



2 液压动力元件

2.1 液压泵的工作原理

2.2 液压泵的主要性能和参数

2.3 液压泵的结构

2.4 液压泵与电动机参数的选用

思考题与习题





2.1 液压泵的工作原理

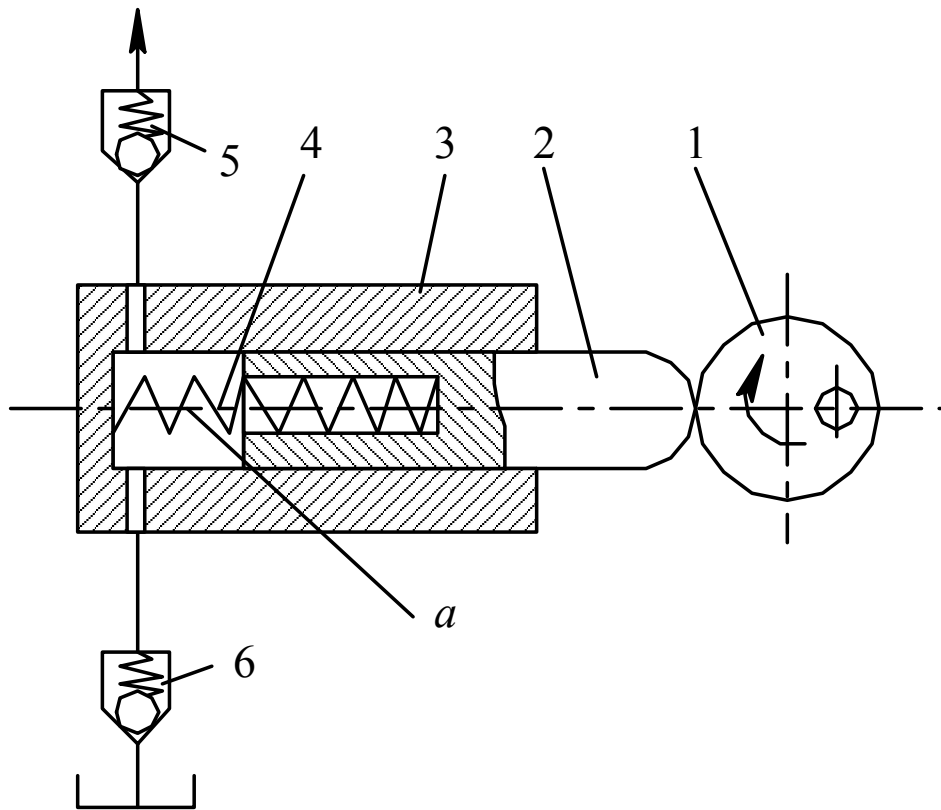
图2-1所示为液压泵的工作原理图。柱塞2装在缸体3内，并可作左右移动，在弹簧4的作用下，

柱塞紧压在偏心轮1的外表面上。当电机带动偏心轮旋转时，偏心轮推动柱塞左右运动，使密封容积 a 的大小发生周期性的变化。当 a 由小变大时就形成部分真空，使油箱中的油液在大气压的作用下，经吸油管道顶开单向阀6进入油腔 a 实现吸油；反之，当 a 由大变小时， a 腔中吸满的油液将顶开单向阀5流入系统而实现压油。电机带动偏心轮不断旋转，液压泵就不断的吸油和压油。





2 液压动力元件



1—偏心轮；2—柱塞；3—缸体；
4—弹簧；5—单向阀；6—单向阀

图2-1 液压泵工作原理图





2 液压动力元件

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，因而称之为容积式泵。

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，则流量与压力无关。

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；还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。





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液压泵的工作压力。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。





2 液压动力元件

3) 最高允许压力

在超过额定压力的条件下，根据试验标准规定，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. 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，故在高压时效率较高。





2 液压动力元件

3. 流量

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 表示泵的排量(L/r)； n 表示泵的转速(r/min)。

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

式中， ΔQ 表示泵运转时，油会从高压区泄漏到低压区的泄漏损失。





2 液压动力元件

4. 容积效率和机械效率

液压泵的容积效率 η_v 的计算公式为

$$\eta_v = \frac{Q_{ac}}{Q_{sh}} \quad (2-3)$$

液压泵的机械效率 η_m 的计算公式为

$$\eta_m = \frac{T_{th}}{T_{ac}} \quad (2-4)$$

式中， T_{th} 表示泵的理论输入扭矩； T_{ac} 表示泵的实际输入扭矩。





2 液压动力元件

5. 泵的总效率和功率

泵的总效率 η 的计算公式为

$$\eta = \eta_m \eta_v = \frac{P_{ac}}{P_M} \quad (2-5)$$

式中， P_{ac} 表示泵实际输出功率； P_m 表示电动机输出功率。

泵的功率 P_{ac} 的计算公式为

$$P_{ac} = \frac{pQ_{ac}}{60} \quad (2-6)$$

式中， p 表示泵输出的工作压力（MPa）； Q_{ac} 表示泵的实际输出流量（L/min）， $1 \text{ L} = 10^3 \text{ cm}^3$ 。





2 液压动力元件

【例2-1】某液压系统，泵的排量 $Q=10\text{ mL/r}$ ，电机转速 $n=1200\text{ r/min}$ ，泵的输出压力 $p=5\text{ MPa}$ ，泵容积效率 η

$V=0.92$ ，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 液压动力元件

解 (1) 泵的理论流量为

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

(2) 泵的实际流量为

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

(3) 泵的输出功率为

$$P_{ac} = \frac{pQ}{60} = \frac{5 \times 11.04}{60} = 0.9 \text{ (kW)}$$

(4) 驱动电机功率为

$$P_m = \frac{P_{ac}}{\eta} = \frac{0.9}{0.84} = 1.07 \text{ (kW)}$$





2.3 液压泵的结构

2.3.1 齿轮泵

齿轮泵是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。





2 液压动力元件

1. 外啮合齿轮泵

外啮合齿轮泵的构造和工作原理如图2-2所示。它由装在壳体内的一对齿轮所组成，齿轮两侧由端盖罩住，壳体、端盖和齿轮的各个齿间槽组成了许多密封工作腔。当齿轮按图2-2所示方向旋转时，右侧吸油腔由于相互啮合的齿轮逐渐脱开，密封工作容积逐渐增大，形成部分真空，因此油箱中的油液在外界大气压的作用下，经吸油管进入吸油腔，将齿间槽充满，并随着齿轮旋转，把油液带到左侧的压油腔内。在压油区的一侧，由于齿轮在这里逐渐进入啮合，密封工作腔容积不断减小，油液便被挤出去，从压油腔输送到压油管路中去。这里的啮合点处的齿面接触线一直起着隔离高、低压腔的作用。





