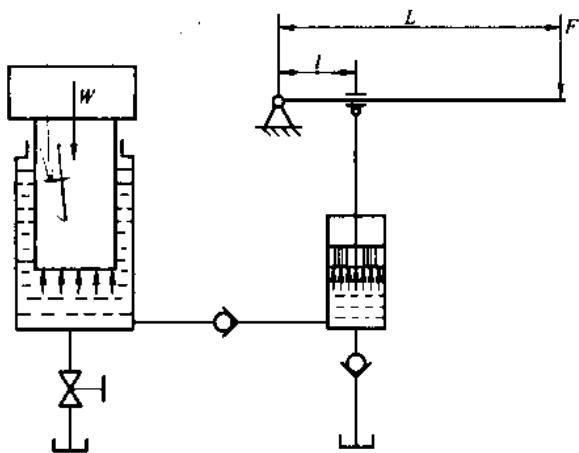


第 1~3 章作业习题解答

1-1/0-1 液压千斤顶如图所示。千斤顶的小活塞直径为 15mm，行程 10mm，大活塞直径为 60mm，重物 W 为 48000N，杠杆比为 $L:l=750:25$ ，试求：

- 1) 杠杆端施加多少力才能举起重物 W ？
- 2) 此时密封容积中的液体压力等于多少？
- 3) 杠杆上下动作一次，重物的上升量。

又如小活塞上有摩擦力 175N，大活塞上有摩擦力 2000N，并且杠杆每上一次，密封容积中液体外泄 0.2cm^3 到油箱，重复上述计算。



解 1)
$$\frac{F_1}{\frac{\pi d_1^2}{4}} = \frac{W}{\frac{\pi d_2^2}{4}}$$

$$F_1 = W \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = 48000 \times \left(\frac{15}{60} \right)^2$$

$$3000\text{N}$$

$$FL = F_1 l$$

$$F = F_1 \frac{l}{L} = 3000 \times \frac{25}{750}$$

$$= 100\text{N}$$

$$2) \quad p = \frac{4W}{\pi d_2^2} = \frac{4 \times 48000}{\pi \times 0.06^2}$$

$$= 16.98\text{MPa}$$

$$3) \quad \frac{\pi d_1^2}{4} h_1 = \frac{\pi d_2^2}{4} h_2$$

$$h_2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 h_1 = \left(\frac{15}{60} \right)^2 \times 10$$

$$= 0.625\text{mm}$$

又如：

$$1) \quad \frac{F_1 - f_1}{\frac{\pi d_1^2}{4}} = \frac{W + f_2}{\frac{\pi d_2^2}{4}}$$

$$F_1 = (W + f_2) \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 + f_1$$

$$= (48000 + 2000) \times \left(\frac{15}{60} \right)^2 + 175$$

$$3300\text{N}$$

$$FL = F_1 l$$

$$F = F_1 \frac{l}{L} = 3300 \times \frac{25}{750}$$

$$= 110\text{N}$$

$$2) \quad p = \frac{4(W + f_2)}{\pi d_2^2} = \frac{4 \times (48000 + 2000)}{\pi \times 0.06^2}$$

$$= 17.69\text{MPa}$$

$$3) \quad \frac{\pi d_1^2}{4} h_1 = \frac{\pi d_2^2}{4} h_2 + V_l$$

$$h_2 = \frac{\frac{\pi d_1^2}{4} h_1 - V_l}{\frac{\pi d_2^2}{4}}$$

$$= \frac{\frac{\pi \times 0.015^2}{4} \times 0.01 - 0.2 \times 10^{-6}}{\frac{\pi \times 0.06^2}{4}}$$

$$= 5.54 \times 10^{-4}\text{m} = 0.554\text{mm}$$

1-2/0-2 如图所示两液压缸的结构和尺寸均相同，无杆腔和有杆腔的面积各为 A_1 和 A_2 ， $A_1=2A_2$ ，两缸承受负载 F_1 和 F_2 ，且 $F_1=2F_2$ ，液压泵流量为 q ，试求两缸并联和串联时，活塞移动速度和缸内的压力。

