

第四讲 液压泵与液压马达（上）

4.1 概 述

4.2 齿 轮 泵

4.3 叶 片 泵



一、定义

液压泵：将原动机输出的**机械能**转换成液压油的**压力能**，起到向液压系统提供动力的作用，属于液压动力元件

液压马达：将液压油的**压力能**转换成**机械能**，使主机工作部件克服阻力而产生运动，属于液压执行元件

液压泵与液压马达均为能量转换装置



轴向柱塞泵

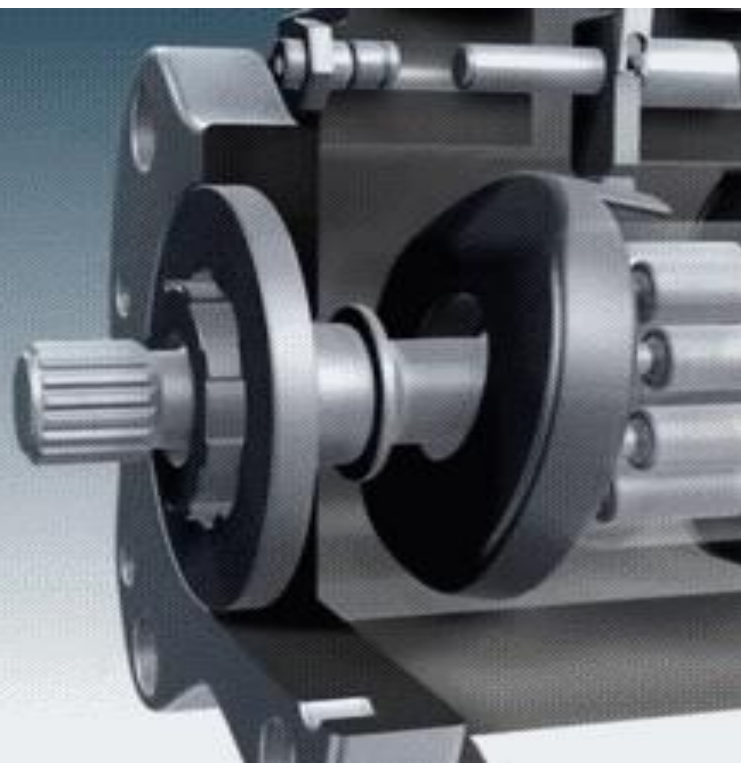


轴向柱塞马达

第一节 概述

国家需求：轴向柱塞泵是各种液压传动系统的“心脏”，应用广泛

高速重载柱塞泵



民用领域



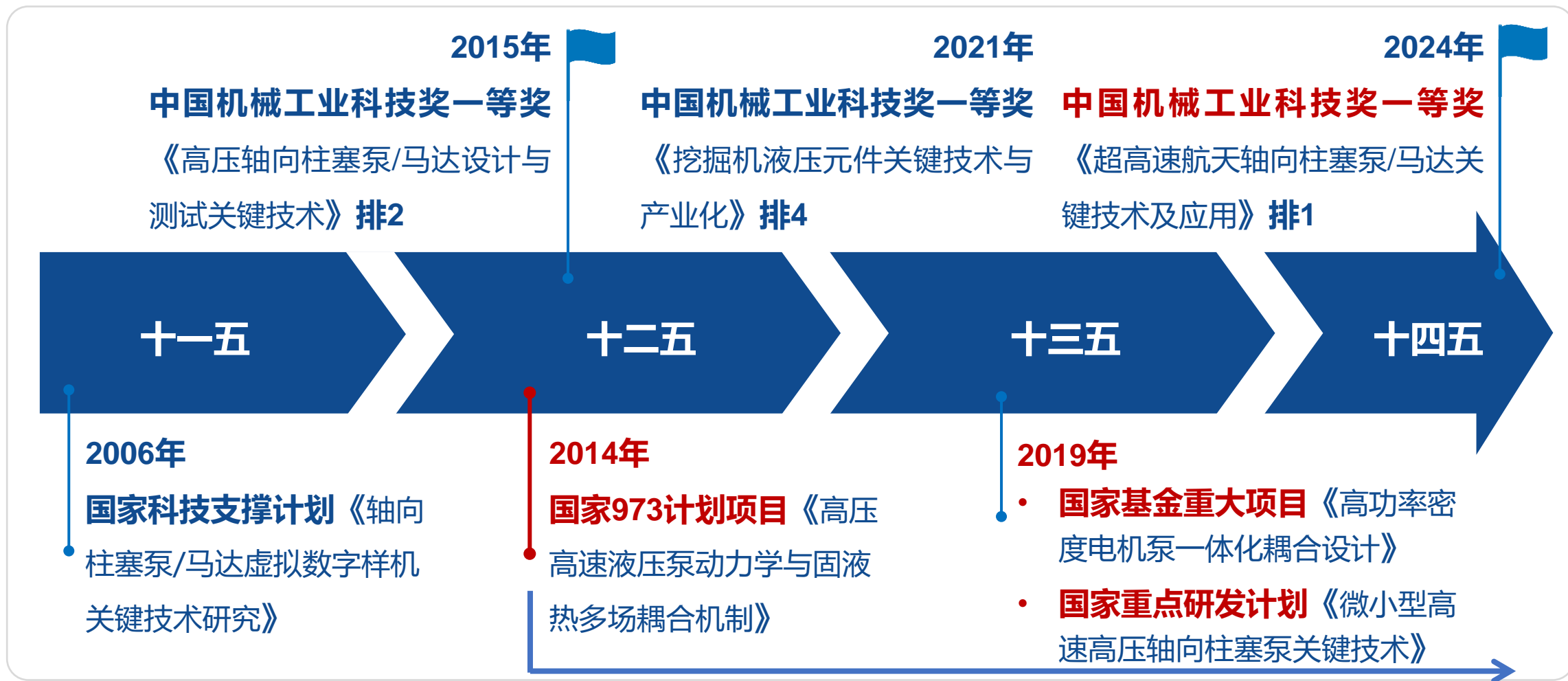
军工领域

科技日报列入**35项“卡脖子”技术之一**

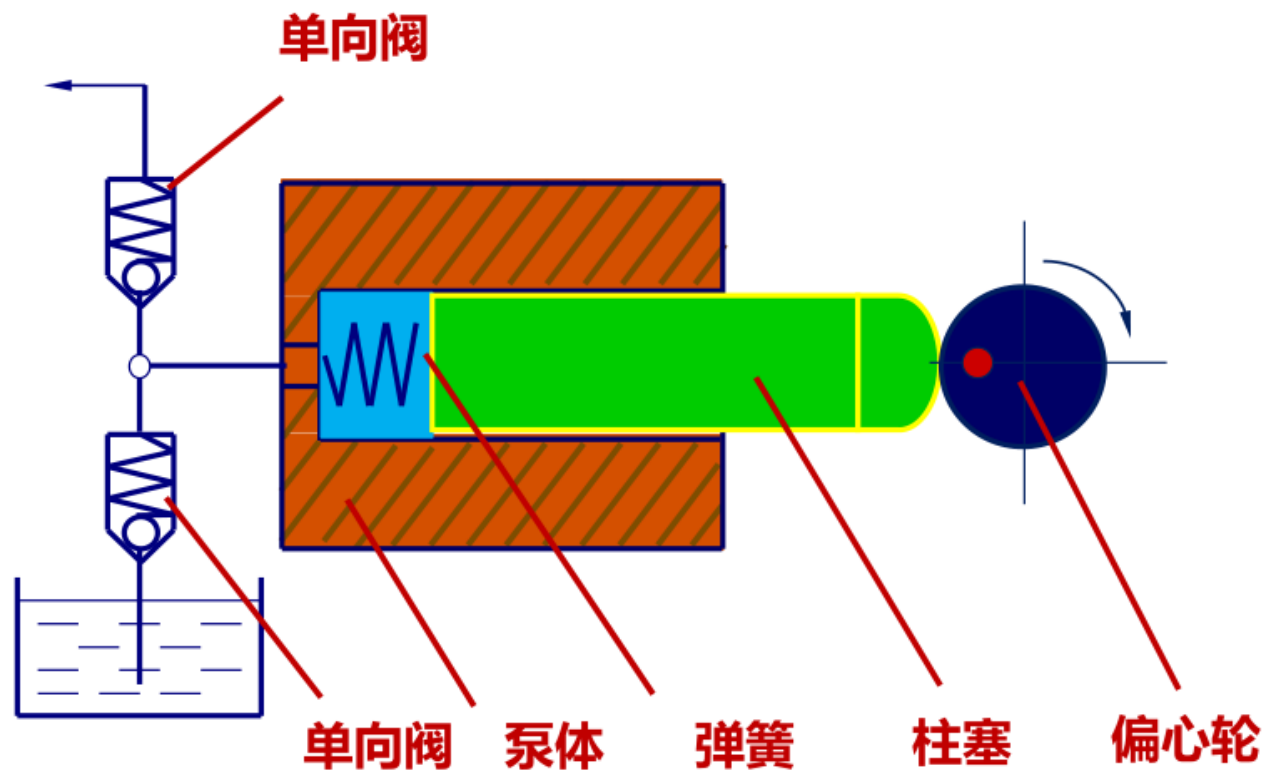
十三五 **“工业强基工程”** ➔ 十四五 **“产业基础再造工程”**

第一节 概述

项目支持：面向国民经济主战场（工程机械领域-挖掘机）以及国家重大需求（航天航空领域-运载火箭），开展高速重载柱塞泵相关研究



三、工作原理



单柱塞泵的基本结构

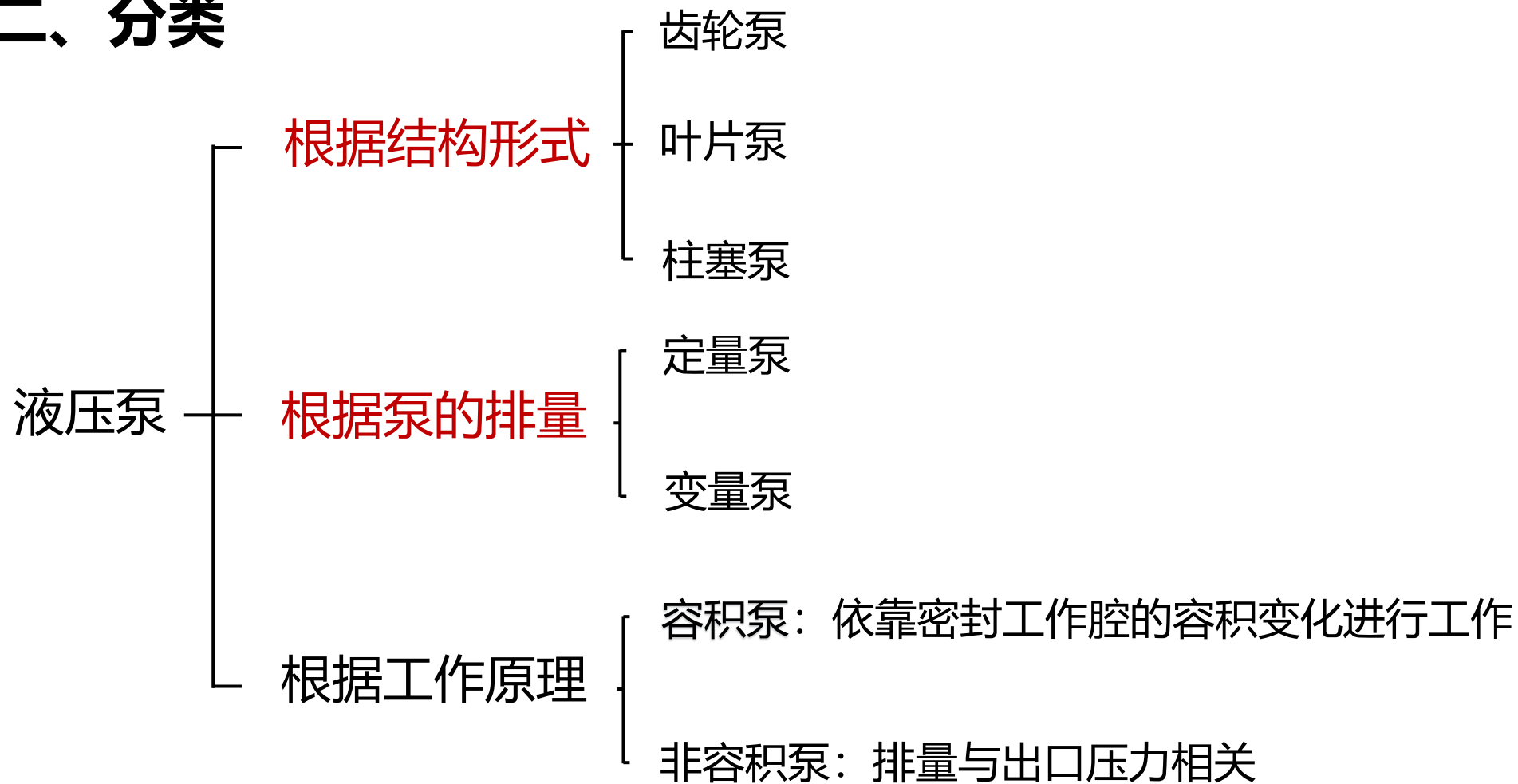
偏心轮1旋转时,柱塞2在偏心轮1和弹簧3的作用下在缸体中左右移动

三、工作原理—单柱塞泵

液压泵正常工作的三个必备条件

- 必须具有一个由运动件和非运动件所构成的**密闭容积**；
- 密闭容积的大小随运动件的运动作**周期性的变化**，容积由小变大——吸油，由大变小——压油；
- 密闭容积增大到极限时，先要与吸油腔**隔开**，然后才转为排油；密闭容积减小到极限时，先要与排油腔隔开，然后才转为吸油。

二、分类



液压传动系统中使用的液压泵和液压马达都是容积式的

四、主要性能参数

1、工作压力