2 液压动力元件

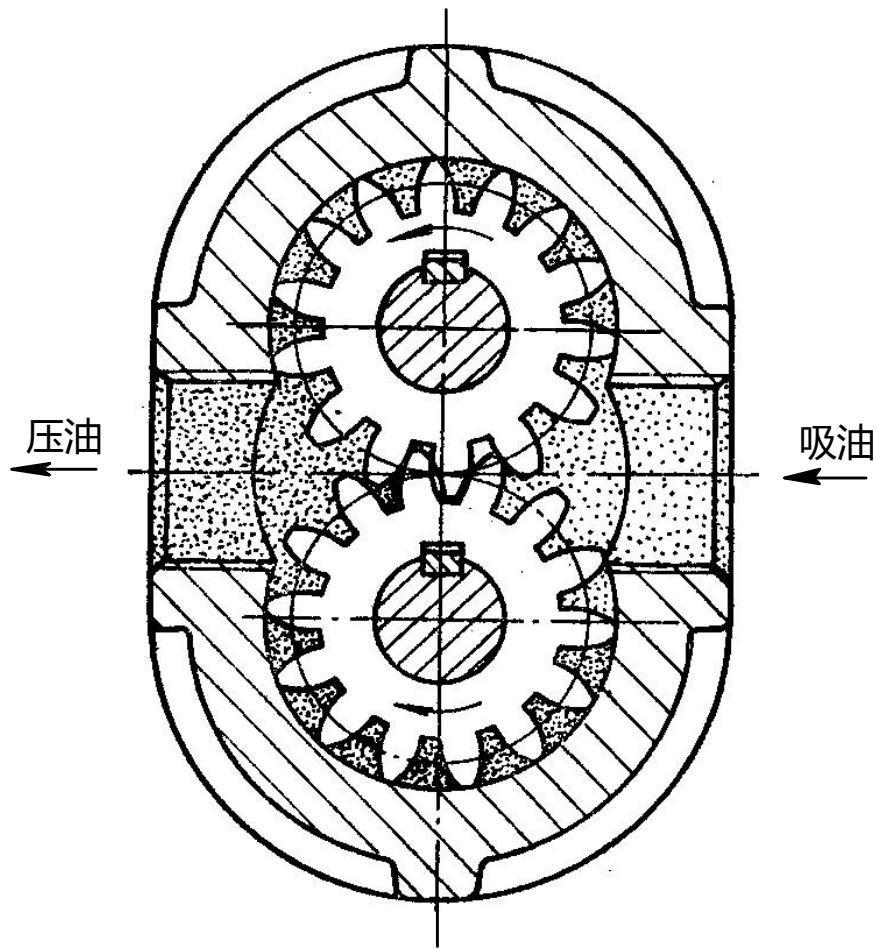


图2-2 外啮合齿轮泵工作原理





2 液压动力元件

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，二为齿端面与侧板之间的间隙，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。

为解决外啮合齿轮泵的内泄漏问题，提高其压力，逐步开发出固定侧板式齿轮泵，其最高压力长期均为7~10 MPa，可动侧板式齿轮泵在高压时侧板被往内推，以减少高压时的内漏，其最高压力可达14~17 MPa。





2 液压动力元件

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而改变，常有一部分液压油被封闭在齿间，如图2-3所示，我们称之为困油现象。因为液压油不可压缩而使外接齿轮泵在运转过程中产生极大的震动和噪音，所以必须在侧板上开设卸荷槽，以防止震动和噪音的发生。





