



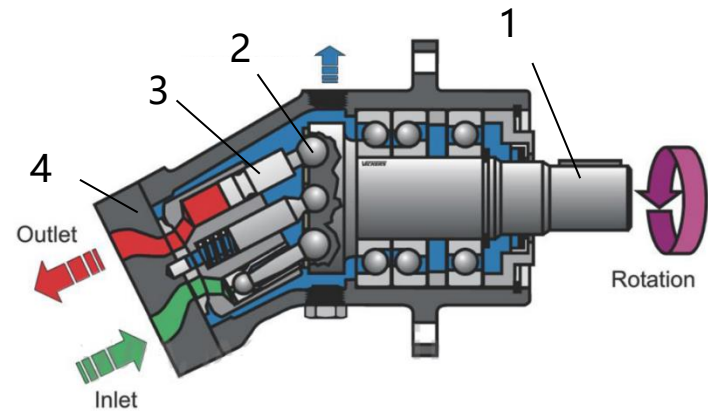
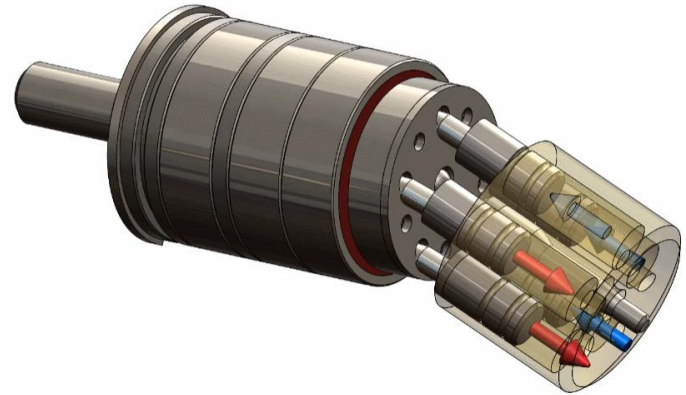
液压传动及控制I

— 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

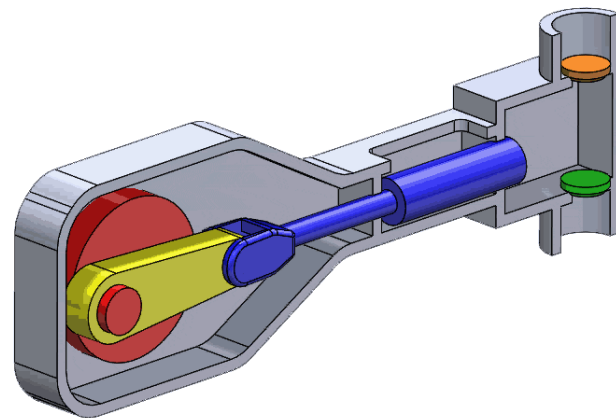


- 概述
- 结构与种类
- 参数计算
- 关键技术

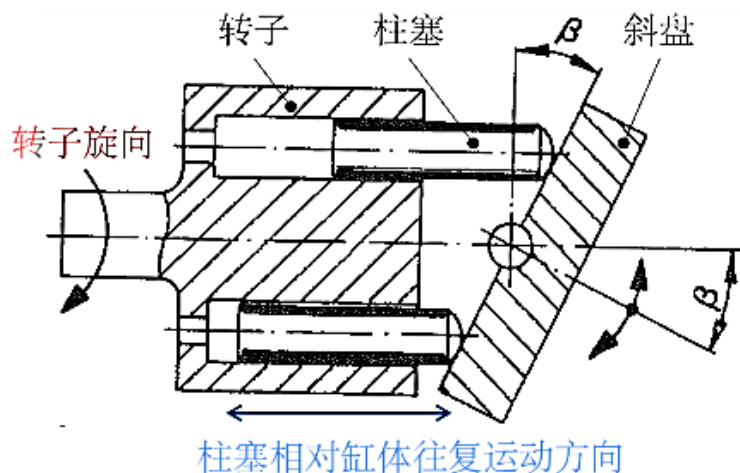


• 柱塞泵原理

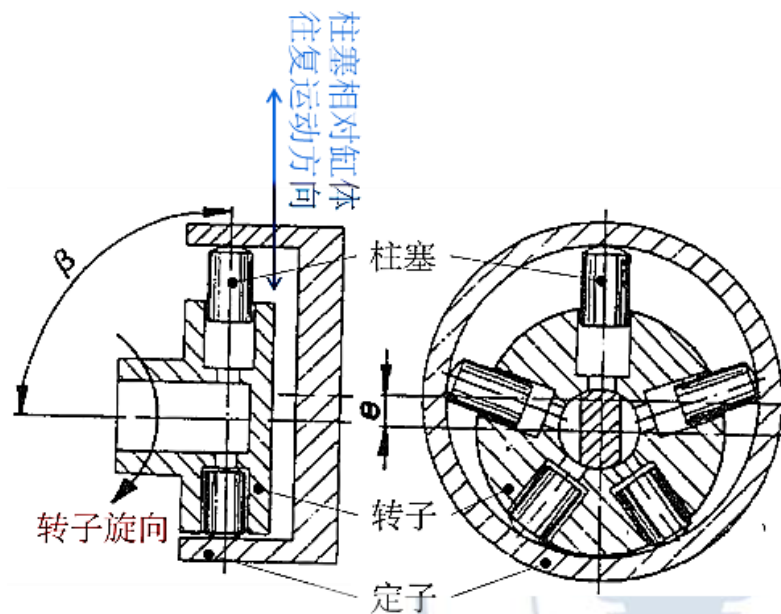
- 依靠柱塞在缸体孔内做往复运动时产生的容积变化进行吸油和压油
- 可分为轴向柱塞泵和径向柱塞泵两类



柱塞泵工作原理示意图



轴向柱塞泵
(柱塞沿转子轴向运动)



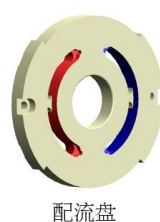
径向柱塞泵
(柱塞沿转子径向运动)

