

高等學校交流講義

化工原理

四川化學工業學院張淇沅等編

(內部交流 * 僅供參考)

中央人民政府高等教育部教材編審處

化 工 原 理

第貳版(1954)

新華書店華東總分店總經理

商務印書館上海廠印刷

一九五四年八月上海第一次印刷

印數 1—1,330

字數 235,000

定價 洋 12,800

化 工 原 理

目 次

第一編 緒 論

第二編 流體動力過程

第一章	流體的流動	28
第一節	流體定義及其特性	28
第二節	流體力學的基本原理	34
第三節	柏比定理及其應用	42
第四節	導管中流體摩擦阻力的計算	51
第五節	流體流速的測定	70
第二章	流體的輸送	80
第一節	管子、管件及閥	80
第二節	液體的輸送	87
第三節	氣體的輸送	100
第三章	液體中懸浮物的分離	110
第一節	液體懸浮物的種類及其性質	110
第二節	沉降	112
第三節	過濾	125
第四節	離心分離	154
第四章	氣體中懸浮物的分離	165
第一節	氣體中懸浮物的性質及其分離	165
第二節	氣體中懸浮物的分離原理及其設備	166
第五章	物料的攪拌	182
第一節	液體介質中的攪拌	182
第二節	固體介質中的攪拌	194

	第三編 熱過程	196
第六章	熱的流動	196
第一節	傳導	197
第二節	輻射	205
第三節	對流	217
第四節	熱交換的計算	246
第五節	流体温度與速度對熱傳遞的影響	267

第一編 緒 論

1. 化學工程的意義及其任務

「化學工程」是一門比較新興的科學，其目的在求化學工業製造過程的機械化，和生產管理的自動化。

「化學工業」是經過一定化學變化的步驟，將自然界或農業產物製造成爲人民所必需的生產資料或生活資料的過程，而化學工程即是研究此項製造過程的工程學。查工程學的定義，一般言之，爲研究物質的物理，化學及機械性質以最有效的方法，處理工業製造過程中各種實際問題的一種應用科學。

工程學的發展是自十八世紀的末葉，工業革命以後，隨着工業生產過程的逐步採用機械而來的。它的進展，一方面依賴於廣泛的科學理論，一方面依賴於工廠的實際經驗。在理論與實踐，相互充實，相互增長情況之下，工程學的進展是異常的迅速，它不僅改進了原有的生產過程，還研究創造了新的生產過程。

工程學的最終目的，無論其爲化學工程或他種工程，都是懷着一個理想任務，即是：如何能夠使自然界的偉大力量引向於爲人類服務，爲人類增進幸福，但這個理想任務如何能夠實現呢？這雖自在優越的社會主義及新民主主義經濟制度之下，才有可能。因爲在這種制度下，工程學是隨着國家的經濟建設計劃，在不斷提高的工程技術基礎上發展的；因此，人民的生產事業不斷地增長和不斷地完善，保證了最大限度地滿足人民的需要。近年來，蘇聯科學技術的飛躍進展和人民生活水平的不斷提高，即爲顯著實例。

我國的國民經濟建設任務是求國家的逐步工業化，逐步過渡到社會主義社會。爲了達到此項目的必須結合國家的具體情況，虛心學習蘇聯的先進經驗，在化學工業的建設方面，我們須大力發展肥料工業、石油工業、染料工業、水泥工業等以滿足人民的日常需要。在化工

技術方面，我們須研究改善原有的生產過程和採用適合我國情況的新生產過程。此外，我們更須研究以機械代替人工，使生產自動化，做到定額，保證質量，利用廢品，減低燃料及動能消耗，於是化學工程的任務及其內容歸國家經濟建設任務所決定。也就是尋求國家的逐步工業化，逐步過渡到社會主義社會而鬥爭。

2. 化學工程的內容及本課程的目的

「化學工程」之名始聞於1888年，但發展為一門獨立科學部門乃近四十年之事。此科學的最初發端者為俄國學者克魯斯基教授和吉辛科教授，前者在1909年發表了一篇有關化工機械設計的論文，該文篇幅不大，而內容深奧，奠定了化工機械計算原理及其發展方向的基礎。在1912年吉辛科教授在莫斯科高等工業學校首開「化工過程及機械」一課，同時發表出論義，在資本主義國家中，美國里特貝在1916年建議採用化工單元教學，以後美國麻省理學院開設一門「化工原理」獨立課程，初用論義，在1923年始擴充為書，是在化學工程史的歷史發展中，俄國學者克魯斯基及吉辛科教授具有承垂下流兩貢獻。

