

螯合劑對積垢指數之影響

Effects of Chelating Agent on Fouling Index of RO Membrane

*蔣本基 **李漢中

摘要

逆滲透法海水淡化廠添加螯合劑做為前處理之目的，主要係用於控制碳酸鹽、硫酸鹽對薄膜形成積垢之影響。因此，本研究中分別使用SHMP、EDTA、 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 在不同操作條件下進行各項測試工作，探討加酸及加螯合劑對碳酸鹽、硫酸鹽沉積之控制能力；以了解化學加藥下對積垢指數之效應及尋找較佳的螯合劑與其操作條件。

研究結果發現在相同水質判定三種螯合劑對膠體積垢指數效應之影響時，在pH值於6.5及不加酸的情況下分別各加入10mg/L，其中僅有使用SHMP=10mg/L在pH=6.5時為正效應，其餘皆為負效應。此外，在預防碳酸鹽 $\text{MgCO}_3(s)$ 積垢上則發現當S&DSI>0會有 $\text{MgCO}_3(s)$ 沉澱物產生。因此，利用S&DSI指數評估碳酸鹽沉積應能有效加以預測，但三種螯合劑對S&DSI指數之影響皆不大，不如加酸調整pH值至7以下即能有效加以控制。

對 IP_b 指數而言，在錯合 Ca^{2+} 能力上以EDTA最佳，SHMP最差，但 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 、SHMP皆會水解產生磷酸根，而必需加入較多硫酸以達到相同pH值，以至於硫酸根濃度增加，在計算後以EDTA加藥之 IP_b 值最低，SHMP、 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 則相差不多，其值雖小於DuPont公司所建議之 K_{sp} 值，但卻無法合乎 $K_{sp}<2.34 \times 10^{-5}$ 之要求。

除考慮上述螯合劑對積垢指數之影響外，在實用性上SHMP、 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 之成本較低且藥品溶解度較高，在配製高濃度時設計攪拌強度問題較少，而EDTA則無此優點。因此，在考慮下以SHMP為較佳為抑垢劑。

壹、引言

在海水淡化程序中，影響薄膜執行效率及壽命之最重要因素乃是薄膜積垢。而在積垢形成下，對薄膜之影響會造成產水通量降低、鹽通量升高，而縮短薄膜使用時間，若

*台大環境工程學研究所教授

*台大環境工程學研究所碩士，現為中興工程顧問社環一部工程師

積垢形成為不可逆反應時更造成薄膜壽命縮短。因此，對於會形成薄膜積垢潛能之因子，應設置適當之前處理設備予以去除，以防制積垢之形成。以維持水通量、防止鹽通量升高、延長薄膜壽命。而在操作過程中，必需偵測水質建立各項積垢指數，期能做適度調整操作程序以避免積垢之發生。

在現有積垢指數中，SDI及MFI乃是評估懸浮固體物、膠體積垢潛勢之常用指標；S&DSI則係針對CaCO₃等碳酸鹽積垢；IP_b指數則探討CaSO₄、BaSO₄、SrSO₄等硫酸鹽沈積；其餘積垢指數則沒有固定指數可加以預測積垢指數。因此，在本研究中主要乃以SDI、MFI、S&DSI、IP_b等積垢指數做為探討之重點，藉以了解整合劑對積垢形成因子之控制能力與積垢指數之影響。

貳、研究方法

2.1 各指數測量方法

2.1.1 Silt Density Index(SDI)(1)

(1)測量方法：乃在30 psi(270kpa)下，進水通過0.45 μ Millipore 之CA濾膜之速率，其裝置示意圖如圖2-1

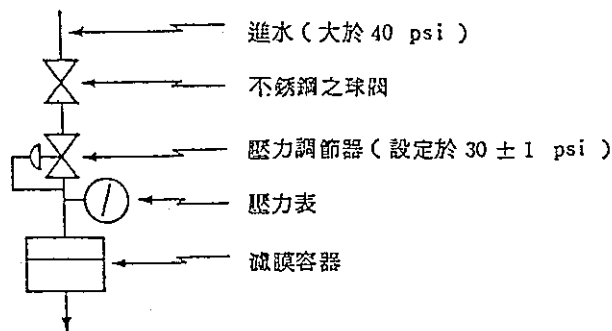


圖2-1 SDI之裝置示意圖

(2)計算方法：

$$SDI = \frac{\%P_{30}}{t_t} = \frac{100(1 - \frac{t_i}{t_f})}{t_t}$$

其中： P_{30} ：在30 psi操作壓力下， P_{30} 必須小於75%，否則可減少 t_t 再作。

t_t ：全部操作時間，一般以15分鐘計。

t_t ：最初收集500ml水樣所需之時間(sec)。

t_f ：經過 t_t 後收集500ml水樣所需之時間(sec)。

(3)與積垢關係

如表2-1

表2-1 薄膜積垢現象與SDI及界達電位之關係

SDI數值	界達電位	膠體積垢情形
小於3.0	0—15至-30mv	積垢情形輕微
3.0至5.0	0—15mv	中度積垢現象，需加入適當前處理設備。
大於5.0	不顯著	嚴重之積垢現象，需增加前處理設備。

2-1-2 Modified Fouling Index(MFI)(2)(3)

