

第三章 液压执行装置

液压执行装置是将压力能转化成机械能的一种机械装置，通过它来克服负载做功

液压执行装置按输出方式可分为

:

- 1、液压马达：作旋转运动，输入压力 P 、流量 q ，输出扭矩 T 、转速 n 。
- 2、液压缸：作执行运动或摆动，输入压力 P 、流量 q ，输出力 F 、速度 v 或扭矩 T 、角速度 ω 。

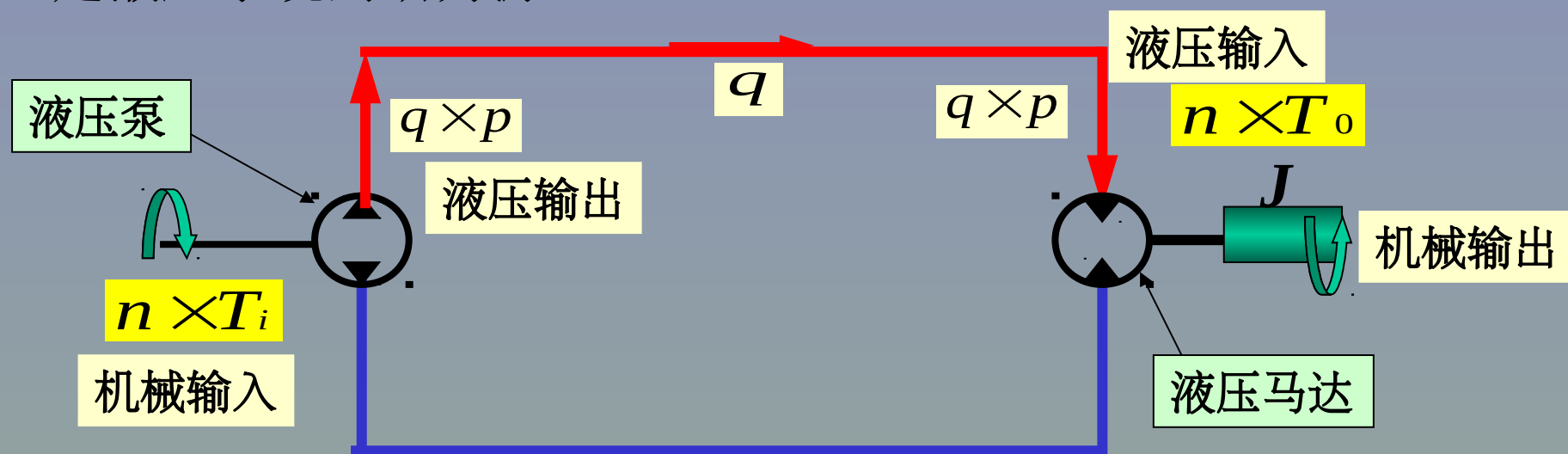
§3-1 液压马达

液压马达和液压泵在结构上基本相似，也是靠密封容积的变化进行工作的。常见的液马达也有**齿轮式**、**叶片式**和**柱塞式**等几种主要形式；从转速转矩范围分，可有**高速马达**和**低速大扭矩马达**之分。马达和泵在工作原理上是互逆的，当向泵输入压力油时，其轴输出转速和转矩就成为马达。

由于二者的任务和要求有所不同，故在实际结构上还是有些不同的。

液压泵和液压马达区别。

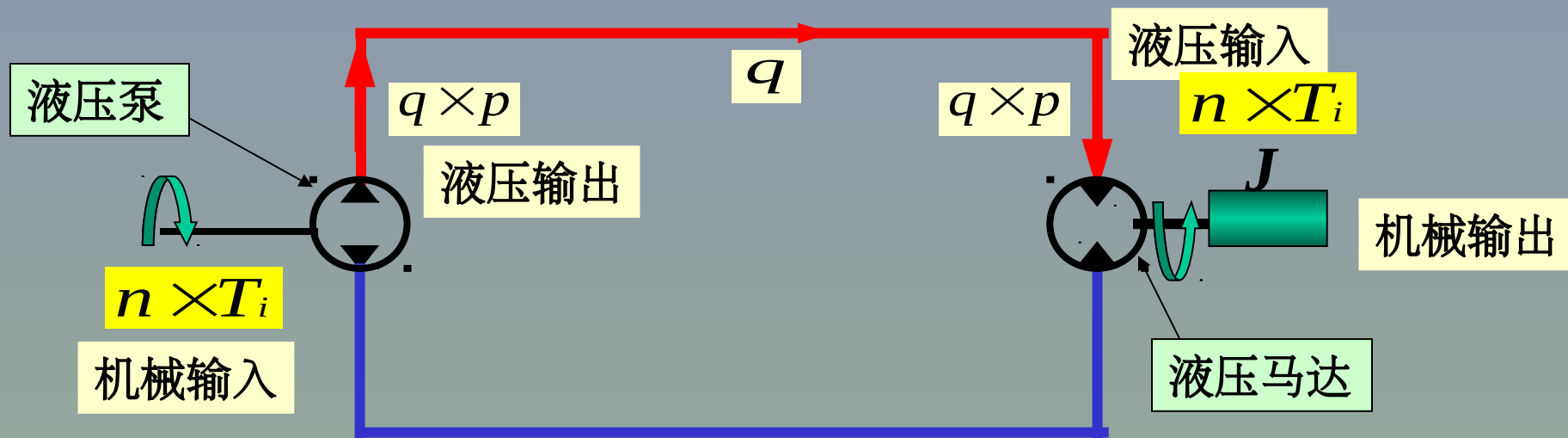
液压泵由原动机驱动，把输入的机械能转换为油液的压力能，再以压力、流量的形式输入到系统中去，它是液压系统的动力源。



液压马达则将输入的压力能转换成机械能，以扭矩和转速的形式输送到执行机构做功，是液压传动系统的执行元件。

液压马达是实现连续旋转运动的执行元件，从原理上讲，向容积式泵中输入压力油，迫使其转轴转动，就成为液压马达，即容积式泵都可作液压马达使用。

但在实际中由于性能及结构对称性等要求不同，一般情况下，液压泵和液压马达不能互换。



一、液压马达的主要性能参数

- 工作压力

马达入口油液的实际压力称为马达的工作压力，马达入口压力和出口压力的差值称为马达的工作压差。

- 流量和排量

马达入口处的流量称为马达的实际流量 q 。马达密封腔容积变化所需要的流量称为马达的理论流量 q_0 。实际流量和理论流量之差即为马达的泄漏量 Δq 。

马达轴每转一周，由其密封容腔有效体积变化而排出的液体体积称为马达的排量。

- 容积效率和转速

因马达实际存在泄漏，由实际流量 q 计算转速 n 时，应考虑马达的容积效率 η_v 。当液压马达的泄漏流量为 Δq ，马达的实际流量为 $q = q_0 + \Delta q$ ，则液压马达的容积效率为：