2 液压动力元件

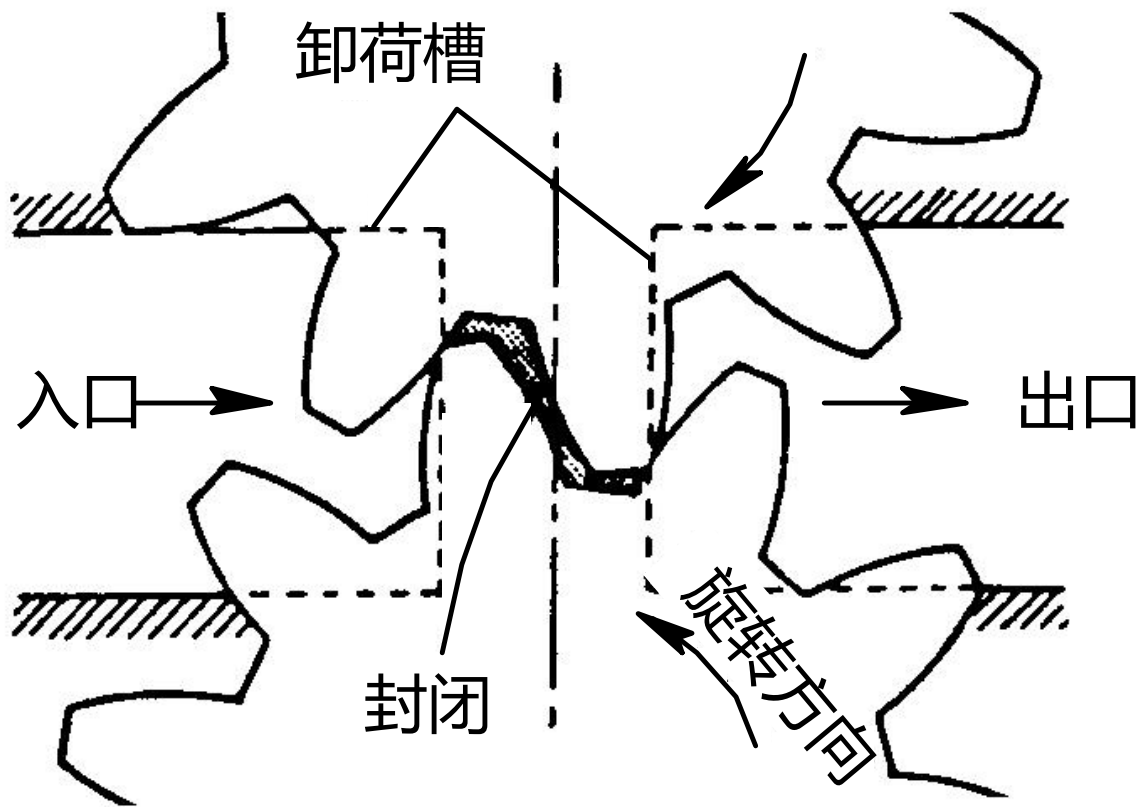


图2-3 困油现象





2 液压动力元件

2. 内啮合齿轮泵

图2-4(a)所示为有隔板的内啮合齿轮泵，图2-4(b)所示为摆动式内啮合齿轮泵，它们共同的特点是：内外齿轮转向相同，齿面间相对速度小，运转时噪音小；齿数相异，绝对不会发生困油现象。因为外齿轮的齿端必须始终与内齿轮的齿面紧贴，以防内漏，所以内啮合齿轮泵不适用于较高的压力的场合。





2 液压动力元件

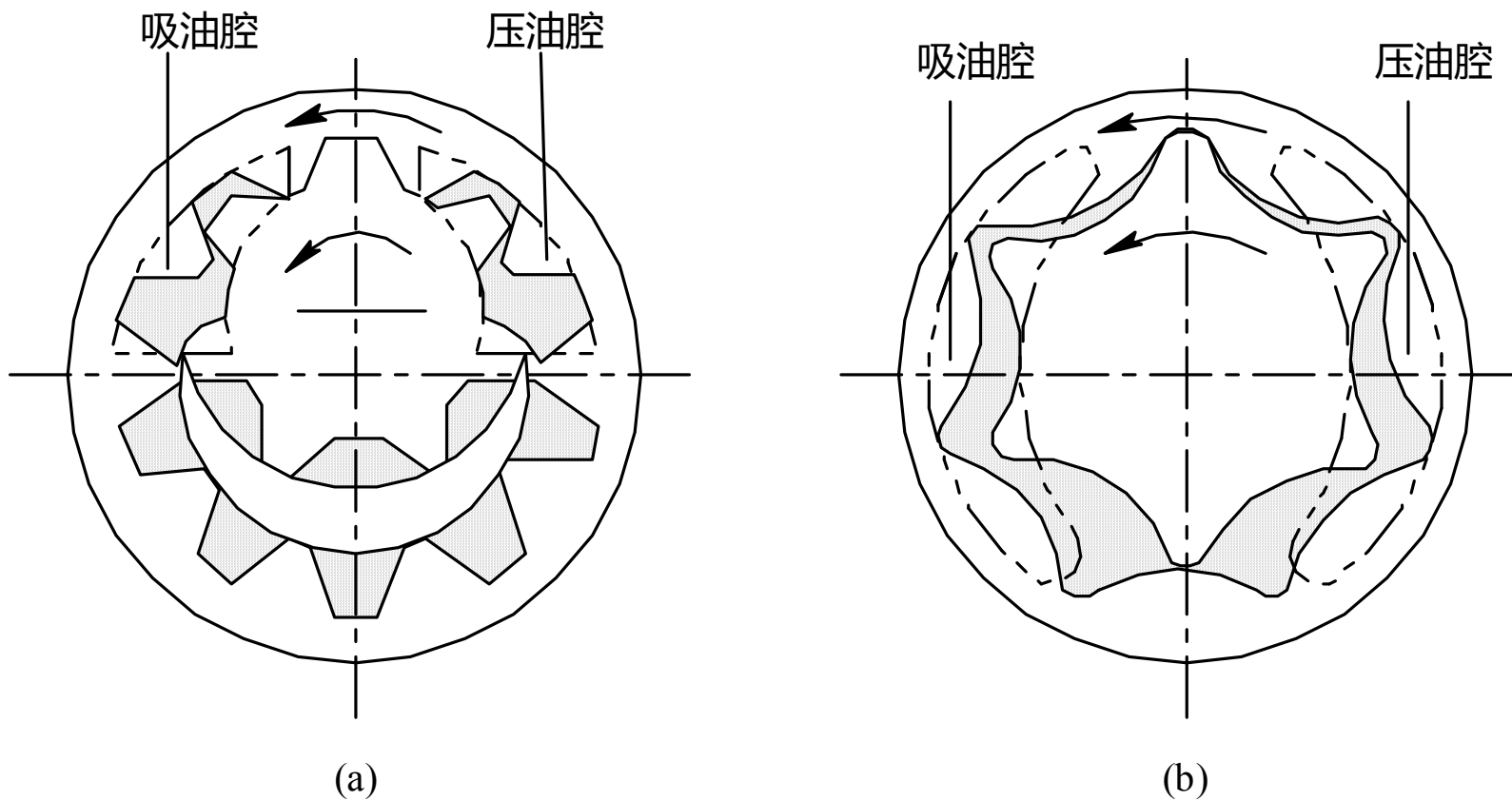


图2-4 内啮合齿轮泵
(a) 有隔板的内啮合齿轮泵； (b) 摆动式内啮合齿轮泵





2 液压动力元件

2.3.2 螺杆泵

如图2-5所示为螺杆泵。它的液压油沿螺旋方向前进，转轴径向负载各处均相等，脉动少，运动时噪音低；可高速运转，适合作大容量泵；但压缩量小，不适合高压的场合。一般用作燃油、润滑油泵，而不用作液压泵。