• 柱塞泵优点

- 工作压力高，容积效率高，功率密度大
- 易于实现变量，变量种类丰富

• 柱塞泵缺点

- 结构较复杂，零件数较多
- 对介质清洁度要求高，要求较高的过滤精度，对使用和维护要求较高
- 制造工艺要求较高，成本较贵



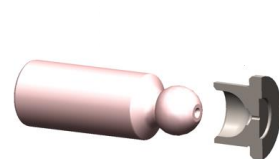
配流盘



缸体



回程盘



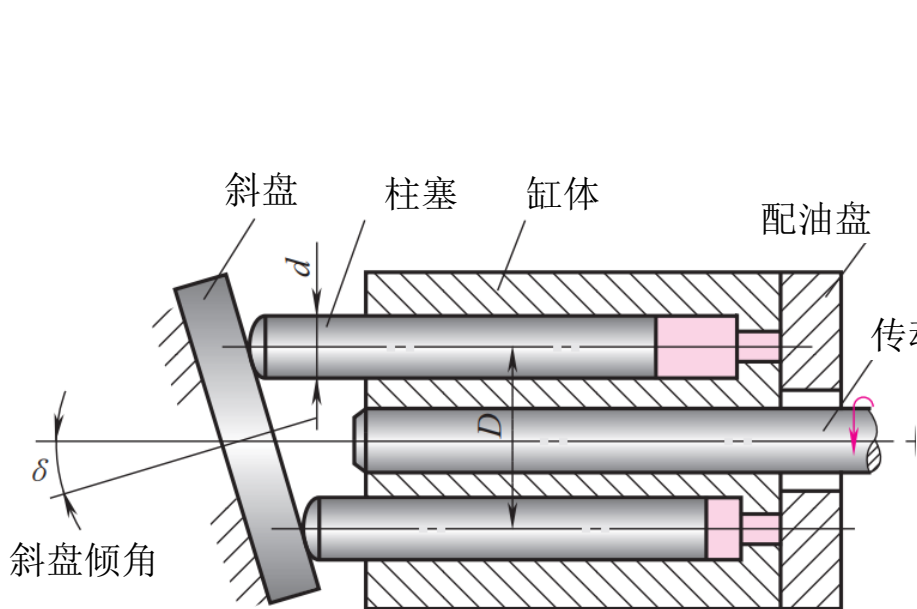
柱塞

滑靴

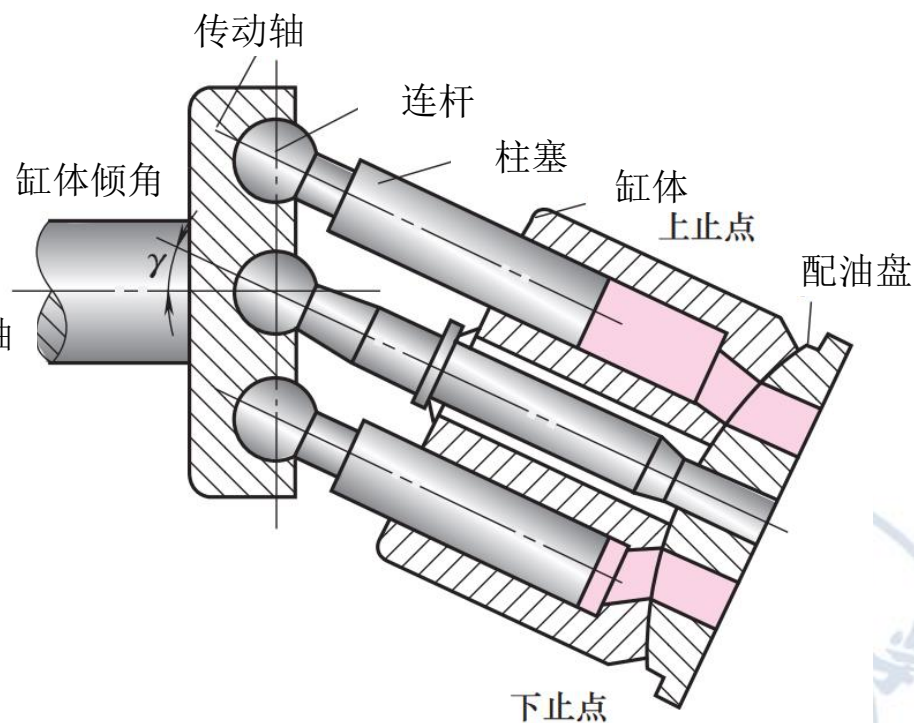
柱塞泵广泛的应用于各类高性能的主机装备中，尤其在移动机器领域占据了垄断地位。

• 轴向柱塞泵

- 柱塞往复运动轴线基本平行于转子轴线方向
- 又可分为直轴式（又名斜盘式）和斜轴式两种



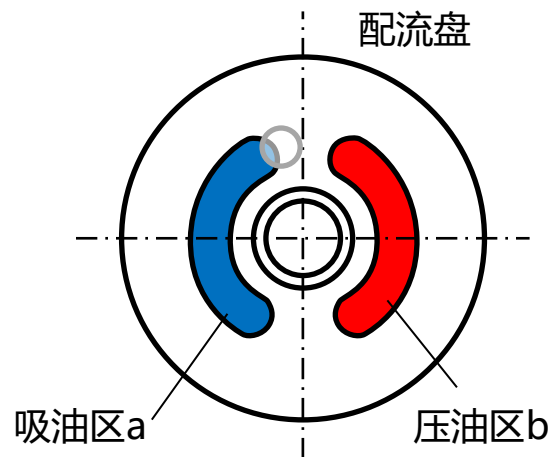
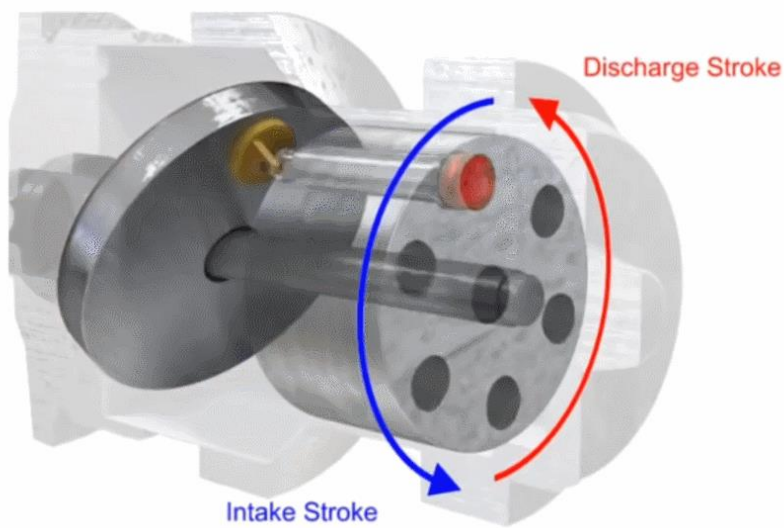
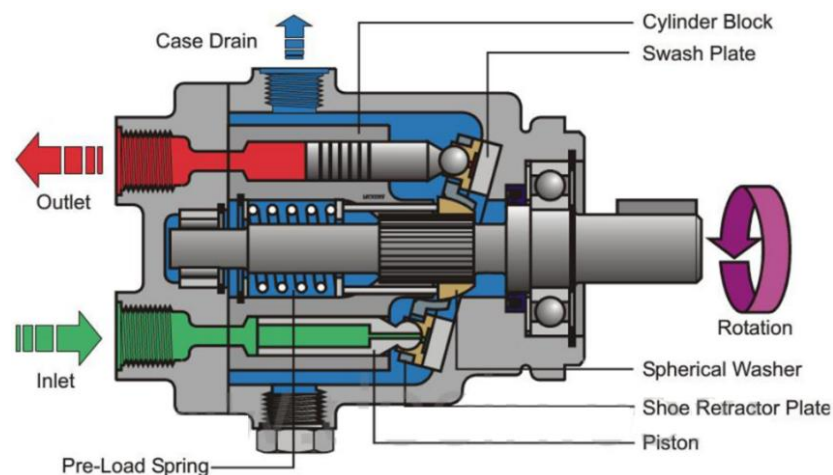
直轴式轴向柱塞泵
(传动轴与缸体中心线在同一轴线上)



斜轴式轴向柱塞泵
(传动轴与缸体中心线存在夹角)

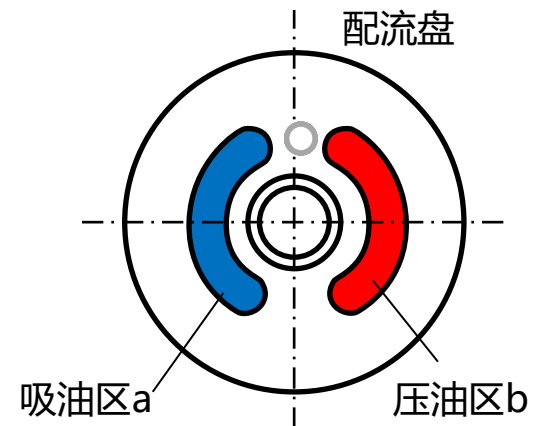
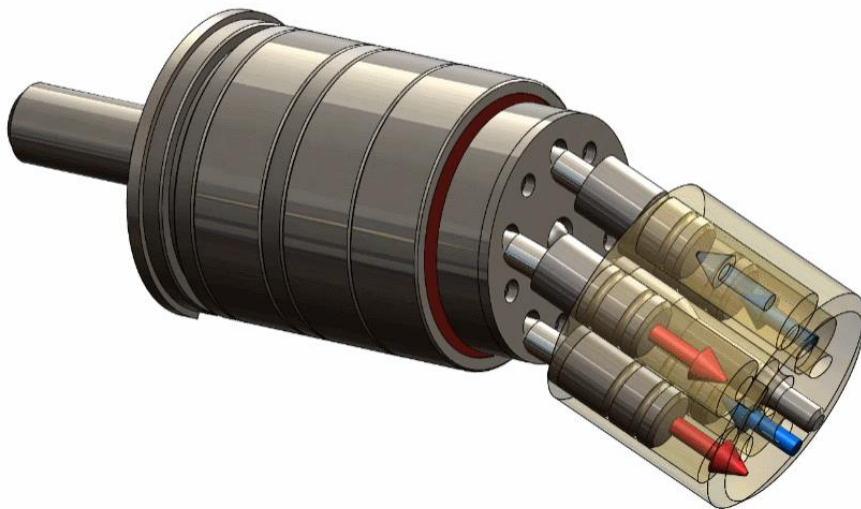
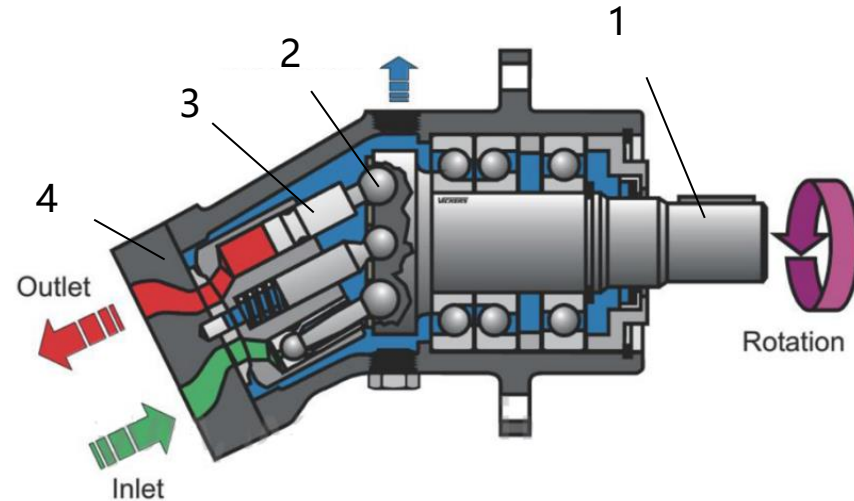
• 直轴轴向柱塞泵

