



普通高等教育“十二五”规划教材

化工原理 考研真题及习题精解

郭晓艳 段红玲 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十二五”规划教材

化工原理考研真题及习题精解

郭晓艳 段红玲 主编

中国石化出版社

《化工原理考研真题及习题精解》

编 委 会

主 编 郭晓艳 段红玲

编写人员 王兰娟 史德青 刘 相 李 军

马占华 孙兰义

前 言

化工原理是高等院校化工类及相关专业所必修的主干课程。化工原理由于其内容丰富，理论与实践联系紧密，往往使学习者感到困惑，对此最为行之有效的方法就是多做习题。好的化工原理习题集对学生科学思维方法的培养和理解能力的提高都大有裨益。因此，为适应新时期教学内容的变动，更为有效地培养学生的创新意识和提高学习兴趣，我们在充分调查研究的基础上，组织编写了《化工原理考研真题及习题精解》。

本书共由八章组成，包括流体流动、流体输送机械、非均相物系的分离、传热、精馏、吸收、萃取、干燥和蒸发。在内容的选择上，本书注重保留经典，精选具有代表性历届考研题和习题，不片面追求习题的数量，而力求习题能够切中关键知识点，使学生通过对习题的解答而对课本的基本概念、基本原理有更深刻的认识和记忆，或起到温故而知新之用，或起到使人茅塞顿开之用。对于难度较大的题目，即涉及知识点相对较多且需要学生融会贯通的试题，编者试图用通俗易懂的语言进行深入的解析，以使學生能够明晰试题涉及的知识点，引导学生举一反三，达到高效训练目的。此外，本书还设置了一些操作型题目，以锻炼学生的独立分析能力，培养学生的创新思维，将理论与实际密切联系起来，所学即为所用，全面提升学生的实际工作能力。

本书由中国石油大学(华东)化工学院的老师们精心编写而成。书中许多习题资料是长期活跃在教学第一线、从事教学工作的优秀教师不断积累、不断创新的结晶，并第一次从讲义转化为正式出版物。本书还筛选了部分国内化工高校近年来的部分考研试题，以期拓展学生视野，并在尽量短的时间内掌握更多的内容。

本书可作为高等院校本专科学生学习化工原理课程的辅导用书，对于备考有关化工原理方面的研究生入学考试有很强的指导意义，同时对化工企业技术

人员复习、查阅化工原理基本知识将起积极作用。

本书编写过程中参考了大量相关院校考研试题，中国石油大学(华东)化工学院教研组的其他人员参与了试题的收集和整理工作，以及部分章节的编写和修订工作，在此表示衷心的感谢。

本书是首次汇编成册，限于作者的水平 and 经验，难免有错误和不足之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

1 流体流动	(1)
1.1 教学基本要求	(1)
1.2 知识要点	(1)
1.3 典型考题解析	(9)
1.4 典型操作型题目解析	(29)
1.5 同步练习	(37)
1.6 同步练习答案	(47)
本章主要符号说明	(56)
2 流体输送机械	(58)
2.1 教学基本要求	(58)
2.2 知识要点	(58)
2.3 典型考题解析	(65)
2.4 典型操作型题目解析	(80)
2.5 同步练习	(89)
2.6 同步练习答案	(95)
本章主要符号说明	(104)
3 非均相物系的分离	(105)
3.1 教学基本要求	(105)
3.2 知识要点	(105)
3.3 典型考题解析	(109)
3.4 典型操作型题目解析	(119)
3.5 同步练习	(120)
3.6 同步练习答案	(127)
本章主要符号说明	(133)
4 传热	(136)
4.1 教学基本要求	(136)
4.2 知识要点	(136)
4.3 典型考题解析	(143)
4.4 典型操作型题目解析	(167)
4.5 同步练习	(172)
4.6 同步练习答案	(176)
本章主要符号说明	(184)
5 精馏	(186)
5.1 教学基本要求	(186)
5.2 知识要点	(186)