解

两缸并联时，由于两缸上作用负载不同，故两缸顺序动作。

F_2 作用的缸活塞运动时，

速度为 q/A_1 ，

压力为 F_2/A_1 。

而 F_1 作用的缸活塞运动时，

速度为速度为 q/A_1 ，

压力为 F_1/A_1 。

可见两者速度相同，但压力之比为 1:2。

两缸串联时，

$$p_2 = F_2/A_1, \quad p_1 A_1 = p_2 A_2 + F_1,$$

$$\text{因此, } p_1 = (p_2 A_2 + F_1)/A_1 = 2.5 F_2/A_1,$$

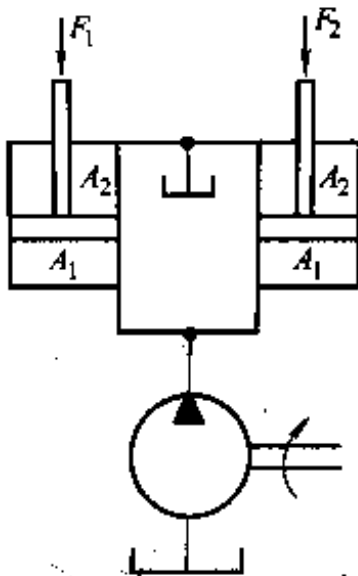
故两缸压力之比为 1:2.5。

左缸活塞速度 $v_1 = q/A_1$ ，

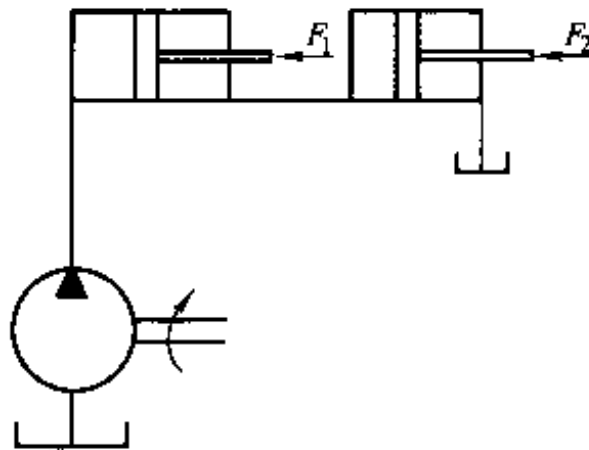
$$\text{右缸活塞速度 } v_2 = v_1 A_2/A_1 = q A_2 / A_1^2,$$

故两缸活塞速度之比为 $v_1:v_2=2:1$ 。

注：这个例子清楚地说明了液压系统的压力决定于负载以及活塞运动的速度决定于输入的流量这两条液压传动的纂本原理。

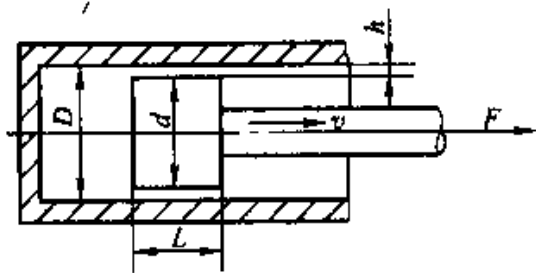


a)



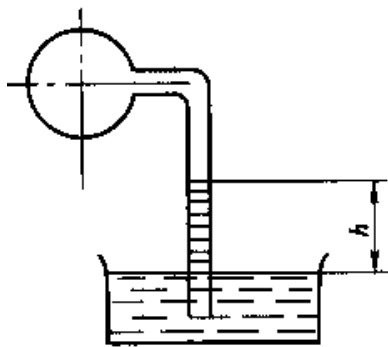
b)

