

抑制劑對鋅空氣電池鋅陽極腐蝕之影響

王志華*、洪耀宗、徐希白、林益全、劉日煬

Effects of Inhibitors on the Corrosion of Zinc Anode in Zinc-air Battery

J. H. Wang*, Y. T. Horng, H. P. Hsu, Y. C. Lin, J. Y. Liu

摘 要

鋅陽極的腐蝕行為在鋅空氣電池性能中扮演極重要的角色。快速溶解的鋅陽極可以使電池提供大的電流。然而，鋅陽極的高腐蝕速率卻也大幅縮短電池的保存壽命。如何適度的抑制鋅陽極的腐蝕速率，乃為鋅空氣電池研發的重要議題之一。本研究利用電化學測量方法，探討兩種不同平均分子量的聚乙二醇有機腐蝕抑制劑 (PEG600 與 PEG400) 在 8M KOH 溶液中，對於鋅陽極的腐蝕抑制效果。實驗結果顯示，PEG600 與 PEG400 兩種有機抑制劑皆可影響鋅的陰極反應而大幅降低其腐蝕電流密度，而前者的保護效率又優於後者。

關鍵詞：鋅空氣電池；鋅陽極；有機腐蝕抑制劑；聚乙二醇。

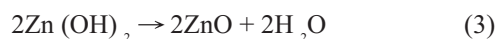
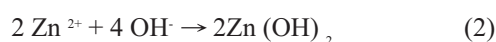
ABSTRACT

The corrosion behaviors of zinc anode play an important role in the performance of zinc-air battery. Rapid dissolution of zinc anode provides the battery a large current density. However, the high corrosion rate of zinc anode significantly decreases the shelf life of zinc-air battery. How to properly suppress the self-discharge rate of zinc anode, therefore, becomes an important issue in the research of zinc-air battery. The present study has investigated the effects of organic corrosion inhibitors, namely, polyethylene glycol 600 (PEG600) and polyethylene glycol 400 (PEG400) on the corrosion of zinc anode in 8 M KOH solution by the electrochemical measurements. The results indicated that, both the PEG600 and PEG400 can affect the cathodic behaviors of Zn anode and dramatically decrease the corrosion current density. Additionally, the protection efficiency of the PEG600 is superior to the PEG400.

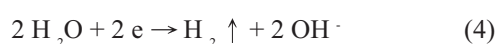
Keywords: Zinc-air battery; Zinc anode; Organic corrosion inhibitor; Polyethylene glycol.

1. 前言

鋅在含氯或鹼性溶液中是理想的陽極材料，除了常用於海洋陰極防蝕工程作為犧牲陽極之外，更由於鋅具有極高的理論能量密度 (820 Ah/kg)、低材料成本與易回收低污染等優點，故而廣泛應用於鋅空氣電池或一次鹼性電池之中。鋅空氣電池是目前之電解質電池系統中之重量能量密度最高者，由於結合了氫能燃料電池的空氣電極製作技術，利用外界空氣的擴散進入電池作為電池反應所需燃料，因而也可泛稱為燃料電池中的一種。然而，鋅在鹼性溶液中易於腐蝕的特性也造成了電池的自放電現象與保存壽命 (Shelf life) 減短問題。已有許多研究^[1-7] 探討鋅在鹼性溶液中的溶解與鈍化反應。基本上，其氧化反應為：



而還原反應為：



重要的是，其腐蝕反應屬於陰極控制；亦即，陰極的氫氣釋放速率決定了鋅的腐蝕速率。因此，在鋅中添加合金元素以提高氫氣的過電壓並阻礙氫氣的產生，乃是抑制鋅在鹼性溶液中腐蝕的有效途徑。以往被研究的抑制氫氣添加劑主要包括 Hg、Cd、PbO、Sn、In、Ti 與 Bi₂O₃ 等。其中，尤以 Hg 早期廣被業界用於鹼性一次電池之中，作為抑制鋅陽極腐蝕的合金添加元素。然而，上述添加劑多半會引起重金屬污染環境的問題。在日益嚴格的環保標準規範下，尋求低污染且可有效抑制鋅在鹼液中腐蝕的方案，即成為迫切的研發議題。

