1.2 流体动力学

1.2 流体动力学

1.2.1 流体的流量与流速

一、流量

1. 体积流量

单位时间内流经管道任意截面的流体体积。

V_S——m^3/s或m^3/h

2. 质量流量

单位时间内流经管道任意截面的流体质量。

m_S——kg/s或kg/h。

二者关系：$\boldsymbol{m_s = V_s \rho}$

返回

二、流速

1. 流速（平均流速）

单位时间内流体质点在流动方向上所流经的距离。

$$u = \frac{V_s}{A} \qquad \text{m/s}$$

2. 质量流速

单位时间内流经管道单位截面积的流体质量。

$$G = \frac{m_s}{A} = \frac{V_s \rho}{A} = u\rho \qquad \text{kg/（m}^2\text{·s）}$$

流量与流速的关系： $m_s = V_s \rho = uA\rho = GA$

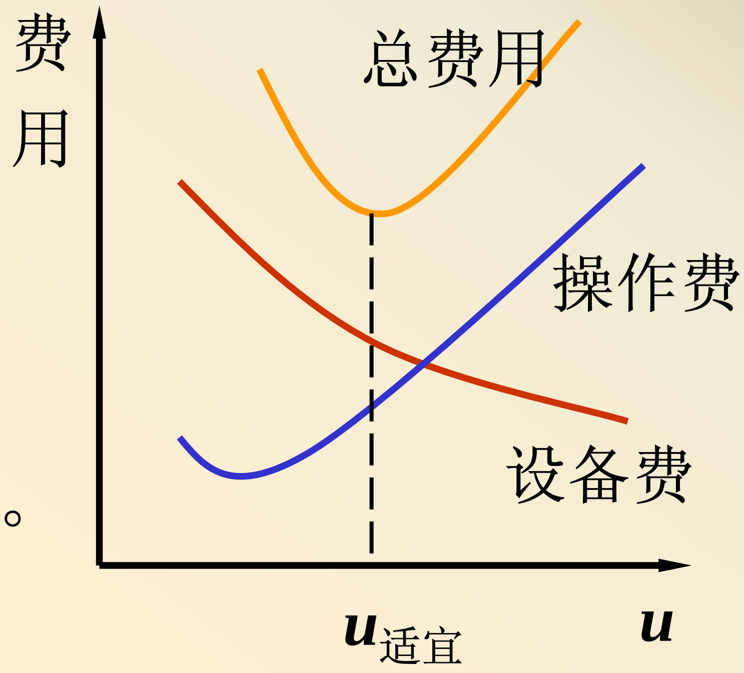
返回

三、管径的估算

对于圆形管道：

$$d = \sqrt{\frac{4V_s}{\pi u}}$$

流量V_S一般由生产任务决定。



流速选择：

$u \uparrow \rightarrow d \downarrow \rightarrow$ 设备费用 $\downarrow$

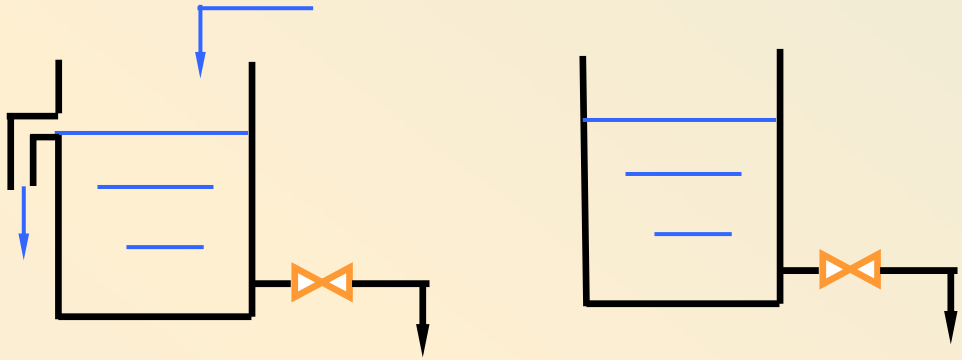
$\rightarrow$ 流动阻力 $\uparrow \rightarrow$ 动力消耗 $\uparrow \rightarrow$ 操作费 $\uparrow$

