

總號：0045 分號：0-16 定價：9,800 元

版權所有 不准翻印

編譯者：林齊進

責任編輯：高曉楓 校對：唐佩卿

1951 年 8 月發排（北大） 1951 年 12 月付印（科技）

一九五二年 一月初版

北京造 0001——7000 冊

科學技術出版社 北京燈市口甲 45 號

中國圖書發行公司總經售

前 言

1950年2月，中央燃料工業部召開了第一屆全國電業會議，在這會上蘇聯專家談到鍋爐設備的管理時，特別指出給水處理的重要性，我們可從下面這段文裏看到：

“在鍋爐設備中，水和工作主體和傳熱體。鍋爐給水是冷凝水和化學處理水的混合物，合理的水的準備工作和水的處理制度，可以保證鍋爐設備以及全廠運行的安全可靠性和最經濟性。在不遵守鍋爐水的處理制度的各種規定時，水能引起運行工作的破壞，也是引起下面各種現象的原因：

- (1) 在省煤器、鍋爐水管和牆管內有水垢。
- (2) 在給水管、省煤器和鍋爐內有渣滓。
- (3) 在過熱器和汽管內，以及在透平的葉片上有鹽的附着物。
- (4) 在鍋爐省煤器、過熱器和汽管內有金屬銹蝕。
- (5) 鍋爐水沸滾起泡，將水帶進蒸汽透平機。

鍋爐設備運行的正確組織，不可能缺少對鍋爐給水、鍋爐水和蒸汽的質量作有系統的化學上的監督工作。爲使受熱面積保障無水垢，爲防止金屬銹蝕，並爲得到純淨蒸汽起見，鍋爐水質（鹽質、鹼性等）應當保持一定的所謂標準鍋爐水的規範，不得變更。每一個鍋爐的鍋爐水的標準是根據它的構造和運行制度，以各項熱力學的試驗爲基礎而規定的。保持鍋爐水

的標準，要以鍋爐給水的預行加工及鍋爐放水的方法求得之，也就是從鍋爐中排去一部分含有鹽質溶液比鍋爐給水多的鍋爐水。至於與鍋爐設備運行工作有關的各種化學現象的問題，在蘇聯非常重視，因為運行的經驗證明，鍋爐處理制度的正確性，與鍋爐設備的安全和經濟有相當程度的關係。在蘇聯的每一個火力發電廠，都設有附帶化驗室的化學場，經常監督着水和蒸汽的質量，並領導各項水的處理設備的使用。在了解某些華北和東北火力發電廠的結果，我認為合理施行水的處理制度的問題，是中國大多數火力發電廠最弱的一環。擺在中國電業領導人員面前的，是如何合理組織鍋爐設備運行的任務，其中包括施行合理的鍋爐給水和鍋爐水處理制度。”

——第一次全國電業會議專家報告彙編（第76~77頁）

鍋爐給水和爐水處理的重要性並非僅對電業而言，事實上凡使用鍋爐設備的化學工業、紡織工業……以及鐵路機車等都應加以重視。在今天我們除了加強及建立鍋爐給水及化驗設備外，在新的技術觀點下還需要增加大家對這方面的認識以及培養這方面的專門人員。為此，在一年前我即着手把鮑威爾的‘鍋爐給水清潔法’（Powell; Boiler Feedwater Purification）與美國動力工程雜誌上的一篇給水處理專論（Fundamentals of Feedwater Treatment, Power Dec. 1947）合併編譯，同時還參考美國燃燒工程雜誌（Combustion, May & June 1948）、熱工專刊（1948年7月）及許雪樵編譯的‘工業用水清潔法’（商務版）等加以整理，中間也穿插了一些本人的意見而編譯成本書。因為本人學識淺陋，並且是初次為文，辭不達意或錯誤之處一定很多，尚希讀者指正。

