

目次

第一章 緒言.....	一
第一節化學工程之定義	
第二節化學製造之分類	
第三節化學工業之特點	
第二章 軋碎與研磨.....	一〇
第一節軋碎與研磨之目的	
第二節軋碎與研磨機械之選擇	
第三節軋碎與研磨機械之種類	
第三章 機械的分離.....	一九
第一節固體與固體之分離	

第二節 固體與氣體之分離

第三節 固體與液體之分離

第四章 滲濾.....二七

第一節 滲濾機械之分類

第二節 濾機之構造

第三節 濾機之比較

第五章 蒸發.....三五

第一節 蒸發之原理

第二節 蒸發器

第三節 蒸發諸要點

第六章 乾燥.....四五

第一節 乾燥之範圍

第二節 乾燥之原理

第三節 乾燥器

第七章 蒸餾……………五二

第一節 蒸餾之原理

第二節 蒸餾及蒸餾器

第三節 蒸汽蒸餾

第八章 燃料及能……………五九

第一節 燃料之性質與選擇

第二節 電能

第九章 工廠地點……………六九

第一節 建廠擇地之重要

第二節 勘定地點之原理

第十章 工廠設計……………七六

第一節 物料之處理

第二節 房屋

第三節 控制

第四節 動力之分配

工學小叢書

化學工程及製造概論

徐守楨 著

務印書館發行

之創立。化學工程者，非化學與機械土木諸工程之混合體，乃工程中之獨立科目，根據化學各原理，副以物理算學，創成化學製法，以應用於工業者也。

化學製造，不一其法，然試分析其歷程，儘多共同之手續，如軋碎、研磨、*crushing and grinding* 分離 *mechanical separation* 滲濾 *filtration* 蒸發 *evaporation* 乾燥 *drying* 蒸餾 *distillation* 等。此之謂單元作業 *unit operation*。化學工程，即連合數種相當之單元作業，製成化學物品。以達到增進效率與減低成本之目的。此種單元作業，雖類別不多，然其範圍至為廣大，其應如何利用，以期獲得最適當之效果，此化學工程師之責也。

第二節 化學製造之分類

化學製造，日新月異，就現有出品，大致可分為下列數類：

第一類化學用品及其類似產物 *chemicals and allied products*：

一、酸及重化學品 *acids and heavy chemicals*。

二、煤膏產物及染料 *coal-tar products and dyes*。

三、肥料 fertilizers.

四、肥皂及甘油 soap and glycerine.

五、火藥 explosives.

第二類陶瓷及其類似產物 ceramics and allied products:

一、黏土產物 clay products industries.

二、玻璃 glass.

三、水泥 cement.

四、石灰 lime.

五、砂灰磚 sand-lime brick.

第三類燃料及其衍化物, fuels and derivatives of fuels:

一、石油精鍊 petroleum refining.

二、焦煤 (副產物與蜂房法) coke, byproduct and beehive.

三、煤氣製造 gas, manufactured.

四、木材化學品及木炭 wood chemicals and charcoal.

五、煙灰 carbon black and lamp black.

第四類金屬 metals:

一、鋼鐵化鍊 iron smelting.

二、非鐵金屬化鍊 non-ferrous metal smelting.

第五類膠質產物 colloidal products.

一、人造絲及膠黏品 rayon and plastics.

二、紙及木材纖維料 paper and wood pulp.

三、橡皮 rubber industries.

四、皮革（已鞣及製成）leather, tanned and finished.

五、油布 oilcloth and linoleum.

六、油漆 paint and varnish.

七、膠 glue and gelatine.

第六類精鍊的天然產物 refined natural products:

一、植物油 vegetable oils.

二、香油 essential oils.

三、糖 sugar industries.

四、鞣料及天然染料 tanning materials and natural dyestuffs.

五、樹脂 rosin and turpentine.

上述種種，雖至不同，然其製法，可歸納為三類：即間斷法 intermittent process 連續法 continuous process 及半連續法 semi-continuous process 是也。在舊式窰內製磚與陶器，經過焙燒，俟其冷卻，而後卸出再燒；及用智利硝石 Chili saltpeter 與硫酸，在罐中製造硝酸；均為間斷法。在鉛室中從硫磺製出硫酸，及用適當溶液，從煤氣 illuminating gas 內，提取輕

油 light oils 與氨 ammonia 則皆係連續法。連續法有種種利益，在可能範圍內，都採用此法。否則亦用其近似者，而有所謂半連續法，例如提鍊鞣革樹皮 tan bark 之浸溶槽 leaching tank 工作等是也。

再就化學反應而言，由單一物質變為另單一物質者，其例絕少，反應方程之一邊或二邊。通常不止一物質。故化學作業，都不出乎分流，合流及交流 diverging, converging and crossing streams of flow 之三途。從苛性水 water containing caustic 取得氫與氟及木，煤等之分解蒸餾 destruction distillation，係由一種物質變為二種或數種物質，皆分流之顯例。以生橡皮 raw rubber 加硫磺與其他混和料，合成硬化橡皮 vulcanized rubber，於製法中，投入二種或多種物質，而所產出者，祇有一種物質，故為合流。煤與空氣燃燒，變成烟道氣 flue gas 及灰，硫化磺與空氣煨燒 roasting，則消失硫磺，而成金屬氧化物，均係交流作用，蓋參加製法中之數種物質，交互發生化學作用，變成完全不同之他數種物質而流出也。欲求化學成分之衍變，須於製法相當階段中，加能 energy 或減能以促成之，通常所用者，為熱能。熱於單元作業，亦多

應用，如蒸發、乾燥、蒸餾等是。電能爲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* 及人造金剛砂 *carborundum* 等，所用之極高溫度，尤所攸賴。

第三節 化學工業之特點

化學工業，有特殊之點，應予注意者，分述如下：

一、折舊率大。房屋及機械設備之折舊率，往往視爲廠務中之重大問題，廠中工作狀況，極易受化學的腐蝕，溫度的傷害，及機械的損耗。不獨此也，技術的進步，竟可令其設備，驟成廢物，尤以新興而不穩定之工業爲特甚。常例，工場中之機械設備，所投資本，分期提還，每自八年至十年不等；但欲全體規定一致之折舊率 *rate of depreciation* 實不可能。化鐵、鞣革、油漆、製紙、鍊糖、副產物鍊焦等業，比較的尙可定一相當之折舊率，但工作性質，大不相同，似應各廠分別自定標準，而以酸、重化學品、染料、肥料、製造煤氣、精煉石油諸業，尤爲複雜。即以蒸發器而言，在最適宜狀況之下，可用至三十年之久，普通平均約爲二十年，若用於腐蝕性液

體，則三年至五年，可視爲最大之限度。

二、研究與發展之必要。研究與發展，固爲任何工業所需要，尤以化學工業爲特甚。新興工業，技術上既日新而月異，舊式工業，亦有改進之必要，則研究實爲業務上最有效之政策。原料與製法之能否替換，產物品質之能否改良，新產物之能否製出，以及產額之能否增加，與工作之能否經濟，以減低生產成本，均係研究中應有之問題。近三十年來，新興之工業，能獲得經濟上相當地位者，幾無一非科學研究與化學工程發展之結果。人造橡皮、人造樟腦、綜合的硝酸 *synthetic nitric acid* 及綜合的氮 *synthetic ammonia*，在一九一四年之際，尙祇爲化學室之實驗品，今則除人造橡皮外，其他三種，均成爲有贏利之商品矣。

三、大量生產爲常例。欲求化學企業之成功，須有大規模之設備，以期獲得大量生產之各種利益。中國工業幼稚，無例堪以引證。在美國化學工業中，每廠之投資額，平均爲美金八四三，〇〇〇元，而他種製造業，則祇美金一八三，〇〇〇元。據一九一九年之統計，每石油鍊廠，平均投資美金三，六六〇，〇〇〇元，其在經濟上勉能維持最小之廠，則爲美金三，

五〇〇，〇〇〇元。他如獨立之人造絲廠，至少亦須投資美金三，五〇〇，〇〇〇元，方爲經濟，由是可知，以連續法或半連續法之大量生產，爲化學工業之常例。大規模工廠之較能經濟，比其他機械製造業，尤爲顯著，蓋將蒸發器 *evaporator* 濾機 *filter* 或窖等之容量加倍，直接工資 *direct labor* 卽有所增，爲數極小，而管理費並不加大也。

四、利用副產物之重要。在獲利甚微，產額極大之化學工業，其副產物之利用，至爲重要。實際上化學製造，已發展至現今地位，主產物與副產物，竟難區別，油之精鍊、煤之炭化、及重化學品之製造，均爲其顯著之例。但以技術之進步，與經濟環境之變遷，今日之爲副產物者，他日容可成爲主產物，其與副產物相類似者，有廢熱 *waste heat* 及廢汽 *exhaust steam*，其應如何利用，以期發展而資經濟，亦頗饒興趣之工程問題也。

第二章 軋碎與研磨

第一節 軋碎與研磨之目的

當一固體受化學變化時，其作用僅限於該體之表面，而反應之速率，為其接觸面之函數。故欲於最短期間，完成其反應，則每單位重量或容積之面積，必須擴至極大。設先將固體軋碎至小塊，再磨成極微之粉末，則其目的可達矣。此項接觸面積（以顆粒之大小定之）與反應速率之關係，在多數工業製造中，極為重要。固體之溶解於液體；固體與固體之相互作用，如製造水泥結塊 *cement clinker*；固體與氣體之反應，如粉煤 *pulverized coal* 燃燒；均為其顯著之例。雖然，軋碎作用，尚有他種之目的；若固體成分非純一時，並可使其組成分子互為分離，有時軋碎可較粗大，如煤與板石 *slate* 之脫離是，有時須磨至極微，其組成分子方得完全析開，從原料中聚集其貴重的組織分子，而令與渣滓廢物分離者，謂之選鑛法 *ore dressing*，為多種工業化學

第二節 軋碎與研磨機械之選擇

選擇軋碎與研磨機械，常視下列三要素而定：

- 一、被碎磨物料的物理性質。
- 二、供入品 feed 與產出品之大小。
- 三、碎磨總噸數及他種局部狀況。

物料的物理性質之影響於碎磨者，可分述如下：

甲、硬度 *hardness*。硬度不僅攸關機械之大小與設計，俾有相當力量，足以軋碎物料，抑且硬度益增高，摩擦作用 *abrasive action* 亦益加大，因之所用之機械，必擇其消磨部份 *wearing parts* 減至極少者。研磨摩擦物 *abrasive materials* 之機械，非但軸承 *bearings* 須極少，並須以適當方法，使其不受灰屑。又低速率之機械，比高速率者，所需維持費，亦可減輕。

乙、機械的組織 *mechanical structure*。物料或係脆而易碎，或係纖維組織而帶韌性，或係柔軟，或係熱時方柔軟，其用以碎磨之機械，因有種種不同，若為纖維組織，不能以擠壓或剪切作用 *pressure or shearing action* 破碎之，祇可劈而割裂之。木樹皮等纖維物質，所用以碎裂之機械，特名之為衝碎機 *disintegrators*。

丙、水分 *moisture*，物料含水分在百分之四或五以上者，則破碎後變成膠糊狀，其細小部份，每易存留於行動面之間，似鋪褥墊 *cushion*，能之大部為其吸收，產額因之降低。若水分在百分之五〇以上者，則甚流動，可促其已碎之物料，易於流出，而增其效率。大都細小物質之膠黏度 *pastiness*，較粗大者易受水分之影響。故有工廠對於含水分百分之三或四以上之物料，竟無法處理者，反之，他種工廠則以含水分在百分之五五或六〇以上者，認為最適宜之材料。

細小度 *fineness* 與機械之選擇，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，可產極均勻之出品，亦有因構造上之關係，其出品之大

小至不一律通常出品顆粒的極小限度須予規定製造硫酸用之黃鐵礦 pyrites 不宜碎至極小，麥麩或欲浸溶之任何物質，亦不能研磨太細也。

產額為測定固定費用 fixed charges (利息，折舊 depreciation 及捐稅) 與工作成本 operating cost (人工，動力及維持 maintenance) 間的經濟平衡 economics balance 之要素，產額愈大，則可用於最初設備之資本亦愈大，俾得減輕動力與維持之工作成本，利息及折舊，必須與動力，人工及維持相平衡，而產額愈大，則減輕工作成本之機械，亦愈覺需要。除產額外，局部狀況，常應特別注意，例如：某種礦區，運輸不便，祇可購置易於拆卸及驢馬能負載之機械，各處地域，自有其特殊狀況，不得不加以相當之考慮也。

第三節 軋碎與研磨機械之種類

軋碎機械與研磨機械，為便利起見，依出品之大小，可分為三類：一粗碎機 coarse crushers，可產出自二吋半至四分三吋直徑之物料；二中間碎機 intermediates 自四分三吋至三〇及四〇篩孔 mesh，三細磨機 fine grinders 三〇及四〇篩孔或更小者。顆粒大小，在四分

