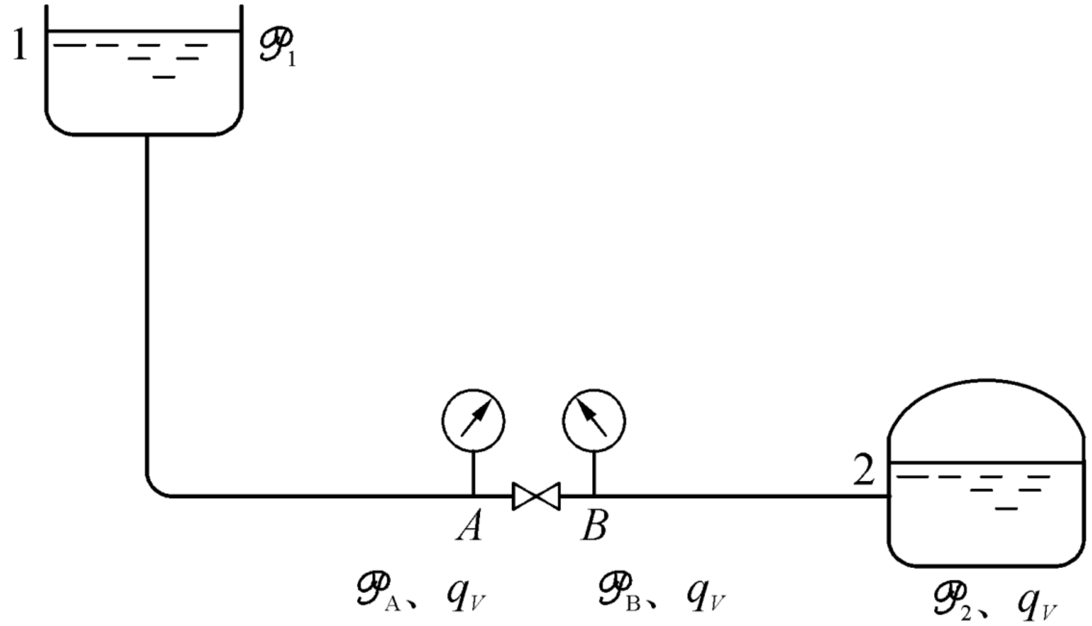
习题：32,33,34,35

1.6.2 简单管路计算

1、数学描述

解决管路计算基本方程： （图 1-37）



质量守恒方程：$q_V = \frac{\pi}{4} d^2 u$

机械能守恒：$$\frac{\mathscr{P}_1}{\rho g} = \frac{\mathscr{P}_2}{\rho g} + (\lambda \frac{l}{d} + \Sigma\zeta)\frac{u^2}{2g}$$

阻力规律：$\lambda = f(\frac{\rho u d}{\mu}, \frac{\varepsilon}{d})$

当被输送的流体已定，其物性 ρ，μ 已定，上述方程具有 9 个变量。

自由度=变量数-方程数=9-3=6

即若能给定其中独立的 6 个变量，其它 3 个就可求出

$$q_V = \frac{\pi}{4} d^2 u$$ 只有两个变量独立

2、设计型命题

命题：规定输送量 q_V

已知：q_V, l, ε， $\Sigma\zeta, \mathscr{P}_2, u$(选定)