隨着各個斯大林五年計劃的發展，化學工程學的理論水平是不斷地提高，開始迎頭趕上社會主義工業製作的最先進經驗。近年來，蘇聯化學工業的蓬勃發展和新穎創造，充分也說明了蘇聯化學工程學者的卓越成就。

如前所述，「化學工程」為研究化學工業製造過程的科學技術、化學工業的製造，其法不一，但將其過程加以分類整理，則見其中有着千其同而萬數不多的基本操作，一般總為「化工單元操作」，例如，在製糖工業中，糖液經蒸發而濃縮、蒸發為一單元操作，同樣地，在食鹽精製工業，單寧提取工業，石化製氫工業中，各有其獨特的溶液亦隨蒸發而後濃縮、是蒸發為上述工業中一個共同的基本操作，又如造紙工業中，紙張須要乾燥，紙張呈片狀，而在肥皂工業中，塊狀的肥皂，須要乾燥；在純鹼製造工業中，粒狀的純鹼亦須經過乾燥

故無論物料的性質及形狀如何，須要乾燥的目的則一，而乾燥為一基本單元操作，其所基的原理，也是一樣的。因此，我們可以達到一個結論，即任一化工的製造過程，無論其情況如何，線路複雜，均可分解為若干單元操作。反之，若干適當的單元操作，加以組織配合，可以組成一個新的製造過程。

「化學工程」的研究對象在於了解，闡明，研究化學工業製造過程中各個單元操作的共同原理，及在個別實施時，所必須的有利條件和化工機械設備。通過本課程的學習，同學們不僅要熟悉各種化工單元操作的基本原理，而且還要能夠將這些原理應用到各專業的實際生產過程中去，控制掌握有利的操作條件以提高生產效率，及在熟諳的基礎上，從事於化工機械設計，以建設新的工廠或創造新的製造過程，本課程的目的和要求，即已如上述，其性質是屬於專業技術的。

關於單元操作的分類問題，直到現在尚無一固定而公認為最完美的辦法，資本主義國家的學者們，一般以流體流動及熱流動為基礎單元操作，而將此外的各種單元操作，如蒸發，結晶，滷碎與研末，蒸溜，吸收等歸列論授，對於各單元操作與基礎單元操作間的關聯表示不夠明確，蘇聯的先進經驗係根據實際的情況及各單元操作的基本規律，依適當的組合，本課程參攷蘇聯化學家們的先進經驗，將擬授各個單元操作分為下列四類：

(一)流體動力學過程，包括遵循流體力學諸法則的單元操作，如流體的流動，流體的輸送，液體懸浮物的分離等。

(二)熱過程，包括遵循熱交換諸法則的單元操作，如熱的流動，蒸發等。

(三)擴散過程，包括遵循擴散諸法則的單元操作，如氣體的吸收，蒸溜，乾燥等。

(四)機械操作，包括遵循固體力學諸法則的單元操作，如固體顆粒的分離，滷碎與研末等。

3. 化學工程的一般基礎概念

用單元操作來分析處理化工製造的過程，對於複雜的化工生產問題已經有了很大的簡化，而單元操作本身，雖然是應用了各式各樣的機械設備，表面上看來似與類似之處，而究其所包含的原理，則不外少數幾種基本科學定律的應用。事實上，這些定律都是物理科學的基本定律，也是一切科學技術的基礎。此項基本定律有：(1)質量不滅與質量平衡定律，(2)各種物理及化學過程的平衡關係，(3)支配不在平衡狀態下的過程變化速率的各種定律。

物料平衡及能量平衡 此項平衡即係根據於質量不滅及質量平衡定律，依此定律，凡進入某一機械設備的物料重量，必等於操作後所產產品的重量；但事實上，在任何實際製造過程中，物料均損失永遠存在，亦即輸出之量較輸入者為小，其差數即謂物料的損失。此種物料平衡只適用於整個過程的操作程序，也適用於過程中的任何一個部份，物料平衡的清算可以全部操作物料為基準，也可以取某一部分為基準。