(1)測量設備：同SDI。

(2)測量方法：乃每隔30秒測量總濾液體積，大約15分鐘。

時間/總濾液體積

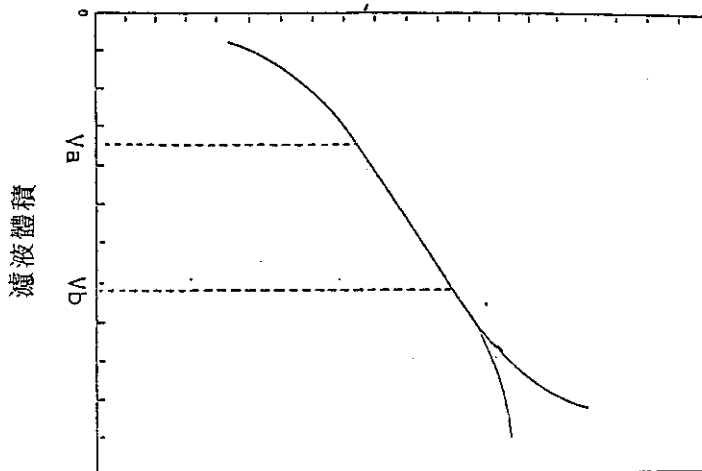


圖2-2 典型的過濾曲線

(3)計算方法：

$$MFI = \frac{\mu_{20}}{\mu} \frac{\Delta P(\text{psi})}{30(\text{psi})} - \xi \quad (6)$$

其中： μ_{20} ：為濾液在20°C時之黏滯度

μ ：操作下濾液下黏滯度

ΔP ：操作壓力

ξ ：圖2-1-2中直線部分之斜率

(4)與積垢關係

利用矽藻土配置不同濃度溶液做MFI test，可以發現呈直線關係，因此測知某MFI值下，即可得到該狀況下之膠體濃度，如圖2-3。

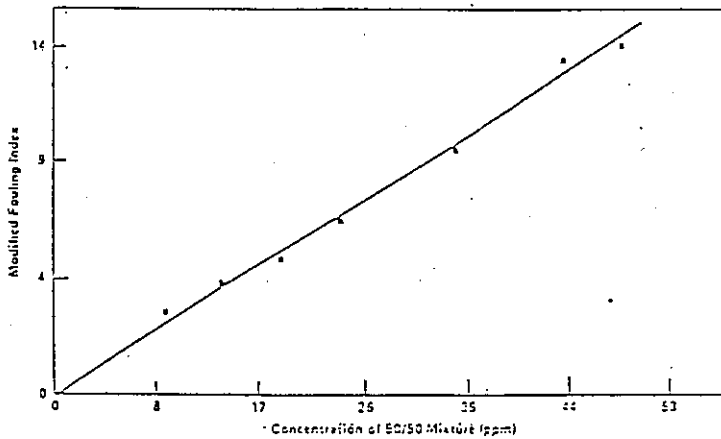


圖2-3 MFI值與膠體濃度之關係圖

2-1-3 Stiff and Davis Stability Index [4](S&DSI)

(1)定義： $S\&D S I = pH_b - pH_s$

其中， pH_b ：為濃縮水之pH值

pH_s ：為使 $CaCO_3$ 在飽和溶解度時之pH值

$pH_s = pCa + pAlk + K$

此處 pCa ：為 Ca^{2+} 之負對數值

$pAlk$ ：為鹼度之負對數值

K ：為離子強度常數

(2)與積垢關係

$S\&D S I < 0$ ，未飽和狀態，不會 $CaCO_3(s)$ 沈積形成。

S&DSI=0，飽和平衡狀態。

S&DSI>0，超飽和狀態，會有 $\text{CaCO}_3(s)$ 積垢產生。

2-1-6 Ion Product(IP_b)(4)

(1)定義：

$$\text{IP}_b = (M_{\text{Ca}^{2+}})_b (M_{\text{SO}_4^{2-}})_b \quad (16)$$

$$\text{IP}_b = (M_{\text{Ba}^{2+}})_b (M_{\text{SO}_4^{2-}})_b \quad (17)$$

$$\text{IP}_b = (M_{\text{Sr}^{2+}})_b (M_{\text{SO}_4^{2-}})_b \quad (18)$$

其中 M_{ib} 之計算如下式

$$M_{ib} = \frac{C_{ib}}{(MW_i)(1000)} \quad (19)$$

M_{ib} ：表示濃縮水之離子莫耳濃度(moles/l)

C_{ib} ：為離子濃度以mg/l表示

(2)與積垢關係

一般 $\text{IP}_b < K_{sp}$ 表示未飽和，不會有積垢形成，而為安全考慮，則必須小於或等於 $0.8K_{sp}$ 。但Mindler及Epstein 5]的報告中，在使用 K_{sp} 值上，則沒有考慮離子強度的影響，對於 CaSO_4 積垢，直接以Gypsum($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)之 K_{sp} 來比較。

$$K_{sp}(\text{CaSO}_4) = 2.4 \times 10^{-4} \text{ mol}^2/\text{l}^2 = 2.4 \times 10^6 \text{ mg}^2/\text{l}^2$$

(as CaCO_3)

當 $\text{IP}_b < 2.4 \times 10^6 \text{ mg}^2/\text{l}^2$ ，則不會有積垢的形成，

$\text{IP}_b = 2.4 \sim 5 \times 10^6 \text{ mg}^2/\text{l}^2$ ，有積垢形成，需加入5~10mg/L的
Polyphosphate

