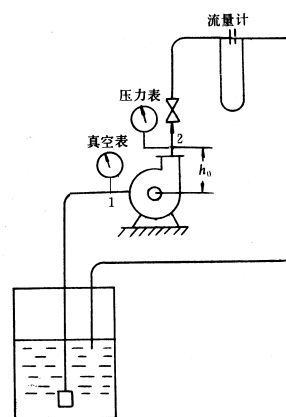


【例 2-1】 离心泵特性曲线测定实验装置如附图所示，现用 20℃水在转速为 2900r/min 下进行实验。已知吸入管路内径为 80mm，压出管路内径为 60mm，两测压点的垂直距离为 0.12m，孔板流量计的孔径为 34mm，流量系数为 0.64。实验中测得一组数据：U 形压差计的读数为 530mmHg，泵进口处真空表读数为 53kPa，出口处压力表读数为 124 kPa，电动机输入功率为 2.38kW。电动机效率为 0.95，泵轴由电机直接带动，其传动效率可视为 1。试计算泵的性能参数。

解：（1）流量

由孔板流量计流量公式

$$\begin{aligned} q_V &= C_0 A_0 \sqrt{\frac{2Rg(\rho_0 - \rho)}{\rho}} \\ &= 0.64 \times 0.785 \times 0.034^2 \times \sqrt{\frac{2 \times 0.53 \times 9.81 \times (13600 - 1000)}{1000}} \quad (\\ &= 6.65 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s} = 23.9 \text{ m}^3 / \text{h} \end{aligned}$$



例 2-1 附图

2) 压头

在截面 1 与截面 2 之间列伯努利方程，因两截面之间管路较短，忽略之间的压头损失，则

$$H = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} \quad (a)$$

其中 $z_2 - z_1 = 0.12\text{m}$

$$u_1 = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d_1^2} = \frac{6.65 \times 10^{-3}}{0.785 \times 0.08^2} = 1.32 \text{ m/s}$$

$$u_2 = u_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = 1.32 \times \left(\frac{80}{60} \right)^2 = 2.35 \text{ m/s}$$

将已知数据代入 (a) 式中，则泵的压头

$$H = 0.12 + \frac{(124 + 53) \times 10^3}{1000 \times 9.81} + \frac{2.35^2 - 1.32^2}{2 \times 9.81} = 18.36 \text{ m}$$

（3）轴功率

由于泵由电动机直接带动，泵轴与电机的传动效率为 1，所以电机的输出功率即为泵的轴功率，即

$$N = 0.95 \times 2.38 = 2.26 \text{ kW}$$

(4) 效率

由式 (1-78)，泵有效功率

$$N_e = \frac{QH\rho}{102} = \frac{6.65 \times 10^{-3} \times 18.36 \times 1000}{102} = 1.2 \text{ kW}$$

则泵的效率 $\eta = \frac{N_e}{N} \times 100\% = \frac{1.2}{2.26} \times 100\% = 53.1\%$

【例 2-2】 用离心泵将河水输送至常压高位槽。已知吸入管直径为 $\phi 70 \times 3 \text{ mm}$ ，管长为 15 米；压出管直径为 $\phi 60 \times 3 \text{ mm}$ ，管长 80 米。（管长均包括局部阻力的当量长度），所有管路的

摩擦系数 $\lambda = 0.023$ 。泵的特性曲线可表示为 $H_e = 30 - 6 \times 10^5 q_V^2$ ，其中 H_e 为单位为 m，流

量的单位为 m^3/s 。求如下两种情况下的管路流量：（1）江面至高位槽液面垂直距离为 12 时；

（2）江面下降 3m 时；

解：（1）整个管路的压头损失

$$H_f = \frac{8\lambda}{\pi^2 g} \left(\frac{(l + \Sigma l_e)_1}{d_1^5} + \frac{(l + \Sigma l_e)_2}{d_2^5} \right) q_V^2 = \frac{8 \times 0.023}{3.14^2 \times 9.81} \left(\frac{15}{0.064^5} + \frac{80}{0.054^5} \right) q_V^2 = 4.66 \times 10^5 q_V^2$$

管路特性方程： $H = 12 + 4.66 \times 10^5 q_V^2$ ；

与泵特性方程联立求解， $q_V = 4.11 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 14.8 \text{ m}^3/\text{h}$