- 传动轴带动缸体（或斜盘）转动，柱塞往复运动进行吸排油
- 缸体旋转一周，每个柱塞往复运动一次，完成一次吸油和压油动作。



• 斜轴式柱塞泵

- 当主轴1转动时，通过连杆2和柱塞3带动缸体4转动，同时柱塞往复运动进行吸排油。
- 缸体旋转一周，每个柱塞往复运动一次，完成一次吸油和压油动作。



• 排量计算

- 轴向柱塞泵的排量可按下式计算

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 D z \tan \delta$$

式中：d——柱塞直径

D——柱塞在缸体上的分布圆直径

δ ——斜盘倾角 δ （直轴式）或缸体倾角 γ （斜轴式）

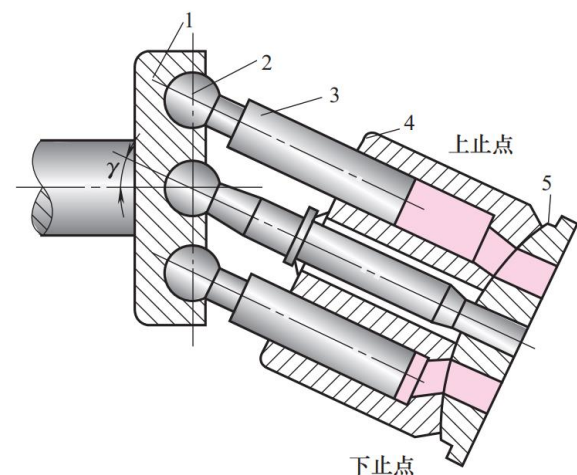
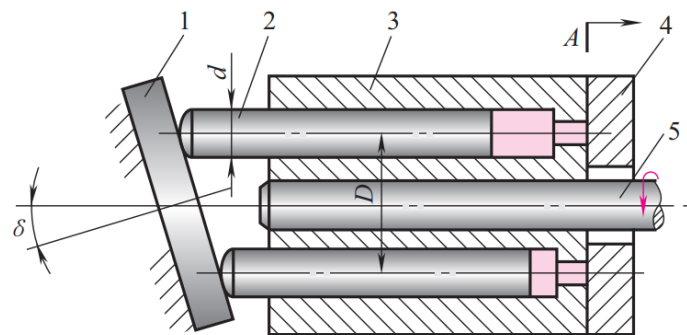
z——柱塞数

• 流量脉动

- 轴向柱塞泵输出流量存在脉动，当柱塞数z为单数时脉动较小，脉动率为

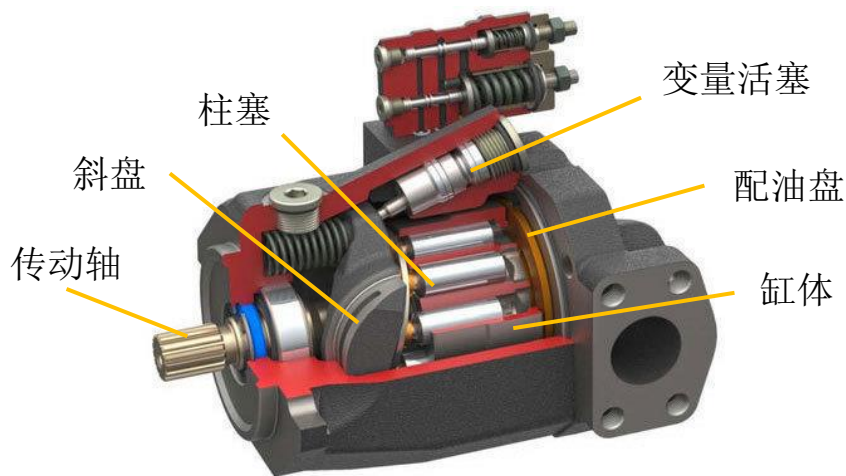
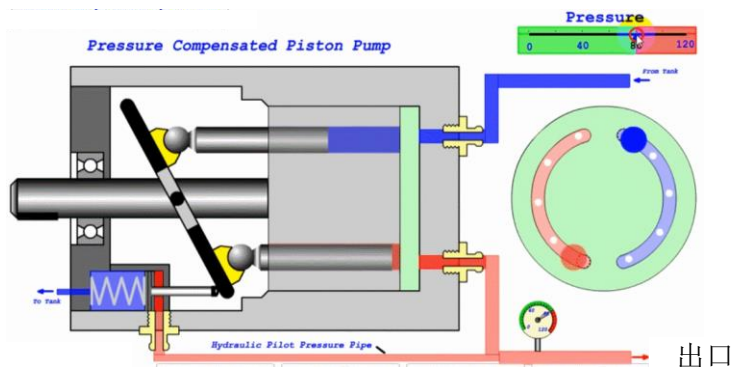
$$\sigma = \frac{\pi}{2z} \tan \frac{\pi}{4z}$$

一般常用柱塞数视流量大小取7个，9个或11个。

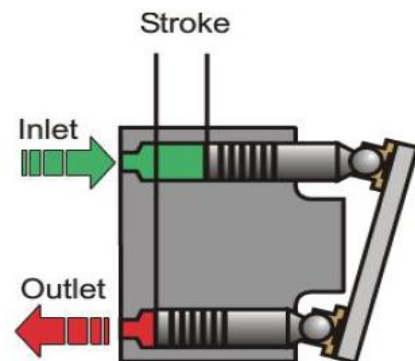


• 直轴式轴向柱塞泵

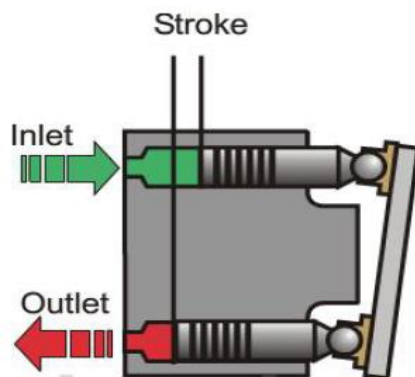
- 改变斜盘与缸体中心线的夹角 δ ，就可改变柱塞的行程长度，从而改变了泵的排量 V ，即可改变泵的输出流量。



