

大專用書

化工廠設計

編 著 者

陳伯寬 錢建嵩

(全一冊)

興業圖書股份有限公司

大專用書

化工廠設計

編 著 者

陳伯寬 錢建嵩

(全一冊)

興業圖書股份有限公司出版

版權所有・翻印必究

中華民國六十四年三月一版

化工廠設計

全一冊 基本定價四元

編 著 者：陳 伯 寬 · 錢 建 嵩

發 行 人：王 志 康

內政部登記證內版台業字第一七九四號

出 版 者：興業圖書股份有限公司

發 行 所：興業圖書股份有限公司

臺南市勝利路一一八號

電 話：五 三 二 五 三 號

郵 撥 南 字 三 一 五 七 三 號

學校團體採用購買另有優待

序

現代的工業社會，一個成功的化學工程師除了需要具備專門知識外，對於其他相關的學問也要有所瞭解，且必須有能力將其學識應用於實際操作，俾有利於社會。例如，設計化工廠時，除了對化工方面的基本知識必須充分了解外，還須會運用經濟學上的理論和方法，以求得最經濟有效的設計。

本書的目的即提供讀者有關化工程序上的設計及經濟原則，前幾章就工廠設計有關的重要因素及設計工作上常用的經濟法則加以介紹，後半部份係說明工廠中常用設備的設計方法，並附有一些成本數據以供成本估計之用。因限於篇幅，無法包括各種不同的化工廠設計，本書的主要目的僅在於介紹化工廠設計中的基本原則、一般概念及方法，適用於大專化工科，大學化工系和化工界從業人員作為課本或參考之用。

筆者學疏才陋，錯誤之處，在所難免，尚望專家學者不吝予以指正。

編者 謹識

六十四年二月

目 錄

第一章 緒 論

1-1	引 言	1
1-2	工廠設計之步驟	2
1-3	影響利潤之因素	3
1-4	工廠設計與現實環境	4

第二章 工廠設計之基本概念

2-1	程序設計之開展	7
2-2	工廠位置	10
2-3	工廠佈置	12
2-4	工廠之操作與控制	23
2-5	水電設備	24
2-6	結構設計	26
2-7	物料之儲存與輸送	28
2-8	廢物處理	31
2-9	工業安全	35
2-10	專 利	38

第三章 工廠經濟

3-1	投資與成本	42
3-2	投資額之成本因素	54
3-3	預計投資額之方法	65
3-4	產品成本之計算	74
3-5	利息與投資成本	85
3-6	稅與保險	91
3-7	折 舊	94

第四章 最佳設計

4-1	決定最佳狀況之一般程序	103
4-2	最佳操作產率	108
4-3	循環操作的最佳狀況	112
4-4	最佳管徑設計	120
4-5	冷凝器中冷却水最佳流量	126
4-6	最佳回流比	129
4-7	線性計劃	135
4-8	決定最佳狀況之其他數學方法	143
4-9	設計報告	145

第五章 流體輸送設備之設計與成本

5-1	管路系統	152
5-2	流體輸送動力之計算	166
5-3	泵	180
5-4	流量測定設備	195
5-5	儲槽設備之設計	197
5-6	過濾器	198

第六章 熱傳送設備之設計與成本

6-1	熱傳送的基本理論	212
6-2	熱傳送的總係數	215
6-3	熱傳係數的決定	220
6-4	熱交換器的壓力降	223
6-5	選擇熱傳送設備時應考慮的事項	236
6-6	熱傳送設備成本	243
6-7	熱交換器之最佳設計	247
6-8	設計熱交換器的一般方法	257

第七章 質量傳送設備之設計與成本

7-1	定級接觸器與連續接觸器之區別	260
7-2	定級接觸器—板塔	261
7-3	連續接觸器—填充塔	282
7-4	板塔與填充塔優點之比較	295
7-5	質量傳送設備的成本	296

第八章 化工設計案例

8-1	引言	304
8-2	摘要和結論	304
8-3	程序說明	305
8-4	計算步驟	308
8-5	計算範例	309
8-6	計算結果與規格	353
附錄一	利息表	356
附錄二	常數及單位換算	369
附錄三	氣體黏度	371
附錄四	液體之密度	374
附錄五	水之密度、黏度、熱傳導度	379
附錄六	固體之熱傳導度	380
附錄七	液體之熱傳導度	382
附錄八	氣體熱傳導度	383
附錄九	一大氣壓下氣體之熱容量	384
附錄十	液體之熱容量	385
附錄十一	液體之比重	386
附錄十二	固體之比重	387
附錄十三	飽和蒸氣壓之特性	388
附錄十四	冷凝器及熱交換器管之規格	390
附錄十五	鋼管規格	392

