

1.5 阻力损失

1.5.1 两种阻力损失

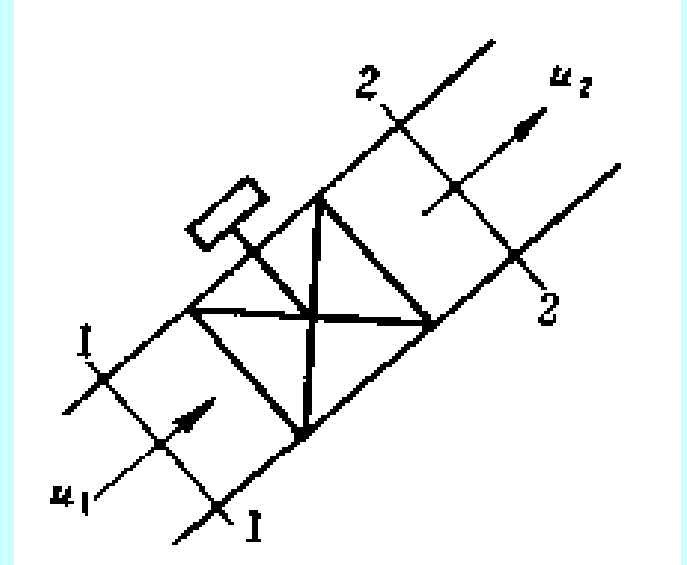
一、阻力损失表现为流体势能的降低

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + h_f$$

$$\therefore h_f = \frac{P_1 - P_2}{\rho}$$

若为水平管路 $h_f = \frac{p_1 - p_2}{\rho}$

对于通常管路,无论直管阻力或局部阻力,不论层流或湍流,阻力损失均表现为流体势能降低



二、直管阻力和局部阻力

化工管路:直管和管件

直管阻力:粘性流体因 τ 造成的机械能耗损

局部阻力:流道突然变化引起边界层分离, 产生大量旋涡造成的机械能耗损

三、层流时的直管阻力损失

$$\bar{u} = \frac{1}{2} u_{\max} = \frac{1}{2} \frac{\Delta P R^2}{4\mu l}, \quad \Delta P = \frac{32\mu l u}{d^2}$$

层流时的直管阻力损失:

$$h_f = \frac{32\mu l u}{\rho d^2}$$

1.5.2 湍流时直管阻力损失的实验研究方法

(1)析因实验：寻找影响过程的主要因素

流体性质： ρ, μ

几何尺寸： d, l, ε

流动条件： u

$$h_f = f(d, l, u, \rho, \mu, \varepsilon)$$

(2)规划实验：减少实验工作量

量纲分析法可大幅度地减少实验次数

量纲分析法的基础：任何物理方程的每一项均具有相同的量纲，所以任何物理方程都可以转化成无量纲形式

以层流为例：

$$\left(\frac{h_f}{u^2}\right) = 32 \left(\frac{l}{d}\right) \left(\frac{\mu}{du\rho}\right)$$

推测湍流时 $h_f = f(d, l, u, \rho, \mu, \varepsilon)$ 可写成

$$\left(\frac{h_f}{u^2}\right) = \varphi\left(\frac{du\rho}{\mu}, \frac{l}{d}, \frac{\varepsilon}{d}\right)$$

这样自变量由6减为3，实验次数大大减少
尤其重要的是可以做到：由此即彼，由小见大

(3)处理数据、正确表达实验结果

根据经验： $h_f \propto l$

$$\left(\frac{h_f}{u^2}\right) = \frac{l}{d} \cdot \varphi\left(\text{Re}, \frac{\varepsilon}{d}\right)$$

