

亞硝酸鈉在氯化鈉水溶液中對碳鋼之腐蝕與抑制行爲

何吉修 徐聰仁

The Corrosive and Inhibitive Behavior of Sodium Nitrite for Carbon Steel in Sodium Chloride Aqueous Solutions

G.S. Her C.J. Hsu

摘 要

本研究以動電位掃描極化方法探討亞硝酸鈉在氯化鈉水溶液中及在 $\text{pH} = 3 - 11$ 對碳鋼抗蝕性之影響。其結果歸納如下：

1. 碳鋼在單純氯化鈉水溶液中：腐蝕速率均隨氯化鈉濃度之增加而增加，且隨 pH 之增加而降低；在 $\text{pH} = 7$ 和 9 之系統，有些情況反較在 $\text{pH} = 5$ 之系統者為大，其原因可能係氯離子之侵蝕性與氫氧根離子之抑制性兩者妥協和產生孔蝕綜合作用之結果。
2. 碳鋼在同時含氯化鈉與亞硝酸鈉之水溶液系統中：在 $\text{pH} = 3$ 之系統，腐蝕速率隨亞硝酸鈉濃度增加而增加，此顯示亞硝酸鈉具有腐蝕性，而在 $\text{pH} = 7, 9$ 和 11 者，則具相反之趨勢，此顯示亞硝酸鈉具有抑制性；在 $\text{pH} = 5$ 者，則呈先降後升之趨勢，此可能係亞硝酸鈉腐蝕與抑制之雙重性相互影響之結果。
3. 亞硝酸鈉之腐蝕性可能係由於亞硝酸分子之氧化性而將鐵氧化作 Fe^{2+} ；其抑制性可能係由於亞硝酸根離子之高氧化力使鐵表面形成氧氣之吸附膜，而後再生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 或 Fe_2O_3 。
4. 異丙醇具有減緩腐蝕或抑制之作用，此可能係由於降低導電度與溶氧量。

關鍵詞彙：亞硝酸鈉抑制效應/ Cl^- 、 pH 與異丙醇對碳鋼腐蝕之影響。

ABSTRACT

The study was performed by scanning potentiodynamic polarization method to investigate the effects of sodium nitrite for carbon steel in sodium chloride solutions. The results are summarized as follows:

1. In pure sodium chloride aqueous solutions: The corrosion rate increases with increasing concentration of sodium chloride, and decreases with increasing of pH . the corrosion rates for some cases at $\text{pH} = 7, 9$ are higher than those at $\text{pH} = 5$. This may be caused by the mixed effects of the corrosive effect of Cl^- and the inhibitive effect of OH^- and the formation of pitting.
2. In the sodium chloride and sodium nitrite mixed aqueous solutions: The corrosion rate increases with increasing concentration of sodium nitrite at $\text{pH} = 3$, which may be explained

*逢甲大學材料科學系

Feng Chia University, Department of Materials Science.

by the corrosive behavior of NaNO_2 ; however, the opposite trend is found for the cases at $\text{pH}=7,9$ and 11 , which may be explained by the inhibitive behavior of NaNO_2 . for the solution at $\text{pH}=5$, the corrosion rate first increases with increasing nitrite concentration, followed by decreasing with an increase in nitrite concentration; the behavior may be explained by its dual behaviors of corrosive and inhibition.

3. The corrosive behavior of sodium nitrite is attributable to that sodium nitrite is reduced to NO , NH_4^+ , and N_2 while iron is oxidized to Fe^{2+} . Its inhibition behavior may be caused by that sodium nitrite has a very marked oxidizing power to form oxygen adsorbed film on the carbon steel surface, followed by the formation of $\text{Fe}(\text{OH})_3$ and Fe_2O_3 .
4. The presence of isopropyl alcohol decreases the corrosion rate of carbon steel. This may be due to the decrease in solution conductivity and the reduction in corrosive concentrations on the carbon steel surface by isopropyl alcohol.

Key words: Inhibitive Effects of Sodium Nitrite, Influenced by pH 、 Chloride and Isopropyl alcohol.

一、前言

在硝酸應用於酸洗工業時，因亞硝酸之存在而會溶解金屬，Palit和Dhan報告中曾提及⁽¹⁾，亞硝酸對鋼材有強烈之腐蝕性。雖然亞硝酸與亞硝酸鹽對鋼材之腐蝕性與抑制性為腐蝕專家所熟知^(2,3)，然而它們之腐蝕性與抗蝕性在 pH 之分野為何則未有腐蝕數據以供分辨，並且在廣大 pH 範圍（如 $\text{pH}=3\sim 11$ ）之腐蝕性或抗蝕性的腐蝕數據，在文獻上十分缺乏，又一定濃度和廣大 pH 範圍之影響的實驗數據亦缺少。本實驗室曾對一系列之在無機抑制劑如：鉻酸鹽、硫酸鹽、磷酸鹽^(4,5,6)等，在廣大 pH 範圍內對碳鋼抗蝕性做一系列完整之探討，亞硝酸鹽對碳鋼抗蝕性之影響乃繼續此一研究。亞硝酸鹽曾被應用於石油或有機溶劑（如異丙醇）工業之抑制劑^(7,8)，此乃由於它不會像鉻酸鹽一樣與某些有機物作用⁽⁹⁾，在此，吾人亦探討異丙醇作為溶劑時對抗蝕性之影響。