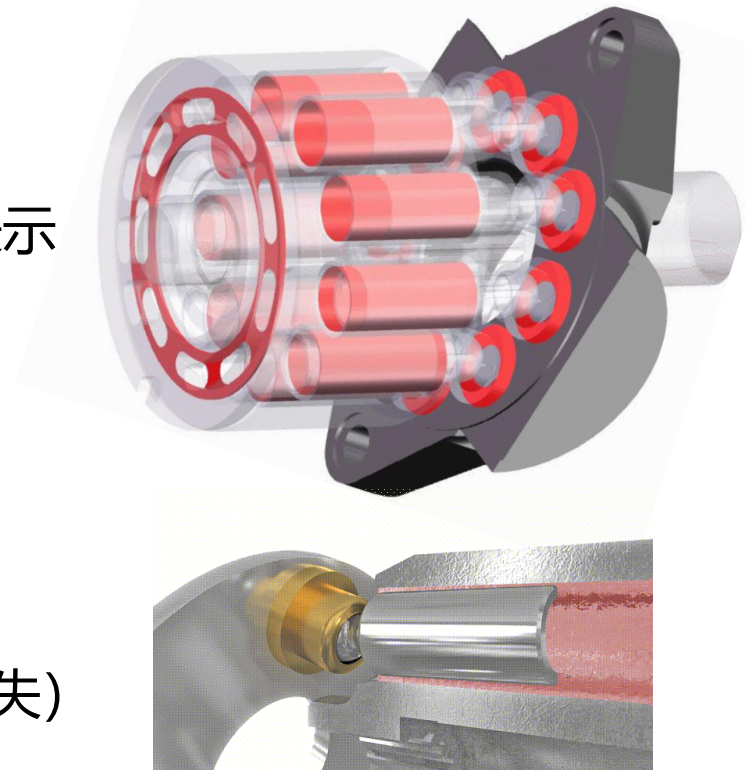
液压泵或液压马达的**工作压力**是指泵(马达)实际工作时的压力

对液压泵：指液压泵工作时的输出压力 对液压马达：液压马达工作时的输入压力

- 液压泵工作压力取决于**外负载**，外负载越大，输出压力越大
- 额定压力：可连续使用的最高工作压力
- 最高压力：极限使用压力

2、排量与流量

- **排量**：不考虑泄漏，液压泵每旋转一周排出的液体体积，用**V**表示
- **流量**：液压泵单位时间内排出的液体体积
- **理论流量**： $q_t = nV$ 其中n—液压泵转速，V—排量
- **实际流量**： $q_i = q_t - q_v$ （泵在实际工作中不可避免发生容积损失）
- **额定流量**：在正常工作条件下,按试验标准规定必须保证的流量,亦即在额定转速和额定压力下由液压泵输出的实际流量

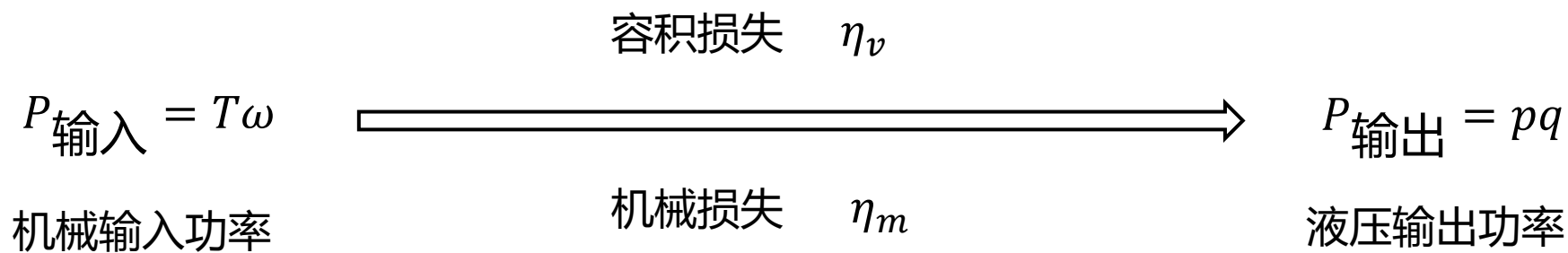


3、功率与效率

理论功率: $P_t = p q_t = p n V$

实际功率: $P_i = p_i q_i = P_t - P_v$

效率: 由于液压泵在实际能量转换过程中有能量损失, 即输出功率小于输入功率, 两者之间的差值为功率损失, 分为容积损失与机械损失两部分



容积损失: 因内泄漏、气穴和油液在高压下的压缩(内泄漏为主)而造成的流量的损失。

泵压力越高, 容积效率越低; 排量越小, 容积效率越低; 转速越低, 容积效率越低;

机械损失: 因摩擦造成转矩上的损失。

泵压力越高, 机械效率越低; (牛顿内摩擦定律)

3、功率与效率

设泵的流量损失为 Δq ，则泵的容积损失可用**容积效率** η_v 来表征

$$\eta_v = \frac{q}{q_t} = \frac{q_t - \Delta q}{q_t} = 1 - \frac{\Delta q}{q_t}$$