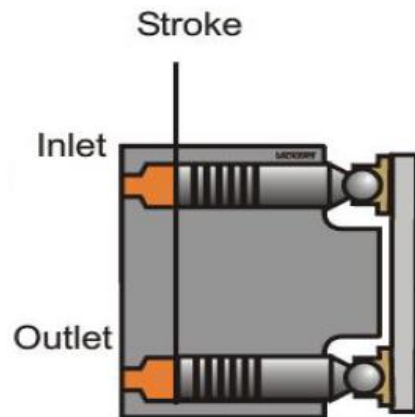
直轴式轴向柱塞泵



最大排量



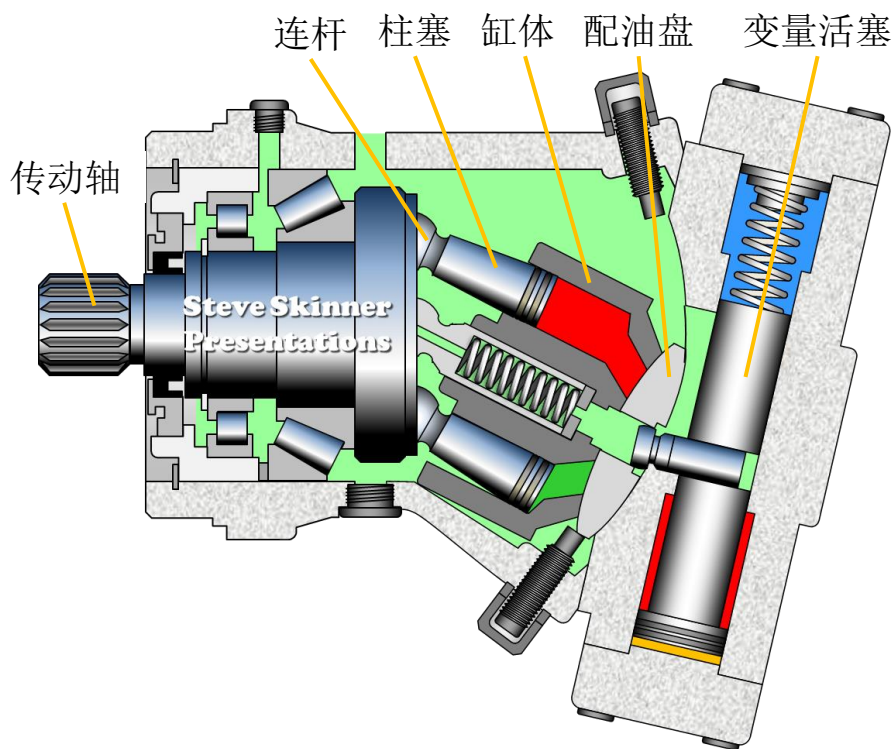
减小排量



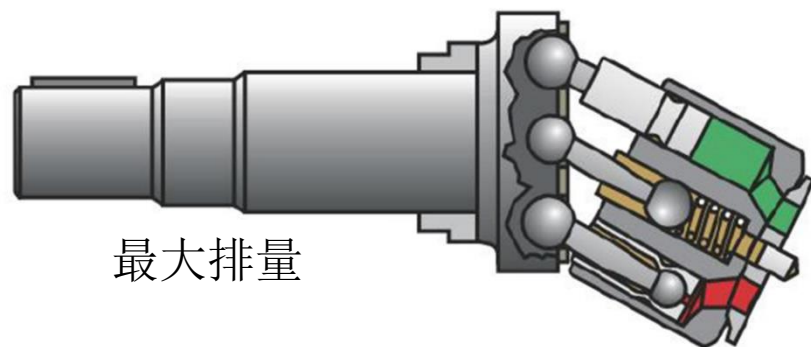
零排量

• 斜轴式轴向柱塞泵

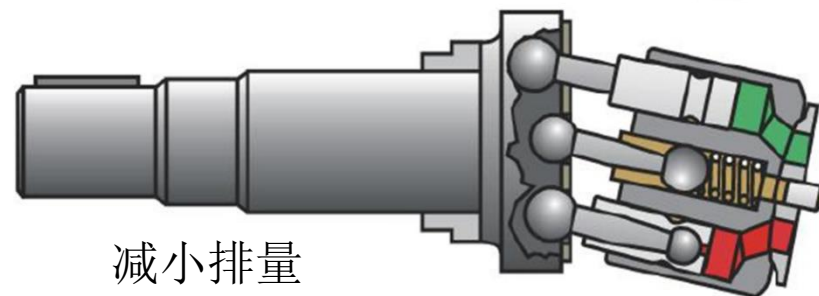
- 改变传动轴与缸体中心线的夹角 γ ，就可改变柱塞的行程长度，从而改变了泵的排量 V ，即可改变泵的输出流量。