函数 $\varphi\left(\text{Re}, \frac{\varepsilon}{d}\right)$ 的具体形式可按实验结果用图

线或方程表达

1.5.3直管阻力损失的计算式

一、统一的表达方式

无论层流还是湍流，阻力损失均可以写成如下的统一形式：

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2}$$

二、摩擦系数

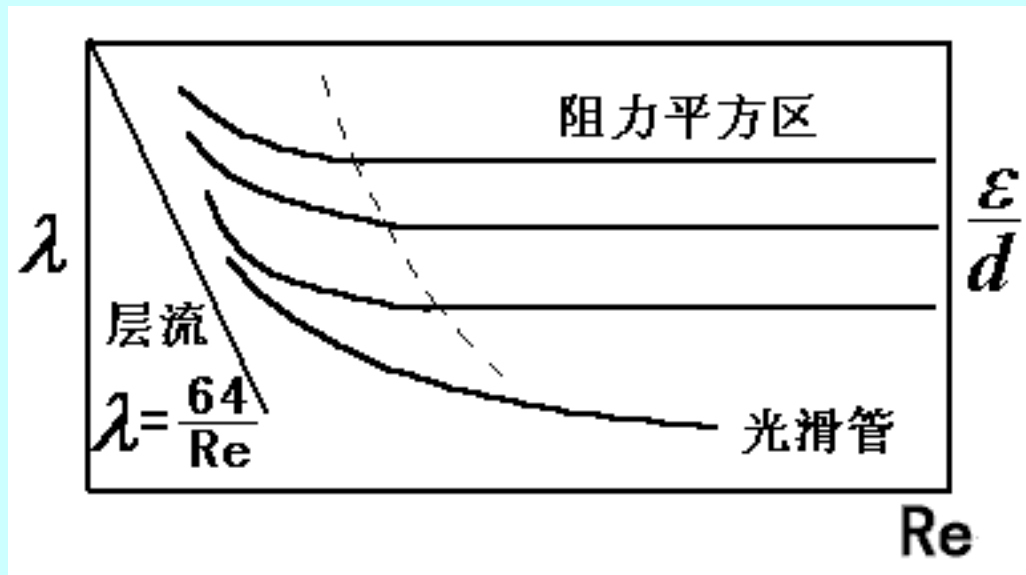
层流时，根据理论推导

$$\lambda = 64/\text{Re}$$

湍流时，研究表明：

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.74 - 2 \lg \left(\frac{2\varepsilon}{d} + \frac{18.7}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right)$$

将以上两式制成图线，称Moody图



(1)层流区: $\lambda = f(\text{Re})$, 与 ε/d 无关。

$$\text{Re} \quad , \lambda \downarrow , h_f \propto u$$

(2)过渡区: λ 按湍流计算

(3)湍流区: $\lambda = f(\text{Re}, \varepsilon/d)$

(4)高度湍流区（阻力平方区）：

$$\lambda = f(\varepsilon/d), \text{ 与 } Re \text{ 无关}$$

此时 $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.74 - 2 \log\left(\frac{2\varepsilon}{d}\right)$, $h_f \propto u^2$

三、粗糙度对 λ 的影响

层流时, $\lambda = f(Re)$, 与 ε/d 无关

湍流时, ε/d , λ

四、实际管的当量粗糙度

由实验获得实际管的 λ 曲线, 然后在Moody图上反推出 ε 值

五、非圆形管的当量直径

$$d_e = \frac{4 \times \text{管道截面积}}{\text{浸润周边}} = \frac{4A}{\Pi}$$

这里 d_e 仅适用于计算 h_f 和 Re

1.5.4 局部阻力损失

一、局部阻力系数法 $h_f = \zeta \frac{u^2}{2}$

二、当量长度法 $h_f = \lambda \frac{l_e}{d} \frac{u^2}{2}$

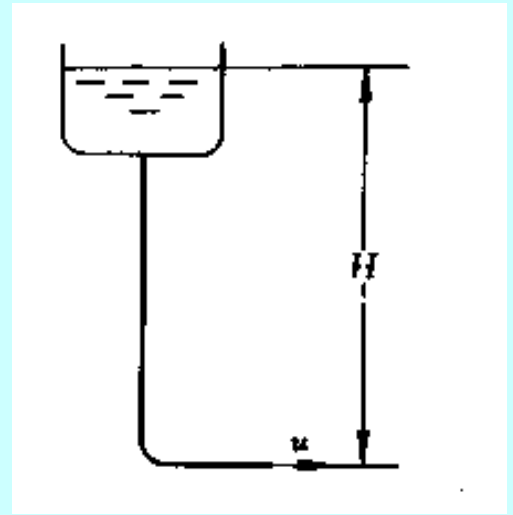
注意：（1）两种方法并不一致，都有近似
（2）计算所取速度要看图表规定

例题（课本P62，习题31）

本题系非定态流动问题

对水槽作质量衡算：

$$-AdH = \frac{\pi}{4}d^2u dt$$



因为 $D \gg d$ 液面下降缓慢，可近似作为定态处理，称拟定态。

$$\frac{p_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + h_f$$

$$Hg = h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2} = 0.431u^2$$

代入质量衡算式:

$$\begin{aligned} -AdH &= \frac{\pi}{4} d^2 u dt \\ &= \sqrt{\frac{Hg}{0.431}} \times \frac{\pi}{4} \times 0.026^2 \times dt \end{aligned}$$

$$t = 1989s = 0.55hr$$

1.6 管路计算

1.6.1 阻力对管内流动的影响

一、简单管路

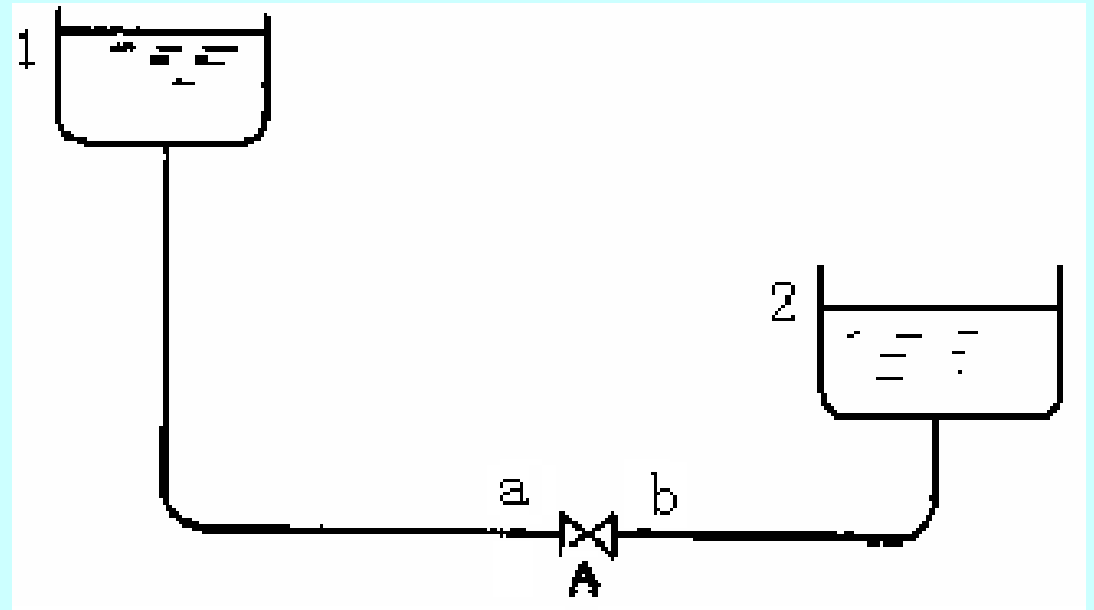
若 ζ_A , h_{f1-2} 如何变化?

