

腐蝕抑制劑對鋼材在添加次氯酸鹽模擬海水中之影響

吳碧峰¹、郭陽明¹、吳建國^{2,*}

Effect of Corrosion Inhibitors on Corrosion Rate of Mild Steel in 3.5%NaCl Solution and Artificial Seawater Containing NaClO

B. F. Wu¹, Y. M. Kuo¹, and J. K. Wu^{2,*}

摘 要

次氯酸鈉 (NaClO) 雖可消除海水中巨污生物及微污生物所造成的鋼材腐蝕，但此種強氧化劑會導致環境中氯的殘留，進而引發更嚴重的腐蝕。本研究選用兩種抑制劑，評估鋼鐵在含不同濃度 (0.1~30ml/l) NaClO (有效氯 6%) 之 3.5% NaCl 及人造海水中之腐蝕抑制效率。鉻酸鈉為有效鈍化劑，在含各種濃度之 NaClO 3.5%NaCl 溶液及人造海水，加入鉻酸鈉促使鋼材腐蝕電位上升並減緩腐蝕速率。石灰是陰極抑制劑，NaClO 濃度高達 10ml/l 時石灰抑制效果不佳。

關鍵詞：腐蝕抑制劑；腐蝕速率；鋼；次氯酸鹽；人造海水。

ABSTRACT

NaClO is widely used in marine environments to eliminate the macroorganisms and microorganisms that possibly induce the localized corrosion due to fouling problems. Serving as a strong oxidizing agent, NaClO may decompose and cause residual chlorine in the solution, thus results in further corrosion. In this study, two corrosion inhibitors were chosen to evaluate their inhibition efficiencies for steel used in 3.5% NaCl solution and artificial seawater containing various concentrations (0.1-30 ml/l) of NaClO with effective chlorine concentration at 6%. The results show that the corrosion rate of steel increases with increasing the concentration of NaClO. Sodium chromate is an effective passivator for all test solutions. The corrosion potentials of steel move up to more noble (positive) value in the presence of chromate to retard corrosion rate. Lime is a cathodic inhibitor. However it is not suitable to apply lime in the aqueous solution containing concentrate NaClO up to 10ml/l.

Keywords: corrosion inhibitors; corrosion rate; steel; hypochlorite; artificial seawater.

1 文化大學應用化學研究所

Applied Chemistry Institute, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan 11114, R. O. C.

2 國立台灣海洋大學材料工程研究所

Materials Engineering Institute, National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan 20224, R. O. C.

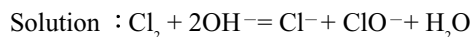
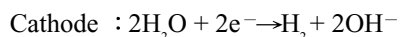
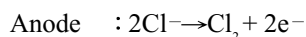
* 連絡作者 (TEL:02-2462-2192 ext. 6413)

一、前言

人類開始接觸海洋就遭遇到的生物附著污損危害。台灣地處亞熱帶且又四面環海，海洋生物生長旺盛，除了港口橋樑等結構物因海洋環境之影響，常受海水及海洋附著生物 (marine fouling organism)^[1-2] 所造成之腐蝕外，沿海工廠、發電廠之冷卻系統，如深海熱交換器，冷卻水引道、冷凝管路等因以海水為冷卻液，也都有受海水及海洋附著生物堵塞及腐蝕之報導^[3-5]。海洋附著生物會增加管道內壁的粗糙面，縮小管道之管徑，因而減少水之流量，影響供水或冷卻效果。因海生物附著於管道內壁之金屬表面，造成材料之腐蝕、穿孔或因生物代謝及其黏膜產生酸的破壞腐蝕^[6-9]。污損生物附著金屬表面漆膜上成長而破壞護漆，造成材料之腐蝕。

為了避免上述之問題發生，一般除了材料之選擇、改善結構物及製程、採用陰極防蝕、防污塗料外，電解海水產生氯氣或添加次氯酸 (ClO⁻)，以抑制海生物之附生，及防止管路堵塞及受損，是目前較具經濟效益的方法^[10]。