（2）江面下降 3 米时，管路特性方程为： $H = 15 + 4.66 \times 10^5 q_V^2$

与泵特性方程联立求解， $q_V = 3.75 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 13.5 \text{ m}^3/\text{h}$

【例 2-3】 将浓度为 95% 的硝酸自常压罐输送至常压设备中去，要求输送量为 $36 \text{ m}^3/\text{h}$ ，液体的扬升高度为 7m。输送管路由内径为 80mm 的钢化玻璃管构成，总长为 160（包括所有局部阻力的当量长度）。现采用某种型号的耐酸泵，其性能列于本题附表中。问：

（1） 该泵是否合用？

（2） 实际的输送量、压头、效率及功率消耗各为多少？

Q(L/s)	0	3	6	9	12	15
H(m)	19.5	19	17.9	16.5	14.4	12
(%)	0	17	30	42	46	44

已知：酸液在输送温度下粘度为 $1.15 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ；密度为 $1545 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。摩擦系数可取为 0.015。

解：（1）对于本题，管路所需要压头通过在储槽液面（1-1'）和常压设备液面（2-2'）之间列柏努利方程求得：

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

式中 $z_1 = 0, z_2 = 7m, p_1 = p_2 = 0$ (表压), $u_1 = u_2 \approx 0$

$$\text{管内流速: } u = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{36}{3600 * 0.785 * 0.080^2} = 1.99m/s$$

$$\text{管路压头损失: } \Sigma H_f = \lambda \frac{l + \Sigma l_e}{d} \frac{u^2}{2g} = 0.015 \frac{160}{0.08} \frac{1.99^2}{2 * 9.81} = 6.06m$$

$$\text{管路所需要的压头: } H_e = (z_2 - z_1) + \Sigma H_f = 7 + 6.06 = 13.06m$$

$$\text{以 (L/s) 计的管路所需流量: } Q = \frac{36 * 1000}{3600} = 10L/s$$

由附表可以看出，该泵在流量为 12 L/s 时所提供的压头即达到了 14.4m，当流量为管路所需要的 10 L/s，它所提供的压头将会更高于管路所需要的 13.06m。因此我们说该泵对于该输送任务是可用的。

另一个值得关注的问题是该泵是否在高效区工作。由附表可以看出，该泵的最高效率为 46%；流量为 10 L/s 时该泵的效率大约为 43%。因此我们说该泵是在高效区工作的。

（2）实际的输送量、功率消耗和效率取决于泵的工作点，而工作点由管路物特性和泵的特性共同决定。

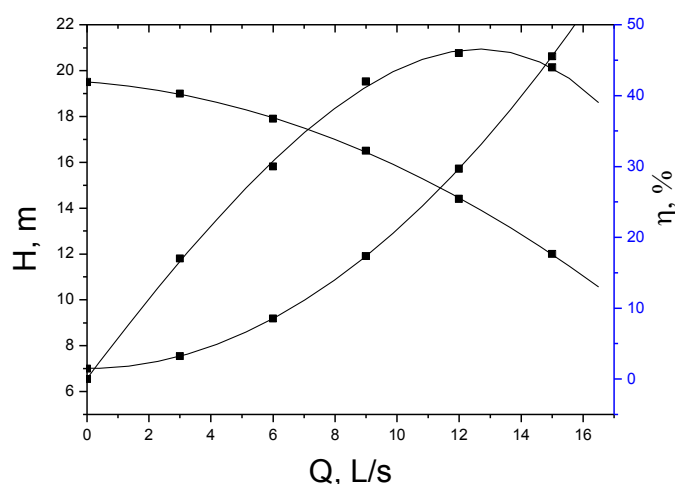
$$\text{由柏努利方程可得管路的特性方程为: } H_e = 7 + 0.006058Q^2 \quad (\text{其中流量单位为 L/s})$$

据此可以计算出各流量下管路所需要的压头，如下表所示：

Q (L/s)	0	3	6	9	12	15
H (m)	7	7.545	9.181	11.91	15.72	20.63

据此，可以作出管路的特性曲线和泵的特性曲线，如图所示。两曲线的交点为工作点，其对应的压头为 14.8m；流量为 11.4L/s；效率 0.45；轴功率可计算如下：

$$N = \frac{HQ\rho}{102\eta} = \frac{14.8 * 11.4 * 10^{-3} * 15.45}{102 * 0.45} = 5.68kW$$



