

练习二

第二章 流体输送机械

一、填空题

1. 属于正位移泵型式的，除往复泵外，还有齿轮泵，螺杆泵等。
2. 产生离心泵气缚现象的原因是由于漏入空气，使泵液体平均密度下降，从而无法吸上液体，避免产生气缚的方法有灌泵排气，保证管路及轴封良好。
3. 造成离心泵汽蚀的原因是泵的安装位置超过最大安装高度，液体在叶片表面附近汽化和凝聚，并对叶片产生撞击，增加离心泵最大允许安装高度[Hg]的措施有增大入口端压强 和 减少入口管路阀门。

4. 往复泵的流量调节方法有 旁路调节
和 改变曲柄转速和活塞行程。

5. 启动离心泵前，应先 灌泵排气 和 关闭出口阀。启动往复泵前，必须检查 出口阀 是否打开。

6. 用同一离心泵分别输送密度为 ρ_1 及 $\rho_2 = 1.2\rho_1$ 两种液体，已知两者流量相等，则 $H_{e2} = \underline{1} H_{e1}$, $P_{e2} = \underline{1.2} P_{e1}$ 。

析：

$$H_T = \frac{u^2}{g} - \frac{u^2}{gA_2} q_v \operatorname{ctg} \beta_2$$

H_T 与 ρ 无关，同样 H_e 与 ρ 无关

$$P_e = \rho g q_v \cdot H_e$$

7. 如图所示，两图管道相同， λ 均为常数，要使 $-q_{v2}=q_{v1}$ ，问泵的扬程需多大？

析：

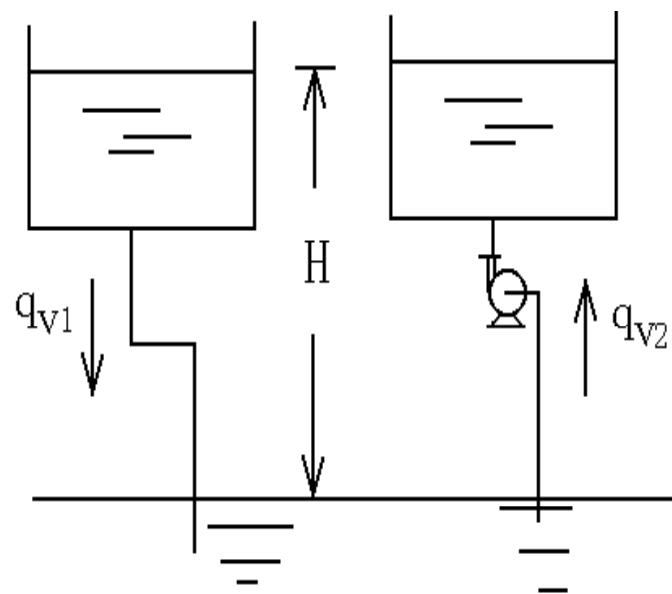
自流管路：

$$\frac{p_a}{\rho g} + H = \frac{p_a}{\rho g} + Kq_{v1}^2$$

泵流管路：

$$\frac{p_a}{\rho g} + He = \frac{p_a}{\rho g} + Kq_{v2}^2 + H$$

$$\therefore H_e = 2H$$



8. 离心通风机输送 $\rho' = 1.4 \text{kg/m}^3$ $\rho = 1.2 \text{kg/m}^3$ 空气时，流量为 $6000 \text{m}^3/h$ 全风压为 2.354kPa ，若用来输送气体，流量仍为 6000 ，全风压为 2.746 kPa。

析：

单位重量流体产生的扬程与密度无关

$$H'_{e,T} = H_{e,T}$$

但习惯上，风机压头以单位体积气体获得的能量，即全风压

$$P_T = H_{e,T} \rho g$$

$$\therefore P'_T = \left(\frac{\rho'}{\rho}\right) P_T = \frac{1.4}{1.2} \times 2.354 = 2.746 \text{kPa}$$

9. 如图示, 泵打水时, 压力表读数为P, 流量为 q_v , 若保持 q_v 不变, 流体的密度增大, μ 不变, 则以下参数如何变化? p ↑, H_e 不变, P_a ↑。总功率

析:

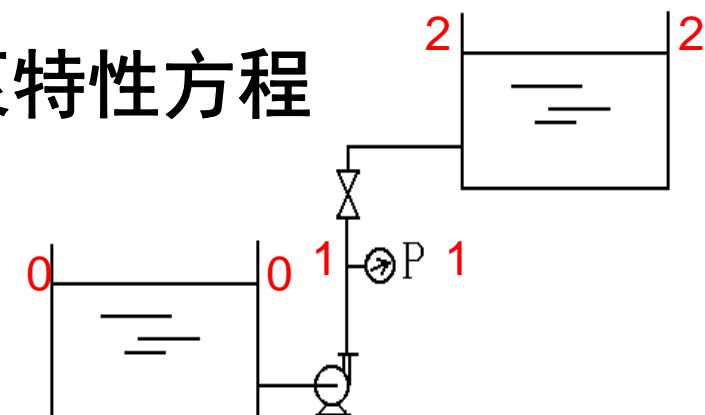
由0-2截面得管路方程:

$$H = \frac{\Delta p}{\rho g} + \Delta z + K q_v^2 = \Delta z + K \cdot q_v^2$$

增大, 管路方程不发生变化, 且泵特性方程也不发生改变, 故 q_v 不变

对1—2截面, 列能量衡算方程:

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = \frac{p_a}{\rho g} + \Delta z_{2-1} + \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{u_1^2}{2}$$



变形得：

$$p - p_a = \rho g (\Delta z_{2-1} + K_{2-1} q_v^2)$$

$$\therefore \rho \uparrow \Rightarrow p \uparrow$$

$$P_e = \rho g H_e q_v \uparrow$$

$$P_a = \frac{P_e}{\eta} \uparrow$$

(因 q_v 不变，则 η 不变)

10. 两敞口容器间用离心泵输水，已知转速为 n_1 时，泵流量 $q_{V1}=100\text{ l/s}$ ，扬程 $H_{e1}=16\text{ m}$ ，转速为 n_2 时， $q_{V2}=120\text{ l/s}$ ，扬程 $H_{e2}=20\text{ m}$ ，则两容器的垂直距离= 6.91 m。

析：

管路方程：
$$H = \frac{\Delta p}{\rho g} + \Delta z + Kq_v^2 = \Delta z + Kq_v^2$$

泵实际工作时，提供的能量与流体在管路中流动时所需补充的能量相等，即：

$$16 = \Delta z + K \cdot 100^2$$

$$20 = \Delta z + K \cdot 120^2$$

$$\therefore \Delta z = 6.91m$$

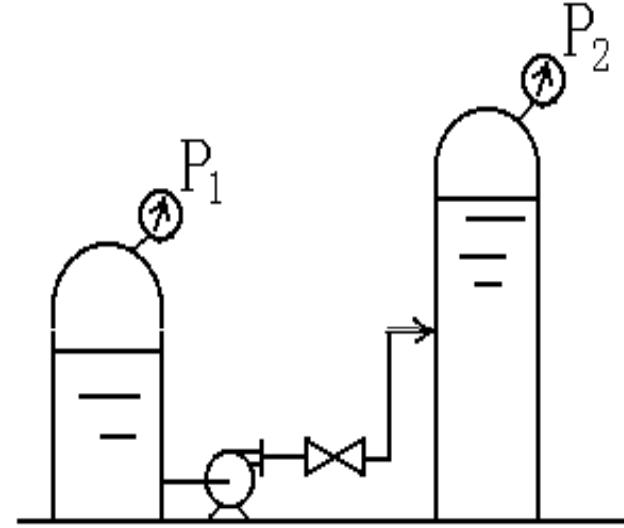
11. 如图所示，泵在输送密度为 ρ 的液体时，流量为 q_v ，现保持 p_1 , p_2 不变，改为输送密度为 ρ' 的液体 ($\rho' > \rho$) 时，流量为 q'_v 。试问：

- 1) 若 $q'_v < q_v$ 时, $p_2 < p_1$
- 2) 若 $q'_v = q_v$ 时, $p_2 = p_1$ (<, =, >)

析：

管路方程: $H = \frac{\Delta p}{\rho g} + \Delta z + Kq_v^2$

阻力平方区，变化不影响 K 。另外，变化不改变泵特性方程。



- 1) 若 $q'_v < q_v$, 管路特性方程必上移，即 $\frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} \uparrow$, 从而 $\Delta p < 0$ 即 $p_2 < p_1$
- 2) ρ 改变, q_v 不变，即工作点不变，也就是 $\frac{\Delta p}{\rho g}$ 不变，故 $\Delta p = 0$
 $\therefore p_1 = p_2$

12、某台操作中的离心泵，当转速为n时，离心泵的工作点为A，A点的 $H_e = 30m$, $q_v = 2m^3/min$ 。今将转速减慢 $n' = 0.9n$ 时，泵的工作点为B，若A与B等效，则B点压头 $H_e' = \underline{24.3} m$ 。管路特性方程 $H = \frac{\Delta \mathcal{P}}{\rho g} + K q_v^2$ 中， $\frac{\Delta \mathcal{P}}{\rho g} = \underline{0} m$, $K = \underline{7.5} min^2/m^5$