η_v — 泵的实际输出流量与理论流量之比

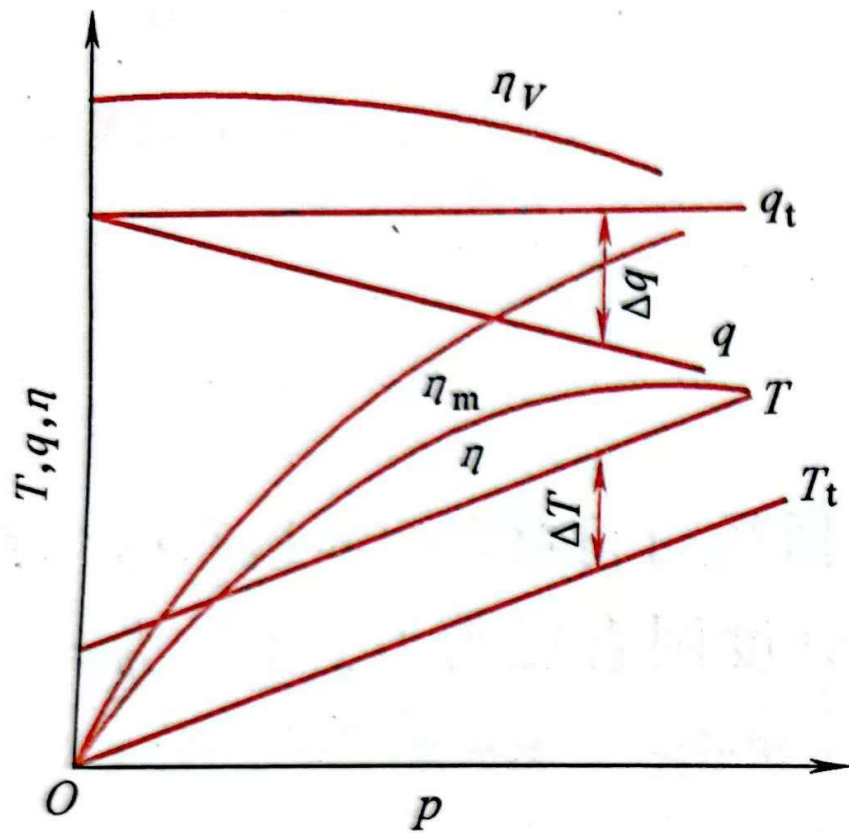
设泵的转矩损失为 ΔT ，则泵的转矩损失可用**机械效率** η_m 来表征

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

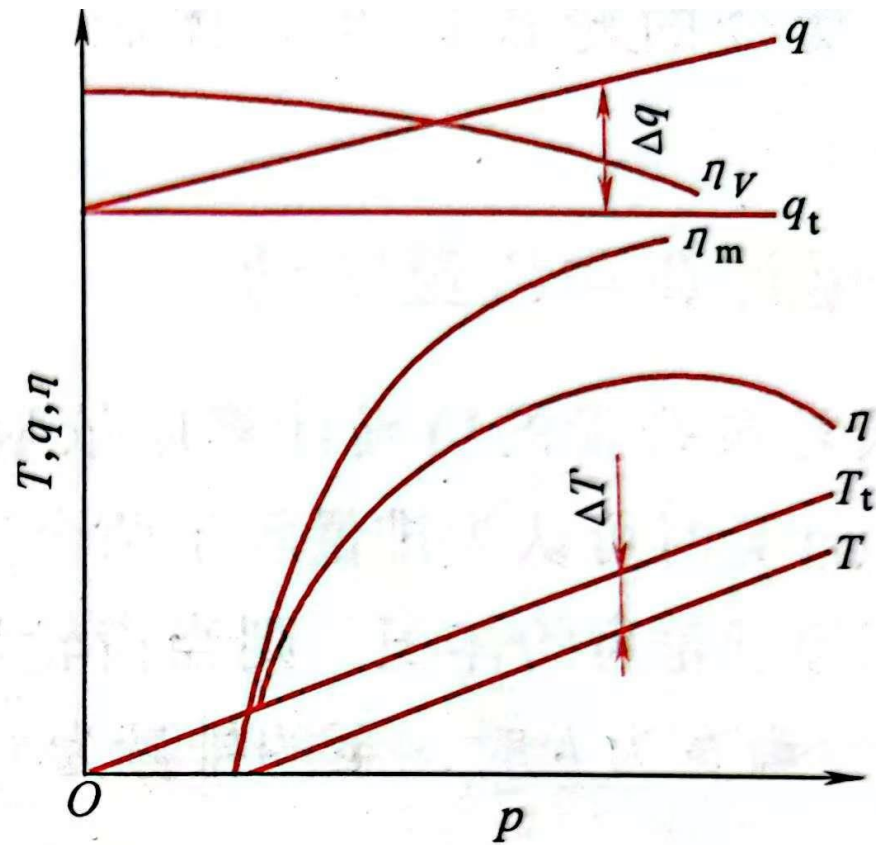
η_m — 泵的理论输入转矩与实际输入转矩之比

总效率：泵的实际输出功率与输入功率之比 $\eta = \frac{P_o}{P_i} = \eta_v \times \eta_m$

3、功率与效率



a)

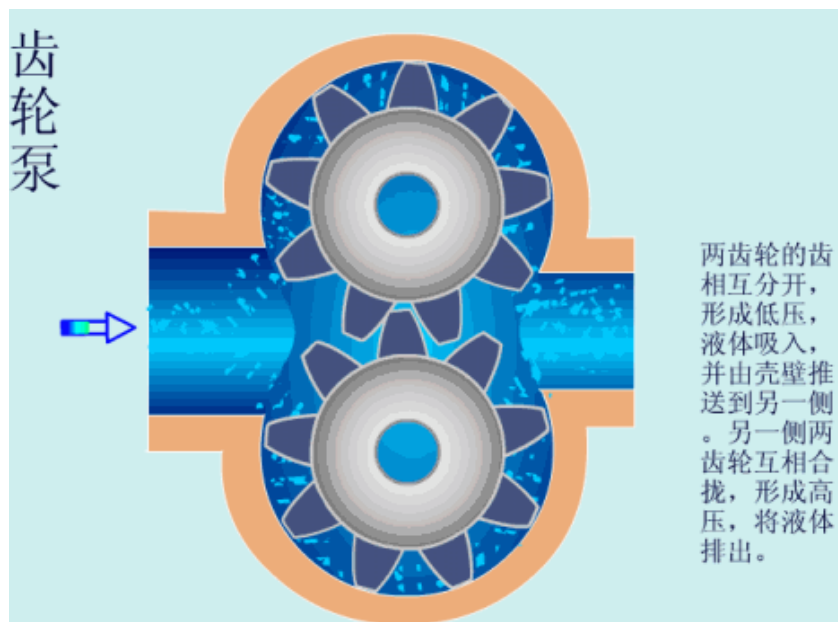


b)

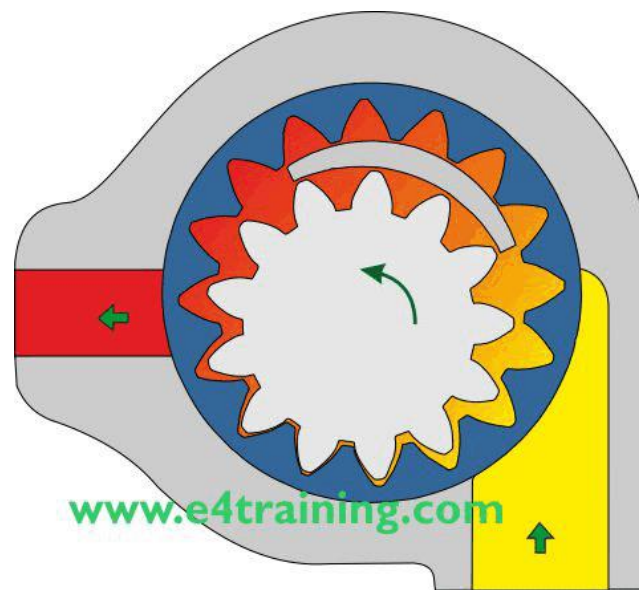
一、定义与分类

定义： 是一种通过齿轮相互啮合将原动机机械能转换成液压油压力能的能量转换装置

分类： 通过内部啮合方式的不同，分为外啮合齿轮泵与内啮合齿轮泵



外啮合齿轮泵



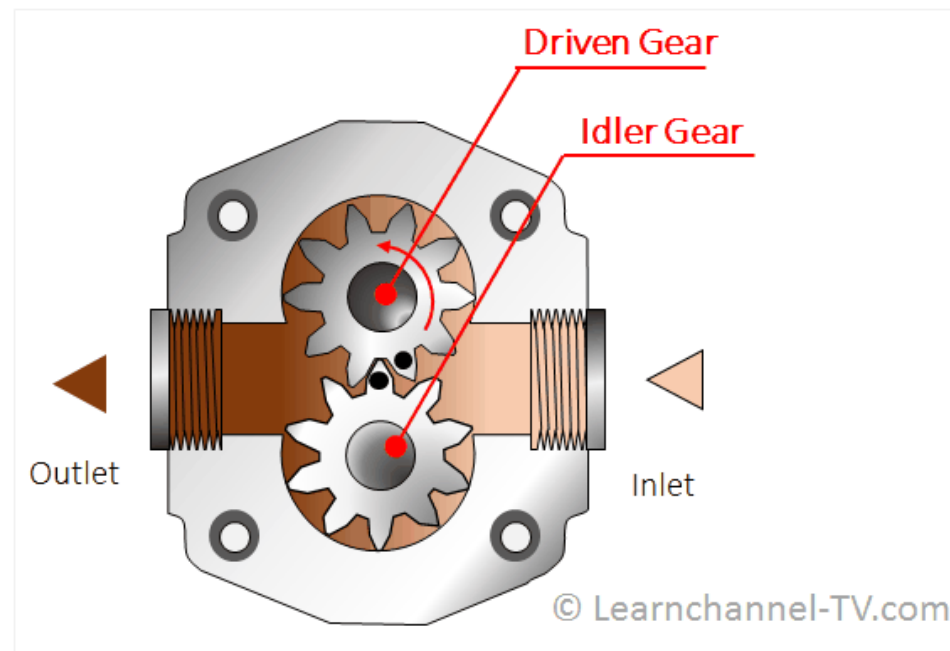
内啮合齿轮泵



二、结构—外啮合齿轮泵

外啮合齿轮泵主要由泵体、啮合齿轮对、主动轴、从动轴以及两端端盖等部分组成

主动轴伸出泵体，一般由外界电动机带动旋转



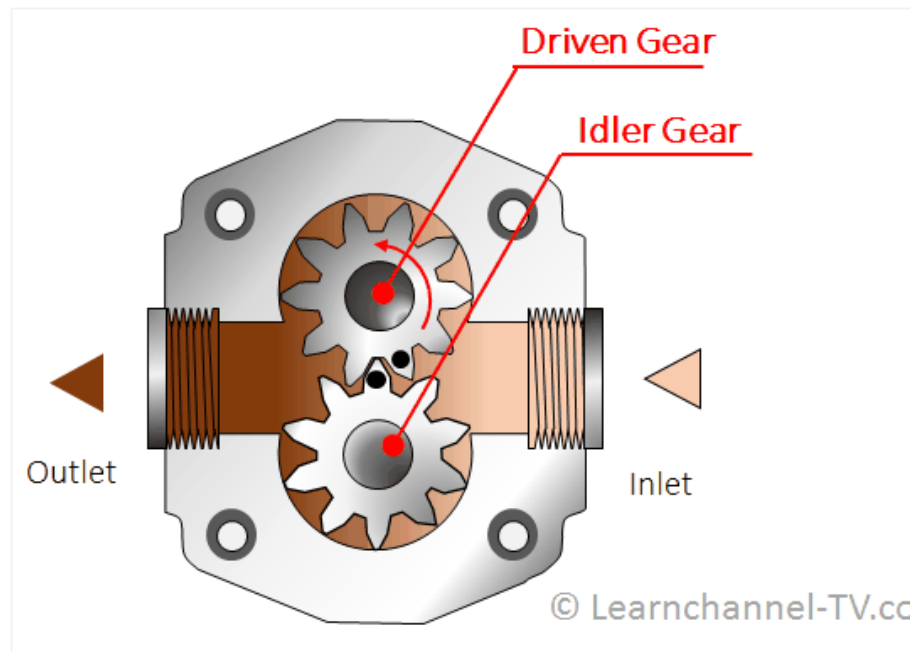
外啮合齿轮泵

三、工作原理

齿轮泵的壳体、端盖和齿轮的各个齿间槽组成了许多密封工作腔。

当齿轮按图示方向旋转时,右侧吸油腔由于相互啮合的轮齿逐渐脱开,密封工作腔容积逐渐增大,形成部分真空,油箱中的油液被吸进来,将齿间槽充满,并随着齿轮旋转,把油液带到左侧压油腔去。