$$\eta_v = \frac{q_0}{q} = 1 - \frac{\Delta q}{q}$$

马达的输出转速等于理论流量 q_0 与排量 V 的比值，即

$$n = \frac{q_0}{V} = \frac{q}{V} \eta_v$$

由此可见，**马达的转速与马达的排量成反比。**

- 机械效率

$$\eta_m = \frac{T}{T_0} = 1 - \frac{T_f}{T_0}$$

- 输出转矩

设马达的出口压力为零，入口工作压力为 P ，排量为 V ，则马达的理论输出转矩与泵有相同的表达形式，即

$$T_0 = \frac{PV}{2\pi}$$

马达的实际输出转矩 T 小于理论输出转矩 T_0

:

$$T = \frac{PV}{2\pi} \eta_m$$

因马达实际存在机械摩擦，故实际输出转矩应考虑机械效率。

由上式可知，**马达的输出扭矩与马达的排量成正比。**

- 功率和总效率

马达的输入功率为

$$N_i = Pq$$

马达的输出功率为

$$N_o = 2\pi nT$$

马达的总效率为

$$\eta = \frac{N_o}{N_i} = \frac{2\pi nT}{Pq} = \eta_v \eta_m$$

由上式可见，液压马达的总效率亦同于液压泵的总效率，等于机械效率与容积效率的乘积。

二、常见的液压马达

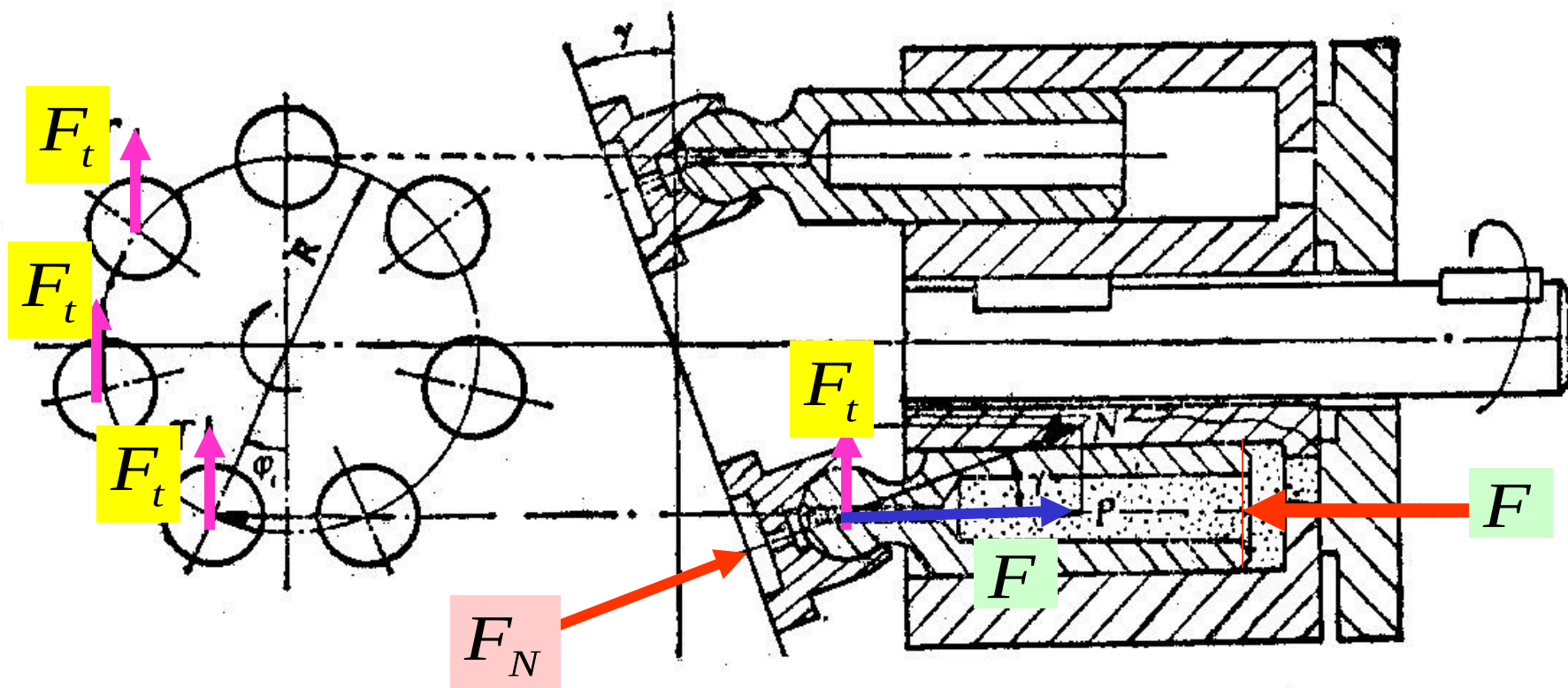
一般来说，额定转速高于 500r/min 的马达属于高速马达，额定转速低于 500r/min 的马达属于低速马达。

