

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生活與應用科學(三)科

083009

除「鏽」換新：探究電化學除鏽法

學校名稱：桃園市桃園區西門國民小學

作者： 小五 張晴晴 小五 張勻瑄 小五 許恩郡 小五 趙品菲 小五 林鈺貞	指導老師： 樊倫成 滕耀芬
---	-----------------------------

關鍵詞： 氧化鐵鐵鏽、電化學除鏽、氧化還原反應

作品名稱

除「鏽」換新：探究電化學除鏽法

摘要

本研究在於探討鐵生鏽與鐵除鏽相關實驗的成因、目的及重要性。

(一)鐵生鏽實驗：

- 1.了解潮濕氣候、溫度、酸鹼溶液，對鐵生鏽速率的影響，找出化學反應機制。
- 2.通過模擬實驗，評估在不同條件下對鐵的影響，提出防止鐵生鏽的策略。

(二)鐵除鏽實驗：

- 1.以電化學反應進行除鏽，研究電化學除鏽效能。
- 2.分析電化學除鏽的反應機制，調整電壓、電流密度、電解液濃度與溫度等，評估除鏽效果，找出最佳參數。

(三)研究成果：

- 1.為提高鐵製品耐用性，延長使用壽命，提出最佳防鏽策略。
- 2.小小貢獻：用電化學除鏽法，改造 USB 電源線，接上鱷魚夾，以[小蘇打粉 + 熱水](#)當電解液，即能輕鬆除鏽。

壹、前言

在台灣這塊多山的海島地區，潮濕的氣候常年存在，使得各式金屬製品容易受到鐵生鏽的影響。這種特殊的自然環境下，鐵製品往往更加容易受損，進而衍生出對「鐵生鏽」及「鐵除鏽」進行深入研究的想法。

台灣的平均濕度因季節和地區而異，一般而言，夏季的濕度較高，冬季則相對較低。潮濕的氣候為金屬生鏽提供了理想的條件，高濕度的環境中，空氣中的水分更容易與金屬表面發生反應，形成氫氧化鐵等腐蝕產物，進而導致鐵生鏽的現象。在家中，許多日常生活用品如鐵鍋、刀具、浴室五金等都是由鐵製成。然而，這些鐵製品長時間暴露於潮濕環境下，容易受到腐蝕的影響，不僅影響外表美觀，更可能降低其使用壽命。因此，為了提高這些家庭用品的耐用性，我們需要深入研究鐵生鏽的機制，以及找出更有效率且環保的方式來進行除鏽。

進行鐵生鏽及鐵除鏽實驗的動機之一是深入了解潮濕氣候對鐵腐蝕的具體影響。台灣濕潤的環境中，水分和氧氣的作用是鐵製品容易腐蝕的主要原因。透過模擬各項因素及狀況，我們可以觀察並紀錄下鐵生鏽的過程，從而了解影響鐵生鏽的主要因素。通過探究在不同環境條件下，例如不同濕度、溫度、濃淡鹽度、不同酸鹼度溶液等狀況下，鐵金屬腐蝕的變化，我們能夠得知腐蝕程度等重要資訊，進而知道要如何延緩鐵生鏽速度的方法。防止鐵生鏽不僅僅是一個科學問題，更是一個實用性的需求。

為了延長金屬製品的使用壽命，除了防鏽之外，我們也要尋找出高效率且具環保的除鏽方法。刷洗摩擦除鏽固然有效，但是勞心勞力且容易刮傷金屬表面，對於不規則金屬製品更是挑戰難度。利用除鏽劑來進行除鏽，其中一些除鏽劑可能含有對環境有害的成分也不適合家庭使用。因此，鐵生鏽及鐵除鏽的研究不僅僅局限在理論層面，更是為了應對實際問題和改進家庭生活品質的需求，同時須考慮到環境友好的角度，提高家庭用品的耐用性與可持續性。在本科展中，我們提出[利用電化學的方式來進行除鏽](#)，探討不同的電壓、電流密度以及各種電解液，找出最佳的電化學除鏽條件，能在日常家庭中就可以操作使用，是本科展最主要的研究動機。

茲將本次科展的研究目的整理列表如下：

- 一、 分析鐵生鏽的化學反應機制
- 二、 探究不同氣候條件(溫度、濕度)對鐵生鏽速率的影響
- 三、 評估並比較不同因子(濃淡鹽度、各類酸鹼度溶液)對鐵生鏽的影響性
- 四、 提出防止鐵生鏽的應對策略
- 五、 不同除鏽方式的效能評估比較
- 六、 分析電化學除鏽過程中的反應機制
- 七、 測試並比較不同電化學條件(電壓、電流密度以及各種電解液)下的除鏽效果
- 八、 評估電化學處理對金屬結構的影響
- 九、 提出日常家庭中如何應用電化學方式來進行除鏽的方案

此研究主題同時結合自然科學課程中所學到的”五上：為何會生鏽與如何防鏽，五下：水溶液導電性”及”四上：電路有哪些連接方式”等相關概念，學以致用，讓科學研習變得更有趣及更貼近生活。

貳、研究設備及器材

一、觀察培養皿 30 個

二、酸鹼性溶液

(白醋、檸檬酸、鹽酸、小蘇打粉、澄清石灰水、漂白水、氫氧化鈉、過碳酸鈉等)

三、水 (純水、煮沸過水、礦泉水)及酒精(75%、95%)、亞硫酸鈉(Na_2SO_3)

四、飲料 (可樂、雪碧、沙士、運動飲料、檸檬汁)

五、溫度設備 (白熾燈泡組、冰箱冷藏室)

六、長方形鐵片、圓形鐵片 (SPCC 冷軋鋼材無電鍍)

七、電源供應器 (MODEL GPC-3030D)

八、pH 檢測計 (pH Pen p-80)、精密電子秤(精密度：0.01 克)

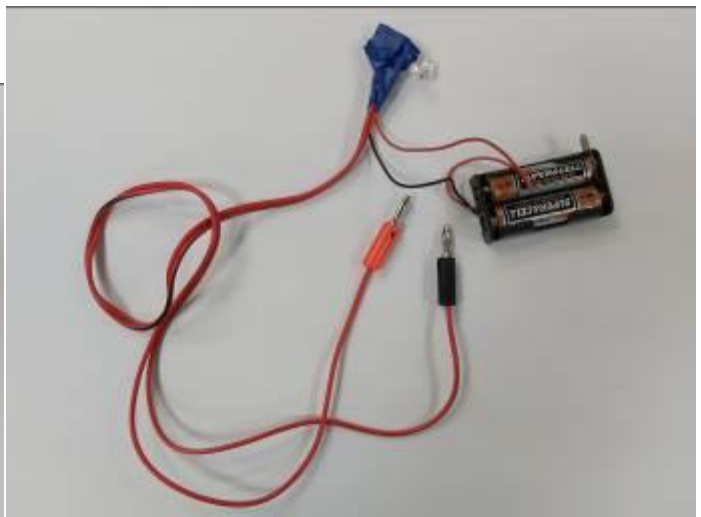
九、LED 電子顯微鏡 1600X (Digital Microscope)

十、噴霧瓶 30 瓶

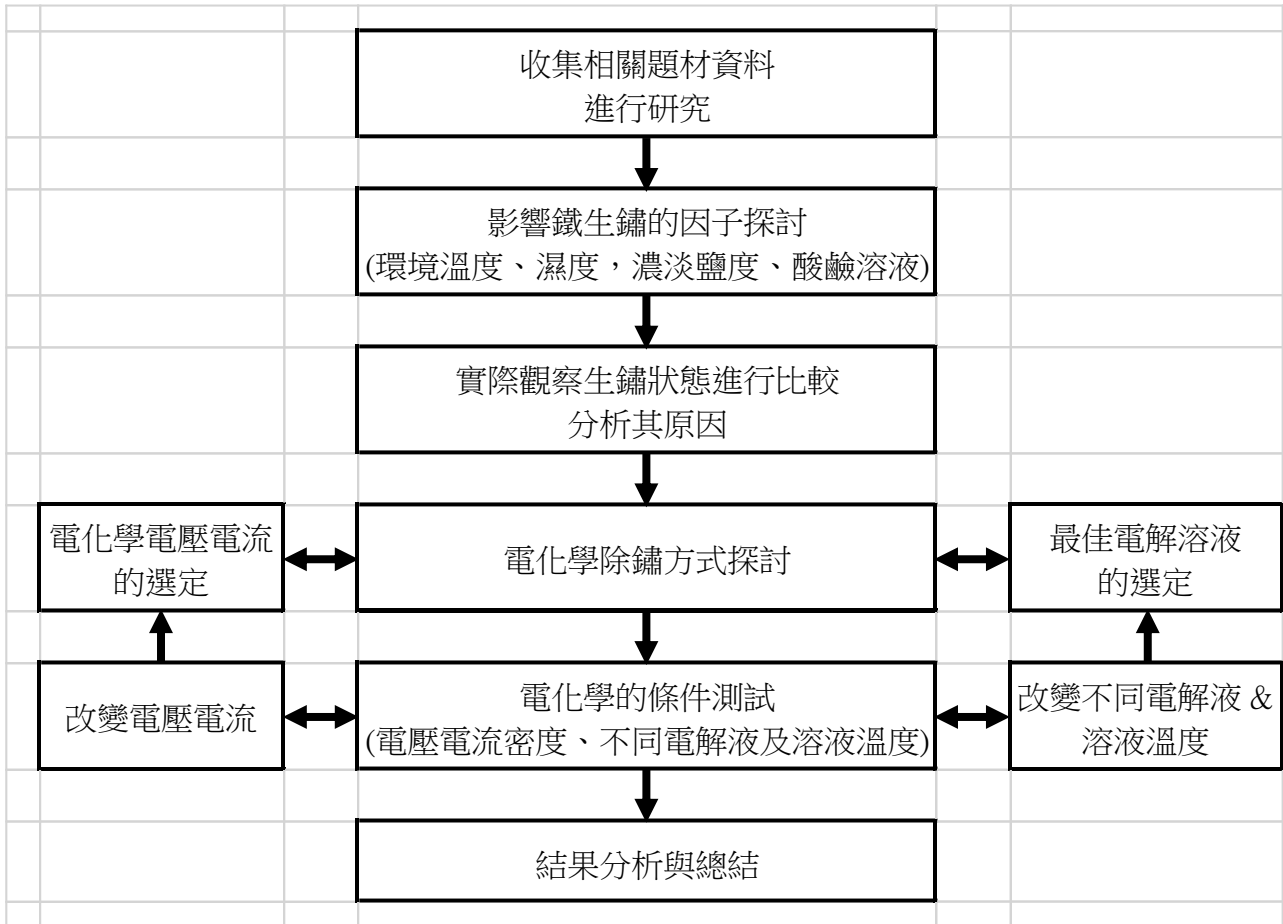
十一、隨身氧氣瓶、燒杯、滴管、勺子、電解槽、溫度計

十二、自製 USB 5V 電源線 (可耐 2 安培電流)與自製水溶液導電性測試組



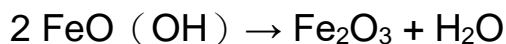


參、研究過程或方法



鐵生鏽的主要化學反應涉及鐵 (Fe) 與氧氣 (O₂) 之間的氧化反應。

鐵生鏽的化學式可以表示如下：



其中 Fe₂O₃(氧化鐵)即為我們熟知的紅褐色鐵鏽。

既然我們得知鐵生鏽的過程氧與水分不可或缺，我們也由此產生出好奇：那若在**有氧無水**的環境與**有水無氧**的環境裡，究竟會不會造成鐵的生鏽呢？

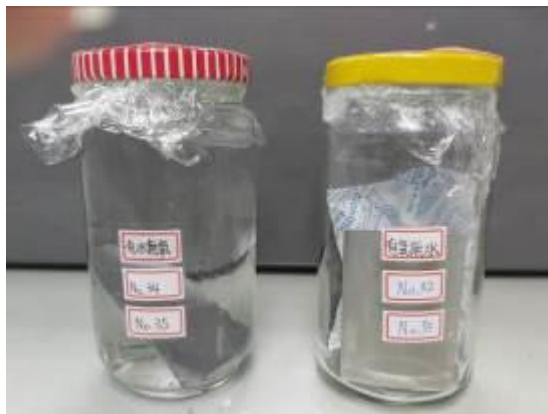
我們為此設計的先期實驗如下：

有氧無水：在玻璃罐中先放入乾燥劑一週後再放入測試鐵片，並且每兩日將高純度氧氣灌入。

有水無氧：在玻璃罐中裝滿煮沸過的純水(以減少水中的溶氧量)並且加入測試鐵片。

設計的實驗如右圖所示。

我們將進行長時間的觀察，確認鐵鏽是否會產生？



接著我們將針對本次科展中所使用到的相關設備與測試溶液調製方式進行說明。

一、溫度因素：

要在校園中創造出精準且可穩定調控環境溫度有些困難；我們想到利用白熾燈泡會產生熱的特性及冰箱冷藏室與室溫，提供了三種不同溫度環境，觀察在這三種溫度環境下的鐵生鏽速度進行比較。

高溫環境實驗設計如右圖所示。



二、酸鹼溶液調製：

我們想要了解不同的溶液對於鐵生鏽的速度有何影響，我們調製了幾種不同酸鹼度的溶液來進行測試。

表(一)

編號	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
溶液內容	白醋	白醋+澄清石灰水	檸檬酸	白醋+漂白水	小蘇打
pH 值	2.8	4.1	1.8	5.2	7.7

編號	No.6	No.7	No.8
溶液內容	漂白水+檸檬酸	漂白水	澄清石灰水+檸檬酸
pH 值	9.1	12.2	10.8

為了調製出不同的酸鹼度溶液，我們將酸性溶液與鹼性溶液混和後，利用 pH 檢測計測量出其 pH 值並且記錄於表(一)中。再將這些調製完成的溶液裝至噴霧瓶中以利後續實驗進行。

No.1~No.8 酸鹼溶液如
右圖所示。



三、鹽水溶液調製：

我們想要了解不同濃度的鹽水溶液對於鐵生鏽的速度影響，以及一般的食用精緻鹽與海鹽(粗鹽)是否在鐵生鏽速度上有所差異進行下列的實驗設計。 表(二)

編號	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14
溶液內容	純水	礦泉水	食鹽 3.5 克 純水 96.5 克	食鹽 7.0 克 純水 93.0 克	食鹽 10.5 克 純水 89.5 克	海鹽 3.5 克 純水 96.5 克
鹽水濃度	0%	0%	3.5%	7.0%	10.5%	3.5%

編號	No.15	No.16
溶液內容	海鹽 7.0 克 純水 93.0 克	海鹽 10.5 克 純水 89.5 克
鹽水濃度	7.0%	10.5%

其中鹽水濃度是採用**重量百分濃度**來計算，No.9 純水與 No.10 礦泉水是作為對照組之用。

No.9~No.16 鹽水溶液裝至噴霧瓶中如右圖所示。



四、鹽水浸泡：

No.1~No.16 所進行的鐵生鏽實驗，均是以噴霧瓶的方式噴灑待測鐵片。我們想要模擬鐵在海水中浸泡的環境來觀察鐵生鏽的狀況，因此設計出 No.17~No.20 的實驗。

編號	No.17	No.18	No.19	No.20
溶液內容	純水 100g (pH=7.1)	礦泉水 100g (pH=7.7)	海鹽 3.5 克 純水 96.5 克	海鹽 10.5 克 純水 89.5 克
鹽水濃度	0%	0%	3.5%	10.5%

表(三)

No.17~No.20 鹽水浸泡實驗設計如右圖所示。



五、酸鹼溶液+鹽水溶液混和實驗

從 No.1~No.16 的初步實驗結果，我們發現了許多有趣的現象，經小組討論之後，增列出以下調製溶液。

表(四)

編號	No.21	No.22	No.23	No.24
溶液內容	澄清石灰水	澄清石灰水 96.5g 食鹽 3.5g	澄清石灰水 89.5g 食鹽 10.5g	小蘇打水+白醋
pH 值	11.9	-	-	8

編號	No.25	No.26	No.27	No.28	No.29
溶液內容	小蘇打水 96.5g 食鹽 3.5g	小蘇打水 89.5g 食鹽 10.5g	酒精	酒精	稀釋鹽酸
濃度	-	-	95%	75%	10%
pH 值					pH=0.2

No.21~No.29 酸鹼溶液+鹽水溶液混和溶液如下圖所示。



六、電化學除鏽實驗設計：

針對電化學除鏽實驗，我們設計了不同電壓電流密度、不同電解液種類，希望找出最佳的排列組合，達到最有效率的電化學除鏽效果。

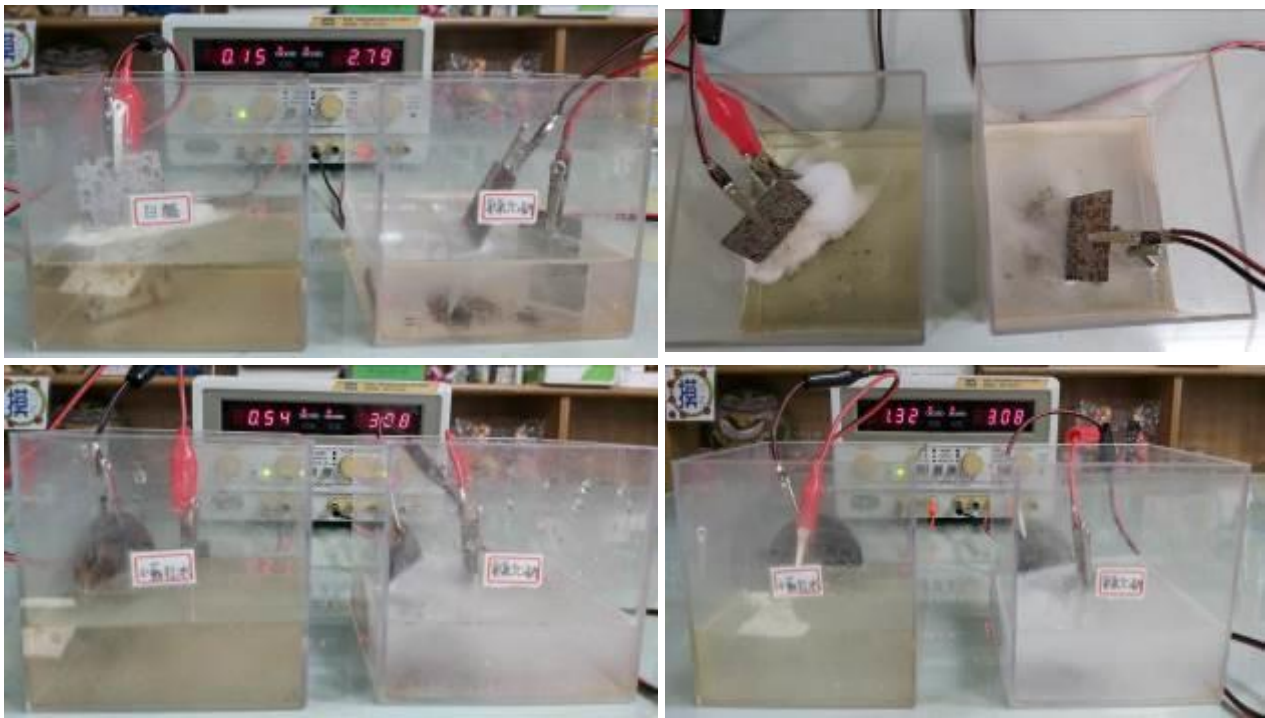
(一) 電解液：【小蘇打水(3.3%, 10%) vs 鹽水(3.3%, 10%)】

鐵片編號	No.6a	No.7a	No.6a	No.7a
電解液	鹽水 3.3%	小蘇打水 3.3%	小蘇打水 10%	鹽水 10%
電壓(V)	12V	12V	12V/8.9V	5.5V/5.6V
電流(A)	1.78A	0.98A	2.28A/2.59A	2.79A/2.77A
開始時間	09:26	09:26	13:12	13:12
結束時間	10:30	10:30	14:15	14:15



(二) 電解液：【白醋 vs 氫氧化鈉 vs 小蘇打水】 vs 【小蘇打+鹽 vs 氫氧化鈉+鹽】

鐵片編號	No.15a	No.16a	No.15b	No.16b	No.16b	No.15b
電解液	白醋	氫氧化鈉 5%	小蘇打水 5%	氫氧化鈉 5%	小蘇打+鹽 (15g+5g)+水 280g	氫氧化鈉+鹽 (15g+5g)+水 280g
電壓(V)	12V	5V	5V	4.2V	5.1V	4.1V
電流(A)	0.17A	2.8A	0.55A	3.08A	1.29A	3.08A
開始時間	09:03	09:03	12:50	12:50	14:55	14:55
結束時間	10:03	10:03	13:50	13:50	15:55	15:55



(三) 電解液：【小蘇打 5%+熱水(75°C) vs 小蘇打 5%+冷水(17°C)】

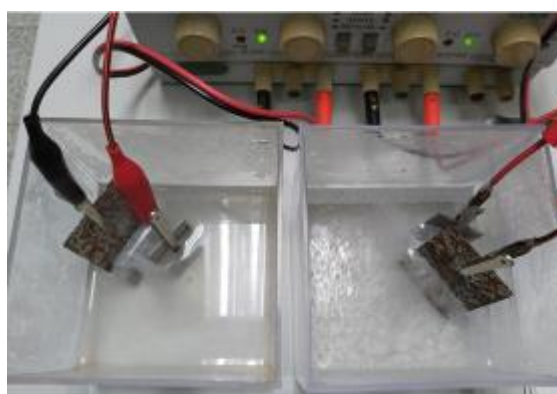
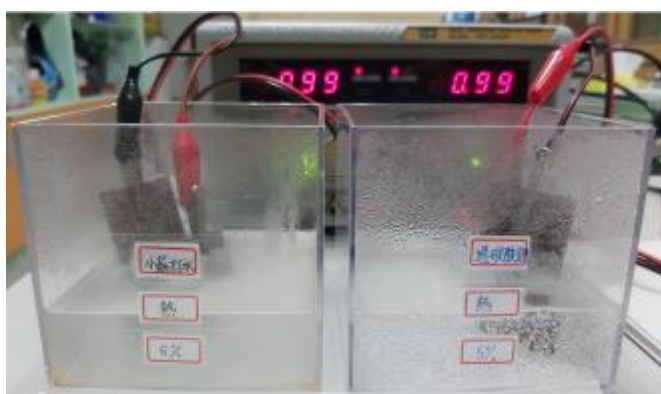
【小蘇打 5%+熱水(75°C) vs 小蘇打 10%+冷水(17°C)】

