

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 化學科

第二名

030207

金屬防鏽探究

學校名稱：金門縣立金湖國民中學

作者：  國二 何明祐  國二 蔡旻宏	指導老師：  王炳志  蔡竺芳
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：鏽蝕、氧化、活性

# 金屬防鏽探究

摘要：

「鏽」是金屬表面因氧化而產生的氧化物或是氫氧化物，是一種氧化反應的產物，金屬的氧化生鏽，在有氧及潮溼的環境中，最容易發生，如果有酸性物質存在，則會加速生鏽，影響金屬生鏽的原因包括：金屬材質種類(活性大小)、氧氣供應、水氣濕度、溫度、金屬浸泡溶液酸鹼性、材質變形處理等因素有關。

本活動探討影響金屬生鏽的因素：金屬材質種類、氧氣、水分、溫度、溶液酸鹼性、金屬形狀、覆蓋物等，我們以簡易材料設計實驗探討金屬生鏽的因素，同時探討防鏽的方法。

壹、研究動機：

家中有些金屬物品，使用一段時間後，表面會產生鏽斑，特別是浴室或廚房裡的金屬器具，生鏽的程度更明顯，但是，也有一些金屬不易鏽蝕，我們想改良實驗設備，探討影響金屬生鏽的因素有那些?並研究簡易防鏽方法。我們一方面搜尋資料，同時利用簡易材料設計實驗探討常見金屬物質的防鏽效果。

貳、研究目的：

- (一) 探討空氣、水分對金屬生鏽的影響。
- (二) 探討金屬在不同氣體中生鏽的快慢。
- (三) 探討空氣濕度對金屬生鏽的影響。

- (四) 不同金屬生鏽快慢程度探討。
- (五) 研究溫度對金屬生鏽快慢的影響。
- (六) 探討溶液種類對金屬生鏽快慢的影響。
- (七) 研究金屬彎曲或變形處理與生鏽快慢的關係。
- (八) 研究金屬纏繞在鐵釘上對鐵釘生鏽快慢的影響。

參、研究設備器材：

鐵釘、鐵片、銅片、鋅片、鋁片、錫片、鋼絲絨、廣口瓶、酒精燈、燒杯、電暖器、試管、玻璃、食鹽水、醋酸、鹽酸、糖水、剪刀、酒精、氫氧化鈉、蒸餾水、三腳架、陶瓷纖維網、鐵鎚、鉗子、注射筒、直尺、碼錶



圖 1 作者自行拍攝



圖 2 作者自行拍攝



圖 3 作者自行拍攝

肆、文獻探討：

一、金屬的鏽蝕：「鏽」是金屬表面因氧化而產生的氧化物或是氫氧化物，金屬的鏽蝕是一種氧化反應，大部分金屬都會鏽蝕，金屬的氧化生鏽，在有氧及潮溼的環境中，最容易發生，如果有酸性物質存在，則會加速生

鏽程度。

二、鐵生鏽的要件：空氣(氧)、水，氧和水是鐵生鏽的要素，鐵在純氧中較在空氣中易生鏽、潮濕的鐵較乾燥的鐵生鏽快、鐵在酸性溶液中較在純水中生鏽快速。

三、常見金屬的生鏽：鐵會生鏽，很多家中常見金屬也都會生鏽，金屬生鏽快慢程度和金屬的活性有關，也和氧化後所產生鏽的性質有關。例如鋁比鐵更容易生鏽，鐵鏽和鋁鏽，都是氧化產物，只是鐵氧化所產生的鐵鏽是疏松鬆鬆的，而鋁氧化所生成的鋁鏽氧化鋁，細密不容易溶解且緊密的貼在鋁的表面，防止鋁和氧繼續氧化，因為它有這種特性，而且重量輕，也可以與其他金屬製成合金，常用來製造鋁容器、鋁門窗，鋅的鏽蝕產物也和鋁鏽具有相同特性。

四、相關研究：我們研究許多探討金屬生鏽的科學展覽作品，探討金屬生鏽的已知實驗設計，歸納金屬生鏽的實驗設計，如下表：

置放測試金屬生鏽的主要容器	觀測主要內容	我們發現可再精進的探究亮點
燒杯、試管、錐形瓶、夾鏈袋、注射筒、塑膠瓶、玻璃罐	金屬鏽蝕的影響因素、金屬鏽蝕的顏色、金屬鏽蝕的狀態、金屬鏽蝕的前後質量變化、金屬鏽蝕的快慢程度	1. 許多實驗的探究項目偏向金屬鏽蝕的質性探討。 2. 很多實驗是在開放的容器內進行，量化金屬生鏽程度的實驗誤差較

		大。
--	--	----

伍、研究過程與結果：

一、研究架構與流程圖

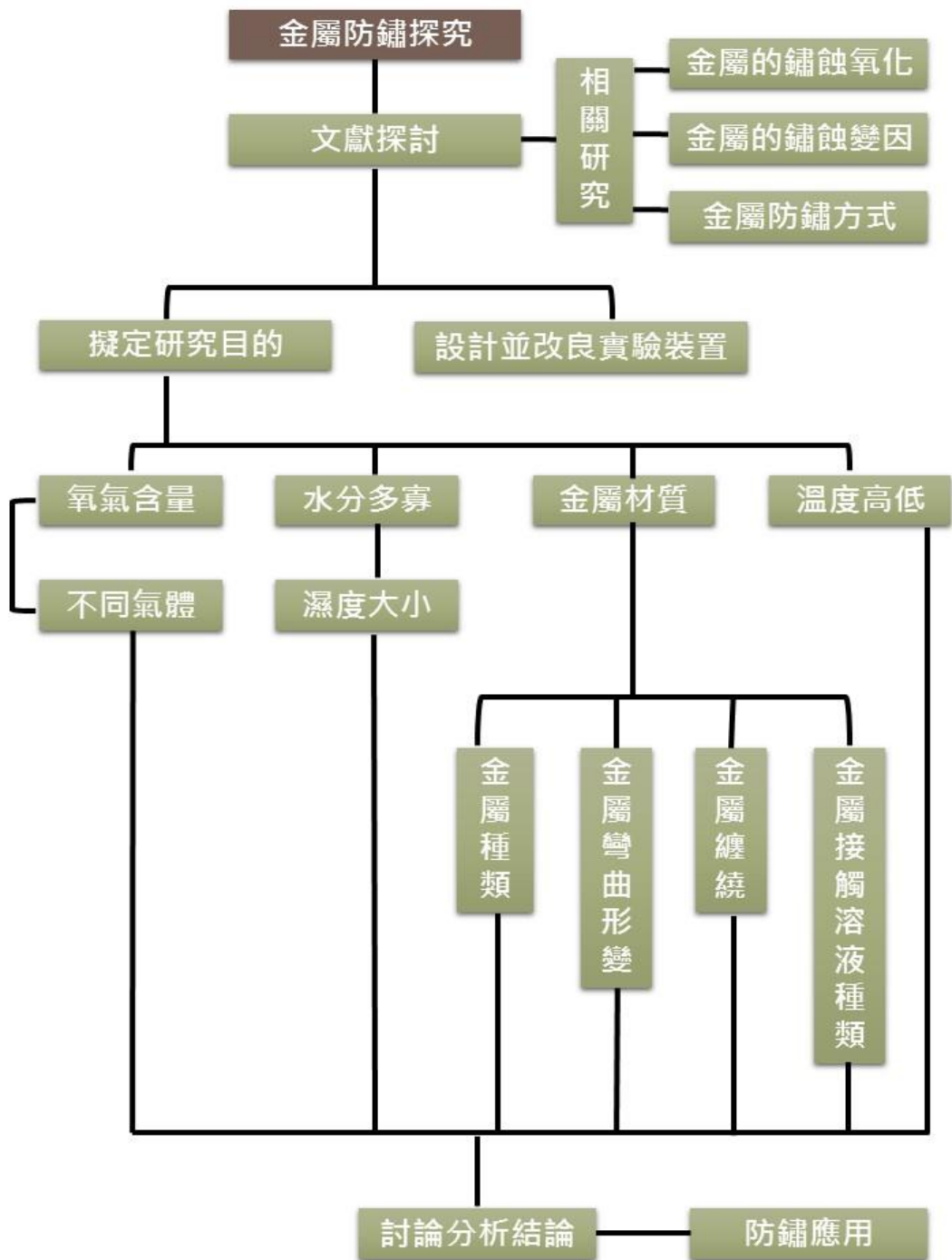


圖 4 作者自行繪製

## 二、我們研究改良的自製實驗設計：

在文獻探討-四、相關研究中，我們發現，若將注射筒結合 T 型三叉閥、連接細玻璃管，如圖



圖 5 作者自行拍攝



圖 6 作者自行拍攝

控制 T 型三叉閥，將待測金屬置放在注射筒內，每次只在注射筒內改變一個變因，觀察金屬生鏽耗掉筒內氧氣所造成的細玻璃管內水柱上升高度，以此高度表示金屬生鏽氧化的快慢程度。

## 三、研究過程

過程一：探討空氣、水分對金屬生鏽的影響。

步驟：

1. 如圖裝置，分別取三隻相同口徑注射筒，先不置放待測金屬，分別以空注射筒、裝乾燥劑注射筒、裝脫氧劑注射筒進行對照實驗，觀測水柱上升情形，每天觀察一次，觀察 10 天。



圖 7 作者自行拍攝



圖 8 作者自行拍攝



圖 9 作者自行拍攝

2. 取鐵片、銅片各三片(面積大小相同 3cm\*5cm)。
3. 如圖裝置，分別取三隻相同口徑注射筒，A 注射筒內裝有鐵片及乾燥劑，B 注射筒內裝有鐵片及脫氧劑，C 注射筒內裝有潮濕鐵片。
4. 利用注射筒下端細玻璃管內水注上升高度紀錄鐵生鏽情形。



圖 10 作者自行拍攝



圖 11 作者自行拍攝



圖 12 作者自行拍攝

5. 每天觀察一次鐵片生鏽情形，連續觀察 10 天，並將結果紀錄。
6. 將注射筒金屬改為銅片，重複上述步驟。

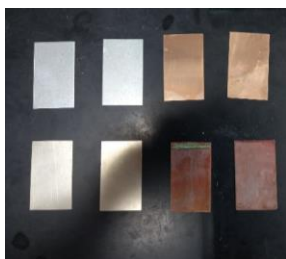


圖 13 作者自行拍攝

結果與分析：

1. 結果如下表所示：(單位 cm)

(1) 未放置待測金屬情形

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
乾燥空氣	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
脫氧空氣	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
空量筒	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

表 1 作者自行實驗數據

未放置待測金屬進行對照實驗，發現水柱並無顯著上升，以觀察天數當橫坐標、水柱高度當縱座標作圖如下：

(1) 未放置待測金屬情形

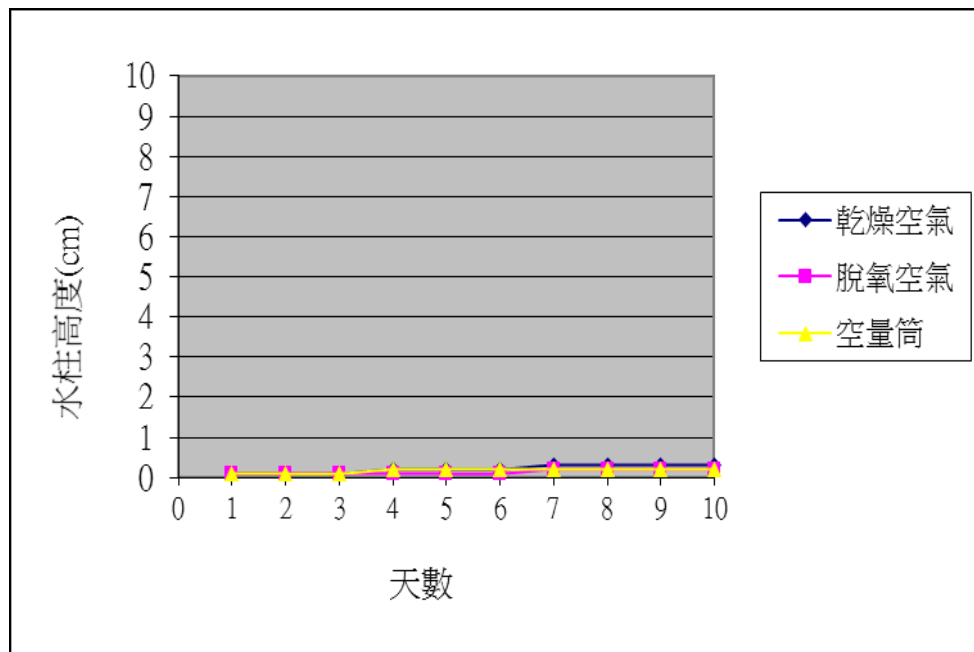


圖 14 作者自行繪製

(2) 鐵片在不同狀態生鏽情形

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----



乾燥空氣	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.1
脫氧空氣	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	0.8
潮濕空氣	0.8	1.1	1.5	2.1	3.2	3.6	4.8	5.9	7.1	8.3

表 2 作者自行實驗數據

(3) 銅片在不同狀態生鏽情形

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
乾燥空氣	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
脫氧空氣	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4
潮濕空氣	0.6	0.9	1.3	1.4	1.6	1.8	2.5	3.1	3.6	4.7

表 3 作者自行實驗數據

- 由上表 (2)、(3) 得知，相同金屬在不同條件下，生鏽快慢不一樣，潮濕空氣中>乾燥空氣中>脫氧空氣中，可知，水是造成金屬生鏽的重要因素，空氣中的氧氣也是造成金屬生鏽的重要原因。
- 由表中也發現，金屬生鏽的快慢和金屬材質也有關，鐵片生鏽的程度快於銅片生鏽的程度。
- 將上表作圖如下，以觀察天數當橫坐標、生鏽程度當縱座標。

(2) 鐵片在不同狀態生鏽情形

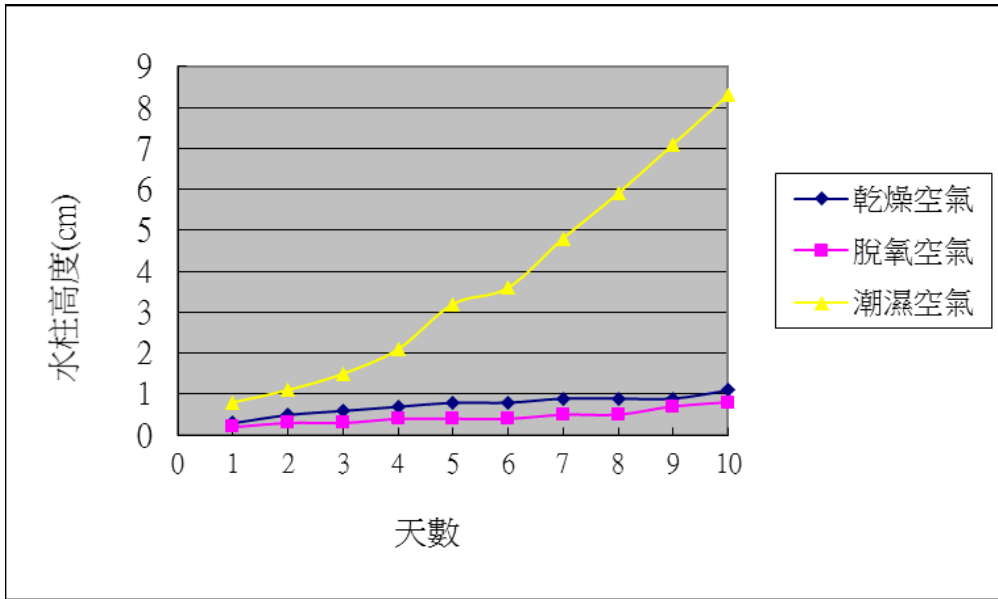


圖 15 作者自行繪製

(3) 銅片在不同狀態生鏽情形

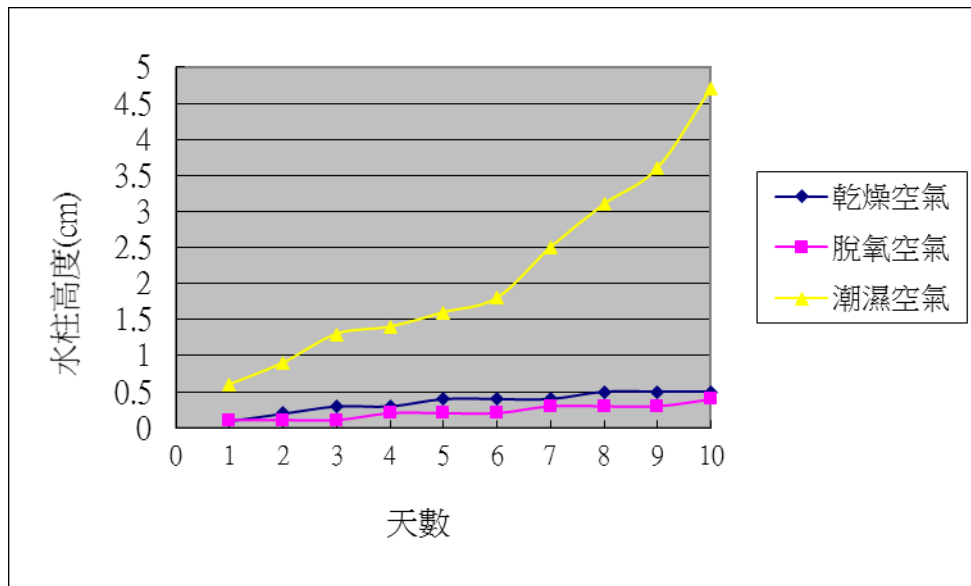


圖 16 作者自行繪製

5. 由圖中得知，潮濕空氣中的金屬鏽蝕程度比乾燥空氣及脫氧空氣中的金屬大很多，尤其到第 6 天之後明顯產生大量鏽斑。
6. 金屬生鏽是金屬氧化的現象，同時需要氧氣及水分。