$\text{IP}_b = 5 \sim 10 \times 10^6 \text{ mg}^2/\text{l}^2$ ，則需加入15mg/L的Polyphosphate。

2.2 實驗方法

(1)方法：使用SHMP、EDTA、 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 在不同操作條件下進行各項測試分析工作，並參考Du Pont公司B-10操作手冊(9)以計算各轉換條件下之指數值。

(2)操作條件：

i)加藥濃度：0、5、10、15、20 mg/L

ii)pH值：6.0、6.5、7.0、7.5、不加酸

(3)測試項目：SDI、MFI、S&DSI、 IP_b

(4)分析項目： Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 鹼度， SO_4^{2-}

(5)分析方法

i) Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} ：利用原子光譜吸收儀(Perkin-Elmer 5000型)

ii) Ca^{2+} ：以離子分析儀(Dionex Ion Chromatography 10型)測定。

iii) 氯鹽：硝酸汞法

iv) 硫酸鹽：濁度法(Turbidimetric Method)

v) 鹼度：指示劑法

(6)指數計算條件

i) 清水回收率：30%

ii) 操作溫度：25°C

(7)判定標準：

i) $SDI < 3$

ii) $S\&DSI < 0$

iii) $IP_b < k_{sp}$

參、結果與討論

3.1 整合劑對SDI、MFI、SDMF指數之影響

3-1-1 SHMP(Sodium Hexametaphosphate)

本子題研究所取用之水乃是經過匣濾後之海水進水，藉水槽儲存足夠水量以進行各組試驗，為瞭解化學加藥對積垢指數之影響，同時進行空白對照組試驗以利於比較與分析。圖3-1為改變pH值下SHMP加藥量對積垢指數之效應，其中在單純調整pH值由8至6時指數效應顯示隨pH值降低指數正效應趨勢愈大，低於pH=6.5後正效應降低。在單純加藥下(pH=8)指數效應隨SHMP加藥量增加負效應增強，在大於25mg/L後負效應減弱漸轉為正效應。pH=7.5下加藥則多呈負效應現象，而在pH=6.5-7間各加藥量下則正效應趨勢明顯；pH=6時加藥在20mg/L以下時則呈現負效應，而加藥量變化與正負效應趨勢則不若調整pH值明顯，表示影響指數效應之主要因子應為pH值。

利用Titrator水化學應用軟體計算海水化學平衡之關係，經計算後可知於海水中會產生沈澱之化學物為 $CaSO_4(s)$ 、 $BaSO_4(s)$ 、 $MgCO_3(s)$ 、 $Fe(OH)_3(s)$ 、 $Al(OH)_3(s)$ 、 $Mg_3(PO_4)_2(s)$ ，而於化學加藥過程中主要改變為pH值， SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 PO_4^{3-} 等變數，

其影響如下：

(1) pH值改變：圖3-2~3-6顯示調整pH值對幾種沈澱物之影響，其中pH在調至6以下時 $\text{CaSO}_4(\text{s})$ 沈澱濃度增加，並在 $\text{pH}=5.5$ 時形成 $\text{SrSO}_4(\text{s})$ 沈澱， $\text{Al}(\text{OH})_3$ 沈澱在 $\text{pH}5.5\sim 9.5$ 總濃度 $C_T(\text{Al})$ 大於 10^{-10} (mole/L)時會形成； $\text{MgCO}_3(\text{s})$ 沈澱在 $\text{pH}<7.3$ 以下即不會形成； $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s})$ 則在 $\text{pH}>6$ ，總P濃度 $C_T(\text{P})>5\times 10^9$ mole/L下才會發生；而 $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$ 沈澱區域在 $\text{pH}>2.5$ ，總Fe濃度 $C_T(\text{Fe})>10^{-16}$ mole/L下皆會發生。

(2) 改變 SO_4^{2-} 濃度：由於Titrator軟體在設計上只能改變一項參數，因為加酸過程中增加硫酸根之效應則無法表示出來，由圖4-7可知 $\text{CaSO}_4(\text{s})$ 、 $\text{BaSO}_4(\text{s})$ 沈澱濃度隨 SO_4^{2-} 濃度增加而增加。

(3) 改變 Ca^{2+} 濃度： Ca^{2+} 濃度之改變主要乃受到抑垢劑錯合之影響，在抑垢劑濃度增加下，游離 Ca^{2+} 濃度減少，圖3-8亦顯示隨 Ca^{2+} 濃度減少 $\text{CaSO}_4(\text{s})$ 沈澱量亦降低。

(4) 改變 PO_4^{3-} ：海水本身 PO_4^{3-} 濃度約為0.01mg/L，但在加入SHMP、 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 後會因水解而增加 PO_4^{3-} 濃度，圖3-9即顯示 PO_4^{3-} 濃度增加下 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s})$ 沈澱量亦增加。

