

Σh_{f0-1} —泵吸入管路的全部阻力, m。

第一种情况: 由于工作状态与泵标定时状况相同:

由上式:

$$H_g = 4 - 0 - 2 \times 0.5 = 3 \text{ m}$$

H_g 为 3 m, 表示泵可安装在缶的液面上 3 米, 现泵安装在缶的液面下 2 m, 故安装是合理的。

第二种情况: 缶内为 85℃ 的水, 在该温度下的饱和蒸汽压为 433.6 mmHg (5.89 m H_2O 柱)

公式中 H_s 值是指 20℃ 的清水和大气压为 10 m H_2O 柱下测得的。所以应将允许吸入真空高度 H_s 值进行校正, 即:

$$H_s' = H_s + (H_a - 10) - (H_v - 0.24)$$

式中 H_v —操作温度下水的饱和蒸汽压, m H_2O ;

0.24—标定温度 (20℃) 下水的饱和蒸汽压 m H_2O ;

H_a —泵的安装地区的大气压, m H_2O , 该值随海拔不同而异。

H_s' —操作条件下输送水时允许真空吸上高度, m。

按题意校正

$$\begin{aligned} H_s' &= H_s - (H_a - 10) - (H_v - 0.24) \\ &= 4 - (10 - 10) - (5.89 - 0.24) \\ &= -1.65 \text{ m} \end{aligned}$$

$$H_g = H_s' - \frac{u_1^2}{2g} - h_{f0-1} = -1.65 - 2 \times 0.5 = -2.65 \text{ m}$$

当输送 85℃ 水时, 应将泵安装在缶下 2.65 米, 而实际安装仅为缶液面下 2 m, 故安装不合适。改进方法: 升高缶或降低泵的安装位置。

第三种情况: 缶上方真空度为 400 mmHg, 故与标定时不同, 因而吸入真空高度需校正

$$H_a = \frac{760 - 400}{735.6} = 4.89 \text{ m } H_2O$$

$$\text{故 } H_s' = 4 + (4.89 - 10) = -1.11 \text{ m } H_2O$$

$$\text{安装高度 } H_g = H_s' - 2 \times 0.5 = -2.11 \text{ m } H_2O$$

此泵安装不合理, 需升高缶或降低泵的安装位置。

第四种情况:

缶内装的为 40℃ 的乙醇。此种情况下料液种类与外压、温度均与标定时不同, 需要对允许真空吸上高度进行校正。

校正分两步进行:

(1) 先将标定状态下的 H_s 值换算成操作条件下的 H_s' 值。

(2) 然后将 H_s' 值由下式换算为以被输送液体的液柱高度 (m 液柱) 表示的允许吸入真空度 H_s'' 。

$$H_s'' = H_s' \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{\#}}$$

第一步:

查表得40℃下的乙醇的饱和蒸汽压 $H_v=1.64\text{mH}_2\text{O}$ 柱,当缶上方真空度为300mmHg时, $H_s'=6.25\text{mH}_2\text{O}$

$$H_s' = 4 + (6.25 - 10) - (1.64 - 0.24) = -1.15\text{m}$$

$$H_s'' = H_s' \times \frac{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho} = -1.15 \frac{992.2}{750} = -1.52\text{m}$$

$$H_g = H_s'' - \frac{2 \times 0.5 \times 997.2}{750} = -1.15 - 1.33 = -2.48\text{m}$$

而实际上 H_g 仅为-2m,故安装位置不合适需要调整。

〔小结〕:

1、泵样本上标出的允许吸上真空高度 H_s 是在大气压为10mH₂O柱下,以20℃清水为工质进行标定的,因而利用允许真空吸上高度 H_s 求安装高度 H_g 时,只有在操作条件与标定条件一致、如第一种情况下才不需校正。

