

高等学校教学参考书

化学工程基础
习题及解答

湖南大学

前 言

本书系根据1981年12月在广州审定《化学工程基础》简明教材会上所拟定的计划编写的。

全书分：流体动力过程、传热过程、传质（吸收、精馏）过程、化学反应工程及化学工程基础常用理化数据、图表五章，共234题，并附有详细解答。书中所涉及到的内容，是按80年教育部下达的理科化学系（科）的《化学工程基础》教学大纲要求安排题目的。在编写过程中注意了由浅入深，易难结合，适合于采用北京大学、上海师院、福建师大和湖南大学所编写的《化学工程基础》教材的各类学校化学系（科）师生使用。亦可作为化工厂职工业余大学、科研人员参考。

在编写中，得到了吴迪胜、曹正修、谭立业等几位付教授和赵廷仁、韩白光、赵延桢、仇明华及安徽师大化学系工组的老师大力支持，在此一一表示感谢。

由于编者水平有限，在选题、解题上存在不少的问题，望使用者批评指正。

湖南大学化工原理教研室

第 1 梯 82.4于长沙

目 录

前 言

第一章 流体流动

第二章 热量传递

第三章 质量传递

第四章 化学反应工程

第五章 化学工程常用理化数据

第一章 流体流动

符号及说明

符号及意义	SI单位	工程单位
γ_0 ——标准状态下流体的重度	$\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$	kgf/m^3
γ ——流体的重度	$\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^2$	kgf/m^3
ρ_0 ——标准状态下流体的密度	kg/m^3	$\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$
ρ ——流体的密度	kg/m^3	$\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$
S ——流体的比重		
p_0 ——标准状态下流体的压强	$\text{N/m}^2, \text{kN/m}^2$	kgf/m^2
p ——流体的压强	$\text{N/m}^2, \text{kN/m}^2$	kgf/m^2
p_a ——大气压强	$\text{N/m}^2, \text{kN/m}^2$	kgf/m^2
T_0 ——标准状态下流体的绝对温度	K	K
T ——流体的绝对温度	K	K
M ——流体的分子量	kg/kmol	kgf/kg-mol
M_m ——流体的平均分子量	kg/kmol	kgf/kg-mol
x ——流体的体积分率		
d_0, d_1, d_2, d_3 ——管道直径	m	m
d_0 ——孔径	m	m
d_e ——当量直径	m	m
h ——流体层高度	m	m
h_f ——流体摩擦损失能量	J/kg	m
l ——管道长度	m	m
l_e ——当量长度	m	m

N——有效功率	W, kW	kgf·m/s
N _e ——轴功率	W, kW	kgf·m/s
R——气体常数	8.314kJ/kmol·K	848kgf/kg·mol·K
R——半径	m	m
r——半径	m	m
Re——雷诺准数	$\left(\frac{du\rho}{\mu}\right)$	
u——流体的速度	m/s	m/s
V——流体的体积流量	m ³ /s	m ³ /s
H _e ——外加能量	J/kg	kgf·m/kgf
ε——绝对粗糙度	mm	mm
ξ——局部阻力系数		
λ——摩擦阻力系数		
η——设备效率		
μ——流体粘度	N·s/m ²	kgf/s·m ²
Δh——汽蚀余量	m	m
H _s ——离心泵的允许吸上真空高度	m	m
V _s ——泵的流量	m ³ /s	m ³ /s

第一章 流体流动

1—1. 如果石油的比重 $S=0.89$ ，试求在工程单位制，CGS单位制和SI单位制中石油的重度及密度。

解

(1) 在工程单位制中：

$$\because S=0.89$$

$$\therefore r=1000S=1000 \times 0.89=890 \text{ kgf/m}^3$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{890}{9.81} = 90.6 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$$

(2) 在CGS单位制中：

$$\because \rho = S = 0.89 \text{ g/cm}^3$$

$$\therefore r = \rho g = 0.89 \times 981 = 873 \text{ g/s}^2 \cdot \text{cm}^3 = 873 \text{ dyn/cm}^3$$