因此，在單純調整pH值下主要為增加 $\text{CaSO}_4(\text{s})$ 、 $\text{BaSO}_4(\text{s})$ 沈積量，減少 $\text{MgCO}_3(\text{s})$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$ 、 $\text{Mg}(\text{PO}_4)_2(\text{s})$ 沈積量及至pH至7以下時矽與礦物黏土解離之效應，在整體影響下，指數正效應隨pH值降低而有增大之趨勢。單純加藥時，水解形成 PO_4^{3-} 濃度隨SHMP加藥量增加而增加，使形成 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s})$ 沈澱濃度升高，而游離鈣離子濃度隨SHMP濃度增加而減少，因此， $\text{CaSO}_4(\text{s})$ 之沈澱量則減少，當加藥量大於10mg/L時磷酸鹽沈澱負效應較硫酸鈣沈澱量減少之正效應為大。因此在單純加藥下指數負效應隨加藥濃度增加而有加大之趨勢。其間位於 $\text{pH}=6.5-7$ 間則因矽、礦物黏土解離與 $\text{MgCO}_3(\text{s})$ 解離而使其正效應較大，所以，指數效應在各加藥量下多呈現正效應趨勢。

基於上述討論在使用SHMP做為抑垢劑時，宜考慮對SDI、MFI、指數之效應，其較佳之操作條件pH在6.5-7之間，加藥量則介於5-20mg/L。

3.1.2 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$

而當使用 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 做為抑垢劑其對指數效應如圖3-10所示，其指數變化趨勢與SHMP大致相同，但其正效應範圍較小，大致於 $\text{pH}=6.5-7$ 間，加藥量10mg/L以下才有正效應。由實驗數據顯示，加入相同濃度之 $\text{Na}_5\text{O}_3\text{P}_{10}$ 與SHMP下， $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 所水解之 PO_4^{3-} 濃度較SHMP為高，而因 PO_4^{3-} 具有緩衝作用。因此，在欲達到相同pH值下所需加入之硫酸根濃度增加，所以在 PO_4^{3-} 與 SO_4^{2-} 濃度增高下 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2(\text{s})$ 與 $\text{CaSO}_4(\text{s})$ 、 $\text{BaSO}_4(\text{s})$ 沈積量增

加，而造成正效區較小之現象。

因此，以 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 做為抑垢劑時，考慮其對指數效應之影響，較佳之操作條件應為 $\text{pH}=6.5\sim 7$ 、加藥量 $=5\sim 10\text{mg/L}$ 。

3.1.3 EDTA

使用EDTA做為抑垢劑時，其對指數效應之影響如圖3-11所示。由圖顯示多數加藥條件下指數多呈負效應，由於EDTA並不會水解成 PO_4^{3-} 而形成磷酸鹽沈澱，因此，在預測結果上應不會造成多數負效應現象。由此，判斷造成此種變化之原因應來自於EDTA之低溶解度，由實驗過程中即使加入 5mg/L ，在攪拌強度不大下尚可見到加藥槽底之白色粉末，在加大攪拌強度後反而造成不溶解態之EDTA形成分散相而使水呈現白色混濁。在此影響下而使指數多呈負效應。因此，在考慮使用EDTA作為抑垢劑時，其對指數效應除多呈負效應現象外，最麻煩乃是操作控制上之問題，在加藥槽需配置高濃度條件下，EDTA溶解度及攪拌強度需小心控制，否則，EDTA在不溶下反而造成指數值之上升。

3.2 螯合劑對S&DSI指數之影響

經控制各 pH 值及加藥量下之S&DSI值。由圖3-12顯示S&DSI主要受到 pH 值影響，其間在 $\text{pH}=7$ 時即可控制 $\text{S\&DSI}<0$ ；而改變SHMP加藥量對於降低S&DSI指收影響很小，在加藥至 30mg/L SHMP下相對於空白試驗其效應小於10%。

其原因在於改變抑垢劑加藥量只能減少鈣離子濃度，在取對數值後其效應更加減少。因此，圖3-13~3-14中改用 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 、EDTA作為抑垢劑時，S&DSI值之變化趨勢亦與SHMP相同。由此可知，利用加酸調整 pH 值即能有效掌握S&DSI值以防止碳酸鈣積垢之形成，改變抑垢劑與加藥量對S&DSI指數之效應遠小於調整 pH 值。所以，當S&DSI值在 -0.5 附近操作時，則操作條件只要調整 $\text{pH}=6.5\sim 7$ 之間即可。

利用Titrator軟體計算碳酸鹽沈積之可行性，知主要沈澱物為 $\text{CaSO}_4(\text{s})$ ，而在消耗大部分 Ca^{2+} 下， $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 沈澱不會形成，反而形成 $\text{MgCO}_3(\text{s})$ 沈澱，S&DSI指數因為只對 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 沈澱潛勢作評估，故在避免 $\text{CaSO}_4(\text{s})$ 沈澱下再進行本計算。

經計算後之結果如圖3-15所示。顯示原水在 $\text{pH}=7.7$ 以下時即不會有 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 沈積形成，此時S&DSI值約為 0.5 ，而經濃度後之排水則在 $\text{pH}=7.6$ 以下才不會有 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 沈積發生，且其產生沈積量較原水高，此時S&DSI值約為 0.3 。而在 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 沈澱下 $\text{MgCO}_3(\text{s})$ 則不會形成沈澱。由開始沈積點之S&DSI值顯示碳酸鈣沈澱並不在 $\text{S\&DSI}>0$ 時即開始形成，

而是有一緩衝值，因此在單獨預估 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 沈積使用S&DSI指數應能有效預測。而海水中因離子競爭影響應主要產生 $\text{MgCO}_3(\text{s})$ 沈澱，而在控制 $\text{MgCO}_3(\text{s})$ 沈澱上由圖3-4之關係中可知將pH調至7.3以下即可有效控制 $\text{MgCO}_3(\text{s})$ 沈澱。