2、若实际操作外压、工质的温度、工质的种类不同,则需对吸上真空高度进行校正才能计算泵的安装高度,如第二、三、四种情况。

3、泵的允许吸上真空高度因地区大气压、输送液体性质和温度变化而变化,使用时不太方便。因此对输送某些沸点较低的油泵,又引入另一种表示气蚀性能的参数即允许气蚀余量 Δh , Δh 亦可从泵性能表中查出。可查阅有关参考书。

4、在第二、三、四三种情况下,泵的安装位置不合适,其原因是外压较低,或液体温度过高,或液体挥发性大,会产生气蚀现象,因而需特别注意泵的安装位置。除了保证安装位置高低合适外,还可采用较大的管径、缩短吸入管的长度、减少弯头或不必要的阀门等局部阻力,以防止气蚀现象的产生。

〔题二〕用离心泵从缶1输送清水给缶2,水温20℃,输送管线如图1在泵的进出口处各装一真空表和一压力表。当离心泵以一定转速运转时测得泵的流量 V 、压头 H_e 泵的出口压力 $P_{\text{出}}$,泵的进口真空度 $P_{\text{真空度}}$ 和泵的功率 N 为一定值。现改变以下某一条条件,而其他条件不变,问以上5个参数 V 、 H_e 、 $P_{\text{出}}$ 、 $P_{\text{真空度}}$ 、 N 如何变化?

A: 当出口的A阀加大时;

B: 当输送的料液不是清水而是密度为 $1500\text{kg}/\text{m}^3$ 的液体时;

C: 当泵的叶轮直径减少5%时;

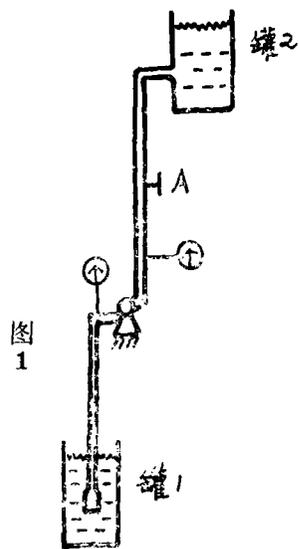
D: 当泵的转速提高5%时。

〔解〕: A: 当出口阀A加大时: $V \uparrow$, $H_e \downarrow$, $P_{\text{出}} \uparrow$, $P_{\text{真空度}} \uparrow$, $N \uparrow$ 。阀门A加大,减少了管道阻力,因而改变了管道性能曲线。如图中由曲线A变为曲线A',使工作点下移。因此流量 V 增大,压头 H_e 变小,这可以从泵性能曲线和

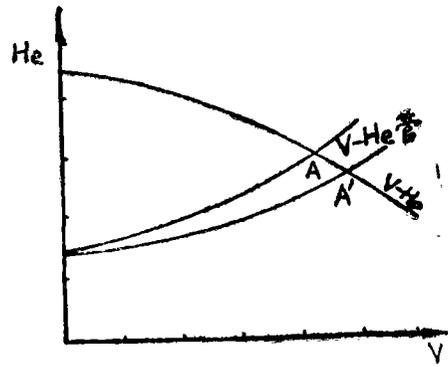
线交点的压头和流量值看出。

压头 H_e 变小,这可以从泵性能曲线和管道性能曲线交点的压头和流量值看出。

出口管道上的压力表读数增加。可从压力表处和高位槽水平面间列柏努力方程来分析:



$$\begin{aligned}
 z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} &= z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + \sum h_f \\
 &= z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + \lambda \frac{l+l_0}{d} \frac{u_2^2}{2g} \\
 &= z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + (1 + \lambda \frac{l+l_0}{d}) \frac{u_2^2}{2g}
 \end{aligned}$$



式中：其他参数如 $z_1, z_2, p_2, u_1, \lambda \frac{l+l_0}{d}$ 不变，仅仅 u_2 增加，故出口压力 P_1 增加。