求：最经济的管径 d，供液点提供的势能 $\mathscr{P}_1$（λ 在过程中顺便求得）

计算过程以框图表示

选 u

⇩

$$d = \sqrt{\frac{q_V}{0.785u}}$$

⇩

d 圆整

⇩

重新算 u

⇩

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho u d}{\mu}$$

⇩

$$\lambda = f\left(\frac{\rho u d}{\mu}, \frac{\varepsilon}{d}\right)$$

⇩

$$h_f = \left(\lambda \frac{l}{d} + \Sigma\zeta\right)\frac{u^2}{2g}$$

⇩

$$\frac{\mathscr{P}_1}{\rho g}=\frac{\mathscr{P}_2}{\rho g}+h_{f1-2}$$

设计型命题：存在着变量选择的问题

当 q_V 一定时，d 与 $\sqrt{u}$ 成反比

$d\uparrow$，$u\downarrow$ 设备费用增加，

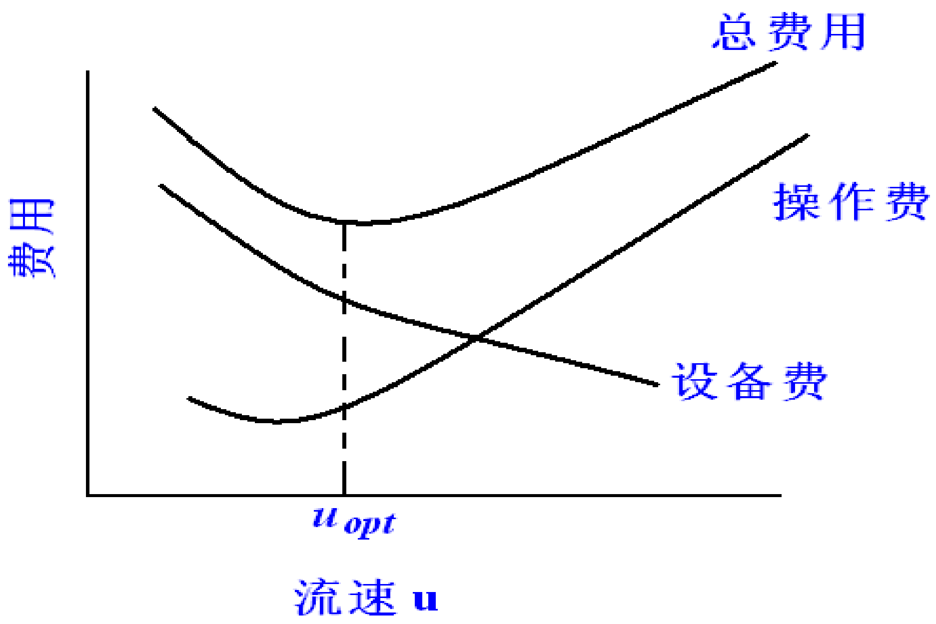
$u\downarrow h_f\downarrow \mathscr{P}_1\downarrow$ 因而操作费用减少

而当 $d\downarrow$，$u\uparrow$ 设备费用减少，

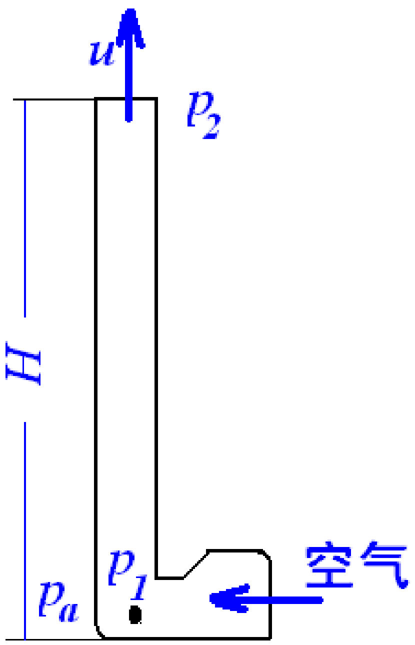
$u\uparrow h_f\uparrow \mathscr{P}_1\uparrow$ 因而操作费用增加

所以对设计人员来讲，就在于从这一系列计算结果中选出最经济合理的管径 d_{opt}。

由此可见，设计型问题一般都包括着“选择”或“优化”问题。(图 1-40)



已知：某工业燃烧炉 $q_V=80000\text{m}^3/\text{h}$, $\rho_{烟气}=0.67\text{kg/m}^3$，$\mu=0.026\text{mPa.s}$，选红砖 $\varepsilon=0.8\text{mm}$，$\rho_{大气}=1.15\ \text{kg/m}^3$，$p_1$（真）$=0.2\text{kPa}$。



试设计烟囱的直径，高度。

解：列烟囱底部（1 截面）与顶部（2 截面）柏努利方程

$$\frac{p_1}{\rho_{烟}}+gz_1+\frac{u_1^2}{2}=\frac{p_2}{\rho_{烟}}+gz_2+\frac{u_2^2}{2}+\Sigma h_{f1-2}$$

