

化工原理习题解析.下册

余立新 戴猷元 著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书为“北京市高等教育精品教材立项项目”《化工原理》(第2版)的配套习题解析。“化工原理”为清华大学“一类课”和“精品课”建设项目。本书对教材中的所有习题进行了解答和分析,分上下两册。下册解析了传质分离过程概论、吸收、蒸馏、气液传质设备、液液萃取、干燥、吸附分离、膜分离和其他分离过程等9章的习题。

读者对象为高等院校化工、生物化工、环境、食品、轻工、制药和材料等专业的师生,以及从事上述专业的设计、开发和操作人员。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

化工原理习题解析.下册/余立新,戴猷元编著.北京:清华大学出版社,2004.10
ISBN 7-302-09448-9

. 化... . 余... 戴... . 化工原理 - 高等学校 - 题解 . TQ02-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 091441 号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 柳 萍

文稿编辑: 李艳青

封面设计:

版式设计:

印 装 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 170×230 印张: 11 字数: 202千字

版 次: 2004年10月第1版 2004年10月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-09448-9/TQ·18

印 数: 0001~

定 价: 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103或(010)62795704

前 言

习题是教科书的有机组成部分。通过演练习习题,可以进一步加深对基本知识的理解和掌握。

在清华大学化工系化工原理教研组多年教学的基础上,我们编写了这套习题解析。它不仅对《化工原理》(第2版)书中的习题进行了解答,还对其进行了一定的分析,有助于学生对课堂知识和工程知识的综合掌握。

虽然关于化工原理习题题解的书已经有若干种,但是我们还是愿意再奉献一套,主要目的是向同学们展示,同样的题目,有不同的思路和理解,可以帮助同学们更加全面深入地掌握基本原理。

本书给出了《化工原理》(第2版)下册所有习题的解题步骤。之所以给出所有的步骤,而不是仅给出“标准”答案,是因为我们更加注重解决问题的思路。思路 and 结果同样重要。如果思路不对,而恰巧结果相同或者相似,很容易让学生感觉到自己已经掌握了,而实际上可能没有掌握。

本书的解题思路借鉴了美国的 Phillip C. Wankat 在 *Equilibrium Staged Separations* 一书中介绍的 7 步解题法。这 7 步是:

0. 我愿意做并且我能够完成;
1. 对问题进行界定;
2. 思考;
3. 计划;
4. 解答;
5. 检查;
6. 总结归纳。

步骤 0 涉及做题的动力和自信问题。通过解题你可以了解到“我已经在化学工程领域内有如此的能力了”。你解的题目类型越多,你对解决问题也就越熟练。一定要学会愿意并且相信自己能够求解化学工程问题。

步骤 1 要求你界定好问题。仔细审题,字斟句酌,画出草图,做出标示,列出所有已知条件和约束条件,明确题目要求你完成什么。如果你不能明确地界定问题,恐怕就不能解答它。

步骤 2 要求你进一步做出思考。哪些是真正要求你来完成的任务?应该使用哪些基本的原理?你是否能够找出一个简化的极限解,从而将答案限定在一

定的范围内？题目给出的条件是多还是少？仔细反复考虑该问题，再返回步骤 1 进行检验，看是否有修正。有经验的解题者虽然不把该步骤明确地写出来，但是思考经常是少不了的。

步骤 3 要求你将问题有计划地分成若干块，并确定需要首先解决的分块。此时需要选出合适的理论和原理，以及使用的数学方法。在汇总的过程中，子问题可能还需要进一步分解。

到步骤 4 才开始真正做答，没有经验者往往将该步骤作为解题的第一步。在本步骤中将进行数学运算并且得到答案。如果前面计划做得不全面，你可能完成不了本步骤的工作，需要返回前述步骤重新思考和计划。

步骤 5 要求你对答案进行检验。数量级对吗？比如，实际的精馏塔不可能只有 30 cm 或者 3 000 m 那么高。答案看起来合理吗？代入数字时是否有笔误？使用计算器时是否按错了键？是否能够通过另外的解题途径来相互印证？如果发现错误或者不一致的地方，就要返回前面重新计算。