林齊進 1951.5.21

出版者的話

鍋爐是多數工廠的重要設備之一，而鍋爐給水的處理問題又是使用鍋爐的一個非常重要的問題。爲了延長鍋爐的壽命，保證安全操作，凡是使用鍋爐設備的工業，如電業、紡織工業、化學工業，以及蒸汽機車等，對於這個問題都必須加以重視。

本書是根據許多參考資料編譯而成，對於使用鍋爐的工廠技術人員、管理人員是有參考價值的。

1951年8月

目次

前 言	1
一 水中的雜質	1
自然界中的水——水的純潔度——水中的懸游固體——水中的鈣鹽——水中的鎂鹽——水中的矽類物質——水中的鈉鹽——水中溶解的氣體——水中的有機物質——水中的游離酸類——給水處理之目的——給水處理方法	
二 沉澱與凝聚	12
沉澱法的理論——沉澱的設備——沉澱法的優點——凝聚——凝聚的化學作用——沉澱-凝聚混合設備	
三 過濾	17
過濾的原理——過濾器的分類——重力式過濾器——壓力式過濾器——過濾器的運用	
四 硬水與水垢	23
軟水與硬水——暫時硬度與永久硬度——水垢——水垢的弊害——物質在水中的溶解度——溶解度的一般法則——鹽及鹼在水中的溶解性——溶解度乘積——發生沉澱的理論——防止水垢的方法——水垢刮削器	
五 化學軟化	29
石灰的軟化作用——純鹼的軟化作用——冷過程石灰-純鹼軟化——間斷式軟化器——連續式軟化器——泥渣的利用——熱過程石灰-純鹼軟化——石灰-純鹼量的計算——軟化器運用管制——燒鹼的軟化作用——磷	

酸鈉的軟化作用——鉍鹽的軟化作用

六	沸石軟化	40
	離子交換作用——沸石的種類——水在沸石軟化以前的處理——沸石的軟化作用——沸石軟化器——沸石的再生作用——沸石軟化器的效率——陽離子-陰離子交換法——沸石軟化器與化學軟化器的比較	
七	水中矽類物質的去除	54
	矽類物質引起的弊害——去除矽類物質常用的方法——硫酸鐵的利用——氫氧化鎂的利用——氫氟酸的利用——直接吸附	
八	蒸發器及給水加熱器	60
	蒸發作用的理論——一般蒸發器概述——蒸發器的分類——蒸發器的連接——蒸發器的效率——蒸發器對熱效率的影響——蒸發器的運用——給水加熱器——加熱器的分類——開口式加熱器——封閉式加熱器	
九	除氣和充氣	71
	除氣作用的理論——除氣器的分類——物理性除氣器——化學性除氣器——化學性與物理性除氣器的比較——充氣法的原理——充氣法的優點	
十	鍋爐內部化學處理	81
	鍋爐內部處理——鍋爐化合物——內部化學處理必須具備的條件——內部處理常用的藥品——內部處理的費用——內部與外部處理的比較	
十一	鍋爐放水問題	86
	放水方法——影響鍋爐放水的幾個因素——放水量的計算方法及例題——連續放水制熱能的利用——連續放水制的評價	
十二	腐蝕發生的原因	96
	電化理論解釋金屬的腐蝕——金屬因氧引起的腐蝕——金屬因二氧化碳引起的腐蝕——氮引起的腐蝕——硫化氫引起的腐蝕——酸性物質引起的腐蝕——氯離子量對腐蝕的影響——水對於鋼及熟鐵的腐蝕作用——防止腐蝕常用的方法	
十三	鍋爐金屬的苛性脆化	107
	苛性脆化的特徵——苛性脆化的防止——苛性脆化檢驗器——苛性脆化檢	