二、實驗方法

第一部份：分別選取 4 種氯化鈉濃度（ 0.01 、 0.05 、 0.1 和 0.62M ）及 4 種亞硝酸鈉濃度（

0.0001 、 0.001 、 0.01 和 0.1M ），在 5 種不同 pH 值環境下（ 3 、 5 、 7 、 9 和 11 ）作動電位極化掃描，以測出碳鋼在各種環境中之腐蝕速率。試片以砂紙研磨，正面至 1200 號，反面至 400 號無銹為止，水洗吹乾後備。將試片置入調好 pH 值之溶液中，其曝露面積為 1.0cm^2 ，浸漬時間 1 小時（通空氣加攪拌）。動電位掃描由 -950mV 向陽極極化至 $+900\text{mV}$ ，掃描速率為 1mV/sec 。

第二部份：在第一部份選取氯化鈉濃度為 0.1M 及 4 種亞硝酸鈉濃度不同 pH 之組合，溶劑改為水與異丙醇 $1:1$ 體積比進行DC極化，試片之處理及極化步驟與第一部份相同。

三、結果與討論

3.1 氯離子濃度對腐蝕速率的影響

圖 1 顯示腐蝕電流密度在不同 pH 溶液均隨氯化鈉濃度之增加而上升，在固定氯化鈉濃度，則隨 pH 之增加而下降，在 $\text{pH}=7$ 或 9 及 $[\text{NaCl}]=0.05$ 和 0.1M 之組合又會較在 $\text{pH}=5$ 者為大，其可能原因解釋如下：

1. 在酸性 ($\text{pH}=3$) 溶液中，呈現較大之腐蝕速率，此可歸因於氯離子具有自催化反應的能

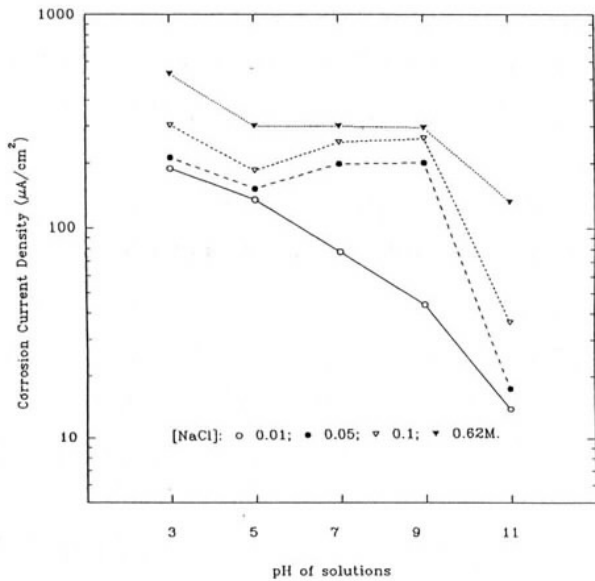


圖 1 碳鋼在氯化鈉水溶液中不同pH值之腐蝕電流密度
Fig. 1 Corrosion current densities for carbon steel in chloride solutions at various pHs.

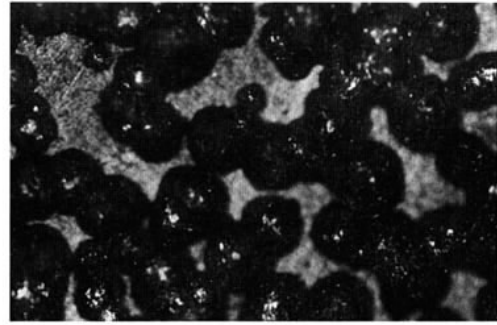
力，而加速鋼材溶解，以及較高氯離子濃度能加速腐蝕。

- 在較接近中性的溶液中（即pH=5, 7和9），由於氫氧根離子濃度增加而與氯離子競爭吸附，前者會產生鐵的氫氧化物保護膜，而氯離子則會破壞保護膜較薄弱的區域，並進行自催化反應，而使試片出現孔蝕（見照相圖2、3和4）。在〔NaCl〕=0.05與0.1M之系統，氯離子之破壞與氫氧化物之形成兩者互相妥協且伴隨孔蝕之形成，導致腐蝕電流密度上升。
- 在pH=11之系統呈現較小的腐蝕速率，此可能由於氫氧根離子較為充足，鐵的氫氧化物保護膜之生成而減緩氯離子引起之破壞或孔蝕，因而腐蝕電流密度明顯均下降。

3.2 亞硝酸鈉對腐蝕速率之影響

3.2.1 不含氯化鈉的腐蝕系統

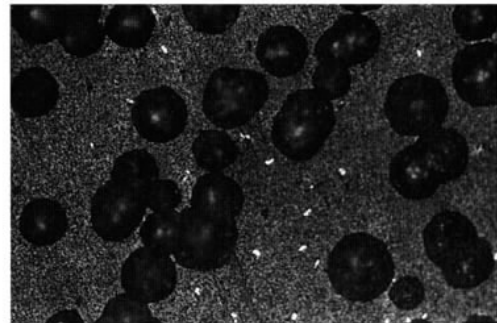
由極化曲線圖得知（圖5、6和7），在



100 X

圖 2 碳鋼在〔NaCl〕=0.05M，pH=5之水溶液中，試片表面腐蝕之光學顯微鏡照相圖

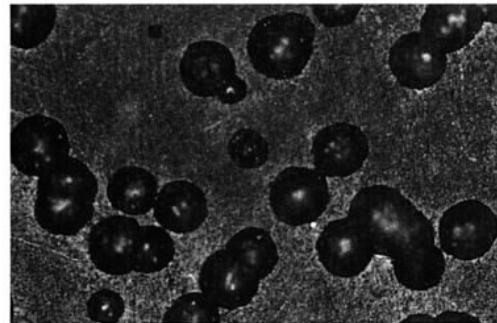
Fig. 2 The optical micrograph of corroded surface of carbon steel in aqueous solutions:〔NaCl〕=0.05 M, and pH=5.