步骤 6 是归纳总结。该步骤非常重要，但是经常被忽略。通过归纳总结，你将可以尽可能多地从题目中获取知识。

本书的另一个特点是对部分题目本身的“合理性”也进行了分析，相信这将帮助读者进一步开阔思路。

早在 1992 年，清华大学化工原理教研组的老师就准备过一套习题解答草稿，其中王保国对第 1 章(流体流动)和第 2 章(流体输送机械)，林爱光对第 3 章(流体通过颗粒和颗粒床层的流动)和第 4 章(非均相混合物的分离)，陈翠仙对第 5 章(传热)和第 6 章(蒸发)，刘茂林对第 8 章(吸收)和第 13 章(吸附分离)，李琳对第 9 章(蒸馏)，雷良恒对第 11 章(液液萃取)，刘芳对第 12 章(干燥)进行了习题解答，这些努力对于本书的形成有一定的参考价值。

本书新增了第 0 章(绪论)、第 7 章(传质分离过程概论)、第 14 章(膜分离)和第 15 章(其他分离方法)等章节的习题解析。在编著本书的过程中，与蒋维钧教授进行了讨论和交流，在此表示对他的谢意。

作 者

目 录

7	传质分离过程概论	1
8	吸收	7
9	蒸馏.....	52
10	气液传质设备	95
11	液液萃取.....	102
12	干燥.....	123
13	吸附分离.....	149
14	膜分离.....	160
15	其他分离方法.....	167

7 传质分离过程概论

7-1 用不同的组成表示法表示下列两组分混合物:

(1) 焦炉气燃烧后的干废气, 其中含 CO_2 9% (体积分数), 其余假设全为 N_2 , 试计算 CO_2 的摩尔分数、质量分数、摩尔比和质量比;

(2) 含乙醇 12% (质量分数) 的水溶液, 其密度为 980 kg/m^3 , 试计算乙醇的摩尔分数、摩尔比、质量比、质量浓度和摩尔浓度。

解 (1) 由于体积分数等于摩尔分数, 故 $x_A = 0.09$ 。于是得到:

摩尔比

$$X_A = \frac{x_A}{1 - x_A} = \frac{0.09}{1 - 0.09} = 0.0989$$

质量比

$$\bar{X}_A = \frac{0.0989 \times 44}{1 \times 28} = 0.1554$$

质量分数

$$\bar{x}_A = \frac{0.1554}{1 + 0.1554} = 0.1345$$

(2) 摩尔分数

$$x_A = \frac{0.12/46}{0.12/46 + 0.88/18} = 0.0507$$

摩尔比

$$X_A = \frac{0.0507}{1 - 0.0507} = 0.0534$$

质量比

$$\bar{X}_A = \frac{0.12}{1 - 0.12} = 0.1364$$

质量浓度

$$G_A = 980 \times 0.12 = 117.6 \text{ kg/m}^3$$

摩尔浓度

$$c_A = 117.6/46 = 2.557 \text{ kmol/m}^3$$

分析 各种浓度的换算是基本功之一。

在不同过程的设计或分析中习惯使用不同的浓度表示方法。比如本册内容

中精馏一章习惯使用摩尔分数,吸收一章习惯使用摩尔比,萃取一章多用质量分数,干燥一章多用质量比。

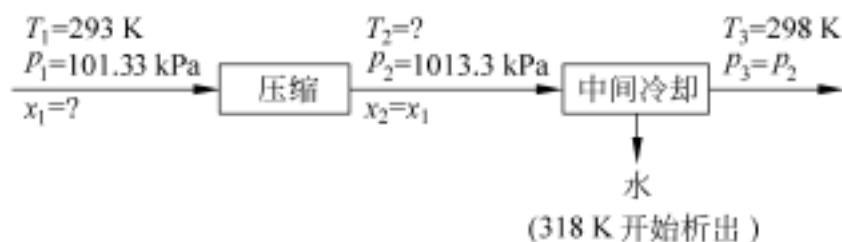
以下各题将分别涉及本册应用很广的物料衡算、平衡关系、动力学参数(D 和 k)的练习。

7-2 将含有水蒸气的空气从 101.33 kPa, 293 K 压缩到 1 013.3 kPa, 然后在中间冷却器中进行冷却, 测得 318 K 时开始有水冷凝, 气体从中间冷却器出来的温度为 298 K。求:

(1) 压缩前后以及冷却器出口的混合气体中, 水蒸气的质量分数、质量比、摩尔分数、摩尔比和摩尔浓度;