鐵片編號	No.12a	No.13a	No.12a	No.13a	No.6b	No.7b
電解液	小蘇打 5% 冷水(17°C)	小蘇打 5% 熱水(75°C)	小蘇打 5% 熱水(75°C)	小蘇打 5% 冷水(17°C)	小蘇打 5% 熱水(75°C)	小蘇打 10% 熱水(75°C)
電壓(V)	5V	5V	5V	5V	5V	5V
電流(A)	0.34A/0.42A	1.13A/0.77A	0.93A/0.76A	0.48A/0.54A	1.06A/0.87A	0.73A/0.87A
開始時間	09:07	09:07	10:24	10:24	13:54	13:54
期間觀察	09:37	09:37	10:56	10:56	14:27	14:27
結束時間	10:07	10:07	11:24	11:24	15:24	15:24



(四) 電解液：【小蘇打 5%+熱水(52°C) vs 過碳酸鈉 5%+熱水(52°C)】

鐵片編號	No.11a	No.14a
電解液	小蘇打 5%+熱水(52°C)	過碳酸鈉 5%+熱水(52°C)
pH 值	8.5	11
電壓(V)	5V	5V
電流(A)	1.04A/0.78A/0.58A/0.44A	1.04A/0.74A/0.62A/0.45A
觀察時間	08:30/09:20/10:10/12:40	08:30/09:20/10:10/12:40



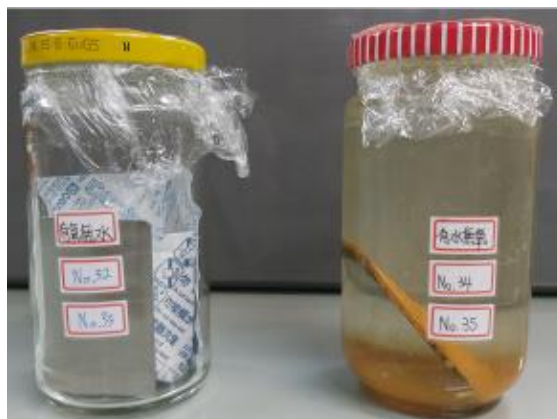
肆、研究結果

一、鐵生鏽實驗結果：

(一) 有氧無水&有水無氧-

實驗結果(01/26/2024~03/05/2024)：

有氧無水條件下無法使鐵片產生鐵鏽，
但是在有水無氧條件下，經過長時間
(約兩週)仍會使鐵片生鏽。

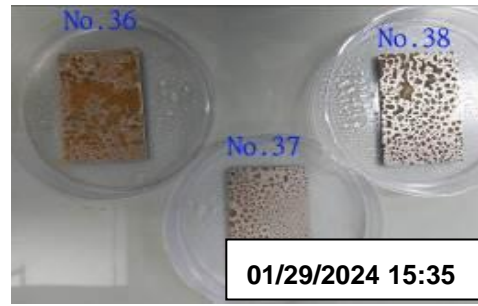
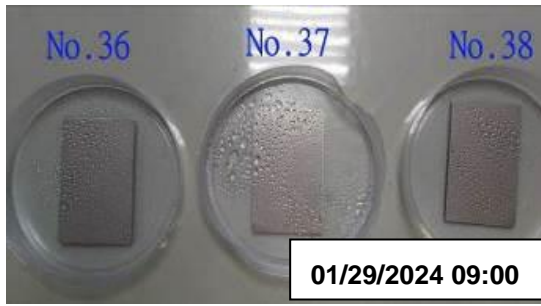


(二) 溫度效應-

理論上溫度愈高，氧化的反應速度會加快，鐵生鏽的速度也會加快。

本實驗中用溫度計量測的高溫環境(白熾燈泡)、室溫環境及低溫環境分別為：

編號	No.36	No.37	No.38
環境溫度	低溫(8°C)	室溫(19°C)	高溫(32°C)



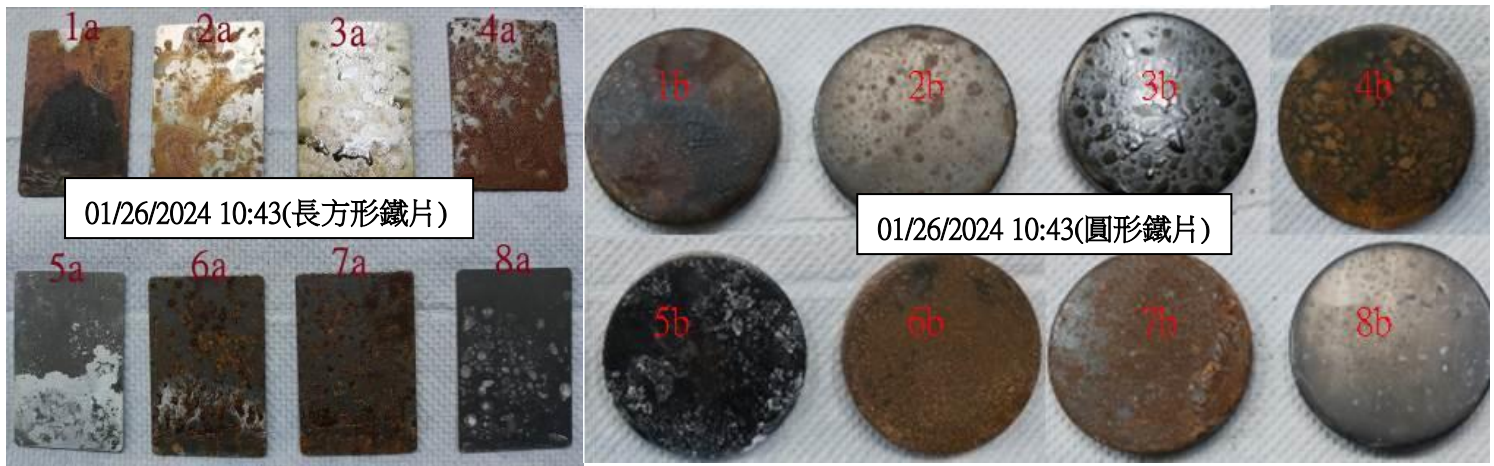
我們此處使用的水溶液為 No.13 食鹽 10.5 克+純水 89.5 克 濃度：10.5%

經過六個半小時的觀察，可以發現的確 No.38(高溫條件)的鐵片生鏽程度較為嚴重，證實溫度的確會加速鐵片生鏽的速度。

(三) 酸鹼度溶液效應-

編號	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
溶液	白醋	白醋+澄清石灰水	檸檬酸	白醋+漂白水	小蘇打	漂白水+檸檬酸	漂白水	澄清石灰水+檸檬酸
pH 值	2.8	4.1	1.8	5.2	7.7	9.1	12.2	10.8



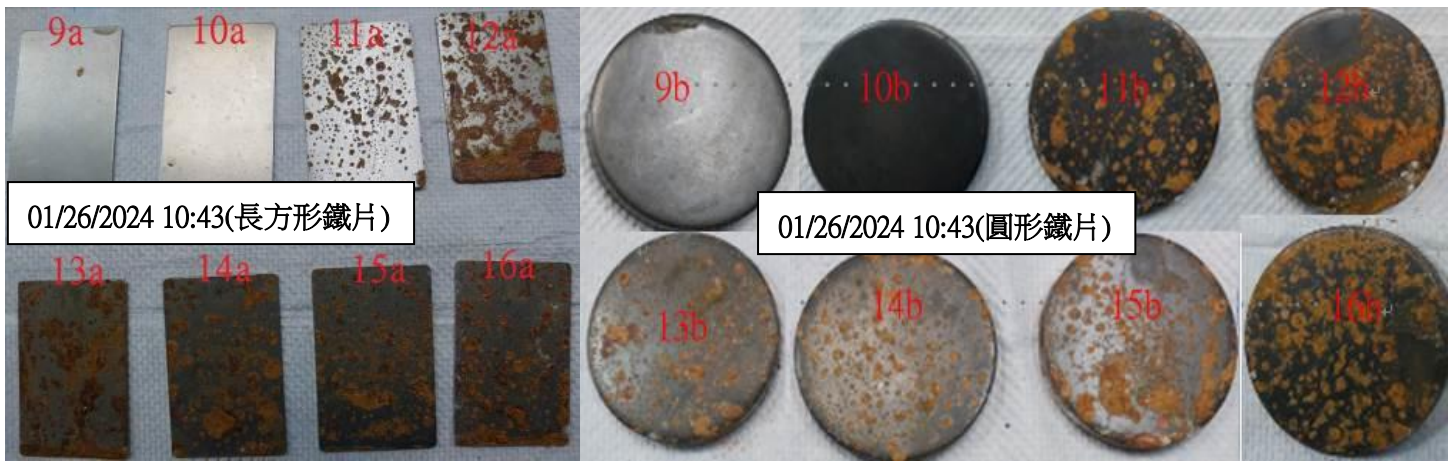


從 01/12 開始到 01/26 合計兩週的時間，期間共計噴了四次相對應的溶液；由此實驗的結果可發現，鐵生鏽的程度與溶液中含有的成分有關，No1, No2, No4 與 No.6, No.7 的生鏽程度最嚴重，其中 No1, No2, No4 溶液中都有白醋成分，No.6, No.7 則含有漂白水的成分。[No.5\(小蘇打\)](#)與 [No.8\(澄清石灰水\)](#)都沒有生鏽現象。

(四) 鹽水溶液效應-

編號	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16
溶液	純水	礦泉水	食鹽+純水	食鹽+純水	食鹽+純水	海鹽+純水	海鹽+純水	海鹽+純水
鹽水濃度	0%	0%	3.5%	7.0%	10.5%	3.5%	7.0%	10.5%





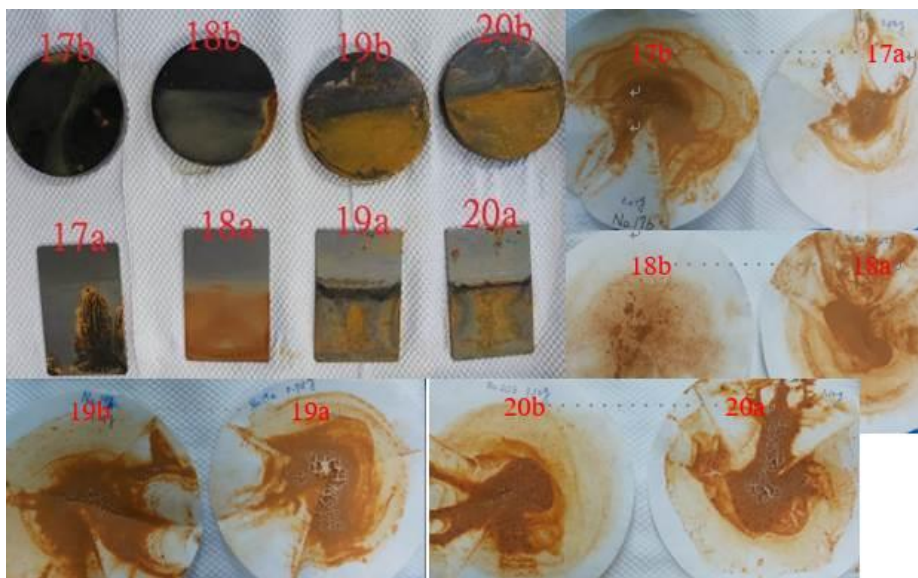
從 01/18 開始到 01/26，期間共計噴了三次相對應的溶液；由此實驗的結果可發現，鐵生鏽的程度與鹽份的濃度有極大的關聯性，No.9 純水與 No.10 礦泉水都只在鐵片上產生些許的鏽斑，而鹽水的濃度愈高，鐵生鏽的現象愈嚴重，海鹽又比食鹽對於鐵的鏽蝕程度更為加劇。

(五) 鹽水浸泡效應-

上述實驗均是以噴霧瓶對待測鐵片進行噴灑來實施觀察，我們想知道鐵片若直接浸泡於溶液中(模擬泡在海水中的沈船或鐵件)會是什麼樣的情況，因此衍生出下列實驗。

編號	No.17	No.18	No.19	No.20
溶液內容	純水 100g (pH=7.1)	礦泉水 100g (pH=7.7)	海鹽 3.5 克 純水 96.5 克	海鹽 10.5 克 純水 89.5 克
鹽水濃度	0%	0%	3.5%	10.5%

實驗結果出乎意料之外，鐵片仍會生鏽，但產生的鏽除了附著於鐵片上之外，多數鐵鏽都直接溶於水中；我們利用濾紙將這些溶於水中的鐵鏽收集起來進行觀察。

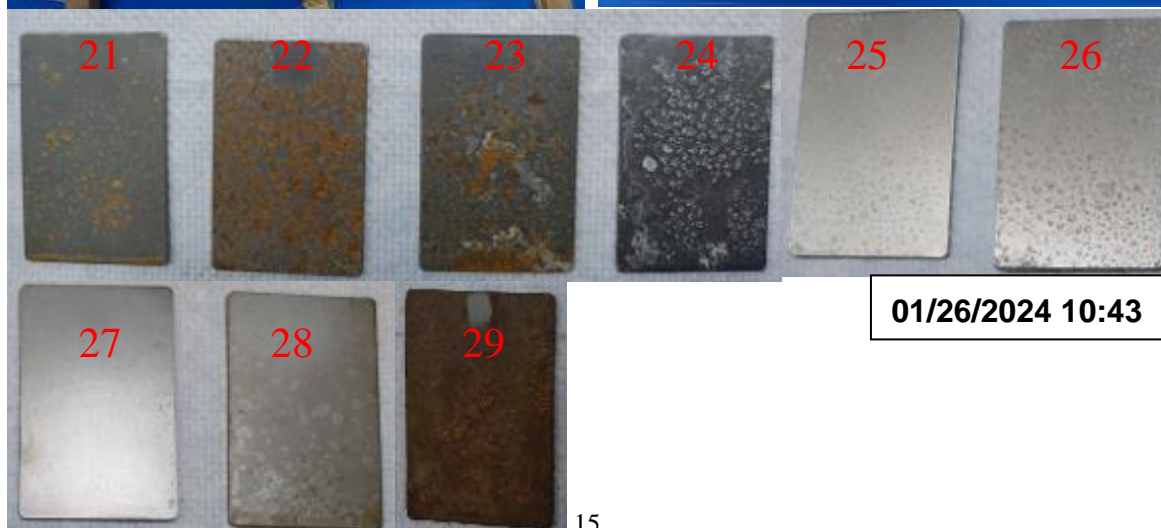


(六) 小蘇打水&澄清石灰水防鏽效應-

在酸鹼度溶液效應中我們發現到 No.5(小蘇打)與 No.8(澄清石灰水)都沒有生鏽現象，於是我們設計此” 矛與盾” 實驗，在小蘇打水以及澄清石灰水中分別加入白醋與食鹽，觀察究竟是防鏽能力獲勝、抑或生鏽能力達陣；於此同時，我們也另外增加家中常見的消毒酒精與馬桶清潔劑(稀釋鹽酸)來進行實驗。

編號	No.21	No.22	No.23	No.24
溶液內容	澄清石灰水	澄清石灰水 96.5g 食鹽 3.5g	澄清石灰水 89.5g 食鹽 10.5g	小蘇打水+白醋
pH 值	11.9	-	-	8

編號	No.25	No.26	No.27	No.28	No.29
溶液內容	小蘇打水 96.5g 食鹽 3.5g	小蘇打水 89.5g 食鹽 10.5g	酒精	酒精	稀釋鹽酸 (pH=0.2)
濃度	-	-	95%	75%	10%

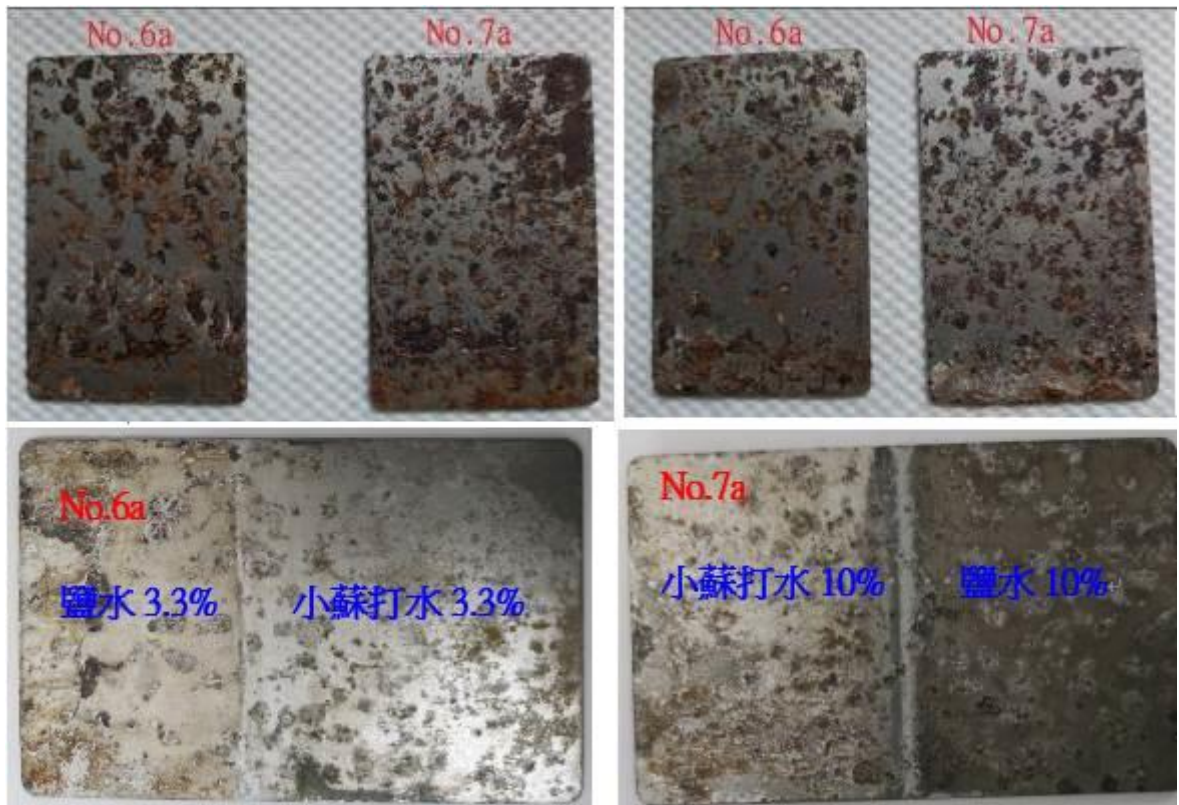


從實驗結果來看，澄清石灰水的防鏽能力遇到鹽份就破功了，但是小蘇打水遇到白醋及 3.5%的鹽水(No.24, No.25)，仍具有相當的防鏽能力，惟遇到濃度較高的鹽水(10.5%)，鐵片表面才會出現些許的鏽斑(No.26)。酒精本身防鏽能力(No.27, No.28)超乎我們預期的好，鹽酸對於鐵的強烈腐蝕能力則不意外與我們預期的相當。

二、電化學除鏽實驗結果：

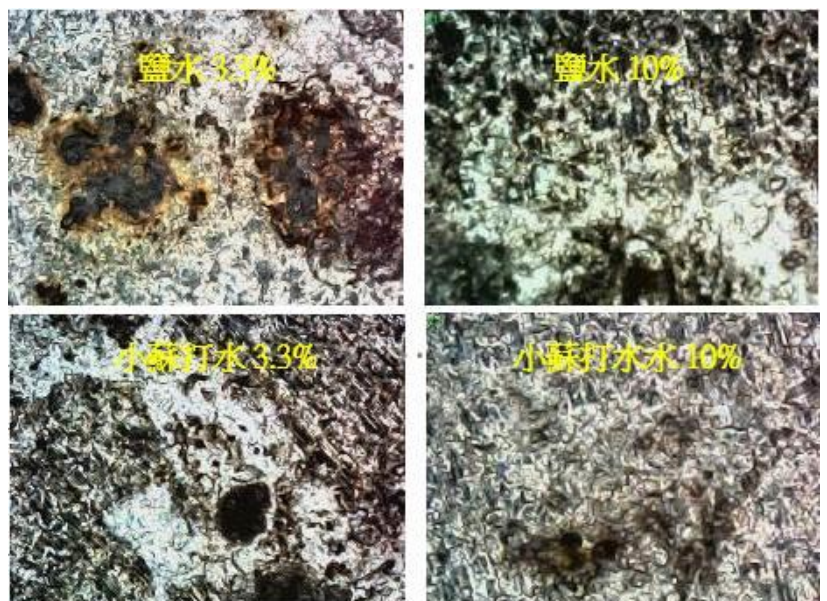
(一) 電解液：【小蘇打水(3.3%, 10%) vs 鹽水(3.3%, 10%)】