目前，鋅在鹼液中腐蝕抑制的研發主軸分為合金元素調整以及有機腐蝕抑制劑兩個方向。適當的合金元素除了可以抑制鋅的腐蝕速率之外，還可提供鋅陽極更緻密的結構或更好的導電度以提高電池性能。例如，根據最近的研究文獻^[8]，La 元素的添

加使得 Zn-La 合金電池陽極具有較低的腐蝕速率與更佳的循環壽命 (Cycle life)。然而，藉由添加合金元素來作材料改質的研究成本及困難度畢竟相對較高；另一方面，添加腐蝕抑制劑則是一般防蝕工程中常用之方便手段。有機抑制劑是藉由(軌域、靜電或化學吸附於金屬表面以達到減少氫氣產生的效果。迄今已有許多研究專注於尋找理想的有機抑制劑，冀能使鋅陽極在鹼性電池靜置時既不腐蝕，而當電池運作時卻又不妨礙電池的放電性能或循環壽命。1994 年 Kordesh 等人^[9] 發現聚乙二醇 (Polyethylene glycol, PEG) 等某些有機抑制劑在鹼性電池運作狀態中具良好效果。近來相關之研究^[10-12] 亦顯示相似的實驗結論。然而，不同平均分子量的 PEG 對於鋅的保護效率亦有差異。理想的有機抑制劑種類與使用環境、恰當濃度、運作機制或保護效率 (Protection efficiency) 隨時間的變化等諸多問題，仍待更多的研究加以探討。

根據文獻，PEG400^[11] 與 PEG600^[10,12] 在高濃度 KOH 溶液中比其他的有機抑制劑具更佳的減緩鋅腐蝕效果。為了提高氧化鋅在 KOH 中的溶解度以防止電池極化現象，一般鋅空氣電池使用的 KOH 濃度可高達 8M。本研究之目的乃在比較 PEG400 與 PEG600 兩種有機抑制劑在 8M KOH 溶液中的保護效率，並且探討鋅陽極腐蝕行為與 PEG 保護效率變化的相互關係。

2. 實驗方法

本實驗使用純鋅 (>99.9%) 片材作為鋅陽極材料。鋅試片在清洗之前先以 600 # 砂紙研磨。電化學實驗用之輔助電極 (Counter electrode) 為碳棒，參考電極為飽和甘汞電極 (Standard calomel electrode, SCE)，測試面積為 1cm²。電化學測試項目主要包括極化曲線與定電位測試兩項；前項由開路電位 (Open circuit potential) 之下 -0.4V 的陰極區開始，以 1mV/sec 的掃描速率往陽極方向掃描至 -1.2V 為止。而後項則將鋅試片固定電位於 -1.7V (陰極區) 並量測在各種測試溶液中之陰極電流變化。連續極

化曲線的測試則是在相同的實驗條件下，連續不間斷的對試片進行五次極化曲線測量。本實驗使用之電化學儀器為 Potentiostat/Galvanostat PAR 273A。鋅試片在各種測試溶液中的腐蝕電流密度則由極化曲線求得，並藉以計算腐蝕抑制劑的保護效率 (η)； $\eta = [(I_{co} - I_{in}) / I_{co}] \times 100\%$ ，其中的 I_{co} 與 I_{in} 分別代表無抑制劑與含抑制劑的腐蝕電流密度。實驗用的鹼性溶液為 8M KOH，有機抑制劑為聚乙二醇 PEG400 (平均分子量為 400) 與 PEG600 (平均分子量為 600) 兩種。抑制劑在 8M KOH 溶液中之重量百分比分別調控為 0.04%、0.2%、0.5% 與 1% 等四種不同濃度。