## 過程二：探討金屬在不同氣體中生鏽的快慢

步驟：

1. 如圖裝置，分別取三隻相同口徑注射筒，內裝有相同質量沾水的鋼絲絨，由 T 型三叉閥分別充入空氣、氧氣、二氧化碳，關閉 T 型閥，使細玻璃管與注射筒串成通路。



圖 17 作者自行拍攝



圖 18 作者自行拍攝



圖 19 作者自行拍攝

2. 調整注射筒活塞，使細玻璃管內外水面一致。
3. 每天觀察注射筒中鋼絲絨生鏽情形及細玻璃管中水柱上升情形。
4. 連續觀察 10 天，每天紀錄鋼絲絨生鏽情形及水柱高度。

結果與分析：

1. 結果如下表所示：(單位 cm)。

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
空氣	0.8	1.1	1.3	1.9	3.2	3.8	4.7	5.4	5.9	6.6
氧氣	4.8	7.1	7.6	8.2	10.9	13.9	17.3	19.1	19.8	20.7
二氧化碳	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6

表 4 作者自行實驗數據

由上表得知，濕的鋼絲絨在純氧中最易生鏽，且會大量耗掉氧氣，使得

水柱高度迅速上升，濕的鋼絲絨在空氣中生鏽情形次之，在二氧化碳中鏽蝕情形最差。

2. 我們將上表作圖，以觀察天數當橫坐標、鏽蝕情形當縱座標，得到以下圖形：

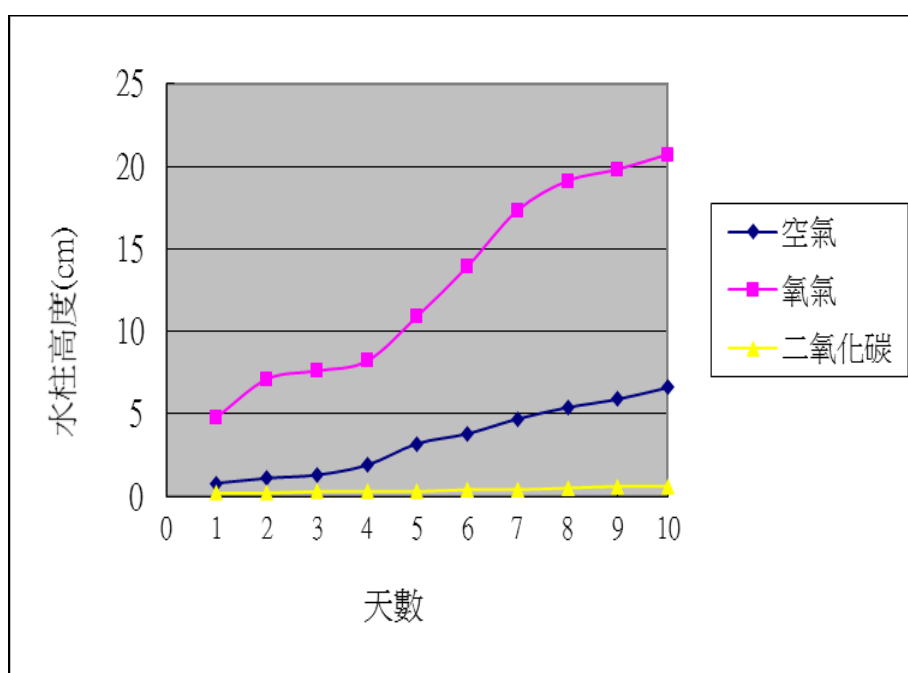


圖 20 作者自行繪製

由圖中可看出，二氧化碳幾乎不會使濕的鋼絲絨生鏽，空氣中因為含有約 1/5 的氧氣，所以鋼絲絨也會生鏽，但生鏽速度比在純氧中慢。

過程三：探討空氣濕度對金屬生鏽的影響。

步驟：

1. 如下圖裝置，分別取五隻相同口徑注射筒，內裝有相同質量鋼絲絨，利用雙氧水收集純氧五瓶，由 T 型三叉閥充入氧氣，關閉 T 型閥，使細玻璃管與注射筒串成通路。
2. 將注射筒內鋼絲絨用噴霧器噴水霧。

3. 用噴霧器噴水霧，改變瓶中濕度，分別噴水霧 0.5ml、1.0ml、1.5ml、2.0ml、2.5ml。



圖 21 作者自行拍攝

4. 連續觀察 10 天，將生鏽情形紀錄並分析。

結果與分析：

1. 結果如下表所示：(單位 cm)：

天數/ 水霧 含量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.5ml	1.2	2.2	3.1	3.8	4.4	5.2	5.6	6.1	6.4	6.8
1.0ml	1.6	2.6	3.6	4.2	4.9	5.6	6.2	6.9	7.4	7.6
1.5ml	2.0	3.6	4.8	5.8	6.8	7.6	8.7	9.2	9.6	9.9
2.0ml	2.8	4.4	5.8	7.2	8.2	8.9	9.9	10.7	11.5	11.8
2.5ml	3.6	5.6	7.2	8.4	9.6	10.4	11.9	12.7	13.5	13.9

表 5 作者自行實驗數據

2. 由表中得知，鋼絲絨的水氣含量越高，在氧氣中鏽蝕程度越快。

3. 我們將上表作圖如下，以觀察天數當橫坐標、鏽蝕程度當縱座標，得

到以下圖形：

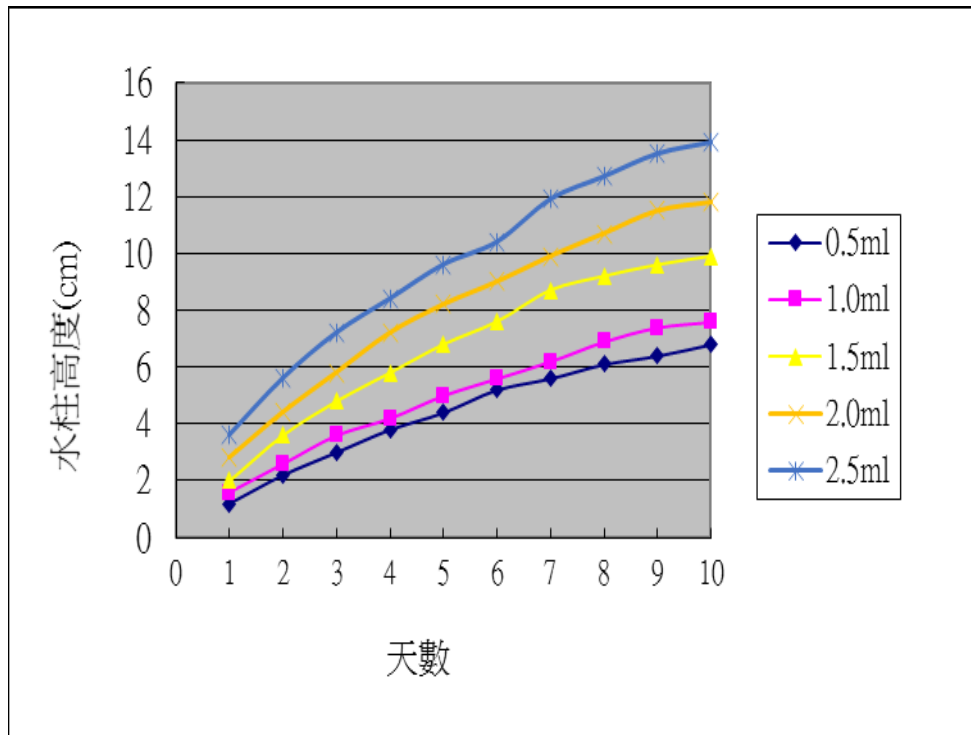


圖 22 作者自行繪製

4. 由圖中得知，金屬的水氣含量越高，濕度越大，鏽蝕程度越明顯，但是，實驗過程中，我們也發現，如果金屬含水量過多，部分水氣會流失。

#### 過程四：不同金屬生鏽快慢程度探討

步驟：

1. 取五種常見金屬(銅片、鐵片、錫片、鋁片、鋅片)各一片。
2. 分別取五隻相同口徑注射筒，內裝有相同質量不同材質金屬片，由 T 型三叉閥充入氧氣，關閉 T 型閥，使細玻璃管與注射筒串成通路。



圖 23 作者自行拍攝

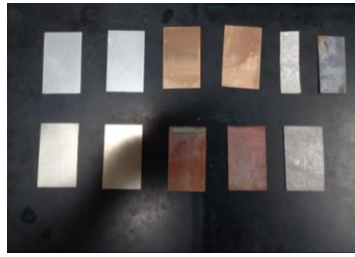


圖 24 作者自行拍攝

3. 將注射筒內用噴霧器噴水霧。
4. 將裝置置於空氣流通處，觀察各金屬生鏽情形。
5. 連續觀察 10 天，將生鏽情形紀錄並分析。

結果與分析：

1. 結果如下表所示：(單位 cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
銅片	1.1	2.2	3.2	3.8	4.6	5.5	5.9	6.3	6.5	6.7
錫片	1.9	2.9	3.8	4.5	5.3	5.9	6.5	7.4	7.8	8.1
鐵片	2.5	4.1	5.3	6.2	7.3	8.1	9.3	9.9	10.6	11.2
鋅片	3.6	6.2	8.5	11.1	12.9	13.1	13.2	13.3	13.3	13.3
鋁片	4.6	7.6	10.2	12.5	14.5	16.1	16.8	17.1	17.2	17.2

表 6 作者自行實驗數據

2. 由上表得知，不同金屬生鏽快慢不一樣，其中以鋁片、鋅片最快，錫片、鐵片居中，銅片最慢。
3. 我們將表格作圖如下，以觀察時間當橫座標，鏽蝕程度當縱座標，如

下圖所示：

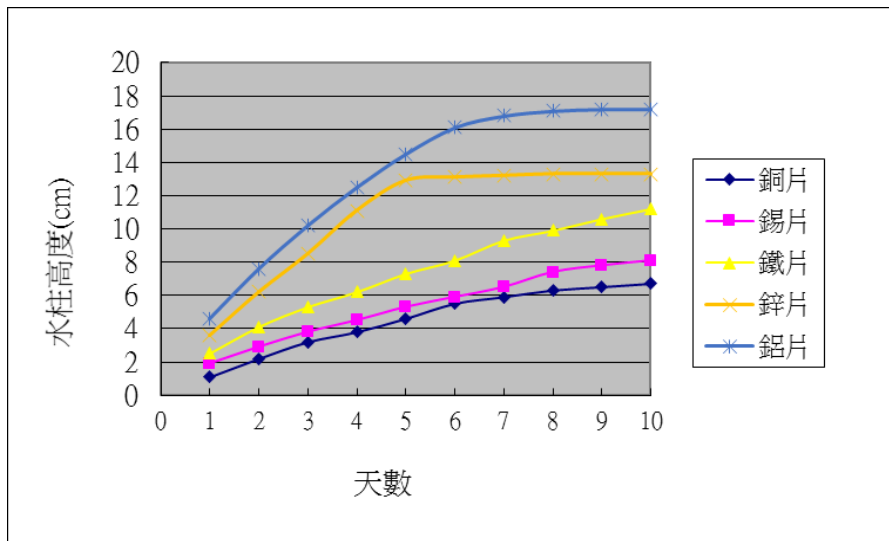


圖 25 作者自行繪製

4. 由上圖得知，金屬生鏽快慢程度不同，對氧活性越大，鏽蝕程度越明顯，其鏽斑有不同顏色外觀，並且有些鏽斑(像鋅的灰白鏽、鋁的灰黑鏽)會保護內部，使其內部不再被鏽蝕，因此，鋅片、鋁片鏽蝕曲線漸趨向水平。

過程五：研究溫度對金屬生鏽快慢的影響

1. 如下圖裝置。
2. 取鐵片五片，分別放入注射筒內。
3. 用電暖器維持溫度在 20°C 至 60°C 之間。
4. 觀察不同溫度下鐵片生鏽情形。



圖 26 作者自行拍攝



5. 觀測 10 天，並紀錄並分析之。

結果與分析：

1. 結果如下表所示：(單位 cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21°C	2.1	3.2	4.1	4.8	5.5	6.2	6.8	7.7	8.1	8.7
29°C	2.5	4.1	5.4	6.3	7.4	8.3	9.3	9.9	10.7	11.5
38°C	3.3	5.2	7.5	9.3	10.8	12.1	13.2	14.5	15.8	16.7
46°C	4.1	6.3	8.9	10.7	12.7	13.9	15.1	16.3	16.8	17.7
55°C	4.5	7.7	10.3	12.7	14.7	16.2	16.8	17.5	17.9	18.2

表 7 作者自行實驗數據

2. 由上表得知，相同金屬在不同溫度時生鏽快慢不一樣，溫度愈高，生鏽的速度也愈快，因為溫度會影響金屬氧化的速率。

3. 將上表作圖如下，以觀察天數為橫座標，生鏽程度為縱座標，結果如下：

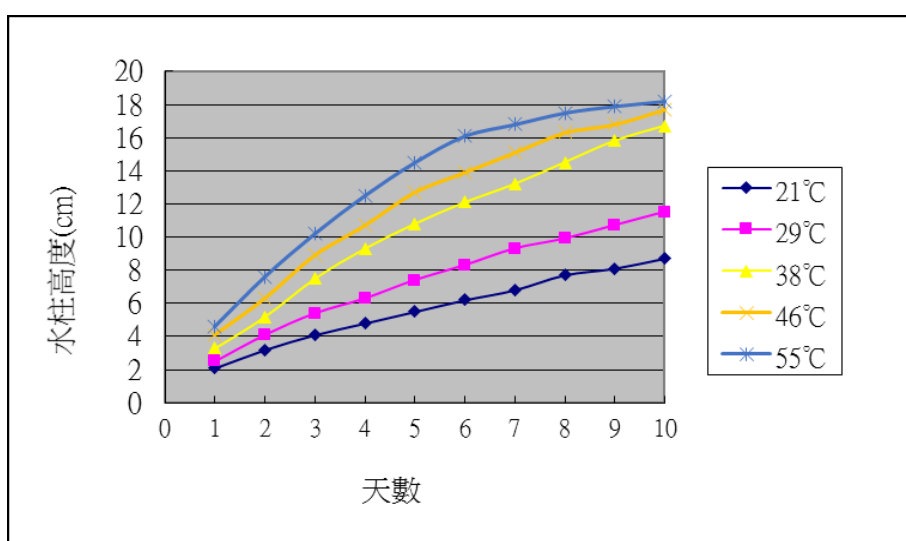


圖 27 作者自行繪製

4. 由圖中看出，溫度維持在 20°C 至 30°C 之間時，鏽蝕情形隨時間呈線性變化，溫度在 55°C 時，鏽蝕情形隨時間呈曲線變化。

過程六：探討溶液種類對金屬生鏽快慢的影響

步驟：

1. 如圖裝置，分別取六隻相同口徑注射筒，內裝有相同質量鋼絲絨。
2. 將相同質量鋼絲絨分別浸泡蒸餾水、稀鹽酸、醋酸、食鹽水、稀氫氧化鈉溶液、酒精。



圖 28 作者自行拍攝

3. 觀察鋼絲絨生鏽快慢情形。
4. 連續觀察 10 天，將生鏽情形紀錄並分析之。

結果與分析：

1. 研究結果如下表所示：(單位 cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
蒸餾水	0.6	1.6	2.8	3.7	4.6	5.3	5.8	6.3	7.3	7.9
鹽酸	2.9	7.1	10.2	12.5	14.5	15.9	16.8	17.5	17.9	18.2