(2) 水蒸气冷凝的百分率。

解 首先画出过程示意图, 然后再求解。



题 7-2 图

(1) 318 K 下水的饱和蒸气压为 9.584 kPa, 故压缩前后混合气中水的摩尔分数为

$$x_1 = x_2 = \frac{9.584}{1013.3} = 0.00946$$

摩尔比

$$X_1 = X_2 = \frac{0.00946}{1 - 0.00946} = 0.00955$$

质量分数

$$\bar{x}_1 = \frac{0.00946 \times 18}{0.00946 \times 18 + (1 - 0.00946) \times 29} = 0.00589$$

质量比

$$\bar{X}_1 = \frac{0.00955 \times 18}{1 \times 29} = 0.00593$$

根据理想气体状态方程 $pV = nRT$ 可求出压缩前混合气中水的摩尔浓度为

$$c = \frac{n}{V} = \frac{p_{A1}}{RT_1} = \frac{x_1 p_1}{RT_1} = \frac{0.00946 \times 101.330}{8.314 \times 293} = 0.394 \text{ mol l}^{-3}$$

由于压缩过程的具体细节未知, 所以 T_2 并不知道, 故 c 尚不能求。由于出口气体中水的分压等于 298 K 下水的饱和蒸气压 3.168 kPa, 故有:

摩尔分数

$$x_3 = \frac{3.168}{1013.3} = 0.00313$$

摩尔比

$$X_3 = \frac{0.00313}{1 - 0.00313} = 0.00314$$

质量比

$$\bar{X}_3 = \frac{0.00314 \times 18}{1 \times 29} = 0.00195$$

质量分数

$$\bar{x}_3 = \frac{0.00195}{1 + 0.00915} = 0.00195$$

摩尔浓度

$$c_3 = \frac{p_{A3}}{RT_3} = \frac{3.168 \times 1000}{8.314 \times 298} = 1.279 \text{ mol/m}^3$$

$$(2) \text{ 水蒸气冷凝的百分率} = \frac{X_1 - X_3}{X_1} = 1 - \frac{0.00314}{0.00955} = 67.1\%$$

分析 本题用到了热力学知识,这是本书后续内容中经常要用到的基础知识之一。本题还用到了物料衡算,这也是本书中经常涉及的。

7-3 计算 SO_2 在 40°C , 101.33 kPa 压力下的空气中的扩散系数。

解 算法 1: 使用 Gilliland 经验式:

$$D = \frac{4.36 \times 10^{-5} \times T^{3/2}}{p(V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}$$

其中, $T = 40 + 273.2 = 313.2 \text{ K}$, $p = 101.33 \text{ kPa}$, $V_A = 44.8 \text{ cm}^3/\text{mol}$, $V_B = 29.9 \text{ cm}^3/\text{mol}$, $M_A = 64$, $M_B = 29$ 。故计算出

$$D = 1.205 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

算法 2: 查出 $T_0 = 273 \text{ K}$ 时, SO_2 在空气中的扩散系数 $D_0 = 1.22 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, 便可算出当 $T = 313.2 \text{ K}$ 时, 有

$$D = D_0 \left[\frac{T}{T_0} \right]^{1.5} = 1.22 \times 10^{-5} \times \left[\frac{313.2}{273} \right]^{1.5} = 1.50 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

分析 扩散系数是重要的动力学参数。动力学是本册的另一个重要内容,掌握扩散系数 D 的获取方法对于传质过程的设计和分析至关重要。在本册后续讲述中,一般都是直接给定扩散系数 D 或传质系数 k 。 D 的估算可以通过题 7-3 和题 7-4 得到训练, D 的测量可通过题 7-5 得到训练。

7-4 计算甲醇在 30°C 的水中的扩散系数。

解 可用下式进行计算:

$$D = 7.4 \times 10^{-12} \frac{(aM)^{1/2} T}{\mu V^{0.6}}$$

式中: $T = 303.2 \text{ K}$;

M ——溶剂(水)的相对分子质量, $M = 18$;

μ ——溶液的粘度,可近似取水的粘度 $80.07 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 公式中应代入 $0.8007 (\times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s})$;