100 X

圖 3 碳鋼在〔NaCl〕=0.05M和pH=7之水溶液中，試片表面腐蝕之光學顯微鏡照相圖

Fig. 3 The optical micrograph of corroded surface of carbon steel in aqueous solutions:〔NaCl〕=0.05 M, and pH=7.



100 X

圖 4 碳鋼在〔NaCl〕=0.05M和pH=9之水溶液中，試片表面腐蝕之光學顯微鏡照相圖

Fig. 4 The optical micrograph of corroded surface of carbon steel in aqueous solutions:〔NaCl〕=0.05 M, and pH=9.

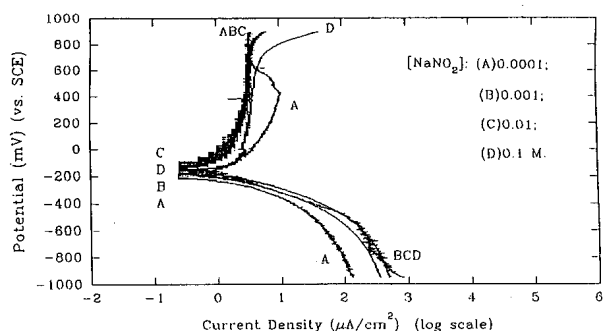


圖 5 碳鋼在pH = 7，含不同亞硝酸鈉濃度之水溶液中的極化曲線圖

Fig. 5 The electrochemical polarization curves of carbon steel in nitrite solutions at pH = 7.

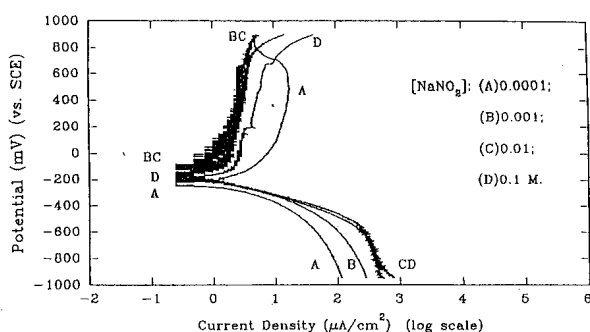


圖 6 碳鋼在pH = 9，含不同亞硝酸鈉濃度之水溶液中的極化曲線圖

Fig. 6 The electrochemical polarization curves of carbon steel in nitrite solutions at pH = 9.

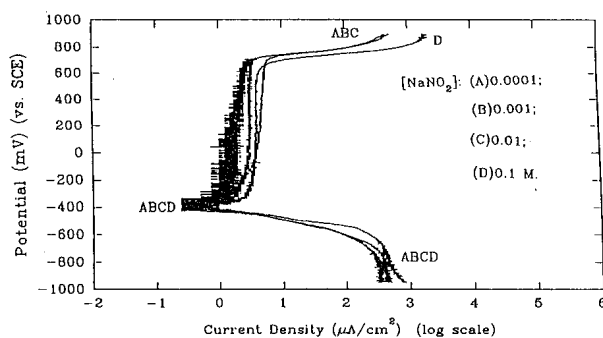


圖 7 碳鋼在pH = 11，含不同亞硝酸鈉濃度之水溶液中的極化曲線圖

Fig. 7 The electrochemical polarization curves of carbon steel in nitrite solutions at pH = 11.

pH = 7, 9 和 11 的亞硝酸鈉水溶液系統均有鈍態現象生成，此顯示亞硝酸鈉為腐蝕抑制劑；觀察顯示其濃度在 $\geq 0.001\text{M}$ 之系統有明顯鈍態產生。

圖 8 顯示，(1)在固定pH值之系統，在pH = 7 和 9 者腐蝕速率隨亞硝酸鈉濃度之增加呈現先降後升之趨勢；(2)在pH = 11者則隨亞硝酸鈉濃度之增加而上升。(3)在固定亞硝酸鈉濃度之系統，當其濃度 = 0.0001M，腐蝕速率隨pH之增加而下降，而當其濃度 $\geq 0.001\text{M}$ 者則隨pH之增加而上升。其原因探討如下：

1. 在pH = 7 和 9 之系統，亞硝酸鈉最佳抑制濃度在0.001M（或者說在0.001M即有明顯鈍化膜生成），腐蝕速率依其濃度增加而下降；當其濃度大於0.001M者，因溶液中有大量亞硝酸根陰離子之存在，使得溶液導電度增加（導電度值在pH = 7，亞硝酸鈉濃度在0.001M約為 $100\mu\text{S}$ ，其濃度在0.01M則為 1.1mS ，其濃度在

