



液压传动及控制I

— 液压泵和马达

浙江大学
流体动力与机电系统国家重点实验室
2022. 11



□ 概述功能、分类与参数

□ 液压泵

- 齿轮泵
- 叶片泵
- 柱塞泵
- 液压泵的气穴现象

□ 液压马达

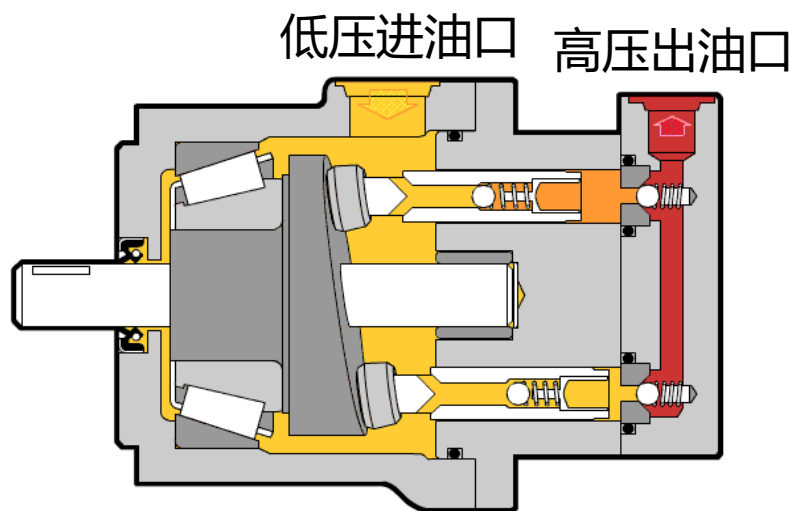


- 液压泵

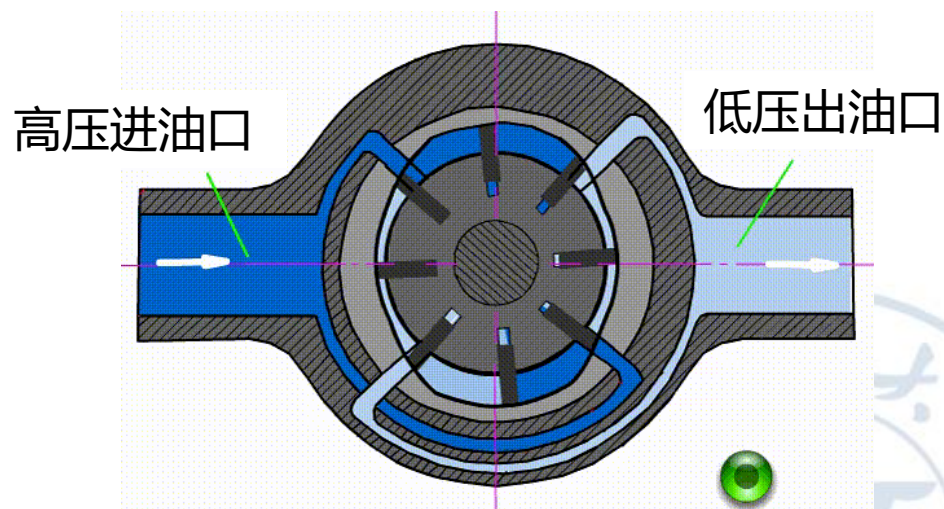
- 机械能→液压能、

- 液压马达

- 液压能→机械能

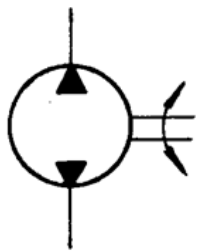


液压泵

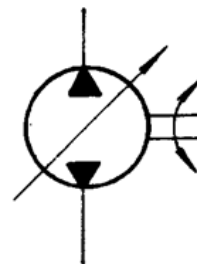


液压马达

- 按单位时间输出油液体积能否调节划分：

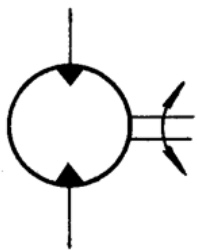


定量液压泵

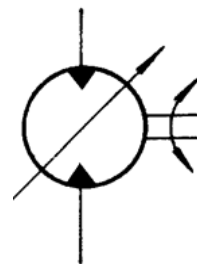


变量液压泵

液压泵的图形符号



定量液压马达



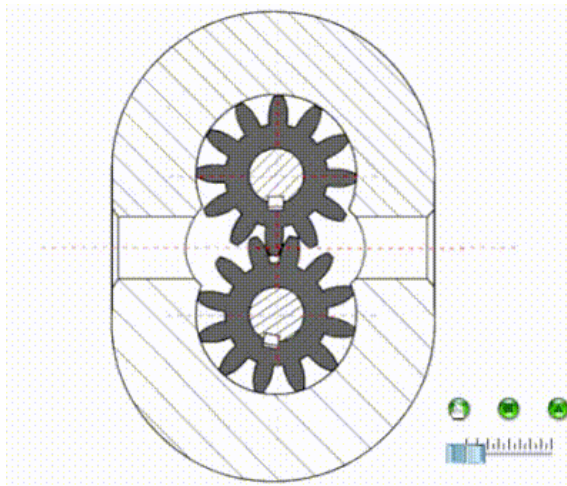
变量液压马达

液压马达的图形符号

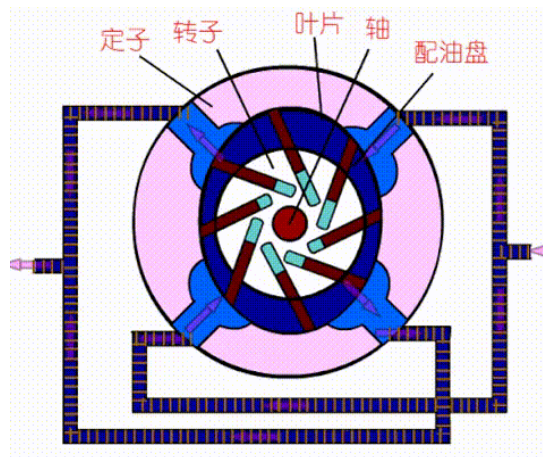


- 按结构形式划分：

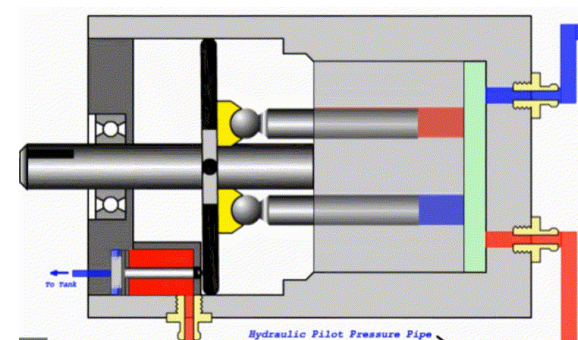
齿轮式



叶片式



柱塞式



- 压力

- 工作压力：泵输出压力，马达输入压力，由负载决定，变化值
- 额定压力：正常工作条件下，连续运转的最高压力，标称值

- 排量

- 无泄漏情况下，泵（马达）轴每一转所排出（输入）的液体体积排量

- 流量

- 单位时间内排出（输入）的液体体积



- 理论流量

$$q_t = V \cdot n \quad V \text{ — 排量, } n \text{ — 转速}$$

- 理论转矩

$$T_t = \Delta p \cdot V \quad \Delta p \text{ — 进出口压差}$$

- 由于油液泄漏、摩擦损失等原因，泵实际输出流量小于理论流量，马达实际输出转矩小于理论转矩



- 输入功率

- 液压泵: $P = T \cdot \omega$ T — 泵输入转矩, ω — 泵输入转速
- 液压马达: $P = p \cdot q$ p — 马达输入压力, q — 马达输入流量

- 输出功率

- 液压泵: $P = p \cdot q$ p — 泵输出压力, q — 泵输出流量
- 液压马达: $P = T \cdot \omega$ T — 马达输出转矩, ω — 马达输出转速

- 液压泵、马达在能量转换过程中存在损失, **输出功率小于输入功率**

- 容积效率

– 液压泵：

$$\eta_V = \frac{q}{q_t} = 1 - \frac{k_1 p}{Vn}$$

k_1 — 流量损失系数， V — 泵排量， n — 泵转速

泵输出压力越高、排量或转速越低，容积效率越低

– 液压马达：

$$\eta_V = \frac{q_t}{q} = 1 - \frac{k_1 p}{q}$$

Δp — 流量损失， q — 马达输入流量

马达输入压力越高、或输入流量越低，容积效率越低



• 机械效率

– 液压泵：

$$\eta_m = \frac{T_t}{T} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta T}{T_t}}$$

