

# 水處理系統之腐蝕防治

薛少俊譯

工業技術研究院工業材料研究所副研究員

## 摘 要

本文的目的旨在給予飲用水處理工場和配水系統相關人員，瞭解腐蝕的起因和控制。因與水接觸造成許多種類腐蝕和材料的問題相當複雜，所以對於水化學及其工程應用，必須深切瞭解來加以控制整個操作系統之腐蝕。

## 壹、前 言

配水管路和水道的腐蝕，每年給水工業評估其損失費用相當驚人。在自來水引起腐蝕之有毒金屬為鉛、鎘、銅、鐵或鋅，對於人體的健康有很大的影響。

在配水系統之腐蝕產物，能保護細菌、酵母菌、微生物。腐蝕環境下，這些微生物可以再製和引起許多問題，諸如惡臭和黏滯，本身亦能引起更深入的腐蝕問題。

腐蝕引起的問題，在水之費用增高方面包括：

- (一)因腐蝕產物阻礙管線而增加泵送費用。
- (二)管子穿孔引起水及其壓力損失。
- (三)水之洩漏及堵塞危及住宅，需要換裝管子和配件。
- (四)過度腐蝕必須更換熱水加熱器。

腐蝕在用水工業是一項重大課題，其能影響大眾健康，取水承受和供給安全水的費用，以往大多數人都忽略此種問題，直至發生費用提高或需求維修次數增加，以及目前日益加重的污染情況才會重視這方面的處理。本文的目的旨在提供水腐蝕的主要因素和腐蝕控制法，以作為水處理業者腐蝕及污染防治作業之參考。

## 貳、水質影響腐蝕因素

水質影響腐蝕的發生和速率，可區分為1 物理因素；2 化學因素；和3 生物因素。大部份情況下，腐蝕藉這些因素之間的複雜相互作用而引起或加速，茲說明如下：

## 一、物理因素：

流速和溫度為水影響腐蝕之兩個主要因素。

- (一)流速：流速似乎有矛盾的效應。在水中具有防護性諸如化成皮膜的趨勢，高流速下藉着傳送防護材料至表面有助於防護塗膜的形成，另外高流速藉增加接觸管路表面溶氧(DO)速率而引起腐蝕。低流速在水處理系統亦會造成腐蝕，通常促成疣面(tuberculation)及孔蝕(pitting)和微生物生長一樣。因此適當地水力設計，可防止或降低腐蝕現象。
- (二)溫度：溫度效應較為複雜，依水化學和系統材料結構而定。一般腐蝕反應速率，隨着溫度增加而加快。其次溫度明顯地影響CaCO<sub>3</sub>的溶解性，高溫時CaCO<sub>3</sub>溶解性低，意謂着CaCO<sub>3</sub>呈現出沈澱現象且形成保護膜。由此沈澱產生保護膜，在系統中可減少腐蝕，另外CaCO<sub>3</sub>的過度沈積能阻礙熱水線。最後一點，增高溫度可改變腐蝕之整個特質，舉個例子來說，在冷溫時水存有孔蝕而於熱溫可產生均勻腐蝕，雖然金屬溶解量或許增加，浸蝕較為緩和，管路壽限增長。

## 二、化學因素：

除了物理因素外，化學因素之腐蝕亦佔有一種重要的角色，見表(一)，茲敘述之：

- (一)pH值：氫離子為金屬腐蝕時棄之電子的接受者，pH值即為氫離子濃度之測定值

表(一) 影響腐蝕之化學因素及其控制

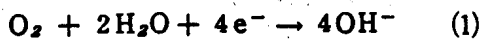
因 素	影 響 性
pH 值	低 pH 值增快腐蝕速率，高 pH 值可保護管子和降低腐蝕速率。
鹼性	可形成碳酸鈣保護膜，有助於 pH 值變化之控制和減少腐蝕
需氧量	增快腐蝕反應速率。
殘留氯	增加金屬腐蝕
總溶解固體量	高總溶解固體量增加導電度和腐蝕速率
硬度（鈣和鎂）	鈣可沈澱形成碳酸鈣，藉此提供保護性和降低腐蝕速率。
氯鹽和硫酸鹽	高值增加鐵、銅、鍍鋅鋼的腐蝕。
硫化氫	增快腐蝕速率。
矽酸鹽和磷酸鹽	可形成保護膜
天然色料和有機物	可降低腐蝕
鐵、鋅或鎂	可在石棉水泥管內部與化合物反應而形成保護膜。