5.3	典型考题解析	(191)
5.4	典型操作型题目解析	(217)
5.5	同步练习	(228)
5.6	同步练习答案	(232)
	本章主要符号说明	(238)
6	吸收	(240)
6.1	教学基本要求	(240)
6.2	知识要点	(240)
6.3	典型考题解析	(244)
6.4	典型操作型题目解析	(275)
6.5	同步练习	(284)
6.6	同步练习答案	(288)
	本章主要符号说明	(298)
7	萃取	(300)
7.1	教学基本要求	(300)
7.2	知识要点	(300)
7.3	典型考题解析	(303)
7.4	同步练习	(306)
7.5	同步练习答案	(307)
	本章主要符号说明	(307)
8	干燥和蒸发	(309)
8.1	教学基本要求	(309)
8.2	知识要点	(309)
8.3	典型考题解析	(315)
8.4	典型操作型题目解析	(327)
8.5	同步练习	(329)
8.6	同步练习答案	(332)
	本章主要符号说明	(335)
	参考文献	(336)

1 流 体 流 动

1.1 教学基本要求

本章应掌握的内容：

- (1) 流体及相应的基本概念；
- (2) 流体静力学的基本原理及应用；
- (3) 流体动力学的基本原理及应用；
- (4) 流体流动阻力的相关概念、基本原理及应用；
- (5) 各种流体流动的管路计算；
- (6) 流体流量的测量原理及设备。

1.2 知识要点

1.2.1 流体及其主要物理性质

1.2.1.1 流体基本概念及连续介质假定

气体和液体统称为流体。

液体可视为不可压缩性流体；气体可视为可压缩性流体。

连续介质假定：在流体流动的研究中，常将流体视为由无数流体微团（或流体质点）组成的连续介质。这些质点一个紧挨着一个，质点间无空隙，即可认为流体充满其占据的空间，从而可以摆脱复杂的分子运动，从宏观的角度来研究流体在外力作用下的机械运动规律。

1.2.1.2 流体的物理性质

(1) 流体的密度

①定义
$$\rho = \frac{m}{V} = f(T, P) \quad \text{kg/m}^3 \quad (1-1)$$

② 气体的密度

理想气体：
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT} \quad (1-2)$$

也可以按下式计算：

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0 P}{T P_0} \quad (1-3a)$$

$$\rho_0 = \frac{M}{22.4} \quad (1-3b)$$

式中 ρ_0 ——标准状态 ($P_0 = 101.3 \text{ kPa}$, $T_0 = 273 \text{ K}$) 下气体的密度, kg/m^3 。

气体混合物：以 1 m^3 混合气体为基准

$$\rho_m = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot x_{V,i} \quad (1-4)$$

式中 $x_{V,i}$ ——混合物中 i 组分的体积分率。

理想气体混合物: $\rho_m = \frac{PM_m}{RT}$, 其中 M_m 为平均相对分子质量。

③液体的密度

液体混合物, 以 1kg 混合液体为基准

$$\frac{1}{\rho_m} = \sum_{i=1}^n \frac{x_{W,i}}{\rho_i} \quad (1-5)$$

式中 $x_{W,i}$ ——混合物中 i 组分的质量分率。

(2) 流体的重度和相对密度

重度: 单位体积的流体所具有的重量, 单位为 N/m^3 (SI 单位制), kgf/m^3 (工程单位制)。

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (1-6)$$

重度是工程制的物理量, 在同一单位制中, γ 和 ρ 在数值和单位上不等, 但是工程单位制中的 γ 和 SI 制中的 ρ 数值相等。

相对密度: 液体的相对密度通常指其密度与水在 4°C 时的密度之比, 即

$$d_4 = \frac{\rho}{\rho_w} = \frac{\gamma}{\gamma_w} \approx \frac{\rho}{1000} \quad (\text{无因次}) \quad (1-7)$$

(3) 流体的比体积 (比容) v

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (1-8)$$

(4) 流体的黏度

流体的黏性是流体固有的属性之一, 只有在其流动时才会表现出来。黏性越大, 流体流动性越小。流体在流动时的内摩擦力, 是流动阻力产生的根源。液体的黏度随温度的升高而减小, 而气体的黏度却随温度的升高而增大。

①牛顿黏性定律

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1-9)$$

式中 τ ——剪应力, 单位面积上的内摩擦力, N/m^2 ;

du/dy ——速度梯度, 与流动方向垂直的方向 (径向) 上的速度变化率, $1/s$;