驗器的裝置——苛性鹼化檢驗器試驗程序

十四 發泡及汽水併發112

發生的原因——弊害——化學組成的影響——防止法——汽水分離器——
消沫性化合物

十五 控制試驗117

控制試驗之目的——採取水樣時應注意的幾點——化驗時應注意的幾點
——鹼度測定法——氯化物測定法——總固體量測定法——溶解固體量
測定法——懸游固體量測定法——溶解氧測定法——亞硫酸鹽測定法——
硫酸鹽測定法——pH 值測定法——磷酸鹽測定法——氧化矽測定法——
游離二氧化碳測定法——硬度測定法——鹽水成分的擬定

附錄

- 1 鍋爐給水在處理及分析時常見的化學元素
- 2 鍋爐給水在處理及分析時常見的酸及酸根
- 3 鍋爐給水在處理及分析時常見的化合物
- 4 度量衡換算表
- 5 水量換算
- 6 不同溫度下單位體積水的重量

中外名詞對照表 154

一 水中的雜質

自然界中的水 在地球上除了空氣以外，最多而又最重要的物質就是水。水在自然界中可分為表面水及地下水二類。海水、河水、江水、湖水可歸入表面水一類，因為在流程中隨帶污泥、垃圾、樹葉及工業廢料等，所以含有污物甚多。井水、泉水則可歸入地下水一類，因為從地下岩石層中滲透而出，無異經一過濾手續，所以含污質較表面水為少；不過地下水在經過岩石層時，常將碳酸鈣、碳酸鎂或硫酸鹽溶解在水中，這是它的缺點。

水的純潔度 水為氫、氧二元素所組成，以百分組成來說，則氫佔 11.1%，氧佔 88.9%。純粹的水為無味、無臭、無色的液體，但因水的溶解力極大，為一最普通的溶劑，所以純粹的水在自然界中固然很難找到，即工業上應用種種方法處理後的水，也不過較為純潔而已。

水如單純為 H_2O ，而一無其他雜質，或水中所含的雜質，不論水的來源如何完全相同，則水在處理時的問題就要簡單得多。事實上純水很難找到，而且所含雜質也各不相同。或有人以為雨水是够潔淨的了，但是當雨水自上空下降時，除了空氣中灰塵皆為雨水洗淨外，並

表 1 雨水化驗結果

名 稱	化 驗 結 果	
	百萬分之幾(ppm)	磅/1000 加侖
有機碳	0.99	0.0080
有機氮	0.22	0.0017
氨	0.50	0.0040
硝酸鹽及亞硝酸鹽	0.07	0.0005
氯	6.50	0.0522
總固體量	59.50	0.3278

註 上表所示雨水化驗的結果，僅指某地而言，因雨水中的雜質得視當地環境而定。上表的作用僅在顯示雨水之不潔淨而已。

且溶有大氣中的二氧化碳，使水也具有腐蝕（Corrosion）的性質。

城市中自來水雖經加礬、沉澱、過濾、氯氣殺菌等手續，在作為飲料已毫無問題，如從工業觀點看來，以此充作鍋爐給水仍嫌未盡完美，因為自來水中仍含有多量溶解性鹽類及氣體的緣故。