電解海水生成氯氣，或溶入水中產生 ClO⁻ 之反應如下^[11]：



在產生 ClO⁻ 去除污損生物之同時，因次氯酸離子具強氧化性，造成鋼結構物的加速腐蝕，使用氯氣或次氯酸鹽對鋼材腐蝕抑制效率之影響很少文獻探討評估。本研究針對未添加及已添加腐蝕抑制劑之 3.5%NaCl 溶液及人造海水 (artificial seawater)，評估添加不同濃度次氯酸鈉對軟鋼腐蝕速率的影響，所採用的腐蝕抑制劑為習用之鉻酸鹽與石灰^[12]。鉻酸鈉與石灰雖為海水常用抑制劑，但在含有 NaClO 之海水中適用性是否仍具抑制效果值得研究。

二、實驗方法

2.1、材料及試片準備

本實驗所採用之材料為冷軋低碳鋼板，經分光儀分析雜質主要成分組成為：C 0.07%、Mn 0.57%、Si 0.31%、P 0.025%、S 0.020%。

將厚度為 1mm 材料切割成 25mm×50mm 之試片，以 SiC 水磨砂紙研磨至 800 號後，以丙酮清洗並輔以超音波振盪，再用蒸餾水清洗以除去附著於試片表面之雜質及油脂，最後再以暖風吹乾放於乾燥箱備用。

2.2、試液配製

(1)合成海水：是根據 ASTM D1141-75 標準所配^[13]。海水之配置須分別先配好預備液 (stock solution) 三種。在試驗前再混合使用，以免試液變質。

(2)3.5%NaCl 水溶液後：每 35g 之 NaCl 溶解於 965ml 的蒸餾水中，並均勻攪拌。

在 1000ml 之合成海水或 3.5%NaCl 溶液中，分別加入不同添加量 NaClO (各添加量為 0.1ml、0.3ml、1ml、3ml、10ml、30ml)。NaClO 之有效氯含量 6.0%，檢驗法依 CNS 3398 次氯酸鈉漂白液檢驗法測定^[14]。

溶液在試驗前二天配置完成，以確定內部含氯量之穩定性，而試液亦避免日光照射，以便保持 NaClO 之原有品質。

2.3、浸漬試驗

將準備好之試片利用電動天平精秤後，再編號分別懸掛放入於含各種不同濃度 NaClO 之 1000ml 試液中。抑制劑分別為鉻酸鈉及氧化鈣。取最佳抑制效率及經濟效益之 3g/l 量^[15]。靜態浸漬之各試片，經 20 天後取出，然後用清洗液 (10%HCl + 1.0g/l 六次甲基四胺) 將其表面的腐蝕產物除掉再以蒸餾水沖洗烘乾並秤重，最後換算腐蝕速率，並利用光學顯微鏡 (optical microscopy) 觀察試片表面的

腐蝕狀況。試驗均在 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 及一大氣壓下進行。

由浸漬實驗再配合重量損失法計算，即可求得其腐蝕速率，為了評估化學添加劑的效益，現將其腐蝕抑制劑效率定義如下：

$$\text{腐蝕抑制效率} = \frac{R - R^*}{R}$$

R：未添加抑制劑前之腐蝕效率

R*：添加抑制劑後之腐蝕速率

2.4、動態電位極化曲線掃描試驗

使用三極式之電化學實驗。採用電極有參考電極(飽和甘汞電極)、輔助電極(白金)及工作電極(試片)，其試液與浸漬試驗用相同配置。首先試片必須在溶液中浸漬一小時，使其與環境達成較穩定狀態，方可進行試驗。電化學極化圖採用 Princeton Model 173 恆電位測試，動態電位的掃描速率為 $1.0\text{mV}/\text{sec}$ ，並且從開路電位下 0.2V 開始朝貴性(noble)方向掃描，所有實驗均在大氣及靜態環境下進行，溫度維持在 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ，試片以 3M 公司出產之防酸鹼帶包覆只露出 1cm^2 之金屬表面。