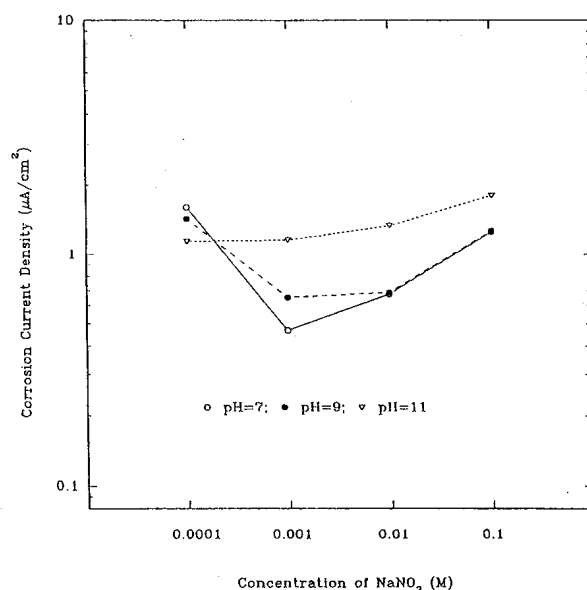


圖 8 碳鋼在亞硝酸鈉水溶液中不同pH值之腐蝕電流密度

Fig. 8 Corrosion current densities for carbon steel in nitrite solutions at various pHs.

0.1M則為7.7mS，pH增加至11，導電度值約增至200 μ S，腐蝕速率遂上升；因而腐蝕速率在亞硝酸鈉濃度0.0001M至0.1M之系統呈現先降後升之趨勢。

2. 在 pH = 11 之系統，亞硝酸鈉抑制濃度降至0.0001M即有明顯鈍化膜生成，腐蝕速率隨亞硝酸鈉濃度增加而增加，可能是由於過量的亞硝酸根離子導致導電度之增加，或者鈍化膜會溶於較高濃度之亞硝酸鈉溶液。

3. pH增加表示氫氧根離子亦隨之增加，它與鐵會形成氫氧化物保護膜，因而在亞硝酸鈉濃度為0.0001M之系統腐蝕速率隨pH增加而下降，在亞硝酸鈉濃度 ≥ 0.001 M者則反之，此可能係由於OH⁻之增加導致溶液電導度之增加，或者鈍化膜會溶於較高濃度之OH⁻溶液。

3-2-1 同時含亞硝酸鈉與氯化鈉的腐蝕系統

其結果歸納成三類：

1. 在pH = 3之系統：圖9顯示，在亞硝酸鈉濃度

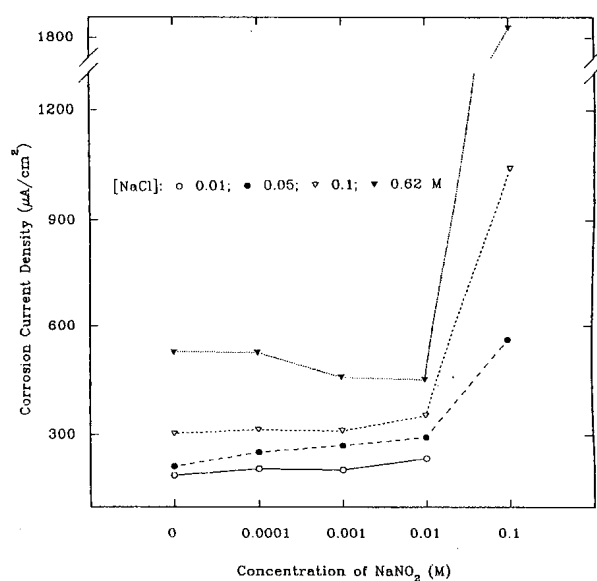


圖9 碳鋼在pH = 3，含不同氯化鈉及亞硝酸鈉濃度之水溶液中的腐蝕電流密度

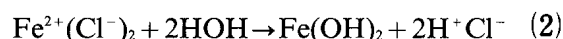
Fig. 9 Corrosion current densities for carbon steel in solutions containing various [NaCl] and [NaNO₂] at pH = 3.

≤ 0.01 M之含亞硝酸鈉與氯化鈉水溶液系統中，腐蝕速率與只含氯化鈉系統者相近，然而亞硝酸鈉持續增加至0.1M時腐蝕速率則急劇上升，若固定亞硝酸鈉濃度在0.1M，腐蝕速率亦隨氯化鈉濃度增加而增加，此顯示氯化鈉與亞硝酸鈉溶液對碳鋼腐蝕具有協合性。

其原因可歸納如下：由於亞硝酸在酸性溶液中具有強氧化力且為不穩定酸，它具有自身氧化還原之反應，其反應如下式：



低濃度的亞硝酸可能在靜置時已經分解殆盡（我們可發現玻璃管壁上有氣泡生成，文獻⁽¹⁰⁾指出係生成NO氣體），因而腐蝕速率以氯離子之侵蝕為主，此可解釋：在亞硝酸鈉濃度 ≤ 0.01 M之含亞硝酸鈉與氯化鈉水溶液系統中，腐蝕速率與只含氯化鈉系統者相近。而氯離子則具有自催化反應之能力，



它可能會降低鐵表面（可能是在試片與橡膠墊圈接合之間隙內）pH值，使得亞硝酸之氧化能力增加而加速鐵的溶解，因而腐蝕速率隨亞硝酸鈉濃度增加而增加，此顯示氯化鈉與亞硝酸鈉對碳鋼腐蝕具有協合性。

2. 在pH = 5之系統：圖10顯示在某一特定之氯化鈉濃度之系統，其腐蝕速率均隨亞硝酸鈉濃度之增加呈現先降後升之趨勢，觀察極化曲線圖11可發現，在亞硝酸鈉濃度為0.001與0.01M之系統有鈍化現象產生，而在其濃度 ≥ 0.1 M者只有在過電壓下才有鈍化現象，此顯示亞硝酸鈉具有抑制（ ≤ 0.01 M之系統）與腐蝕（ ≥ 0.1 M之系統）之系統）之雙重性，其機理在3-3節討論。