点评 (1) 判断一台泵是否合用，关键是要计算出与要求的输送量对应的管路所需压头，然后将此压头与泵能提供的压头进行比较，即可得出结论。另一个判断依据是泵是否在高效区工作，即实际效率不低于最高效率的 92%

(2) 泵的实际工作状况由管路的特性和泵的特性共同决定，此即工作点的概念。它所对应的流量（如本题的 11.4L/s）不一定是原本所需要的（如本题的 10L/s）。此时，还需要调整管路的特性以适用其原始需求。

【例 2-4】 用某种型号的离心泵从敞口容器中输送液体，离心泵的吸入管长度为 12m，直径为 62mm。假定吸管内流体流动已进入阻力平方区，直管摩擦阻力系数为 0.028，总局部阻力系数 $\Sigma\zeta = 2.1$ ，当地的大气压为 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ 。试求此泵在以下各种情况下允许安装高度为多少？

- (1) 输送流量为 $25 \text{m}^3/\text{h}$ 、温度为 20°C 的水；
- (2) 输送流量为 $25 \text{m}^3/\text{h}$ 、温度为 60°C 的水；
- (3) 输送流量为 $25 \text{m}^3/\text{h}$ 、温度为 20°C 的油；（饱和蒸汽压 $2.67 \times 10^4 \text{Pa}$ ，密度 $740 \text{kg}/\text{m}^3$ ）
- (4) 输送流量为 $30 \text{m}^3/\text{h}$ 、温度为 20°C 的水
- (5) 输送流量为 $25 \text{m}^3/\text{h}$ 的沸腾水。

解：(1) 从泵的样本查得，该泵在流量为 $25 \text{m}^3/\text{h}$ ，允许汽蚀余量为 2.0m。

$$\text{吸入管内流速: } u_1 = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \times 25}{3.14 \times 0.062^2 \times 3600} = 2.30 \text{ m/s}$$

$$\text{吸入管路阻力损失: } \Sigma H_f = \left(\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \zeta \right) \frac{u^2}{2g} = \left(0.028 \frac{12}{0.062} + 2.1 \right) \frac{2.3^2}{2 \times 9.81} = 2.03 \text{ m}$$

20°C 水的饱和蒸汽压 2.33kPa 。

此时泵的允许安装高度为：

$$H_{g\max} = \frac{p_0}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} - \Delta h - \Sigma H_f = \frac{1.01 \times 10^5}{1000 \times 9.81} - \frac{2330}{1000 \times 9.81} - 2.0 - 2.03 = 6.06m$$

(2) 60℃ 水的饱和蒸汽压 19.93kPa，代入上式解得：

$$H_{g\max} = \frac{p_0}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} - \Delta h - \Sigma H_f = \frac{1.01 \times 10^5}{983.2 \times 9.81} - \frac{19930}{983.2 \times 9.81} - 2.0 - 2.03 = 4.41m$$

(3) 20℃ 油饱和蒸汽压 2.67×10⁴Pa，将相关数据代入上式得：

$$H_{g\max} = \frac{p_0}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} - \Delta h - \Sigma H_f = \frac{1.01 \times 10^5}{740 \times 9.81} - \frac{26700}{740 \times 9.81} - 2.0 - 1.87 = 6.41m$$

(4) 流量变化，则吸入管路阻力也要变化。

$$\text{此时, } u_1 = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \times 30}{3.14 \times 0.062^2 \times 3600} = 2.76m/s$$

$$\Sigma H_f = \left(\lambda \frac{l}{d} + \Sigma \zeta \right) \frac{u^2}{2g} = \left(0.03 \frac{10}{0.062} + 2.1 \right) \frac{2.76^2}{2 \times 9.81} = 2.69m$$

$$\text{最大允许安装高度: } H_{g\max} = \frac{p_0}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} - \Delta h - \Sigma H_f = \frac{1.01 \times 10^5}{1000 \times 9.81} - \frac{2330}{1000 \times 9.81} - 2.0 - 2.69 = 5.4m$$

