

液压与气动技术

第二单元 液压动力元件及执行元件

教学内容：

- 液压泵的工作原理（重点）
- 液压泵的主要性能及参数（难点）
- 液压泵的结构
- 液压泵与电动机参数的选用
- 液压缸（重点）
- 液压马达



2. 液压动力元件

液压系统是以**液压泵**作为向系统提供一定的流量和压力的动力元件，液压泵由电动机带动将液压油从油箱吸上来并以一定的压力输送出去，使执行元件推动负载作功。



2.1 液压泵的工作原理

由于这种泵是依靠泵的密封工作腔的容积变化来实现吸油和压油的，因而称为**容积式泵**。

容积式泵的**流量大小取决于密封工作腔容积变化的大小和次数**。若不计泄漏，流量与压力无关。

液压泵的分类方式很多，它**可按压力的大小**分为低压泵、中压泵和高压泵。也可**按流量是否可调节**分为定量泵和变量泵。又可**按泵的结构**分为齿轮泵、叶片泵和柱塞泵，其中齿轮泵和叶片泵多用于中、低压系统，柱塞泵多用于高压系统。

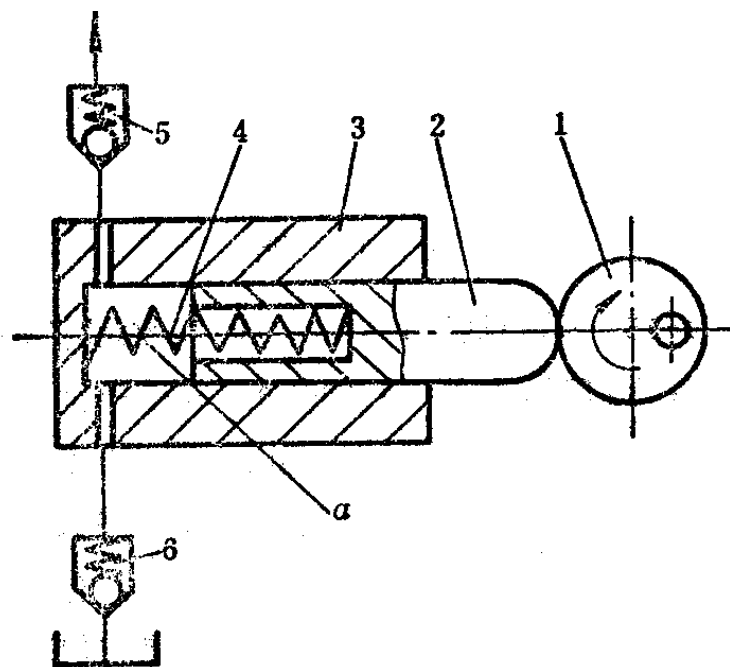


图 2-1 液压泵工作原理图

1—偏心轮 2—柱塞 3—缸体 4—弹簧
5—单向阀 6—单向阀

2.1 液压泵的工作原理

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。



2.2 液压泵的主要性能和参数

1、压力

- 1) **工作压力**：液压泵实际工作时的输出压力称为工作压力。工作压力取决于外负载的大小和排油管路上的压力损失，而与液压泵的流量无关。
- 2) **额定压力**：液压泵在正常工作条件下，按试验标准规定连续运转的**最高压力**称为液压泵的额定压力。
- 3) **最高允许压力**：在超过额定压力的条件下，根据试验准规定，允许液压泵**短暂运行**的最高压力值，称为液压泵的最高允许压力，超过此压力，泵的泄漏会迅速增加。



2.2 液压泵的主要性能和参数

2、排量

排量是泵主轴每转一周所排出液体体积的理论值，如泵排量固定，则为**定量泵**；排量可变则为**变量泵**。一般定量泵因密封性较好，泄漏小，在高压时效率较高。



2.2 液压泵的主要性能和参数

3、**流量**：为泵单位时间内排出的液体体积（L/min），有理论流量 Q_{th} 和实际流量 Q_{ac} 两种。

$$Q_{th} = qn \quad (2-1)$$

式中：q — 泵的排量（L / r）

n — 泵的转速（r/min）

$$Q_{ac} = Q_{th} - \Delta Q \quad (2-2)$$

ΔQ — 泵运转时，油会从高压区泄漏到低压区，是泵的泄漏损失。



2.2 液压泵的主要性能和参数

4、容积效率和机械效率

泵的容积效率： $\eta_v = \frac{Q_{ac}}{Q_{th}}$

泵的机械效率： $\eta_m = \frac{T_{th}}{T_{ac}}$

T_{th} — 泵的理论输入扭矩

T_{ac} — 泵的实际输入扭矩



2.2 液压泵的主要性能和参数

5、泵的总效率、功率

泵的总效率 (厄塔) : $\eta = \eta_m \cdot \eta_v = \frac{P_{ac}}{P_M}$

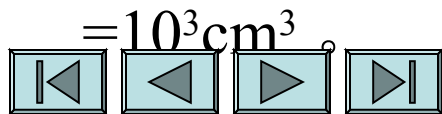
P_{ac} — 泵实际输出功率

P_M — 电动机输出功率

泵的功率: $P_{ac} = \frac{pQ_{ac}}{60} (kw)$

式中: p — 泵输出的工作压力 (MPa)

Q_{ac} — 泵的实际输出流量 (L /min) , 1L



2.2 液压泵的主要性能和参数

例题 2 — 1 某液压系统，泵的排量 $q = 10\text{m L/r}$ ，
电机转速 $n = 1200\text{rpm}$ ，泵的输出压力 $p = 5\text{Mpa}$
泵容积效率 $\eta_v = 0.92$ ，总效率 $\eta = 0.84$ ，求
：

- 1) 泵的理论流量；
- 2) 泵的实际流量；
- 3) 泵的输出功率；

4) 驱动电机功率。



2.2 液压泵的主要性能和参数

解： 1) 泵的理论流量

$$Q_{th} = q \cdot n \cdot 10^{-3} = 10 \times 1200 \times 10^{-3} = 12 \text{ L/min}$$

2) 泵的实际流量

$$Q_{ac} = Q_{th} \cdot \eta_v = 12 \times 0.92 = 11.04 \text{ L/min}$$

$$3) \text{ 泵的输出功率 } P_{ac} = \frac{p Q_a}{60} = \frac{5 \times 11.04}{60} = 0.9(\text{kw})$$

$$4) \text{ 驱动电机功率 } P_m = \frac{P_{ac}}{\eta} = \frac{0.9}{0.84} = 1.07(\text{kw})$$



2.2 液压泵的主要性能和参数

泵性能指标公式记忆

理论转矩记住它，等于排量乘压差。

理论流量记得住，等于排量乘转速。

功率等于 p 乘 q ，也等转矩乘转速。

能流方向分得清，乘除效率不含糊。

计算单位要统一，角度一律用弧度。



2.3 液压泵的结构

1、**齿轮泵**：液压泵中结构最简单的一种，且价格便宜，故在一般机械上被广泛使用；齿轮泵是定量泵，可分为**外啮合齿轮泵**和**内啮合齿轮泵**两种。

1) **外啮合齿轮泵**：其的构造和动作原理如图 2-2 所示。

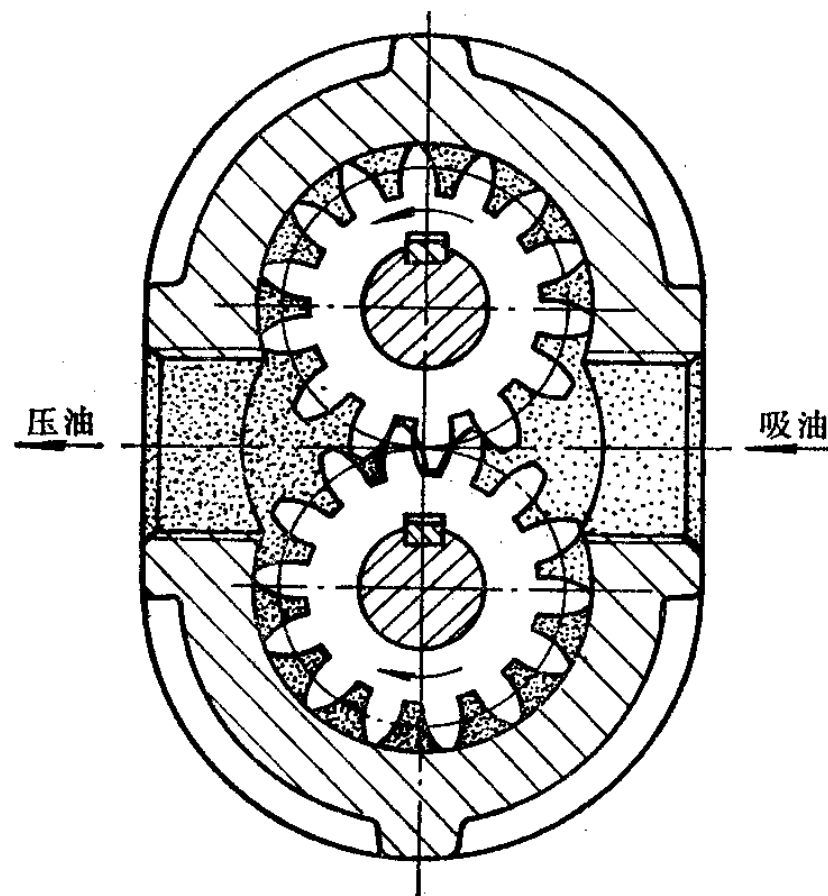
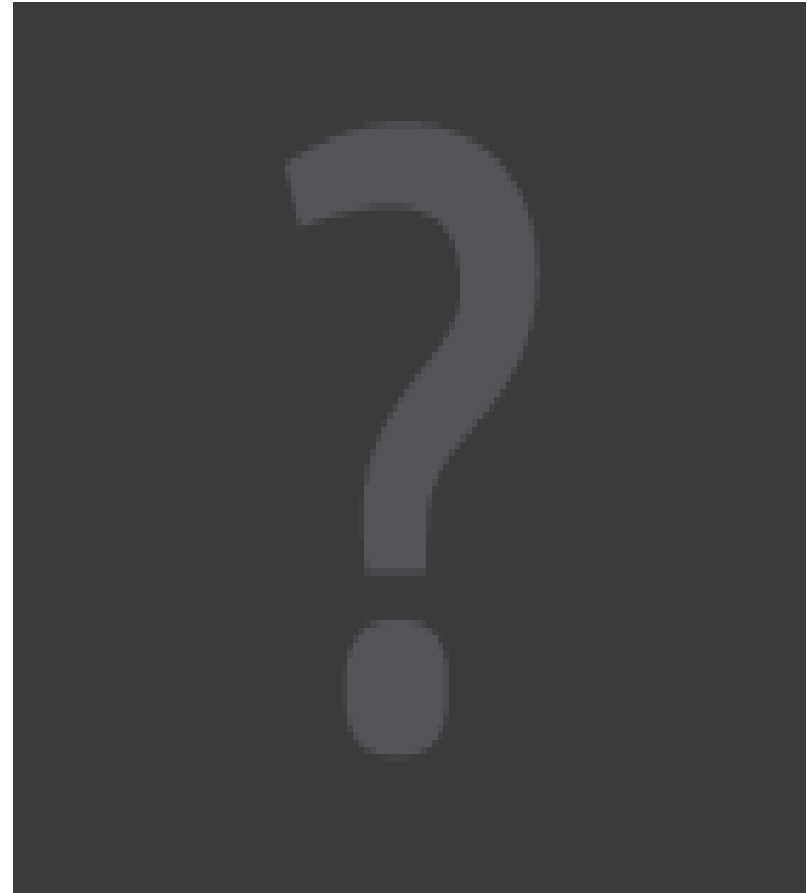