3. 在pH = 7, 9 和11之系統（圖12、13和14）：腐蝕速率均隨亞硝酸鈉濃度增加而下降，亞硝

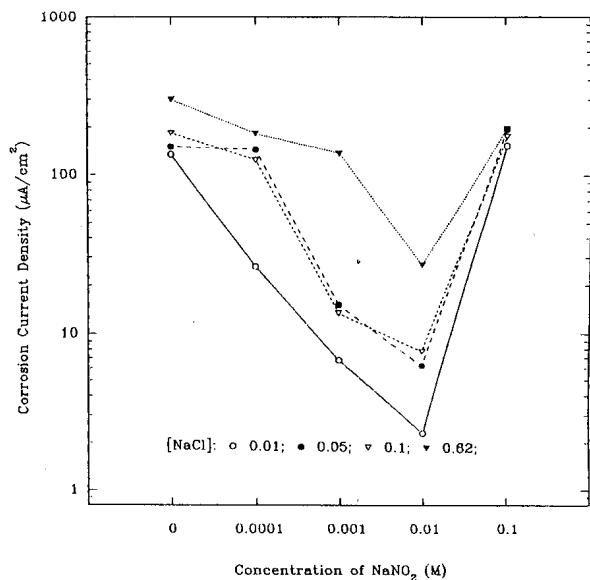


圖10 碳鋼在pH=5，含不同氯化鈉及亞硝酸鈉濃度之水溶液中的腐蝕電流密度

Fig. 10 Corrosion current densities for carbon steel in solutions containing various $[\text{NaCl}]$ and $[\text{NaNO}_2]$ at pH=5.

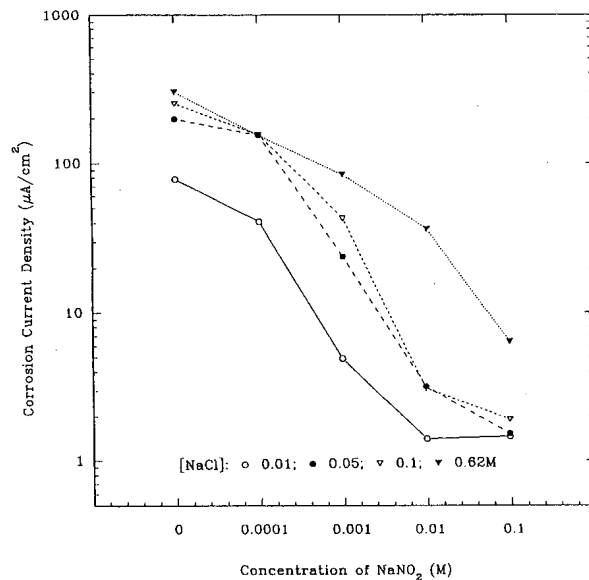


圖12 碳鋼在pH=7，含不同氯化鈉及亞硝酸鈉濃度之水溶液中的腐蝕電流密度

Fig. 12 Corrosion current densities for carbon steel in solutions containing various $[\text{NaCl}]$ and $[\text{NaNO}_2]$ at pH=7.

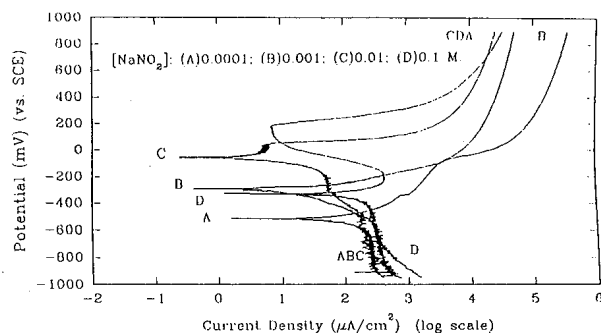


圖11 碳鋼在pH=5，含 $[\text{NaCl}]=0.1\text{M}$ 及不同 $[\text{NaNO}_2]$ 之水溶液中的極化曲線圖

Fig. 11 The electrochemical polarization curves of carbon steel in 0.1M sodicem chloride solutions containing nitrite:pH=5.

酸鈉呈現抑制作用，此在3-3-2節討論。

3.3 亞硝酸鈉腐蝕性與抑制性之機理

有關亞硝酸鈉具有腐蝕與抑制雙重性之機理，可略加探討如下：

3.3.1 亞硝酸的腐蝕機理：

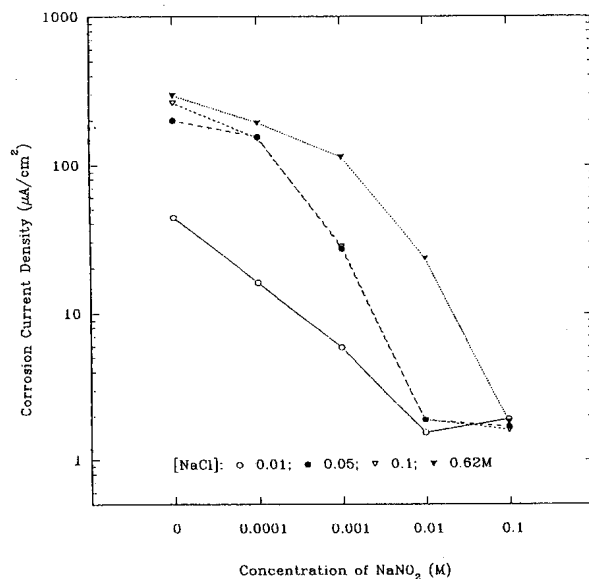


圖13 碳鋼在pH=9，含不同氯化鈉及亞硝酸鈉濃度之水溶液中的腐蝕電流密度

Fig. 13 Corrosion current densities for carbon steel in solutions containing various $[\text{NaCl}]$ and $[\text{NaNO}_2]$ at pH=9.