一吋（或半吋）以上者，以量得篩孔之吋數指名之，自四分之一吋以下，則以每吋所含篩孔之數目指名之，例如：一篩每一吋長度，有孔四箇（即每一平方吋有孔十六箇），則名為四篩孔之篩 4-mesh screen，近來將篩絲 wire 之直徑，亦予注明，則更正確矣。

粗碎機可處理直徑自二吋至六〇吋之物料，通常則不逾九吋以上。

顎狀碎機 jaw crushers 有固定及可動之顎狀體 jaw 各一，物在其間，受擠壓而破裂。其行動為往復的，其作用為間斷的。有布拉克式 Blake type 及多治式 Dodge type 二種。在布拉克式顎狀碎機，可動之顎狀體裝於頂端之軸而搖擺。物料進入兩顎間之上部，即受連續的壓力，而以自身之重向下而墮，愈壓愈小，由底部卸出。因其出口處行動最大，可免阻塞之危險，並可處理含水百分之五至百分之一〇之物料。惟兩顎間之下部行動，迭有變更，其出品之大小，乃不能一致，且其可動之顎狀體，當向前進行時，方有軋碎作用，故非連續的，此為其弱點。但其容量大，修理費省，每單位出品之動力消耗少，及可避免阻塞之虞，有種種優點。未足損失該機之價值也。多治式顎狀碎機與布拉克式相似，惟其可動顎狀體之樞紐，乃在底部而已。出口係固定，亦為

行動最小處，其出品之大小自較均勻，但容量則較小也。

環動碎機 *gyratory crushers* 係連合往復運動與迴轉運動 *rotary motion* 而工作，係連續的而非間斷的。蓋次式 *gutes type* 爲其最通用之一種。該機有一中心豎立之軸，上端固定，下端有迴轉運動之裝置，軸上之截頭圓錐體，迴轉（離心的）於倒置圓錐面之內，而進行其軋碎工作。蓋次式環動碎機可處理六吋至六〇吋徑之岩石，並可軋碎至四吋至四分一吋徑之大小，通常入口頗大，產額亦極高，若欲軋碎之岩石，含大塊不多，則以布拉克式顎狀碎機之置備費較低，自比蓋次式環動碎機爲適宜，若含大塊頗多，則以環動碎機爲經濟。因其每噸所耗動力較小也。環動碎機可處理直接來自堆棧之岩石，不必另有供送設備，其出品亦頗均勻。

中間碎機可處理一吋半至二吋徑之物料。最通行者爲碎軋 *crushing rolls*，具有二箇實心圓筒，裝於橫軸上而旋轉，其旋轉面挾住物塊，漸引入其間軋碎之，其大小隨該面之距離而定，通常可碎至一〇至一五篩孔，以其容量較大，塵屑絕少，及結構簡單，故應用甚廣。惟宜注意者，須令供入之物料，在軋面間分佈均勻，否則出品即多含過粗之顆粒。又分佈不勻，非但使兩軋之工

作不滿意，且維持費加大，產額減少，所耗動力亦增多，故應有自動的送入裝置，以救此弊。

細磨機可將一吋半至四分一吋徑之物料，研磨至二〇〇篩孔。此為細磨極限之標準，較小於二〇〇篩孔之粉末，並非不能研磨，實因平常試驗用之篩，係以二〇〇篩孔為最小。雖更細之篩亦可製造，但篩絲既須極細，欲組成均勻之篩布，十分困難，故所成之篩不能正確，亦不能耐用也。

鏈碎機 hammer mills 亦名鏈式衝碎機 hammer type disintegrator 係應用衝力 impact 而設計，其中心軸裝有多數圓板在圓板間各以樞紐附著鋼鏈，旋轉時可擊碎其送入之物料，從下部流出脆弱性之煤及纖維質之樹皮，均得適用之，此種物質須有割裂或疾擊作用方得破碎。其顆粒非獨應受適量之力且同時有相當速率，俾不致黏附於行動諸部份。

輾轉機 roller mills 有二種：一為幅射式，radial roller mills 如智利機 Chilean mill or pan rolls 等是；一為離心式 centrifugal roller mills 如雷門機 Raymond mill 等是，智利機有一箇或數箇之豎立鋼輾，裝於橫軸之上，令其繞一中心軸綫而迴轉。之外面行動

較內面爲速，因常有剪力 *shearing force* 而起，軋碎作用，此機宜於堅韌或膠黏之物質，如研磨或勻和黏土，黑火藥等均用之。雷門機之轉，懸於一豎立之軸。當速轉時所生之離心力，令其向外行動，將送人之物料軋碎。雷門機係一高速率之機械，不宜於研磨硬性摩擦物料 *abrasive material*，但對於重土，石灰岩，磷酸鹽岩等，則均極適用。該機不能處理潮溼物料；熱時能變軟之物料，亦極困難。通常適生於細磨，且速率甚高，維持費不大，而動力費亦比較的輕低。

球磨機 *ball mill* 通常爲一短而大徑之橫圓筒，內儲石球或鋼球，支於中空之耳軸 *axial trunnions*，徐徐旋動，其破碎作用。係由於球與球間之衝擊，雖以球之滾轉，尙有研磨或剪力作用，但其效力較爲微小。該機能處理一吋半至二吋徑之物料，其出品可通過五〇或六〇篩孔，並能用於濕磨，即含水在百分之五〇以上者，其產額自每小時二三百磅至每小時十五噸以上，均無不可。平日維持費極低，工作頗簡單，設備費與動力消耗，並皆不大，故甚通行。但其出品之大小，不能均勻，是一大缺點。筒中之球，時時摩耗，愈用愈小，終至消滅，須隨時另加新球以補足之。故經過工作若干時之後，球之大小，不能一律。所加入之新球，其大小自須能破碎其最大之顆粒，而於小

粒，則嫌太大，效率因之減少。此種狀況，連同小粒對於大粒之墊褥作用 cushioning action 實爲耗費動力之原因。欲救此弊，乃有哈鼎圓錐球磨機 Hardinge conical ball mill 之創製。該機之迴轉外殼，爲特殊之圓錐形，有大小分類 classifying 之作用。常令大球位於大徑處，愈近出口，徑愈縮小，小球即留存於該小徑處。其被磨之物料，亦在同等狀況之下。管磨機 tube mill 與球磨機大致相同，所異者，惟機身較長而直徑較小耳。兩機各有其應用之範圍；球磨機適合於細碎及粗磨（通過五〇或六〇篩孔者，占百分之九五至百分之九八），而管磨機則用於更細之研磨工作。水泥工業之設備，既須設計簡單，又有大量物料，磨至極小，則管磨機尤爲重要之機械。

第三章 機械的分離

第一節 固體與固體之分離

固體與固體之分離法，可以完成二種目的：比較的同質而大小不同之物體，欲依其大小分成數類，一也；含有數種異質之物體，欲將其同質者分成數類，二也。

篩爲分離大小不同顆粒之器具，其範圍甚廣，顆粒直徑自數吋至二〇〇篩孔，均得用之。用時有二要點，應予注意：一爲箇體間之內黏力 *cohesion*，能令細粒隨粗粒同進止，而有不少細粒，其作用一如粗粒，遂致阻礙其分離工作，二爲顆粒與篩面間之外黏力 *adhesion*，有令孔眼變小，或全被阻塞之虞。但粉末狀物質之內黏力與外黏力，均與水分有關，故欲易於篩分，必使之極燥，或和以過量之水而後可。

柵篩 *grizzly* 係以桿爲柵之簡單裝置，多爲傾斜狀，物體卽由桿間通過。其傾斜度（物體

所行之途徑（與桿長相平行。桿形往往上闊而下狹，俾得相當深度，足支所負之重，亦不致阻塞顆粒之通路。柵篩常爲輪迴環帶 *endless belt* 式，故太粗顆粒 *oversize* 可由其末端傾卸而出。該機結構極簡單，維持費亦不大；惟祇能適用於最粗陋之分離。若欲分離較爲精密，須加力於篩，以鼓動其顆粒，如迴轉篩 *rotary screens or trommels*，振動篩 *vibrating or shaking screens* 等是。迴轉篩爲一金屬綫布或金屬穿孔板所成篩面之長筒。筒軸有時略斜，當旋轉之際，物料得向前進行至出口處。最宜於分離較粗顆粒（半吋以上）。但其效率，亦有種種限制：一、筒中大塊，有擴張篩孔，而令太粗顆粒，有通過小孔之趨勢；二、篩受大塊之衝擊，不能經久耐用；三、顆粒轉動，每將大塊沉於下層，而小粒通過篩孔，因之被阻；四、篩經久用，其不能利用之篩面，竟可占至百分之九〇。欲補救首二點之弊，可用數箇圓筒，由粗而細，順序排列，第一筒之小粒，可送入第二筒，其粗粒分別轉入儲倉。若各筒遞以同心套入他筒中，粗篩在中，愈外愈細，則所占地位，尤較經濟。振動篩係應用環動 *gyratory* 與往返運動兩種作用，而令顆粒常在行動狀態中，以免篩孔阻塞之虞。最著者有罕麥電篩 *Hammer electric screen*，張金屬綫布於導構 *guides*。

問與電銜 *armature* 相連接；該電銜爲交流電磁所舉，而用彈簧放弛之。如是，篩之擺動可極快，產額亦甚高。

篩祇能將顆粒之大小分類，而對於大量細粒之在一公厘以下者，亦不甚經濟，故有應用物體之比重不同以爲分離者。顆粒之大小愈相近，墜下時所受之摩阻力愈相同，則比重相差愈大，墜下速率相差亦愈大。初視之，雖甚簡單，然頗有困難之點；一、所有顆粒之直徑，須極均勻，則顆粒之大小分類，應較嚴密，因之費用增大；二、通常某部份之顆粒，即經過軋碎，亦含有比重不同之混合質點，該顆粒之比重，乃介於各箇組成分子之間；三、有時某部份之顆粒，碎至極細，致未能服從普通墜體諸定理，俾得應用比重，相互分離。其依比重之大小，而異其墜下速率，使墜體間不起干涉作用 *interference* 者，謂之自由沉降 *free settling*；若顆粒與顆粒極相密接，致相互干涉各箇行動者，謂之妨礙沉降 *hindered settling*。妨礙沉降非但能增加產量，且以其相互干涉與擾動，能令輕小顆粒，不致黏附於重大顆粒，以利分離之進行。其用自由沉降法以分離大小顆粒者，謂之分類器 *classifiers*，如尖端器 *spitzkasten*，多爾分類器 *Dorr classifier* 等

是；其用妨礙沉降法，將相當大小之不同質顆粒，依比重而分類者，謂之分離器 *separator*，如水簸器 *hydraulic jig*，尉爾夫力檯 *Willey table* 等是。

尖端器爲最早之分類器，實由數箇倒轉的角錐或圓錐形之容器連合而成。第二器常較第一器大而深，以次至最末器，則最大而最深。已研碎之顆粒，和以適量之水，沿橫的方向，從最小流至最大之容器，其速率因之漸減。在第一容器內沉降者，爲最大顆粒，以次遞小，其最小顆粒，則隨水從末端流出。該器之產量，比較的有限，而所占之地位又多，故欲得多量之出品，通常用多爾分類器。多爾分類器係一傾斜之長方沉降櫃。所用之水流，預爲測定，適足將細微質點，從出口瀉下，而不能令粗重顆粒向下行動，且裝有多數自動之耙 *Rakes*，繼續不斷的，將該粗重顆粒，由斜坡移向上端而分出。

分離器中之最簡單而最通用者，爲水簸器。該器之內部，分隔爲二，所用之壁，自頂而下，僅及其半而止，並不通至其底。底爲漏斗形。壁之一面有篩，將欲分離之物料，置於其上，他一面裝有柱塞 *plunger*，能往復運動。器內灌注以水，當柱塞往復運動時，水即遞相上下，通過篩面上之物料。

此種類似脈搏 pulsating 之功用，非但能以加速率 acceleration 之差異而令不同大小之顆粒，相互分離，抑且擾動細粒，使浮游於液體中，以增加該液體之外觀密度 apparent density，俾重粒得到較大之自由沉降率 free settling ratio。水簾器多用以分離比較的粗大之顆粒，若顆粒微小，則以尉爾夫力 檯較爲適宜。尉爾夫力 檯係一裝有平行縱條栓 cleats or riffles 之檯。檯微傾斜，水挾細粒，循對角方向，流過其面。以偏心盤 eccentric 及彈簧之作用，全檯受縱的往復運動，重質即沉降於條栓間，並令沿之流下，循前述之對角方向卸出，其輕質則流過條栓，在入口之對面傾瀉而下。

第二節 固體與氣體之分離

固體墜下時，每受氣體之阻力，故若固體研磨極細，致令各顆粒所占之面積，比其質量爲極大，則固氣兩體之分離，至爲困難。倘顆粒不太小，且祇欲有相當分離爲已足，則可利用離心力。此種機械名爲離心分離機 centrifugal separators，亦稱旋風機 cyclones。其重要部份爲一豎立短圓筒，頂端蓋有平板，下爲圓錐形之底。挾有固體微粒之氣體，自頂端沿該圓筒之切綫流