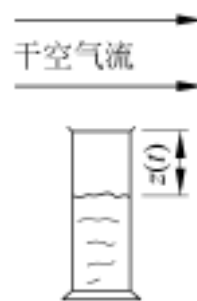
V ——溶质(甲醇)的分子体积, $V_{\text{CH}_3\text{OH}} = 4 \times 3.7 + 14.8 + 7.4 = 37 \text{ cm}^3/\text{mol}$;

a ——溶剂(水)的缔合程度,取 2.6。于是可以算出:

$$D = 7.4 \times 10^{-12} \times \frac{(2.6 \times 18)^{1/2} \times 303.2}{0.8007 \times 37^{0.6}} = 6.03 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$$

分析 通过题 7-3 和题 7-4 的计算,可以进一步加深扩散系数量级的概念。对于气体, D 值在 $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 量级; 在液体中则要小得多, 与其在气体中的量级相差 $10^4 \sim 10^5$ 倍。

7-5 内径 30 mm 的量筒中盛有水, 敞口, 水温为 25°C , 周围空气温度为 30°C , 压力为 101.33 kPa, 空气中的水蒸气含量很低, 可忽略不计。量筒中水面到上沿的距离为 10 mm, 假设在此空间中空气静止, 在量筒口上空气流动, 可以把蒸发出的水蒸气很快带走。试问经 2 d (48 h), 量筒中水面降低多少?



题 7-5 图

解 设在任意时刻 t , 水面距离量筒上沿高度为 z 。在水和空气交界处水的分压为 25°C 下水的饱和蒸气压, $p_A^* = 3168 \text{ Pa}$, 水分从水面到上沿间的传质为单组分扩散, 故传质通量为

$$J = D \frac{P_A^*}{RTz} \frac{p}{p_{Bm}} = \frac{Dp_A^*}{RT} \frac{p}{p_{Bm}} \frac{1}{z} = \frac{C_1}{z} \quad (\text{其中 } C_1 \text{ 为常数})$$

又因为水面的下降是由于水分蒸发所致, 故根据物料衡算可以得到:

$$\frac{A/M dz}{dt} = JA \times 10^{-3}$$

于是有

$$\frac{dz}{dt} = \frac{JM}{1000} = \frac{C_1 M}{1000} \frac{1}{z} = \frac{C_2}{z}$$

$$z dt = C_2 dt$$

式中: C_2 也为常数。

对上式积分得

$$\frac{z^2}{2} \Big|_{z_0}^z = C_2 t \Big|_0^t$$

即

$$\frac{z^2}{2} - \frac{0.01^2}{2} = C_2 \times (48 \times 3600)$$

只要计算出 C_2 即可得 z_0 。下面计算 C_2 ：

$$C_2 = \frac{Dp_A^*}{RT} \frac{p}{p_{Bm}} \frac{M}{1000}$$

由于

$$D = 2.6 \times 10^{-5} \times \left[\frac{303}{298} \right]^{1.5} = 2.67 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

且 $p_A^* = 3168 \text{ Pa}$, $p = 101330 \text{ Pa}$, $M = 18$, $R = 8314 \text{ J} (\text{mol} \cdot \text{K})$, $T = 303.2 \text{ K}$,
 $= 1000 \text{ kg/m}^3$; 另由 $p_{B1} = 101330 \text{ Pa}$, $p_{B2} = 101330 - 3168 = 98162 \text{ Pa}$, 可得 $p_{Bm} = 99893 \text{ Pa}$; 于是可算出

$$C_2 = 6.131 \times 10^{-10}$$

这时便可算出 $z = 0.01766 \text{ m} = 17.66 \text{ mm}$, 即两天下降了 7.66 mm 。

分析 若将已知条件和未知参数倒过来, 即可求出扩散系数。

7-6 在一内径为 50 mm 的湿壁塔中, 用 NaOH 水溶液来吸收空气中的少量 CO_2 。塔中温度为 40°C , 压力为 50 kPa (表压), 空气流速为 4 m/s , 其中 CO_2 的平均分压为 6.5 kPa 。试求气相传质分系数 k_G 与 k_y 。

解 湿壁塔中的传质关联式为

$$Sh = 0.023 Re^{0.83} Sc^{0.44}$$

式中: $Sh = \frac{k_c d}{D}$;

k_c ——以摩尔浓度差为推动力时的传质系数;

d ——塔内径, $d = 0.05 \text{ m}$;

D —— 40°C , 151.3 kPa 下 CO_2 在空气中的扩散系数, 可由 273 K , 101.3 kPa 时的扩散系数 $1.36 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ 求出, 即

$$D = 1.36 \times 10^{-5} \times \frac{101.3}{151.3} \times \left[\frac{313}{273} \right]^{1.5} = 1.12 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