析：

A、B工作点等效，满足速度三角形相似原则

$$\frac{q'_v}{q_v} = \frac{n'}{n} = 0.9 \Rightarrow q'_v = 0.9 \times 2 = 1.8m^3/min$$

$$\frac{H'_e}{H_e} = \left(\frac{n'}{n}\right)^2 = 0.9^2 \Rightarrow H'_e = 24.3m$$

$$30 = \frac{\Delta \mathcal{P}}{\rho g} + K \cdot 2^2 \quad 24.3 = \frac{\Delta \mathcal{P}}{\rho g} + K \cdot 1.8^2$$

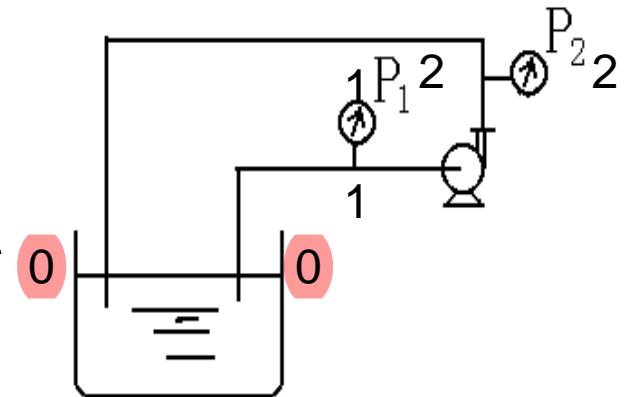
$$\Rightarrow \frac{\Delta \mathcal{P}}{\rho g} = 0 \quad K = 7.5 min^2/m^5$$

二、选择题

1. 如图离心泵输水管路，若水槽液面上升0.5m，则 C

- A) q_v 增加, H 减小
- B) q_v 减小, H 增加
- C) q_v 、 H 都不变, p_1 和 p_2 绝对压增加
- D) q_v 、 H 都不变, p_1 和 p_2 绝对压减小

析：



管路特性方程：（循环管路）

$$H = \frac{\Delta \mathcal{P}}{\rho g} + K q_v^2 = K q_v^2$$

水槽液面上升, 管路特性、泵的特性均未改变, 故 q_v, H 不变
但对0—1截面, 列能量衡算方程

$$\frac{p_a}{\rho g} = \frac{p_1}{\rho g} + z_1 + \frac{u_1^2}{2g} + \lambda \frac{l_{0-1}}{d} \cdot \frac{u_1^2}{2g}$$

故液面上升时， $Z_1 \downarrow$, u_1 不变 $\Rightarrow p_1 \uparrow$

对2-0截面列方程，同理可得 $p_2 \uparrow$

$$\frac{p_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{u_2^2}{\rho g} = \frac{p_a}{\rho g} + \lambda \frac{l_{2-0}}{d} \cdot \frac{u_2^2}{2g}$$

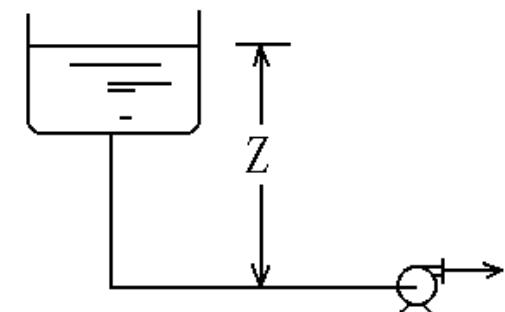
(因 $Z_2 \downarrow$ 且 u_2 不变 $\Rightarrow p_2 \uparrow$)

2、常压下，100°C水槽面距泵入口垂直距离Z至为 B。

已知泵 $(NPSH)_r$ = 4.5m, 吸入管线阻力为2mH₂O。

- A、10m
- B、7m
- C、4m
- D、只须Z>0即可

$$\begin{aligned}[Hg] &= \frac{p_0}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} - \sum H_{f(0-1)} - [(NPSH)_r + 0.5] \\ &= \frac{p_a}{\rho g} - \frac{p_a}{\rho g} - 2 - [4.5 + 0.5] = -7m\end{aligned}$$



3、有一水平放置的圆形敞口盛水容器，绕中心轴作等角速度旋转，已知 Z_1 , Z_2 , R , 则转速n（转/分）为： **D**

- A) $2\pi R(Z_1 - Z_2)g$
- B) $\frac{60}{\pi R} [2g(z_1 - z_2)]^{0.5}$
- C) $\frac{1}{2\pi R} [2g(z_1 - z_2)]^{0.5}$
- D) $\frac{30}{\pi R} [2g(z_1 - z_2)]^{0.5}$