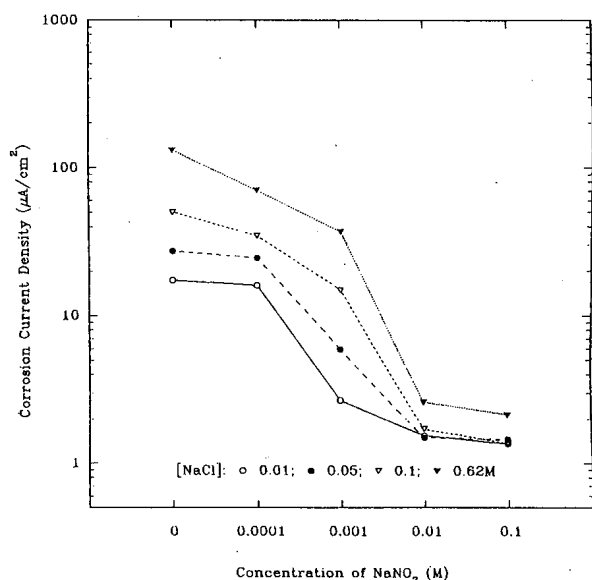
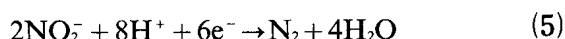
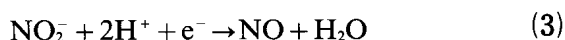


圖14 碳鋼在pH=11，含不同氯化鈉及亞硝酸鈉濃度之水溶液中的腐蝕電流密度

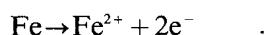
Fig. 14 Corrosion current densities for carbon steel in solutions containing various [NaCl] and [NaNO₂] at pH = 11.

亞硝酸根離子為強氧化劑，可將鐵氧化成Fe²⁺，其反應大致有下列幾式：

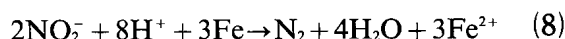
陰極反應：



陽極反應：



總反應可分別寫成下列方程式：

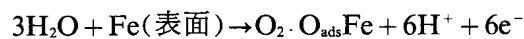


3.2.1 亞硝酸根離子的抑制機理：

吾人參考無機化合物的文獻發現，所有金屬之硝酸鹽和亞硝酸鹽均易溶於水，其與鐵形成硝酸鹽或亞硝酸鹽型的鈍化膜在實驗中之系統似乎不太可能，在探討鈍態之吸附性(Adsorption of Passivity)後^(11,12)，亞硝酸鈉的抑制性可解釋如

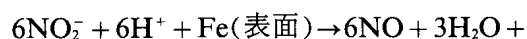
下：

1. 鐵表面形成化學性氧氣吸附膜，其可能之半反應如下：

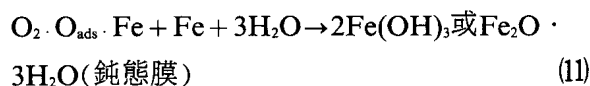


$$E^\circ = -0.56\text{V} \quad (9)$$

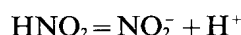
2. 由於亞硝酸根離子具高氧化力，故可形成鈍態膜，其總反應如下：



由上式可知亞硝酸根離子可消耗溶液中的氫離子而形成氧氣吸附膜，當氧氣吸附膜被破壞（如受氯離子的攻擊）時，它可能進行下列反應：



吾人考慮亞硝酸與亞硝酸根離子在不同pH的平衡式子為

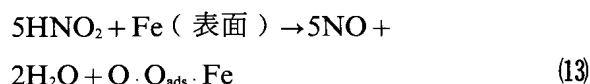


$$\log \left[\frac{(\text{NO}_2^-)}{(\text{HNO}_2)} \right] = -3.35 + \text{pH} \quad (12)$$

$$\text{在 pH} = 5 \text{ 可得 } [\text{NO}_2^-] = 44.67 [\text{HNO}_2]$$

$$\text{在 pH} = 3 \text{ 可得 } [\text{NO}_2^-] = 0.45 [\text{HNO}_2]$$

上式顯示，pH=3 和 5 之系統會有亞硝酸分子的存在，因此我們將(10式)改為

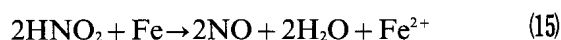


接著依式(11)可能產生另一型態之鈍態膜。

因此鈍化膜形成過程中不像亞硝酸根離子會消耗氫離子，而氫離子會溶解鐵，它的反應為



亞硝酸分子亦會溶解鐵，它的反應會



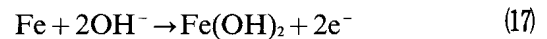
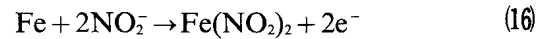
3.4 亞硝酸鈉雙重性之探討