第一章 緒論

1-1 引言

自古以來民生日用即與化學工業無法分離，釀酒可認為是人類最早所瞭解的化學技術，當人類開始邁入農業社會，即已知道將多餘的穀類釀造成酒，以供飲樂之用，四千年前儀狄作酒，禹飲酒而甘之，可想見當時釀造技術與成品的優良，陶瓷、髹漆、染色的技巧，秦、漢之時即有可觀的成就，明清時代更趨成熟，東漢蔡倫製紙，更是歷史上的一大發明，羅馬人的煉金術，提供了不少化學方面的知識，阿拉伯人在冶金、玻璃、醫藥方面的技術，於八世紀至十二世紀間，獨步世界。隨着文明的進步，化學製造業愈趨發達，自石油化學工業興起後，化學工業與民生關係更形密切。

最早期的製造業以家庭為主，生產用品以滿足全家人需要，由於社會分工的作用，進入手工生產時期及茅舍生產時期，產品不專供自用，而係以生產供應顧客為主，十八世紀前的生產方式，大多以手工為主，工具只限於很簡單的原始機械，因此無法大量生產，管理的方式，憑管理者的主觀、經驗處理一切事務。工業革命的發生，促使生產方式改進，機械代替手工，產量大增，資本家開始組織勞工、機具，從事大規模的生產，工廠制度應時而生。本世紀初，工廠制度已成大多數人民的生活方式，工廠的組成因素亦愈為複雜，勞工、原料、市場、生產方法、廠房、設備、管理、資金等項，均為設廠前必須考慮的因素，設計工程師所擔當的責任亦更為重要。

化學工程設計包含三部份：工廠設計、程序設計及產品設計；就化學工程師而言，工廠設計與程序設計為經常遭遇的課題。大體而論，化工廠或化工程序設計可分為兩類：(1)未有初步的計畫，直接以多

次的試驗與修正而建立。(2)為某一特定之目標而從事設計，以科學的方法，簡化生產過程，節約空間、原料及能源。第一類者，多屬小型工廠，其生產程序簡單，操作簡易，但以經濟眼光而論，並未能使資本盡最大的利用價值，且不合科學化、合理化的原則。第二類者，其裝置的選擇與佈置，均依據空間的限制、製造程序、廠房位置及未來的擴建計劃，做一合理而詳盡的安排，以求資金能獲得最大的利用價值。

今日的經濟結構，已形成市場引導工業的局面，產品設計所佔地位頗重，為引導工業發展的主力，產品設計師將其構想，經過一番思慮，表現於藍圖之上，再經過一連串的試驗，從事材料試驗、摩損試驗、模型試驗，方才開始程序設計的工作。由於電子儀器廣泛應用於工廠中，減少了人力的需要，並使操作更加容易、精密，提高產品的品質，顯著的降低了操作費用。

1-2 工廠設計之步驟

一個成功的化學工程師，除了須具備與工程相關的學識，如熱力學、動力學、計算機語法，尚須有能力將這些知識應用於實際，以期對社會有所裨益，而其所具之經濟意義，亦須為工程師們所深切瞭解。

工廠設計中，化學工程師所負的任務，主要為預計原料用量、產品生成速率、製造過程及貯存期中物料所接受的處理，將所學的知識，如質能平衡、熱傳送、分離程序、熱力學、化學平衡、觸媒催化作用、動力學等，應用於實際操作中，此外，尚須估計每一單元操作所需之操作費用，在工程尚在繪製藍圖階段前，設計工程師不但要確知市場上原料價格，還要估計單位原料在每一單元操作中所需之製造費用，根據這些資料，以估計建廠所需之資本。

設計一個新廠或是擴充、改裝一原有舊廠時，工程師除了運用工程上的學理外，還須顧及現有之工業狀況，及環境所給予的限制。由構想發展至建廠完成，且有利可圖，在這段過程中，確實蘊存著無數

複雜的問題，為達成工廠設計的目標，通常是經由下列步驟：

1. **動機**：由於顧客的要求、遭遇到競爭性的商品、或是研究部門發展出一新產品，均可能引導出設計新的製造程序或建立新廠的構想。

2. **市場調查**：從事基本數據的收集與整理，以瞭解供需關係，配合當前之經濟指標，預測新產品在市場的需要量、供求條件、競爭因素及市場飽和度，以決定建廠案件為廢棄、執行或代替以其他方案。