入，即受極快之迴轉運動，其離心力將固體質點驅向其四周之壁，斯時速率大低，即行沉降於底部。若分離欲更較完全，可用袋濾器 *bag filter*。袋為長圓形，或以棉布製，或以羊毛布製，後者比前者為適宜，以其較能耐熱，並較能抵抗酸之作用也。欲濾之物體流經袋後，固體留存於袋內，氣體乃通過而出。袋須時時振動，俾固體得集於下部之漏斗，隨時收取。袋濾器構造簡單，在鋅工業中，極為通用。科特累爾分離器 *Cottrell separator* 為分離極細微顆粒之較新而較有效之機械。設將含有固體質點之氣體，置於強大單向靜電場 *unidirectional electrostatic field* 時，其浮游之質點，以感應而受電，故為其中一極 *pole* 所吸引。若一電極 *Electrode* 有銳尖端或邊，而其他一電極為平滑時，則可令該氣體本身被電離 *ionized*，因發生向平滑電極之氣流，以助其沉澱作用。在科特累爾分離器中，氣體經過許多豎立之管，管之內部即作為平滑之電極，管之中心各有一綫，則以為放電之尖端。該機多用以分離廢氣中之細微粉屑，如冶廠廢氣中砒或氯化鉛 *Lead oxide* 之沉澱，及磷爐中五氯化磷 *phosphorus pentoxide* 之提取等，均為其顯著之例。

第三節 固體與液體之分離

從液體中析出浮游固體之法，大致可分爲二類：

- 一、液體靜止，固體行經其間，以重力之作用，而沉降於容器之底者，謂之沉積 *sedimentation*。
 - 二、液體流經一種不能通過固體之有孔隔膜 *membrane*，因得互爲分離者，謂之滲濾。
- 固體經過有阻力之液體，其行動與顆粒之大小，比重及該液體之密度，滯性 *viscosity* 均有關係，液體之滯性，可隨溫度之變更而大異，因之沉積速率，亦有改變。又若顆粒較大，則摩阻力減少，即起沉澱作用矣。

多爾變濃器 *Dorr thickener* 爲現在通用沉積機械中之最重要者。該器係一大徑平底淺櫃，並有數筒緩轉之犁，裝附於一中心軸之上。液體與細粒之混合物，從中央注入，務使液體不致十分受擾動。其澄清液體，即於櫃周汎溢而出，固體則沉積於底部，爲犁驅向中央，藉唧筒或放射器 *ejector* 以排泄之。

若遇浮游之固體較輕於液體時，則可令其集於液體之上面，而撤取之。欲求細粒之分離有

效而完全，常須借助於空氣微泡之沖擊作用。該泡來自底部，其細粒乃被驅向上行，與頂部物質有結合之趨勢。卡羅機 Callou cell 爲此種浮選 Flotation 機械中之最有成績者。該機係一斜底之櫃，出口在其最低點。底有多孔，以帆布鋪之。空氣即不絕通過此布，水、油、與礦物之混合體，則由櫃之低淺處注入，爲空氣擾動極烈，遂於水之上面成爲厚層之泡沫。此種泡沫，乃挾雜物而流過櫃邊，可另用他器收集之。

第四章 滲濾

第一節 滲濾機械之分類

滲濾機械之結構上，有二要點，應予注意者；即組成滲濾間隔體 *filtering medium* 之物質，與用以驅液體通過該間隔體之方法是也。後者大都隨前者所起之阻力而轉移。當該阻力比較的不大時，所需者即其引力 *force of gravitation* 已足，此種機械謂之重力濾機 *gravity filter*。設僅恃引力尚不敷用，則大氣壓力可施於滲濾間隔體之一面，而由他面撤去之，此項裝置，稱之為真空濾機 *vacuum filter*。但真空濾機，以每方吋十五磅壓力為極限，一逾此限，須用唧筒，以較大於大氣之正壓力 *Positive pressure*，施於液體混合物，於是有滲濾壓機 *Filter press* 之創製。其他如應用離心力以驅液體通過間隔體者，則又有離心機 *centrifugals or centrifuges* 等。

滲濾間隔體，須揀其洗滌容易，或去舊更新，所費不大，方為合用。其結構極不一致，從裝有粗塊木炭之塔，至含顯微鏡的細孔之素燒瓷板，均可作為間隔體之用。故濾機以間隔體之不同，亦可分為四類：即一、裝有疏松或粒狀間隔體之濾機；二、裝有毛氈或織物的間隔體之濾機；三、裝有堅硬多孔間隔體之濾機；及四、裝有半滲透間隔體之濾機是也。

第二節 濾機之構造

濾機之最簡單者，係一裝有假低 *false bottom* 之容器。器中舖以粒狀物質，其大小適足截留游離之顆粒。該粒狀物質之應如何選取，則隨欲濾之液體而定。例如從木醋酸 *pyroligneous acid*（木之分解蒸餾 *destructive distillation* 的產物）中提取重焦油 *heavy tar*，則用粗碎木炭一厚層，最為有效。匣狀濾機 *box filter* 係一穿孔底之匣，通常遞舖以粗石子細石子及帆布各層。雖多為靜水壓高式 *hydrostatic head type*，但亦可用吮吸力 *suction*，或可裝以蓋而加正壓力。石英細砂與大多數鹽類溶液，在實際上不能溶解，且易於沉降，成為均勻密緻之層，故採用為上述濾機之間隔體。若遇鹼類液體，則碎大理石或純石灰石，最為適宜，浮

游之物質能爲此種間隔體所截留者，半因其不能經過濾層 *filter bed* 顆粒間之細微通道，半因其與該顆粒有外黏力也。

在液體中之固體物質，爲量甚多，或須提回固體部份時，則不能用疏鬆間隔體，而以毛氈或織物的間隔體爲合用。此種間隔體，或爲植物纖維所織成，如用於弱鹼類之木棉、大麻、黃麻等；或爲動物纖維所織成，如用於弱酸類之羊毛、馬毛等；或爲礦物纖維所織成，如用於強酸類之石棉等。至遇強苛性或極高壓力時，則用金屬細絲所成之布。此種濾機或爲圓形容器，或爲長方形容器，其下部之邊，以螺梢緊緊穿孔之底。濾布即張於此假底之上，並裝以密閉之外壳，乃可應用真空，令大氣壓力，得驅液體通過。當壓力須大於每方吋十五磅時，則於假底不罩外壳，而將容器之頂，以板蓋之。欲濾之混合體，可用唧筒從側面驅入器內。

在上述之壓力濾機 *pressure filter* 中，將密閉之頂，易以第二假底及濾布，令全部倚放於邊。其液體混合物，仍如前抽進室內，則濾清液體可從兩面流出。因之所費極微，而工作有效之滲濾面積，竟可加倍。當室中充滿固體時，並可用水洗出。若將該室數箇互爲連結，即成所謂滲濾

壓機者。該機之室，通常為長方形，有時亦為圓形，或三角形。其四周張有濾布，係由深槽之板 recessed plate，或裝有平板 flush plate 之框所組成。前者謂之濾室壓機 chamber press，後者謂之濾框壓機 frame press。兩機各板，均夾持於可動端與固定端之間，其壓力沿軸綫施於可動端，而固定端亦為支撐全機之用。室與室間，有孔相連，該孔在深槽板之中央與邊緣。或在平板與框之邊緣，形成液體之連續通道，將混雜液體由固定端驅進，而經過通道入室，則濾清液體，從其背面經過另一通道而流出。其固體留存於室內，而成一吋至三吋厚之濾餅，cake 可隨時移去。

若欲處理大量混雜液體，則滲濾壓機所需工資頗昂大，而以屏扉濾機 leaf or submerged filter 為適宜，該機上面之出口管，懸有裝架之厚屏，屏周繞以濾布（近多為金屬絲製）。當該屏浸沒於混雜液體中，並於出口管施以真空時，則液體滲過布內，而固體黏附於屏外。除屏內壓力減低外，其所浸之液體，可加以正壓力。俟固體積至相當之厚，或將屏移於盛水之另一器中，用適量之水洗去其沉澱，或將餘存之混雜液體移去，易以清水，令屏全不移動亦可。然後驅空

氣或水，循反對方向通過該屏，俾黏附之固體，可迅速除去，以便再侵入濾箱。現在最重要之屏屏濾機，有應用壓力之斯尉蘭濾機 Sweetland filter。該機爲二筒橫臥半圓筒體所組合而成，其上部半圓筒體，係固定的，裝有圓形濾屏，並附適當之出管。其下部半圓筒體以樞紐連接於上部半圓筒體，可以關合，成爲密閉之壓力室，而開啓時，則濾屏都可露出。欲濾之混雜液體，自下部流進，而濾清液體則經過屏邊而入其內，再行放出。當滲濾告竣時，其用以洗清之水，一如濾清液體同樣通過。然後將其下部半圓筒體啓開，從上左隅唧水，卸出濾餅，或不啓濾機亦可放水，令濾餅排泄而出。

上述各種之濾機，均屬間斷的工作，實爲一大弱點，乃又有連續迴轉濾機 continuous rotary filter 之創製，奧力味濾機 Oliver filter 卽其最著之代表也。該機之重要部份，係一橫圓筒。筒之外面分爲數部，張以滲濾間隔體，而分別用管系連接於軸。該管系可通至殼之各口。筒繞軸旋轉，半浸入於欲濾之混雜液體容器中。斯時浸沒諸部，與殼之吮吸口 suction part 相連，其濾清液體，引入中空之軸，而固體則沉積爲濾餅。當露出液體之上時，其連接濾清液體之吮

吸口關閉，而連接洗清用水之吮吸口則開啓，其水即以壓力洒沖在已沉澱之固體上。吮吸至相當乾度，乃轉到另一口高壓空氣 compressed air，水或汽，循反對方向注入，濾餅因得卸至容器內。

由重力濾機演進而為離心機，則其施於液體之力，非僅限於引力，且多賴乎離心力之應用也。其主要部份，為一盛儲混雜液體之穿孔籠或籃。當迅速迴轉時，液體部份被擠出於外，而固體仍留存於內。其軸初不繞中綫迴轉，而略偏差，如是，可不以籃及其負載 load 之重心 center of gravity，為環動之中心 center of gyration 矣。近頃新出者，有勞林連續離心機 Laugher in continuous centrifuge，為一橫圓筒形之籠，以高速度而旋轉。籠係穿孔，以篩布鋪之。物料進入時，即以離心力向外壁黏附。

第三節 濾機之比較

濾機之種類不一，其用途亦各有所宜。滲濾壓機為最低廉（每單位滲濾面）而占地最少之濾機。但其開啓、洗清、出卸、及重裝諸工作，頗緩慢，而所需工資，亦昂大。故欲濾之物料，若含有極

大量之固質，而此固質又非貴重成分，則用滲濾壓機，非常昂貴。雖然，吾人應特予考慮者，非每一次工作 *per cycle* 所需之工資及維持費，實為出品價值每單位所需之工資及維持費。例如：製造染料，雖固體多於液體，而仍常用滲濾壓機者，因此種物質罕用連續製法，或其量小，不足供自動式濾機，常開不歇，尤其因濾餅之價極高，固體之須完全提回，濾餅之適合於架框乾燥器 *shelf drier* 法，及出品價值每單位所需工資頗低廉也。反之，從金鑛石中，用精化法 *cyanide process* 提金，其可廢棄之固體容積既極大，祇能選用屏屏濾機，或連續迴轉濾機。屏屏濾機之設備費較高，而其本身亦較複雜，但濾餅可經過長而透徹之洗清，且溶液及洗清用水，有時幾可熱至沸點（大氣壓力）。濾室壓機亦可用於高壓力及高溫度而無困難，並可產出乾燥堅硬之濾餅。惟其洗清之效率，殊遜於屏屏濾機，以其設備費（每方呎滲濾面積）較低，故常用於小規模之工作。匣狀濾機之裝有濾布者，有時亦宜於小量之產額，而於自由滲濾 *free-filtering* 固體，尤為合用。

自由滲濾物質之冷濾，而無須洗清，或洗清期間極短者，連續迴轉濾機最為適宜。該機並可

處理將達沸點之液體。惟在將沸之際，所施吮吸力，勢必較小，故溶液愈熱，工作愈難。其最大窒礙點，為對於含有易沉降之重質與不沉降之輕質的沉澱混合體，不能處理滿意，而欲將此等混合體製成一適當之濾餅，則極困難。連續迴轉濾機不能適用於小量而膠質 colloidal 之沉澱，亦不宜於適用大壓力或極小量沉澱各法。

