

科學圖書大庫

工業用水處理原理

編譯者 莊碧陽 羅基煌

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會

監修人 徐銘信

發行人 陳俊安

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國七十一年三月廿二日初版

工業用水處理原理

基本定價 3.60

編譯者 莊碧陽 聯成石油化學公司技術組組長

羅基煌 台灣培芝公司技術服務經理

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。 謝謝惠顧

局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱 13-306 號

發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥帳戶第 15795 號

承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號

電話 9221763
9271575
9271576

電話 9719739

譯 序

隨著工業技術的發展，工業用水的處理日益重要，尤其是能源價格飛漲的今天，如何利用能源、節約能源，如何使每個單元操作在最高的效率便成為各工廠強調的課題。

在一個工廠內，爲了配合不同的用途水的形式往往有很多種，諸如廠用水、軟水、脫礦水、鍋爐飼水、鍋爐水、冷却水、冷凝水等等，這些水如果處理得當，將會在製程或設備上發揮它預期的功能，若處理不當，經常會造成腐蝕、沈積等的困擾，輕者影響操作效率，重者造成堵塞、停車或者設備破壞，這將意味著極大代價及成本的付出。因此，一個有水準的工廠，一個有眼光的主管，甚至一個工程師或操作員都必須具備這方面的知識和技術才行，這也就是本書編譯的目的所在。

本書乃在公餘之暇編譯而成，雖經再三校訂，疏誤之處，在所難免，尚祈諸位先輩及讀者，不吝賜正。

本書編譯期間深得聯成石油化學股份有限公司虞廠長和允，王副廠長錫津的鼓勵，以及工程師柯衣紹、徐嘉勉、吳清輝、謝狄能等人的協助，乃能順利完成，在此謹誌謝忱。

莊碧陽 謹識於

聯成石油化學股份
有限公司林園廠

原 序

正如其他科學和工程的領域一樣，工業用水處理的藝術，經過漫長時間的推移，其發展的成果已逐漸被接受而廣泛地付諸實際應用。例如冷却水處理使用聚磷酸鹽及鉻酸鹽混合藥劑來抑制腐蝕早在1940年代末葉已被引進使用；利用聚電解質作為懸浮物質的凝聚劑在1952年發展出來而實質地改善了水處理凝集沈澱的過程。到了1960年初期，EDTA及NTA已被利用來作為蒸汽鍋爐的結垢抑制劑；1965年，由於有機磷酸鹽的開發，作為抗核化劑以控制結垢，則更為冷却水處理開拓了一個新的境界。

這許多新的發展，每一項均在工業用水技術方面反映出強烈的需求下而產生的。當然這些處理藥劑的成本、設備的建造以及人工費用將愈來愈高，然而新的處理技術却可克服工業上許多實際面臨的難題：它可產生高壓高溫的蒸汽，在冷却水系統中可減少污塞及腐蝕的設計因素，在沈澱及過濾設備則可提高能力，同時，這些新的發展成果也一個個地派上用場，其已確立之原理則繼續接受考驗，精鍊並擴展中。

然而工業用水處理所面臨的難題除了成本的增加之外，最重要的莫過於環境污染及能源的問題。對一個現代化的工廠而言，將是生動力與廢熱回收的新技術與觀念傳授給操作人員是必要的。這些技術原僅應用於大型的蒸汽動力廠，而現在的情況則有些不同，由於能源的危機有增無減，而操縱未來工業生命的兩項事實——產生動力及廢熱回收，其效率有賴於較高的蒸汽壓力與溫度及更複雜的蒸汽產生系統。這些系統在技術上的需求將遠超過一般工業蒸汽產生設備的數十倍。

在未來的歲月，工業用水處理方面不僅是蒸汽動力工廠會面臨重大的轉變，其他的工業亦要時時接受挑戰，如在冷却水系統提高濃縮倍數

以減少排放量，免得重金屬或有機物排放而污染環境，其他如側流軟化，逆滲透，電析或蒸發罐結晶設備將成為冷卻水系統的一部份，這是水處理專家必須瞭解的事情。

縱使新的技術層出不窮，然而在實際應用上，已然建立的理論已足夠使用，一個水處理新手只要能瞭解基本的水處理技術，並知曉這種技術發展的大體，便很容易接受未來的轉變，本書主要也就為滿足這兩個目的而編著的。

