

化工原理辅导与习题解析



经典教材辅导用书 ■ 化学系列

知识要点

解题实例

测试题及解答

习题详解

■ 化工版《化工原理》(第2版)(陈敏恒等)

主编 杨嘉谟

华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

经典教材辅导用书·化学系列丛书

化工原理辅导与习题解析

化工版《化工原理》(第2版)(陈敏恒等)

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

化工原理辅导与习题解析/杨嘉谟 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2009 年 8 月

ISBN 978-7-5609-5358-8

I. 化… II. 杨… III. 化工原理-高等学校-教学参考资料 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 084136 号

化工原理辅导与习题解析

杨嘉谟 主 编

策划编辑:周芬娜 胡章成

封面设计:潘 群

责任编辑:程 芳

责任监印:周治超

责任校对:周 娟

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉中远印务有限公司

开本:710mm×1000mm 1/16

印张:14

字数:293 000

版次:2009 年 8 月第 1 版

印次:2009 年 8 月第 1 次印刷

定价:21.80 元

ISBN 978-7-5609-5358-8/TQ·9

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

化工原理是高等院校化工类及相关专业必修的主干课程,是化学工程与化工工艺的基础,习题是学习该课程的重要环节。本书是为学习化工原理编写的一本习题解答参考书。全书共 12 章,包括流体流动、流体输送机械、液体的搅拌、流体通过颗粒层的流动、颗粒的沉降和流态化、传热、蒸发、气体吸收、液体精馏、气液传质设备、液液萃取、固体干燥等。本书可与陈敏恒、丛德滋、方图南、齐鸣斋编著的《化工原理》(第二版)配套使用,每章的习题选解部分均精选了该教材的部分习题。

为了便于读者学习和提高解题能力,抓住化工原理的重点和难点,本书中每章均由知识要点、解题实例、基础知识测试题、基础知识测试题参考答案及习题选解 5 部分构成。本书所有习题、例题需查阅的图表均参阅陈敏恒、丛德滋等编著的《化工原理》(第二版)。

本书可作为高等院校化工类及相关专业的学生学习化工原理课程以及备考研究生入学考试的参考书,同时可供高等院校化工原理授课教师参考。

前 言

本书是根据目前高等院校学生学习化工原理课程以及备考研究生入学考试而编写的。本书编者经过多年的教学经验沉淀积累,所编写的例题和基础知识测试题涵盖面广、深度适宜,编写过程中着力体现由浅入深、解题步骤清晰、层次分明及理论联系工程实际的理念,液体精馏的某些例题还介绍了计算机编程解题的方法,以期达到举一反三、触类旁通、开拓思路、学有所获的目的,对读者提高化工原理习题求解的分析能力和计算能力起着重要的指导作用。本书以陈敏恒、丛德滋等编著的《化工原理》(第二版)作为参考教材,编写过程中参阅了某些化工原理习题集,在此向上述作者或编者一并表示诚挚的感谢。

本书由武汉工程大学、武汉科技学院长期从事化工原理课程讲授的教学第一线人员共同编写,由杨嘉谟任主编,孙炜、李素悦任副主编,王存文教授对全书进行了审核。参加编写的人员有:杨嘉谟(第一、八、十一章),李素悦(第二、六、七章),丁朝建(第三、四章),陈飞飞(第五章),孙炜(第九章),唐正姣(第十、十二章)。

由于编者水平和学识有限,书中难免有许多错误或不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009年3月

目 录

第一章 流体流动	(1)
知识要点	(1)
解题实例	(3)
基础知识测试题	(8)
基础知识测试题参考答案	(10)
习题选解	(10)
第二章 流体输送机械	(15)
知识要点	(15)
解题实例	(17)
基础知识测试题	(32)
基础知识测试题参考答案	(34)
习题选解	(35)
第三章 液体的搅拌	(37)
知识要点	(37)
解题实例	(40)
基础知识测试题	(41)
基础知识测试题参考答案	(42)
习题选解	(42)
第四章 流体通过颗粒层的流动	(44)
知识要点	(44)
解题实例	(48)
基础知识测试题	(51)
基础知识测试题参考答案	(53)
习题选解	(54)
第五章 颗粒的沉降和流态化	(57)
知识要点	(57)
解题实例	(59)
基础知识测试题	(62)
基础知识测试题参考答案	(63)
习题选解	(63)
第六章 传热	(66)
知识要点	(66)
解题实例	(72)