图 2-2 外啮合齿轮泵工作原理

2.3 液压泵的结构

1、**齿轮泵**：液压泵中结构最简单的一种，且价格便宜，故在一般机械上被广泛使用；齿轮泵是定量泵，可分为**外啮合齿轮泵**和**内啮合齿轮泵**两种。

1) **外啮合齿轮泵**：其构造和动作原理如图 2—2 所示。



2.3 液压泵的结构

1、**齿轮泵**：液压泵中结构最简单的一种，且价格便宜，故在一般机械上被广泛使用；齿轮泵是定量泵，可分为**外啮合齿轮泵**和**内啮合齿轮泵**两种。

1) **外啮合齿轮泵**：其构造和动作原理如图 2—2 所示。



2.3 液压泵的结构

1、齿轮泵：可分为外啮合齿轮泵和内啮合齿轮泵两种。

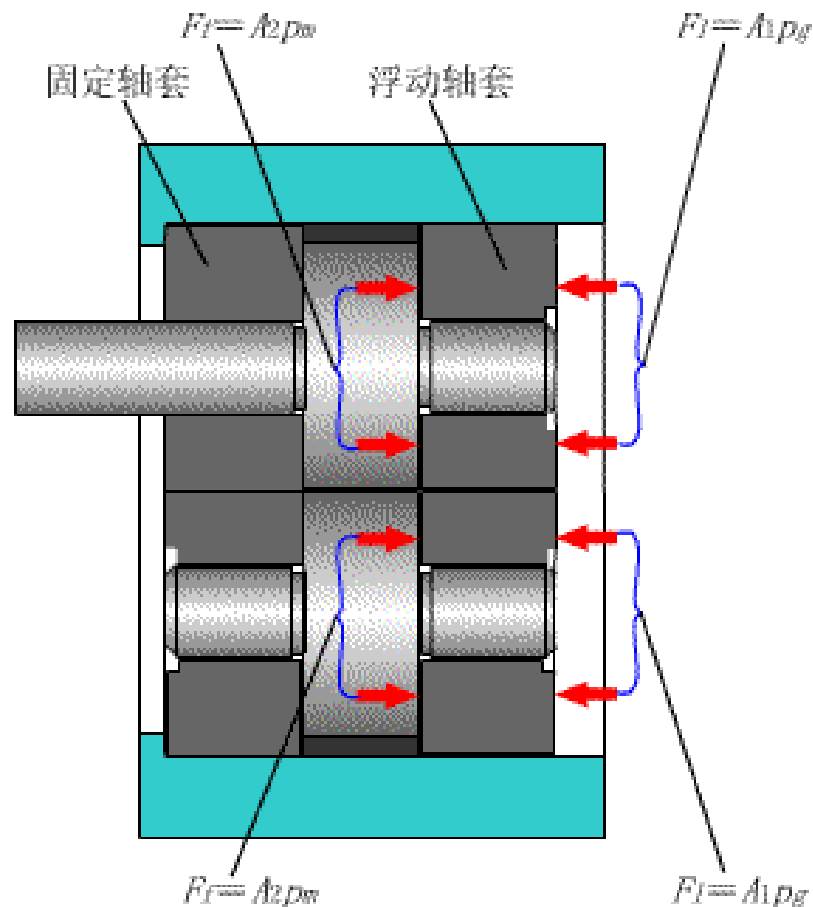
1) 外啮合齿轮泵：其的构造和动作原理如图 2—2 所示，它由装在壳体内的一对齿轮所组成齿轮两侧有端盖罩住，壳体、端盖和齿轮的各个齿间槽组成了许多密封工作腔。



2.3 液压泵的结构

- 1) 外啮合齿轮泵：外啮合齿轮运转时泄漏途径有二：一为齿顶与齿轮壳内壁的间隙，其次为齿端面与侧板之间的间隙（端面泄漏占 **80 %—85 %**），当压力增加时，前者不会改变，但后者挠度大增，此为外啮合齿轮泵泄漏最主要的原因，故不适合用作高压泵。

解决方法：端面间隙补偿采用静压平衡措施：在齿轮和盖板之间增加一个补偿零件，如浮动轴套、浮动侧板。



2.3 液压泵的结构

液压油在渐开线齿轮泵运转过程中，因齿轮相交处的封闭体积随时间改变，常有一部分的液压油被封闭在齿间，如图2—3所示，称为**困油现象**，因液压油不可压缩将使外接齿轮泵产生极大的震动和噪音，故必须在**侧板上开设卸荷槽**，以防止其发生。

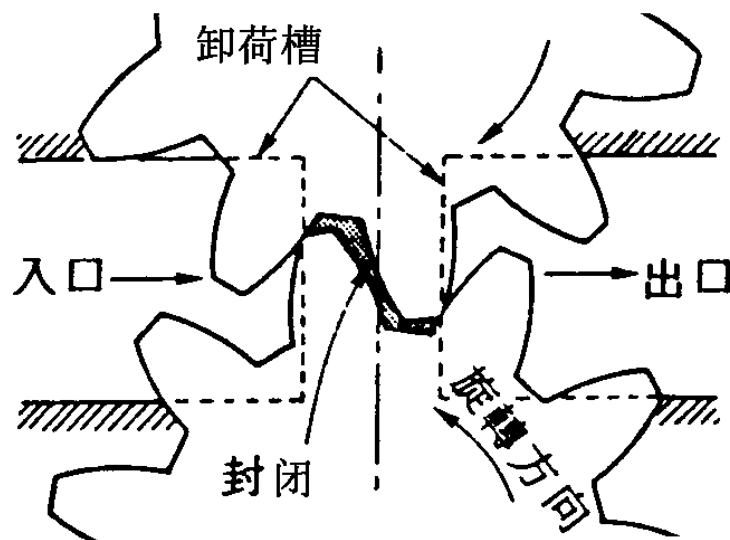
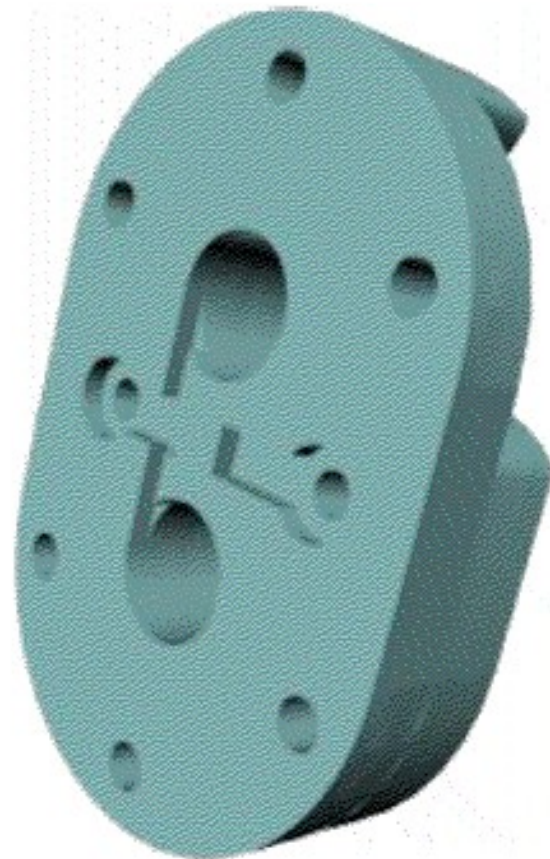


图 2—3 困油现象

2.3 液压泵的结构

- **卸荷措施：**在前后盖板或浮动轴套上开卸荷槽
- **开设卸荷槽的原则：**两槽间距 a 为最小闭死容积，而使闭死容积由大变小时与压油腔相通，闭死容积由小变大时与吸油腔相通。



2.3 液压泵的结构

齿轮泵的优缺点及应用

1. 优点：结构简单，制造工艺性好，价格便宜，自吸能力较好，抗污染能力强，而且能耐冲击性负载。
2. 缺点：流量脉动大，泄漏大，噪声大，效率低，零件的互换性差，磨损后不易修复。
3. 应用：用于环境差、精度要求不高的场合，通常 $p < 10\text{MPa}$ ，如工程机械、建筑机械、农用机械等。



2.3 液压泵的结构

2、螺杆泵：如图 2—5 所示，液压油沿螺旋方向前进，转轴径向负载各处均相等，脉动少，故运动时噪音低，可高速运转，适合作大容量泵。但压缩量小，不适合高压，一般用于燃油、润滑油泵而不用作液压泵。

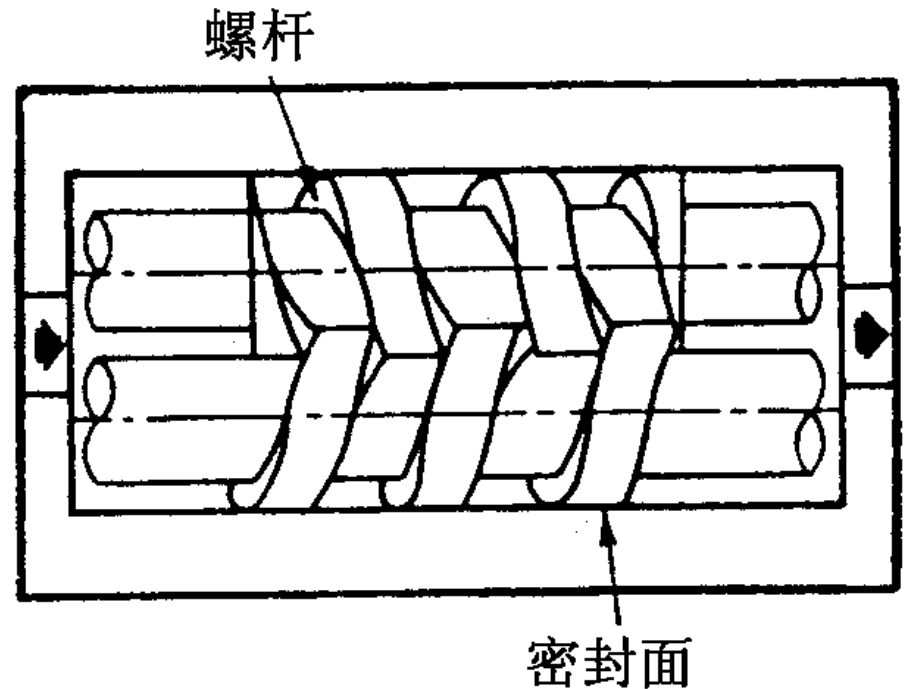


图 2—5 螺杆泵

2.3 液压泵的结构

2、叶片泵

其优点是：运转平稳、压力脉动小，噪音小；结构紧凑、尺寸小、流量大；

其缺点是：对油液要求高，如油液中有杂质，则叶片容易卡死；与齿轮泵相比结构较复杂。

它广泛的应用于机械制造中的专用机床、自动线等中、低压液压系统中。

该泵有两种结构形式：一种是单作用叶片泵，另一种是双作用式叶片泵。



2.3 液压泵的结构

- 1) 单作用叶片泵，其工作原理如图 2—6 所示，单作用叶片泵由转子 1、定子 2、叶片 3 和端盖等组成。定子具有圆柱形内表面，定子和转子的间有偏心距 e ，叶片装在转子槽中，并可在槽内滑动，当转子回转时，由于离心力的作用，使叶片紧靠在定子内壁。