3. 實驗結果與討論

圖 1 與圖 2 分別為鋅在不同濃度之 PEG600 與 PEG400 測試溶液中浸漬 1 小時後的極化曲線。實驗結果 (圖1) 顯示，在短時間內，不同濃度 (由 0.04% 至 1%) 的 PEG600 皆可使鋅的陰極電流密度大幅減少，而對陽極曲線產生的影響則不明顯。由陰極曲線在開路電位附近 (-1.6(0.05 V) 的陰極反應電流密度大幅減少的現象可判斷，PEG600 在 8M KOH 溶液中對於鋅的陰極氫氣釋放反應與自然腐蝕速率，有非常明顯的抑制效應。再者，因為對陽極曲線的影響並不明顯，因此不致於阻礙鋅空氣電池運作時的鋅陽極放電功率。圖 2 的實驗結果顯示，PEG400 對鋅極化曲線也能產生與 PEG600 類似的效應，但鋅陽極的極化曲線受到 PEG400 濃度變化的影響則較大。例如，當 PEG400 的濃度由 0.04% 增加為 0.2%，陰極電流密度立即明顯減少；濃度繼續增加至 0.5% 時，陰極電流密度變化不大，但陽極電流密度亦發生明顯的減少現象。當濃度再繼續增加至 1% 時，陰極電流密度反而稍微下降。比較圖 1 與圖 2 的陰極曲線因抑制劑而產生之變動結果，可得知 PEG600 抑制陰極反應電流的效果優於 PEG400。

圖 3 是鋅在 8M KOH 溶液中浸漬 1 小時後的腐蝕電流密度與抑制劑添加濃度之關係；其腐蝕電流

密度是由圖 1 與圖 2 的極化曲線求得。在無抑制劑的狀況下，鋅的腐蝕電流密度為 $182 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 。添加非常少量 (0.04%) 的 PEG600 與 PEG400，鋅的腐蝕電流密度則分別銳減少為 16.4×10^{-6} 與 $22.7 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 。當 PEG600 與 PEG400 抑制劑的濃度提高至 0.2% 時，鋅的腐蝕電流密度達到最低點，分別為 11.6×10^{-6} 與 $18.5 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 。若抑制劑的濃度再繼續提高至 0.5% 與 1%，腐蝕電流密度反而會略微增加。圖 3 顯示的 PEG 優異抑制效果以及濃度變化與腐蝕電流密度之間的關係，與 Ein-Eli 等人的研究結果^[10] 近似。Ein-Eli 等人更由原子力顯微鏡 (AFM) 的觀察結果^[13] 証實，PEG600 在強鹼溶液中，比分子量較高的 PEG900 或分子量較低的 PEG300，更能產生完整的吸附性保護膜。本研究的實驗結果 (如圖3) 亦顯示，PEG600 在強鹼溶液中抑制鋅腐蝕的能力較 PEG400 略勝一籌。藉助定電位的實驗並觀察陰極電流的大小，將能更進一步佐證抑制劑對於鋅的陰極反應之影響。圖 4 為鋅在 8M KOH 含抑制劑溶液中浸漬 1 小時後的定電位 (-1.7 V) 測試結果。在無抑制劑的狀況下，鋅的陰極電流密度多半維持於 -300×10^{-6} 至 $-200 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 之間，平均電流密度為 $-263 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 。相較之下，0.2%PEG600 與 0.2%PEG400 的陰極電流密度較為穩定，且其平均電流密度分別減少為 $-82 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 與 $-101 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 。

值得注意的是，在無抑制劑的 8M KOH 溶液中，本研究測試所得的鋅陽極腐蝕電流密度值為 $182 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ (如圖 3 所示)，而 Ein-Eli 等人^[10] 或 Dobryszycycki 等人^[11] 在近似的強鹼溶液中之實驗數據皆在 1800×10^{-6} 至 $2200 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 之間。由於上述他人的研究與本研究皆是使用鋅片材而非鋅粉末碾製的鋅陽極，因而上述鋅陽極腐蝕電流密度值的主要差異可能是因為他人的實驗溶液另外還添加了大量的 ZnO 粉末以模擬鋅陽極的腐蝕生成物狀態。然則，ZnO 的粉末大小、添加量或沉積量等因素皆可能影響實驗結果。本研究遂不以添加 ZnO 粉末，而改採連續極化掃描以加速腐蝕物生成的方式，探討在強鹼溶液中之鋅氧化物對於 PEG600 與 PEG400 保護效率的影響。由於鋅氧化物的生成量必然隨著

