

NGUYỄN HỮU TÙNG

# KỸ THUẬT TÁCH HỖN HỢP NHIỀU CẤU TỬ

Các nguyên lý và ứng dụng

(Xuất bản lần thứ hai, có chỉnh sửa và bổ sung)



1  
TẬP 1

NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA - HÀ NỘI

NGUYỄN HỮU TÙNG

# KỸ THUẬT TÁCH HỖN HỢP NHIỀU CẤU TỬ

## TẬP 1 CÁC NGUYÊN LÝ VÀ ỨNG DỤNG

(Xuất bản lần thứ hai, có chỉnh sửa và bổ sung)

(Giáo trình dùng cho sinh viên và học viên cao học  
ngành Kỹ thuật Hóa học của các trường Đại học kỹ thuật)

NHÀ XUẤT BẢN BÁCH KHOA - HÀ NỘI

Bản quyền thuộc về Trường đại học Bách Khoa – Hà Nội.

Mọi hình thức xuất bản, sao chép mà không có sự cho phép bằng văn bản của nhà xuất bản là vi phạm pháp luật.

Mã số: 446-2012/CXB/01-23/BKHN

### **Biên mục trên xuất bản phẩm của Thư viện Quốc gia Việt Nam**

Nguyễn Hữu Tùng

Kỹ thuật tách hỗn hợp nhiều cấu tử : Giáo trình dùng cho sinh viên và học viên cao học ngành Kỹ thuật Hóa học của các trường Đại học kỹ thuật / Nguyễn Hữu Tùng. - Xuất bản lần thứ 2, có chỉnh sửa và bổ sung. - H. : Bách khoa Hà Nội. - 27cm

Thư mục: tr. 393

T.1: Các nguyên lý và ứng dụng. - 2012. - 400tr. : hình vẽ, bảng

ISBN 9786049111228

1. Công nghệ hoá học 2. Tách hỗn hợp 3. Nguyên lí 4. Ứng dụng  
5. Giáo trình

660 - dc14

BKH0011p-CIP

# LỜI ĐỀ TỰA

(Cho lần xuất bản thứ hai)

Kể từ lần xuất bản thứ nhất đến nay, bộ sách “Kỹ thuật tách hỗn hợp nhiều cấu tử” đã được độc giả tiếp nhận và trở thành giáo trình được sử dụng nhiều cho mục đích giảng dạy cũng như mục đích tính toán, thiết kế các quá trình và các thiết bị chuyển khối khác nhau. Theo phản hồi của độc giả, cuốn tập 1 “Các nguyên lý và ứng dụng” đã giúp bạn đọc hiểu rõ hơn bản chất của các quá trình tách thực hiện trong các hệ thống thiết bị quy mô công nghiệp và vì vậy được các kỹ sư và các cán bộ kỹ thuật rất quan tâm và sử dụng nhiều trong quá trình làm việc.

Trong lần xuất bản thứ hai, tác giả vẫn duy trì triết lý và phương pháp trình bày như trong lần xuất bản thứ nhất. Các đề mục hầu như vẫn được giữ nguyên, nhưng các chương đã được chỉnh sửa, bổ sung và cập nhật.

Đặc biệt, do các quá trình tách là các quá trình tiêu tốn nhiều năng lượng và có ảnh hưởng lớn đến giá thành sản phẩm nên trong lần xuất bản này, ở chương 6 “Tiết kiệm năng lượng trong chưng cất” tác giả đã bổ sung phần 6.4 “Thiết kế mạng thiết bị trao đổi nhiệt”. Trong phần này, ở góc độ sử dụng năng lượng, các tháp chưng cất đã được thiết kế như một bộ phận không thể tách rời của toàn bộ sơ đồ công nghệ. Quan điểm này cho phép thiết kế được các sơ đồ công nghệ với hiệu suất sử dụng năng lượng cao.

Tuy cuốn sách đã được chỉnh sửa kỹ lưỡng và bổ sung trong lần xuất bản thứ hai, nhưng chắc chắn khó tránh hết được các thiếu sót. Rất mong tiếp tục nhận được các nhận xét, góp ý và đề xuất của bạn đọc để lần xuất bản tiếp theo được hoàn thiện hơn.

