

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 化學科

050212

無電電鍍—熱浴浸泡法

學校名稱：新北市立新北高級中學

作者： 高二 黃翊瑄 高二 吳宜靜 高二 張皓翔	指導老師： 鍾曉蘭
---	------------------

關鍵詞：無電電鍍、氧化還原、熱浴浸泡法

摘要

為了提高鋼、鐵的防鏽能力，本研究採用氧化劑(亞硝酸鈉)促使鋼、鐵表面產生黑色膜狀物(四氧化三鐵)，使內部的金屬不受外在的因素影響而有效的被保護，避免金屬表面產生氧化生鏽，以提升產品的功能性，及產品使用上的安全性。

本研究主要在於探討在無電的情況下，如何能夠快速地將金屬表面做防鏽處理，以有效的達到延遲氧化的時間，並且討論溫度及藥劑與水的比例對各種金屬的螺絲的無電電鍍之效果有何差異。

研究結果發現溫度的高低以及藥劑濃度對於反應結束後的產品所呈現出的差異及防鏽能力皆有所影響，其中發現最佳溫度為 120°C 左右，最佳濃度為 $[\text{NaOH}] = 12.5\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2] = 0.43\text{M}$ 。

壹、 研究動機

在生活中處處可以見到螺絲的使用，但市面上的螺絲皆已經經過電鍍防鏽的處理，然而每種電鍍出的結果、效果必定有所差異，使用上也有不同的限制，此外，不同金屬所使用的藥品、器材也大不相同，不僅如此，銷售市場上的金屬製品經過處理後不僅能延遲生鏽時間且外觀上也有不同的顏色，使我們非常好奇，因此想藉此機會深入探究電鍍所產生的化學變化，及在重工業上的應用為何，如鐵製螺絲品的表面處理。

貳、 目的

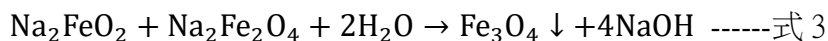
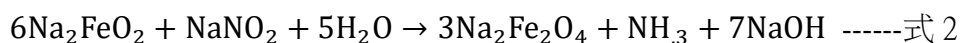
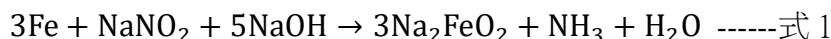
- 一、利用藥劑與金屬表面產生反應使金屬表面產生一層四氧化三鐵(Fe_3O_4)，進而與氧氣隔絕，延遲金屬被氧化的時間，讓金屬不易因生鏽而產生物理以及化學性質上的改變，並使金屬的外觀產生視覺上的不同。
- 二、探討不同的溫度進行反應，並觀察顏色、生鏽時間的變化及最佳溫度。
- 三、探討不同的藥劑濃度進行反應，並觀察顏色及生鏽時間的變化。

參、 原理

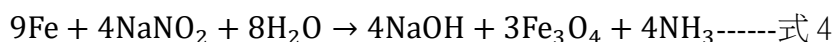
一、實驗原理：電鍍分為有電電鍍(電解)和無電電鍍(熱浴浸泡法)，本實驗所使用的方法為無電電鍍，利用高溫浸泡的方式，促使金屬表面的成分(鐵)與藥劑產生氧化還原反應，利用氧化劑(亞硝酸鈉)中的氧使金屬表面產生四氧化三鐵，以

達到延遲生鏽的目的。完成後，利用鹽霧檢驗法檢驗其防鏽效果的差異。

反應過程：



經由以上三式整理得出：



肆、 研究方法及設計

本研究方法及設計：詳見圖一，採用熱欲浸泡法，先利用鹽酸將金屬表面雜質去除，配製溶液([NaOH]=12.5M，[NaNO₂]=0.43M)，放入金屬(不鏽鋼、鐵(有螺紋、無螺紋)、合金鋼、中碳鋼)，並觀測溫度改變及藥劑濃度不同分別對生鏽時間及顏色的影響，最後，利用鹽霧檢驗法紀錄並探討。