3. **實行可能性及經濟性之檢討**：建廠之目的在求取合理之利潤，依據經濟學法則，估計生產成本及可能獲得之利潤，以判斷方案是否有繼續執行之價值。

4. **工程設計**：決定建廠之後，即開始收集建廠之必須資料，並做詳細之計劃，內容包括廠地選擇、工廠佈置、地基、排水設施、管線及泵之裝配、廢物處理、廠房設計、動力、機器選定及建廠前的成本概算。

5. **建廠**：計劃擬定後，即開始鳩工庀材，以迄於成。

6. **試車**：建廠完成，尚須經過一段試驗階段，從事校正工作，直至機器運轉順利，產品的品質達到標準，方算大工完成。

以上各步驟中，包含甚多的專業技術；研究發展、市場分析、機械設計、成本計算、計算機程式及廠地測量等，無論是工程師、工廠顧問或是高階層決策人物，均須對此有深刻的認識，方能使工作順利開展。

1-3 影響利潤之因素

廠商的營運方針，以追求長期的高利潤為最終目標，其從事謀利所憑藉的生產工具、土地、金錢，均可稱為資本、其中以現金最具轉換性，易於變換為其他形式的資本。將一筆金額投資於某項固定設備，隨之而來的負荷包括保險費、稅、折舊 (*Depreciation*)、利息及操作維持費，同時亦降低了公司未來營運的彈性，所以一項固定投資

的決定，必須是非常謹慎而小心。

當一製造企業決定某項投資後，通常會預計於某一段時間內，收回所投資的金額，其收回之速率，稱為資金報酬率 (*Rate of Return on Investment*)，視其投資時所假定的投機性而定，投機性的程度與所採用的製造程序是否完美、產品為基本用品或完全嶄新的商品、銷售性質為內銷或外銷，均有相當大的關係，通常投機性大的投資，可獲暴利，但生命期很短，為求成本計算上的方便，常將投資的投機程度與可預期利潤合併計算，但此事殊非容易，且不易做到完善的程度，對於投機性大的投資，提高其報酬率，是最通常的方法。

將現款存入銀行生利息，或轉換為某種生產工具以從事生產，皆可視為一種投資行為，現款將因利息的累積而增加其資本額，但生產工具將因長期的運轉而降低其價值，此現象稱為折舊，將於第三章中討論。

稅額的扣除，亦為降低利潤的一大因素，尤其是在高累進稅率的國家中，營業額大幅度的增加，並不能使盈餘亦有同等的生長率，大企業所受的影響較小企業為巨。

保險費用的付出，通常視為投資行為中的維持費，但亦有以獨立地位對待之，在整個營運行為中，它只佔很小的比例，故其影響亦甚微。

1—4 工廠設計與現實環境

現實環境所給予的限制，常是不可忽視而必須牽就的，以管路設計為例，由數學計算而求得最佳管徑，並不意味著實際工程中將採用此種尺寸的管子，工程中所採用的管子，大都直接由市場採購，所以管徑必須合於管子製造廠商所訂的標準規格，另行定製特殊規格的材料，亦屬可能，但價格則大為提高，殊不合經濟原則，基於此項理由，依據數學計算求得的最佳規格，常須向市場上的標準規格讓步，假設由計算而得的最佳管徑為 3.43 吋，市場上接近此值的管徑為 $3\frac{1}{2}$

吋及 3 吋兩種，雖 $3\frac{1}{2}$ 吋較接近理想的規格，但投資額與維持費方是主要決定因素，管徑小則投資額小，但維持費則高，通常兩者投資額間之差距較維持費間之差距為大，故在此種情況下通常採用管徑小者。

廠房建築及機械裝置的設計，應使物料在製造程序中，移動的距離及接受處理的次數，達最低程度，以降低製造費用。設計中所遭遇的困擾，大多集中於物料的輸送、熱能的傳送及反應器設計，其他尚須考慮的因素為防火、防爆、化學品對廠房及機械的腐蝕作用、工人健康、員工福利、動力節約、增產等。

