

化工原理学习辅导

陈世醒 张克铮 郭大光 编

中国石化出版社

化工原理学习辅导

陈世醒 张克铮 郭大光 编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书以示范例题的形式,将《化工原理》课程中的主要公式、基本概念、重点和难点加以系统地分析和总结。全书涉及流体流动与输送、沉降与过滤、传热、蒸馏、吸收、萃取共6章,收入概念题与计算题总计533例。所列题目形式多样,概念性强,希望能对学生理解本课程的基本原理和主要内容有所帮助,也可供有关工程技术人员及报考研究生的读者参考。

本书注重实际应用与工程训练,不只限于题目的分析和解答,而是意在借“题”发挥,以期达到举一反三、融汇贯通的目的。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理学习辅导/陈世醒等编. —北京:中国石化出版社, 1998

ISBN 7-80043-710-8

I. 化… II. 陈… III. 化工原理—教学参考资料
IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 16115 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010) 64241850

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 32 开本 13.5 印张 301 千字 印 1—3000

1998 年 3 月 第 1 版 1998 年 3 月 第 1 次印刷

定价:19.00 元

前 言

本书由抚顺石油学院化工原理教研室的 3 位教师编写。

《化工原理》作为高等院校化工类各专业必修的一门主要课程，其重要性是显而易见的。在多年的教学过程中，作者体会到：做习题是学生掌握本门课程的基本理论、基本方法和培养工程观点的重要环节。因此，选择典型的例题指导学生，同时辅以习题课、讨论课启迪学生，对提高本门课程的教学质量是很有益处的。

编写本书与其说表达编者对课程内容的理解，倒不如说是总结多年来教学工作的体会，当然，也是为了适应学生的需求。在编写过程中，作者借鉴了许多经典的教材、专著。

本书由陈世醒主编。参加编写的有：陈世醒：第一章、第三章；张克铮：第二章、第五章；郭大光：第四章、第六章。全书由穆文俊教授审阅。

由于编者水平有限，本书的错误、欠妥之处一定不少，恳切期望读者批评、指正。

编者

EA038/01

目 录

第一章 流体流动与输送	1
主要计算公式	1
第一部分 概念题示例与分析	8
一、思考题	8
二、填空题	25
三、判断题	30
四、选择题	34
(一) 单项选择题	34
(二) 多项选择题	38
第二部分 计算题示例与分析	41
第二章 沉降与过滤	81
主要计算公式	81
第一部分 概念题示例与分析	85
一、填空题	85
二、单项选择题	93
第二部分 计算题示例与分析	102
第三章 传热	136
主要计算公式	136
第一部分 概念题示例与分析	146
一、思考题	146
二、填空题	154
三、判断题	159

四、选择题·····	162
(一) 单项选择题 ·····	162
(二) 多项选择题 ·····	165
(三) 选择连线 ·····	171
第二部分 计算题示例与分析·····	171
第四章 精馏·····	211
主要计算公式·····	211
第一部分 概念题示例与分析·····	217
一、填空题·····	217
二、判断题·····	233
三、选择题·····	238
(一) 单项选择题 ·····	238
(二) 多项选择题 ·····	243
第二部分 计算题示例与分析·····	245
第五章 吸收·····	301
主要计算公式·····	301
第一部分 概念题示例与分析·····	310
一、填空题·····	310
二、单项选择题·····	318
第二部分 计算题示例与分析·····	329
第六章 萃取·····	398
主要计算公式·····	398
第一部分 概念题示例与分析·····	402
一、填空题·····	402
二、判断题·····	408
三、选择题·····	409
第二部分 计算题示例与分析·····	411

第一章 流体流动与输送

主要计算公式

1. 流体静力学基本方程式

$$Z_1 g + \frac{p_1}{\rho} = Z_2 g + \frac{p_2}{\rho}$$

或
$$p = p_0 + \rho g h$$

式中 ρ ——流体的密度, kg/m^3 ;

g ——重力加速度, m/s^2 ;

Z_1 、 Z_2 ——距基准水平面的垂直距离, m ;

p_1 、 p_2 ——截面 1-1'、2-2' 的压强, Pa ;

p_0 ——液面上方的压强, Pa ;

h ——距液面的深度, m ;

p —— h 处的压强, Pa 。

2. 水平管路上两点间的压强差与压差计读数之间的关系

$$p_1 - p_2 = (\rho_0 - \rho) g R$$

式中 ρ_0 ——压差计指示液的密度, kg/m^3 ;

ρ ——管路中流体的密度, kg/m^3 ;

$p_1 - p_2$ ——管路上两点间的压强差, Pa ;