在压油区一侧,由于轮齿逐渐进入啮合,密封工作腔容积不断减小,油液便被挤出去。吸油区和压油区是由相互啮合的轮齿以及泵体和端盖分隔开的。



外啮合齿轮泵

四、排量计算

设齿间槽的容积等于轮齿的体积，当齿轮齿数为 z ，节圆直径为 D ，模数为 m ，齿高为 h ，齿宽为 b ，泵的排量为：

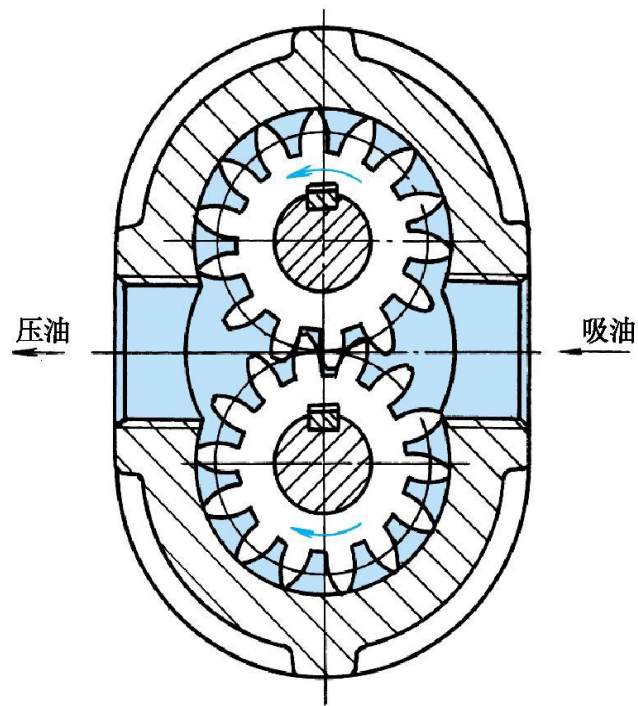
$$V = \pi D h b = 2 \pi z m^2 b$$

考虑到齿间槽容积比轮齿的体积稍大些，所以通常按下式计算

$$V = C 2 \pi z m^2 b$$

其中 C 为修正系数， $z = 13 \sim 20$ 时，取 $C = 1.06$ ； $z = 6 \sim 12$ 时，取 $C = 1.115$

因此，外啮合齿轮泵是定量泵



外啮合齿轮泵

五、流量脉动

由于齿轮啮合过程中压油腔的容积变化率是不均匀的,因此齿轮泵的瞬时流量是脉动的, 设 q_{\max} 、 q_{\min} 表示最大、最小瞬时流量, q 表示平均流量

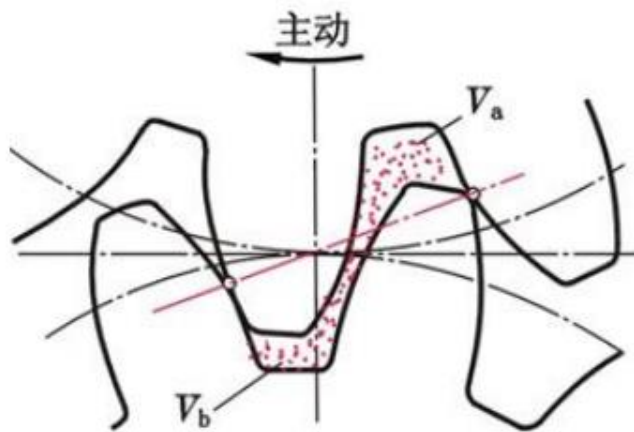
$$\text{流量脉动率 } \sigma = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{q} = \frac{\pi^2 \varepsilon^2 \cos \alpha^2}{4(Z + 1)}$$

Z	6	8	10	12	14	16	18	20
σ	34.7	26.3	21.2	17.8	15.3	13.4	12.06	10.7

从表中可以看出, 外啮合齿轮泵的齿数越少, 脉动率 σ 越大

六、困油现象

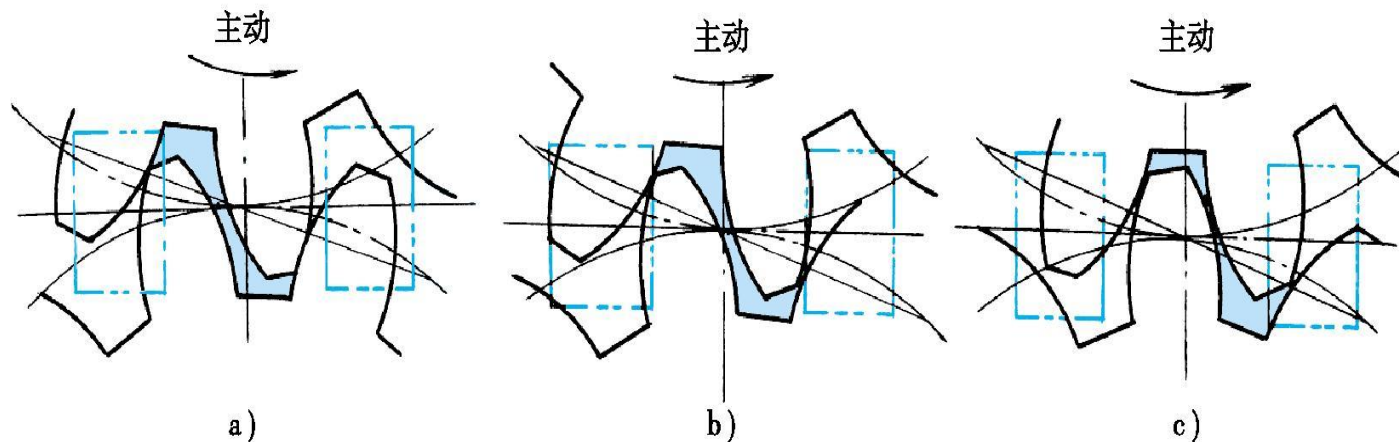
闭死容积：齿轮泵要平稳工作，**齿轮啮合的重叠系数必须大于1**，当一对轮齿尚未脱开啮合前，后一对轮齿就开始进入啮合，在这一小段时间内，**同时有两对轮齿进行啮合**，在它们之间形成封闭的空间，一般称为闭死容积



第二节 齿轮泵



浙江大学
ZHEJIANG UNIVERSITY



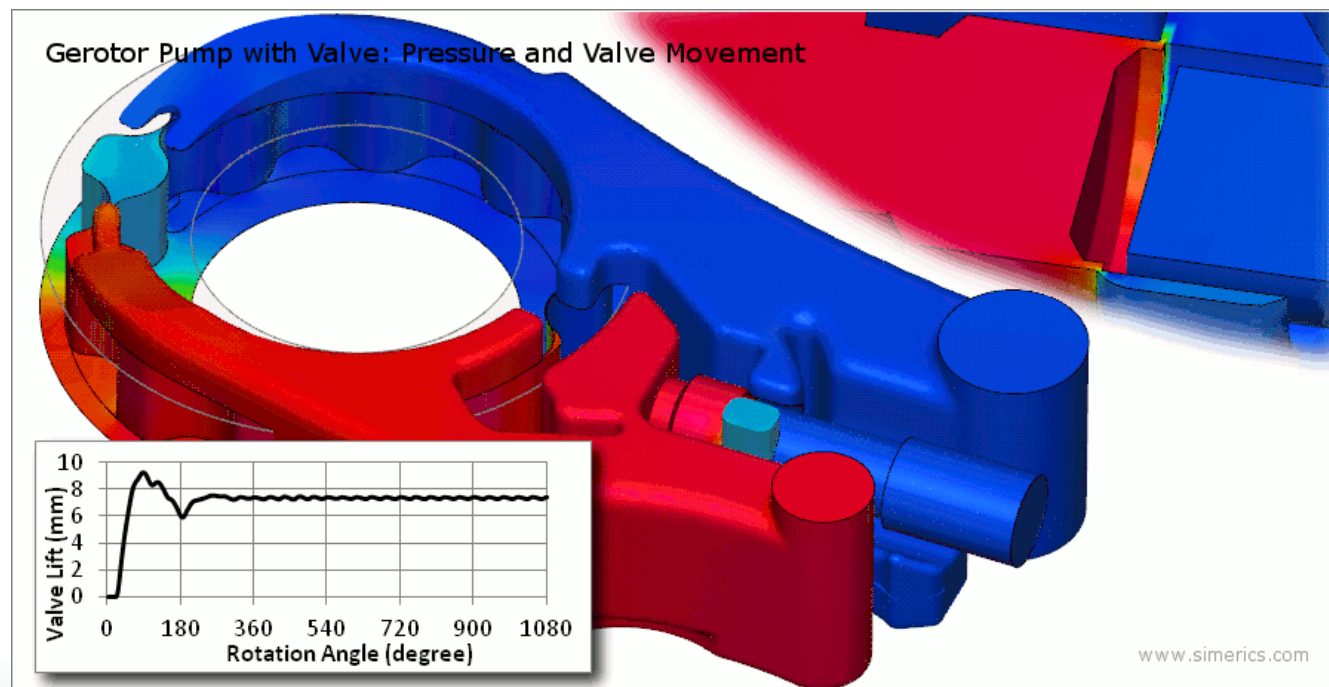
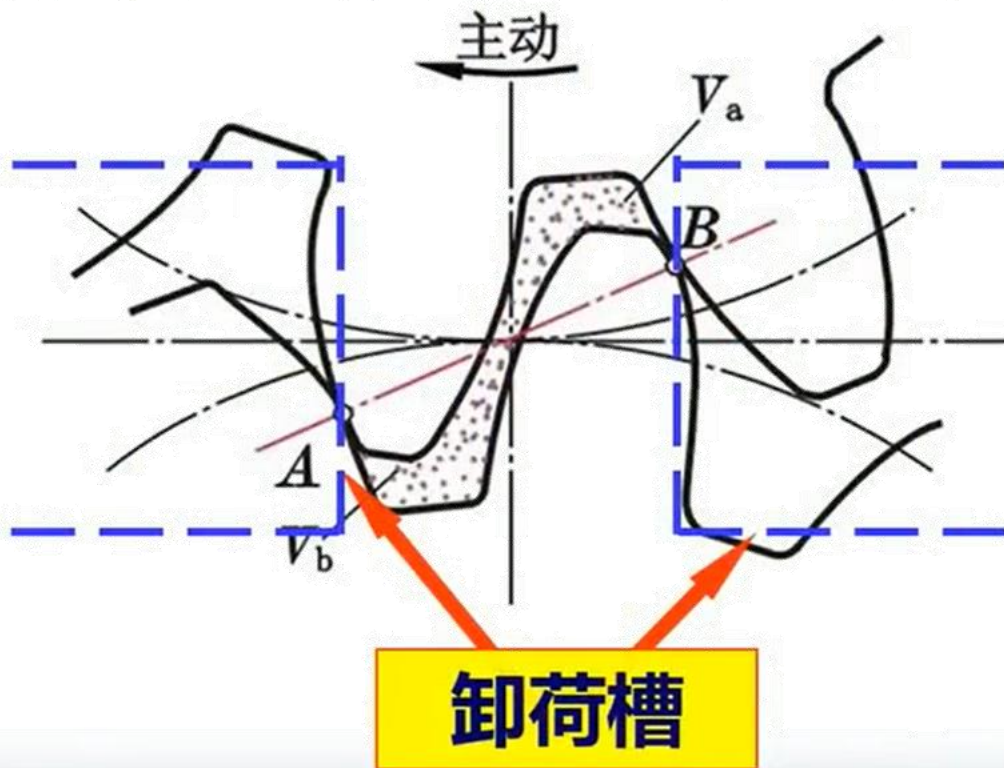
a-b: 闭死容积逐渐减小

