

# 第十六章 机械的调速与平衡

## 16.1 概述

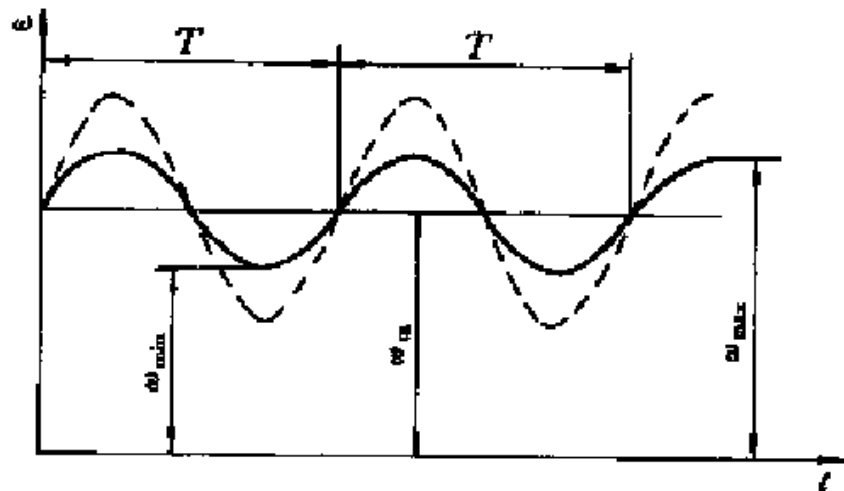
- ◆ **机械的输入功：**机械是在外力(驱动力和阻力)作用下运转的，驱动力所作的功
- ◆ **机械的输出功：**阻力所作的功
- ◆ **机械动能的增减：**输入功与输出功之差
- ◆ 如果输入功在每段时间都等于输出功，则机械的主轴保持匀速转动
- ◆ 当输入功大于输出功时，出现盈功。当输入功小于输出功时，出现亏功

- ◆盈功转化为动能，促使机械动能增加。亏功需动能补偿，导致机械动能减小，引起机械运转速度的波动；
- ◆机械速度波动会使运动副中产生附加的作用力，降低机械效率和工作可靠性；会引起机械振动，影响零件的强度和寿命；还会降低机械的精度和工艺性能，使产品质量下降；
- ◆机械速度波动的调节，限制其不良影响在容许范围之内。

## 16.2 机械速度波动的调节

### 16.2.1 周期性速度波动及其调节

◆当外力作周期性变化时，机械主轴的角速度也作周期性的变化，机械的这种有规律的、周期性的速度变化称为周期性速度波动



◆周期性速度波动重要特征：在一个整周期中，驱动力所作的输入功与阻力所作的输出功是相等的。但是在周期中的某段时间内，输入功与输出功却是不相等的，因而出现速度的波动

◆调节周期性速度波动的常用方法是在机械中加上一个转动惯量很大的回转件——飞轮

$$\Delta E = \frac{1}{2} J (\omega^2 - \omega_0^2)$$

◆盈功时飞轮转速略增并将多余的功以动能的形式储存起来，使机械的速度上升较慢；亏功时飞轮转速略减并将储存的能量释放出来以补充驱动力功的不足，使机械的速度下降较慢；从而把速度波动控制在允许的范围内

◆因此，安装飞轮可以减少机械系统周期性的速度波动，使运转趋于均匀

## 16.2.2 非周期性速度波动及其调节

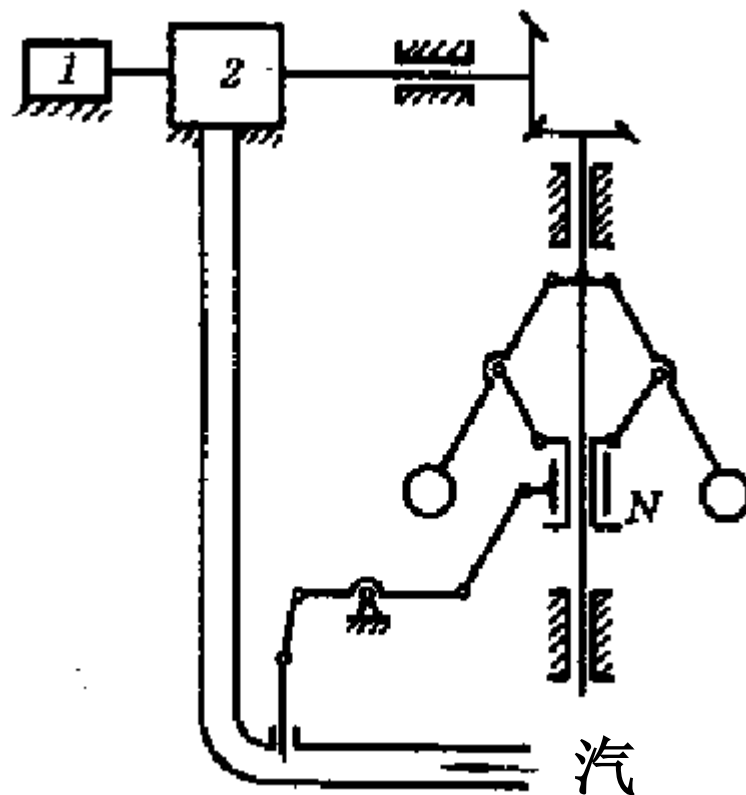
◆在机械运转过程中，由于机械驱动力或阻力的不规则变化等原因使机械动能的平衡关系遭到破坏，因而使机械的运转速度发生不规则的随机变化，称为**非周期性速度波动**

