

化工用書・大專教材

最新蒸餾理論計算

FACOM 230-25 解題
(BOS FORTRAN)

化工設計及現場技術者必備

河東 準 共 著
岡田 功

張明基譯著

復漢出版社印行

化工用書・大專教材

最新蒸餾理論計算

FACOM 230-25 解題
(BOS FORTRAN)

化工設計及現場技術者必備

河東 準 共 著
岡田 功

張明基譯著

復漢出版社印行

中華民國七十二年十月六日出版

最新蒸餾理論計算

原著者：河東準・岡田功

譯著者：張明

出版者：復漢出版社

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥三一五九一號

發行人：沈岳林

印刷者：國發印刷廠

打字者：大大字字行

地址：台南市大學路西段二三號

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

版權所有
翻印必究

平裝 三六〇元
精裝 三四〇元

序

蒸餾在實驗室、工業上都是早就被人們利用的單元操作之一，近年隨石油化學工業的興隆而愈增其重要性。

本書為希望研習蒸餾理論的人們及現場技術者，試行平易的解說。

執筆宗旨主要如下：

(1)不觸及太高深的理論，以實用為要

(2)盡量編列計算例題

(3)穿插很多參考圖，幫助瞭解

(4)記號、單位盡可能採用公制

(5)例示電子計算機計算法，用的是FACOM 230-25 (BOS FORTRAN)

着重基礎理論的瞭解與計算法的熟練，應用方面或實用設計請另參閱其他專門成書。

編 者

最新蒸餾理論計算/ 目次

第1章 蒸餾概論..... 1

- 1.1 蒸餾的定義..... 1
 - 1.1.1 在石油工業的定義 2 condensation ,
 - 1.1.2 精餾(rectific- dephlegmation)
 - ation)..... 2 (又稱部份凝結).....2
 - 1.1.3 分凝(partial
- 1.2 蒸餾與物質移動..... 2
 - 1.2.1 物質移動的基本形 式..... 4
- 1.3 蒸餾方式的分類..... 4
- 1.4 蒸餾的原理與裝置..... 5
- 1.5 蒸餾的物質收支與能量收支..... 7
 - 1.5.1 物質收支 8).....9
 - 1.5.2 能量收支(熱收支

第2章 氣液平衡的一般考慮..... 14

- 2.1 純物質的蒸氣壓..... 14
 - 2.1.1 Clausius · Cl- art)..... 17
 - apeyron 方程式 14 2.1.3 Othmer 線圖..... 18
 - 2.1.2 Cox 綫圖(ch- 2.1.4 Antoine 式 19
- 2.2 模耳組成與氣體定律.....27
 - 2.2.1 模耳分率(mol 2.2.2 Dalton 定律 28
 - fraction , 克分 2.2.3 Amagat 's 定律... 29
 - 子數率)..... 27
- 2.3 平衡與相律.....30

2.3.1 平衡 (equilibrium)	30	2.3.3 3 成分系的氣液平衡狀態圖	33
2.3.2 相律與狀態圖 ...	31		
2.4 氣液平衡關係	34		
2.4.1 Henry 定律	35	ive volatility) 39	
2.4.2 Raoult 定律	35	2.4.7 平衡係數 (equilibrium constant) 41	
2.4.3 理想溶液 (ideal solution)	36	2.4.8 理想溶液的氣液平衡關係 (多成分系) 43	
2.4.4 蒸氣壓一組成的關係例 (2 成分系) 36		2.4.9 用比揮發度計算氣液平衡	45
2.4.5 揮發度 (volatility)	38	2.4.10 用平衡係數計算氣液平衡	47
2.4.6 比揮發度 (relative volatility)	38		
2.5 部份凝結與部份蒸發	49		

第3章 2成分系的氣液平衡 53

3.1 2 成分系的氣液平衡	53		
3.2 2 成分完全相溶，不形成共沸混合物的系 (理想溶液，非理想溶液)	53		
3.2.1 壓力・溫度、組成關係 ($p-t-x$ 線圖)	53	曲線 ($x-y$ 線圖) 61	
3.2.2 定溫的壓力、組成關係 ($p-x$ 線圖) 54		3.2.6 在 1 氣壓的氣液平衡例	62
3.2.3 從理想特性的偏倚 (deviation from ideality) 56		3.2.7 $x-y$ 平衡值與比揮發度	63
3.2.4 定壓的溫度、組成關係 ($t-x, y$ 線圖)	58	3.2.8 理想溶液的 x, y 關係	64
3.2.5 在定壓的氣液平衡		3.2.9 理想溶液之 x, y 值的近似計算	65
		3.2.10 用重量分率求得的氣液平衡曲線	72
		3.2.11 全壓對氣液平衡的	