一、實驗一：本實驗利用不同的溫度：60°C、70°C、80°C、90°C、100°C、110°C、120°C 進行無電極電鍍反應，進而利用鹽霧檢驗法觀察不鏽鋼、鐵(有螺紋、無螺紋)、合金鋼、中碳鋼顏色與生鏽時間的變化，變因如表 1。

表 1:實驗一變因

控制變因	1.同時間(10 分鐘) 2.同濃度([NaOH]=12.5M，[NaNO ₂]=0.43M)
操縱變因	溫度
應變變因	顏色、生鏽時間

二、實驗二：本實驗利用不同的藥劑濃度進行無電極電鍍反應，依次分別配製 [NaOH]=25M，[NaNO₂]=0.85M、[NaOH]=16.67M，[NaNO₂]=0.57M、[NaOH]=12.5M，[NaNO₂]=0.43M、[NaOH]=10M，[NaNO₂]=0.34M、[NaOH]=8.33M，[NaNO₂]=0.28M，進而利用鹽霧檢驗法觀察不鏽鋼、鐵(有螺紋、無螺紋)、合金鋼、中碳鋼顏色與生鏽時間的變化，變因如表 2。

表 2:實驗二變因

控制變因	同時間(10 分鐘)、同溫度(120°C)
操縱變因	藥劑濃度
應變變因	顏色、生鏽時間

三、鹽霧檢驗法：透過加壓鹽水對待測物進行檢測，且鹽水可以加速待測物氧化的速度，檢測有無電鍍對於延遲生鏽的時間的差異。本實驗採用的檢驗規範為 JIS 規範(日本工業規格協會檢驗標準)。

(一)JIS 規範條件(日本工業規格協會檢驗標準):

- 1.壓縮空氣統壓力:1.0kg/cm²
- 2.鹽水噴參量:1.3ml/hr
- 3.空氣飽和桶溫度:47±1°C
- 4.試驗室溫度:35±2°C
- 5.pH 值:6.5~7.2
- 6.比重:1.0223~1.0364
- 7.濃度:5±1%

(二)實作時條件:

- 1.壓縮空氣統壓力:1.0kg/cm²
- 2.鹽水噴參量:1.3ml/hr
- 3.空氣飽和桶溫度:47.1°C
- 4.試驗室溫度:34°C
- 5.pH 值:7.2
- 6.比重:1.0223
- 7.濃度:5%

(三)相關討論:

1.為何鹽霧檢驗法採用鹽水且為噴霧狀?

鹽霧是比照海水環境的加速腐蝕方法，腐蝕是材料或其性能在環境的作用下引起的破壞或變質。鹽霧腐蝕就是一種常見和最有破壞性的大氣腐蝕，鹽霧對金屬材料表面的腐蝕是由於含有的氯離子穿透金屬表面的氧化層和防護層與內部金屬發生電化學反應引起的，氯離子易被吸附在金屬表面的孔隙、裂縫排擠並取代氯化層中的氧，把不溶性的氧化物變成可溶性的氯化物，使鈍化態表面變成活潑表面，造成對產品極壞的不良反應。

2.鹽霧檢驗法的限制為何？

本研究的最大的限制為無法確切得知金屬實際生鏽的時間，因為本研究使用的鹽水試霧機在使用過程中，鹽霧會依附在蓋子的表面，導致無法看到內部的變化，若頻繁的打開觀察，鹽霧則會擴散出來，並破壞內部的飽和蒸汽壓且溫度也會受到影響，進而影響實驗結果。