烟囱 $d_1=d_2$, ∴ $u_1=u_2$

$z_1=0$, $z_2=H$

$p_1=p_a-p_1$（真）

$p_2=p_a-\rho_{air}gH$

$$\Sigma h_{f1-2}=\lambda\cdot\frac{H}{d}\cdot\frac{u^2}{2}$$

$$\lambda=f(\frac{\rho ud}{\mu},\frac{\varepsilon}{d})$$

$$q_V=\frac{\pi}{4}d^2u$$

未知数：H,d,u,λ

因而必须设一个变量

若设 $d=1\text{m}$

$$u=\frac{q_v}{\frac{1}{4}\pi d^2}=\frac{80000/3600}{0.785\times1^2}=28.3(m/s)$$

此速度不符合 p35 表 1-3 常用速度范围，d 选

太小

因而重选 d=1.5m

$$u=\frac{q_v}{\frac{1}{4}\pi d^2}=\frac{80000/3600}{0.785\times1.5^2}=12.58(m/s)$$

$$\mathrm{Re}=\frac{\rho ud}{\mu}=\frac{0.67\times12.58\times2}{0.026\times10^{-3}}=4.86\times10^5$$

ε/d=0.00053，查表得 λ=0.018

∴1-2 截面间柏努利方程为

$$\frac{-p_1(\text{真})}{\rho_{\text{烟}}}=\frac{-\rho_{air}gH}{\rho_{\text{烟}}}+gH+\lambda\frac{H}{d}\cdot\frac{u^2}{2}$$

$$-\frac{0.2\times10^3}{0.67}=(-\frac{1.15\times9.81}{0.67}+9.81+0.018\times\frac{1}{2}\times\frac{12.58^2}{2})H$$

$$H=48.2(m)$$

同样计算：

d(m)	1.5	2	3
H(m)	48.2	43	42.1

烟囱得以排气的必要条件是

$$\rho_{\text{烟}}<\rho_{\text{外}},$$

若$\rho_{\text{烟}}\nless\rho_{\text{外}}$时，$p_1\nless0$，即无法起到抽吸作用。

H 增加，p_1 降低（即真空度增加），抽吸量增加。

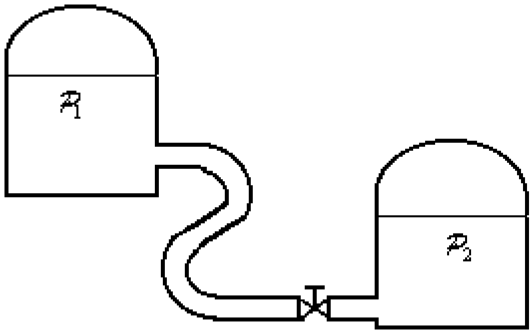
3、操作型命题

已知：d

$\mathscr{P}_1$, $\mathscr{P}_2$, $\Sigma\ \zeta$, l, ε,

求： q_V ，（顺便求得 u, λ）

操作型命题 d 不变，其它参数都可改变



如图示流程若阀门开大，其余不变，对管路流量有何变化？

（实质 $\zeta_{阀}\downarrow$，q_V 如何变，操作型命题）

操作型计算框图：

初值 λ

⇩

$$u=\sqrt{\frac{2\Delta\mathscr{P}}{\lambda\frac{l}{d}+\Sigma\zeta}}$$

⇩

$$\mathrm{Re}=\frac{\rho u d}{\mu}$$

⇩

$$\lambda_{计}=f\left(\frac{\rho u d}{\mu},\frac{\varepsilon}{d}\right)$$

⇩

比较 $\lambda_{初}=\lambda_{计}$

⇩

$$q_V = \frac{\pi}{4} d^2 u$$

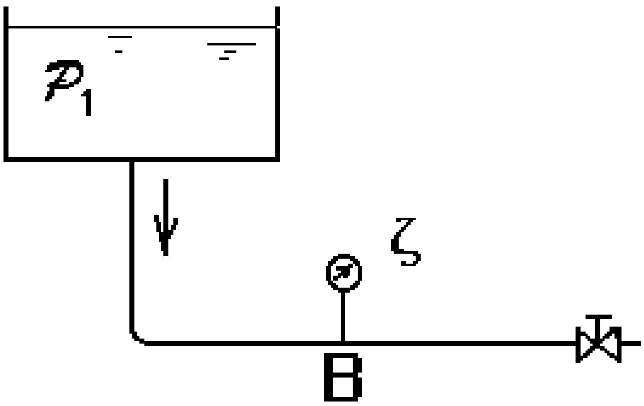
注意：(1) $\lambda = f(\frac{\rho u d}{\mu}, \frac{\varepsilon}{d})$是非线性