3.3 螯合劑對 IP_b 指數之影響

圖3-16~3-18顯示SHMP、 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 、EDTA三種抑垢劑對 IP_b 指數之影響，在不加藥只調整pH值下顯示 IP_b 值有隨pH值降低而有上升之趨勢，其中pH=8時 $\text{IP}_b=7.1 \times 10^{-4}$ 至pH=6時 $\text{IP}_b=7.4 \times 10^{-4}$ ，其增加效應約為4.2%，原因乃是加酸過程中直接增加硫酸根濃度所致。而增加抑垢劑加藥量則 IP_b 值則有下降之趨勢，如使用SHMP加藥至10mg/L時各pH值下之降低率介於6-11%之間；加至25mg/L時之降低效率則介於11-18%之間；而在加入 P_3O_{10} 後，因具有緩衝作用，所以在調整pH時需加入更多酸而使 IP_b 值較不加藥組為高，濃度在20m/L下其減少值之效應介於6-14%之間；EDTA則在加藥10m/L下減低效應在5-10%之間。

由於沈澱形成以Ksp影響最大，Du Pont公司建議使用之Ksp在考慮離子強度影響下為 18.5×10^{-4} ；Mindler則建議直接使用 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 之Ksp= 2.4×10^{-4} ，而Morel資料(6)中使用之Ksp= 2.43×10^{-5} ，因此，在經Titrator軟體設定離子強度=0.64下其計算後之結果，除了Ksp= 2.34×10^{-5} 代入會形成沈澱外，當以Ksp= 18.5×10^{-4} 代入，並改變 Ca^{2+} 濃度由450 mg/L至1000 mg/L及 SO_4^{2-} 濃度由2800mg/L至4800 mg/L兩條件皆不會形成 $\text{CaSO}_4(\text{s})$ 沈積。經膜面切片試驗證實在此條件下應有 $\text{CaSO}_4(\text{s})$ 沈澱，因此，Du Pont公司建議之Ksp值應做修正，以Morel資料Ksp= 2.34×10^{-5} 應能提供較有效之參考。而Mindler在直接使用下亦可提供有效之參考。

因加酸增加硫酸濃度，抑垢劑則錯合游離鈣離子，因此控制上以不加酸單純加藥為最佳，但抑垢劑特性具有臨界濃度之特性，並不全如海水化學平衡所計算，由O.D. Linnikov(7)研究SHMP臨界濃度為19.5mg/L，而A.Y.A1-Borno(8)在整理實廠之資料中指出其加藥量亦多在10mg/L以下，故在操作上加藥量應小於20mg/L為較佳。

3.4 三種螯合劑

為能於相同水質下判定三種抑垢劑對指數效應之影響，乃於不加酸及固定pH於6.5下各別加入10mg/L以比較其效應。由圖3-19顯示在三種加藥下只有使用SHMP=10mg/L pH=6.5時為正效應，餘者皆為負效應。

此外，對於控制碳酸鹽 $MgCO_3(S)$ 積垢之預防情形如圖3-4與3-12~3-14所示，顯然在 $S\&DSI > 0$ 時才有 $MgCO_3(S)$ 沈澱物產生，因此以 $S\&DSI$ 指數來評估碳鹽沈積應能有效加以預測。但三種抑制劑對 $S\&DSI$ 之效應影響不大，不如加酸調整pH值至7以下即能有效加以控制。

對IPb值之影響，在錯合 Ca^{2+} 能力上以EDTA最佳，SHMP最差；但 $Na_5P_3O_{10}$ 、SHMP皆會因水解產生磷酸根而必須加入較多硫酸以達到相同pH值，以至於硫酸根濃度增加，在計算後以EDTA加藥後之IPb值最低，SHMP與 $Na_5P_3O_{10}$ 則彼此間相差不多，其值雖小於Du Pont公司所建議之Ksp標準值，但卻無法合乎 $Ksp < 2.34 \times 10^{-5}$ 之要求。

由表3-1之比較，除考慮積垢指數之影響外，SHMP、 $Na_5P_3O_{10}$ 之成本較低且藥品溶解度較高，在配置高濃度藥品與設計攪拌強度時間其問題較少，EDTA則除成本較高外，因低溶解度所以在配置藥品與設計攪拌強度時較為困難。因此在整體考慮下以SHMP為較佳之抑垢劑。

四、結 論

1. 在考慮對SDI、MFI、DMF指數效應上，使用SHMP在pH=6~7間，加藥量為10~20mg/L下多為正效應；而 $Na_5P_3O_{10}$ 則至pH=6~7間，加藥量為5~10mg/L下為正效應；而EDTA因不是使用二鈉鹽固溶解度甚低，造成多呈現負效應。
2. 三種螯合劑對 $S\&DSI$ 並沒有顯著效應，而藉由調整pH至6.5左右則可有效控制 $S\&DSI$ 在-0.5附近，進而有效控制碳酸鹽沉積。
3. 控制硫酸鹽積垢，經由SHMP、 $Na_5P_3O_{10}$ 、EDTA三種抑垢劑試驗之結果發現，對改善IPb效應而言，以EDTA最好，SHMP、 $Na_5P_3O_{10}$ 則效果較差。
4. 綜合考慮下，除考慮積垢指數之影響外，並比較成本，操作困難度等因素，則以SHMP為較佳之抑垢劑。

五、參考文獻

1. Dupont de Nemours and Co. Determination of silt Density Index Technical Bulletin number 491, 1977.
2. J.C. Schippers and J. Verdouw, "The Modified Fouling Index, A Method of Determining The Fouling Characteristics of Water," Desalination, 32, 1980.