基础知识测试题	(95)
基础知识测试题参考答案	(100)
习题选解	(101)
第七章 蒸发	(108)
知识要点	(108)
解题实例	(109)
基础知识测试题	(111)
基础知识测试题参考答案	(112)
习题选解	(112)
第八章 气体吸收	(114)
知识要点	(114)
解题实例	(119)
基础知识测试题	(126)
基础知识测试题参考答案	(127)
习题选解	(127)
第九章 液体精馏	(132)
知识要点	(132)
解题实例	(144)
基础知识测试题	(155)
基础知识测试题参考答案	(157)
习题选解	(157)
第十章 气液传质设备	(166)
知识要点	(166)
解题实例	(171)
基础知识测试题	(179)
基础知识测试题参考答案	(180)
习题选解	(181)
第十一章 液液萃取	(184)
知识要点	(184)
解题实例	(186)
基础知识测试题	(189)
基础知识测试题参考答案	(190)
习题选解	(190)
第十二章 固体干燥	(193)
知识要点	(193)
解题实例	(198)
基础知识测试题	(209)
基础知识测试题参考答案	(211)
习题选解	(211)

第一章 流体流动

知 识 要 点

流体流动的基本规律是《化工原理》的重要基础。学习本章除掌握基本概念和流体流动机理外,应重点掌握:

- 流体流动的作用力和机械能;
- 流体静力学原理、测压计和压差计的计算;
- 流体流动中的质量守恒、动量守恒、机械能守恒原理,伯努利方程及其应用;
- 流动阻力损失的计算;
- 流体输送管路流量的计算。

一、流体静力学方程及应用

$$p = p_0 + \rho gh \quad (1-1)$$

式中: p 为液柱高度为 h 处的压强, Pa; p_0 为液面上方的压强, Pa; ρ 为液体的密度, kg/m^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 ; h 为液柱高度, m。

对于 U 形管压差计,有

$$(p_1 + \rho g z_1) - (p_2 + \rho g z_2) = Rg(\rho_i - \rho) \quad (1-2)$$

式中: ρ_i 为 U 形管压差计指示液密度, kg/m^3 ; ρ 为管路中液体密度, kg/m^3 ; R 为压差计读数, m; g 为重力加速度, m/s^2 ; z_1 为管路 1 点处离基准面高度, m; z_2 为管路 2 点处离基准面高度, m。

二、质量衡算和连续性方程

$$u_1 A_1 \rho_1 = u_2 A_2 \rho_2 = \cdots = u A \rho \quad (1-3)$$

式中: u_1 为管路中 1 点的流体流速, m/s ; u_2 为管路中 2 点的流体流速, m/s ; A_1 为管路中 1 点的截面积, m^2 ; A_2 为管路中 2 点的截面积, m^2 ; ρ_1 为管路中 1 点的流体密度, kg/m^3 ; ρ_2 为管路中 2 点的流体密度, kg/m^3 。

对不可压缩流体:

$$u_1 A_1 = u_2 A_2 = \cdots = u A \quad (1-4)$$

三、机械能衡算和伯努利方程

$$\frac{p}{\rho} + gz + \frac{u^2}{2} = \text{常数} \quad (1-5)$$

式中: u 为管路中流体流速, m/s 。

实际管路伯努利方程:

$$\frac{p_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} + H_e = \frac{p_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + \sum h_f \quad (1-6)$$

式中: H_e 为管路中流体从截面 1 流至截面 2 的外加能量, m; $\sum h_f$ 为管路中流体从截面 1 流至截面 2 的阻力损失, m; u_1 、 u_2 分别为截面 1 和截面 2 的流体流速, m/s; p_1 、 p_2 分别为截面 1 和截面 2 的压强, Pa。

四、阻力损失计算

1. 层流直管阻力损失

$$\sum h_f = \frac{32\mu l u}{\rho d^2} \quad (1-7)$$

式中: μ 为管路中流体的黏度, Pa·s; d 为管径, m; l 为管长, m。

2. 层流或湍流直管阻力损失

层流或湍流直管阻力损失可统一表示为

$$\sum h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2} \quad (1-8)$$

式中: λ 为管路的流动摩擦系数。

(1) 层流 λ 计算。

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (1-9)$$

式中: Re 为雷诺数, 是衡量流动类型的依据, $Re = \frac{du\rho}{\mu}$ 。 $Re \leq 2000$, 流动类型为层流; $2000 < Re < 4000$, 流动类型为过渡区; $Re \geq 4000$, 流动类型为湍流。