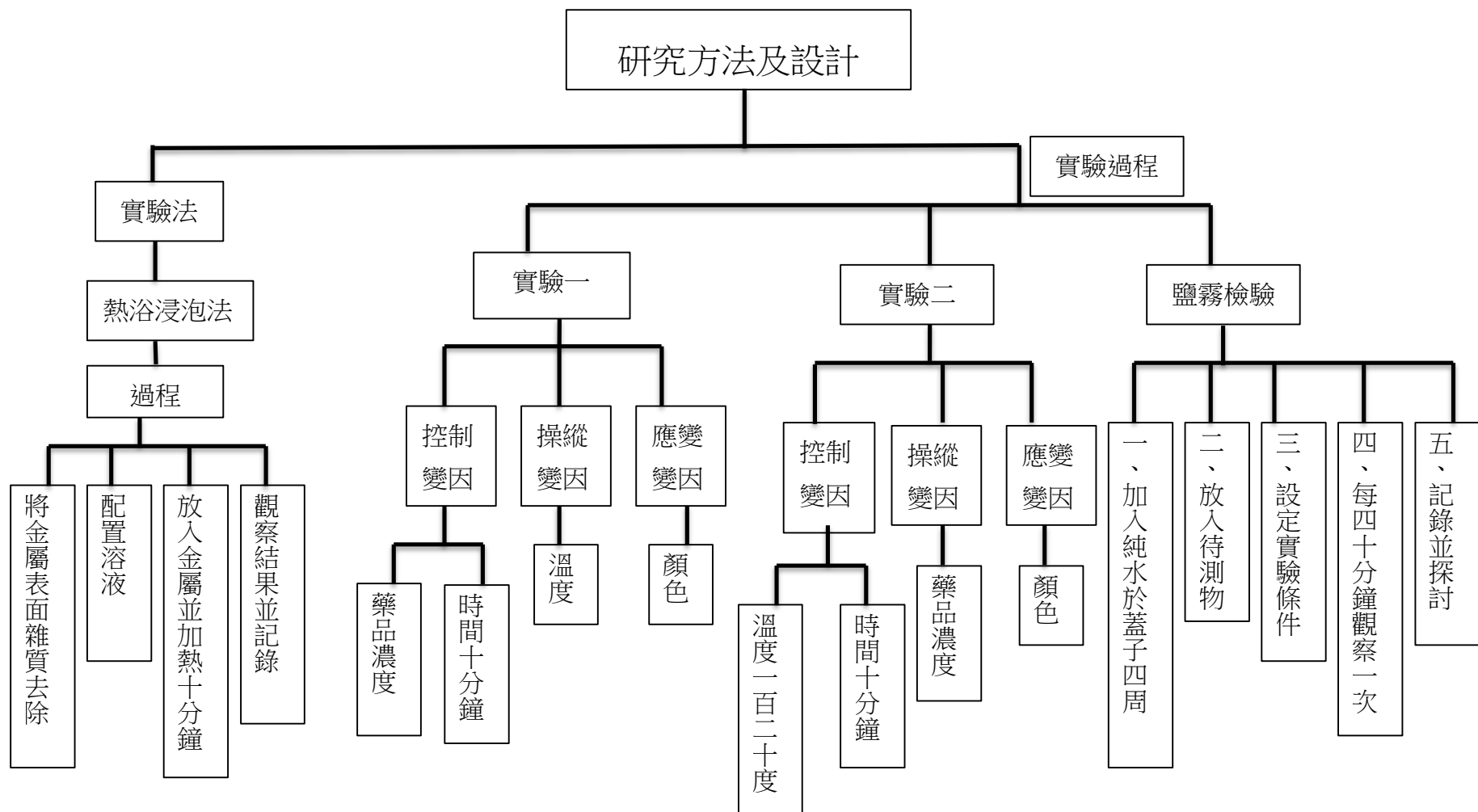


圖 1:研究方法及設計

伍、 實驗器材

本研究所需要的藥品，如表 3，所需要的藥品，如表 4。

表 3:藥品

(一)藥品	數量	備註
氫氧化鈉	共 2200g	
亞硝酸鈉	共 132g	
鹽酸	適量	做清潔表面鏽斑用

表 4:器材

(二)器材	數量	備註
不鏽鋼鍋	1 個	容量 500ml 以上
溫度計	1 支	測量範圍 0°C~200°C
不鏽鋼	共 37 支	
鐵有螺紋	共 37 支	
鐵無螺紋	共 37 支	
合金鋼	共 37 支	
中碳鋼	共 37 支	
卡式爐	1 個	加熱用
水桶	1 個	冷卻用
燒杯	3 個	
電子秤	1 台	秤藥品
鹽霧試驗機	1 台	如圖 2、圖 3



圖 2:鹽水試霧機



圖 3:鹽水試霧機

陸、 實驗步驟

一、實驗一:

- (一) 將不鏽鋼、鐵(有螺紋、無螺紋)、合金鋼、中碳鋼浸泡至鹽酸中，以去除表面油垢及污漬，如圖 4。
- (二) 配置 $[\text{NaOH}]=12.5\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.43\text{M}$ (此時溫度已上升 60°C ，因為加入氫氧化鈉會產生放熱反應)，如圖 5。
- (三) 放入各種金屬加熱，使溫度保持 $60\pm 5^\circ\text{C}$ 持續攪拌 10 分鐘，即可拿出放在水桶裡泡水降溫洗淨表面殘餘藥劑，拿出擦乾噴上防鏽油，增加金屬表面光澤度，防鏽效果也相對增加。
- (四) 重複以上步驟，溫度加熱至 70°C 、 80°C 、 90°C 、 100°C 、 110°C 、 120°C (溫差為 $\pm 5^\circ\text{C}$)。



圖 4:以鹽酸清洗過後的金屬



圖 5:加熱過程中

二、實驗二:

- (一) 將不鏽鋼、鐵(有螺紋、無螺紋)、合金鋼、中碳鋼浸泡至鹽酸中，以去除表面油垢及污漬。
- (二) 配置 $[\text{NaOH}]=25\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.85\text{M}$ ，加熱至 $120\pm 5^\circ\text{C}$ 放入各種金屬加熱，使溫度保持 $120\pm 5^\circ\text{C}$ 持續攪拌 10 分鐘，如圖 6，即可拿出。
- (三) 重複以上步驟，分別配置 $[\text{NaOH}]=25\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.85\text{M}$ 、 $[\text{NaOH}]=16.67\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.57\text{M}$ 、 $[\text{NaOH}]=12.5\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.43\text{M}$ 、 $[\text{NaOH}]=10\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.34\text{M}$ 、 $[\text{NaOH}]=8.33\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.28\text{M}$ 。



圖 6:加熱至 $120\pm 5^\circ\text{C}$

三、鹽霧檢驗法:

- (一)準備 9.5L 的純水、500g 的 NaCl
- (二)將 NaCl 倒入純水中攪拌均勻
- (三)將配置好的鹽水倒入飽和桶內
- (四)將待檢驗物置入試驗室中，並在蓋子四周加水(避免在檢驗過程中有鹽霧滲出影響檢驗結果)
- (五)設定實作條件
- (六)蓋上蓋子，試驗開始
- (七)每 40 分鐘中觀察一次(因為太頻繁地開啟觀察化影響檢驗的結果)

柒、 實驗結果

一、實驗一:本研究在不同溫度下，利用無電極電鍍對不同的金屬進行反應，並觀察其顏色變化，發現在 110°C 時，所鍍出的顏色（黑色）最佳，如表 5。

本研究發現鐵(有螺紋)在 60°C~80°C 時，40 分鐘生鏽；90°C 時，120 分鐘生鏽；100°C 時，200 分鐘生鏽；110°C~120°C 時，240 分鐘生鏽，且鐵(無螺紋)、合金鋼、中碳鋼與鐵(有螺紋)結果相同，如表 6、圖 7。

本研究在不同溫度下，利用不同硬度的鉛筆，測試其耐磨性，發現在 90°C 為 2H，100°C 為 3H，110°C 為 4H，120°C 為 3H，如表 7。

表 5:不同金屬在不同溫度下，所反應出來的顏色差異

	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C	110°C	★ 120°C
鐵片							
鐵有螺紋							
鐵無螺紋							
不鏽鋼							
合金鋼							
中碳鋼							

★ : 表示最佳溫度

表 6:不同金屬在不同溫度下，所需的生鏽時間

生鏽時間(分) 金屬	溫度	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C	110°C	120°C
鐵片		40.0	40.0	40.0	120.0	200.0	240.0	240.0
鐵(有螺紋)		40.0	40.0	40.0	120.0	200.0	240.0	240.0
鐵(無螺紋)		40.0	40.0	40.0	120.0	200.0	240.0	240.0
合金鋼		40.0	40.0	40.0	120.0	200.0	240.0	240.0
中碳鋼		40.0	40.0	40.0	120.0	200.0	240.0	240.0