作者在本書內毫無保留地告訴讀者如何去瞭解他本身面臨的困難以及如何與提供水處理服務、設備或化學藥劑的廠商進行討論。簡言之，本書即在滿足一項需求，那就是以理論根基配合實際經驗以達到解決問題的目的。

James K. Rice, P.E.

杜魯公司顧問工程師

1977年5月2日

目 錄

譯 序	I
原 序	II
第一章 水及其雜質	1
第二章 工業用水外處理程序	5
第三章 冷却水腐蝕控制	57
第四章 冷却水沈積物控制	100
第五章 微生物的控制	119
第六章 工業冷却水系統的清洗方法	150
第七章 開放蒸發式冷却水系統	159
第八章 一過式系統	194
第九章 密閉式系統	201
第十章 蒸汽之產生	206
第十一章 蒸汽產生系統的腐蝕控制	228
第十二章 蒸汽發生器的沈積問題	257
第十三章 鍋爐水的攜出現象	280
第十四章 高壓鍋爐系統	295
第十五章 內處理化學藥品之添加與控制	306
重要名詞解釋	329
附 錄	340
A S T M 美國測試及材料學會蒸汽取樣標準法	386
參考文獻	402

第一章 水及其雜質

自古以來，水對人類及自然界即扮演著極重要的角色，水之基本循環為蒸發、冷凝、然後以雨的形態降至地面，流經各地，主宰著所有動物及植物的生命。這種水並不純淨，因此，除去水中雜質即成為工業用水處理的主要目的。

水在循環過程中會吸取大氣及地層中的雜質，而雨水在到達地面前亦會溶解氣體並吸取大氣中可溶與不可溶的物質。這種水能為溶存氧所飽和並含有二氧化碳，亦可能被含有硫及氧化氮等工業氣體所污染而含有機物質。

地層中有許多化合物會溶於水中，表 1 - 1 中的頭八項佔地層組成之 98.62%，表中分析成份為平均值，有時地層會特殊富有下列物質，而使結果各地不同，如碳酸鈣（ CaCO_3 ），碳酸鎂（ MgCO_3 ）、鐵礦、石膏、銅礦、硫磺及其他化合物。此外，水溶性

表 1-1 地殼之組成

元 素		百分比
Oxygen	氧	46.43
Silicon	矽	27.77
Aluminum	鋁	8.13
Iron	鐵	5.12
Calcium	鈣	3.63
Sodium	鈉	2.85
Potassium	鉀	2.60
Magnesium	鎂	2.09
Titanium	鈦	0.629
Phosphorus	磷	0.130
Hydrogen	氫	0.127
Manganese	錳	0.96
Fluorine	氟	0.077
Chlorine	氯	0.055
Sulfur	硫	0.052
Barium	鋇	0.049
Chromium	鉻	0.037
Zirconium	鋯	0.028
Carbon	碳	0.027
Vandadium	釩	0.021
Nickel	鎳	0.019
Strontium	銻	0.018
Lithium	鋰	0.003
Copper	銅	0.002
Cerium	鈰	0.0015
Other rare elements		0.0034
其他稀有元素		
Beryllium	鈹	0.001
Cobalt	鈷	0.001
All others	其他	0.0041