酸性液體可在木製濾框壓機，防酸 acid proof 連續迴轉機，或鉛製真空屏屏濾機內處理之。若為鹼性液體，則在金屬絲布上過濾，亦屬有效。

設遇沉澱為粗粒狀，或固體與液體之比極高，既不能令其浮游，以便抽汲，亦不能製成適當濾餅，則非用離心機不可。離心機最宜於自由滲濾固體（結晶）之除水法 dewatering，其不太細微（三〇或四〇篩孔）結晶面上之溶液，可減至百分之五以下。

第五章 蒸發

第一節 蒸發之原理

液體以溫度與壓力之變遷，有從液體化為蒸氣，或從蒸氣凝為液體之特性，在工業製造上，極為重要。不同類液體，或固體與液體之分離，輒多利賴之。

液體之分子，常在混亂運動狀態中。有速率大者，亦有較小者，惟在任何溫度，皆有平均速率。此平均速率，於該液體沸點以下諸溫度，均不足拋出其分子於液體面之外。但常有數分子之速率，大於此平均數，當其行近液體面時，克勝其分子間之相互吸引力 *mutual attraction*，繼續運動，逸至周圍空間，而以其運動所起之沖擊，致容器之壁受有壓力。分子運動，既係各方向的，因有擊衝液體面者，則與相合而仍為液體。若重入之分子數與逸出之分子數相等時，即為動力的平衡 *dynamic equilibrium*，此部份之物質，亦即在蒸氣狀態中 *in vapor form or phase*，

容器壁間所受之壓力，則稱之爲蒸氣壓力 *vapor pressure*，又名飽和壓力 *pressure of the saturated vapor or saturation pressure*。

若液體四周空間充滿別種物質之分子如空氣者，而其壓力又不致超出一氣壓 *Atmosphere*，則質點間之空隙大而且多，足令上述現象進行無阻。容器所受之壓力，既爲諸分子衝擊之總量，故其最後壓力，係原有氣體壓力與液體之蒸氣壓力相加而得之和。若液體爲二種物質之機械的混雜體，而其相互溶解力頗低，如苯 *benzene* 與水者，則各分別放出分子，且其進出分子，各自成平衡，故其蒸氣壓力亦各獨立，不相倚賴。此種壓力，應合併計算，其所得之總和，再加原有氣體壓力，方爲容器內之壓力。若液體含有二種互能溶解之物質，如醇 *alcohol* 與水者，則各物質之逸出趨勢，互有減少，故各該物質之部份壓力 *partial pressure* 與液體之總壓力，亦均減低。

在容器中之物質，其分子上昇而散入於空氣，或他種不活潑體 *inert gas* 內，不久即得平衡。若容器不封閉時，則分子逸出於外面之空氣中，而空氣亦有被驅回於空間，以維持其大氣壓

力之常態。斯時該大氣壓力，實爲物質之蒸氣壓力（在平衡狀態中與無空氣時相同）及未驅回之空氣所組合而成。

今欲在常溫度，繼續蒸發不斷，須將動力的平衡打破方可。若物質之面，暴露於空氣中，則其上升之分子，可用空氣流 *current of air* 驅除之，空氣乾燥 *air drying* 及液體在空氣中蒸發，均爲其顯著之例。若容器封閉時，分子乃流至低壓力或分子較少處。欲維持此種狀態，可降低溫度，以移去蒸氣分子，如是，分子數既減少，速率亦減小，其壓力乃因之降低，如凝結器 *condenser* 之作用是；或用機械的方法，抽去蒸氣分子，如蒸氣高壓系 *vapor compression system of evaporation* 是；或將分子被吸收於媒介體內，如在硫酸中乾燥是。

正在氣散之液體 *volatilizing liquid*，不能自身維持其常溫度。其較大速率之分子動能 *kinetic energy* 亦較大。此種分子一離開液體，液體之平均動能，自即減小，而溫度亦降低，故欲維持一定之溫度，必須另從外面加熱。是項蒸發熱 *heat of vaporization* 視物質而異，亦略隨壓力與溫度之比而變動。

分子運動既爲溫度之函數，其所賦與之能愈大，即溫度愈高，運動亦愈速，其蒸氣壓力，因之乃愈大。如是，其間必可達到某一溫度，其逸出之分子，足可維持其與大氣壓力相等之本身壓力。斯時空氣可無限的驅回，而物質可無限的蒸發，此溫度即吾人所謂沸點也。

若在空間之液體，其蒸氣之部分壓力，小於其在該溫度時應有之蒸氣壓力，則繼續蒸發不止，將其蒸氣散入於空間。此種狀態變遷 *change of State*，往往須吸收大部熱量，設不從外面供給其熱，蒸發不能繼續進行，而其所需之熱，則取自液體之顯熱 *sensible heat*，溫度乃因之降低，蒸氣壓力亦隨之減小。最後降到某一溫度，液體之蒸氣壓力與其在空間之部分壓力相等，蒸發即行停止，故欲蒸發進行不止，須適合下列二條件：

一、蒸發所需之熱量，必繼續供給。

二、液體之蒸氣壓力與其在四周空間之部分壓力間的平衡，必繼續打破。

第二節 蒸發器

蒸發器可依加熱方法，分爲三類：

一、直接燃燒 direct fired 者；

二、用圍套 jacket 傳熱者；

三、蒸汽供熱而具管式傳熱面 tubular heating surface 者。

直接燃燒蒸發器 direct-fired evaporators or stills 通常係一鑄鐵罐或鋼製淺鍋，位於發火箱之上。在烟道氣未接觸該器金屬部份之前，務須燃燒完全，因一與接觸，該氣溫度即行降低，其未燃氣體之燃燒速率，將大減小也。

當蒸發器底與火接觸時，大部份之熱，乃由輻射 radiation 傳導。此種蒸發器之容量，大都視器底接觸面積之大小，及其與熱源 source of heat 間溫度之相差而不同。

圍套蒸發器 jacketed kettles 常用於小規模之蒸發。該器之內皿 inner vessel 或其本部 Kettle proper 為金屬板所製成。底係半球形，其外面另罩以略大之半球形圍套。圍套之下部，裝有凝結體之出口及器內液體之排泄管，其水蒸汽之入口與不凝氣體之出口，則在近頂之處。該器普通為鑄鐵或鋼所製，亦有用鋁銅等金屬造成者。又有器內塗錫、銀及搪瓷以抵抗腐

蝕作用。搪瓷器雖脆弱，但對於相當溫度之變遷及震動，亦尚耐用，惟其熱之傳導率較低，係一大弱點。搪瓷器多用於食物工業、藥劑工業、及精純化學工業。

蒸發器之傳熱面爲管式者，爲易於構造及清潔起見，多採用直管，或橫臥，或豎立，或傾斜，均無不可。其用以供熱源之蒸汽，有在管內流通者，亦有在管外繞行者。但任何蒸發器，須備具下列諸條件：

- 一、水蒸汽須設法供給至傳熱面；
- 二、已凝之水及不凝氣體，須設法移去；
- 三、須備有適當空間，俾蒸汽與沸液互爲脫離；
- 四、欲蒸發之液體，須有加入與泄出之裝置；
- 五、發出之蒸汽，須設法移去。

橫管蒸發器 *horizontal-tube evaporators* 中之管內蒸汽式 *steam inside the tubes*，係一豎立圓筒體。其下部裝有橫管，水蒸汽即自其一邊引入管中。已凝之汽，則在他一邊泄出，其

液體繞管而沸所成之蒸氣，從頂端之孔逸去。該器可用鋼製，但鑄鐵略能抵抗腐蝕，故通常以鑄鐵澆成者爲多。其每方呎傳熱面之設備費，較其他各式爲廉，用於無滯性之溶液，最爲適宜。雅燕蒸發器 Yaryan evaporator 係橫管式，而蒸汽繞在管外 steam outside the tubes 者。液體進入管中，流經數橫道，在他端泄卸而出。當其初入之時，因蒸發而令液體之速率加大，其傳熱之效率亦增高。但其後半行程雖速率尙更加大，而流動者，大都爲蒸氣，故傳熱之效率反低。總計其全程之傳熱效率，通常較遜於他式。雖然，液體之接觸於高溫度，其量較少，時間亦較短。故物質之經久熱而遭損害者，則以雅燕機爲適宜。昔日處理生泡沫之液體，亦多用之。

豎管蒸發器 vertical-tube evaporators 雖非爲首創之蒸發器，但能普徧應用，實以此式爲始，現仍占極重要地位。其蒸汽繞在管外者，有標準式 standard type 該式爲一垂直圓筒，下部裝置豎立管，其中央有下導管 downtake。當液體煮沸時，湧經管中，從下導管而返。又有所謂籃式 basket type 者，蒸汽亦在管外，惟下導管則爲環形，而非位於中央。此外更有長管式 long tube type 刻斯涅蒸發器 Kestner evaporator 爲其中最通用者。該器係多數長豎

管所組成，器中液體之水平面頗低，水蒸汽則環繞管外。液體一沸，蒸汽作泡沫升起，以高速率驅液體中沉澱，沿管之內壁而上，故熱之傳導率頗高。有時管可作傾斜狀，以節省頭部地位 *head room*。

第三節 蒸發諸要點

在真空中蒸發，初視之，似較在普通大氣壓力下為經濟；然詳加攷察，其所節省之能，至為有限，或且一無所得，因液體到達沸點所需之熱減少時，則溫度愈降低，蒸發熱愈增大，且所用真空唧筒，尚須費能以資轉動。雖然，應用真空，亦自有其優點：液體之沸點減低，則煮沸液體與低壓蒸汽間之溫度差 *temperature difference* 增大，蒸發因得加速，一也；有多種物質（大部份為有機體）若在大氣壓力下煮沸，其溶液即將變壞，如膠質與鞣質溶液、牛乳及糖之濃溶液等，二也；有多種結晶，其大小與性質，亦可隨構成速率與溫度而支配，三也。

蒸發之目的，既係蒸氣與其賸餘物之分離，則在蒸氣未至凝結器之前，務必令其完全離析。從速沸諸液體中逸出之蒸氣，有挾液體與俱之趨勢，有時或作細泡狀，有時或作游離微點狀，前

者謂之泡沫 foam，後者謂之點滴 entrainment。極易起泡沫之液體，其泡沫穩定而持久，有時幾難阻止全部液體與蒸氣隨同升起。欲救此弊，通常將泡沫經過另一傳熱面，俾再蒸發，令泡沫膨脹而破裂。實際上當液體始起泡沫時，即可將液體之水平面降低，如是，原來浸沒之傳熱面一部份，得與蒸氣接觸，因之在液體面以下蒸氣，析出減少，而所起之泡沫，可接觸液體面以上之傳熱面，受熱增多，乃爲之裂開。有時加極微量之硫酸蓖麻油或棉花油 sulphonated castor oil or cottonseed oil，亦常能破滅泡沫。至欲減少游離之點滴，可以減低蒸氣之速率，令其小於散在蒸氣中最小液體質點之下墜率。亦有利用離心力以移去點滴，特製所謂點滴分離器 entrainment separator 者。

蒸發可分爲單效 single effect evaporation 與多效 multiple effect evaporation 二種。多效蒸發常用於大規模之作業，所費蒸汽較單效爲經濟。水之沸點，以所受壓力而不同，壓力減低，則沸點亦降低。設有數箇同樣蒸發器，互爲連接，通入第一器之蒸汽，係在大氣壓力下，即七六〇公厘，其溫度爲華氏二一二度，次引入第二器，器中壓力減至二七七公厘，溫度則降至華

氏一六五度，再次乃入第三器，其壓力減至八三公厘，蒸汽溫度直降至華氏一一八度。如是一磅蒸汽，幾可作三磅之用。此種組合，謂之多效蒸發器 *multiple effect evaporations*。雖可節省蒸汽，但傳熱面須增大，以期達到同量之蒸發，故設備費因之不得不加多。多效式大都連合二箇或三箇蒸發器而成；四箇組合之多效蒸發器，尙頗通行，五箇則不多用，最多爲八箇蒸發器，亦有相當之成效。

第六章 乾燥

第一節 乾燥之範圍

欲確立乾燥定義，令與蒸發區分清楚，至屬非易。通常乾燥係指從固體中驅出所含之水分，而此水分比較的量少；蒸發則限於從溶液中排除大量之水分。乾燥之除去水分，多在沸點以下，而蒸發則須將溶液煮沸。在蒸發中，所除去者，實際上為純粹水蒸汽，雜以不可避免之他種氣體；反之，乾燥時須將空氣或他種氣體流通其間，藉以移去水蒸汽。是項界限，並非十分嚴明。例如：從溶液中排除水分，可將其噴灑於過熱蒸汽流 *current of superheated steam* 中，此頗適合於蒸發之定義，然其所用之器械，與真正乾燥所用者極類似，故通常視為乾燥作業。

欲乾燥之物質，或為氣體，或為液體，或為固體，均無不可。若係氣體時，水分可即為蒸汽，亦可作霧狀。若在液體，則水分往往不多，否則即涉於蒸發或蒸餾之範圍內。至固體含水分，可自極微