高速液压马达基本型式：齿轮式、叶片式和轴向柱塞式等。

它们的主要特点是转速高，转动惯量小，便于启动、制动、调速和换向。通常高速马达的输出扭矩不大，最低稳定转速较高，只能满足高速小扭矩工况。

1、柱塞式马达

当压力油输入液压马达时，处于压力腔的柱塞被顶出，压在斜盘上，斜盘对柱塞产生反力，该力可分解为轴向分力和垂直于轴向的分力。其中，垂直于轴向的分力使缸体产生转矩。



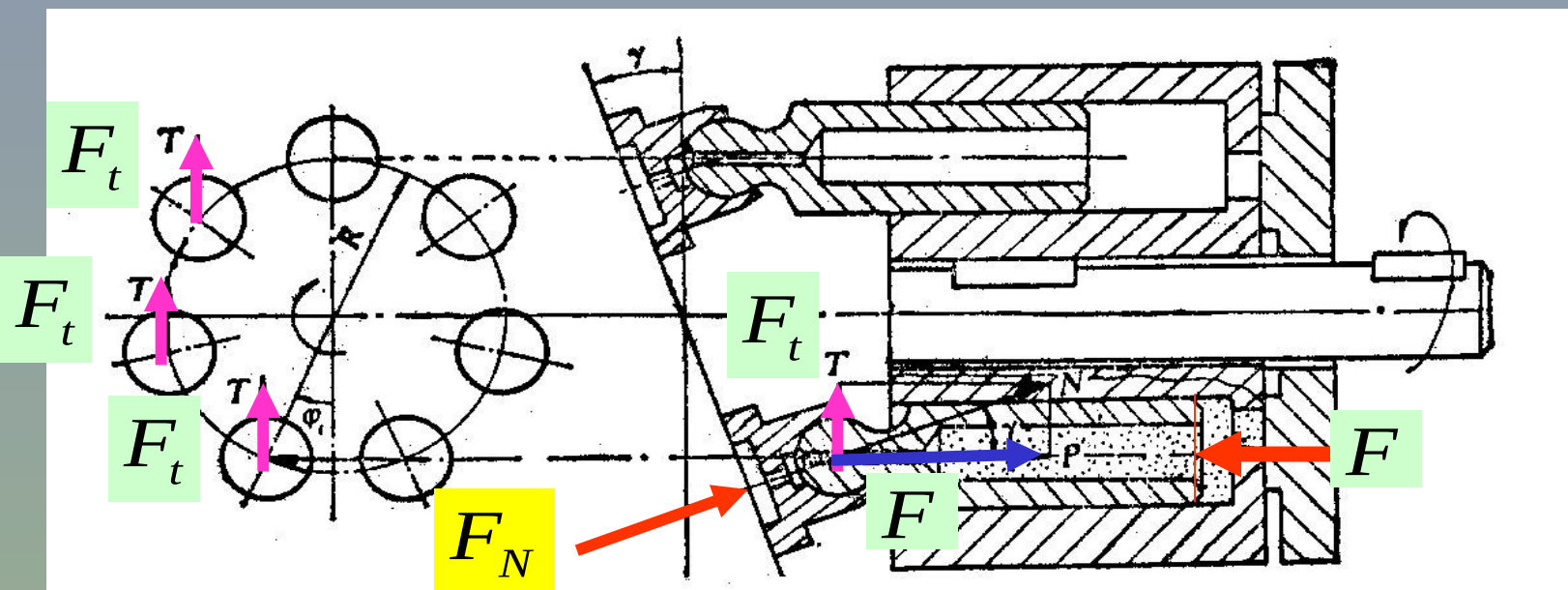
柱塞式马达的扭矩计算

当压力油输入液压马达后，所产生的轴向分力为：

$$F = \frac{\pi}{4} d^2 p$$

使缸体 3 产生转矩的垂直分力为：

$$F_t = F \operatorname{tg} \gamma = \frac{\pi}{4} d^2 p \operatorname{tg} \gamma$$



柱塞式马达的扭矩计算

单个柱塞产生的瞬时转矩为：

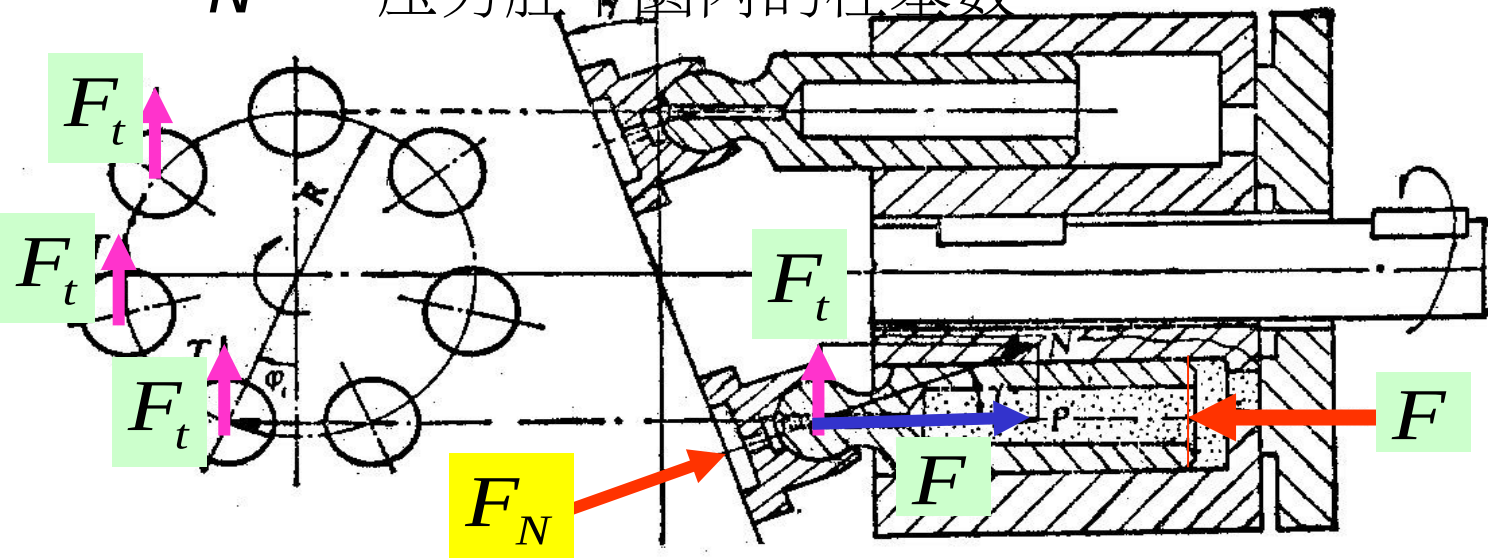
$$T_i = F_t R \sin \varphi_i = \frac{\pi}{4} d^2 p \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot R \cdot \sin \varphi_i$$

液压马达总的输出转矩：

$$T = \sum_{i=1}^N T_i = \frac{\pi}{4} d^2 p R \operatorname{tg} \gamma \sum_{i=1}^N \sin \varphi_i$$