∴试差，迭代

若已知阻力损失服从平方或一次方定律时，则可以解析求解。无需试差。

（2）初值λ范围　λ=0.02～0.03

例：某输送油管如图所示，油品黏度 25mPa.s，密度 800kg/m^3，管内径 100mm，l_{OB}=50m(包括局部阻力当量长度)，ε=0.3mm，当 B 点压力表读数为 53kPa 时，管道内流体的流量为多少？



解：列 1-B 截面伯努利方程：

$$\frac{p_1}{\rho} + g z_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{p_B}{\rho} + g z_B + \frac{u_B^2}{2} + \lambda \frac{l}{d} \frac{u_B^2}{2}$$

$p_1 = p_a$, z_1=7m, z_B=0, $p_B = p_a$+53kPa

$u_1 \approx 0$

$$g z_1 = \frac{p_B(表)}{\rho} + \frac{u_B^2}{2} + \lambda \frac{l}{d} \frac{u_B^2}{2}$$

$$q_V = \frac{\pi}{4} d^2 u$$

$$\lambda = f(\frac{\rho u d}{\mu}, \frac{\varepsilon}{d})$$

由于$\lambda = f(\frac{\rho u d}{\mu}, \frac{\varepsilon}{d})$非线性，试差。

但由于 μ =25mPa.s 很大，假设流动在层流区

$$\therefore \lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

代入伯努利方程：

$$9.81 \times 7 = \frac{53 \times 10^3}{800} + \frac{u_B^2}{2} + \frac{32 \times 25 \times 10^{-3} \times 50 \times u_B}{800 \times 0.1^2}$$

u_B=0.5m/s

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho u d}{\mu} = \frac{800 \times 0.5 \times 0.1}{25 \times 10^{-3}} = 1600 < 2000$$