(2) 湍流 λ 计算。

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.74 - 2 \lg \left(2 \frac{\varepsilon}{d} + \frac{18.7}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (1-10)$$

式中: $\frac{\varepsilon}{d}$ 为管路的绝对粗糙度与管内径之比, 称为相对粗糙度。

3. 局部(管件、三通、弯头或缩径、扩径)阻力损失

(1) 近似地认为局部阻力服从平方定律。

$$\sum h_f = \zeta \frac{u^2}{2} \quad (1-11)$$

式中: ζ 为局部阻力系数, 由实验确定。

(2) 近似地认为局部阻力相当于某个直管长度的阻力。

$$\sum h_f = \lambda \frac{l_e}{d} \frac{u^2}{2} \quad (1-12)$$

式中: l_e 为管件等的当量长度, 由实验确定, m。

五、并联管路

流体在图 1-1 所示的并联管路中流动时, 服从下列关系式:

$$q_v = q_{v1} + q_{v2} + q_{v3} \quad (1-13)$$

$$\sum h_{f1} = \sum h_{f2} = \sum h_{f3} \quad (1-14)$$

$$q_{V1} : q_{V2} : q_{V3} = \sqrt{\frac{d_1^5}{\lambda_1 l_1}} : \sqrt{\frac{d_2^5}{\lambda_2 l_2}} : \sqrt{\frac{d_3^5}{\lambda_3 l_3}} \quad (1-15)$$

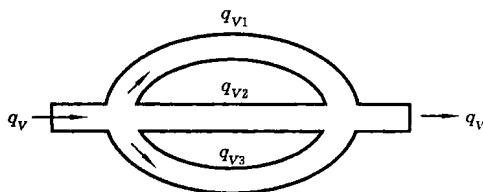


图 1-1 并联管路

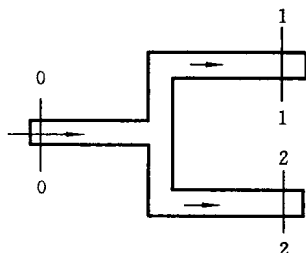


图 1-2 分支管路

六、分支管路

流体在图 1-2 所示的分支管路中流动时,服从下列关系式:

$$q_V = q_{V1} + q_{V2} \quad (1-16)$$

$$\begin{aligned} \frac{p_0}{\rho} + gz_0 + \frac{u_0^2}{2} &= \frac{p_1}{\rho} + gz_1 + \frac{u_1^2}{2} + \sum h_{f(0-1)} \\ &= \frac{p_2}{\rho} + gz_2 + \frac{u_2^2}{2} + \sum h_{f(0-2)} \end{aligned} \quad (1-17)$$

七、皮托管测速

$$u_A = \sqrt{\frac{2Rg(\rho_i - \rho)}{\rho}} \quad (1-18)$$

式中: u_A 为测速管所在位置上的流体的流速, m/s ; ρ_i 为指示液密度, kg/m^3 ; ρ 为管路中液体密度, kg/m^3 ; R 为压差计读数, m ; g 为重力加速度, m/s^2 。

八、孔板流量计

$$q_V = C_0 A_0 \sqrt{\frac{2Rg(\rho_i - \rho)}{\rho}} \quad (1-19)$$

式中: C_0 为孔流系数, 无因次; A_0 为孔口面积, m^2 。

九、转子流量计

$$q_V = C_R A_0 \sqrt{\frac{2V_f(\rho_f - \rho)g}{\rho A_f}} \quad (1-20)$$

式中: C_R 为考虑转子形状及流动阻力影响的校正系数, 无因次; A_0 为环隙面积, m^2 ; A_f 为转子截面积, m^2 ; V_f 为转子体积, m^3 ; ρ_f 为转子密度, kg/m^3 ; ρ 为管路中液体密度, kg/m^3 。

解题实例

【例 1-1】 微压计应用 某容器内的气体压强 $p = 100 \text{ Pa}$ (表压), 在容器两侧分别

连接一个 U 形管压差计和双杯式微压计。U 形管压差计采用密度为 $\rho_1 = 877 \text{ kg/m}^3$ 的酒精作为指示液,微压计采用 $\rho_1 = 877 \text{ kg/m}^3$ 的酒精和 $\rho_2 = 800 \text{ kg/m}^3$ 的煤油作为指示液,如图 1-3 所示,微压计液杯直径 $D = 100 \text{ mm}$,U 形管直径 $d = 10 \text{ mm}$ 。试求:

- (1) U 形管压差计的读数 R_1 为多少;
- (2) 考虑杯内液面变化,微压计读数 R_2 为多少;
- (3) 若忽略杯内液面高度的变化,引起的测压相对误差为多少。

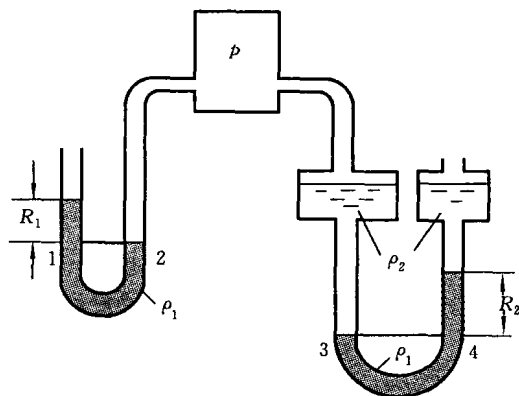


图 1-3 例 1-1 附图

【解】 (1) 若忽略气柱的质量,由 $p_1 = p_2$ 可得

$$R_1 = \frac{p}{\rho_1 g} = \frac{100}{877 \times 9.81} \text{ m} = 1.16 \times 10^{-2} \text{ m} = 11.6 \text{ mm}$$

(2) 微压计未与容器连通时,两臂指示液位于同一水平面,设此平面与杯内液面的垂直距离为 h 。当微压计与容器连通后,左侧指示液界面将下降 $\frac{R_2}{2}$,右侧指示液界面将上升 $\frac{R_2}{2}$,同时,左侧杯内液面高度将下降 Δh ,右侧杯内液面高度将上升 Δh ,则

$$\Delta h = \frac{d^2}{D^2} \frac{R_2}{2}$$

由 $p_3 = p_4$ 可得

$$p + \rho_2 g \left(h + \frac{R_2}{2} - \frac{d^2}{D^2} \frac{R_2}{2} \right) = \rho_2 g \left(h - \frac{R_2}{2} + \frac{d^2}{D^2} \frac{R_2}{2} \right) + \rho_1 g R_2$$

解得

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{p}{g(\rho_1 - \rho_2) + \rho_2 g \frac{d^2}{D^2}} \\ &= \frac{100}{9.81 \times (877 - 800) + 800 \times 9.81 \times \frac{0.01^2}{0.1^2}} \text{ m} \\ &= 0.12 \text{ m} = 120 \text{ mm} \end{aligned}$$

(3) 若忽略杯内液面高度的变化,根据读数 $R_2 = 120 \text{ mm}$,可得

$$p' = R_2 g (\rho_1 - \rho_2)$$

$$= 0.12 \times 9.81 \times (877 - 800) \text{ Pa}$$

$$= 90.6 \text{ Pa}$$

由此引起的相对误差为 $\frac{p-p'}{p} \times 100 \% = \frac{100-90.6}{100} \times 100 \% = 9.4 \%$

【例 1-2】 测压计与排液量的关系 已知某炼油厂敞口油罐的直径 $D=4 \text{ m}$, 油罐中存放有密度为 920 kg/m^3 的柴油。油罐测压计右侧的水银面上方装有油罐中的柴油, 高度为 h 。当油罐灌满柴油时, 油罐内的油面与测压计左侧水银面的垂直距离为 H , 测压计的读数 R_1 为 70 mm (见图 1-4)。试计算当测压计读数 R_2 变为 40 mm 时, 油罐中排出多少柴油, 此时油罐中柴油的液面高度将下降多少?

【解】 设测压计中右侧水银面下移 h_1 时, 左侧水银面必上升 h_1 , 测压计中指示液(水银)读数则为 $R_2 = R_1 - 2h_1 = 40 \text{ mm}$ 。此时, 油罐中柴油液面相应下移 H_1 , 油面与左侧水银面的垂直距离变为 $H - H_1 - h_1$ 。

选测压计左侧水银面 1 与右侧水银面 2 为等压面, 该两水银面上的表压分别为

$$p_1 = (H - H_1 - h_1) \rho_{\text{油}} g$$

$$p_2 = h \rho_{\text{油}} g + 40 \rho_{\text{Hg}} g$$

因为 $p_1 = p_2$, 由上两式可得

$$(H - H_1 - h_1) \rho_{\text{油}} g = h \rho_{\text{油}} g + 40 \rho_{\text{Hg}} g \quad (1)$$