◆如果**输入功**在很长一段时间内总是**大于输出功**，则**机械运转速度将不断升高**，直至超越机械强度所容许的极限转速而导致机械损坏；反之，则**机械运转速度将不断下降**，直至**停车**

◆非周期性速度波动不能依靠飞轮来进行调节。只能采用特殊的装置——**调速器**，使驱动力作的功和阻力作的功趋于平衡，以使机械重新恢复稳定运转

**1** — 工作机

**2** — 原动机



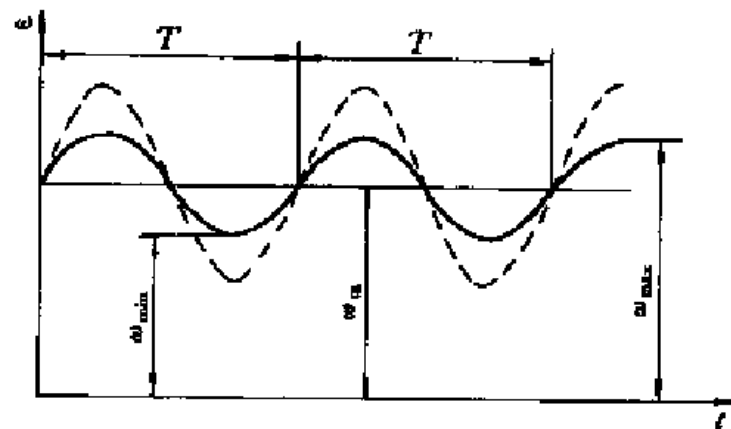
**机械式离心调速器**

## 16.2.3 飞轮的近似设计方法

### 1. 机械运转的平均速度和不均匀系数

◆ 一个周期内其角速度的**实际平均值** $\omega_m$ （额定转速）可用下式计算

$$\omega_m = \frac{1}{T} \int_0^T \omega dt$$



◆ 在工程计算中常近似地以其算术平均值来代替，即

$$\omega_m = \frac{\omega_{\max} + \omega_{\min}}{2}$$

机械运转速度波动的程度用**机械运转速度不均匀系数** $\delta$ 来表示，即

$$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_m}$$

所以， $\delta$ 越小，主轴越接近匀速转动，机械运转就愈平稳

## 2. 飞轮设计的基本原理

◆ **飞轮设计的基本问题：** 已知作用在主轴上的驱动力矩和阻力矩的变化规律，要求在机械运转速度不均匀系数  $\delta$  的容许范围内，确定安装在主轴上的飞轮的转动惯量。

在一般机械中，其他构件所具有的动能与飞轮相比，其值甚小，因此在近似设计中，可以用飞轮的动能代替整个机械的动能。飞轮的最大角速度  $\omega_{\max}$ 、最小角速度  $\omega_{\min}$ ，对应的机械的动能分别为最大动能  $E_{\max}$ 、最小动能  $E_{\min}$ 。  $E_{\max}$  与  $E_{\min}$  之差表示一个周期内动能的最大变化量，它是由最大盈亏功  $A_{\max}$  转化而来的，即：

$$A_{\max} = E_{\max} - E_{\min} = \frac{1}{2} J (\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2)$$

