

## 水質腐蝕性調查及防蝕技術需求之芻議

# An Investigation on Water Corrosivity and an Assessment on Research Needs of Internal Corrosion Control Technologies

康世芳<sup>1</sup> 郭文斌<sup>1</sup> 廖志祥<sup>2</sup> 洪鴻斌<sup>1</sup>

### 摘要

水管內面腐蝕傾向主要決定於水質腐蝕性與管材種類，管內腐蝕會影響配水系統之衛生性、健康性與經濟性。本研究乃以台北自來水事業處(北水處)為對象，(1)回顧腐蝕指標及各國應用現況、(2)檢討北水處水質腐蝕特性、(3)檢討今後國內管內防蝕技術需求。

研究結果顯示，水質腐蝕指標因其綜合之水質參數、對象水體及管材種類等差異，故腐蝕指標約達十種，但以藍氏飽和指標(Langelier Saturation Index, LSI)較為學者與國家飲用水法令中採用。北水處淨水場(直潭、公館與長興)清水LSI範圍為-2.1~-3.6，顯示清水具腐蝕性傾向，LSI值偏低主要原因乃為清水為低鹼度、低pH及低硬度所致。LSI值可初步判斷水質腐蝕性傾向，為腐蝕間接評估方法，但無法瞭解水質特性與腐蝕速率之相關性。水管內面防蝕技術主要以調整pH、調整硬度、調整鹼度等改變水質及使用防蝕藥劑，管內防蝕技術及其效果必須依實驗室規模、模型廠規模及現場實施結果，才能決定最有效的防蝕技術。決定管內防蝕技術之際，宜考慮對淨水場處理單元功能及水質影響。國內管內防蝕研究相當欠缺，今後宜(1)建立配水系統及用戶管內腐蝕調查方法、(2)調查管內腐蝕現況、(3)建立管內腐蝕速率之實驗評估技術、(4)配水系統管內防蝕可行性技術之模型廠評估及(5)探討防蝕技術對淨水處理功能之影響。

關鍵詞：管內腐蝕、藍氏飽和指標

- 
- 1.淡江大學水資源及環境工程學系
  - 2.嘉南藥理學院環境工程衛生科

## 一、前言

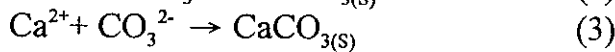
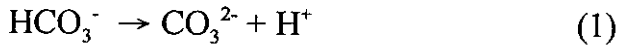
水管腐蝕依其發生在水管內面或外面，區分為管內腐蝕及管外腐蝕。管內腐蝕會引起自來水帶臭味、混濁及金屬溶出，同時易增加配水系統中之漏水率及水壓，故影響配水系統之衛生、健康與經濟等甚鉅[1]。美國環保署基於管內腐蝕對人體健康影響之疑慮，如鉛管與石綿管腐蝕分別引起心臟病與癌症，依安全飲用水法及鉛銅管制法之規定，自來水事業單位須善用最佳淨水處理技術與防蝕技術處理，以避免管內腐蝕對人體之危害[2]。淨水場操作條件、水質管理與管材選擇等為水管防蝕技術之關鍵，故先進國家重視管內防蝕技術，並已著手檢討腐蝕指標、腐蝕評估方法及大都市管內腐蝕現況調查，於自來水水質標準建議增列腐蝕指標值[3]-[7]。相對地，國內於水管防蝕技術之研究以(1)管材規範之建立與修訂及(2)國外防蝕技術資料翻譯或整理為主[8][9]，探討水管腐蝕現況及防蝕技術之相關研究，則相當欠缺；亦僅見民國74年台灣省自來水公司蘇澳地區之研究例[10]。台北自來水事業處(以下簡稱北水處)與台灣省自來水股份有限公司(以下簡稱省水公司)自來水普及率分別為99%與85%以上，隨著高普及率配水系統之建立，配水系統管理為自來水事業單位重要業務之一，美國自來水協會於1994年出版"自來水配水系統及其相關研究需求之評估"，指出管內防蝕為今後配水系統之重要研究主題之一[11]。管內腐蝕不僅造成水質安全性降低，影響用戶健康且亦為市政經濟上之損失，由先進國家之經驗，管內防蝕為國內今後配水系統管理重要研究之一。有鑑於此，本研究乃參考先進國家管內防蝕相關技術資料，同時以北水處之原水與清水水質及使用中水管管材為對象，(1)回顧腐蝕指標與各國應用現況，(2)調查北水處水質之腐蝕性，(3)檢討國內管內防蝕技術需求等，做為今後專家學者、北水處及台灣省自來水公司等於管內防蝕技術之研究需求或業務檢討之參考。