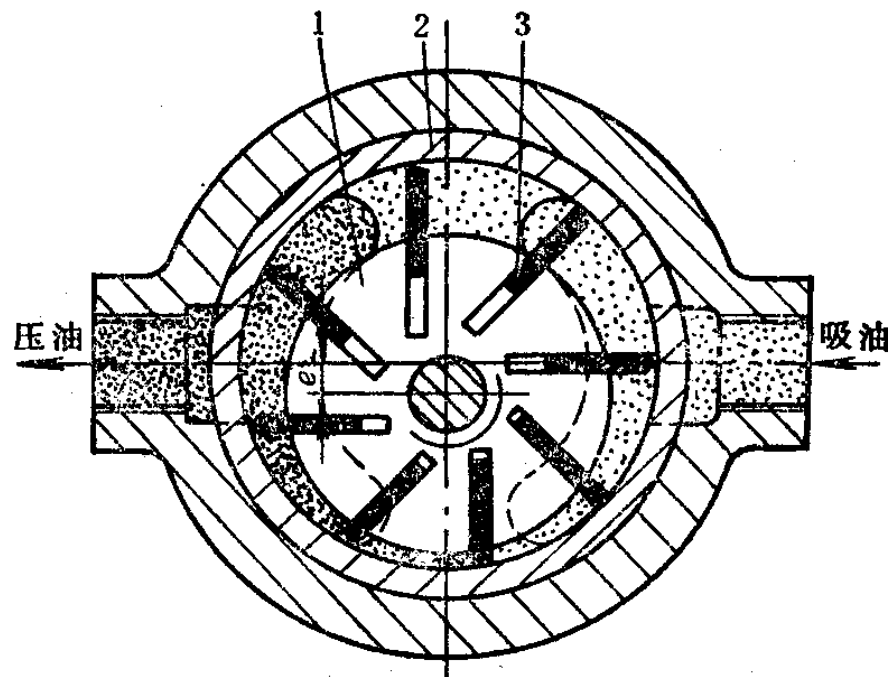


图 2—6 单作用叶片泵工作原理

1—转子 2—定子 3—叶片

2.3 液压泵的结构

- 1) 单作用叶片泵，
其工作原理如图 2—6 所示，单作用叶片泵由转子 1、定子 2、叶片 3 和端盖等组成。定子具有圆柱形内表面，定子和转子的间有偏心距 e ，叶片装在转子槽中，并可在槽内滑动，当转子回转时，由于离心力的作用，使叶片紧靠在定子内壁。



2.3 液压泵的结构

叶片泵叶片槽根部全部通压力油会带来以下副作用：

- 定子的吸油腔部被叶片刮研，造成磨损；
- 减少了泵的理论排量；
- 可能引起瞬时理论流量脉动。



2.3 液压泵的结构

1) 单作用叶片泵：改变转子与定子的偏心量，即可改变泵的流量，偏心越大，流量越大，如调成几乎是同心，则流量接近于零。因此单作用叶片泵大多为变量泵。

另外还有一种限压式变量泵，当负荷小时，泵输出流量大，负载可快速移动，当负荷增加时，泵输出流量变少，输出压力增加，负载速度降低，如此可减少能量消耗，避免油温上升。

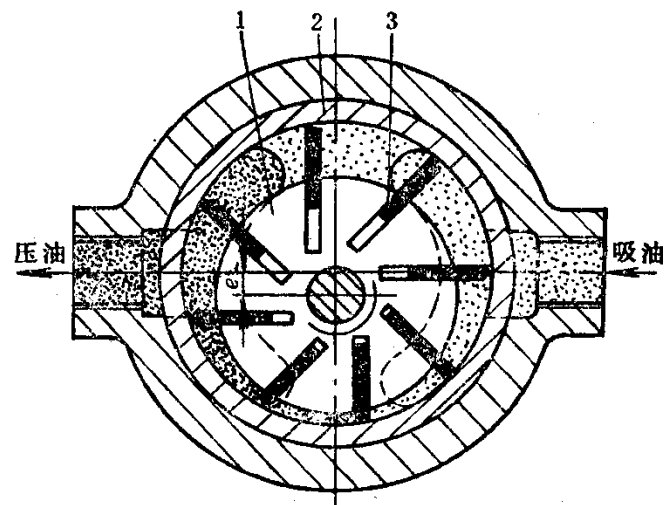


图 2-6 单作用叶片泵工作原理
1—转子 2—定子 3—叶片

2.3 液压泵的结构

2) 双作用叶片泵

双作用式叶片泵如图 2—7 所示，定子内表面近似椭圆，转子和定子同心安装，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。双作用叶片泵大多是定量泵。

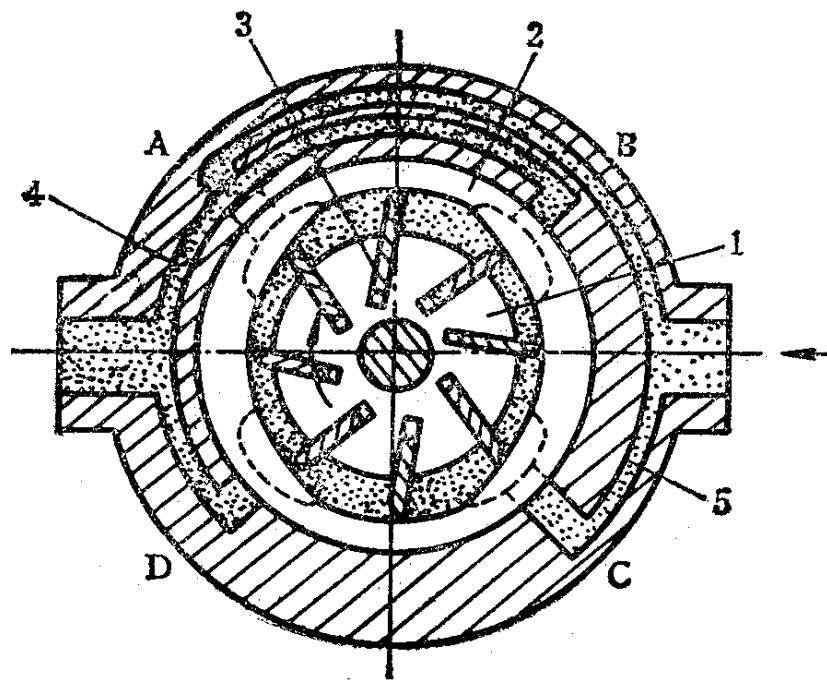


图 2—7 双作用叶片泵工作原理图

2.3 液压泵的结构

叶片泵的应用

1. 用于中低压、要求较高的系统中。
2. 油液粘度要合适，转速不能太低， $500 \sim 1500\text{rpm}$ 。
3. 要注意油液的清洁，油不清洁容易使叶片卡死。
4. 通常只能单方向旋转，如果旋转方向错误，会造成叶片折断。



2.3 液压泵的结构

4、柱塞泵：

工作原理是柱塞在液压缸内作往复运动来实现吸油和压油。与齿轮泵和叶片泵相比，该泵能以最小的尺寸和最小的重量供给最大的动力，为一种高效率的泵，但制造成本相对较高，该泵用于高压、大流量、大功率的场合。它可分为轴向式和径向式两种形式。

柱塞沿径向放置的泵称为径向柱塞泵，柱塞轴向布置的泵称为轴向柱塞泵。为了连续吸油和压油，柱塞数必须大于等于 3。



2.3 液压泵的结构

- 1) 轴向柱塞泵：如图 2—8 所示，可分为直轴式（图 a）所示）和斜轴式（图 b）所示）两种，该两种泵都是变量泵，通过调节斜盘倾角 γ ，即可改变泵的输出流量。

