

化學工程概論

徐守楨原著
吳舜華重編

現代工程小叢書



現代工程小叢書

化 學 工 程 概 論

(原名化學工程及製造概論)

徐 守 楨 原 著

吳 舜 華 重 編

商 務 印 書 館 出 版

目 錄

第一章	緒言	1
第一節	化學工程的意義	1
第二節	化學工業的分類	2
第三節	化學工業的特點	5
第二章	壓碎和研磨	7
第一節	壓碎和研磨的目的	7
第二節	壓碎和研磨所用機械的選擇	8
第三節	壓碎和研磨所用機械的種類	9
第三章	機械式的分離	24
第一節	固體和固體的分離	24
第二節	固體和氣體的分離	25
第三節	固體和液體的分離	27
第四章	流體的流動	40
第一節	流體壓力表	40
第二節	柏努利氏定理	43
第三節	兩種流動	45
第四節	黏度	47
第五節	摩擦損失	49
第六節	流動的量度	50
第五章	流體的輸送	56
第一節	管和管件	58
第二節	活門	60
第三節	唧筒	63
第四節	氣體的輸送	74
第五節	構造材料的選擇	80
第六章	熱的流動	94
第一節	熱能流動的方式	94
第二節	傳導	96

第三節	對流	102
第四節	輻射	107
第五節	加熱器	109
第七章	蒸發	117
第一節	蒸發原理	117
第二節	蒸發器	119
第三節	蒸發的管理	123
第八章	乾燥	127
第一節	乾燥的範圍	127
第二節	乾燥原理	128
第三節	乾燥器	129
第九章	蒸餾	138
第一節	蒸餾原理	138
第二節	蒸餾方法	143
第三節	蒸汽蒸餾	155
第十章	氣體的吸收	157
第一節	氣體吸收的器械	157
第二節	氣體吸收原理	162
第三節	吸收速率	164
第四節	吸附	165
第十一章	結晶	168
第一節	晶體形狀	168
第二節	晶體理論	170
第三節	晶核的形成	174
第四節	晶體生長的速度	175
第五節	結晶器械	176
第六節	晶體的膠結	181
第十二章	過濾	183
第一節	濾機的分類	183
第二節	濾機的構造	184
第三節	濾機的比較	192

化學工程概論

第一章 緒言

第一節 化學工程的意義

化學工業開始極早。火藥，紙，等製法，古人發明已久；但是應用科學方法，創立大規模的工業，不過百年內事。勒布朗克 (Le Blanc) 雖於一七九一年發明食鹽製鹼的方法。然而十九世紀以前實際上歐美各國，還沒有化學工業。最近半世紀來，化學工業風起雲湧。一日千里，遂為他種工業所望塵莫及。

化學工業，常包含特殊的工程問題。從前管理這些事業的，或是略具機械工程知識的化學家，或是粗知化學作用的機械工程師，殊不足以應付繁複的現代化學工業工程的創立。化學工程不是化學和機械土木諸工程的混合體，是工程中的一個獨立科目，根據化學原理，副以物理算學，創立化學製法，以應用於工業。

化學製造，不一其法。然試分析它們的過程，儘多共同的手續，如壓碎，研磨(crushing and grinding)，分離(mechanical separation)，過濾(filtration)，蒸發(evaporation)，乾燥(drying)，

蒸餾(distillation), 吸收(absorption), 結晶(crystallization)等, 這叫做單元作業(unit operation)。化學工程, 即連合數種相當的單元作業, 製成化學物品, 以達到增加效率和減低成本的目的。這種單元作業, 雖類別不多, 然而範圍至為廣大, 應當如何利用, 以期獲得最適當的效果, 這便是化學工程師的責任。

第二節 化學工業的分類

化學工業, 日新月異, 就現有出品, 大致可分成下列數類:

第一類化學藥品和類似產物 (chemicals and allied products):

- (一) 酸類和重工業藥品 (acids and heavy chemicals);
- (二) 煤膏產物和染料 (coal-tar products and dyes);
- (三) 肥料 (fertilizers);
- (四) 肥皂和甘油 (soap and glycerine);
- (五) 火藥 (explosives)。

第二類陶瓷和類似產物 (ceramics and allied products):

- (一) 黏土產物 (clay products);
- (二) 玻璃 (glass);
- (三) 水泥 (cement);
- (四) 石灰 (lime);
- (五) 砂灰磚 (sand-limebricks)。