## 二、管內腐蝕原理及腐蝕指標應用現況

### 1. 管內腐蝕原理

自來水輸配水管材如鑄鐵管或延性球狀石墨鑄鐵管之內面，為防止水質與管內面鐵金屬表面之接觸，因化學或電化學反應而發生腐蝕，故管內面經常予以內襯保護膜，水泥砂漿內襯普通使用於鑄鐵管及石墨延性鑄鐵管。內襯水泥砂漿主要成分為碳酸鈣，如(1)式至(3)式反應所示，水中 $\text{Ca}^{2+}$ 離子硬度、pH與鹼度同時影響水管內碳酸鈣溶解度，若碳酸鈣溶解則

表示內襯水泥護膜變薄，增加金屬受腐蝕機會；相對地，碳酸鈣沈澱則表示水中硬度 $\text{Ca}^{2+}$ 離子與鹼度成分 $\text{CO}_3^{2-}$ 或 $\text{HCO}_3^-$ 形成 $\text{CaCO}_{3(s)}$ 沈澱物，雖增加護膜，但過量沈澱物亦減少水管輸水斷面面積，送水量減少且增加壓力，皆非淨水操作之良好條件。



輸配水所使用之鑄鐵管或延性石墨管內面之水泥砂漿內襯覆膜不存在時，則如圖 1 所示鑄鐵管因腐蝕而溶出亞鐵或形成 $\text{Fe}(\text{OH})_{2(s)}$ 沈澱物，一般輸配水管現中之原水或清水含有溶氧則亞鐵被氧化成為三價鐵或生成 $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$ ，這些溶解性鐵鹽或鐵氫氧化合物沈澱物為腐蝕副產物，外觀為橙色或橘褐色之鐵銹。

## 2. 各國腐蝕指標之應用現況

自來水輸配水管材內面腐蝕評估方法可分為間接評估方法及直接評估方法，以腐蝕指標表示水質腐蝕性即為間接測定腐蝕。腐蝕指標乃綜合數項水質參數，並經指標函數計算得一無因次指標值，Single 氏指出因研究者採用腐蝕指標時計算水質參數、管材種類與管材內襯等因素不同，故腐蝕指標多達約 10 種[5]。腐蝕指標雖達 10 餘種，但最普遍為研究者與自來水事業單位所採用者，則為藍氏飽和指標(Langelier Saturation Index, LSI)、穩定指標(Ryznar Stability Index, RSI)與侵蝕性指標(Aggressive Index, AI)，各指標之定義與計算所需水質參數及指標數值之意義整理如表 1 所示，自來水事業單位可由指標數值大小判斷其水質腐蝕性之傾向。為確保水質可口度及避免腐蝕，各國依其水質特性，對清水腐蝕性相關之 LSI 值或 pH 建議，則分述如下。

美國於 1974 年頒布安全飲用水法案，建議所有社區給水系統，對於腐蝕或結垢的偵測可使用 LSI 指標或 AI 指標，且必須向當地政府報告 LSI 或 AI 數值[2][3]。日本於 1993 年頒布飲用水標準中，對水質腐蝕性亦建議自來水事業單位宜將 LSI 值控制於 -0.7 ~ 1.0 之間，pH 範圍為 7.5[7]。荷蘭自來水研究單位 KIWA 亦建議淨水場清水水質之 LSI 值控制於 -0.2 ~ 0.3，pH 範圍為 7.8-8.3[6]。Millette 氏對於美國 35 個地區 1900 水樣分析，以 AI、LSI 及 RSI 等三種指標檢討水質腐蝕性，結果顯示約 16-18% 水樣具強腐蝕性[12]。

由上述可知LSI、AI與RSI較被為採用，尤其LSI指標採用之國家最多，且列入飲用水法規之建議項目。如表1所示LSI及RSI腐蝕指標計算所需水質參數皆相同，亦為北水處水質監測項目；但AI指標僅適用於石綿水泥管不適用於金屬管材，北水處與省水公司皆已禁用石綿水泥管，故本研究選用LSI與RSI腐蝕指標評估北水處水質腐蝕性。同時，表1所示LSI指標中A與B常數分別為對溫度與總溶解固體物(TDS)之修正係數數值如表2所示[3]。