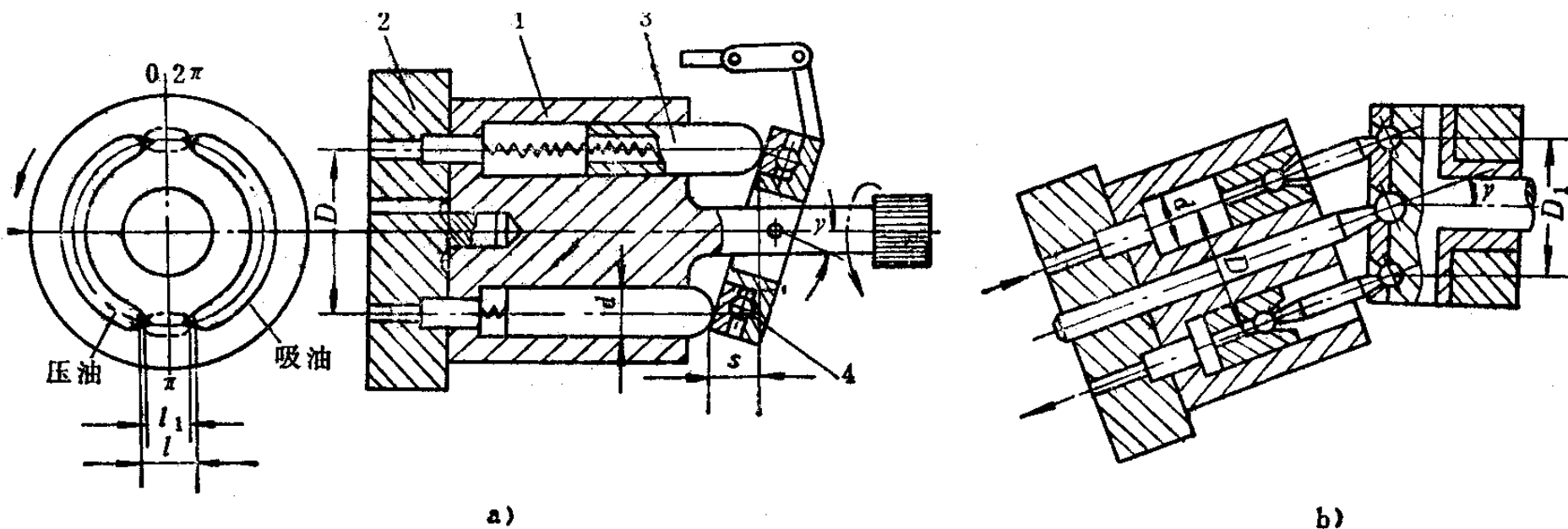


图 2—8 轴向柱塞泵工作原理

a) 直轴式 b) 斜轴式

1—缸体 2—配油盘 3—柱塞 4—斜盘



2.3 液压泵的结构

2) 径向柱塞

泵：（柱塞运动方向与液压缸体的中心线垂直），又可分为固定液压缸式和回转液压缸式两种。

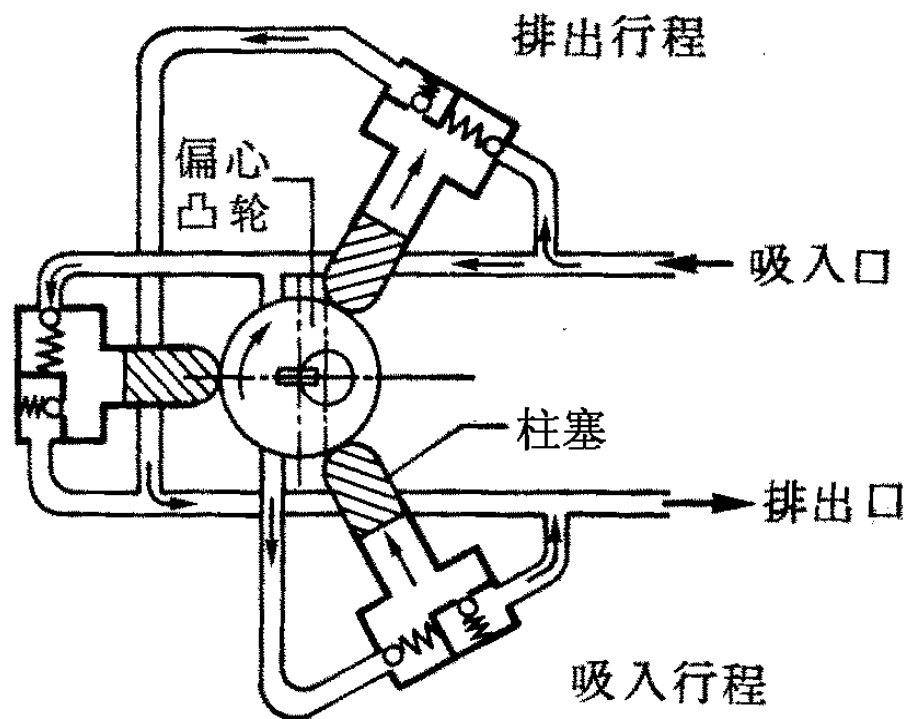


图2—9 固定液压缸式径向柱塞泵

2.3 液压泵的结构

2) 径向柱塞泵：（柱塞运动方向与液压缸体的中心线垂直），又可分为固定液压缸式和回转液压缸式两种。

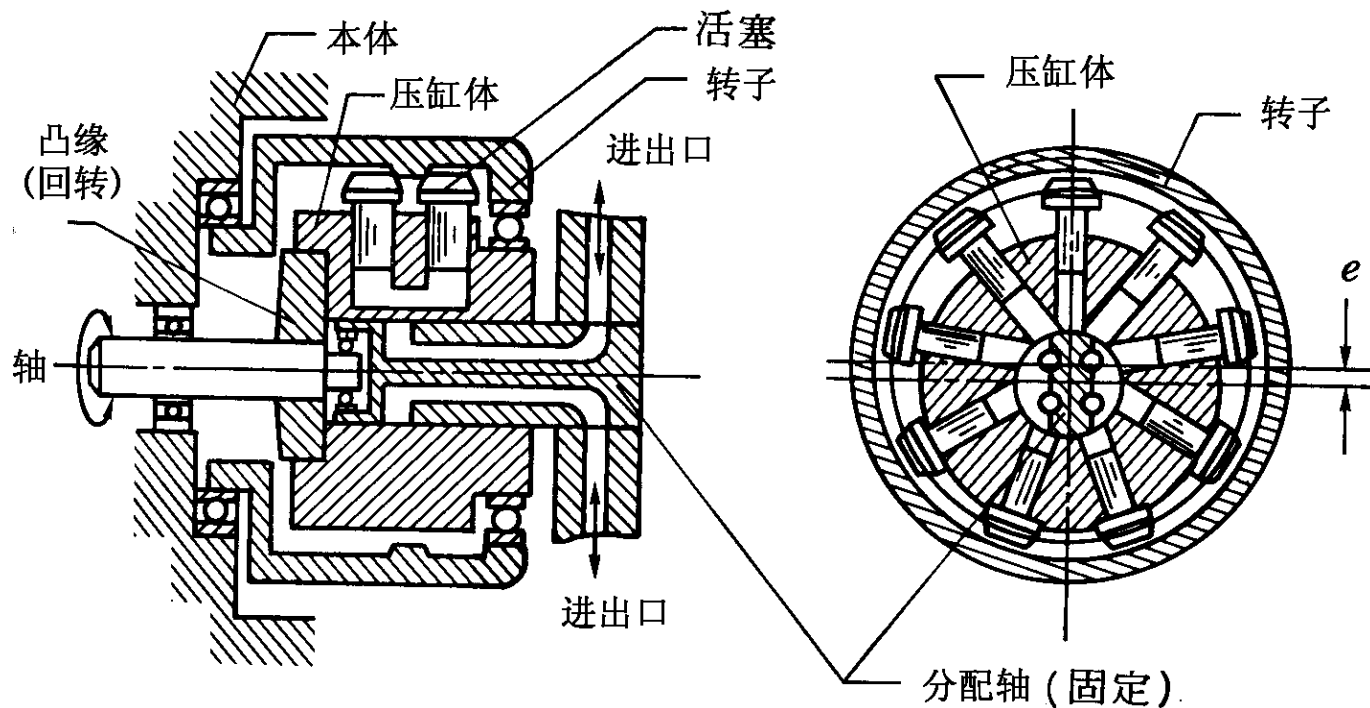


图2-10 回转液压缸式径向活塞泵

2.3 液压泵的结构

柱塞泵 特点：

- 1) 工作压力高，容积效率高， $p = 20 \sim 40\text{MPa}$ ， $P_{\max}$ 可到 100MPa ；
- 2) 流量大，易于实现变量；
- 3) 主要零件均受压，使材料的强度得以充分利用，寿命长，单位功率重量小。



2.3 液压泵的结构

5、液压泵的图形符号

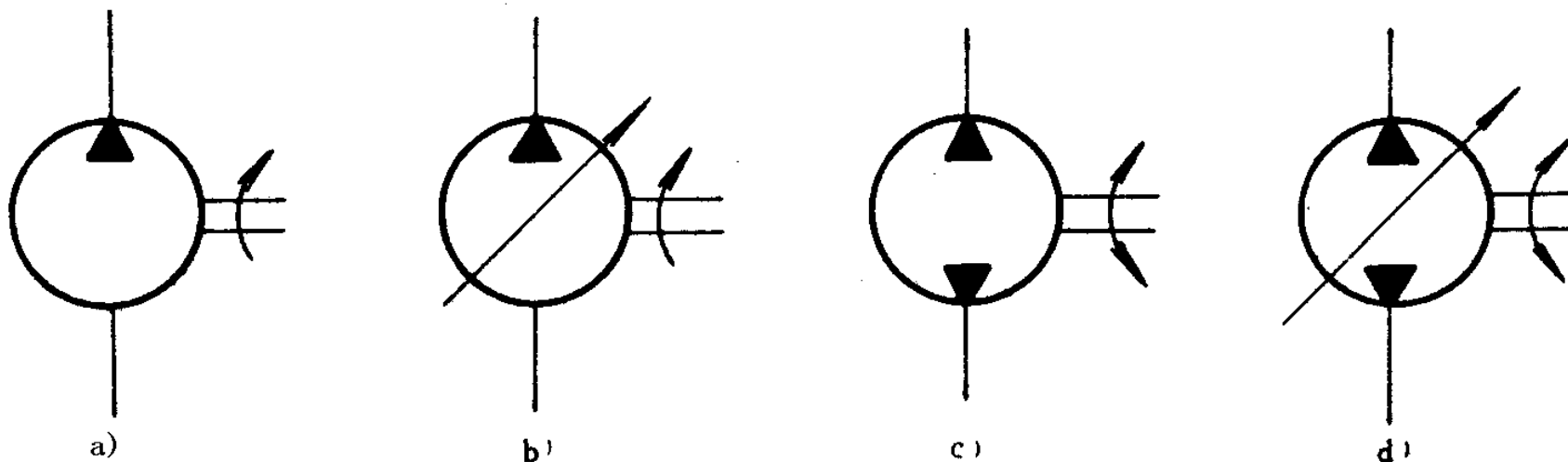


图 2-11 液压泵的图形符号

- a) 单向定量液压泵 b) 单向变量液压泵
c) 双向定量液压泵 d) 双向变量液压泵



2.4 液压泵与电动机参数的选用

1、选择液压泵的原则

- **是否要求变量：**径向柱塞泵、轴向柱塞泵、单作用叶片泵是变量泵。
- **工作压力：**柱塞泵压力 **31.5MPa**；叶片泵压力 **6.3MPa**，高压化以后可达 **16MPa**；齿轮泵压力 **2.5MPa**，高压化以后可达 **21MPa**。
- **工作环境：**齿轮泵的抗污染能力最好。
- **噪声指标：**低噪声泵有内啮合齿轮泵、双作用叶片泵和螺杆泵，双作用叶片泵和螺杆泵的瞬时流量均匀。
- **效率：**轴向柱塞泵的总效率最高；同一结构的泵，排量大的泵总效率高；同一排量的泵在额定工况下总效率最高。



2.4 液压泵与电动机参数的选用

1、液压泵大小的选用

液压泵的选择，通常是先根据对液压泵的性能要求来选定液压泵的型式，再根据液压泵所应保证的压力和流量来确定它的具体规格。

液压泵的的工作压力是根据执行元件的最大工作压力来决定的，考虑到各种压力损失，泵的最大工作压力 $P_{\text{泵}}$ 可按下式确定：

$$P_{\text{泵}} \geq k_{\text{压}} \times P_{\text{缸}}$$

式中： $P_{\text{泵}}$ — 液压泵所需要提供的压力， Pa，

$k_{\text{压}}$ — 系统中压力损失系数，取 1.3 ~ 1.5

$P_{\text{缸}}$ — 液压缸中所需的最大工作压力， Pa



2.4 液压泵与电动机参数的选用

液压泵的输出流量取决于系统所需最大流量及泄漏量，即

$$Q_{\text{泵}} \geq K_{\text{流}} \times Q_{\text{缸}}$$

式中： $Q_{\text{泵}}$ —液压泵所需输出的流量， m^3/min 。

$K_{\text{流}}$ —系统的泄漏系数，取 1.1~1.3

$Q_{\text{缸}}$ —液压缸所需提供的最大流量， m^3/min 。

若为多液压缸同时动作， $Q_{\text{缸}}$ 应为同时动作的几个液压缸所需的最大流量之和。

在 $P_{\text{泵}}$ 、 $Q_{\text{泵}}$ 求出以后，就可具体选择液压泵的规格，选择时应使实际选用泵的额定压力大于所求出的 $P_{\text{泵}}$ 值，通常可放大 25%。泵的额定流量略大于或等于所求出的 $Q_{\text{缸}}$ 值即可。