極化曲線的掃描次數而增多，藉由連續極化掃描次數與極化曲線變動的相互關係，可探究PEG600 與 PEG400 抑制劑在非平坦潔淨的鋅氧化物生成面上，是否依然具有優異的抑制鋅腐蝕效果。本實驗的連續極化掃描是由 -2.0 V 往陽極方向掃描 (1mV/sec) 至 -1.25 V 為止。陽極極化(由開路電位至 -1.25 V) 加速鋅腐蝕而產生腐蝕生成物 (ZnO)，下一次的陰極掃描 (由-2.0 V至開路電位) 的曲線變動情況則反映出 ZnO 產生後的影響。由於圖 3 的實驗結果顯示 PEG600 與 PEG400 濃度為 0.2% 時具有最佳的吸附抑制效果。因此連續極化掃描實驗即以添加 0.2% 抑制劑濃度為測試基準。圖 5 至圖 7 依序為鋅在無抑制劑、添加 0.2% PEG600 與 0.2% PEG400 等三種不同測試溶液中，連續 5 次極化的掃描實驗結果。鋅在不含抑制劑溶液中的連續 5 次陽極曲線並無差異，但陰極曲線卻非常明顯的隨著掃描次數的增加而持續往大電流密度方向變動 (如圖5)。其中，尤以第二次陰極極化曲線的變動幅度最大，隨後其變動幅度縮小。至第五次極化掃描，其極化曲線時已幾乎無變化。由第二次極化掃描的陰極反應電流密度大幅度增加現象可推論，於 8M KOH 溶液中，表面已有氧化物生成的鋅陽極之腐蝕電流密度將遠大於平坦潔淨面的腐蝕電流密度。根據圖 5 之前三次連續極化曲線所求得的鋅陽極腐蝕電流密度值分別為 182×10^{-6} 、 1598×10^{-6} 與 2862×10^{-6} A/cm²。換言之，表面附著氧化鋅的腐蝕電流比潔淨表面的腐蝕電流密度高過 10 倍以上。此一實驗結果可以解釋因何本研究測試所得的潔淨鋅表面腐蝕電流密度值 (182×10^{-6} A/cm²) 會遠低於 Ein-Eli 等人或 Dobryszyci 等人使用 ZnO 添加物的實驗數據 (1800×10^{-6} 至 2200×10^{-6} A/cm²)。在含 0.2 % PEG600 的溶液中，第二次陰極極化曲線的變動幅度不大，而且隨後的連續極化曲線變動幅度非常小 (如圖 6)。根據圖 6 之前三次連續極化曲線所求得的腐蝕電流值分別為 11.6×10^{-6} 、 47.5×10^{-6} 與 54.4×10^{-6} A/cm²。比較圖 5 與圖 6 的實驗結果可得知，PEG600 抑制劑即使在非平坦潔淨的鋅氧化物生成面上，依然保持非常優異的抑制腐蝕效果。相較之下，含 0.2% PEG400 抑制劑的第二次陰極極化曲線

之變動幅度則明顯大於含 0.2% PEG600 者，但其隨後的連續極化曲線變動幅度亦同樣大幅縮小 (如圖 7)。根據圖 7 之前三次連續極化曲線所求得的腐蝕電流密度值分別為 18.5×10^{-6} 、 90.0×10^{-6} 與 134.0×10^{-6} A/cm²。比較圖 7 與圖 6 的實驗結果可判斷，PEG400 抑制劑對於附著氧化鋅的鋅陽極亦有明顯的保護效果，但其效益則遜於 PEG600。