量至極大量如鮮菓等，至不一律。

當水分脫離潮溼固體時，組織上常有縮小容積之趨勢。若不特加注意，縮小之度將不平均而起坼裂 *cracking* 或扭曲 *warping*，致有損於出品，此常見於木材及未燒陶器。設或物質當乾燥之際，施以牽力 *tension*，以免除側面之縮小，其組織即將失去固有之強力 *strength*，如紙在連續機上乾燥是。蛋、鮮菓或牛乳等物質，須在低溫度乾燥，愈速愈妙，俾得保存固有之香味或他種貴重性質。有數種物質若久經潮溼，將能變壞，亦有物質如膠、糖、澱粉等，以其易溶於水，溼時不能加熱。更有多種含結晶水之物質，在普通狀況之下，不能乾燥，以其將失去全部或一部之結晶水也。凡此種種極不相同之狀況，與乾燥器之乾燥速率，乾燥媒質 *drying medium* 之狀況，及接觸面之性質，均有莫大關係，應予以深切之攷慮。

第二節 乾燥之原理

某物質與一定溫度及溼度 *humidity* 之空氣相接觸，其所含水分，將達到某一定量，即令再暴露於該空氣中，亦不變更，此之謂平衡水分 *equilibrium moisture*。若物質含水超過於

其平衡值 equilibrium value，則將乾燥至平衡值爲止。反之，若物質較乾於其平衡值，而與上述溫度及溼度之空氣相接觸，則將吸收水分，俟達到同一之平衡點方止。二者所需時間，或長或短，則視其狀況而異，但能時間充分，足達平衡，則最後之結果必相同。

平衡水分隨物質種類而大異。無孔而不溶解之固體，在任何溼度及溫度，其平衡水分，實際上幾等於零。反之，某種纖維或膠質的有機物質，如木、紙、肥皂、皮革等，一與空氣接觸，即隨其溼度及溫度而變更。此種變更，頗有規則的，且變更範圍亦大。易溶之固體，在某臨界溼度 critical humidity 以下，其平衡水分，通常不甚重要。若在臨界溼度以上，水在空氣中之蒸氣壓力，則大於其飽和溶液。過此臨界值以外，空氣之水，爲易溶物質所吸收，而於其表面漸成飽和溶液，至該溶液之蒸氣壓力與空氣中水分之局部壓力相等方止。

在任何乾燥法中，平衡水分，係代表物質在相當溫度及溼度之空氣中可乾燥之限度。水分之逾出於平衡水分者，謂之自由水分 free moisture content。故用乾燥法可排除之水分，與其謂爲全部水分之總量，毋寧謂爲自由水分之較確當也。

第三節 乾燥器

乾燥速率係與每單位重量之接觸面積成正比，故物料之排列，應令其各面均能蒸發，甚為有利。通常片狀物，可懸於鈎桿；若為塊狀或粒狀，則托持於有孔之盤，或架上，而此項盤架，配置於特造之室內，即成所謂熱室乾燥器 *compartment driers*。該器係長方形之室，其周之壁，為相當之絕熱料 *heating-insulating materials* 所造成，並有循環空氣 *circulating air* 之裝置，故熱與乾空氣之分佈，尚頗良好。熱室乾燥器可處理多種黏膠物料、結晶體、糊狀物及沉澱，並可用以乾燥紗綫及其他織物。又物料置在盤內裝卸，不致有所損失，故貴重品或小批物料，往往採用此法。若物料之性質，當加熱之際，不能與空氣接觸，或必須在低溫度乾燥，或已蒸發之液體，須重行凝結提回，則以真空架框乾燥器 *vacuum shelf drier* 為適宜。該器通常為一長方形鑄鐵外殼，其內裝有多數架框。此種架框係屬中空，當工作時，則充滿水蒸汽。欲乾燥之物料，散置於架上之盤，將門關閉，可用真空唧筒，令器內變成真空。盤中之物料，漸受架框內蒸汽之熱，達

到水能蒸發之溫度（在器內之壓力下），此水即入該器與真空唧筒間之凝結器內而凝結。此

種真空乾燥器，多用以乾燥各種沉澱，如由濾機所產出之濾餅等。但以其裝盤卸盤，頗費人工，祇限於比較的貴重之物料。

若將托住物料之鈎、桿、盤等，行經乾燥空間，則可變成連續法，其所經過之空間，當較橫剖面為長，此器即係長道乾燥器 *tunnel drier*。將物料裝在車上，或繼續行經特造之長道，或一車離去出口時，另一新車，適駛入於進口處。通常有逆流循環空氣 *counter-current circulation of air* 之裝置，即熱乾空氣之流動與物料之運行方向相反也。該器之置備費，不甚昂大，而其工作及出品，均能滿意，故甚通行。木、磚、陶器及其他須緩乾而量大之物料，多用之。至欲乾燥粒狀、塊狀或結晶物料，則有迴轉乾燥器 *rotary drier*。迴轉乾燥器係一橫臥圓筒殼，略作傾斜狀，置於轆轤，可以迴轉。物料自高端送入，漸行前進，至低端卸出。有直接加熱 *direct heat* 與間接加熱 *indirect heat* 二法，前者乾熱氣可直接引入殼內，後者則環繞於殼外，不與物料相接觸。此種氣流，亦可分為三種：

一、並流 *parallel current*，係與物料同向流動。

二、逆流 counter current, 係與物料反向流動。

三、複流 reverse current, 係流經乾燥器往返二次, 即各方向一次。

在逆流法中, 來自爐中之乾熱氣, 先遇將離乾燥器之物料, 其所賸餘之水分, 乃得迅速除去, 而此氣出乾燥器時, 則與冷而且溼之物料相接觸。故其熱量及水分吸收量 moisture-carrying capacity, 可以完全利用。但有二弱點, 不可不注意: 一、物料加熱過分, 有著火或損壞(如煤)之可能, 即不受高熱之影響, 而為已熱物料所挾去之熱量, 則都損失; 二、入口用熱最多之處, 反為最低, 蓋初送進之冷料, 需熱最大, 俾得預為受熱, 以促進迅速之蒸發, 否則本為塊狀之物料挾住水分甚多, 稍增以空氣中凝結之水分, 即變為糊狀, 或成為球形矣。有時物料之水分, 祇欲減低至某一定量, 而不必十分太乾燥, 則並流法頗為相宜。此法可以節制烟道氣通人之量, 俾物料之水分, 以受回出氣 exit gases 之溫度及溼度影響, 不致低至預定量之下。其取二法之長而利用之者, 為複流法。將烟道氣繞經殼之外面, 與物料相平行, 再反向引入殼內, 而與物料相接觸。雖由氣體傳熱至器殼, 次復傳熱至物料, 較諸由氣體直接傳熱至物料為遜, 但以其在入口之一端, 溫

度相差頗大，實際上該處之氣體已冷卻，而物料已加熱矣。凡塊狀物料能與烟道氣接觸，或受直接來自爐中氣體之高溫，而不受損害者，如鑛石、煤、水泥、岩、磷酸礦石等，均可用直接加熱乾燥器。若欲免除塵屑之污染，則用熱空氣以代烟道氣。有數種物料，如高嶺土 kaolin 鐵華 ochre 及顏料用品等，不能直接加熱，只可用非直接加熱乾燥器。若欲乾燥之物料，為連續的織物，如布與紙者，通常則令其經過高熱之圓筒，此即所謂鼓形乾燥器 drum drier。筒為鐵製，有一筒或二筒。用蒸汽通過其內部，而傳熱筒面則光平。物料行經其間，所含水分，乃得蒸發。有時欲蒸發大量水分，並欲迅速產出乾燥品，則在可能範圍內，非將接觸面增至極大，溫度加至極高不可。試將物料分成微點，噴入熱氣流中，則乾燥可極快，而產量亦可極大。應用此理而造成之乾燥器，謂之噴灑乾燥器 spray drier。該器係一大豎圓筒，其頂有噴霧裝置，液體散成細點墮下，通常以同方向通過熱氣流中。若乾燥品可不受熱之作用，則該熱氣即用烟道氣，若欲清潔純淨，則易為熱空氣。

第七章 蒸餾

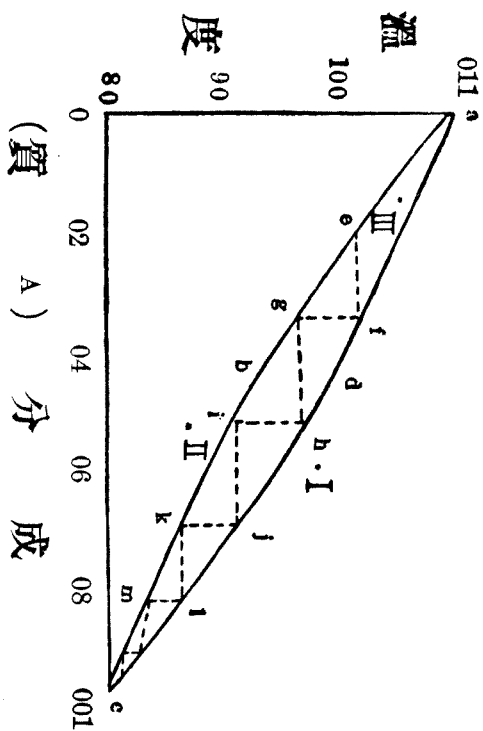
第一節 蒸餾之原理

在任何溫度之二物質，若其蒸氣壓力有顯著之差異，即可利用此差異，令其互為分離。該二物質或其中之一物質，倘得用凝結法提回時，則謂之蒸餾。在蒸餾法中蒸氣成分，與其所自出之液體成分，必不同，而所提回之組成分子，亦不能絕對純粹。

假定一溶液含有二種液質，其蒸氣壓力之大小，各不相同，如困與一烷困 *Toluene* 或醇

與水等，雖其中一組成分子之存在，將令他一組成分子之蒸氣壓力減低，但從液體上升之蒸氣所含低沸點的組成分子，常較多於其液體，約與各個蒸氣壓力相正比。設將液體成分、液體沸點、及在沸點時與液體平衡之蒸氣成分，繪製圖形，則其組成分子互為分離之可能方法，當尤明瞭。

a b c 曲綫，係表示在大氣壓力下 *A* 與 *B* 二物質所成諸混合體之沸點。此種混合體之成



分，自右端全為A質（即百分之百），至左端全為B質（A質百分之零），種種不等。第二曲綫 a d c，乃根據經驗的已知量 empirical data 所繪製。A質之沸點為八〇度，B質之沸點為

一一〇度，A質較B質更易蒸發。在a d c曲綫以上各點如I者，其混合體全係蒸氣；在a b c曲綫以下各點如II者，其混合體完全液化；在二曲綫之間如III者，則有液體，亦有蒸氣。設一混合體含A百分之二〇及B百分之八〇，加熱至溫度達曲綫上e點時，則即滾沸，而所發出蒸氣之成分，以第二曲綫上f點代表之。若該蒸氣凝結成爲液體時，含A百分之三六及B百分之六四。其存留於蒸餾器中之液體，含A自較少於百分之二〇，而沸點將增高，即在a b c曲綫上e點之左，其所發出蒸氣之成分可以a d c曲綫定之。如是，蒸餾物 *distillate* 中，含低沸點的組成分子，常多於其賸餘液體所含者，故欲完全分離，實不可能。

設有溶液，在溫度e沸滾時，所發出之蒸氣，含成分f。今令其凝結，而再自加熱，則在g溫度沸滾，而發出含h成分之蒸氣。若復令凝結，而仍再加熱，則在i度沸滾，而產生j成分之蒸氣。如是，繼續凝結與蒸發，將近c點，幾可得純粹之A。設或令冷卻，亦復相同。在e所得成分f之蒸氣，從溫度f冷至溫度g，其成分h之蒸氣，仍含A較多，而餘賸之蒸氣，將凝成含A較少之液體。其成分與g相當。故用控制的凝結法 *controlled condensation*，與用完全凝結法 *complete*

condensation 繼以重複蒸發法 re-*evaporation*，其結果則相等。

含 *h* 成分之蒸氣，當溫度降至 *i* 點時，其中有一部份，將凝成液體。該液體之成分，含 *A* 較少於 *i* 所代表者，其所少之量，適與留存在 *j* 所代表之蒸氣中者相等。此含 *A* 較少於 *i* 之液體，若回至蒸餾器中，將再從該器中取熱，立刻滾沸。含 *f* 成分之蒸氣，當溫度降至 *g* 點，而有一部份凝結之時，必發出熱量，與所成液體之凝結熱 *heat of condensation* 相等。今在 *i* 凝結之液體，其含 *A* 之量，較多於在 *g* 所凝結者，設能與在 *g* 凝結之蒸氣相接觸，其發出之凝結熱，將立刻令在 *i* 凝結之液體滾沸，而不必另從蒸餾器吸取熱量。換言之，富於 *B* 之熱蒸氣，將令富於 *A* 之冷液體滾沸，由前者成一更富於 *B* 之液體，而由後者成一更富於 *A* 之蒸氣，並不從蒸餾器中更耗熱量（精密蒸餾）。