μ ——比例系数, 即动力黏度, 绝对黏度, 简称黏度。

②黏度的单位及换算

$$1\text{Pa} \cdot \text{s} = 1\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2 = 10\text{P} = 1000\text{cP} \quad (\text{厘泊})$$

$$1\text{P} (\text{泊}) = 1\text{dyn} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$$

③运动黏度 ν

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-10)$$

单位换算: $1\text{St} = 100\text{cSt} (\text{厘斯}) = 1 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$

1.2.2 流体静力学

1.2.2.1 流体的压力

(1) 单位及换算

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 10.33 \text{ mH}_2\text{O} = 760 \text{ mmHg} = 1.033 \text{ at}$$

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.087 \times 10^4 \text{ Pa} = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 735.6 \text{ mmHg}$$

(2) 压力的表示方法

以绝对真空 (0atm) 为基准计量的压力称为绝对压力, 是流体的真实压力, 以当地大气压为基准计量的压力称为表压或真空度。

$$\text{表压力} = \text{绝对压力} - \text{大气压力}$$

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力}$$

1.2.2.2 流体静力学基本方程式

$$P_2 = P_1 + \rho g (z_1 - z_2) \quad (1-11)$$

也可写成:

$$P_2 = P_0 + \rho gh \quad (1-12)$$

应用注意事项:

①方程适用于静力场中静止的单一连续流体。对于气体, 可认为容器内气体压力均相等。

②静止液体内部任一点压力的大小, 与液体本身密度 ρ 和该点距液面的高度有关, 越深则其压力越大。

③利用一定高度的液体柱可以表示压强差的大小——液柱压差计的原理, 使用液柱高表示压强或压强差时, 必须注明是何种液体。

④当液面上方压力 P_0 变化时, 必以同样的大小传递到液体内部各点——帕斯卡原理。

⑤静止、连续的同一种液体的同一水平面上, 各点压力相等, 即等压面为一水平面。这就是液面计的依据——连通器原理。

⑥在连续、静止的同一种流体中, 静压能与位能守恒。

1.2.2.3 流体静力学基本方程式的应用

液柱压差计应用时需注意:

①两截面的压强差 ΔP 仅与指示液读数 R 和密度差 ($\rho_0 - \rho$) 有关, 而与 U 形管的粗细、长短和位置无关; 与测压引线的粗细、长短亦无关。

②可用压差计测量设备某一处的压力。

1.2.3 流体动力学

1.2.3.1 流量与流速

$$G = \frac{W}{A} = \frac{V\rho}{A} = u\rho \quad (1-13)$$

式中 V ——体积流量, m^3/s 或 m^3/h ;

W ——质量流量, kg/s 或 kg/h ;

u ——(平均) 流速, m/s ;

G ——质量流速, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

注意: 由于气体为可压缩性流体, 其流速、体积、密度均随温度和压力的变化而变化, 但其质量始终不变, 因此质量流速是不随温度和压力变化的。故在气体管路的分析和计算中, 采用质量流速比较方便。

1.2.3.2 稳定流动与不稳定流动

在流动系统中，如果与流动有关的各参数（ u 、 P 、 ρ 等）只随位置变化，不随时间变化，为稳定流动。

在流动系统中，如果与流动有关的各参数（ u 、 P 、 ρ 等）不仅随位置变化，而且还随时间变化，为不稳定流动。

1.2.3.3 物料衡算——连续性方程

流体在一无分支管路中作稳定流动，两截面间的连续性方程连续性方程为：

$$W_1 = W_2 \quad (1-14)$$

也可写成：

$$u_1 A_1 \rho_1 = u_2 A_2 \rho_2 \quad (1-15)$$

对于不可压缩流体，有：

$$u_1 A_1 = u_2 A_2 \quad (1-16)$$

对于圆形管路，有：

$$\frac{u_1}{u_2} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 \quad (1-17)$$

1.2.3.4 机械能衡算——柏努利方程式

(1) 柏努利方程形式

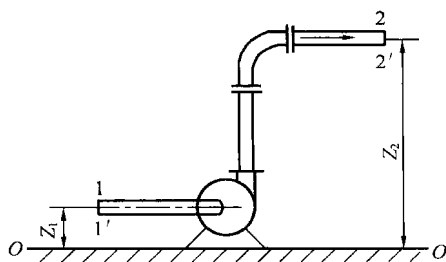


图 1-1 流体稳定流动管路示意图

如图 1-1，截面 1-1' 和 2-2' 之间的柏努利方程的形式为：

$$gZ_1 + \frac{u_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} + W_e = gZ_2 + \frac{u_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} + h_f \quad (1-18)$$