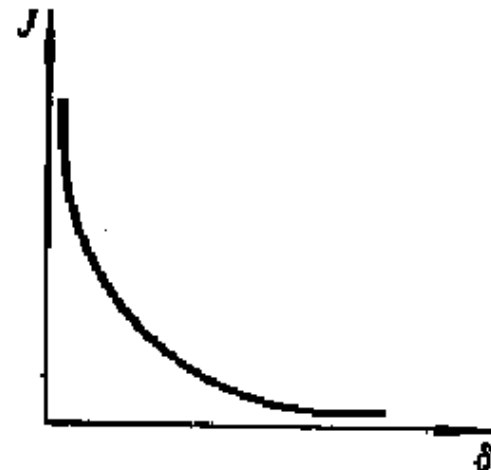
联立方程得：

$$J = \frac{A_{\max}}{\omega_m^2 \delta}$$



$$J = \frac{A_{\max}}{\omega_m^2 \delta}$$

(1)当 $A_{\max}$ 与 $\omega_m$ 一定时， $J$ 与 $\delta$ 成反比。当 $\delta$ 取得很小时，飞轮的转动惯量就会很大。所以，过分追求机械运转的速度均匀性，将使飞轮过于笨重，增加成本



(2)当 $J$ 与 $\omega_m$ 一定时， $A_{\max}$ 与 $\delta$ 成正比，表明最大盈亏功愈大，机械运转愈不均匀。

(3)当 $A_{\max}$ 与 $\delta$ 一定时， $J$ 与 $\omega_m$ 的平方成反比，即主轴的平均转速越高，所需安装在主轴上的飞轮转动惯量越小。因此，为减小飞轮的转动惯量，宜将飞轮安装在机械的高速轴上

## 16.3 回转件的平衡计算

### 16.3.1 静平衡计算

◆**适用对象**：轴向尺寸较小的回转件，如风扇叶轮、飞轮、砂轮

◆**静不平衡与静平衡**：回转体不平衡在其静止时即会表现出来，称其为**静不平衡**；对静不平衡回转体的平衡称为**静平衡**

◆**平衡原理**：在同一回转面内加一质量 $m_b$ （或在相反方向减一质量），使离心力达到平衡

◆**例题**：

同一平面内各质量所产生的离心力构成一个平面汇交力系 $\mathbf{F}_i$

增加一个质量  $m_b$  后，可使新的力系之合力：

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_b + \sum \mathbf{F}_i = 0$$

根据离心力计算公式，得：

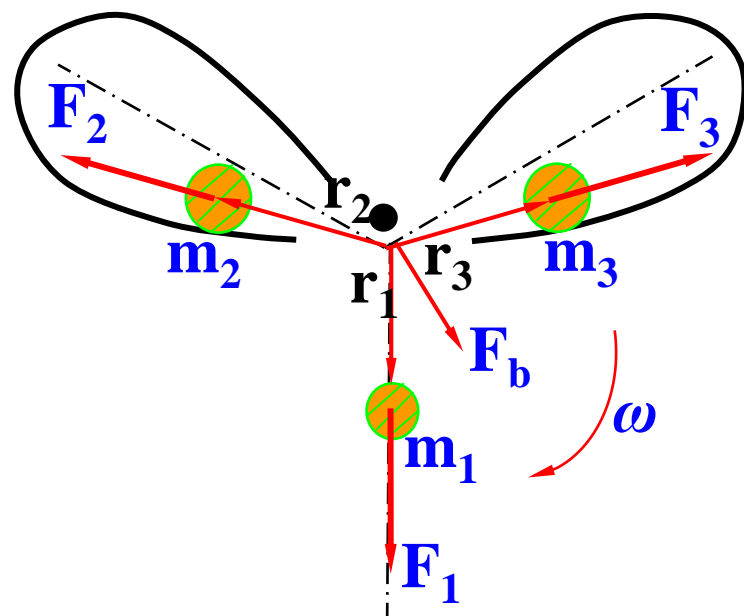
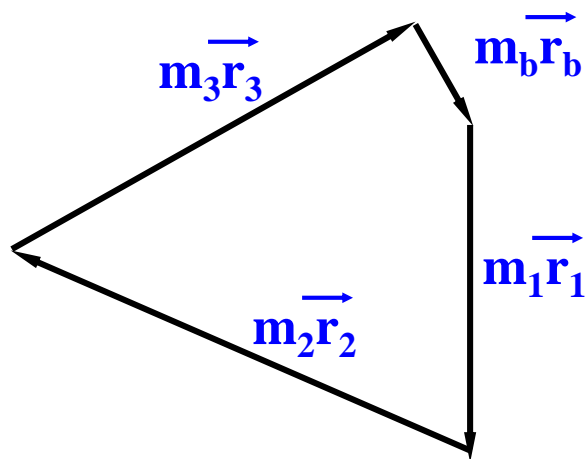
$$m_b r_b \omega^2 + \sum m_i r_i \omega^2 = 0$$