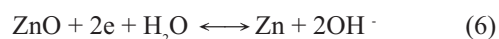
表 1 為根據圖 5 至圖 7 之連續極化曲線測試結果所求得的腐蝕電流密度值。鋅陽極經過連續 5 次的極化，若無腐蝕抑制劑，其腐蝕電流密度已高達 $4297 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。而添加 0.2% PEG600 與 PEG400 即可將受到 5 次極化的鋅陽極腐蝕電流密度，分別降低至 59.0 與 $206.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。抑制劑對於鋅的保護效率 (η) 可依據表 1 的腐蝕電流密度值而計算求得：

$$\eta = [(I_{\infty} - I_m) / I_{\infty}] \times 100 \% \quad (5)$$

式中的 I_{∞} 與 I_m 分別代表無抑制劑與含抑制劑的腐蝕電流密度。根據表 1 數據與算式 (5) 所求得的 η 值與連續極化次數之間的關係如圖 8 所示。由第 1 次極化曲線求得的 η 值顯示，0.2% 濃度的 PEG600 與 PEG400 對於平坦潔淨鋅陽極的保護效率分別高達 93.3% 與 88.0%。當極化次數增加時，由於未添加抑制劑的鋅陽極腐蝕電流密度 (I_{∞}) 急遽增大而添加 PEG 者之腐蝕電流密度 (I_m) 相對增幅較小，因此根據算式 (5) 得出的抑制劑保護效率呈現了上揚趨勢。其中尤以第 2 次極化的保護效率增幅最大，係因鋅氧化物的生成使得未添加抑制劑的腐蝕電流密度 (I_{∞}) 遽增近 8 倍之多，而添加 PEG600 與 PEG400 的腐蝕電流密度 (I_m) 僅分別增加 4.1 倍與 4.9 倍。整體而言，0.2% PEG600 的保護效率高達 93.3 至 98.6%，而 0.2% PEG400 的保護效率則為 88.0% 至 95.6%。

事實上，本實驗用的鋅片材與鋅空氣電池慣用的鋅陽極 (鋅粉末調製而成的多孔性電極) 之表面狀況有相當大的差異。因此 PEG 抑制劑在鋅空氣電池中的實際吸附效果與產生的保護效率將與上述的實驗結果有所不同。再者，當 ZnO 沉積於鋅陽極表面，可能產生下列效應：(1) 造成間隙 (Crevice) 而

增加鋅陽極發生局部腐蝕的機會，(2) 增大陰極表面積與陰極反應電流，(3) 提供另外的陰極反應機制^[4]：



上述 3 種效應皆可能改變鋅的腐蝕行為而影響 PEG 抑制劑的保護效率，而且 3 種效應之間的交錯反應更不可避免的會對實驗結果造成某種程度的差異。因此，後續的相關研究仍待繼續進行以闡明多孔性鋅陽極之腐蝕行為與抑制劑保護效率可能發生的變異。

4. 結論

本研究利用電化學方法探討 PEG600 與 PEG400 有機抑制劑在 8M KOH 溶液中對於鋅陽極的保護效果，可得出下列結論：

1. PEG600 與 PEG400 皆可影響鋅的陰極反應並且大幅降低其腐蝕電流密度。測試結果皆顯示 PEG600 的保護效果優於 PEG400。
2. 添加少量 (0.04%) 的 PEG600 或 PEG400 即可產生明顯的抑制腐蝕效應，而兩者的最佳添加濃度皆為 0.2%。
3. 鋅氧化物的生成會大幅度改變鋅的陰極行為並使陰極反應電流遽增，但此種陰極反應電流增加的不利現象將因添加 PEG600 而受到非常明顯的抑制。

參考文獻

1. T. P. Dirkse, D. D. Wit, and R. Shoemaker, J. Electrochem. Soc., 115 (1968) 442.
2. T. P. Dirkse and N. A. Hampson, Electrochim. Acta., 16 (1971) 2049.
3. P. L. Cabot, M. Cortes, F. A. Centellas, and E. Perez, J. Appl. Electrochem., 23 (1993) 371.
4. Y. C. Chang and G. A. Prentice, Electrochim. Acta.,