式中各项的单位为 J/kg。其中， W_e 为单位质量流体通过衡算范围的过程中所接受的功， h_f 为单位质量流体在衡算范围内流动时的能量损失，又称为比能损失。

(2) 柏努利方程的分析和讨论

- ①应用条件
- a. 流体作稳定流动，连续不间断；
 - b. 流体为不可压缩性流体， $\rho = \text{const}$ ；
 - c. 整个流动过程为恒温过程，内能不变。

②柏努利方程的不同形式

以单位体积流体为衡算基准：

$$\rho g Z_1 + \frac{\rho u_1^2}{2} + P_1 + \rho W_e = \rho g Z_2 + \frac{\rho u_2^2}{2} + P_2 + \rho h_f \quad (1-18a)$$

各项单位均为 Pa。

以单位重量流体为衡算基准：

$$Z_1 + \frac{u_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + H_e = Z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + H_f \quad (1-18b)$$

各项的单位为 m。式中， $H_e = \frac{W_e}{g}$ ，称为有效压头； $H_f = \frac{h_f}{g}$ ，称为压头损失；而 Z 、 $\frac{u^2}{2g}$ 、 $\frac{P}{\rho g}$ 分别称为位压头、动压头和静压头。

③总比能和流向判断

引入总比能 $E = Zg + \frac{u^2}{2} + \frac{P}{\rho}$, 于是式 (1-18) 可写为:

$$E_1 + W_e = E_2 + h_f \quad (1-19)$$

若无外功加入, $W_e = 0$, 于是:

$$E_1 = E_2 + h_f \quad (1-20)$$

对于实际流体, $h_f > 0$, 则无外功加入时系统的总机械能沿运动方向将逐渐减小。也就是说, 实际流体总是从总比能高处流向总比能低处。因而, 对于这样的管路, 各截面的总比能大小是判断流体流向的依据。

④单位时间输送设备对流体 (不是单位质量流体) 所作的有效功, 称为有效功率, 以 N_e 表示, 即

$$N_e = W_e \cdot W = W_e \cdot V\rho \quad (1-21)$$

⑤应用柏努利方程进行计算时压强项可以用绝对压强值, 也可用表压强值代入, 但不能用真空度。

1.2.3.5 应用柏努利方程注意事项

①画出示意图。

②选取截面, 确定衡算范围。所选取的两截面均应与流体流动方向垂直, 两截面间的流体必须是连续的, 所求的未知数应在两截面任一之上或截面之间。除未知数外, 其他有关物理量应是已知或可通过其他关系算出的。

③选取基准水平面, 确定流体位能的大小。基准面必须水平, 如果截面不水平, 则流体在该截面所具有的位能应以该截面的中心点为准。

④方程中各项单位要统一。可同时用绝压或表压, 但基准必须一致。

⑤列柏努利方程必须从上游列到下游。

1.2.4 流体在管内的阻力损失

1.2.4.1 流体流动的状态

流体的流动状态有两种: 层流 (又称滞流) 和湍流 (又称紊流)。

采用雷诺数 Re 判断流体的流动状态:

$$Re = \frac{du\rho}{\mu} \quad (1-22)$$

流体形态判据: ① $Re \leq 2000$ 时, 层流;

② $2000 < Re < 4000$ 时, 流动型态与外界条件有关, 过渡流;

③ $Re \geq 4000$ 时, 湍流。

实质: 反映了流体流动过程中的惯性力和黏性力的对比关系。

1.2.4.2 边界层

流体流经固体壁面时, 由于流体具有黏性, 在垂直于流体流动方向上便产生了速度梯度。在壁面附近存在着较大速度梯度的流体层, 称为流动边界层, 简称边界层。

流体流经平板时, 边界层在平板前缘后的一定距离内是发展的。边界层内流体的流形可能是滞流, 也可能是由滞流转变为湍流。但在湍流边界层内, 靠近平板的极薄一层流体, 仍维持滞流, 这层流体称为滞流内层或滞流底层。