Hà Nội, tháng 5/2012

Tác giả

## LỜI GIỚI THIỆU

Tách hỗn hợp nhiều cấu tử trở thành các sản phẩm tinh khiết cao luôn là nhiệm vụ quan trọng và khó khăn cần phải được giải quyết của kỹ thuật và công nghiệp. Quá trình tách này thường tiêu tốn nhiều năng lượng, gặp nhiều khó khăn (đặc biệt trong các trường hợp thường gặp trong thực tế khi các cấu tử của hỗn hợp có nhiệt độ sôi nằm trong một khoảng hẹp và do đó có khả năng tạo các hỗn hợp đẳng phí cao) và cần có đầu tư lớn cho hệ thống thiết bị.

Để có thể điều khiển được các quá trình tách hỗn hợp nhiều cấu tử trong công nghiệp, cũng như để tính toán, thiết kế và tối ưu hóa hệ thống thiết bị công nghiệp cần phải hiểu rõ được các nguyên lý và bản chất hóa – lý của các quá trình này. Nhằm đáp ứng được phần nào các mục đích trên, Nhà xuất bản Bách Khoa – Hà Nội xin trân trọng giới thiệu bộ giáo trình “*Kỹ thuật tách hỗn hợp nhiều cấu tử*” của PGS.TS. Nguyễn Hữu Tùng. Bộ giáo trình gồm 2 tập dùng cho sinh viên đại học và sau đại học ngành Kỹ thuật hóa học của trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, đồng thời cũng có thể sử dụng làm tài liệu học tập và nghiên cứu cho sinh viên và các cán bộ nghiên cứu các ngành kỹ thuật liên quan (Hóa chất, Môi trường, Dầu khí, Sinh học, Thực phẩm, Điều khiển, Tự động hóa quá trình ...). Đặc biệt trong nhiều phần của bộ sách, các cơ sở lý thuyết của các quá trình tách các hỗn hợp đã được thể hiện trên các ví dụ là các quá trình tách đang được ứng dụng trong công nghiệp, nhằm tạo điều kiện thuận lợi để giúp người đọc hiểu rõ hơn các nguyên lý và bản chất của các quá trình cũng như dễ dàng hơn trong việc tiếp cận thực tế công nghiệp. Ngoài ra, bộ sách đã cập nhật một số lượng lớn các kết quả lý thuyết và thực tế, cùng nhiều tài liệu tham khảo hữu ích để giúp bạn đọc trong việc tra cứu.

Bộ sách được biên soạn dựa trên kinh nghiệm nhiều năm giảng dạy môn học kỹ thuật cơ sở “**Quá trình và Thiết bị Công nghệ Hóa học**” cũng như môn học chuyên ngành “**Kỹ thuật tách hỗn hợp nhiều cấu tử**” tại Khoa Công nghệ Hóa học trong trường Đại học Bách Khoa Hà Nội, cũng như các lớp đào tạo nâng cao năng lực chuyên môn cho các cơ sở thực tế.

Tập 1 “**Các nguyên lý và Ứng dụng**” trình bày các cơ sở lý thuyết của các quá trình tách hỗn hợp nhiều cấu tử và các ứng dụng của kỹ thuật tách hỗn hợp nhiều cấu tử trong công nghiệp hóa chất, dầu khí và các ngành liên quan. Các nội dung được trình bày trong tập này có thể được sử dụng làm cơ sở để tiến hành mô phỏng các quá trình và thiết bị của công nghiệp hóa chất nhằm mục tiêu tối ưu hóa các quá trình và hệ thống thiết bị và giảm năng lượng tiêu tốn để thực hiện các quá trình.

Tập 2 “**Tính toán và Thiết kế**” trình bày các phương pháp mới nhất, có độ tin cậy cao nhất (ở thời điểm hiện tại) dùng để tính toán và thiết kế các hệ thống thiết bị tách hỗn hợp nhiều cấu tử. Đây là những kiến thức rất cần thiết và hữu ích trong tính toán, thiết kế và vận hành các quá trình và thiết bị tách các hỗn hợp nhiều cấu tử (Ví dụ: các quá trình và thiết bị lọc dầu, các hệ thống tách hỗn hợp khí đã hóa lỏng ...).