ΔT — 转矩损失, T_t — 泵理论输入转矩

由于机械摩擦, 泵实际输入转矩大于理论转矩

– 液压马达：

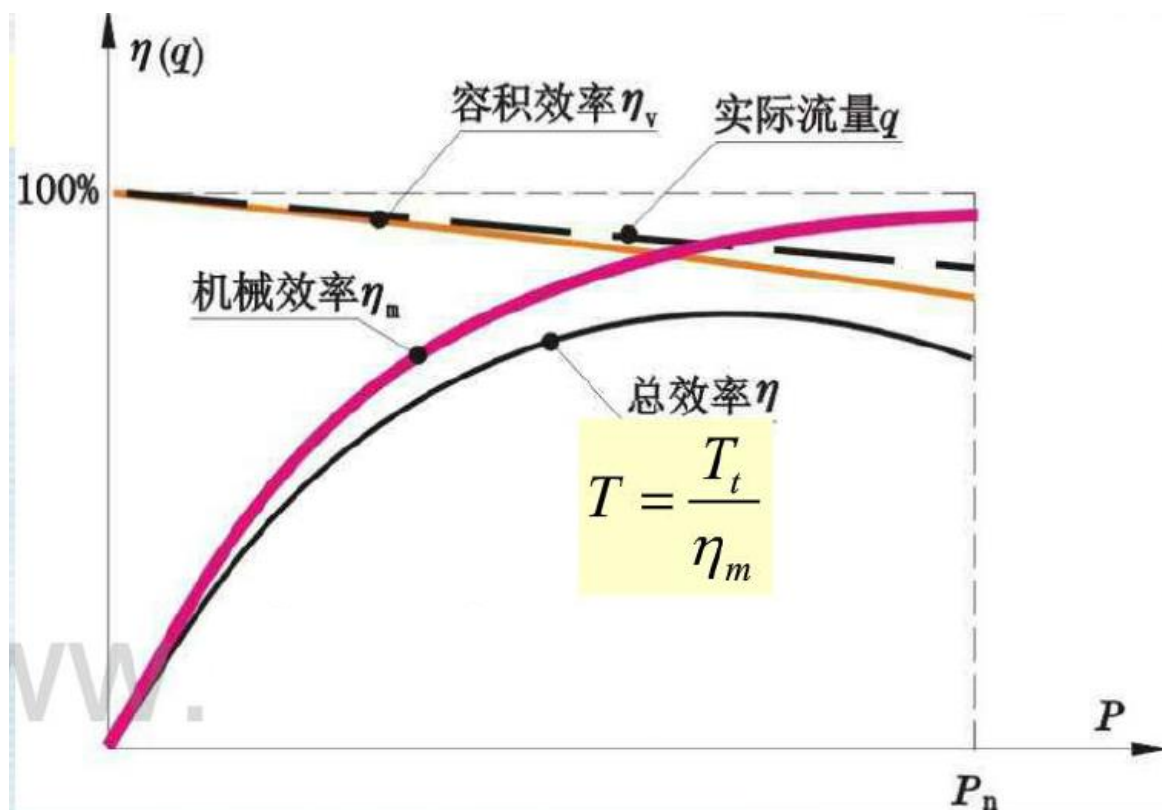
$$\eta_m = \frac{T}{T_t} = 1 - \frac{\Delta T}{T_t}$$

由于机械摩擦, 马达实际输出转矩小于理论转矩

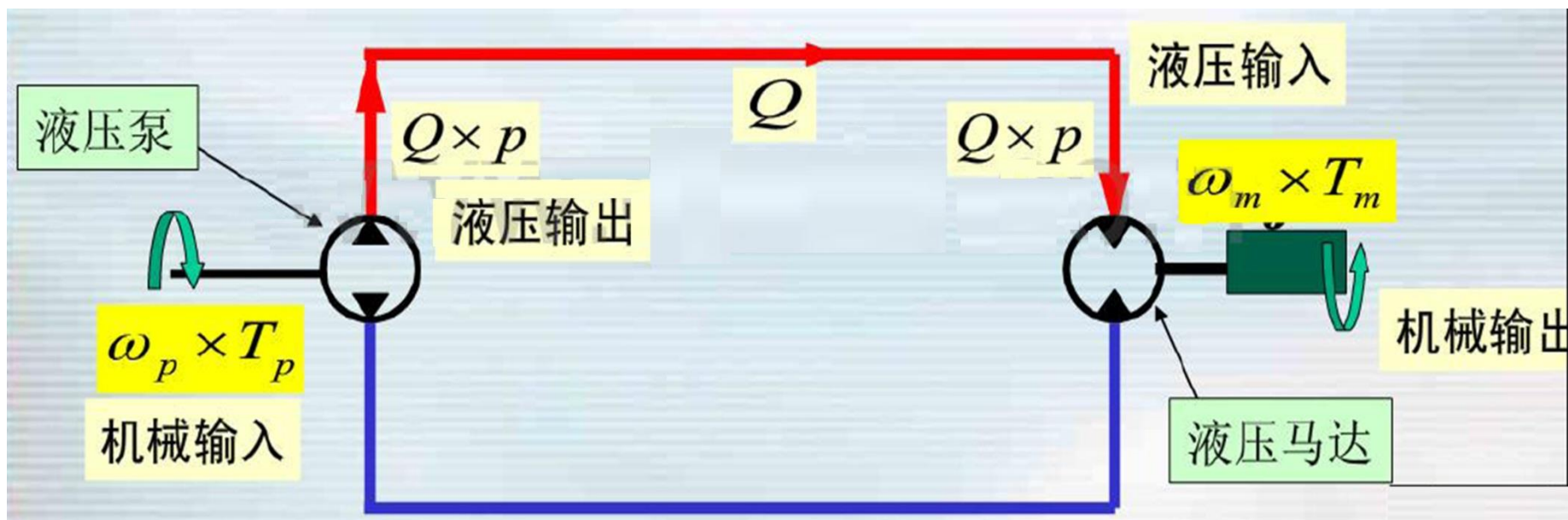


- 液压泵（马达）总效率

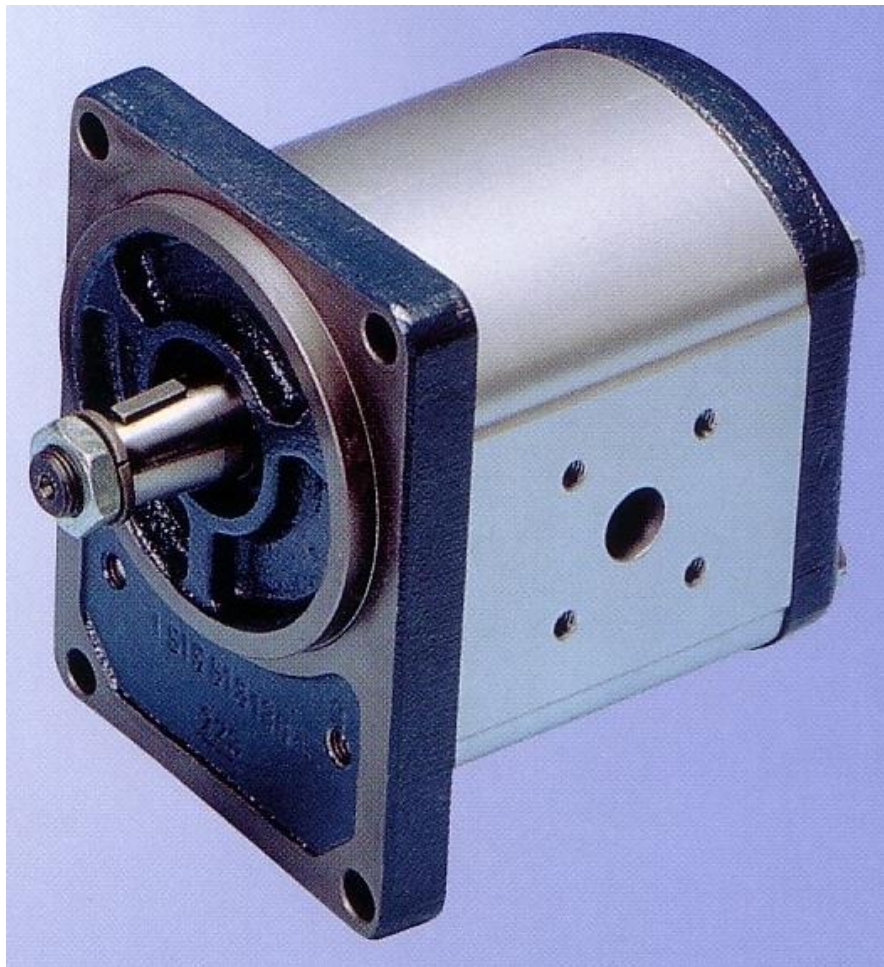
$$\eta = \eta_v \eta_m$$



- 原动机驱动液压泵，存在**机械损失**和**容积损失**
- 液压泵通过管路输出液压能给液压马达
- 液压马达经过**机械损失**和**容积损失**，输出扭矩和转速