- 3.D.R. Van Der Vaart and E.P. Stahel, "An Investigation of the Modified Fouling Index as a Test for Plugging Potential of Pretreated Seawater," *Desalination*, 68, 1988.
- 4.Dupont de Nemours and Co. "Pretreatment for Membrane
- 5.A.B.Mindler and A.C. Epstein, "Measurements and Control In Reverse Osmosis Desalination," *Desalination*, 1986.
- 6.M.M Morel, *Principles of Aquatic Chemistry*, ch 6, 1983.
- 7.O.D. Linnikov et al, "Inhibition Efficiency of Scale Formation By Chemical Additives, State of the Art," *Desalination*, 74, 1989.
- 8.A.Y.Al-Borno, "Conventional Pretreatment of Surface Seawater for Ro Application, State of the Art," *Desalination*, 74, 1989.

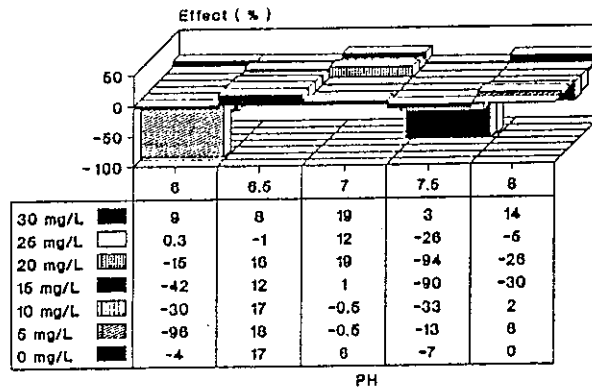


圖3-1 SHMP對指數效應之影響(pH)

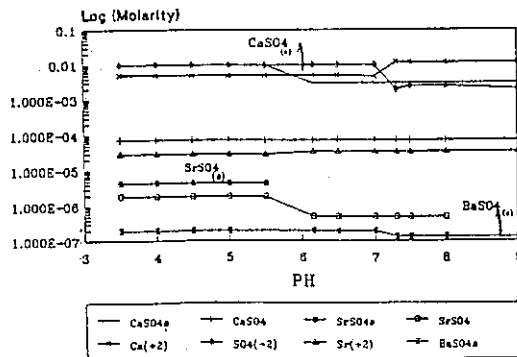


圖3-2 pH值調整下對CaSO₄(s)、BaSO₄(s)、SrSO₄(s)