由流体平衡一般表达式积分可得：

$$p + \rho g z - \frac{\rho \omega^2 r^2}{2} = \text{常数}$$

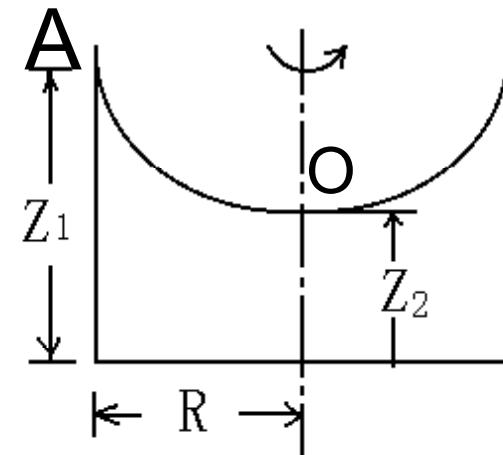
将0点和A点参数代入得：

$$p_a + \rho g Z_2 = P_a + \rho g Z_1 - \frac{\rho \omega^2 R^2}{2}$$

整理得： $\omega = \frac{1}{R} [2g(Z_1 - Z_2)]^{0.5}$

由 $\omega = 2\pi \cdot \frac{n}{60}$ 得：

$$n = \frac{30}{\pi} \omega = \frac{30}{\pi R} [2g(Z_1 - Z_2)]^{0.5}$$



4、已知泵的特性方程 $H_e = 20 - 2q_v^2$, 管路特性方程 $H = 10 + 8q_v^2$
式中流量单位为 m^3/min 。现要求两台相同型号的泵组合操作后使流量为 $1.6 \text{ m}^3/\text{min}$, 下列结论中 D 正确。

- A) 串联
- B) 并联
- C) 串、并联均可
- D) 无法满足要求

管路特性方程:

$$H = 10 + 8q_v^2 = 10 + 8 \times 1.6^2 = 30.48\text{m}$$

串联时, 泵特性方程:

$$H_{e,\text{串}} = 2(20 - 2q_v^2) = 2(20 - 2 \times 1.6^2) = 29.76\text{m}$$

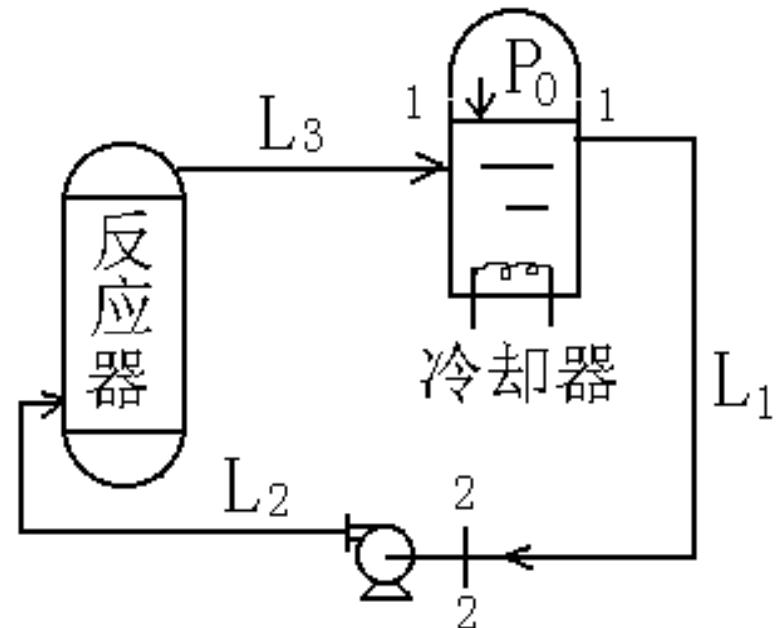
并联时, 泵特性方程:

$$H_{e,\text{并}} = 20 - 2 \cdot \left(\frac{q_v}{2}\right)^2 = 20 - 2\left(\frac{1.6}{2}\right)^2 = 18.72\text{m}$$

计算题

三、在图示循环管路中，已知管长 $L_1=L_2=20\text{m}$, $L_3=30\text{m}$, 冷却器及其它管件 $L_e=0$, 管径 $d=30\text{mm}$, $\lambda=0.03$, 循环量 $q_v=1.413\text{L/s}$, $\rho=900\text{kg/m}^3$, 冷却器液面至泵吸入口垂直距离为2米, 试求:

- 1) 泵的扬程 H_e ;
- 2) 为保证泵的吸入口不出现负压, 冷却器液面上方压强 P_0 至少为多少? (表压)



$$(1) \text{ 循环管路特性方程 } H = \frac{\Delta \mathcal{P}}{\rho g} + Kq_v^2 = Kq_v^2$$

$$K = \frac{8\lambda}{\pi^2 d^5 g} (L_1 + L_2 + L_3)$$

$$= \frac{8 \times 0.03}{\pi^2 \times (0.03)^2 \times 9.81} \times (20 + 20 + 30) = 7.14 \times 10^6 \text{ s}^2 / \text{m}^5$$

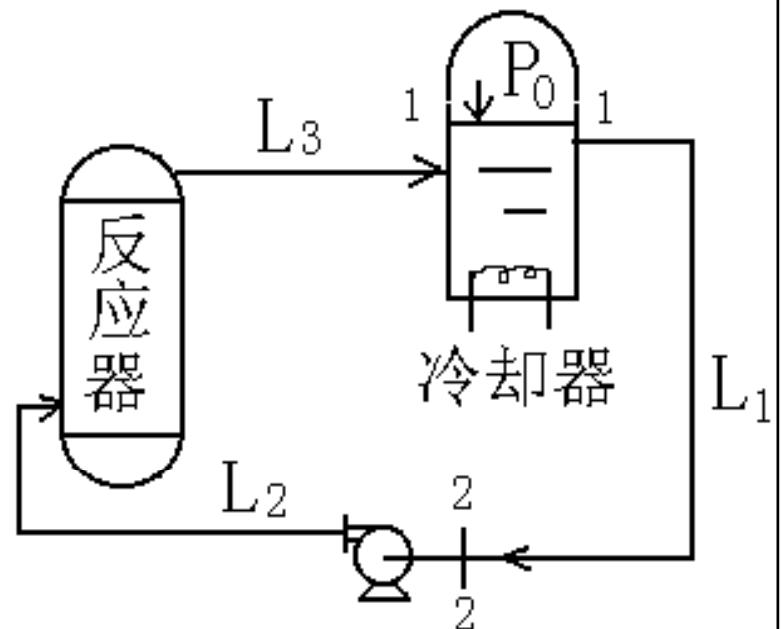
$$q_v = 1.413 L/\text{s} = 1.413 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\therefore H = Kq_v^2 = 7.14 \times 10^6 \times (1.413 \times 10^{-3})^2 = 14.26 \text{ m}$$

$$\therefore H_e = H = 14.26 \text{ m}$$

(2) 取1-2截面列方程：

$$\frac{p_0}{\rho g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + (\lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{u_2^2}{2g})_{1-2}$$



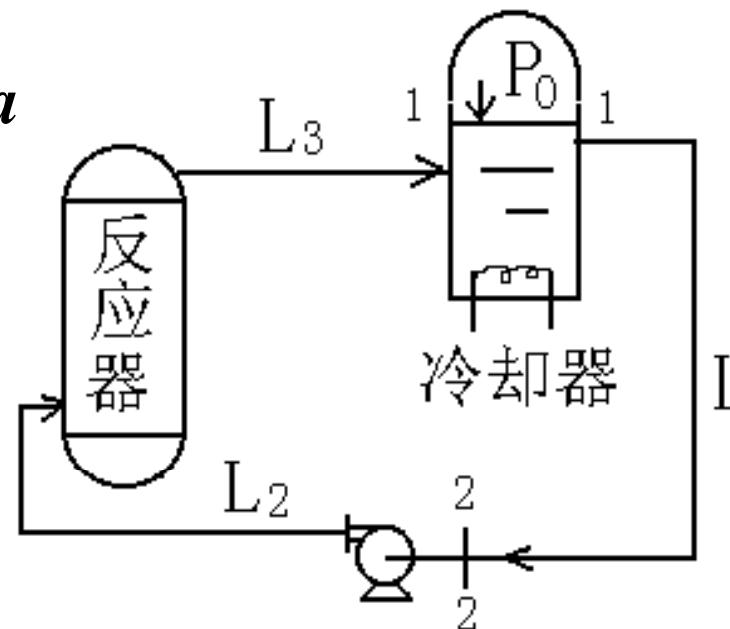
当 $p_0 \downarrow$ 时， p_2 跟着 \downarrow ，要使 p_2 不出现负压，即 $p_2 \geq p_a$ ，取
 $p_2 = p_a$