(3) 在SI单位制中：

$$\because \rho = 890 \text{ kg/m}^3$$

$$\therefore \gamma = \rho g = 890 \times 9.81 = 873 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^2 = 873 \text{ N/m}^3$$

1—2. 某溶液的重度为 1.31 kgf/l ，试求出它在工程单位制和SI单位制中的密度。

解

(1) 在工程单位制中：

$$\because \gamma = \frac{1.31}{0.001} = 1310 \text{ kgf/m}^3$$

$$\therefore \rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{1310}{9.81} = 134 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$$

(2) 在SI单位制中:

$$\rho = 1310 \text{ kg/m}^3$$

1—3. 试计算出氢气在 10 个大气压 (表压) 和温度为 20°C 下的工程单位和SI单位制中重度、密度。

解

由于压力不高可近似为理想气体依下列公式 $\gamma = \gamma_0 \frac{T_0 P}{T P_0}$

求出

(1) 在工程单位制中:

$$\begin{aligned} r &= r_0 \frac{T_0 P}{T P_0} \\ &= \frac{2}{22.4} \times \frac{273 \times 11}{293 \times 1} \\ &= 0.915 \text{ kgf/m}^3 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{0.915}{9.81} = 0.093 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$$

(2) 在SI单位制中:

$$\rho = 0.915 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma = \rho g = 0.915 \times 9.81 = 8.98 \text{ kg/s}^2 \cdot \text{m}^2 = 8.98 \text{ N/m}^3$$

1—4. 制造氯乙烯的原料气体经混合脱水后, 其成分可近似为HCl 51%, C_2H_2 49% (皆为体积百分数) 气体的温度为 -15°C, 压力为 0.1 个表压, 当地为一个大气压, 试求气体的密度。

解

$$\because P = 1 + 0.1 = 1.1 \times 10^2 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} M_m &= 0.51 \times 36.5 + 0.49 \times 26 \\ &= 31.33 \text{ kg/kmol} \end{aligned}$$

$$T = 273 - 15 = 258K$$

$$R = 8.31 \text{ kJ/kmol} \cdot K$$

$$\begin{aligned} \therefore \rho &= \frac{PM_m}{RT} \\ &= \frac{1.1 \times 10^2 \times 31.33}{8.31 \times 258} \\ &= 1.16 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

1-5. 已知煤气组成如下表（皆为体积百分数）试求在780mmHg和25℃时该煤气的重度。

组 成	CO ₂	C ₂ H ₂	O ₂	CO	CH ₄	H ₂	N ₂
体 积 百 分 数	1.8	2	0.7	6.5	24	58	7

解

按下列公式求出煤气在标准状况下平均重度

$$\begin{aligned} r_{m0} &= x_1 \gamma_1 + x_2 \gamma_2 + \dots x_n \gamma_n \\ &= 1.98 \times 1.8\% + 1.26 \times 2\% + 1.43 \times 0.7\% + \\ &\quad 1.25 \times 6.5\% + 0.717 \times 24\% + 0.0898 \times 58\% + \\ &\quad 1.25 \times 7\% \\ &= 0.483 \text{ kgf/m}^3 \end{aligned}$$

∴ 在给定的条件下压力不高可视煤气为理想气体，即按下式计算：

$$\begin{aligned} \gamma_m &= \gamma_{m0} \frac{T_0 P}{T P_0} \\ &= 0.483 \times \frac{780}{760} \times \frac{273}{298} \\ &= 0.458 \text{ kgf/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{即 } \rho_m = 0.458 \text{ kg/m}^3$$

