

中等林业学校試用教科书

化工过程及设备



下 册

南京林学院化工原理教研組編

林产化学工艺专业用

农 业 出 版 社

中等林业学校试用教科书

化工过程及设备

下册

南京林学院化工原理教研组编

农业出版社出版

北京琉璃厂一号

(北京市书刊出版业营业许可出字第105号)

新华书店上海发行所发行 各地新华书店经售

上海市印刷五厂印刷装订

统一书号 15144.215

1961年8月上海制型

1961年8月初版

1962年1月上海第二次印刷

印数 1,071—2,570 册

开本 787×1092毫米

三十二分之一

字数 144千字

印张 六又八分之一

插页 一

定价 (7) 五角七分

目 录

第三篇 傳 质 过 程

第九章 傳质学基本原理	249
第一节 概論	249
第二节 相平衡	250
第三节 扩散的基本定律	253
第四节 傳质方程式	254
第十章 气体吸收	260
第一节 概論	260
第二节 气体在液体中的溶解度	260
第三节 吸收设备	263
第四节 吸收流程	269
第五节 填料吸收塔的计算	272
第十一章 液体蒸餾	284
第一节 基本概念	284
第二节 簡單蒸餾	294
第三节 精餾	295
第四节 連續精餾塔塔板数的計算	299
第五节 最小回流比和操作回流比	305
第六节 进料情况对操作綫的影响	308
第七节 精餾设备及其計算	313
第八节 精餾塔的操作	323
第九节 多組分混合液的精餾	324

第十节 特殊形式的蒸馏	324
第十二章 萃取	332
第一节 概論	332
第二节 萃取操作的物化基础	333
甲、固体萃取(浸提)	334
第三节 浸提的方法及设备	334
第四节 浸提的平衡关系	338
第五节 浸提的计算(图解法)	340
第六节 浸提的操作	345
乙、液体萃取	347
第七节 液体萃取的方法及流程	347
第八节 液体萃取的平衡关系	349
第九节 溶剂的选择	351
第十节 液体萃取的计算	352
第十一节 液体萃取设备	356
第十三章 固体干燥	360
第一节 概論	360
甲、干燥静力学	361
第二节 湿空气的性质	361
第三节 湿空气的 $I-x$ 图	366
第四节 空气干燥器的物料平衡和热量平衡	371
乙、干燥动力学	382
第五节 干燥速度	382
第六节 干燥时间的计算	386
丙、干燥设备	388
第七节 对流式干燥器	388
第八节 接触式干燥器	397
第九节 其他干燥方法	398
第十节 干燥器的比较和选择	399

第四篇 机械过程

第十四章 固体物料的粉碎	403
第一节 概論	403
第二节 粉碎的方法	404
第三节 粉碎流程	405
第四节 粉碎机械	407
第十五章 物料的篩析	418
第一节 概論	418
第二节 篩面及篩分效率	419
第三节 篩析机械	422
第十六章 固体物料的輸送	426
第一节 概論	426
第二节 間歇輸送机械	427
第三节 連續輸送机械	429
参考书目	437

第三篇 傳质过程

第九章 傳质学基本原理

第一节 概 論

在上一篇热过程中所研究的是一定量的物体(常見的是流体)由于溫度不同引起热量的傳遞。而在本篇中我們將要研究物质由于濃度的不同而引起质量的傳遞。物质由于濃度的不同就会从系統的一部分移向另一部分,就会从一相轉入另一相,这种过程称为傳质过程或扩散过程。在化学工业和林化工业生产过程中广泛应用各种傳质过程,如吸收、蒸餾、萃取和干燥等。

吸收是用液体吸收剂有选择性地吸收气体或蒸汽。这是物质从气相或蒸汽相轉入液相的过程。

蒸餾是借蒸汽和液体逆流相互作用,以分离液体混合物成为各个組分。这是物质从液相轉入蒸汽相和从蒸汽相轉入液相的过程。

萃取是用一种液体提取溶于另一种液体的物质①。这是物质从一种液相轉入另一种液相的过程。

干燥是借水分汽化的方法除去固体湿物料中的水分。这是水

① 用液体溶剂提取固体中的物质,也属于萃取过程称为浸提。

分从固体湿物料轉入蒸汽相或气相的过程。

上述各种傳质过程都是在相間进行物料傳遞，因此在操作时必须使每相互相接触，接触表面愈大，在一定条件下傳质效果就愈好。所以各种傳质設備应尽可能的增加相接触表面。根据相际接触的方式不同，操作方法可分为間歇的(分批接触)和連續的(連續接触)。在傳质設備中，按濃度与時間的变化关系又可分为稳定的和不稳定两种操作。