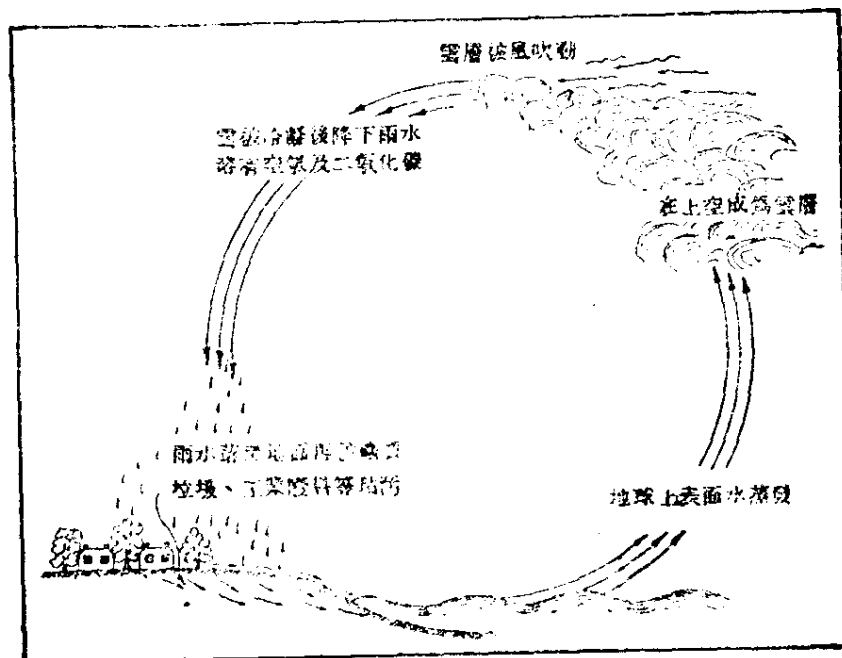


圖 1 自然界表面水玷污及清潔情形

表 2 上海黃浦江水質化驗結果

名 稱	1946年 4 月份	1946年 7 月份	1946年 10月份	1947年 1 月份
總固體量	386.1	291.9	215.3	312.6
懸游固體	231.0	135.6	105.5	180.0
氯化物	34.6	25.4	18.1	20.6
鹼度	86.3	82.4	63.3	69.4
游離二氧化碳	3.4	3.5	3.6	2.4
亞硝酸鹽	0.0154	0.0528	0.0128	0.0120
硝酸鹽	0.0967	0.0650	0.0470	0.0100
游離氨	0.2588	0.2340	0.3499	0.2700
蛋白氮	0.3064	0.3062	0.3300	0.3650
耗氧量	2.6400	3.0600	3.5800	3.1750
渾濁度	145.6	109.1	92.9	103.4
pH 值	7.3	7.3	7.2	7.1
鐵	0.5580	0.9934	1.1700	0.7625
永久硬度	15.0	14.8	17.2	18.0

註 以上化驗結果除 pH 值外，均以每百萬分之分數計

水中含有的雜質，可以歸納成下列幾種：

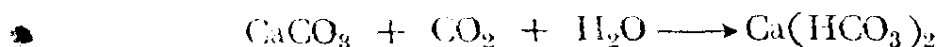
1. 懸游固體
2. 鈣鹽
3. 鎂鹽
4. 矽類物質
5. 鈉鹽
6. 可溶性氣體
7. 有機物質
8. 游離酸類

茲將上述各種雜質概述如下：

水中的懸游固體 水中所含懸游固體主要為污泥及工業廢棄物料等。水在含有大量懸游固體時，即不適宜充作鍋爐給水，因為這類物質與鎂、鈣鹽類沉澱物結合的結果，直接助長水垢的發生。如果懸游固體主要為工業廢棄物料，更可使鍋爐內部金屬表面腐蝕。懸游固

體顆粒微細時，鍋爐在運用時更能引起發泡 (Foaming) 及汽水併發 (Priming) 等困難。

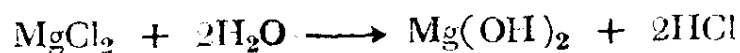
水中的鈣鹽 在自然界中的石灰石、大理石、白堊等，幾乎都是純粹的碳酸鈣 (CaCO_3)。水中所含的鈣鹽，也以碳酸鈣最為普通。碳酸鈣在純粹的水中很難溶解，但其溶解度是隨着水中的二氧化碳含量而增加的，當雨水自上空下降時，常溶有大氣中的二氧化碳，這種水流於地面或浸入地中，即將碳酸鹽溶解，成為重碳酸鹽。