将 $q_v = \frac{\pi}{4}d^2 u_2$ 代入，并整理得：

$$\begin{aligned}\frac{p_0 - p_a}{\rho g} &= \left(1 + \lambda \frac{L_1}{d}\right) \cdot \frac{8}{\pi^2 d^4 g} \cdot q_v^2 - z_1 \\ &= \left(1 + 0.03 \frac{20}{0.03}\right) \cdot \frac{8}{\pi^2 \times (0.03)^4 \times 9.81} \times (1.413 \times 10^{-3})^2 - 2 \\ &= 2.277 \text{m}\end{aligned}$$

$$\therefore p_0 - p_a = 900 \times 2.277 \times 9.81 = 2.01 \times 10^4 \text{ Pa}$$

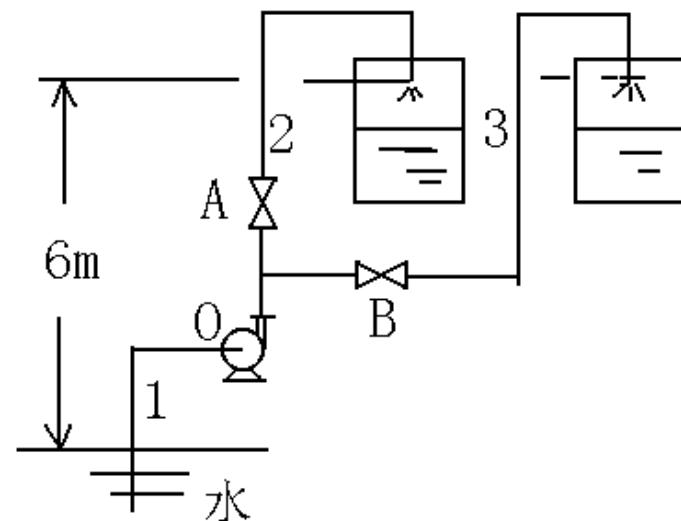
$$p_0(\text{表}) = 2.01 \times 10^4 \text{ Pa}$$



四、如图，两塔均敞口，已知d均为40mm， $\lambda = 0.02$ ，吸入管 $L_1 = 10\text{m}$ ，压出管 $L_2 = 70\text{ m}$ （均包括局部阻力），泵 $H_e = 22 - 7.2 \times 10^5 q_v^2$ 。式中 $H_e : \text{m}$, $q_v : \text{m}^3/\text{s}$.

试求：

- 1) B阀全关时泵的流量；
- *2) B阀全开 $L_3 = 70\text{m}$ 时，泵的流量(忽略泵出口至0点的管长)。



(1) 取1-2截面，列方程

$$\frac{p_1}{\rho g} + H = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \lambda \frac{l_1}{d} \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \lambda \frac{l_2}{d} \cdot \frac{u_2^2}{2g}$$

因管径相同，故 $u_1 = u_2$ ，且 $q_v = \frac{\pi}{4} d^2 u_1$

$p_1 = p_2 = p_a$ 整理上式可得：

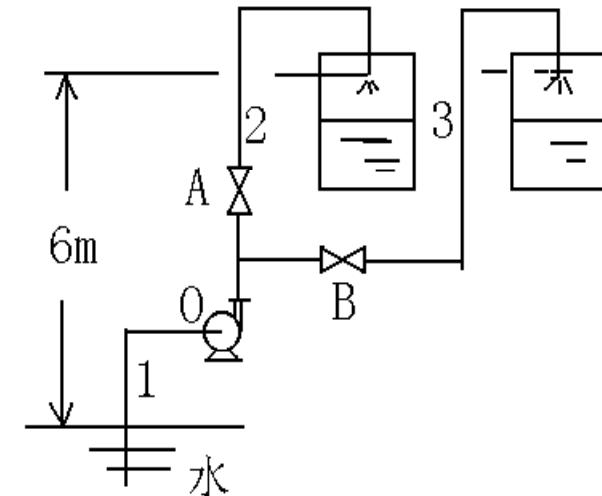
$$H = z_2 + \lambda \frac{l_1 + l_2}{d} \cdot \frac{8}{\pi^2 d^4 g} \cdot q_v^2$$

$$= 6 + 0.02 \times \frac{10 + 70}{0.04} \times \frac{8}{\pi^2 \times (0.04)^4 \times 9.81} q_v^2 = 6 + 1.29 \times 10^6 q_v^2$$