(5) 液体沸腾时， $p_v = p_0$

$$\text{此时, } H_{g\max} = -\Delta h - \Sigma H_f = -2.0 - 2.03 = -4.03m$$

点评：影响离心泵最大允许安装高度的因素可以概括为以下几个方面：

流体的种类，一般来说，蒸汽压越大，最大允许安装高度越低；

流体的温度，温度越高，最大允许安装高度越低；

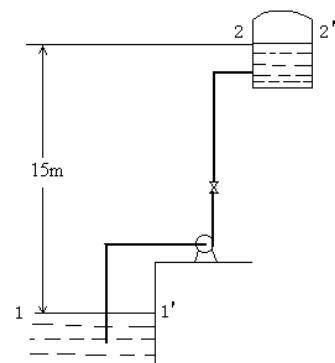
流体流量，流量越大，吸入管路阻力越大，最大允许安装高度越低；

储槽压力和吸入管路配置情况；

当被输送液体沸腾时，最大允许安装高度与流体的种类无关，主要取决于流体的流量和吸入管路的阻力。

可见，生产中流体温度和流量的上浮都可能导致原本正常工作的泵发生汽蚀。因此，计算泵的最大允许安装高度时，应以可能的最高操作温度和流量来计算。

【例 2-5】 如图所示，需用离心泵将水池中水送至密闭高位槽中，高位槽液面与水池液面高度差为 15m，高位槽中的气相表压为 49.1kPa。要求水的流量为 15～



例 2-5 附图

25m³/h，吸入管长 24m，压出管长 60m（均包括局部阻力的当量长度），管子均为 68×4mm，摩擦系数为 0.021。试选用一台离心泵，并确定安装高度。（设水温为 20℃，密度以 1000kg/m³ 计，当地大气压为 101.3kPa。）

解：以最大流量 $q_v=25\text{m}^3/\text{h}$ 计算。

如图 1-79 所示，在 1-1'与 2-2'间列伯努利方程

$$z_1 + \frac{1}{2g}u_1^2 + \frac{p_1}{\rho g} + H_e = z_2 + \frac{1}{2g}u_2^2 + \frac{p_2}{\rho g} + \Sigma H_f$$

其中 $z_1=0$; $u_1\approx 0$; $p_1=0$ （表压）；

$z_2=15\text{m}$; $p_2=49.1\text{kPa}$ （表压）； $u_2\approx 0$

管中流速
$$u = \frac{q_v}{\frac{\pi}{4}d^2} = \frac{25/3600}{0.785 \times 0.06^2} = 2.46 \text{ m/s}$$

总阻力
$$\Sigma H_f = \lambda \frac{l + \Sigma l_e}{d} \frac{u^2}{2g} = 0.021 \times \frac{24 + 60}{0.06} \times \frac{2.46^2}{2 \times 9.81} = 9.07 \text{ m}$$

压头
$$H_e = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \Sigma h_f = 15 + \frac{49.1 \times 10^3}{1000 \times 9.81} + 9.07 = 29.07 \text{ m}$$

根据流量 $q_v=25\text{m}^3/\text{h}$ 及压头 $H_e=29.07\text{m}$ ，查附录十二离心泵样本，选型号为 IS65-50-160 的离心泵，其性能为：流量 Q 为 25m³/h，压头 H 为 32m，转速 n 为 2900r/min，必需汽蚀余量 $(NPSH)_r$ 为 2.0m，效率 η 为 65%，轴功率 N 为 3.35kW。

20℃水的饱和蒸汽压 $p_v = 2.335 \text{ kPa}$ ，吸入管路阻力

$$\Sigma H_{f_{\text{吸入}}} = \lambda \frac{(l + \Sigma l_e)_{\text{吸入}}}{d} \frac{u^2}{2g} = 0.021 \times \frac{24}{0.06} \times \frac{2.46^2}{2 \times 9.81} = 2.59 \text{ m}$$

则泵允许安装高度为

$$H_{g\text{允}} = \frac{p_0 - p_v}{\rho g} - (NPSH)_r - \Sigma H_{f_{\text{吸入}}} = \frac{(101.3 - 2.335) \times 10^3}{1000 \times 9.81} - 2.0 - 2.59 = 5.5 \text{ m}$$

泵的实际安装高度应低于 5.5m，可取 4.5~5.0m。