醋酸	2.3	5.1	7.8	9.7	11.6	12.8	14.1	15.3	16.3	16.8
食鹽水	1.1	2.9	5.2	6.9	8.5	9.7	10.8	12.1	13.2	14.3
氫氧化鈉溶液	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.1
酒精	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8

表 8 作者自行實驗數據

- 由上表結果得知，金屬在鹽酸、醋酸及食鹽水中極易生鏽，在氫氧化鈉溶液及酒精中不易生鏽。
- 鹽酸、醋酸為酸性電解質溶液，會加速金屬的鏽蝕程度，食鹽水為中性電解質溶液，也會加速金屬的鏽蝕程度，但鏽蝕程度小於酸性溶液。
- 氫氧化鈉溶液為鹼性電解質溶液，不會對金屬的鏽蝕產生明顯影響，酒精為有機醇，也不會對金屬的鏽蝕產生明顯影響。
- 將上表作圖，以觀察天數為橫座標，生鏽程度為縱座標，結果如下：

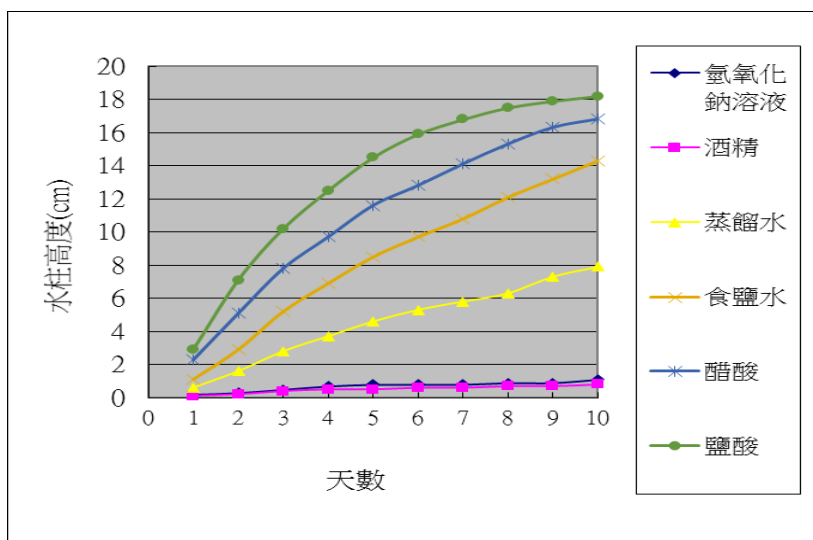


圖 29 作者自行繪製

- 由圖中看出，金屬在鹽酸、醋酸中鏽蝕程度隨時間成曲線遞增，在食鹽水中鏽蝕程度也是隨時間遞增，但是在氫氧化鈉溶液及酒精中卻不

易鏽蝕。

### 過程七：研究金屬彎曲或變形處理與生鏽快慢的關係

步驟：

1. 如圖裝置，分別取六隻相同口徑注射筒，內裝有相同面積、質量鐵片。
2. 其中 1 片鐵片不變形，其餘 5 片鐵片分別被彎曲成角度  $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $150^\circ$ 。



圖 30 作者自行拍攝



圖 31 作者自行拍攝

3. 每天紀錄鐵片生鏽的情形。
4. 連續觀察 10 天，紀錄並分析之。

結果與分析：

1. 結果如下表所示：(單位 cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$30^\circ$	4.2	7.1	10.3	12.6	14.6	15.8	16.9	17.6	17.9	19.2
$60^\circ$	3.3	6.3	8.8	10.6	12.6	13.8	15.2	16.4	16.8	17.8
$90^\circ$	3.1	5.6	7.9	9.5	11.7	12.9	14.1	15.2	16.2	16.7
$120^\circ$	2.7	5.2	7.8	8.3	10.8	11.8	13.2	13.5	15.8	16.1

150°	2.3	4.3	6.5	7.6	8.6	10.8	12.1	12.7	14.1	14.5
180°	2.1	3.3	5.8	6.7	7.6	9.7	11.1	11.4	12.5	13.1

表 9 作者自行實驗數據

2. 由上表得知，鐵片被彎曲成的角度愈小，越容易鏽蝕，鐵片被彎曲成的角度愈大，越不容易鏽蝕。
3. 在實驗中也發現，鐵片最容易在彎曲處外側先鏽蝕，被彎曲成角度愈小，生鏽程度愈明顯，180°平面未彎曲鐵片生鏽程度最小。
4. 將上表作圖，以觀察天數為橫座標，生鏽程度為縱座標，結果如下：

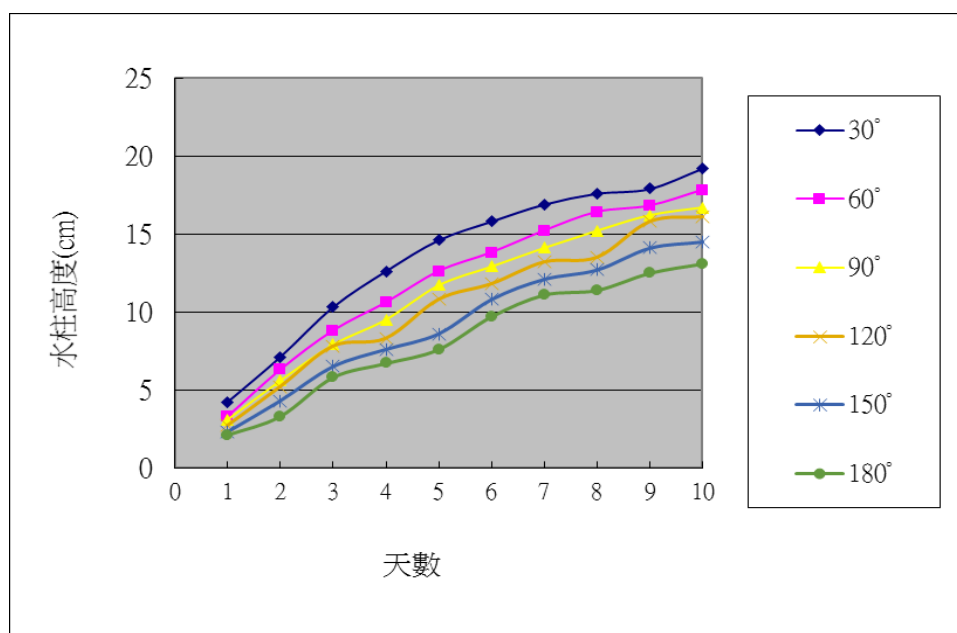


圖 32 作者自行繪製

5. 由圖中看出，鐵片彎曲角度不同時鏽蝕快慢： $30^\circ > 60^\circ > 90^\circ > 120^\circ > 150^\circ > 180^\circ$ ，被彎曲成的角度越小，越容易鏽蝕，我們推論，被彎曲成角度越小，在形狀改變的過程中，所受的破壞力越大，而且，我們也觀察到，彎曲點外側邊會先鏽蝕。

## 過程八：研究金屬纏繞在鐵釘上對鐵釘生鏽快慢的影響

步驟：

1. 如下圖裝置。
2. 取不同金屬薄片鋅、銅、鋁、鎂分別纏繞在鐵釘上。



圖 33 作者自行拍攝

3. 置於通風處，觀察各金屬片與鐵釘生鏽快慢的情形。
4. 連續觀察 10 天，紀錄鐵釘生鏽的情形。

結果與分析：

1. 結果如下表所示：：(單位 cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
鐵釘繞銅箔	1.2	2.3	3.4	3.9	4.8	5.7	6.1	6.5	6.7	6.9
鐵釘繞鋅箔	2.9	4.5	5.8	6.9	7.9	9.1	9.9	10.5	11.1	11.9
鐵釘	2.7	4.3	5.5	6.5	7.6	8.6	9.6	10.1	10.7	11.2
鐵釘繞鋁箔	4.5	6.7	9.1	11.6	12.9	13.9	14.5	15.1	15.6	16.2
鐵釘繞鎂帶	5.1	8.1	10.7	13.1	15.1	16.6	17.3	17.6	17.9	18.2

表 10 作者自行實驗數據

2. 由上表得知，鐵釘纏繞鎂帶、鋁箔、鋅箔都會讓鏽蝕程度更明顯，鎂、

鋁、鋅比鐵易生鏽，因其對氧活性比鐵大，而銅比鐵不易生鏽，因其對氧活性比鐵小，當兩種金屬纏繞在一起時，接觸點上必須先鏽蝕的金屬接觸部份已生滿鏽，另一種金屬才會生鏽。

3. 將上表作圖，以觀察天數為橫座標，生鏽程度為縱座標，結果如下：

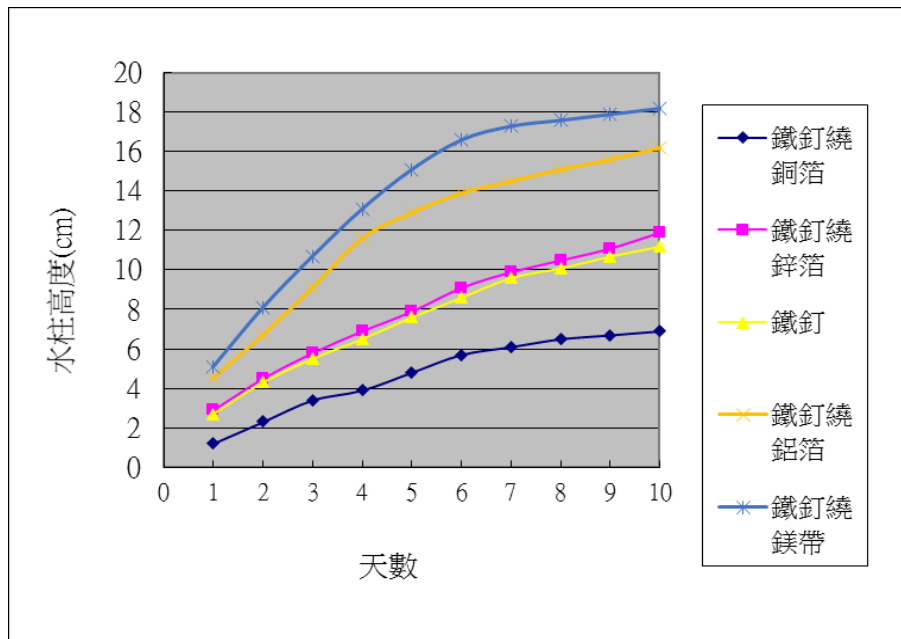


圖 34 作者自行繪製

- 由圖中看出，鐵釘纏繞鎂帶、鋁箔約經過 3 天，鏽蝕程度曲線就很高，鐵釘纏繞銅箔鏽蝕程度比較緩慢。
- 當兩種不同金屬纏繞在一起時，活性越大的金屬越容易鏽蝕，兩金屬之間的活性差距越大，鏽蝕程度越劇烈， $[\text{鎂}-\text{鐵}] > [\text{鋁}-\text{鐵}] > [\text{鋅}-\text{鐵}] > [\text{鐵}-\text{銅}]$ 。

陸、討論：

- 金屬生鏽時產生的「鏽」是金屬表面因氧化而產生的氧化物或是氫氧化物，是一種氧化反應的產物，金屬的氧化生鏽，在有氧及潮溼的環

境中，最容易發生，如果有酸性物質存在，則會加速生鏽，影響金屬生鏽的原因包括：金屬材質種類(活性大小)、氧氣供應、水氣濕度、環境溫度、溶液酸鹼性、材質變形處理等因素有關。

2. 在過程一得知，金屬所以會生鏽，是由於金屬和空氣中的氧氣和水發生反應的結果，不僅鐵會生鏽，其它各種金屬如銅、鋅也會生鏽，在氧氣供應充分、水氣濕度大的環境，金屬很容易生鏽。
3. 在過程二得知，濕的鋼絲絨在純氧中最易生鏽，且會大量耗掉氧氣，濕的鋼絲絨在空氣中生鏽情形次之，在二氧化碳中鏽蝕情形最差，由此推知，氧氣的供應濃度會影響金屬鏽蝕程度，濃度越大，鏽蝕氧化速率越大越快。
4. 在過程三中，我們發現金屬的水氣含量越高，濕度越大，鏽蝕程度越明顯。
5. 在過程四中，我們觀察到，鐵鏽有暗青鏽、暗紅鏽、黑鏽三種，銅鏽有黑鏽、暗紅鏽、綠鏽三種，鋅有灰白鏽，鋁有灰白鏽、灰黑鏽，其它金屬也有不同顏色的鏽斑。得知鋅比較容易生鏽，但這層在表面生成的鏽可保護裡面的鋅不再持續生鏽。但鐵的暗紅鏽與銅的暗紅鏽、綠鏽卻沒有保護內部作用，會持續鏽蝕內部。鋁氧化所生成的鋁鏽氧化鋁，細密不容易溶解且緊密的貼在鋁的表面，防止鋁和氧繼續氧化，因為它有這種特性，而且重量輕，也可以與其他金屬製成合金，常用來製造鋁容器、鋁門窗。
6. 在過程五中，我們發現金屬在溫度高的時候更容易生鏽，因為溫度會影響氧化的反應速率，溫度越高，反應越快，溫度越低，反應越慢。



7. 由過程六得知，金屬在鹽酸、醋酸及食鹽水中極易生鏽，在氫氧化鈉溶液及酒精中不易生鏽，因此，酸性溶液容易使金屬生鏽，中性的鹽類也會加速金屬生鏽，鹼性溶液及酒精不易使金屬生鏽。
8. 由過程七得知，金屬經過敲擊、扭曲的部份比其它部分容易生鏽，經過我們查閱相關文獻發現，當金屬受外力彎折時會產生彎曲，如果作用力輕微，於釋放後金屬會恢復原來形狀，屬於完全彈性，由於無殘留變形，所以金屬內部並無殘留應力；若作用力所造成之變形，於外力釋放後無法恢復原來的形狀，稱為殘留的變形，金屬內部就存在殘留應力，殘留應力之方向與作用應力之方向，恰恰相反，下左圖為外力作用時之變形，外側為張力，內側為壓力，下右圖則為變形後之殘留應力，外側為殘留壓力，內側則為殘留張力。此作用力會造成金屬表層被破壞，在彎折外側比內側易鏽蝕，金屬片被彎曲越劇烈，鏽蝕程度越明顯。