流体在圆形直管进口段内流动时, 在流体黏性的影响下, 边界层厚度逐渐增大, 最终延伸至整个圆管, 距管进口的距离 x_0 称为稳定段长度或进口段长度。应注意, 在测定圆管

内截面上流体的速度分布曲线时，测定地点必须选在圆管中流体速度分布保持不变的平直部分，即此处到入口或转弯等处的距离应大于 x_0 ，其他测量仪表在管道上的安装位置也应如此。

流体流过曲面，如球体、圆柱体或其他几何形状物体的表面时，会产生边界层分离现象，其结果造成流体的能量损失，称为形体阻力。黏性流体绕过固体表面的阻力为摩擦阻力与形体阻力之和。两者之和又称为局部阻力。

1.2.4.3 流体流动的阻力

流体流动的阻力损失 Σh_f 包括系统中各段直管阻力损失 h_f ，也包括系统中各种局部阻力损失 h'_f ，即：

$$\Sigma h_f = h_f + h'_f \quad (1-23)$$

有外功加入的实际流体的柏努利方程以单位体积流体为基准可表示为：

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho \cdot W_e - \rho g \Delta z - \rho \Delta \frac{u^2}{2} - \rho \Sigma h_f \quad (1-24)$$

$\rho \Sigma h_f$ 指单位体积流体流动时损失的机械能，用 ΔP_f 表示，称为因流动阻力而引起的压强降。式 (1-24) 说明， ΔP_f 并不是两截面间的压强差 ΔP 。在一般情况下， ΔP 与 ΔP_f 在数值上不相等，只有当流体在一段既无外功加入、直径又相同的水平管内流动时，因 $W_e = 0$ ， $\Delta z = 0$ ， $\frac{\Delta u^2}{2} = 0$ ，才有 $\Delta P = \Delta P_f$ 。

(1) 直管阻力损失

计算通式——范宁公式：

$$\Delta P_f = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho u^2}{2} \quad (1-25)$$

式中 λ ——无因次系数，称为摩擦阻力系数。

范宁公式应用时应注意：

- a. 范宁公式适用于不可压缩流体的稳定流动，既可用于层流，也可用于湍流。
- b. 范宁公式其他两种形式。

$$\text{流体的比能损失:} \quad h_f = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{u^2}{2} \quad [\text{J/kg}] \quad (1-26)$$

$$\text{流体的压头损失:} \quad H_f = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} \quad [\text{m}] \quad (1-27)$$

①层流时的阻力损失计算

流体层流时平均流速等于管中心处最大流速 $u_{\max}$ 的一半， $u = 0.5 u_{\max}$ 。

层流时的范宁公式——泊谟叶 (Hagen-Poiseuille) 公式：

$$\Delta P_f = \frac{32 \mu l u}{d^2} \quad (1-28)$$

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (1-29)$$

流体在圆形直管内作层流流动时， $\Delta P_f \propto u$ ， $\lambda \propto \frac{1}{Re}$ ，在双对数坐标上加以标绘 ($\lg \lambda = \lg 64 - \lg Re$)，可以得到一条直线。

②湍流时的阻力损失计算

湍流情况下: $u \approx 0.82u_{\max}$

$$\lambda = f(Re, \varepsilon/d) \quad (1-30)$$

光滑管的柏拉修斯公式:

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (1-31)$$

该式一般适用于计算 $Re = 5 \times 10^3 \sim 10^5$ 的光滑管。

摩擦系数图——Moody 图, 如图 1-2。图中有 4 个不同的区域:

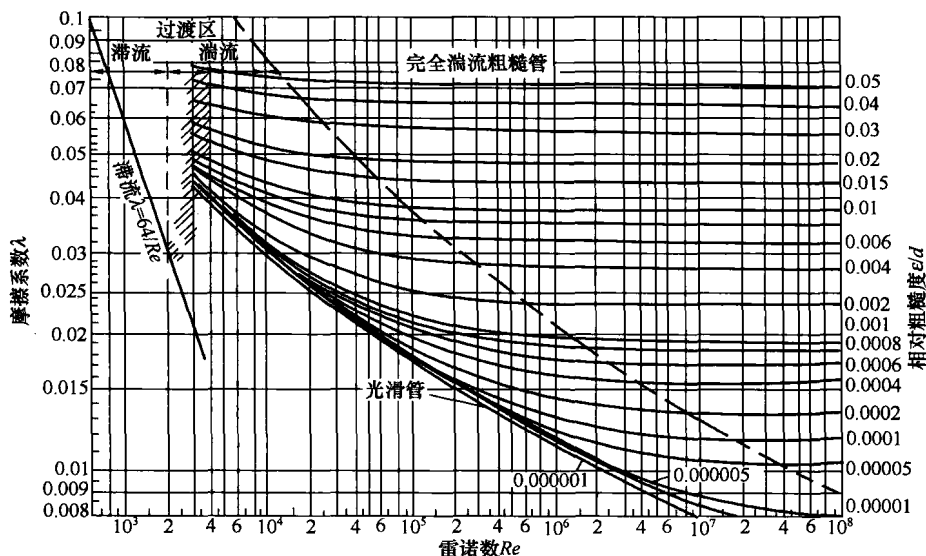


图 1-2 摩擦阻力系数图

a. 层流区: $Re \leq 2000$, $\lg \lambda$ 随 $\lg Re$ 的增大呈线性下降, $\Delta P_f \propto u$ 。

b. 过渡区: $2000 < Re < 4000$, 工程计算中一般按湍流计算, 将相应湍流时的曲线延伸, 以查取 λ 值。

c. 湍流区: $Re \geq 4000$ 且在图中虚线以下, $\lambda = f\left(Re, \frac{\varepsilon}{d}\right)$ 。此区域最下面的那条曲线为流体流经光滑管时的 λ 与 Re 的关系曲线。

d. 完全湍流区: 图中虚线以上的区域, λ 与 Re 的曲线近乎于水平直线。在此区域内, $\lambda = f\left(\frac{\varepsilon}{d}\right)$, 对于一定的输送管路, 若 ε/d 一定, 则 λ 也为定值, 有 $h_f \propto u^2$, 故此区域又称阻力平方区。

③流体在非圆形直管内的阻力损失

对于非圆形管道, 一般引入当量直径的概念:

$$d_e = 4 \times \frac{\text{流道截面积}}{\text{润湿周边长度}} = \frac{4A}{\Pi} \quad (1-32)$$

注意, 只能用 d_e 代替 Re 和阻力计算式中的 d , 不能用 d_e 计算非圆形管的截面积, 而计算流速时所用到的截面积应是非圆形管的实际流通截面积。

(2) 局部阻力损失

①阻力系数法

$$h'_f = \xi \cdot \frac{u^2}{2} \quad (1-33a)$$

$$\Delta P'_f = \xi \cdot \frac{\rho u^2}{2} \quad (1-33b)$$

式中 u ——与管件相连的直管中流体的平均流速, m/s;

ξ ——局部阻力系数, 其值一般由实验测定。

其中, 流体自容器进入管内, 进口阻力系数 $\xi_e = 0.5$; 流体自管子进入容器或从管子直接排放到管外空间, 出口阻力系数 $\xi_e = 1$ 。

②当量长度法

$$h'_f = \lambda \cdot \frac{l_e}{d} \cdot \frac{u^2}{2} \quad (1-34a)$$

$$\Delta P'_f = \lambda \cdot \frac{l_e}{d} \cdot \frac{\rho u^2}{2} \quad (1-34b)$$

式中 l_e 称为管件或阀门的当量长度, 其单位为 m。

1.2.5 管路计算

1.2.5.1 简单管路

串联管路主要特点:

①对于稳定流动, 通过各管段的质量流量不变, 即:

$$W_1 = W_2 = W_3 = \cdots = W = \text{const}$$

对于不可压缩性流体, 则有:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \cdots = V = \text{const}$$