各种傳质过程进行的极限都应该达到相际的平衡。由于相际的平衡只有在两相經過較長時間的接触后才能建立，在实际操作中，相际的接触時間一般是有限的，不可能达到平衡状态。故相际傳遞物質的多少，不仅决定于相平衡关系还要决定于傳质过程的速度。因此，在傳质过程的处理上，一般都牵涉到两个主要問題，即(1)相平衡，决定傳质过程的极限；(2)傳质速率，决定在一定的相际接触時間內所能傳遞物質的量。前者受溫度、压力、相組成、处理剂和組分的性质影响。后者受扩散系統偏离平衡状态的程度、相际接触方法、处理剂和組分的性质影响。

第二节 相 平 衡

(一)相組成的表示方法 在工业中用的表示相組成的方法，有下列各种：

1. 重量或分子分数，在工业中通常用重量分数(或重量百分数)来表示組成，亦即在一相中某組分的重量和該相的总重量的比值。若該相的重量为 G ，而其中所含組分 $A, B, C, \dots$ 的重量各为 $G_A, G_B, G_C, \dots$ ，則各組分的重量分数为：

$$a_A = \frac{G_A}{G}; \quad a_B = \frac{G_B}{G}; \quad a_C = \frac{G_C}{G} \dots \dots \quad (9-1)$$

而 $a_A + a_B + a_C + \dots = 1$ 。

在很多情況下，組成用分子分數來表示，亦即表示某相中某一組分的公斤分子數和該相的總公斤分子數之比值。若該相中共含有 n 公斤分子數，而各組分 A 、 B 、 C ……的公斤分子數為 n_A 、 n_B 、 n_C ……，則各組分的分子分數為：

$$x_A = \frac{n_A}{n}; \quad x_B = \frac{n_B}{n}; \quad x_C = \frac{n_C}{n} \dots \dots \quad (9-2)$$

而 $x_A + x_B + x_C + \dots = 1$ 。

由於 $n_A = \frac{a_A G}{M_A}; \quad n_B = \frac{a_B G}{M_B}; \quad n_C = \frac{a_C G}{M_C} \dots \dots$

$$n = n_A + n_B + n_C + \dots = \frac{a_A G}{M_A} + \frac{a_B G}{M_B} + \frac{a_C G}{M_C} + \dots = \Sigma \frac{a G}{M},$$

根據式(9-2)可得混合物的分子分數為：

$$x_A = \frac{\frac{a_A}{M_A}}{\Sigma \frac{a}{M}}; \quad x_B = \frac{\frac{a_B}{M_B}}{\Sigma \frac{a}{M}}; \quad x_C = \frac{\frac{a_C}{M_C}}{\Sigma \frac{a}{M}} \dots \dots \quad (9-3)$$

在以上各式中， M_A 、 M_B 、 M_C ……分別為各組分的分子量。

2. 比重或比分子分數，即組分的重量或公斤分子數和載體（惰性物體）的重量或公斤分子數的比值。比重分數 $\bar{X}$ 和重量分數間的關係可用下式表示：

$$\bar{X} = \frac{a}{1-a} \quad \text{或} \quad a = \frac{\bar{X}}{1+\bar{X}} \quad (9-4)$$

比分子分數 X 和分子分數的關係可用下式表示：

$$X = \frac{x}{1-x} \quad \text{或} \quad x = \frac{X}{1+X} \quad (9-5)$$

$$Y = \frac{y}{1-y} \quad \text{或} \quad y = \frac{Y}{1+Y} \quad (9-5a)$$

式中 Y 和 y 分別表示氣相組分的比分子分數和分子分數。

3. 气体的分压, 气相中組分的含量通常可用其分压表示。各組分的分压可看作是該組分占有和混合物一样大小体积时所具有的压强。

根据道尔顿定律, 气体混合物总压强 P 高于各組分的分压 p_A 、 p_B 、 p_C ……之和。

$$P = p_A + p_B + p_C + \dots \quad (9-6)$$

气体混合物中各組分的分压和其分子分数的关系如下:

$$y_A = \frac{p_A}{P}; \quad y_B = \frac{p_B}{P}; \quad y_C = \frac{p_C}{P} \dots \quad (9-7)$$

式中 y_A 、 y_B 、 y_C ……表示气体混合物中各組分的分子分数。

(二) 两相間的平衡关系, 在傳热过程中, 热的傳遞只有未达到热平衡时即在各载热体之間有溫度差存在时才能进行; 物质的傳遞也是一样, 只有在两相間具有濃度差且未达到平衡的情况下才能进行。