Sau lần xuất bản thứ nhất, bộ sách đã được sự quan tâm và đánh giá cao của nhiều bạn đọc, đặc biệt đã được Hội Xuất bản Việt Nam xét đạt giải Ba sách hay - Giải thưởng Sách Việt Nam năm 2011. Trong lần xuất bản thứ hai này, cuốn sách tuy đã được sửa chữa và bổ sung nhưng chắc chắn khó tránh khỏi các thiếu sót. Rất mong nhận được các nhận xét và góp ý để giúp lần xuất bản sau được hoàn thiện hơn. Mọi thông tin xin được gửi theo địa chỉ:

PGS. TS. Nguyễn Hữu Tùng

Bộ môn Quá trình – Thiết bị Công nghệ Hóa chất và Thực phẩm

Viện Công nghệ Hóa học – Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

Số 1 Đại Cồ Việt, Hà Nội

*Email:* tungnguyenhu@yahoo.com.vn

*Hà Nội, tháng 5/2012*

# Chương 1

## CÂN BẰNG PHA LỎNG – HƠI

### 1.1. ĐIỀU KIỆN CÂN BẰNG PHA

Khi hai pha lỏng – hơi tiếp xúc trực tiếp với nhau trong khoảng thời gian dài thì cân bằng pha lỏng – hơi sẽ được thiết lập giữa các pha. Điều này có nghĩa là sẽ không có dòng nhiệt thực tế, dòng khối lượng thực tế và dòng mômen động lượng thực tế đi qua bề mặt phân chia giữa hai pha. Ở trạng thái cân bằng pha, các điều kiện sau đây phải được thỏa mãn:

- Cân bằng nhiệt:  $T_V = T_L$ ;
- Cân bằng cơ học:  $p_{iV} = p_{iL}$ ;
- Cân bằng về nồng độ:  $y_i^* = f(x_i, \dots)$ .

Ở đây:  $T$  – nhiệt độ tuyệt đối, °K;  $p_i$  – áp suất tổng;  $y_i^*$  – nồng độ phần mol của cấu tử  $i$  trong pha hơi ở trạng thái cân bằng pha;  $x_i$  – nồng độ phần mol của cấu tử  $i$  trong pha lỏng.

Ký hiệu dưới hàng ( $L$ ) – của pha lỏng và ( $V$ ) – của pha hơi.

Khi tách hỗn hợp bằng phương pháp chưng cất, cân bằng pha lỏng – hơi đóng vai trò đặc biệt quan trọng.

### 1.2. CÁC ĐỊNH LUẬT DALTON, RAOULT VÀ HENRY

Để hiểu rõ ràng hơn về cân bằng pha lỏng – hơi có thể sử dụng các định luật kinh nghiệm và đơn giản về cân bằng pha lỏng – hơi. Các định luật này chỉ có thể áp dụng trong một phạm vi giới hạn cho cân bằng pha lỏng – hơi.

Định luật Dalton được áp dụng cho pha hơi và có dạng như sau:

$$p_{iV} = p_{iV} \cdot y_i \quad (1.1)$$

Ở đây:

$p_{iV}$  – áp suất riêng phần của cấu tử  $i$  trong pha hơi;

$p_{iV}$  – áp suất tổng của hơi;

$y_i$  – nồng độ phần mol của cấu tử  $i$  trong pha hơi.

**Định luật Dalton** chỉ áp dụng được cho pha hơi ở áp suất thấp ( $p_i < p_{cr}$  – áp suất tới hạn).

Ở áp suất cao hơn, phương trình Dalton được cải biên và được viết lại ở dạng sau:

$$f_{iV} = f_{iV} \cdot \gamma_i \quad (1.2)$$

Ở đây:  $f_{iV}$  – Fugát của cấu tử  $i$ ;  $f_{iV}$  – Fugát tổng của pha hơi.