R — 柱塞在缸体的分布圆半径； d — 柱塞直径

N — 压力腔半圆内的柱塞数；



2、齿轮马达

- 工作原理

- 结构特点

- 进出油口相等，有单独的泄油口；
- 为减少摩擦力矩，采用滚动轴承；
- 为减少转矩脉动，齿数较泵的齿数多。

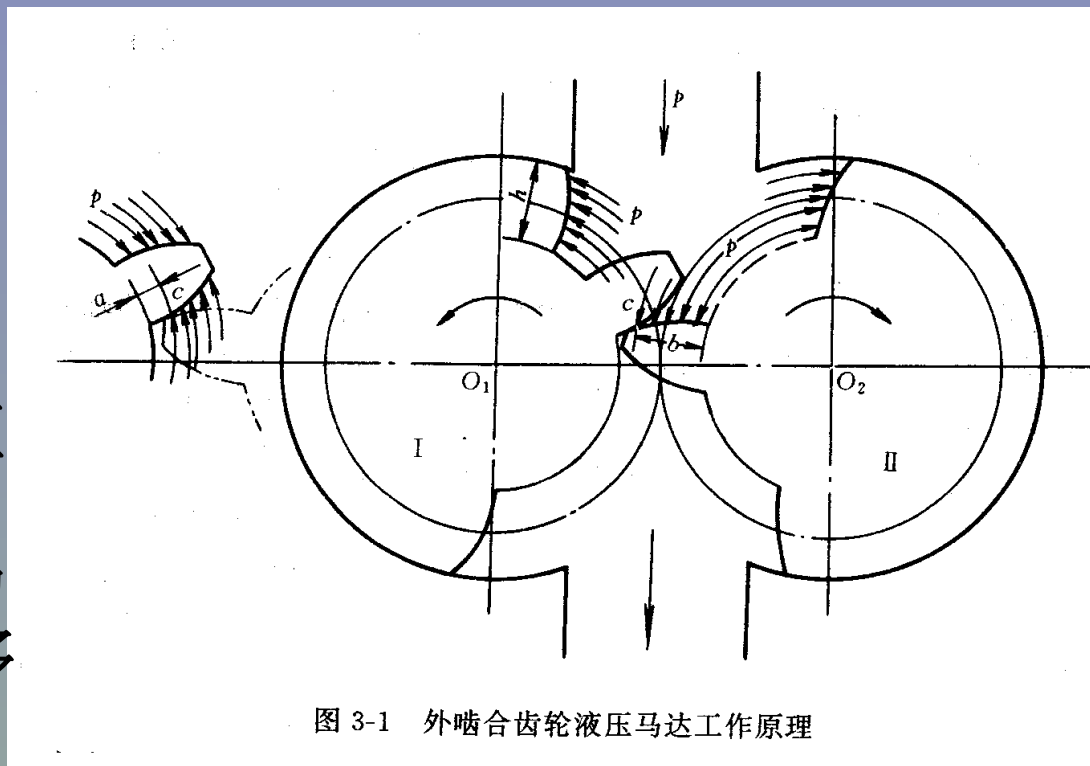


图 3-1 外啮合齿轮液压马达工作原理

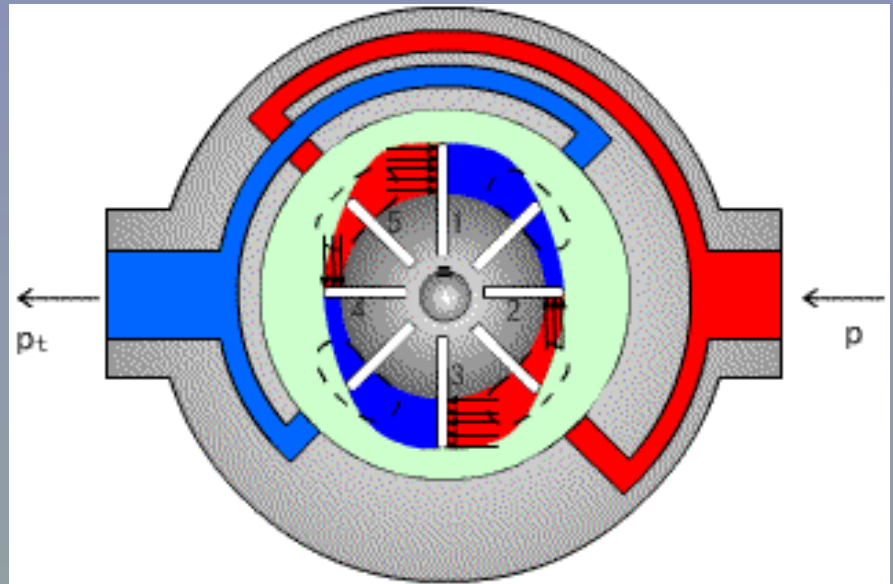
- 应用 由于密封性能差，容积效率较低，不能产生较大的转矩，且瞬时转速和转矩随啮合点而变化，因此仅用于高速小转矩的场合，如工程机械、农业机械及对转矩均匀性要求不高的设备。

3、叶片马达

- 工作原理

- 结构特点

- 进出油口相等，有单独的泄油口；
- 叶片径向放置，叶片底部设置有燕式弹簧；
- 在高低压油腔通入叶片底部的通路上装有梭阀。



- 应用 转动惯量小，反应灵敏，能适应较高频率的换向。但泄漏大，低速时不够稳定。适用于转矩小、转速高、机械性能要求不严格的场合。

4、低速大扭矩液压马达

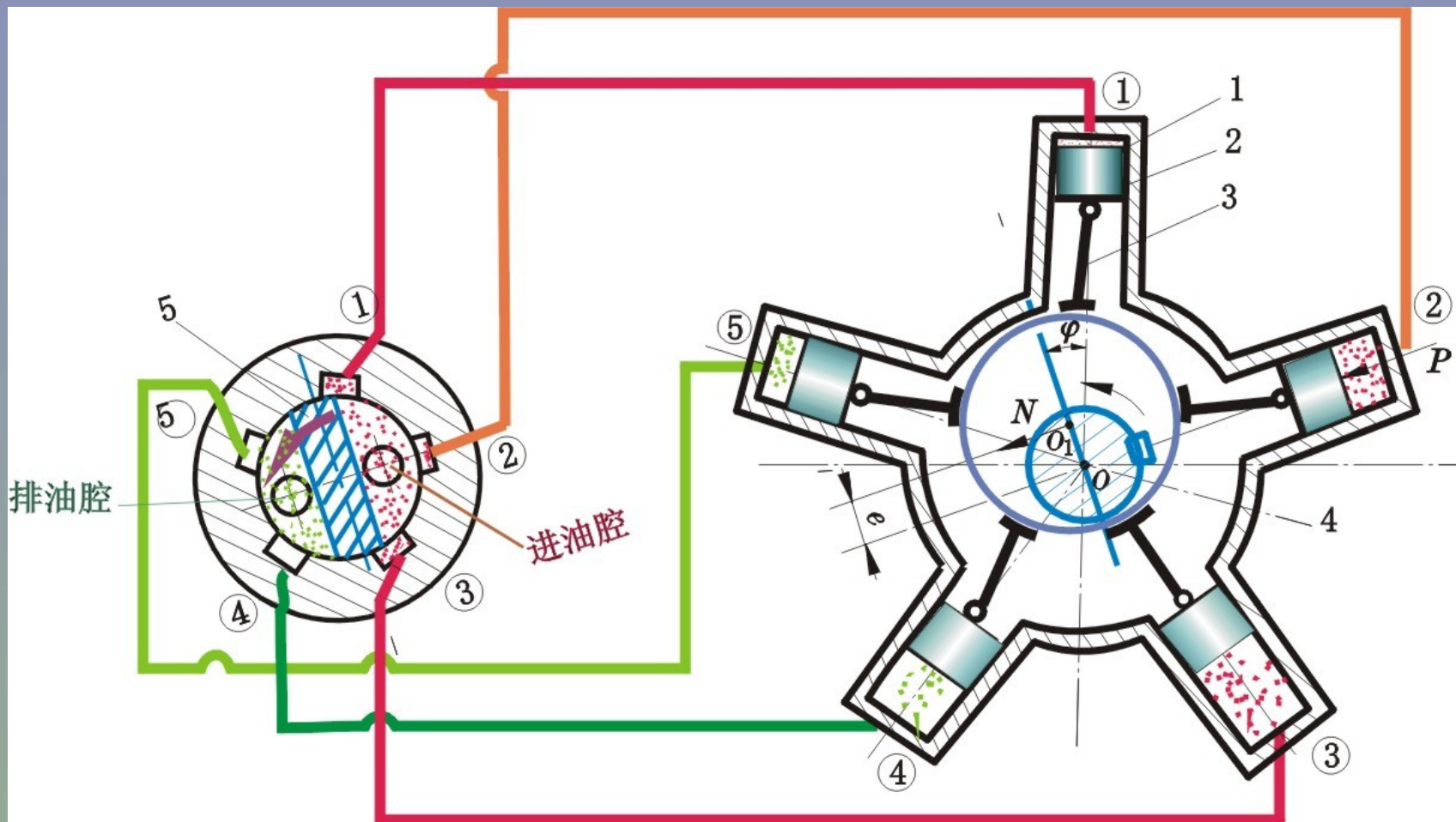
低速大扭矩液压马达是相对于高速马达而言的，通常这类马达在结构形式上多为径向柱塞式，其特点是：最低转速低，大约在 5~10 转 / 分；输出扭矩大，可达几万牛顿米；径向尺寸大，转动惯量大。