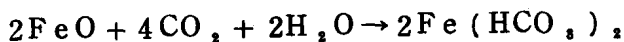
2 工業用水處理原理

低的石灰石 (lime stone)、菱鎂石 (Magnesite)、白雲石 (dolomite) 在水中的溶解量會因水中二氧化碳的含量而異。

在工業供水中最常見之可溶性化合物為：

重碳酸鈣 (Calcium bicarbonate)	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
重碳酸鎂 (Magnesium bicarbonate)	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$
重碳酸鈉 (Sodium bicarbonate)	$\text{Na}(\text{HCO}_3)$
重碳酸亞鐵 (Ferrous bicarbonate)	$\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$
重碳酸錳 (Manganous bicarbonate)	$\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$
氯化鈣 (Calcium chloride)	CaCl_2
氯化鎂 (Magnesium chloride)	MgCl_2
氯化鈉 (Sodium chloride)	NaCl
硫酸鈣 (Calcium sulphate)	CaSO_4
硫酸鎂 (Magnesium sulphate)	MgSO_4
硫酸鈉 (Sodium sulphate)	Na_2SO_4
二氧化矽 (Silica)	SiO_2
矽酸鈉 (Sodium Silicate)	Na_2SiO_3
矽酸 (Silicic acid)	H_4SiO_4

上列化合物除了二氧化矽微溶於水外其餘皆可溶或極溶於水。地下之氧化鐵，氧化鎂會與二氧化碳反應而溶於水。其反應方程式為



地面水因與含有 20.99% 氧及平均僅 0.03% 的二氧化碳的空氣平衡而含飽和的氧及少量的二氧化碳。

另地下水可能因有機物分解而含有大量的二氧化碳，甲烷，及硫化氫氣體。如水中二氧化碳濃度高，抽出時會有泡沫發生，含有硫化氫的水會有壞蛋的臭味。

可溶性有機酸如腐植酸 (humic acid) 經常大量的存在於沼澤地區的水中。亦稍存在於農業區的地面水中。其他有機物來自動物或人類之排泄物或分解物，工業廢水及農業殺蟲劑及殺菌劑。

地下水通常因地層之過濾而僅含有微量之懸浮物。一般來說除了淺

表 1 - 2 不同水的組成 (單位: ppm)

	密西西北河	艾略湖	西維吉尼亞井水	海水
二氧化矽	13	2.1	12	10
鐵	0.1	0.01	3.5	微量
錳	—	0.00	2.5	0.01
鈣	50	38.0	113.8	400
鎂	14	8.3	19.3	1,252
鈉與鉀	35	11.1	—	10,561+380
碳酸鹽	1.2	0.	0.0	0
重碳酸鹽	158	117	170	140
硫酸鹽	97	26	29.0	2,650
氯離子	16	18	76	18,980
氟離子	—	0.1	—	1.4
硝酸鹽	4.6	1.8	—	1.5
溶解固體	326	167	700	34,450
總硬度	183	130	450	6,250
非碳酸鹽硬度	53	34	280.	6,126
顏色	19	澄清	茶色	澄清
濁度	58	85	0至20	0
pH	7.9	7.9	6.8	7.5至8.4

井外，地下水中所含無機雜質之濃度為一定值。而地面水之雜質含量則分佈較廣。表 1 - 2 為一般地面水及地下水雜質含量之比較表。

工業用水之問題

工業水所需之水質視其用途而異。超高純度之水用於高壓蒸汽鍋爐，而雜質含量較高之水可用於開放式循環冷卻水系統。

本章中所討論之水中雜質會造成沈積，金屬腐蝕，蒸汽鍋爐內起泡

表 1-3 水中雜質所引起的一般問題

	A	B	C	D	E	F	G	H
均勻腐蝕	×	×	×	×	×	×	×	×
局部腐蝕	×	×	×	×	×	×	×	×
應力腐蝕	—	—	—	—	×	×	—	—
黃銅脫鋅腐蝕	×	—	×	×	—	—	×	×
黃銅氨腐蝕	—	—	×	×	—	—	—	—
異金屬腐蝕	×	×	×	×	—	—	×	×
不銹鋼氯離子腐蝕	×	—	×	—	—	—	×	—
鹼性腐蝕	—	—	—	—	—	×	—	—
氫破壞	—	—	—	—	—	×	—	—
無機沈積物之形成	×	×	×	×	×	×	×	×
微生物污塞	×	—	×	×	—	—	×	—
冷却水塔木質破壞	—	—	×	—	—	—	—	—
攜出現象	—	—	—	—	×	×	—	—