### 三、台北自來水事業處輸配水水質腐蝕性調查

#### 1. 北水處輸配水管材使用現況

管材種類影響管內腐蝕，故探討管內腐蝕時必須先瞭解北水處管材使用現況。輸水、配水及用戶設備等使用之水管管材種類繁多，尤其用戶設備埋設之水管材質是否符合規定且無詳細統計資料，故本研究以北水處輸水、配水使用之管件及配件為對象，調查整理北水處使用管材種類現況與規格。依北水處八十二年底輸配水管使用管材種類統計資料[13]，顯示配水管使用管材以鑄鐵管為主，約佔配水管總長度72%。

輸水管使用管材為鑄鐵管、預力鋼襯混凝土管與預力混凝土管，但鑄鐵管使用長度佔輸水管總長度約佔92%，故知北水處輸配水管使用管材以鑄鐵管為主。北水處於民國68年開始使用延性球狀石墨鑄鐵管，上述統計資料中鑄鐵管應包含鑄鐵管(民國68年以前埋設)及延性球狀石墨鑄鐵管(民國68年以後埋設)，於目前各佔多少比例則無法正確統計數據。

輸配水管使用之管材，於材料管理區分為(1)直管及(2)管件，直管即為一般以4-6m長度之直線部分之管線；相對地，管件即為直管之附屬配件如彎管、十字管、丁字管、排泥管、套管、縮管等管件。民國68年以後採用之延性球狀石墨鑄鐵管，依北水處「延性球狀石墨鑄鐵直管與管件規格」直管內部必須施以水泥砂漿內襯[14]，同時水泥砂漿內襯厚度為6-15mm依所示依管材直徑而異，管徑愈小者因內襯厚度較薄，其能承受腐蝕時間則較短。相對地，管件因其長度未若直管長，且具各種形狀，故於管件製作時不易以離心方式施以水泥砂漿內襯，則規範其塗料防蝕。民國68年以前使用之鑄鐵管，對直管雖亦規範水泥砂漿內襯，但鑄鐵管管件則未予以規範防蝕。

#### 2. 北水處輸配水腐蝕性調查

北水處自來水原水種類可概分為地表水(河川水、水庫水)及地下水，但其主要水源為地表水，如表 3 所示為直潭、長興、公館、陽明、雙溪等前五大淨水場之水源地及出水量，約佔北水處總供水量95%，其中以直潭淨水場出水量最大。本研究以此五座淨水場民國81年1月至83年12月三年間之水質資料為評估對象，水質資料直接引用北水處原水、清水年報表之各月平均值，計算LSI值與RSI值以評估水質腐蝕性。同時以台灣省自來水公司板新淨水場民國80年原水、清水年平均價值之水質資料，比較板新淨水場與北水處直潭淨水場之水質腐蝕性。

#### (1)北水處各淨水場原水水質腐蝕性

直潭淨水場民國81年1月至83年12月三年間原水腐蝕性LSI值及RSI值之變化如圖 2 所示，原水LSI值範圍為-1.8~-3.3，平均值為-2.6，RSI值範圍為11.0~13.5，平均值為11.8。由表1所示指標意義顯示LSI值小於0或RSI值大於7.0~8.5以上時，水中碳酸鈣未飽和，內襯水泥砂漿有溶解趨勢，意味著直潭淨水場原水具腐蝕性傾向。長興及公館淨水場之水源地同為新店溪，取水口為青潭站，陽明淨水場原水來源為大坑溪，取水口為頂北投站，雙溪淨水場原水為雙溪，取水口為雙溪，各淨水場原水水質LSI與RSI值變化範圍與平均值綜合如表 4 所示，陽明淨水場除外，其餘四處淨水場原水LSI值平均值範圍為-2.0~-2.3，RSI值範圍為11.3~11.8，顯示北水處主要淨水場原水水質皆具腐蝕性傾向，是否會使內襯水泥砂漿溶解，其溶解速率及管材壽命影響程度，則有待今後注意與探討。