$\}$ 均衡考虑

常用流体适宜流速范围：

水及一般液体	1~3 m/s
粘度较大的液体	0.5~1 m/s
低压气体	8~15 m/s
压力较高的气体	15～25 m/s

1.2.2　定态流动与非定态流动



定态流动：各截面上的温度、压力、流速等物理量仅随位置变化，而不随时间变化；

$$T, p, u = f(x, y, z)$$

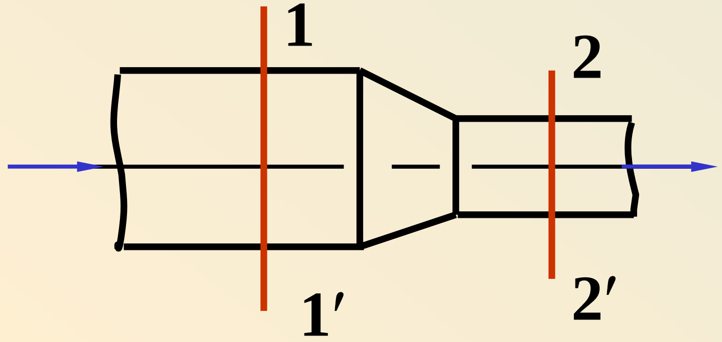
非定态流动：流体在各截面上的有关物理量既随位置变化，也随时间变化。

$$T, p, u = f(x, y, z, \theta)$$

返回

1.2.3 定态流动系统的质量守恒——连续性方程

对于定态流动系统，在管路中流体没有增加和漏失的情况下：



$$m_{s1} = m_{s2}$$

$$\rho_1 u_1 A_1 = \rho_2 u_2 A_2$$

推广至任意截面

$$m_s = \rho_1 u_1 A_1 = \rho_2 u_2 A_2 = \cdots = \rho u A = \text{常数}$$

——连续性方程

返回

不可压缩性流体，$\rho = Const.$

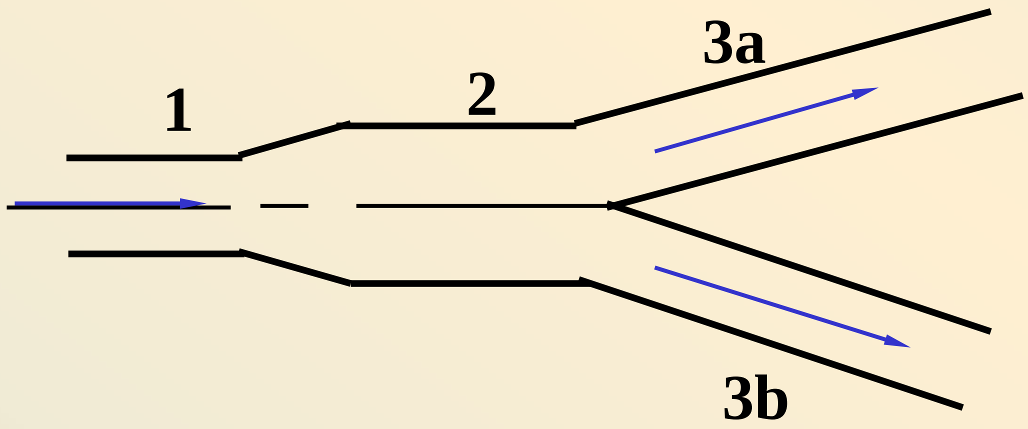
$$V_s = u_1 A_1 = u_2 A_2 = \cdots = uA = \text{常数}$$