由以上兩節的討論可知，亞硝酸鈉之氧化力可能對鐵有腐蝕（6至8式）與抑制（10式）之雙重性，我們從廣大範圍pH值（3至11）將亞硝

酸鈉腐蝕與抑制之作用探討如下：

1. 在pH=3之系統：實驗中均顯示pH=3之含亞硝酸鈉系統有高腐蝕速率，以鈍態膜的觀點，它不溶於水但溶於酸，因而pH愈低鈍態愈容易溶解，亞硝酸根離子之高氧化力反而加速腐蝕，從平衡常數（12式）計算可得在pH=3亞硝酸根離子濃度為亞硝酸分子的0.45倍，此可解釋亞硝酸分子對鐵有強溶解性，而導致腐蝕速率大增。
2. 在pH=5之系統：腐蝕速率呈現下降之趨勢，然在亞硝酸鈉濃度為0.1M之系統腐蝕速率突然上升，從式(12)計算可得在pH=5亞硝酸根離子濃度為亞硝酸分子的44.67倍，溶液中以亞硝酸根離子的存在為主，鈍化膜可能由亞硝酸根離子之作用所形成（10式）：而亞硝酸根離子使鈍化膜形成的過程中，尚可消耗氫離子而減緩氫離子對鐵的腐蝕效應，雖然溶液中亞硝酸根離子佔大部分，可能是在低亞硝酸鈉濃度有利於鈍化膜之形成而導致腐蝕速率下降。亞硝酸分子之作用並不明顯，當亞硝酸鈉濃度增加至0.1M亞硝酸分子開始作用，它使鈍化膜形成的過程中不像亞硝酸根離子會消耗氫離子，且氯離子的自催化反應又會增加鐵表面氫離子濃度而溶解鈍態膜使得腐蝕速率上升。
3. 在pH=7和9之系統：腐蝕速率隨亞硝酸鈉濃度增加而呈現下降之趨勢。由式(12)可知，溶液中亞硝酸根離子濃度為亞硝酸的4467倍，亞硝酸分子之作用已不重要，亞硝酸根離子有助於鈍化膜之形成。如前所述亞硝酸根離子形成鈍態膜之過需要氫離子，而鈍化膜本身易溶於酸，故有一妥協性，在pH=7和9之系統顯示鈍態膜形成較為有利。
4. 在pH=11之系統：從氧化力的觀點，pH越高亞硝酸根離子之氧化力越弱，甚至於可能不再具氧化力，然而在此系統亞硝酸鈉亦顯出抑制性，這可從兩方面來解釋：

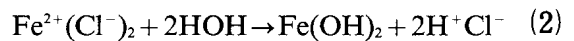
- (1)亞硝酸根離子與氫氧根離子可能吸附於鐵表面形成鈍化膜而抑制腐蝕，並且可阻止氯離子之侵蝕，其反應如下所示：



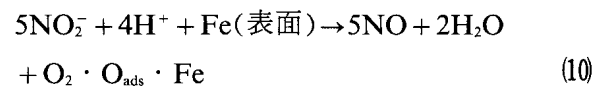
其中電子生成可引發下列反應之發生



- (2)可從氯離子發生孔蝕之機理來推導，氯離子具有加速溶解鐵之作用，並且具有自催化的能力，其可能之反應式為



在孔隙中氯離子溶解鐵成為鐵離子，並且降低了pH值，溶液為了維持電中性，陰離子（如Cl⁻和NO₂⁻）向孔隙中移動，亞硝酸根離子在孔隙中恢復氧化力使鈍化膜生成，其反應如下所示：



接著依(11)式發生。

3.5 異丙醇之影響

比較圖15與16可歸納出下列結果。有關異丙醇之作用亦將予以探討之：

1. 腐蝕速率變化趨勢均與水溶液者相似，惟腐蝕速率值較小。
2. 在硝酸鈉充當腐蝕劑之場合，其腐蝕速率較相應水溶液系統者為低，此可能受異丙醇的影響，降低溶液之導電度，且亞硝酸根離子的表面濃度較在水溶液之系統者為低，遂使腐蝕速率下降。
3. 在硝酸鈉充當抑制劑之場合，腐蝕速率下降之趨勢較相應水溶液系統者為低，此可能由於異丙醇沖淡在鐵表面亞酸根離子濃度，緩和了抑制作用，溶氧量降低（約1.1ppm），降低了

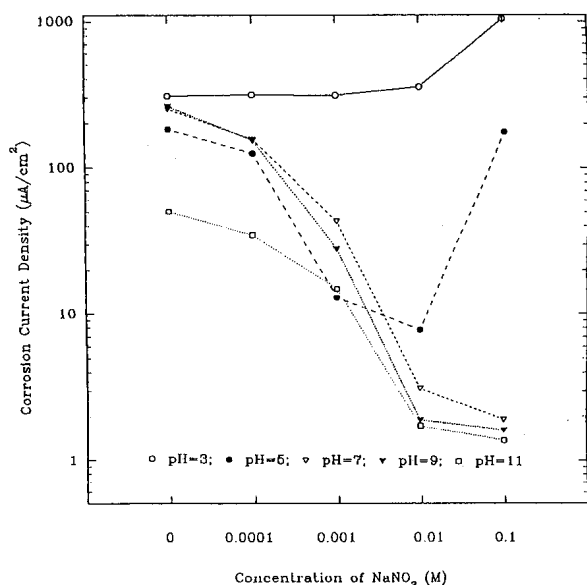


圖15 碳鋼在不同pH值，含 $[\text{NaCl}] = 0.1\text{M}$ 及不同 $[\text{NaNO}_2]$ 之水溶液中的腐蝕電流密度

Fig. 15 Corrosion current densities for carbon steel in water solutions of $[\text{NaCl}] = 0.1\text{M}$ and various $[\text{NaNO}_2]$ and pHs.