- 概述
- 结构与种类
- 参数计算
- 关键技术



• 工作原理

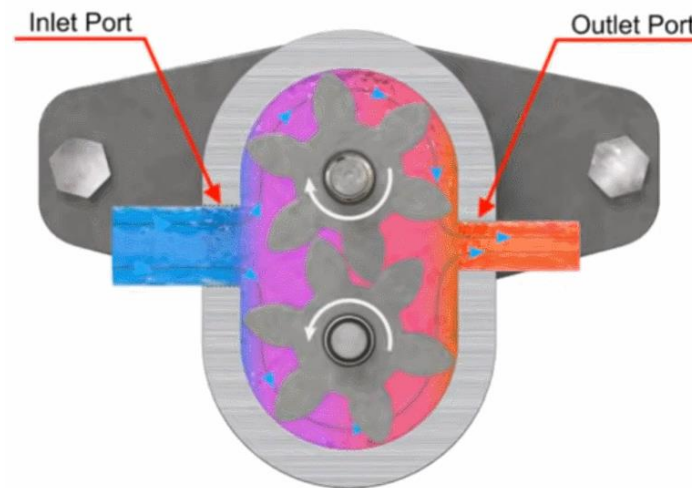
- 主要由壳体、一对外啮合齿轮和两个端盖组成
- 通过密封工作腔容积变化吸油、排油
- 啮合线起配流作用，不需要配流机构

• 优点

- 结构简单，尺寸小，制造方便，价格低
- 工作可靠，自吸能力强，抗油液污染能力强，维护容易

• 缺点

- 流量脉动、压力脉动和噪声较大



外啮合齿轮泵

- 排量

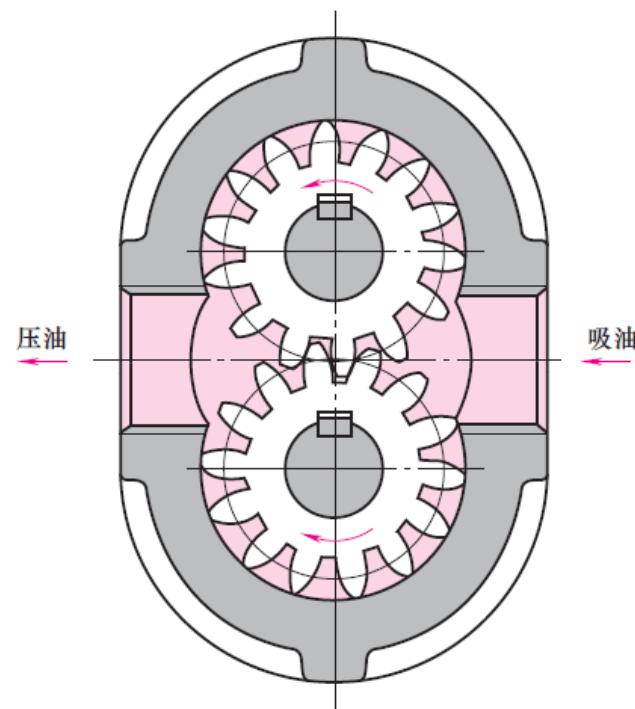
$$V = C2\pi zm^2b$$

z — 齿轮齿数

C — 修正系数, 与齿数有关

m — 齿轮模数

b — 齿轮齿宽



外啮合齿轮泵

- 流量脉动率

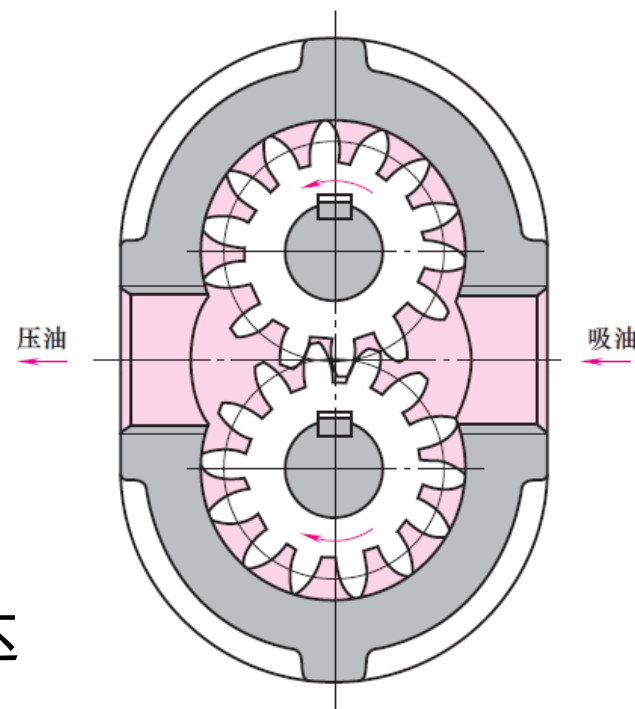
$$\sigma = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q}$$

q_{\max} — 最大瞬时流量

q_{\min} — 最小瞬时流量

q — 平均流量

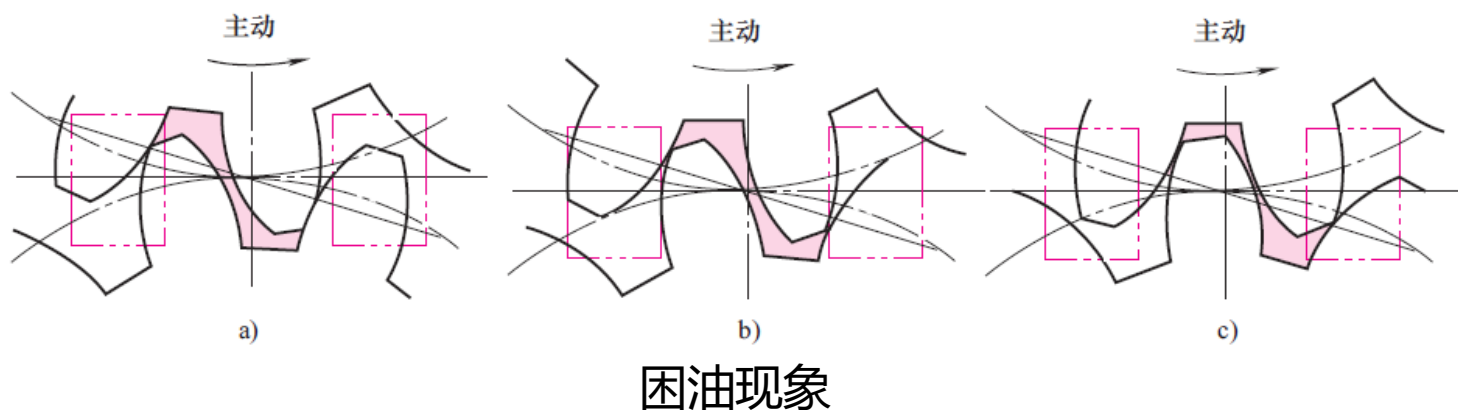
- 齿数越少，脉动率越大，最高可达0.2以上



外啮合齿轮泵

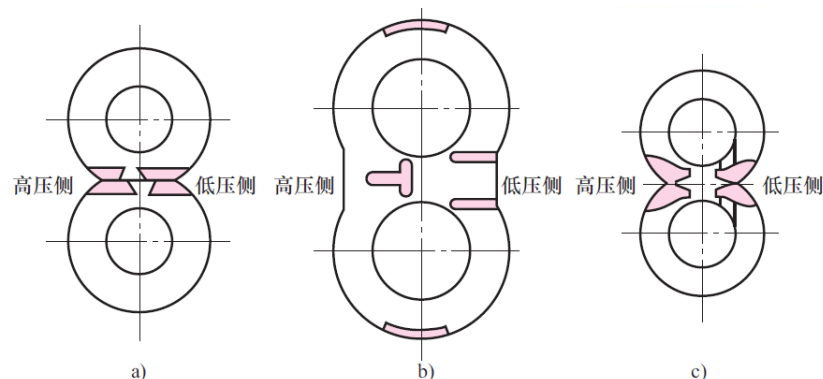
• 困油现象

- 封闭腔容积减小，产生高压，油液发热，机件受到额外负载
- 封闭腔容积增大，产生真空，造成气穴现象，产生强烈振动和噪声



• 解决办法

- 两侧盖板开卸荷槽

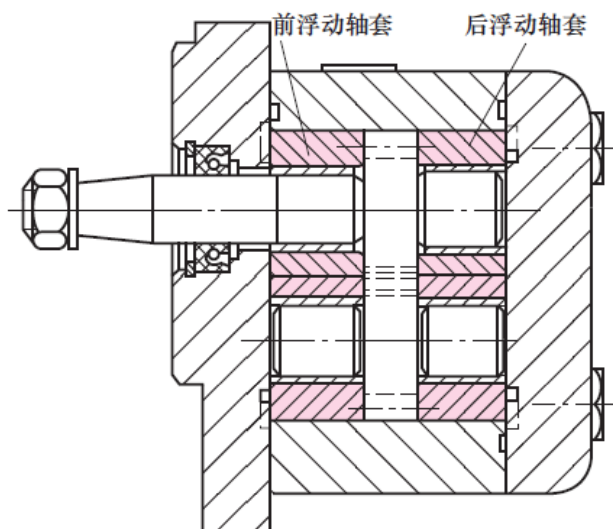


• 泄漏现象

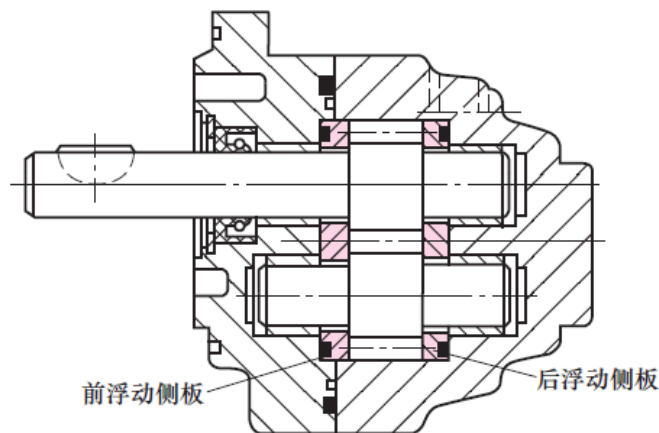
- 高压油通过齿轮两侧面、两端盖间轴线间隙等泄漏到低压腔
- 两端盖间轴向间隙对泄漏影响最大，占总泄漏量75%~80%