資料來源：Environmental Science and Engineering, Inc., 1982

。當 pH 值低於 5，鐵和銅質迅速均勻腐蝕，大於 9 時，鐵和銅質被保護着，而 pH 值介於 5 與 9 時，若無保護膜則發生孔蝕。

(二) 鹼度 (Alkalinity)：鹼度為水中中和酸之能力測定，在飲用水中，鹼度含有碳酸鹽 ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) 和碳酸氫鹽 ( $\text{HCO}_3^-$ )。鹼度之碳酸氫鹽部份亦能中和碱，因此鹼度分佈之物質可中和酸及碳酸氫鹽可中和碱，統稱為緩衝作用 (buffering)，而測定此特性叫做緩衝量 (buffer capacity)，視作改變 pH 值之阻力。

(三) 溶氧 (DO)：在許多腐蝕領域中，氧是最普遍和極重要的腐蝕劑，為腐蝕金屬之電子的接受者，反應式如下：

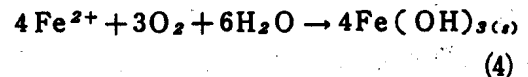
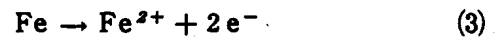


氧亦與氫反應，在陰極釋出，反應式為



氫氣通常涵蓋陰極和阻礙下一步反應，稱作陰極極化，以上移除氫氣之反應為去極化 (depolarization)。

氧與亞鐵離子反應，轉化成鐵離子，足見亞鐵離子溶於水，鐵離子形成未溶之氫氧化物，前者存於腐蝕點形成疣面，或沈積於管路妨礙水流，反應式表之如下：



當氧存在於水中，疣面或孔蝕可能發生。管路深受孔蝕、疣面和沈積的影響。若流速大得足使鐵沈澱物湧出，「紅水」亦會發生。

在某些情況下，氧可與金屬表面反應形成金屬氧化物之保護塗層。

(四) 餘氯：氯降低水之 pH 值，與水反應形成鹽酸和次氯酸



此反應促使水更加腐蝕。水中具有低鹼度，氯對 pH 值影響更大，是由於水對 pH 值改變之抗阻性較低。

(五) 總溶解固體量 (TDS)：較高的 TDS 顯示水中有高離子濃度，其促成電導性。

此增進電導性增快水之能力完成電化學電路，而導致腐蝕電流，另外 TDS 亦會影響保護膜的形成。

- (v) 硬度：硬度是由鈣及鎂離子引起，以  $\text{CaCO}_3$  當量表示。若有足夠鈣離子和鹼度形成  $\text{CaCO}_3$  保護層於系統壁面，通常硬水腐蝕性低於軟水。
- (vi) 氯鹽和硫酸鹽：此兩種離子在溶液中藉與金屬反應造成系統孔蝕和持續溶解性，因此阻礙金屬氧化物保護膜的形成。
- (vii) 硫化氫：硫化氫藉與金屬離子反應而加速腐蝕，形成未溶性硫化物。其攻擊鐵、鋼鐵、銅和白鐵造成「黑水」，甚至缺氧。
- (viii) 矽酸鹽和磷酸鹽：矽酸鹽和磷酸鹽可形成保護膜，藉提供水與管路壁面間之障礙物 ( barrier ) 而降低或抑制腐蝕，這些化學物通常依使用性加於水中。
- (ix) 色度和有機物：色度和有機物的存在，在某些方面可能影響腐蝕。當中有一些與金屬表面反應形成保護膜降低腐蝕，只有一