影響.....	73	ograde pheno-	
3.2.12 逆行現象 (retr-		mena).....	75
3.3 共沸混合物.....			77
3.3.1 最低沸點混合物 (		3.3.2 最高沸點混合物 (	
minimum boili-		maximum boili-	
ng mixture) (		ng mixture) (	
最低共沸混合物 ,		最高共沸混合物 ,	
minimum azeot-		maximum azeot-	
rope).....	77	rope).....	78
3.4 二成分完全不相溶之系.....			78
3.5 二成分的一部份相溶的系.....			82
3.6 2成分系狀態圖總匯.....			83

第4章 平衡蒸餾..... 84

4.1 平衡蒸餾.....			84
4.1.1 平衡蒸餾的原理 ...	84	condensation)	87
4.1.2 平衡蒸餾的理論 ...	85	4.1.4 多成分系的平衡蒸	
4.1.3 平衡凝結 (flash		餾	92

第5章 微分蒸餾.....101

5.1 微分蒸餾 (分批單蒸餾)			101
5.1.1 微分蒸餾的理論		fferential con-	
— Rayleigh 方		densation).....	107
程式	102	5.1.3 多成分系的微分蒸	
5.1.2 微分凝結 (di-		餾 (理想溶液) ...	126

第6章 2成分系的連續精餾 (其 1).....132

6.1 精餾與精餾塔.....			132
6.1.1 精餾 (rectif-		6.1.2 精餾塔的發展	134
ication)	132	6.1.3 精餾塔的內部構造	137
6.2 精餾理論.....			138

6.2.1 還流比 (reflux ratio)	138	6.2.6 焓收支 (熱收支)	144
6.2.2 物質收支	139	6.2.7 等模耳流的原理 (principle of equimolal overflow and vaporization)	146
6.2.3 能量收支	140		
6.2.4 在覆層的組成變化	140		
6.2.5 操作線 (operating line)	143		
6.3 McCabe-Thiele 的段數決定法	149		
6.3.1 濃縮操作線的畫法	150	6.3.5 與再沸器的關係	156
6.3.2 階梯作圖法	151	6.3.6 理論段數 (number of theoretical plates, N.T.P.)	157
6.3.3 回收操作線的畫法	152	6.3.7 step 數	157
6.3.4 與凝結器的關係	155		
6.4 原料的熱狀態	158		
6.4.1 q 線的方程式 (equation of q -line)	159	6.4.5 q 線的界限	165
6.4.2 q 值與蒸氣量、液量的關係	161	6.4.6 原料供給段的位置 (feed-plate location)	170
6.4.3 操作線的畫法 (圖 6-33)	164	6.4.7 永廻氏的修正法 (原料段位置的修正)	171
6.4.4 q 線的斜度與 q			
6.5 回收塔的觀念	174		
6.6 從 2 處供給原料的場合	179		
6.7 操作線彎曲的補正	180		
6.8 模耳蒸發熱因組成而變化時的操作線	182		

第 7 章 2 成分系的連續精餾 (其 2)

7.1 最小有理論段數與最小還流比	189
-------------------------	-----

7.1.1 全還流 (total reflux).....189	minimum ref- lux ratio).....192
7.1.2 Fenske 方程式 190	7.1.4 最小還流比的求 法193
7.1.3 最小還流比 (	
7.2 最適還流比..... 202	
7.3 還流比 R 與理論段數 N 的相關..... 206	
7.3.1 Gilliland cor- relation) (1938).....207	1939)208
7.3.2 Brown-Martin correlation (1961)210	7.3.3 Erbar-Maddox correlation (
7.3.4 其他的相關210	
7.4 蒸餾裝置的熱負荷..... 212	
7.4.1 再沸器 (rebo- iler)215	al condenser, dephlegmator) 219
7.4.2 再沸器的熱負荷 與原料溫度217	7.4.5 冷還流 (cold reflux)220
7.4.3 全凝器 (total condenser) ...218	7.4.6 蒸餾塔的操作壓 力222
7.4.4 分凝器 (parti-	
7.5 階梯作圖法的補助手段..... 223	
7.5.1 得高純度製品時 的理論段數223	7.5.3 解析性段數計算 (Kremser 之式) 224
7.5.2 用兩對數方格紙 的階梯作圖223	7.5.4 用 open steam 時230