$$\therefore H_e = H$$

$$\therefore 22 - 7.2 \times 10^5 q_v^2 = 6 + 1.29 \times 10^6 q_v^2$$

$$\therefore q_v = 2.82 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$$

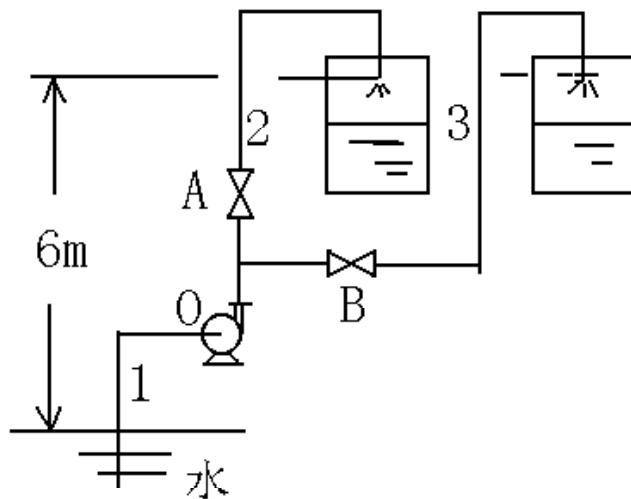


(2) 操作型问题

取1-2和1-3截面列方程，有：

$$\frac{p_a}{\rho g} + H = \frac{p_a}{\rho g} + z_2 + \lambda \frac{l_1}{d} \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \lambda \frac{l_2}{d} \cdot \frac{u_2^2}{2g}$$

$$\frac{p_a}{\rho g} + H = \frac{p_a}{\rho g} + z_3 + \lambda \frac{l_1}{d} \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \lambda \frac{l_3}{d} \cdot \frac{u_3^2}{2g}$$



因 $Z_2 = Z_3$ 且 $l_1 = l_2$ 由以上两式可知 $u_2 = u_3$

由连续性方程得： $q_v = \frac{\pi}{4} d^2 u_1 = \frac{\pi}{4} d^2 u_2 + \frac{\pi}{4} d^2 u_3$

$$\therefore u_1 = u_2 + u_3 = 2u_2$$

取1-2截面，列方程，并整理得

$$H = Z_2 + \lambda \frac{l_1}{d} \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \lambda \frac{l_2}{d} \cdot \frac{u_2^2}{2g} = Z_2 + \lambda \frac{l_1}{d} \cdot \frac{u_1^2}{2g} + \frac{1}{4} \cdot \lambda \frac{l_2}{d} \cdot \frac{u_1^2}{2g}$$

$$= Z_2 + (\lambda \frac{l_1}{d} + \frac{1}{4} \cdot \lambda \frac{l_2}{d}) \cdot \frac{8}{\pi^2 d^4 g} q_v^2$$

$$= 6 + (0.02 \frac{10}{0.04} + \frac{1}{4} \times 0.02 \times \frac{70}{0.04}) \times \frac{8}{\pi^2 \times (0.04)^4 \times 9.81} \times q_v^2$$

$$= 6 + 4.438 \times 10^5 q_v^2$$

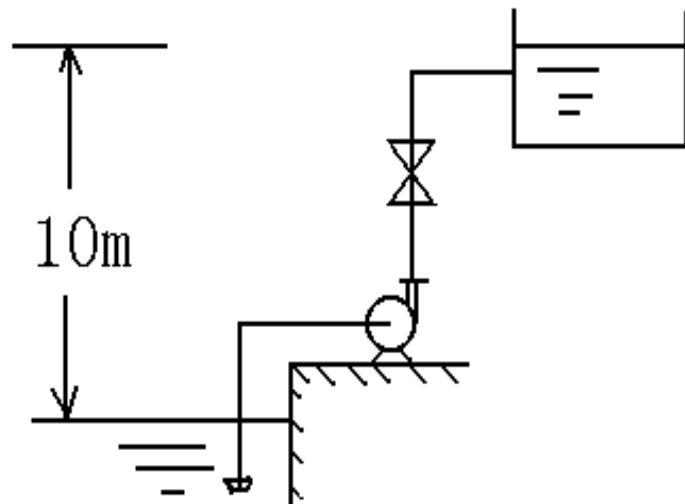
$$\therefore H_e = H$$

$$\therefore 22 - 7.2 \times 10^5 q_v^2 = 6 + 4.438 \times 10^5 q_v^2$$

$$\therefore q_v = 3.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$$

五、欲用离心泵将池中水送至10米高处水塔。输水量 $q_v = 0.21m^3/min$ ，管路总长L=50米（包括局部阻力的当量长度），管径均为40mm， $\lambda = 0.02$ 。试问：