些與腐蝕物反應促進腐蝕，因此使用色度和有機物作為腐蝕防治法無法列入考慮。

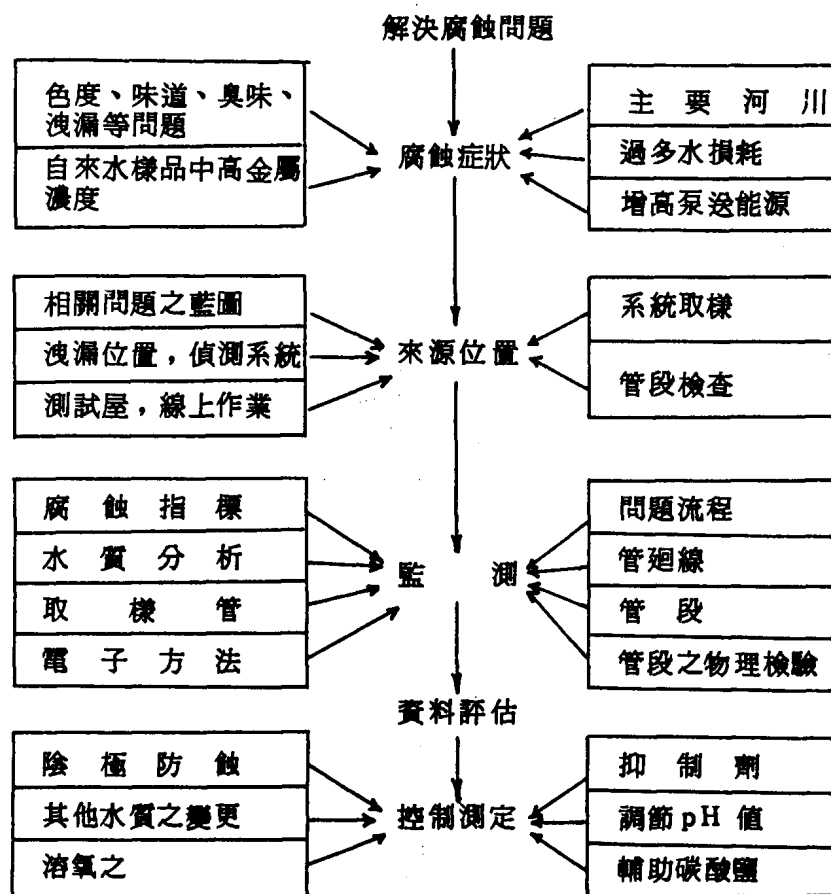
### 三、生物因素：

好氧 ( aerobic ) 和厭氧 ( anaerobic ) 細菌可導致腐蝕，在水處理系統最常見的「腐蝕」細菌是鐵氧化和硫酸鹽還原菌，藉着釋出副產物附在管壁有助於水管疣面的形成。

許多微生物與鐵離子形成沈澱，其活性由於沈澱在配水系統固定點造成較高鐵離子濃度，和微生物之生物膠凝一樣。因此許多厭氣細菌存在於疣面下，控制這些微生物較為困難，無法以氯氣或氧氣除去它們。除此之外，通常發生在死角或低流速區域，餘氯無法存在或持續着。

### 叁、腐蝕控制

在可行情況下，完全消除腐蝕是困難的，有關代表性解決腐蝕問題，如圖(一)所示。腐蝕是由於管材與水直接互相接觸反應所引起，因此有三種腐蝕控制近似法：



圖(一) 腐蝕問題之解決

1. 變更水質以致於管材減少腐蝕。
2. 在水和管子之間置放一個防護障礙物或加襯。
3. 使用管材和設計系統使得不受水腐蝕。

最普遍的腐蝕控制法說明如下：

#### 一、適當的系統材料選擇和系統設計

在許多情況下，腐蝕可因適當的選擇系統材料和良好的工程設計而遞減。通常材料與環境反應性愈低，其抗腐蝕性愈高。當使用中選擇材料取代舊管線或置放新管線，必須考慮不受接觸水所腐蝕。對於材料之選擇及評估，必須依據費用、可用性、裝配容易性、維護性和抗腐性而定。因此重要設計考慮因素包括：

1. 避免死角和滯留區域。
2. 使用焊接方式取代固牢方式。
3. 若需求時提供適當排水。
4. 選擇近似流速。
5. 選擇近似金屬厚度。
6. 消除隱蔽區域。
7. 減化機械應力。
8. 避免凹凸不平的熱分配。
9. 避免銳利轉角及肘管。
10. 提供適當的絕緣。
11. 選擇適當的形狀和幾何性系統。
12. 提供易於偵測、維護、危險部位替換之結構物。
13. 消除埋於地下之系統電路。