∴假定成立，计算有效。

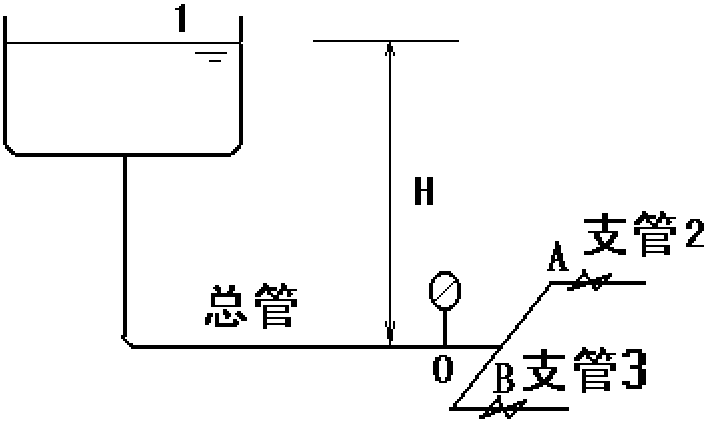
4、综合型计算

- 原有管道改造
- 管路处理能力增加

1.6.3 复杂管路

一、 阻力对管内流动的影响

1、分支管路



阀 A 关小， $\zeta_A\uparrow, u_2\downarrow, \mathscr{P}_0\uparrow, u_0\downarrow$

$\mathscr{P}_{0\text{-}3}\uparrow$， ζ_B不变， $u_3\uparrow$

两种极端情况：

a、支管阻力控制：

总管很粗，$u_0\approx 0$ $\quad \mathscr{P}_1=\mathscr{P}_0$

$$\frac{\mathscr{P}_0-\mathscr{P}_2}{\rho g}=(\zeta_A+1)\frac{u_A^2}{2g}$$

当 $\zeta_A\uparrow\ u_A\downarrow$

$\mathscr{P}_0$ 不变，u_B不变

$$\frac{\mathscr{P}_0-\mathscr{P}_3}{\rho g}=(\zeta_B+1)\frac{u_B^2}{2g}$$

当 $\zeta_B\downarrow\ u_B\uparrow$

$\mathscr{P}_0$ 不变，u_A不变

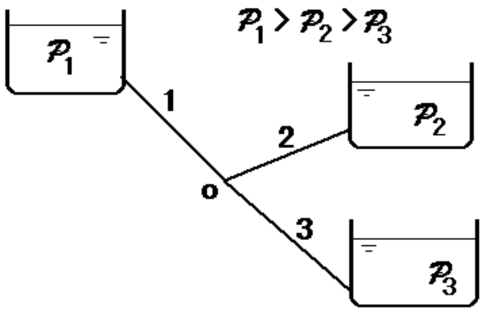
支管相互不干扰—希望如此

b、总管阻力控制

$\mathscr{P}_0=\mathscr{P}_2$或 $\mathscr{P}_3$ $\quad u_0$为定值 $\quad$ 而 $q_{V0}=q_{V2}+q_{V3}$

∴支管间互相干扰

2、分流与合流



已知：$\mathscr{P}_1>\mathscr{P}_2>\mathscr{P}_3$

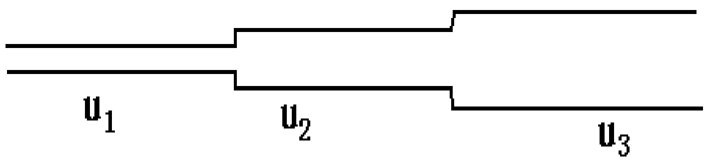
阀门调节作用可变成分流与合流

判断：$\mathscr{P}_0>\mathscr{P}_2$　　分流　　$\mathscr{P}_0<\mathscr{P}_2$　　合流

能否流动比较 $\mathscr{P}$ 大小

二、　复杂管路计算

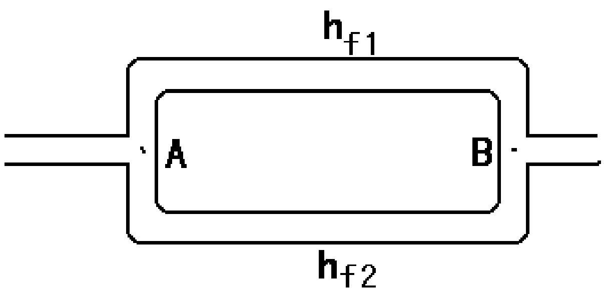
1、串联管路



特点：a、流量相同　　b、阻力叠加

$$h_{fAB}=h_{f1}+h_{f2}+h_{f3}$$

2、并联管路

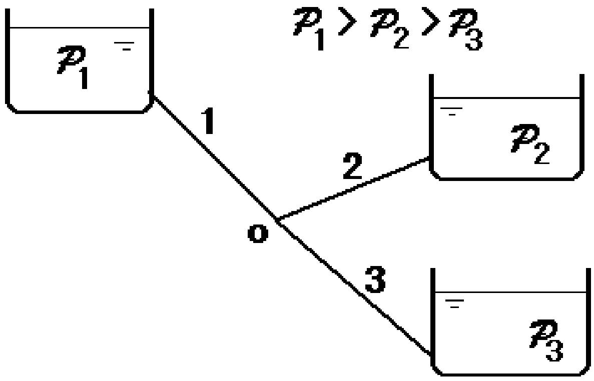


特点：

a、流量叠加　$q_V=q_{V1}+q_{V2}$

b、阻力损失相等　　$h_{fAB}=h_{f1}=h_{f2}$

3、分支汇合管路



如为分支管路（忽略 **0** 点动量交换）

$$\frac{\mathscr{P}_1}{\rho}=\frac{\mathscr{P}_2}{\rho}+h_{f\,1-0}+h_{f\,0-2}$$

$$\frac{\mathscr{P}_1}{\rho}=\frac{\mathscr{P}_3}{\rho}+h_{f\,1-0}+h_{f\,0-3}$$

$q_{V1}=q_{V2}+q_{V3}$

工程上采用两种方法解决交点 **O** 处的能量交换和损失：

a、看成流过管件（三通）的局部阻力损失；

b、若输送管路的其它部分的阻力较大，三通所占比例很小可以忽略，此时可直接跨越交点列机械能守恒式。

已知（习题 **1-34**）：l_{AB}=6m，d_1=41mm，l_{BC}=15m，l_{BD}=24m，$d_2=d_3$=25m，λ=0.03

求：(1) q_{V1}、q_{V2}、q_{V3}

(2) D 阀关闭，q_{V3}'