2-5/1-11 如图所示一液压缸，其缸筒内径 $D=120\text{mm}$ ，活塞直径 $d=119.6\text{mm}$ ，活塞长度 $L=140\text{mm}$ ，若油的动力粘度 $\mu=0.065\text{Pa}\cdot\text{s}$ ，活塞回程要求的稳定速度为 $v=0.5\text{m/s}$ ，试求不计油液压力时拉回活塞所需的力 F 。



$$\begin{aligned}\text{解 } F &= \mu A \frac{du}{dy} = \mu \pi d l \frac{dv}{\frac{D-d}{2}} \\ &= 0.065 \times \pi \times 120 \times 10^{-3} \times 140 \times 10^{-3} \\ &\quad \times \frac{0.5}{\frac{120-119.6}{2} \times 10^{-3}} \\ &= 8.55\text{N}\end{aligned}$$

3-1/1-24 如图所示，一具有一定真空度的容器用一根管子倒置于一液面与大气相通的水槽中，液体在管中上升的高度 $h=1\text{m}$ ，设液体的密度为 $\rho=1000\text{kg/m}^3$ ，试求容器内的真空度。

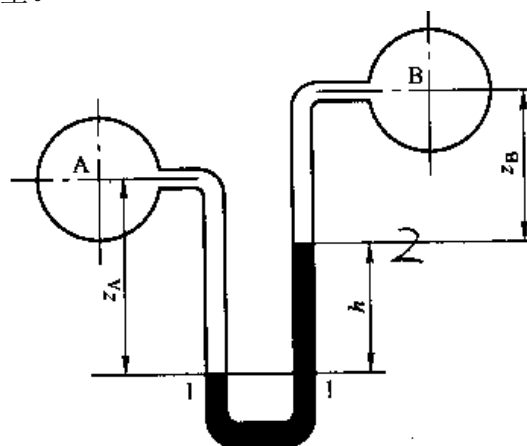


解 列液面流体静力学基本方程

$$p_a = p_{\text{绝对}} + \rho gh$$

$$\begin{aligned}\text{真空度} &= p_a - p_{\text{绝对}} = \rho gh \\ &= 1000 \times 9.8 \times 1 \\ &= 9800\text{Pa} = 9.8\text{kPa}\end{aligned}$$

3-3/1-28 如图所示容器 A 中的液体密度 $\rho_A=900\text{kg/m}^3$ ，B 中液体的密度为 $\rho_B=1200\text{kg/m}^3$ ， $z_A=200\text{mm}$ ， $z_B=180\text{mm}$ ， $h=60\text{mm}$ ，U 形管中的测压介质为汞， $\rho_{\text{汞}}=13600\text{kg/m}^3$ ，试求 A、B 之间的压力差。

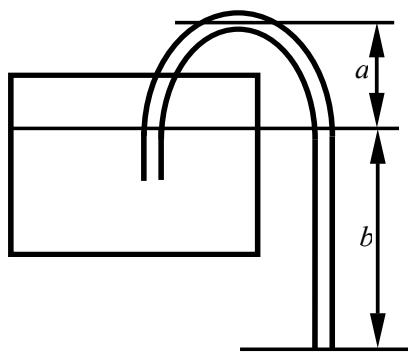


解 列 1-1 面流体静力学基本方程

$$\begin{aligned}p_A + \rho_A g z_A &= p_B + \rho_B g z_B + \rho_{\text{汞}} g h \\ p_A - p_B &= g(\rho_B z_B + \rho_{\text{汞}} h - \rho_A z_A) \\ &= 9.8 \times (1200 \times 0.18 + 13600 \times 0.06 \\ &\quad - 900 \times 0.2) \\ &= 8349.6 \approx 8350\text{Pa}\end{aligned}$$

3-4/1-29

3-6 如图所示，一虹吸管从油箱中吸油，管子直径 150mm ，且是均匀的，图中，A 点高出液面距离 $a=1\text{m}$ ，管子出口低于液面距离 $b=4\text{m}$ ，忽略一切损失，试求吸油流量和 A 点处的压力。