設有 V 和 L 两相, 假定两相未开始接触前, 仅 V 相中含有要分离的組分, 其濃度为 y 。两相一經接触, 組分就开始从 V 相轉入 L 相中。与此同时, 进入并分布于 L 相中的組分亦开始向 V 相作反方向的傳遞, 这种逆向傳遞的速度系随轉入 L 相的組分濃度的增高而加大; 經過一定時間后, 物质从 V 相轉入 L 相的傳遞速度和逆向傳遞速度相等。此时就达到了两相間的平衡状态, 表面上看不出物质从一相到另一相的傳遞。

在平衡状态时, 組分在两相中的濃度存在着一定的分布关系, 組分在 L 相中任一濃度 x 必相当于它在 V 相中的平衡濃度 y^* , 即具有如下的函数关系:

$$y^* = f(x) \quad (9-8)$$

$$\text{或} \quad y^* = Ax^n \quad (9-8a)$$

由式(9-8)或(9-8a)所示的平衡条件可决定傳质过程的方向。

若组分在 V 相中的浓度 y 高于平衡浓度, 即 $y > y^*$, 则物质就将从 V 相转入 L 相中。但若 $y < y^*$, 则物质将从 L 相转入 V 相。

两相间的平衡可用 $y-x$ 图 (图 9-1) 表示之。在此图上以组分在 L 相中的浓度 x 为横坐标, 而以在 V 相中的平衡浓度 y^* 为纵坐标。表示 y^* 和 x 关系的曲线 $y^* = f(x)$, 称为平衡线, 其确实形状和传质过程所处理的具体物系的性质有关, 一般须由实验的方法得出。

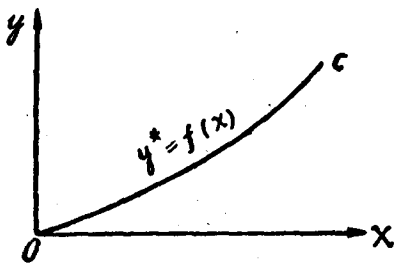


图 9-1 平衡线 ($y-x$) 图

平衡条件的具体方程式将在叙述各个过程时讨论之。

第三节 扩散的基本定律

在传热过程中, 曾讨论过, 在呈粘流的流体中热量主要是以传导方式进行传递, 而在呈湍流的流体中热量主要是以对流方式进行传递。同样, 在传质过程中, 在呈粘流的流体中或固相中物质主要是以分子扩散方式进行传递, 而在呈湍流的流体中物质主要是以对流扩散方式进行传递。

(一) 分子扩散 物质的分子扩散是由于组分在介质中的分子运动所引起的。根据费克定律, 当分子扩散时, 经一物料层物质的扩散速率 N (以每单位时间内扩散组分的公斤分子数计) 和该层的面积 F [米²] 以及沿层的厚度方向的浓度差 ΔC [公斤分子/米³] 成正比, 而和层的厚度 δ [米] 成反比。即:

$$N = \frac{DF\Delta C}{\delta} \text{ [公斤分子/小时]} \quad (9-9)$$

式中 D 系比例系数, 称为扩散系数。

式(9-9)为費克定律的数学表示式, 它和描述热傳导的傅立叶定律相似; 濃度差相当于溫度差, 扩散系数相当于导热系数。

扩散系数的因次为:

$$[D] = \left[\frac{N\delta}{F\Delta C} \right] = \left[\frac{\text{公斤分子/小时} \cdot \text{米}}{\text{米}^2 \cdot \text{公斤分子/米}^3} \right] = \left[\frac{\text{米}^2}{\text{小时}} \right]。$$

扩散系数表示物质在介质中的扩散能力, 亦为物质的物理特性之一。它和溫度、扩散組分以及介质的种类有关, 并在一定程度內受压强和濃度的影响。气体的扩散系数的数值大多在 $0.1-1$ [厘米²/秒] 之間。溶液的扩散系数, 則較气体的要小 10^4-10^5 倍, 約为 1 [厘米²/24 小时] 左右, 并且和溶剂的粘度成反比。扩散系数确实的数值須由实验方法求得, 或由某些手册中查出。

(二) 对流扩散 在静止或呈粘流的流体中进行的分子扩散, 速度非常緩慢, 故具有工业实际意义的則是在呈湍流的流体中所进行的对流扩散。在这种情况下, 物质的扩散不仅由于分子运动, 并且由于旋渦运动而加速。