• 解决办法

- 轴向间隙自动补偿，如浮动轴套、浮动侧板等



带浮动轴套的齿轮泵



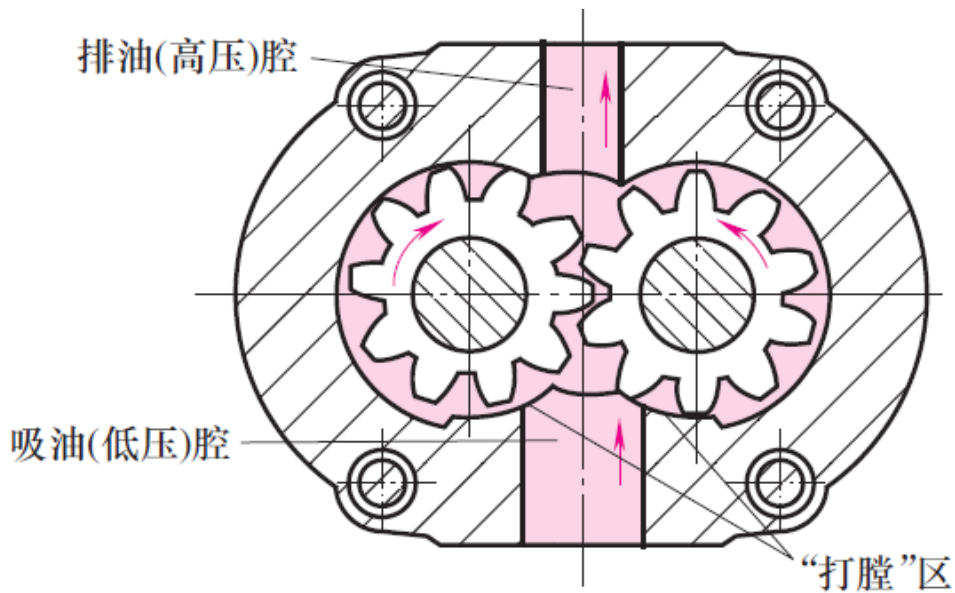
带浮动侧板的齿轮泵

• 径向不平衡力

- 径向间隙内油液对齿轮轴存在径向作用力
- 工作压力越高，径向不平衡力越大，直接影响轴承寿命

• 解决办法

- 缩小压油口，并用扩大泵体内腔高压区径向间隙来实现径向补偿



扩大高压区径向间隙的齿轮泵

- 工作原理与外啮合齿轮泵相同

- 优点

- 结构紧凑
- 齿轮磨损小、使用寿命长
- 流量脉动、压力脉动和噪音小
- 转速高，容积效率高

- 缺点

- 齿形复杂，加工精度要求高，价格高

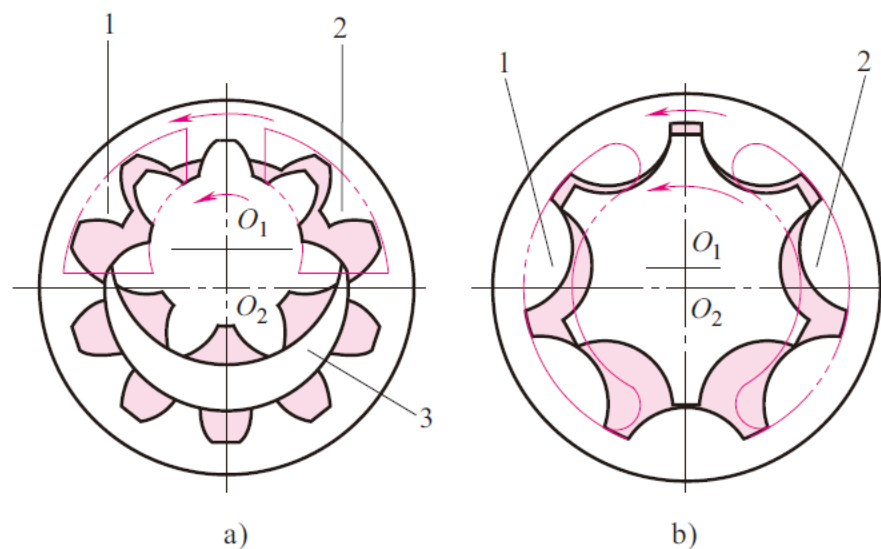
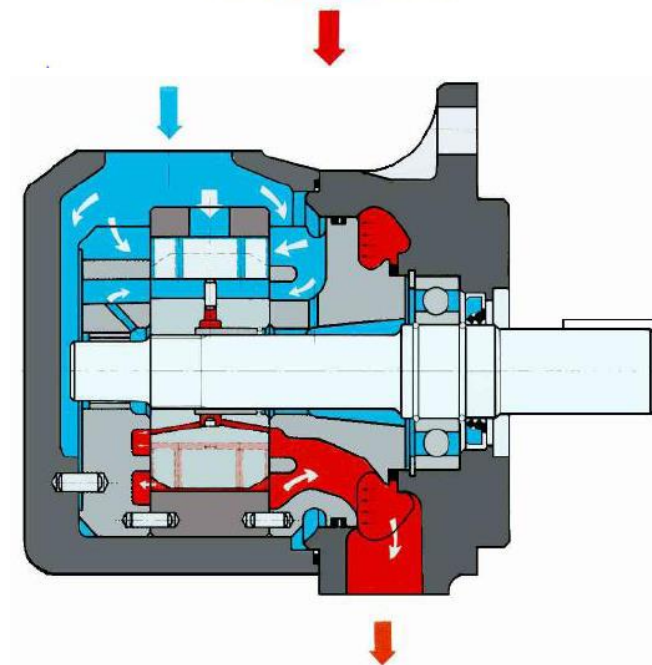
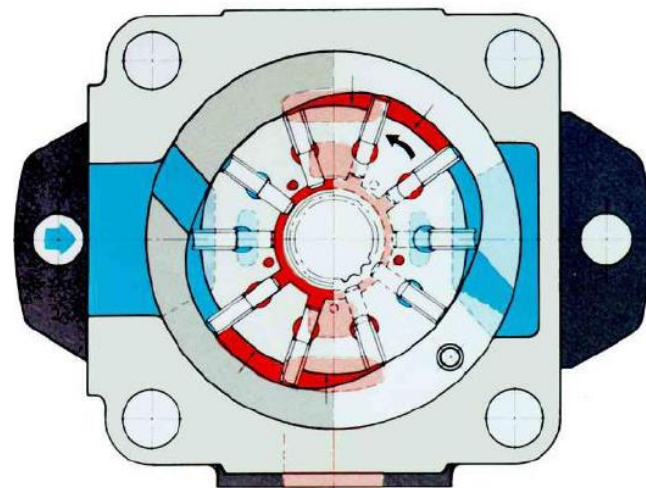