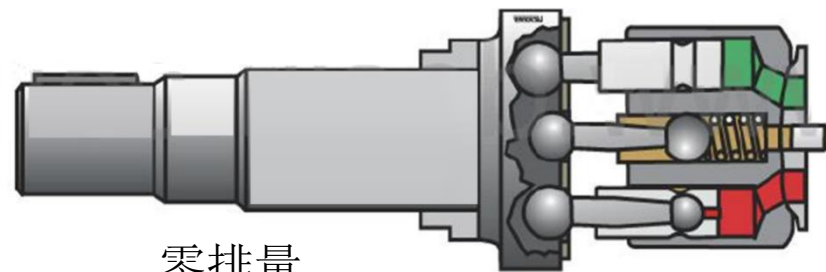
斜轴式轴向柱塞泵



最大排量



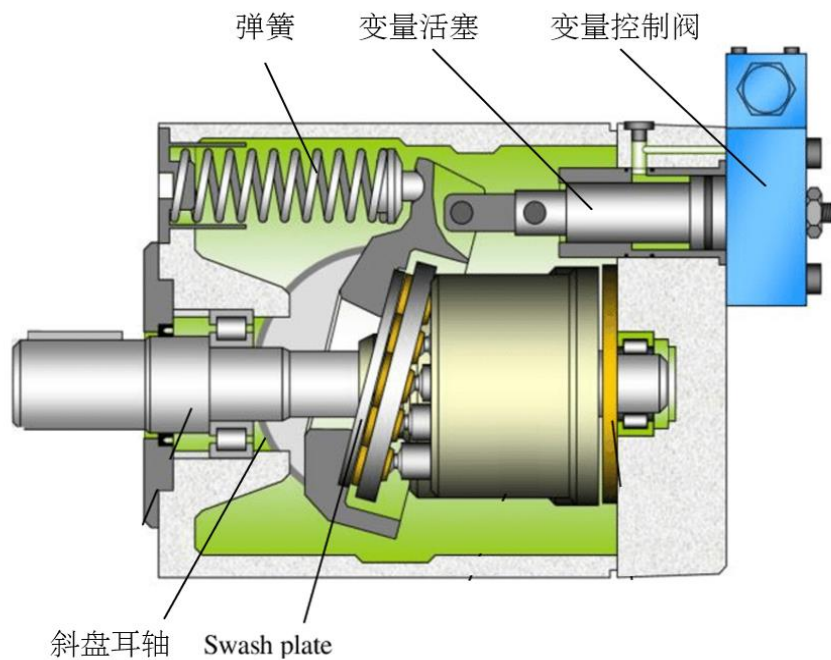
减小排量



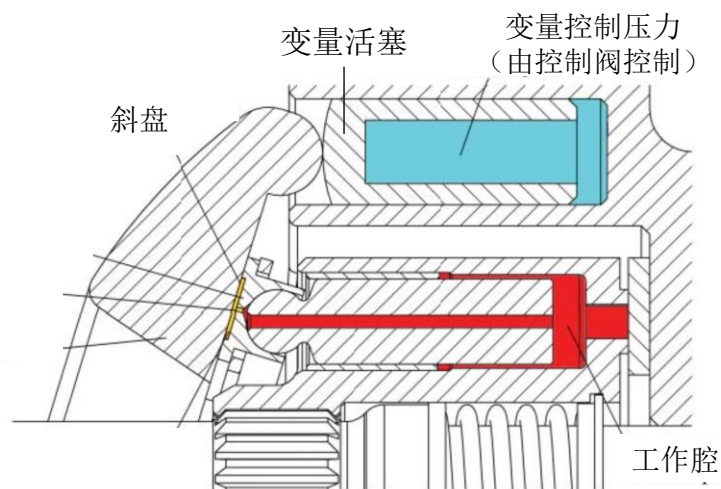
零排量

• 变量控制

- 按控制方式分有手动控制、液压控制、电气控制等



轴向柱塞泵典型变量结构

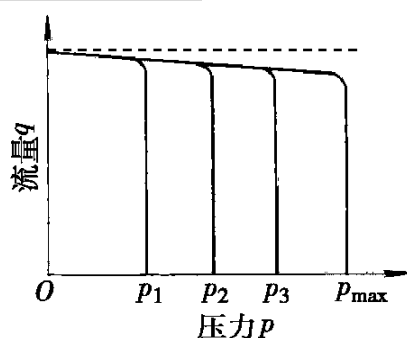


轴向柱塞泵液压变量控制原理

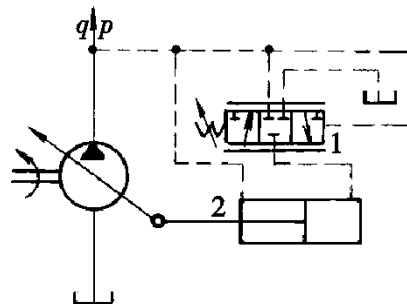
• 变量控制

- 按控制目的分有恒压控制、恒流量控制、恒功率控制等

恒压变量

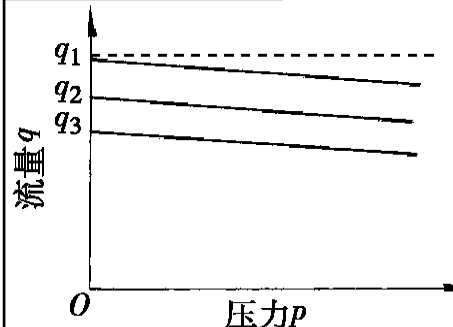


特性曲线

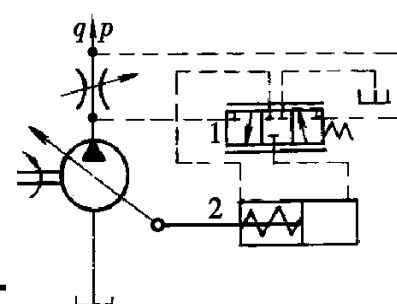


控制原理

恒流量变量

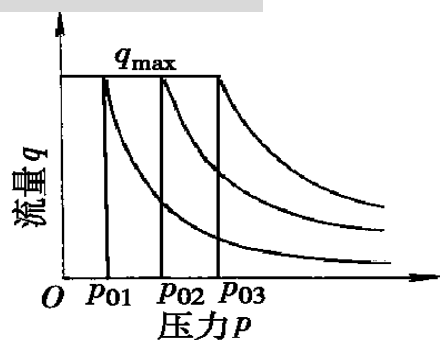


特性曲线

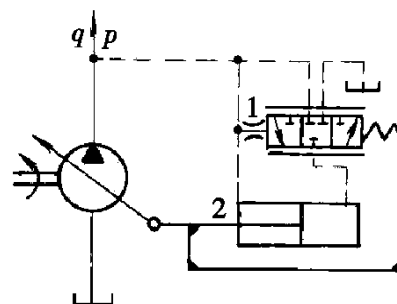


控制原理

恒功率变量



特性曲线



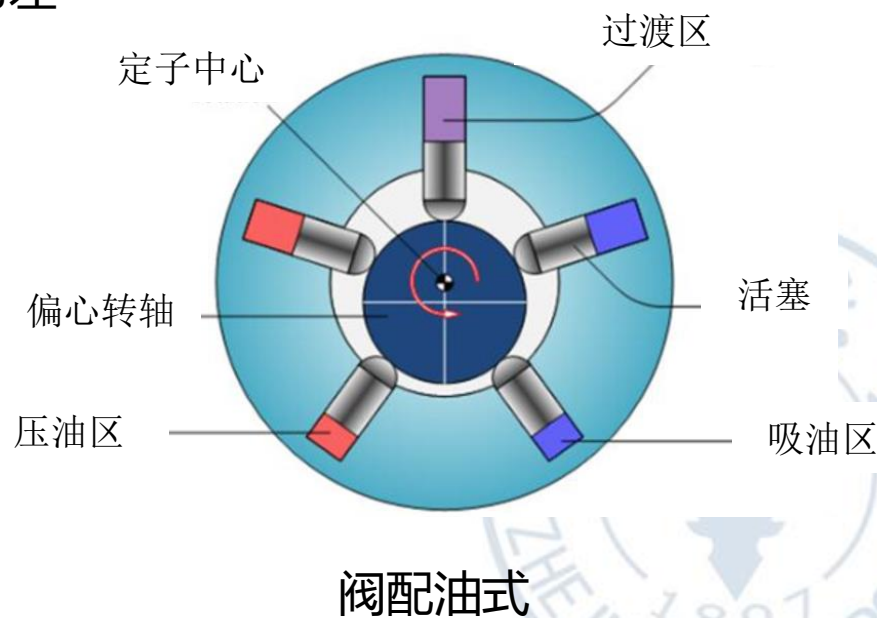
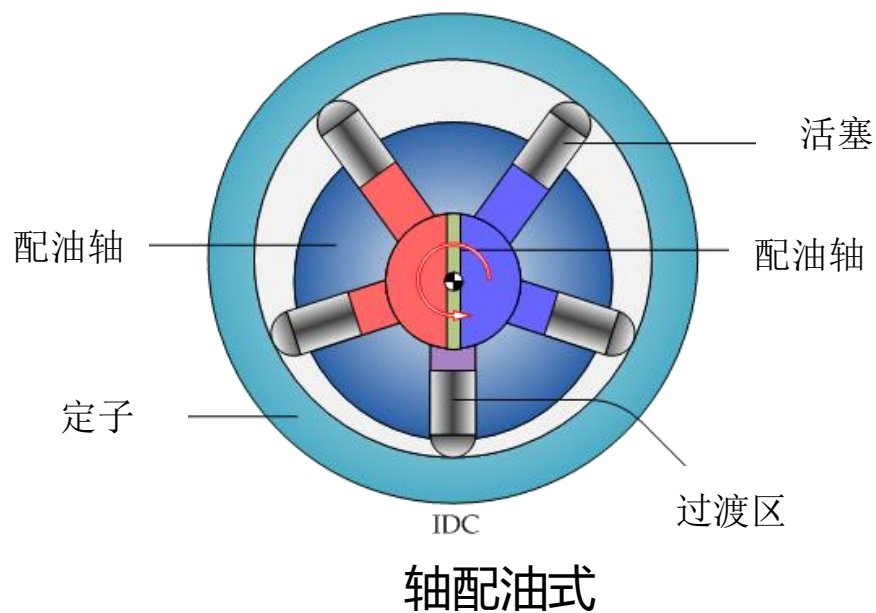
控制原理