第8章 2成分系的連續精餾 (其3).....234

8.1 逐段計算..... 234	
8.2 理論段數的解析性計算法..... 241	
8.3 Ponchon-Savarit 的段數決定法..... 245	
8.3.1 焓・組成線圖 (	composition enthalpy- diagram).....245

8.3.2 在 $h-x$ 線圖的作 圖原理	248	8.3.6 理論段數的決定	254
8.3.3 全烓收支	251	8.3.7 最小理論段數 (全還流)	254
8.3.4 濃縮部的烓收支	253	8.3.8 最小還流比	254
8.3.5 回收部的烓收支	253		
8.4 P.S法與M.T法的比較	255		
8.5 2成分系精餾的總合計算例	265		

第9章 2成分系的分批精餾.....286

9.1 分批精餾	286
9.2 餾出液的組成一定的場合 (改變還流比)	286
9.3 還流比一定的場合 (餾出組成變動)	290
9.3.1 停滯液 (hold up)	293

第10章 共沸蒸餾與抽出蒸餾.....295

10.1 2成分系共沸混合物的分餾	295
10.2 從共沸混合物分離純成分的方法	296
10.3 多相共沸混合物	297
10.3.1 多相共沸混合物的分餾	298
10.4 共沸蒸餾	301
10.4.1 共沸劑應具備的條件	303
10.5 抽出蒸餾	304
10.5.1 抽出蒸餾的溶劑應具備的條件	305

第11章 水蒸氣蒸餾與減壓蒸餾.....308

11.1 水蒸氣蒸餾	308
11.1.1 水蒸氣蒸餾的目的與應用	308
11.1.2 水蒸氣蒸餾的裝置	309
11.1.3 水蒸氣蒸餾的理論	310
11.1.4 最小水蒸氣消費量 (minimum steam consumption)	311
11.1.5 放散 (stripping)	312

11.1.6 液相有大量不揮	發性成分時	……317
11.2 減壓蒸餾（真空蒸餾）		……320
11.2.1 石油工業的真空	蒸餾	……321

第12章 多成分系的精餾（其1）…………… 323

12.1 3成分系的精餾		……323
12.1.1 3成分系精餾與	三角圖表	……324
12.2 多成分系的氣液平衡		……330
12.3 多成分系的精餾計算		……331
12.3.1 多成分系的精餾	計算法	……332
12.4 預備計算		……333
12.4.1 塔壓的選定		……333
12.4.2 沸點計算（bubble point calculation）		……334
12.4.3 露點計算（dew point calculation）		……335
12.4.4 flash 計算		……335
12.4.5 flash 計算中氣液比的新求法—Lockhart & McHenry 方法		343
12.5 段數計算		……348
12.5.1 界限成分（key components）		348
12.5.2 決定段數的一般手續		……349
12.5.3 最小理論段數—Fenske 式		……350
12.5.4 最小還流比		……355
12.5.5 Underwood 方法（最小還流比的計算）		……355
12.5.6 實用段數		……360
12.5.7 原料供給段		……361

第13章 多成分系的精餾（其2）…………… 363

13.1 逐段計算		……363
13.1.1 Lewis-Mattheson 的逐段計算法（LM法）		……363
13.1.2 Thiele-Geddes 的逐段計算法（TG法）		……371
13.2 組成分佈與 pinch		……382

13.2.1 多成分系精餾的 塔內組成分佈	13.2.3 pinch 組成的推 算	382	385
13.2.2 pinch point	13.2.4 pinch 與擬 pinch	384	386
13.3 多成分系最小還流比的求法			392
13.3.1 Colburn 的方 法	最小還流比算定 法	392	410
13.3.2 用實例比較各種			
13.4 多成分系精餾的總合計算例			423

第14章 覆層塔(段塔)設計的基礎 445

14.1 覆層塔的分類		445
14.2 覆層塔的性能比較		447
14.3 覆層塔各論		447
14.3.1 泡鐘 tray (bubble-cap tray)	14.3.5 cascade tray, venturi tray	449 455
14.3.2 Uniflux tray	14.3.6 Turbogrid tray	450 456
14.3.3 Valve tray	14.3.7 Ripple tray	451 456
14.3.4 多孔板塔(孔盤塔)	14.3.8 Kittel tray	451 457
	14.3.9 最近的日本製 tray	453 457
14.4 覆層塔設計手續		458
14.5 段間隔與塔徑		458
14.5.1 段間隔(plate spacing)	14.5.3 蒸氣速度與塔內的異常現象	458 460
14.5.2 蒸氣速度與塔徑		459
14.6 段塔直徑的算定法		462
14.6.1 容許蒸氣速度	ews 的相關(圖	463
14.6.2 Souders-Brown 式	14 - 33, 34)	473
	14.6.4 Eld 式	476
14.6.3 Fair & Matth-		