#### 二、水質變更

許多狀況下，使得水無腐蝕性之最簡便和最實際的方式為變更處理場的水質。由於生水來源的不同，任何水質變更技術之有效性隨一個水源至其他水源而有所不同，因此水質變更是造成腐蝕控制的一種經濟方式。關於水質變更的因素有：

(一) 調節 pH 值：在配水系統中，調節 pH 值為降低腐蝕的最普遍方式，主要是：

1. 氫離子扮演電子接受者，同時迅速電化學腐蝕反應。酸性水造成腐蝕，是由於具有高濃度硫酸。pH 值低於 6.5 是均勻腐蝕，而 pH 值介於 6.5 與 8.0 之間則為孔蝕。
2. pH 值為決定管材溶解性的主要因素，管材使用於配水系統在低 pH 值溶解較快，增高 pH 值則降低金屬溶解性。當呈現出鹼度碳酸鹽，提昇 pH 值將增加溶液中之碳酸鹽離子量。另外在低鹼度碳酸鹽或碳酸氫鹽水中，調節 pH 值無法滿足腐蝕控制，此種情況必須添加促進形成非溶解性碳酸鹽之化學藥劑，諸如石灰、苛性鈉、蘇打灰、碳酸氫鈉等，這些藥劑使用量與調節 pH 值，設備需求情形的關係，如表(二)所示。

(二) 氧氣之驅除：氧氣為主要的腐蝕劑，其理由如下：

表(二) 調節 pH 值和 / 或輔助碳酸鹽之化學品

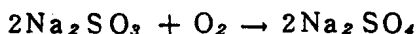
調節 pH 值之化學品	典型進料速率	1 mg / L 加上鹼度 (mg/L)	需求設備
石灰，當作氫氧化鈣	1 - 20 mg / L (8 - 170 lb/MG)	1.35	快速石灰摻水器、水合石灰溶液槽，和具有防蝕內襯噴射器之進料泵浦
苛性鈉、氫氧化鈉 (溶液中 50%)	1 - 29 mg / L (8 - 170 lb/MG)	1.25	配合泵或轉子流速計
蘇打灰、碳酸鈉	1 - 40 mg / L (8 - 350 lb/MG)	0.94	溶解槽，配合泵或轉子流速計
碳酸氫鈉	5 - 30 mg / L (40 - 250 lb/MG)	0.59	溶解槽，配合泵或轉子流速計

註：苛性鈉和石灰唯有加入鹼性氫氧化物、蘇打灰和碳酸氫鈉加入碳酸鹽或鹼性碳酸氫鹽，依 pH 值而定。

1. 氧氣可作為電子接受者，隨腐蝕而持續着。
2. 氧氣與氫氣氧化而使陰極去極化，因此腐蝕反應速率上升。
3. 氧氣與鐵離子形成沉澱而使金屬發生孔蝕。

有三種物質可用來驅除氧氣，其反應式如下：

- 1 亞硫酸鈉，含有催化劑與否



- 2 聯氨



- 3 單寧酸鈉 ( Sodium tannate ) :

藉特殊萃取製程行之，單寧酸鈉的作用是促進固體懸浮，亦可在鋼鐵表面形成保護膜。

### 三、使用腐蝕抑制劑

腐蝕可藉添加水化學品在管子表面形成保護膜和在水與管子之間提供障礙物來控制，這些化學品稱為抑制劑 ( Inhibitor )，能遞減腐蝕却不完全防護作用。最廣泛使用的抑制劑有：

(一) 物理性抑制劑：此種抑制劑藉吸附作用，對固體表面具有強烈親合性 ( affinity )，必須是極性，如胺類等含氮化合物及含硫或氫氧基的有機物質，諸如氨基乙酸衍生物、脂肪族磺化物。