同理，从缶1的水面到真空表处列柏努利方程，可以看出 $P_{真空表}$ 的真空度读数上升，即进口处的绝对压力下降。

开大A阀时 N 增加。分析如下：如果仅从 $N = \frac{V \cdot He \cdot r}{102}$ 不易判断 N 的变化，但从图2中的 $V-N$ 曲线看出 $V \uparrow, N \uparrow$

B、当输送密度为 1500 kg/m^3 的液体时：

从离心泵的理论基本方程式 $V = \pi D_2 b_2 C r_2$ 可知流量 V 仅与叶轮外径 D_2 ，叶轮厚度 b_2 径向速度 $C r_2$ 有关。输送流体的密度增加，对流量无影响。

离心泵的理论压头 $H_{00} = \frac{u_2^2 C_2 \cos \alpha_2}{2g}$ 从式中可以看出， H_{00} 仅与叶轮速度 u_2 、 C_2 有关与密度无关，因此理论上说 He 与输送流体密度无关。

由于输送功率 $N = \frac{V \cdot He \cdot \gamma}{102u}$ 在其他不变时功率 N 随 γ 增加而增加， $\gamma = \rho g$ ， \therefore 当密度由 1000 增大到 1500 kg/m^3 时 N 就增大。

$P_{出}$ 加大、 $P_{真空度}$ 上升、其理由与上一问相同，可以根据柏努利方程分析。

C、当泵的叶轮直径减小5%时：

根据泵的切割定律：

$$\frac{V'}{V} = \frac{D_2'}{D_2}, \quad \frac{H'}{H} = \left(\frac{D_2'}{D_2} \right)^2, \quad \frac{N'}{N} = \left(\frac{D_2'}{D_2} \right)^3$$

可以看出 D_2 下降， V 按一次方下降，压头 H 按2次方下降。功率按3次方规律下降。

用柏努利方程可以分析由于管道中流速下降，所以出口管上压力表 $P_{出}$ 下降，进口管中真空表 $P_{真}$ 的真空度下降。

D、当泵的转速提高5%时：

根据泵的比例定律：

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}, \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}, \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}$$

从上式同样可以看出转速 n 增加，泵的压头和所需功率均增加。

对于 $P_{出}$ 和 $P_{真空度}$ 也可以按柏努利方程分析得出 $P_{出}$ 上升， $P_{真空度}$ 也上升。

〔小结〕

1、本题是讨论泵的调节问题。当所需的流量与压头与泵所给出的流量与压头不符时,可以采取的一些措施如A、C、D三种方法,A的方法是用阀门调节流量,简单可行缺点是有一部份能量消耗在阀门上。C、D两个方法是在泵所给出的流量压头不满足输送压头时,可以换叶轮(一般泵出厂时均带另一不同直径的叶轮)或改变转速来调节,这种调节方法比A要烦一些,但从能耗角度是比较合适的。

2、泵的压头、流量与输送的流体密度无关,因此只要能耐腐蚀,离心泵可以用来输送不同的液体。

3、当泵的流量不符合要求时可以从改变管道性能曲线和改变泵的性能曲线二方面来进行调节,现列表说明。

调 节 方 法		
	改变管道性能曲线	改变泵的性能曲线
流 量 V	1 调节阀门大小	1 改变叶轮直径
	2 改变管径	2 改变泵的转速
	3 并联管线	3 泵的并串联

〔题三〕

流体输送泵的计算:主要包括泵的选择、泵的安装位置的确定、泵的调节以及输送管道管径的确定。通过计算可以了解:

- 1、泵的压头、流量、功率之间的关系。
- 2、离心泵的特性曲线、管路特性曲线和工作点的概念,并用来分析泵的操作、调节和改进。
- 3、泵的选择原则和选泵时应考虑的因素。

〔题〕:

将水从一水井打入水塔中要求流量为每小时70吨。水井和水塔的水面均稳定且与大气相通,水井水面与地面的垂直距离为6m,水塔的水面与地面的垂直距离为14m,如图1所示。

1、选择管径和管材; 2、选一合适型号的泵; 3、决定泵的安装位置; 4、求泵的功率; 5、若流量增大到 $90\text{ m}^3/\text{h}$,应采取何措施?