三、結果

3.1、在 3.5%NaCl 溶液之浸泡試驗及受 NaClO 與腐蝕抑制劑影響

表一所示為鋼材在 3.5%NaCl 溶液之浸泡試驗結果，試片腐蝕率因添加之次氯酸鈉濃度增加而增快。表二、表三則為添加 $3\text{g}/\text{l Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 及添加 $3\text{g}/\text{l CaO}$ 對腐蝕抑制劑之影響，添加 $\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot \text{CaO}$ 均有不同程度之腐蝕抑制效率。圖一(a-c)分別為 3.5%NaCl 溶液中添加不同濃度之 NaClO 及分別添加 $3\text{g}/\text{l CaO}$ 及 $3\text{g}/\text{l Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 之動態極化圖，添加 NaClO 在極化曲線中亦明顯顯示其極化圖之右移，即腐蝕電流增大，相對腐蝕速率增快，但在添加 $\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 或 CaO 後，其腐蝕電位均上

移到貴性電位(noble)，且其極化性曲線有左移現象，此代表其腐蝕電流之降低。一般極化曲線中如 Tafel 線性區域(linear region)明顯可藉外插法找出腐蝕電流密度，唯鋼材在海水之極化線性較短，不易研判，本研究僅就腐蝕電位之變化與極化曲線之左右遷移研判腐蝕抑制劑之歸類，腐蝕速率仍以浸漬試驗最為精確，尤其長期浸漬試驗較極化曲線之瞬間結果為佳。試片浸漬試驗後之表面形態經光學顯微鏡觀察，並未出現孔蝕現象，與一般傳統不銹鋼出現明顯孔蝕不同，此因鋼材在模擬海水中腐蝕較快而呈現均勻之表面腐蝕。

3.2、在人造海水之浸泡試驗及受 NaClO 與腐蝕抑制劑之影響

表四為鋼材在人造海水之浸泡試驗結果，其腐蝕速率亦隨 NaClO 之增加而增高。表五及表六則為 $3\text{g}/\text{l Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 與 $3\text{g}/\text{l CaO}$ 對腐蝕抑制劑之影響。亦顯示具腐蝕抑制劑效益。圖二(a)-(c)為在人造海水中添加不同濃度之 NaClO 與分別添加 $3\text{g}/\text{l Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 及 $3\text{g}/\text{l CaO}$ 動態極化圖。添加 NaClO 與腐蝕抑制劑，在極化圖上顯示其影響與在 3.5%NaCl 溶液相似。腐蝕試片表面與在 3.5%NaCl 溶液中相同，亦是均勻腐蝕，此因試驗時間僅為 20 天，如厚試片長時間浸泡仍應出現局部凸凹現象。

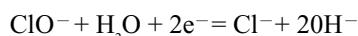
四、討論

4.1、3.5%NaCl 溶液之浸泡試驗及受 NaClO 與腐蝕抑制劑之影響

海洋污損物(biofouling)對鋼材會造成局部腐蝕，尤其是孔蝕(pitting corrosion)與間隙腐蝕(crevice corrosion)^[16-17]，而微生物(microbial fouling)^[18]亦加速鋼材之腐蝕，如硫酸還原菌(sulfate reducing bacteria)，不論巨污生物(macrofouling)或微污生物(microfouling)均不利金屬材料而加速其腐蝕，提早結束海洋結構物之壽命。因此有添加殺菌

劑之方法，最經濟之方法是採用氯氣或直接注入次氯酸鈉，此法對海洋巨污生物之排除，如藤壺等貝類之附著抑制均有明顯之功效；並對微生物等亦能同時殺死。本研究在 3.5%NaCl 溶液中添加不同濃度之 NaClO 則明顯加速試片腐蝕，由浸漬及極化圖中可判斷出，當添加到 30ml/l 時腐蝕速率由 4.6mpy (mils per year) 增加到 56.3mpy，此快速之腐蝕速率對結構鋼材如管路等均快速縮短其壽命。但若加入 3g/l $\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 或 CaO，則腐蝕速率大幅改善。添加 3g/l $\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 之腐蝕抑制效率約 85~97%，而添加 3g/l CaO 之腐蝕抑制效率略遜，但亦有 63~85%。鉻酸鹽對鋼材來說屬鈍化抑制劑 (passivator) [19]，能造成鋼材表面之鈍化，而使腐蝕電位趨向貴性，使腐蝕速率下降，在極化圖中均明顯證實此等現象；在極化圖中腐蝕電位上升、腐蝕電流左移 (即下降)，此是由於鉻酸鹽在金屬表面形成一氧化膜或其吸附在金屬表面上產生鈍化 [20-21]，致使鋼材不易遭氯離子攻擊。添加 CaO 則屬陰極抑制劑 (cathodic inhibitor)，它能昇高水溶液中 pH 值，使陰極反應減緩，同樣在浸泡試驗中，亦顯示 63~85% 之腐蝕抑制效率，在高 pH 值時亦兼具鈍化作用 [22-23]，但較陽極鈍化抑制劑效果差，添加 30ml/l NaClO 之腐蝕速率仍高達 17.2mpy。一般工程用結構鋼材之腐蝕速率不宜高於 5 mpy，CaO 之添加因此僅適用於低濃度之 NaClO 環境，極化圖中亦顯示腐蝕電位之上升及腐蝕電流之下降。消除巨污生物及微污生物問題，大多以 NaClO 為多 [24]，亦有添加臭氣 (O_3) [25]，對鋼材之腐蝕均屬不利。