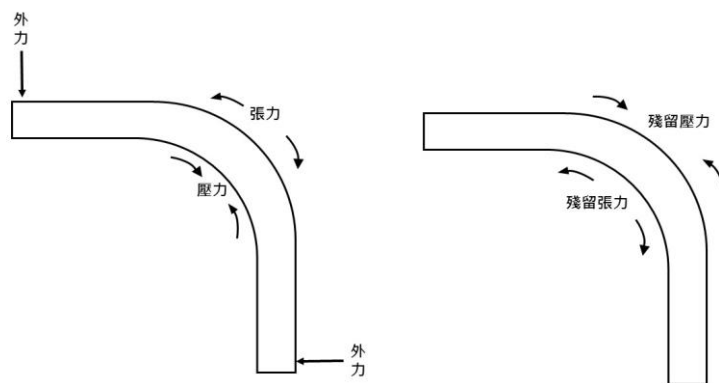


圖 35 作者自行繪製

9. 由過程八得知，當兩種金屬纏繞在一起時，接觸點上，有一種金屬會先生鏽，另一種不易生鏽，直到先生鏽的金屬接觸部分全鏽了，另一種金

屬物體才會開始生鏽。我們發現當兩種不同金屬纏繞在一起時，活性越大的金屬越容易鏽蝕，兩金屬之間的活性差距越大，鏽蝕程度越劇烈，〔鎂-鐵〕>〔鋁-鐵〕>〔鋅-鐵〕>〔鐵-銅〕，這可能和兩金屬接觸點的電位差有關係，我們也發現〔鎂-鐵〕、〔鋁-鐵〕、〔鋅-鐵〕纏繞時，鎂、鋁、鋅會比鐵先鏽蝕，但是〔鐵-銅〕纏繞時，鐵比銅先鏽蝕。

#### 柒、結論：

1. 本研究透過改良的自製實驗設計，以注射筒結合T型三叉閥、連接細玻璃管，將待測金屬置放在注射筒內，每次只在注射筒內改變一個鏽蝕變因，觀察金屬生鏽耗掉筒內氧氣所造成的細玻璃管內水柱上升高度，以此高度表示金屬生鏽氧化的快慢程度。
2. 金屬鏽蝕是金屬和氧氣、水發生氧化作用的結果，影響因素有：金屬材質種類(活性大小)、氧氣供應、水氣濕度、環境溫度、溶液酸鹼性、材質變形處理等，金屬材質活性越大越容易鏽蝕、氧氣供應越充分越容易鏽蝕、水氣濕度大越容易鏽蝕、溫度越高越容易鏽蝕、酸性溶液越容易鏽蝕、金屬變形處越容易鏽蝕、纏繞金屬活性差越大越容易鏽蝕。
3. 設法隔絕金屬和氧氣、水氣接觸，便可有效防止金屬鏽蝕氧化，也可以利用兩種金屬接觸或纏繞來防鏽，一般防鏽方式如下：
  - (1)建築物的鐵欄杆、鐵窗，漆上油漆，能防水又隔絕空氣中的氧氣，不但增加美觀，更有防鏽的作用。
  - (2)曬衣架掛的都是濕衣服。因為有水分，為了避免衣架生鏽，可在鐵線外面包上一層塑膠，同時隔絕氧氣和水分。

(3)在鐵皮上鍍鋅也是常用的方法。鍍鋅一方面可隔絕空氣接觸，而鋅本身可在表面產生一層薄鋅鏽。這層鏽不但不會持續鏽蝕反而有保護內部作用。

(4)有些金屬容器，由於外表鍍過金屬，顯得很光亮，也可防鏽，但用久後外層鍍的金屬被磨破就容易生鏽了。

4. 在化學工業上，預防金屬鏽蝕的進階作法：

(1)防護塗料：油漆是耐腐蝕塗料之一，另一種方法是粉末塗料，其中包括將粉末撒在金屬表面上並加熱以形成保護膜。

(2)合金型材料：適當的金屬合金是避免鏽蝕最有效的方法，同時能進一步減少對其他預防措施的需求。

(3)犧牲塗層：犧牲塗層是在原始金屬表面上覆蓋另一種金屬，增加該金屬比其下面的金屬先鏽蝕的可能性。

(4)減少化學接觸：很多金屬容易與化學物質發生鏽蝕氧化反應，所以，日常生活中避免化學物質接觸，尤其是浴室、廁所、廚房，避免化學物品接觸金屬。

捌、參考資料：

(一) 國民中學自然科學課本第三冊 康軒出版社 112 年版

(二) 中華民國中小學科學展覽優勝作品專輯 國立臺灣科學教育館

(三) 驗證「鐵生鏽需要水和氧」的實驗設計 國家教育研究院電子報

2022 年 2 月 1 日

<https://epaper.naer.edu.tw> > edm

(四) 風雲變色－鐵鏽的探討 國立臺灣科學教育館 2017 年 7 月 31 日

<https://twsf.ntsec.gov.tw> > race-1 > mschool > 8.htm

(五) 金屬如何生鏽？如何除鏽與防鏽？－Neusauber 2023 年 8 月 28 日

<https://www.neusauber.com/en/latest/blogs/whyrust.html>

## 【評語】 030207

1. 探討影響金屬生鏽的因素：金屬材質種類、氧氣、水分、溫度、溶液酸鹼性、金屬形狀、覆蓋物等，每次只在注射筒內改變一個鏽蝕變因，觀察金屬生鏽耗掉筒內氧氣所造成的細玻璃管內水柱上升高度，以此高度表示金屬生鏽氧化的快慢程度。能夠以簡易材料設計實驗探討金屬生鏽的因素，同時探討防鏽的方法。實驗發想簡易頗具創意卻適合國中同學探究。
2. 以注射筒結合 T 型三叉閥、連接細玻璃管，將待測金屬置放在注射筒內，組合出簡易卻有效的測試裝置，且實驗數據在不同條件下差異清晰可辨，證明該裝置與實驗設計頗具亮點，值得讚賞。
3. 若能在數據上或作圖中加上誤差大小則更能夠表現出差異的顯著性。此外，若能將此實驗結果與過去類似實驗作比較，並討論此設計之優劣性則更能表現出本實驗之優異性。

## 作品簡報

# 金屬防鏽探究



# 摘要

「鏽」是金屬表面因氧化而產生的氧化物或是氫氧化物，是一種氧化反應的產物，金屬的氧化生鏽，在有氧及潮溼的環境中，最容易發生，如果有酸性物質存在，則會加速生鏽，影響金屬生鏽的原因包括：金屬材質種類(活性大小)、氧氣供應、水氣濕度、溫度、金屬浸泡溶液酸鹼性、材質變形處理等因素有關。

本活動探討影響金屬生鏽的因素：金屬材質種類、氧氣、水分、溫度、溶液酸鹼性、金屬形狀、覆蓋物等，我們以簡易材料設計實驗探討金屬生鏽的因素，同時探討防鏽的方法。

## 研究動機

家中有些金屬物品，使用一段時間後，表面會產生鏽斑，特別是浴室或廚房裡的金屬器具，生鏽的程度更明顯，但是，也有一些金屬不易鏽蝕，我們想改良實驗設備，探討影響金屬生鏽的因素有那些?並研究簡易防鏽方法。我們一方面搜尋資料，同時利用簡易材料設計實驗探討常見金屬物質的防鏽效果。

## 研究目的

- 一. 探討空氣、水分對金屬生鏽的影響。
- 二. 探討金屬在不同氣體中生鏽的快慢。
- 三. 探討空氣濕度對金屬生鏽的影響。
- 四. 不同金屬生鏽快慢程度探討。
- 五. 研究溫度對金屬生鏽快慢的影響。
- 六. 探討溶液種類對金屬生鏽快慢的影響。
- 七. 研究金屬彎曲或變形處理與生鏽快慢的關係。
- 八. 研究金屬纏繞在鐵釘上對鐵釘生鏽快慢的影響。

## 研究設備與器材

鐵釘、鐵片、銅片、鋅片、鋁片、錫片、鋼絲絨、廣口瓶、酒精燈、燒杯、電暖器、試管、玻璃、食鹽水、醋酸、鹽酸、糖水、剪刀、酒精、氫氧化鈉、蒸餾水、三腳架、陶瓷纖維網、鐵鏈、鉗子、注射筒、直尺、碼錶



圖2 研究器材，作者自行架設



圖3 器材架設作者自行拍攝

## 文獻探討

### 一、金屬的鏽蝕

「鏽」是金屬表面因氧化而產生的氧化物或是氫氧化物，金屬的鏽蝕是一種氧化反應，大部分金屬都會鏽蝕，金屬的氧化生鏽，在有氧及潮溼的環境中，最容易發生，如果有酸性物質存在，則會加速生鏽程度。

### 二、鐵生鏽的要件

空氣(氧)、水，氧和水是鐵生鏽的要素，鐵在純氧中較在空氣中易生鏽、潮溼的鐵較乾燥的鐵生鏽快、鐵在酸性溶液中較在純水中生鏽快速。

### 三、常見金屬的生鏽：

鐵會生鏽，很多家中常見金屬也都會生鏽，金屬生鏽快慢程度和金屬的活性有關，也和氧化後所產生鏽的性質有關。例如鋁比鐵更容易生鏽，鐵鏽和鋁鏽，都是氧化產物，只是鐵氧化所產生的鐵鏽是疏松鬆鬆的，而鋁氧化所生成的鋁鏽氧化鋁，細密不容易溶解且緊密的貼在鋁的表面，防止鋁和氧繼續氧化，因為它有這種特性，而且重量輕，也可以與其他金屬製成合金，常用來製造鋁容器、鋁門窗，鋅的鏽蝕產物也和鋁鏽具有相同特性。

### 四、相關研究：

我們研究許多探討金屬生鏽的科學展覽作品，探討金屬生鏽的已知實驗設計，歸納金屬生鏽的實驗設計，如下表：

表1 相關研究比較表

置放測試金屬生鏽的主要容器	觀測主要內容	我們發現可再精進的探究亮點
燒杯、試管、錐形瓶、夾鏈袋、注射筒、塑膠瓶、玻璃罐	金屬鏽蝕的影響因素、金屬鏽蝕的顏色、金屬鏽蝕的狀態、金屬鏽蝕的前後質量變化、金屬鏽蝕的快慢程度	1.許多實驗的探究項目偏向金屬鏽蝕的質性探討。 2.很多實驗是在開放的容器內進行，量化金屬生鏽程度的實驗誤差較大。

## 研究過程與結果

### 一、研究架構與流程圖

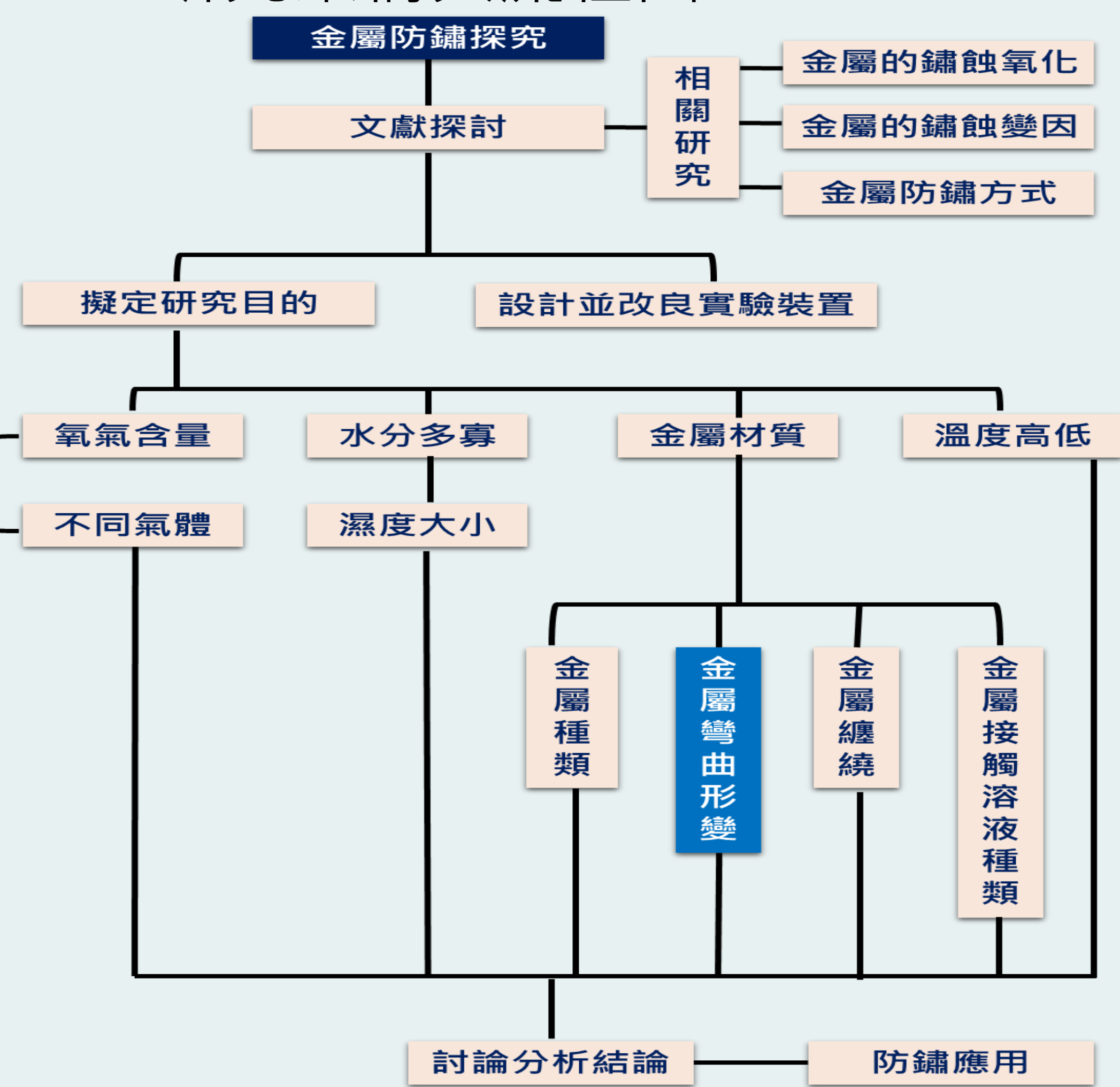


圖4 研究流程及架構圖(自行繪製)

### 二、我們研究改良的自製實驗設計：

在文獻探討-四、相關研究中，我們發現，若將**注射筒結合T型三叉閥、連接細玻璃管**，如圖5：

控制T型三叉閥，將待測金屬置放在注射筒內，每次只在注射筒內改變一個變因，觀察金屬生鏽耗掉筒內氧氣所造成的**細玻璃管內水柱上升高度**，以此高度表示金屬生鏽氧化的快慢程度。