No.6a 與 No.7a 正反兩面原始鐵生鏽狀況



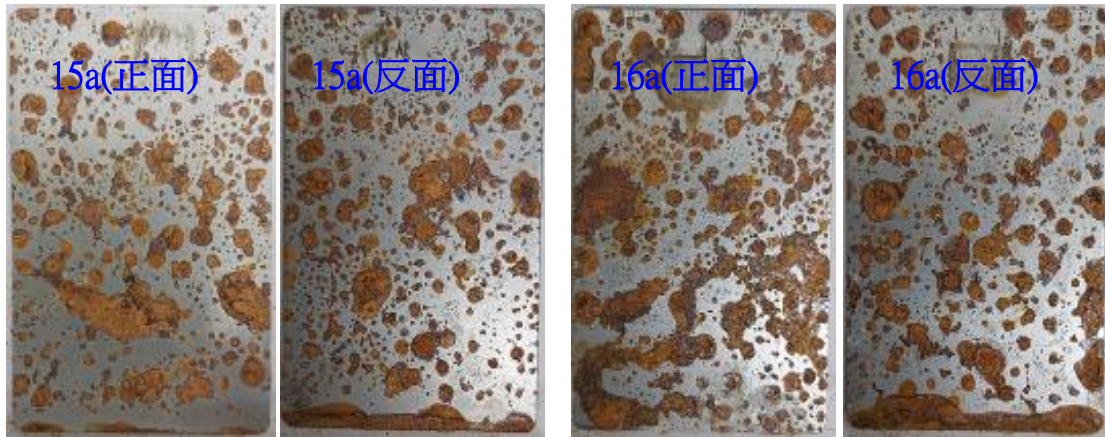
從實驗結果比較，電解液為鹽水或小蘇打水都能進行除鏽，但是小蘇打水電解液的除鏽效果較佳。

再利用 LED 顯微鏡來觀察電化學除鏽後的細微變化如右圖所示：

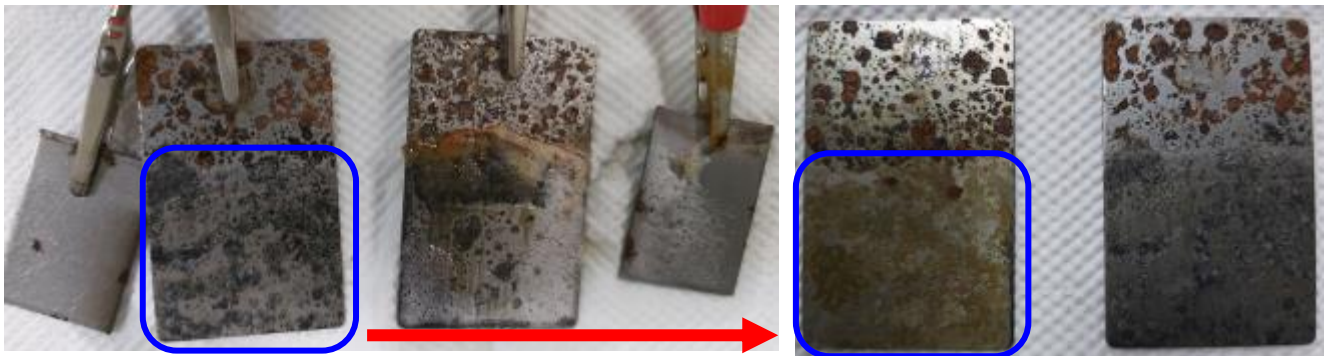


(二) 電解液：【白醋 vs 氫氧化鈉 vs 小蘇打水】 vs 【小蘇打+鹽 vs 氫氧化鈉+鹽】

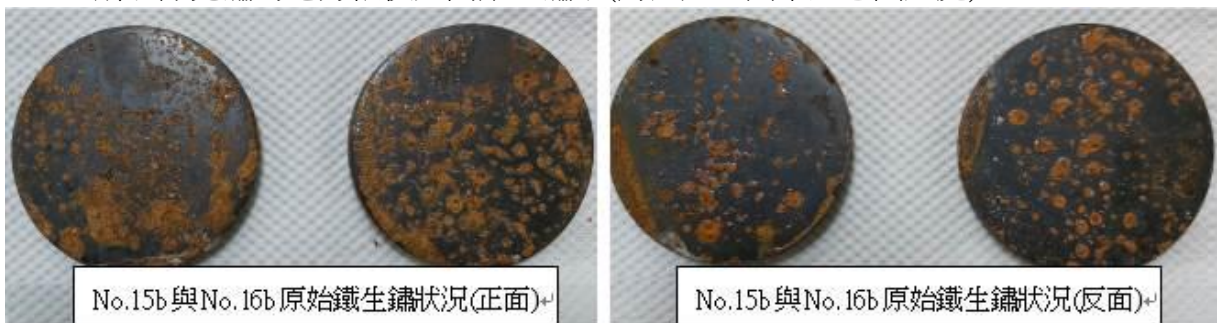
No.15a 與 No.16a 正反兩面原始鐵生鏽狀況



分別以電解液白醋與氫氧化鈉 5% 進行電化學除鏽一個小時，實驗結果如下：



上述兩張圖左側為 No.15a(電解液：白醋)，右側為 No.16a(電解液：氫氧化鈉 5%)
剛從電解槽取出時，兩者的除鏽效果相當，但是由於 No.15a 的電解液為白醋，
所以除完鏽的地方很快又開始生鏽了(對比如上圖中藍色圈起處)。



以電解液小蘇打水 5% 與氫氧化鈉 5% 對 No.15b 與 No.16b 進行電化學除鏽(1 Hr)，實驗結果如下：

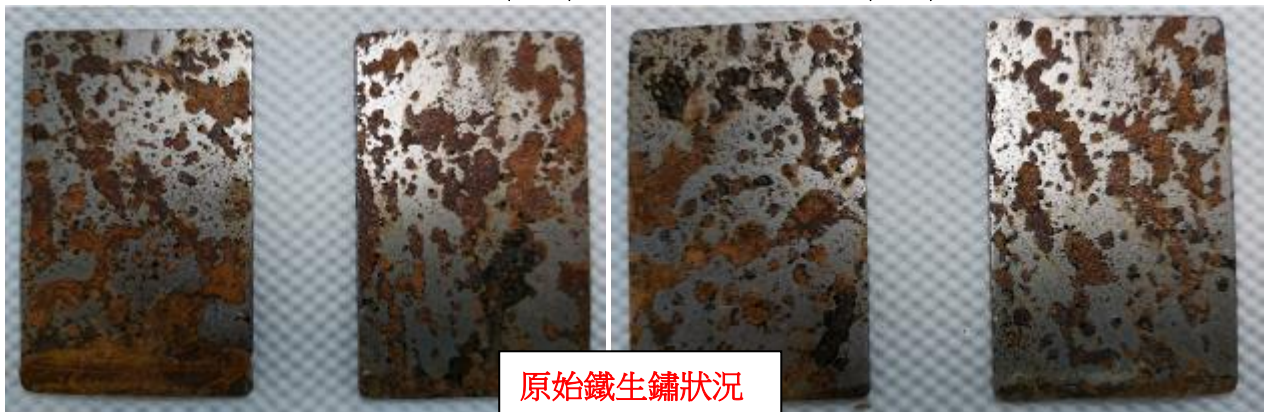


接著再以電解液小蘇打粉 15g+鹽 5g 與氫氧化鈉 15g+鹽 5g 對 No.16b 與 No.15b 的另一半邊生鏽圓進行電化學除鏽一個小時，實驗結果如下：



(三) 電解液：【小蘇打 5%+熱水(75°C) vs 小蘇打 5%+冷水(17°C)】

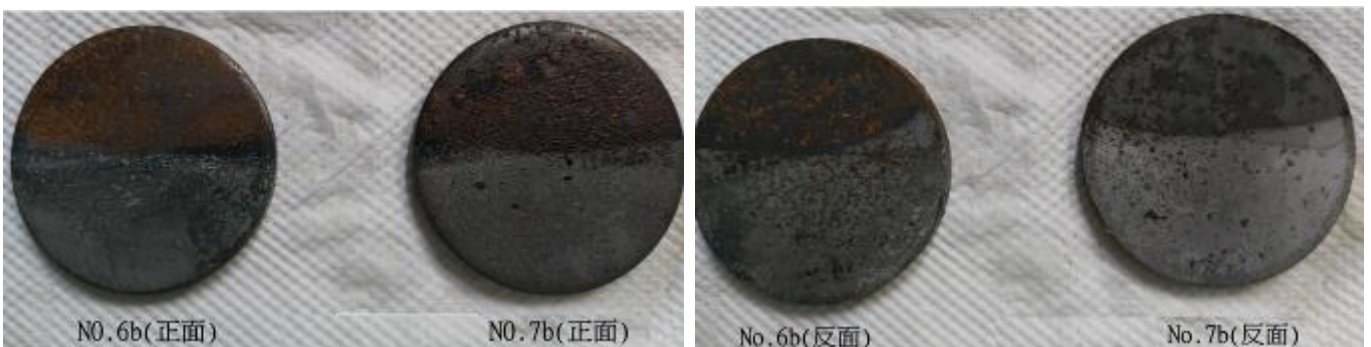
【小蘇打 5%+熱水(75°C) vs 小蘇打 10%+冷水(17°C)】



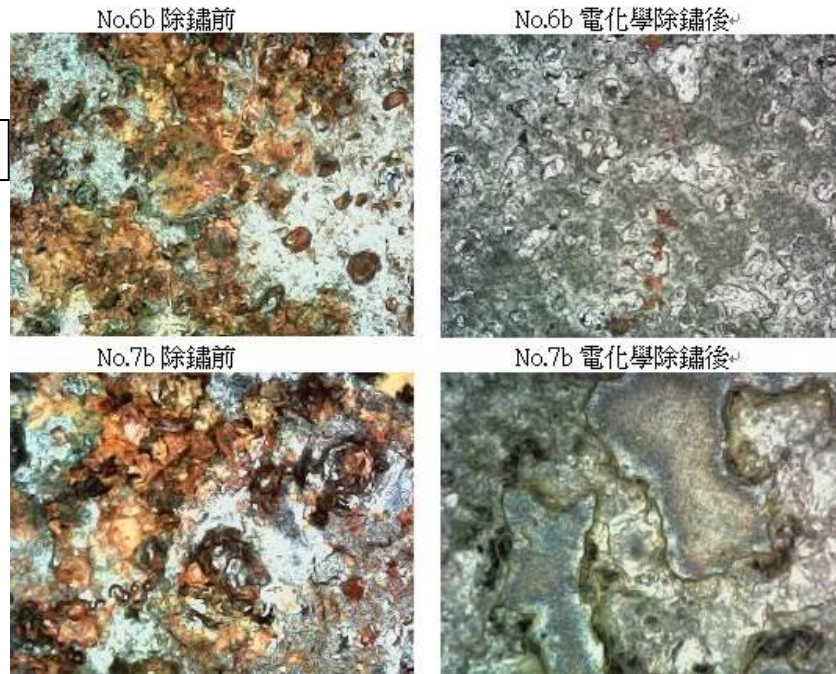
以小蘇打 5%(冷水)與小蘇打 5%(熱水)對 No.12a 與 No.13a 進行電化學除鏽(1 Hr)，實驗結果如下：



再以小蘇打 5%+熱水(75°C)與小蘇打 10%+冷水(17°C)來對 No.6b 與 No.7b 進行電化學除鏽(1 Hr)：

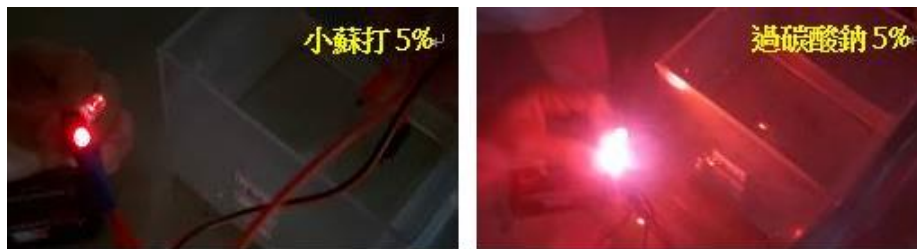


LED 顯微鏡觀察



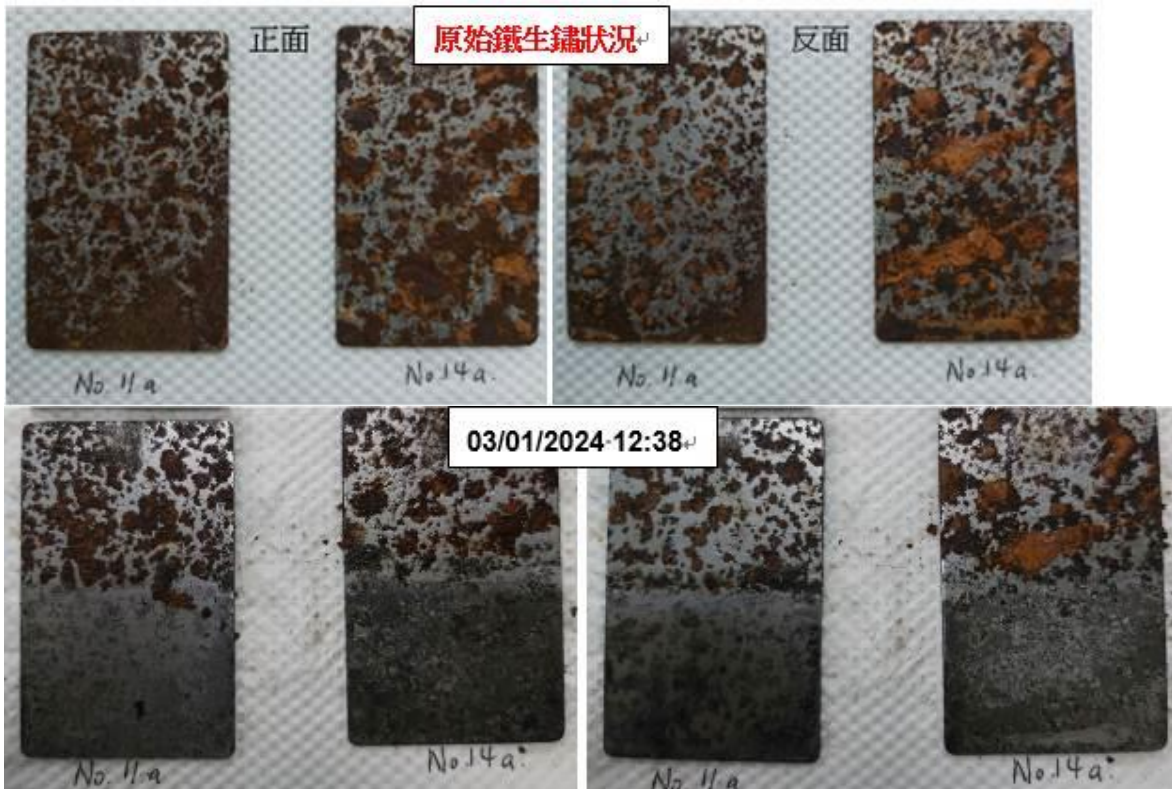
(四) 電解液：【小蘇打 5%+熱水(52°C) vs 過碳酸鈉 5%+熱水(52°C)】

在進行此實驗時，我們先利用自製的水溶液導電性測試組，由 LED 燈的亮度變化來判斷溶液導電性的優劣進行比較。



從 LED 燈的亮度比較，我們得知過碳酸鈉的溶液導電性較小蘇打水溶液好。

No.11a 與 No.14a 正反兩面原始鐵生鏽狀況



伍、討論

一、鐵生鏽實驗部分

(一)有氧無水&有水無氧-

鐵鏽的生成通常與氧氣和水分子有關，因為鐵與氧發生氧化還原反應而生成鐵氧化物，缺乏氧氣或水都會防止或減緩鐵的鏽化。在真空環境或無氧氣的條件下，鐵通常不會發生氧化還原反應，因此不容易生成鐵鏽，要生成鐵鏽，通常需要存在氧氣和水分子。有氧無水的環境控制容易做到，但是有水無氧，此處指的無氧是指沒有空氣中的氧氣，雖然我們用的水是煮沸過的，已經儘量降低水中的溶氧量了，但是我們用的是一般的玻璃罐加保鮮膜，密封程度無法確保空氣絕對不會滲入，所以有水無氧會產生鐵鏽的實驗結果有待商榷，但是有氧無水則從實驗結果來看很清楚的不會產生鐵鏽現象。

為此我們再針對有水無氧的實驗進行改進：我們利用亞硫酸鈉(Na_2SO_3)的特性，此為一種脫氧劑，將其加入水中，來除去水的溶氧量。我們得知乾淨的水，水中溫度 20°C 時，溶氧值最高約 9 mg/L ，而投加亞硫酸鈉是中小鍋爐用水常用的一種除氧方式。它是一種較強的還原劑，與水中氧反應生成硫酸鈉，從而除去水中的氧。

反應式： $2\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Na}_2\text{SO}_4$ 。按理論計算，除去 1mg/l 的氧需要 8mg/l 的亞硫酸鈉，我們在 400cc 的水中加 50g 亞硫酸鈉，可確保在長時間下水中的氧都能完全與亞硫酸鈉反應。經此實驗改進，鐵片經過一個月的浸泡仍無鐵鏽生成(如右圖所示)，完美驗證了鐵鏽必須同時在有水及有氧的條件下才能產生的論述。



(二)溫度效應-

編號	No.36	No.37	No.38
環境溫度	低溫(8°C)	室溫(19°C)	高溫(32°C)

我們利用白熾燈泡、室溫與冰箱冷藏室形成的三種溫差條件來觀察溫度對於鐵生鏽的影響程度。如預期的在溫度高(白熾燈泡)的環境下(No.38)，鐵生鏽的程度較為嚴重(因為氧化的速度變快)。但也如前述所提的，對於在不同溫差下要控制鐵片上的

水量穩定有難度，因此此實驗結果僅能做為趨勢參考。

(三)酸鹼度溶液效應-

編號	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
溶液內容	白醋	白醋+澄清石灰水	檸檬酸	白醋+漂白水	小蘇打
pH 值	2.8	4.1	1.8	5.2	7.7

編號	No.6	No.7	No.8
溶液內容	漂白水+檸檬酸	漂白水	澄清石灰水+檸檬酸
pH 值	9.1	12.2	10.8

我們記錄了鐵片原始重量及生鏽後的重量如下：

日期		No.1a	No.2a	No.3a	No.4a	No.5a	No.6a	No.7a	No.8a
1/12	初始重量(g)	21.44	21.17	21.35	21.41	21.38	21.47	21.44	21.43
1/15	重量(g)	21.47	21.20	21.40	21.46	21.42	21.54	21.55	21.44
7:50	(增加)	(0.03)	(0.03)	(0.05)	(0.05)	(0.04)	(0.07)	(0.11)	(0.01)
1/22	重量(g)	21.49	21.21	21.44	21.51	21.44	21.57	21.62	21.44
14:22	(增加)	(0.05)	(0.04)	(0.09)	(0.10)	(0.06)	(0.10)	(0.18)	(0.01)

日期		No.1b	No.2b	No.3b	No.4b	No.5b	No.6b	No.7b	No.8b
1/12	初始重量(g)	134.85	134.71	134.50	134.76	134.39	134.77	134.83	134.29
1/15	重量(g)	134.91	134.78	134.59	134.77	134.42	134.89	135.00	134.31
7:50	(增加)	(0.06)	(0.07)	(0.09)	(0.01)	(0.03)	(0.12)	(0.17)	(0.02)
1/22	重量(g)	134.92	134.75	134.59	134.81	134.44	134.95	134.97	134.31
14:22	(增加)	(0.07)	(0.04)	(0.09)	(0.05)	(0.05)	(0.18)	(0.14)	(0.02)

從鐵片的外觀來看，No.1, No.2, No.4, No.6 及 No.7 鐵片生鏽程度嚴重，這些鐵片是分別噴上含有白醋與漂白水的溶液。這是因為醋本身是酸性的，酸性環境有助於加速鐵的氧化還原反應，且醋中的乙酸有時可以加速氧氣在水中的溶解，提高水中氧氣的濃度，促使鏽的生成加速；而含氯漂白水，在含有氯的環境中，鐵會更容易發生氧化反應，形成鐵氯化物，進而促進鏽的生成。

No.3(檸檬酸溶液)鐵片上我們觀察到的生成物並不是紅褐色的鐵鏽，而是綠色的黏

性物質，我們查詢的結果此綠色物質應為硝酸亞鐵，化學式為 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ 。檸檬酸中的羧基與金屬鐵進行反應，化學方程式如下：



No.5(小蘇打水溶液)及 No.8(澄清石灰水溶液)則無鐵生鏽的現象，我們認為小蘇打水及澄清石灰水的鹼性環境對於鐵具有相當程度防鏽的效果。

(四)鹽水溶液效應-

編號	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16
溶液	純水	礦泉水	食鹽 3.5%	食鹽 7%	食鹽 10.5%	海鹽 3.5%	海鹽 7%	海鹽 10.5%

我們記錄了鐵片原始重量及生鏽後的重量如下：

日期		No.9a	No.10a	No.11a	No.12a	No.13a	No.14a	No.15a	No.16a
1/18	初始重量(g)	21.37	21.40	21.42	21.33	21.45	21.42	21.44	21.38
1/22	重量(g) (增加)	21.38 (0.01)	21.44 (0.04)	21.47 (0.05)	21.44 (0.11)	21.52 (0.07)	21.55 (0.13)	21.53 (0.09)	21.53 (0.15)

日期		No.9b	No.10b	No.11b	No.12b	No.13b	No.14b	No.15b	No.16b
1/18	初始重量(g)	134.29	134.47	134.53	134.42	134.49	134.45	134.87	134.74
1/22	重量(g) (增加)	134.30 (0.01)	134.47 (0.00)	134.60 (0.07)	134.51 (0.09)	134.64 (0.15)	134.53 (0.08)	135.01 (0.14)	134.84 (0.10)