物料平衡在化學工程中具有極重要的實用意義，在實際操作過程中，物料平衡可以揭示物料的浪費和機械操作的不正常情況，由此可以定出改善的方針，以及對副產品和雜質的處理辦法，因而，物料平衡亦可反映出生產過程的完善程度和生產狀況。物料平衡與核算完全愈細緻，則操作的進行愈為正確。在設計新的操作過程中，物料平衡可以反映出正確製造過程和設備大小的選擇問題。

能量平衡，亦即物料平衡在化學工程中具有同等重要的意義。能量平衡係基於能量不滅定律，亦是輸入之能，必等於其輸出之能。正確的能量平衡必須包括與過程有關的各種不同形式的能，如熱能、機械能、電能、輻射能、化學能等；但在多數情況下，平衡系統中所含離子、固態為基準，則系統中的能量平衡即為熱平衡。在化學工程設計時，要點之是否需由外界引入或向外界散放，均可由能量平衡的計算求得之。

物系平衡關係 物系發生自發變化時，其變化趨勢向於一定的方向。如果聽其自便，結果必將達到平衡狀態，即不再能依用的狀態。例如，將一壺熱水置於盛有冷水的桶中，壺中熱水逐漸變冷而冷水逐漸變熱，直至達到於平衡，此時冷水與熱水的溫度完全相同。又如當不攪拌空氣與水接觸時，水向空氣蒸發，直至空氣與水蒸氣所飽和，水即停止蒸發，因水與空氣已達到於平衡，因此，平衡為物系變化的終點，除非物系的情況有變，這些終點是不變的。對於化工過程，物系的平衡關係具有重大的實際和理論意義，因為平衡為物系變化的終點，任何物理或化學過程的設計不能在一定情況之下，逾越此範圍，否則變化則為不可能。

物系的反應速率 平衡關係表示物系變化的終點，亦即變化的最大限度，但物系變化的快慢不決定於物系的平衡數值，而為多種因素所影響，惜乎我們對於支配物系反應速率的各種定律，所知不夠明確，殊難寫成一種廣泛應用的數學公式，但在化工製造過程中，時間因素，常較平衡關係為重要，因此，一個實際可行而近似準確的辦法，係以推動力與阻力來表示物系的變化速率，當物系的變化在終點時，推動力為零，反應速率亦為零，當物系的變化尚未臻於終點時，變化繼續存在，其速率確定於推動力與阻力的情況，例如，冷體與熱體接觸，由於二物體間的溫度不同，熱能發生流動現象，此現象繼續存在，直至二物體的溫度相等，此時，溫度差為零，推動力為零，熱流停止進行，謂二物體已達到於熱平衡，推動力僅表示流動的方向和流動的可能與不可能，不表示時間的必要問題。此則有賴於對於抵抗熱流的阻力情況而定，今設於盛有某一粘滯液體的大桶中，裝置蒸汽管，管內通以蒸汽，倘不加攪拌，則需要極長的時間方可使粘滯的溫度與蒸汽的溫度相等，但若加以猛烈攪拌，則達到平衡的時間可能僅為原用時間的十分之一，攪拌降低了抵抗熱流的阻力，故縮短了時間，同理，在流體流動，電力輸送，物質擴散等變化中，均可採用推動力除以阻力的辦法，以解決物系變化中反應速率問題，也就是化工製

造過程中的生產速率和生產能力問題。

生產能力及生產成品率 生產能力為機械或器械設備的主要性能，以每單位時間進入物料的数量或所製成品的數量表示之，所用的時間單位為〔天〕，〔小時〕，〔日〕，所用的數量單位有下述三種：(1)重量單位，〔千克〕，〔噸〕，(2)體積單位，〔公升〕，〔立方公尺〕，(3)件數單位〔件〕，例如，水泥壓磨機的生產能力以每〔小時〕，〔噸〕或〔噸〕/〔小時〕滾珠輸送泵的生產能力以每〔小時〕，〔公升〕或〔公升〕/〔小時〕，塑料成品壓力的生產能力以每〔小時〕，〔件〕或〔件〕/〔小時〕表示之。