註：以上數據為三次實驗平均的結果

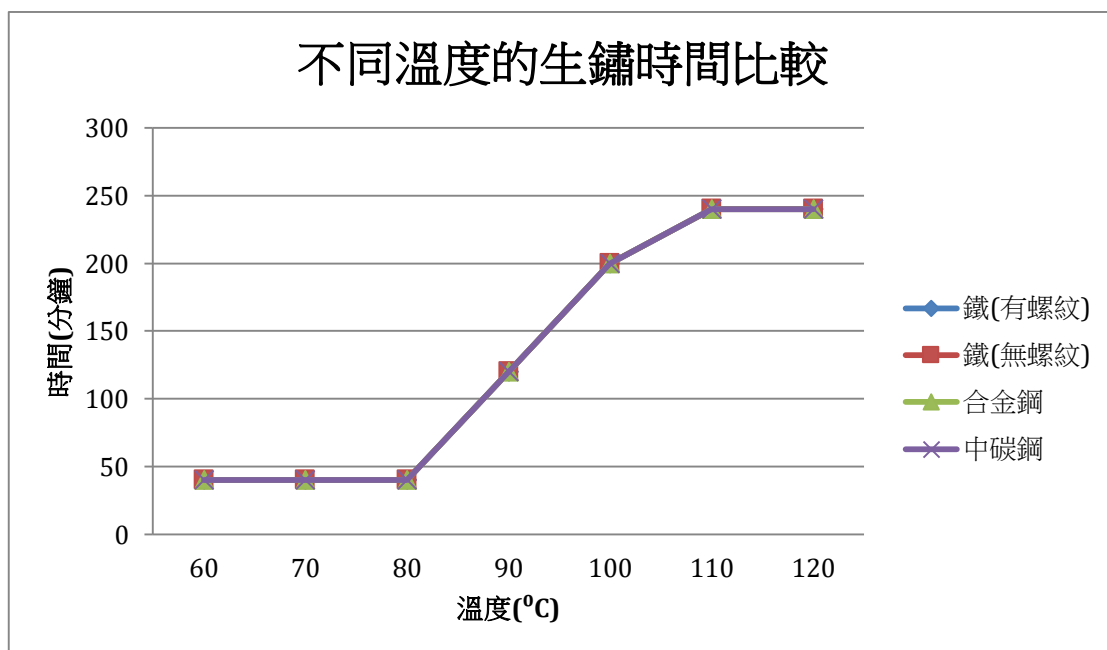


圖 7: 不同金屬在不同溫度下，所需的生鏽時間關係圖

表 7：鉛筆硬度檢驗結果

鉛筆 金屬	溫度	90°C	100°C	110°C	120°C
鐵片		2H	3H	4H	3H
鐵(有螺紋)		2H	3H	4H	3H
鐵(無螺紋)		2H	3H	4H	3H
合金鋼		2H	3H	4H	3H
中碳鋼		2H	3H	4H	3H

二、實驗二：本研究在不同濃度下，利用無電極電鍍對不同的金屬進行反應，並觀察其顏色變化，發現 $[\text{NaOH}]=12.5\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.43\text{M}$ 時，所鍍出的顏色最佳，如表 8。

本研究發現鐵(有螺紋)在 $[\text{NaOH}]=25\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.85\text{M}$ 時，120 分鐘生鏽； $[\text{NaOH}]=16.67\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.57\text{M}$ 時，200 分鐘生鏽； $[\text{NaOH}]=12.5\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.43\text{M}$ 時，240 分鐘生鏽； $[\text{NaOH}]=10\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.34\text{M}$ 時，200 分鐘生鏽， $[\text{NaOH}]=8.33\text{M}$ ，

$[\text{NaNO}_2]=0.28\text{M}$ ，

120 分鐘生鏽，且鐵(無螺紋)、合金鋼、中碳鋼與鐵(有螺紋)結果相同，如表 9、圖 8。

本研究在不同濃度下，利用不同硬度的鉛筆，測試其耐磨性，發現在 $[\text{NaOH}]=25\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.85\text{M}$ 時為 2H； $[\text{NaOH}]=16.67\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.57\text{M}$ 時為 3H； $[\text{NaOH}]=12.5\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.43\text{M}$ 時為