重碳酸鹽極不穩定，在高熱下或加入氫氧化合物如氫氧化鈉、氫氧化鈣等，則二氧化碳即被驅出，碳酸鈣也隨着沉澱析出。通常將鈣鹽自水中去除，不外以上二法。

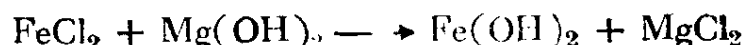
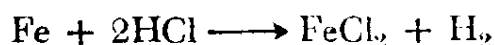
水中也常常含有硫酸鈣，所謂石膏就是含有二分子水的硫酸鈣 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)。硫酸鈣在水中的溶解度隨着溫度而增加，在 104°F (40°C) 時達到最大值，在 212°F (100°C) 時溶解度已經減低得很多，而在 300°F (144°C) 以上，則因在水中不能溶解而析出。硫酸鈣的沉澱物為較重的結晶體，性質非常堅硬，黏積在鍋爐內部金屬表面上，所形成的硬殼最不易去除。

水中的鎂鹽 鎂鹽在水中以氯化鎂 (MgCl_2) 為多。氯化鎂在水中極易溶解，在高溫度下更易產生鹽酸，故氯化鎂存在於水中，直接增強水的腐蝕性。



約翰·賓倫斯 (John Dewrence) 發現，除非氯化鎂在乾燥狀態下加熱，否則極不易發生鹽酸。祇有在鍋爐金屬表面發生氣泡，臨時使金屬表面有一乾燥小點，因而使水中的氯化鎂被加熱而烘乾的情

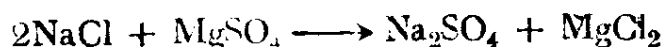
形下，才能發生鹽酸。此一反應係循環發生，故水中祇要含有少量的氯化鎂，即可形成極嚴重的腐蝕。



水中的矽類物質 自然界各水源中，多少含有泥沙，也就是矽 (Silicon) 的氧化物——氧化矽 (SiO_2) 及矽酸鹽等。氧化矽在冷水中很難溶解，故常以懸游狀態出現。水中所含氧化矽量須嚴密加以限制，因為由氧化矽所積聚而成的硬殼，與硫酸鈣一樣地堅硬而且不易去除。

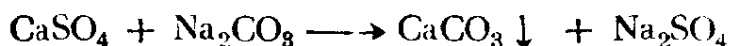
水中的鈉鹽 水中存在的鈉鹽，不外氯化鈉 (NaCl)、碳酸鈉 (Na_2CO_3)、重碳酸鈉 (NaHCO_3)、硫酸鈉 (Na_2SO_4) 及硝酸鈉 (NaNO_3) 等。

我們日常家用的食鹽，它的化學成份就是氯化鈉，以海水中含量最多。氯化鈉係中性鹽類，在水中的溶解度極大，故尋常鍋爐水中的氯化鈉濃度，都不足以在鍋爐內部金屬表面形成硬殼。如水中同時含有鎂鹽，特別是硫酸鎂 (MgSO_4)，與氯化鈉反應的結果，常發生氯化鎂，可引起極嚴重的腐蝕。



碳酸鈉在鍋爐水中並不能產生硬殼，但逾量的碳酸鈉常易促成爐水表面發生泡沫及汽水併發。在高壓力及高溫度下，碳酸鈉常起水解 (Hydrolysis) 作用而成氫氧化鈉，有使鍋爐金屬發生苛性脆化 (Caustic embrittlement) 的危險。

碳酸鈉在商業上的名稱爲純鹼 (Soda ash)，常用作低壓鍋爐給水的軟化劑，使硫酸鈣成爲在水中不能溶解的碳酸鈣。



氫氧化鈉在商業上的名稱爲燒鹼 (Caustic soda)。它存於爐水中是由於碳酸鈉或重碳酸鈉在高溫度及高壓力下起水解作用所致。氫氧化鈉在水中的溶解度很高，所以不可能在鍋爐金屬表面上黏積起來，但是逾量的氫氧化鈉如果存在於鍋爐水中，常易在運用時發生困難。許多化學家及工程師認爲鍋爐金屬的發生裂痕及脆化，氫氧化鈉的存在爲主要的原因。