生產成品率係操作完成後，所製成品數量與輸入原料數之比，成品率往往以百分率表示之。由於製造消耗，成品率小於100%，顯然地，若比率愈接近於100%，則操作也更完善，原料的消耗愈少，成品的價亦必低。若生產過程由數個步驟所組成，而其中每個步驟都有其成品率，則整個過程的成品率為各個步驟成品率之積。

功率及效率 功率為每單位時間內，某機械或器械消耗或獲用之功，通常以〔千瓦〕或〔馬力〕表示之，效率為有效功率及實際消耗功率之比，因實際消耗功率包括了各項損失的計入，故效率是永遠小於1，其愈近於1者，表示該機械或器械的操作，愈近於完善。

4. 化學工程的基本計算法

物料平衡及熱量平衡 物料平衡及熱量平衡的意義，已如前述，此兩種平衡方程式為一切化工計算的基礎。在實際操作過程中，物料的損失永遠存在，熱量的損失，亦永遠存在，故在物料及熱量的平衡方程式中，此項損失包括在內，如(I) (II)兩方程式所示：

$$G_1 = G_2 + G_3 \quad (I)$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 \quad (II)$$

其中 G_3 及 G_5 分別代表物料及熱量的損失數項， G_1 及 G_2 代表物料(的)進料及出料數項， Q_1 、 Q_2 、 Q_3 代表熱的輸入數項，而 Q_4 代表熱的輸出數項。

在某些平衡計算中，損失數項較小， G_5 或 Q_5 可以忽略不計，(I)(II)兩式變為

$$G_1 = G_2 \quad (\text{I甲})$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 \quad (\text{II甲})$$

在應用時，學者必須掌握計算的整體，認清平衡的施行範圍，列出輸入及輸出數項，從已知項，以求未知項。一般言之，物料中有若干未知項，必須建立若干數量的方程式。若過程中有化學反應式存在，則以清算化學元素的進入和輸出，較為便利。物料平衡與能量平衡的應用範圍頗為廣泛，有的簡單明瞭、一目了然，有的路線複雜，需費思索、殊難加以類別。下列數例，說明一些情況：例題(I)表示一般的物料及能量平衡式，例題(II)表示在物料平衡中，物料有損失，例題(III)表示物料流程的多數性，例題(IV)表示在物料平衡中，有化學變化發生。

例題(I)：有一蒸發器將10%的有機膠液溶液蒸濃至50%，加熱器內蒸汽溫度為 120°C ，溶液的沸點溫度為 50°C ，溶液的比熱為0.9 [卡]/[公斤] $^{\circ}\text{C}$ ，蒸汽凝液的出口溫度為 110°C ，飽和蒸汽的潛熱在 120°C 時為525.6 [卡]/[公斤]，在 50°C 時為568.4 [卡]/[公斤]，進料的速率為20,000 [公斤]/[小時]稀釋溶液，溫度為 20°C 。此蒸發器具有散熱外衣，損失於外界的熱可以忽略不計，問每小時水的蒸發量和蒸汽的消耗量各為若干[公斤]？

解：此題用物料平衡以求水的蒸發量，能量平衡以求蒸汽的消耗量。

計算基準：1 [小時]

物料平衡式列如下表

	進 料	出 料	
	溶液[公斤]	溶液[公斤]	蒸發水量[公斤]
有機膠液水	2,000	2,000	—
水	18,000	2,000	16,000
總 數	20,000	20,000	

在計算熱量平衡時，以溶液的沸點溫度 50°C 為計算基準，今以 W = 蒸汽消耗量、熱量的輸入與輸出如下：

(甲) 輸入熱量 [千卡]：

$$(1) \text{ 蒸汽引入的潛熱和顯熱} = [525.6 + (120 - 50)]W = 595.6W$$

$$(2) \text{ 溶液引入的顯熱} = 20,000(0.9)(20 - 15) = 5,400,000$$

(乙) 輸出熱量 [千卡]：

$$(1) \text{ 蒸汽引出的潛熱} = 16,000(568.4) = 90,940,000$$

$$(2) \text{ 濃縮溶液引出的顯熱} = 0 \quad (\text{因濃縮至基準溫度放出})$$

$$(3) \text{ 蒸汽凝液引出的顯熱} = (110 - 50)W = 60W$$

在熱平衡中輸入量等於輸出量，

$$595.6W + 5,400,000 = 90,940,000 + 60W$$

$$\text{蒸汽消耗量 } W = 18,600 \text{ [公斤]/[小時]}.$$

例題(C)：有重 5000 [公斤] 的 31% Na_2CO_3 溶液，慢慢冷至 20°C ，析出 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 大蘇打結晶體，在 20°C 時，大蘇打的溶解度，以每水化台表示，為每 100 份水溶解 21.5 份 Na_2CO_3 ，在冷卻過程中，由於自然蒸發，原有水變損失了 5%，問由溶液中析出的大蘇打結晶體為若干 [公斤]？