即：  $m_b r_b + \sum m_i r_i = 0$

称  $m_b r_b$  ,  $m_i r_i$  为质径积

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

可用图解法（向量多边形）求解此  
矢量方程(选定比例 $\mu_w$ )。

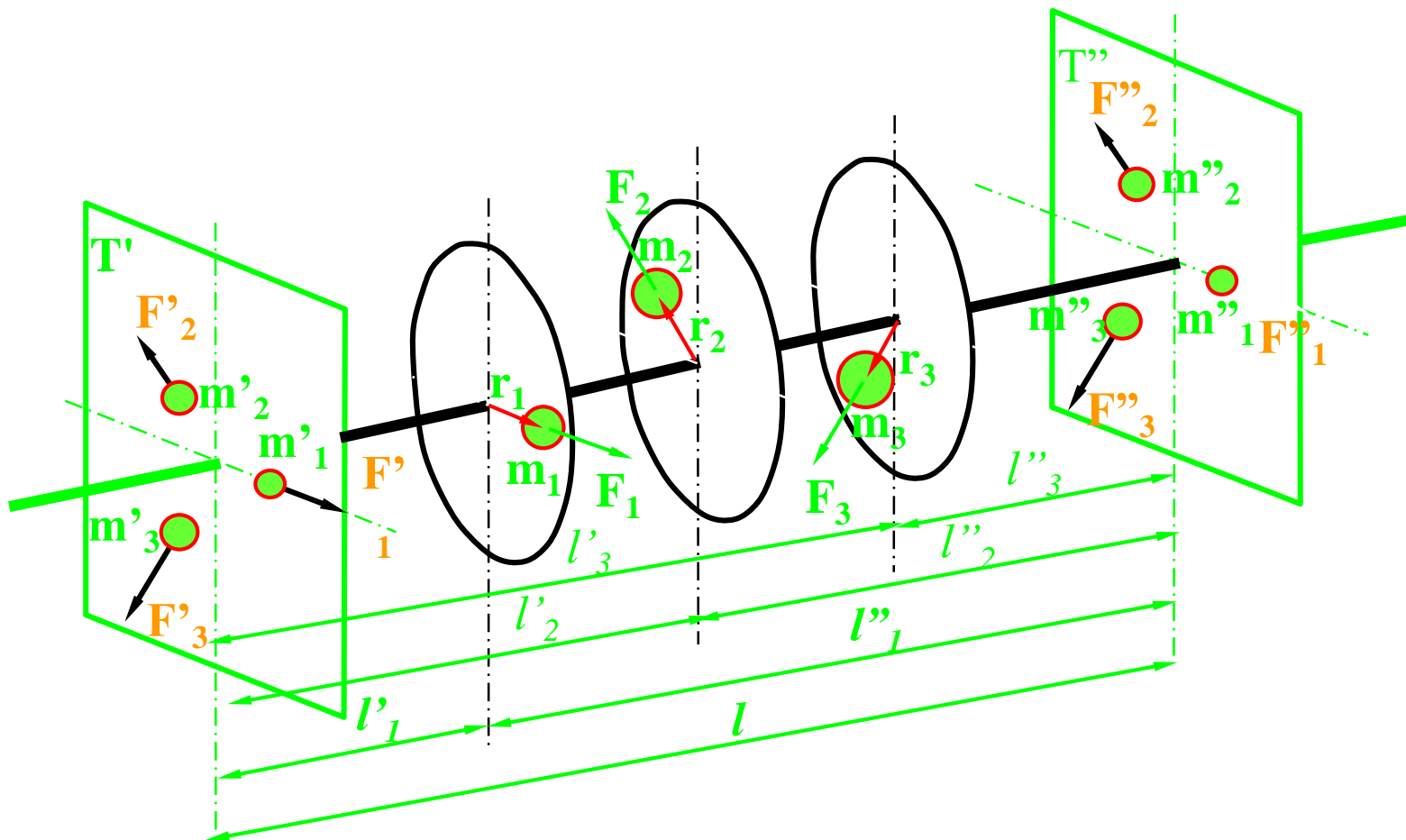


## 16.3.2 动平衡计算

◆**适用对象**：轴向尺寸较大的回转件，如内燃机中的曲轴和凸轮轴、电机转子、汽轮机转子

◆**动平衡**：偏心质量不在同一回转平面内，产生的离心力形成一个**不汇交**空间力系。根据空间力系平衡条件，必须使其合力及合力偶矩等于零，对此类回转件的平衡，称为**动平衡**