$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_2}{\rho} + h_{f1-2}$$

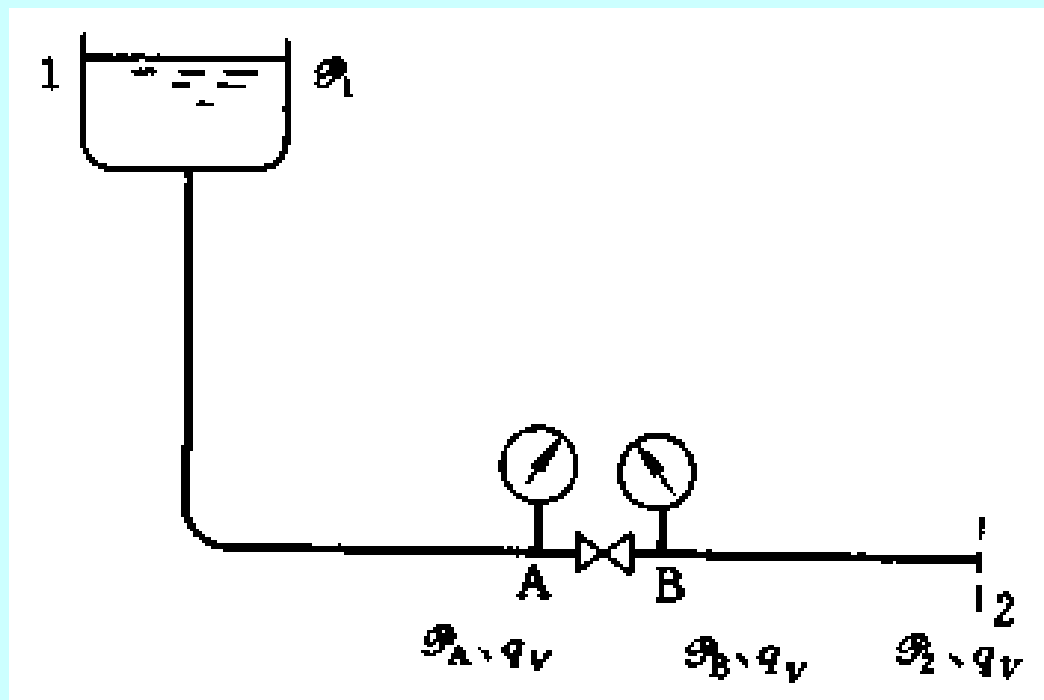
$$h_{f1-2} = \frac{P_1 - P_2}{\rho}$$

P_1, P_2 一定,

h_{f1-2} 一定, 并不因阀门关小而上升



讨论：阀门由全开到半开，管路中 q_V, p_A, p_B 如何变化？



$$h_{f1-2} = \frac{P_1 - P_2}{\rho} = \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{u^2}{2}$$

$$\sum \zeta \quad u \downarrow \quad q_V \downarrow$$

$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_A}{\rho} + \frac{u^2}{2} + h_{f1-A}$$

$$\frac{P_1 - P_A}{\rho} = \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right)_{1-A} \frac{u^2}{2} + \frac{u^2}{2}$$

$$= \left[\left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right)_{1-A} + 1 \right] \frac{u^2}{2}$$

$$\left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right)_{1-A} \rightarrow, u \downarrow, P_1 - P_A \downarrow, P_A \uparrow, P_A$$

$$\frac{P_B}{\rho} + \frac{u^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + h_{fB-2}$$

$$\frac{P_B - P_2}{\rho} = \frac{u^2}{2} \left(\left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right)_{B-2} - 1 \right)$$

$$\left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right)_{B-2} \rightarrow, u \downarrow, P_B - P_2 \downarrow, P_B \downarrow, \rho_B \downarrow$$

$$h_{fA-B} = \zeta \frac{u^2}{2}$$

$$\frac{P_A}{\rho} = \frac{P_B}{\rho} + h_{fA-B} \quad h_{fA-B} = \frac{P_A - P_B}{\rho}$$