因 $Re = \frac{du}{\mu}$, 将 40°C , 151.3 kPa 时空气的密度和粘度 μ (分别为 1.692 kg/m^3 和

$1.91 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$) 代入得:

$$Re = \frac{0.05 \times 4 \times 1.692}{1.91 \times 10^{-5}} = 17717$$

又因为

$$Sc = \frac{\mu}{D} = \frac{1.91 \times 10^{-5}}{1.692 \times 1.12 \times 10^{-5}} = 1.01$$

所以

$$\begin{aligned} k_c &= 0.023 \frac{D}{d} Re^{0.83} Sc^{0.44} \\ &= 0.023 \times \frac{1.12 \times 10^{-5}}{0.05} \times 17717^{0.83} \times 1.01^{0.44} = 0.0174 \text{ m/s} \end{aligned}$$

进而得到

$$\begin{aligned} k_G &= \frac{p}{p_{Bm}} \frac{k_c}{RT} = \frac{151300}{6500} \times \frac{0.0174}{8.314 \times 313} \\ &\quad \ln \frac{151300}{151300 - 6500} \\ &= 6.83 \times 10^{-6} \text{ mol} (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}) \end{aligned}$$

$$k_y = pk_G = 151.3 \times 10^3 \times 6.83 \times 10^{-6} = 1.034 \text{ mol} (\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

分析 求传质系数虽然比估算扩散系数 D 还要烦琐,但却非常有价值,因此,花一些时间练习一下 k 的计算是值得的。该过程不只是简单地套用公式,而是对综合知识的一个考察,比如此处用到 μ ,如果对 μ 随 p 的变化不清楚,那么就要花很多时间去寻找这一关系。

8 吸 收

8-1 已知在 101.3 kPa(绝压)下, 100 g 水中含氨 1 g 的溶液上方的平衡氨分压为 987 Pa, 试求:

- (1) 溶解度系数 $H(\text{kmol}/(\text{m}^3 \cdot \text{Pa}))$;
- (2) 亨利系数 $E(\text{Pa})$;
- (3) 相平衡常数 m ;
- (4) 总压提高到 200 kPa(表压)时的 H, E, m 值。

(假设: 在上述范围内气液平衡关系服从亨利定律, 氨水密度均为 $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。)

解 (1) 根据已知条件

$$p_{\text{NH}_3}^* = 987 \text{ Pa}$$

$$c_{\text{NH}_3} = \frac{1/17}{101/1000} = 0.5824 \text{ kmol}/\text{m}^3$$

再根据定义

$$p_{\text{NH}_3}^* = c_{\text{NH}_3} / H_{\text{NH}_3}$$

可得

$$H_{\text{NH}_3} = c_{\text{NH}_3} / p_{\text{NH}_3}^* = 5.9 \times 10^{-4} \text{ kmol}/(\text{m}^3 \cdot \text{Pa})$$

(2) 根据已知条件可知

$$x_{\text{NH}_3} = \frac{1/17}{1/17 + 100/18} = 0.0105$$

根据定义式

$$p_{\text{NH}_3}^* = E_{\text{NH}_3} x_{\text{NH}_3}$$

可得

$$E_{\text{NH}_3} = 9.42 \times 10^4 \text{ Pa}$$

(3) 根据已知条件可知

$$y_{\text{NH}_3}^* = p_{\text{NH}_3}^* / p = 987 / 101325 = 0.00974$$

于是得到

$$m_{\text{NH}_3} = y_{\text{NH}_3}^* / x_{\text{NH}_3} = 0.928$$

(4) 由于 H 和 E 仅是温度的函数, 故 H_{NH_3} 和 E_{NH_3} 不变; 而 $m = y^*/x = \frac{p^*}{px} = \frac{Ex}{px} = \frac{E}{p}$, 与 T 和 p 相关, 故 $m_{\text{NH}_3} = \frac{1}{3} \times 0.928 = 0.309$ 。