**Định luật Raoult** được áp dụng cho pha lỏng và có dạng sau:

$$p_{iL} = p_i^o \cdot x_i \quad (1.3)$$

Ở đây  $p_i^o$  – áp suất hơi của cấu tử  $i$  tinh khiết và có thể tính theo phương trình của Antoine. Các thông số của phương trình Antoine cho một số hợp chất xem bảng (1.1);

$p_{iL}$  – áp suất riêng phần của cấu tử  $i$  ở phía trên bề mặt dung dịch;

$x_i$  – nồng độ phần mol của cấu tử  $i$  ở trong dung dịch.

Theo phương trình trên, áp suất riêng phần  $p_{iL}$  chỉ phụ thuộc vào áp suất  $p_i^o$  của cấu tử  $i$  tinh khiết và nồng độ phần mol của cấu tử này ở trong dung dịch và không phụ thuộc vào bản chất của dung dịch cũng như nồng độ của các cấu tử khác trong dung dịch. Định luật Raoult vì vậy chỉ đúng trong trường hợp lực tương tác giữa các phân tử khác nhau ở trong dung dịch là bằng nhau (dung dịch lý tưởng).

Đối với pha lỏng có hành vi không lý tưởng (dung dịch thực), khi lực tương tác giữa các phân tử khác nhau sẽ khác nhau, bằng cách sử dụng hệ số hoạt độ  $\gamma_i$  của cấu tử  $i$ , phương trình cho dung dịch không lý tưởng có thể được viết ở dạng sau đây:

$$p_{iL} = p_i^o \cdot \gamma_i \cdot x_i \quad (1.4)$$

Hệ số hoạt độ  $\gamma_i$  thường được gọi là hệ số hiệu chỉnh của định luật Raoult và hệ số này phụ thuộc nhiều vào nồng độ. Như vậy, hệ số hoạt độ  $\gamma_i$  sẽ đặc trưng cho mức độ không lý tưởng của dung dịch và các phương pháp dùng để xác định hệ số  $\gamma_i$  sẽ được trình bày ở phần tiếp theo.

Các phương trình của Raoult viết cho dung dịch lý tưởng và dung dịch thực chỉ áp dụng được ở vùng nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ tới hạn ( $T < T_{cr}$ ) vì tại các nhiệt độ  $T > T_{cr}$ , các chất sẽ không có áp suất hơi.

Ở nhiệt độ cao, định luật Henry được dùng thay cho định luật Raoult:

$$p_{iL} = H_{ij} \cdot x_i \quad (1.5)$$

Ở đây:  $H_{ij}$  – Hệ số Henry của cấu tử  $i$  trong dung môi  $j$ .

Biểu thức của định luật Henry tương tự như biểu thức của định luật Raoult, nhưng hệ số tỷ lệ ở đây không phải là áp suất của cấu tử  $i$  tinh khiết  $p_i^o$  mà là hệ số Henry. Tương tự cho dung dịch không lý tưởng bằng cách sử dụng hệ số hoạt độ  $\gamma_i$  của cấu tử  $i$ , phương trình Henry sẽ có dạng:

$$p_{iL} = H_{ij} \cdot \gamma_i \cdot x_i \quad (1.6)$$



**Bảng 1.1. Nhiệt độ sôi thường (tại  $P = 1,013 \text{ bar}$ )  
và áp suất hơi của một số chất**

Phương trình Antoine để tính áp suất hơi có dạng:

$$\frac{p_i^o}{\text{bar}} = \exp\left(A_i - \frac{B_i}{\frac{t}{K} + C_i}\right) \quad (1.6)$$

(Ở đây, áp suất có đơn vị là bar, nhiệt độ có đơn vị  $^{\circ}\text{K}$ ).