註：A：一過式冷却水系統

B：密閉式循環冷却水系統

C：開放式循環冷却水系統

D：空調系統

E：低壓蒸汽產生系統

F：高壓蒸汽產生系統

G：製程用水

H：飲用水

沫，微生物污染及冷却水系統木材損壞等嚴重操作問題。

後面幾章則討論這些問題的本質，原因，控制方法與效果。表 1 - 3 列出所有可能遇到的問題。

第二章 工業用水外處理程序

1968年工業水用量達 8,400 bgy (billion gallons per year)，其中 93% 用於冷卻或冷凝，2% 用於鍋爐飼水。表 2 - 1 為不同工業之耗用及循環水用量。

總引入水量中 25,000 bgy 為含有 1,000 ppm 懸浮固體之海水，56,000 bgy 為地面淡水，2300 bgy 為地下淡水。

環境保護局 (Environmental Protection Agency) 將工業水內處理定義為工業用水在使用時或製程中加入化學添加劑而改變水質之程序。外處理為使用前改變水質之處理程序，本書之主題為內處理，但對於外處理之認識亦極為重要。

工業用水處理設計人員，為使水質達到要求，其所選擇之程序各有不同。圖 2 - 1 指出一般常用之外處理程序及不同水質之用途。表 2 - 2 為使用數種常用之處理程序所得之標準水質。圖 2 - 2 為十二種主要的鍋爐飼水處理方法及其相對之效果。

工業用水外處理程序為了濃縮某些特定之污染物，必定會產生一些必須處理的廢物。在凝集沈降槽中 (clarifier)，由於原水本身存在的污染物及化學添加物而處理後會產生淤渣。離子交換設備產生含有高濃度溶解固體及再生藥劑之廢水。表 2 - 3 為數種工業水外處理程序所產生之廢水概況。

圖 2 - 1 為三組基本之外處理程序。

A 組程序為一般用於冷卻補充水及製造高品質水之前處理程序。

B 組程序為過濾或採用其他特種方法所移除水中之懸浮固體。

C 組程序為以離子交換或其他的技術來改變或移除水中之溶解固體，但不含化學沈澱法。

表 2-1 美國工廠，發電廠1968年引入，再利用及耗用水量

工業類別	引入水量 (bgy)									
	用途									
	冷卻與凝結	鍋爐飼水衛生用水等	製程	總和	循環水量	總水量包括循環水量 (bgy)	消耗水量 (bgy)	排放量		
20 食品類業	427	93	290	810	535	1,345	57	753		
22 紡織業	24	22	109	155	174	329	19	136		
24 木材業	62	20	37	119	87	206	26	93		
26 紙業	652	123	1,478	2,253	4,270	6,523	175	2,078		
28 化學業	3,533	210	733	4,476	4,940	9,416	301	4,175		
29 石油及煤業	1,230	111	95	1,436	5,855	7,291	219	1,217		
31 皮革業	1	1	14	16	4	20	1	15		
33 金屬冶煉業	3,632	165	1,207	5,004	2,780	7,784	308	4,696		
合計	9,561	745	3,963	14,269	18,645	32,914	1,106	13,163		
其他工業	574	291	332	1,197	1,589	2,786	84	1,113		
全部工業	10,135	1,036	4,295	15,466	20,234	35,700	1,190	14,276		
發電廠	68,200	(a)		68,200	8,525	76,725	100	68,100		
總 合	78,335	1,036 (b)	4,295	83,666	28,759	112,425	1,290	82,376		