- 136 (1989) 3398.
5. L. M. Baugh and A. Higginson, Electrochim. Acta., 30 (1985) 1173.
6. C. Cachet, B. Saidani, and R. Wiart, J. Electrochem. Soc., 139 (1992) 644.
7. P. Scholl, X. Shan, D. Bonham, and G. A. Prentice, Electrochim. Acta., 138 (1991) 895.
8. Huabin Yang, Zianling Meng, Endong Yang, Ziaodan Wang, and Zuoxing Zhou, J. Electrochem. Soc., 151 (2004) A389.
9. V. K. Nartey, L. Binder, and K. Kordesch, J. Power Sources, 52 (1994) 217.
10. Y. Ein-Eli, M. Auinat, and D. Starosvetsky, J. Power Sources, 114 (2003) 330.
11. J. Dobryszycycki and S. Biallozor, Corrosion Science, 43 (2001) 1309.
12. Y. Ein-Eli and M. Auinat, J. Electrochem. Soc., 150 (2003) A1606.
13. Y. Ein-Eli and M. Auinat, J. Electrochem. Soc., 150 (2003) A1614.

收到日期：2004 年 7 月 31 日

修訂日期：2004 年 11 月 29 日

接受日期：2004 年 12 月 13 日

表 1. 根據圖 5 至圖 7 之連續極化曲線測試結果所求得的腐蝕電流密度值 ($\times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$)。
Table 1 Values of corrosion current density ($\times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$) obtained from the continuous polarization curves in Fig. 5 to Fig. 7.

	Without inhibitor	With 0.2% PEG600	With 0.2% PEG400
1 st cycle	182.0	11.6	18.5
2 nd cycle	1598	47.5	90.0
3 rd cycle	2862	54.4	134.0
4 th cycle	4146	58.5	183.7
5 th cycle	4297	59.0	206.3

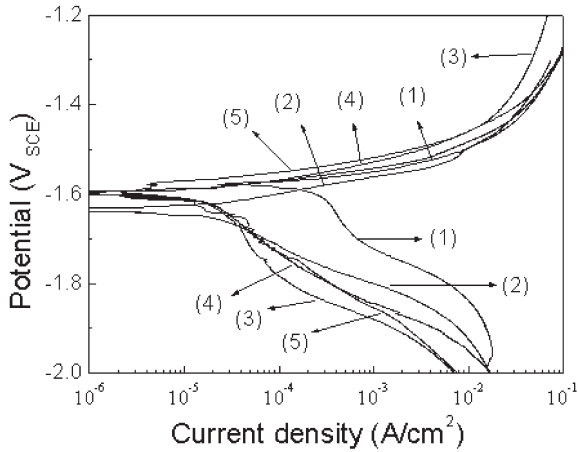


圖 1. 鋅在含不同濃度 PEG600 : (1) 0%, (2) 0.04%, (3) 0.2%, (4) 0.5%, (5) 1% 之 8M KOH 中浸漬 1 小時後的極化曲線。

Figure 1 Potentiodynamic polarization curves of Zn after 1hr immersion in 8M KOH containing PEG600 in concentration of: (1) 0%, (2) 0.04%, (3) 0.2%, (4) 0.5%, (5) 1%.

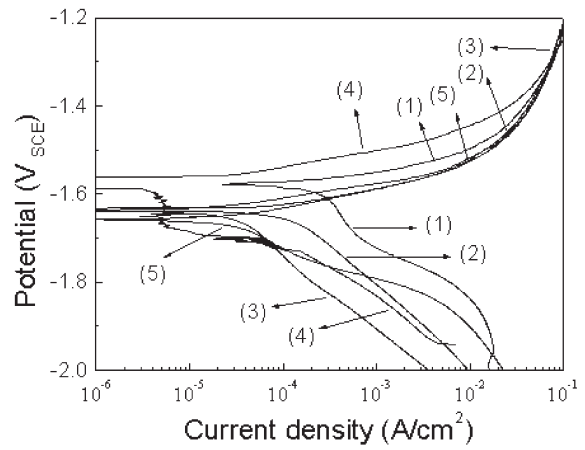


圖 2. 鋅在含不同濃度不同濃度 PEG400 : (1) 0%, (2) 0.04%, (3) 0.2%, (4) 0.5%, (5) 1% 之 8M KOH 中浸漬 1 小時後的極化曲線。

Figure 2 Potentiodynamic polarization curves of Zn after 1hr immersion in 8M KOH containing PEG400 in concentration of: (1) 0%, (2) 0.04%, (3) 0.2%, (4) 0.5%, (5) 1%.