b-c: 闭死容积逐渐增大

困油现象: 闭死容积的**减小**会使被困油液受**挤压**而产生很高的压力,并从缝隙中挤出,导致油液发热,并使机件(如轴承等)受到额外的负载;而闭死容积的**增大**又会造成局部**真空**,使油液中溶解的气体分离,产生**气穴**现象, 这些都将使泵产生强烈的振动和噪声。

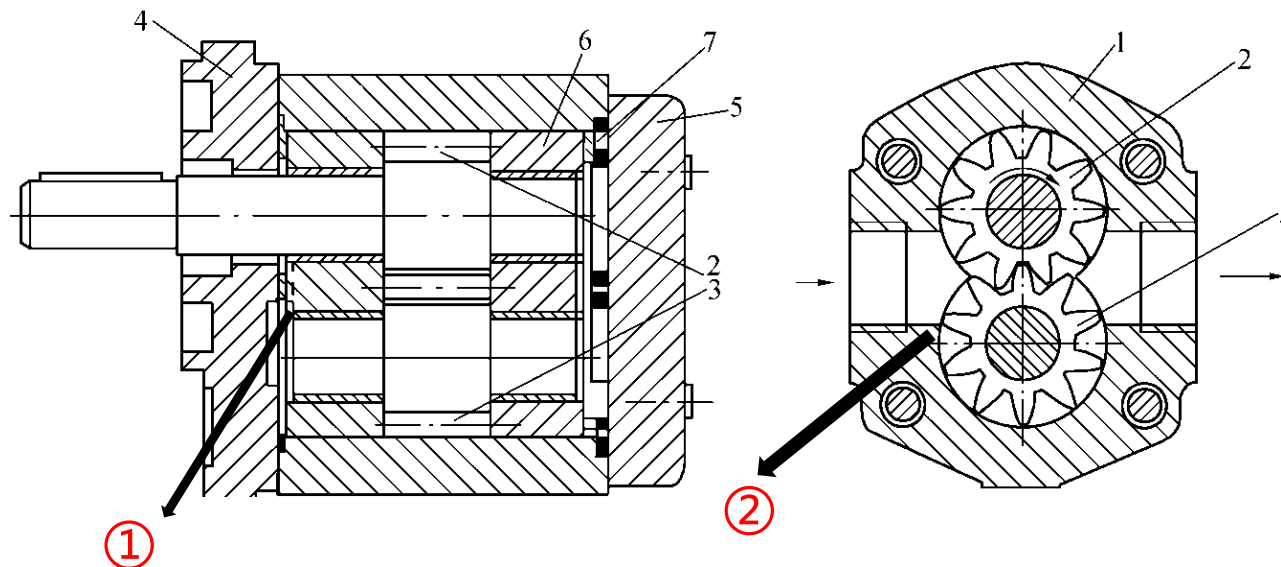
第二节 齿轮泵

消除困油现象：通常是在与齿轮端面接触的端盖上或轴承座圈上开**卸荷槽**，使封闭腔容积减小时通过左边的卸荷槽与压油腔相通，容积增大时通过右边的卸荷槽与吸油腔相通



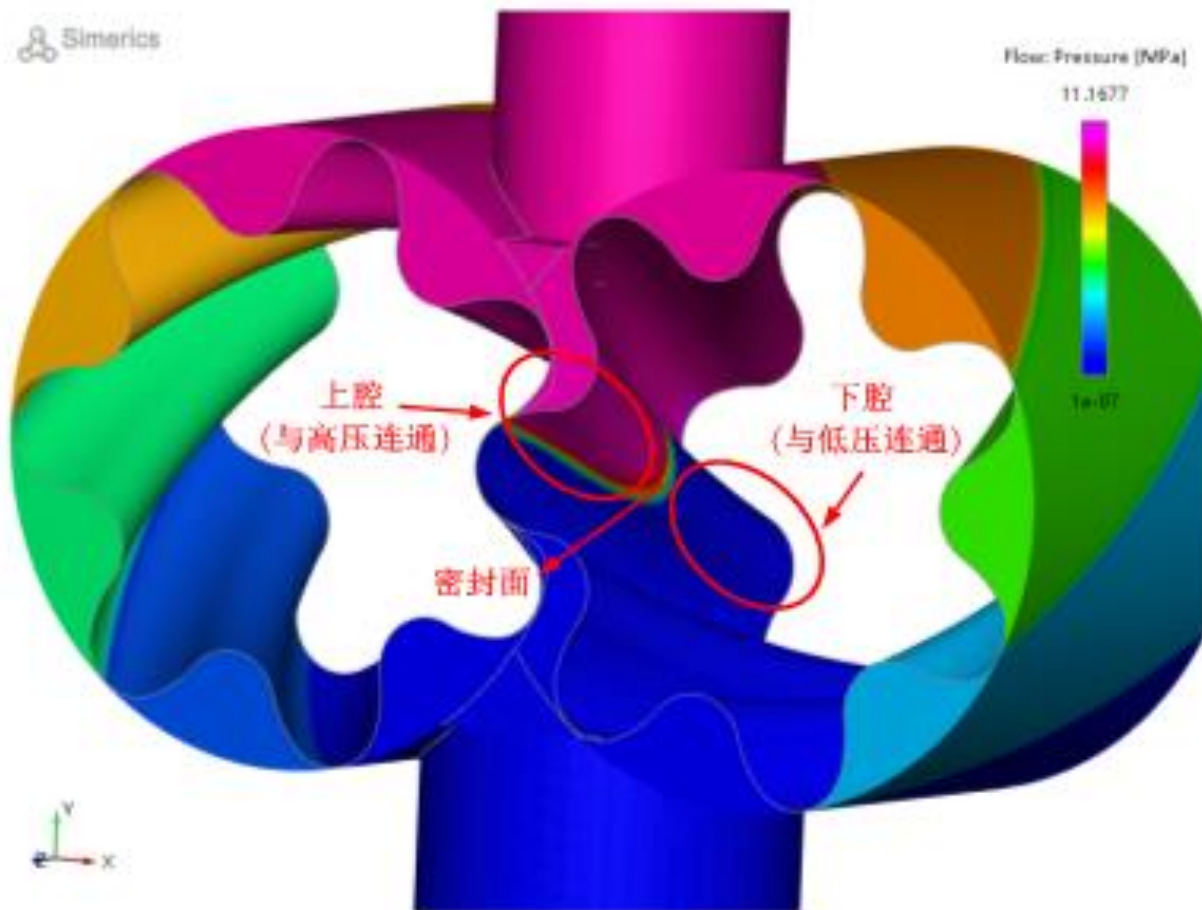
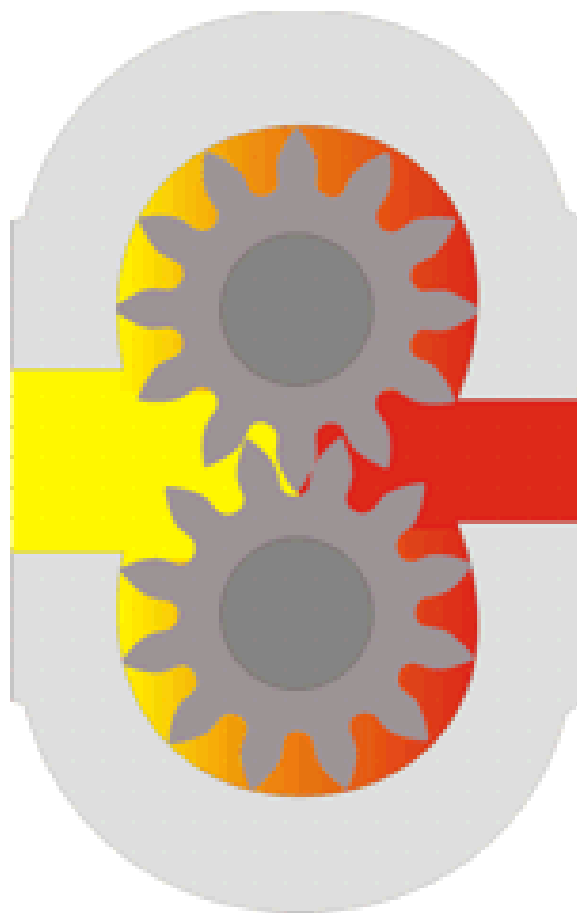
七、泄漏现象

外啮合齿轮泵高压腔的压力油可通过**齿轮两侧面和两端盖间轴向间隙**（约占75%-80%）、**泵体内孔和齿顶圆间的径向间隙**（约占10%-15%）及**齿轮啮合线处的间隙**(5%-10%)泄漏到低压腔中去。