分析 (1) 注意一些近似处理并分析其误差。

(2) 注意 E , H 和 m 的影响因素, 这是本题练习的主要内容之一。

8-2 101.3 kPa, 10 时, 氧在水中的溶解度可用下式表示:

$$p = 3.31 \times 10^6 x$$

式中: p ——氧在气相中的分压, kPa;

x ——氧在液相中的摩尔分数。

试求在此温度及压力下, 与空气充分接触后, 1 m³ 水中溶有多少克氧。

解 氧在空气中的摩尔分数为 0.21, 故氧分压为

$$p = 101.3 \times 0.21 = 21.273 \text{ kPa}$$

设 1 m³ 水中溶有氧的量为 $z(\text{g})$, 则

$$x = \frac{z/32}{z/32 + 1000/18} = \frac{z/32}{10^6/18}$$

根据亨利定律可得

$$21.273 = 3.31 \times 10^6 \times \frac{z/32}{10^6/18}$$

解得

$$z = 11.426 \text{ g}$$

分析 即平衡时, 水中氧的含量约为 11.4 mg/L。请思考: 平衡关系表达式 $p = 3.31 \times 10^6 x$ 中的系数是如何得来的。

8-3 在文丘里管内用清水洗去含 SO₂ 混合气体中的尘粒, 气流与洗涤水在气液分离器中分离。出口气体含 SO₂ 0.1(摩尔分数), 操作压力为常压。

试求在以下两种情况下:

(1) 操作温度为 20 ；

(2) 操作温度为 40 。

每排出 1 kg 水, SO₂ 的最大可能损失为多少千克?

解 查《化工原理》教材中表 8-1 可知, 20 时 $E = 3.55 \times 10^3$ kPa, 40 时 $E = 6.61 \times 10^3$ kPa。现已知

$$p^* = 0.1 \times 101.3 = 10.13 \text{ kPa}$$

设 1 kg 水中最多可能含 SO₂ 的量为 $z(\text{g})$, 则

$$x = \frac{z/64}{z/64 + 1000/18} = \frac{18z}{6.4 \times 10^4}$$

根据亨利定律

$$p^* = Ex = E \frac{18z}{6.4 \times 10^4}$$

则

$$z = \frac{64000 \times 10.13}{18E}$$

于是,在 20 时, $z = 10.15 \text{ g} = 0.0102 \text{ kg}$; 40 时, $z = 5.45 \text{ g} = 0.00545 \text{ kg}$ 。

分析 (1) 在 20 时的损失要比 40 时的损失多出近 1 倍,那么操作条件是否应该确定为 40 呢? 这需要看含尘 SO_2 气体的原始温度,还要注意最终处理完的气体中对水分含量的限制(40 时气体中水分的含量比 20 时要大得多)。

(2) 求出的值为最大值,那么实际值会是多少呢? 这需要应用传质动力学来求取。如果求出的损失的最大值仍能满足要求,则不必进行实际值的求取。

8-4 在 25 下, CO_2 分压为 50 kPa 的混合气分别与下述溶液接触:

- (1) 含 CO_2 0.01 mol/L 的水溶液;
- (2) 含 CO_2 0.05 mol/L 的水溶液。

试求这两种情况下 CO_2 的传质方向和推动力。

解 由亨利定律得到

$$p_{\text{CO}_2} = 50 \text{ kPa} = Ex_{\text{CO}_2}^*$$

根据《化工原理》教材中表 8-1 查出

$$E_{\text{CO}_2}(25) = 1.66 \times 10^5 \text{ kPa}$$

所以可以得到

$$x_{\text{CO}_2}^* = 3.01 \times 10^{-4}$$

又因为

$$H_{\text{CO}_2(25)} = \frac{H_{\text{H}_2\text{O}}}{EM_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{1000}{1.66 \times 10^5 \times 18} = 3.347 \times 10^{-4} \text{ kmol} / (\text{kPa} \cdot \text{m}^3)$$

所以得

$$a_{\text{CO}_2}^* = H_{\text{CO}_2} p_{\text{CO}_2} = 3.347 \times 10^{-4} \times 50 = 0.0167 \text{ kmol} / \text{m}^3$$

于是: (1) 为吸收过程, $c = 0.0067 \text{ kmol} / \text{m}^3$;

(2) 为解吸过程, $c = 0.0333 \text{ kmol} / \text{m}^3$ 。

分析 (1) 推动力的表示方式可以有多种,比如,用压力差表示时:

$$p_{\text{CO}_2}^* = \frac{\alpha_{\text{CO}_2}}{H_{\text{CO}_2}} = \frac{0.01}{3.347 \times 10^{-4}} = 29.9 \text{ kPa}$$