关于湍流流动时的对流扩散的机理, 現在还不十分明了。但可应用象处理对流傳热的方法做类似的处理, 其物质扩散的傳遞速率 N 可用下式描述

$$N = hF\Delta C [\text{公斤分子/小时}] \quad (9-10)$$

式中 h 系比例系数, 称为給质系数。

給质系数的因次随濃度差的单位而定。給质系数的数值和流体动力因素、物理因素和几何因素有关, 須用实验方法測定。

第四节 傳质方程式

上节討論的是在某一相內組分扩散的速度。在实际傳质过程

中至少要有两个相互相接触,当偏离平衡状态时,物质就会从高于平衡含量的一相中轉入到低于平衡含量的另一相中。物质傳遞速率和偏离平衡的程度(也就是推动力)成正比,此外物质的傳遞速率还和相間接触面积成正比。故傳质方程式可写成:

$$N = KF\Delta \quad (9-11)$$

式中: N ——組分的扩散速率,以单位時間內所傳遞过的物质质量表示;

K ——傳质系数;

F ——相間的接触面积;

Δ ——傳质过程的平均推动力。

在实际操作中两相的接触多采用逆流方式进行;如图 9-2,与傳热类似有相对应的对数平均推动力。

在連續操作的設備中进行的傳质过程,相的組成只沿着相的接触面而变化,但在設備內任意截面上的相的組成則不随時間变化而为一常数。

由 V 相和 L 相組成的两相系統中,傳质过程有两个方向,一是組分自 V 相轉入 L 相,另一种則是由 L 相轉入 V 相。

过程的推动力既可用組分在 V 相中的濃度表示,又可用組成在 L 相中的濃度表示。图 9-3 即表示 V 相轉入 L 相之情况,且以 V 相的濃度来表示推动力。若平衡綫为一直綫,則可用过程初終兩态的推动力的对数平均值,来表示平均推动力。

設 $x_{初}$ 和 $x_{終}$ ——在 L 相中的最初的濃度和最終的濃度,以分子分数表示。

$y_{初}$ 和 $y_{終}$ ——在 V 相中的最初和最終濃度,以分子分数表示。

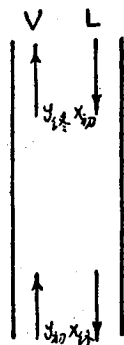


图 9-2 逆流傳质設備中流体流动的簡图

$y_{初}^*$ 和 $y_{終}^*$ ——最初平衡濃度和最終平衡濃度，以分子分數表示。

y, x ——是表示在設備的任意一截面上， V 相中的濃度和 L 相的濃度。

y^* ——是表示與 L 相中 x 成平衡時的 V 相濃度，兩者的平衡關係可用 $[y^*=f(x)]$ 式表示。

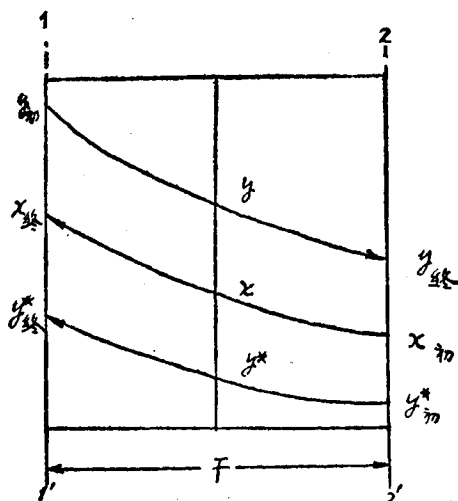


圖 9-3 傳質方程式推動力說明

由圖可知在 1—1' 截面上的推動力

$$\Delta y_{初} = y_{初} - y_{終}^*$$

在 2—2' 截面上的推動力

$$\Delta y_{終} = y_{終} - y_{初}^*$$

則過程的平均推動力為

$$\Delta y_{平均} = \frac{\Delta y_{初} - \Delta y_{終}}{\ln \frac{\Delta y_{初}}{\Delta y_{終}}} \quad (9-12)$$

同理, 若以 L 相的濃度表示, 則由下图(9-4)可得方程式

$$\Delta x_{\text{初}} = x_{\text{初}}^* - x_{\text{終}}$$

$$\Delta x_{\text{終}} = x_{\text{終}}^* - x_{\text{初}}$$

則平均推動力為

$$\Delta x_{\text{平均}} = \frac{\Delta x_{\text{初}} - \Delta x_{\text{終}}}{\ln \frac{\Delta x_{\text{初}}}{\Delta x_{\text{終}}}} \quad (9-13)$$