在決定工廠佈置時，須注意到一些儀器的位置，控制閥的裝置點，務使操作員易於操作。各機械裝置須有足夠的空間，以使維護人員便於檢查、修理，機械的拆卸、裝換及清潔是工廠中所不可少的作業之一，必須有充分的空間以供人員行動，空間的大小，則視所選用的機械而定，清洗套管式的熱交換器，只須將清潔劑以泵通入套管即可，不需很大的活動空間，而管殼式的熱交換器，則需較大的空間，以便將其中之管束取出，大型的加熱器，尚須藉起重機之助，方能完成。工廠中除了主要的生產設備，輔助的設備如檢查儀器、清潔工具、修理設備，亦有購置的需要，平時的維護費，對工廠而言，是一項不輕的負擔，高度工業發展的國家中，有專業的修護公司，故一般工廠可減少修理設備的購置，節省一筆額外的支出，台灣雖亦有此類的工廠，但對於一些大型而特殊的工廠，仍有設置修理工廠的需要，無形中升高了製造成本。

市場上材料價格的波動狀況，亦為設計師所必須注意的一件事，材料的選擇常隨價格的波動而改變，以求經濟地使用資本。

為證實所作的設計工作正確，常有試驗工場 (Pilot Plant) 的設立，所謂試驗工場，即為一具體而微的模型工廠，供實驗用，以求得更精確的數據，由於電子計算機技術的進步，如今此種工作，部份可由計算機承擔，短時間內即可得到所需的資料，而且費用較試驗工

場爲低。

工程師所作的設計必是基於某些假設，而這些假定與事實常有某種程度以上的誤差，於是所作的理想情況下的設計，與事實必有所出入，爲修正此種差距，將理想設計乘以大於一的係數，對泵、蒸餾塔、萃取塔設計所乘之係數，以操作係數稱之，對安全結構強度所乘之係數，以安全係數稱之，係數的選擇，可藉實驗、前例及文獻而決定，係數的選定甚爲重要，數值過小，則無法達到預期的效果，且安全堪憂，數值過大，則造成資金的浪費。

在著手設計至建廠完成的期間中，一些意外事件的發生，如物價波動、天然災害的發生、果一些人爲的意外事件，將使建廠費用增出一筆額外的支出，及建廠期間的延長，而意外事件的發生，幾乎是不可避免，工程師必須思慮及此，將建廠費的預算略爲估高，施工期較理想狀況爲長，同時應預計一筆資金以供意外開支，以免建廠未完，而已超出預算，發生周轉不靈現象，此爲商家大忌，亦是每一工程師所應留意的一點。

第二章 工廠設計之基本概念

設計工作進行中，所需考慮的各要素，以成本與利潤佔優先地位，單獨機械裝置的設計亦具有相當的重要性，除此，尚有一些項目為我們所不能忽視，如工廠位置、工廠佈置、工廠操作與控制、水電設備、廢物處理、結構設計、物料輸送、貯存、專利、工業安全等，將於本章一一述之。

2-1 程序設計之開展

依據設計工作所需的精確度與細節，可分為三種類型：

1. 初步設計 (**Preliminary design**) 以近似的方式決定整個製造程序，成本費用的估計也是不甚精確，整個計劃中幾乎沒有任何細節可言，使用於計算方面的時間亦降低至最少程度，初步設計之目的是為決定更進一步所應做的工作。

2. 詳細設計 (**Detailed-estimated design**) 詳細地分析與計算成本及利潤，但對於機械裝置的規格，却無明確的規定，圖樣繪製工作亦是減至最低程度。

3. 最終設計 (**Firm process design**) 工廠中各部門設備的規格，均有詳細且明確的規定，根據各設備的價格，對建廠成本做一正確的估價，將所作的設計製成工程藍圖，並加以充分的資料說明，以便立刻著手建廠計劃。

在設計工作尚未開始之時，先就技術能力與經濟價值兩點，研判此計劃之成功可能性，根據下列各項，以判斷計劃之可行性。

1. 原料之來源、品質、供應量及運輸費用。
2. 反應器中，反應物與產物之化學性質及物理性質，彼此間之平衡關係、產率、最佳反應狀況。

3. 建築材料。
4. 產品價格與投資額之估計。
5. 市場之供需關係，人民之購買習慣，產品與副產品之現在用途及新用途，可能之銷售對象及其數額。
6. 可能獲得的利潤，資金報酬率，銷售量。
7. 現時可資利用的設備。
8. 必需購置的設備。
9. 安全設施。
10. 與其他性質相似商品的競爭性，競爭性視其品質與製造成本而定。
11. 儲存期對產品的影響。
12. 銷售方式，廣告宣傳及售後服務。
13. 產品運銷之方式及包裝。
14. 工廠位置。
15. 商品之專利權及法律所給予的限制。