60 证明 $1\text{kgf/cm}^2 = 10\text{mH}_2\text{O}$

证明

$$\therefore \gamma_{\text{水}} = 10^3 \text{kgf/m}^3$$

$$h = 10\text{m}$$

$$\therefore P = \gamma h$$

$$= 10^3 \times 10$$

$$= 10^4 \text{kgf/m}^2$$

$$= 1 \text{kgf/cm}^2 \text{ (证毕)}$$

1—7. 某气柜内的压强为 $200\text{mmH}_2\text{O}$ (表压), 若当地大气压强为 10330kgf/m^2 , 试求气柜内绝对压强。

解

$$\therefore 200\text{mmH}_2\text{O} = 200\text{kgf/m}^2$$

$\therefore$ 气柜内的绝对压强为

绝对压强 = 大气压 + 表压

$$= 10330 + 200$$

$$= 10530\text{kgf/m}^2$$

$$= 1.053 \times 9.81 \times 10^5 \text{N/m}^2$$

$$= 1.033 \times 10^3 \text{kN/m}^2$$

1—8. 某冷凝器上真空计所指的真空度为 600mmHg , 当地大气压为 748mmHg 。试求

(a) 冷凝器内的绝对压强为多少? (以 kgf/cm^2 表示)

(b) 气压管中水上升的高度 H 为多少?

解

(a) 冷凝器内的绝对压强

绝对压强 = 大气压 - 真空度

$$= 748 - 600$$

$$= 148\text{mmHg}$$

$$=0.148\text{mHg}$$

$$\text{水银的重度}\gamma=13600\text{kgf/m}^3$$

$$\therefore P=\gamma h$$

$$=13600 \times 0.148$$

$$=2010\text{kgf/m}^2$$

$$=0.201\text{kgf/cm}^2.$$

(b) 水在管内上升的高度 H

解

$$H = \frac{P_0 - P}{\gamma}$$

$$= \frac{\left(\frac{748}{760} \times 1.033 - 0.201\right) \times 10^4}{1000}$$

$$=8.16\text{m}.$$

1—9. 某敞开贮槽内盛有比重 $S=1.23$ 的液体。接在贮槽某点的压强计 (如图示) 其读数为 0.31 个大气压 (表压) 试问液面到压强计接口处的距离为多少米?

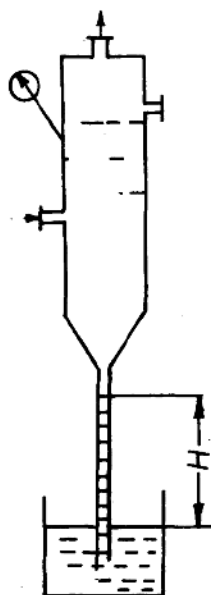
解

$\therefore$ 容器系敞开, 故外界施于液面上的压强 $P_0 = P$

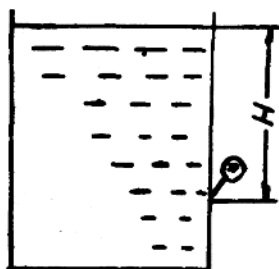
依据帕斯卡定律而得

$$P = P_0 + \gamma H$$

$$\therefore H = \frac{P - P_0}{\gamma}$$



1—8 图 1



1—9 图 2

又： $P-P_a$ 的差值就是压强计读数。

∴ 液面到压强计接口处的距离

$$H = \frac{P-P_a}{\gamma} = \frac{0.31 \times 10^4}{1.23 \times 10^3} = 2.53 \text{ m}$$

1—10. 水平导管上的两点接一盛有水银的U形玻璃压强计，压力计内两水银面的差 $h = 26 \text{ mmHg}$ 。如果在导管流经的为

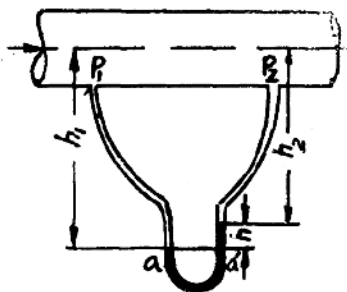
(a) 水

(b) 为 20°C 和一个大气压下的空气。试求压力计所指示压力差为多少 kN/m^2 ?