第15章 利用充填塔的精餾.....479

- 15.1 充填塔的一般考察..... 479
 - 15.1.1 充填塔與段塔 (ing)481
覆層塔)的比較480
 - 15.1.2 充填物必要的特性.....480
 - 15.1.3 不規則充填物 (random packing).....481
 - 15.1.4 規則充填物 (regular packing).....481
 - 15.1.5 充填物的支持 ..482
 - 15.1.6 液的分佈 (liquid distribution).....483
 - 15.1.7 充填物的濡濕面積486
 - 15.1.8 飛沫同伴 (entrainment) ... 486
- 15.2 充填層內的氣液流動..... 487
 - 15.2.1 決定塔徑的準繩488 的推算式491
 - 15.2.2 flooding 速度 的推算線圖 ... 489
 - 15.2.3 flooding 速度 15.2.4 loading速度的推算曲線491
 - 15.2.5 液量的核對491
- 15.3 充填塔的壓力損失..... 492
- 15.4 充填塔高度的決定..... 497
 - 15.4.1 H.E.T.P. (height equivalent to a theoretical plate).....497
 - 15.4.2 移動單位數與移動單位高度.....498
 - 15.4.3 液相基準的移動單位501
 - 15.4.4 移動單位數的求法501
 - 15.4.5 全還流的N_{og} ...504
 - 15.4.6 移動單位高度的求法505

第16章 段效率.....509

附圖與附表..... 521

第 1 章 蒸餾概論

1.1 蒸餾的定義

蒸餾 (distillation) 爲化學工學中最重要的單元操作之一，乃工業上、實驗室都廣用的術語，定義因人因書而各異。

◆蒸餾是指液體混合物局部蒸發，分離其中各成分，分別回收蒸氣與殘液。發生的蒸氣通常藉凝結回收。(Perry : Chemical Engineers' Handbook)

◆蒸餾是指液體混合物氣化，產生含 2 種以上成分的氣相，以幾乎純粹的狀態回收其成分之一或更多，或得組成異於原混合物的任意組成之混合物。(McCabe-Smith : Unit Operations of Chemical Engineering)

◆從所有成分多少有些揮發性的溶液，藉氣化分離各成分的方法。此時，所有成分分佈於氣相、液相。(Treybal : Mass-transfer Operations)

◆利用成分的沸點或揮發度等熱性質之差而分離溶液之事稱爲蒸餾 (化學工學協會編：化學工學辭典)

◆將液體的混合物加熱，產生組成異於液體的蒸氣，利用此性質，將液體混合物分離成接近純粹成分的是蒸餾 (藤田重文：化學工學入門)。

如上所述，蒸餾有各種定義，根本上却差不多，異於蒸發之處是液相中的所有成分多少也出現於氣相中。例如將酒精的水溶液加熱，使其一部份氣化，則當時發生的蒸氣中，含有水蒸氣和酒精，但酒精濃度常大於原液。抽出此混合蒸氣而凝結的話，可達某種程度的分離目的。但有時從溶液只使一成分氣化的操作也稱爲蒸餾。例如“將水蒸餾”——將食鹽水之類含不揮發性物質的水溶液加熱，使水分氣化的操作顯然爲

蒸發 (evaporation)，此時，發生蒸氣 (水蒸氣) 常拋棄。

蒸餾操作大都從各種有機化合物 (特別是碳化氫、酒精等) 的混合物分離一種或多種成分，有時也用於無機物質的分離，例如液體空氣中氧與氮的分離、從氨水回收氨等。

氣體吸收的逆操作——放散 (stripping) 也屬於廣義的蒸餾。

1.1.1 在石油工業的定義

蒸餾是組合加熱、氣化、分餾、凝結、冷卻等的一系列操作 (Nelson : Petroleum Refinery Engineering)。

廣義的分餾是液體或氣體的混合物藉氣化或凝結分離成各個成分。(據此定義，石油技術者所謂的分餾相當於化學工學的“蒸餾”)

狹義的分餾為精餾的同義語，使蒸氣混合物與幾乎同組成的液體向流性接觸。

1.1.2 精 餾 (rectification)

這是使液體混合物加熱發生的蒸氣與較早發生的凝結液成向流性接觸，進行物質的移動與熱的交換，藉此可增高蒸氣中的低沸點成分濃度。此時，與上升蒸氣成向流的凝結液稱為還流 (reflux)，進行此種操作的裝置稱為精餾塔。