推动力

$$p = 20.1 \text{ kPa} \quad (\text{吸收})$$

$$p_{\text{CO}_2}^* = \frac{\alpha_{\text{CO}_2}}{H_{\text{CO}_2}} = \frac{0.05}{3.347 \times 10^{-4}} = 149.4 \text{ kPa}$$

推动力

$$p = 99.4 \text{ kPa} \quad (\text{解吸})$$

或者,用摩尔分数差表示时

$$\text{由 } x_{\text{CO}_2} = \frac{0.01}{\frac{1000}{18}} = 1.8 \times 10^{-4}, \text{ 判断出将发生吸收过程, 推动力 } x =$$

$$1.201 \times 10^{-4};$$

$$\text{由 } x_{\text{CO}_2} = 9 \times 10^{-4}, \text{ 判断出将发生解吸过程, 推动力 } x = 5.99 \times 10^{-4}。$$

(2) 推动力均用正值表示。

8-5 指出下列过程是吸收过程还是解吸过程, 推动力是多少, 并在 x - y 图上表示。

(1) 含 SO_2 0.001 (摩尔分数) 的水溶液与含 SO_2 0.03 (摩尔分数) 的混合气接触, 总压为 101.3 kPa, $T=35$;

(2) 气液组成及总压同(1), $T=15$;

(3) 气液组成及温度同(1), 总压达 300 kPa (绝压)。

解 (1) 根据《化工原理》教材中表 8-1 知 $T=35$ 时, SO_2 的 $E = 0.567 \times 10^4$ kPa, 故

$$m = \frac{E}{p} = \frac{0.567 \times 10^4}{101.3} = 56$$

根据相平衡关系, 得

$$y_A^* = mx_A = 56 \times 0.001 = 0.056$$

由于 $y_A^* > y_A$, 所以将发生解吸过程。传质推动力为

$$y = 0.056 - 0.03 = 0.026$$

(2) $T=15$ 时, SO_2 的 $E = 0.294 \times 10^4$ kPa, 故

$$m = \frac{E}{p} = \frac{0.294 \times 10^4}{101.3} = 29$$

根据相平衡关系, 得

$$y_A^* = mx_A = 29 \times 0.001 = 0.029$$

由于 $y_A^* < y_A$, 所以将发生吸收过程。推动力为

$$y = 0.03 - 0.029 = 0.001$$

(3) 同理可知, 当 $T=35$, $p=300$ kPa 时, $E = 0.567 \times 10^4$ kPa, 故

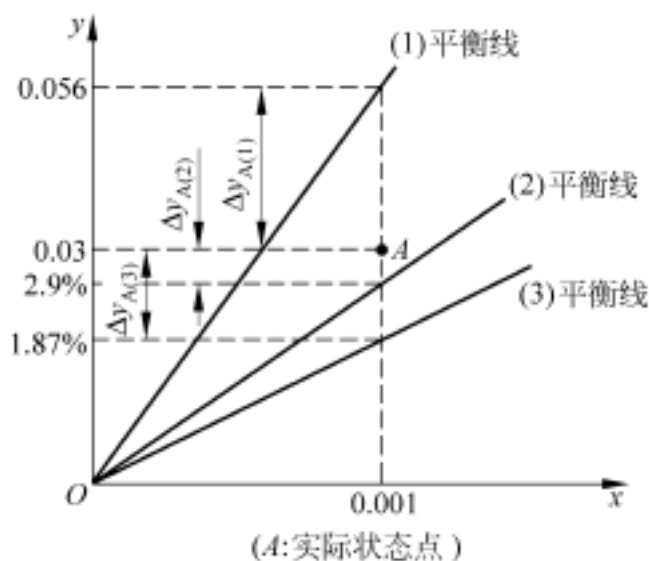
$$m = \frac{E}{p} = 18.9$$

$$y_A^* = mx_A = 18.9 \times 0.001 = 0.0189$$

由于 $y_A^* < y_A$, 所以将发生吸收过程。推动力为

$$y = 0.03 - 0.0189 = 0.0111$$

示意图见图 8-5 图。



题 8-5 图

分析 体会通过改变温度和总压来实现气液之间传质方向的改变,即吸收和解吸。

8-6 在 101.3 kPa, 25 °C 下, 含 CO₂ 0.2, 空气 0.8 (摩尔分数) 的气体 1 m³, 与 1 m³ 的清水在容积为 2 m³ 的密闭容器中接触, 求刚接触时的总传质推动力 (分别以分压差、摩尔分数差及液相组成差表示)。CO₂ 在水中的最终组成及剩余气的总压各为多少? 若上述过程在 500 kPa 下进行, 各量又为多少?