NaClO 一般用於殺菌，是一種氧化劑其氧化反應為 [26]：



為抑制此反應所造成之加速腐蝕，而又不破壞 ClO^- 之存在，添加鉻酸鈉較生石灰為佳。

4.2、人造海水之浸泡試驗及受NaClO與腐蝕抑制劑之影響

人造海水配方係根據 ASTM D1141-750 所配

製，其溶液組成較接近實際海水，其中硫酸根在含氯離子溶液中亦具腐蝕抑制效果，因此對於鋼材之腐蝕速率較 3.5%NaCl 溶液中為低，在添加不同濃度 NaClO 之腐蝕速率亦呈上升趨勢，但不若在 3.5%NaCl 中之嚴重。添加 3g/l $\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 時腐蝕速率則明顯下降，抑制效率在 72~89% 間，且能使腐蝕速率均低於 5mpy，如欲控制在 1mpy 以下，則不能添加超過 10ml/l 之 NaClO。添加 CaO 時亦見腐蝕抑制功效，但其抑制效率較低 (介於 39-52% 間)，且在超過 10ml/l NaClO 的環境中亦不適用。極化圖中見腐蝕電位上升腐蝕電流左移，惟其效果仍比鉻酸鹽差，且只適用於添加低濃度的 NaClO 環境中。添加 3g/l $\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 或 CaO 在人造海水中均能使腐蝕電位上升，而添加後電位之穩定所需時間亦異，如圖三所示。添加 CaO 快速達到腐蝕電位定值，添加 $\text{Na}_2\text{CrO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 則因鈍化所需時間較長，約 1000 秒內可達到穩定腐蝕電位，所需達到穩定電位值較慢此為鈍化抑制劑之特色。穩定之腐蝕電位亦以添加鉻酸者較趨貴性。次氯酸鹽能在水中再分解以氯氣殺死海生物或微生物，其具氧化性，使用濃度應受限制。添加鈍化抑制劑能增加鋼材之腐蝕抑制作用，添加陰極抑制劑的效果略差，採用 CaO 為抑制劑，仍有 NaClO 濃度受限之考量。

五、結論

1. 鋼材在 3.5%NaCl 溶液之腐蝕速率，較在人造海水中略高。
2. 鉻酸鈉對鋼材在 3.5%NaCl 溶液、人造海水及含各種濃度 NaClO 溶液中均有顯著之腐蝕抑制功效，鉻酸鈉屬於鈍化抑制劑。
3. 石灰對鋼材在 3.5%NaCl 溶液、人造海水及含各種濃度 NaClO 溶液腐蝕抑制功效略遜，石灰屬陰極抑制劑，高濃度 NaClO 的環境中不適採用 CaO 為腐蝕抑制劑。