對照組(No.9 & No.10)在同樣時間下仍會有些許鏽斑產生，而鹽的濃度愈高，鐵生鏽的速度愈快，粗鹽對鐵的生鏽程度又大於食鹽。這是因為鹽對於鐵的鏽化作用主要是來自於鹽中的氯離子，氯離子可以加速鐵的氧化過程，形成鐵氯化物，進而促進鏽的生成。而粗鹽通常包含較大的晶體，並且可能含有一些雜質，例如礦物質或其他微量元素，這些雜質可能會影響加速鐵的腐蝕效果。

(五)鹽水浸泡效應-

編號	No.17	No.18	No.19	No.20
溶液內容	純水 100g (pH=7.1)	礦泉水 100g (pH=7.7)	海鹽 3.5%	海鹽 10.5%

一開始進行此實驗設計的目的在於模擬鐵件沉在海水中的情形，並與 No.1~No.16 進行生鏽外觀比較。但出乎意料的是多數的鐵鏽並非附著於鐵片之上，而是溶解於

水溶液裡，於是我們利用濾紙將這些鐵鏽過濾下來並記錄鐵鏽的重量如下：

日期		No.17a	No.18a	No.19a	No.20a	No.17b	No.18b	No.19b	No.20b
1/18	初始重量(g)	21.34	21.40	21.40	21.40	134.47	134.37	134.56	134.34
1/26	鐵鏽 (含濾紙)重量	0.84	0.85	0.98	1.12	0.85	0.83	1.01	1.12

鹽的濃度愈高(No.20 > No.19 > No.17, No.18)，產生的鐵鏽重量愈多，合乎我們的預期。

(六)小蘇打水&澄清石灰水防鏽效應-

編號	No.21	No.22	No.23	No.24
溶液內容	澄清石灰水 (pH=11.9)	澄清石灰水 96.5g 食鹽 3.5g	澄清石灰水 89.5g 食鹽 10.5g	小蘇打水+白醋 (pH=8)

編號	No.25	No.26	No.27	No.28	No.29
溶液內容	小蘇打水 96.5g 食鹽 3.5g	小蘇打水 89.5g 食鹽 10.5g	酒精 95%	酒精 75%	稀釋鹽酸 10% (pH=0.2)

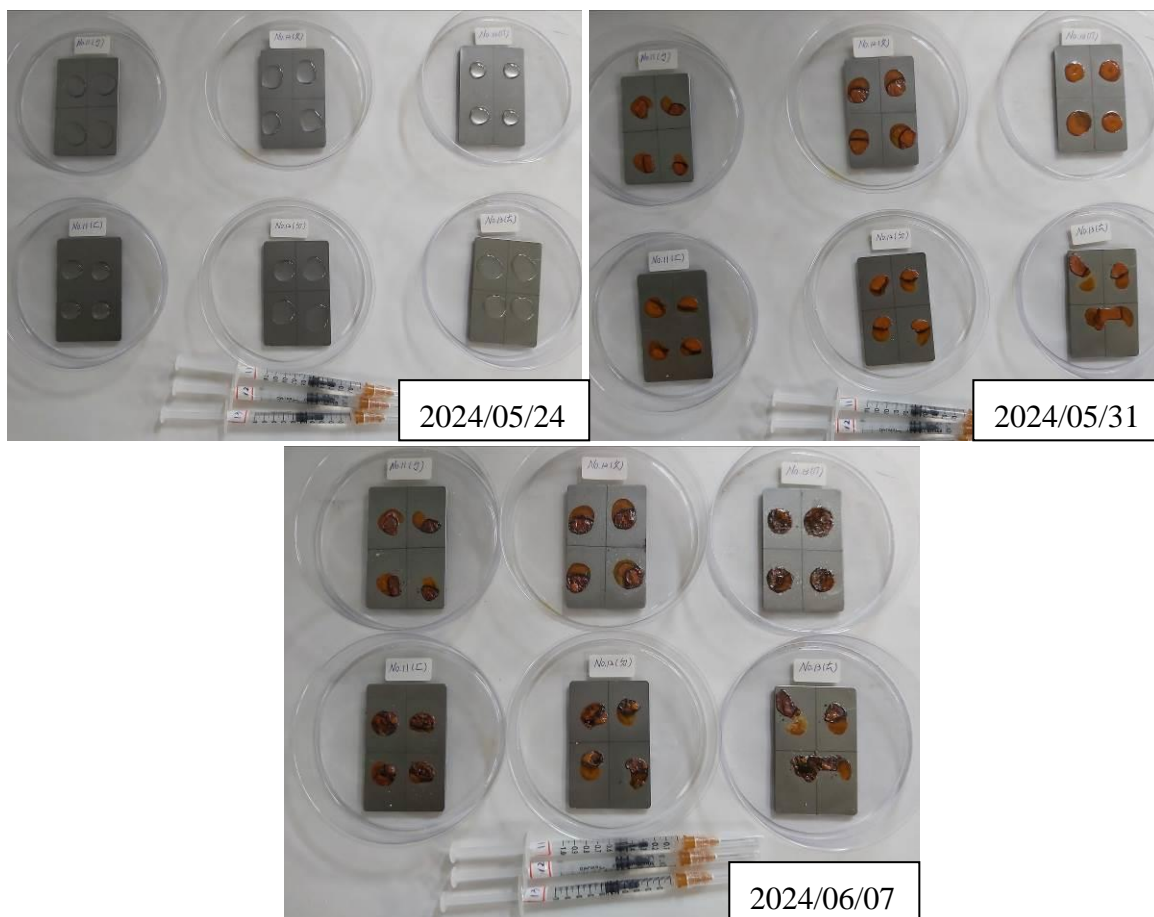
我們記錄了鐵片原始重量及生鏽後的重量如下：

日期		No.21	No.22	No.23	No.24	No.25	No.26	No.27	No.28	No.29
1/23	初始 重量(g)	21.44	21.44	21.44	21.44	21.23	21.47	21.19	21.42	21.42
1/26 15:40	重量(g) (增加)	21.45 (0.01)	21.45 (0.01)	21.45 (0.01)	21.47 (0.03)	21.23 (0.00)	21.55 (0.08)	21.20 (0.01)	21.42 (0.00)	21.51 (0.09)

會進行此實驗設計是從No.1~No.8的實驗結果發現小蘇打水與澄清石灰水具有相當程度的防鏽效果；我們發想若在小蘇打水與澄清石灰水中加入會加速鐵生鏽的白醋與食鹽，會有什麼現象？實驗的結果小蘇打水的表現優異，小蘇打水遇到白醋及3.5%的鹽水(No.24, No.25)，仍具有相當的防鏽能力，惟遇到濃度較高的鹽水(10.5%)，鐵片表面才會出現些許的鏽斑(No.26)。至於澄清石灰水的表現相較於小蘇打水則不盡如意，防鏽能力遇鹽份就破功了。

(七)滴定法-鐵鏽無因次重量變化率觀察-

我們想要更精準量測鐵鏽隨著時間增長的重量變化率，將鐵片分成四個部分，利用注射器控制溶液的量(每一滴 0.15ml)，採用三種不同食鹽水濃度溶液(No.11: 3.5%, No.12: 7.0%以及 No.13: 10.5%)，觀察期間為兩週時間。



編號		No.11(勺)	No.12(勺)	No.13(勺)	No.11(匕)	No.12(勺)	No.13(勺)
鐵片(淨重)	5/24	21.36g	21.36g	21.33g	21.40g	21.43g	21.52g
鐵片(含盤)	5/24	26.57g	25.92g	26.82g	26.53g	26.26g	26.68g
鐵片(含盤)	5/31	26.65g	26.06g	26.92g	26.61g	26.37g	26.79g
無因次重量率		(11.4%/日)	(20%/日)	(14.3%/日)	(11.4%/日)	(15.7%/日)	(15.7%/日)
鐵片(含盤)	6/07	26.67g	26.14g	27.14g	26.74g	26.49g	26.89g
無因次重量率		(2.85%/日)	(11.4%/日)	(31.4%/日)	(18.6%/日)	(17.1%/日)	(14.3%/日)

食鹽水的濃度愈高，鐵鏽的形成速率也相對的變快；由於此為後期新增實驗，若能觀察更久週期，應可發現鐵鏽形成速率會隨著時間增長而減緩。

二、電化學除鏽實驗部分

傳統的除鏽方式是利用機械摩擦將鐵鏽去除，但此方法容易傷害金屬表面，對於不規則的生鏽金屬則更顯困難。而利用除鏽劑來進行除鏽作業，本身除鏽劑就具有一定的腐蝕性，會對環境造成破壞，也不是我們的選項。我們希望能用最環保、最便利有效的方法來進行除鏽，因此想到利用電化學中的氧化還原反應，將最佳電化學除鏽條件尋找出來。

(一)電解液：【小蘇打水(3.3%, 10%) vs 鹽水(3.3%, 10%)】

從實驗結果觀察比較，小蘇打水電解液的除鏽效果較佳；鹽水電解液雖然也能進行除鏽，但電化學氧化還原反應的過程中會產生氯氣且耗電較大，比較不適合。

(二)電解液：【白醋 vs 氫氧化鈉 vs 小蘇打水】 vs 【小蘇打+鹽 vs 氫氧化鈉+鹽】

電解液分別為白醋、氫氧化鈉及小蘇打水，電化學除鏽的效果比較，仍是小蘇打水(5V/0.55A)表現最優，其次是氫氧化鈉與白醋。但是氫氧化鈉屬於強鹼性的化學物質，耗電(4.2V/3.08A)為三者中最大，白醋電解液的缺點是除完鏽若沒將鐵片清洗乾淨，殘留的白醋會造成鐵片的二次生鏽。

(三)電解液：【小蘇打 5%+熱水(75°C) vs 小蘇打 5%+冷水(17°C)】

【小蘇打 5%+熱水(75°C) vs 小蘇打 10%+冷水(17°C)】

從上述的相關電解液測試中歸納出小蘇打水是日前得知最佳的電化學除鏽電解液，因此我們進一步要改變小蘇打水的溫度、濃度來做比較測試。

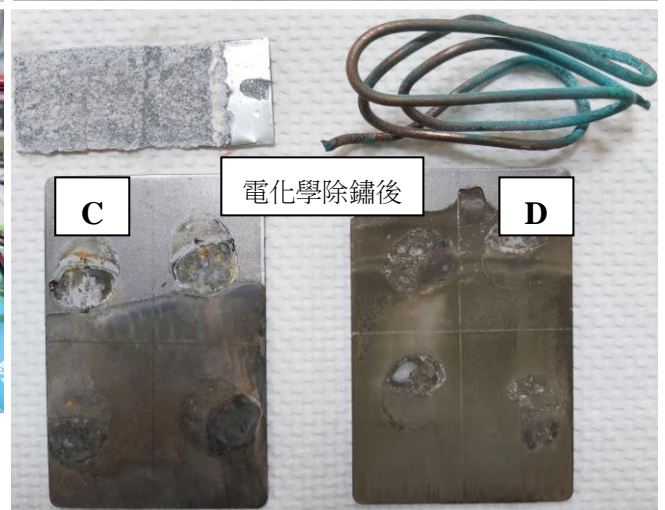
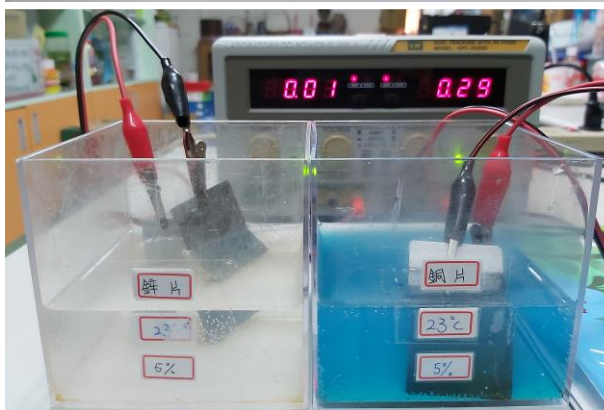
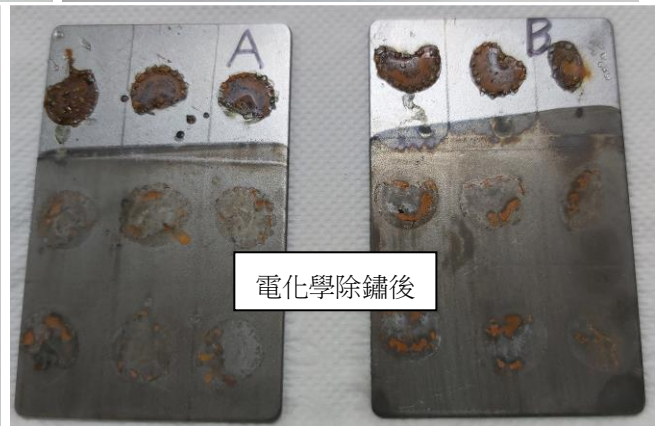
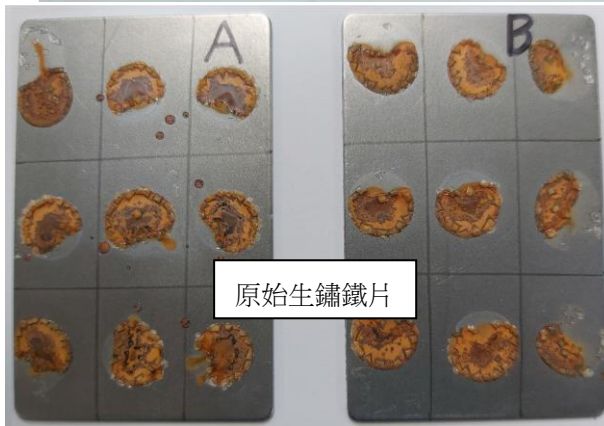
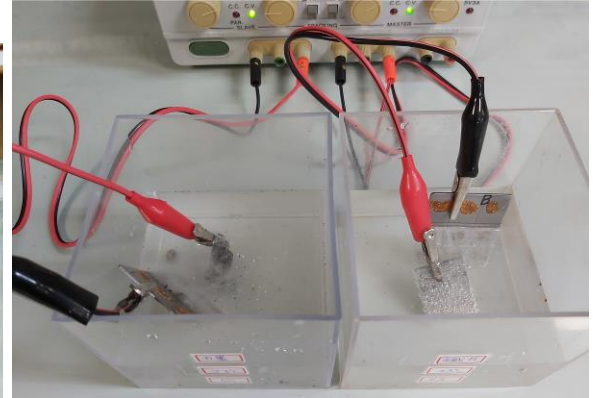
從實驗的結果來看，相同濃度的小蘇打水(5%)，熱水的電化學除鏽效果優於冷水，【小蘇打水(10%)+冷水】與【小蘇打水(5%)+熱水】則電化學除鏽效果相當。所以[增加小蘇打水的濃度或者提高水溶液的溫度都有利於強化電化學的除鏽效果](#)。

(四)電解液：【小蘇打 5%+熱水(52°C) vs 過碳酸鈉 5%+熱水(52°C)】

過碳酸鈉(化學式 $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$)是近期很夯的清潔劑，對於茶垢的清除效果尤佳，我們以過碳酸鈉來與小蘇打(碳酸氫鈉 NaHCO_3)進行PK，在相同濃度下，過碳酸鈉的導電性優於小蘇打，但電化學的除鏽效果觀察，兩者都能順利將鐵鏽去除掉，只是去除鐵鏽後的金屬表面，仍以小蘇打水的表現為優。

(五)氧化片：【A:石墨、B:鋁箔片、C:鋅片、D:銅片：小蘇打 5%+純水(23°C)】

我們找到了最佳的電解液為小蘇打水之後，我們也想試著找找看在陽極處的鐵片(氧化片)，若用其他導電性佳的金屬或非金屬來取代，是否會有更好的除鏽效果。在金屬部分，我們選用鋁箔片、銅片及鋅片，非金屬部分則選用石墨(因為石墨的導電性佳)來進行實驗。

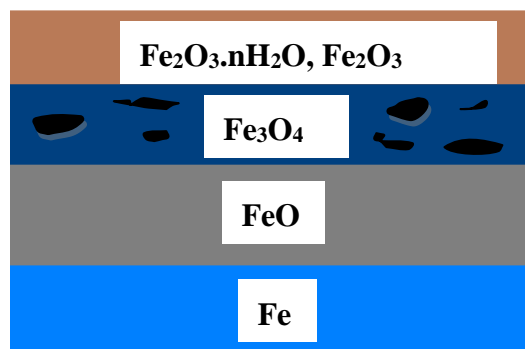


從實驗結果來看，銅的氧化片因為會有銅離子鍍上原本生鏽的物件而讓鐵件光澤變差外，以除鏽效果來看，氧化片還是採用一般鐵片比較適當。

補充說明：

在進行電化學除鏽實驗，我們發現無論怎麼做，鐵鏽去除後的金屬表面都會有一層黑黑的，無法回復原始金屬的光澤。經查詢各種資料，得到如下資訊：

我們電化學所去除的鐵鏽應該是位於最上層紅褐色的三氧化二鐵(Fe_2O_3)，而所謂黑黑的應該是鐵鏽下層的鐵氧化物-四氧化三鐵(Fe_3O_4)，具有保護底層 Fe，避免底層 Fe 直接接觸空氣而繼續氧化生鏽。



陸、結論

綜合上述的實驗數據與分析討論，對於此次科展專題進行總結如下：

在海島型氣候環境下生活的我們，對於相關鐵製用品的生鏽無可避免，因生鏽而造成鐵製品的損壞或不堪使用，也算是一種資源的浪費與能源損耗。從此次科展的實驗中，我們清楚地認識到酸性物質、鹽份、溫度都是造成鐵生鏽的加速因子，能儘量避免這些加速因子到鐵製品上，相對的就能延緩鐵生鏽的時間；而鹼性物質中最特別的是小蘇打粉-碳酸氫鈉 (NaHCO_3)，這個在家庭中常見的安全化學用品，工業用的小蘇打粉可以作為清潔油汙或除臭的好幫手，食用級的小蘇打粉可以作為發酵粉，能讓糕餅、蛋糕、饅頭更蓬鬆。在我們科展的實驗結果中發現小蘇打水具有很好的防鏽效果，建議若家中，特別是在廚房裡的烹飪相關鐵製品(鍋、勺等)，在不用時可以塗抹一層食用級的小蘇打水來作為防鏽之用，當要使用時再以清水沖洗，方便又安全無虞。萬一鐵製品還是生鏽了，我們也提出利用電化學中對鐵鏽進行氧化還原反應的除鏽方式作為應對之策。

在我們科展中選用各種不同的電解液、改變電壓電流密度與溫度的條件下進行電化學除鏽，電解液的部分只要是溶液具有導電性，能順利讓鐵離子進行氧化還原反應的，都能完成除鏽的工作。但是酸性電解液的缺點是除完鏽後若沒將電解液沖洗乾淨的話，此酸性電解液會造成鐵製品二次生鏽；鹽水電解液在過程中會解離出刺激性氣味、有毒的氯氣，長久下來

對身體或環境都不好；小蘇打電解液是鹼性溶液，亦是此次科展中我們覺得電化學除鏽效果最佳的電解液，分析有下列幾項優點：

一、**促進還原反應**：鐵的鏽層主要是氫氧化鐵（ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ）或氧化鐵（ Fe_2O_3 ）等，這些物質在鹼性環境中容易發生還原反應。在鹼性條件下，氫氧化鐵和氧化鐵可以被還原為可溶於水的鐵離子，這有助於去除鏽。

二、**增加氫氧化物濃度**：在鹼性環境中，水會產生氫氧化物離子（ OH^- ），這有助於中和酸性鏽層，同時促進還原反應

三、**提高離子導電度**：鹼性環境有助於增加水中的氫氧根離子（ OH^- ）濃度，這提高了水的電導度。更高的電導度有助於增強電流的傳導，促進電化學反應的進行。

以我們的實驗結果，小蘇打電解液操作在 5 伏特電壓下，電流小於 1 安培。

因此我們會推薦使用小蘇打粉加熱水來作為電化學除鏽中的最佳電解液。

實驗中使用電源供應器的目的是要改變不同電解液所需的電壓電流密度值，但電源供應器並非家中常用品且很笨重，因此我們亦在此報告中提出一種簡易方法(如右圖)，利用 3C 常用的 USB 充電頭(俗稱豆腐頭，一般規格 5V/2.1A)，改造 USB 線將另一端電源接上鱷魚頭夾，即可用此簡易設備在家中採用電化學方式來輕鬆除鏽，這是本科展對永續環境發展作出的小小貢獻。



柒、參考文獻資料

- 一、鐵鏽・取自 維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%93%81%E9%94%88>
- 二、《金屬腐蝕與防護》・HKDSE 化學科課程講解
- 三、鋼鐵為什麼會生鏽？如何除鏽？・取自 <https://kknews.cc/zh-tw/news/v62e34a.html>
- 四、金屬如何生鏽?過去如何除鏽與防鏽?・取自
<https://www.neusauber.com/en/latest/blogs/whyrust.html>
- 五、日常生活中如何防止鐵生鏽・取自 <https://www.3du.tw/knowledge/Z2J6cTI=.html>
- 六、【電化學—理論與應用】 吳溪煌校閱 田福助編著（2020）高立圖書有限公司
- 七、電化學・取自 維基百科 <https://reurl.cc/G4YrlZ>
- 八、【清除鐵質器物表面腐蝕物處理方式評估報告】・取自 國家圖書館期刊文獻資訊網
- 九、除鏽方法，金屬工具生鏽了怎麼辦？・取自 <https://wpgsander.com/remove-rust/>
- 十、電解法除鏽・取自 <https://www.masters.tw/229024/rust-electrolysis>
- 十一、常用的金屬除鏽方法有哪些？・取自 <https://reurl.cc/L4od53>
- 十二、小蘇打除鏽原理 | 4+5小蘇打除鏽絕學・取自SEMI <https://reurl.cc/4jMmYD>
- 十三、電化學去鹽技術可行性評估 中華民國防蝕工程學會
- 十四、生活環境中的腐蝕・取自S科學發展 2006年10月，406期
- 十五、金屬的電化學腐蝕・取自 <https://vocus.cc/article/6096366cfd89780001d34db2>
- 十六、中華民國第55屆中小學科學展覽會作品・「鏽」出色彩
- 十七、中華民國第57屆中小學科學展覽會作品・「鏽」給你看—不鏽鋼生鏽之探討
- 十八、亞硫酸鈉・取自 維基百科
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E4%BA%9A%E7%A1%AB%E9%85%B8%E9%92%A0>
- 十九、水溶氧量・取自 全國環境水質監測資訊網
- 二十、石墨・取自 維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%9F%B3%E5%A2%A8>
- 二十一、無因次量・取自 維基百科
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%97%A0%E9%87%8F%E7%BA%B2%E9%87%8F>