R ——压差计的读数, m 。

3. 流体的速度、体积流量、质量流量及质量流速之间关系

$$V_S = uA$$

$$W_S = V_S \cdot \rho = uA \cdot \rho$$

$$G = \frac{W_S}{A} = \frac{V_S \cdot \rho}{A} = u\rho$$

式中 V_S ——流体的体积流量, m^3/s ;

u ——流体的速度, m/s ;

A ——管道的截面积, m^2 ;

W_S ——流体的质量流量, kg/s ;

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

4. 稳定流动时的连续性方程

$$u_1 A_1 \rho_1 = u_2 A_2 \rho_2 = \dots = uA\rho = W_S = \text{常数}$$

对不可压缩流体

$$u_1 A_1 = u_2 A_2 = \dots = uA = V_S = \text{常数}$$

5. 实际流体的柏努利方程式

$$Z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} + W_e = Z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + \Sigma h_f \quad (\text{J/kg})$$

$$\text{或} \quad Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + H_e = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + H_f \quad (\text{m})$$

$$\text{或} \quad Z_1 \rho g + p_1 + \frac{\rho u_1^2}{2} + W_e \rho = Z_2 \rho g + p_2 + \frac{\rho u_2^2}{2} + \rho \Sigma h_f \quad (\text{Pa})$$

式中 W_e ——外界向系统加入的能量, J/kg ;

H_e ——外界向系统加入的能量, m ;

Σh_f ——系统的总摩擦阻力, J/kg ;

H_f ——系统的总摩擦阻力, m 。

6. 流体流过直管的摩擦阻力

$$h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2} \quad [\text{范宁公式 (J/kg)}]$$

或
$$\Delta p_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho u^2}{2} \quad (\text{Pa})$$

式中 h_f ——直管中的摩擦阻力, J/kg;

Δp_f ——流体在直管内流动时因摩擦阻力而产生的压强降, Pa;

λ ——摩擦系数, 无因次;

l ——直管总长, m;

d ——管内径, m。

7. 摩擦系数

滞流, 即 $Re \leq 2000$ 时

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

直管摩擦阻力

$$h_f = - \frac{\Delta p_f}{\rho} = \frac{32 \mu l u}{d^2 \rho} \quad (\text{J/kg})$$

或
$$-\Delta p_f = \rho h_f = \frac{32 \mu l u}{d^2} \quad [\text{泊谟叶方程 (Pa)}]$$

湍流, 即 $Re \geq 4000$ 时

可由有关教材 $\lambda - Re$ 图中查得摩擦系数 λ 。

特殊情况, 当流体在光滑管内流过且 $Re = 3 \times 10^3 \sim 1 \times 10^5$ 时, 可通过布拉修斯公式计算

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$$

8. 流体通过非圆形管的摩擦阻力

当流体流动为湍流时，仍可由范宁公式计算，但应将式中及 Re 数中的圆管直径用当量直径 d_e 代入。

当量直径的计算式

$$d_e = \frac{4A}{\pi}$$

式中 d_e ——非圆形管的当量直径，m；

A ——流通截面积， m^2 。

π ——管道润湿周边长度，m。

当流动为滞流时，此种方法计算误差较大，还须修正。

9. 流体通过管件及阀门的摩擦阻力，即局部摩擦阻力

(1) 当量长度法

$$h'_f = \lambda \frac{l_e}{d} \frac{u^2}{2}$$

式中 h'_f ——局部摩擦阻力，简称局部阻力，J/kg；

l_e ——管件与阀门的当量长度，m。

(2) 阻力系数法

$$h'_f = \zeta \frac{u^2}{2}$$

式中 ζ ——局部阻力系数，无因次。

10. 流体输送设备消耗的功率

$$N = \frac{N_e}{\eta} = \frac{W_e W_s}{\eta}$$

式中 N_e ——输送设备的有效功率，W；

N ——输送设备实际消耗的功率，W；

η ——输送设备的效率。

11. 并联管路

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$\Sigma h_{f,1} = \Sigma h_{f,2} = \dots = \Sigma h_{f,n}$$

12. 分支管路

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

及

$$\begin{aligned} Z_0 g + \frac{p_0}{\rho} + \frac{u_0^2}{2} &= Z_1 g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} + \Sigma h_{f,0-1} \\ &= Z_2 g + \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + \Sigma h_{f,0-2} \\ &= \text{常数} \end{aligned}$$

13. 毕托管压差计的读数与管道速度之间的关系

$$u_1 = \sqrt{\frac{2(\rho_0 - \rho)gR}{\rho}}$$

式中 u_1 ——测速管所在位置上流体的点速度, m/s;

ρ_0 ——指示液的密度, kg/m³;

ρ ——被测流体的密度, kg/m³;

R ——压差计的读数, m。

14. 孔板流量计的读数与流体体积流量间的关系

$$V_S = C_o A_o \sqrt{\frac{2(\rho_o - \rho)gR}{\rho}}$$

式中 V_S ——流体的体积流量, m³/s;