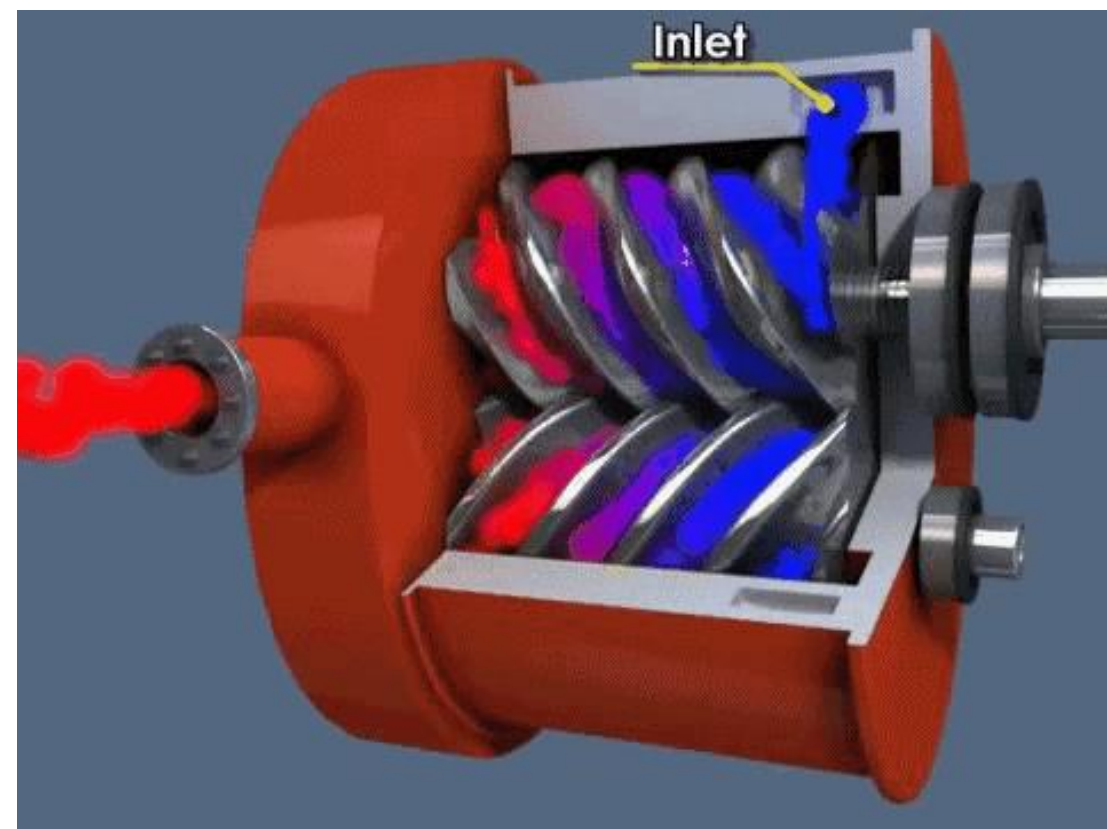
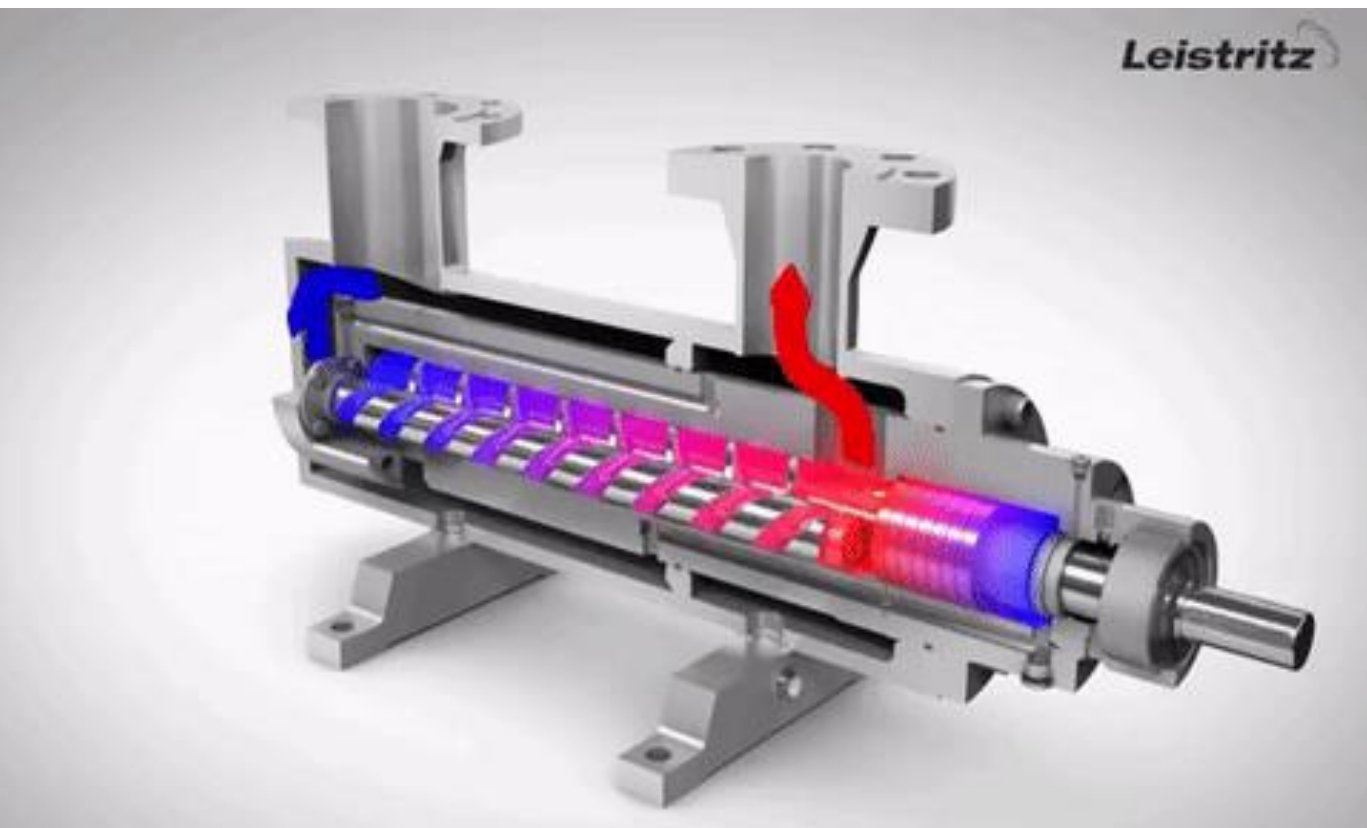
对泄漏影响最大的是**轴向间隙**(①②)

