



9 机械的平衡

9-1 平衡的目的及内容

9-2 转子的平衡计算

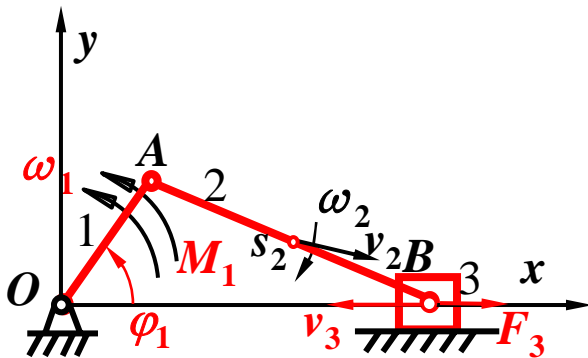
9-3 转子的平衡实验

9-4 机架上的平衡

9 机械的平衡

■ 思考题

- 动能定理的微分形式是什么？
- 将其应用于图示机构，设各构件质量已知。



9-1 平衡的目的及内容

一、平衡的目的

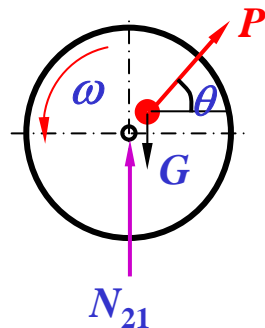
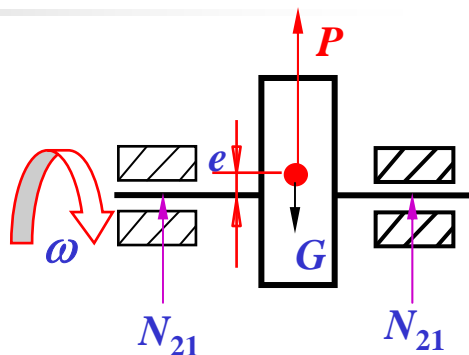
$$P=ma=me\omega^2$$

力 P 的大小方向始终都在变化，将对运动副产生动压力。

附加动压力会产生一系列不良后果：

- ①增加运动副的摩擦，降低机械的使用寿命。
- ②产生有害的振动，使机械的工作性能恶化。
- ③降低机械效率。

平衡的目的：研究惯性力分布及其变化规律，并采取相应的施对惯性力进行平衡，从而减小或消除所产生的附加动压减轻振动、改善机械的工作性能和提高使用寿命。



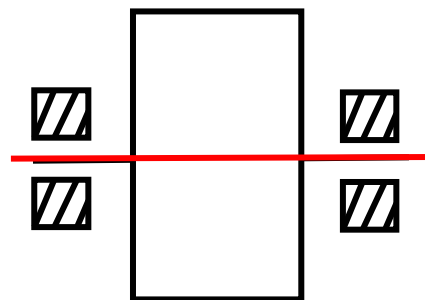
9-1 平衡的目的及内容

二、平衡的内容

1. 回转件的平衡

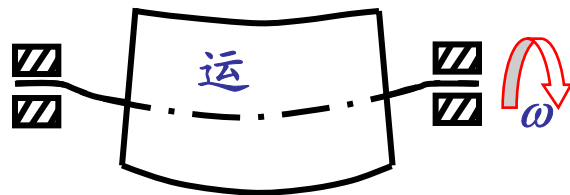
a) 刚性转子的平衡

转速 $n < (0.6 \sim 0.75)n_{c1}$ 。可忽略运动时轴线的变形。采用理论力学的力系平衡的原理进行平衡。



b) 挠性转子的平衡

转速 $n \geq (0.6 \sim 0.75)n_{c1}$ ，且跨度较大，运转时会产生较大的变形。问题复杂，有专门的学科论述。

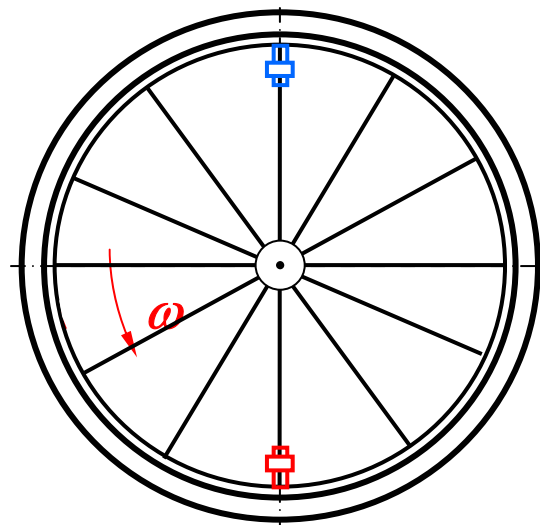
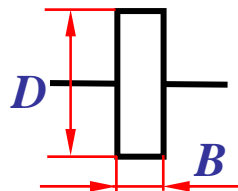