有時混合體含有互能溶解之二液質，可發出一種富於低沸點的組成分子之蒸氣，從各種成分至某一定點不等。在此一定點，其與液體平衡之蒸氣成分，與該液體之成分相同。此一定成分之混合體，乃繼續在一溫度滾沸，而不能令二組成分子互為分離。即使單純未混合時，各有不

同之蒸氣壓力，亦無濟於事。在該一定點之外，其與液體平衡之蒸氣，則含高沸點的組成分子較多。此種液體，稱為常沸點 constant boiling point 之液質混合體。

第二節 蒸餾及蒸餾器

混合體之含有二種互能溶解之液質者，其分發出之蒸氣成分，往往與其本身不同。若將此種液質混合體蒸發，其成分陸續變更，其中一組成分子，將較他一組成分子先蒸發，致餘剩液體，含易於氣散之組成分子較少，而其發出之蒸氣，則所含較多。但蒸氣不能不雜有較難氣散之組成分子，故分離往往不完全。此類蒸發，用以局部分離二種或多種氣散液體者，謂之單一蒸餾 simple distillation，或差異蒸餾 Differential distillation。煤膏（粗製的）石油等之精鍊，多採用此法。其蒸餾器為鋼板所成之極大圓筒，兩端亦作圓形，係直接燃燒。在精鍊石油時，常有數個相連之蒸餾器，其排列常令後一個較前一個為低，俾第一蒸餾器之殘液，可利用引力，流至第二蒸餾器，同樣以次通過全體。其火力，則後一個每較前一個為大，如是，可得沸點逐步增高各產品。

若將凝結物之一部份，回至蒸餾器中，而令其與將入凝結器之蒸氣相接觸，即起交換熱量之作用，而重復蒸發，此之謂精密蒸餾 *rectification*。精密蒸餾器 *rectifying column* 係一圓筒體，體內裝有多層之板，凝結物之一部份，即流在板上，上升之蒸氣，亦通過該板，而起泡沫。此種凝結物經由汜溢管 *overflow pipes*，自上一層之板，以次流至下一層之板，其蒸氣則循反方向，流經逐層之板而上升。

第三節 蒸汽蒸餾

能氣散之有機溶液，往往含有少量不能氣散之雜質，有時沸點頗高，欲在大氣壓力下直接蒸餾，勢必惹起分解作用。即使蒸餾純粹液體，不致分解，但雜質可以溶解，當變濃時，其溶液之滯性及沸點，可增至極高，足令因不和勻而生之局部過熱 *local superheating*，亦得惹起分解作用。欲解決此問題，吾人可利用一事實，即在互不溶解液質之混合體中，其組成分子之蒸氣壓力，係直接相加的。今將水或水蒸汽引入於蒸餾器中，此混合體之沸點，可低於任何組成分子單獨存在時之沸點。該項液體乃用蒸汽蒸餾法 *steam distillation* 而得提淨，此不獨因其液體

蒸餾所需之溫度變低，且因其注入之蒸汽，能擾動全部也。例如：生色精 *aniline* 在大氣壓力下，其沸點為攝氏一八〇度，若用高度真空，則在攝氏一〇〇度可沸滾，但如此真空，頗不易維持。設在大氣壓力下，將蒸汽灌入蒸餾器內，並將生色精加熱至九八度，即生色精與水之蒸汽壓力總和等於一氣壓時之溫度，則即沸滾，而混雜蒸汽乃同時蒸發而出。蒸汽蒸發通常在圓筒形之蒸餾器內行之，有時熱須由外面供給，或用蒸汽圍套，或用直接燃燒，並由螺管 *coil* 注入蒸汽。該螺管置於蒸餾器之底，底穿有多孔，俾得分佈均勻。蒸餾器須與凝結器相連接，混雜蒸汽，即在此凝結器內液化，其組成分子乃以重力之大小而分離之。對於欲蒸餾之物料，不能溶解者，除水蒸汽外，尚有他種蒸汽，本非不可採用，惟其所以揀擇水蒸汽者，無非取其便利與價廉也。蒸汽蒸餾適用於硝基因 *nitrobenzene* 生色精等物質，因其沸點甚高，必需極高壓之蒸汽，方得氣化。有數種物質，在沸點時即行分解者，如脂肪酸 *fatty acids* 等，亦用此法，但其沸點極高，須在最高真空下行之。又如松脂等物質，若用直接燃燒，頗為危險，或有損於其品質，祇可採用蒸汽蒸餾法。

第八章 燃料及能

第一節 燃料之性質與選擇

化學工程上種種作業，幾無一可超然脫離於熱能範圍。其資以產生熱能者，通常為燃料。燃料可分為三大類：

一、固體燃料 *solid fuels*，如煤等是。

二、液體燃料 *liquid fuels*，如柴油 *fuel oil* 等是。

三、氣體燃料 *gaseous fuels*，如發生爐氣 *producer gas*（係煤在發生爐 *gas producer* 中與空氣不完全燃燒所得之氣體）、藍水氣 *blue water gas*（係蒸汽與熾熱之煤相作用而得之氣體）、煤氣 *coal gas*（係煤在蒸餾器 *retort* 中蒸餾所得之氣體）等是。

煤之用途不一，或以發生蒸汽，或以製鍊焦煤，或以化成煤氣，或在發生爐中不完全燃燒，以

製燃燒氣者。

煤之選爲發生蒸汽者，當以熱量 heating value 爲基本標準，而灰分及灰之融點，亦甚重要，以其有關於渣塊 clinker 之結成也。灰在華氏表二六〇〇度鎔融者，不致有結成渣塊之困難，若在華氏二三〇〇度與二六〇〇度之間，頗易處理，但鎔融溫度在華氏二二〇〇度或二二〇〇度以下，則生困難。而以側面供給的機械上煤器 side-fed mechanical stoker 爲尤甚。若灰分小於百分之四或五時，則融點通常可視爲不足輕重。若煤在蒸餾帶內 distillation zone 變成餅塊，致通風減少，而同時發出過量之揮發成分 volatile fraction，則煤之本身，頗爲累贅。大祇低揮發煤所用之爐柵 grate 面積須大，高揮發煤所用之燃燒室 combustion chamber 須大。倘某種煤在價格上，顯有利益，並可源源供給不斷，則將燃爐及鍋爐特爲設計，以適合於該煤之燃燒，亦屬合算。

用於發生爐之煤，其需高熱量，與蒸汽煤同，而灰分須低，與灰之融點須高，尤特重要，因在發生爐中所受結成渣塊之困難，較諸普通爐更爲嚴重。換言之，廉價之煤，可增額外之直接工資及

修理費，而所省之煤值，乃反爲其抵銷。又鎔結餅塊之趨勢，足以阻遏氣體通過煤層之路，而與其工作有妨礙。發生爐氣之雜有硫化物者，有時用之，頗屬有害。故發生爐所用之煤，以含低硫爲宜。鍊焦之煤，須擇其有良好結焦性者 *coking property*，即炭化後之固質賸餘物，應爲適量之多孔構造，且同時須機械的強固也。灰分應低，但灰之融點不必高。若用於冶金工程，則硫與磷均須低。良好焦煤之高產額 *high yield*，爲選擇之要素，熱量則在其次。理想的鍊焦煤所用之煤不多，通常混合二種或二種以上之煤，令其平均揮發分，在百分之二五與百分之三三之間，氫氮比 *hydrogen-oxygen ratio* 至少爲〇·五八，灰分不逾百分之八，及硫分不逾百分之一·二五。

製造煤氣之煤，當以有效之氣體，爲先決條件。煤含高揮發分自百分之三二至百分之三九，頗爲適宜。灰分應小於百分之一〇，最好小於百分之八。硫分應小於百分之一·二五。而氫氮比至少應爲〇·五九。煤氣雖爲其主要產物，而焦煤、煤膏、銜及輕質蒸餾物，均係其連帶產物 *joint product*，而爲減低成本之要素。故此種連帶產物之性質，頗有研究之價值，且在煤氣煤之

購買條款中，其運帶產物之產額及性質，須與煤氣同樣考慮。

粉煤具有氣體燃料諸優點：如燃燒所需逾量空氣 *excess air* 可減少，事實上燃燒可完全及工作可十分伸縮自在。又市上各煤，祇須燃爐設計適當，均可採用。但粉煤須有準備費用 *Preparation cost*。而燃燒時，大部灰分須泄卸於空氣中，均為其最大弱點。灰分有時融結於爐壁，亦可發生困難。所謂準備費用者，包括軋碎、乾燥及磨末在內。乾燥之目的，為除去水分，否則頗有礙於研磨、處理及燃燒。準備費用之大小，至不一律，全視硬度等物理性質、顆粒之細小度、工廠規模之大小、及負載因數 *load factor* 而異。大規模之作業，如燒水泥結塊、燒石灰、鎔鍊銅礦（在反射爐 *reverberatory furnaces* 中）以及發生蒸汽或供給熱量之巨大工業爐，皆採用粉煤，亦足見其價值。近來粉末之運送及燃燒，均有改進，更可擴大其應用之範圍矣。

柴油之熱量成本 *heating cost*，雖較煤為大，但其全體生產成本 *overall production cost* 則較低。燃油爐易於發火，能適應不同之負載，欲停歇時並可迅速停歇。工資較低於燃煤，維持費及修理費亦輕。柴油能用極少之逾量空氣，而燃燒又易調整，故工作效率頗高。再柴油易於

處理及儲存，其所需儲存之地位，約及煤之半。此於儲存地位有限之火車及輪船，特為便利。柴油之最大障礙點，殆為價格之不穩定，而難於訂定長期供給合同。工廠需用燃料，每日逾二〇噸時，粉煤大可與之競爭，但較小之工廠，仍用柴油為經濟。

發生爐氣為氣體燃料中用途最廣者，而以大規模作業為尤甚。除天然氣 *natural gas* 外，發生爐氣較任何他種氣體為低廉，加以易於控制，頗適用於多種工業，如石灰之煅燒、鍊焦爐 *coke-oven* 之加熱等是。若欲爐中大氣能節制，熱量分佈能均勻，及燃料能容易分配，發生爐氣較煤為尤宜。惟熱量與火焰溫度 *flame temperature* 皆低，是其弱點耳。

藍水氣所含不活潑氣體，較發生爐氣為少，且其熱量幾多一倍，而燃燒時之火焰溫度亦較高。藍水氣之成本，以 $100 \cdot 000$ 英熱單位 *B. T. U.* 計算，約為發生爐氣之一又二分之一倍，但亦有其可選為工業燃料之價值。藍水氣除高火焰溫度外，燃燒時之火焰頗清淨，其效率亦高。該氣本身無煙灰及焦油 *tar*，故能以高速率用管輸送至遠處，而無膠結塞滯之虞。

煤氣在工業燃料中，有更增其重要之趨勢，不獨以其有極佳良之特性，抑且生煤 *raw*

coal 之炭化（尤其是低溫度法 *Low temperature process*），及礦區內煤之完全氣化 *complete gasification*，就燃料之保存及能之低成本而論，可視為合理的發展。煤氣為普通氣體燃料中之最貴者，但即依據現在價格，似更可普遍用於工業製造，尙為合算。若僅以一〇〇・〇〇〇英熱單位之成本作比較，煤氣實高出於柴油或煤之上，但真正計算基礎，應為全體生產成本，而非單獨燃料成本一項。該氣之燃料效率頗高，產量可增加，及產物更為勻齊，凡此種種，大可抵過其較高之成本，尤其與煤相比較，更為顯著。他種氣體燃料，如發生爐氣及藍水氣，則遠較煤氣為廉，祇可依據燃料效率一項，以推定其合算與否。富於煤氣之混合體，其熱量約為藍水氣之二倍，與發生煤氣之三倍而有餘。其火焰溫度既高，燃燒速率亦大。煤氣多用於玻璃、搪瓷之製造，非鐵的金屬之鍛鍊，熱處理 *heat treatment* 及炭化。在此諸法中，熱效率 *thermal efficiency* 須高，爐之控制須精確，爐內大氣須適宜，工作狀況須增進，及產量須加多，均為採用煤氣之主要原因。

第二節 電能

電能之見重於化學工業界者，以其可集中能密度 *energy density* 幾至無限，俾來自燃料燃燒之低能密度所不能起之化學反應，亦屬可能，如電爐之溫度，遠高於燃燒所能達到之最高溫度。在需用高能密度諸製法中，實際上儘可不拘成本，以電為獨一無二之能，而電之成本，乃用以推定其製造成本，亦即用以推定其產物應用之範圍。電能之第二特性，為易於控制，以較發自然燃燒之化學能 *chemical energy* 更能精密。用電於直接加熱法，亦不致污損其產物，且電在相當經濟範圍內，易於輸送與分配於遠距離，更能以高效率轉變為他種主要之能，如機械能 *mechanical energy*、熱能與光。惟在經濟上有一大弱點，即存儲困難是也。電能例須隨發隨用，生產與消耗同其速率。因之大發電所之工作，極不能伸縮自如。而其售價往往視負載而異。簡言之，支配發電成本者，乃發電所之工率因數 *power factor* 也。