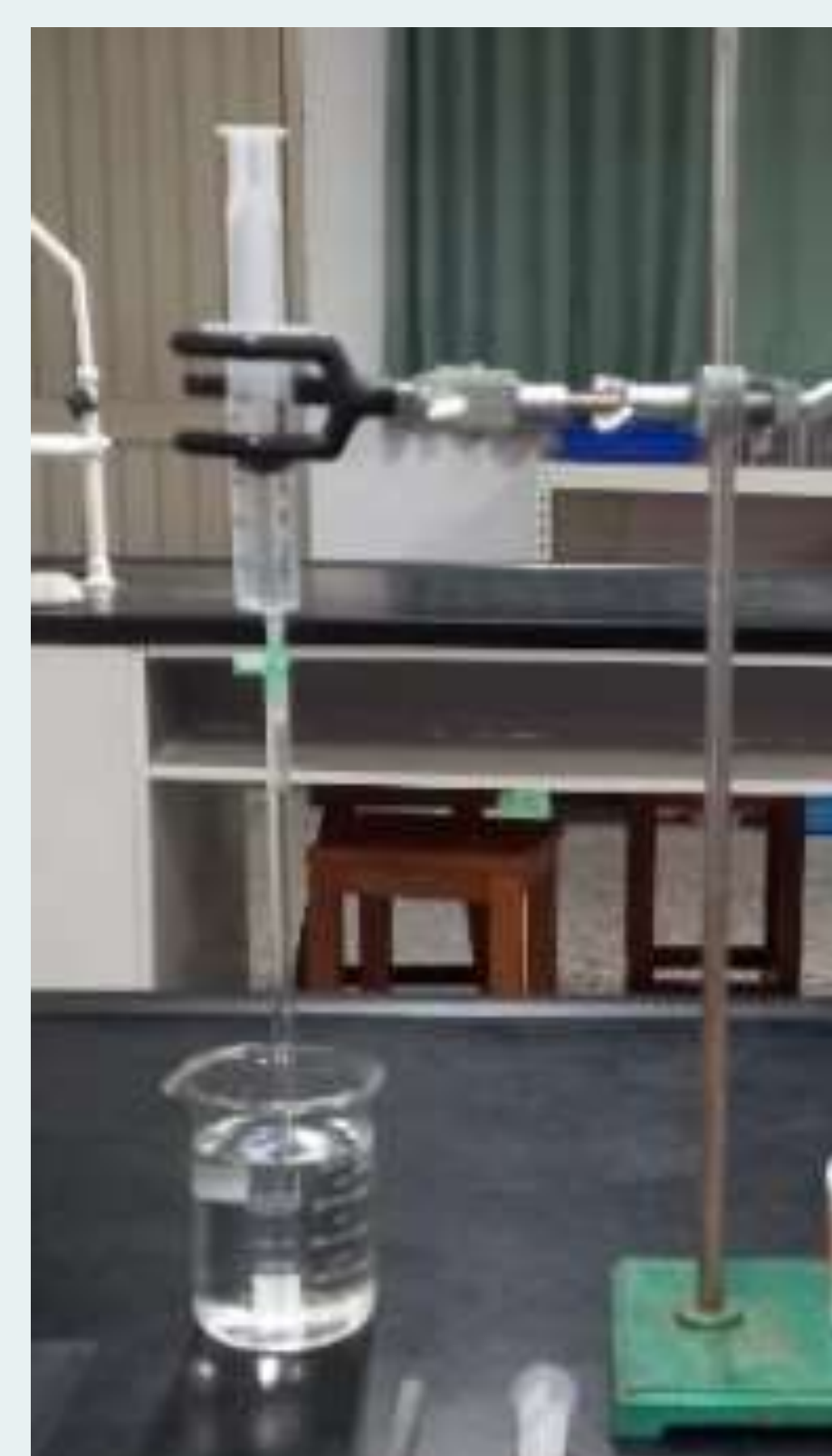


圖5 改良後實驗設計



### 三、研究過程

#### 實驗一：探討空氣、水分對金屬生鏽的影響。

##### ■ 步驟：

- 1.如圖裝置，分別取三隻相同口徑注射筒，先不置放待測金屬，分別以空注射筒、裝乾燥劑注射筒、裝脫氧劑注射筒進行對照實驗，觀測水柱上升情形，每天觀察一次，觀察10天。
- 2.取鐵片、銅片各三片(面積大小相同3cm\*5cm)。
- 3.如圖裝置，分別取三隻相同口徑注射筒，A注射筒內裝有鐵片及乾燥劑，B注射筒內裝有鐵片及脫氧劑，C注射筒內裝有潮濕鐵片。
- 4.利用注射筒下端細玻璃管內水注上升高度紀錄鐵生鏽情形。
- 5.每天觀察一次鐵片生鏽情形，連續觀察10天,並將結果紀錄。
- 6.將注射筒金屬改為銅片，重複上述步驟。



圖7 實驗裝置，注射筒內不放待測金屬，分別以空針筒、注入乾燥劑、注入脫氧劑。(自行拍攝)



圖10銅片實驗裝置(自行拍攝)



鐵片實驗裝置圖11(自行拍攝)

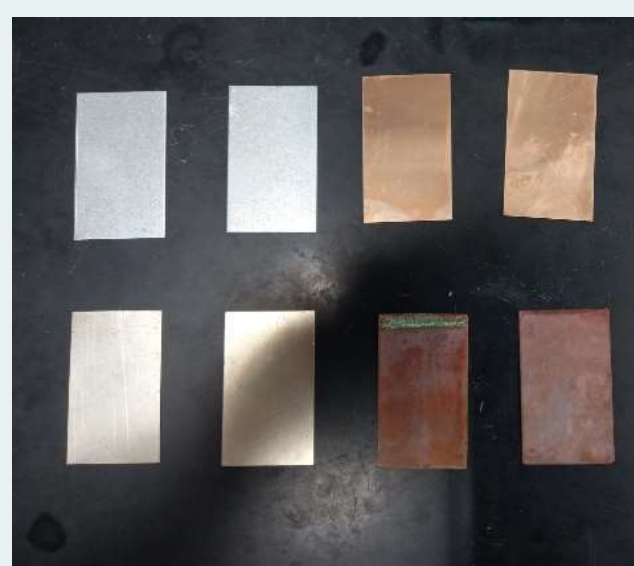


圖13實驗器材：金屬片(自行拍攝)

##### ■ 結果與分析：

- 1.結果如下表所示：(單位cm)

表2 未裝置金屬片實驗紀錄

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
乾燥空氣	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
脫氧空氣	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
空量筒	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

表1未裝置帶測金屬實驗紀錄表(作者自行實驗數據)

未放置待測金屬進行對照實驗，發現水柱並無顯著上升。

以觀察天數當橫坐標、水柱高度當縱座標作圖如下：

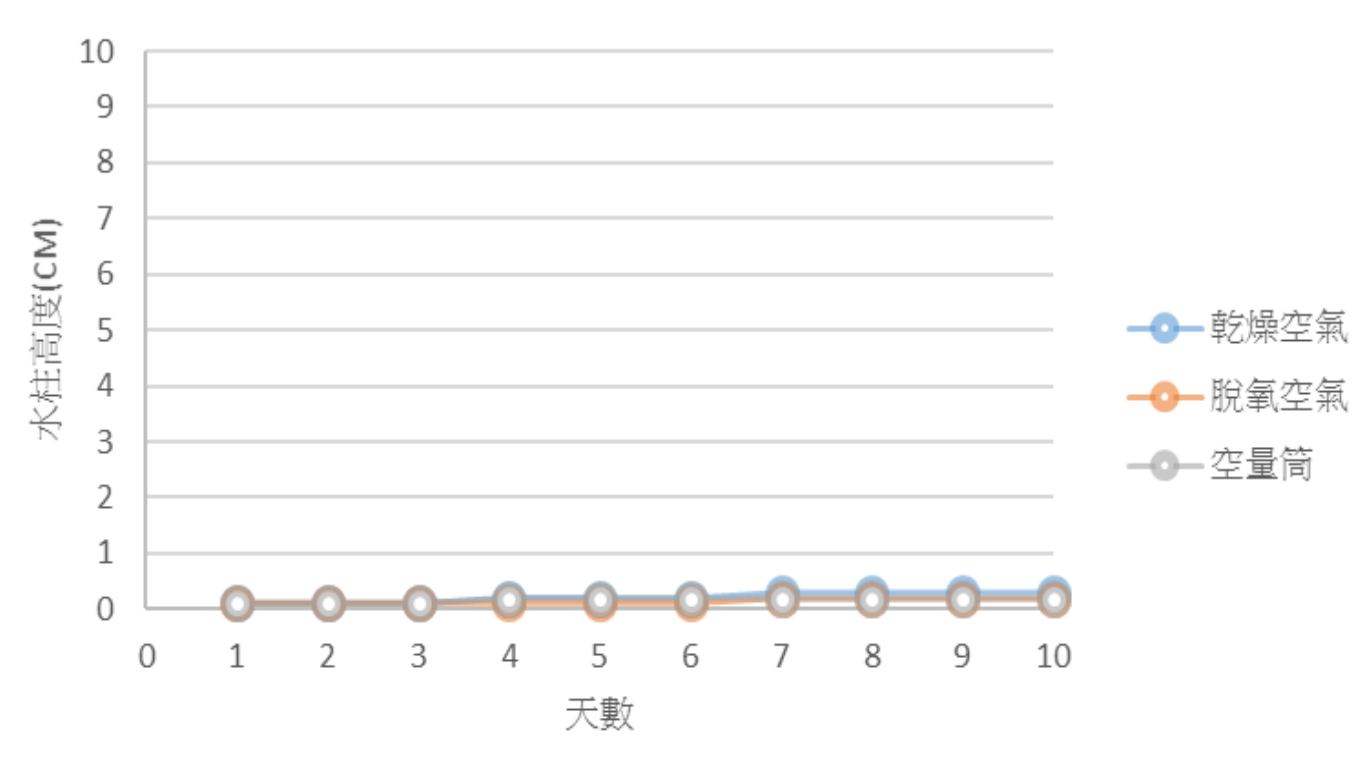


圖14未裝置帶測金屬實驗表圖(作者自行繪製)

##### 表3鐵片在不同狀態生鏽情形紀錄

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
乾燥空氣	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.1
脫氧空氣	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	0.8
潮濕空氣	0.8	1.1	1.5	2.1	3.2	3.6	4.8	5.9	7.1	8.3

- 2.由上表3、表4得知，相同金屬在不同條件下，生鏽快慢不一樣，潮濕空氣中>乾燥空氣中>脫氧空氣中，可知，水是造成金屬生鏽的重要因素，空氣中的氧氣也是造成金屬生鏽的重要原因。
- 3.由表中也發現，金屬生鏽的快慢和金屬材質也有關，鐵片生鏽的程度快於銅片生鏽的程度。
- 4.將上表作圖如下，以觀察天數當橫坐標、生鏽程度當縱座標。

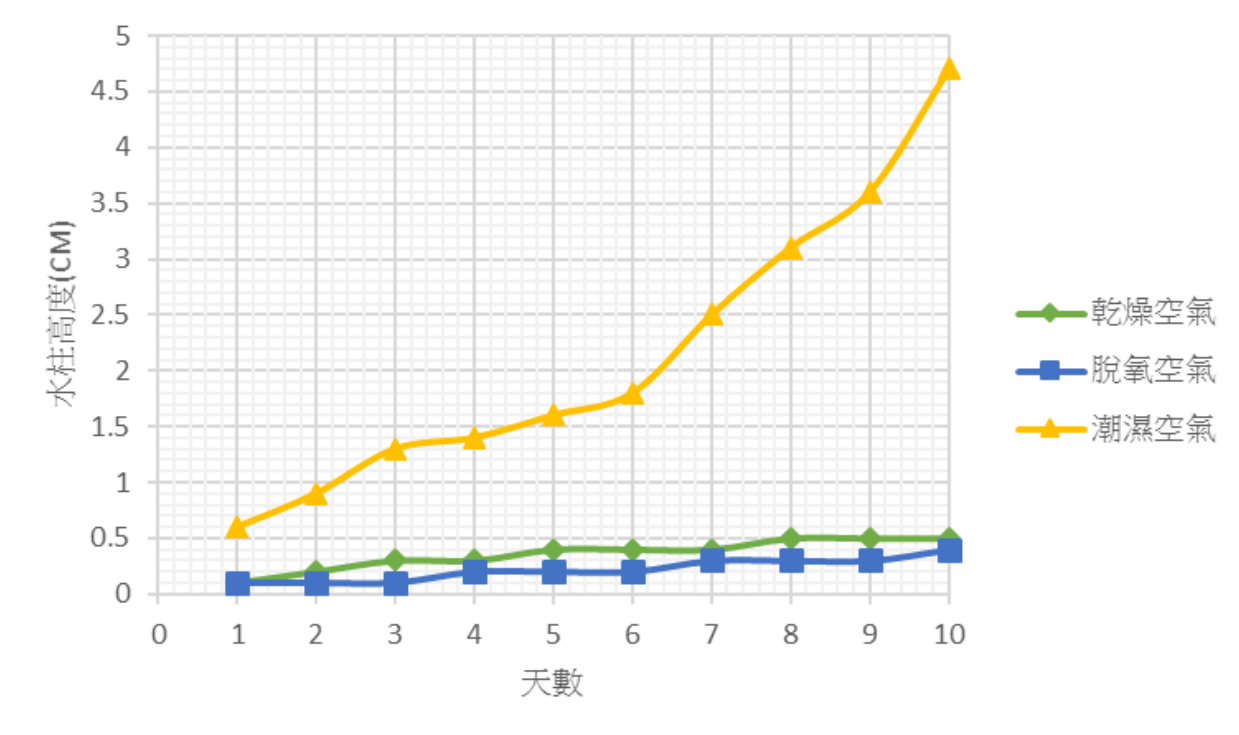


圖15鐵片在不同狀態生鏽情形(作者自行繪製)

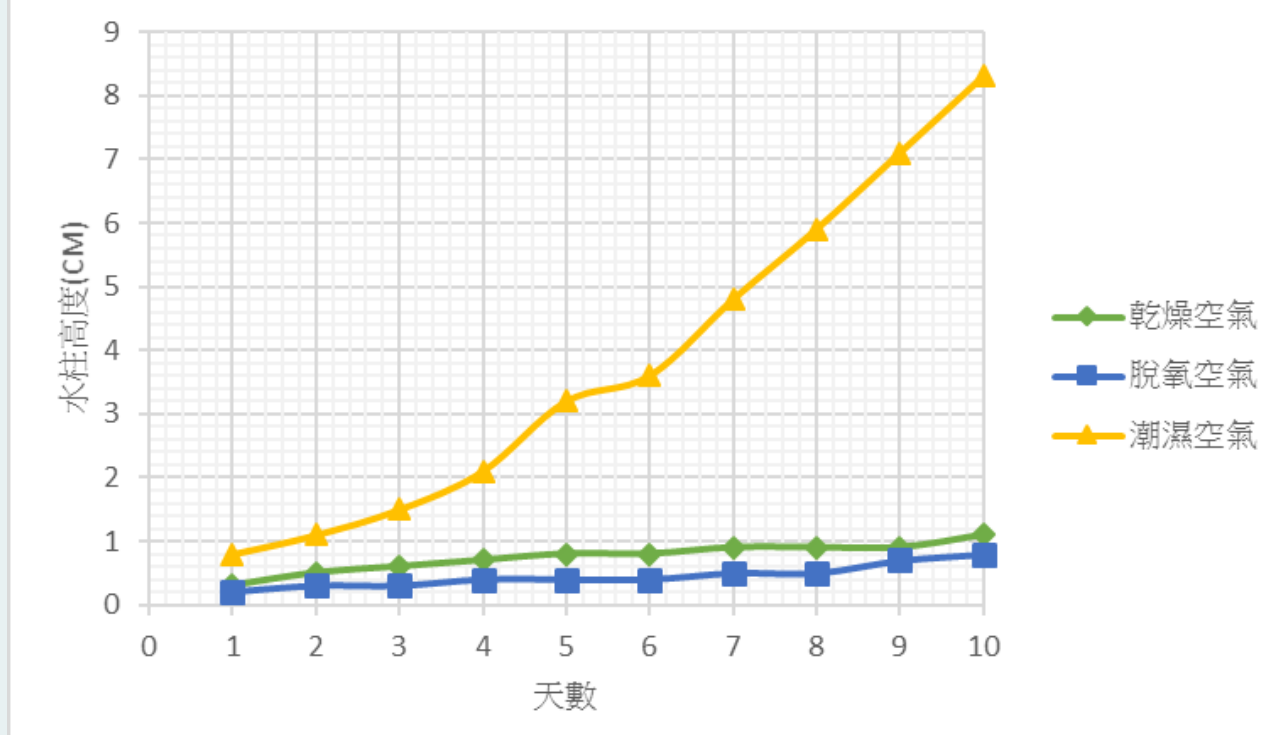


圖16銅片在不同狀態生鏽情形(作者自行繪製)

- 5.由圖中得知，潮濕空氣中的金屬鏽蝕程度比乾燥空氣及脫氧空氣中的金屬大很多，尤其到第6天之後明顯產生大量鏽斑。
- 6.金屬生鏽是金屬氧化的現象，同時需要氧氣及水分。

#### 實驗二：探討金屬在不同氣體中生鏽的快慢。

##### ■ 步驟：

- 1.如圖裝置，分別取三隻相同口徑注射筒，內裝有相同質量沾水的鋼絲絨，由T型三叉閥分別充入空氣、氧氣、二氧化碳，關閉T型閥，使細玻璃管與注射筒串成通路。
- 2.調整注射筒活塞，使細玻璃管內外水面一致。
- 3.每天觀察注射筒中鋼絲絨生鏽情形及細玻璃管中水柱上升情形。
- 4.連續觀察10天，每天紀錄鋼絲絨生鏽情形及水柱高度。