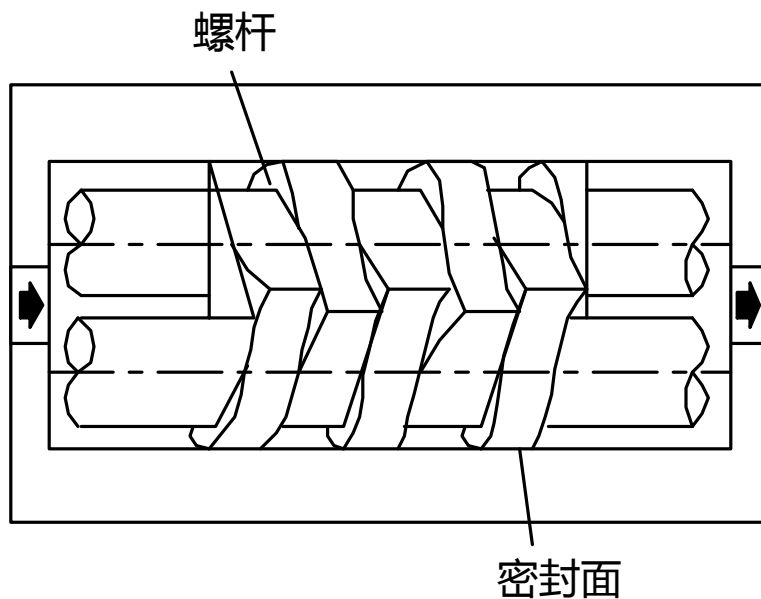


图2-5 螺杆泵





2 液压动力元件

2.3.3 叶片泵

叶片泵的优点是：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，另一种是双作用叶片泵。

1. 单作用叶片泵





2 液压动力元件

单作用叶片泵的工作原理如图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，这样，在定子、转子、叶片和两侧配油盘间就形成了若干个密封的工作空间，当转子按逆时针方向回转时，在图2-6的右部，叶片逐渐伸出，叶片间的空间逐渐增大，从吸油口吸油，这是吸油腔。在图2-6的左部，叶片被定子内壁逐渐压进槽内，工作空间逐渐缩小，将油液从压油口压出，这就是压油腔。





2 液压动力元件

在吸油腔和压油腔之间有一段封油区，把吸油腔和压油腔隔开，这种叶片泵每转一周，每个工作腔就完成一次吸油和压油，因此称之为单作用叶片泵。转子不停地旋转，泵就不断地吸油和排油。

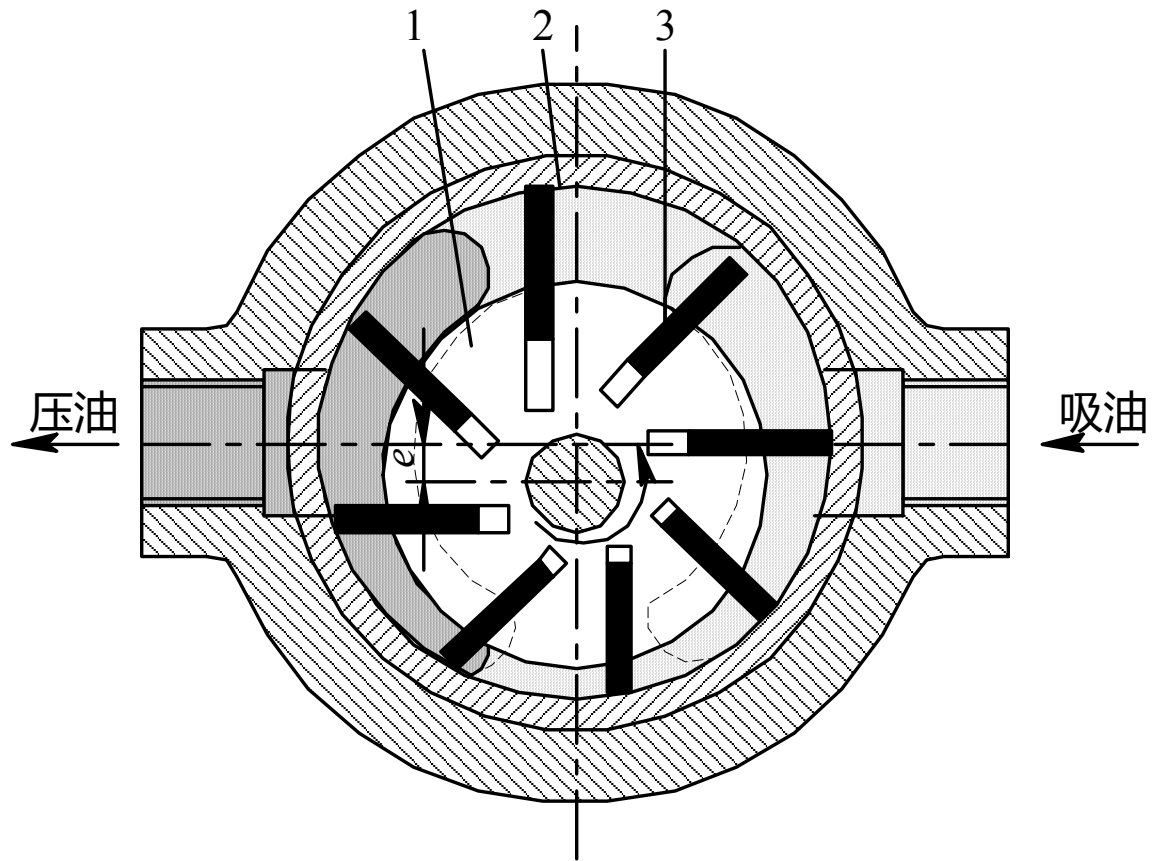
改变转子与定子的偏心量，即可改变泵的流量，偏心量越大，流量越大，若调成几乎是同心的，则流量接近于零。因此单作用叶片泵大多为变量泵。