電能須用於常負載 *constant load*，通年日夜繼續不斷，此為電化製造之基本原理，而於水電力，尤特適用，以其固定費用占電能成本之較大部份也。工作間斷或負載常變更之工廠，則獨立之蒸汽設備，較為經濟，可無疑問。

電能之有效的利用。與動力經濟的產生，同其重要。在化學工業中之電動機聯動裝置 *motor drives*，加熱、發光與電解，尤應特予注意。設應用得當，化學工程諸設備，幾皆可採取電動機聯動裝置。其優勝之點有四：一、可直接應用於需動力之處；二、軸及調帶裝置 *belting* 可減至極少，俾得到更佳光綫及更易處理事物；三、可維持常速率，以增進生產；及四、通常損壞可祇限於一部機械。

直流分捲電動機 *direct-current motors of the shunt-wound type* 在變負載 *varying load* 下，可得常速率，用於離心唧筒 *centrifugal pump* 及運風機 *blower*，特為適宜。其置備費較諸直流複捲電動機 *direct-current machine of the compound type* 為廉。若欲不賴負載以調整工作速率 *operating speed*，可裝一磁場變阻器 *field rheostat*，即成為良好之變速率電動機。交流感應電動機 *alternating current induction motor* 係以常速率而轉動，與直流分捲電動機相似，通常以多相式 *polyphase type* 為適宜。因其能任暫時的過度負載 *overload* 也。若在變負載下，欲得嚴格的常速率，則可用同期電動機 *synchron-*

ronous motor，惟普通祇有大容量者。交流電動機，可較直流電動機減少注意，其所成之工亦較大。又用交流電時，輸送成本 transmission cost 顯可減省。

電能之應用於化學工業者，又有電熱，頗占重要地位。電熱初不過用以促成化學反應，如製造炭化鈣 calcium carbide 與人造金鋼砂及從鐵石製鍊鐵合金 ferro alloy。繼則造成工業電爐，用以化鍊鋼料及鎔化非鐵金屬，如銅、青銅、鋅等，近十年來，凡需溫度高至華氏一八三〇度之普通工作，亦採用電熱。若裝備特別電阻體 resistor，可得溫度高至華氏二五〇〇度，但在如此高溫，因電阻體易於損壞，實際上常致不能採用。電熱有基本的特性，為燃料所不及者：溫度之控制自如，一也；發熱清潔，二也；易於傳至需要點，三也。從此項特性，可得下列種種優點：一、管理減輕，二、生產率增加，三、工資減少，四、產物之品質改善，五、廢棄減低，六、工作人數減少，七、大患與爆炸危險減輕，八、工作狀況增進，九、夏季不用蒸汽，十、地位經濟。雖在普通狀況，電熱成本，遠高於燃料之上，但有上列優點，有時確可減輕全體生產成本。

電熱之用於磨礮料、陶瓷器、合金及橡皮製造業者頗廣。例如：烘焙磨輪 grinding wheels

期間須長，溫度控制須慎密，則用電熱較經濟，甚屬顯著。電熱亦可應用於電氣蒸汽爐 electric steam boiler。有數處紙廠中，已有此種設備。若遇廉價電力可利用而燃料價格亦頗高，則動力尚有餘存，或不在需電最高之際，可即變為蒸汽，儲為他用。近來橡皮工業，以電熱易於控制溫度，負載增加極多。總之，使用便利，控制嚴密，與人工減省，均為電熱之重大優點。

第九章 工廠地點

第一節 建廠擇地之重要

化學工業之發展地點，爲經濟力達到平衡之最好表現。當成本與售價間獲得最大差異時，即爲穩定平衡 *stable equilibrium*，亦即建廠最適宜之地點。人口密度，爲消費力之基本指數 *basic index of consuming power*，故亦爲工業所在地之基本指數。就地理而言，若他種狀況適宜，工業必隨人口而發達。雖然，雖人口繁殖之區，而覓原料、人工、燃料及動力低廉之地點，亦不可不視爲尤屬合理，而輸運費用，或竟較其他支出更爲重要。是以工廠不必設立在工作成本最輕之處，但應選擇其地點，使原料價格與其運到之費用、製造費、市上售價、及製成品運至市場之費用相加之總成本，能減至最低，方爲適當。若於選擇廠基之要素，漫不注意，足令多種企業，趨於失敗，且能阻礙他業之發展，其關係重大，殊非淺鮮。

第二節 勘定地點之原理

選擇化學工廠之地點，有下列諸要素，可為攷慮之根據。

- 一、原料之產地
- 二、製成品之市場
- 三、燃料與動力之產地
- 四、人工之產地
- 五、運輸之便利
- 六、與他種工業之關係
- 七、資本之需要

若數量大而容積價值 *bulk value* 低廉時，則原料之產地，最關重要。鋼鐵工業之在歐美各國，均依此原理，選擇建廠之地點。其基本原料之鐵礦、燃煤及石灰石之產地，皆為支配之因素。他種製造業如水泥、石灰、黏土、鹽、酸性磷酸鹽、紙料、甜菜糖 *beet sugar*、銅之鎔鍊及木之蒸餾，

亦均以原料產地爲其重要因素。雖然有形的距離並不能視爲控制之標準，其基本的選擇應隨多種組成要素而定。此種組成要素可得而述者：爲一、產地之購價，二、購買費用，三、輸運費用，四、應需準備之存料，以接濟供給之短少，及五、供給之可靠與持久。

有數種工業，水亦作爲原料之一，或在製法中爲物料之遞傳體 *carrier*，或實在加入產品之成分中。其供給之要件有三：卽一、可利用之水量，二、水之品質（視其溶解或游離之礦物質或有機的污濁物而定），及三、水之溫度是也。製紙工業，須用大量清潔之水，若不注意及此，雖全廠有種種優利之點，然在業務上，不免要受打擊。又製膠工業，非但需要大量之水，且須絕對不染污穢。至若在動力廠中，以水爲凝結之用時，則溫度極爲重要，全年冷水之平均溫度，愈低愈屬有利。

製成品之市場，與原料供給，同其重要。通常小工廠之設立地點，全視市場而定。小工廠之生產成本，雖較高，然運費低廉，售賣所需費用亦輕，頗足相抵。有數種化學製造業，以接近市場，爲成功之要訣。其最顯著之例，爲煤氣工業。其原料烟煤可運至消耗區，所費尙稱低廉，而欲製成品輸送至遠距離之市場，則須巨大投資，以裝置導管、調壓機 *booster* 及其他附屬設備。又如硫酸工

業，其原料儘可較製成品運輸更遠之距離，因製成品之競爭頗烈，容積價值頗低，與輸運費用頗高，祇能由消耗之中心點分佈，較為經濟。若製成品之容積價格低廉，則經濟的運送之範圍，視運輸費用而定。此種製造業，常隨市場而擇其所在地，如水泥業是。又炸藥製造業亦為運輸所限制，因運費昂貴，其工廠應建於近消耗之區，同時因其有危險性質，不得與他種工業及人口稠密之區相接近。

在多種化學製造業中，燃料及動力之來源，並不與原料及市場，同視為選擇地點之要素。但如製紙、水泥、玻璃及粘土品等工業，則燃料及動力之來源，頗占重要地位，尤以電化工業為特甚。美國尼亞格拉瀑布 Niagara falls，為電化工業之中心點，產出金屬鋁、炭化鈣、人造金鋼砂、苛性鈉 caustic soda 及氫。其成本比較的最為低廉，原料與市場均近，運輸極便利，良好工人亦多，皆係尼亞格拉瀑布之特優點，尤為他種水力所不及。製紙廠為消耗動力之最大者，往往與水電發展，同其區域，大量潔淨清新之水之供給，猶為其附帶之優點。水泥、玻璃及粘土品諸工廠，均需大量燃料，為加熱之用，因之低廉燃煤及接近天然礦物的原料，成為極重大之要件。在鋼鐵工

業中，廉價之結焦煤，亦極重要。

關於人工問題，其重要常與工人技術及工人人數互成比例。化學工業所僱技術精良之人工，往往較少於機械工業，故人工供給之影響於建廠地點者，並不十分重大。油漆、黏土品、玻璃及皮革製造業，需要技術精巧之工人，固屬實事，但此種化學技藝，進步甚遲。將來手工技術，在任何化學工業，或較現時更不重要。肥料、製皂、製糖、精鍊石油等業，各種人工，已減至最少數，而工資僅占生產總成本之百分之五至百分之十。

與原料供給及製成品市場密切相關者，為運輸。在化學工業中，如石灰、水泥、黏土品、肥料、重化學品、冶鐵、製糖、製紙、精鍊石油等，其原料與製成品之運費，竟可左右其銷路。大都容積價值之低廉，為化學工業原料之通例，亦為多種製成品之特點。有適當之運輸，方能將原料與製成品之載送距離加遠，以擴充其可能市場，而增多營業利益。濱海或通水道之大城附近，常最占運輸之便利。在此種地點，或經水道，或由鐵路裝送，應加以選擇，設將來欲求出口，特為優勝。故兼有水陸交通便利之大城附近，每為極大之集中區，不足異也。

工廠位置於同性質實業之附近者，以其地人工供給，不致變動或缺乏，往往有成功之較好機會。工廠彙集一處，貨物裝載多而無甚參差，鐵路運費，亦可較孤立之工廠為低廉。又特殊之心區，一切技術及銀行業務諸問題，可獲得種種便利。倘其地無相當技術的服務機關，則必自行設備，比較的不生產費用，因之增大。其素與特種工業往來之銀行，熟悉該業之需用情況並可成立最妥便之信用關係。至若利用他廠之廢料，以為製造原料，在選擇建廠地點，尤不可忽視。倘能將廢料支配於他廠，亦可達到同樣之經濟目的。有時廢料與烟氣 *lime* 之處理，可成為重大問題，或有害於產業，或令社會深感不快，應預為留意，俾在設計與工作時，先為防制，或另行選擇適當地點，以避免之。化鍊廠散出之硫磺氣、與游離塵屑、及紙廠、革廠、染廠之廢料所染汚之水流，均為有害於公眾之妨礙物，往往發生種種爭訟，且須費多數金錢。故產生大量廢料之工廠，其選擇地點，尤為重要。有時在建立之初，似頗適宜，但下流新工業之發展，或濱河居民之增多，亦可令環境全變，不可不注意也。

任何工廠之固定費用，既與開辦時所投資本，互為比例，則工廠地點，頗有關於生產成本。投

資總額係包括生產所需之地畝建築物開發費與設備費在內地理上的場所粗經勘定乃可選擇廠基。有價廉而未開發之鄉村地產，亦有接近人口繁殖區域之昂貴地產。就動力、煤氣、水力、溝渠與公路發展等狀況而言，則選取價格較貴之都市地基，頗有相當之理由。警察與防火設備，亦應在考慮之中。建築物之成本，視就地之物料價格與工資而異。且有關於該地之建築規則，如建築之型式、着火物料之儲存、氣烟之控制、與廢物之處理等均是。

綜觀上列選擇廠基諸因素，頗難定其重要之次序。有時某一種因素，極為重大，有時各種因素，均不可不慎密考慮，以資決定。故所有各種因素，自應詳加分析研究，庶可勘得最適宜之建廠之地點也。

第十章 工廠設計

第一節 物料之處理

欲設計化學工廠，物料之裝卸、運送、處理，絕不能稍有忽視。有多種製造業，競爭十分劇烈，成敗之關鍵，全在設計之適當與否。大批物料，或由火車運來，或由輪船運來，應採用他種工業已有之卸運設備，較為妥便，蓋此項卸運物料之設備，在他種工業，已發展至相當程度也。大規模之搬送固體物料方法，不論任何工業，無甚差別，故化學工程師，儘可採取機械工業之原則，而實際應用之。物料搬送，實為工程中之特殊分支。當初步設計時，其卸運各種氣體、液體及固體諸設備，應如何選擇，須與工程專家熟商而籌劃之，且以該設備所用之製造材料，極關重要，尤須與廠中化學工程師，切實協力合作。在機械工業，普通材料如鋼、鐵、木材等，可以任意取用，並不發生困難，但化學工業中，每種設備，各須用特殊材料，為最普通之常例。玻璃、融鎔石英、*fused quartz*、防

酸合金耐熱合金 acid and heat-resisting alloy, 特種保護塗料以及近來市上出售而適於大規模設備之其他同等材料種類至為繁多，亦可表示製造材料之重要矣。