附加条件:(1)从水井水面到水塔水面所需铺设的管长为280m,(2)此管线中的局部阻力和出口阻力之和的当量长度为40m,(3)磨擦系数由下式计算

$$\lambda = 0.32 \text{Re}^{-0.25}$$

〔解〕:

(1) 选择管径和管材

管径可根据经验流速进行选择。输送清水一般流速为1~3m/s。流速的大小直接影响管径的大小,流速大管径小、铺设管子的费用少,但运转费高;反之,管中流速小,管径大,一次投资费用大,但经常运转费少,因此应作经济权衡,设初选流速为2m/s。

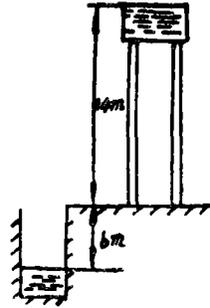


图 1

$$V = 70 \times 1000 [\text{kg/h}] = \frac{70 \times 1000}{3600 \times 1000} \text{m}^3/\text{S} = 0.0194 \text{m}^3/\text{S}$$

$$d_{\text{计}} = \sqrt{\frac{4UV}{\pi u}} = \sqrt{\frac{4 \times 70 \times 1000}{\pi \times 2 \times 3600 \times 1000}} = \sqrt{1.24 \times 10^{-2}} = 1.1 \times 10^{-1} \text{m}$$

计算出管径 $d_{\text{计}}$ 后,还必须选用标准规格,查水煤气钢管规格内径接近111mm的是4吋水煤气管,管外径为114mm,壁厚为4mm,内径为106mm、重新计算管内流速

$$u = \frac{V}{\frac{\pi}{4} d^2} = \frac{70}{3600 \times \frac{\pi}{4} \times 0.106^2} = 2.2 \text{m/s}$$

由于是输送清水,故选用水煤气钢管在防腐上是合用的。

(2) 选择一合适的泵

首先计算泵的扬程,根据泵的扬程和流量选泵。

扬程计算:管中流动的雷诺数

$$Re = \frac{du\rho}{\mu} = \frac{0.106 \times 2.2 \times 1000}{\frac{1}{1000}} = 2.33 \times 10^5$$

$$\text{摩擦系数 } \lambda = 0.32 \times Re^{-0.2} = 0.32 \times 233000^{-0.2} = 0.027$$

选水井水面为1-1截面,水塔水面为2-2截面。以水井水面为水平基准面在1-1与2-2截面间列柏努利方程。

$$\begin{aligned} H_e &= \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \sum h_f \\ &= 20 + 0 + 0 + \lambda \frac{(L + L_e)}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} = 20 + 0.027 \times \frac{280 + 40}{0.106} \times \frac{2.2^2}{2 \times 9.81} \\ &= 40.1 \text{m} \end{aligned}$$

由于输送水,故选用B型水泵,按流量为70m³/h、扬程 $H_e = 40.1\text{m}$ 的要求,在B型水泵系列特性曲线图(图2)上或泵规格性能表中可选用4B-54A型并列该泵的主要性能数据(见表一)

(3) 决定泵的安装位置

从4B泵的性能表或特性曲线上查得该泵在70~90m³/h的流量范围内允许吸入高度

表一 B 型 水 泵 性 能 表

泵型号	Q流 率		H扬程 m	转 数 [转/分]	N功率KW		效率 %	允许吸 上真空 度 m	叶轮 直径 mm	泵的静 质量 kg	与BA型 对照
	m ³ /h	[升/秒]			轴	电机					
4B54A	70	19.4	48	2900	13.6	20	67	5.0	200	116	4BA-8A
	90	25.0	43		15.6	(22)	69	4.5			
	100	30.3	36.8		16.8		65	3.8			