解 1)以液面为基准列液面到出口的伯努力方程(相对压力)

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g}$$

$$0 \quad 0 \quad 0 \quad -b \quad 0$$

$$b = \frac{u_2^2}{2g}$$

$$u_2 = \sqrt{2gb}$$

$$q = \frac{1}{4} \pi d^2 u_2$$

$$= \frac{1}{4} \pi \times 0.15^2 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 4}$$

$$= 0.1565 \text{ m}^3/\text{s}$$

2) 以液面为基准列液面到 A 点的伯努力方程(相对压力)

$$0 = z_A + \frac{p_A}{\rho g} + \frac{u_A^2}{2g}$$

$$0 = a + \frac{p_A}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g}$$

$$0 = a + \frac{p_A}{\rho g} + \frac{2gb}{2g}$$

$$p_A = -\rho g(a+b)$$

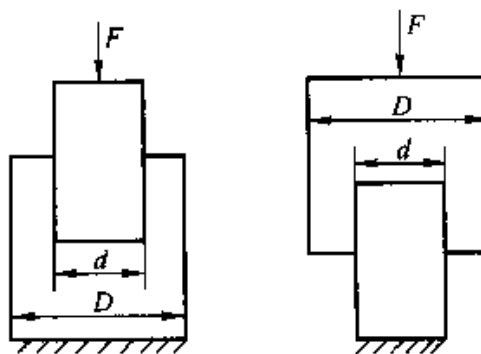
$$= -900 \times 9.8 \times (1+4)$$

$$= -44100 \text{ Pa} = -0.044 \text{ MPa}$$

$$p_{A \text{ 绝对}} = \text{atm} + p_A = 0.1 - 0.044 = 0.056 \text{ MPa}$$

3-7/1-31 液压缸直径 $D=150\text{mm}$, 柱塞直径 $d=100\text{mm}$, 液压缸中充满油液。如果柱塞上作用着 $F=50000\text{N}$ 的力, 不计油液的质量, 试求如图所示两种情况下液

压缸中压力分别等于多少?

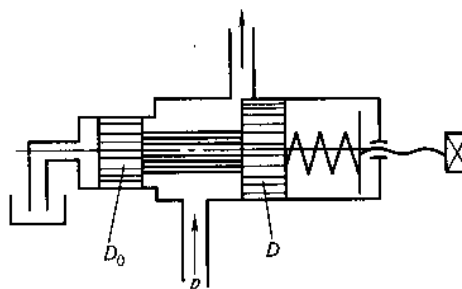


解 两种情况下, 柱塞的有效作用面积相等: $A = \frac{1}{4} \pi d^2$

$$p = F/A = \frac{4F}{\pi d^2} = \frac{4 \times 50000}{\pi \times 0.1^2}$$

$$= 6366000 \text{ Pa} = 6.37 \text{ MPa}$$

3-8/1-32 试确定安全阀(下图)上弹簧的预压缩量 x_0 , 设压力 $p=3\text{MPa}$ 时阀开启, 弹簧刚度为 8N/m , $D=22\text{mm}$, $D_0=20\text{mm}$ 。



解 用相对压力列阀芯的力平衡方程

$$kx_0 = p \frac{1}{4} \pi (D^2 - D_0^2)$$

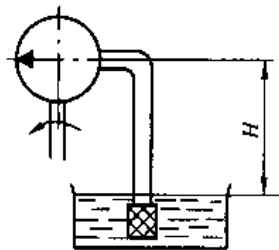
$$x_0 = p \frac{1}{4} \pi (D^2 - D_0^2) / k$$

$$= 3 \times 10^6 \times \frac{1}{4} \pi \times (22^2 - 20^2) \times 10^{-6} / 8$$

$$= 24.75 \text{ mm}$$

3-20/1-90 如图所示, 液压泵从一个大的油池中抽吸油液, 流量为 $q=150\text{L/min}$, 油液的运动粘度 $\nu=34 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, 油液