解 25 °C 时, $E = 1.66 \times 10^5$ kPa。设与给定空气成平衡的水中 CO₂ 浓度为 c_A (kmol/m³), 根据亨利定律可得

$$0.2 \times 101.3 = 1.66 \times 10^5 \times \frac{c_A}{1000/18}$$

因此求得

$$c_A^* = 6.78 \times 10^{-3} \text{ kmol/m}^3$$

(1) 初始时推动力为

$$p_A - p_A^* = 101.3 \times 0.2 - 0 = 20.26 \text{ kPa}$$

$$y_A - y_A^* = 0.2 - 0 = 0.2$$

$$c_A^* - c_A = 6.78 \times 10^{-3} - 0 = 6.78 \times 10^{-3} \text{ kmol/m}^3$$

(2) 设最终水中 CO₂ 组成为 c_A , 则剩余气相中 CO₂ 的分压为

$$p_A^* = 1.66 \times 10^5 \frac{c_A}{1000/18} = 2988 c_A \text{ kPa}$$

对 CO₂ 作物料衡算:

$$\frac{101.3 \times 0.2 \times 1}{8.314 \times 298} = \frac{p_A^* \times 1}{8.314 \times 298} + c_A \times 1$$

由此可以解出

$$c_A = 3.71 \times 10^{-3} \text{ kmol/m}^3$$

$$p_A^* = 11.08 \text{ kPa}$$

于是,气相总压力

$$p = 0.8 \times 101.3 + p_A^* = 92.12 \text{ kPa}$$

(3) 若原始压力为 500 kPa,则联立以下两式:

$$\frac{500 \times 0.2 \times 1}{8.314 \times 298} = \frac{p_A^* \times 1}{8.314 \times 298} + c_A \times 1 \quad (\text{CO}_2 \text{ 物料衡算,以 kmol 为基准})$$

$$p_A^* = 2988 c_A \quad (\text{平衡关系,与(2)中相同})$$

可以解出 $c_A = 1.83 \times 10^{-2} \text{ kmol/m}^3$, $p_A^* = 54.72 \text{ kPa}$ 。于是,最终气相总压

$$p = 0.8 \times 500 + 54.72 = 454.72 \text{ kPa}$$

分析 解题中忽略了水的汽化和水的分压,主要目的是练习物料衡算和平衡关系。

8-7 氨-空气混合气中含氨 0.12(摩尔分数),在常压和 25℃ 下用水吸收,过程中不断移走热量以使吸收在等温下进行。进气量为 1 000 m³,出口气体中含氨 0.01(摩尔分数)。试求被吸收的氨量(kg)和出口气体的体积(m³)。

解 惰性气体量 $V = 1000 \times 0.88 = 880 \text{ m}^3$,进口中 NH₃ 之量为 120 m³,出口中 NH₃ 之量为 $120 \times \frac{0.01/0.99}{0.12/0.88} = 9 \text{ m}^3$,于是总出气量 = 880 + 9 = 889 m³,被吸收的 NH₃ 量为 $0.12 \times \frac{1000 \times 101.325}{8.314 \times 298} - 0.01 \times \frac{889 \times 101.325}{8.314 \times 298} = 4544 \text{ mol}$,为 77.3 kg。

分析 (1) 进行物料衡算时应以摩尔数或者质量为基准,一般不以体积为基准。此处由于温度和压力均不变,故摩尔数的变化正比于体积的变化,所以以体积作为衡算的基准。

(2) 本题是并流还是逆流?有区别吗?

(3) 如何才能不断移走热量?该用填料塔还是板式塔?

(4) 不移走热量对吸收有什么影响?

8-8 在填料塔中用水吸收混合气中的氨,气体与水均从塔顶进入,自上而下并流接触。气体流量为 1 000 m³/h(标准),含氨 0.01(摩尔分数),塔内的平均温度为 25℃,总压为常压,此条件下氨在相间的平衡关系为 $Y = 0.93 X$ 。



题 8-8 图