[解]：此題屬物料平衡問題，輸出之 Na_2CO_3 等於大蘇打結晶體中的 Na_2CO_3 及殘留母液中的 Na_2CO_3 。今以 x = 結晶體的重量，溶液中損失了 5% 的水，則餘水及 Na_2CO_3 量 = $5000 - 5000(0.05)(0.69) = 4828$ [公斤]， Na_2CO_3 的分子量 = 106， $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 的分子量 = 286， Na_2CO_3 的物料平衡式，為

$$5000(0.31) = \frac{106}{286}x + \frac{0.215}{1.215}(4828 - x)$$

$$x = 3620 \text{ [公斤]}，\text{則析出 } \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \text{ 結晶體量。}$$

例題(D)：某硝化部廢酸，經行新後，知其含有 23% HNO_3 、57% H_2SO_4 及 20% H_2O ，現以重量計算，現擬滲入 93% H_2SO_4 及 90% HNO_3 以配製含 27% HNO_3 和 60% H_2SO_4 之混合酸，試問製備每 1000 [公斤] 的混

合酸，需用若干[公斤]的廢酸與濃硝酸和硫酸？

[解]：此題為一物料平衡問題，因物料較複雜，有三項未知數，即廢酸，濃硝酸與濃硫酸，今分別以 x, y, z 代表需用廢酸，濃硫酸與濃硝酸的重量。

計算基準：1000[公斤]混合酸，則

$$\text{物料總平衡} \quad x + y + z = 1000 \quad (1)$$

$$\text{硫酸平衡} \quad 0.57x + 0.93y = 1000(0.60) = 600 \quad (2)$$

$$\text{硝酸平衡} \quad 0.23x + 0.90z = 1000(0.27) = 270 \quad (3)$$

解上述(1),(2),(3)三聯立方程式，得 $x = 418$ [公斤]， $y = 390$ [公斤]， $z = 192$ [公斤]，即需用之各酸數量。

此項計算結果，可用水的平衡式証實之。查稀製之混合酸中，有27% HNO_3 ，60% H_2SO_4 ，水佔13%，即1000[公斤]中應有130 [公斤]的水。此水必須來自 x, y, z 各酸中，故水的物料平衡式為

$$(418)(0.20) + (390)(0.07) + (192)(0.10) = 1000(0.13) = 130.$$

兩側的數值俱為130 [公斤]，証明此結果係屬正確。

例題(四)：由焦炭製得之發生爐氣有：28% CO ，3.5% CO_2 ，0.57% O_2 及 68% N_2 ，均以體積計算，今將此發生爐氣以20%的過量空氣燃燒之，設燃燒僅98%完全，試問燃燒每100 [公斤]之發生爐氣，所需之煙道氣的成份及其重量如何？

註：查 CO 經燃燒後變為 CO_2 ，其所需的理論 O_2 數值為0.5 O_2 ，但實際用供燃燒的數量必超過此數，今超過之數值與理論數值的百分率稱為過量空氣百分率，例如1個[公斤分子]的 CO ，需用0.5 [公斤分子]的 O_2 ，倘以20%過量空氣燃燒，則實際所用 O_2 為0.6 [公斤分子]，其中有0.1 [公斤分子]的 O_2 為過量空氣。此過量空氣的計算係基於完全燃燒的情況。設燃燒不完全，即有一部分之 CO 未曾燃燒，過量空氣的計算仍為0.1 [公斤分子] O_2 ，與燃燒之完全與否無關。