• 介绍和分类

- 柱塞往复运动方向垂直于转子轴线方向
- 可分为阀配油式、轴配油式和轴/阀联合配油式三种

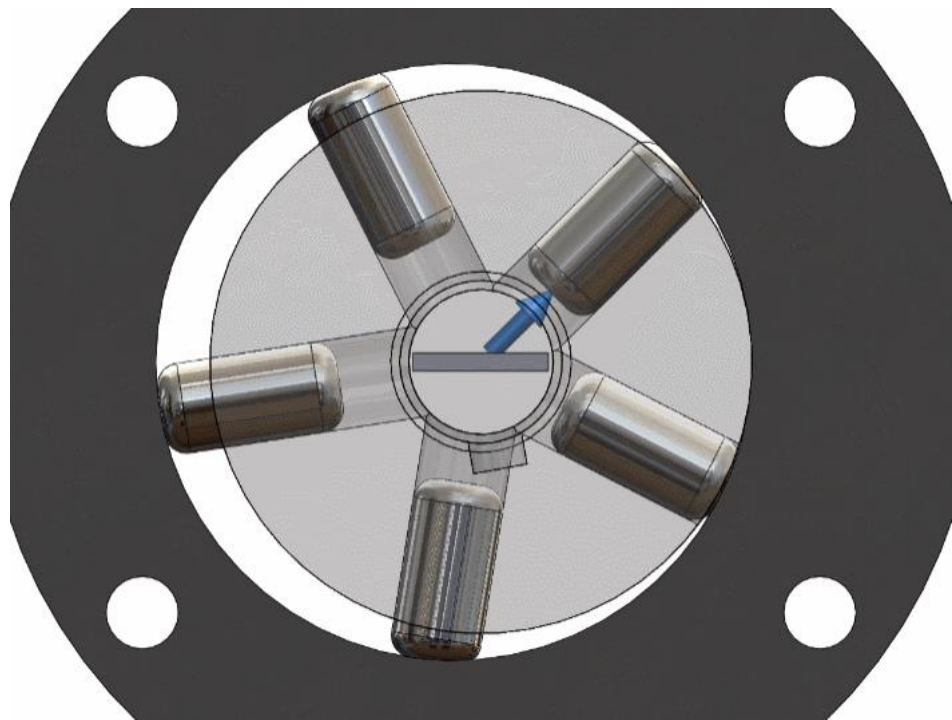
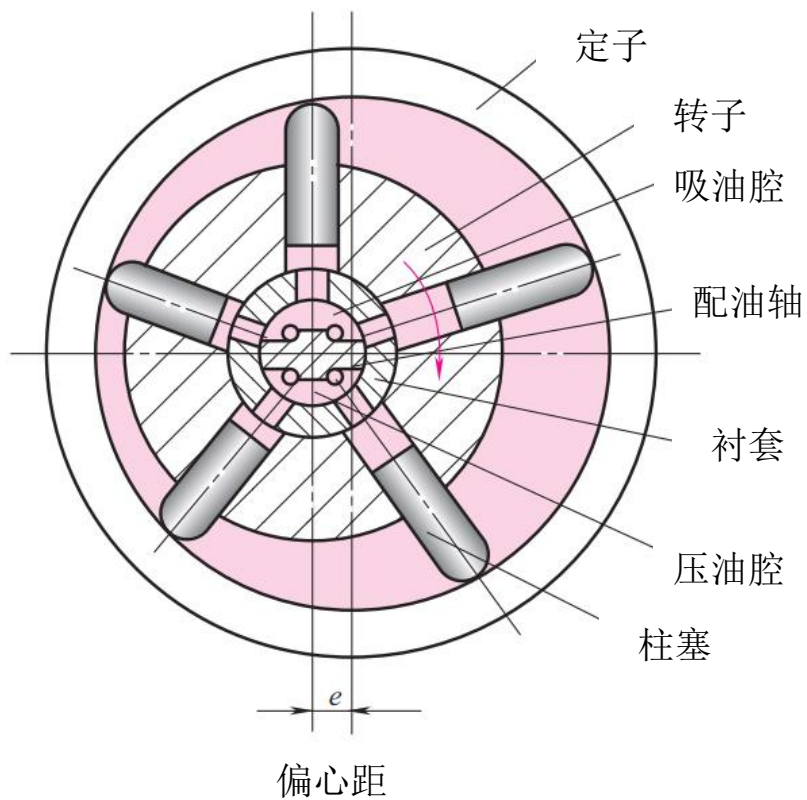
• 优缺点

- 容积效率和机械效率较高
- 径向尺寸大，结构较复杂，自吸能力差



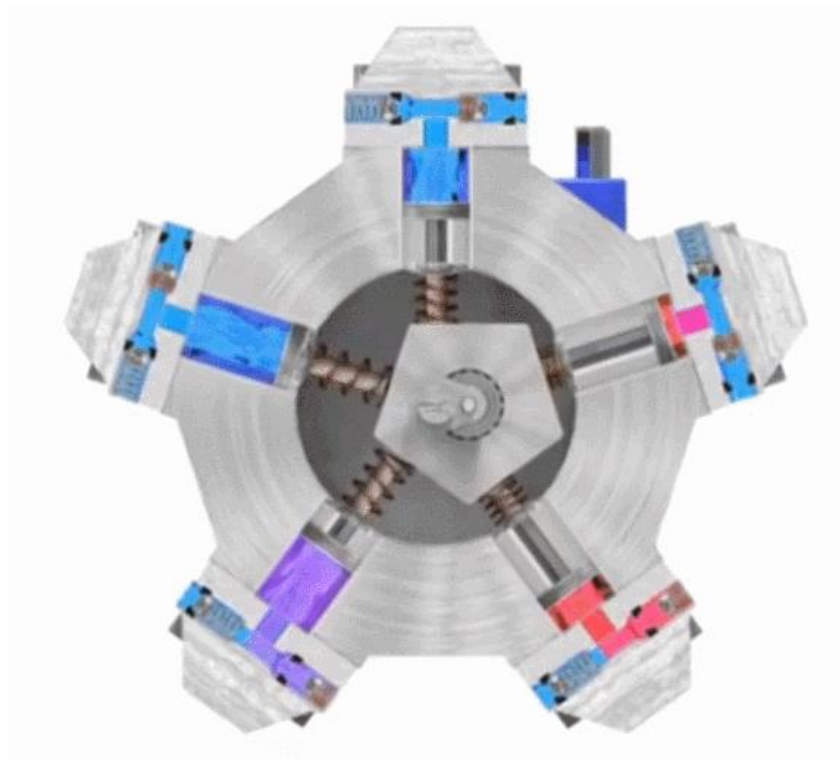
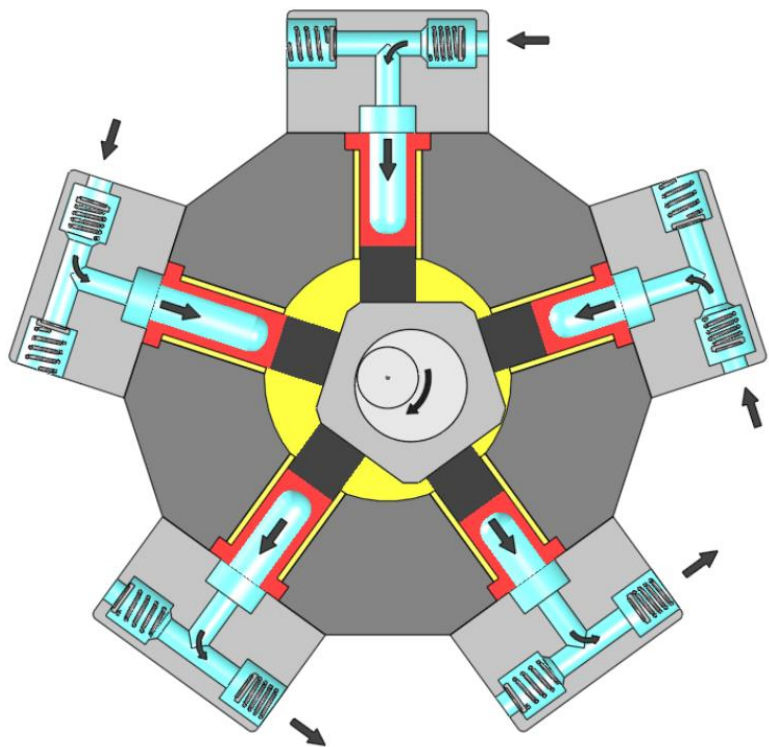
• 轴配油式径向柱塞泵

- 由于定子和转子间有偏心距 e ，柱塞随转子转动做往复运动进行吸排油
- 转子每转一转，柱塞在缸孔内吸油、压油各一次。



• 阀配油式径向柱塞泵

- 当偏心轴由原动机带动旋转时，柱塞随之往复运动进行吸排油
- 偏心轮每转一周，每个柱塞腔各吸、压油一次。



• 排量

- 当转子和定子间的偏心距为 e 时，转子转一整转，柱塞在缸孔内的行程就为 $2e$ ，柱塞数为 z ，则泵的排量为

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 2ez$$

式中： d ——柱塞直径

• 流量脉动

- 径向柱塞泵的流量脉动情况与轴向柱塞泵类似



- **变量方法**

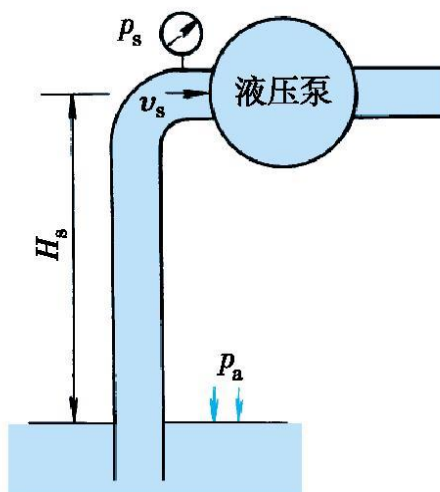
- 通过变量机构改变定子和转子间的偏心距 e ，就可改变泵的排量。径向柱塞变量泵一般都是将定子沿水平方向移动来调节偏心距 e 。