圆形管道：

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$

即不可压缩流体在管路中任意截面的流速与管内径的平方成反比。

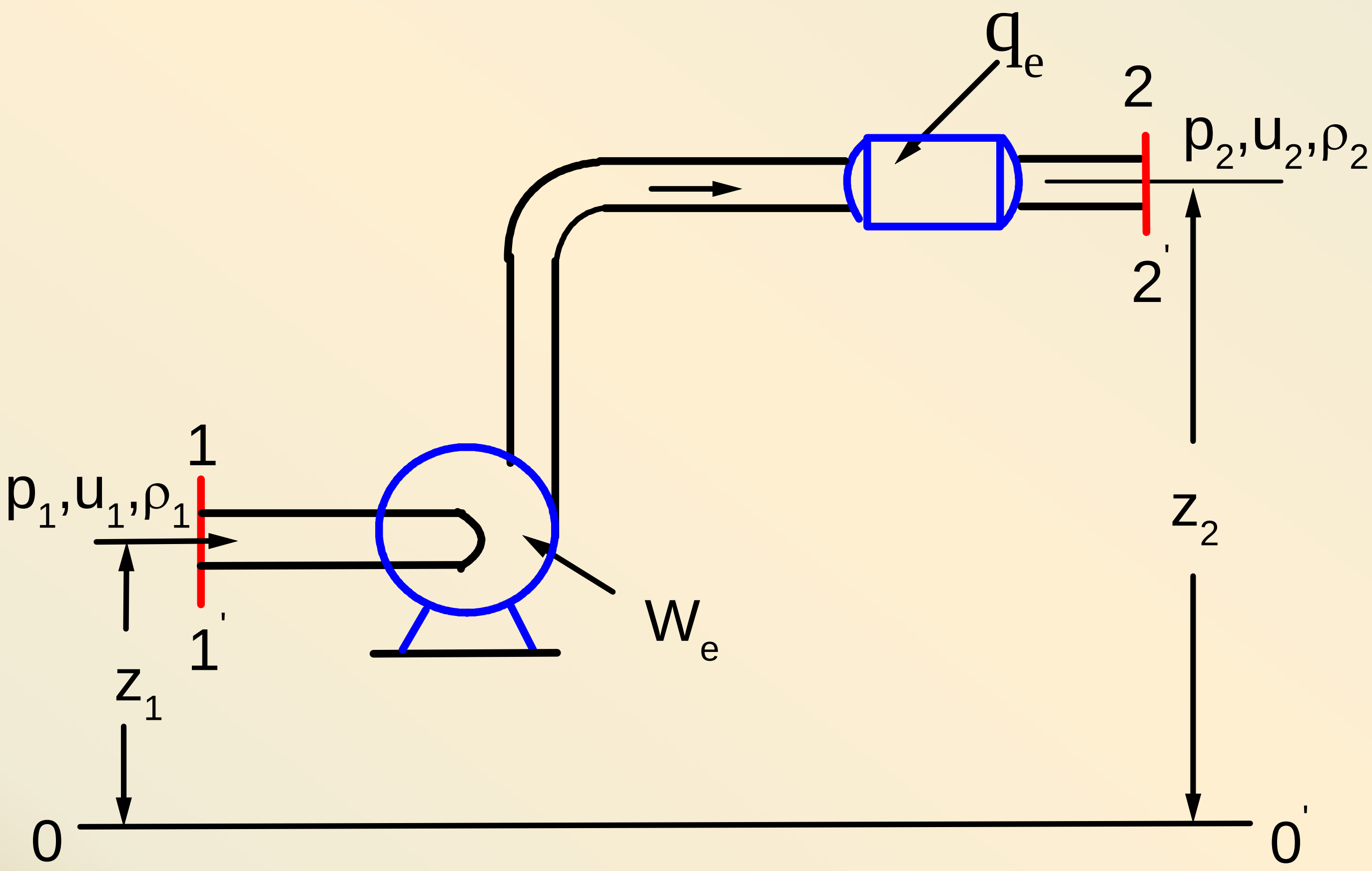
例1-3　　如附图所示，管路由一段Φ89×4mm的管1、一段Φ108×4mm的管2和两段Φ57×3.5mm的分支管3a及3b连接而成。若水以9×10^{-3}m/s的体积流量流动，且在两段分支管内的流量相等，试求水在各段管内的速度。