解

(a) 导管流经水

∴ 水平面上 $a-a'$



1—10 图3

系等压面

$$\therefore P_a = P_{a'}$$

$$\text{又} \because P_a = P_1 + h_1 \rho_{\text{水}} g$$

$$P_{a'} = P_2 + h_2 \rho_{\text{水}} g + h \rho_{\text{汞}} g$$

$$\text{故 } P_1 + h_1 \rho_{\text{水}} g = P_2 + h_2 \rho_{\text{水}} g + h \rho_{\text{汞}} g$$

$$\text{则 } P_1 - P_2 = (h_2 - h_1) \rho_{\text{水}} g + h \rho_{\text{汞}} g$$

$$= (h_1 - h_2) \rho_{\text{水}} g + h \rho_{\text{汞}} g$$

$$= (\rho_{\text{汞}} - \rho_{\text{水}}) g h \quad (\because h = h_1 - h_2)$$

$$\text{由题可知: } h = 0.026 \text{ m}, \quad \rho_{\text{水}} = 10^3 \text{ kg/m}^3,$$

$$\rho_{\text{汞}} = 13600 \text{ kg/m}^3$$

$$\therefore P_1 - P_2 = 0.026 \times 9.81 \times (13600 - 1000)$$

$$= 3.2 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

$$= 3.2 \text{ kN/m}^2$$

(b) 导管中流经空气

解

$$\therefore \gamma_{\text{空气}} = \gamma_0 \frac{T_0 P}{T P_0}$$

$$= \frac{29}{22.4} \times \frac{273 \times 1}{293 \times 1}$$

$$= 1.2 \text{ kgf/m}^3 \quad (M_{\text{空气}} = 29 \text{ kgf/kgmol})$$

$$\rho_{\text{空气}} = 1.2 \text{ kg/m}^3$$

$$\therefore P_1 - P_2 = (\rho_{\text{汞}} - \rho_{\text{空气}}) h g$$

$$= (13600 - 1.2) \times 0.026 \times 9.81$$

$$\approx 3.42 \text{ kN/m}^2$$

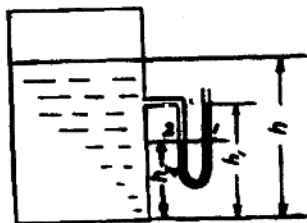
1—11. 用U形管液柱压强计测量某密闭容器中比重为 $S = 1$ 的液体液面上的压强, 压强计内指示液为汞, 如右图所示。

已知 $h = 2.4 \text{ m}$

$$h_1 = 1.3 \text{ m}$$

$$h_2 = 1 \text{ m}$$

试求液面上的压强 P 为多少 kN/m^2 ?



解

在图上分别标出1, 2两点。

1—11 图4

$$\therefore P_1 = P_0 + (h_1 - h_2) \rho_{\text{汞}} \cdot g$$

$$P_2 = P + (h - h_2) \rho_{\text{液体}} \cdot g$$

又 $\because$ 1, 2 两点同处于一水平面上, 流体处于静止, 连续。

$$\therefore P_1 = P_2$$

$$\text{故 } P + \rho_{\text{液体}}(h - h_2) = P_a + \rho_{\text{汞}}g(h_1 - h_2)$$

$$P = P_a + \rho_{\text{汞}}g \times 0.3 - \rho_{\text{液体}} \times g \times 3$$

$$= P_a + 13600 \times 9.81 \times 0.3 - 1000 \times 9.81 \times 3$$

$$P_a + 10594.8 \text{ N/m}^2$$

$$= 101.3 \text{ kN/m}^2 + 10.6 \text{ kN/m}^2$$

$$= 111.9 \text{ kN/m}^2. \quad (P_a = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2)$$