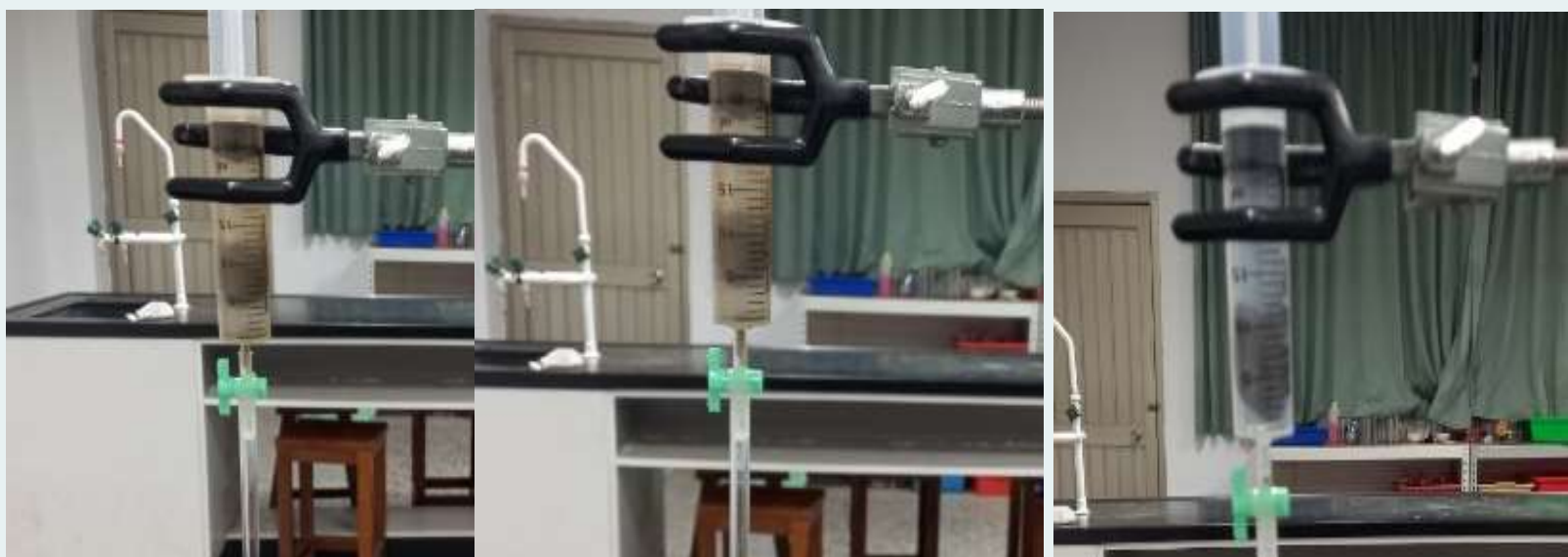


圖17-圖19注射筒裝入沾水鋼絲絨，分別充入空氣、氧氣、二氧化碳

##### ■ 結果與分析：

- 1.結果如下表所示：(單位cm)。

表5金屬在不同氣體中生鏽狀況紀錄表(作者自行實驗數據)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
空氣	0.8	1.1	1.3	1.9	3.2	3.8	4.7	5.4	5.9	6.6
氧氣	4.8	7.1	7.6	8.2	10.9	13.9	17.3	19.1	19.8	20.7
二氧化碳	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6

由上表得知，濕的鋼絲絨在純氧中最易生鏽，且會大量耗掉氧氣，使得水柱高度迅速上升，濕的鋼絲絨在空氣中生鏽情形次之，在二氧化碳中鏽蝕情形最差。

- 2.將上表作圖，以觀察天數當橫坐標、鏽蝕情形當縱座標，得到上圖20：

由圖中可看出，二氧化碳幾乎不會使濕的鋼絲絨生鏽，空氣中因為含有約1/5的氧氣，所以鋼絲絨也會生鏽，但生鏽速度比在純氧中慢。

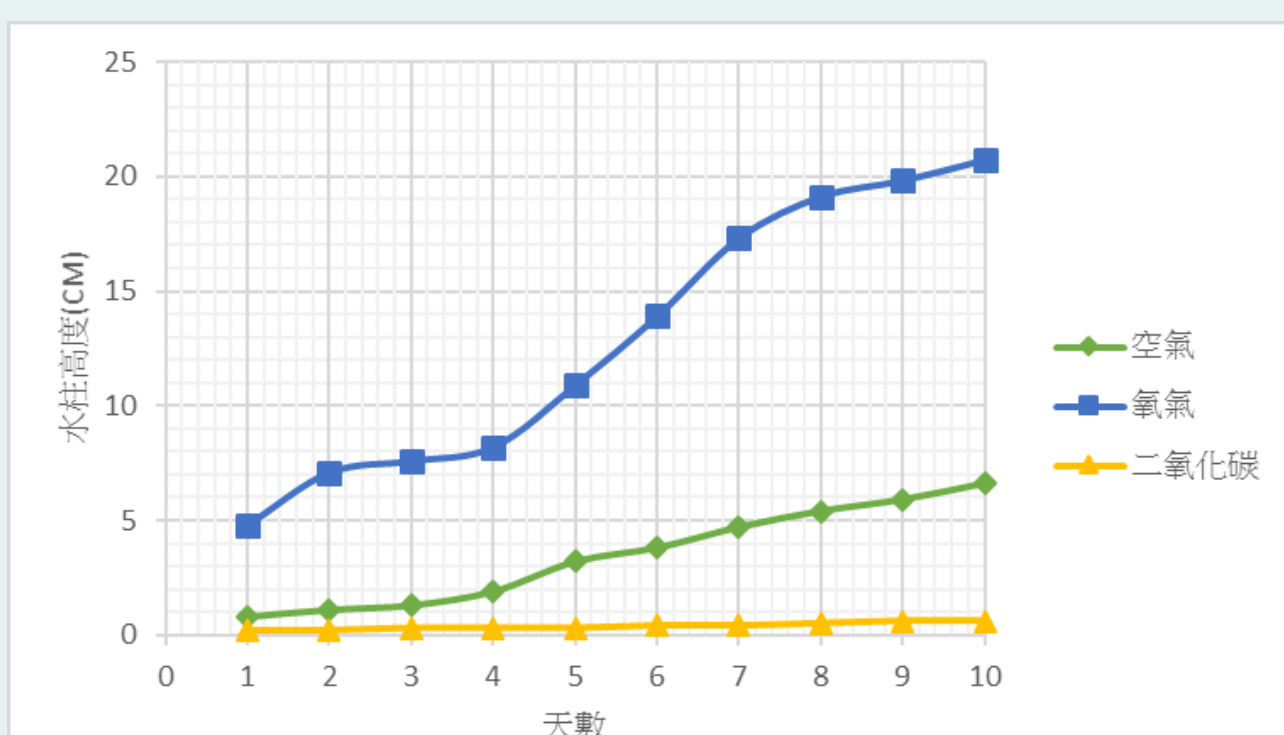


圖20金屬在不同氣體中生鏽狀況圖(作者自行繪製)

#### 實驗三：探討空氣濕度對金屬生鏽的影響。

##### ■ 步驟

- 1.如下圖裝置，分別取五隻相同口徑注射筒，內裝有相同質量鋼絲絨，利用雙氧水收集純氧五瓶，由T型三叉閥充入氧氣，關閉T型閥，使細玻璃管與注射筒串成通路。
- 2.將注射筒內鋼絲絨用噴霧器噴水霧。
- 3.用噴霧器噴水霧，改變瓶中濕度，分別噴水霧0.5ml、1.0ml、1.5ml、2.0ml、2.5ml。
- 4.連續觀察10天，將生鏽情形紀錄並分析。



圖21實驗裝置(自行拍攝)

##### ■ 結果與分析：

- 1.結果如表6所示：(單位cm)
- 2.由表中得知，鋼絲絨的水氣含量越高，在氧氣中鏽蝕程度越快。
- 3.我們將上表作圖如右，以觀察天數當橫坐標、鏽蝕程度當縱座標，得到以下圖形：
- 4.由圖中得知，金屬的水氣含量越高，濕度越大，鏽蝕程度越明顯，但是，實驗過程中，我們也發現，如果金屬含水量過多，部分水氣會流失。

表6 不同水霧量對生鏽情形紀錄表

天數/水霧量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.5ml	1.2	2.2	3.1	3.8	4.4	5.2	5.6	6.1	6.4	6.8
1.0ml	1.6	2.6	3.6	4.2	4.9	5.6	6.2	6.9	7.4	7.6
1.5ml	2.0	3.6	4.8	5.8	6.8	7.6	8.7	9.2	9.6	9.9
2.0ml	2.8	4.4	5.8	7.2	8.2	8.9	9.9	10.7	11.5	11.8
2.5ml	3.6	5.6	7.2	8.4	9.6	10.4	11.9	12.7	13.5	13.9

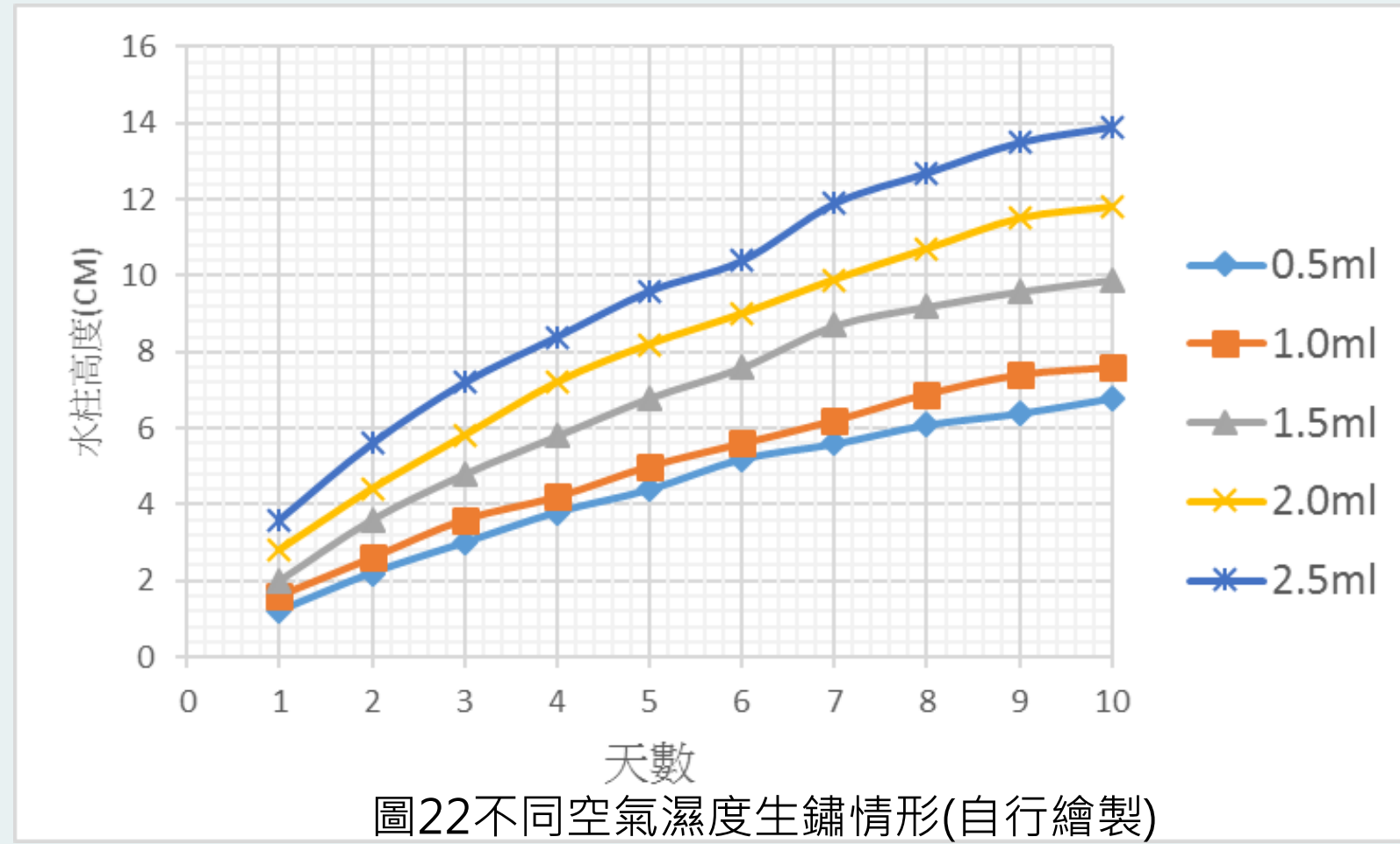


圖22不同空氣濕度生鏽情形(自行繪製)

#### 實驗四：探討不同金屬生鏽快慢程度探討。

##### ■ 步驟：

- 1.取五種常見金屬(銅片、鐵片、錫片、鋁片、鋅片)各一片。
- 2.分別取五隻相同口徑注射筒，內裝有相同質量不同材質金屬片，由T型三叉閥充入氧氣，關閉T型閥，使細玻璃管與注射筒串成通路。
- 3.將注射筒內用噴霧器噴水霧。
- 4.將裝置置於空氣流通處，觀察各金屬生鏽情形。
- 5.連續觀察10天，將生鏽情形紀錄並分析。



圖23實驗裝置(自行拍攝)

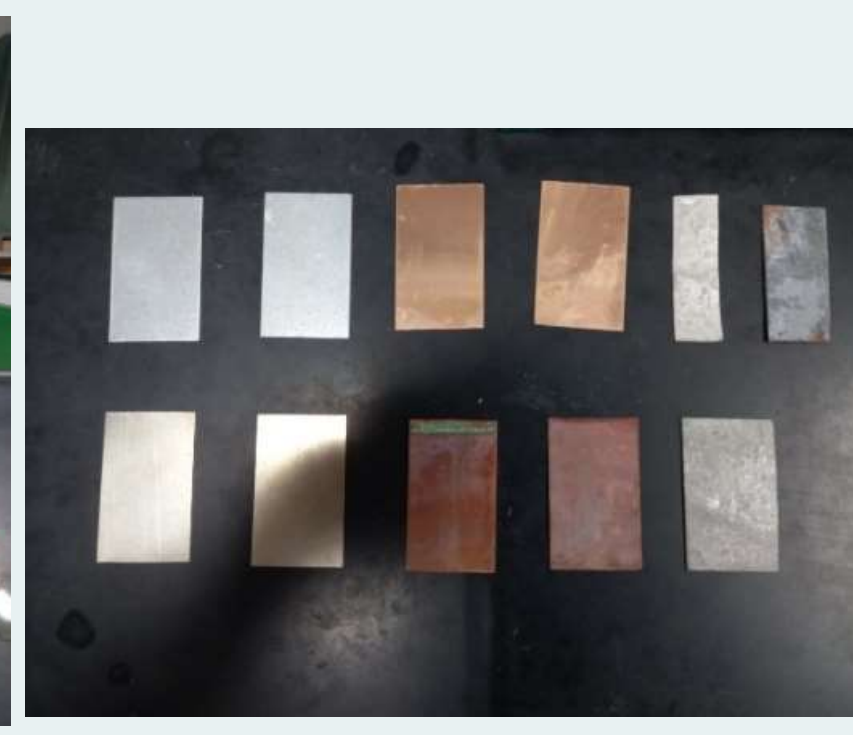


圖24實驗用金屬片(自行拍攝)

##### ■ 結果與分析：

- 1.結果如右表所示：(單位cm)
- 2.由右表得知，不同金屬生鏽快慢不一樣，其中以鋁片、鋅片最快，錫片鐵片居中，銅片最慢。
- 3.我們將表格作圖如下，以觀察時間當橫座標，鏽蝕程度當縱座標，如右圖所示：
- 4.由上圖得知，金屬生鏽快慢程度不同，對氧活性越大，鏽蝕程度越明顯，其鏽斑有不同顏色外觀，並且有些鏽斑(像鋅的灰白鏽、鋁的灰黑鏽)會保護內部，使其內部不再被鏽蝕，因此，鋅片、鋁片鏽蝕曲線漸趨向水平。