返回

1.2.4 定态流动系统的能量守恒——柏努利方程

一、总能量衡算



衡算范围：1-1′、2-2′截面以及管内壁所围成的空间

衡算基准：1kg流体

基准面：0-0′水平面

（1）内能

贮存于物质内部的能量。

1kg流体具有的内能为U（J/kg）。

（2）位能

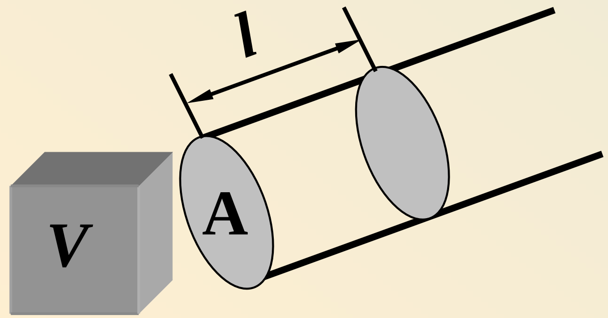
流体受重力作用在不同高度所具有的能量。

1kg的流体所具有的位能为zg（J/kg）。

（3）动能

1kg的流体所具有的动能为 $\frac{1}{2}u^2$ (J/kg)

（4）静压能



静压能= $Fl = pA\frac{V}{A} = pV$

1kg的流体所具有的静压能为 $\frac{pV}{m} = \frac{p}{\rho}$ (J/kg)

（5）热

设换热器向1kg流体提供的热量为 q_e (J/kg)。

（6）外功(有效功)

1 kg流体从流体输送机械所获得的能量为W_e (J/kg)。

$$U_1 + z_1 g + \frac{1}{2}u_1^2 + \frac{p_1}{\rho_1} + W_e + q_e = U_2 + z_2 g + \frac{1}{2}u_2^2 + \frac{p_2}{\rho_2}$$

$$W_e + q_e = \Delta U + \Delta z g + \frac{1}{2}\Delta u^2 + \Delta\frac{p}{\rho}$$

以上能量形式可分为两类：

- 机械能：位能、动能、静压能及外功，可用于输送流体；
- 内能与热：不能直接转变为输送流体的能量。

2．实际流体的机械能衡算

(1) 以单位质量流体为基准

假设　流体不可压缩，　　　则 $\rho_1 = \rho_2$

　　　流动系统无热交换，则 $q_e = 0$

　　　流体温度不变，　　　则 $U_1 = U_2$

并且实际流体流动时有能量损失。

设1kg流体损失的能量为ΣW_f（J/kg），有：

$$z_1 g + \frac{1}{2}u_1^{\ 2} + \frac{p_1}{\rho} + W_e = z_2 g + \frac{1}{2}u_2^{\ 2} + \frac{p_2}{\rho} + \Sigma W_f \qquad (1)$$

式中各项单位为J/kg。

（2）以单位重量流体为基准

将(1)式各项同除重力加速度g :

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

令 $H_e=\dfrac{W_e}{g}$　　$\Sigma h_f=\dfrac{\Sigma W_f}{g}$

则 $$z_1+\frac{1}{2g}u_1^{\ 2}+\frac{p_1}{\rho g}+H_e=z_2+\frac{1}{2g}u_2^{\ 2}+\frac{p_2}{\rho g}+\Sigma h_f \qquad （2）$$

式中各项单位为 $\dfrac{J/kg}{N/kg}=J/N=m$

返回

$$\left.\begin{array}{l} z\text{——位压头} \\ \dfrac{u^2}{2g}\text{——动压头} \\ \dfrac{p}{\rho g}\text{——静压头} \end{array}\right\}\text{总压头}$$

H_e——外加压头或有效压头。

Σh_f——压头损失

返回

（3）以单位体积流体为基准

将(1)式各项同乘以ρ ：

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

$$z_1\rho g+\frac{1}{2}\rho u_1{}^2+p_1+W_e\rho=z_2\rho g+\frac{1}{2}\rho u_2{}^2+p_2+\Delta p_f \qquad （3）$$