- **变量控制**

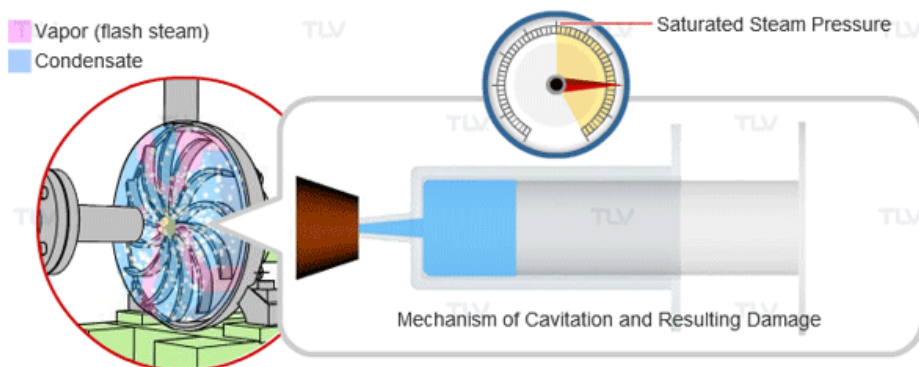
- 径向柱塞泵上也可以安装各种变量控制机构，其情况与轴向柱塞泵类似。



□ 液压系统中液体某处的压力低于空气分离压时，原先溶解在液体中的空气就会游离出来，使液体中产生大量气泡，这种现象称为**气穴现象**。

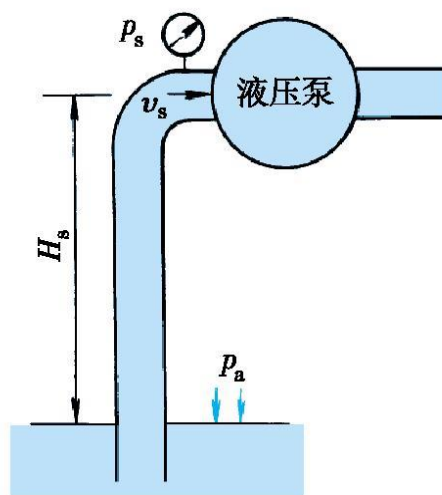


液压泵的吸入管路



气穴现象

□ 气穴现象使液压装置产生噪声和振动，使金属表面受到腐蚀。



按伯努利方程, 泵入口处的能量为 (取动能修正系数 $\alpha=1$)

$$\frac{p_s}{\rho g} + \frac{v_s^2}{2g} = \frac{p_a}{\rho g} - H_s - \sum \zeta \frac{v_s^2}{2g}$$

式中 p_a ——大气绝对压力;

H_s ——吸入高度;

p_s ——泵吸入口绝对压力;

v_s ——泵吸入口处的流速;

$\sum \zeta \frac{v_s^2}{2g}$ ——吸入管道内的

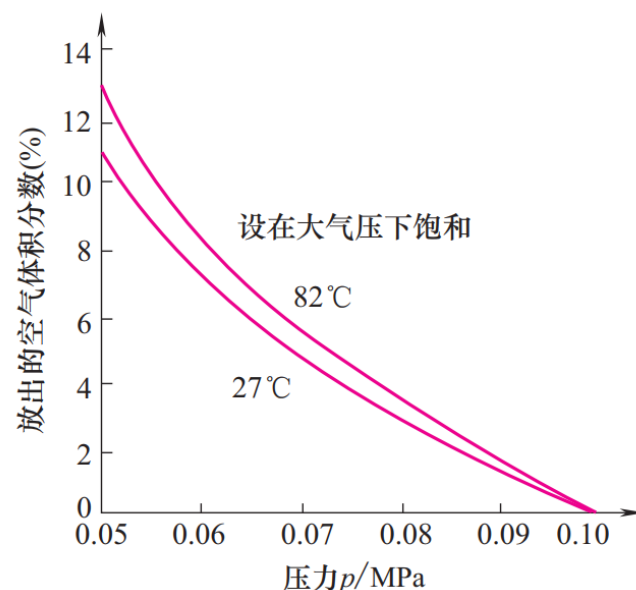
总 损失。

液压泵的吸入管路

设油液的空气分离压为 p_g (绝对压力), 则式中

$$\frac{p_s}{\rho g} + \frac{v_s^2}{2g} > \frac{p_g}{2g}$$

才不会产生气穴



油液中放出气体体积与
压力间的关系

- 减小吸油阻力：
 - 降低吸入高度
 - 采用通径较大的吸油管并尽量少用弯头
 - 吸油管端采用容量较大的过滤器
- 增加吸油压力：
 - 油箱高置
 - 增加辅助泵
 - 采用加压油箱
 - 将液压泵浸在油中
- 避免掺混空气：
 - 当吸油管和泵接头处密封不严时,
 - 吸油管插入油面太浅

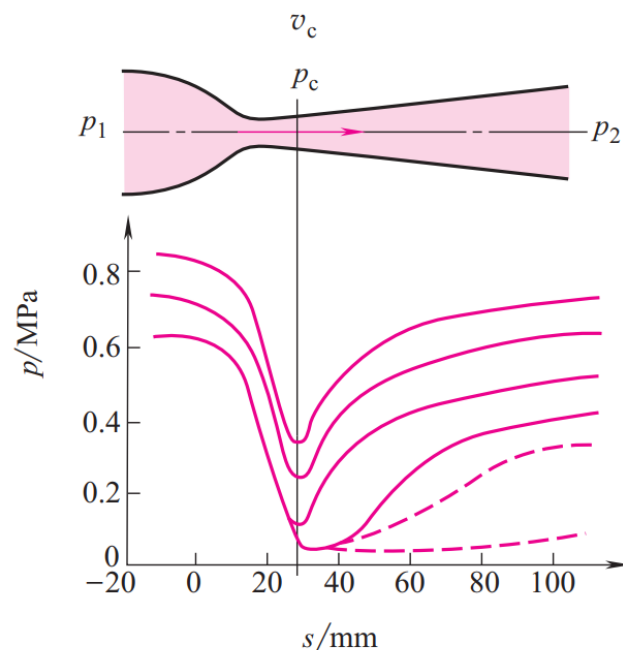
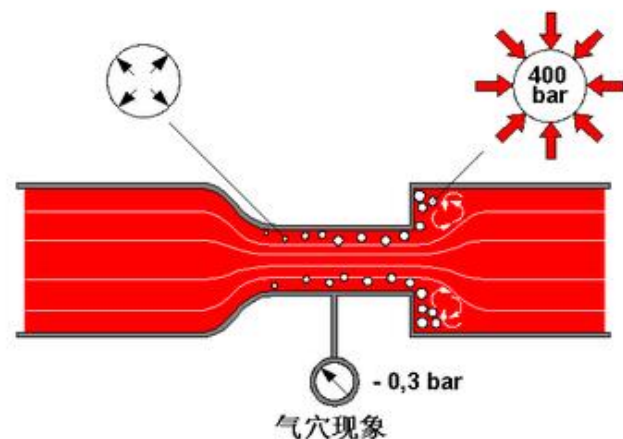


