衡力**P**与压力**Q**之间的关系为:

$$P = Q\tan(\alpha\text{-}2\varphi)$$

故: $\eta^{*}=P/P_0=\tan(\alpha\text{-}2\varphi)/\tan\alpha$ $\eta^{*}\leq 0$ 即 $\alpha\leq 2\varphi$