式中各项单位为 $J/kg \cdot kg/m^3 = J/m^3 = Pa$

Δp_f ——压力损失

返回

3. 理想流体的机械能衡算

理想流体是指流动中没有摩擦阻力的流体。

$$z_1 g+\frac{1}{2}u_1{}^2+\frac{p_1}{\rho}=z_2 g+\frac{1}{2}u_2{}^2+\frac{p_2}{\rho} \qquad (4)$$

$$z_1+\frac{1}{2g}u_1{}^2+\frac{p_1}{\rho g}=z_2+\frac{1}{2g}u_2{}^2+\frac{p_2}{\rho g} \qquad (5)$$

——柏努利方程式

4. 柏努利方程的讨论

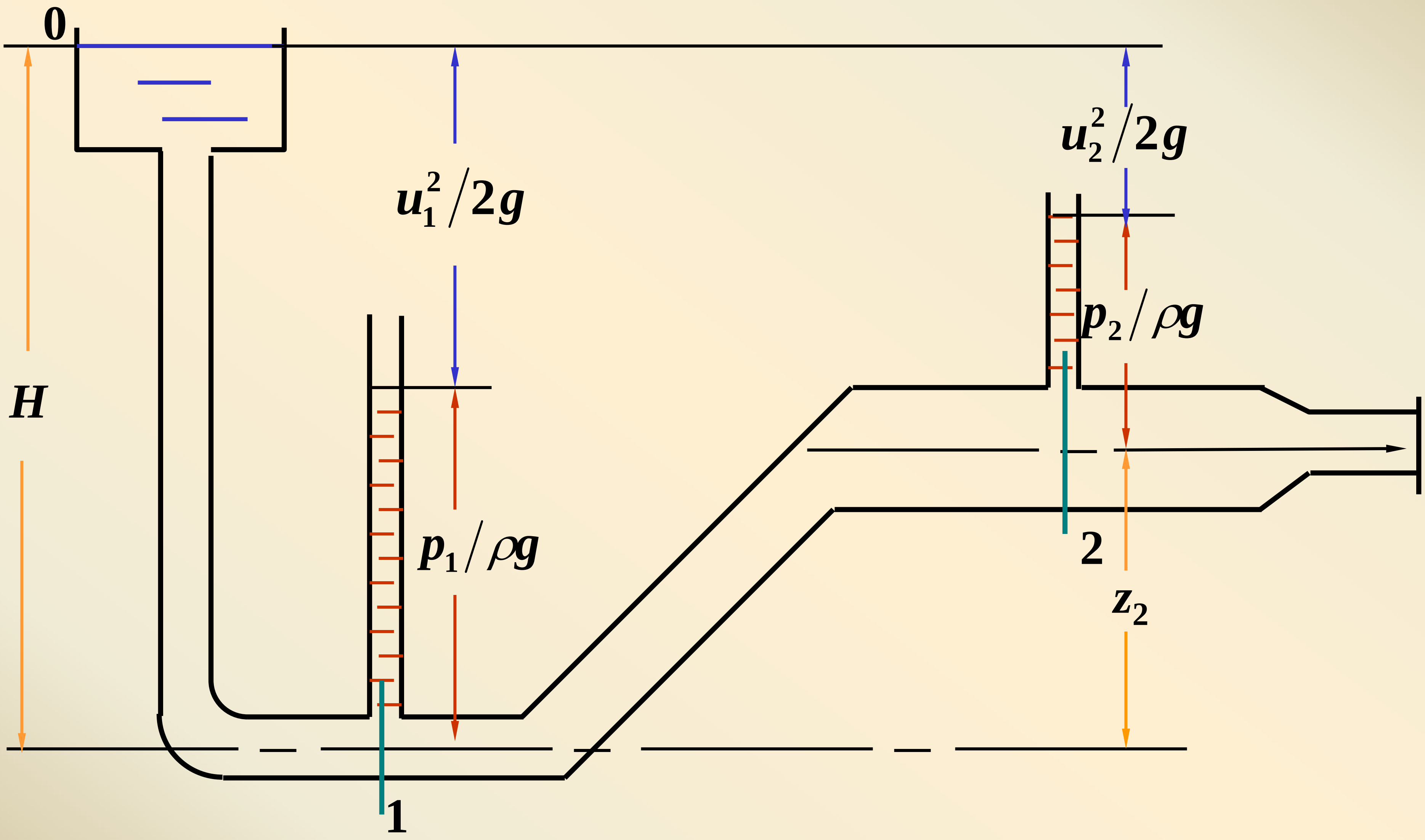
（1）若流体处于静止，u=0，$\Sigma W_f=0$，$W_e=0$，则柏努利方程变为