2. 机架上的平衡

9-2 转子的平衡计算

一、静平衡计算

适用范围：轴向尺寸较小的盘形转子（ $B/D < 0.2$ ），如风扇叶轮、飞轮、砂轮等回转件，



静平衡原理：在重心的另一侧加上一定的质量，或在重心同侧去掉一些质量，使质心位置落在回转轴线上。

计算方法：同一平面内各重物所产生的离心惯性力构成一平面汇交力系 P_i ，如果该力系不平衡，那么合力 $\Sigma P_i \neq 0$ 。增加平衡配重 m_b 后，可使新的力系之合力： $P = P_b + \Sigma P_i = 0$

9-2 转子的平衡计算

设各偏心质量分别为 m_i ，偏心距为 r_i ，
转子以 ω 等速回转，

所产生的离心惯性力为： $P_i = m_i \omega^2 r_i$

平衡配重所产生的离心惯性力为： $P_b = m_b \omega^2 r_b$

总离心惯性力的合力为： $P_b + \sum P_i = 0$

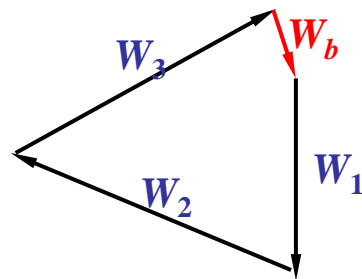
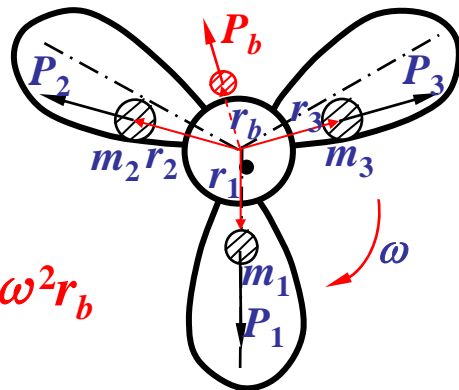
$$m_b \omega^2 r_b + m_1 \omega^2 r_1 + m_2 \omega^2 r_2 + m_3 \omega^2 r_3 = 0$$