图 2-9 内啮合齿轮泵

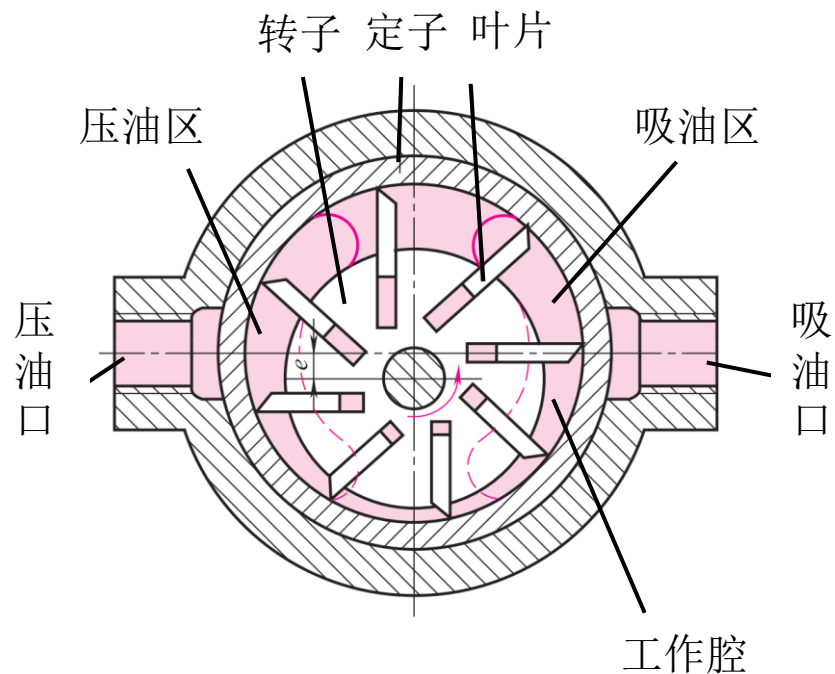
a) 渐形线内啮合齿轮泵 b) 摆线内啮合齿轮泵

1—吸油腔 2—压油腔 3—隔板

- 原理、特点
- 结构与种类
- 参数计算
- 关键技术



- 定子和转子之间偏心，叶片可在转子槽中滑动，工作时叶片紧靠定子内壁，形成密封工作腔。
- 转子每转一周，完成一次吸油和压油。



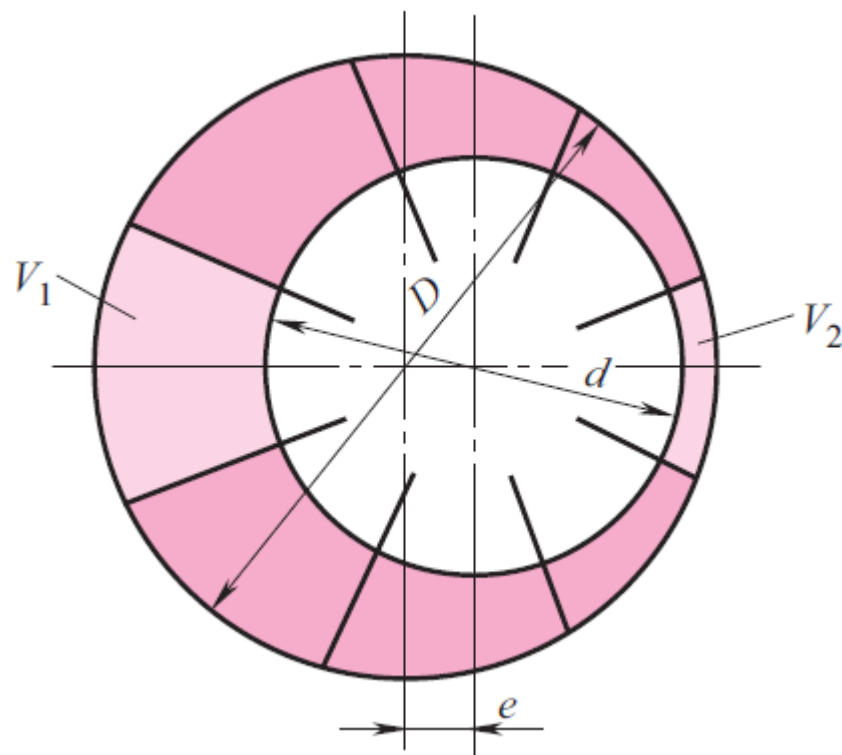
□ 排量近似为：

$$V = 2be\pi D$$

D —— 定子内圆直径

e —— 转子和定子间偏心距

b —— 转子宽度



□ 流量脉动

- 叶片数越多，流量脉动率越小
- 奇数叶片比偶数叶片脉动率小



- 通过改变偏心距来调节排量，偏心反向时，吸油、压油方向相反。
- 压油侧叶片底部与压油腔连通，吸油侧仅依靠离心力，保证叶片顶紧定子内表面。
- 单作用叶片泵转子受到不平衡径向液压作用力。

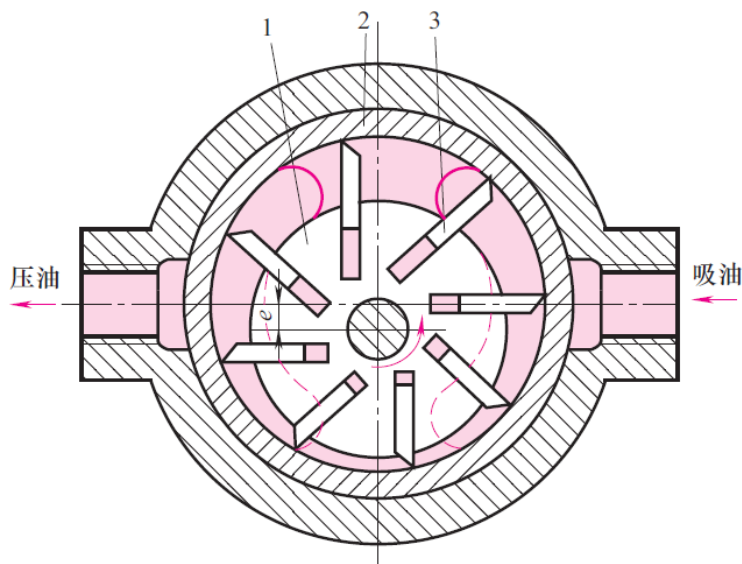


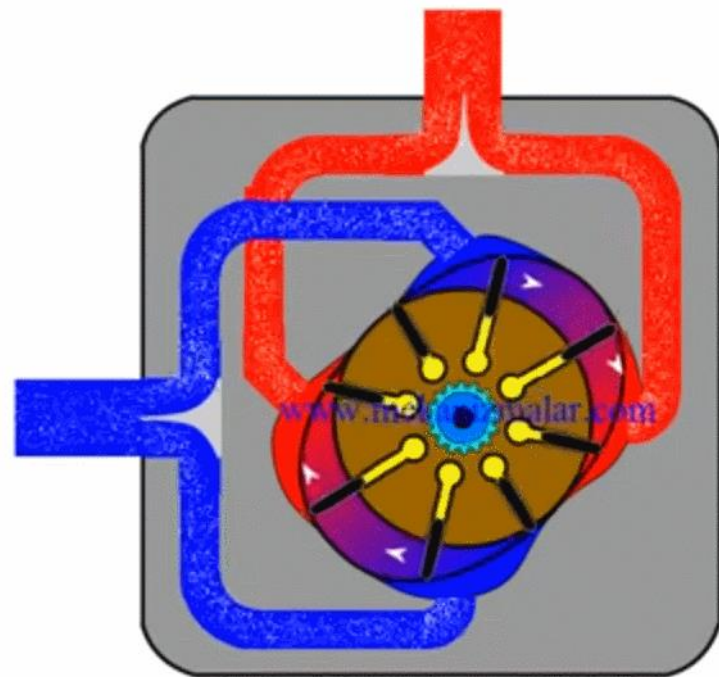
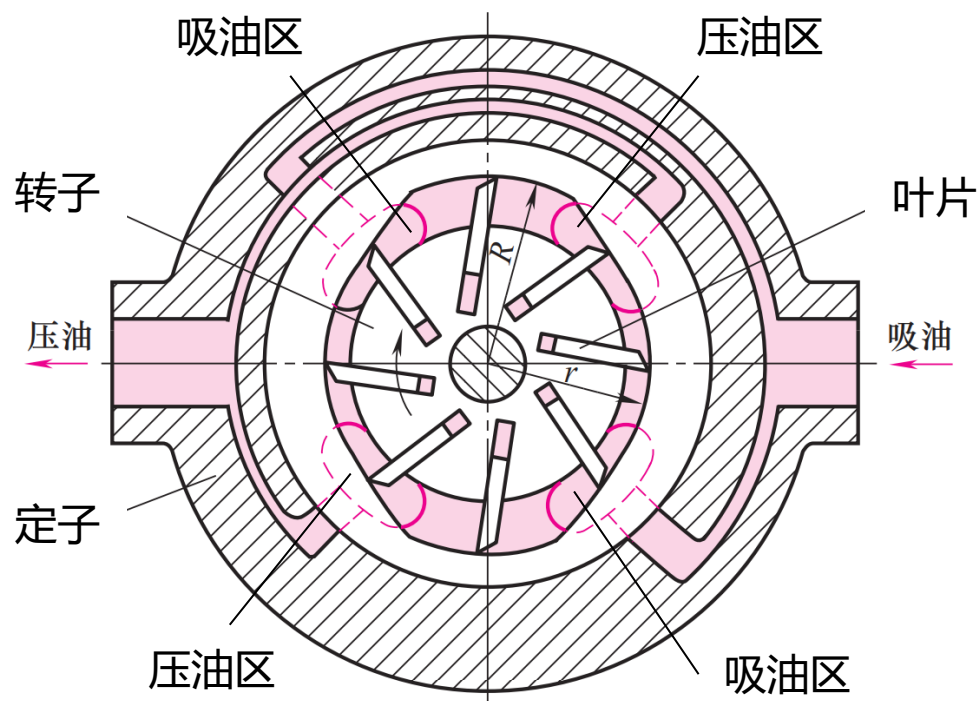
图 2-10 单作用叶片泵工作原理