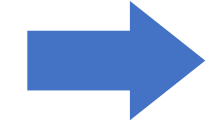
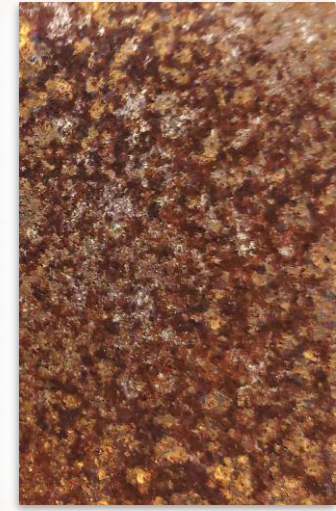
註：整份作品中的照片及圖片均為作者親自拍攝及繪製。

【評語】 083009

以電化學的氧化還原反應進行除鏽，藉由調整電壓、電流密度、電解液濃度及溫度等評估除鏽的效率，並以小蘇打進行系統性實驗驗證除鏽可行性，實驗足以驗證結論及釋義。且結果具可應用性。實驗步驟詳細，觀察鐵生鏽的過程也非常的仔細，具探究精神，值得鼓勵。建議可藉由文獻的整理與討論為基礎，進行實驗結果的討論，並以量化的數據，進行科學性的比較。

作品簡報

除「鏽」換新 探究電化學除鏽法



摘要

本研究在於探究鐵生鏽與鐵除鏽相關實驗的成因、目的及重要性。

(一) 鐵生鏽實驗：

1. 了解潮濕氣候、溫度、酸鹼溶液，對鐵生鏽速率的影響，找出化學反應機制。
2. 通過模擬實驗，評估在不同條件下對鐵的影響，提出防止鐵生鏽的策略。

(二) 鐵除鏽實驗：

1. 以電化學反應進行除鏽，研究電化學除鏽效能。
2. 分析電化學除鏽的反應機制：
調整電壓、電流密度、電解液濃度與溫度等，評估除鏽效果，找出最佳參數。

(三) 研究成果：

1. 提高鐵製品耐用性，延長使用壽命，提出最佳防鏽策略。
2. 小小貢獻：
用電化學除鏽法，改造USB電源線，接上鱷魚夾，以小蘇打粉+熱水當電解液，即能輕鬆除鏽。

研究動機

台灣氣候潮濕使鐵製品容易生鏽，**水分和氧氣是導致鐵生鏽的主因**，生鏽的鐵製品外觀不好看，使用壽命也會縮短。我們想要對「鐵生鏽」及「鐵除鏽」進行探究，找出有效率又環保的方式來防鏽與除鏽。

為了提高鐵製品耐用性與可持續性，我們提出**利用電化學的方式來進行除鏽**，探討不同電壓、電流密度以及電解液和陽極氧化片，找出最佳的電化學除鏽條件，並能在家庭中操作使用。

本研究**結合國小自然科學課程**：為何會生鏽與如何防鏽、水溶液導電性以及電路有哪些連接方式等概念，希望學以致用，讓科學探究更有趣及更貼近生活。

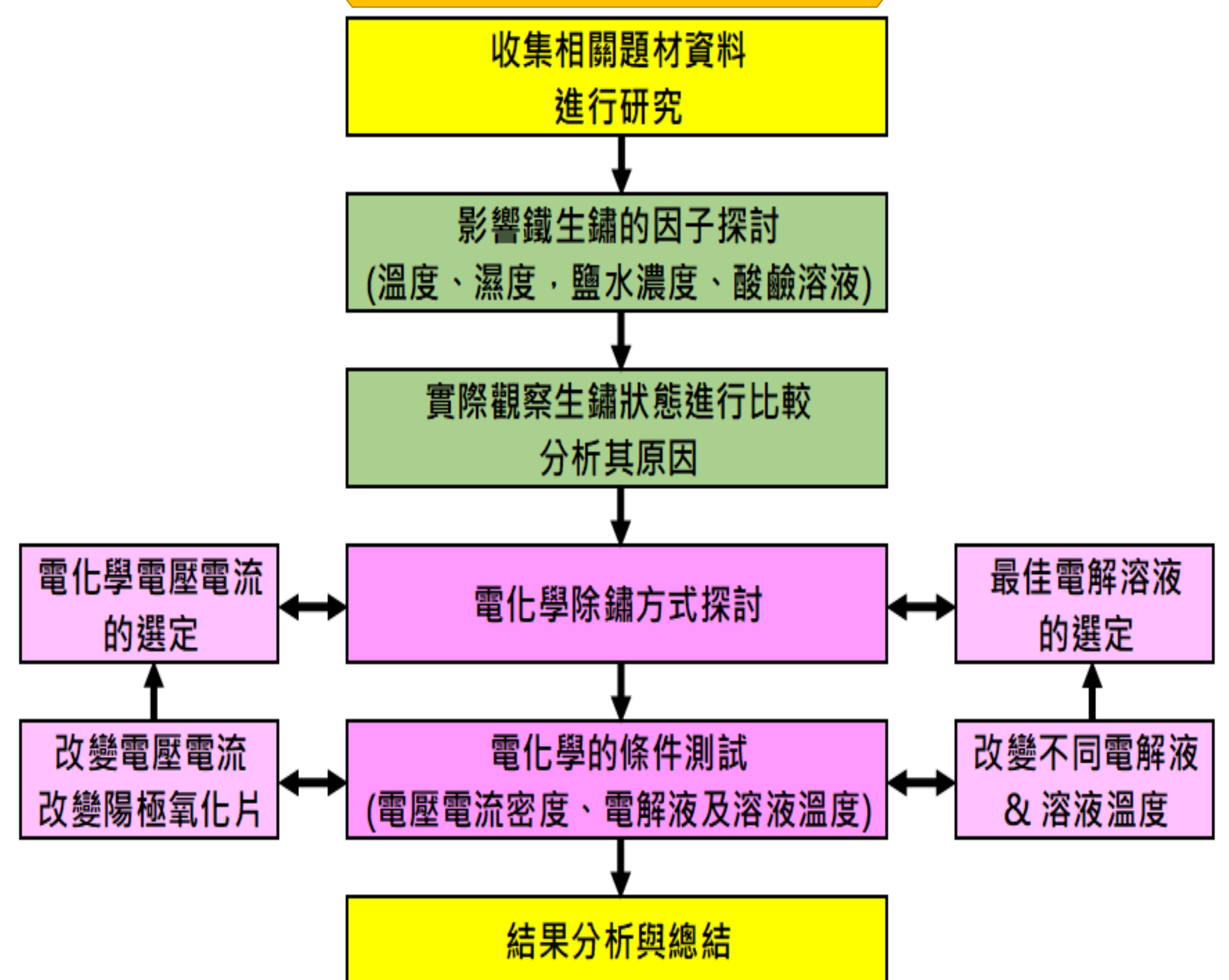
研究目的

- (一)分析鐵生鏽的化學反應機制
- (二)探究溫度、濕度對鐵生鏽速率的影響
- (三)評估鹽水濃度、溶液酸鹼性對鐵生鏽的影響
- (四)提出防止鐵生鏽的應對策略
- (五)不同除鏽方式的效能評估比較
- (六)分析電化學除鏽過程中的反應機制
- (七)測試並比較不同電化學條件下的除鏽效果
- (八)探討電化學處理對金屬結構的影響
- (九)提出家庭應用電化學方式進行除鏽的方案

實驗設備與器材

觀察培養皿30個	電源供應器	配製溶液材料	噴霧瓶30瓶
LED電子顯微鏡 1600X	pH檢測計與電子秤(0.01克)	自製USB 5V電源線(可耐2安培電流)與自製水溶液導電性測試組	
無電鍍鐵片(長方形、圓形)	純水與氧氣瓶	各種碳酸飲料	其他相關實驗器材

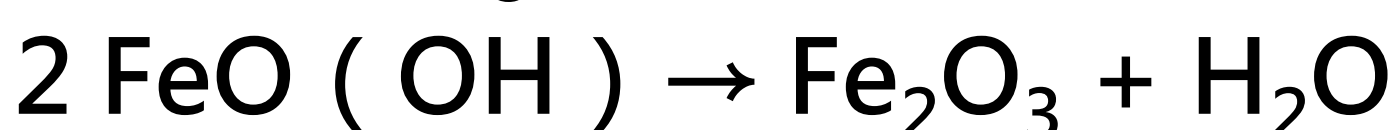
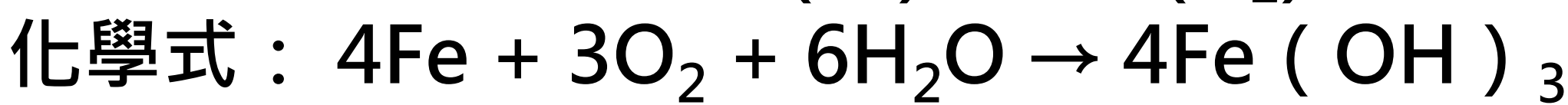
研究流程



實驗探究與流程

【鐵生鏽化學反應原理】

鐵生鏽的化學反應是鐵(Fe)與氧氣(O₂)的氧化反應。



其中Fe₂O₃(氧化鐵)即為紅褐色鐵鏽

【有水無氧 V.S. 有氧無水實驗】

有水無氧：玻璃罐中裝入純水(減少水中的溶氧量)，加入測試鐵片。

有氧無水：玻璃罐中放入乾燥劑，一週後放入鐵片，每隔兩日灌入純氧。

【溫度是否影響鐵生鏽】

利用白熾燈泡產生熱的特性及冰箱冷藏室與室溫，提供三種不同溫度環境，觀察在這三種溫度環境下鐵生鏽速度的比較。高溫環境實驗設計如右圖所示。

【調製酸鹼性水溶液】

編號	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
溶液內容	白醋	白醋 + 澄清石灰水	檸檬酸	白醋 + 漂白水	小蘇打水	漂白水 + 檸檬酸	漂白水	澄清石灰水 + 檸檬酸
pH值	2.8	4.1	1.8	5.2	8.7	9.1	12.2	10.8

【鹽水溶液調製】

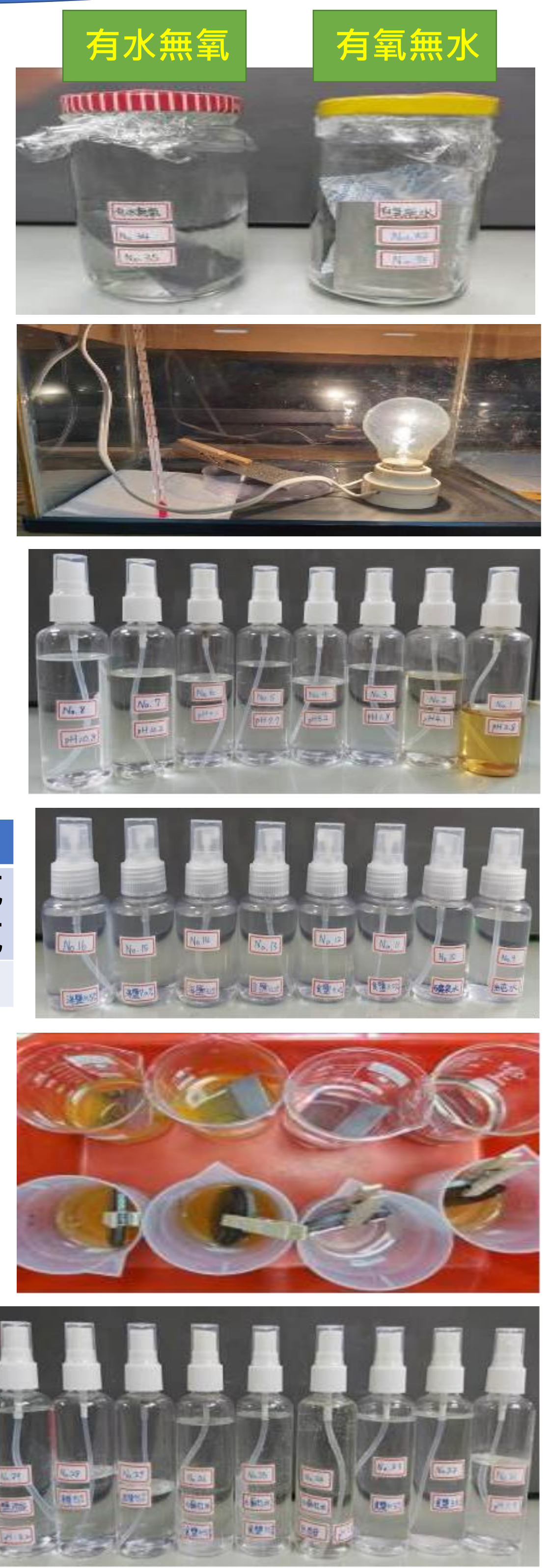
編號	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16
溶液內容	純水	礦泉水	食鹽3.5克 純水96.5克	食鹽7.0克 純水93.0克	食鹽10.5克 純水89.5克	海鹽3.5克 純水96.5克	海鹽7.0克 純水93克	海鹽10.5克 純水89.5克
鹽水濃度	0%	0%	3.5%	7.0%	10.5%	3.5%	7.0%	10.5%

【鹽水浸泡實驗】

編號	No.17	No.18	No.19	No.20
溶液內容	純水100g (pH=7.1)	礦泉水100g (pH=7.7)	海鹽3.5克 純水96.5克	海鹽10.5克 純水89.5克
鹽水濃度	0%	0%	3.5%	10.5%

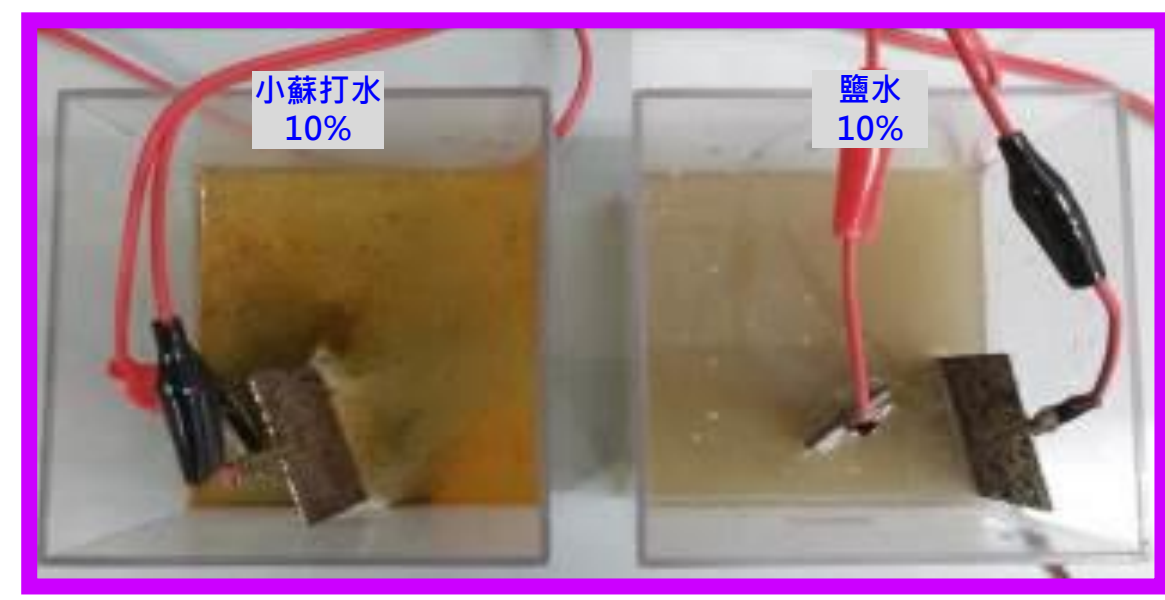
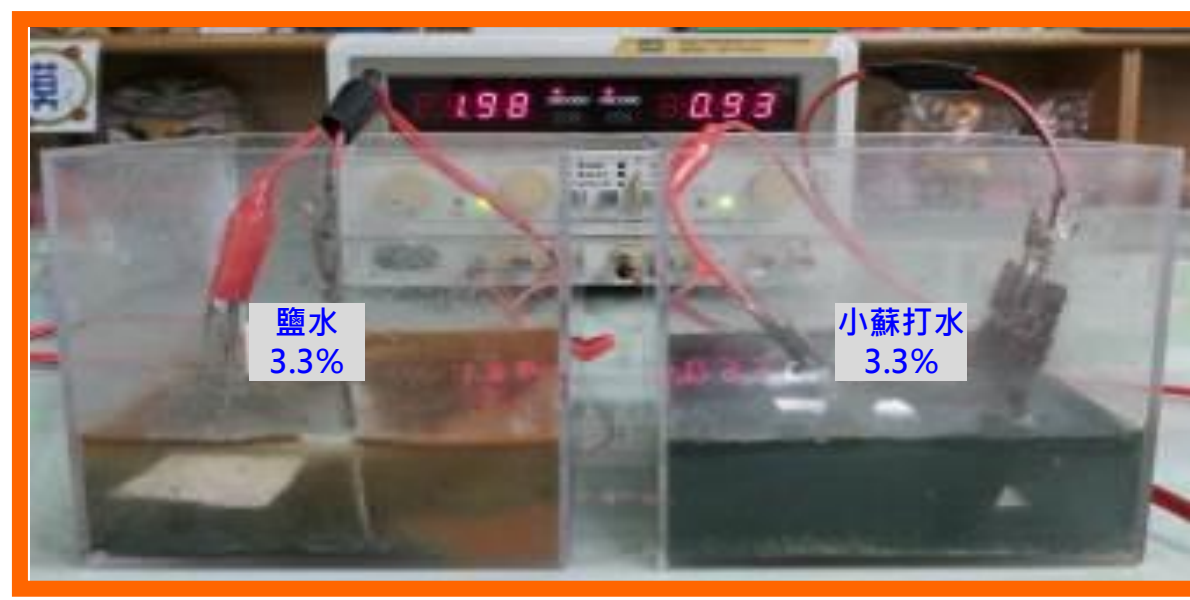
【酸鹼溶液+鹽水溶液混和實驗】

編號	No.21	No.22	No.23	No.24	No.25	No.26	No.27	No.28	No.29
溶液內容	澄清石灰水	澄清石灰水 96.5g + 食鹽3.5g	澄清石灰水 89.5g + 食鹽10.5g	小蘇打水 + 白醋	小蘇打水 96.5g + 食鹽3.5g	小蘇打水 89.5g + 食鹽10.5g	酒精 95%	酒精 75%	稀釋 鹽酸 10%
pH值	11.9	11.9	11.9	6.3	8.5	8.5	-	-	0.2
鹽度	-	3.5%	10.5%	-	3.5%	10.5%	-	-	-