H_s=4.5m, 而井水面离地面为6m, 即使不考虑管道和阀门等的阻力, 泵也不能安装在地平面上, 设水井水面到泵吸入口垂直距离为H_g米(见图3)进入泵的水平短管和插入水中的管长为2m, 总的直管长为H_g+2。在此管路中还有一个滤网, 一个弯头, 其局部阻力系数ζ_滤=3.5, ζ_弯=0.7。

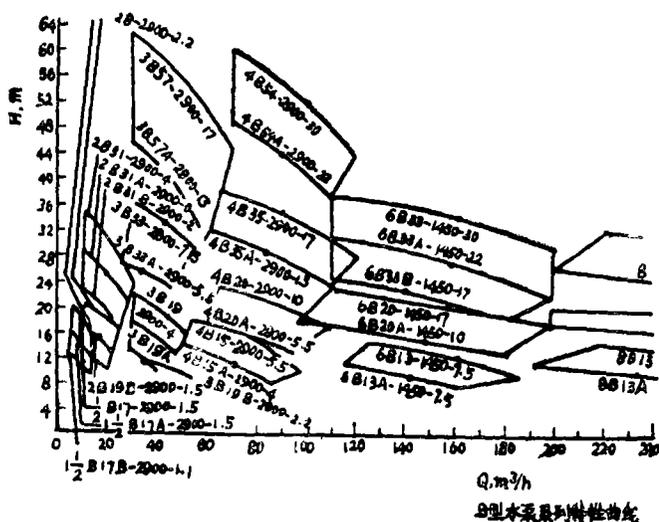


图 2

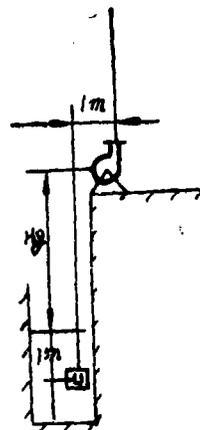


图 3

允许吸上高度H_g由下列公式计算:

$$H_g = H_s - \frac{u_1^2}{2} - H_{f0} - 1$$

式中: H_s—离心泵的允许吸上真空度, m液柱(查表)

u₁—泵入口管处的流速, m/s;

H_{f0}-1—流体流经吸入管的全部压头损失, m。

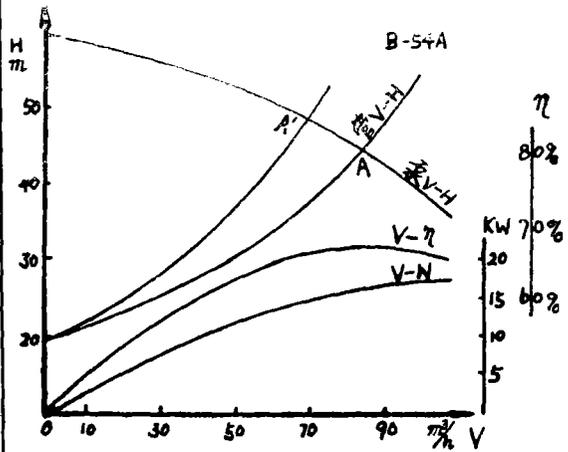
$$H_g = H_s - \frac{u_1^2}{2g} - \lambda \frac{L}{d} \frac{u_1^2}{2} - (\zeta_{滤} + \zeta_{弯}) \frac{u_1^2}{2g}$$

因为输送的是20℃的水, 故H_s不需校正, H_s=4.5m

$$\begin{aligned} H_g &= 4.5 - \frac{u_1^2}{2g} - 0.027 \frac{(H_g + 2)}{0.106} \frac{u_1^2}{2} - (3.5 + 0.7) \frac{u_1^2}{2g} \\ &= 5 - (1 + 0.027 \frac{H_g + 2}{0.106} + 3.5 + 0.7) \frac{2.2^2}{2g} = 2.84\text{m} \end{aligned}$$