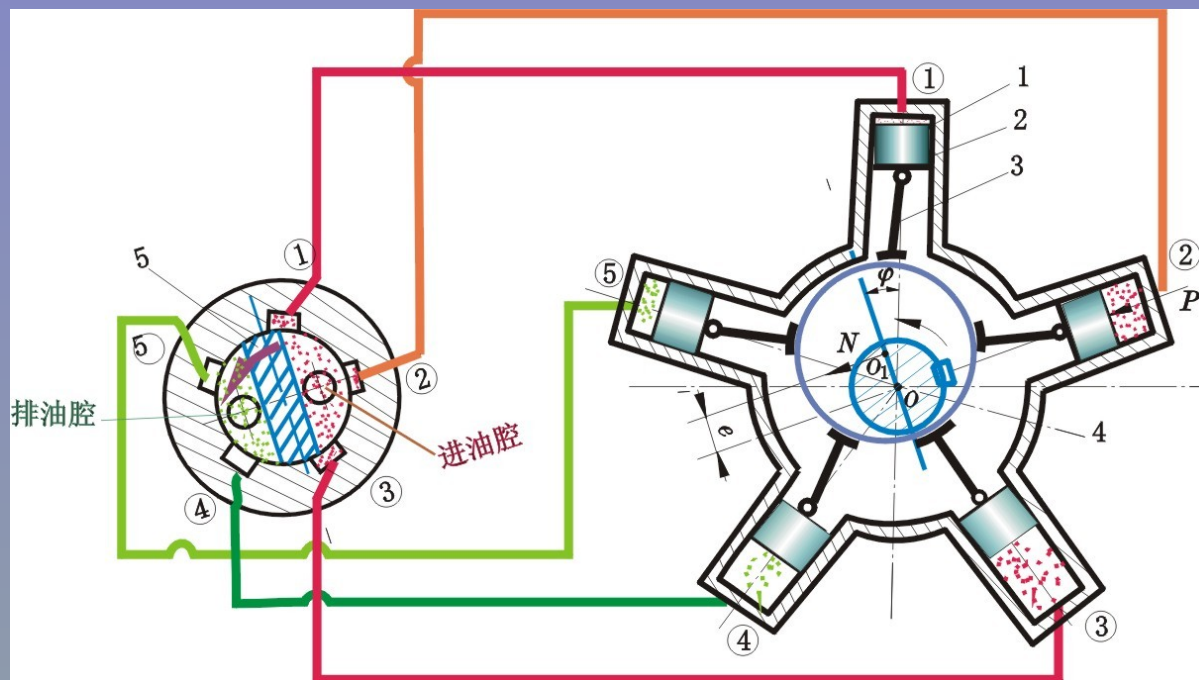
它可以直接与工作机构直接联接，不需要减速装置，使传动结构大为简化。低速大扭矩液压马达广泛用于起重、运输、建筑、矿山和船舶等机械上。

低速大扭矩液压马达的基本形式有三种：它们分别是曲柄连杆马达、静力平衡马达和多作用内曲线马达。

曲柄连杆低速大扭矩液压马达

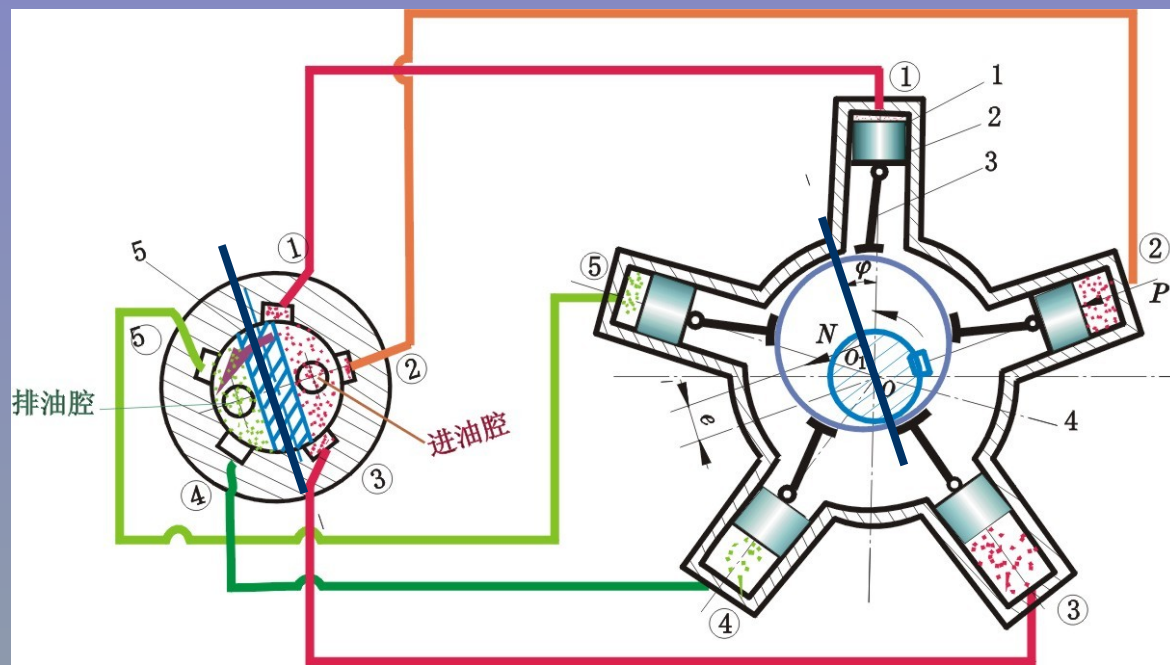
曲柄连杆式低速大扭矩液压马达应用较早，同类型为 JMZ 型，其额定压力 16MPa ，最高压力 21MPa ，理论排量最大可达 6.140 r/min 。