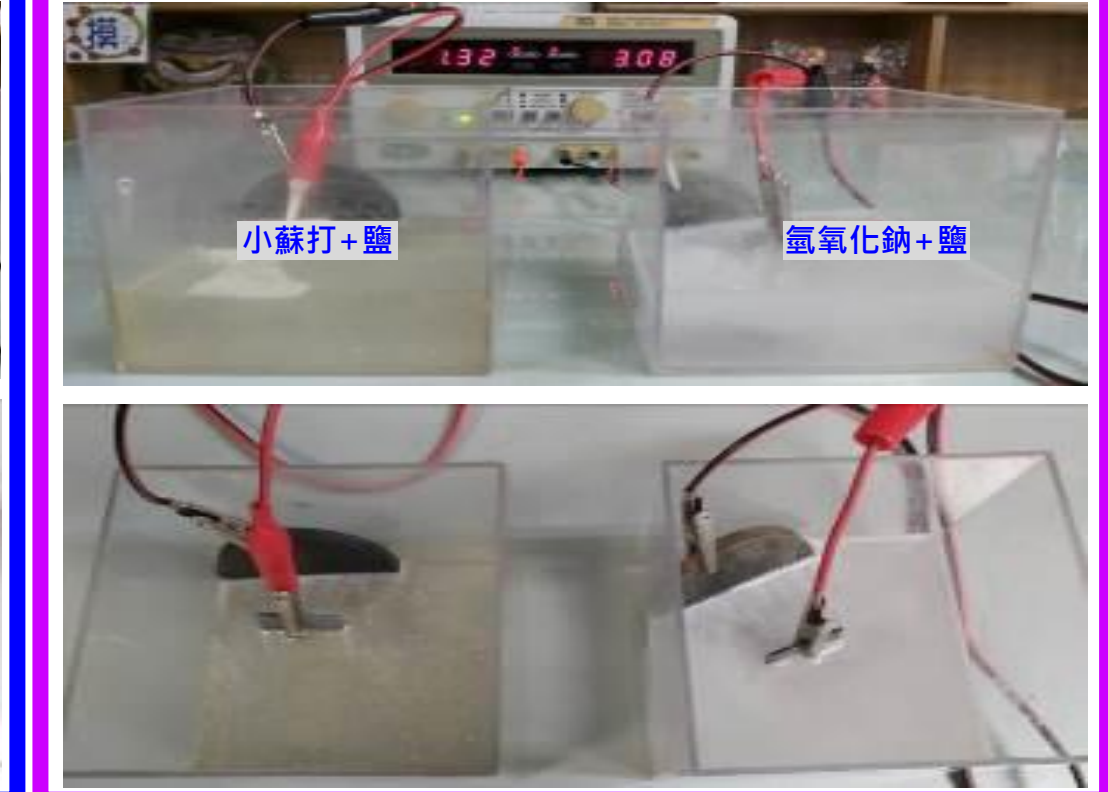
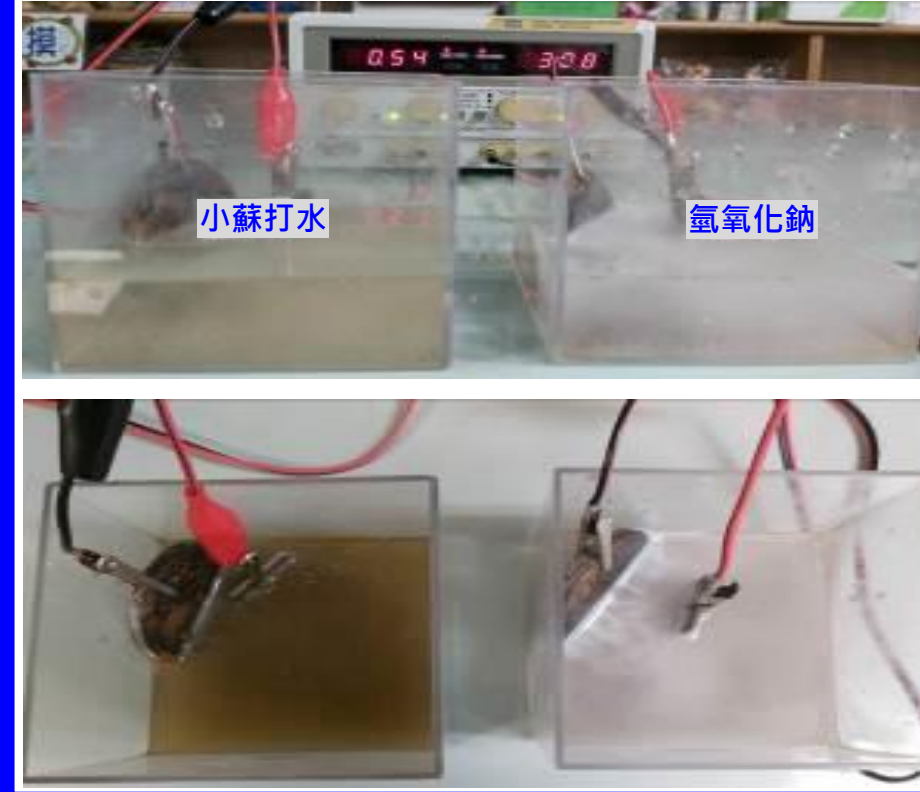
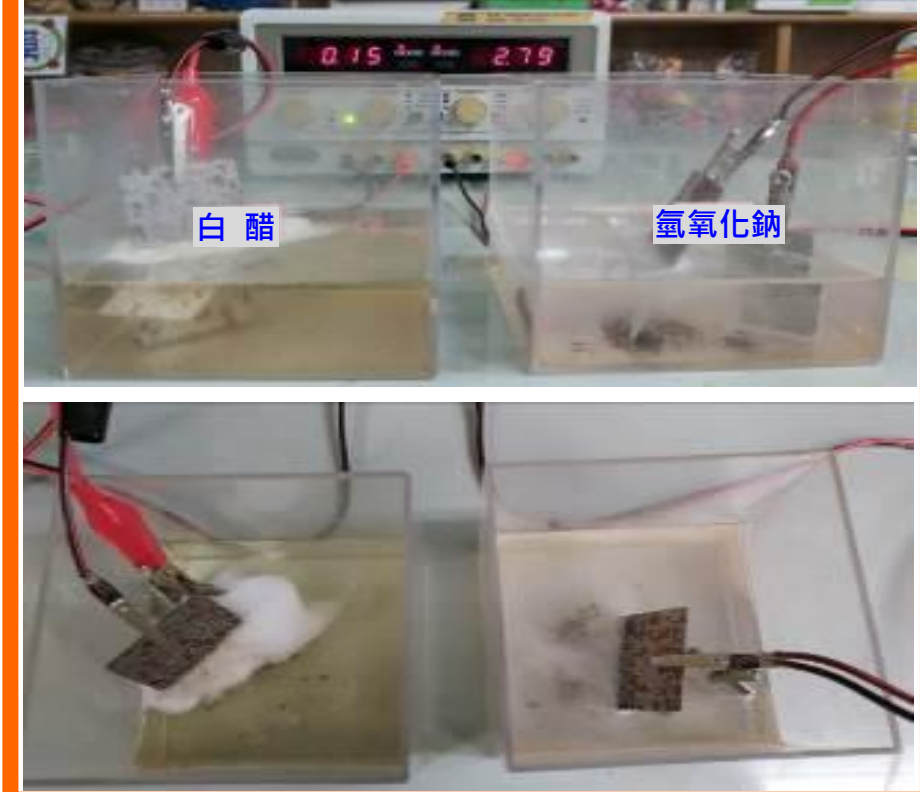
●【電化學除鏽實驗設計_第一組】

鐵片編號	No.6a	No.7a	No.6a	No.7a
電解液	鹽水3.3%	小蘇打水3.3%	小蘇打水10%	鹽水10%
電壓(V)	12V	12V	12V/8.9V	5.5V/5.6V
電流(A)	1.78A	0.98A	2.28A/2.59A	2.79A/2.77A
開始時間	09:26	09:26	13:12	13:12
結束時間	10:30	10:30	14:15	14:15



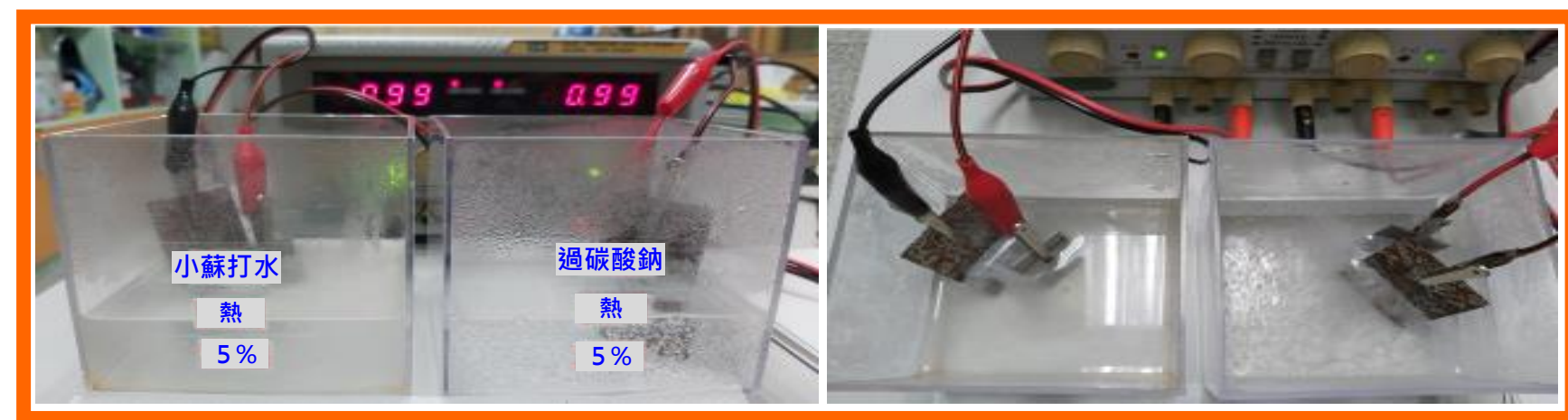
●【電化學除鏽實驗設計_第二組】

鐵片編號	No.15a	No.16a	No.15b	No.16b	No.16b	No.15b
電解液	白醋	氫氧化鈉 5%	小蘇打水 5%	氫氧化鈉 5%	小蘇打+鹽 (15g+5g)+水280g	氫氧化鈉+鹽 (15g+5g)+水280g
電壓(V)	12V	5V	5V	4.2V	5.1V	4.1V
電流(A)	0.17A	2.8A	0.55A	3.08A	1.29A	3.08A
開始時間	09:03	09:03	12:50	12:50	14:55	14:55
結束時間	10:03	10:03	13:50	13:50	15:55	15:55



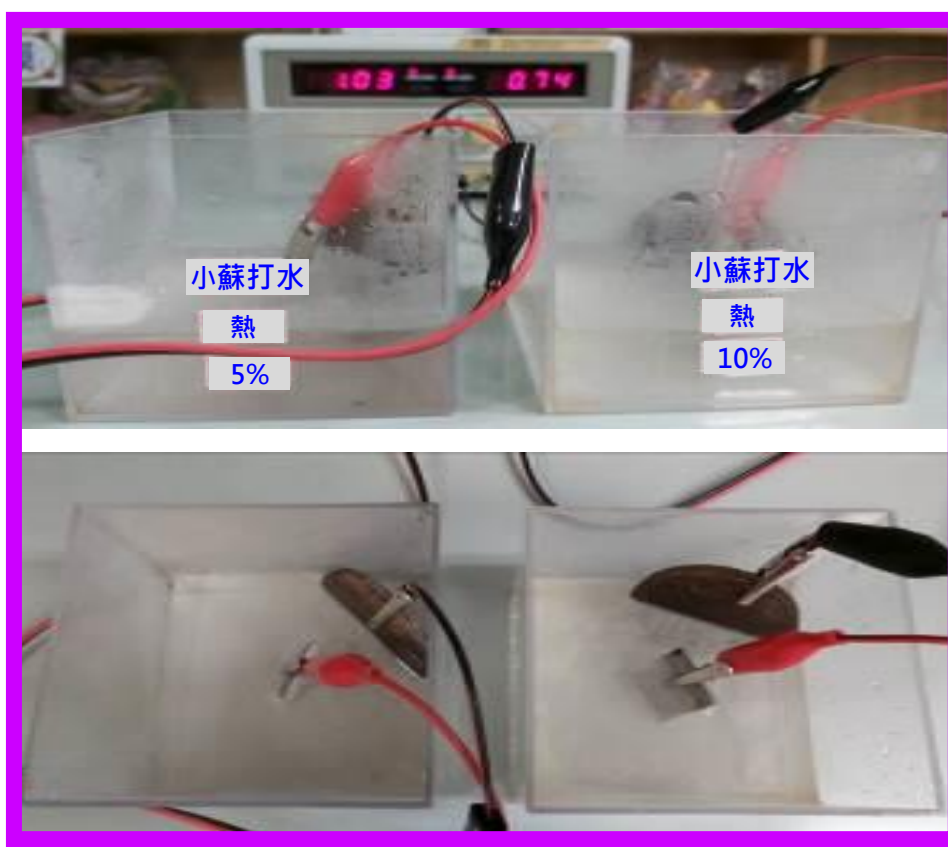
●【電化學除鏽實驗設計_第四組】

鐵片編號	No.11a	No.14a
電解液	小蘇打5% + 熱水(52°C)	過碳酸鈉5% + 熱水(52°C)
pH值	8.5	11
電壓(V)	5V	5V
電流(A)	1.04A/0.78A/ 0.58A/0.44A	1.04A/0.74A/ 0.62A/0.45A
開始時間	08:30	08:30
期間觀察	09:20/10:10	09:20/10:10
結束時間	12:40	12:40



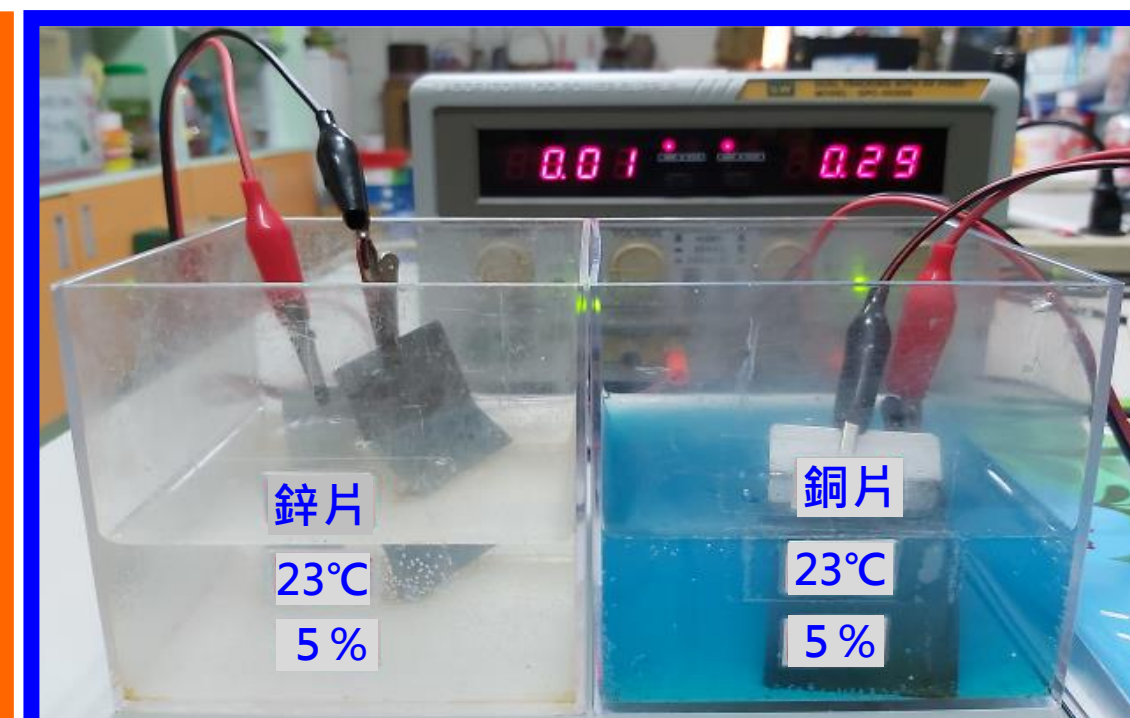
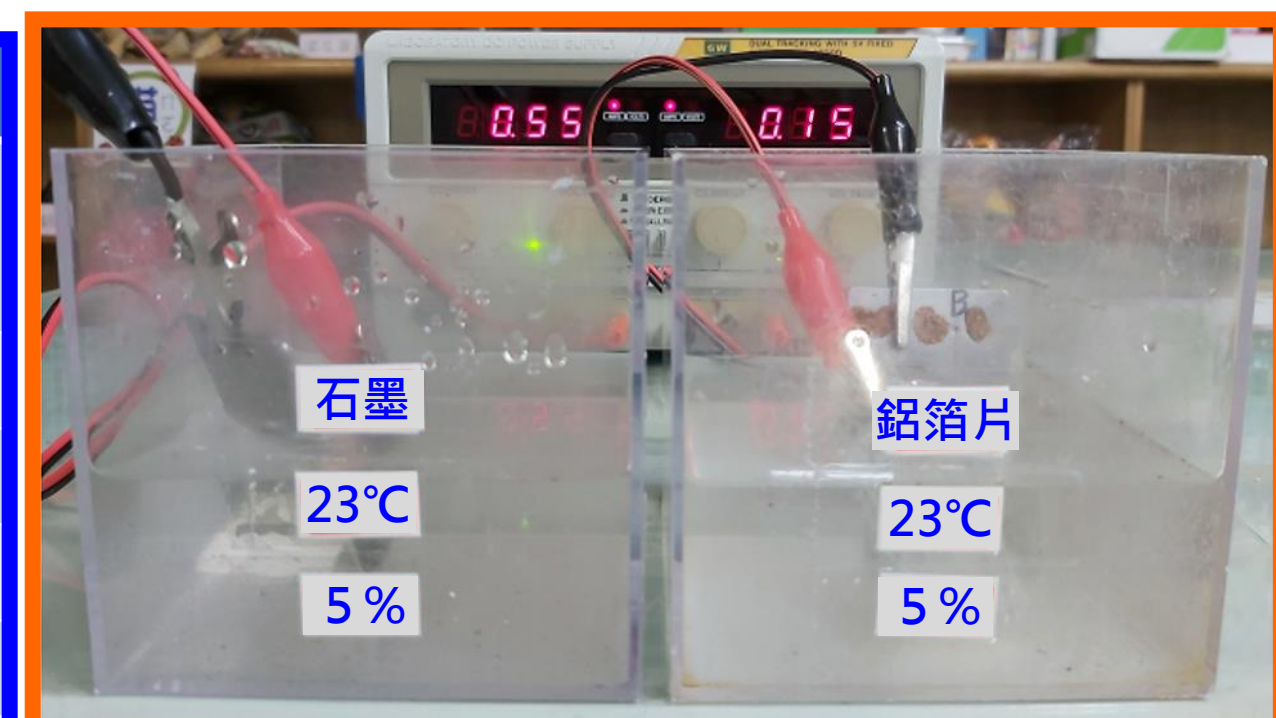
●【電化學除鏽實驗設計_第三組】

鐵片編號	No.12a	No.13a	No.12a	No.13a	No.6b	No.7b
電解液	小蘇打5% 冷水(17°C)	小蘇打5% 熱水(75°C)	小蘇打5% 熱水(75°C)	小蘇打5% 冷水(17°C)	小蘇打5% 熱水(75°C)	小蘇打10% 熱水(75°C)
電壓(V)	5V	5V	5V	5V	5V	5V
電流(A)	0.34A/0.42A	1.13A/0.77A	0.93A/0.76A	0.48A/0.54A	1.06A/0.87A	0.73A/0.87A
開始時間	09:07	09:07	10:24	10:24	13:54	13:54
期間觀察	09:37	09:37	10:56	10:56	14:27	14:27
結束時間	10:07	10:07	11:24	11:24	15:24	15:24



●【電化學除鏽實驗設計_第五組】

陽極-氧化片	A. 石墨	B. 鋁箔片	C. 鋅片	D. 銅片
電解液	小蘇打5% + 純水23°C	小蘇打5% + 純水23°C	小蘇打5% + 純水23°C	小蘇打5% + 純水23°C
電壓(V)/電流(A)	5V/0.54A	5V/0.13A	5V/0.28A	5V/0.55A
開始時間	09:00	09:00	10:30	10:30
期間觀察	09:30	09:30	11:00	11:00
結束時間	10:00	10:00	11:30	11:30



實驗結果與討論

【鐵生鏽實驗結果】

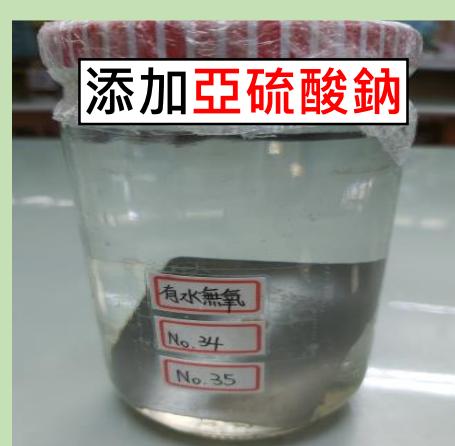
1. 有氧無水&有水無氧：(01/26/2024~06/10/2024)

- ①有氧無水條件下無法使鐵片產生鐵鏽。
- ②有水無氧條件下經過長時間(約兩週)鐵片仍會生鏽。



討論：鐵鏽的生成與氧氣和水分有關，缺乏氧氣或水都能防止或減緩鐵鏽生成。

改進：利用脫氧劑亞硫酸鈉(Na_2SO_3)，將其加入水中，去除水中的氧氣。在400ml純水中加入50g亞硫酸鈉，確保長時間下溶入水中的氧氣都能與亞硫酸鈉反應。鐵片經過一個月的浸泡，無鐵鏽生成如右圖，驗證鐵鏽必須同時在有水及有氧的條件下才能產生的論述。



2. 溫度效應：經過六個半小時的觀察，發現No.38的鐵片生鏽程度較嚴重。

編號	No.36	No.37	No.38
環境溫度	低溫(8°C)	室溫(19°C)	高溫(32°C)