a 熱電工廠之鍋爐飼水量可估計相當於工業衛生用水量

b 全部鍋爐飼水

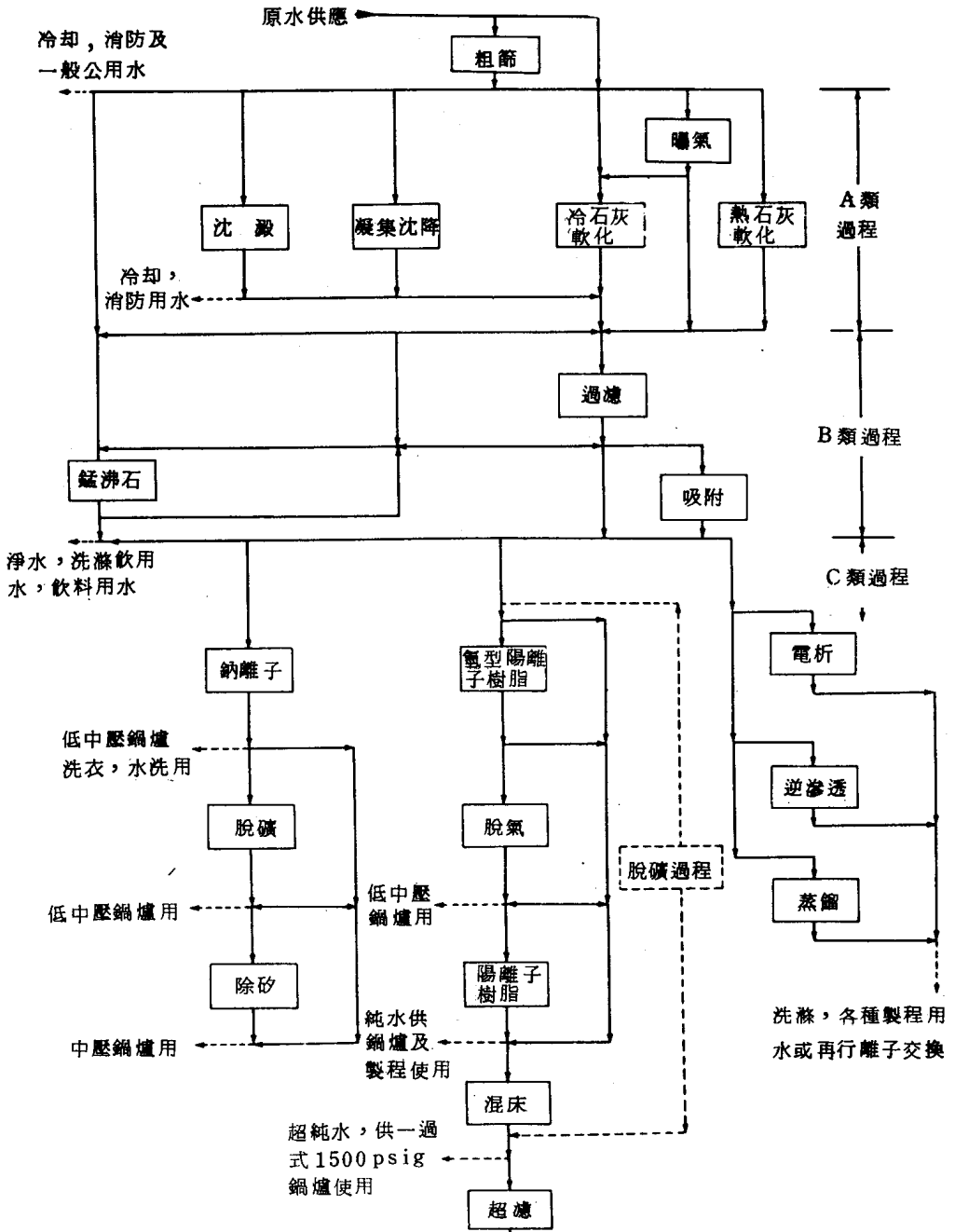
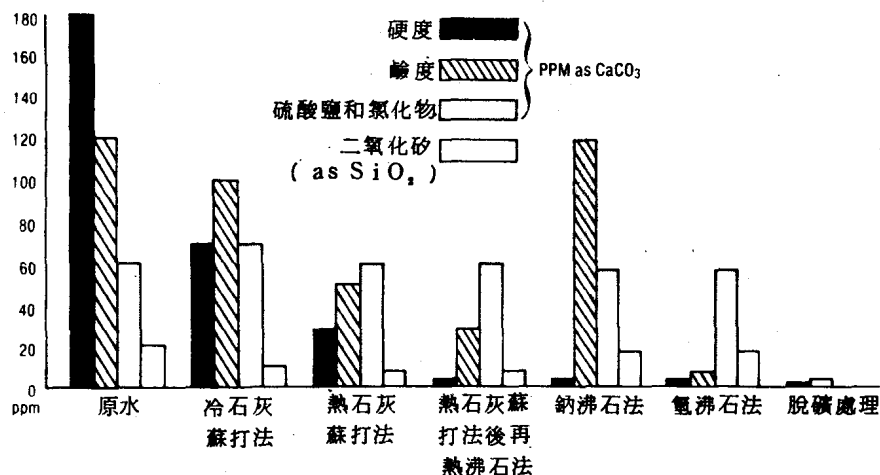