第三類燃料和它的衍化物 (fuels and derivative of fuels):

- (一)石油精煉(petroleum refining);
- (二)焦煤,副產物和蜂房法(coke, byproduct and beehive);
- (三)煤氣製造(gas manufacture);
- (四)木材化學品和木炭(wood chemicals and charcoal);
- (五)煙炭(carbon black and lamp black)。

第四類金屬(metals):

- (一)鋼鐵鑄鍊(iron smelting);
- (二)鐵以外金屬的鑄鍊(non-ferrous metal smelting)。

第五類膠質產物(colloidal products):

- (一)人造絲和塑料(rayon and plastics);
- (二)紙和木材纖維料(paper and wood pulp);
- (三)橡皮(rubber industries);
- (四)皮革(leather, tanned and finished);
- (五)油布,油漆布(oil cloth and linoleum);
- (六)油漆(paint and varnish);
- (七)膠(glue and gelatine)。

第六類精煉的天然產物(refined natural products):

- (一)植物油(vegetable oils);
- (二)香油(essential oils);
- (三)糖(sugar industries);
- (四)鞣料和天然染料(tanning materials and natural dyes-stuffs);

(五)樹脂(resin and turpentine)。

上述種種雖至不同，大概可歸納爲三類：即間斷法(intermittent process)，連續法(continuous process)和半連續法(semi-continuous process)。在舊式窯內製磚和陶器，經過焙燒，等到冷卻，卸出再燒；及用智利硝石(Chili saltpeter)和硫酸，在罐中製造硝酸；都是間斷法。在鉛室中從硫黃製出硫酸，及用適當溶液，從煤氣(illuminating gas)內提取輕油(light oils)和氨(ammonia)都是連續法。連續法有種種利益，在可能範圍內，都採用這法。否則也用其近似的，如半連續法。例如：提煉鞣革樹皮(tan bark)的浸溶槽(leaching tank)工作等是半連續法。

再就化學反應來說由單一物質變爲另單一物質，其例絕少，反應方程的一邊或二邊。通常不只一種物質。所以化學工業，都不出乎分流，合流和交流(diverging, converging and crossing streams of flow)三途。從水電解取得氫與氧，及木，煤等的分解蒸餾(destruction distillation)，由一種物質變爲二種或數種物質，都是分流的顯著例子。以生橡皮(raw rubber)加硫黃和其他混和料，合成硬橡皮(vulcanized rubber)，於製法中，投入二種或多種物質，而所產出的祇有一種物質，所以叫做合流。煤與空氣燃燒，變成烟道氣(flue gas)及灰；硫化礦與空氣煅燒(roasting)則消失硫黃，而生成金屬氧化物，都是交流作用。因爲參加程序中的數種物質，交互發生化學作用，變成完全不同的他數種物質而流出。欲求化學成分的衍變，須於程序相當階段中，

加能(energy)或減能以促成。通常所用是熱能。熱於單元作業，也多應用，如蒸發，乾燥，蒸餾等是。電能為電解與電弧反應諸法(electrolytic and arc-reaction processes)，所必需。製造矽素，碳化鈣(calcium carbide)和人造金剛砂(carborundum)等所用的極高溫度，尤其需要電能。

第三節 化學工業的特點

化學工業的特點，應該注意的分述如下：

(一)折舊率大：房屋和機械設備的折舊率，往往視為工廠中的重大問題。廠中工具設備極易受化學的腐蝕，溫度的傷害，和機械的損耗，不但這樣，還有技術的進步，也可使固有設備，驟然之間變成廢物，尤其是新興而不穩定的工業特別是這樣。常例，工場中的機械設備，所投資本，分期提還，常至八年，十年不等。但欲全體規定一致的折舊率(rate of depreciation)實不可能。銻鐵，鞣革，油漆，造紙，煉糖，副產物，煉焦等業，比較還可定出一個相當的折舊率；但是工作性質，互不相同，似應各廠分別自定標準。至於酸類重工業藥品，染料，肥料，製造煤氣，精煉石油諸業，更加複雜；那就難於規定了。即以蒸發器而言，在最適宜狀況之下，可用至三十年之久，普通平均大約是二十年，若用於腐蝕性液體，則三年至五年，便是最大的限度。