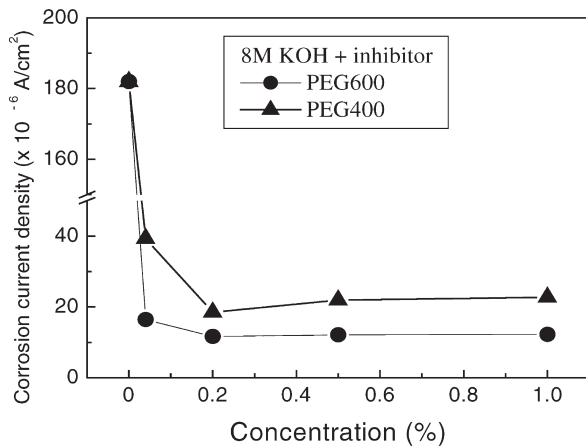


圖 3. 鋅在 8M KOH 中浸漬 1 小時後的腐蝕電流與抑制劑添加濃度的關係。(●) PEG600, (▲) PEG400。

Figure 3 Values of the corrosion current of Zn after immersion 1h in 8M KOH as a function of inhibitor concentration.(●)PEG600, (▲) PEG400.

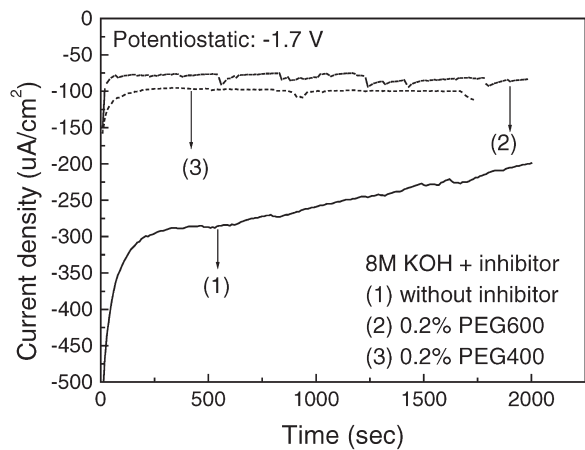


圖 4. 鋅在 8M KOH 含抑制劑溶液中浸漬 1 小時後的定電位 (-1.7 V) 測試結果。(1) 無抑制劑, (2) 0.2% PEG600, (3) 0.2% PEG400。

Figure 4 Data obtained from potentiostatic measurements taken at -1.7 V from Zn after 1h immersion in 8M KOH containing inhibitor. (1) without inhibitor, (2) with 0.2% PEG600, (3) with 0.2% PEG400.

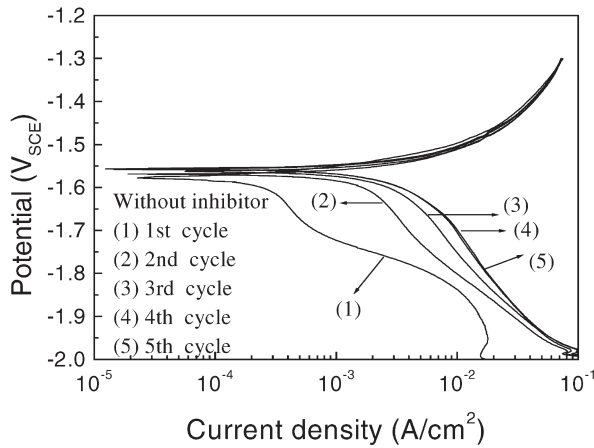


圖 5. 鋅在 8M KOH 不含抑制劑溶液中的連續極化掃描實驗結果。(1) 1st 極化，(2) 2nd 極化，(3) 3rd 極化，(4) 4th 極化，(5) 5th 極化。

Figure 5 Continuous polarization curves of Zn in 8M KOH without inhibitor. (1) 1st polarization curve, (2) 2nd polarization curve, (3) 3rd polarization curve, (4) 4th polarization curve, (5) 5th polarization curve.