八、径向不平衡力



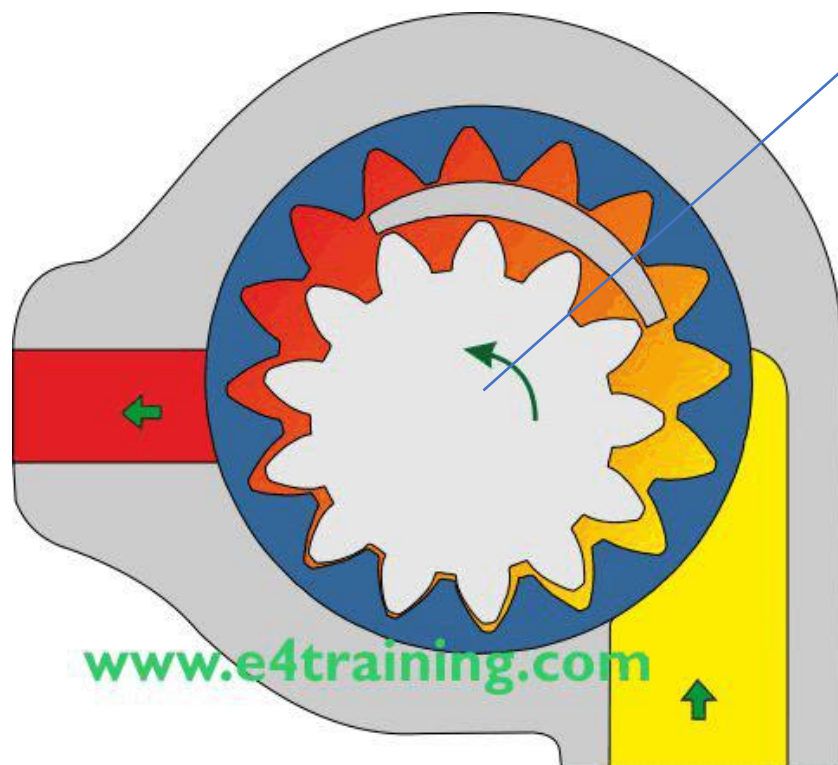
第二节 齿轮泵

螺杆泵

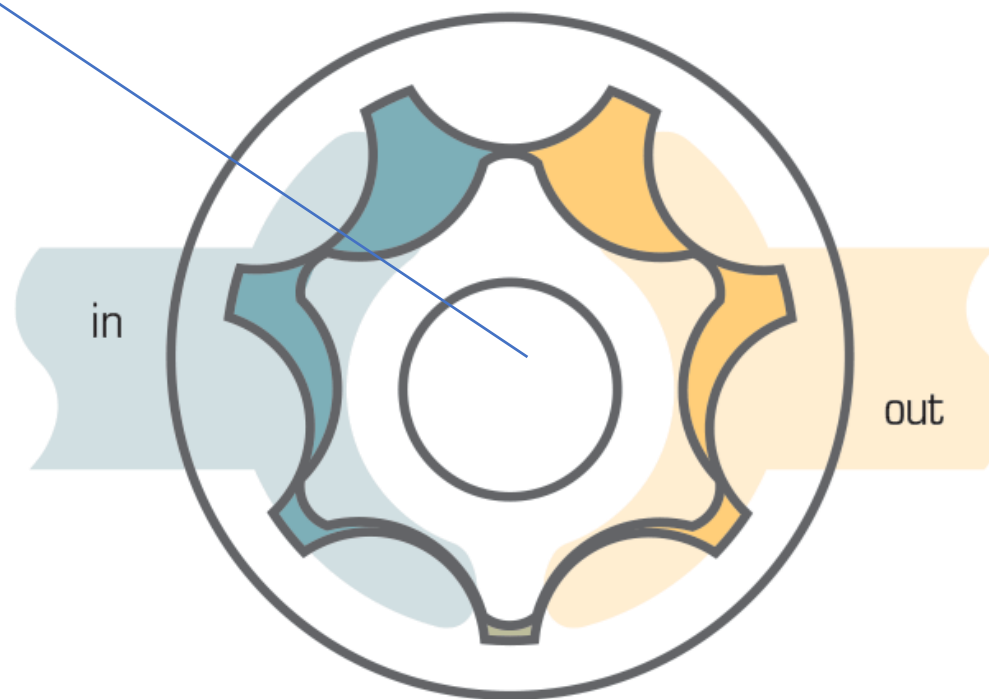


内啮合齿轮泵

小齿轮是主动轮



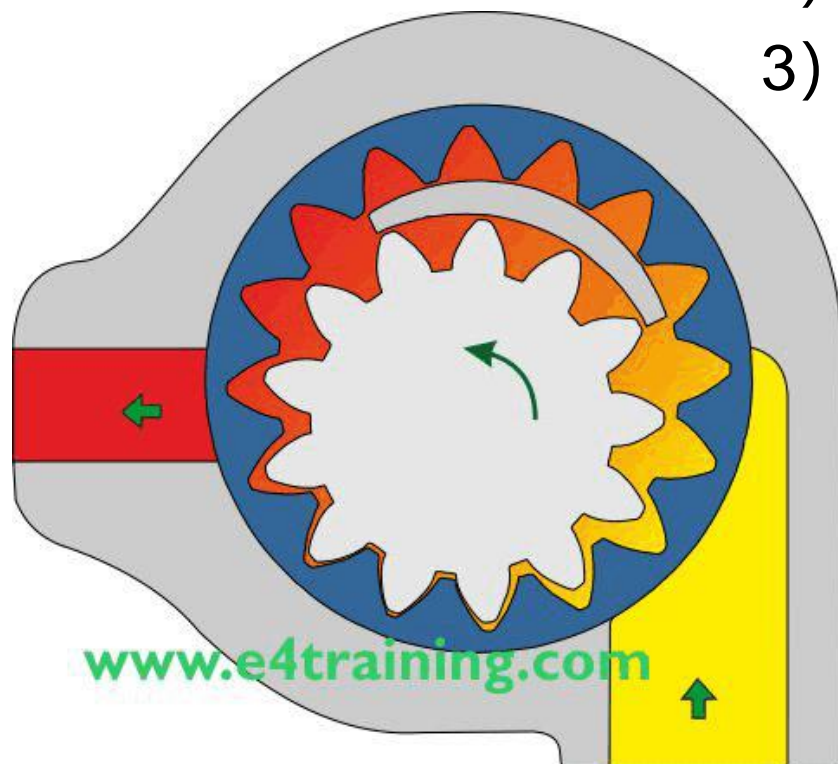
渐开线内啮合齿轮泵



摆线内啮合齿轮泵

内啮合齿轮泵

- 优点：**
- 1) 结构紧凑、尺寸/质量小
 - 2) 同向旋转、相对滑动速度小，磨损小，寿命长
 - 3) 压力脉动小和噪音小



渐开线内啮合齿轮泵

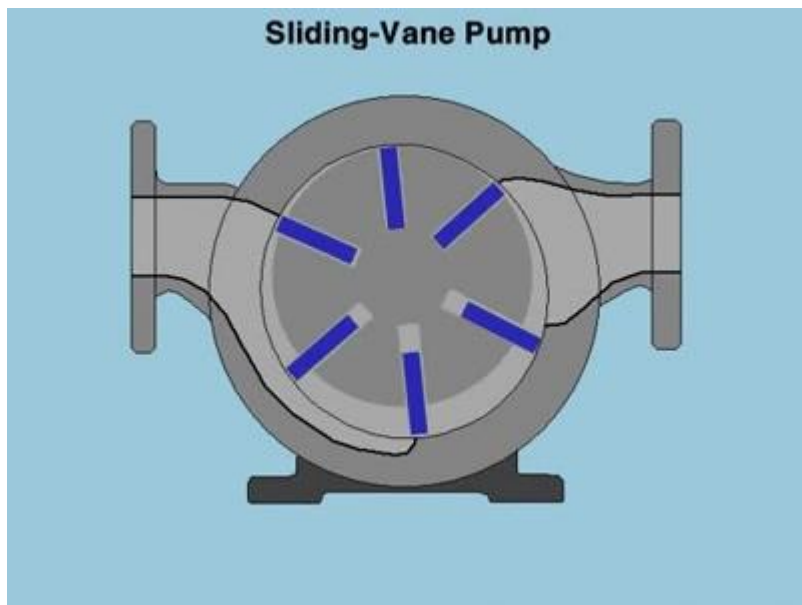


摆线内啮合齿轮泵

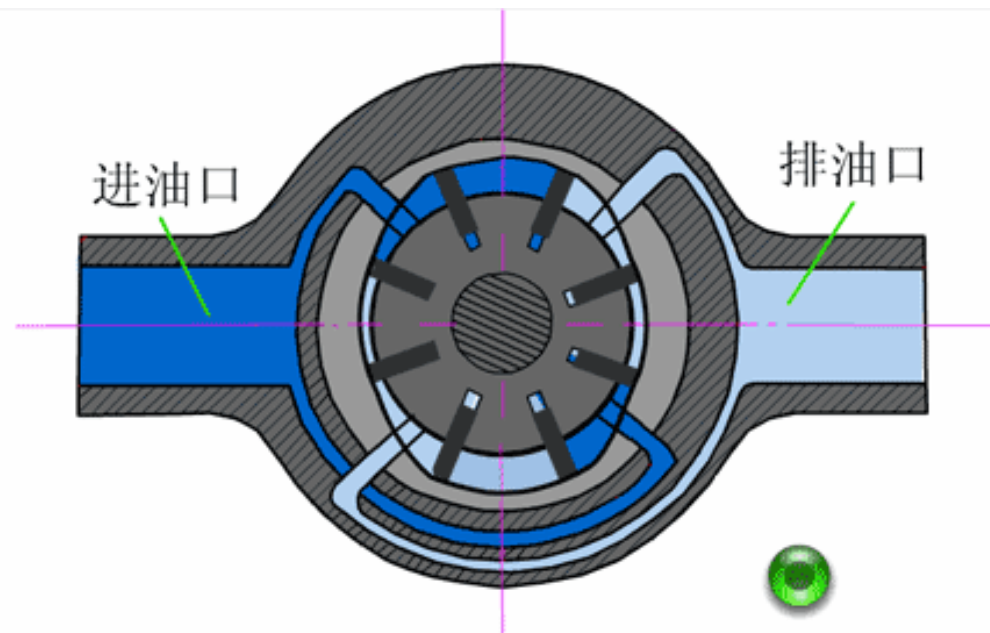
一、定义与分类

定义：叶片泵是一种利用**叶片**将原动机机械能转换为液压油压力能的能量转换装置

分类：根据转子旋转一周吸排次数的不同，分为**单作用叶片泵**与**双作用叶片泵**



单作用叶片泵

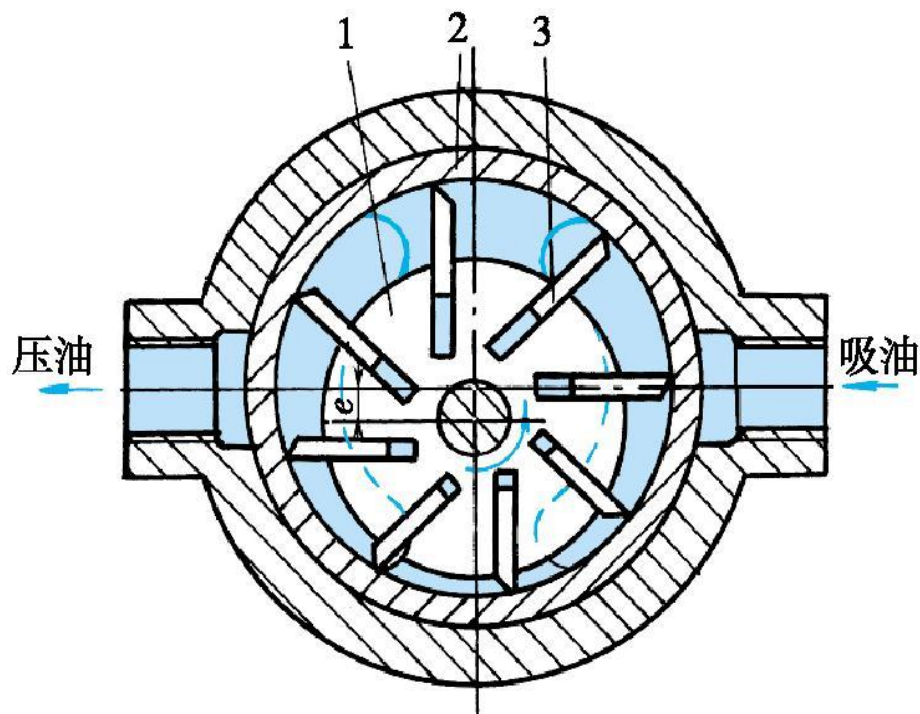


双作用叶片泵

二、工作原理—单作用叶片泵

组成：单作用叶片泵主要由**转子1**、**定子2**、**叶片3**以及**配油盘**、**两端端盖**等主要零件组成

定子的内表面是圆柱形孔，叶片放置在叶片槽中，在槽内可灵活运动；而在转子转动时的**离心力**或通入叶片根部**压力油**的作用下，叶片顶部贴紧在定子内表面上。于是两相邻叶片、定子内表面、转子外表面、配油盘以及两端端盖相配合形成了**密闭工作空间**