$$z_1 g+\frac{p_1}{\rho}=z_2 g+\frac{p_2}{\rho}$$

说明柏努利方程即表示流体的运动规律，也表示流体静止状态的规律 。

（2）理想流体在流动过程中任意截面上总机械能、总压头为常数，即

$$zg+\frac{1}{2}u^2+\frac{p}{\rho}=Const. \qquad z+\frac{1}{2g}u^2+\frac{p}{\rho g}=Const.$$


0
H
$u_1^2/2g$
$p_1/\rho g$
1
$u_2^2/2g$
$p_2/\rho g$
2
z_2

（3）zg、$\dfrac{p}{\rho}$、$\dfrac{1}{2}u^2$ ——某截面上单位质量流体所具有的位能、动能和静压能；

W_e、ΣW_f ——在两截面间单位质量流体获得或消耗的能量。

有效功率： $N_e = m_s W_e$

轴功率： $N = \dfrac{N_e}{\eta}$

返回

（4）柏努利方程式适用于不可压缩性流体。

对于可压缩性流体，当 $\dfrac{p_1 - p_2}{p_1} < 20\%$ 时，仍可用该方程计算，但式中的密度ρ应以两截面的平均密度ρ_m代替。

返回

4. 柏努利方程的应用

利用柏努利方程与连续性方程，可以确定：

- 管内流体的流量；
- 输送设备的功率；
- 管路中流体的压力；
- 容器间的相对位置等。

（1）根据题意画出流动系统的示意图，标明流体的流动方向，定出上、下游截面，明确流动系统的衡算范围；

（2）位能基准面的选取

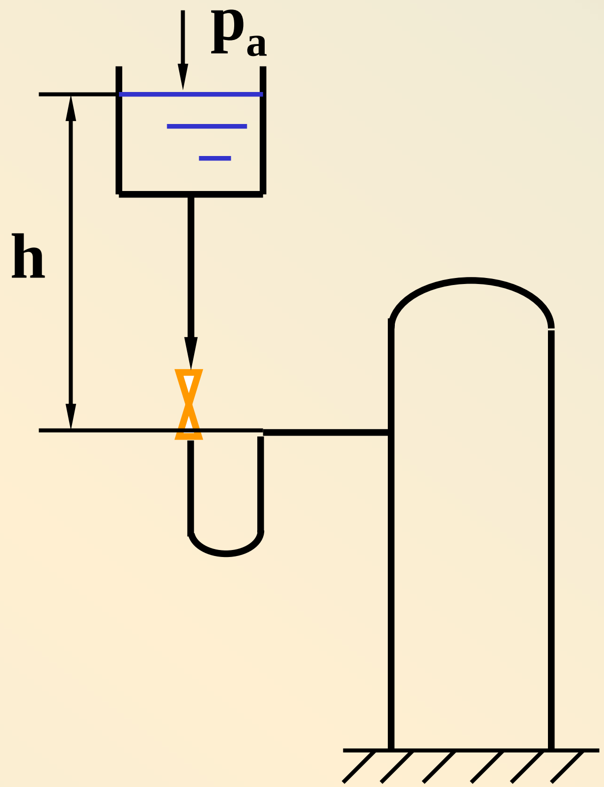
- 必须与地面平行；
- 宜于选取两截面中位置较低的截面；
- 若截面不是水平面，而是垂直于地面，则基准面应选过管中心线的水平面。