具備了充足的資料，可行性分析與初步設計即可同時進行，在初步設計著手之前，工程師須先確定一可行之製造程序，通常一種產品可由多種不同的製造程序製造，除了顯而易見的不良製造程序，否則，每一種程序均須予以考慮。

初步設計的第一項準備工作，係確立設計工作所需的基準 (*Bases for design*)，除了產品及原料的規格，冷却用水之溫度、使用的蒸汽壓、燃料種類、副產品價格、全年操作日數等項，均對設計方案有莫大的影響力。第二步驟係將整個製造程序以一簡單的流程圖表示之，並確定製造程序中所需的各項單元操作設備，依據流程圖及已確定的操作條件：反應物與產品之性質、反應速率、產率、操作週期，做初步的質能結算，求出程序中各物流之組成、輸送量、溫度、壓力、焓、熱負荷，及固、液、氣三相的百分比。

單一機械裝置的設計，需利用單元操作及單元程序的原理，工廠

中常使用的設備，及設計工作中的主要細目、如下所述：

1. **蒸餾塔** 設計方案中，最基本的項目為塔板級數、操作溫度及壓力的決定，其次需要明確規定的為塔徑、塔板之排列方式、回流裝置、結構材料。

2. **容器、儲槽** 容量為最基本的設計項目，承受強度、結構材料、填充料、檔板的規格亦是不可少的，對液體與粉狀物儲槽的設計，其計算方式各不相同。

3. **反應器** 觸媒之種類、粒徑、媒床之型式、反應器之容量、熱交換性質、觸媒之再生、結構材料，均為設計要點。

4. **熱交換器、加熱爐** 熱負荷、校正後的對數平均溫差、蒸發百分率、所需壓力降、結構材料等項，均應有明確的規定。

5. **泵及壓縮機** 型式、耗用之動力、操作壓力與壓力差、輸送流體之比重及黏度。

6. **儀錶** 通常用於控制或指示操作狀況。

當各項設備均已確定，所需的水、電及勞工則可列表算出，根據以上資料，可估計出大略的投資額及產品成本。不論從事何種設計工作，經濟計算總是扮演非常重要的角色，選擇製造程序、決定操作狀況、原料及設備的購置，均須考慮此項因素，初步設計所做的成本估計，常可大大的幫助工程師淘汰一些不適宜的計劃。

詳細設計所需的一些主要數據，大多由初步設計所得的結果供給，在詳細設計尚未開始時，須先精確地確立下列各項：

1. 製造程序。
2. 質能結算。
3. 操作壓力及溫度。
4. 產品與原料之詳細說明。
5. 產率、反應速率。
6. 結構材料。
7. 水、電耗用量。

8 工廠位置。

根據以上諸項所得資料，可精確地估計投資額、製造費用、可能的利潤，至於一些細節，如建築型式、熱源、通風設施、光線、排水、廢物處理、安全設備等，亦須加以精心設計。

根據詳細設計所定的估價及結構型式，註明細節，加以整理，以完成最終設計，某些特殊定製的機械設備，須繪製詳圖並說明，以使機械製造商能夠按圖製造，工廠佈置、管路鋪設、儀錶安裝及其他細節，均詳細繪於藍圖中，再加上輔助說明，於是最終設計完成，即可馬上進行建廠計劃，最終設計之進行，需多種不同之專業技術，如建築、製圖、電工、土木等。

2-2 工廠位置

工廠的地理位置，對未來業務的發展具有深厚的影響，故選擇廠址須慎重其事，善加考慮各種因素，產品的運銷及地價為最基本的選擇要點，其餘的因素，如未來廠房的擴建及當地的民情風俗，亦甚為重要。

詳細設計之先，對於廠址之選擇，即須有一大概的構想，在詳細設計完成時，廠址就須有一明確的決定，影響廠址選擇的因素甚多，今擇其重要者說明如下：

1. 原料 原料的價格大都較為低廉，且在工廠中的耗用量甚大，長距離的運送，增加成本不少，殊不合經濟之道，於是原料來源成為了決定廠址的第一要素，工廠所在地通常即為原料產地，此項因素對大型工廠尤具影響力，除了原料產地至工廠之距離為一主要因素，原料之購買價格、運輸費、純度及貯存亦不可忽視。

2. 市場 中、小型工業之銷售量小，銷售網窄，且通常與市場產生直接的交往，將產品直接送至代銷商店或經中間人轉售於顧客，故市場的因素佔首要地位，許多工廠集中於大都市，正因於此，大型工業之銷售範圍廣，故廠址與市場距離的遠近，並無很大的影響。