密度 $\rho=900\text{kg/m}^3$ 。吸油管直径 $d=60\text{mm}$ ，并设泵的吸油管弯头处局部阻力系数 $\zeta=0.2$ ，吸油口粗滤网的压力损失 $\Delta p=0.0178\text{MPa}$ 。如希望泵入口处的真空度 P_b 不大于 0.04MPa ，试求泵的吸油高度。



解 流速

$$v = \frac{4q}{\pi d^2} = \frac{4 \times 150 \times 10^{-3}}{\pi \times 0.06^2 \times 60} = 0.884 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = vd/\nu = 0.884 \times 0.06 / (34 \times 10^{-6})$$

$$= 1560 < \text{Re}_c = 2000$$

管内流动为层流 $\alpha=2$

$$\text{沿程压力损失系数 } \lambda = \frac{75}{\text{Re}}$$

$$= \frac{75}{1560} = 0.048$$

$$\text{沿程压力损失 } \Delta p_\lambda = \lambda \frac{H}{d} \frac{\rho v^2}{2}$$

$$= 0.048 \times \frac{H}{0.06} \frac{900 \times 0.884^2}{2}$$

$$= 281.3H \text{ (Pa)}$$

$$\text{局部压力损失 } \Delta p_\zeta = \zeta \frac{\rho v^2}{2}$$

$$= 0.2 \times \frac{900 \times 0.884^2}{2} = 70 \text{ Pa}$$

总损失水头

$$h_w = \frac{(\Delta p_\lambda + \Delta p_\zeta + \Delta p)}{\rho g}$$

$$= (281.3H + 70 + 17800) / (900 \times 9.8)$$

$$= 0.032H + 2.026 \text{ (m)}$$

以液面为基准列液面到泵入口处的伯努利方程(相对压力)

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

$$0 \quad 0 \quad 0 \quad H$$

$$H = - \left(\frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w \right)$$

$$= - \left(\frac{-0.04 \times 10^6}{900 \times 9.8} + \frac{2 \times 0.884^2}{2 \times 9.8} + 0.032H + 2.026 \right)$$

$$= 4.535 - 0.079 - 2.026 - 0.032H$$

$$= 2.43 - 0.032H \text{ (m)}$$

$$H = 2.43 / 1.032$$

$$= 2.35 \text{ m}$$

故泵的吸油高度应小于 2.35m。

1-88 液压泵从油池中抽吸润滑油如图 1-50 所示, 流量 $q = 1.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, 油的运动粘度为 $292 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$, 试求:

1) 泵在油箱液面以上的最大允许安装高度, 假设油的饱和蒸气压为 $2.3 \times 10^4 \text{ Pa}$, 吸油管直径 $d = 40 \text{ mm}$, 长 $l = 10 \text{ m}$, 仅考虑管中的沿程损失。

2) 当泵的流量增大一倍时, 最大允许高度将如何变化?

解 列出伯努利方程

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \lambda \frac{l}{d} \frac{v_2^2}{2g}$$

以油箱油平面为基准面, 且因油的饱和蒸气压为 $2.3 \times 10^4 \text{ Pa}$, 故 $p_2/(\rho g) = -7.7 \text{ m}$, $p_1 = 0$, $v_1 = 0$, $z_1 = 0$,

$$v_2 = q/A = \left[1.2 \times 10^{-3} / \left(\frac{\pi}{4} \times 0.04^2 \right) \right] \text{ m/s} = 0.955 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{v_2 d}{\nu} = \frac{0.955 \times 0.04}{292 \times 10^{-6}} = 130.8 (\text{层流}) \quad \text{所以 } \alpha_2 = 2$$

$$\lambda \frac{l}{d} \frac{v_2^2}{2g} = \frac{64}{130.8} \times \frac{10}{0.04} \times \frac{0.955^2}{2 \times 9.8} \text{ m} = 5.69 \text{ m}$$