又因为当柴油未排放前测压计左侧水银面 1 的表压为 $H \rho_{\text{油}} g$, 测压计右侧水银面 2 的表压为 $h \rho_{\text{油}} g + 70 \rho_{\text{Hg}} g$ 。由 $p_1 = p_2$, 得

$$H \rho_{\text{油}} g = h \rho_{\text{油}} g + 70 \rho_{\text{Hg}} g \quad (2)$$

将式(2)代入式(1), 经整理可得

$$H_1 = \frac{(70 - 40) \times \rho_{\text{Hg}} - h_1 \rho_{\text{油}}}{\rho_{\text{油}}} = \frac{30 \times 13\,600 - 30 \times 920}{920} \text{ mm} = 413.5 \text{ mm}$$

即油罐中柴油油面下降 413.5 mm 。

柴油的排出量为

$$m = \frac{\pi}{4} D^2 H_1 \rho_{\text{油}} = \frac{\pi}{4} \times 4^2 \times 0.4135 \times 920 \text{ kg} = 4\,778.1 \text{ kg}$$

【例 1-3】 伯努利方程应用 某工业用炉每小时产生的烟气流量为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$, 烟气通过烟囱排入大气。烟囱的内径为 3.5 m , 烟气出口平均温度为 260°C , 密度为 0.6 kg/m^3 , 黏度为 $0.028 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。为了保持烟囱的抽力, 要求在烟囱底部维持 200 Pa 的真空度, 试计算烟囱的高度应为多少米。已知在烟囱高度范围内, 大气的平均密度为 1.10 kg/m^3 , 大气压力为 1 atm 。假定烟气从烟囱中通过的摩擦系数为 $\frac{1.455}{Re^{0.25}}$ 。

【解】 在烟囱底 1—1 截面与烟囱顶 2—2 截面之间列伯努利方程

$$\frac{p_1}{\rho_i} + \frac{u_1^2}{2} + z_1 g = \frac{p_2}{\rho_i} + \frac{u_2^2}{2} + z_2 g + \sum h_i \quad (1)$$

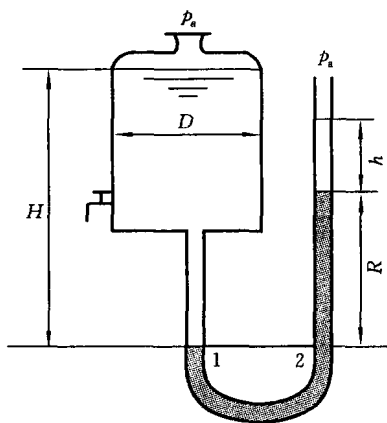


图 1-4 例 1-2 附图

因为 $u_1 = u_2$, 且 $z_1 = 0$, 故

$$p_1 = p_a - \frac{200}{1.013 \times 10^5} \times 9.81 \times 10^4 = p_a - 193.7$$

$$p_2 = p_a - z_2 \rho g$$

烟气在 260 °C、1 atm 下的体积流量为

$$q_v = 20 \times 10^4 \times \frac{273.15 + 260}{273.15} \text{ m}^3/\text{h} = 39.04 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$$

烟气在烟囱中的流速为

$$u = \frac{q_v}{\frac{\pi}{4} d^2 \times 3600} = \frac{39.04 \times 10^4}{0.785 \times 3.5^2 \times 3600} \text{ m/s} = 11.28 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{d u \rho_f}{\mu} = \frac{3.5 \times 11.28 \times 0.6}{0.028 \times 10^{-3}} = 8.46 \times 10^5$$

$$\lambda = \frac{1.455}{Re^{0.25}} = \frac{1.455}{(8.46 \times 10^5)^{0.25}} = 0.048$$

烟气通过烟囱的摩擦损失为

$$\sum h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2} = 0.048 \times \frac{z_2}{3.5} \times \frac{11.28^2}{2} = 0.872 z_2$$

所以式(1)应为

$$\frac{p_a - 193.7}{0.6} = \frac{p_a - (1.1 \times 9.81) z_2}{0.6} + 9.81 z_2 + 0.872 z_2 \quad (2)$$