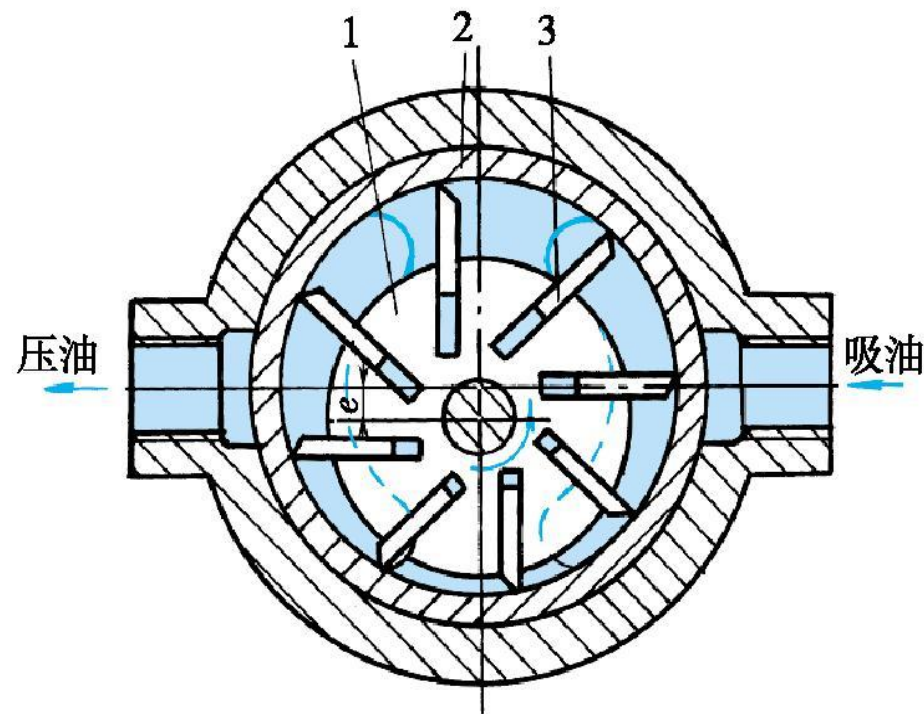


1-转子 2-定子 3-叶片

二、工作原理—单作用叶片泵

当转子按图示方向旋转时,图右侧的叶片向**外伸出**,密封工作腔容积逐渐**增大**,产生**真空**,于是通过吸油口和配油盘上窗口将油**吸入**。

而在图的左侧,叶片往里缩进,密封腔的容积逐渐**缩小**,密封腔中的油液经配油盘另一窗口和压油口被**压出**而输到系统中去。



1-转子 2-定子 3-叶片

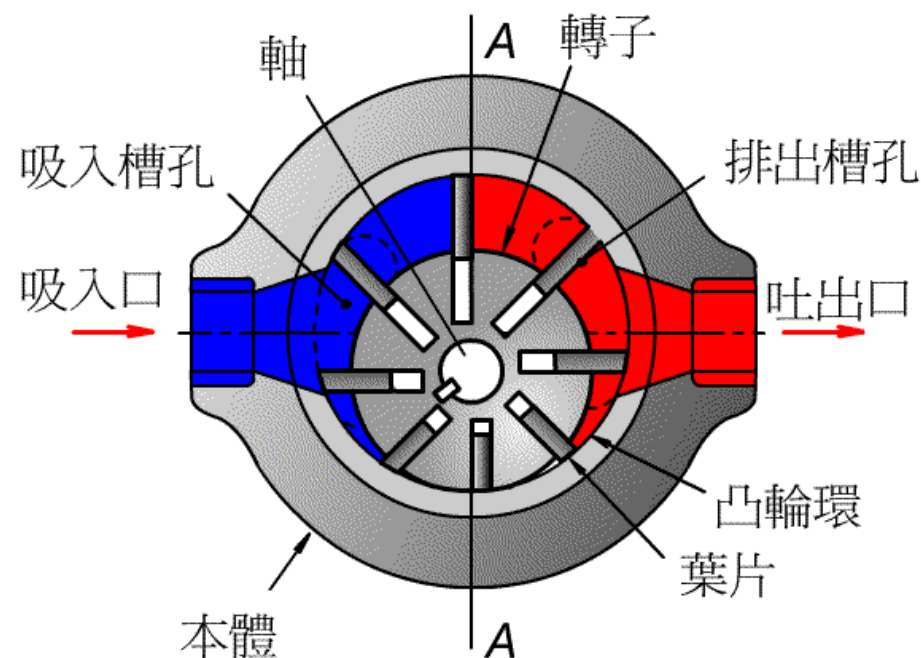
二、工作原理—单作用叶片泵

因此：

这种泵在转子转一转过程中,吸油压油各一次,故称**单作用泵**

转子上受有单方向的液压不平衡作用力,故又称**非平衡式泵**,其轴承负载较大

改变定子和转子间偏心的大小,便可改变泵的排量,故是**变量泵**



1-转子 2-定子 3-叶片

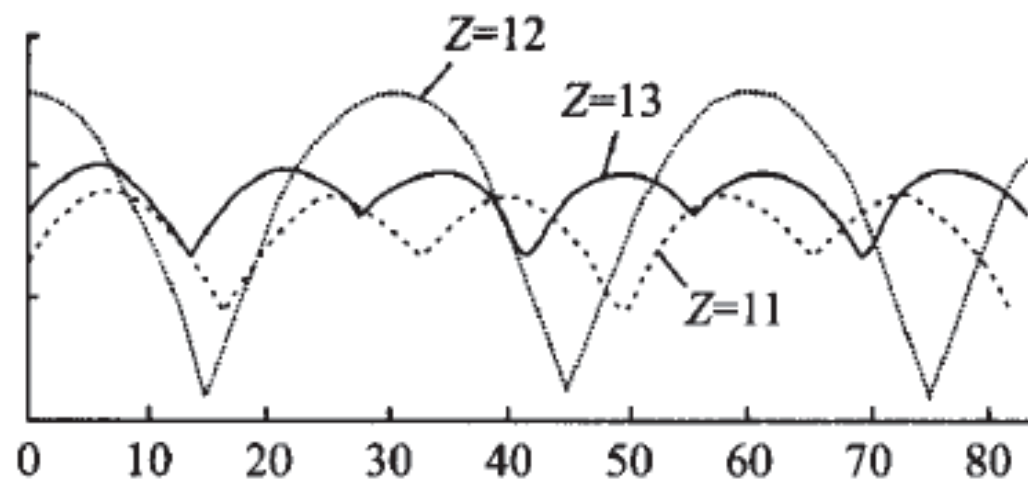
四、流量脉动

单作用叶片泵的流量也是有脉动的, **泵内叶片数越多, 流量脉动率越小**

设 q_{\max} 、 q_{\min} 表示最大、最小瞬时流量, q 表示平均流量, 则:

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

得到: **奇数叶片的泵的脉动率比偶数叶片的泵的脉动率小**, 所以单作用叶片泵的叶片数总取奇数, 一般为13或15片

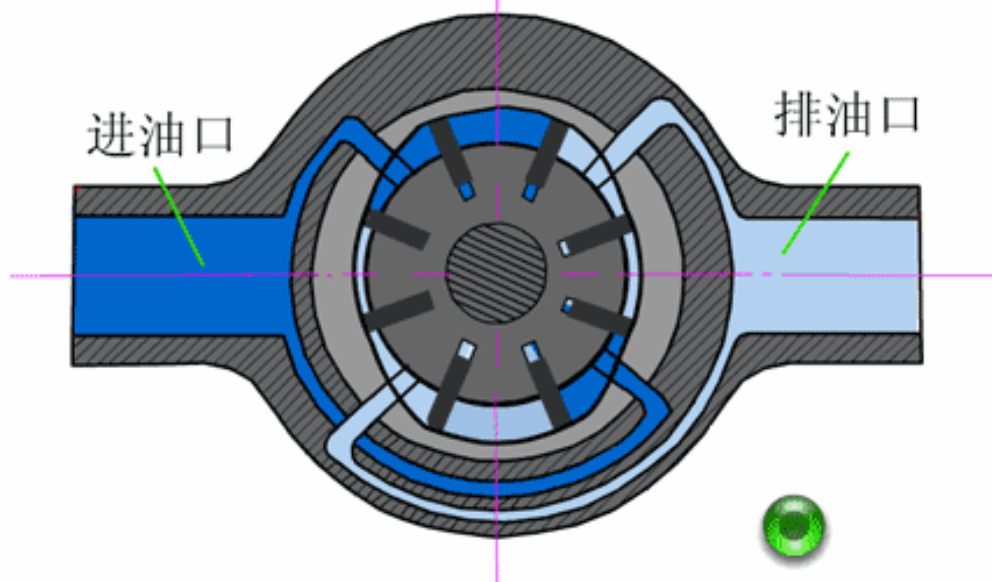


旋转角度与瞬时流量的变化关系曲线

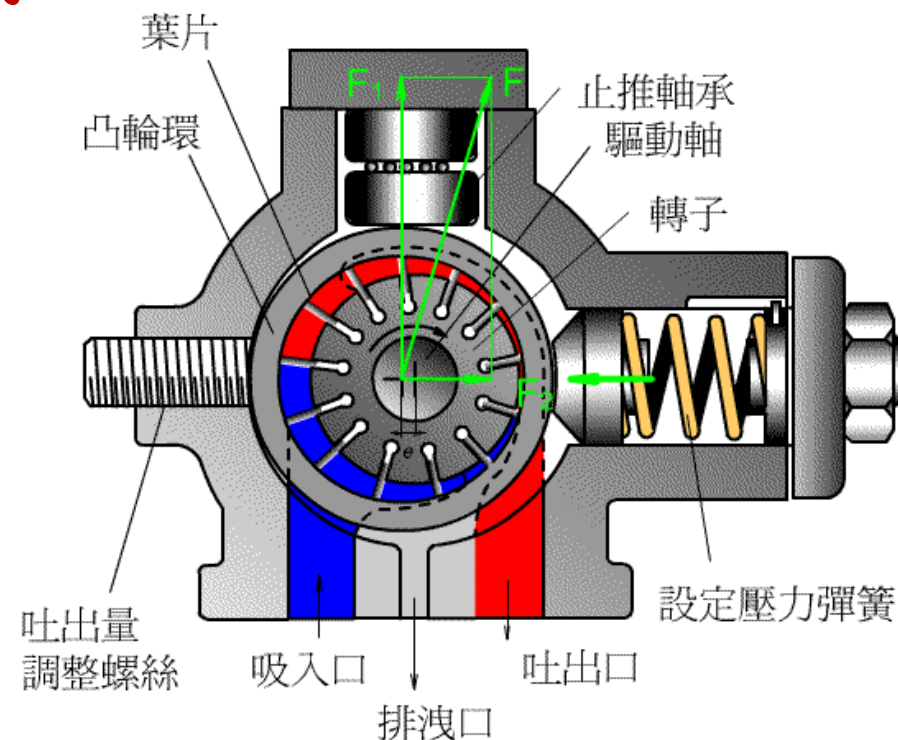
二、工作原理—双作用叶片泵

两段长半径圆弧、两段短半径圆弧、四段过渡曲线

(等加速-等减速等)



双作用叶片泵
(平衡式叶片泵)



变量叶片泵