$$P_A \quad , \quad P_B \downarrow , \quad h_{fA-B}$$

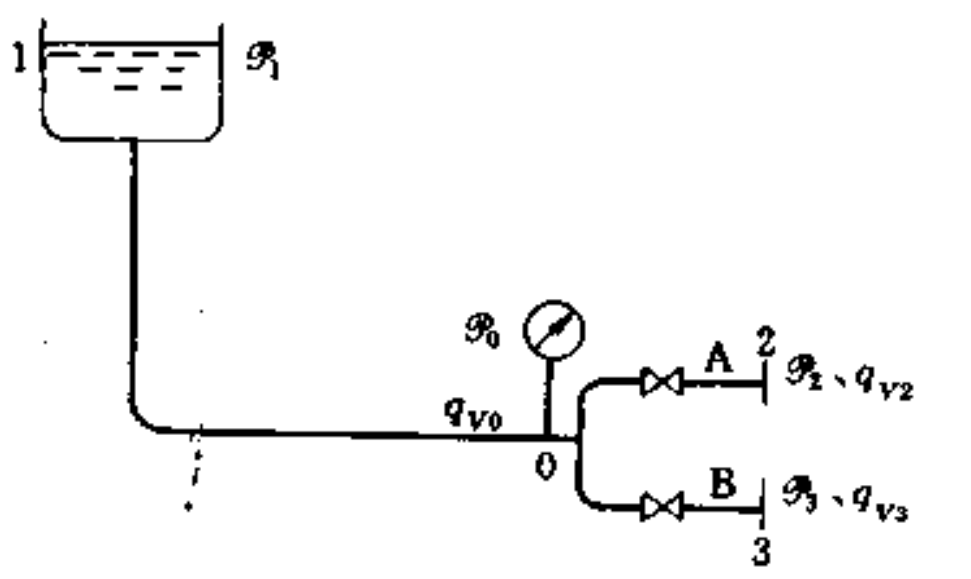
结论（课本P35）

二、分支管路

现将阀门A关小，

q_{V1} , q_{V3} 如何变化？

考察0-2截面：



ζ , h_{f0-2} , $u_2 \downarrow$, $q_{V2} \downarrow$, P_0

考察0-3截面: P_0 , $P_3 \rightarrow$, h_{f0-3} , u_3 , q_{V3}

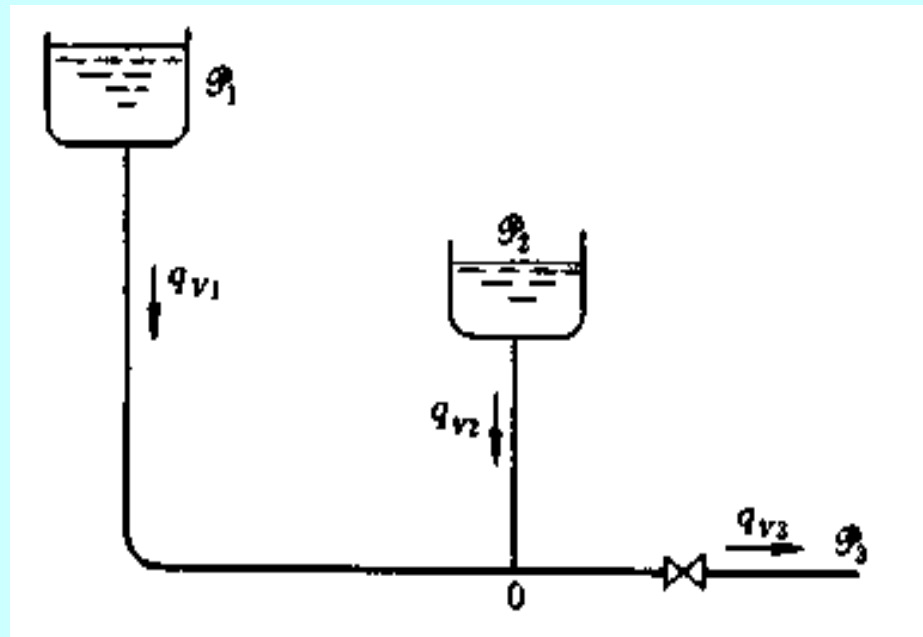
考察1-0截面: P_0 , $P_1 \rightarrow$, $h_{f1-0} \downarrow$, $u_1 \downarrow$, $q_{V1} \downarrow$

结论 (课本P36)

三、汇合管路

现将阀门A关小，

$$q_{V3} \downarrow \quad h_{f0-3} \quad P_0$$
$$P_0 \quad h_{f1-0} \downarrow \quad h_{f2-0} \downarrow$$
$$q_{V1} \downarrow \quad q_{V2} \downarrow$$



但因 $P_2 < P_1$ ，所以 q_{V2} 下降得更快。

当阀门关小至一定程度， $P_0 = P_2$ ，此时

$q_{V2} = 0$ ，成为简单管路

继续关小阀门，则作反向流动，成为分支管路

1.6.2 管路计算

一、简单管路的数学描述

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

$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{u^2}{2} \left(\sum \xi + \lambda \frac{l}{d} \right)$$