从式(2)可解得

$$z_2 = 45 \text{ m}$$

【例 1-4】机械能能量转换 在一高位槽中用虹吸管将水吸出,如图 1-5 所示,水池液面与虹吸管出口的垂直距离 $z=5 \text{ m}$,管路中最高点与水池液面的垂直距离为 2 m。试问虹吸管出口的流速为多少,虹吸管最高点的压强为多少。若将虹吸管延长 3 m,试问虹吸管出口流速又为多少。已知水温为 30 °C,高位槽周围大气压为 101.3 kPa。管中流体的摩擦损失可忽略。

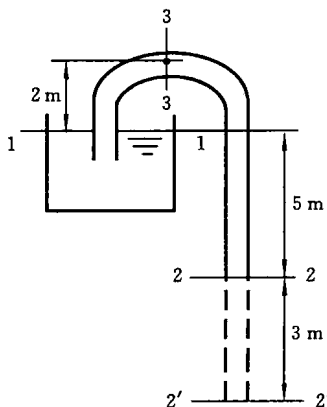


图 1-5 例 1-4 附图

【解】 在 1—1 截面与 2—2 截面间列伯努利方程

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

因为 $p_1 = p_2$, $u_1 \ll u_2$, 忽略 $\frac{u_1^2}{2}$, 可得

$$z_1 g = z_2 g + \frac{u_2^2}{2}$$

故

$$\begin{aligned} u_2 &= \sqrt{2g(z_1 - z_2)} \\ &= \sqrt{2 \times 9.81 \times 5} \text{ m/s} \\ &= 9.9 \text{ m/s} \end{aligned}$$

在 3—3 截面与 2—2 截面间列伯努利方程

$$\frac{p_3}{\rho} + \frac{u_3^2}{2} + z_3 g = \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + z_2 g$$

因为 $u_2 = u_3$, 可得

$$\begin{aligned} p_3 &= p_2 + \rho(z_2 - z_3)g \\ &= (1.013 \times 10^5 + 1\,000 \times [0 - (5 + 2)] \times 9.81) \text{ Pa} \\ &= 3.263 \times 10^4 \text{ Pa} \end{aligned}$$

当虹吸管延长 3 m 后, 首先假定管内流体仍然为连续状态。在 1—1 截面与 2'—2' 截面间列伯努利方程

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} + z_1 g = \frac{p'_2}{\rho} + \frac{u'^2_2}{2} + z'_2 g$$

因为 $p_1 = p'_2$, $u'_2 \gg u_1$, $\frac{u'^2_2}{2}$ 可忽略, 可得

$$u'_2 = \sqrt{2g(z_1 - z'_2)} = \sqrt{2 \times 9.81 \times 8} \text{ m/s} = 12.53 \text{ m/s}$$

校核 3—3 截面压强是否大于水在 30 °C 的饱和蒸气压 ($4.24 \times 10^3 \text{ Pa}$), 若大于, 则上述计算有效, 若小于, 则会发生汽化, 管内流体不连续, 机械能守恒式不适用。在 3—3 截面与 2'—2' 截面间列伯努利方程

$$\frac{p_3}{\rho} + \frac{u_3^2}{2} + z_3 g = \frac{p'_2}{\rho} + \frac{u'^2_2}{2} + z'_2 g$$

因为 $u_3 = u'_2$, 可得

$$\begin{aligned} p_3 &= p'_2 + \rho(z'_2 - z_3)g \\ &= (1.013 \times 10^5 + 1\,000 \times [0 - (8 + 2)] \times 9.81) \text{ Pa} \\ &= 3.30 \times 10^3 \text{ Pa} \end{aligned}$$

可见, 虹吸管延长 3 m 后, p_3 小于 30 °C 水的饱和蒸气压, 此时 3—3 截面处出现水的汽化, 水在管道中不连续, 不能按机械能守恒式计算, 得出的 $u'_2 = 12.53 \text{ m/s}$ 无效。但由于水从 1—1 截面至 3—3 截面间的流动仍是连续的, 在这两截面间列伯努利方程

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} + z_1 g = \frac{p_3}{\rho} + \frac{u_3^2}{2} + z_3 g$$

因为 $u_3 \gg u_1$, $\frac{u_1^2}{2}$ 可忽略, 故 3—3 截面的水流速度为

$$\begin{aligned} u_3 &= \sqrt{2 \left[\frac{p_1 - p_3}{\rho} + (z_1 - z_3)g \right]} \\ &= \sqrt{2 \left[\frac{1.013 \times 10^5 - 3.30 \times 10^3}{1\,000} + (0 - 2) \times 9.81 \right]} \text{ m/s} \\ &= 12.5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