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。





2 液压动力元件



1—转子；2—定子；3—叶片

图2-6 单作用叶片泵工作原理





2 液压动力元件

2. 双作用叶片泵

双作用叶片泵的工作原理如图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。

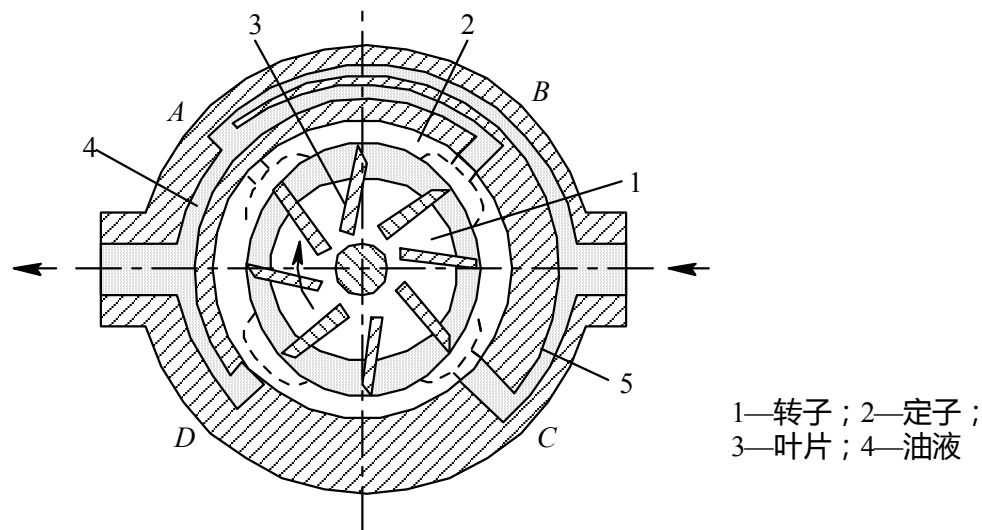


图2-7 双作用叶片泵工作原理





2 液压动力元件

2.3.4 柱塞泵

柱塞泵工作原理是通过柱塞在液压缸内做往复运动来实现吸油和压油。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。

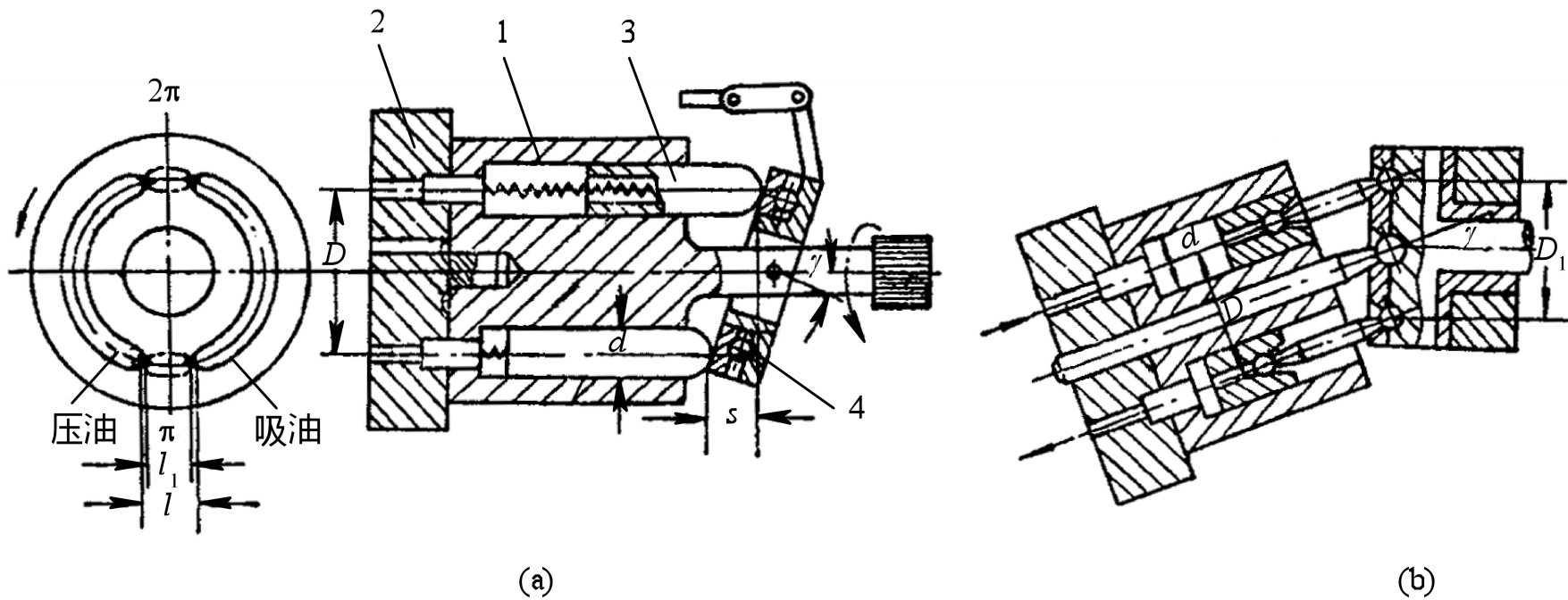
1. 轴向柱塞泵

轴向柱塞泵的工作原理如图2-8所示。轴向柱塞泵可分为直轴式（图2-8(a)所示）和斜轴式（图2-8(b)所示）两种。这两种泵都是变量泵，通过调节斜盘倾角 γ ，即可改变泵的输出流量。





2 液压动力元件



1—缸体；2—配油盘；3—柱塞；4—斜盘

图2-8 轴向柱塞泵工作原理

(a) 直轴式； (b)斜轴式





2 液压动力元件

2. 径向柱塞泵

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

如图2-9所示为固定液压缸式，利用偏心轮的旋转，可使活塞产生往复行程，以进行泵的吸、压作用。偏心轮的偏心量固定，所以固定液压缸式径向柱塞泵一般为定量泵，最高输出压力可达21 MPa以上。