C_o ——孔流系数, 无因次, 一般取 $C_o \approx 0.6 \sim 0.7$;

A_o ——孔口截面积, m²。

15. 实际流体在水平圆管内呈滞流流动的速度分布式

$$u = \frac{-\Delta p_f}{4\mu l} (R^2 - r^2)$$

式中 u ——流速, m/s;

$-\Delta p_f$ ——由于流体内摩擦而产生的压强降, Pa;

l ——管长, m;

R ——圆管半径, m;

r ——距管中心的距离, m。

16. 离心泵的压头

$$H = (Z_2 - Z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + H_f$$

式中 H ——泵的压头, m;

Z_1 、 Z_2 ——吸入空间截面、压出空间截面的位压头, m;

p_1 、 p_2 ——吸入空间、压出空间的压强, Pa;

ρ ——被输送液体的密度, kg/m³;

g ——重力加速度, m/s²;

H_f ——克服全部摩擦阻力所损失的压头, m。

17. 离心泵的有效功率

$$N_e = \frac{QH\rho}{102}$$

式中 N_e ——泵的有效功率, kW;

Q ——泵的体积流量, m³/s;

H ——泵的压头, m。

18. 离心泵的轴功率

$$N = \frac{N_e}{\eta}$$

式中 N ——泵的轴功率, kW;

η ——泵的效率, %。

19. 离心泵的比例定律 (对离心通风机也可适用)。标“'”者表示改变后的操作参数。

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{n'}{n}; \quad \frac{H'}{H} = \left(\frac{n'}{n}\right)^2; \quad \frac{N'}{N} = \left(\frac{n'}{n}\right)^3$$

式中 n ——离心泵的转速, r/min;

20. 离心泵的允许安装高度

$$H_g = H_s - H_{fs} - \frac{u_s^2}{2g}$$

或
$$H_g = \frac{p_o - p_v}{\rho g} - \Delta h - H_{fs} - \frac{u_s^2}{2g}$$

式中 H_g ——离心泵的允许安装高度, m;

H_s ——离心泵的允许吸上真空度, m;

H_{fs} ——离心泵的吸入管路的压头损失, m;

$\frac{u_s^2}{2g}$ ——离心泵吸入口处的动压头, m;

p_o ——吸入贮罐液面上方的压强, Pa;

p_v ——在输送温度下, 液体的饱和蒸气压, Pa;

Δh ——允许气蚀余量, m。

21. 往复泵的流率

单动泵
$$Q = \eta_v A S n_r$$

双动泵
$$Q = \eta_v (2A - a) S n_r$$

式中 Q ——泵的流率, m³/min;

η_v ——容积效率, %;

A 、 a ——分别为活塞、活塞杆的截面积, m²;

n_r ——活塞每分钟的往复次数, 1/min;

22. 离心通风机的(全)风压

$$H_T = (p_2 - p_1) + \frac{\rho u_2^2}{2}$$

式中 H_T ——离心通风机对管路系统应提供的风压, Pa;

u_2 ——气体在排出管路的流速, m/s;

p_1 、 p_2 ——分别为气体在吸入空间与排出空间的压强, Pa;

ρ ——气体的平均密度, kg/m^3 。

23. 离心通风机的轴功率

$$N = \frac{H_T Q}{\eta}$$

式中 N ——轴功率, W ;

Q ——风量, m^3/s ;

H_T ——全风压, Pa ;

η ——效率, %。

第一部分 概念题示例与分析

一、思考题

1-1 下图所示的两个 U 形管压差计中, 同一水平面上的两点 A、B 或 C、D 的压强是否相等?