#### (2)北水處各淨水場清水水質腐蝕性

北水處直潭淨水場清水腐蝕性LSI值與RSI值如圖 2 所示，LSI值範圍為-2.4~-3.6，平均值為-2.8；RSI值範圍為11.8~13.6，平均值為12.3，顯示直潭淨水場清水具有腐蝕性傾向。宜注意配水管或配水池之內襯水泥砂漿是否有溶解傾向，對未施以防蝕之鑄鐵管管件，則亦發生鐵溶出之趨勢。同時，清水之LSI平均值為-2.8小於原水LSI平均值-2.3；清水RSI平均值為12.3大於原水平均值11.8，顯示清水比原水更具腐蝕性傾向。同樣地，其他淨水場清水水質腐蝕性，且LSI與RSI值之範圍及平均值綜合如表 5，顯示北水處主要淨水場清水水質皆具腐蝕性。清水水質腐蝕性皆大於原水水質腐蝕性之原因，以直潭淨水場為例，LSI或RSI值計算之水質參數為pH、總鹼度(ALK)、鈣離子硬度( $\text{Ca}^{2+}$ )、總溶解固體(TDS)與水溫(T)等五項，如表 6 所示原水與清水之水溫、TDS、及鈣離子硬度無顯著差異，從淨水處理程序對這些物質去除效果而言，直潭淨水場乃採用前加氯、混凝、沈澱、過濾與後加氯等傳統處理流程，因對這些物質無去除效果，故其對處理前後之LSI或RSI值之影響不大；然而處理後清水腐蝕性增大之原

因，乃因淨水處理過程中混凝沈澱添加硫酸鋁或多元氯化鋁，與原水中總鹼度作用，消耗總鹼度且使pH值下降，故表4所示總鹼度平均值處理前後由24.8降至20.7 mg/L as CaCO<sub>3</sub>，pH平均值則由7.2降至6.8。國內淨水場處理設備一般未設置pH調整單元，直接利用原水中既有總鹼度為pH緩衝能力，不再進行pH調整，故清水pH、鹼度皆較原水低，亦造成清水腐蝕性增加之主要原因。

### (3) 北水處淨水場原水、清水水質LSI值與RSI值之相關性

圖3為北水處淨水場原水、清水水質LSI與RSI之相關性，顯示原水、清水之LSI與RSI具良好的相關性，可應用(4)與(5)式求得原水及清水之LSI與RSI關係。

$$RSI = 8.1 - 1.6LSI \quad (R^2 = 0.90) \quad (4)$$

$$RSI = 8.1 - 1.5LSI \quad (R^2 = 0.98) \quad (5)$$

### (4) 北水處配水管內腐蝕之初步調查

前述北水處配水水質腐蝕性檢討之結果，由LSI值與RSI值推知配水管管材鑄鐵管或延性球狀石墨鑄鐵管有腐蝕傾向之虞。研究期間配合北水處管線切換工程，於民國84年10月28日凌晨0點至4點，至位於台北大橋剛入三重市附近進行現場觀測與採樣。該管線切除乃因配合台北大橋施工移動管徑600mm之配水幹管，該幹管管材為鑄鐵管，埋設時間為民國58年。由管線切換工程現場所得600mm鑄鐵管件之彎管內面腐蝕現況，可知管件彎管因未予於以內襯防蝕，且三重市配水系統主要來自直潭淨水場，其清水具腐蝕性(平均pH值6.8，LSI = -2.8，RSI = 12.3)，故彎管內面可看見狀如橙褐色蛋殼狀銹球之腐蝕副產物，此銹球脆弱且中空似蛋殼般，推測此腐蝕副產物為鐵氫氧化合物如Fe(OH)<sub>3</sub>或鐵氧化物如Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>之沈澱物；同時由腐蝕處分布於管內面全部，故判斷其腐蝕為均勻腐蝕。國內管內腐蝕之實測資料相當欠缺，建議今後於管線切換工程宜加強收集相關資料並分析其腐蝕附產物成分，以供檢討腐蝕原因與防蝕對策。

### (5) 板新淨水場與北水處水質腐蝕性之比較

板新淨水場為省水公司於北台灣最大淨水場，隨第三期擴建工程完工，其平均日出水量可達120萬CMD。板新淨水場主要水源為大漢溪及三峽河，水源種類為地表水。依省水公司民國80~81年水質年報，板新淨水場水質年平均平均值，試算其原水及清水之LSI與RSI結果如表6所示，板新淨水場清水LSI值為-0.4，符合日本自來水協會建議之LSI值範圍(-0.7~1.0)，且接近荷蘭KIWA之建議值(-0.2~0.3)，顯示其腐蝕性皆較直潭淨水場原水