◆**例题**：在垂直于轴线的三个回转面内分布三个偏心质量 $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ ，其对应的向径为 $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ ，试对其作动平衡计算



$$m'_1 = \frac{l'_1}{l} m_1$$

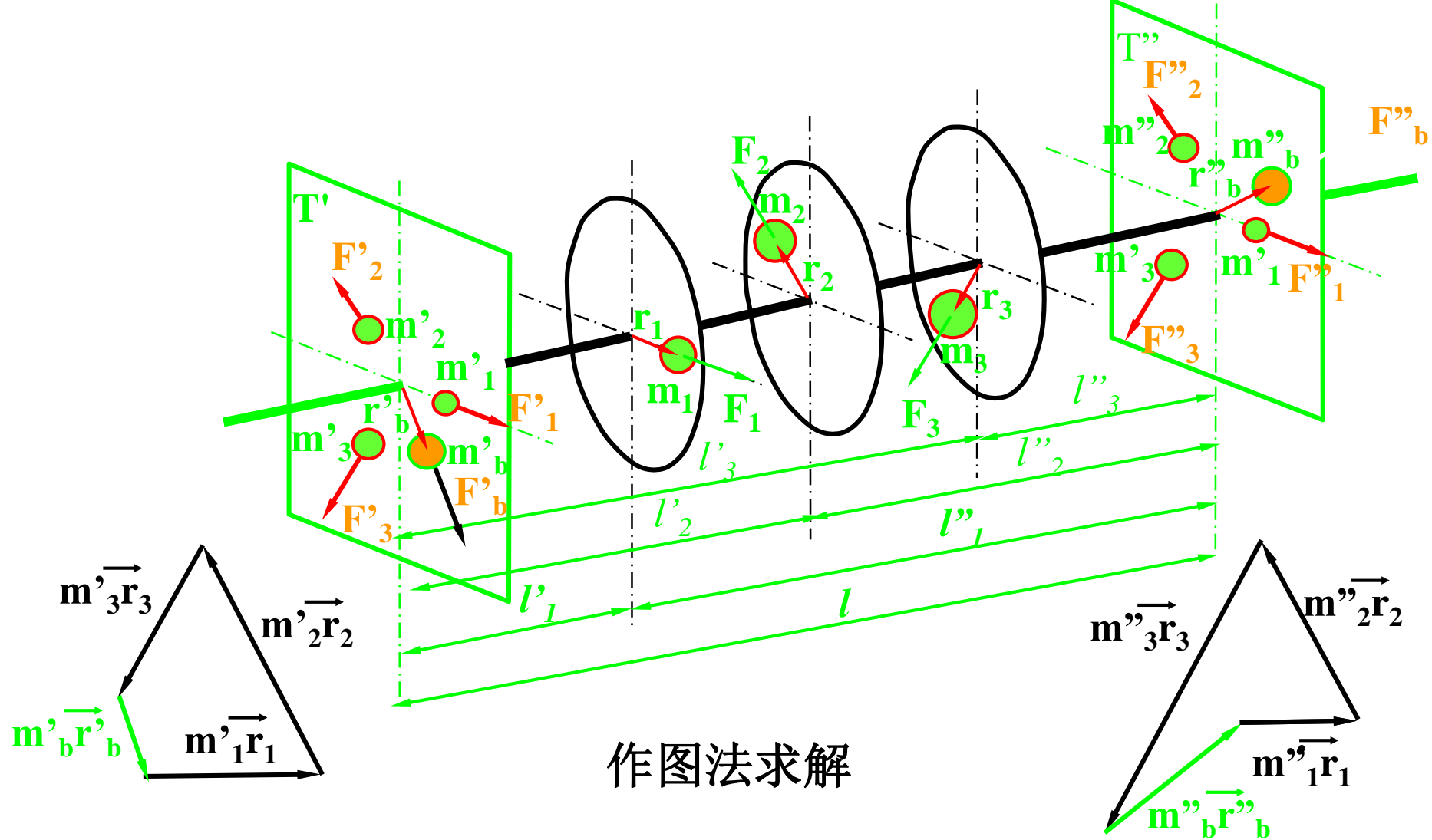
$$m''_1 = \frac{l''_1}{l} m_1$$

$$m'_2 = \frac{l'_2}{l} m_2$$

$$m''_2 = \frac{l''_2}{l} m_2$$

$$m'_3 = \frac{l'_3}{l} m_3$$

$$m''_3 = \frac{l''_3}{l} m_3$$



$$m'_b \vec{r}'_b + m'_1 \vec{r}_1 + m'_2 \vec{r}_2 + m'_3 \vec{r}_3 = 0$$

$$m''_b \vec{r}''_b + m''_1 \vec{r}_1 + m''_2 \vec{r}_2 + m''_3 \vec{r}_3 = 0$$