将这些数值代入伯努利方程, 得 $z_2 = 1.917 \text{ m}$ 。

设泵的流量增大一倍, 则 $v_2 = 2 \times 0.955 \text{ m/s} = 1.91 \text{ m/s}$, $\frac{2v_2^2}{2g} = 0.372 \text{ m}$, $Re = 2 \times 130.8 =$

261.6 , $\lambda \frac{l}{d} \frac{v_2^2}{2g} = \frac{64}{261.6} \times \frac{10}{0.04} \times \frac{1.91^2}{2 \times 9.8} \text{ m} = 11.38 \text{ m}$, 于是得 $z_2 = -4.05 \text{ m}$ 。即泵要装在液面以下近 4 m 处。

注: 有人认为液压泵吸油腔的压力越低越好。因为吸油腔的压力越低, 则油箱液面和泵吸油腔间的压差就越大, 泵就吸入更多的液体, 泵的流量就越大。其实, 这是一个错误的概念。应该指出, 泵吸油腔压力的大小是一个被决定的值, 它要受到油箱液面的压力、吸油管中压力的损失、管径、流量、泵安装高度等因素的影响。流量越大, 管径越小, 泵安装高度越高, 吸油管上压力损失越大, 则泵吸油腔的绝对压力就越小。为使泵不发生气蚀现象, 正确的概念应是: 泵吸油腔的压力应该高一些为好 (真空度要小一些), 但压力低一些也无妨, 可是不得低于油液在工作温度下的空气分离压, 这样才能保证泵正常的工作, 不致发生气蚀现象。

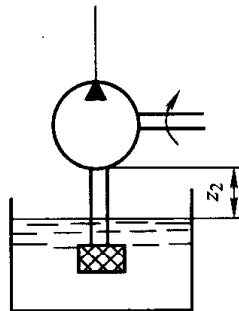
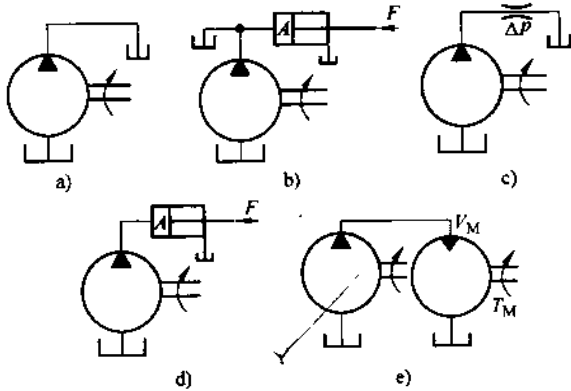


图 1-50 题 1-88 图

第 4~5 章作业习题解答

4-1/2-2 已知液压泵的额定压力和额定流量, 若不计管道内压力损失, 试说明图示各种情况下液压泵出口处的工作压力值。



解 a) $p=0$;

b) $p=0$

c) $p=\Delta p$

d) $p=F/A$

e) 由马达功率守恒方程

$$pq\eta_m = \omega T_M$$

$$pV_M n \eta_m = 2\pi n T_M$$

$$p = \frac{2\pi T_M}{V_M \eta_m}$$

4-2/2-5 液压泵的额定流量为 100L/min, 额定压力为 2.5MPa, 当转速为 1450r/min 时, 机械效率为 $\eta_m=0.9$ 。由实验测得, 当泵出口压力为零时, 流量为 106L/min, 压力为 2.5MPa 时, 流量为 100.7L/min, 试求:

1) 泵的容积效率。

2) 如泵的转速下降到 500r/min, 在额定压力下工作时, 计算泵的流量为多少?