[解]：此題為一物料平衡問題，其中雖有化學變化，計算的原則則一，惟所用單位以分子單位為便。

計算基準： 100 [公斤分子] 發生爐氣：

組成	分子量	分子百分數	重量 [公斤]
CO	28.0	28.0	$28(28) = 784$
CO ₂	44.0	3.5	$3.5(44) = 154$
O ₂	32.0	0.5	$0.5(32) = 16$
N ₂	28.0	68.0	$68(28.2) = 1917$
		100.0	2872

O₂的物料平衡

$$O_2 \text{理論需要數} = (0.5)(28) = 14.0 \text{ [公斤分子]}$$

$$O_2 \text{在發生爐氣中原有數} = 0.5$$

$$\text{淨餘 } O_2 \text{要求數} = (14 - 0.5) = 13.5$$

$$O_2 \text{來自空氣數} = (13.5)(1.20) = 16.2$$

$$O_2 \text{用去數} = 0.98(28)(0.5) = 13.7$$

$$O_2 \text{在煙道氣中數} = 16.2 - 13.7 = 0.5$$

碳的物料平衡

$$C \text{發生爐氣中原有數} = 28 + 3.5 = 31.5 \text{ [公斤分子]}$$

$$C \text{煙道氣中CO所有數} = 0.02(28) = 0.56$$

$$C \text{煙道氣中CO}_2 \text{所有數} = (31.5 - 0.56)$$

氮的物料平衡

$$N_2 \text{發生爐氣中原有數} = 68 \text{ [公斤分子]}$$

$$N_2 \text{來自空氣數} = (79/21)(16.2) = 60.9$$

$$N_2 \text{煙道氣中} = 128.9$$

根據上述結果，則燃燒 100 [公斤分子] 發生爐氣所需煙道氣的公斤分子數組成百分率如下表

組成	[公斤分子]數	[分子百分率] %	重量 [公斤]
CO ₂	30.94	18.92	1359
CO	0.56	0.34	15.7
O ₂	3.0	1.84	96.0
N	128.9	78.9	3637
	163.4	100.00 %	5107.7

100 [公斤] 干基生炉氣重 2872 [公斤]，所產的煙道氣重 5107.7 [公斤]，故每 100 [公斤] 生炉氣所帶煙道氣的重量為 $(100) 5107.7 / 2872 = 178$ [公斤]。

計算基準 在化工計算中，無論計算的繁簡程度如何，皆須有一指定的計算基準，且須將此項基準在解題前鮮明標出，此項基準的選擇通常取用，物料流程中進料或出料的某一適當數值，此項數值通常以整數為便利，如 1 或 100 或 1000，基準確定後，計算由此開始，一切圍繞此數值進行，至於終結、例如，例題(四)以 100 [公斤] 干基生炉氣為計算基準，一切計算圍繞此 100 [公斤] 干基，直至最後，以一簡單比率導出該題要求的答案。

因物料的分析通常以百分率表示，故數值 100 為常用的計算基準，其量並視各個計算的具體情況而定。一般言之，設物料分析為氣體分析，計算單位用 [公斤] 干基單位，設分析重量百分率，則用 [公斤] 或 [克]。選用 100 或其他整數的優點，在於使計算清晰明確而且可省却較長的數學計算，除以物料為計算基準外，亦有採用時間者，如例題(一)即係以 1 [小時] 為計算基準。此外，因計算簡單亦有不用整數，而即以物料的進料或出料為基準者，如例題(二)及例題(五)。

在很多情況下，物料在進料和出料方面的分析結果常以不同的基準表示，不能直接比較，故計算時必須尋出物料流程中一個不大變化的共同組成，而將上述的分析結果基此共同組成，依出共同基準、例如，在某一乾燥中，物料的進料水份為 60%，出料水份為 30%，問每產生 1000 [公斤] 的成品，需要蒸發水量若干 [公斤]？一般的初步想法認為物料中水份的去除，由 60% 降到 30%，水份去掉一半，此種想法係屬錯誤，因水份 60% 基於物料的進料，而 30% 基於物料的出料，在進料與出料間，水份發生變化，基準不同，不能直接互減，在此流程中，能依共同基準的不變化的共同組成為物料的乾料本質進入時，每 1 [公斤] 乾料含有水份 $60/40 = 1.5$ [公斤]，離去時含有 $30/70 = 0.428$ [公斤]，故每 [公斤] 乾料所損失的水份為 $1.5 - 0.428 = 1.072$ [公斤]，1000 [公斤] 成