Công thức	Tên chất	Nhiệt độ sôi, $^{\circ}\text{K}$	$A_i$	$B_i$	$C_i$	Phạm vi ứng dụng, $^{\circ}\text{K}$
Ar	argon	87,3	9,31039	832,778	2,361	73–133
$\text{CCl}_4$	tetrachloromethane	349,70	9,22001	2790,781	-46,741	287–350
$\text{CHCl}_3$	chloroform	334,40	9,39360	2696,249	-46,918	263–333
$\text{CH}_2\text{Cl}_2$	dichloromethane	313,20	10,44014	3053,085	-20,53	233–313
$\text{CH}_2\text{O}$	formaldehyde	254,00	9,94883	2234,878	-29,026	164–373
$\text{CH}_2\text{O}_2$	formic acid	373,70	9,37044	2982,446	-55,150	299–381
$\text{CH}_3\text{NO}_2$	nitromethane	374,30	10,14657	3331,696	-45,550	329–409
$\text{CH}_4\text{O}$	methanol	337,80	11,98705	3643,314	-33,424	288–357
CO	carbon monoxide	81,60	9,26679	769,935	1,637	52–121
$\text{CO}_2$	carbon dioxide	185,50	10,77151	1956,255	-2,112	146–285
$\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$	acetonitrile	354,80	10,28058	3413,099	-22,627	246–355
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	acetaldehyde	293,70	9,97724	2532,406	-39,205	191–293
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	acetic acid	391,10	11,84896	4457,828	-14,699	291–391
$\text{C}_2\text{H}_6$	ethane	184,50	9,27428	1582,178	-13,762	145–284
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	ethanol	351,50	12,05896	3667,705	-46,966	293–366
$\text{C}_2\text{H}_7\text{N}$	ethylamine	289,70	10,38728	2618,730	-37,300	215–316
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	acetone	329,40	9,76775	2787,498	-43,486	260–328
$\text{C}_3\text{H}_8$	propane	231,10	9,10434	1872,824	-25,101	192–331
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	1-propanol	370,40	11,21152	3310,394	-74,687	333–378

$C_3H_8O$	2-propanol	355,40	13,82295	4628,956	-20,514	247-356
$C_3H_8O_2$	2-methoxy-ethanol	397,60	11,45476	4130,796	-36,273	290-447
$C_4H_8O$	2-butanone	352,80	9,64438	2904,340	-51,181	316-361
$C_4H_8O$	tetrahydrofuran	339,10	9,48686	2768,375	-46,896	296-373
$C_4H_8O_2$	1,4-dioxane	374,50	10,49171	3579,781	-32,813	293-378
$C_4H_8O_2$	butyric acid	436,40	13,43588	5602,222	-17,961	293-423
$C_4H_8O_2$	ethylacetate	350,30	9,73241	2866,606	-55,269	289-349
$C_4H_9NO$	morpholine	401,40	9,86713	3333,452	-63,150	317-443
$C_4H_{10}$	n-butane	272,70	9,05814	2154,897	-34,420	196-292
$C_4H_{10}$	isobutane	261,40	9,15169	2133,243	-28,162	165-345
$C_4H_{10}O$	diethylether	307,70	9,91763	2847,722	-20,110	308-432
$C_4H_{10}O_2$	2-ethoxyethanol	408,30	11,38407	4149,028	-43,150	336-407
$C_5H_5N$	pyridine	388,40	9,52860	3124,447	-60,495	254-388
$C_5H_{12}$	pentane	309,15	9,21312	2477,075	-39,945	223-331
$C_6H_5Cl$	chlorobenzene	404,90	9,77659	3485,354	-48,327	260-335
$C_6H_5NO_2$	nitrobenzene	484,00	9,79835	4032,655	-71,814	317-484
$C_6H_6$	benzene	353,20	9,22142	2755,642	-53,989	281-353
$C_6H_6O$	phenol	455,00	9,33802	3183,669	-113,657	336-455
$C_6H_{12}$	cyclohexane	353,90	9,15600	2778,000	-50,014	280-354
$C_6H_{12}O$	cyclohexanol	434,30	12,61197	5200,527	-21,526	317-434
$C_6H_{12}O_2$	butylacetate	399,20	9,79073	3293,659	-62,405	333-399
$C_6H_{14}$	hexane	341,90	9,29213	2738,418	-46,870	243-443
$C_7H_8$	toluene	383,80	9,38490	3090,783	-53,963	246-384
$C_7H_{16}$	heptane	371,60	9,25363	2911,320	-56,510	270-400
$C_8H_{10}$	ethylbenzene	409,30	9,41928	3291,661	-59,383	263-409
$C_8H_{18}$	octane	399,15	9,34011	3128,752	-63,295	259-399