$m_b r_b + m_1 r_1 + m_2 r_2 + m_3 r_3 = 0$ 称 $m_i r_i$ 为质径积

$$m_b g r_b + m_1 g r_1 + m_2 g r_2 + m_3 g r_3 = 0$$

$G_b r_b + G_1 r_1 + G_2 r_2 + G_3 r_3 = 0$ 称 $G_i r_i$ 为重径积

可用图解法求解上述矢量方程(选定比例 μ_w)。

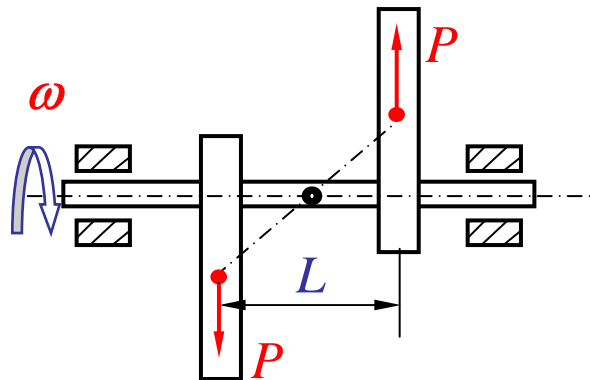


9-2 转子的平衡计算

二、刚性转子的动平衡计算

图示凸轮轴的偏心质量不在同一回转平面内，但质心在回转轴上，在任意静止位置，都处于平衡状态。

运动时有： $P_1 + P_2 = 0$ 但： $M = PL \neq 0$



这种在静止状态下处于平衡，而运动状态下呈现不平衡，称为动不平衡。对此类转子的平衡，称为动平衡。

适用对象：轴向尺寸较大($B/D \geq 0.2$)的转子，如内燃机中的曲轴和凸轮轴、电机转子、机床主轴等。

任意空间力系的平衡条件为： $\Sigma P_i = 0$, $\Sigma M_i = 0$

9-2 转子的平衡计算

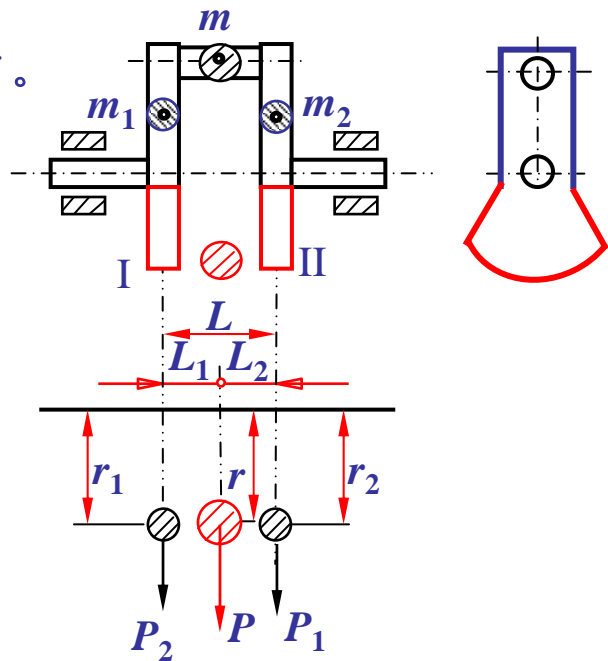
一个力可分解成两个与其平行的分力。

两者等效的条件是：

$$\left. \begin{aligned} P_1 + P_2 &= P \\ P_1 L_2 &= P_2 L_1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} P_1 = \frac{L_1}{L} P \\ P_2 = \frac{L_2}{L} P \end{cases}$$

代入质径积

$$\begin{cases} m_I r_I = \frac{L_1}{L} m r \\ m_{II} r_{II} = \frac{L_2}{L} m r \end{cases}$$



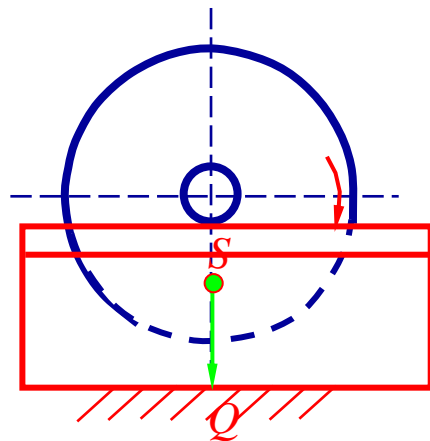
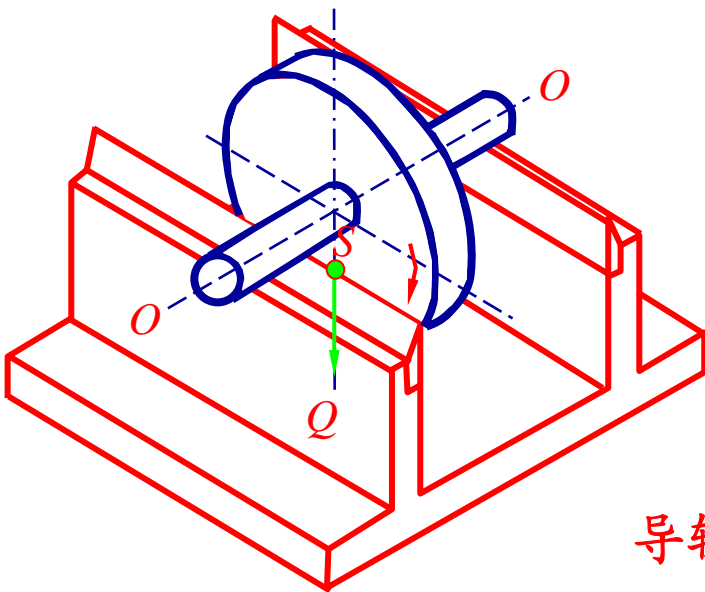
重要结论：任一回转平面内的不平衡质量 m ，可在两个任意的回转平面内进行平衡。故动平衡又称为**双面平衡**。

9-3 转子的平衡实验

一、静平衡实验

导轨式平衡架:

特点: 结构简单、精度高, 但调整困难, 工作效率低, 不适合批量生产, 且要求两轴端直径相同。

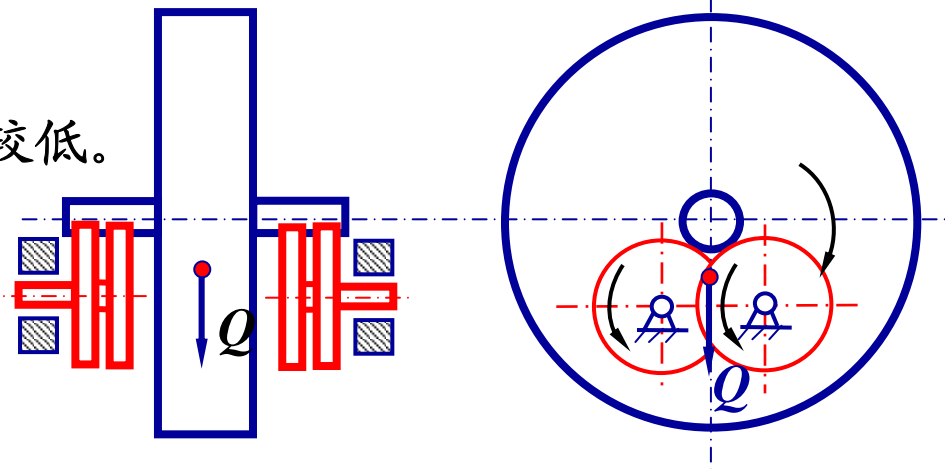


导轨式静平衡架

9-3 转子的平衡实验

滚子式平衡架：

特点：方便，但精度较低。

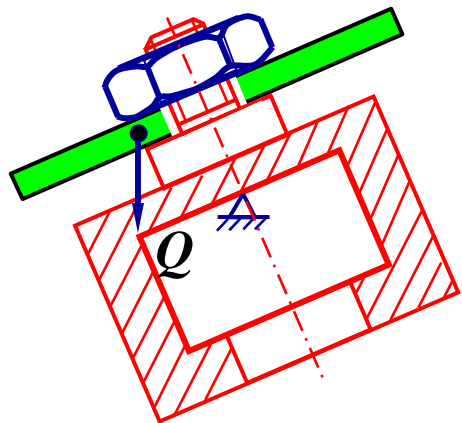


单摆式平衡架：

特点：工作效率高。

二、动平衡实验

原理：通过检测不平衡量产生的振幅和相位，反算出指定两校正平面内的质径积。（具体原理在实验课讲授）



9-4 机架上的平衡

所谓机架上的平衡，就是对总惯性力和总惯性力偶矩进行平衡，即：

$$\Sigma P=0 \quad \Sigma M=0$$

设机构的总质量为 m ，其质心的加速度为 a_s ，机构总惯性力为：

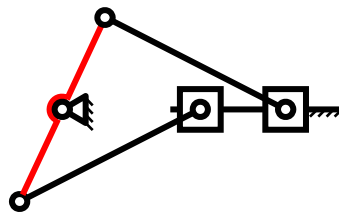
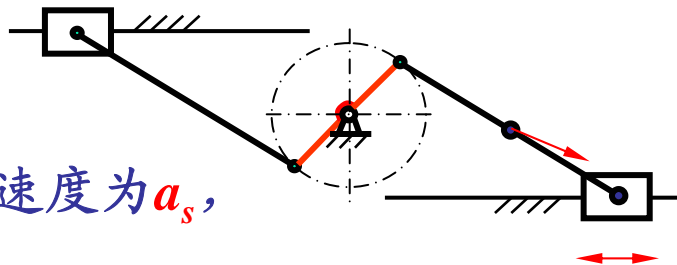
$$\Sigma P = -m a_s$$

要使 $\Sigma P=0$ ，必有 $a_s=0$

质心必须始终静止不动。

根据此结论：对机构进行平衡的原理，就是通过添加平衡配重使机构的质心静止不动。

一、利用对称机构平衡



9-4 机架上的平衡

二、利用平衡质量平衡

图示机构中，构件2的质量 m_2 可以用两个集中在B和C两点的两个质量替换：

$$m_{2B} = m_2 l_{CS'_2} / l_{BC}$$

$$m_{2C} = m_2 l_{BS'_2} / l_{BC}$$

添加平衡质量 m' 、 m'' 之后，使机构的质量中心落在AD连线上固定点S处，达到平衡。

曲柄滑块机构也可以按同样的方法达到平衡。