2.4 液压泵与电动机参数的选用

2、电动机参数的选择

驱动液压泵所需的电动机功率可按下式确定：

$$P_M = \frac{p_{\text{泵}} \times Q_{\text{泵}}}{60\eta}$$

(KW)

式中： P_M — 电动机所需的功率， kw

$p_{\text{泵}}$ — 泵所需的最大工作压力， Pa,

$Q_{\text{泵}}$ — 泵所需输出的最大流量， m^3/min

η — 泵的总效率。

各种泵的总效率大致为：齿轮泵 0.6 ~ 0.7 ,

叶片泵 0.6 ~ 0.75 ; 柱塞泵 0.8 ~ 0.85 。



2.4 液压泵与电动机参数的选用

3、计算举例：例 2 — 2 已知某液压系统如图 2 — 12 所示，工作时，活塞上所受的外载荷为 $F=9720\text{N}$ ，活塞有效工作面积 $A = 0.008\text{m}^2$ ，活塞运动速度 $v=0.04\text{m/s}$ 。问应选择额定压力和额定流量为多少的液压泵？驱动它的电机功率应为多少？

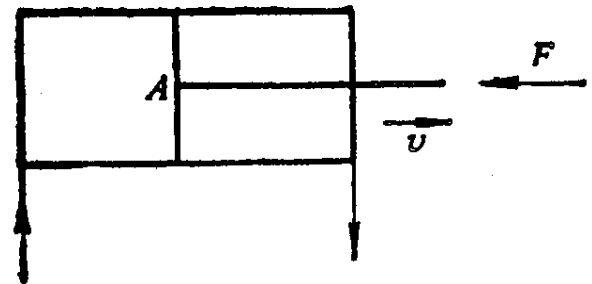


图2-12

2.4 液压泵与电动机参数的选用

例 2 — 3 如图 2 — 12 所示的液压系统，已知负载 $F=30000\text{N}$ ，活塞有效面积 $A=0.01\text{m}^2$ ，空载时的快速前进的速度为 0.05 m/s ，负载工作时的前选速度为 0.025 m/s ，选取 $k_{\text{压}}=1.5$ ， $k_{\text{流}}=1.3$ ， $\eta=0.75$ ，试从下列已知泵中选择一台合适的泵，并计算其相应的电动机功率。

已知泵如下：

YB-32 型叶片泵， $Q_{\text{额}}=32\text{L/min}$ ， $p_{\text{额}}=63\text{kgf/cm}^2$

YB-40 型叶片泵， $Q_{\text{额}}=40\text{ L/min}$ ， $p_{\text{额}}=63\text{kgf/cm}^2$

YB-50 型叶片泵， $Q_{\text{额}}=50\text{ L/min}$ ， $p_{\text{额}}=63\text{ kgf/cm}^2$



1MPa 等于多少公斤力 / 平方厘米 (Kgf/cm²)

通常近似说 :1MPa=10kg/cm² 。

准确的说 :1MPa=9.8kg/cm²

$1\text{MPa}=10^6\text{Pa}=10^6\text{N/m}^2=10^2\text{N/cm}^2=100\text{N/cm}^2=(100/9.8)\text{Kgf/cm}^2$ 近似 $=10\text{Kgf/cm}^2$.

生产中 1Mpa 近似认为 10Kg/cm², 但实际上是 10.204Kg/Cm² 左右 , 即 :1Kg/cm²=0.098Mpa



思考题与习题

2 — 7 某液压泵的转速为 950r/min ，排量为 $q = 168\text{ml/r}$ 在额定压力 29.5Mpa 和同样转速下，测的实际流量为 150l/min ，额定工况下的总效率为 0.87 ，求：

- 1) 泵的理论流量；
- 2) 泵的容积效率和机械效率；
- 3) 泵在额定工况下，所需电机驱动功率。

2 — 8 已知某液压系统工作时所需最大流量 $Q = 5 \times 10^{-4}\text{m}^3/\text{s}$ ，最大工作压力 $p = 40 \times$

10^5Pa ，取 $k_{\text{压}} = 1.3$ ， $k_{\text{流}} = 1.1$ ，试从下列表中选择液压泵。
若泵的效率 $= 0.7$ ，计算电机功率。

CB — B50 型泵 $Q = 50\text{ L/min}$ ， $p = 25 \times 10^5\text{Pa}$

YB — 40 型泵 $Q = 40\text{ L/min}$ ， $p = 63 \times 10^5\text{Pa}$



3.1 液压缸

液压缸是使负载作直线运动的执行元件。

1、液压缸分类

分为单作用式液压缸和双作用式液压缸两类。

单作用式液压缸又分为无弹簧式、附弹簧式、柱塞式三种，如图 3 — 1 所示。

双作用式液压缸又分为单杆形，双杆形两种，如图 3 — 2 所示。

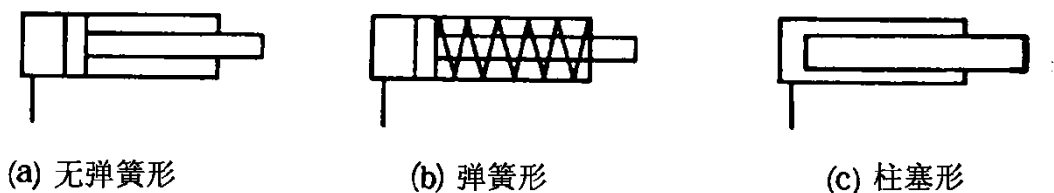


图3—1 单作用液压缸

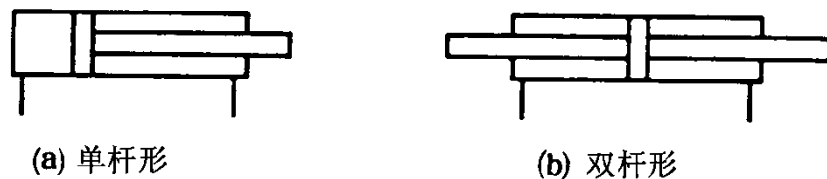
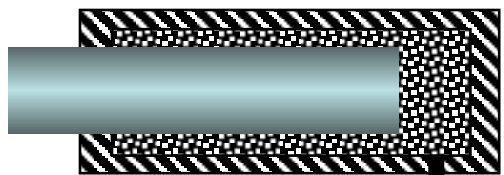
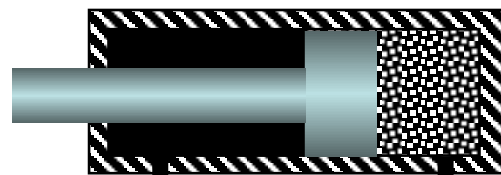


图3—2 双作用液压缸

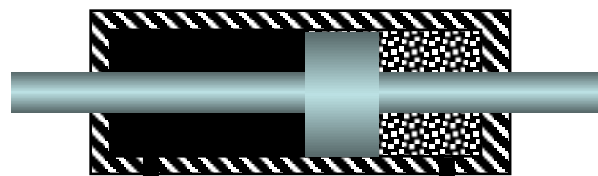
液压缸及其分类



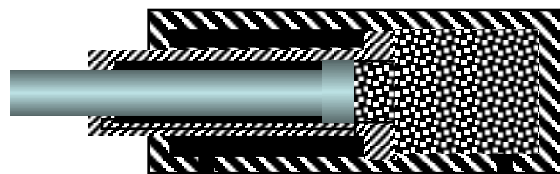
柱塞式液压缸



单活塞杆式液压缸

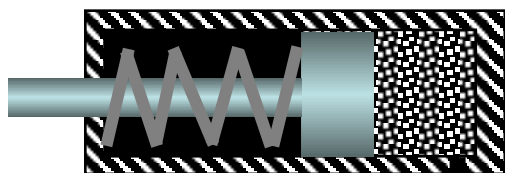


双活塞杆式液压缸

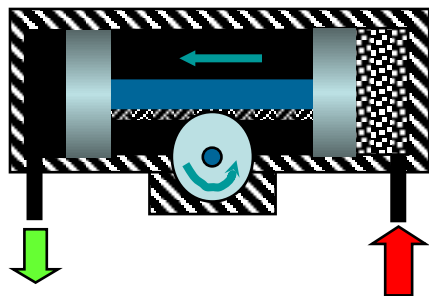


伸缩式液压缸

液压缸及其分类

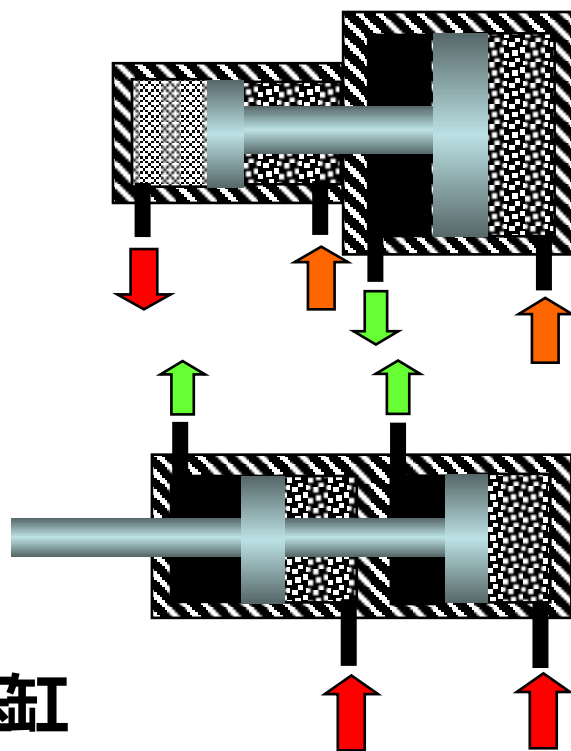


弹簧复位式液压缸



伸缩式液压缸

增压缸



串联式液压缸

双杆缸运动范围：受安装方式影响

缸体固定：(3 倍缸体长)

活塞杆固定：(2 倍缸体长)