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

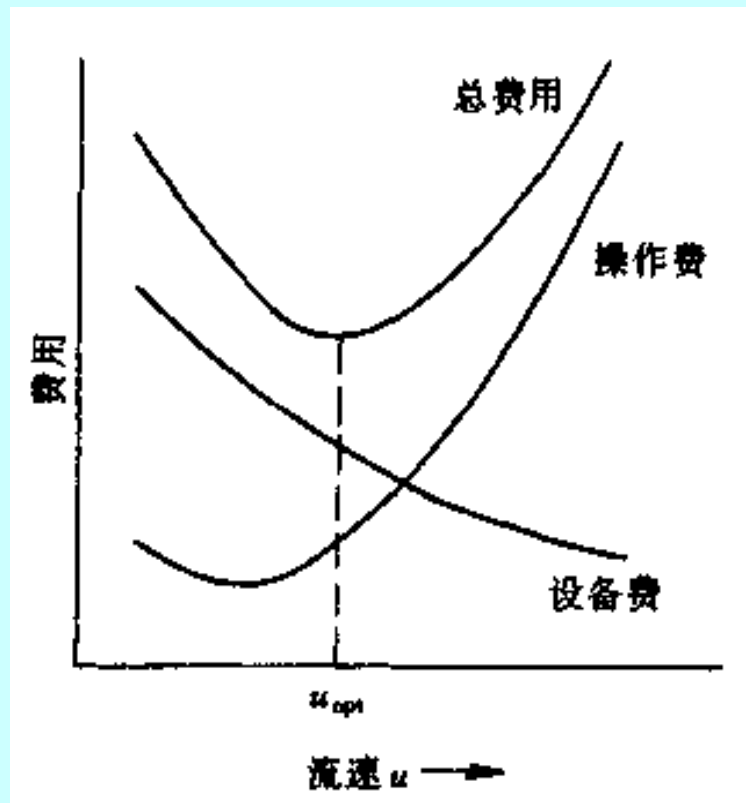
二、简单管路的设计型计算

命题特点：管路尚未存在时给定输送任务，
要求设计经济上合理的管路

计算特点：方程无唯一解，
需要多方案对比，
选择最优化设计

选择原则：技术可行，
经济合理

计算方法：选择流速，
求其余参数



三、简单管路的操作型计算

命题特点：管路已定，要求核算在给定条件下管路的输送能力或某项技术指标

计算特点：方程为复杂的非线性方程，需试差，但方程有唯一解

计算方法：选择 λ 为试差对象

(工业上一般为0.02~0.04)

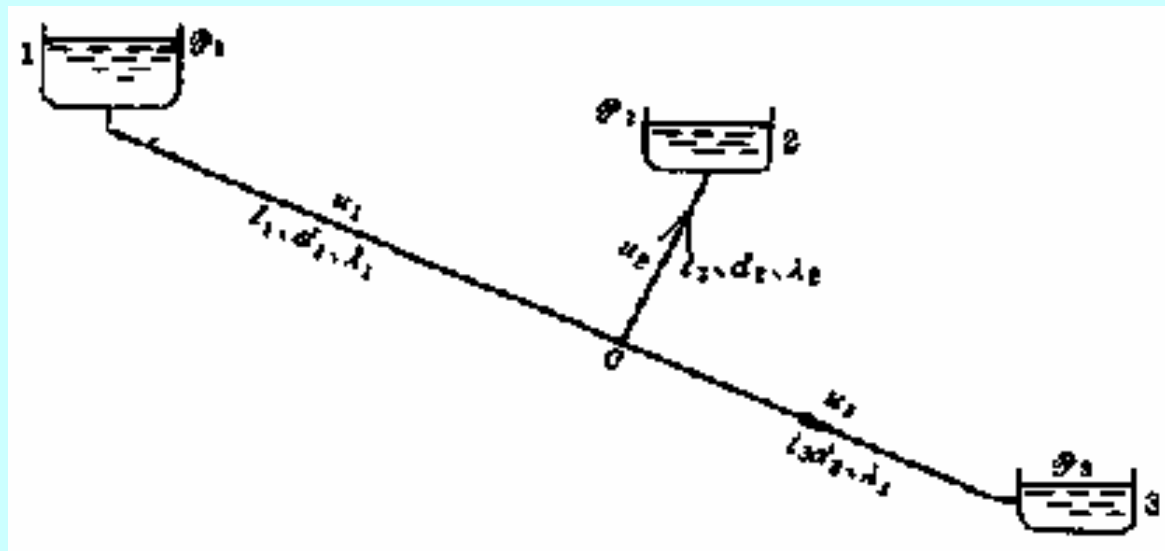
当 μ 较大时，设 $\lambda = 64/\text{Re}$

当 μ 较小时，设 $\lambda = f(\varepsilon/d)$

四、分支与汇合管路的计算

1) 特点:

2) 计算方法:
忽略0点的
能量变化



$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_2}{\rho} + \underbrace{\left(\lambda \frac{l}{d} \right)_1 \frac{u_1^2}{2}}_{\text{总管阻力}} + \underbrace{\left(\lambda \frac{l}{d} \right)_2 \frac{u_2^2}{2}}_{\text{支管阻力}}$$

$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_3}{\rho} + \underbrace{\left(\lambda \frac{l}{d} \right)_1 \frac{u_1^2}{2}}_{\text{总管阻力}} + \underbrace{\left(\lambda \frac{l}{d} \right)_3 \frac{u_3^2}{2}}_{\text{支管阻力}}$$

$$u_1 \frac{\pi}{4} d_1^2 = u_2 \frac{\pi}{4} d_2^2 + u_3 \frac{\pi}{4} d_3^2$$

注意： h_f 不要重复计算

3) 分支管路的两种极端情况

总管阻力控制：支管阻力可略去，总管流量为一定值，几乎与各支管阀门的调节无关

支管阻力控制：总管阻力可略去，此时各支管流量与另一支管的情况几乎无关

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/457104106065010003>