石油工業稱精餾為分餾，精餾塔有時稱為分餾塔。

也有人認為伴有還流的操作稱為精餾，無還流的操作稱為蒸餾。工場等也常將精餾單稱蒸餾。

1.1.3 分 凝 (partial condensation, dephlegmation) (又稱部份凝結)

將蒸氣混合物冷卻到一定溫度，只使其一部份凝結的操作稱為分凝)。此時，原蒸氣中的高沸點成分較多液化，分凝通常組合精餾，例如使精餾塔頂送出的蒸氣一部份凝結，還流到塔頂。進行分凝的裝置稱為分凝器。

1.2 蒸餾與物質移動

蒸餾的用語

氣	化	vaporization (也有人譯為蒸發)
蒸	發	evaporation
凝	結	condensation
成	分	component, constituent
組	成	composition
分 餾 (分別蒸餾)		fractionation (fractional distillation)
分 餾 塔		fractionator, fractionating tower (column)
精 餾 塔		rectification tower (column)
分凝器, 部分凝結器		partial condenser, dephlegmator

依據擴散 (diffusion) 或物質移動 (mass transfer) 的原理, 分離混合物中各成分的一群操作, 諸如

- 1 蒸餾 (distillation)
- 2 氣體吸收 (gas absorption)
- 3 抽出 (extraction), 滲出 (leaching)
- 4 晶析 (crystallization)
- 5 空氣·水接觸 (air-water contact)
增濕 (humidification), 減濕 (dehumidification)
乾燥 (drying)
- 6 放散 (stripping)

這些操作都伴有從一相往另一相的物質移動, 此時的推進力不是密度或粒子大小之差所致, 而是蒸氣壓、分壓、濃度、溶解度等之差使物質移動。

上示操作中, 氣相與液相接觸所引起者總稱為 gas-liquid operation, 氣相與液相間的物質移動速度正比於兩相的接觸面積, 氣液的緊密接觸為重點所在。這些操作以物質移動的共通理論研討, 其裝置也類似。實際上, 因費用、腐蝕性、複雜性、操作效率、過去的習慣等而有獨特的研究。

這些操作中, 蒸餾、吸收、放散三者在原理、裝置上都關係密切, 但蒸餾異於吸收, 不必加第二成分, 却絕對需要加熱、冷卻, 費用高。

吸收可依原料種類選各種溶劑，但蒸餾時，原液發生的蒸氣組成與液體差不多，實際上，氣相與液相的組成差過小，有時幾不可能藉蒸餾分散。

但是，蒸餾的操作較簡便，實用上可將很多混合物藉此分成接近純粹的成分，所以在所有物質移動操作中最重要。

1.2.1 物質移動的基本形式

蒸餾之類物質移動操作以向流性進行，可分為二大形式

(1)階段性接觸 (stage contact) 蒸餾的覆層蒸餾塔 (plate tower, 段塔) 屬此，此時，2 相的接觸在若干不連續的接觸單位 (contact unit) 進行，此接觸單位通常稱為 stage 或 step，stage contact 的理論考察着眼於通過各 stage 的 stream (流)。

(2)微分性接觸 (differential contact) 充填塔或噴霧塔、向流乾燥器等屬此，此時，二 stream 無前者的不連續階段，彼此成連續性向流接觸。此時，無將裝置成物理分割的 unit 存在，微分性長度或高度為理論的基礎。

可見同樣的蒸餾也因用覆層蒸餾塔 (段塔) 或充填塔，其理論解析完全不同，但也有人研究兩者的關係。

1.3 蒸餾方式的分類

蒸餾有各種方式，可依操作途中是否進行還流 (或分餾) 而分類，這是理論上最重要的區分法。

通常，不伴有還流的蒸餾稱為單一蒸餾或單蒸餾 (simple distillation)，這又分為微分蒸餾與平衡蒸餾。

微分蒸餾是液體依序分次少量氣化，其發生蒸氣在各瞬間與殘液成平衡關係，發生蒸氣全部的平均組成與殘液不成平衡關係。

平衡蒸餾是發生的全蒸氣與殘留的全液平衡的蒸餾方式。

伴有還流的蒸餾方法稱為精餾 (rectification)，石油工業所謂的分餾與精餾差不多。

又依原料的供給形式分為分批次 (batch system) 與連續式 (continuous system)，前者為實驗室的小規模蒸餾，後者為大規模