參考文獻

1. M. J. Round, Corrosion Prevention and Control, 34 (1987) 74.
2. J. Arnold, Design Engineering, (1986) 161.
3. G. Relini, Macrofouling in the Conanits of a Middle. Tyrrhenian Power Station, 5th International Congress on Marine Corrosion and Fouling, (1980) p. 279-291.
4. T. Longford, Biological Problems with the Use of Sea Water for Cooling Chemistry and Industry, 14 (1977) 612.
5. B. King, Working Group Report on Biofouling, Second Ocean Thermal Energy Conversion Workshop Proc., (1974) p. 208-213.
6. M. Eashwar and G. Subramanian, Corrosion, 48 (1992) 608.
7. R. A. Di Cintio and G. De Carolis, Corrosion Performance and Control, 40 (1993) 104.
8. D. Cubicciotti and G. J. Licina, Materials Performance, 29 (1990) 72.
9. A. Neville, T. Hodgkiess, and X. Destriou, Corrosion Science, 40 (715) 1998.
10. 黃宗國, 蔡如星, 海洋污損生物及其防除, 海洋出版社, 1984.
11. F. Hine and M. Yasuda, J Electrochem. Society, 118 (1971) 170.
12. 陳春霖 "碩士論文" 國立台灣海洋大學, 1993.6.
13. "Substitute Ocean Water", ASTM D1141-75, 1984.
14. CNS 3396-3398, 經濟部中央標準局印行, 1984.
15. 莊智欽 "碩士論文" 國立台灣海洋大學, 1994.6.
16. R. B. Griffin, L. R. Cornwell, W. Seitz, and E. Estes, Materials Performance, 28 (1989) 71.
17. M. Eashwar, G. Subramanian, P. Chonalarst Karan, and K. Balakrishnan, Corrosion, 48 (1992) 608.
18. M. J. Franklin, D. E Niueus, A. A.Vass, M. W. Miffelman, R. F. Jack, N. J. E. Dowling, and D. C. White, Corrosion, 47(1991)128.
19. C. C. Gaylarde and H. A. Videla, Corrosion Reviews, 12 (1994) 85.
20. H. H. Uhlig, Corrosion, 22 (1949) 1831.
21. S. F. Timaher, Protection of Metals, 16 (1980) 140.
22. D. C. Silverman, Corrosion, 38 (1982) 453.
23. M. Pourbaix, Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solution, NACE, Houston, 1974, p307.
24. B. Yang, D. A. Johnson, and S. H. Shim, Corrosion, 49 (1993) 499.
25. F. Hine and M. Yasude, J. Electrochemical Soc., 8 (1971) 170.
26. A. Bahadur, Corrosion Reviews, 10 (1992) 155.

表1. 3.5%NaCl 溶液添加不同濃度 NaClO 對鋼材腐蝕速率影響

Table 1. Corrosion rate of steel in 3.5%NaCl solutions containing various concentration NaClO.

No	腐蝕環境	腐蝕速率 (mpy)
1	3.5% NaCl	4.65
2	3.5% NaCl+0.1 ml/l NaClO	5.16
3	3.5% NaCl+0.3 ml/l NaClO	5.21
4	3.5% NaCl+1 ml/l NaClO	5.98
5	3.5% NaCl+3 ml/l NaClO	14.99
6	3.5% NaCl+10 ml/l NaClO	34.63
7	3.5% NaCl+30 ml/l NaClO	56.25

表2. 3.5%NaCl 溶液添加鉻酸鈉對鋼材腐蝕抑制效率影響

Table 2. Corrosion rate of steel in 3.5%NaCl solutions containing various concentration of sodium chromate.

No	腐蝕環境	腐蝕速率 (mpy)	抑制效率(%)
1	3.5% NaCl+A*	0.71	84.6
2	3.5% NaCl+0.1 ml/l NaClO+A	0.70	84.8
3	3.5% NaCl+0.3 ml/l NaClO+A	0.82	84.2
4	3.5% NaCl+1 ml/l NaClO+A	0.83	86.1
5	3.5% NaCl+3 ml/l NaClO+A	1.31	91.2
6	3.5% NaCl+10 ml/l NaClO+A	1.66	95.2
7	3.5% NaCl+30 ml/l NaClO+A	1.7	97

*A=3g/l Na₂CrO₄ · 4H₂O

表3. 3.5%NaCl 溶液添加氧化鈣對鋼材腐蝕抑制效率影響

Table 3. Corrosion rate of steel in 3.5%NaCl solutions containing various concentration of lime.