【例 1-5】 并联管路 并联管路如图 1-6 所示。

管路于 A 处分为两支管, 在 B 处又重新汇合成一条管路。支管 1 和支管 2 的管长 (包括局部阻力损失的当量长度) 分别为 50 m 和 70 m, 两支管管径分别为 $\phi 89 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 和 $\phi 108 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 。已知两支管的摩擦系数均为 0.02, 总管中液体流率为 $150 \text{ m}^3/\text{h}$,

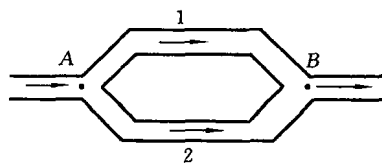


图 1-6 例 1-5 附图

试求:

(1) 支管 1 和支管 2 的液体流率(m^3/h);

(2) AB 间的摩擦阻力损失 $h_{f(A-B)}$ 。

【解】 对于并联管路,从 A 处到 B 处的摩擦阻力损失可按任一支管计算,即

$$h_{f1} = h_{f2} = h_{f(A-B)}$$

$$h_{f1} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{u_1^2}{2} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{\left[\frac{q_{v1}}{\frac{\pi}{4} d_1^2} \right]^2}{2}$$

$$h_{f2} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{u_2^2}{2} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \frac{\left[\frac{q_{v2}}{\frac{\pi}{4} d_2^2} \right]^2}{2}$$

又因为

$$h_{f1} = h_{f2}$$

则

$$\lambda_1 \frac{l_1}{2d_1} \left[\frac{q_{v1}}{\frac{\pi}{4} d_1^2} \right]^2 = \lambda_2 \frac{l_2}{2d_2} \left[\frac{q_{v2}}{\frac{\pi}{4} d_2^2} \right]^2$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0.02$$

整理得

$$\frac{l_1 q_{v1}^2}{d_1^5} = \frac{l_2 q_{v2}^2}{d_2^5}$$

故

$$\begin{aligned} q_{v1} &= q_{v2} \sqrt{\frac{l_2}{l_1} \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^5} = q_{v2} \sqrt{\frac{70}{50} \times \left(\frac{0.082}{0.10} \right)^5} \\ &= 0.72 q_{v2} \end{aligned} \quad (1)$$

又因为并联管路,有

$$q_{v1} + q_{v2} = q_v = 150 \text{ m}^3/\text{h} \quad (2)$$

联立求解式(1)和式(2),得

$$q_{v1} = 62.8 \text{ m}^3/\text{h}, \quad q_{v2} = 87.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

AB 间的摩擦阻力损失为

$$\begin{aligned} h_{f(A-B)} &= h_{f1} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{u_1^2}{2} = \lambda_1 \frac{l_1}{2d_1} \left[\frac{q_{v1}}{\frac{\pi}{4} d_1^2} \right]^2 \\ &= 0.02 \times \frac{50}{2 \times 0.082} \times \left(\frac{62.8/3600}{0.785 \times 0.082^2} \right)^2 \text{ J/kg} \\ &= 66.6 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