硫酸鈉在自然界的大多數水源中，或在經過石灰-純鹼法或沸石 (Zeolite) 法軟化後的水中常可發現。硫酸鈉在水中含暈如果很低，運用時不會發生困難。反之則常隨同蒸汽共進，積附在透平機 (Turbine) 前的主控制閥，而使汽閥發生黏附 (Sticking) 情形，有時在透平機內部的最初幾道輪葉上，也可發現積附着這類物質。

動力廠常有以維持適當的碳酸鹽與硫酸鹽的比例來防止鍋爐金屬苛性脆化的，對於這一點，以後另有專章詳述。

水中溶解的氣體 有多種氣體能在水中溶解，其中以氧及二氧化碳的腐蝕性最強。二氧化碳由於它的酸性侵襲金屬的結果，常易引起腐蝕。氧氣則因本身是一強有力的氧化劑，所以加速金屬的腐蝕。

近代蒸汽動力廠常用除氣器 (Deaerator)，將各種有害氣體在鍋爐外去除，使不再爲害於鍋爐內部的金屬表面。

表 3 氣體在水中的溶解度 (在 15°C 及 760mm 壓力下)

名 稱	硫化氫	氯	二氧化碳	氧	氫	氮
1 公升水吸收氣體量 (公升)	3.05	2.63	1.02	0.034	0.019	0.018

水中的有機物質 地下水所含有機物質極少，而表面水所含有

機物質主要由工業廢料與藻類物質及傾入垃圾所致。有機物質的存在，使水的腐蝕性加強。如果同時有鈉鹽存在，則鍋爐在運用時，水面上更易引起發泡及汽水併發等困難。

水中的游離酸類 水中的氯化鎂、硝酸鹽、硫酸鹽或重碳酸鹽等，在鍋爐溫度下常分解成游離酸類。通常煤礦中的黃鐵礦也常易氧化成硫酸亞鐵與硫酸，所以煤礦附近的河水，非先經處理不適於充作鍋爐給水。

給水處理之目的 蒸汽動力廠處理鍋爐給水之目的，在防止(1)水垢，(2)腐蝕，(3)飛離(Carryover)或攜帶及(4)苛性脆化的發生。現將以上四種弊害先簡略地敘述如下：

(1) 水垢 給水內鎂、鈣鹽類及礦物質等在高熱下最易沉澱，日久積附在鍋爐內部受熱金屬表面上，形成的硬殼即所謂水垢。水垢為

表 4 水中雜質引起不良的影響及其去除方法

名 稱	化學分子 式或標誌	存在狀態	影 響	去 除 方 法
硫 化 氫	H ₂ S	溶解氣體	1 引起臭雞蛋似的 臭味 2 腐蝕	充氣法
二氧化碳	CO ₂	溶解氣體	爐水鹼度過低時可 引起腐蝕	1 充氣法 2 除氣法 3 加入鹼鹽中和之
氧	O ₂	溶解氣體	鍋爐金屬及爐管表 面常因之腐蝕而成 孔槽狀，或生螺狀 物而內陷	1 除氣法 2 冷過程真空除氣器 3 加入亞硫酸鈉與之結合
渾濁物或 沉澱物		懸游固體	助長水垢的發生	1 凝聚-過濾 2 沉澱
有色體 有機物質		懸游固體或 溶解固體	引起泡沫及汽水併 發現象	1 充氣法 2 沉澱-過濾