马达由壳体、曲柄—连杆—活塞组件、偏心轴及配油轴组成。壳体 1 内沿圆周呈放射状均匀布置了五只缸体，形成星形壳体；缸体内装有活塞 2，活塞 2 与连杆 3 通过球铰连接，连杆大端做成鞍型圆柱瓦面紧贴在曲轴 4 的偏心圆上，液压马达的配流轴 5 与曲轴通过十字键连结在一起，随曲轴一起转动，马达的压力油经过配流轴通道，由配流轴分配到对应的活塞油缸。

配流轴过渡
密封间隔的方位
和曲轴的偏心方
向保持一致

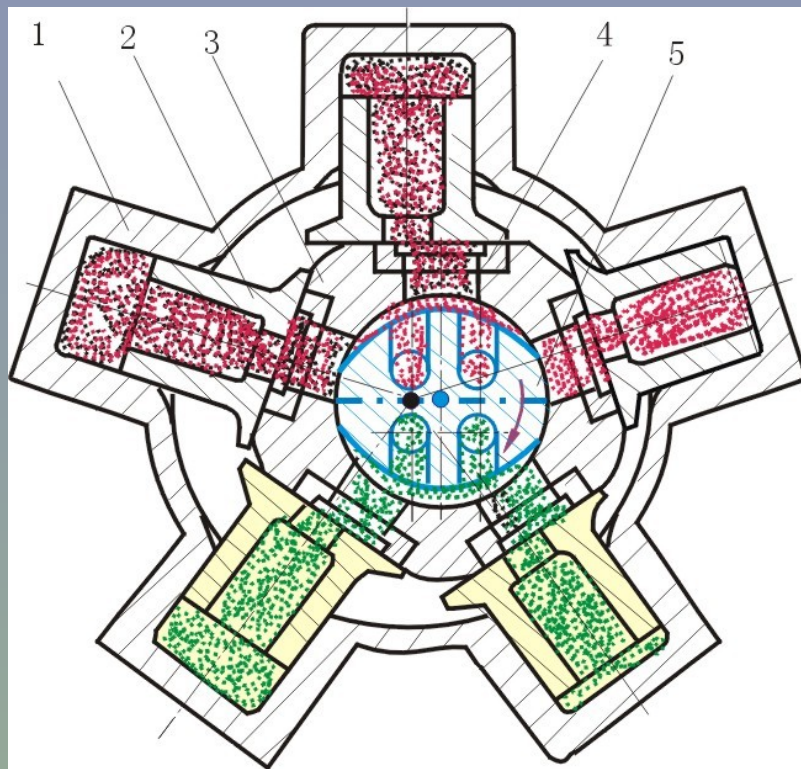


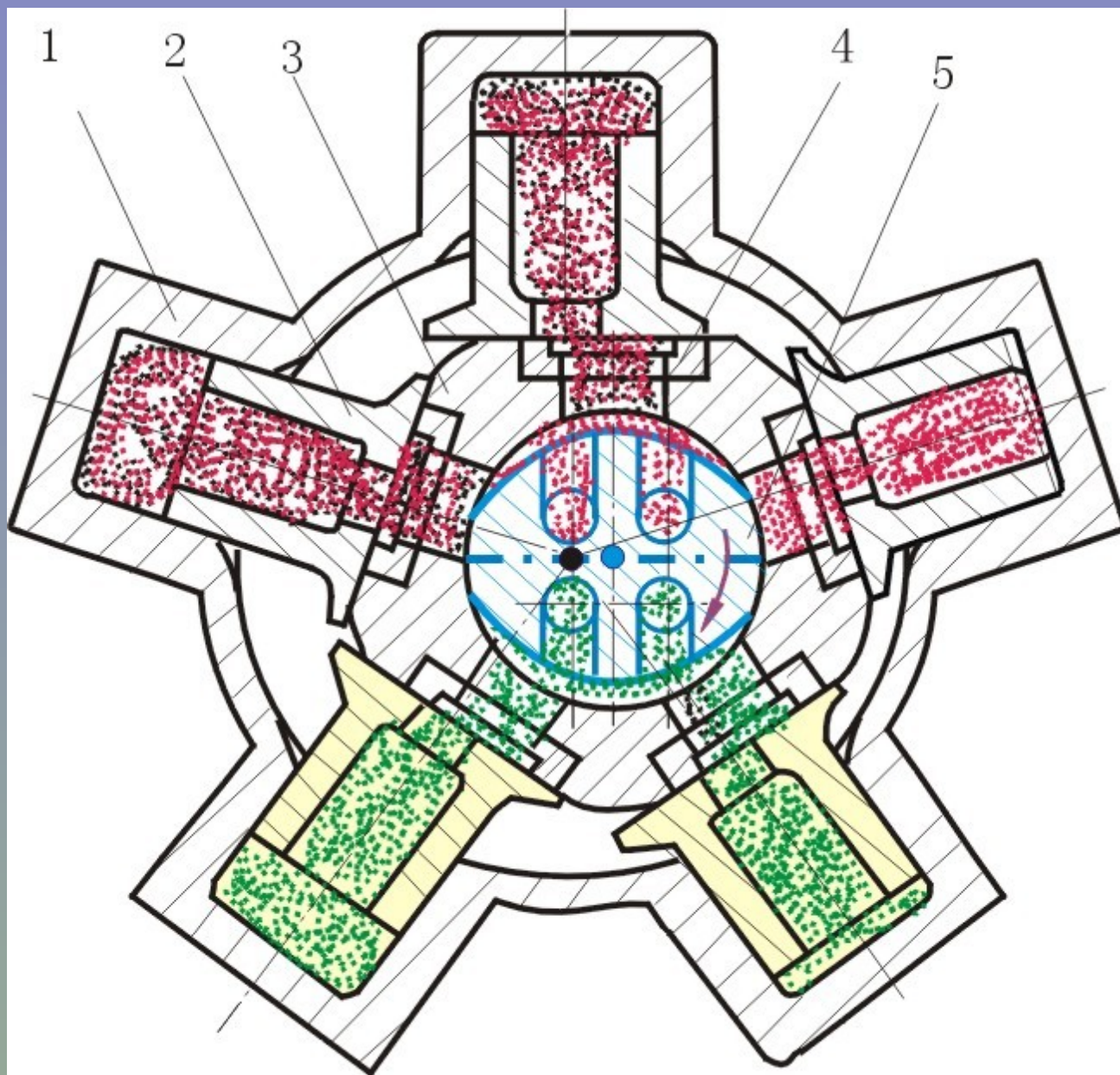
- ①②③ 腔通压力油，活塞受到压力油的作用。
- ④⑤ 腔与排油窗口接通。
- 受油压作用的柱塞通过连杆对偏心圆中心作用一个力 N ，推动曲轴绕旋转中心转动，对外输出转速和扭矩；
- 随着驱动轴、配流轴转动，配流状态交替变化。在曲轴旋转过程中，位于高压侧的油缸容积逐渐增大，而位于低压侧的油缸的容积逐渐缩小，因此，高压油不断进入液压马达，从低压腔不断排出。