3.1 液压缸

2、**液压缸结构：**图3—3为液压缸结构图，选用液压缸时，首先考虑活塞杆长度（由行程决定），再根据回路的最高压力选出适合的液压缸。

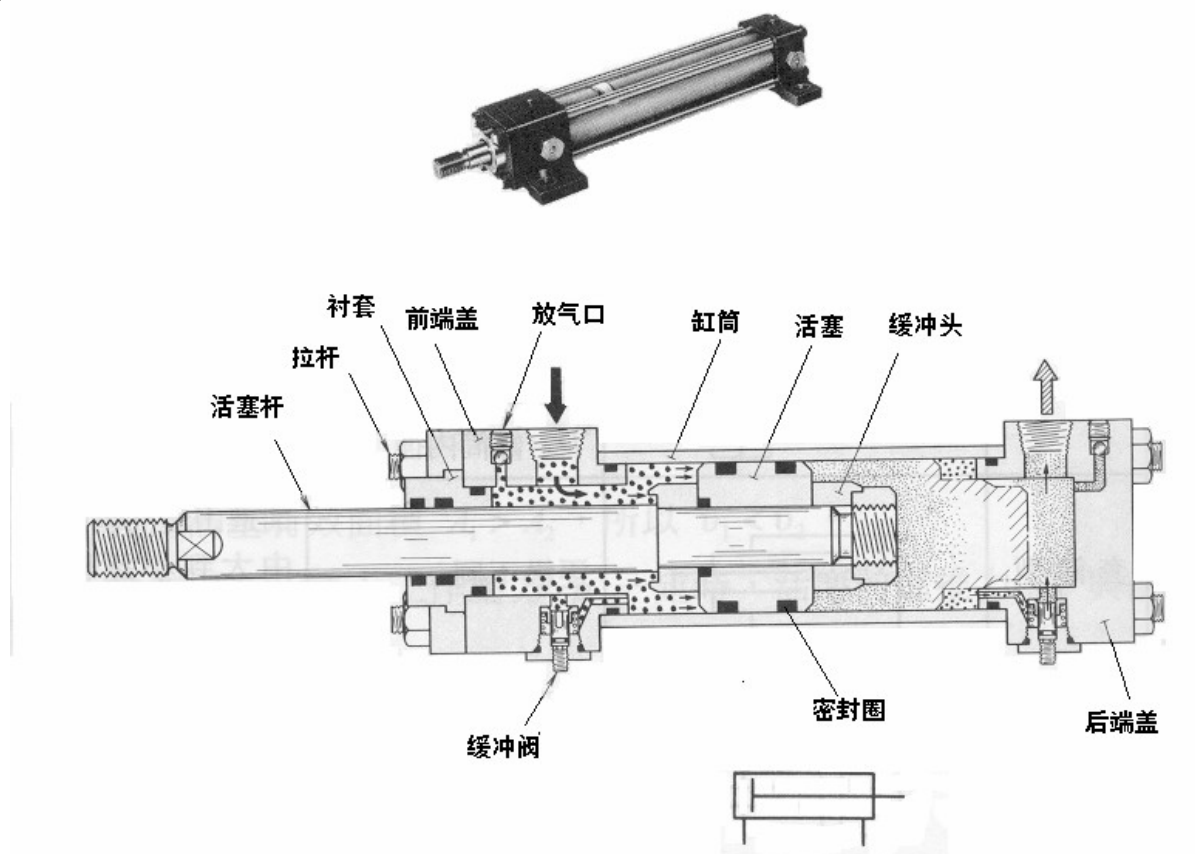


图3—3 液压缸结构

3.1 液压缸

2、液压缸结构

- 1) **缸筒**主要是由钢材制成，缸筒内要经过精细加工，表面粗糙度 $R_a < 0.08\mu\text{m}$ ，以减少密封件的摩擦。
- 2) **盖板**：通常由钢材制成，有前端盖和后端盖，安装在缸筒的前后两端，盖板和缸筒的连接方法有焊接、拉杆、法兰、罗纹连接等。
- 3) **活塞**的材料通常用钢或铸铁，也可采用铝合金。活塞和缸筒内壁间需要密封，采用的密封件有 O 形环、V 形油封、U 形油封、X 形油封和活塞环等。而活塞应有一定的导向长度，一般取活塞长度为缸筒内径的 (0.6 ~ 1.



3.1 液压缸

- 4) **活塞杆**：是由钢材做成实心杆或空心杆，表面经淬火再镀铬处理并抛光。
- 5) **缓冲装置**：为了防止活塞在行程的终点与前后端盖板发生碰撞，引起噪音，影响工件精度或使液压缸损坏，常在液压缸前后端盖上设有缓冲装置，以使活塞移到快接近行程终点时速度减慢下来终至停止。如图 3 — 3b 所示前后端盖上的缓冲阀附近有单向阀的结构。当活塞接近端盖时，缓冲环插入端盖板油出入口，强迫压油经缓冲阀的孔口流出，促使活塞的速度缓慢下来。相反，当活塞从行程的尽头将离去时，如压油只作用在缓冲环上，活塞要移动的那一瞬间将非常不稳定甚至无足够力量推动活塞，故必须使压油经缓冲阀内的止回阀作用在活塞上，如此才能使活塞平稳的前进。
- 6) **放气装置**：在安装过程中或停止工作的一段时间后，空气将渗入液压系统内，缸筒内如存留空气，将使液压缸在低速时产生爬行、颤抖现象，换向时易引起冲击，因此在液压缸结构上要能及时排除缸内留存的气体。一般双作用式液压缸不设专门的放气孔，而是将液压油出入口布置在前后盖板的最高处。大型双作用式液压缸则必须在前后端盖板设放气栓塞。对于单作用式液压缸液压油出入口一般设在缸筒底部，在最高处设放气栓塞。
- 7) **密封装置**：液压缸的密封装置用以防止油液的泄漏，液压缸的密封主要是指活塞、活塞杆处的动密封和缸盖等处的静密封。常采用 O 形密封圈和 Y 形密封圈。



3.1 液压缸

3、液压缸的参数计算

图 3 — 4 所示，液压缸缸体固定，液压油从 A 口进入作用在活塞上，产生一推力 F ，通过活塞杆以克服负荷 W ，活塞以速度 v 向前推进，同时将活塞杆侧内的油液通过 B 口流回油箱。相反，如高压油从 B 口进入，则活塞后退。

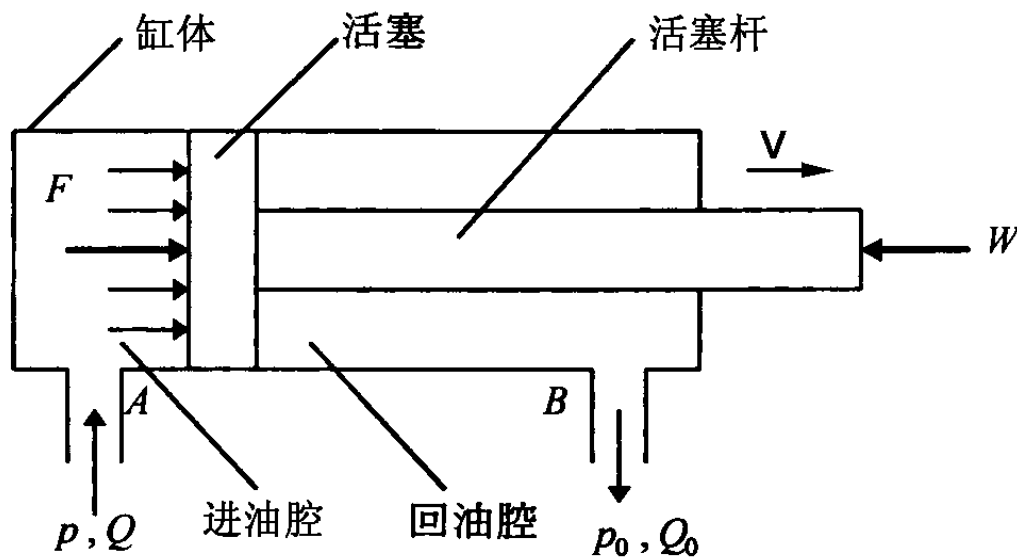


图3—4 液压缸的工作原理



3.1 液压缸

3、液压缸的参数计算

1) 速度和流量

若忽略泄漏，则速度和流量的关系如下：

$$Q = A v \quad (3-1)$$

$$v = Q / A \quad (3-2)$$

式中： Q — 液压缸的输入流量（ m^3/s 或 L/min , $L=1 \times 10^{-3} \text{m}^3$)

A — 液压缸活塞上有效工作面积

v — 活塞移动速度

通常活塞上工作有效面积是固定的，由式（3-2）可知，活塞的速度取决于输入液压缸的流量，又由理论上可知，速度和负载无关。



3.1 液压缸

2) 推力和压力

推力 F 是压力为 p 的液压油作用在工作有效面积为 A 的活塞上，以平衡负载 W ，若液压缸回油接油箱，则 $P_0 = 0$ ，故：

$$F = W = p \cdot A \quad (\text{N}) \quad (3-3)$$

式中： p — 液压缸的工作压力 (MPa)

A — 液压缸活塞上有效工作面积 (mm^2)

推力 F 可看成是液压缸的理论推力，因为活塞的有效面积固定，故压力取决于总负载。

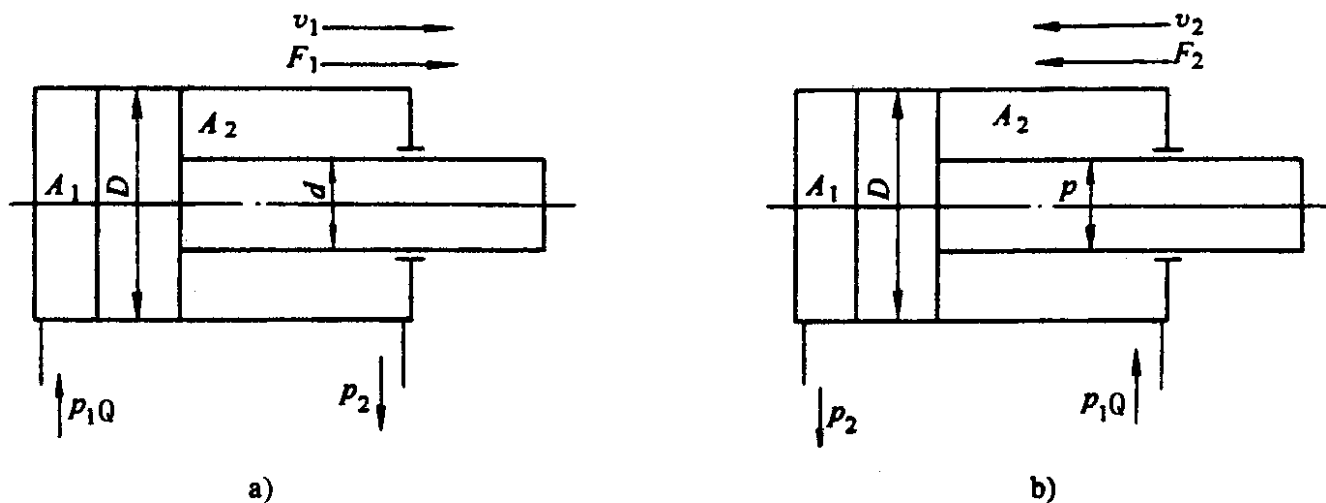


图 3-5 单杆活塞缸

3.1 液压缸

工作进给（无杆腔进油）

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$F_1 = p_1 \cdot A_1 - p_2 \cdot A_2 = \frac{\pi}{4} [(p_1 - p_2) D^2 + p_2 d^2]$$

返回（有杆腔进油）

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{4Q}{\pi (D^2 - d^2)}$$

$$F_2 = p_2 \cdot A_2 - p_1 \cdot A_1 = \frac{\pi}{4} [(p_1 - p_2) D^2 - p_1 d^2]$$



3.1 液压缸

图 3 — 6 所示为单杆活塞的另一种联结方式。它把右腔的回油管道和左腔的进油管道接通。这种联结方式称为差动联结。活塞前进的速度 v 及推力 F 为：

$$v_3 = \frac{Q + Q'}{A_1} = \frac{Q + \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)v_3}{\frac{\pi}{4}D^2}$$