No	腐蝕環境	腐蝕速率 (mpy)	抑制效率(%)
1	3.5% NaCl+B*	0.8	84.6
2	3.5% NaCl+0.1 ml/l NaClO+B	1.33	74.2
3	3.5% NaCl+0.3 ml/l NaClO+B	1.43	63.2
4	3.5% NaCl+1 ml/l NaClO+B	1.77	70.4
5	3.5% NaCl+3 ml/l NaClO+B	3.68	75.4
6	3.5%NaCl+10 ml/l NaClO+B	6.95	79.9
7	3.5%NaCl+30 ml/l NaClO+B	17.24	69.3

*B=3g/l CaO

表4. 人造海水添加不同濃度 NaClO 對鋼材腐蝕速率影響

Table 4. Corrosion data of steel in artificial seawater with NaClO.

No	腐蝕環境	腐蝕速率 (mpy)
1	Artificial seawater	2.95
2	Artificial seawater+0.1 ml/l NaClO	3.24
3	Artificial seawater+0.3 ml/l NaClO	3.97
4	Artificial seawater+1 ml/l NaClO	5.30
5	Artificial seawater+3 ml/l NaClO	6.20
6	Artificial seawater+10 ml/l NaClO	11.04
7	Artificial seawater+30 ml/l NaClO	14.46

表5. 人造海水添加鉻酸鈉對鋼材腐蝕抑制效率影響

Table 5. Corrosion data of steel in artificial seawater with Na₂CrO₄.

No	腐蝕環境	腐蝕速率 (mpy)	抑制效率(%)
1	Artificial seawater+A*	0.82	72
2	Artificial seawater+0.1 ml/l NaClO+A	0.69	78.6
3	Artificial seawater+0.3 ml/l NaClO+A	0.61	84.7
4	Artificial seawater+1 ml/l NaClO+A	0.82	72.3
5	Artificial seawater+3 ml/l NaClO+A	0.90	85.5
6	Artificial seawater+10 ml/l NaClO+A	1.24	88.8
7	Artificial seawater+30 ml/l NaClO+A	2.95	79.5

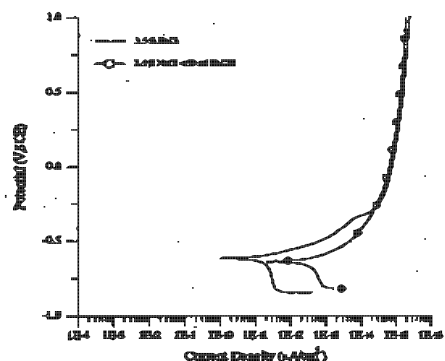
*A=3g/l Na₂CrO₄ · 4H₂O

表6. 人造海水添加氧化鈣對鋼材腐蝕抑制效率影響

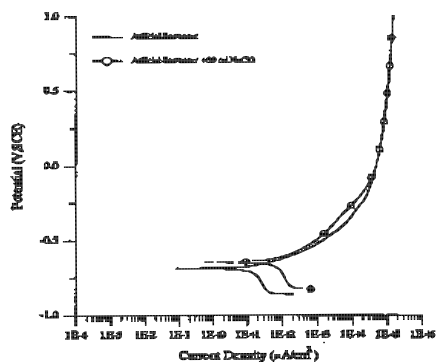
Table 6. Corrosion data of steel in artificial seawater with lime.

No	腐蝕環境	腐蝕速率 (mpy)	抑制效率(%)
1	Artificial seawater+B*	1.70	42.6
2	Artificial seawater+0.1 ml/l NaClO+B	1.96	39
3	Artificial seawater+0.3 ml/l NaClO+B	2.01	49.4
4	Artificial seawater+1 ml/l NaClO+B	2.98	43.8
5	Artificial seawater+3 ml/l NaClO+B	4.38	29.3
6	Artificial seawater+10 ml/l NaClO+B	5.26	52.4
7	Artificial seawater+30 ml/l NaClO+B	8.86	38.7