(LSI值-2.3)或清水(LSI值-2.8)低，其主要原因乃原水、清水之pH與總鹼度皆較北水處大所致。

#### 四、北水處管內防蝕可行性技術之芻議

##### 1. 北水處清水水質之綜合評析

對已鋪設配水管線而言，其管內腐蝕之發生程度則決定於清水水質特性，清水水質特性則依淨水場操作條件而定。一般而言，清水或原水於低pH、低鹼度、低硬度(軟水)及低緩衝能力時，易發生管內腐蝕，當水中硬度含量為0-75 mg/l、75-100 mg/L、150-300 mg/L as CaCO<sub>3</sub>時，區分自來水分別為軟水、中等硬水及硬水[4]。以直潭、長興與公館淨水場為北水處前三大出水量之淨水場於81年至83年間清水之平均總硬度範圍為24-48 mg/L as CaCO<sub>3</sub>，平均值為33.0-34.7 mg/L as CaCO<sub>3</sub>，水質特性屬於軟水(低於75 mg/L as CaCO<sub>3</sub>)；同時總鹼度範圍為15-33 mg/L as CaCO<sub>3</sub>，平均值為20.7-25.3 mg/L as CaCO<sub>3</sub>，pH範圍為6.7-7.2，平均值為6.8-6.9。Hedberg氏整理歐洲、美國及世界衛生組織(WHO)等所建議之清水水質以控制管內腐蝕[15]，顯示挪威、丹麥、芬蘭、瑞典與荷蘭等歐洲國家，建議之pH為7.0-9.0，且鹼度為30-100mg/L as CaCO<sub>3</sub>，硬度一般為約40-150mg/L as CaCO<sub>3</sub>。由北水處前三大淨水場之清水pH、鹼度、硬度、與LSI值(-2.6 ~ -2.8)之特性，顯示具腐蝕性傾向。

##### 2. 北水處管內防蝕可行性技術之建議

為使自來水對管材腐蝕降至最低或不具腐蝕性，選用防蝕技術時可考慮下列三個基本事項為：(a)調整水質使之對管材較不具腐蝕性、(b)水管內管形成保護膜或內襯、(c)選用適當之管材及良好設計。美國自來水協會調查1097個水源為地表水之自來水事業單位，如表7所示703個水樣淨水場使用之管內防蝕技術，以調整pH最多約佔67.7%；其次為採用腐蝕抑制劑約佔35.3%，鹼度調整站20.8%，一般同時併用兩種防蝕技術。各種防蝕方法皆可能成為淨水場成功的防蝕技術，防蝕技術之選用，必須依淨水場水質特性，實驗評估與現場防蝕成果追蹤，故費時3-5年以上才能決定成功的防蝕技術。比較北水處清水水質與上述之歐洲國家建議值，則顯示北水處於管內防蝕之影響水質參數為總鹼度、總硬度與pH，故北水處可藉由調整pH、總鹼度、總硬度等三方面著手，檢討今後之管內防蝕技術之效果。淨水場可藉由改變操作條件或添加化學藥劑，以達到管內防蝕之目的，但是

否會影響淨水場既有之混凝、沈澱、過濾及消毒等處理單元之功能，則必須一併考慮，且須藉實驗予以評估其可行性與影響。

歐、美、日等先進國家於管內防蝕之研究已有20餘年，且已有相當多技術文獻資料，詳述管內防蝕技術及實施例。本研究為國內首次對自來水管內防蝕技術，(1)以北水處為對象進行初步調查及(2)整理先進國家水管防蝕技術資料。本論文乃一年之研究成果，國內水管防蝕研究亦相當缺乏，由先進國家之經驗，水管防蝕策略與效果追蹤，乃自來水事業單位長期的工作，值得今後國內重視及研究管內防蝕相關技術，建議今後技術研究需求如下：

- (1)建立配水系統及用戶設備腐蝕之調查方法
- (2)調查配水系統及用戶設備管內腐蝕現況
- (3)建立管內腐蝕速率之實驗評估技術
- (4)配水系統管內防蝕技術可行性之模型廠評估
- (5)防蝕技術對淨水場處理功能之影響