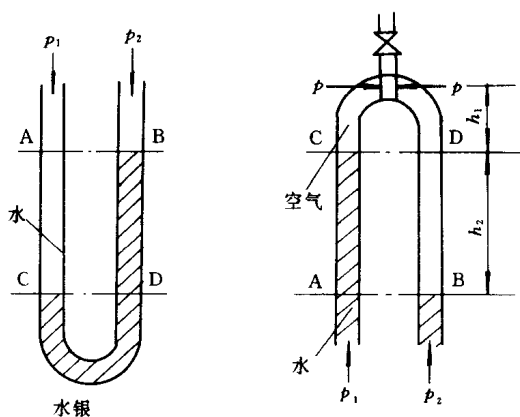


图 1-1 1-1 附图

答：在图 1-1 所示的倒 U 形管压差计顶部划出一微小空气柱。

空气柱静止不动，说明两侧的压强相等，设为 p 。

由流体静力学基本方程式：

$$p_A = p + \rho_{\text{空气}}gh_1 + \rho_{\text{水}}gh_2$$

$$p_B = p + \rho_{\text{空气}}gh_1 + \rho_{\text{空气}}gh_2$$

$$\because \rho_{\text{水}} > \rho_{\text{空气}} \quad \therefore p_A > p_B$$

即 A、B 两点压强不等。

而

$$p_C = p + \rho_{\text{空气}}gh_1$$

$$p_D = p + \rho_{\text{空气}}gh_1$$

也就是说， p_C 、 p_D 都等于顶部的压强 p 加上 h_1 高空气柱所引起的压强，所以 C、D 两点压强相等。

同理，左侧 U 形管压差计中， $p_A \neq p_B$ 而 $p_C = p_D$ 。

分析：等压面成立的条件——静止、等高、连通着的同一种流体。两个 U 形管压差计的 A、B 两点虽然在静止流体的同一水平面上，但终因不满足连通着的同一种流体的条件而非等压。

1-2 容器中的水静止不动。为了测量 A、B 两水平面的压差，安装一 U 形管压差计。图示这种测量方法是否可行？为什么？

答：如图 1-2，取 1-1' 为等压面。

由 $p_1 = p_{1'}$ 可知：

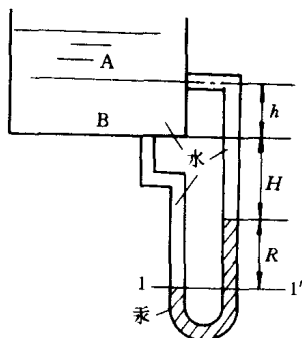


图 1-2 1-2 附图

$$\begin{aligned}
 p_B + \rho_{H_2O}g(R + H) \\
 &= p_A + \rho_{H_2O}g(h + H) + \rho_{Hg}gR \\
 p_B &= p_A + \rho_{H_2O}gh
 \end{aligned}$$

将其代入上式，整理得

$$(\rho_{Hg} - \rho_{H_2O})gR = 0$$

$$\therefore \rho_{Hg} - \rho_{H_2O} \neq 0$$

$$\therefore R = 0$$

R 等于零，即压差计无读数，所以图示这种测量方法不可行。

分析：为什么压差计的读数为零？难道 A、B 两个截面间没有压差存在吗？显然这不符合事实。A、B 两个截面间确有压差存在，即 h 高的水柱所引起的压强。

问题出在这种测量方法上，是由于导管内充满了被测流体的缘故。连接 A 平面测压口的导管中的水在下行过程中，位能不断地转化为静压能。此时，U 形管压差计所测得的并非单独的压差，而是包括位能影响在内的“虚拟压强”之差。当该导管中的水引至 B 平面时，B-B' 已为等压面，再往下便可得到无数个等压面。压差计两侧的压强相等， R 当然等于零。

这个结论很重要，在以后的讨论中常遇到。

1-3 一无变径管路由水平段、垂直段和倾斜段串联而成。在等长度的 A、B、C 三段两端各安一 U 形管压差计。设指示液和被测流体的密度分别为 ρ_0 和 ρ ，当流体自下而上流过管路时，试问：

(1) A、B、C 三段的流动阻力是否相同？

(2) A、B、C 三段的压差是否相同？

(3) 3 个压差计的读数 R_A 、 R_B 、 R_C 是否相同? 试加以论证。

答: (1) $\because$ 因流动阻力 $h_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{u^2}{2}$, 该管路 A、B、C 3 段的 λ 、 l 、 d 、 u 均相同,

$$\therefore h_{f,A} = h_{f,B} = h_{f,C}$$

(2) 在 A、B、C 三段的上、下游截面间列柏努利方程式:

$$gZ_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} = gZ_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{u_2^2}{2} + h_f$$

化简, 得

$$\Delta p = \rho h_f + \rho g \Delta Z$$

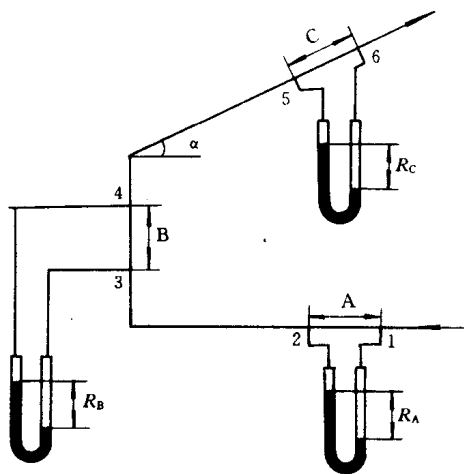


图 1-3 1-3 附图

A 段:

$$\Delta p_A = p_1 - p_2 = \rho h_{f,A} \quad (a)$$

B 段:

$$\Delta p_B = p_3 - p_4 = \rho h_{f,B} + \rho g l_B \quad (b)$$