解：(1) 从 B 点至两管口列柏努利方程

$$\frac{\mathscr{P}_B}{\rho}+\frac{u_B^2}{2}=\frac{\mathscr{P}_2}{\rho}+\frac{u_2^2}{2}+h_{f\,2}$$

$$=\frac{\mathscr{P}_3}{\rho}+\frac{u_3^2}{2}+h_{f3}$$

$$h_{f2}+\frac{u_2^2}{2}=h_{f3}+\frac{u_3^2}{2}$$

即：$(\lambda\frac{l_2}{d_2}+1)\frac{u_2^2}{2}=(\lambda\frac{l_3}{d_3}+1)\frac{u_3^2}{2}$

$$(0.03\times\frac{24}{0.025}+1)u_2^2=(0.03\times\frac{15}{0.025}+1)u_3^2$$

$$\therefore u_2=0.798u_3$$

由质量守恒方程：$q_{V1}=q_{V2}+q_{V3}$

$u_1d_1^2=u_2d_2^2+u_3d_3^2=1.798d_3^2\cdot u_3$

$$\therefore u_1=1.798\times(\frac{0.025}{0.041})^2u_3=0.669u_3$$

$$u_3=1.50u_1$$

由槽内液面至 C 阀出口处截面列柏努利方程：

$$Hg=\lambda\frac{l_1}{d_1}\cdot\frac{u_1^2}{2}+\lambda\frac{l_3}{d_3}\cdot\frac{u_3^2}{2}+\frac{u_3^2}{2}$$

$$\therefore 10\times 9.81=0.03\times\frac{6}{0.041}\cdot\frac{u_1^2}{2}+0.03\times\frac{15}{0.025}\times\frac{1}{2}\times(1.50u_1)^2+\frac{1}{2}(1.50u_1)^2$$

$$=23.6u_1^2$$

$$\therefore u_1=2.04(m/s)$$

$$u_3=1.5\times 2.04=3.06(m/s)$$

$$u_2=0.798\times 3.06=2.44(m/s)$$

因而有：

$$q_{V1}=\frac{1}{4}\pi d_1^2\times u_1=0.785\times0.041^2\times2.04$$

$$=2.69\times10^{-3}(m^3/s)=9.70(m^3/h)$$

$$q_{V2}=\frac{1}{4}\pi d_2^2\times u_2=0.785\times0.025^2\times2.44$$

$$=1.20\times10^{-3}(m^3/s)=4.31(m^3/h)$$

$$q_{V3}=q_{V1}-q_{V2}=9.70-4.31=5.39(m^3/h)$$

（2）D 阀关闭时：

质量守恒方程：$q_{V1}{}'=q_{V3}{}'$

$$u_1{}'\cdot d_1^2=u_3{}'\cdot d_3^2\quad ,u_3{}'=(\frac{0.041}{0.025})^2u_1{}'=2.69u_1{}'$$

由槽内液面至 C 阀出口处截面列柏努利方程：

$$Hg=\lambda\frac{l_1}{d_1}\cdot\frac{u_1^2}{2}+\lambda\frac{l_3}{d_3}\cdot\frac{u_3^2}{2}+\frac{u_3^2}{2}$$

$$\therefore 10\times9.81=0.03\times\frac{6}{0.041}\times\frac{u_1^2}{2}+0.03\times\frac{15}{0.025}\times\frac{1}{2}\times(2.69u_1)^2+\frac{1}{2}(2.69u_1)^2$$

$$=70.94u_1^2$$

$$\therefore u_1=1.18(m/s)$$

$$q_{V3}{}'=q_{V1}{}'=\frac{1}{4}\pi d_1^2\cdot u_1=0.785\times0.041^2\times1.18$$

$$=1.55\times10^{-3}(m^3/s)=5.59(m^3/h)$$