②整个管路的阻力损失为各段阻力损失之和, 即: $\Sigma h_f = \sum_{i=1}^n h_{f,i}$

1.2.5.2 复杂管路

(1) 分支(汇合)管路

①主管路中流体的质量等于个分支管中流体的质量流量之和, 即:

$$W = W_1 + W_2 + \cdots + W_n$$

对于不可压缩流体, 有: $V = V_1 + V_2 + \cdots + V_n$

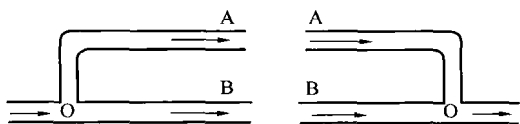


图 1-3 分支和汇合管路

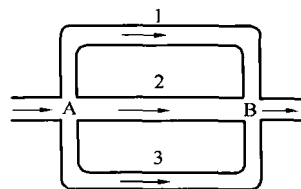


图 1-4 并联管路

②由于支管的存在, 主管内的各部分流量不同, 主管的阻力损失必须分段考虑;

③流体在某一支点处无论其以后向何处分流, 其总比能为一定值。

(2) 并联管路

①管的质量流量等于各支管质量流量之和, 即: $W = W_1 + W_2 + W_3$

若为不可压缩流体, 则为: $V = V_1 + V_2 + V_3$

②各条支管中的阻力损失是相同的, 即: $h_{f,1} = h_{f,2} = h_{f,3}$

③通过各支管的流体流量依据阻力损失相同的原理进行分配, 即各管流量大小应满足:

$$V_1 : V_2 : V_3 = \sqrt{\frac{d_1^5}{\lambda_1 l_1}} : \sqrt{\frac{d_2^5}{\lambda_2 l_2}} : \sqrt{\frac{d_3^5}{\lambda_3 l_3}} \quad (1-35)$$

1.2.6 流量测量

以流体能量守恒原理为基础的测量装置, 有两类: 一类是变压头流量计, 如测速管、孔板流量计和文丘里流量计; 另一类称为变截面流量计, 如转子流量计。

测速管所测的速度是管路内某一点的线速度, 可以用来测定流道截面的速度分布。主要用于大管径气体流速或大气中风速的测量, 但其测压孔小, 易堵塞, 因此不宜用于测量含固体粒子的流体速度。不能直接测出平均流速, 压差小, 不易读准。

孔板流量计和文丘里流量计均属于节流式流量计, 都是采用节流元件在全流道面积上节流造成压降以便测得平均流速(或流量)。二者的孔流系数均与测量元件的局部阻力有关, 即与流体的 Re 数有关, 与测压口的位置有关, 也和锐孔与管截面积比 A_0/A_1 有关, 孔板流量计的 $C_0 = 0.6 \sim 0.7$, 文丘里流量计的 $C_v = 0.98 \sim 0.99$ 。两种流量计均会形成永久性压降, 孔板流量计的阻力损失较大, 文丘里流量计的较小。

转子流量计的读取直观方便, 可直接测取流体的流量。但要注意, 转子流量计在出厂时一般是根据 20°C 的水或 20°C 及 760mmHg 下的空气进行标定, 使用时若流体的条件与标定条件不符, 应对原有的刻度进行校正:

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{\rho_1(\rho_f - \rho_2)}{\rho_2(\rho_f - \rho_1)}} \quad (1-36)$$

式中下标 1 代表标定流体(水或空气)的流量和密度值, 下标 2 代表实际操作中所用流体的流量和密度值。

1.3 典型考题解析

【例 1-1】如图 1-5。水由敞口高位槽通过内径为 25mm 的管子输送到容器 C 中。已知管路全部能量损失为 $8.5 \frac{u^2}{2}$ (不包括管路进、出口能量损失)。设两槽液面保持不变, 摩擦系数为 0.025 。已知 R_1 、 R_2 、 R_3 分别为 80mm 、 50mm 、 32mm , ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_3 分别为 1000kg/m^3 、 1590kg/m^3 、 13600kg/m^3 。

- 求: (1) A、B、C 各点的压强;
(2) 管内流体的流速;
(3) 欲使流量增加 10%, 高位槽液面应比原来升高多少?
(4) 若 R_2 变为 30mm 时, 则 B 点的压强变为多少?