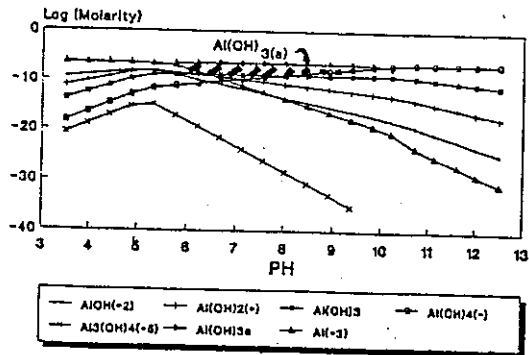


圖3-3 pH值調整下對Al(OH)₃(s)沈澱之影響

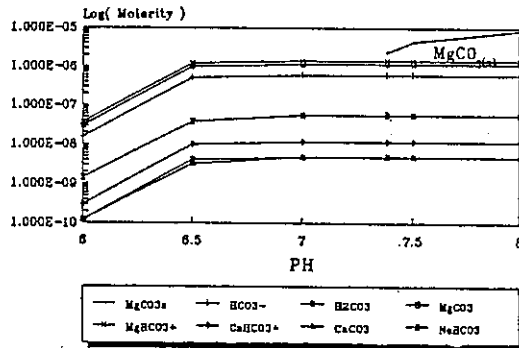


圖3-4 pH值調整下對MgCO₃(s)沈澱之影響

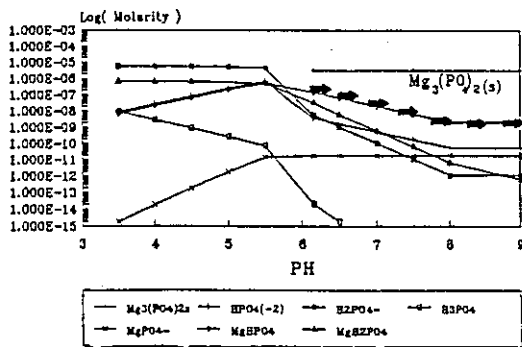


圖3-5 pH值調整下對Mg₃(PO₄)₂(s)沈澱之影響

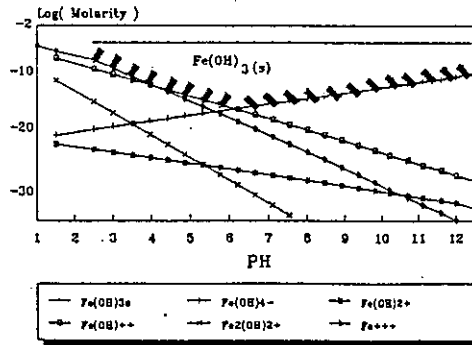


圖3-6 pH值調整下對Fe(OH)₃(s)沈澱之影響

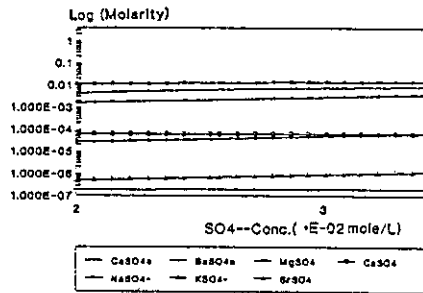


圖3-7 改變SO₄²⁻濃度其相關Species之變化圖

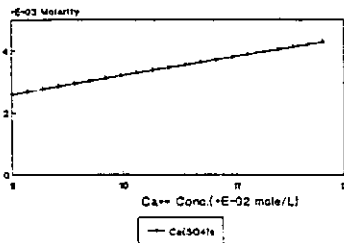


圖3-8 改變Ca²⁺濃度下CaSO₄(s)沈澱量之變化圖

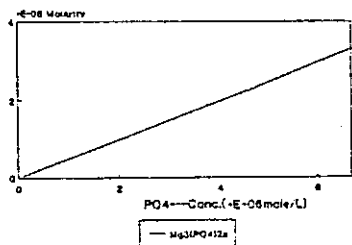


圖3-9 改變 PO_4^{3-} 濃度下 $Mg_3(PO_4)_2(s)$ 沈澱量之變化圖

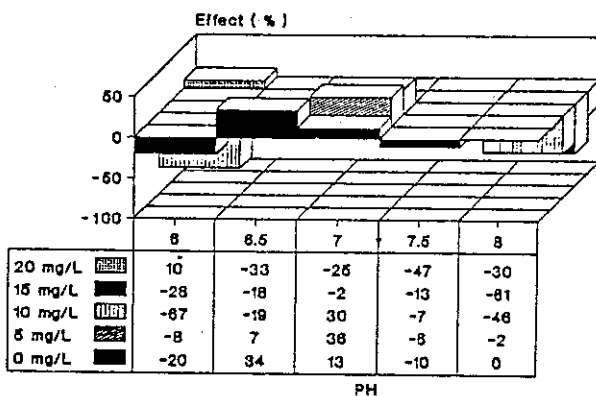


圖3-10 $Na_5P_3O_{10}$ 對指數效應之影響(pH)

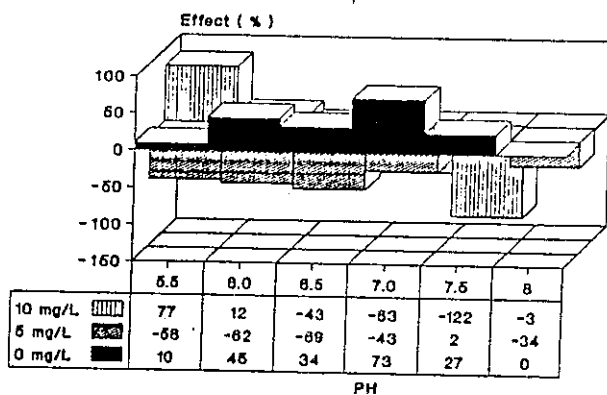


圖3-11 EDTA對指數效應之影響(pH)