討論：高溫環境下No.38鐵片生鏽程度較為嚴重。但在不同溫差下控制鐵片上的水分有難度，此實驗結果僅做為趨勢參考。

3. 酸鹼性水溶液效應：

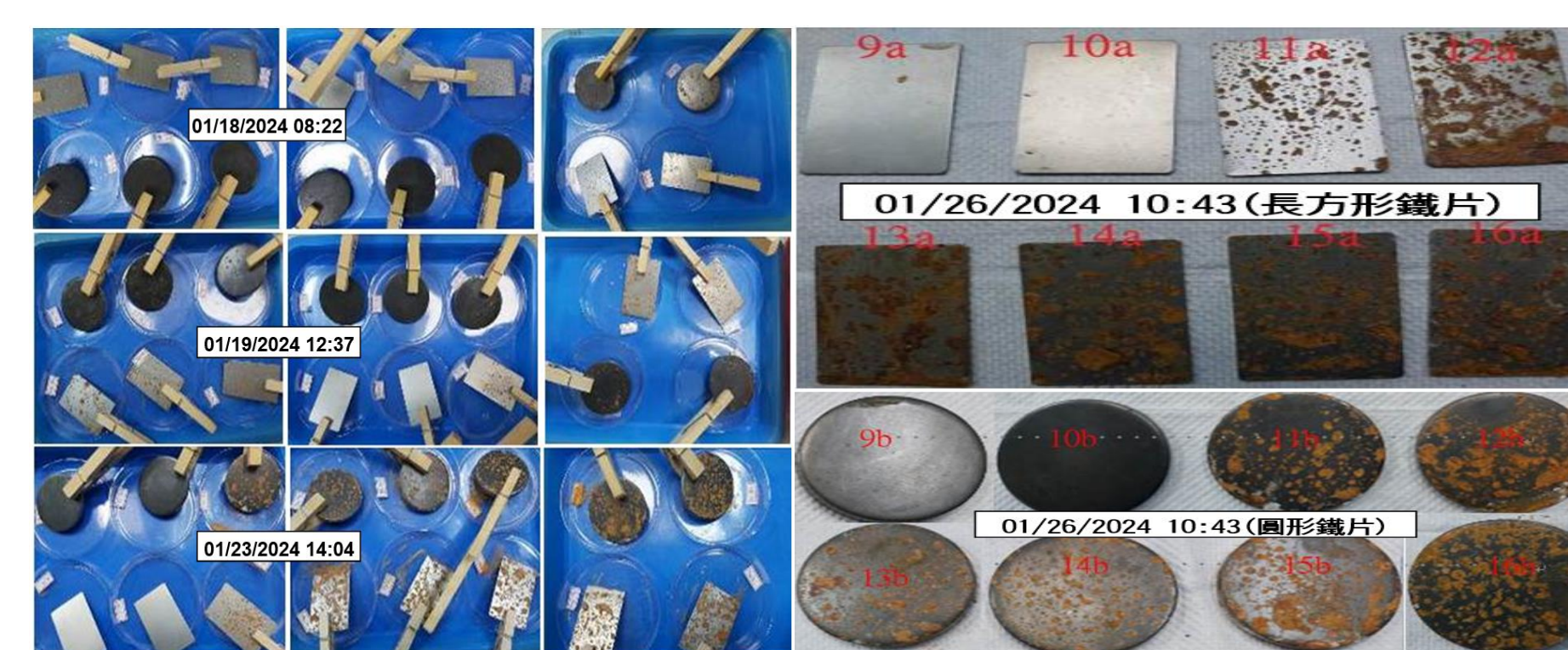
發現：鐵生鏽的程度與溶液的成分有關。No.1, No.2, No.4與No.6, No.7的生鏽程度最嚴重，在No.1, No.2, No.4溶液中都有醋的成分，No.6, No.7含有漂白水的成分。No.5(小蘇打水)與No.8(澄清石灰水)都沒有生鏽現象。



討論：No.1, No.2, No.4, No.6及No.7的鐵片生鏽嚴重，它們分別噴上含有醋與漂白水的溶液。醋加速鐵的氧化與鏽的生成；含氯漂白水使鐵在有氯的環境容易發生氧化，形成鐵氯化物，促進鐵鏽生成。No.3(檸檬酸溶液)鐵片上的生成物是硝酸亞鐵。No.5(小蘇打水)及No.8(澄清石灰水)則無生鏽現象，我們認為鹼性環境對於鐵具有防鏽效果。

4. 鹽水濃度效應：

發現：鐵生鏽的程度與鹽水的濃度有極大的關係，噴以純水(No.9)與礦泉水(No.10)的鐵片上有些許鏽斑；鹽水的濃度愈高，鐵生鏽的現象愈嚴重，海鹽又比食鹽對於鐵的鏽蝕程度更為加劇。



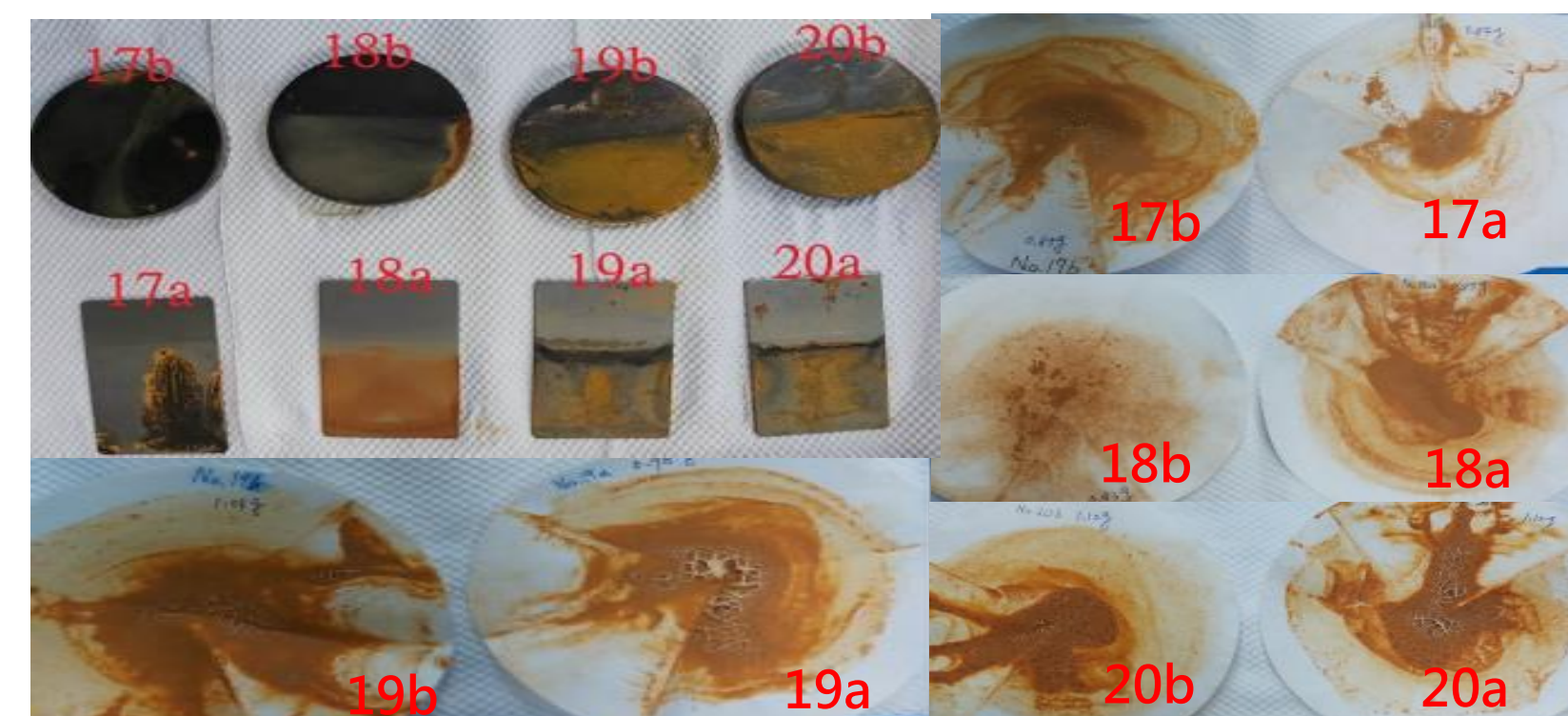
討論：No.9 & No.10 八天後觀察仍有鏽斑產生，鹽水的濃度愈高，鐵生鏽的速度愈快，鹽中的氯離子加速鐵的氧化，形成鐵氯化物，促進鏽的生成。海鹽對鐵生鏽的影響大於食鹽，海鹽的晶體較食鹽大，含有雜質，例如：礦物質或微量元素，它們會加速鐵的腐蝕效果。

5. 鹽水浸泡效應：

鐵片會生鏽，有鐵鏽溶解於水溶液；用濾紙將溶於水溶液的鐵鏽收集、記錄重量並觀察。

日期	No.17a	No.18a	No.19a	No.20a	No.17b	No.18b	No.19b	No.20b
1/18 初始重量(g)	21.34	21.40	21.40	21.40	134.47	134.37	134.56	134.34
1/26 鐵鏽重量(g)	0.01	0.02	0.16	0.29	0.01	0.02	0.18	0.29

討論：模擬鐵件沉入海水的狀況，與No.1~No.16進行生鏽外觀比較。發現有很多鐵鏽溶於鹽水中。鹽水濃度愈高(No.20 > No.19 > No.17, No.18)產生的鐵鏽愈多，合乎預期。

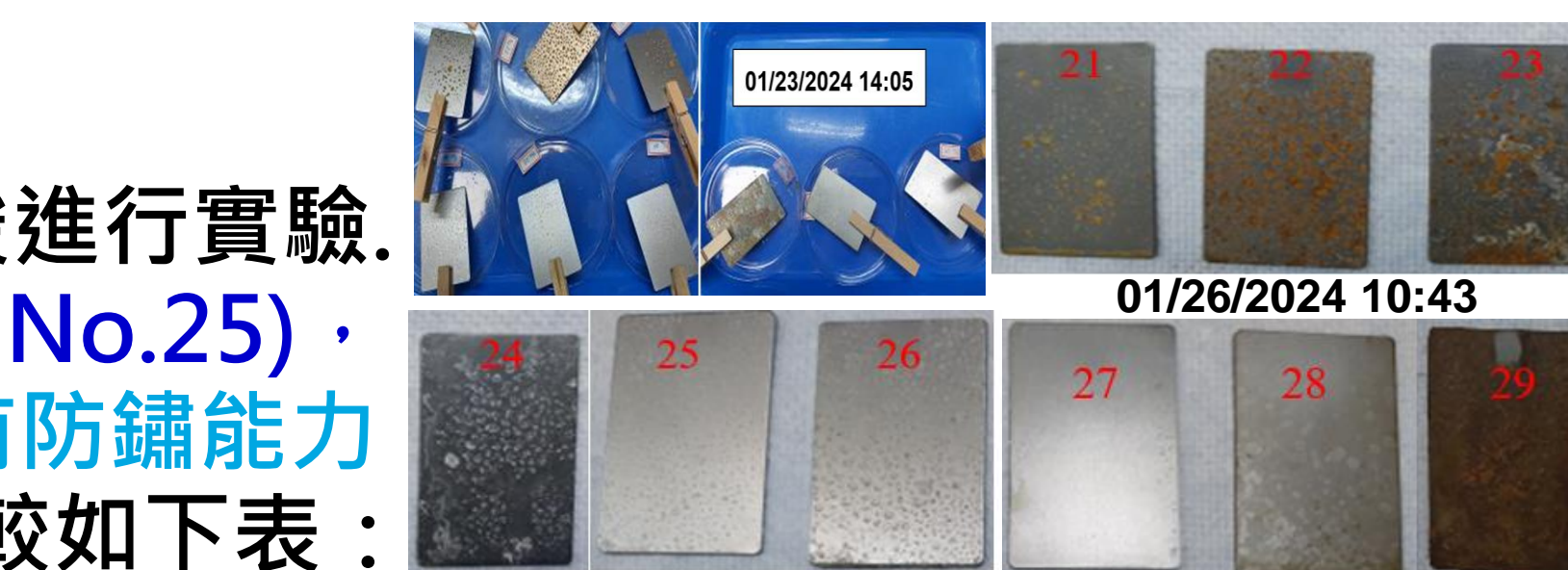


6. 小蘇打水&澄清石灰水防鏽效應比較：

在小蘇打水和澄清石灰水分別加入醋與食鹽，觀察其防鏽能力，並增加75%酒精與10%鹽酸進行實驗。

發現：澄清石灰水的防鏽能力遇到鹽分就破功了；小蘇打水遇到白醋及3.5%的鹽水(No.24, No.25)，仍具有防鏽能力，唯遇到濃度較高的鹽水(10.5%)，鐵片才出現些許鏽斑(No.26)。酒精具有防鏽能力(No.27, No.28)；鹽酸有腐蝕性，使鐵生鏽嚴重(No.29)。鐵片原始重量及生鏽後的重量比較如下表：

日期	No.21	No.22	No.23	No.24	No.25	No.26	No.27	No.28	No.29
1/23 初始重量(g)	21.44	21.44	21.44	21.44	21.23	21.47	21.19	21.42	21.42
1/26 重量(g)	21.45	21.45	21.45	21.47	21.23	21.55	21.20	21.42	21.51
15:40	(0.01)	(0.01)	(0.01)	(0.03)	(0.00)	(0.08)	(0.01)	(0.00)	(0.09)

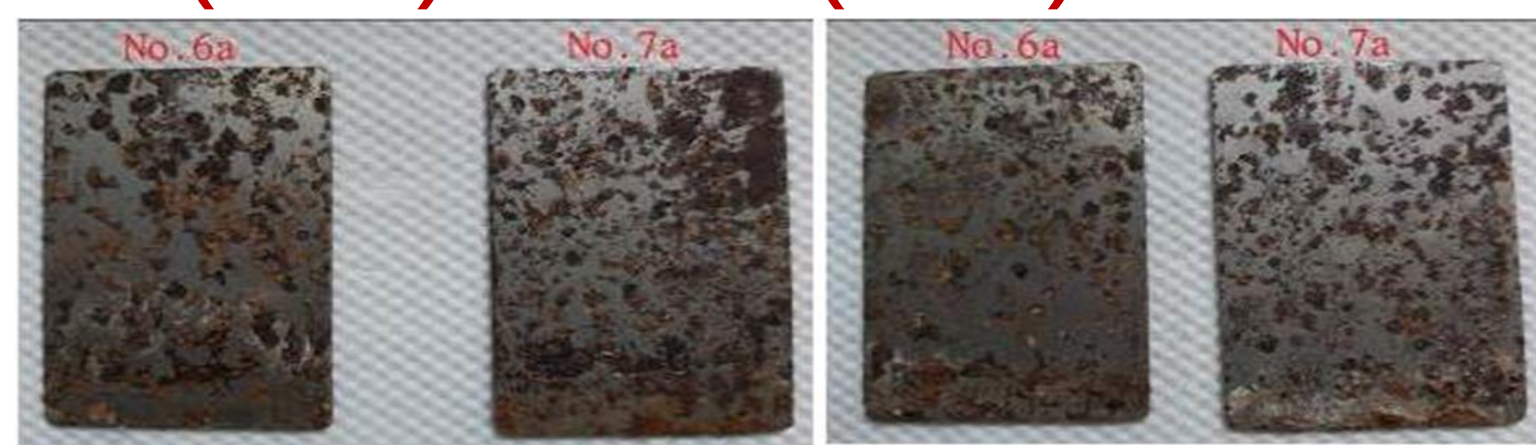


討論：小蘇打水有極佳防鏽能力，遇到濃度高的鹽水，鐵片才會出現鏽斑。澄清石灰水的防鏽能力遇到鹽就失效了。

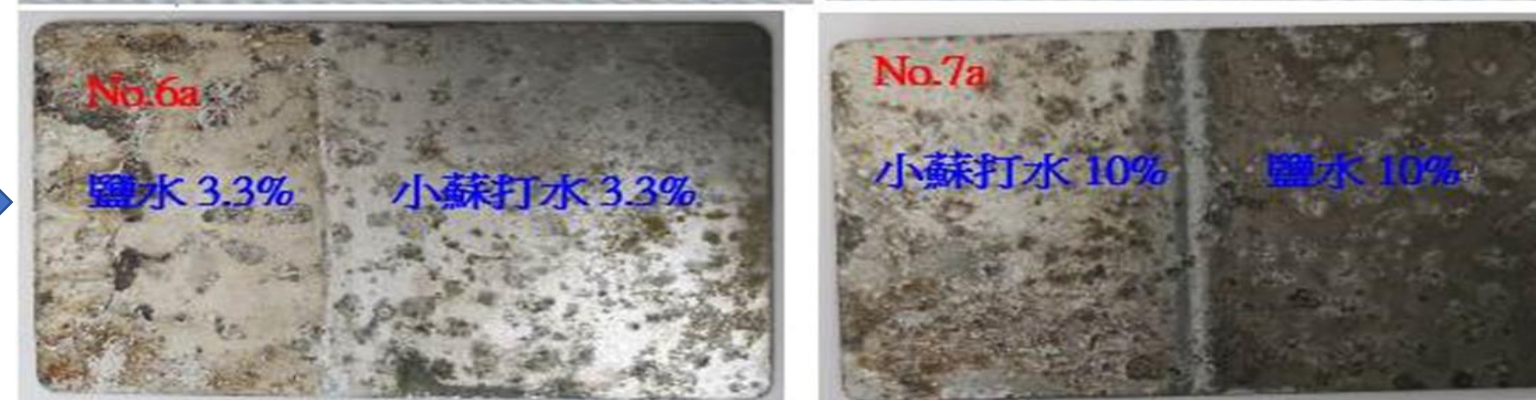
【電化學除鏽實驗結果】

- ## 1. 電解液：【小蘇打水(3.3%) vs 鹽水(3.3%)】 【小蘇打水(10%) vs 鹽水(10%)】

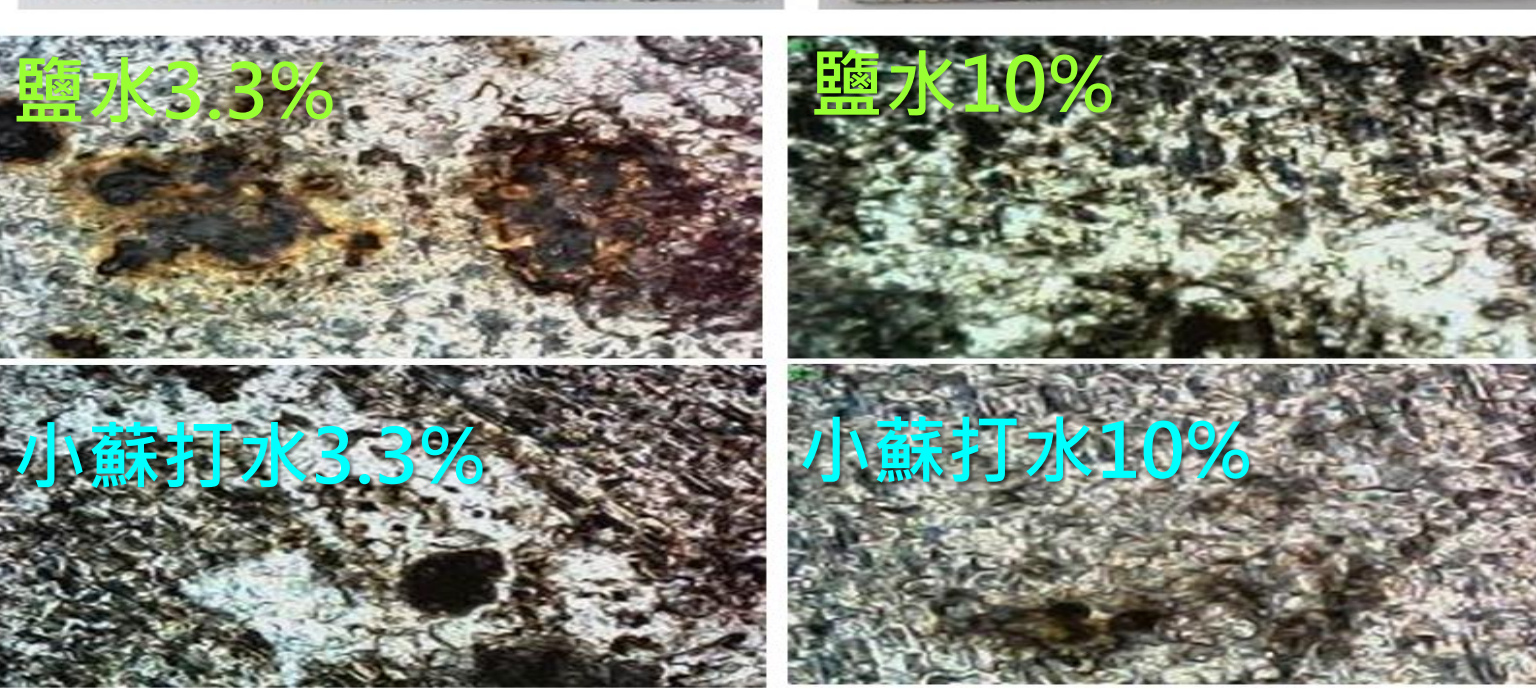
No.6a與 No.7a
正反兩面生鏽
原本狀況



電化學
除鏽狀況



利用LED顯微鏡
觀察電化學除鏽
後的細微變化

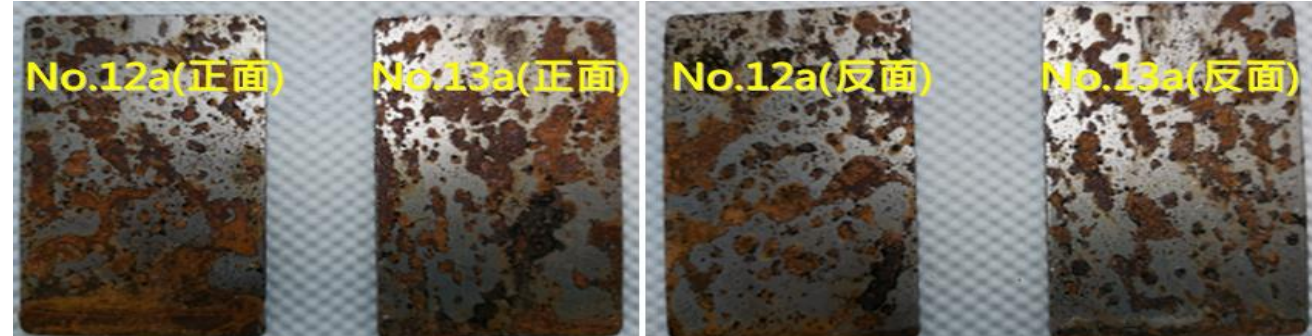


討論：鹽水和小蘇打水都能用電化學除鏽，小蘇打水除鏽效果較佳。鹽水也能除鏽，但在電化學反應中會產生氯氣，且耗電較大，不適合。

3. 電解液：

- 【小蘇打5%+冷水(17°C) vs 小蘇打5%+熱水(75°C)】
- 【小蘇打5%+熱水(75°C) vs 小蘇打10%+冷水(17°C)】
- 【小蘇打5%+熱水(75°C) vs 小蘇打10%+熱水(75°C)】