基础知识测试题

一、选择题

1. 动量是向量,其方向与速度方向_____。

(A) 相反

(B) 相同

(C) 呈 45° 夹角

(D) 呈 90° 夹角

2. 可压缩性流体在管道内稳定流动的连续性方程为_____。
- (A) $u_1 A_1 = u_2 A_2$ (B) $u_1 A_2 = u_2 A_1$
(C) $u_1 A_1 / \rho_2 = u_2 A_2 / \rho_1$ (D) $u_1 A_1 / \rho_1 = u_2 A_2 / \rho_2$
3. 流体在圆管中沿管截面上的剪应力分布仅与流动截面的_____有关。
- (A) 流体种类 (B) 流体流动形态 (C) 流速 (D) 几何形状
4. 空气在内径一定的圆管内稳定流动,若空气的质量流量不变,当气温升高时, Re 值将_____。
- (A) 减小 (B) 增大 (C) 不变 (D) 难以确定
5. 若圆形直管内液体流量不变,设计时将管径增加一倍,则层流和完全湍流时的液体流动阻力损失分别为原来的_____和_____。
- (A) 16 倍, 32 倍 (B) $1/4, 1/32$ (C) $1/2, 1/2$ (D) $1/8, 1/16$
6. 在完全湍流区(阻力平方区),粗糙管的摩擦系数 λ 的值_____。
- (A) 与光滑管相同 (B) 与 Re 和管道相对粗糙度有关
(C) 仅与管道相对粗糙度有关 (D) 仅与 Re 有关
7. 欲测定流体在管内流动时管道截面上的流速分布,应选用_____测量。
- (A) 转子流量计 (B) 孔板流量计 (C) 文丘里流量计 (D) 皮托管
8. 层流与湍流的本质区别为_____。
- (A) 湍流的流速大于层流
(B) 湍流的阻力损失仅与管道相对粗糙度有关
(C) 湍流有径向流动而层流无径向流动
(D) 湍流的雷诺数大而层流小
9. 下面对于并联管路说法正确的是_____。
- (A) 支管的流量与管径成正比
(B) 支管的阻力损失与管长成正比
(C) 任一支管的阻力损失均相等
(D) 任一支管的摩擦系数均相等
10. 以下几种关于流体说法正确的是_____。
- (A) 流体在圆管内流动时,无论层(滞)流或湍流,管中心处流速最大,距管壁越近流速越小,在管壁处流速为零
(B) 层流时,平均流速大约是管中心处流速的 0.8 倍
(C) 湍流时,平均流速大约是管中心流速的 0.5 倍
(D) 层流内层对传热和传质过程影响很大,它的厚度随 Re 的增大而增厚

二、填空题

1. 一条简单管路,当管道上游的阀门被关小,则下游的压强将_____,而管道总的阻力损失将_____。
2. 测量管道流量,当流量增大时,孔板流量计两侧的压差值将_____,而转子流量计两侧压差值将_____。
3. 三支长度相等的并联管路,管径的比为 $1:2:3$,若三支管的流动摩擦系数均相等,

则三支管的体积流量之比为_____。

4. Re 大于_____流动进入湍流区,摩擦系数随雷诺数增加而_____,当增至足够大后, λ 不再随 Re 改变,该区称为_____。
5. 密度为 $1\,000\text{ kg/m}^3$ 、黏度为 $1\times 10^{-5}\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 的水在直径为 50 mm 的圆管内流动,平均流速为 1 m/s ,则管内水的流型为_____,管中心流速为_____。

基础知识测试题参考答案

一、选择题

- | | | | | |
|------|------|------|------|-------|
| 1. B | 2. D | 3. D | 4. A | 5. B |
| 6. C | 7. D | 8. C | 9. C | 10. A |

二、填空题

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| 1. 减小;不变 | 2. 增大;不变 |
| 3. $1:5.7:15.6$ | 4. $4\,000$;减小;阻力平方区(完全湍流区) |
| 5. 湍流; 1.25 m/s | |

习题选解

1. 用图 1-7 所示的 U 形管压差计测量管路 A 点的压强,U 形管压差计与管路的连接导管中充满水。指示液为汞,读数 $R=120\text{ mm}$,当地大气压 p_a 为 101.3 kPa 。试求:

- (1) A 点的绝对压强, Pa ;
 (2) A 点的表压, Pa 。

【解】 (1) 以 1—2—3 为等压面,列静力学方程

$$p_A = p_1 + \rho g(H - R)$$

$$p_1 = p_2 = p_3$$

$$p_3 = p_a + \rho_i gR$$

所以

$$\begin{aligned} p_A &= p_a + \rho_i gR + \rho g(H - R) \\ &= [1.013 \times 10^5 + 13\,600 \times 9.81 \times 0.12 \\ &\quad + 1\,000 \times 9.81 \times (1.2 - 0.12)] \text{ Pa} \\ &= 1.28 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

(2)

$$\begin{aligned} p_{A(\text{表})} &= p_{A(\text{绝})} - p_a \\ &= (1.28 \times 10^5 - 1.013 \times 10^5) \text{ Pa} \\ &= 2.67 \times 10^4 \text{ Pa} \end{aligned}$$

2. 用图 1-8 所示的复式 U 形管压差计测定水管 A、B 两点的压差。指示液为汞,其间充满水。今测得 $h_1=1.20\text{ m}$, $h_2=0.3\text{ m}$, $h_3=1.30\text{ m}$, $h_4=0.25\text{ m}$,试以 Pa 为单位表示 A、B 两点的压差 Δp 。