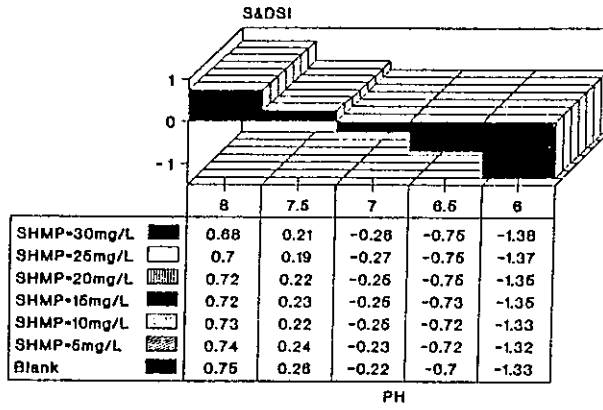


圖3-12 SHMP對S&DSI指數之影響

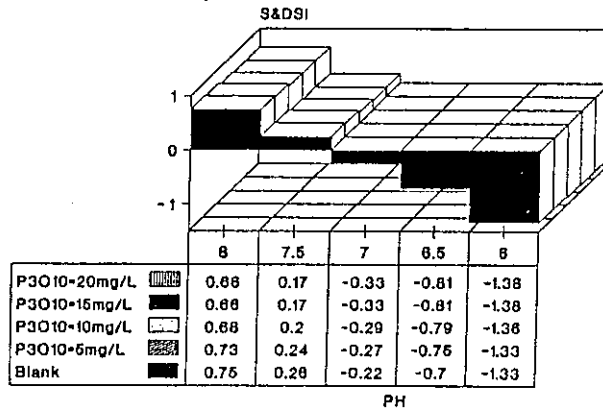


圖3-13 $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 對S&DSI指數之影響

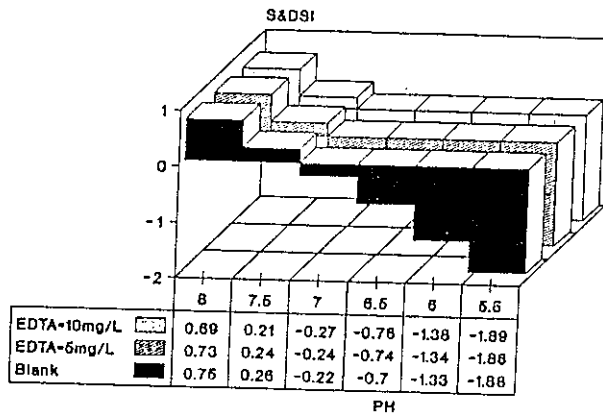


圖3-14 EDTA對S&DSI指數之影響

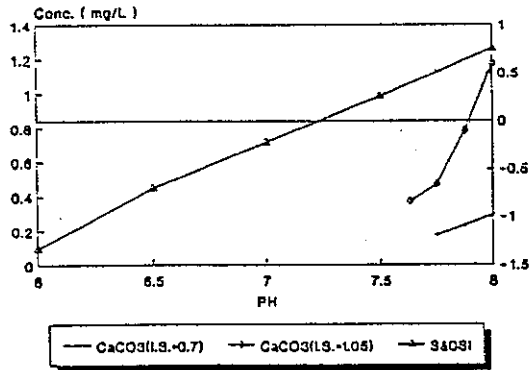


圖3-15 CaCO₃(s) 沈積與pH值及S&DSI值之關係

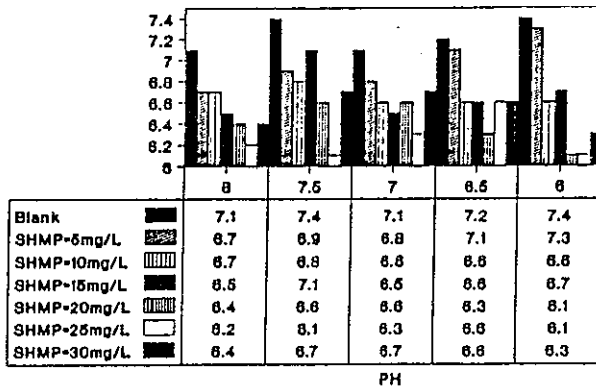


圖3-16 SHMP對IP_b指數之影響

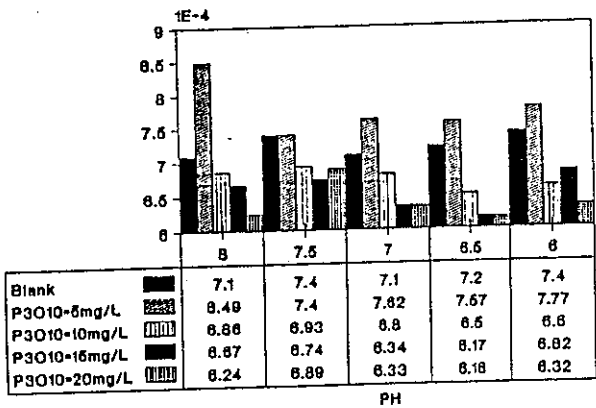


圖3-17 Na₅P₃O₁₀對IP_b指數之影響

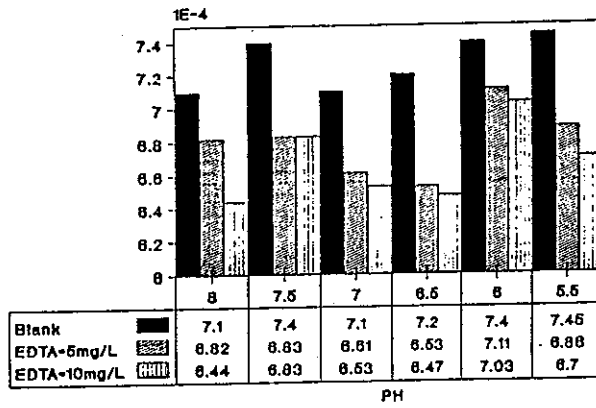


圖3-18 EDTA對IP_b指數之影響

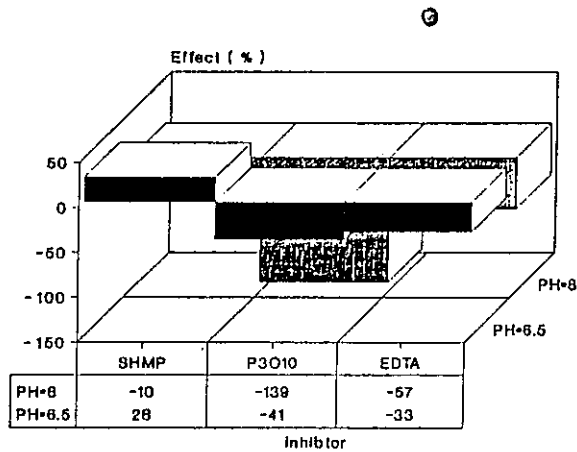


圖3-19 三種抑垢劑對指數效應之比較

表3-1 三種抑垢劑之比較

項目	SHMP	P ₃ P ₁₀	EDTA
較佳之操作之條件	濃度=10-20 ppm pH =6.5-7	濃度=5-10 ppm pH =6.5-7	濃度=10 ppm pH =6.5-7
SDI, MFI, SDMF之效應	正效應範圍大	正效應範圍小	多為負效應
SE&DSI指數之效應	影響小	影響小	影響小
IPb指數之效應	可	可	較佳
單位成本	低	低	較高
溶解度	不高	高	很低
操作困難度	小	小	高