静力平衡式低速大扭矩液压马达

静力平衡式低速大扭矩马达也叫无连杆马达，是从曲柄连杆式液压马达改进、发展而来的，它的主要特点是取消了连杆，并且在主要摩擦副之间实现了油压静力平衡，所以改善了工作性能。

国外把这类马达称为罗斯通（*Roston*）马达，国内也有不少产品，并已经在船舶机械、挖掘机以及石油钻探机械上使用。



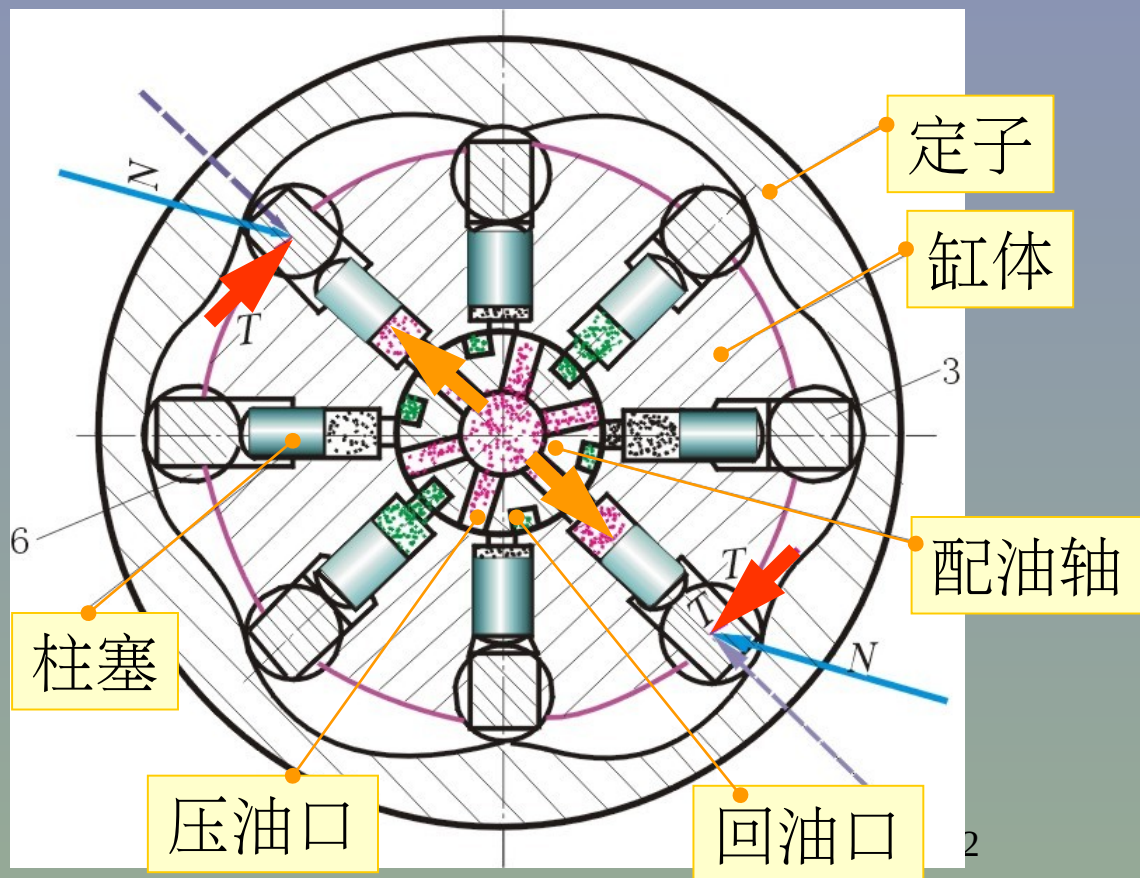


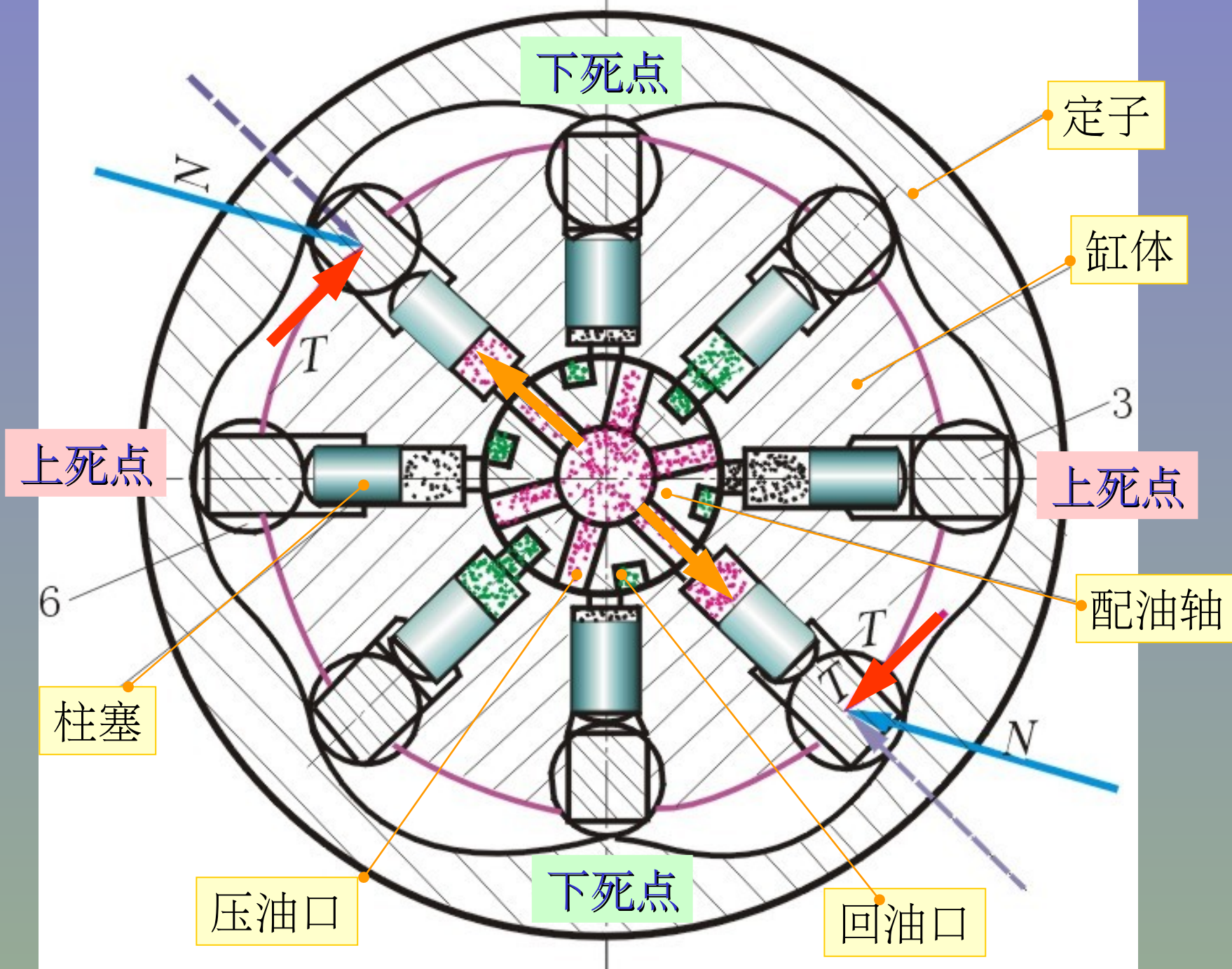
液压马达的偏心轴与曲轴的形式相类似，既是输出轴，又是配流轴。五星轮3套在偏心轴的凸轮上，高压油经配流轴中心的孔道通到曲轴的偏心配流部分，然后经五星轮中的径向孔进入油缸的工作腔内。