(二)研究和發展的必要：研究和發展，固然是任何工業所必要。在化學工業更是這樣。新興工業，技術上既然日新月異，舊

式工業，也有改進的必要，所以研究實在是業務上最有效的政策，原料和製法能否替換，產物品質能否改良，新產物能否製出，以及產額能否增加，工作能否經濟，以減低生產成本，都是研究中應有的問題。近三十年來，新興的工業，能獲得經濟上及國防上相當地位的，幾無一不是科學研究和化學工程發展的結果，人造汽油，人造橡皮，人造樟腦，綜合硝酸(synthetic nitric acid)和綜合氨(synthetic ammonia)，在第二次世界大戰前均已從事製造，且成為商品供給於市場。雖人造汽油及人造橡皮尚不能與天然產品作經濟上之競爭，但在國防意義上即甚重要。而人造橡皮之耐油性又非天然橡皮可及。

(三)大量生產：欲求化學企業的成功，必須有大規模的設備，以期獲得大量生產的各種利益。用連續法或半連續法的大量生產，在化學工業中是常見的事例。大規模工廠的較能經濟，比其他機械製造業，尤為顯著。因為將蒸發器(evaporator)，濾機(filter)或窖等的容量加倍，直接工資(direct labour)雖有增加，為數極小，而管理費並不加大。

(四)利用副產物的重要：在獲利甚微，產額極大的化學工業副產物的利用，至為重要。實際上化學製造，已發展到現今地位，主產物和副產物，竟至難於區別，油的精煉，煤的碳化，重質化學品的製造，都是顯著的例子。但是由於技術進步和經濟環境的變遷，今日作為副產物的，他日應當如何利用，以期發展而資經濟，也是頗饒興趣的工程問題。

第二章 壓碎和研磨

第一節 壓碎和研磨的目的

當一固體受化學變化時，作用僅限於該體的表面，反應速率便是接觸表面的函數。換句話說，接觸的地方越多，接觸面積越大，反應越快。所以欲於最短期間完成反應，則每單位重量，或每單位容積內可以接觸能的面積必須擴至極大。設先將固體壓碎至小塊，再磨成極細的粉末，便可達到這一目的了。因為每單位容積內的粒數，乘每粒的表面積，即得每單位容積內可接觸的表面積。所以粉粒越細小，這種面積越大。此項接觸面積和反應速率的關係，在多數工業製造中極為重要。固體溶解於液體，需要廣大的接觸面。固體和固體的相互作用，如製造水泥結塊，也需要廣大的接觸面。固體和氣體的反應，如粉煤（pulverized coal）的燃燒，也是如此。壓碎作用還有他種目的。若固體成分不純淨時，要使它的組成分子互相分離，有時固然不大費力。如煤和板石（slate）的脫離是；有時須磨至極細，它的組成分子才得完全離析。從包含貴重組成分子的原料中分離貴賤各種物質的方法，叫做選礦法（ore dressing），是多種工業化學製造中的重要步驟。

第二節 壓碎和研磨所用機械的選擇

選擇壓碎和研磨所用的機械，有三個要素：(1)受碎磨的物料的物理性質；(2)進料 (feed 投進機械中的物料) 和出品的大小；(3)碎磨總噸數和其他局部情況。

受碎磨的物料的物理性質和碎磨的影響，分述如下：

(一) 硬度 (hardness) 硬度不僅關係機械的大小和設計，機械要有相當力量，才可以軋碎它。並且硬度越增高，所需要的磋磨作用 (abrasive action) 也越加大，因此所用的機械，必選擇磨損部分 (wearing parts) 減至極小的。

(二) 機械性組織 (mechanical structure) 物料或是脆而易碎，或是纖維組織而帶韌性，或是柔軟，或是受熱變柔，用以碎磨的機械因有種種不同。若是纖維組織，不能用擠壓或剪切作用 (pressure or shearing action) 來破碎它，祇可劈開割裂。如木料樹皮等纖維物質，所用以碎裂的機械，特別叫做解磨機 (disintegrators)。

(三) 水分 (moisture) 物料含水分在百分之四或五以上的，在破碎後變成膠糊狀，其細小粉末常易存留於工作器具的表面，彷彿像鋪上一層褥墊，能量的大部分被它吸收，產額因之減少。若水分在百分之五十以上的，則甚流動，可以催促已碎的物料，容易流出，增加生產的效率。大都細小物料的膠黏度較粗大的，易受水分的影響。所以有些工廠對於含水分百分之三或四以上