(二) 化學性抑制劑：此種抑制劑是一種可形成

表(白) 管 壁 塗 裝

材 料	用 途	優 點	缺 點
熱應用煤焦油 玳瑁	鋼管塗裝 ( 分配系統中 50 ~ 80 % 鋼管使用 )	1 長期使用壽限 ( 五十年以上 )。 2 良好抗淤泥或砂侵蝕性 3 抗生物附着	1 焊接部位需再次塗裝 2 過熱會引起破裂 3 過泛會引起脆化 4 水中含有有機物會增加塗裝次數
環氧樹脂	鋼管和延性鐵管塗裝 ( 可用於野外或鑄造廠 )	1 光滑表面降低泵送費用 2 藉食品和藥物管理許可之組成來明確	1 相當昂貴 2 抗剝蝕性低於煤焦油玳瑁 3 使用壽限少於十五年
水泥灰漿	一般塗裝在延性鐵管，有時用於鋼管或鑄鐵管	1 相當便宜 2 易於應用 ( 可應用於地面或管子製程 ) 3 氫氧化鈣釋出可保護管接頭未塗裝金屬部份	1 塗裝的剛性可導致破裂或脫落 2 塗層厚度縮短截面積和携行量
聚乙烯	延性鐵管和鋼管塗裝 ( 應用於自來水管 )	1 長期使用壽限 ( 五十年 ) 2 良好抗磨蝕性 ( 淤泥和沙 ) 3 良好抗細菌腐蝕性 4 平滑表面降低泵送費用	1 相當便宜

資料來源：Environmental Science and Engineering. Inc., 1981

薄膜的化合物，沈澱在金屬表面，間接對陽極和陰極產生干涉作用，是通用者為矽酸鹽和磷酸鹽。

#### 四、陰極防蝕 (Cathodic Protection)

陰極防蝕為一種防治金屬結構物腐蝕的放電法，造成腐蝕無足夠的負電位，以致金屬表面保護得完全極化和維持鈍性。可用於下列情況：

1. 電解質未完全均勻。
2. 一些金屬接觸同性電解質。

其有效電位值為  $-0.85 \sim -1$  Volt。

有兩種方法可致應用：

(1) 使用鎂或鋁製成的反應性犧牲陽極：此

種系統常用在小型熱水加熱器，另一種形式為自發性，以鋅來塗裝於鐵或鋼鐵上，使得被塗裝物成為陰極。

(2) 應用外部電位和裝設外部電流：此種方法迫使內部電極作用成陽極。

本法限制實施於防護儲水槽的內部腐蝕，對於配水管路系統不太實用，另一種限制是在系統具有孔洞、裂隙或內部轉角無法達成。

#### 五、塗裝

此種方法為機械性的應用，施行於管子製作時或現場裝設前。有些塗裝甚至在管子使用後應用，常見的塗裝物有煤焦油、環氧塗料、水泥灰和聚乙烯，這些塗裝物在管壁和儲水槽的使用範圍分別見表(三)和表(四)。

表四 儲水槽塗裝

材 料	範 圍
熱應用煤焦油琺瑯	大部份煤焦油基塗裝用於水槽，水槽受熱時水面處會凹凸不平。
煤焦油塗料	大部份用於水槽內再塗裝，此種塗料具有二甲苯和苯溶劑，促使水不會放出各種味道和臭味，但只限於使用水面上。
環氧煤焦油塗料	抗磨蝕性比煤焦油琺瑯低，在水中會引起各種味道和臭味，其使用壽限大約二十年。
乳化煤焦油塗料	良好着性，無色和抗日曬分解，但防漏水性不如其他煤焦油塗料，限於使用水面下。
乙烯基	無反應性、硬質、平滑表面，使用壽限（大約二十年）受軟水情況縮短。
環氧類	硬質型，平滑表面，低於滲透性，在適當的塗裝和應用下具有良好的接着性。
熱和冷蠟塗裝	直接應用優於過時的塗料，使用壽限短（大約五年）。
金屬噴佈鋅塗裝	相當昂貴的製程，需要特別的技術和設備，良好的防銹性，使用期限超過五十年。
富鋅塗料	硬質表面，防銹和磨蝕，相當昂貴。
氯化橡膠塗料	就使用於控制煙霧而言，與應用其他塗裝有所不同。
柏油基塗裝	通常限於柏油塗裝槽之再塗裝。

#### 肆、結 論

水處理系統之腐蝕處理雖然有許多方法，但必須考慮其技術和經濟原則，注意其限制範圍及回收性，尤其在大力提倡防止公害的今天，更是不得忽視的一環。

#### 參考資料

Singley, J. E., Beaudet, B. A., Markey, P. H., Derry, D. W., Kiclwell, J. R. Malish, D. A. "Corrosion Prevention and Control in Water treatment and Supply Systems" Naves Publications, Park Ridge, New Jersey, U.S.A. (1985).