2 液压动力元件

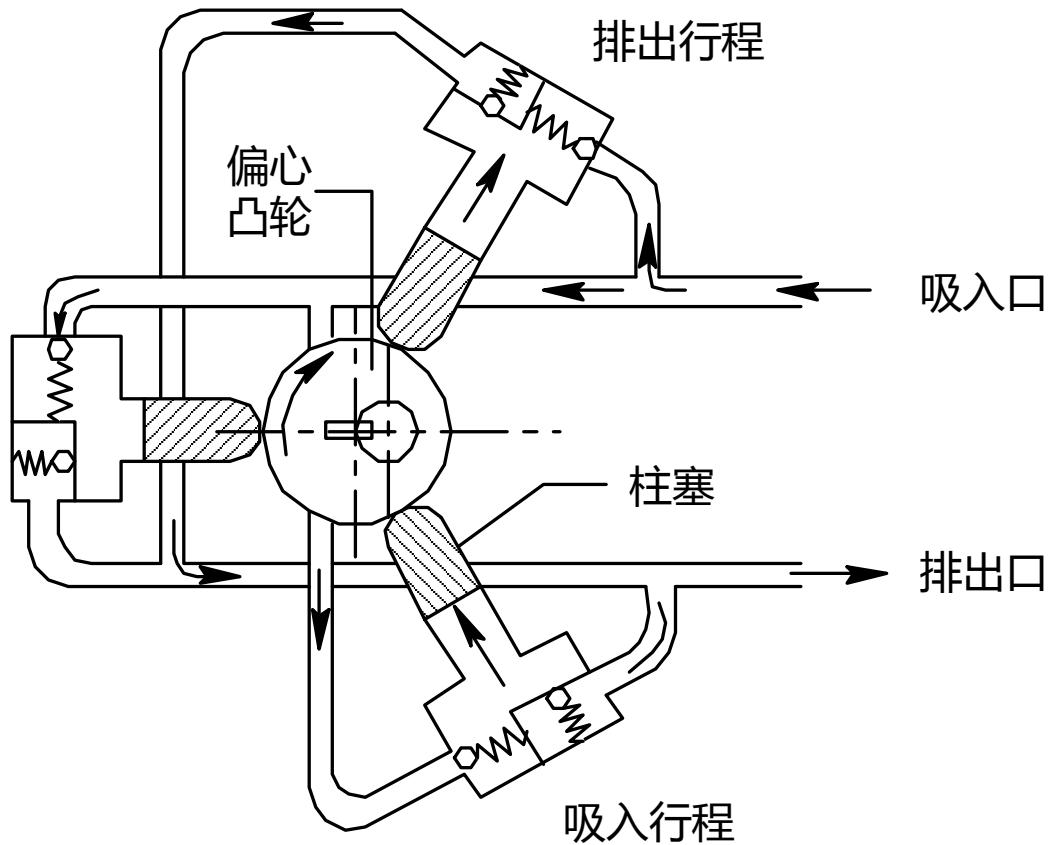


图2-9 固定液压缸式径向柱塞泵





2 液压动力元件

如图2-10所示为回转液压缸式柱塞泵，其活塞安装在压缸体上，压缸体的中心和转子的中心有一偏心量 e ，压缸体和轴一同旋转。分配轴固定，上有四条油路，其中两条油路成一组，分别充当压油的进出通道，并和盖板的进出油口相通。改变偏心量即可改变流量，因此，回转液压缸式柱塞泵为一种变量泵。