（3）截面的选取

- 与流体的流动方向相垂直；
- 两截面间流体应是定态连续流动；
- 截面宜选在已知量多、计算方便处。

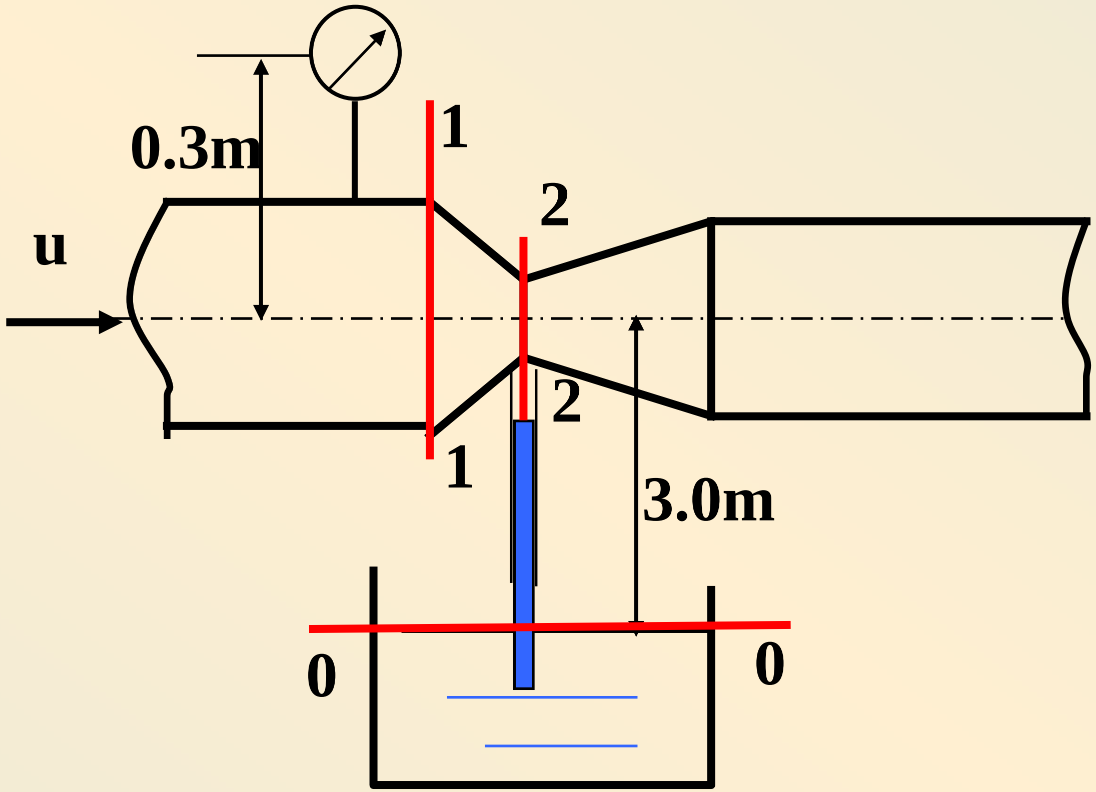
（4）各物理量的单位应保持一致，压力表示方法也应一致，即同为绝压或同为表压。

例1-4 如附图所示，从高位槽向塔内进料，高位槽中液位恒定，高位槽和塔内的压力均为大气压。送液管为 $\phi 45\times 2.5$mm的钢管，要求送液量为3.6m^3/h。设料液在管内的压头损失为1.2m（不包括出口能量损失），试问高位槽的液位要高出进料口多少米？