名 稱	化學分子 式或標誌	存在狀態	影 響	去 除 方 法
油		膠體	引起泡沫及汽水併發等現象	1 凝聚-過濾 2 油脂去除器
重碳酸鹽	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	溶解固體	構成水垢	1 蒸發器 2 化學軟化
鈣、鈣鹽類	CaSO_4 CaCl_2 MgSO_4 MgCl_2	溶解固體	構成水垢	1 冷過程石灰-純鹼法 2 熱過程石灰-純鹼法 3 熱過程石灰-純鹼法及熱磷酸鹽處理 4 鈉沸石軟化器 5 氫沸石軟化器 6 陽離子-陰離子交換法
鈉 鹽	NaHCO_3 Na_2CO_3 NaOH NaCl	溶解固體	1 鈉鹽濃度過高可引起泡沫及汽水併發等現象 2 鍋爐金屬發生苛性脆化 3 Na_2CO_3 及 NaHCO_3 性質不穩定, 在高溫度下容易分解成 NaOH 及 CO_2 , 引起腐蝕及苛性脆化等弊害	1 放水 2 鍋爐壓力在250 ^磅 平方吋以上時不用 Na_2CO_3 作為鍋爐內部化學軟化劑
硫酸鹽	SO_4^{--}	溶解固體	與鈣、鈉離子結合, 為產生硬垢的主因	1 增加鍋爐放水量 2 鈉鹽處理 3 陽離子-陰離子交換法
鐵 及 錳	Fe^{++} Mn^{++}	溶解固體	在鍋爐內部積附	1 充氣法 2 大量存在時, 先經化學處理, 然後過濾及充氣
氧化矽	SiO_2	溶解固體 或懸游固體	構成硬垢	1 凝聚-過濾 2 陽離子-陰離子交換法

不良的熱導體, 如積有相當厚度時, 除減低熱力傳導效率及增加燃料費用外, 且鍋爐水管常會因過熱而燒毀。

(2) 腐蝕 給水如為酸性或水中含有某種溶解氣體時, 在鍋爐運用壓力及溫度下, 常使金屬發生腐蝕。

(3) 飛塵 鍋爐水中鈉鹽濃度太高且同時有懸游固體存在時,

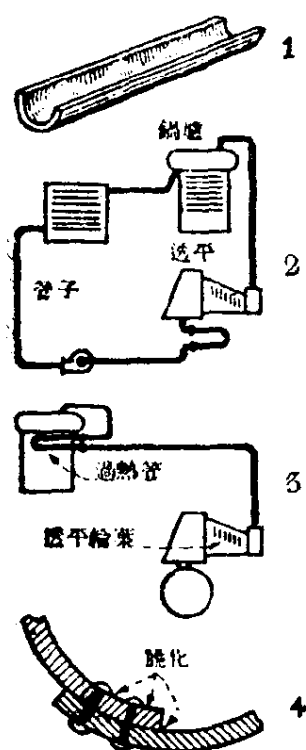


圖 2 應用不潔的給水所引起的四種弊害

或水中含有油脂一類有機物質時，則鍋爐水面上常易發生泡沫，蒸汽中常雜有水份及水中懸游固體。

(4) 苛性脆化 鍋爐水中鈉鹽濃度太高，或鍋爐金屬受應力 (Stress) 太高或不勻部分，如鍋爐汽鼓接合處 (近代電焊無縫者例外) 及轆口處等，常發生裂痕或苛性脆化現象。

以上四種弊害，有的在鍋爐運用時發生困難，也有使鍋爐設備因之損壞而貶值。所以給水處理設備及管理工作為蒸汽動力廠的維護所必不可缺的一環。

給水處理方法 給水處理方法由於各廠所用水質、給水處理設備、鍋爐運用溫度及壓力等不同的緣故，即在同一廠內，數座鍋爐水質也各不相同，故事實上不可能硬性規定，祇能參照各廠實際情況來處理。常用的方法有如下列：

1. 沉澱 (Sedimentation)
2. 凝聚 (Coagulation)
3. 過濾 (Filtration)
4. 化學軟化或石灰-純鹼軟化
5. 沸石軟化
6. 給水的預熱
7. 蒸發 (Evaporation)
8. 除氣 (Deaeration)
9. 充氣 (Aeration)