的物料竟無法處理。在他一方面，有些工廠則以含水分在百分之五十五或六十以上的，認為最適當的材料。

細小度 (fineness) 和機械的選擇極有關係。有多種機械在設計之初，或祇能處理粗大物料，或祇適合於細小物料，更有某種機械可產極均勻的出品，也有因構造上的關係，出品大小至不一律。通常出品顆粒的極小限度必須規定。製造硫酸用的黃鐵礦 (pyrites) 不宜碎至極小。麥麴或欲浸溶的任何物質也不能研磨太細。

產額是測定固定費用 (利息，折舊，捐稅) 和工作成本 (人工，動力及維持費) 間的經濟平衡的要素。產額越大，所需要的最初設備的資本也越大，才可藉以減少動力和維持費的工作成本。利息和折舊必須和動力，人工及維持費相平衡。所以產額越大，減輕工作成本的機械也更加需要。

除產額外其他局部情況也應注意。例如某些礦區交通不便，祇可購置易於拆卸及驢馬能負載的機械。各地域有各地域的特殊情況，不可不加以相當的考慮。

第三節 壓碎研磨所用機械的種類

壓碎機械和研磨機械，為便利起見，依照出品的大小可分成四類：

(一) 初級壓碎機 (primary crushers)：出品大小 3 吋。

偏旋壓碎機 (gyratory crusher)；

顎式壓碎機(jaw crusher)。

(二)二級壓碎機(secondary crushers): 出品大小 $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}$ 吋。

壓滾(crushing roll);

單滾壓碎機(single roll crusher);

錘磨機(hammer mill);

鼠籠碎解機(squirrel cage disintegrator);

旋轉壓碎機(rotary crusher);

細碎偏旋壓碎機(gyratory for fine reduction);

細碎顎式壓碎機(jaw crusher for fine reduction)。

(三)中級碎機(intermediates): 出品大小 10 或 20 篩孔(mesh)。

桿磨機(rod mill)。

(四)細磨機(fine grinding mills or pulverizers): 出品大小 100, 200, 325 篩孔。

石卵磨機(pebble mill);

球磨機(ball mill);

管式磨機(tube mill);

環輥磨機(ring roll mill);

石磨機(buhr stone mill);

粉磨機(pulverizer with grinding balls);

碗式磨機(bowl mill)。

顆粒大小在四分之一吋以上的,以量得篩孔直徑的吋數指名;

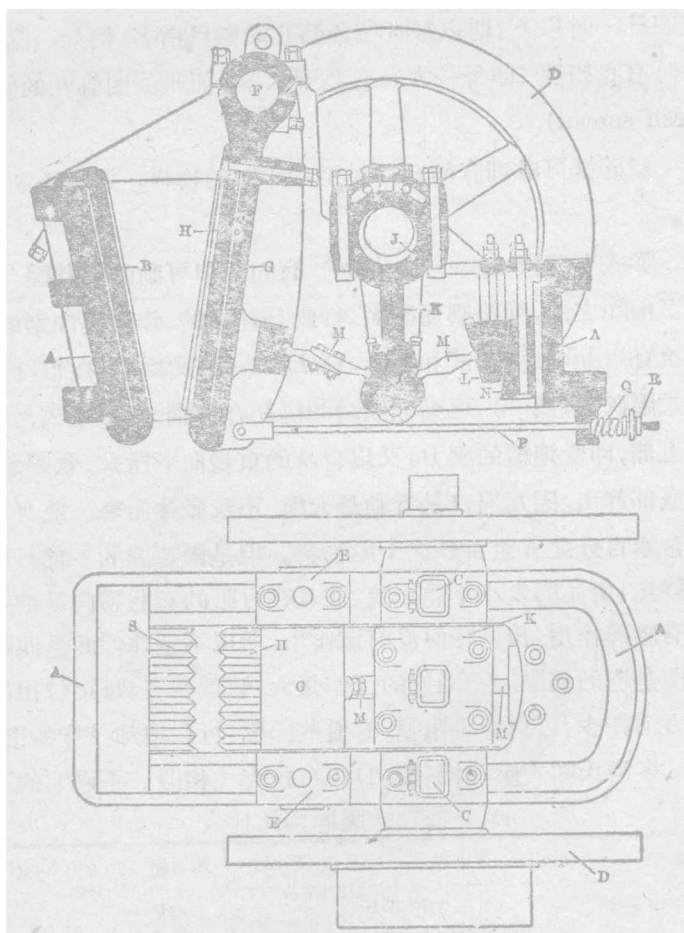


圖 1. 布拉克氏顎式壓碎機

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| A 機架 | B 定顎 | C 軸箱 | D 飛輪 |
| E 動顎軸承 | F 動顎軸 | G 動顎 | H 動顎襯板 |
| J 偏心凸輪 | K 搖桿 | L 固定軸承 | M 肘桿 |
| P 繫桿 | Q 回路彈簧 | R 調整螺母 | |