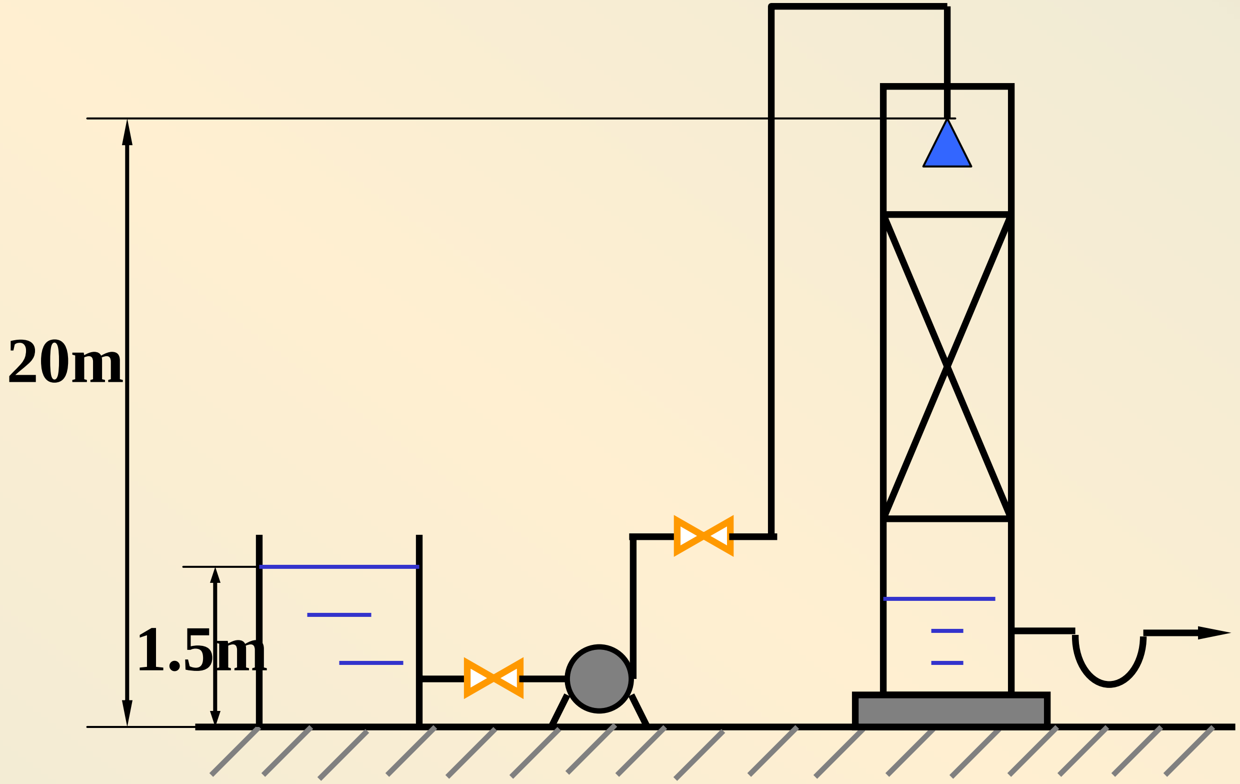
返回

例1-5 在φ45×3mm的管路上装一文丘里管，文丘里管的上游接一压力表，其读数为5kPa，压力表轴心与管中心的垂直距离为0.3m，管内水的流速为1.5m/s，文丘里管的喉径为10mm。文丘里喉部接一内径为15mm的玻璃管，玻璃管的下端插入水池中，池内水面到管中心的垂直距离为3m。若将水视为理想流体，试判断池中水能否被吸入管中。若能吸入，再求每小时吸入的水量为多少m^3/h。



0.3m
1
2
u
2
1
3.0m
0
0

例1-6　某化工厂用泵将敞口碱液池中的碱液（密度为1100kg/m^3）输送至吸收塔顶，经喷嘴喷出，如附图所示。泵的入口管为ϕ108×4mm的钢管，管中的流速为1.2m/s，出口管为ϕ76×3mm的钢管。贮液池中碱液的深度为1.5m，池底至塔顶喷嘴入口处的垂直距离为20m。碱液流经所有管路的能量损失为30.8J/kg（不包括喷嘴），在喷嘴入口处的压力为29.4kPa（表压）。设泵的效率为60%，试求泵所需的功率。


20m
1.5m