1—转子 2—定子 3—叶片

□ 又称平衡式叶片泵

□ 定子内表面近似椭圆，转子和定子同心，有两个吸油区和两个压油区对称布置。

□ 转子每转一周，完成两次吸油和压油。



□ 排量为：

$$q = 2b \left[\pi(R^2 - r^2) - \frac{(R - r)}{\cos \theta} sz \right]$$

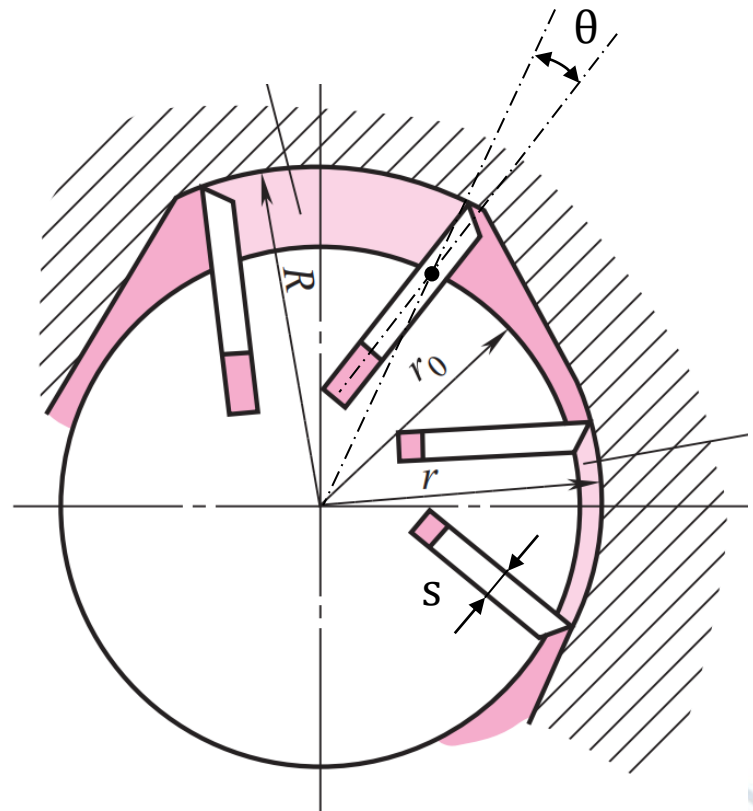
R 、 r —— 定子内圆长、短半径

z —— 叶片数

b —— 转子宽度

s —— 叶片厚度

θ —— 叶片倾角

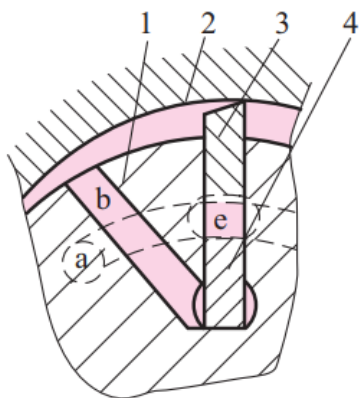


□ 流量脉动：

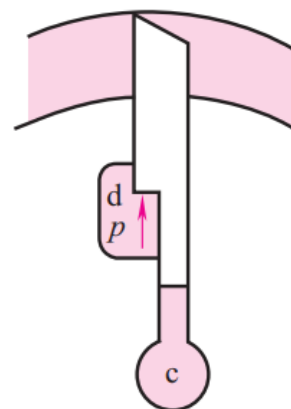
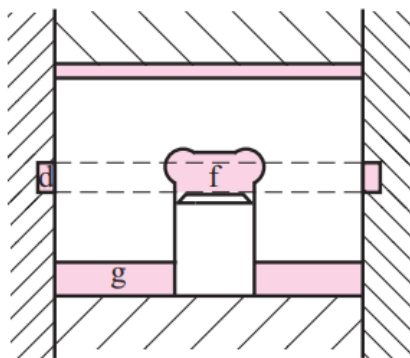
脉动率比其他泵小得多，叶片为4的倍数时最小

定子曲线影响泵的流量均匀性、噪声、磨损等

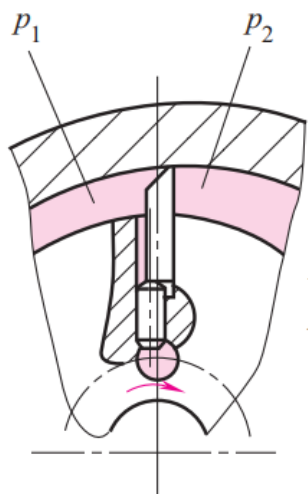
□ 保证叶片顶紧定子内表面，又要减少磨损



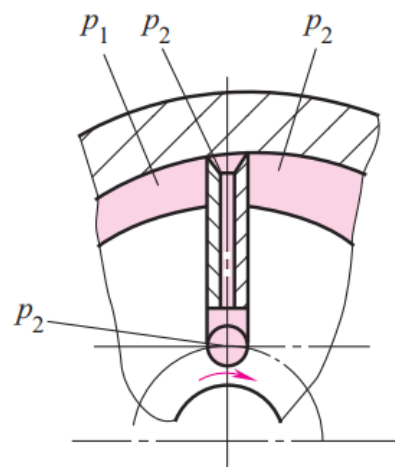
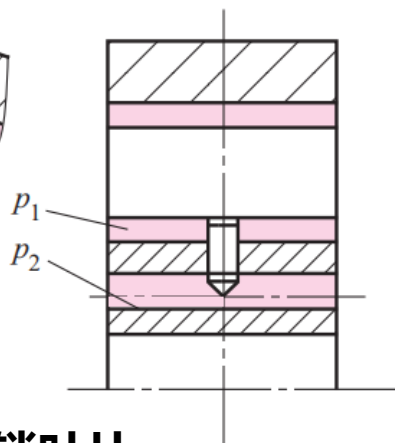
子母叶片



阶梯叶片



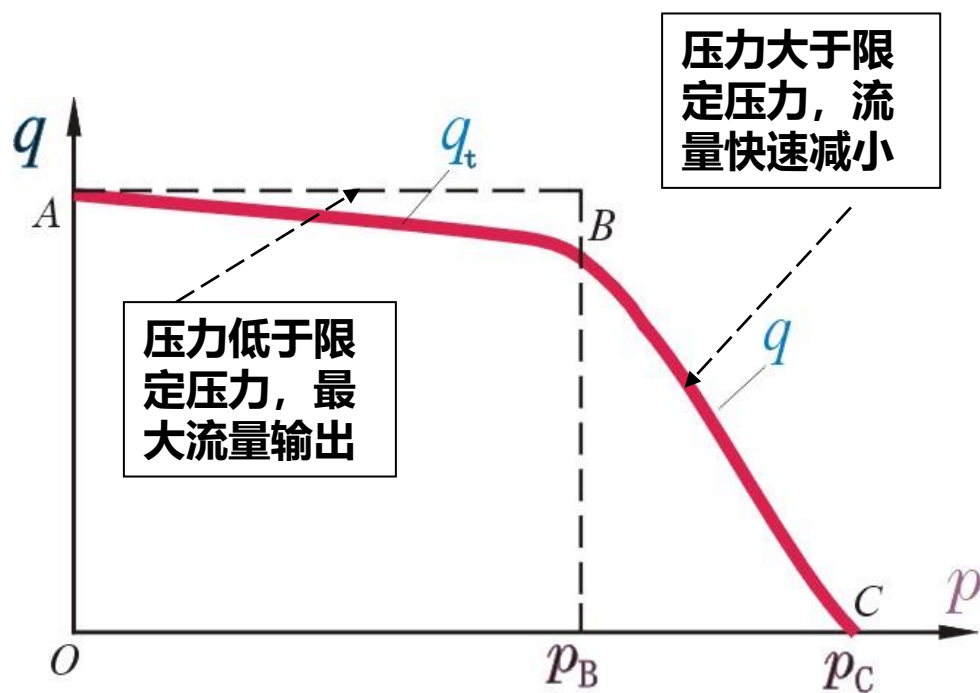
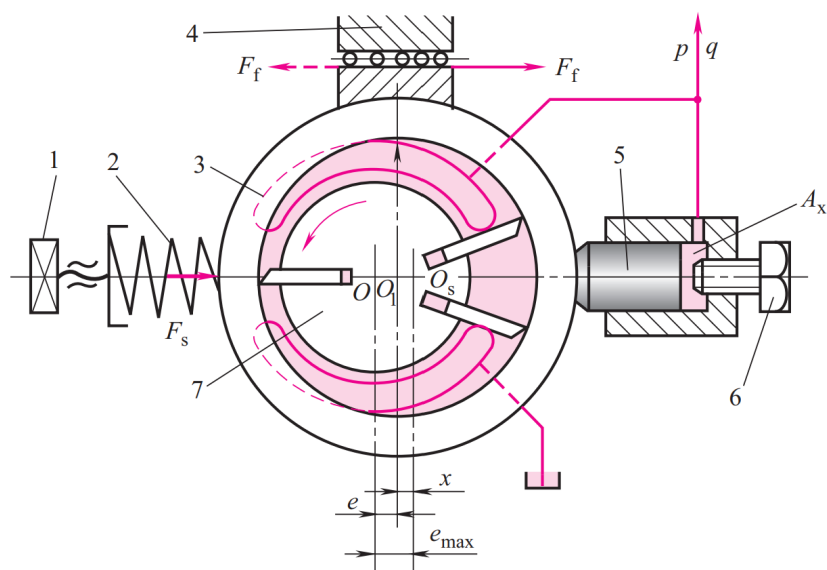
柱销叶片