2 液压动力元件

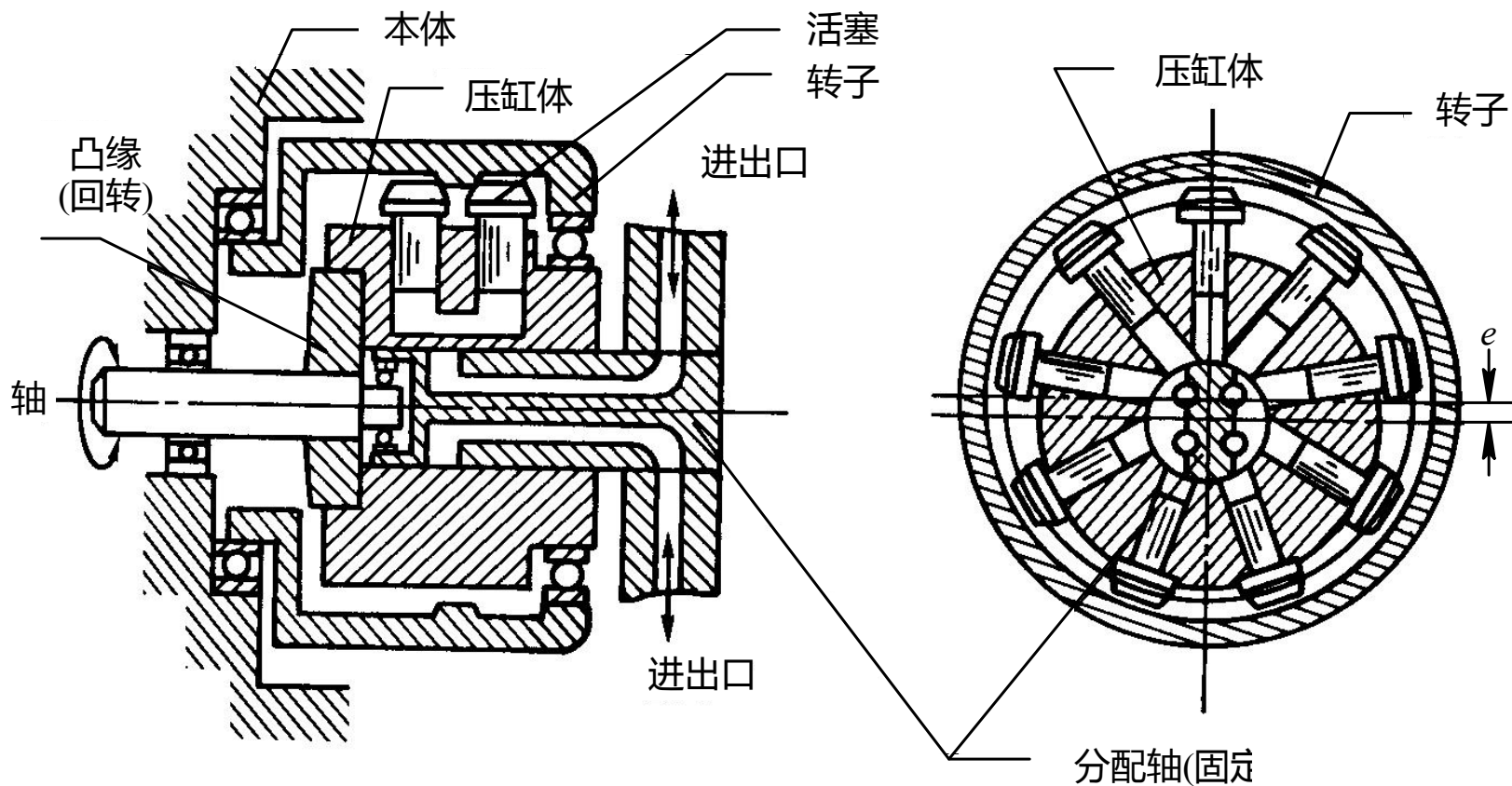


图2-10 回转液压缸式径向柱塞泵





2 液压动力元件

2.3.5 液压泵的职能符号

液压泵的职能符号如图2-11所示。

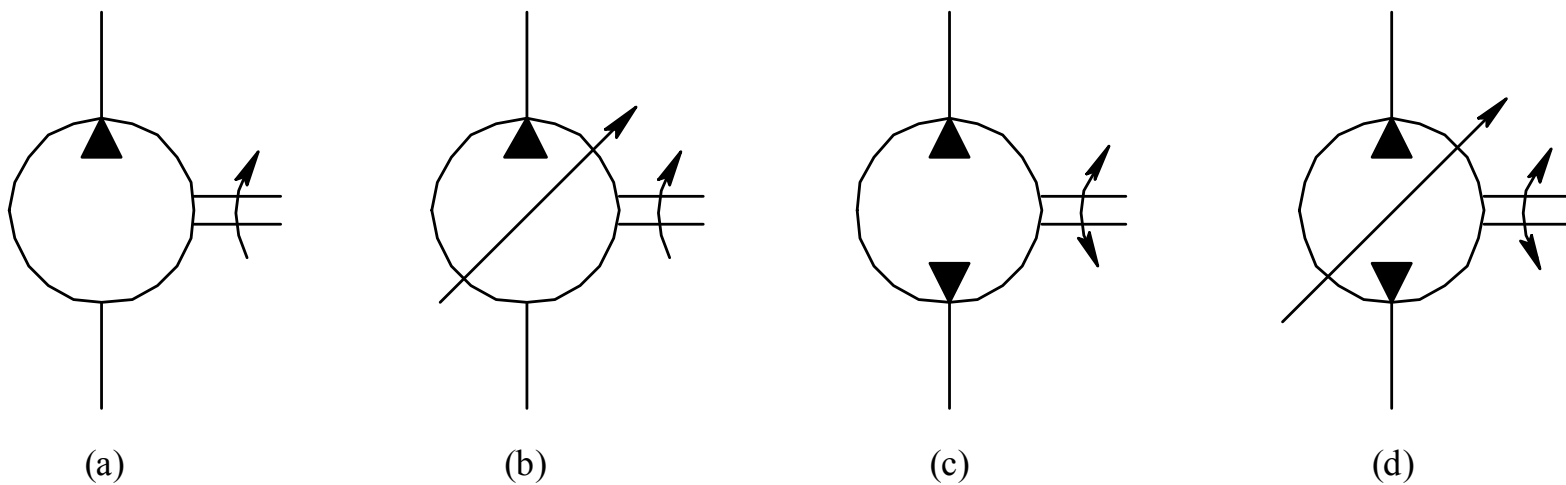


图2-11 液压泵的职能符号

(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 液压动力元件

2.3.6 常用泵的性能

了解各种常用泵的性能有助于我们正确的选用泵，表2-1列举了最常用泵的各种性能值，供大家在选用时参考。

表2-1 几种常用泵的各种性能值

泵类型	速度/(r/min)	排量/cm ³	工作压力/MPa	总效率
外啮合齿轮泵	500~3500	12~250	6.3~16	0.8~0.91
内啮合齿轮泵	500~3500	4~250	16~25	0.8~0.91
螺杆泵	500~4000	4~630	2.5~16	0.7~0.85
叶片泵	960~3000	5~160	10~16	0.8~0.93
轴向柱塞泵	750~3000	100	20	0.8~0.92
		25~800	16~32	
径向柱塞泵	960~3000	5~160	16~32	0.9





2.4 液压泵与电动机参数的选用

2.4.1 液压泵大小的选用

液压泵的选择通常先根据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， $p_{\text{泵}}$ 表示液压泵所需要提供的压力(Pa)； $k_{\text{压}}$ 表示系统中压力损失系数，一般取1.3~1.5； $p_{\text{缸}}$ 表示液压缸中所需的最大工作压力(Pa)。





2 液压动力元件

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， $Q_{\text{泵}}$ 表示液压泵所需输出的流量(m^3/min)； $k_{\text{流}}$ 表示系统的泄漏系数，一般取1.1~1.3； $Q_{\text{缸}}$ 表示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。





2 液压动力元件

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%。泵的额定流量一般选择略大于或等于所求出的 $Q_{\text{缸}}$ 值即可。

2.4.2 电动机参数的选择

液压泵是由电动机驱动的，可根据液压泵的功率计算出电动机所需要的功率，再考虑液压泵的转速，然后从样本中合理地选定标准的电动机。

驱动液压泵所需的电动机功率可按下式确定：





2 液压动力元件

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

式中， P_M 表示电动机所需的功率(kW)； $p_{\text{泵}}$ 表示泵所需的最大工作压力(Pa)； $Q_{\text{泵}}$ 表示泵所需输出的最大流量(m^3/min)； η 表示泵的总效率。

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 液压动力元件

2.4.3 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？

解 首先确定液压缸中最大工作压力 $p_{\text{缸}}$ 为

$$p_{\text{缸}} = \frac{F}{A} = 12.15 \times 10^5 (\text{Pa}) = 1.215 (\text{MPa})$$

选择 $k_{\text{压}}=1.3$ ，计算液压泵所需最大压力为

$$p_{\text{泵}} = 1.3 \times 1.215 = 1.58 (\text{MPa})$$





2 液压动力元件

再根据运动速度计算液压缸中所需的最大流量为

$$Q_{缸} = vA = 0.04 \times 0.008 = 3.2 \times 10^{-4} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

选取 $k_{流} = 1.1$ ，计算泵所需的最大流量为

$$Q_{泵} = k_{流} Q_{缸} = 1.1 \times 3.2 \times 10^{-4} = 3.52 \times 10^{-4} \text{ (m}^3/\text{s)} = 21.12 \text{ (L/min)}$$

查液压泵的样本资料，选择CB-B25型齿轮泵。该泵的额定流量为25 L/min，略大于 $Q_{泵}$ ；该泵的额定压力为25 kgf/cm（略为2.5 MPa），大于泵所需要提供的最大压力。