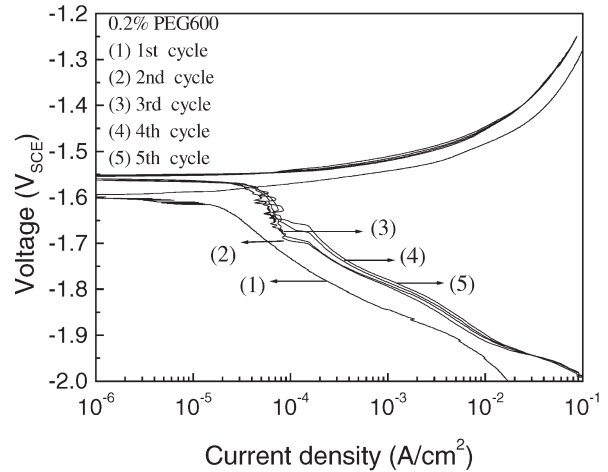


圖 6. 鋅在 8M KOH 含 0.2% PEG600 溶液中的連續極化掃描實驗結果。(1) 1st 極化，(2) 2nd 極化，(3) 3rd 極化，(4) 4th 極化，(5) 5th 極化。

Figure 6 Continuous polarization curves of Zn in 8M KOH containing 0.2% PEG600. (1) 1st polarization curve, (2) 2nd polarization curve, (3) 3rd polarization curve, (4) 4th polarization curve, (5) 5th polarization curve.

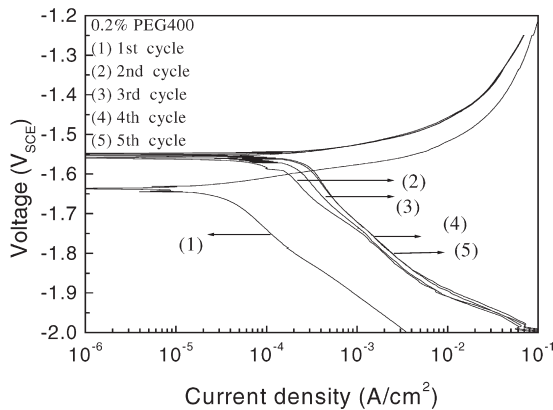


圖 7. 鋅在 8M KOH 含 0.2% PEG400 溶液中的連續極化掃描實驗結果。(1) 1st 極化，(2) 2nd 極化，(3) 3rd 極化，(4) 4th 極化，(5) 5th 極化。

Figure 7 Continuous polarization curves of Zn in 8M KOH containing 0.2% PEG400. (1) 1st polarization curve, (2) 2nd polarization curve, (3) 3rd polarization curve, (4) 4th polarization curve, (5) 5th polarization curve.

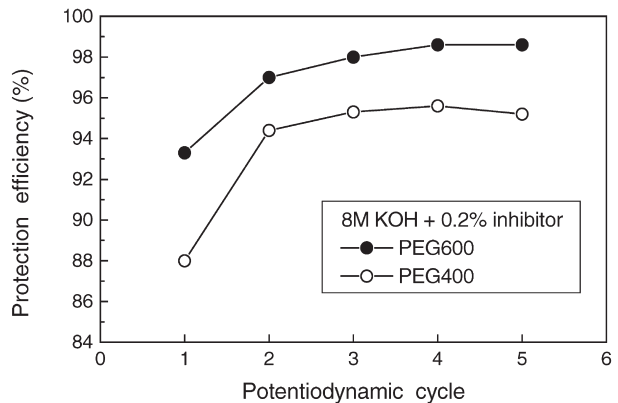


圖 8. 0.2% PEG600 與 PEG400 在 8 M KOH 中的保護效率與連續極化次數之間的關係。

Figure 8 Values of protection efficiency of 0.2% PEG600 and 0.2% PEG400 in 8 M KOH as a function of potentiodynamic cycle.