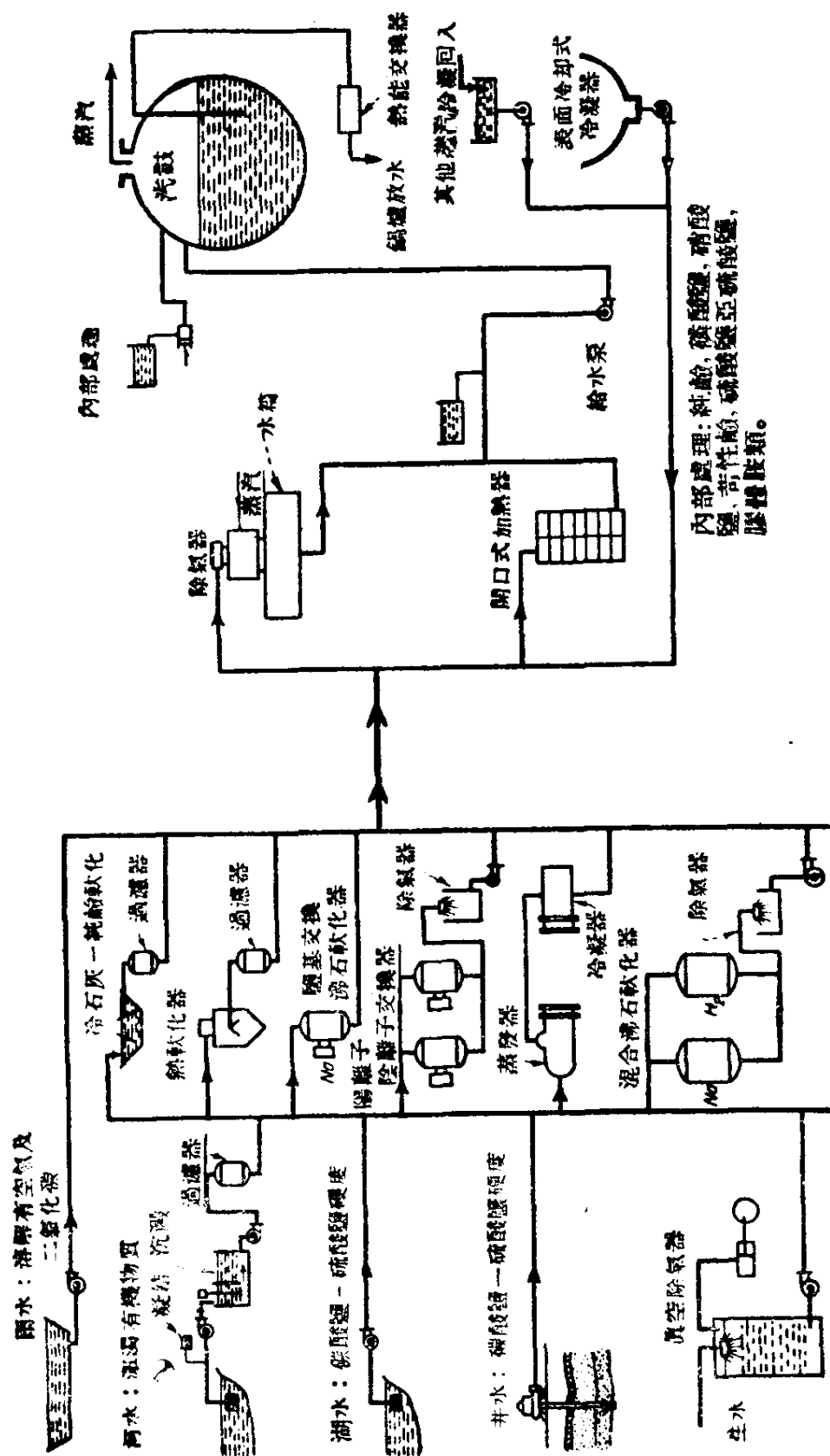


圖 5 處理鍋爐給水常用的各種方法