选取泵的总效率 $\eta = 0.7$ ，驱动泵的电动机功率为

$$P_M = \frac{p_{泵} \times Q_{泵}}{60\eta} = \frac{15.8 \times 10^5 \times 4.17 \times 10^{-4}}{60 \times 0.7} = 0.94 \text{ (kW)}$$





2 液压动力元件

由上式可见，在计算电机功率时用的是泵的额定流量，而没有用计算出来的泵的流量，这是因为所选择的齿轮泵是定量泵的缘故，定量泵的流量是不能调节的。

【例2-3】 如图2-12所示的液压系统，已知负载 $F=30000\text{N}$ ，活塞的有效面积 $A=0.01\text{ m}^2$ ，空载时的快速前进的速度为 0.05 m/s ，负载工作时的前进速度为 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。





2 液压动力元件

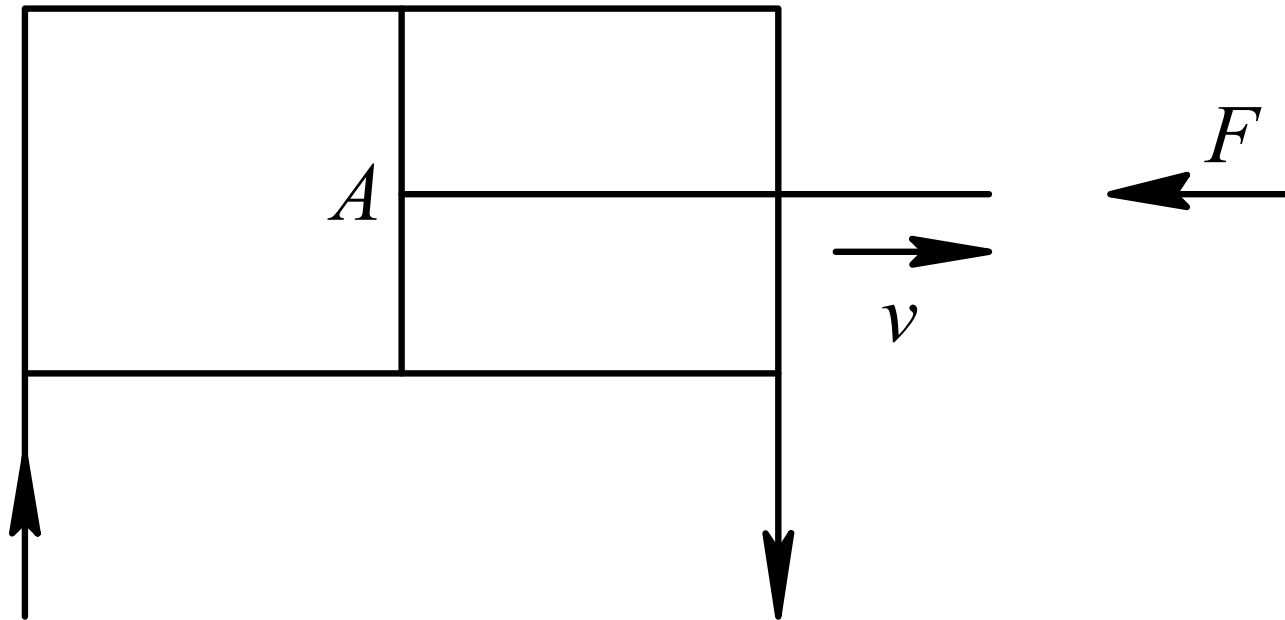


图2-12 液压系统





2 液压动力元件

解

$$p_{缸} = \frac{F}{A} = \frac{30000}{0.01} = 30 \times 10^5 (Pa)$$

$$p_{泵} = k_{压} \times p_{缸} = 1.5 \times 30 \times 10^5 = 45 \times 10^5 (Pa)$$

因为快速前进的速度大，所需流量也大，所以泵必须保证的流量应满足快进的要求，此时流量按快进计算，即

$$Q_{缸} = v_{快进} \times A = 0.05 \times 0.01 = 5 \times 10^{-4} (m^3/s)$$

$$Q_{泵} = k_{流} \times Q_{缸} = 1.3 \times 5 \times 10^{-4} = 6.5 \times 10^{-4} (m^3/s) = 39 (L/min)$$





2 液压动力元件

在 $p_{\text{泵}}$ 、 $Q_{\text{泵}}$ 求出后，就可从下列已知泵中选择一台。
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， $Q_{\text{额}}=50 \text{ L/min}$ ， $p_{\text{额}}=63 \text{ kgf/cm}^2$ 。
因为求出的 $p_{\text{泵}}=45 \times 10^5 \text{ Pa}=45 \text{ kgf/cm}^2$ ，而求出的 $Q_{\text{泵}}=39 \text{ L/min}$ ，所以应选择YB-40型叶片泵。

电动机功率为

$$P_M = \frac{p_{\text{泵}} \times Q_{\text{泵}}}{60\eta} = \frac{45 \times 10^5 \times 6.67 \times 10^{-4}}{60 \times 0.75}$$





思考题与习题

2-1 何谓泵的排量、理论流量和实际流量？

2-2 何谓定量泵和变量泵？

2-3 何谓泵的工作压力、额定压力和最高工作压力？

2-4 液压泵的种类有哪三大类？各有何优缺点？

2-5 为什么齿轮泵通常只能做低压泵使用？

2-6 某液压泵的输出压力5 MPa，排量为10 mL/r，机械效率为0.95，容积效率为0.9，当转速为1000 r/min时，泵的输出功率和驱动泵的电机功率各为多少？





2 液压动力元件

2-7 某液压泵的转速为950 r/min，排量 $q=168 \text{ mL/r}$ ，在额定压力为29.5 MPa和同样转速下，测得的实际流量为150 L/min，额定工作条件下的总效率为0.87，求：

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

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 $p=40 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，取 $k_{\text{压}}=1.3$ ， $k_{\text{流}}=1.1$ ，试从下列泵中选择液压泵。若泵的效率 $\eta=0.7$ ，计算电机功率。

CB-B50型泵， $Q_{\text{额}}=50 \text{ L/min}$ ， $p_{\text{额}}=25 \times 10^5 \text{ Pa}$ ；

YB-40型泵， $Q_{\text{额}}=40 \text{ L/min}$ ， $p_{\text{额}}=63 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