重化學品工廠中所有物料之搬送，為量甚大，應令其繼續轉運不斷。從經濟平衡表 economic balance 中，表示機器較更節省時，自當力求避免人工。若固體物料之數量頗大，則原有建築之強力，須能任物料供運設備及其負載之重量。是以欲供運之物料重量，及其供運設備，須在設計房屋之前，預為籌劃妥定。事實上化學工廠之房屋，應隨製法而不同，不能任取慣例之圖樣而建築，反令製法在其支配之下。石油精鍊業，為其最顯著之例證。該業房屋，祇為製法中所需設備之附屬品，通常除唧筒及控制器械外，儲存櫃、蒸餾器及分裂設備 cracking equipment，並不建造於房屋之內。

原料製造進行中之物料，與製成品，其裝卸運送所需各種設備，如高架起重機 gantry crane, 橋式起重機 bridge crane, 舉臂起重機 jib crane, 櫻攔斗 grab bucket, 及昇降機等，有日益注重之趨勢。供運固須求其經濟，同時儲存亦應加以考慮，充分儲存之各種便

利，應預爲計及，以維持工作之繼續不輟，而市場缺貨、輸運遲延、以及不能控制之他種原因而起之供給恐慌，乃可避免。

在機械工業中，搬送物料應取之途徑，已十分發展。其效率幾已達登峯超極之境，尤以機器廠爲最顯著。其基本特點，爲全廠物料之直綫流動 *straight line flow*，俾各項工作，得循適當程序進行。占地較小，與搬送費較輕，均爲直綫流動之主要優點，倘其佈置能應用重力流動 *gravity flow*，亦極關重大，未可忽視也。

廠內供運系統之建造成本及效率，與地形之能否善爲利用，頗有關係。山坡式 *hillside type* 與平地式 *flat type*，究以何者爲最適當，設計家應詳加考慮。通常以山坡式（即重力式 *gravity type*）較爲優勝，或實際建於山坡上，或用多層樓之建築，以造成重力形勢。重力流動，可少用動力聯動裝置機器 *power-driven machinery* 及壓力器械 *pressure apparatus*，故大可減少意外之危險。

當設計化學工廠之儲存地位時，應注意易着火流體之隔離，以減少火患至最低度。例如：因

充用以製造染料之原料，須儲存於另一房屋，而與融鎔、蒸餾諸工作之房屋相隔離，俾免接近火焰。又儲存房屋，須爲防火的建築。此種預防，直接有關於火險保費。

原料之儲存地點，應參酌鐵路岔道情形而擇定，俾可減輕卸費至最低度。原料及製造進行中之物料，或係液體，或係溶液，當供運時，能否利用重力流動，應特注意。倘可排成層列，抽唧工作 *pumping action* 即可減少。例如一液體可升至高出地面之儲存櫃或量櫃 *measuring tank*，而以重力流至反應器 *reaction vessel*，經過反應後，再泄卸於地面之容受櫃內，均可不用唧筒。

第二節 房屋

物料之供運方法、供運設備之容量儲存櫃、以及單元作業諸設備，均經決定後，乃可設計房屋。房屋建造，型式極多，要以少用木料或赤露鋼料爲通例。木料有增多火患之虞，赤露鋼料易起腐蝕，加高維持費用。近年來化學工業界，頗有用較費而永久之建築型式，如普通工廠建築，或用鋼骨混凝土之牆壁及地板。化學工業之房屋，通常不逾二層樓，故以鋼骨混凝土作骨格，而以磚

砌牆，頗為流行，且較從前之廉價建築，更受歡迎。無論何種建築，適當之通風，機器之易於進出，及地板之便於清潔，均應留充分地位。

機械之橫直大小，既已測定，乃着手設計房屋。除光綫及通風須放寬地位外，將來遇有擴充之可能，或製造程序中稍有變動，均應預為佈置。許多化學工廠，為製造數種標準出品而設計建築，對於合理的擴充，並不預留地位，或留亦極小，一遇業務發展，欲將原廠各部加大，反增混亂，而供運物料之有效經濟方法，亦屬不可能。究應當前之困難，可擱置不顧，抑或建立根本適合之新廠，此種問題，極不易解決。欲避免上述錯誤，當設計之初，須將房屋充分散開，或留相當間隙地位，俾異日可以擴張，而無礙於隣近工作。

許多化學工業所用之反應劑及其製成品，或極腐蝕，或易着火，而在相當環境，亦可爆炸。當設計此種反應劑與製成品之運送設備及儲存器時，包括許多特別問題，須應用最高化學技能，方可解決。他如烟屑之排除，及工人康健安全之保障，亦屬重要問題。

廠屋所在之地理，大有關於建造材料。設計家應注意大量之雨、雪、冰、熱、風、溼度及其他氣候

所起之物理狀態。在緯綫三〇度及高度四〇〇呎以下，不必有結冰之特別準備。若逾此緯綫及高度，則甚重要。設計家對於液、氣體及其儲存器、供運設備等之保護，各部之收縮（木材除外），由於結成冰層而失摩阻所起之機械之缺陷，以及由於所積冰雪之重量而起之機械的變形 strain，均須一一顧及。混凝土之各橫平面，亦須備有伸縮接合 expansion joints。風之平均速率及最大速率，應慎重注意。倘速率大時，則風負載 wind loads 不可忽視。柱、桁條等之成本，雖因之大增，但較建築不固所受之危險，尚為合算。通行風 prevailing winds 之方向，亦當加以考慮，鍋爐與燃爐之火門，乾燥室之門，以及處理熱料或粉狀物各室之門，應位於下風之方向。房屋建築之高度，有時且受通行風最大速率所限制。至溼度記錄，在設計時亦不可不加以研究。有許多製法，受空氣中水分之影響極大。設無人工調節空氣 artificial conditioning of air 法，每因溼度變動太大，不能日夜工作。

第三節 控制

適當控制之準備，為設計上成功之關鍵。若祇將控制系加於已成之設計，終未能完全奏效。

在最初設計，即須包含能實行而不太費之有效控制諸因素，倘無適當控制之準備，則適當之分部主義 departmentalization 不能施行，而成本會計乃混雜而不正確。現代會計亦不過一廣博之控制系。初時有相當之設計，即成爲真正工具，可用以減低成本與增高產量。

管理之控制 administrative control，應在設計上有所準備。此包括全體管理人員，自最高級行政員下至工頭之活動而言。時間及空間所不容之密切呼應，其實在困難，須加以相當注意。設他種情況相等，則管理人員能最接近其所監視之工作，往往爲最佳之設計。工廠與辦公處相離頗遠，雖不乏其例，然就一工廠而言，全部辦公處位於工廠之內，則可得最有效而最經濟之管理控制。若祇有一辦公處，而管理相隔頗遠之數工廠，其位置可較遠，而費用則常大，最近趨勢，不建立辦公處於城市繁盛地點，而管理之控制，即設計在工廠本身之內矣。

人工之控制 control of labor，最應審慎考慮。工人一到上工時間（即報到），須立刻工作，工作停止時，工資亦即不計。此係理想的控制，不能完全履行，但圓滿之設計，應有實施此項之準備。適當之分部，合用之柵欄，及工人自一部至他部之自動紀錄設備，均爲最善之物理的人工

控制。工人最好祇限於一門進出。理想的設計，應預防工人在未報到以前，闖入工作區域，及停工以後，尙逗留不去；並自報到處至工作地點，應規定一直接可監視之途徑。出廠之路，亦然。

物料之控制 *control of material*，爲容積與重量之控制。在多數製法中，以技術的限制，物料經過製造程序之前後，容積與重量，均不能無變動。物料控制有視成本會計系 *System of cost accounting* 而異。通常最低限度，應確知現有原料（包括燃料），製造進行中物料，及製成品之狀況如何。實際上用於進出物料之車秤、台秤 *car and platform scales*，及用於製造進行中物料之漏斗秤、自動秤 *hopper and automatic scales*，均須置備。設計者之工作，先視控制上之所必需，決定其磅稱或度量之次數，而後勘定磅稱或度量設備之地位，並須顧及時間與人工之經濟。雖頗重要，實尙簡單。

溫度之控制 *control of temperature*，係指工廠屋內大氣溫度之控制。若欲維持溫度高於外面空氣，最好用中央加熱器 *central heating units*，若欲低於外面空氣，則用適當通風系 *ventilating system*，現尙無實際良法，可令廠內溫度，較外面大爲低降，且繼續維持，此因

水分不能不爲冷空氣所排出，而過冷面積 *supercooled area* 內各物，不得不潮溼也。但適當利用人工及自然通風與遮蔭設備，工人可感到幾分舒暢。此種舒暢，既多賴皮膚水分蒸發之增加，並非溫度之低降，設計家可祇裝置完備通風法，而後轉其注意於水分之控制。工廠加熱法有二：即直接加熱於廠內之空氣，與先將空氣加熱而後令熱空氣通入於廠內也。此二者之選取，全視建築型式而定。木造房屋及棚寮等輕鬆建築，應採用放熱器 *radiators* 等之直接加熱。鋼料及混凝土所造固密之房屋，則可選取較精備有效之調節空氣法，自無疑問。此在某種氣候，應審慎攷慮其能否影響於建築型式之選擇，尤以僱用多數工人之廠爲特甚。最適合於工人之大氣溫度，即係人體器官本身之溫度控制系所成工作可減至最低時之溫度。此則隨各種工人工作與各種大氣狀況而不同也。

水分之控制 *control of moisture*，大致與溫度之控制相類，祇可應用於建築固密完好之房屋。大規模之乾燥空氣法，係將空氣冷卻，令其所含水分之一部份凝結。若欲空氣變潮溼，可直接加入水分。無論乾燥法或潮溼法，不能直接施諸工人所居之屋。通常先將空氣之溫度與水

分調節適當，而後引入工廠內，連續不絕，俾乾溼空氣，得維持平衡。最適宜之溼度，亦即人體的溫度控制所成最少工作時之溼度。故可增加溼度，以代溫度，或增加溫度，以代溼度，但最適宜之溫度，較有一定。人體不在該一定溫度，而增減溼度，以維持其舒暢，祇能增加人體器官的溫度控制之工作方可。是以維持舒暢，不必即為維持康健也。

光綫之控制 *control of light*，係包括人工光綫與自然光綫二種。牆壁承塵，須着色適當。及窗戶須大小適宜與遮光合法，均為自然光綫之控制。設計家最初即須注意此點，庶可免日後採用人工發光系，以補救設計之缺點。設牆壁可空無所用，則開窗宜多宜大，為近來之新趨勢。嵌綫玻璃與鋼架窗牖，頗為適用。普通透明玻璃，反射極弱，多裝此種玻璃窗牖之房間，欲在屋內採用人工發光法，至為困難。其略帶霜色之玻璃，則日夜均屬相宜。牆壁承塵及什具，皆應塗白色，否則用最淡之色。就光綫而言，黑色效率最差，常用任何其他種顏色。在人工發光法中，單色光與多色光，究以何者為優，殊無定論。現都趨向於白光，或由鎢絲 *tungsten filament* 發出，或由白熱紗罩 *incandescent gas mantle* 發出。有時特用汞氣弧光 *mercury vapor arc*，較為滿意。半

間接發光系 semi-indirect system of lighting，通常占優利地位。反射器 reflector 應為半透明質所製，俾得平均擴散 diffuse 光綫，而免除陰影區域 shadow zones。

第四節 動力之分配

動力之分配，為設計中之一大問題。其真正理論，每不能完全明瞭，而苦心經營之計劃，常不能達到應有之效率。大都動力之輸送，較物料之轉運，所費少而常更實踐。當設計之際，投資之性質、工業之種類、以及製法地點等，均應詳加攷慮。動力分配系，大致可分為三種：

- 一、從中央原動力機產出電力，而以電力輸送法分配於各種電動機聯動裝置。
- 二、從中央原動力機產出機械動力，而以軸為機械的分配。
- 三、各原動力機自為區劃與分配。

設有長期大規模之工作，而最近將來之需要，亦可確定，則第一系較為適當，自無疑義。其可分配於任何工作區域之無限伸縮性，工作之經濟，輸送之高效率，及普通狀況下之低折舊率，皆係優勝之點。其弱點則為置備成本須大，全廠祇賴一單位或一單位組 one unit or group of

units, 不能漸次增加動力供給, 以適應逐步之擴充, 以及大部負載受劇烈變動時, 所起電流驟漲之不良影響 (如重大拖運及開掘工作等)。若燃料低廉, 而工廠占地不大時, 則第二系可認為最宜。工作之輕易與確定, 置備成本之比較的低廉, 及應付動力驟高之可能, 均為其主要優點, 惟工作成本較大, 輸送效率較低, 及分佈較不能伸縮, 是其弱點耳。若以投資之性質與地點之關係, 不堪用第一系, 或以工廠所占面積之範圍, 不能用或不適用第二系, 則第三系尚為相宜。此種情況, 並非不常有, 但不能顯出第一系或第二系之低廉生產成本。普通能適用第三系之基本特點, 為已籌劃之工作規模太小。設計家應返復審查投資本身之性質, 及其不能採用第一系或第二系之事實, 往往可發現危險之預兆, 而指出企業本身之根本弱點, 因所擬議之製造規模 (scale of operation) 無實行之可能性也。