计算结果附表:

$V \text{ m}^3/\text{h}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
m^3/S	2.78×10^{-3}	5.56×10^{-3}	8.3×10^{-3}	11.1×10^{-3}	13.9×10^{-3}	16.7×10^{-3}	19.4×10^{-3}	22.4×10^{-3}	25×10^{-3}
um/S	0.514	0.628	0.943	1.26	1.57	1.89	2.2	2.51	2.83
$\text{Re} \frac{\text{dup}}{\mu}$	33.3×10^4	66.6×10^4	99.9×10^4	1.33×10^5	1.66×10^5	2×10^5	2.33×10^5	2.66×10^5	3×10^5
λ	0.04	0.035	0.032	0.03	0.029	0.0278	0.027	0.0263	0.0256
$\text{He} (\text{m})$	20.4	21.7	23.7	26.6	30.3	34.9	40.1	46.8	53.4



∴泵至少要安在地面下
 $6 - 2.84 = 3.16\text{m}$, 为了安全
 起见泵应安在地面下 4 米。

(4) 求泵实际运行的轴
 功率—即工作点对应的轴功
 率。

画出所选 4B-54A 型水
 泵的性能曲线 (图 4), 并据
 所选管径和管长作出管道性能
 曲线。两曲线交点即为工作
 点。

管道性能曲线可以根据水
 池水面 1-1 与水塔水面 2-2 间
 列柏努利方程:

式中管流速

$$v = \frac{V}{2g \left(\frac{\pi}{4} d^2 \right)}$$

式中: V 为体积流量单位
 m^3/hr

下式为本题的管道性能曲
 线方程

$$H_e = \Delta Z + \lambda \frac{L+L_e}{d} \frac{u^2}{2g} = \Delta Z + \lambda \frac{L+L_e}{d} \frac{V^2}{2g \left(\frac{\pi}{4} d^2\right)^2}$$

$$= \Delta Z + \lambda \frac{320V^2}{2g \left(\frac{\pi}{4}\right)^2 d^5} = 20 + \lambda \frac{320}{2 \times 9.8 \times \left(\frac{\pi}{4}\right)^2 \times 0.106^5} V^2$$

$$= 20 + 19798 \cdot \lambda \cdot V^2$$

计算结果见附表:

此操作点流量大于 $70 \text{ m}^3/\text{h}$, 故泵所提供的流量不符合输送要求, 为保证输送量为 70 [吨/时], 必须用泵出口管线阀门对流量进行调节, 即关小阀门, 使管道系统阻力增加, 管道性能曲线变陡, 所得新的工作点为 A' , 其参数为:

$$V = 70 \text{ 吨/时}, H = 48 \text{ 米水柱}$$

$$\text{所需有效功率 } N_e = \frac{48 \times 70 \times 1000}{3600 \times 102} = 9.15 \text{ kW}$$

由性能曲线上查出泵的效率 $\eta = 0.67$

$$\therefore \text{泵轴功率 } N = \frac{N_e}{\eta} = \frac{9.15}{0.67} = 13.7 \text{ kW}$$

(5) 若流量加大到 $90 \text{ m}^3/\text{h}$, 应采取何措施? 提出几种可行的方案
首先验算原来所选之泵能否合用

$$u = \frac{90}{3600 \times \frac{\pi}{4} \times 0.106} = 2.8 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{1000 \times 0.106 \times 2.8 \times 1000}{1} = 296800$$

$$\lambda = 0.32 \times Re^{-0.2} = 0.025$$

$$\Sigma h_f = 0.025 \times \frac{320}{0.106} \times \frac{2.8^2}{2g} = 30.2$$

$$V = 90 \text{ 吨/时} \quad H = 53.4 \text{ 米水柱}$$

从泵的性能曲线上看, 当 $V = 90$ [吨/时] 时, 泵仅能提供 43 [米水柱] 的压头, 所以该泵不能满足要求。拟采用以下方案改进:

方案 1, 换为 $4B-54$ 型的大叶轮, 选用 $4B-54$ 型泵, 即将原来 $4B-54A$ 型中的叶轮查通用泵性能曲线, 当 $V = 90$ 吨/时, $H = 54$ 米水柱, 可满足要求。

方案 2, 加大管径为使泵的输水量为 $90 \text{ m}^3/\text{h}$ 时, 管道的扬程为 43 米水柱, 这时需要用加大管径的方法来降低阻力。

设 $\lambda = 0.027$ 不变 (λ 变化很小, 可认为不变) $H_e = 43 \text{ m}$

$$43 = 20 + \lambda \frac{L+L_e}{d} \frac{u^2}{2g} = 20 + 0.027 \frac{320}{2 + 9.8 \times \left(\frac{\pi}{4}\right)^2 d^5}$$

$$= 20 + \frac{4.47 \times 10^{-4}}{d^5}$$

$$d^5 = \frac{4.47 \times 10^{-4}}{23}$$

$$d = 0.114 \text{ m}$$

即管子内径需大于114mm即可

方案3, 加大原泵的转速, 原泵转速为2900转/分, 新转速可由比率定律求出。

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2$$

$$n_2^2 = \frac{n_1^2}{\frac{H_1}{H_2}} = \frac{2900^2}{\frac{43}{50}} = 978 \times 10^4$$

转速加大, $n_2 = 3127$ 转/分, $\frac{n_1}{n_2} = 1.08 < 1.2$ 倍, 故合适。

方案4, 可用泵并串联保证输水量为 $90 \text{ m}^3/\text{h}$, 但串联后, 可能会使输水量超过所需值, 为此可关小阀门, 本题主要是要增加流量, 所以用并联方法比较合适。

根据实际情况选择其中的一个方案进行改进。

[小结]

泵的选择是一个实际问题, 因此在计算此类问题时应注意联系实际。

1. 要注意圆整和规格化

例如, 第(1)问计算所得管径为0.11m, 要按国家标准管件查表圆整, 最后得出4''的水煤气钢管为所用管径。在选择泵时也是如此, 如本题计算得的扬程为40.1m, 所需流量为 $70 \text{ m}^3/\text{h}$, 由所选之泵的性能曲线查得流量为 70 m^3 时, 扬程为48m, 即比所需扬程大些才行, 同时在求泵实际运行的轴功率时所用的扬程也应用泵实际给出的压头48m计算, 因为此时的工作点为 $V = 70 \text{ m}^3/\text{hr}$, $H_e = 48 \text{ m}$ 。

2. 分清允许吸上真空度 H_s 和安装高度(吸入高度) H_g 二者的区别

允许吸上真空度 H_s 是管道安装垂直高度和管道阻力和动能之和, 它与输液性质, 大气压强, 泵的结构, 流量等因素有关, 由制造厂家通过。

实验测定(条件为大气压 $10 \text{ m H}_2\text{O}$ 柱, 20°C 清水)。当输送液体是其他液体, 或操作条件与上述实验条件不同时, 均要对水泵性能表上的 H_s 值进行换算。

安装高度(吸入高度)是由吸入高度计算公式计算得到的。

3. 选择方案时应尽量符合实际, 下面列出四个方案的比较表

表二 方 案 比 较

	1	2	3	4
改造措施	改变叶轮大小	改变管径	改变转速	并 串 联
实现难易程度	最 易	中	较 易	最 难
投资多少	最 少	中	较 少	最 多
能 耗	最 少	少	少	最 多

经过以上比较可知, 以方案1最佳, 它简单易行; 2、3方案次之; 并串联的措施, 除非有备用泵, 一般不宜采用。