4H；

$[\text{NaOH}]=10\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.34\text{M}$ 時為 3H， $[\text{NaOH}]=8.33\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.28\text{M}$ 為 2H，如表 10。

表 8:不同金屬在不同濃度下，所反應出的顏色差異。

	[NaOH] =25M [NaNO ₂] =0.85M	[NaOH] =16.67M [NaNO ₂] =0.57M	★ [NaOH] =12.5M [NaNO ₂] =0.43M	[NaOH] =10M [NaNO ₂] =0.34M	[NaOH] =8.33M [NaNO ₂] =0.28M
鐵片					
鐵 有螺紋					
鐵 無螺紋					
不鏽鋼					
合金鋼					
中碳鋼					

★：表示最佳濃度

表 9:不同金屬在不同濃度所需的生鏽時間

生鏽時間 (分) 金屬	濃度	[NaOH]	[NaOH]	★[NaOH]	[NaOH]	[NaOH]
		=25M	=16.67M	=12.5M	=10M	=8.33M
		[NaNO ₂]	[NaNO ₂]	[NaNO ₂]	[NaNO ₂]	[NaNO ₂]
		=0.85M	=0.57M	=0.43M	=0.34M	=0.28M
鐵(有螺紋)		120.0	200.0	240.0	200.0	120.0
鐵(無螺紋)		120.0	200.0	240.0	200.0	120.0
合金鋼		120.0	200.0	240.0	200.0	120.0
中碳鋼		120.0	200.0	240.0	200.0	120.0