## 五、結論與建議

- 1.北水處原水與清水水質腐蝕性LSI值平均值分別為-1.2 ~ -2.3與 -1.5 ~ -2.8，顯示具腐蝕性傾向。
- 2.北水處清水具腐蝕性傾向主要原因乃清水pH、鹼度與硬度皆較低所致。
- 3.建議自來水事業單位水質年報增列清水LSI值。
- 4.必須藉模廠評估實驗與現場調查，才能確認管內防蝕技術之效果。
- 5.建議今後國內管內防蝕技術研究需求如下：
  - (1)建立配水系統及用戶設備腐蝕之調查方法
  - (2)調查配水系統及用戶設備管內腐蝕現況
  - (3)建立管內腐蝕速率之實驗評估技術
  - (4)配水系統管內防蝕技術可行性之模型廠評估
  - (5)防蝕技術對淨水場處理功能之影響

## 參考文獻

1. AWWA, "Lead Control Strategies", *AWWA Research Foundation* (1990)
2. 行政院環境保護署, 「美國飲用水法」, 民國83年(1994)
3. AWWA, "Corrosion Control for Operators", *AWWA Research Foundation* (1986)
4. AWWA, "Lead and Copper Rule Guidance Manual-Volume II: Corrosion Control Treatment" (1992)
5. Singley, J. E., "The Search for a Corrosion Index", *Jour. AWWA*, Vol. 73, No. 11, pp. 579~582 (1981)
6. KIWA, "Optimal Composition of Drinking Water", KIWA Report Number 100 (1988)
7. 日本水道協會, 「金屬管の防食対策に関する研究-タクトイル鑄鐵管の防食対策(概要)」, 東京, 平成3年(1991)
8. 中華民國自來水協會, 「輸配水管線用水管及管件規格標準化之研究」, 台北(1995)
9. 陳從和譯, 「配水管線與用水設備之腐蝕及其對策」, 中華民國自來水協會技術研究所委員會編印, 自來水設施操作維護手冊(草案)9~15章, 第133~134頁(1982)
10. 林建財、李志強, 「蘇澳供水水質腐蝕性之調查及改善研究報告」, 自來水會刊雜誌, 第16期, 第75~105頁, 民國74年(1985)
11. AWWA, "An Assessment of Water Distribution Systems and Associated Research Needs", *AWWA Research Foundation* (1994)
12. Millette, J. R., Hammonds, A. F., Pansing, M. F., Hansen, E. C. and P. J. Clark, "Aggressive Water Assessing the Extent of the Problem", *Jour. AWWA*, Vol. 72, No. 5, pp. 262~266 (1980)
13. 台北自來水事業處, 「台北自來水事業統計年報-民國82年」(1992)
14. 台北自來水事業處, 「球狀石磨鑄鐵直管與管件規格(K.A.F.型)-民國82年」(1992)
15. Hedberg, T., Vik, E. A., Wagner, I., Oliphant, R., Ferguson, J. F., T. van den Hoven, Benjamin, M. M. S. R., Nielsen, K., Paakkonen, J., Fiksdal, L., and J. Forslund, "The Influence of Water Quality on Different Pipe Materials and House Installation-Conclusions from the Workshop", *Corrosion and Corrosion Control in Drinking Water Systems, Proceedings from a Corrosion Workshop and Seminar in Oslo*, No. 3, pp. 1~4 (1990)

## 誌 謝

本研究承蒙台北自來水事業處於研究經費之贊助，同時感謝台北自來水事業處郭瑞華副處長、陳志奕總工程司、史午康科長、陳蔓莉正工程師、台灣省自來水公司盧清雄副總經理、淡江大學化學系王文竹教授及機械系林清彬教授等人於研究期間之協助與諮詢，特此感謝！