圖 2-1 工業用水外處理程序。終極純水（電子，製藥用）



1. 鈉沸石法
2. 鈉沸石加酸法
3. 氫沸石加鈉沸石法
4. 氫沸石加苛性鹼法
5. 脫鹼法 (離子交換，鹽再生法)
6. 除矽法 (離子交換，鹽及鹼再生法)
7. 冷石灰蘇打法 (含或不含鐵，鎂化合物除矽法)
8. 冷石灰蘇打法加酸—鈉沸石法，脫矽則視情況而定
9. 熱石灰與蘇打灰處理有時使用石膏處理
並含鎂化合物如白雲石灰或活性鎂的除矽過程
10. 熱石灰—熱沸石兩段軟化法，並含第一階段的除矽過程
11. 多床式或混床式脫矽處理
12. 凝聚或凝集沉降以除去礬土，黏泥，有機物質等等，以繼續進行上述之過程。圖中所示為部份處理方法之效果。

圖 2-2 鍋爐補充水之十二種處理方法。

表 2-2 標準原水分析值及操作結果 (除非特別說明外, 單位為 mg/l)

成 份	表示單位	原 水	凝集沈 降及過 濾 後	冷石灰 軟化及 過濾後	凝集沈降過 濾鈉陽離子 交換軟化後	凝集沈降 過濾及脫 礫 後
陽離子*						
鈣.....	CaCO ₃	51.5	51.5	38.7	1.0	0
鎂.....	CaCO ₃	19.5	19.5	17.5	1.0	0
鈉.....	CaCO ₃	18.6	18.6	18.6	87.6	1-2
鉀.....	CaCO ₃	1.8	1.8	1.8	1.8	0
總陽離子.....	CaCO ₃	91.4	91.4	76.6	91.4	1-2
陰離子						
重碳酸鹽.....	CaCO ₃	56.8	47.8	0	47.8	0
碳酸鹽.....	CaCO ₃	0	0	33.0	0	0
氯氧離子.....	CaCO ₃	0	0	0	0	1-2
硫酸鹽.....	CaCO ₃	21.8	30.8	30.8	30.8	0
氯化物.....	CaCO ₃	12.0	12.0	12.0	12.0	0
硝酸鹽.....	CaCO ₃	0.8	0.8	0.8	0.8	0
總陰離子.....	CaCO ₃	91.4	91.4	76.6	91.4	1-2*
鐵.....	Fe	0.16	Nil	Nil	Nil	Nil
二氧化矽.....	SiO ₂	9.0	9.0	9.0	9.0	0.01
顏色*	units	15.0	2-5	2-5	Nil	Nil
濁度*	units	100.0	0-2	0-2	Nil	Nil
pH*	units	6.5-7.5	6.0-8.0	9.0-11.0	6.0-8.0	7.0-9.0