1—12. 如右图所示微压计中, 设管与杯之直径比 d/D 为已知, 已知液体的密度为 $\rho_1 \text{ kg/m}^3$ 和指示液密度为 $\rho_2 \text{ kg/m}^3$ 。试根据读数 h 求出罐中气体的压强 P 。

解

作用如图所示的 Δh

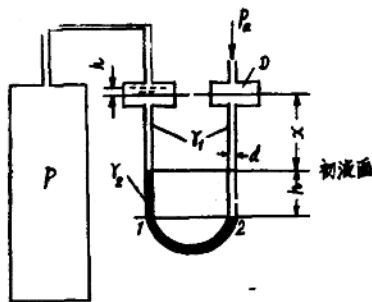
和 x 从左边来看

$$P_1 = P + \rho_1 g (\Delta h + x) + \rho_2 gh$$

从右边来看

$$P_2 = P_a + \rho_1 g (x + h)$$

$\therefore$ 水平面 1—2 两边



系等压面

1—12 图5

$$\therefore P_1 = P_2$$

$$\text{故 } \rho + \rho_1 g (\Delta h + x) + \rho_2 gh = P_a + \rho_1 g (x + h)$$

整理而得到

$$P = P_a - (\rho_2 - \rho_1)gh - \rho_1 g \Delta h \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

$\therefore$ 式①中 Δh 仍是未知数, 为了消除 Δh , 那么我们只好考虑液体体积的变化关系。

当两边都处于同样外界大气压 P_a 下时, 则左右两边一定会处于初液面水平面上。

$\therefore$ 液体视为不可压缩

∴ 液体体积不变。

$$\text{故 } \frac{\pi}{4} D^2 \Delta h = \frac{\pi}{4} d^2 h$$

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

②代入①整理而得到

$$P = P_0 - (\rho_2 - \rho_1)gh - \rho_1 g \frac{d^2}{D^2} h$$

$$\because \rho_2 > \rho_1$$

$$\therefore P_a > P$$

说明罐中气体压强比外界大气压小，那么罐中处于真空系统中。

$$\text{故其真空度} = P_0 - P$$

$$= (\rho_2 - \rho_1) gh + \rho_1 g \frac{d^2}{D^2} h \dots\dots\dots ③$$

将③式整理而得到罐中气体压强为：

$$P = P_0 - \left[(\rho_2 - \rho_1) gh + \rho_1 g \frac{d^2}{D^2} h \right]。$$

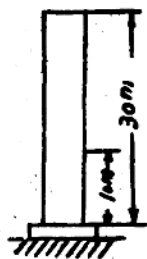
1—13. 某塔高30m。现进行水压试验时、离底10m 高处的压力计读数为500kN/m²。当地大气压强为100kN/m²时，试求塔底和塔顶处水的压强。

解

塔中10m处压力表的读数为500kN/m²，则其水的压力为

$$\begin{aligned} P_1 &= 500 + 100 \\ &= 600 \text{ kN/m}^2. \end{aligned}$$

$$\therefore P_2 = P_1 + (h_1 - h_2) \rho g$$



1—13 图6

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

若取塔底为基准水平面则

压强表处的高度 $h_1 = 10 \text{ m}$

塔底高度 $h_2 = 0 \text{ m}$

塔顶高度 $h_3 = 30 \text{ m}$

$\therefore$ 塔底处水压强

$$\begin{aligned} P_2 &= P_1 + (h_1 - h_2) \rho g \\ &= 600 + 10^3 \times 9.81 \times 10 / 10^3 \\ &= 600 + 98.1 \\ &= 698.1 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$\therefore$ 塔顶处水压强

$$\begin{aligned} P_3 &= 600 + (10 - 30) \times 10^3 \times 9.81 / 10^3 \\ &= 600 - 196.2 \\ &= 403.8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

1—14. 如图中所示的容器内存有密度为 800 kg/m^3 的油, U形管压强计中的指示液为水银, 读数为 200 mmHg , 试求容器内油面高度。

解

设容器上面气体的压强为

P_0 , 油面高度为 $h \text{ m}$ 。

则由静力学基本方程式:

$\therefore$ U管压强计左边的压

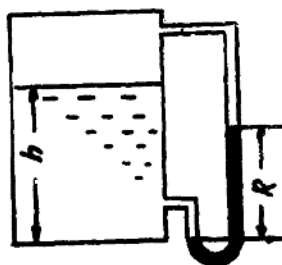
强

$$P_1 = P_0 + \rho_{\text{油}} g h \dots \dots (1)$$

$\therefore$ U管压强计右边的压强

$$P_2 = P_0 + \rho_{\text{汞}} g R \dots \dots (2)$$

$\therefore P_1 = P_2$ (等压面)



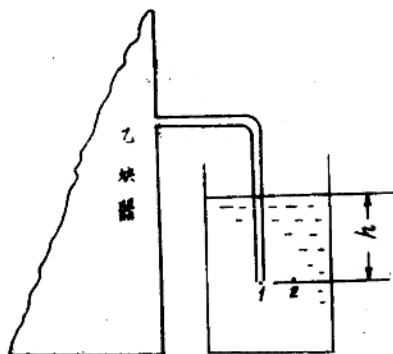
1—14 图7

$$\therefore P_0 + \rho_{\text{油}}gh = P_0 + \rho_{\text{汞}}gR$$

$$h = \frac{R\rho_{\text{汞}}}{\rho_{\text{油}}} \\ = \frac{0.2 \times 13600}{800}$$

$$= 3.4 \text{ m}$$

1—15. 如图所示，为了控制乙炔发生炉内压强不超过 80mmHg（表压）在炉外装有安全液封装置，其作用是炉内压强超过规定值时，气体从水封管排出。试求水封槽的水面高出水封管口的高度。



1—15 图8

解

安全操作时炉内的最高表压强为 80mmHg，水封管内充满气体，水封水面的高度保持 h m

现以水封管口水平面为基准面在上取 1，2 两点，其压强为：

$$P_1 = \text{炉内压强} = \text{大气压} + 80 \times 133.3 \text{ N/m}^2$$

$$P_2 = \text{大气压} + \rho_{\text{水}}gh = P_0 + 9.81 \times 10^3 h$$

$$\therefore P_1 = P_2$$

$$\therefore 9.81 \times 10^3 h = 80 \times 133.3$$

$$h = 1.087 \text{ m}$$

1—16. 某合成氨厂，在罗茨鼓风机出口管路上装有一安全水封如图所示，这个水封的作用是当脱碳工段发生故障，煤气没有出路而罗

茨鼓风机来不及停车

时，出口管路的压强就

增加，影响罗茨鼓风机的

安全运转，这时水封

起泄压作用，使出口压

强管的压强与入口管的

压强平衡。已知正常情

况下，入口压强 $P_0 =$

300 mmHg ，出口压强

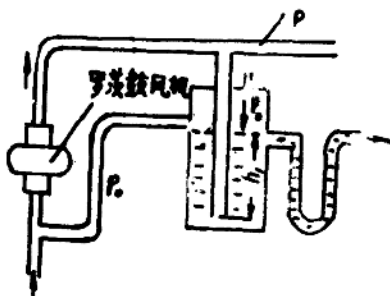
小于 150 mmHg ，出口的

煤气被水封住，而不与

进口管相通。当出口压强增到 $P = 150 \text{ mmHg}$ 时，水封被气体

冲破，出口煤气与进口管相通，出口管路降低压强。试求水

封槽内浸在煤气管以上的液位高度 h 。



1—16 图9

解

已知 $P_0 = 300 \text{ mmHg}$

$$P = 150 \text{ mmHg} = \frac{10^4}{735.6} \times 150 = 2040 \text{ mmHg}$$

依据流体静力学基本方程式：

$$\therefore P = P_0 + \rho gh$$