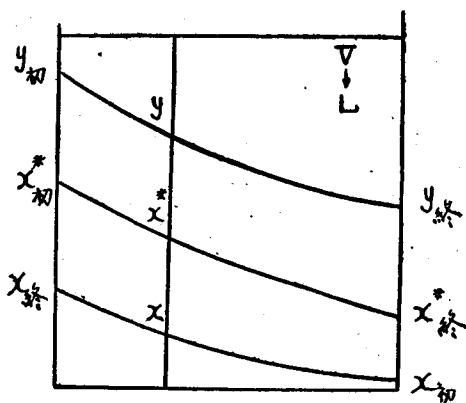


图 9-4 傳質方程式推動力說明圖。物質从 V 相轉入 L 相, 并以 L 相的濃度表示推動力。

从以上討論可知推動力的表示有 $\Delta x_{\text{平均}}$ 和 $\Delta y_{\text{平均}}$ 两种, 因此必然有相对应的推動力 K 的表示形式即 K_x 、 K_y 等, 所以傳質方程式可写为下列两种形式:

$$N = K_y F \Delta y_{\text{平均}} \quad (9-14)$$

$$N = K_x F \Delta x_{\text{平均}} \quad (9-14a)$$

傳質系数 K 的物理意义: 在数值上等于单位推動力单位時間內单位面积上从某一相轉入另一相的物质量, 当推動力的表示方法不同时, 則傳质系数的单位亦有所不同, 如

$$[K_x] = \left[\frac{N}{F \cdot \Delta x_{\text{平均}}} \right] = \left[\frac{\text{公斤分子}}{\text{米}^2 \cdot \text{小时} \cdot \Delta x} \right]$$

$$[K_y] = \left[\frac{N}{F \cdot \Delta y_{\text{平均}}} \right] = \left[\frac{\text{公斤分子}}{\text{米}^2 \cdot \text{小时} \cdot \Delta y} \right]$$

K_x 和 K_y 两者之間的关系可通过式(9-14)和(9-14a)得知

$$\frac{K_x}{K_y} = \frac{\Delta y_{\text{平均}}}{\Delta x_{\text{平均}}} \quad (9-15)$$

同理,平均推动力尚可用組分的重量分数、比分子分数或分压来表示,因此就有相应的傳质系数。

傳质系数的数值須由实验測得,但实际上常取用于工厂中的經驗数据。如若缺少現成的数据时,也可根据某些經驗公式进行計算。

命 名

C ——濃度[公斤分子/米³];

D ——扩散系数[米²/小时];

F ——分子扩散介面面积[米²];

G ——重量[公斤];

M ——分子量;

N ——扩散速率[公斤分子/小时];

P ——总压[大气压];

X 与 Y ——液相和气相的比分子分数;

X ——比重量分数;

a ——重量分数;

k ——給质系数;

K_x 与 K_y ——液相与气相以比分子分数差为推动力的傳质系数;

n ——公斤分子数;

p ——分压[大气压];

x 与 y ——液相和气相中的分子分数;

y^* ——气相的平衡浓度(分子分数);

Δ ——傳质过程的平均推动力;

δ ——扩散膜厚度[米]。

第十章 气 体 吸 收

第一节 概 論

气体吸收是用适当的液体吸收剂,处理气体混和物,以除去其中的一种或多种組分的操作。例如:水可以除去氨与空气混合物中的氨,这一类吸收一般认为并不伴有显著的化学反应,可以說是純的物理过程,称物理吸收。本章仅着重讲述物理吸收。吸收所能达到的最大限度,則决定于在吸收进行的条件下的气液平衡关系(或溶解度)。吸收速率主要决定于組分从气相轉入液相的扩散速率。在某些情况下若所吸收的組分和吸收剂是不值錢的或者是廢料,就不再进行解吸回收。或吸收結果就是产品則也无須解吸。

在大多数的情况下,气体吸收的速率并不很高,为了加速物质在两相間(气相与液相)的傳遞,必須尽可能地增大气液两相的接触面积,因此,在吸收器的選擇上,首先应考虑如何增进并保证两相間的密切接触,而吸收器的操作效率亦主要决定于两相接触的有效情况。

第二节 气体在液体中的溶解度

气体在液体中的溶解度与气体和液体的种类、溫度、及气体混合物中可溶性气体(組分)的分压有关。

气体的溶解度和它的分压之間的关系,可用亨利定律來說明,