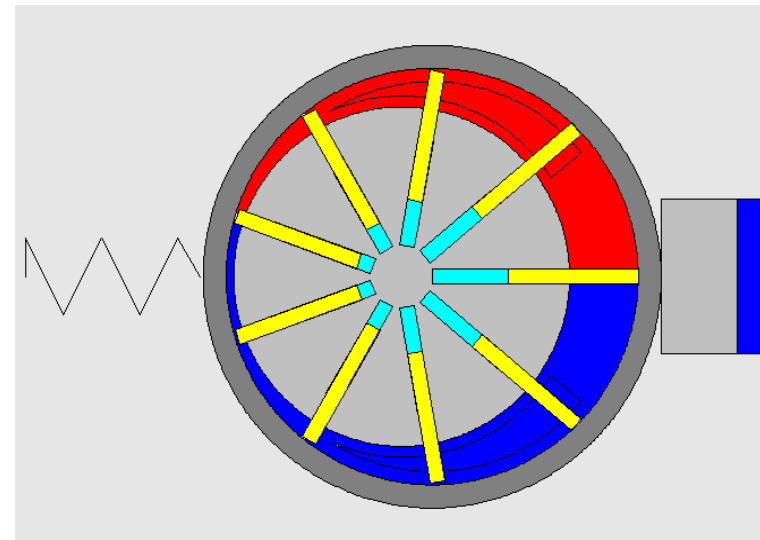
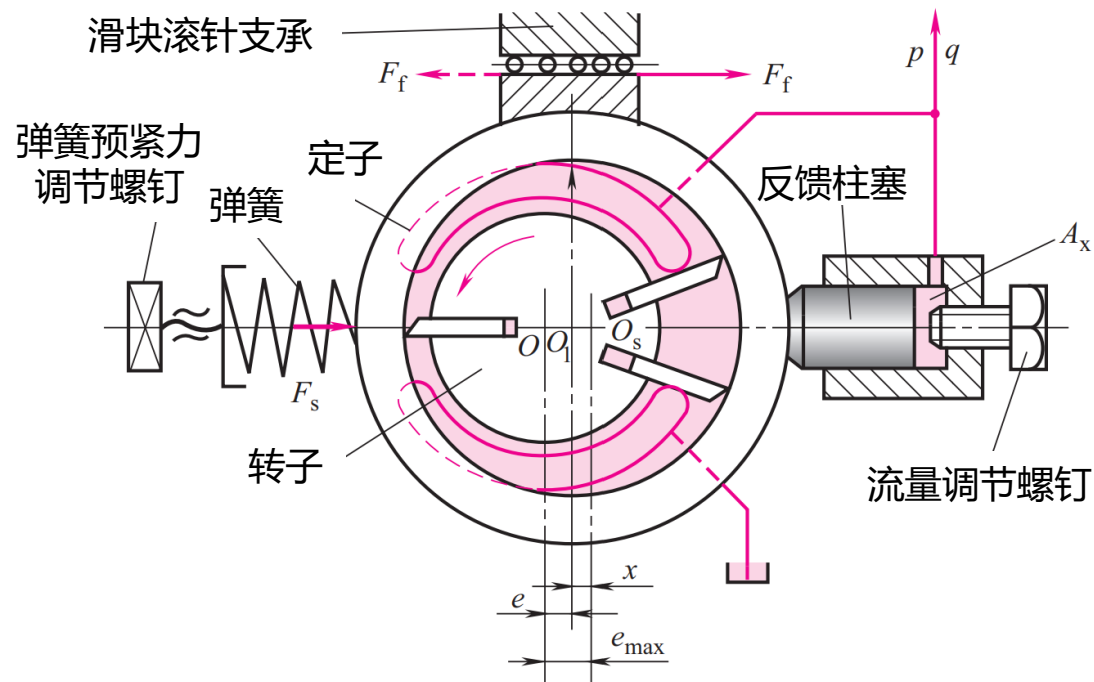
双叶片

□ 输出流量随工作压力变化

□ 压力低于限定压力时，泵的输出流量最大；压力高于限定压力时，泵的输出流量随压力增加而减少。

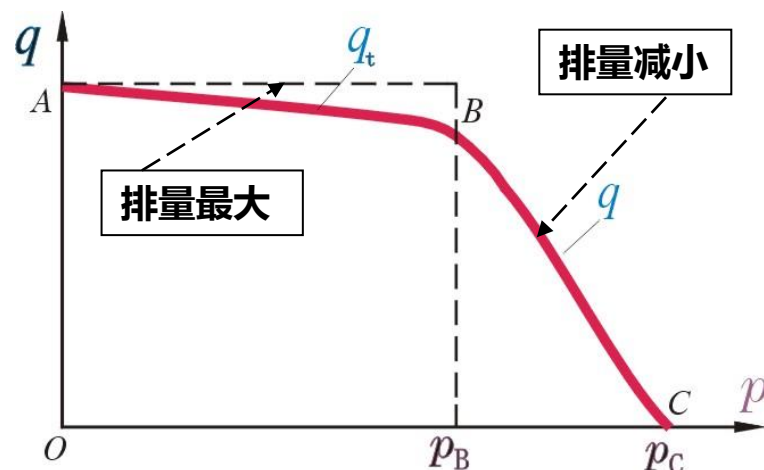
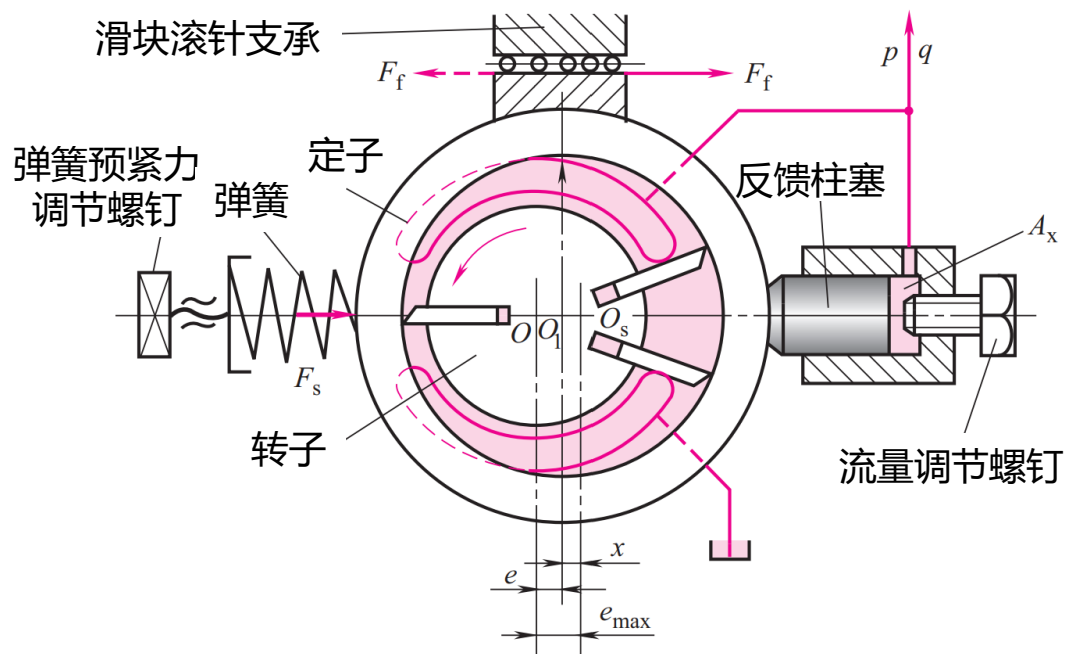


□ 工作原理：定子左右滑动改变定子和转子偏心距 e ，从而改变排量。



□ 随着外负载增加，泵的工作压力增大

- 当压力小于弹簧预紧力，定子紧靠柱塞，偏心距最大，排量最大，流量最大（随着压力增大，泄漏增加）
- 当压力大于弹簧预紧力，定子向左移动，偏心量减小，排量减小，流量快速减小