故：

$$v_3 = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

$$F_3 = p(A_1 - A_2) = p \frac{\pi d^4}{4}$$

显然，差动联结时活塞运动速度较快，产生的推力较小。所以差动联结常用于空载快进场合。

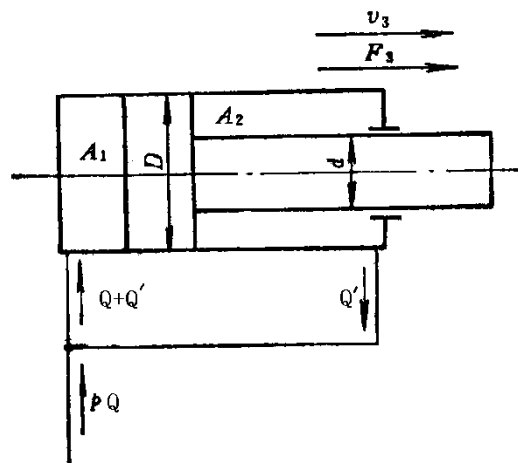


图 3—6 差动缸

3.1 液压缸

4、其他液压缸

1) 摆动缸：摆动式液压缸也称摆动马达。

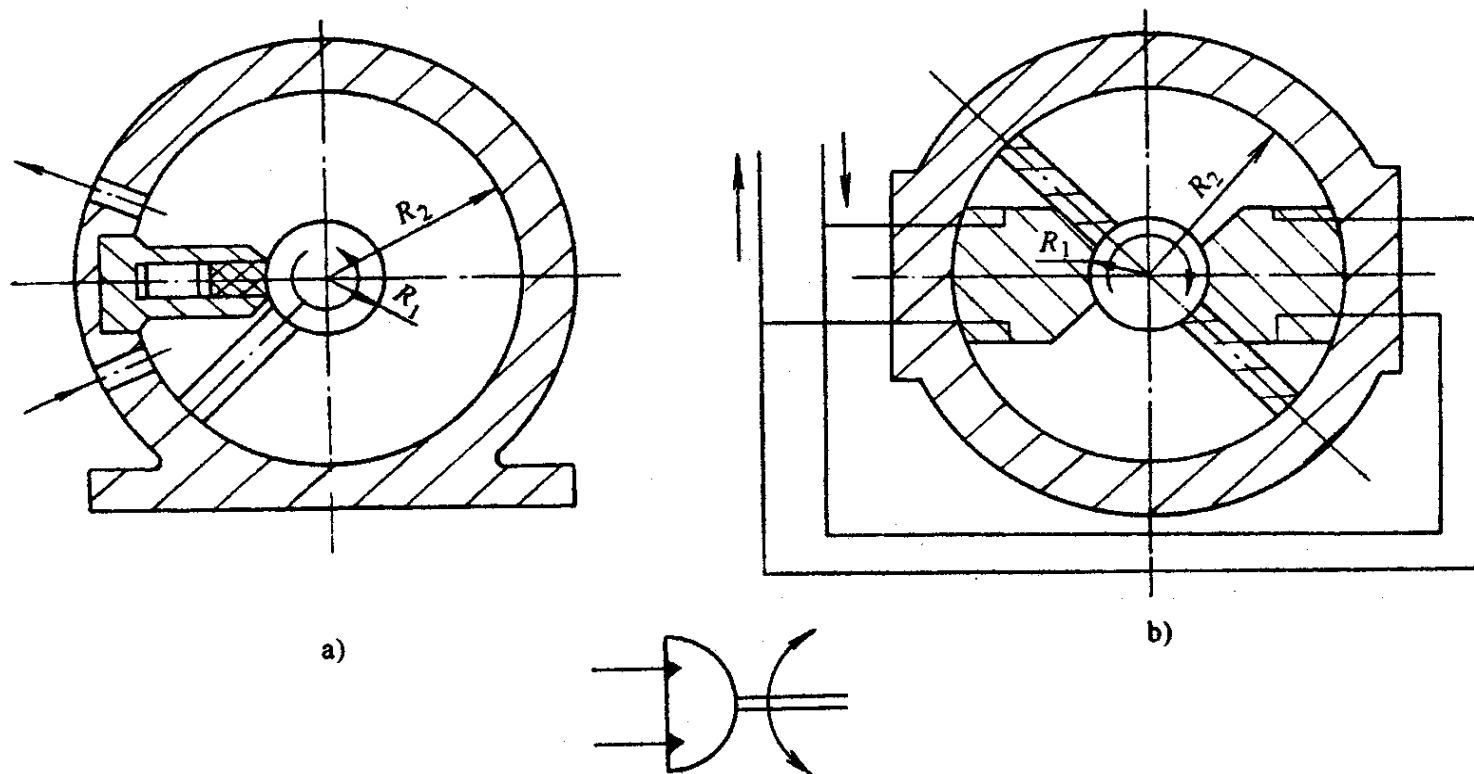


图 3-7 摆动缸

3.1 液压缸

4、其他液压缸

- 1) 摆动缸：摆动式液压缸也称摆动马达。当它通入液压油时，它的主轴输出小于 360° 的摆动运动。图 3-7a 所示为单叶片式摆动缸，它的摆动角度较大，可达 300° 、当摆动缸进出油口压力为 p_1 和 p_2 ，输入流量为 q 时，它的输出转矩 T 和角速度 ω 为：

$$T = b \int_{R_1}^{R_2} (p_1 - p_2) r dr = \frac{b}{2} (R_2^2 - R_1^2) (p_1 - p_2) \beta \quad (3-10)$$

$$\omega = 2\pi n = \frac{2Q}{b(R_2^2 - R_1^2)} \quad (3-11)$$

式中： b 为叶片的宽度， R_1, R_2 为叶片底部、顶部的回转半径。

图 3-7b 所示为双叶片式摆动缸，它的摆动角度和角速度是单叶片式的一半，而输出角度是单叶片式的两倍。



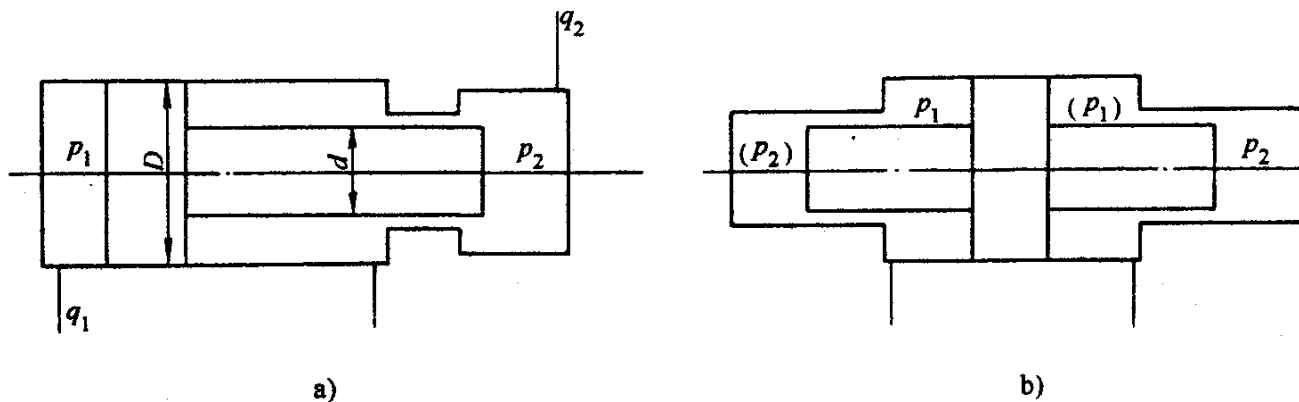
3.1 液压缸

4、其他液压缸

2) 增压缸：在某些短时或局部需要高压的液压系统中，常用增压缸与低压大流量泵配合作用，单作用增压缸的工作原理如图 3－8a 所示，输入低压力 p_1 的液压油，输出高压为 p_2 的液压油，增大压力关系如式（3－12）。

$$p_2 = p_1 \left(\frac{D}{d} \right)^2 \quad (3-12)$$

单作用增压缸不能连续向系统供油，图 3－8 b 为双作用式增压缸，可由两个高压端连续向系统供油。

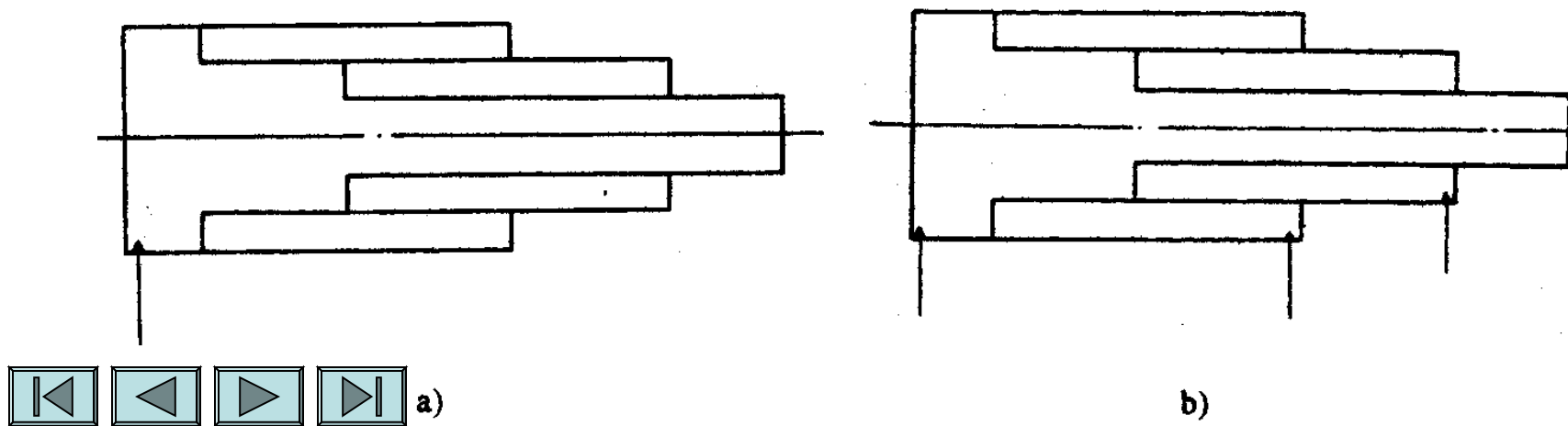


3.1 液压缸

4、其他液压缸

3) 伸缩缸：图 3 — 9 所示，伸缩式液压缸由两个或多个活塞式液压缸套装而成，前一级活塞缸的活塞是后一级活塞缸的缸筒，可获得很长的行程。伸缩缸广泛的用于起重运输车辆上。

图 3 — 9a 是单作用式，图 3 — 9b 是双作用式。



3.1 液压缸

4、其他液压缸

- 4) 齿轮缸：图 3 — 10 所示，它由两个柱塞和一套齿轮齿条传动装置组成，当液压油推动活塞左右往复运动时，齿条就推动齿轮往复转动，从而由齿轮驱动工作部件作往复旋转运动。