多作用内曲线马达

液压马达由定子 1、转子 2、配流轴 4 与柱塞组 3 等主要部件组成，定子 1 的内壁有若干段均布的、形状完全相同的曲面组成。

每一相同形状的曲面又可分为对称的两边，其中允许柱塞副向外伸的一边称为进油工作段，与它对称的另一边称为排油工作段。

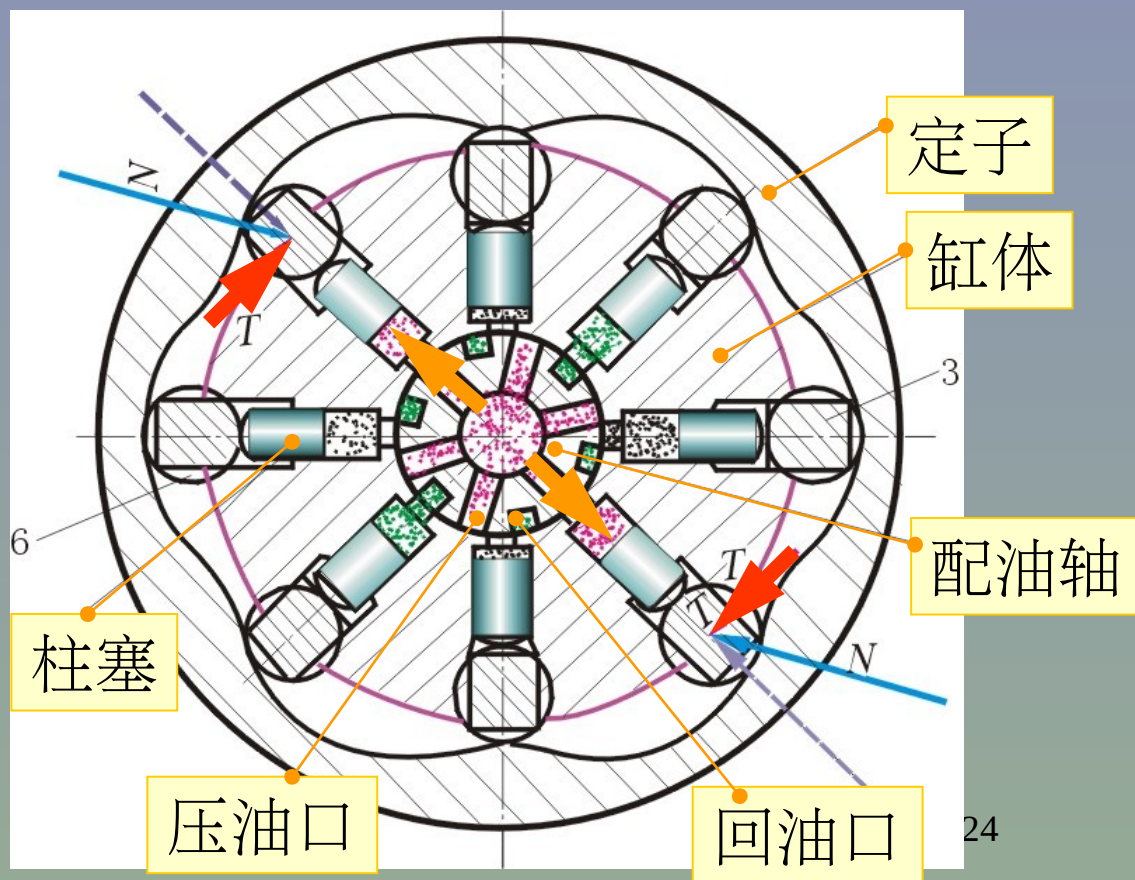




➤ 每个柱塞在液压马达每转中往复的次数等于定子曲面数 X ，称 X 为该液压马达的作用次数。

➤ Z 个柱塞缸孔，每个缸孔的底部都有一配流窗口，并与它的中心配流轴 4 相配合的配流孔相通。

➤ 配流轴 4 中间有进油和回油的孔道，它的配流窗口的位置与导轨曲面的进油工作段和回油工作段的位置相对应，所以在配流轴圆周上有 $2X$ 个均布配流窗口。



三、液压马达的工作特点

- 马达应能正、反转，因此，就要求液压马达在设计时具有结构上的对称性。
- 当液压马达的惯性负载大、转速高，并要求急速制动或反转时，会产生较高的液压冲击，应在系统中设置必要的安全阀或缓冲阀。
- 由于内部泄漏不可避免，因此将马达的排油口关闭而进行制动时，仍会有缓慢的滑转，所以，需要长时间精确制动时，应另行设置防止滑转的制动器。

液压马达工作的必要条件:

(1) 必须有一个大小能作周期性变化的封闭容积;

(2) 必须有配流动作, 即

封闭容积加大时充入高压油

封闭容积减小时排出低压油

(3) 高低压油不得连通。

马达的符号

马达的输入参量

流量

q

输出参量

p

压力

转矩

T

转速

马达的转矩 T 与其排量 V 成正比，马达的
转速 n 与其排量 V 成反比。