□ 定子开始移动的压力 p_c

$$p_c = \frac{k_s}{A_x} x_0$$

□ 变量泵最大输出压力 p_{max}

$$p_{max} = \frac{k_s(x_0 + e_{max})}{A_x + \frac{k_s k_l}{k_q}} x_0$$

式中： k_s ——弹簧刚度

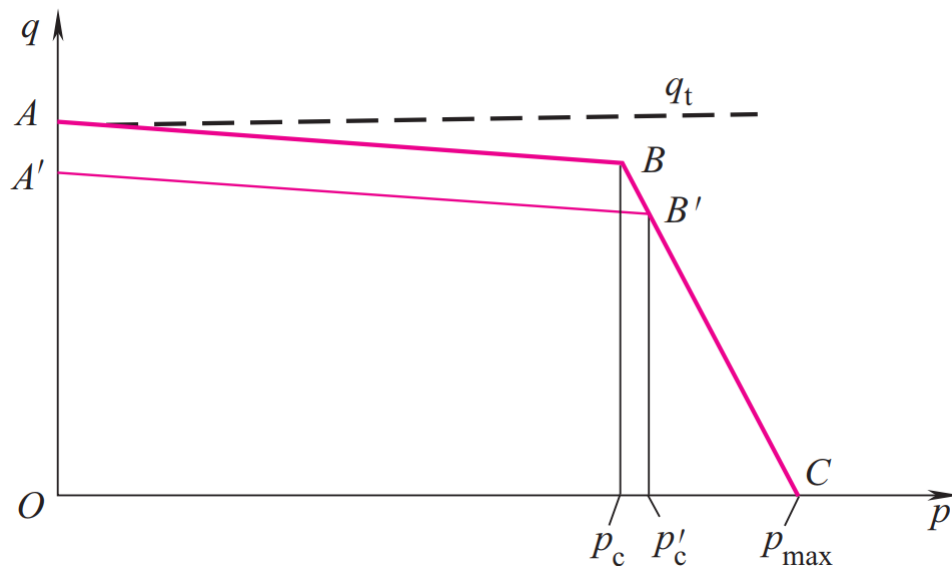
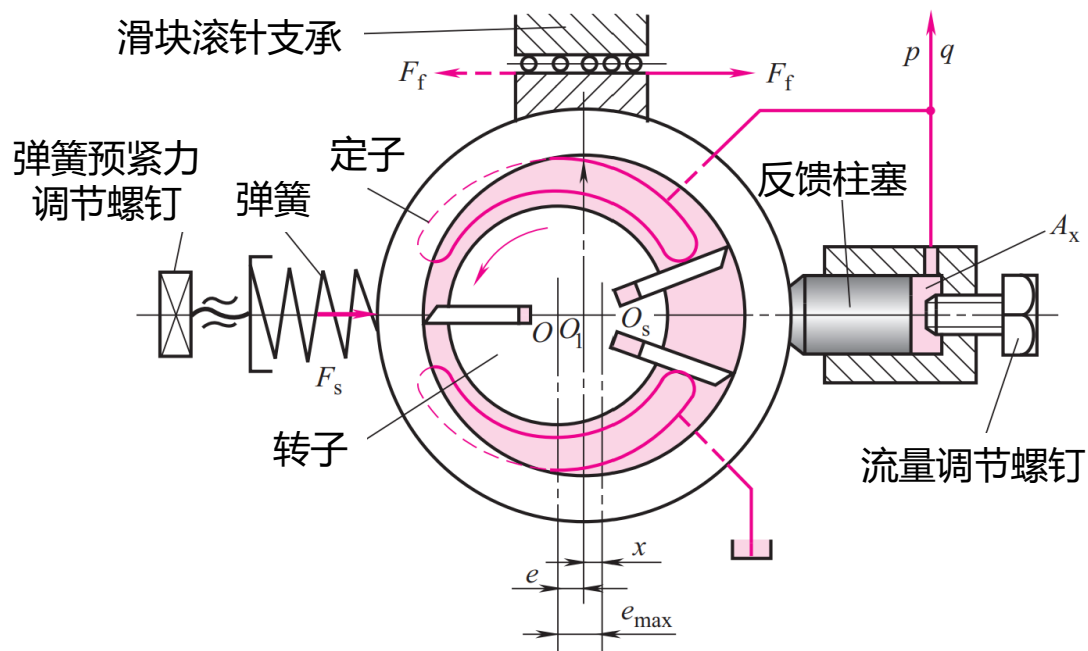
x_0 ——弹簧预压缩量

A_x ——反馈柱塞面积

k_l ——泵的泄漏系数

k_q ——泵的流量系数

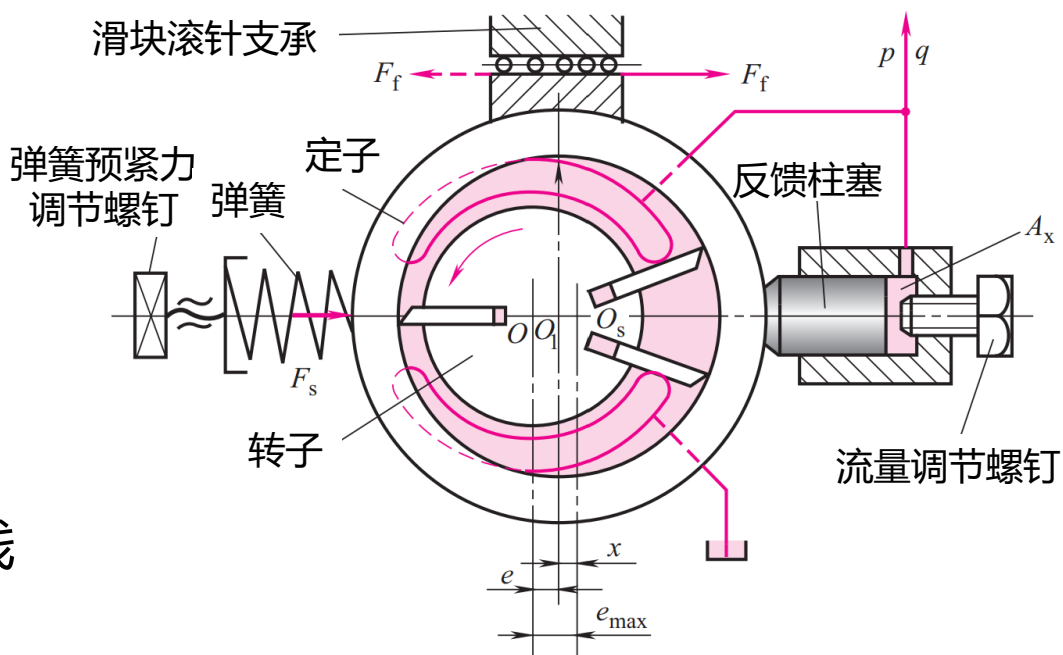
e_{max} ——最大偏心距



限压式变量叶片泵变量过程

$$p_c = \frac{k_s}{A_x} x_0$$

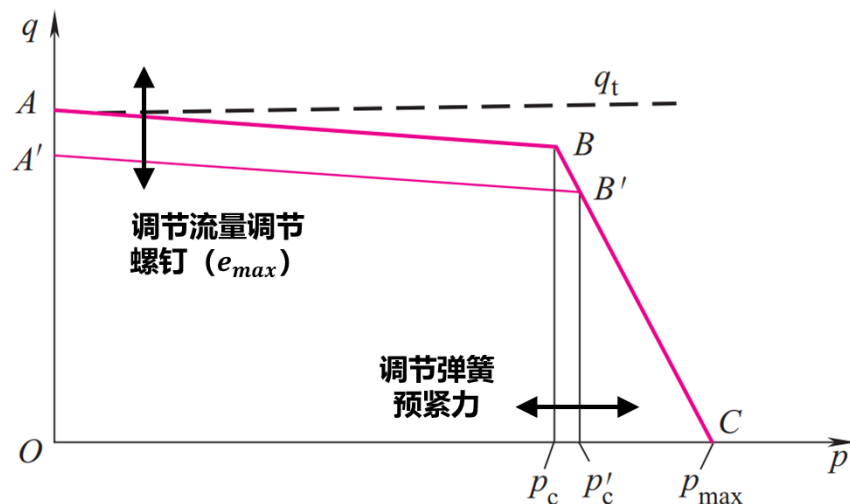
$$p_{max} = \frac{k_s(x_0 + e_{max})}{A_x + \frac{k_s k_l}{k_q}} x_0$$



□ 调节弹簧预紧力(x_0), BC曲线左右平移

□ 调节最大流量调节螺钉(e_{max}), 曲线上下平移 (注意此时 x_0 也会改变)

□ 调节弹簧刚度(k_s), BC段斜率变化



- ❑ 结构复杂，泄漏较大，噪声较大，容积效率和机械效率低；
- ❑ 能按负载压力自动调节流量，可减少能量消耗，避免油温上升。
- ❑ 适用于机床液压系统中要求执行件有快速、慢速和保压阶段的场合，有利于节能和简化液压系统。