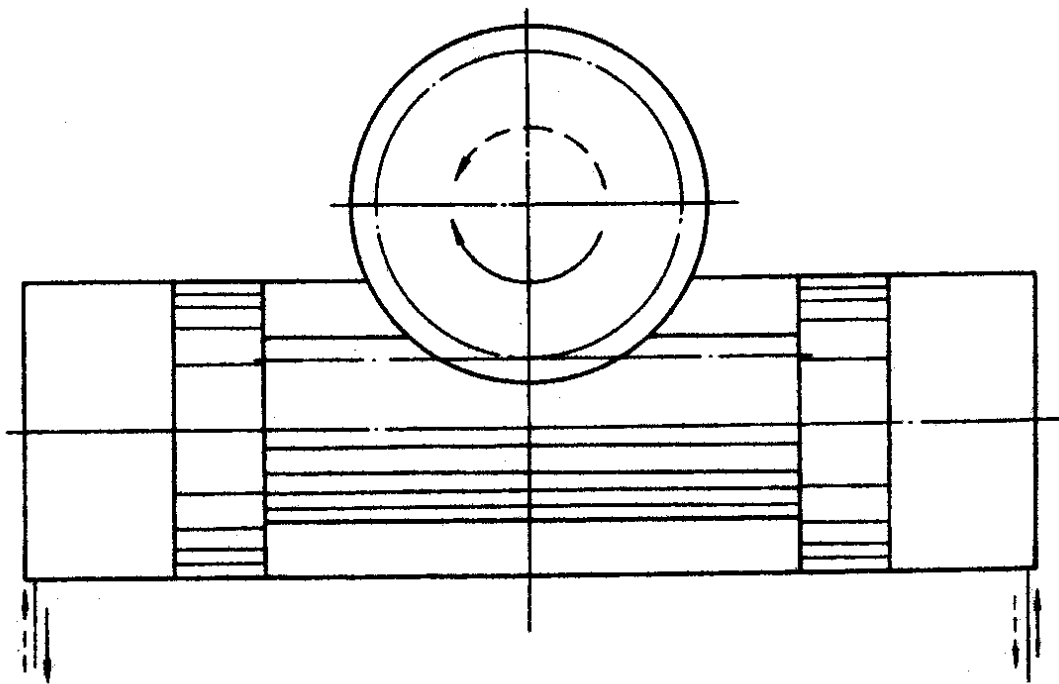


图 3-10 齿轮缸

3.2 液压马达

液压马达是使负载作连续旋转的执行元件，其内部构造与液压泵类似，差别仅在于液压泵的旋转是由电机所带动，输出的是液压油；液压马达则是输入液压油，输出的是转矩和转速。因此，液压马达和液压泵在细部结构上存在一定的差别。



3.2 液压马达

1、液压马达分类及特点

液压马达按其结构类型来分可以分为齿轮式、叶片式、柱塞式等其它形式。

也可按液压马达的额定转速分为高速和低速两大类。

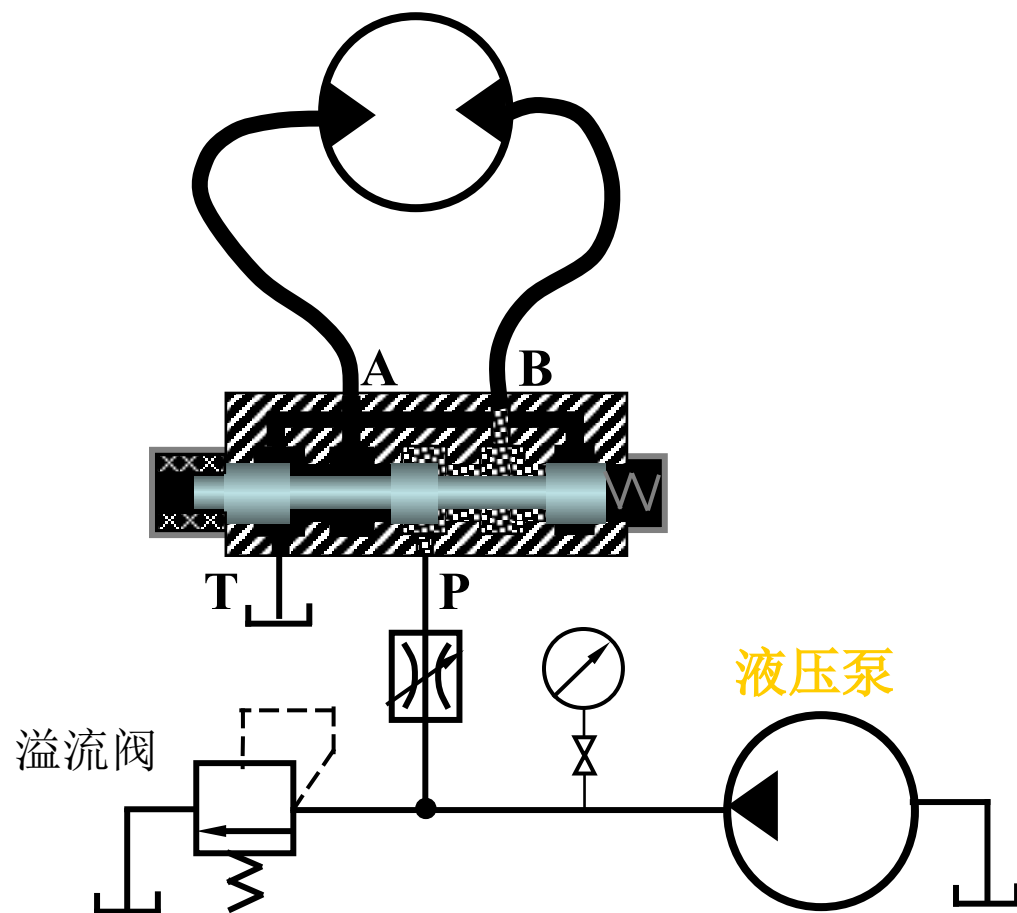
额定转速高于 500r/min 的属高速液压马达，额定转速低于 500r/min 的属于低速液压马达。

高速液压马达的基本形式有齿轮式、螺杆式、叶片式和轴向柱塞式等。高速液压马达的主要特点是转速高、转动惯量小，便于启动和制动。通常高速液压马达输出转矩不大（仅几十 N.m 到几百 N.m），所以又称为高速小转矩马达。

低速液压马达的基本形式是径向柱塞式，低速液压马达的主要特点是排量大、体积大、转速低（可达每分钟几转甚至零点几转）、输出转矩大（可达几千 N.m 到几万 N.m），所以又称为低速大转矩液压马达。



液压马达回路



3.2 液压马达

2、液压马达图形符号

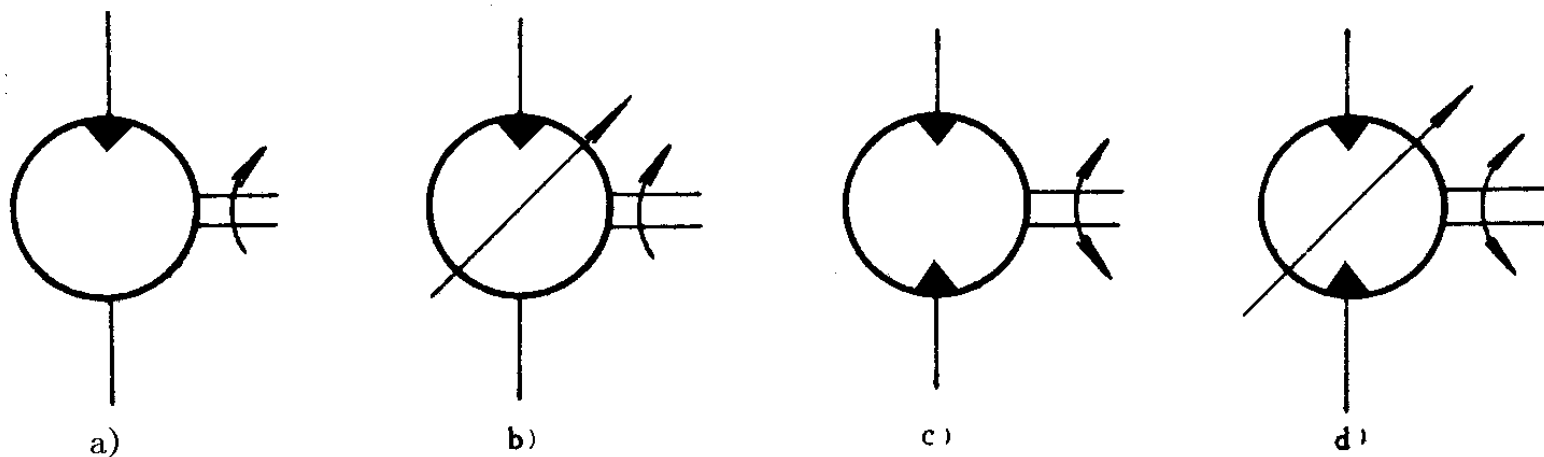


图3-11 液压马达的图形符号

- a) 单向定量液压马达 b) 单向变量液压马达
c) 双向定量液压马达 d) 双向变量液压马达

液压缸、液压泵、液压马达的共性

油缸油泵油马达，工作原理属一家：
能量转换共同点，均靠容积来变化，
出油容积必缩小，进油容积则扩大。
油泵输出压力油，出油当然是高压，
缸和马达与泵反，出油自然是低压。
工作压差看负载，负载含义要记下：
油泵不仅看外载，管路阻力也得加，
缸和马达带负载，压差只是克服它。
流量大小看速度，再看排量小与大，
单位位移需油量，排量含义就是它。

液压马达与液压泵的区别

从原理上讲，液压泵与液压马达可以互换，但结构有差异

- 1、泵的进油口比出油口大，马达的进、出油口相同
- 2、结构上要求泵有自吸能力
- 3、马达要正反转，结构具有对称性；泵单方向转，不要对称
- 4、要求马达的结构及润滑，能保证在宽速度范围内正常工作
- 5、液压马达应有较大的起动扭矩和较小的脉动



液压马达的参数计算

理论上液压马达输入、输出功率相等，从而有关系如下：

$$\Delta p Q_{ac} = T_{th} \omega$$

式中： Q_{ac} — 输入液压马达的实际流量 (m^3/min)

ω — 马达角速度(rad/min)

$$\text{即： } \Delta p q n = T_{th} 2\pi \cdot n$$

T_{th} — 理论转矩(N.m)

Δp — 马达的输入压力与马达出口压力差 (Pa)

$$\text{故： } T_{th} = \frac{\Delta p q}{2\pi}$$

$$T_{ac} = \eta_m T_{th}$$

式中： T_{ac} — 液压马达实际输出转矩 (N.m)

q — 马达排量 (m^3/r)

η_m — 液压马达的机械效率

液压马达的参数计算

$$n = \frac{Q}{q} \cdot \eta_v \quad \text{式中:}$$

n — 马达转速 (rpm)

η_v — 液压马达的容积效率

$$P_r = \frac{2\pi n T_{ac}}{60 \times 10^3} \text{ (kW)}$$

式中: P_r — 液压马达输出功率



总 结

- ✓ 液压泵的工作原理
- ✓ 液压泵的主要性能及参数
- ✓ 液压泵的结构
- ✓ 液压泵与电动机参数的选用
- ✓ 液压缸液压马达