表 1 腐蝕指標及其應用意義

指標	方程式及指標名稱	水質參數	指標意義
LSI	$LSI = pH - pH_s$ $pH_s = A + B - \log[Ca^{2+}] - \log[ALK]$ 藍氏飽和指標	$Ca^{2+}$ (mg/L) ALK(mg/L) TDS(mg/L) pH(-) 水溫(°C)	pH：經測量而得的酸鹼度 pH <sub>s</sub> ：經方程式計算所得酸鹼度 LSI>0 管線不產生腐蝕，有結垢產生 LSI=0 管線既無腐蝕也無結垢產生 LSI<0 管線將被腐蝕
AI	$AI = pH + \log([ALK][Ca^{2+}])$ 侵蝕性指標	ALK(mg/L) $Ca^{2+}$ (mg/L) pH(°C)	AI<10 管線產生腐蝕 10<AI<12 管線既無腐蝕也無結垢產生 AI>12 管線不會被腐蝕
RSI	$RSI = 2pH_s - pH$ 穩定指標	pH(-) 水溫(°C) $Ca^{2+}$ (mg/L) ALK(mg/L) TDS(mg/L)	RSI<6.5 管線不腐蝕有結垢 6.5<RSI<7.0 管線既無腐蝕也無結垢產生 RSI>7.0 管線將被腐蝕

注  $Ca^{2+}$ 與ALK分別為鈣離子硬度與總鹼度，其單位皆為mg/L as  $CaCO_3$ 。  
TDS為總溶解固體物。

表 2  $pH_s$ 溫度與TDS修正係數A、B值[3]

水溫 (°C)	A	水溫 (°C)	A	TDS (mg/L)	B
0	2.6	30	1.90	0	9.70
4	2.5	40	1.70	100	9.77
8	2.4	50	1.55	200	9.83
12	2.3	60	1.40	400	9.86
16	2.2	70	1.25	800	9.89
20	2.1	80	1.15	1000	9.90
25	2.0				

表 3 台北自來水事業處主要淨水場水源及出水量

原水種類	水源地	取水口	淨水廠	出水量(CMD)	給水區域
水庫水	北勢溪	直潭	直潭	1,482,881	中和、永和、新店、木柵 三重、北投、士林、大直
河川地表水	新店溪	青潭	長興	578,104	大安、松山、信義、南港
河川地表水	新店溪	青潭	公館	340,023	景美、萬華、中正、木柵
河川地表水	大坑溪	頂北投	陽明	44,419	北投
河川地表水	雙溪	雙溪	雙溪	31,890	士林

表 4 北水處主要淨水場原水水質腐蝕性LSI及RSI值統計

淨水場名	LSI 值範圍	RSI 值範圍	腐蝕性
直潭	-1.8~-3.3 (-2.3)	11.0~13.5 (11.8)	具腐蝕性
長興、公館	-1.7~-2.7 (-2.2)	10.7~12.7 (11.6)	具腐蝕性
陽明	-0.4~-2.0 (-1.2)	8.5~11.4 (10.1)	具腐蝕性
雙溪	-1.2~-3.1 (-2.0)	10.2~13.0 (11.3)	具腐蝕性

表 5 北水處主要淨水場清水水質腐蝕性LSI及RSI值統計

淨水場名	LSI 值範圍	RSI 值範圍	腐蝕性
直潭	-2.4~-3.6 (-2.8)	11.8~13.6 (12.3)	具腐蝕性
長興	-1.7~-2.7 (-2.6)	10.7~12.7 (12.1)	具腐蝕性
公館	-2.2~-3.2 (-2.6)	11.5~13.2 (12.1)	具腐蝕性
陽明	-2.4~-0.9 (-1.2)	9.5~12.1 (10.1)	具腐蝕性
雙溪	-1.2~-3.1 (-2.5)	10.1~13.9 (11.9)	具腐蝕性

表 6 板新與直潭淨水場原水、清水腐蝕性LSI值之比較

水質項目	板新淨水場		直潭淨水場	
	原水	清水	原水	清水
水溫(°C)	23.2	23.4	20.2	20.2
總鹼度(*)	66.8	60.9	24.8	20.7
pH(-)	7.8	7.4	7.2	6.8
TDS(mg/L)	117	120	46.8	47.2
Ca <sup>2+</sup> (*)	64	61	7.8	7.9
LSI值(-)	-0.4	-0.9	-2.3	-2.8

註 \*：濃度以mg/L as CaCO<sub>3</sub>表示

表 7 美國地表水為水源703個淨水場防蝕方法[11]

防蝕控制方法	淨水場個數	703個中佔百分比
pH調整	475	67.6%
鹼度調整	146	20.8%
腐蝕抑制劑	248	35.3%
使用上述兩者以上	559	79.5%