- 1、若所选用的离心泵特性方程 $H_e = 40 - 222q_v^2$ ，为什么该泵是适用的？ ($H_e : m, q_v : m^3/min$)
- 2、管路情况不变时，此泵正常运转后，实际管路流量为多少(m^3/min)？
- 3、为使流量满足设计要求，需用出口阀进行调节，则消耗在该阀门上的阻力损失增加了多少J/kg？



(1) 管路方程

$$H = \frac{\Delta p}{\rho g} + \Delta z + \frac{8\lambda l}{\pi^2 d^5 g} q_v^2$$
$$= 0 + 10 + \frac{8 \times 0.02 \times 50}{\pi^2 \times (0.04)^5 \times 9.81} \times q_v^2 = 10 + 8.069 \times 10^5 q_v^2$$

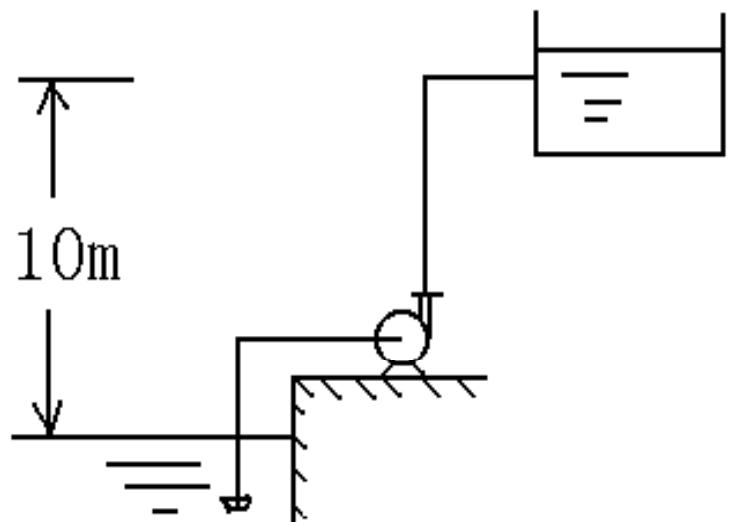
当 $q_v = 0.21 \text{m}^3 / \text{min} = 0.0035 \text{m}^3 / \text{s}$ 时

$$H = 10 + 8.069 \times 10^5 \times (0.0035)^2 = 19.88 \text{m}$$

泵能提供的扬程为：

$$H_e = 40 - 222q_v^2 = 40 - 222 \times (0.21)^2 = 30.21 \text{m}$$

因 $H_e > H$, 故该泵是适合的。



(2) 管路特性方程：

$$H = 10 + 8.069 \times 10^5 q_v^2 \quad q_v : m^3 / s$$

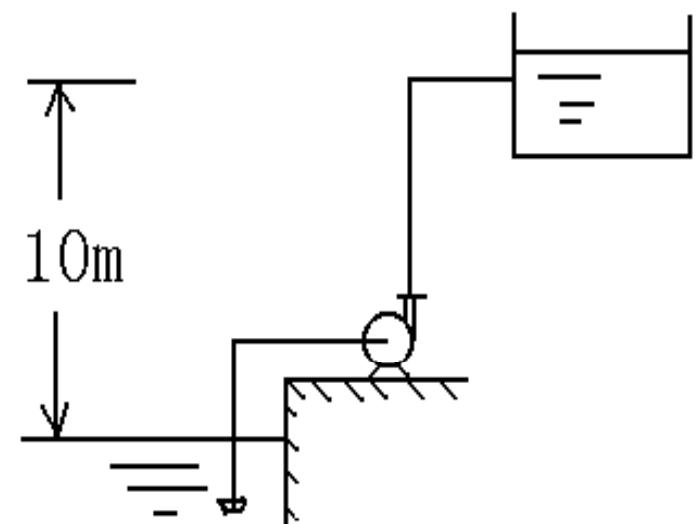
泵特性方程：

$$\begin{aligned} H_e &= 40 - 222q_v^2 \quad q_v : m^3 / min \\ &= 40 - 7.992 \times 10^5 q_v^2 \quad q_v : m^3 / s \end{aligned}$$

正常运转时，有 $H = H_e$ ，即：

$$10 + 8.069 \times 10^5 q_v^2 = 40 - 7.992 \times 10^5 q_v^2$$

$$\therefore q_v = 4.32 \times 10^{-3} m^3 / s = 0.259 m$$



(3) 单位重量流体，在出口阀上的阻力损失为

$$H_{f,\text{阀}} = H_e - H = 30.21 - 19.88 = 10.33 \text{ J/N}$$

$$h_{f,\text{阀}} = gH_{f,\text{阀}} = 10.33 \times 9.81 = 101.33 \text{ J/kg}$$