鈍化作用（見3.3節吸附理論。綜合以上結果，歸納異丙醇的作用有：降低導電度，溶氧度，與鐵表面離子濃度。

五、結論

1. 在單純氯化鈉水溶液之系統：腐蝕速率隨氯離子濃度增加而增加，且隨pH之增加而下降。但當pH = 7 和 9 之單純氯化鈉水溶液系統，腐蝕速率會較pH = 5者為大，此可能係氯離子之侵蝕性與氫氧根離子之抑制性兩者妥協與孔蝕產生綜合作用之結果。
2. 在同時含有氯化鈉與亞硝酸鈉之水溶液系統：
 - a. 在pH = 3之系統，亞硝酸鈉具有腐蝕性，且在其濃度為0.1M者腐蝕速率急速上升，此可能係由於氯化鈉之自催化反應降低碳鋼表面pH值，導致亞硝酸之氧化力增強而將Fe氧化作 Fe^{2+} 之故。
 - b. 在pH = 5之系統，亞硝酸鈉具有腐蝕與抑制之

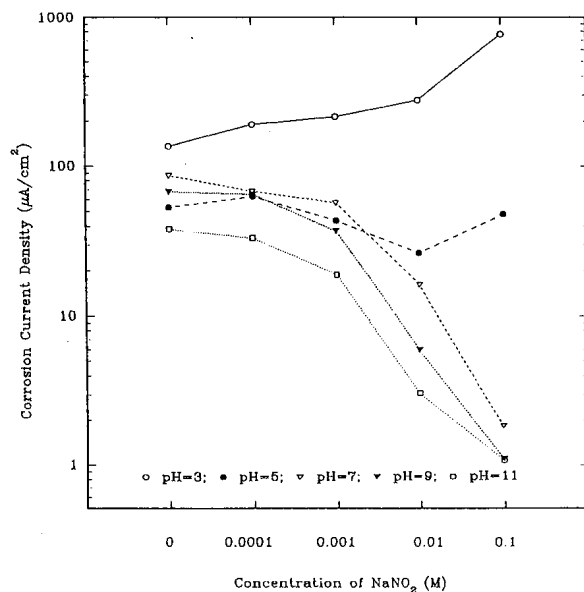


圖16 碳鋼在不同pH值，含 $[\text{NaCl}] = 0.1\text{M}$ 及不同 $[\text{NaNO}_2]$ 異丙醇與水之混合溶液中的腐蝕電流密度

Fig. 16 Corrosion current densities for carbon steel in IPA and water combined solutions of $[\text{NaCl}] = 0.1\text{M}$ and various $[\text{NaNO}_2]$ and pHs.

雙重性，其抑制性可能係由於亞硝酸根離子之氧化力導致 O_2 吸附於鐵表面形成鈍化膜，以及 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 或 Fe_2O_3 之形成，且在形成鈍化膜之過程中會消耗因氯離子自催化反應所形成之氫離子而減緩腐蝕；在亞硝酸鈉濃度0.1M者則具腐蝕性，可能係溶液中存在之亞硝酸分子溶解鐵之反應使腐蝕速率上升。

- c. 在pH = 7 和 9 之系統，亞硝酸鈉具有抑制性，可能係由於亞硝酸分子之存在已不重要，而溶液中存在之亞硝酸根離子使鈍化膜形成，且氫氧根離子有利於鈍化膜之穩定性。
 - d. 在pH = 11之系統，亞硝酸鈉亦具有抑制性，可能係由於亞硝酸根離子之自催化反應降低試片表面pH值而使得亞硝酸根離子恢復其氧化力，導致鈍化膜形成。
3. 異丙醇在腐蝕實驗系統中具有降低腐蝕或抑制之作用，其原因可能係降低溶液之導電度及溶

氧量，並降低鐵表面之離子濃度。

參考文獻

1. 賴耿陽譯，工業防蝕實務，復漢出版社，p83-105，1991。
2. Y. Toshima, T. Hashimoto, Y. Kogawa, K. Naitoh and E. Yamamoto; Journal of Chemical Engineering of Japan, 15(1982)11.
3. J. Tousek, in: Theroretical Aspects of the Localized Corrosion of Metals (Trans Tech Publications LTD, 1985) p.83 and p.151.
4. 吳重文，底漆與顏料抗蝕性之研究，逢甲大學化學工程研究所碩士論文，1988。
5. 洪崇嶺，鉻酸鹽對碳鋼在硫酸鹽水溶液中抗蝕性和電化腐蝕速率之研究，逢甲大學化學工程研究所碩士論文，1991。
6. 陳崑雄，磷酸鹽對碳鋼在硫酸鈉水溶液中抗蝕性之研究，逢甲大學化學工程研究所碩士論文，1992。
7. A. Marshall and C. Wederell; Corrosion Engineering, 44(1987)566.
8. 鮮祺振，金屬腐蝕及控制，初版，徐氏基金會出版，p.233-236，1990。
9. Corrosion Handbook, ed. H. H. Uhlig (John Wiley & Sons, Co. New York, 1948) p.506.
10. M. Pourbaix, in: Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solution (NACE, Houston, 1974) p.493.
11. J. Vernon, F. Wormwell and T. Jnurse; Journal of The Electrochemical Society, (1939)621.
12. M. J. Pryor and M. Cohen; J. electro. Soc, 100(1953)203.