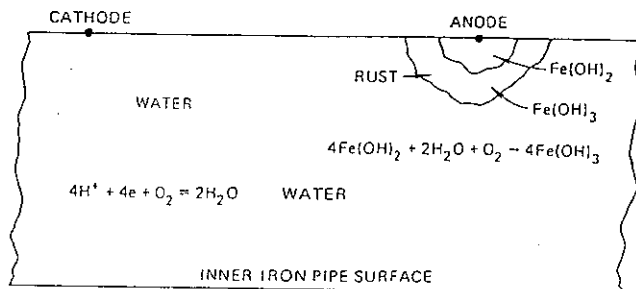


圖 1 鑄鐵管腐蝕之原理

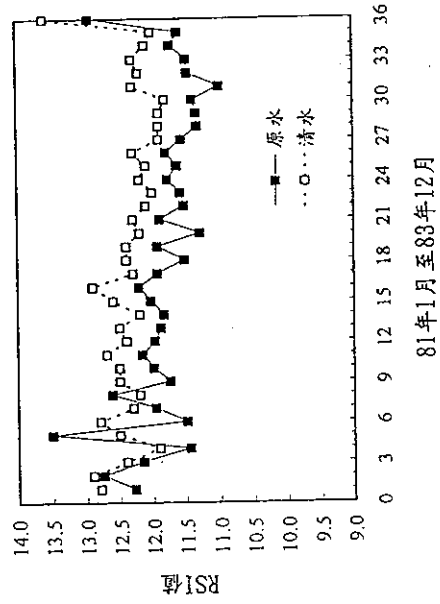
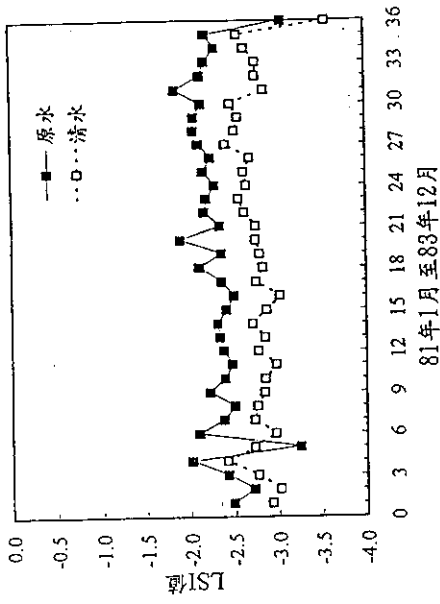


圖 2 台北自來水事業處直潭淨水場原水、清水之 LSI 值與 RSI 值

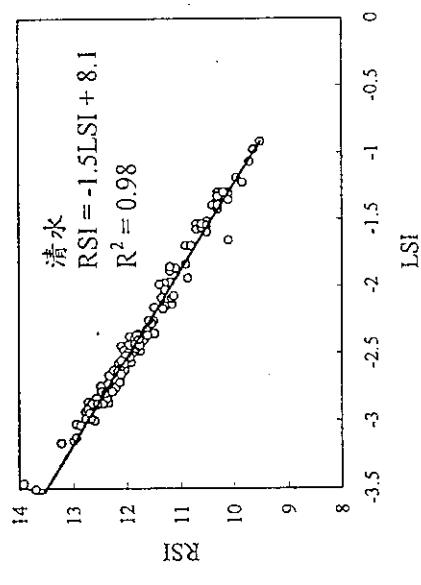
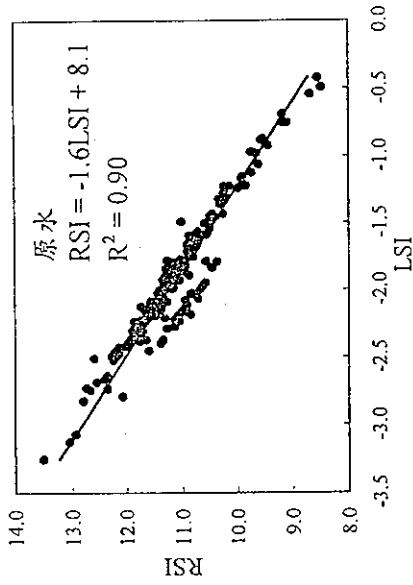


圖 3 台北自來水事業處主要淨水場原水、清水之 LSI 與 RSI 值之相關性