表7不同金屬生鏽快慢紀錄表(自行記錄)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
銅片	1.1	2.2	3.2	3.8	4.6	5.5	5.9	6.3	6.5	6.7
錫片	1.9	2.9	3.8	4.5	5.3	5.9	6.5	7.4	7.8	8.1
鐵片	2.5	4.1	5.3	6.2	7.3	8.1	9.3	9.9	10.6	11.2
鋅片	3.6	6.2	8.5	11.1	12.9	13.1	13.2	13.3	13.3	13.3
鋁片	4.6	7.6	10.2	12.5	14.5	16.1	16.8	17.1	17.2	17.2

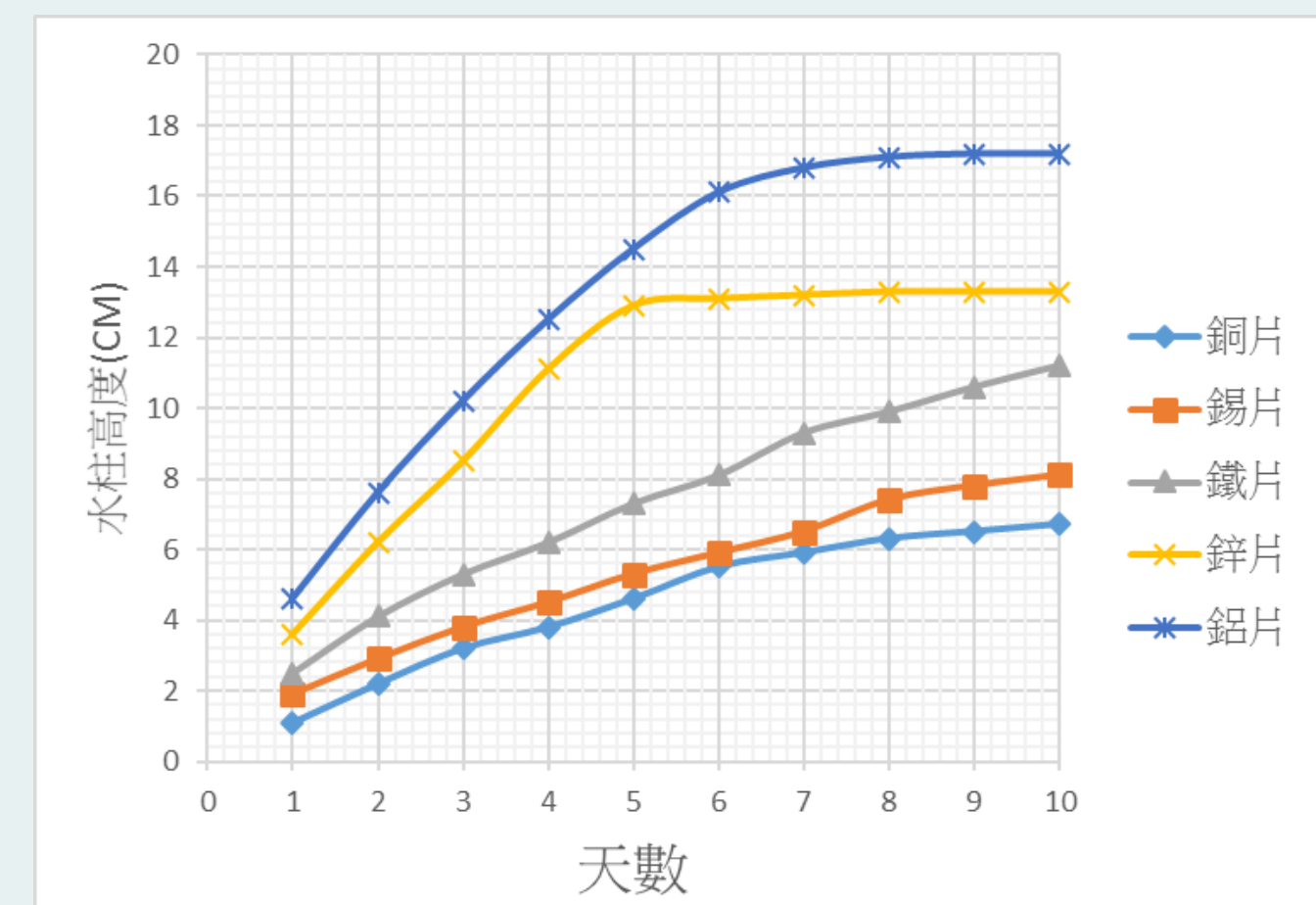


圖25不同金屬片生鏽狀況圖(自行繪製)

#### 實驗五：研究溫度對金屬生鏽快慢的影響。

##### ■ 步驟

- 1.如下圖裝置。
- 2.取鐵片五片，分別放入注射筒內。
- 3.用電暖器維持溫度在20°C至60°C之間。
- 4.觀察不同溫度下鐵片生鏽情形。
- 5.觀測10天，並紀錄並分析之。



圖26實驗裝置，以電暖器調節溫度自行拍攝

##### ■ 結果與分析：

- 1.結果如下表所示：(單位cm)
- 2.由上表得知，相同金屬在不同溫度時生鏽快慢不一樣，溫度愈高，生鏽的速度也愈快，因為溫度會影響金屬氧化的速率。
- 3.將上表作圖如下，以觀察天數為橫座標，生鏽程度為縱座標，結果如下：
- 4.由圖中看出，溫度維持在20°C至30°C之間時，鏽蝕情形隨時間呈線性變化，溫度在55°C時，鏽蝕情形隨時間呈曲線變化。

表8 溫度對生鏽情形紀錄

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21°C	2.1	3.2	4.1	4.8	5.5	6.2	6.8	7.7	8.1	8.7
29°C	2.5	4.1	5.4	6.3	7.4	8.3	9.3	9.9	10.7	11.5
38°C	3.3	5.2	7.5	9.3	10.8	12.1	13.2	14.5	15.8	16.7
46°C	4.1	6.3	8.9	10.7	12.7	13.9	15.1	16.3	16.8	17.7
55°C	4.5	7.7	10.3	12.7	14.7	16.2	16.8	17.5	17.9	18.2

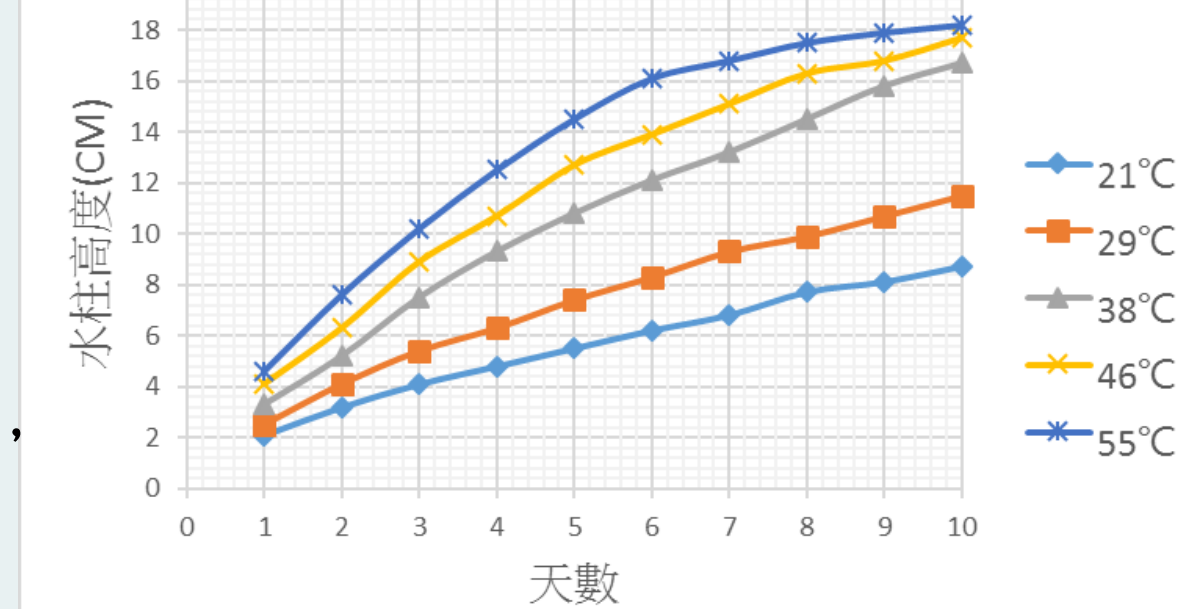


圖27不同溫度下金屬生鏽情形(自行繪製)

#### 實驗六：探討溶液種類對金屬生鏽快慢的影響。

##### ■ 步驟：

- 1.如圖裝置，分別取六隻相同口徑注射筒，內裝有相同質量鋼絲絨。
- 2.將相同質量鋼絲絨分別浸泡蒸餾水、稀鹽酸、醋酸、食鹽水、稀氫氧化鈉溶液、酒精。
- 3.觀察鋼絲絨生鏽快慢情形。
- 4.連續觀察10天，將生鏽情形紀錄並分析之。



圖28實驗裝置(自行拍攝)



## ■ 結果與分析：

1. 研究結果如下表所示：(單位cm)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
蒸餾水	0.6	1.6	2.8	3.7	4.6	5.3	5.8	6.3	7.3	7.9
鹽酸	2.9	7.1	10.2	12.5	14.5	15.9	16.8	17.5	17.9	18.2
醋酸	2.3	5.1	7.8	9.7	11.6	12.8	14.1	15.3	16.3	16.8
食鹽水	1.1	2.9	5.2	6.9	8.5	9.7	10.8	12.1	13.2	14.3
氫氧化鈉溶液	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.1
酒精	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8

2. 由上表結果得知，金屬在鹽酸、醋酸及食鹽水中極易生鏽，在氫氧化鈉溶液及酒精中不易生鏽。

3. 鹽酸、醋酸為酸性電解質溶液，會加速金屬的鏽蝕程度，食鹽水為中性電解質溶液，也會加速金屬的鏽蝕程度，但鏽蝕程度小於酸性溶液。

4. 氫氧化鈉溶液為鹼性電解質溶液，不會對金屬的鏽蝕產生明顯影響，酒精為有機醇，也不會對金屬的鏽蝕產生明顯影響。

5. 將表八作圖，由圖中看出，金屬在鹽酸、醋酸中鏽蝕程度隨時間成曲線遞增，在食鹽水中鏽蝕程度也是隨時間遞增，但是在氫氧化鈉溶液及酒精中卻不易鏽蝕。

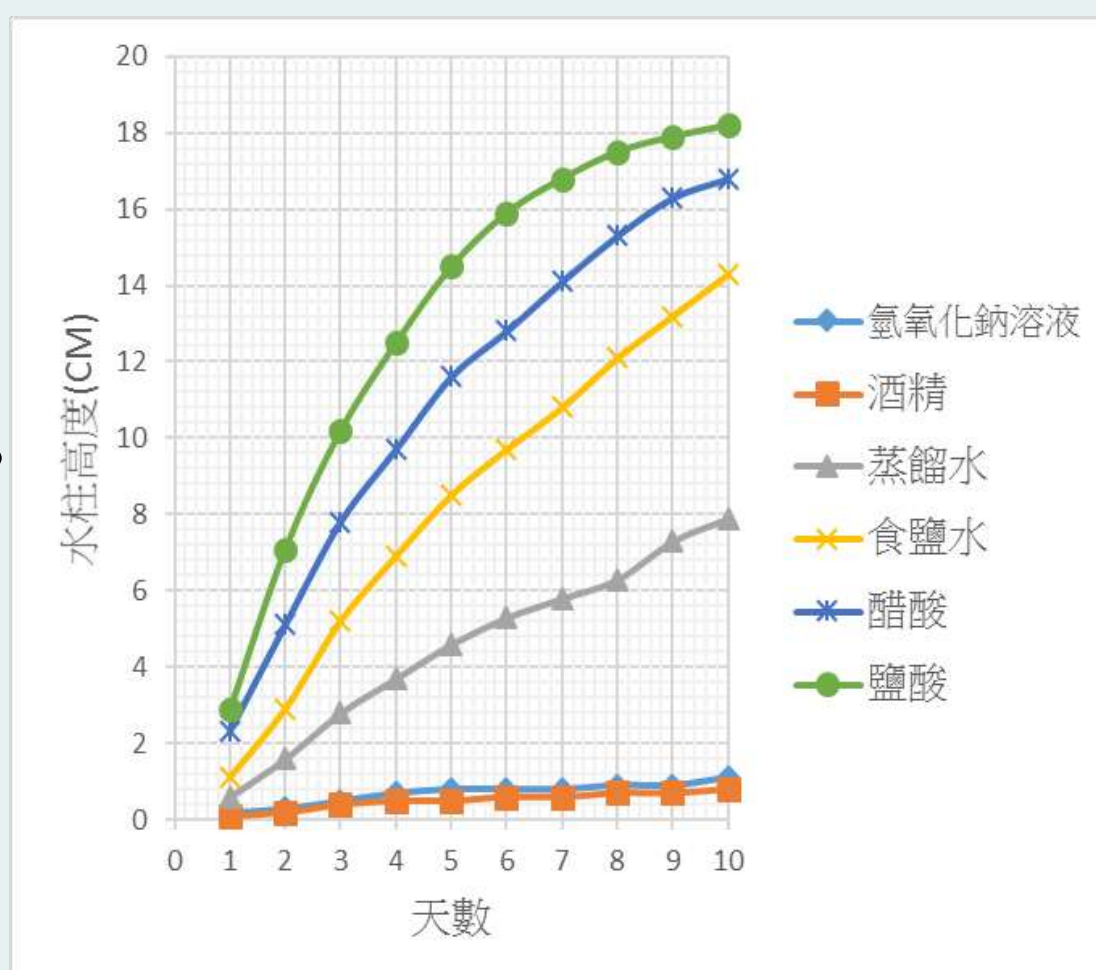


圖29 不同溶液中，待測金屬生鏽狀況

## 實驗七：研究金屬彎曲或變形處理與生鏽快慢的關係

- 分別取六隻相同口徑注射筒，內裝有相同面積、質量鐵片。
- 其中1片鐵片不變形，其餘5片鐵片分別被彎曲成角度30°、60°、90°、120°、150°。
- 每天紀錄鐵片生鏽的情形。
- 連續觀察10天，紀錄並分析之。

### ■ 結果與分析：

- 結果如表九所示：(單位cm)
- 由上表得知，鐵片被彎曲成的角度愈小，越容易鏽蝕，鐵片被彎曲成的角度愈大，越不容易鏽蝕。

表10 彎曲角度與水柱高度實驗紀錄表(( 自行記錄)

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30°	4.2	7.1	10.3	12.6	14.6	15.8	16.9	17.6	17.9	19.2
60°	3.3	6.3	8.8	10.6	12.6	13.8	15.2	16.4	16.8	17.8
90°	3.1	5.6	7.9	9.5	11.7	12.9	14.1	15.2	16.2	16.7
120°	2.7	5.2	7.8	8.3	10.8	11.8	13.2	13.5	15.8	16.1
150°	2.3	4.3	6.5	7.6	8.6	10.8	12.1	12.7	14.1	14.5
180°	2.1	3.3	5.8	6.7	7.6	9.7	11.1	11.4	12.5	13.1



圖30 實驗裝置圖(自行拍攝)