自四分一吋以下，則以每吋所含篩孔的數目指名。例如一篩每長一吋有孔四個（即每一方吋有孔十六個）便叫做四篩孔的篩（4 mesh screen）。

粗碎機可處理直徑自二吋至六十吋的物料，通常不超過九吋。

顎式壓碎機 (jaw crushers) 有固定和可動的顎狀體，物料到了兩顎之間，受擠壓而破裂。行動是往復的，作用是間斷的。有布拉克 (Blake type) 式和多治 (Dodge type) 式兩種。在布拉克氏顎式壓碎機（圖一），可動顎狀體的樞紐在頂端。物料進入兩顎間的上部，即受連續的壓力；又以自身的重量向下墮落。愈壓愈小，由底部卸出。因為出口是行動最大處，不致發生阻塞。並且可處理含水百分之五至百分之十的物料。但是兩顎間的下部行動迭有變更，出品的大小不能一致。並且在可動的顎狀體向前進行時才有壓碎作用；後退時便沒有這作用，所以不是連續而是間斷的。此便是它的弱點。不過它的工作量大，修理費省，每單位出品的動力消耗少，可以避免阻塞，有這些優點，可以增加該機的價值。

多治氏顎式壓碎機（圖二）和布拉克式相似，不過它的可動

各種顎式壓碎機比較表

多 式 (Dodge)	布 式 (Blake)	單肘節 (single toggle)
工作量少	工作量大	工作量大
出品大小均勻	出品大小受 O. S. setting 控制	出品很均勻
對大塊料的運動最多	對小塊料的運動最多	對各種塊料的運動都好
對小片有槓桿利益	對大片有槓桿利益	

O. S. = open sizes.

布氏顎式壓碎機工作量表

壓碎機號數	顎開時的大小(吋)	工作量以每小時噸數計						顎的運動(吋)	所需的馬力	每分鐘的回轉數
		出品大小								
		1"	1 1/2"	2"	3"	4"				
2	10×7	{ 2 1/2 5	{ 4 8	{ 5 11		{ A B }	{ 5/8	7	250—275	
4	20×10	{	{ 10 21	{ 15 28	{ 20 42	{ A B }	{ 1 1/16	15	250—275	
6	30×18	{	{ 30	{ 40	{ 38 60	{ 45 72 A B }	{ 1 1/16	40	250—285	

此表見 E. R. Riegel: Chemical Machinery, p. 18.

顎狀體的樞紐在底部。出口固定，也是行動最小處，出品的大小自然比較均勻，但是它的工作量就比較小了。

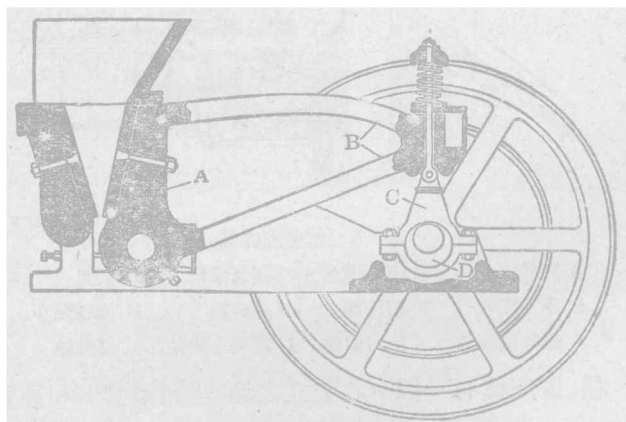


圖 2. 多治氏顎式壓碎機

A 動顎 B 動顎桿臂 C 搖桿 D 偏心輪

偏旋壓碎機 (gyratory crushers) 如圖 3 所示，是將往復運動 (reciprocating motion) 和迴旋運動 (rotary motion) 聯合地工作，是連續性的而不是間斷性的。蓋次式 (Gates type) 是最普