註：以上數據為三次實驗平均的結果

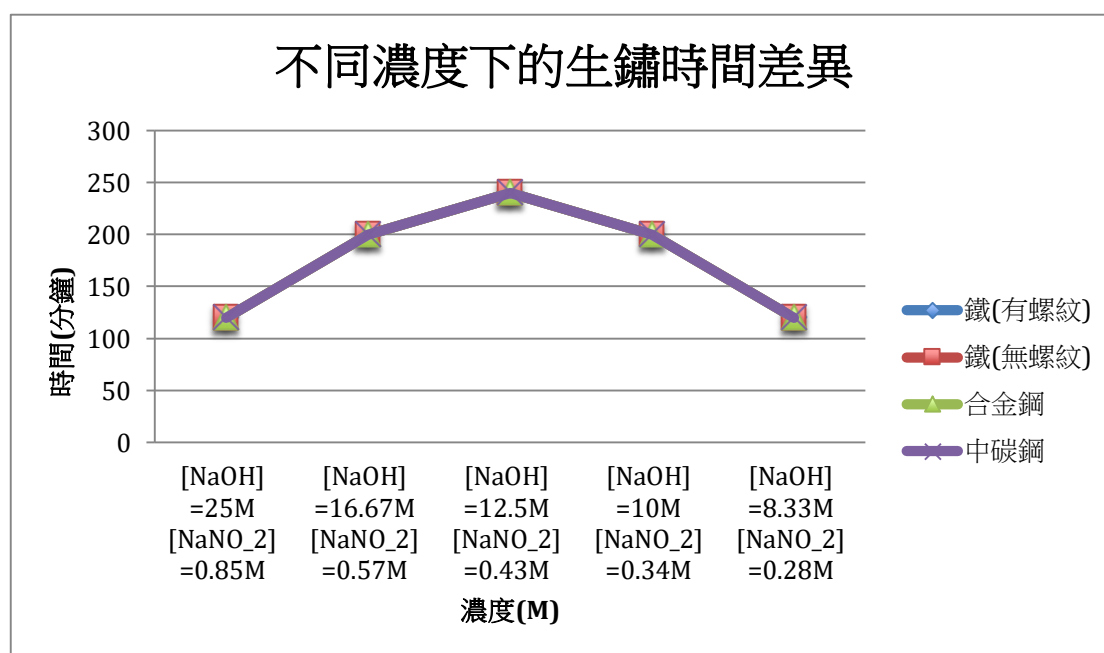


圖 8: 不同金屬在不同濃度所需的生鏽時間關係圖

表 10：鉛筆硬度檢驗結果

鉛筆硬度 金屬	濃度	[NaOH] =25M	[NaOH] =16.67M	[NaOH] =12.5M	[NaOH] =10M	[NaOH] =8.33M
		[NaNO ₂] =0.85M	[NaNO ₂] =0.57M	[NaNO ₂] =0.43M	[NaNO ₂] =0.34M	[NaNO ₂] =0.28M
鐵片		2H	3H	4H	3H	2H
鐵(有螺紋)		2H	3H	4H	3H	2H
鐵(無螺紋)		2H	3H	4H	3H	2H
合金鋼		2H	3H	4H	3H	2H
中碳鋼		2H	3H	4H	3H	2H

※我們也嘗試使用不同的氧化劑(如：過錳酸鉀)，但在 110°C 所鍍出的結果為紅棕色，因此推測過錳酸鉀會使鐵轉換成氧化鐵，非黑色的四氧化三鐵；在濃度過低無法使其上色，且濃度過高或最佳濃度下皆為紅棕色。

利用鹽霧檢驗法檢測後，鐵的生鏽情形，如圖 9、圖 10、圖 11、圖 12、圖 13。



圖 9:有鍍膜且有螺紋的鐵棒



圖 10:無鍍膜且有螺紋的鐵棒

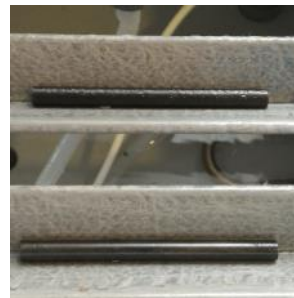


圖 11:有鍍膜且無螺紋的鐵棒



圖 12:不鏽鋼



圖 13 :無鍍膜且
無螺紋的鐵棒

捌、討論

Q1：為何溶液溫度可被加熱至 100°C 以上？

A1：因為氫氧化鈉溶於水會產生放熱反應，促使溫度在尚未加熱食即快速提高，且電解質溶於水會產生解離使溶液的沸點超過 100°C 以上。

Q2：為何不鏽鋼材質無法上色且在 240 分鐘後仍未生鏽？

A2：因為不鏽鋼的原料中含有鉻和鎳。如果鉻的含量超過 1%(因為鉻的活性大於鐵，以致於表面無法形成緻密的四氧化三鐵)，則難以用此方法使其上色，須另使用不鏽鋼染劑等溶液作為染劑；鎳可使其表面會產生防鏽的氧化膜，提高抗氧化性，使其達到延緩生鏽的效果。

Q3：優、缺點的比較

A3：本研究所採用的無電電鍍方法相較於一般電鍍的優、缺點比較，如表 11。

表 11:優、缺點的比較

優點	缺點
1. 成本較低(不需電解槽、較不耗能) 2. 加工速度快 3. 較方便 4. 美觀(黑色膜) (表面不怕碰撞) 5. 不需要擬鍍物 6. 較環保 (因為有電電鍍有些含有氰化物)	1. 防鏽的時間較電鍍來的短，如表 11 2. 並非所有的金屬皆適用於此方法 (例如:不鏽鋼、鋁、錫……)