3) 上述两种转速下泵的驱动功率。

解 1) 出口压力为零时的流量为理论流量, 即 106L/min, 所以泵的容积效

率

$$\eta_v = \frac{q}{q_t} = \frac{100.7}{106} = 0.95$$

2) 转速为 500r/min 时, 泵的理论流量为 $q_{t500} = q_t n_{500}/n$ 因压力仍是额定压力, 故此时的泵的流量为

$$q_{500} = q_{t500} \eta_v = q \frac{n_{500}}{n} = 100.7 \times \frac{500}{1450}$$

$$= 34.72 \text{ L/min}$$

3) 泵的驱动功率在第一种情况下为

$$P_{i1} = \frac{P_1}{\eta} = \frac{pq}{\eta_v \eta_m} = \frac{2.5 \times 10^6 \times 100.7 \times 10^{-3} / 60}{0.95 \times 0.9}$$

$$= 4.91 \text{ kW}$$

第二种情况下为

$$P_{i500} = P_{i1} \frac{n_{500}}{n} = 4.91 \times \frac{500}{1450}$$

$$= 1.69 \text{ kW}$$

4-3/2-7

4-8/3-20

4-9/3-22 液压马达, 要求输出转矩为 52.5N·m, 转速为 30r/min, 马达排量为 105mL/r, 马达的机械效率和容积效率均为 0.9, 出口压力 $p_2=0.2\text{MPa}$, 试求马达所需的流量和压力各为多少?

$$\text{解 } q_i = V_M n / \eta_v$$

$$= 105 \times 10^{-3} \times 30 / 0.9$$

$$= 3.5 \text{ L/min}$$

$$\Delta p = \frac{2\pi T_M}{V_M \eta_m}$$

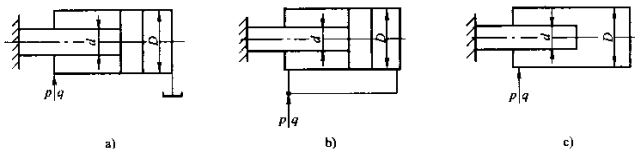
$$= \frac{2\pi \times 52.5}{105 \times 10^{-6} \times 0.9}$$

$$= 3.49 \text{ Mpa}$$

$$p_1 = \Delta p + p_2$$

$$3.49 + 0.2 = 3.69 \text{ Mpa}$$

5-1/3-1 如图所示三种结构形式的液压缸，活塞和活塞杆直径分别为 D 、 d ，如进入液压缸的流量为 q ，压力为 p ，试分析各缸产生的推力、速度大小以及运动方向。(提示：注意运动件及其运动方向)。



解 a) $F = p \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$

$v = \frac{q}{\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)}$ ，向左运动

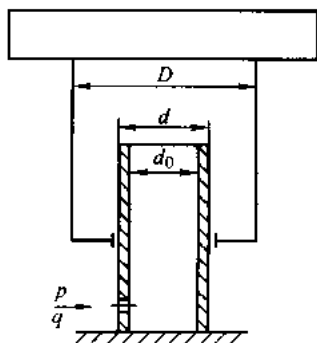
b) $F = p \frac{\pi}{4} d^2$

$v = \frac{q}{\frac{\pi}{4} d^2}$ ，向右运动

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

$v = \frac{q}{\frac{\pi}{4} d^2}$ ，向右运动

5-2/3-2 如图所示一与工作台相连的柱塞液压缸，工作台质量 980kg，缸筒柱塞间摩擦阻力 $F_f=1960\text{N}$ ， $D=100\text{mm}$ ， $d=70\text{mm}$ ， $d_0=70\text{mm}$ ，试求：工作台在 0.2s 时间内从静止加速到最大稳定速度， $v=7\text{m/min}$ 时，液压泵的供油压力和流量各为多少？



解 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{7/60}{0.2} = \frac{7}{12} \text{m/s}^2$

$F_a = ma = 980 \times 7/12 = 571.67\text{N}$

工作台的力平衡方程

$pA = W + F_f + F_a$

$p = \frac{W + F_f + F_a}{\pi d_0^2 / 4}$
 $= \frac{9604 + 1960 + 571.67}{\pi \times 0.07^2 / 4}$