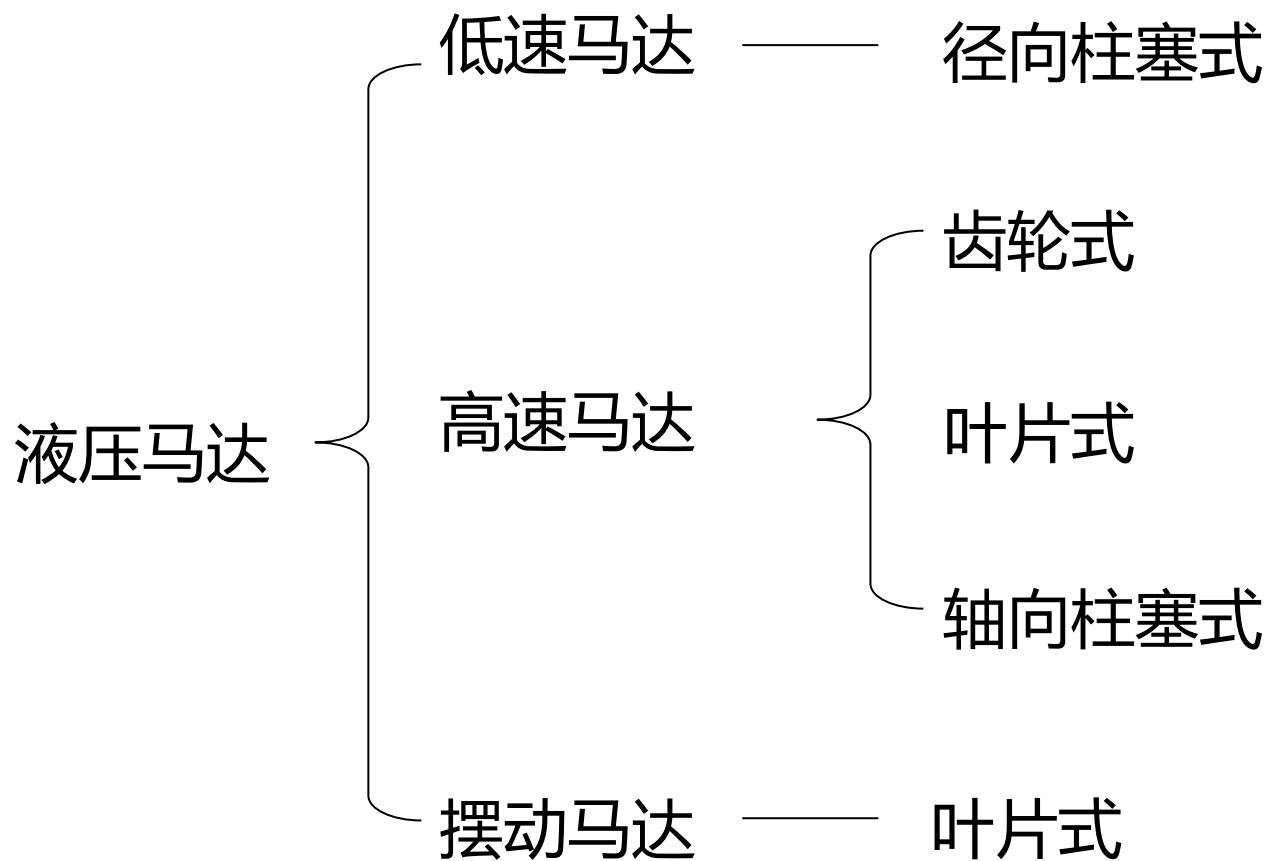
图 1-42 节流口的气穴现象



- 分类
- 工作原理
- 参数计算
- 工作特点



□ 原理：液压能->旋转机械能



轴向柱塞式液压马达工作原理

□ 高压油将柱塞压在斜盘上，斜盘反作用力的轴向分力与液压力平衡，垂直分力产生旋转转矩，为：

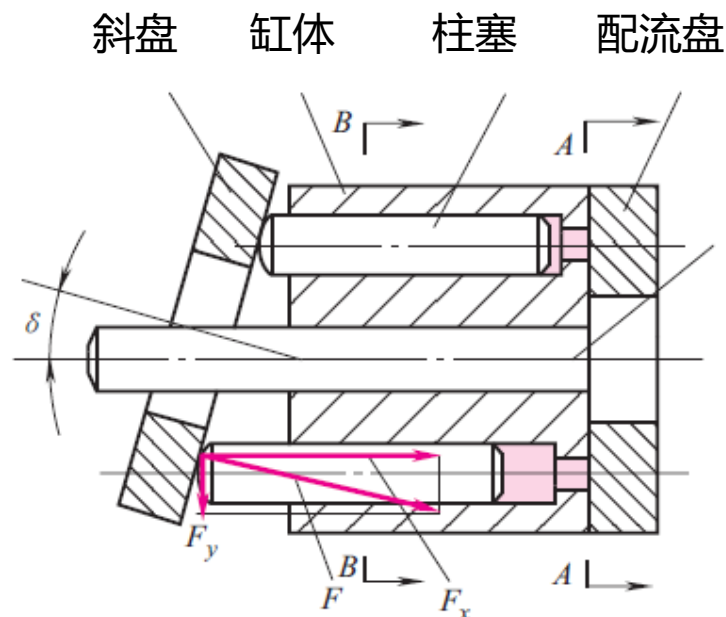
$$T = \sum F_x R \tan \delta \sin \theta$$

F_x - 柱塞轴向分力（也即液压力）

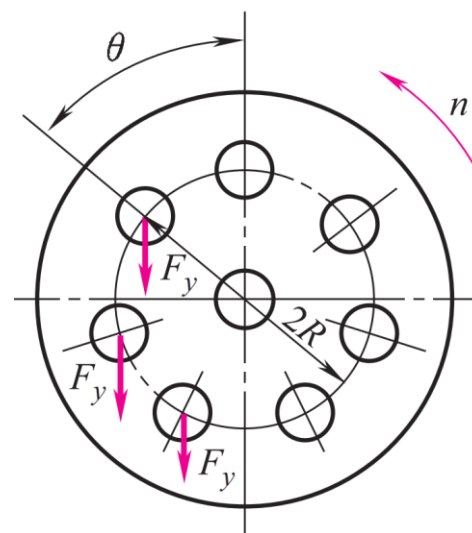
R - 柱塞在缸体中的分布圆半径

δ - 斜盘倾角

θ - 柱塞和缸体的夹角



轴向柱塞式液压马达



径向柱塞式液压马达工作原理

□ 定子内壁在与滚轮接触处的反作用力 N 的周向分力 F 对缸体产生转矩，而径向分力 P 则与液压力相平衡

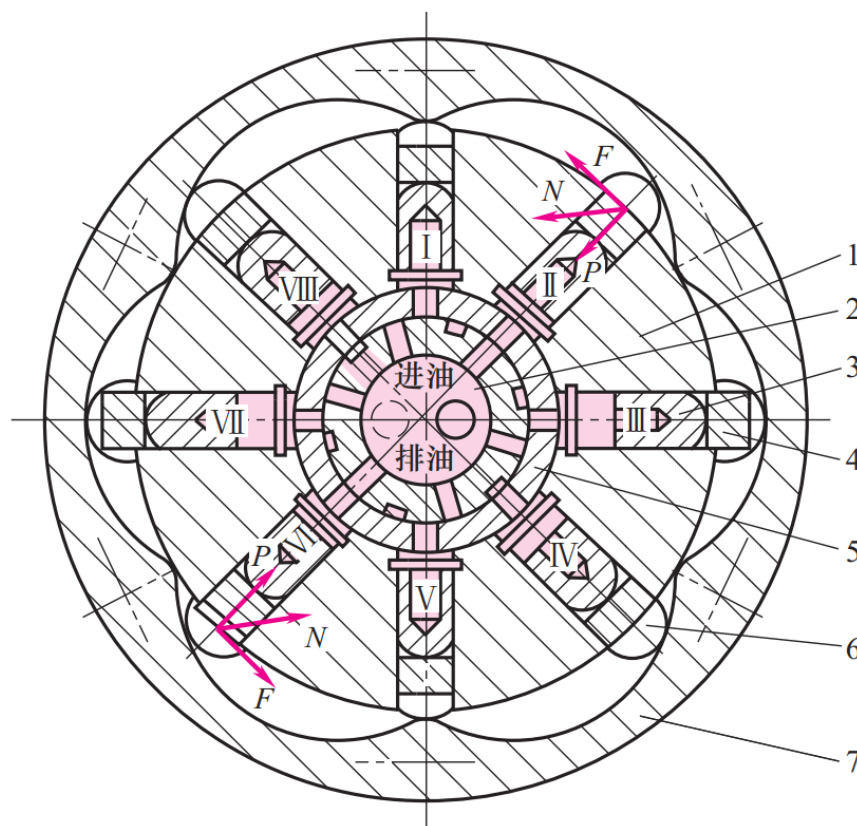
□ 转子旋转一周，柱塞往复运动多次，故称多作用式，马达排量为

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 l n z$$

d, l - 柱塞直径和行程

n - 定子内壁曲面段数

z - 柱塞数



□ 输出转矩:

$$T = \frac{1}{2\pi} \Delta p V \eta_m$$

Δp - 液压马达进、出口压差;

V - 液压马达排量;

η_m - 液压马达机械效率

□ 输出转速

$$n = \frac{q \eta_v}{V}$$

q - 液压马达输入流量;

η_v - 液压马达容积效率



- ❑ 液压泵进油口比出油口大，马达的进、出油口相同；
- ❑ 液压马达要正反转，结构具有对称性；
- ❑ 液压马达的转速变化范围大；
- ❑ 液压马达应有较大的起动扭矩和较小的扭矩脉动；



液压泵



液压马达

□作业： 4-1; 4-3; 4-6; 4-7; 4-9