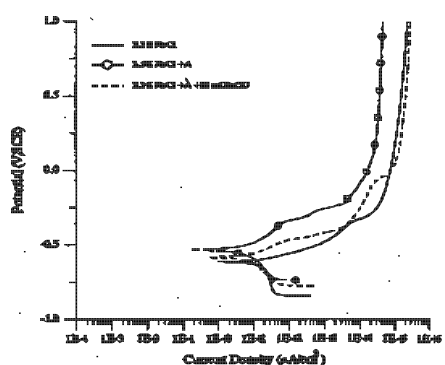
*B=3g/l CaO



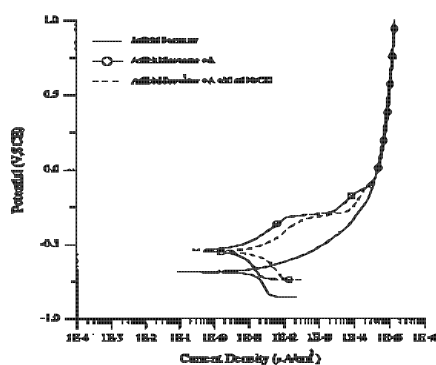
(a)



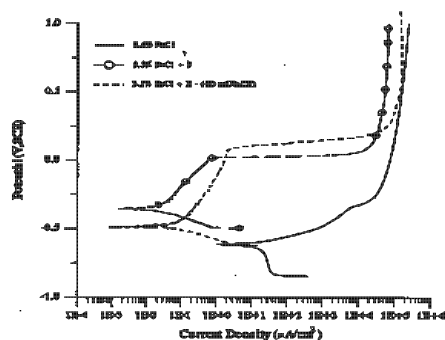
(a)



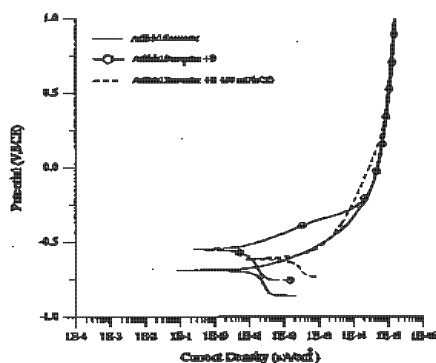
(b)



(b)



(c)



(c)

圖 1. 低碳鋼材在 3.5%NaCl 溶液及添加 (a)30ml/l NaClO , (b)3g/l Na₂CrO₄ · 4H₂O 與30ml/l NaClO , 及 (c)3g/l CaO與 30ml/l NaClO 之極化曲線。

Fig.1 Polarization curves of steel in 3.5%NaCl solution with (a) 30ml/l NaClO, (b) 3g/l Na₂CrO₄ · 4H₂O + 30ml/l NaClO, and (c) 3g/l CaO + 30ml/l NaClO.

圖 2. 低碳鋼材在人造海水溶液及添加 (a) 30ml/l NaClO , 及 (b) 3g/l Na₂CrO₄ · 4H₂O 與 30ml/l NaClO , 及 (c) 3g/l CaO 與 30ml/l NaClO 之極化曲線。

Fig.2 Polarization curves of steel in artificial seawater with (a) 30ml/l NaClO, (b) 3g/l Na₂CrO₄ · 4H₂O + 30ml/l NaClO, and (c) 3g/l CaO + 30ml/l NaClO.

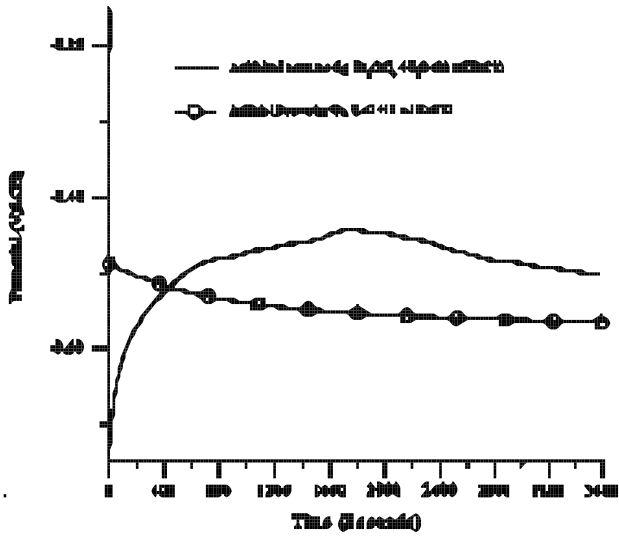


圖3. 低碳鋼材在含 10ml/l NaClO 人造海水中添加腐蝕抑制劑之開路電位與時間關係。

Fig.3 Effect of inhibitors on open circuit potential of steel.