$= 3.1534\text{Mpa}$

$q = \frac{1}{4} \pi d^2 v$

$= \frac{1}{4} \pi \times 0.07^2 \times 7$

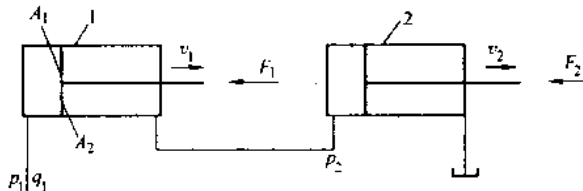
$= 0.0269\text{m}^3/\text{min} = 26.9\text{L}/\text{min}$

5-4/3-4 如图所示两个结构和尺寸均相同相互串联的液压缸，无杆腔面积 $A_1=1 \times 10^{-2}\text{m}^2$ ，有杆腔面积 $A_2=0.8 \times 10^{-2}\text{m}^2$ ，输入油压力 $p=0.9\text{Mpa}$ ，输入流量 $q_1=12\text{L}/\text{min}$ 。不计损失和泄漏，试求：

1) 两缸承受相同负载时 ($F_1=F_2$)，负载和速度各为多少？

2) 缸 1 不受负载时 ($F_1=0$)，缸 2 能承受多少负载？

3) 缸 2 不受负载时 ($F_2=0$)，缸 1 能承受多少负载？



解 (1) 当 $F_1=F_2$ 时，

由 $A_1 p_2 = A_1 p_1 - A_2 p_2$ 得

$p_2 = \frac{A_1}{A_1 + A_2} p_1 = \frac{1}{1 + 0.8} \times 0.9$

$$=0.5 \text{ Mpa}$$

$$F = F_1 = F_2 = A_1 p_2$$

$$=1 \times 10^{-2} \times 0.5 \times 10^6$$

$$=5000 \text{ N}$$

$$v_1 = \frac{q_1}{A_1} = \frac{12 \times 10^{-3} / 60}{1 \times 10^{-2}} = 0.02 \text{ m/s}$$

$$v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} = 0.02 \times \frac{0.8}{1} = 0.016 \text{ m/s}$$

(2) 当 $F_1=0$ 时,

$$p_2 = p_1 \frac{A_1}{A_2} = 0.9 \times 10^6 \times \frac{1}{0.8}$$

$$=1.125 \text{ Mpa}$$

$$F_2 = p_2 A_1 = 1.125 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-2}$$

$$=11250 \text{ N}$$

速度同上。

(3) 当 $F_2=0$ 时,

$$F_1 = p_1 A_1 = 0.9 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-2}$$

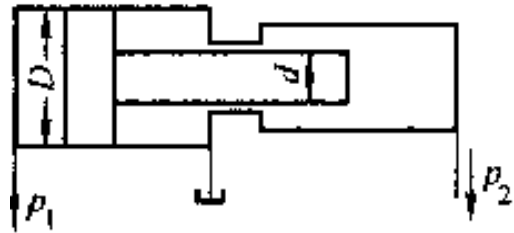
$$=9000 \text{ N}$$

速度同上。

注：本题说明，两液压缸串联使用时，不管

各缸的负载如何变化，它们的速度均保持不变。再次说明“执行元件的速度取决于输入流量的大小”这一基本概念。

5-5/3-5 液压缸如图所示，输入压力为 p_1 ，活塞直径为 D ，柱塞直径为 d ，试求输出压力 p_2 为多大？



解 由作用在活塞上的力的平衡方程

$$p_1 \frac{1}{4} \pi D^2 = p_2 \frac{1}{4} \pi d^2 \text{ 得}$$

$$\text{输出压力 } p_2 = p_1 \left(\frac{D}{d} \right)^2$$

注：这是一个增压缸