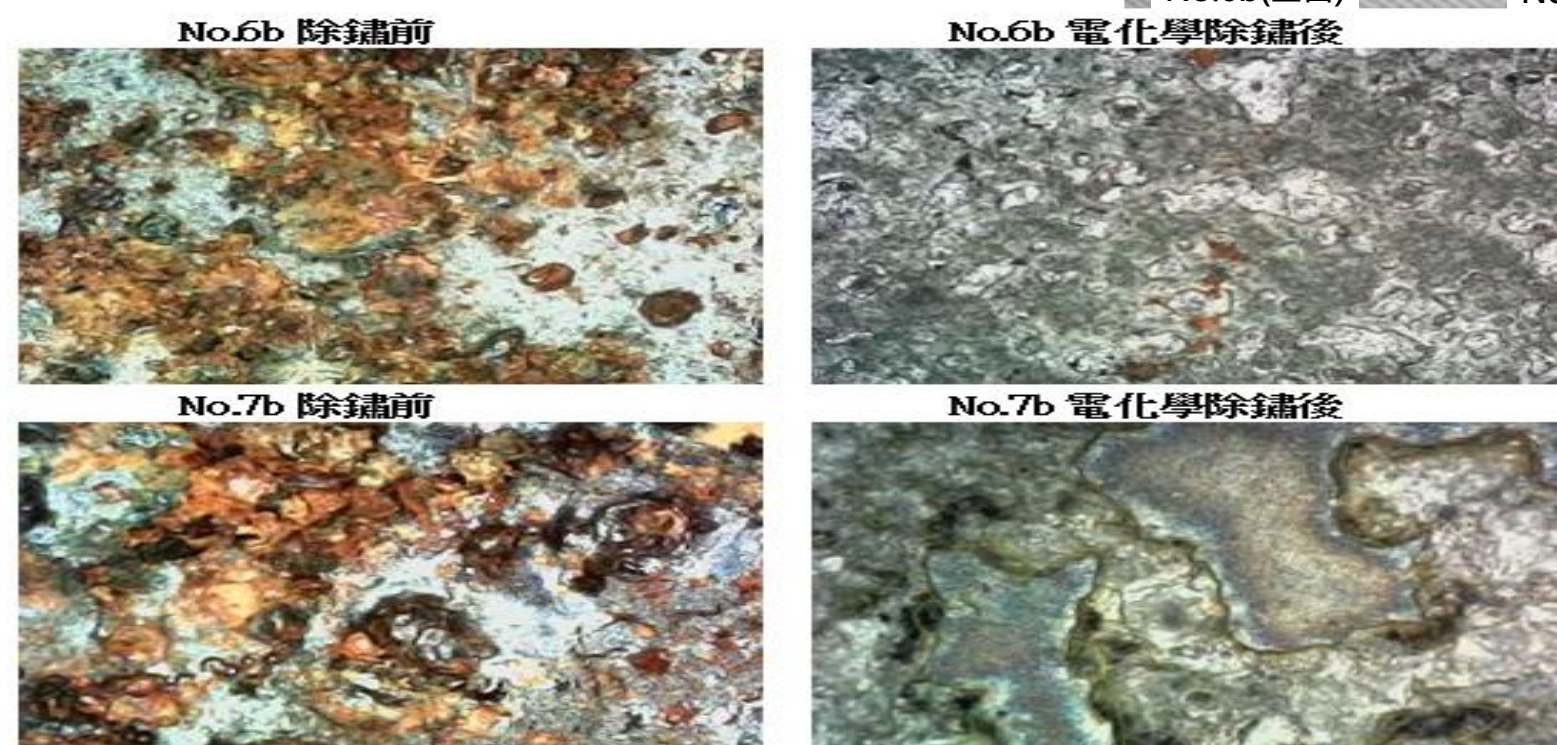
長形鐵片：
No.12a與No.13a
正反兩面原本生鏽狀況



分別以小蘇打5%(冷水)與小蘇打5%(熱水)對 No.12a 與 No.13a 進行電化學除鏽 1 個小時，實驗結果如右圖：



- 以小蘇打5%+熱水(75°C)與小蘇打10%+冷水(17°C)對 No.6b與No.7b進行電化學除鏽 1 Hr，結果如右：



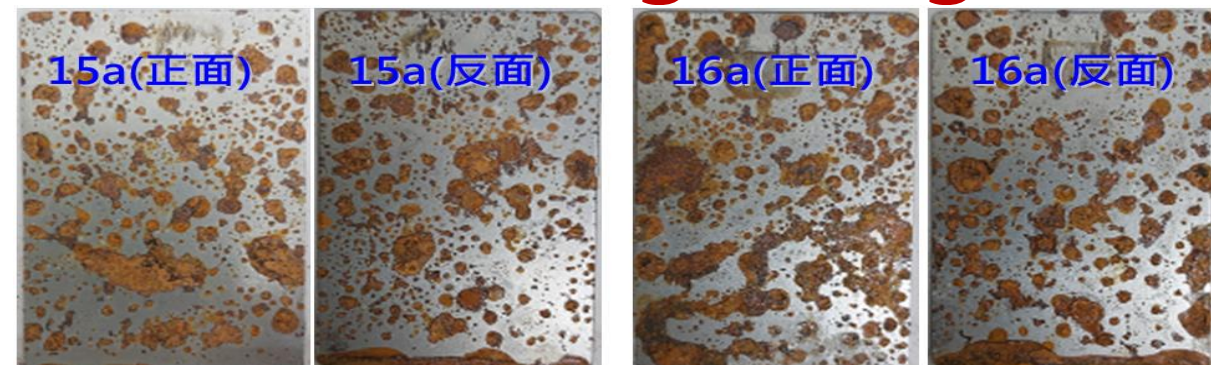
利用LED顯微鏡觀察電化學除鏽後的細微變化

討論：相同濃度的小蘇打水(5%)，熱水的除鏽效果優於冷水，【小蘇打水(10%)+冷水】與【小蘇打水(5%)+熱水】則電化學除鏽效果相當。所以增加小蘇打水的濃度或者提高水溶液的溫度都有利於強化電化學的除鏽效果。

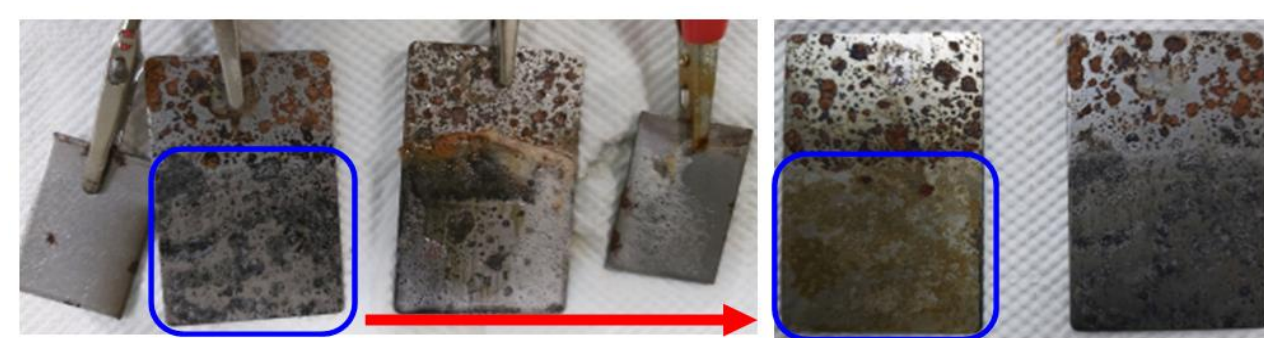
2. 電解液：

- 【醋 vs 氫氧化鈉5%】(均為水溶液)
- 【小蘇打水5% vs 氫氧化鈉5%】
- 【小蘇打粉15g+鹽5g vs 氫氧化鈉15g+鹽5g】

長形鐵片：
No.15a與No.16a
正反兩面原本生鏽狀況

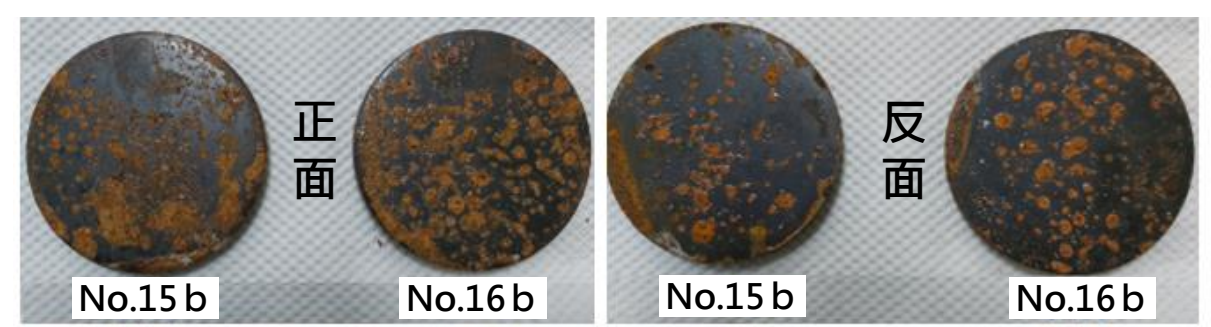


以醋與氫氧化鈉5%進行電化學除鏽1個小時，結果如下：



No.15a的電解液為醋，對比左圖藍色圈處可看出又開始生鏽了。

圓形鐵片：
No.15b與No.16b
正反兩面原本生鏽狀況



以小蘇打水5%與氫氧化鈉水溶液5%進行電化學除鏽1個小時，實驗結果如右圖：



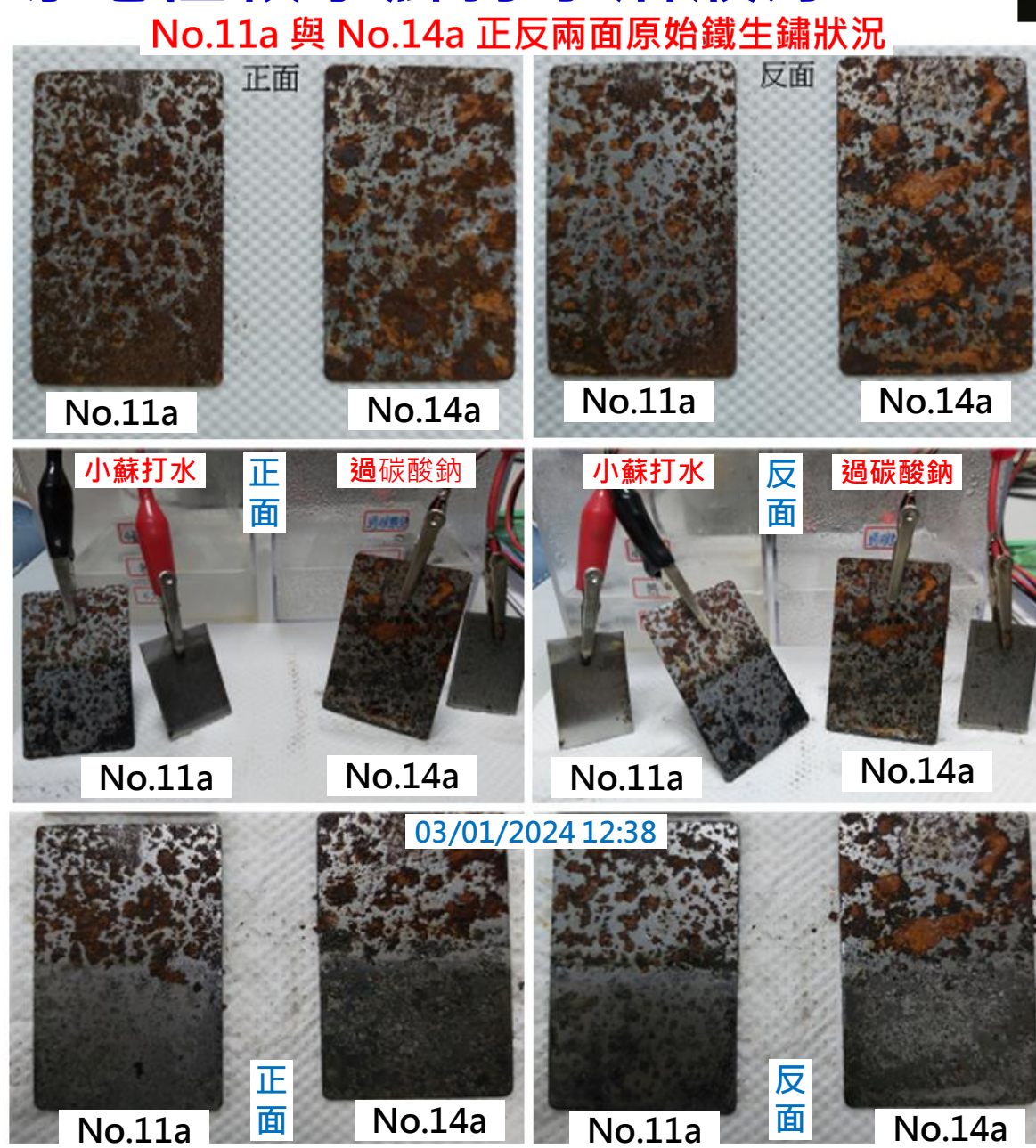
再以電解液小蘇打粉15g+鹽5g與氫氧化鈉15g+鹽5g對No.16b與No.15b的另一半邊生鏽圓進行電化學除鏽1個小時，實驗結果如右圖：



討論：以醋、氫氧化鈉及小蘇打水做電化學除鏽效果比較，以小蘇打水(5V/0.55A)表現最優，其次是氫氧化鈉與醋。氫氧化鈉是強鹼，耗電(4.2V/3.08A)為三者最大，醋的缺點是除完鏽，若不清洗乾淨，鐵片會二次生鏽。

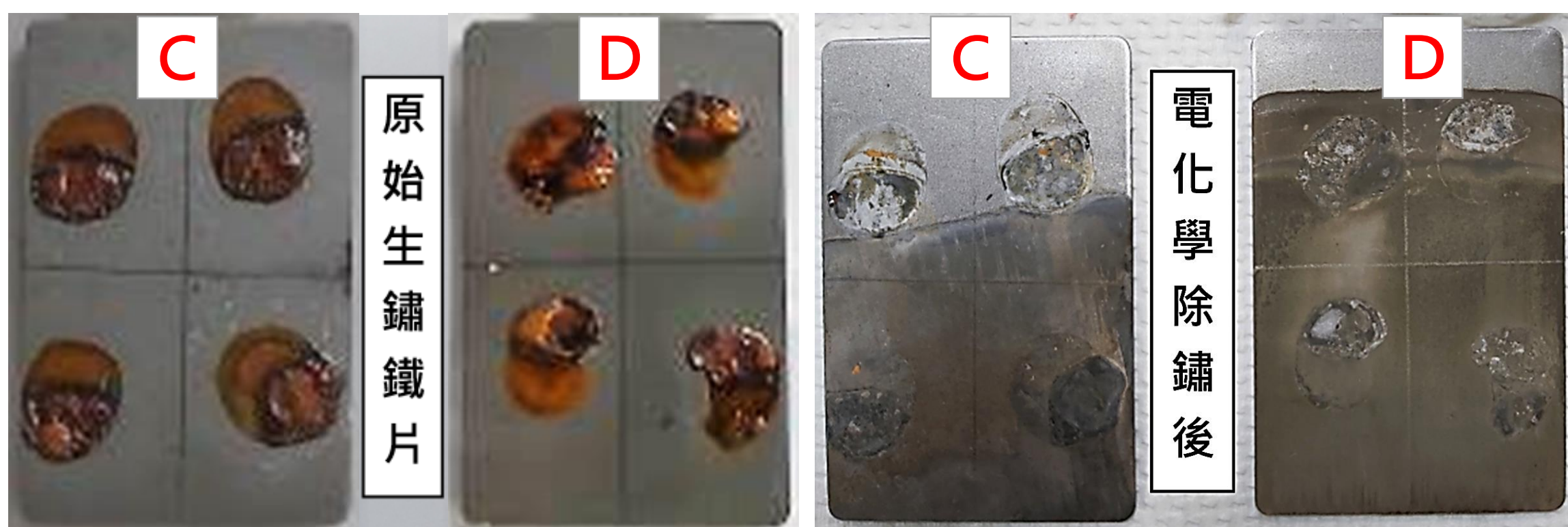
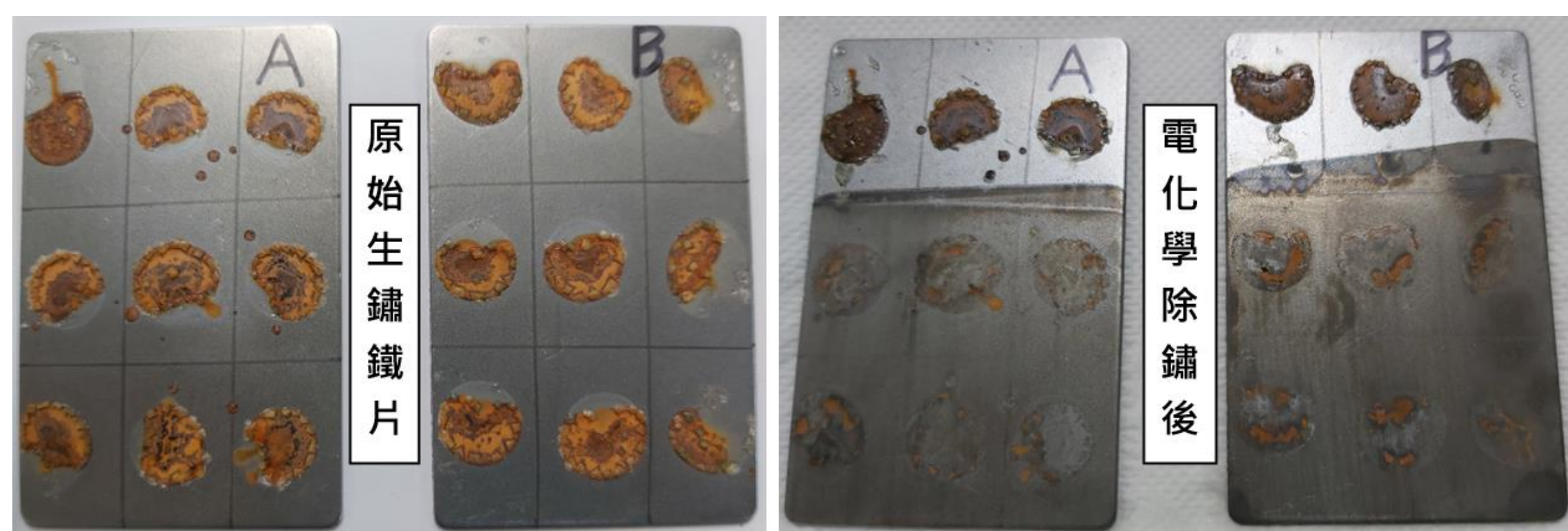
4. 電解液：

【小蘇打5%+熱水(52°C) vs 過碳酸鈉5%+熱水(52°C)】
利用自製水溶液導電性測試組，由LED燈的亮度變化判斷溶液導電性的優劣。從LED燈亮度比較，可知過碳酸鈉水溶液導電性較小蘇打水溶液好。



討論：過碳酸鈉是近期很夯的清潔劑，我們以過碳酸鈉與小蘇打進行PK。在相同濃度下，過碳酸鈉的導電性優於小蘇打；電化學的除鏽觀察，兩者都能順利將鐵鏽去除，只是去除鐵鏽後的金屬表面，仍以小蘇打水的表現為優。

5. 變換陽極氧化片：【A:石墨、B:鋁箔片、C:鋅片、D:銅片】【電解液：小蘇打5%+純水(23°C)】



討論：從照片看來，四者都有除鏽效果，但以石墨的除鏽效果略佳。能導電的物質都可作為陽極氧化片，使用在電化學除鏽上。但考量材料的成本、取得方便性以及除鏽效果，陽極氧化片還是採用一般鐵片較為適當。

結論

- 酸性物質、鹽、潮濕高溫環境都是加速鐵生鏽的因子，不讓鐵製品接觸到它們，就能延緩鐵生鏽。
- 小蘇打水具有很好的防鏽效果，廚具、鐵製品不用時，可塗抹一層食用級蘇打水作為防鏽之用，使用時再以清水沖洗，方便又安全無虞。
- 鐵製品生鏽，可以利用電化學對鐵鏽進行氧化還原反應來除鏽。
- 電解液只要具有導電性，就能順利讓鐵離子進行氧化還原反應，完成除鏽。但要注意反應過程是否會產生不好的物質，例如：鹽水在電解過程中會產生有毒的氯氣，對身體和環境都不好。
- 酸性電解液的缺點是除完鏽後，若沒將電解液沖洗乾淨，酸性成分會讓鐵製品二次生鏽。
- 小蘇打電解液操作在5伏特電壓下，就能除鏽，且電流小於1安培。因此推薦使用小蘇打粉+熱水作為電化學除鏽的最佳電解液。
- 小蘇打電解液是鹼性溶液，是我們認為電化學除鏽效果最佳的電解液，有下列幾項優點：
 - 促進還原反應：鐵的鏽層在鹼性條件下會被還原為溶於水的鐵離子，有助於除鏽。
 - 強化鹼性環境濃度：鹼性環境中水產生的氫氧根離子，有助於中和酸性鏽層，促進還原反應。
 - 提高離子導電度：鹼性環境可增加水的氫氧根離子濃度，提高水的電導度，促進電化學反應。
- 改造USB電線的另一端使之接上鱷魚夾，即可利用USB電源設備在家中以電化學方式輕鬆除鏽，這是本研究對永續環境發展作出的小小貢獻。