## 討論

- 金屬生鏽時產生的「鏽」是金屬表面因氧化而產生的氧化物或是氫氧化物，是一種氧化反應的產物，金屬的氧化生鏽，在有氧及潮溼的環境中，最容易發生，如果有酸性物質存在，則會加速生鏽，影響金屬生鏽的原因包括：金屬材質種類(活性大小)、氧氣供應、水氣濕度、環境溫度、溶液酸鹼性、材質變形處理等因素有關。
- 在實驗一得知，金屬所以會生鏽，是由於金屬和空氣中的氧氣和水發生反應的結果，不僅鐵會生鏽，其它各種金屬如銅、鋅也會生鏽，在氧氣供應充分、水氣濕度大的環境，金屬很容易生鏽。
- 在實驗二得知，濕的鋼絲絨在純氧中最易生鏽，且會大量耗掉氧氣，濕的鋼絲絨在空氣中生鏽情形次之，在二氧化碳中鏽蝕情形最差，由此推知，氧氣的供應濃度會影響金屬鏽蝕程度，濃度越大，鏽蝕氧化速率越大越快。
- 在實驗三中，我們發現金屬的水氣含量越高，濕度越大，鏽蝕程度越明顯。
- 在實驗五中，我們發現金屬在溫度高的時候更容易生鏽，因為溫度會影響氧化的反應速率，溫度越高，反應越快，溫度越低，反應越慢。
- 由實驗六得知，金屬在鹽酸、醋酸及食鹽水中極易生鏽，在氫氧化鈉溶液及酒精中不易生鏽，因此，酸性溶液容易使金屬生鏽，中性的鹽類也會加速金屬生鏽，鹼性溶液及酒精不易使金屬生鏽。
- 由實驗七得知，金屬經過敲擊、扭曲的部份比其它部分容易生鏽，經過我們查閱相關文獻發現，當金屬受外力彎折時會產生彎曲，如果作用力輕微，於釋放後金屬會恢復原來形狀，屬於完全彈性，由於無殘留變形，所以金屬內部並無殘留應力；若作用力所造成之變形，於外力釋放後無法恢復原來的形狀，稱為殘留的變形，金屬內部就存在殘留應力，殘留應力之方向與作用應力之方向，恰恰相反，下左圖為外力作用時之變形，外側為張力，內側為壓力，下右圖則為變形後之殘留應力，外側為殘留壓力，內側則為殘留張力。此作用力會造成金屬表層被破壞，在彎折外側比內側易鏽蝕，金屬片被彎曲越劇烈，鏽蝕程度越明顯。
- 由實驗八得知，當兩種金屬纏繞在一起時，接觸點上，有一種金屬會先生鏽，另一種不易生鏽，直到先生鏽的金屬接觸部分全鏽了，另一種金屬物體才會開始生鏽。我們發現當兩種不同金屬纏繞在一起時，活性越大的金屬越容易鏽蝕，兩金屬之間的活性差距越大，鏽蝕程度越劇烈，〔鎂-鐵〕、〔鋁-鐵〕、〔鋅-鐵〕、〔鐵-銅〕，這可能和兩金屬接觸點的電位差有關係，我們也發現〔鎂-鐵〕、〔鋁-鐵〕、〔鋅-鐵〕纏繞時，鎂、鋁、鋅會比鐵先鏽蝕，但是〔鐵-銅〕纏繞時，鐵比銅先鏽蝕。

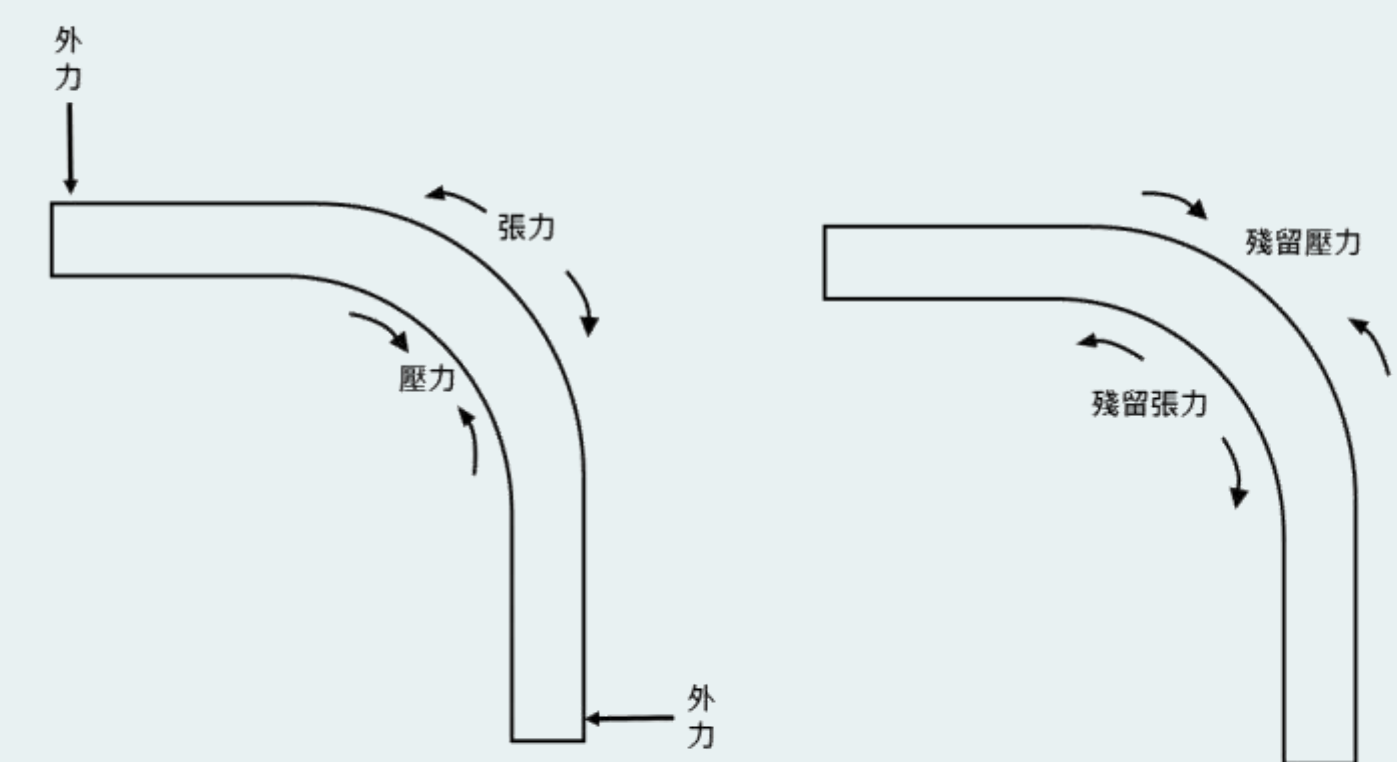


圖35 金屬彎曲作用力示意圖(作者自行繪製)

## 結論

- 本研究透過改良的自製實驗設計，以注射筒結合T型三叉閥、連接細玻璃管，將待測金屬置放在注射筒內，每次只在注射筒內改變一個鏽蝕變因，觀察金屬生鏽耗掉筒內氧氣所造成的細玻璃管內水柱上升高度，以此高度表示金屬生鏽氧化的快慢程度。
- 金屬鏽蝕是金屬和氧氣、水發生氧化作用的結果，影響因素有：金屬材質種類(活性大小)、氧氣供應、水氣濕度、環境溫度、溶液酸鹼性、材質變形處理等，**金屬材質活性越大越容易鏽蝕、氧氣供應越充分越容易鏽蝕、水氣濕度大越容易鏽蝕、溫度越高越容易鏽蝕、酸性溶液越容易鏽蝕、金屬變形處越容易鏽蝕、纏繞金屬活性差越大越容易鏽蝕。**
- 設法隔絕金屬和氧氣、水氣接觸，便可有效防止金屬鏽蝕氧化，也可以利用兩種金屬接觸或纏繞來防鏽，一般防鏽方式如(1)建築物的鐵欄杆、鐵窗，漆上油漆，能防水又隔絕空氣中的氧氣，不但增加美觀，更有防鏽的作用。(2)曬衣架掛的都是濕衣服。因為有水分，為了避免衣架生鏽，可在鐵線外面包上一層塑膠，同時隔絕氧氣和水分。(3)在鐵皮上鍍鋅也是常用的方法。鍍鋅一方面可隔絕空氣接觸，而鋅本身可在表面產生一層薄鋅鏽。這層鏽不但不會持續鏽蝕反而有保護內部作用。(4)有些金屬容器，由於外表鍍過金屬，顯得很光亮，也可防鏽，但用久後外層鍍的金屬被磨破就容易生鏽了。
- 在化學工業上，預防金屬鏽蝕的進階作法：
  - 防護塗料：油漆是耐腐蝕塗料之一，另一種方法是粉末塗料，其中包括將粉末撒在金屬表面上並加熱以形成保護膜。
  - 合金型材料：適當的金屬合金是避免鏽蝕最有效的方法，同時能進一步減少對其他預防措施的需求。
  - 犧牲塗層：犧牲塗層是在原始金屬表面上覆蓋另一種金屬，增加該金屬比其下面的金屬先鏽蝕的可能性。
  - 減少化學接觸：很多金屬容易與化學物質發生鏽蝕氧化反應，所以，日常生活中避免化學物質接觸，尤其是浴室、廁所、廚房，避免化學物品接觸金屬。

## 參考資料

- 國民中學自然科學課本第三冊 康軒出版社 112年版
- 中華民國中小學科學展覽優勝作品專輯 國立臺灣科學教育館
- 驗證「鐵生鏽需要水和氧」的實驗設計 國家教育研究院電子報 2022年2月1日 <https://epaper.naer.edu.tw> > edm

3.在實驗中也發現，鐵片最容易在彎曲處外側先鏽蝕，被彎曲成角度愈小，生鏽程度愈明顯，180°平面未彎曲鐵片生鏽程度最小。

4.將上表作圖，以觀察天數為橫座標，生鏽程度為縱座標，結果如下：

5.由圖中看出，鐵片彎曲角度不同時鏽蝕快慢：

30° > 60° > 90° > 120° > 150° > 180° 被彎曲成的角度越小，越容易鏽蝕，我們推論，被彎曲成角度越小，在形狀改變的過程中，所受的破壞力越大，而且，我們也觀察到，彎曲點外側邊會先鏽蝕。

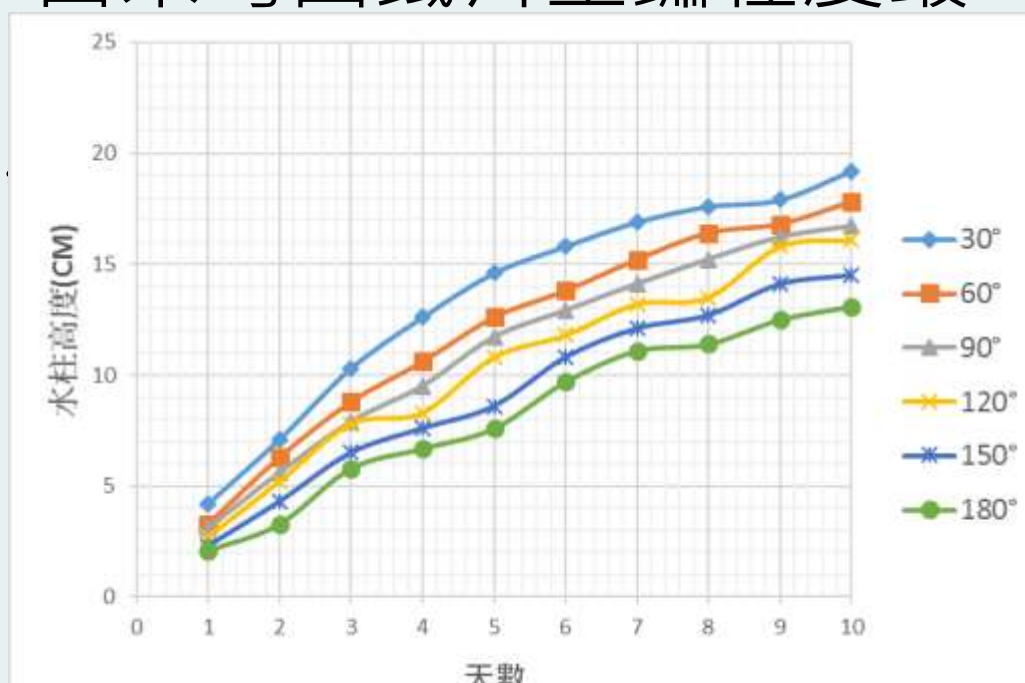


圖32 金屬彎曲角度與生鏽情形圖(自行繪製)

## 實驗八：研究金屬纏繞在鐵釘上對鐵釘生鏽快慢的影響

### ■ 步驟：

- 如下圖裝置。
- 取不同金屬薄片鋅、銅、鋁、鎂分別纏繞在鐵釘上。
- 置於通風處，觀察各金屬片與鐵釘生鏽快慢。
- 連續觀察10天，紀錄鐵釘生鏽的情形。



圖33 實驗裝置圖(自行拍攝)

### ■ 結果與分析：

1.結果如下表 (單位cm)

2.由上表得知，鐵釘纏繞鎂帶、鋁箔、鋅箔都會讓鏽蝕程度更明顯，鎂、鋁、鋅比鐵易生鏽，因其對氧活性比鐵大，而銅比鐵不易生鏽，因其對氧活性比鐵小，當兩種金屬纏繞在一起時，接觸點上必須先鏽蝕的金屬接觸部份已生滿鏽，另一種金屬才會生鏽。

3.由圖中看出，鐵釘纏繞鎂帶、鋁箔約經過3天，鏽蝕程度曲線就很高，鐵釘纏繞銅箔鏽蝕程度比較緩慢。

4.當兩種不同金屬纏繞在一起時，活性越大的金屬越容易鏽蝕，兩金屬之間的活性差距越大，鏽蝕程度越劇烈，〔鎂-鐵〕、〔鋁-鐵〕、〔鋅-鐵〕、〔鐵-銅〕

表11 不同金屬纏繞鐵釘，水柱上升高度對天數紀錄表

天數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
鐵釘纏銅箔	1.2	2.3	3.4	3.9	4.8	5.7	6.1	6.5	6.7	6.9
鐵釘纏鋁箔	2.9	4.5	5.8	6.9	7.9	9.1	9.9	10.5	11.1	11.9
鐵釘	2.7	4.3	5.5	6.5	7.6	8.6	9.6	10.1	10.7	11.2
鐵釘纏鋅箔	4.5	6.7	9.1	11.6	12.9	13.9	14.5	15.1	15.6	16.2
鐵釘纏鎂帶	5.1	8.1	10.7	13.1	15.1	16.6	17.3	17.6	17.9	18.2

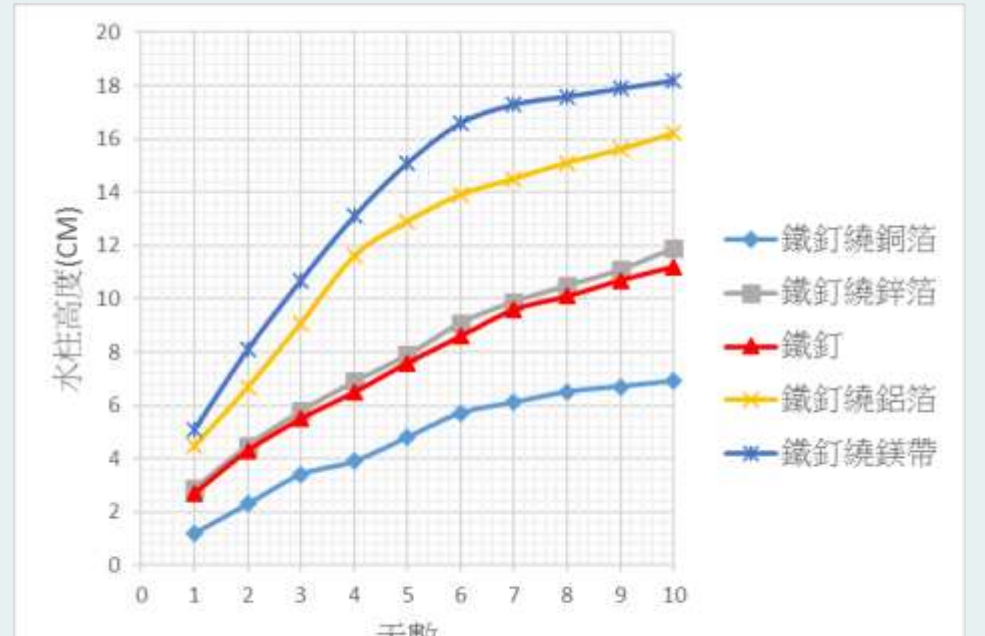


圖34 不同金屬纏繞鐵釘生鏽情形圖

- 風雲變色—鐵鏽的探討 國立臺灣科學教育館 2017年7月31日 <https://twsf.ntsec.gov.tw> > race-1 > mschool > 8.htm
- 金屬如何生鏽? 如何除鏽與防鏽? - Neusauber 2023年8月28日 <https://www.neusauber.com/en/latest/blogs/whyrust.html>