【解】如图 1-6 所示, 设定各个截面。

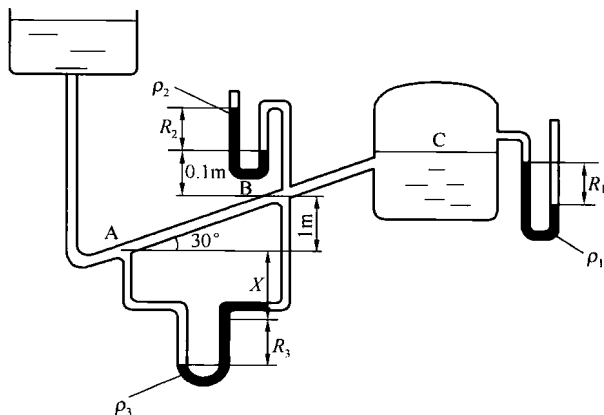


图 1-5 例 1-1 附图

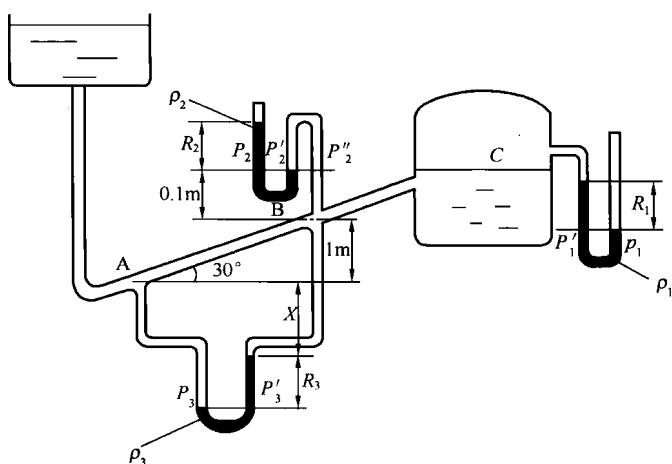


图 1-6 例 1-1 解题附图

(1) 由等压面的概念: $P_1 = P'_1$

而

$$P_1 = P_0, P'_1 = P_c + \rho_1 g R_1$$

所以

$$P_c = P_0 - \rho_1 g R_1$$

即

$$P_c = -\rho_1 g R_1 = -1000 \times 0.08 \times 9.81 = -784.8 \text{ Pa (表压)}$$

由等压面概念:

$$P'_2 = P''_2, P_2 = P'_2$$

所以

$$P_2 = P''_2$$

而

$$P_2 = P_0 + \rho_2 g R_2, P''_2 = P_B - 0.1 \rho g$$

所以

$$P_B = P_0 + \rho_2 g R_2 + 0.1 \rho g$$

即

$$P_B = \rho_2 g R_2 + 0.1 \rho g = (1590 \times 0.05 + 0.1 \times 1000) \times 9.81 = 1761 \text{ Pa (表压)}$$

由等压面的概念:

$$P_3 = P'_3$$

而

$$P_3 = P_A + (R_3 + x)g\rho, P'_3 = P_B + (1 + x)\rho g + \rho_3 g R_3$$

所以

$$\begin{aligned} P_A &= P_B + \rho g + R_3 g (\rho_3 - \rho) \\ &= 1761 + 1 \times 1000 \times 9.81 + 0.032 \times (13600 - 1000) \times 9.81 \\ &= 15526 \text{ Pa (表压)} \end{aligned}$$

(2) AB 间 U 形压差计实际测得的是流体流过 AB 段的能量损失, 即

$$\lambda \cdot \frac{l_{AB}}{d} \cdot \frac{u^2}{2} = \frac{R_3 (\rho_3 - \rho) g}{\rho}$$

其中:

$$l_{AB} = \frac{1}{\sin 30^\circ} = 2 \text{ m}$$

$$\text{代入上式: } 0.025 \times \frac{2}{0.025} \times \frac{u^2}{2} = \frac{0.032 (13600 - 1000) \times 9.81}{1000}$$

解得:

$$u = 1.99 \text{ m/s} \approx 2 \text{ m/s}$$

(3) 设高位槽液面为 $a-a'$ 截面, 容器 C 液面为 $c-c'$ 截面, 且为基准水平面。在 $a-a'$ 至 $c-c'$ 之间列柏努利方程:

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{u_a^2}{2g} + z_a = \frac{P_c}{\rho g} + \frac{u_c^2}{2g} + z_c + \sum h_{f,a-c}$$

式中, 原工况: $P_a = 0$ (表压), $u_a = 0$, $u_c = 0$, $z_c = 0$, $\xi_i = 0.5$, $\xi_o = 1.0$