* 因離子平衡, 並表示作 CaCO₃ 之當量, 而稍作調整。

表 2-3 水處理程序所產生之廢棄物

處理過程 ¹	廢棄物特性	廢水流量百分比	固體廢物重量 磅固體 / 1000 加侖處理水 ¹
粗篩	大塊物質，碎屑		
沈降	砂，泥渣	5 - 10	
凝集沈澱	通常是酸性化學泥渣及沈澱物	2 - 5	1.3
冷石灰軟化	鹼性化學泥渣及沈澱物	2 - 5	1.7
熱石灰軟化 (+ 212°F)	鹼性化學泥渣及沈澱物	2 - 5	1.7
曝氣	氣態，可能污染空氣，如硫化氫		
過濾，動力式 或壓力式	泥渣，懸浮物	2 - 5 (緊壓床設備)	0.1 - 0.2
吸附，活性碳 除去臭味， 顏色，有機物	若再生碳無法發生作用。少量 碳粒及其他固體會 在逆洗水中 出現，碳再生是另行處理（常 用熱處理），會有空氣污染問 題。		
錳沸石除鐵	氧化鐵懸浮物	與其他過濾處理相同	
其他，如預被 覆膜，雙重 濾材微細過 濾	如同其他過濾。廢棄物包括預被 覆物質	1 - 5	0.1 - 0.2 (加上預被 覆物質)
逆滲透 ¹	懸浮物及 90 - 99 % 溶解固形物 加上所需的化學前處理劑		
電析	懸浮物及 80 - 95 % 溶解固形物 加上所需的化學前處理劑	10 - 50	1.0 - 2.0
蒸餾	濃縮的溶解及懸浮物	10 - 75	1.5
離子交換 鈉型陽離子	溶解的鈣、鎂和鈉的氯化物	4 - 6	1.3
2 床脫礦	進料水中溶解固形物加上再生劑	10 - 14	4 - 5
混床脫礦 內處理	進料水中溶解固形物加上再生劑 化學藥品直接加入操作循環中。 至少一部份流程水中含有添加 藥劑，進料水中溶解及懸浮物 ，以及可能的製程污染。	10 - 14	5

¹ 視情況需要，處理過程可為單獨或數種綜合。² 各數值乃依據表 2 - 2 中原水採用各種處理過程。若這些過程綜合使用則這些數據不能適用。³ 進料水中需不含懸浮物。⁴ 此處列表為最常見情況，仍有許多變化。

此流程圖列出許多程序，每一種程序僅適用於某一特定污染物。如果這些污染物並不存在或無害時則不必選用。

此外選擇水處理程序應依所需之水質而異，如密西西比 (Mississippi) 河水用於冷卻時僅需經粗篩即可，但用其他方面時則可能需要經過凝集沈降及過濾處理。如使用同樣之水作為高壓鍋爐給水時則需要更進一步的處理。

工業水外處理之內容既廣且複雜。本書僅討論一般常用之程序以供讀者作進一步研究時之參考。

凝集沈降法

凝集沈降法為原水淨化之最古老技術。廣用於移除地面水中以濁度 (turbidity)，顏色及其他膠質物存在之懸浮與微細固體。

沈降之方法有凝集 (coagulation)，凝聚 (flocculation) 及沈澱 (sedimentation)，所採用之方法視所需的水質而定。

目前罕有不採用化學凝集法來沈降懸浮物質的，凝集 (coagulation) 需加入凝集劑 (coagulant) 於快速攪拌的處理水中，其化學反應為中和膠質物之電荷形成沈澱膠羽 (floc)，此些膠羽為非常小的粒子。

凝集 (coagulation) 之後接著為凝聚 (flocculation) 處理。即以溫和的攪拌使小膠羽結合而形成能快速沈澱之大粒子。攪拌必須小心控制以避免破壞易碎的膠羽。

經凝聚的水再通過沈降過程處理。當聚集的膠羽下沈時，澄清的水上昇與沈澱物分離。此種方法並不能完全移除水中之懸浮物，處理過的水中仍含有少量的膠羽。

沈澱物以泥漿狀態移除，這些極稀的淤渣 (sludge) 需再經過較沈降更困難的濃縮 (thickening) 及脫水 (Dewatering) 程序處理。

沈降的設備有許多種，但皆需能執行凝集，凝聚及沈澱步驟。

較老的沈降設備的設計將化學品注入，快速混合 (flash mix-