表 12：有電電鍍及無電電鍍的防鏽時間比較

	有電電鍍 (鍍鋅)	無電電鍍 (最佳溫度、比例)
防鏽時間	12 小時(膜厚 2 微米)	4 小時
防鏽時間	48 小時(膜厚 5 微米)	4 小時

數據來源：來群股份有限公司

Q4：此種無電電鍍可替換成鋁和錫嗎？

A4：因為亞硝酸鈉會與鋁發生反應，產生嚴重腐蝕溶解，產生泡沫，將鋁換成錫會有一樣的效果，只是腐蝕溶解速度較鋁緩慢。

Q5：如何使廢液再利用？

A5：用於銨鹽中含氮，鹽可用作氮肥，稱為「銨態氮肥」。此類肥料不宜與鹼性肥料混用，否則銨離子會被反應掉從而肥效降低。

Q6：生鏽程度如何測量？

A6：未來可以一次多放幾個一同檢驗，每 40 分鐘拿出一個放在紫外光下進行觀測，或是採用秤重的方式判斷、電阻的改變等。

Q7：生鏽也是氧化作用生成氧化鐵，為何要使用此方法將其氧化？

A7：生鏽是利用空氣中的氧與表面的鐵結合，產生氧化鐵；而此方法是利用亞硝酸鈉中的氧與表面的鐵結合，產生較緻密的四氧化三鐵。

玖、結論

- 一、由實驗結果得知，溫度過高會使金屬表面產生紅棕色(氧化鐵)而非黑色(四氧化三鐵)，溫度過低則金屬表面無法與化學藥劑產生反應，且會對金屬抗氧化的效果產生影響。
- 二、由實驗結果得知，濃度過高或是濃度過低皆會使金屬表面產生紅棕色而非黑色並且影響延遲金屬氧化的效果。
- 三、依實驗結果分析，此種無電電鍍方法的最佳濃度為 $[\text{NaOH}]=12.5\text{M}$ ， $[\text{NaNO}_2]=0.43\text{M}$ ，最佳溫度為 120°C 。
- 四、本研究採用的鹽霧檢驗法有其限制，未來可以朝以加壓且恆溫的浸泡方式設計出檢驗器材，加以檢驗。
- 五、實驗所產生的廢液，因含有大量的氨水及氫氧化鈉，可以使用鹽酸做酸鹼中和，得到氯化鈉和氯化銨，再利用溶解度不同使氯化鈉和氯化銨分離。

壹拾、 參考資料

- 維基百科：氧化還原反應，2015年11月10日引自
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B0%A7%E5%8C%96%E8%BF%98%E5%8E%9F%E5%8F%8D%E5%BA%94>
- 維基百科：電鍍，2015年11月10日引自
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E9%95%80>
- 維基百科：不鏽鋼，2016年3月11日引自
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%B8%8D%E9%8F%BD%E9%8B%BC>
- 維基百科：鹽霧試驗，2016年5月29日引自
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%B9%BD%E9%9C%A7%E8%A9%A6%E9%A9%97%E8%A8%AD%E5%82%99>
- 維基百科：鉍，2016年5月29日引自
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%93%B5>
- 維基百科：侯氏制鹼法，2016年6月10日引自
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%81%94%E5%90%88%E5%88%B6%E7%A2%B1%E6%B3%95>
- 金屬表面處理藥劑資訊網：染黑，2016年5月29日引自
<http://www.zenda.com.tw/faq/content/76/5/tw/%E9%8B%BC%E9%90%B5%E5%8C%96%E5%AD%B8%E6%9F%93%E9%BB%91%E7%9A%84%E7%94%A8%E9%80%94%E7%82%BA%E4%BD%95%EF%BC%9F.html>
- yahoo 知識+：染黑，2016年5月29日引自
<https://tw.answers.yahoo.com/question/index?qid=20131225000010KK02859>
- 表面處理編輯委員會(2004)表面處理，P196~209。台北市：新文京開發出版股份有限公司出版
- 黃俊誠、陳藹然，電鍍，2015年11月10日引自高瞻平台
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4911>
- 葉名倉主編(2014)基礎化學(一)，單元:氧化還原。台南市：南一書局
- 葉名倉主編選修化學(上)，單元:氧化還原、電鍍。台南市：南一書局
- 不鏽鋼科學知識(2007)，2016年3月11日引自
<https://deferroalloy.files.wordpress.com/2011/06/e4b88de98ab9e98bbce7a791e5adb8e79fa5e8ad98.pdf>
- 日本工業規格協會檢驗標準，2015年11月10日引自
<http://www.jisc.go.jp/>
- 素描鉛筆硬度，2016年6月8日引自
<http://dampal.pixnet.net/blog/post/27682575-%E5%B0%8F%E5%B0%8F%E9%89%9B%E7%AD%86>

【評語】 050212

本實驗探討鐵片及鋼的無電電鍍以產生保護層避免表面產生生鏽，利用 NaOH 和 NaNO₃ 可產生 Fe₃O₄ 氧化層因只利用顏色觀察 Fe₃O₄ 是否產生，及不知其它氧化物是否也同時形成，鑑定方面較欠缺。