品有乾料 $1000(0.7) = 700$ [公斤]，故水份的萎養量為 $700(1.072) = 750.4$ [公斤]。上述原則適用於一切單一流程或單一情況，如氣體吸收，物料的浸取，溶液的濃縮等。

在複雜的流程中，上述原則亦可適用，因每一流程中，各有其共同基準。流程與流程之間，亦可尋出共同組成關係，依此基準。例如，在煉鉄爐中，固體物料如鉄礦，焦炭、石灰石等自爐頂加入，在爐底流出，作為兩個支流，生鉄與炉渣，是為固體流程。另一方面，熱空氣自爐底通入，經作用後自頂端流出，構成氣體流程。空氣與煉鉄爐氣間的共同組成是氮氣，固體原料與生鉄間的共同組成是鉄，而氣體與固體流程間的共同組成關係為碳或氧，二者俱係由固體流程入於氣體流程。

從 2，計算基準的目的在使計算應簡明，至於基準的選擇與應用一般則在流程中不受變化而物質為對象。前述四例題說明了一些情況，茲再舉一簡例以示共同基準的應用問題。

例題(3)：某化工廠以人民幣 14,500.000 購煤一批計 80 噸，其近似分析成分為 55%，揮發物 22.5%，固定碳 63.0%，灰分 9%，以後該廠與礦商訂立長期供應合同，議定以上諸成分及價格為供煤交付價的標準，且雙方同意，若所供應之煤成分可變，可按該煤的可燃物成分付價。一月以後，該廠得煤一批，計 120 噸，其成分為水分 7%，揮發物 10%，固定碳 59.5%，灰分 14.5%，問該廠應付此批煤價若干元？

解：計算基準：100 [噸] 議定成分煤。

此煤所含可燃物，包括揮發物及固定碳，為 $22.5\% + 63\% = 85.5\%$ ，故議定時的每噸物價值為

$$\frac{14,500,000(100)}{(86)(85.5)} = 213,000 \text{ [元]/[噸] 可燃物}$$

現時運到之煤僅含可燃物 $10\% + 59.5\% = 69.5\%$ ，每噸煤價值計為 $(0.695)(213,000) = 147,500$ [元]/[噸]煤，共應付 $120(147,500) = 17,700,000$

[元]。

常用的物理和化學定律

氣體定律 一定數量的理想氣體在不同溫度和壓力情況下，所佔體積，可以下列方程式表示之。

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (\text{II})$$

式中 p 為壓力， V 為體積， T 為絕對溫度， m 為氣體的重量 M 為氣體的分子量， R 為一常數，稱為氣體常數，對一切氣體均相等，方程式 (II) 適用於理想氣體，故稱為理想氣體定律，但在一般的工業情況下，即壓力不太大，溫度不太低對於多數的氣體或蒸氣，(II) 式均適用，因為 m/M 之比，等於氣體的分子數 n ，故 (II) 式亦可書寫

$$pV = nRT \quad (\text{III})$$

R 之值隨 p, V, T 所用單位而異，下表舉示幾種常見 R 的數值以供參攷：

p 的單位	V 的單位	T 的單位	分子單位	R 的數值
大氣壓	立方厘米	開氏溫度 °K	克分子	82.06
大氣壓	立方公尺	"	公斤分子	0.082
[公斤] / [平方厘米]	立方公尺	"	公斤分子	0.0848
大氣壓	立方英尺	華氏溫度 °R	磅分子	0.729
[磅] / [平方英尺]	立方英尺	"	磅分子	10.71
[磅] / [平方英尺]	立方英尺	"	磅分子	15.43

倘以 p 為 1 [大氣壓]， T 為 0°C 即 273°K ，据此應用理想氣體定律，求出每 [克分子] 所佔的體積 v ，稱為標準情況下的克分子體積，即 $v = nRT/p = (1)(82.06)(273)/(1) = 22410$ [立方厘米]，或 22.41 [公升]。設 n 的單位為 [公斤分子]，則在標準情況下，每 1 [公斤分子] 氣體的體積為 $V = nRT/p = (1)(0.082)(273)/(1) = 22.41$ [立方公尺]。此項 22.41 [克分子] 或 [公斤分子] 體積為所有理想氣體在標準情況下的共同數值，與氣體的種類無關。