

鐵金屬的無影殺手

—由空氣中氧含量的測定 以探討鐵生銹的奧秘暨 電腦分析資料的設計

高中組化學科第二名

高雄市立高雄高級中學

作者：許景琦、呂政哲、王炯琅

指導教師：柳信榮

一、研究動機：

鐵生銹雖然是極為普通的事實，但是在日常生活中，却造成我們極大的困擾而帶給我們不少的損失。在東華本化學實驗下冊中，雖然也有研究鐵生銹的實驗，但是並沒有給予我們一個完整而滿意的答案。我們同時也找過許多書籍，但是都沒有詳細的記載，所以我們希望能以學過的原理和實驗技巧，自行設計一個實驗，以揭開鐵生銹的奧秘。

二、研究目的：

- (一)自行設計一新穎、安全、簡易而又精密的實驗，以驗證 O_2 在空氣中所佔體積百分比。
- (二)瞭解鋼絲絨在各種酸鹼鹽溶液中的腐蝕現象。
- (三)研究 H^+ 對於鋼絲絨（鐵）氧化的催化作用。
- (四)進一步探討鐵與氧反應的動力學。
- (五)應用本校現有的電腦設備，分析統計本實驗繁複的數據資料，以達學以致用的目的。

三、研究的過程：

第一部份：鋼絲絨在酸、鹽、鹼中的定性與定量觀察

(一)實驗手續：取 1 g 的鋼絲絨 (size 0 級) 分別浸入 25 ml 之酸、鹽、鹼溶液與蒸餾水中，觀察鋼絲絨在各溶液中的變化，並紀錄其結果，分別如下：

1. 酸：

試 劑	濃 度	實 驗 結 果
HCl	11 M	溶解迅速，有氣泡急速上升，經數小時後完全溶解，溶液呈深黃色。
	3 M	溶解尚快，有氣泡上升，經24小時後完全溶解，溶液呈淡綠色。
	1.1 M	溶解緩慢，且鋼絲絨略有生銹現象，溶液呈淡綠色。
CH ₃ COOH	17.5 M	溶解緩慢（幾乎不溶解），經48小時後仍有氣泡緩緩生成，且濃度愈大，生成氣泡愈多且鋼絲絨無生銹現象。（附註：此時將鋼絲絨曝露於空氣中，發現其迅速生銹）
	6 M	
	2 M	
	1 M	
	0.5 M	
	0.2 M	
HNO ₃ (1.4 M)		溶解劇烈，有氣泡急速生成，經24小時後完全溶解，溶液呈黃綠色。
H ₂ SO ₄ (1.4 M)		溶解尚快，經24小時後完全溶解。
H ₃ PO ₃ (1.4 M)		溶解尚快，經24小時後完全溶解。

2. 鹽：

試 劑	觀 察 結 果
Na_2CO_3 CH_3COONa KI Na_2SO_4 NaNO_3 CaCl_2 BaCl_2 NaCl	鋼絲絨無溶解現象，亦無生銹情形。
NH_4Cl $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ $\text{CH}_3\text{COONH}_4$	鋼絲絨略有溶解，未見生銹情形。
NH_4NO_3	溶解稍快，經24小時後大部溶解。
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	未見溶解，亦無生銹。

3. 鹼：

試 劑	觀 察 結 果
KOH	均未見溶解，亦無生銹現象。
NaOH	

4. 蒸餾水和空氣：

試 劑	觀 察 結 果
空 氣	沒有浸過蒸餾水，置於空氣中，經過數日，未有紅棕色鐵銹生成。
蒸 餾 水	未見溶解，亦無生銹情形，但曝露空氣中48小時，略有鐵銹生成。

(三)滴加 1 或 2 滴 0.1 M 赤血鹽 ($K_3Fe(CN)_6$) 檢驗是否有藍色反應：

有藍色出現	HCl (11 M, 3M, 1.1M), CH_3COOH (17.5M, 6M, 2M, 1M, 0.5M, 0.2M), HNO_3 , H_2SO_4 , H_3PO_4 , NH_4Cl , $(NH_4)_2SO_4$
無藍色出現	Na_2CO_3 , CH_3COONa , Na_2SO_4 , $CaCl_2$, KI, $BaCl_2$, $NaNO_3$, NaCl, $(NH_4)_2CO_3$, $(NH_4)_2C_2O_4$, KOH, NaOH, CH_3COONH_4

(三)鋼絲絨在瓊脂溶液中的觀察：

1. 實驗手續：

(1)配製約 200 ml 之瓊脂溶液——加熱 200 ml 之蒸餾水至和緩沸騰，撤去燈火。加入 2 克之粉末瓊脂，邊加邊攪拌，繼續加熱並攪拌之，直至瓊脂擴散為止。

(2)將約 10 滴 0.1 M $K_3Fe(CN)_6$ 與 5 滴 0.1 % 酚酞指示劑置於瓊脂溶液中，充分攪拌之。

(3)當瓊脂溶液逐漸冷卻時，置入 1 g 之鋼絲絨，靜觀其變化。

2. 結果：

(1)經過 2 小時後，鋼絲絨附近有深藍色出現，但經 2 日後有鐵銹生成。

(2)經過 2 小時後，瓊脂溶液有水紅色出現。

(四)鋼絲絨浸過酸、鹼、鹽溶液後，與氧反應速率的測定。

1. 實驗手續：

(1)取 1 g 之鋼絲絨分別浸入上述酸、鹼、鹽溶液中約一分鐘後取出，甩掉表面附著殘餘之液滴。

(2)將鋼絲迅速置入 25 ml 之測氣管倒插入水中。

(3)每隔 5 分鐘記錄液面上升的體積 (ml) 至 60 分鐘。

2. 實驗結果：見圖一

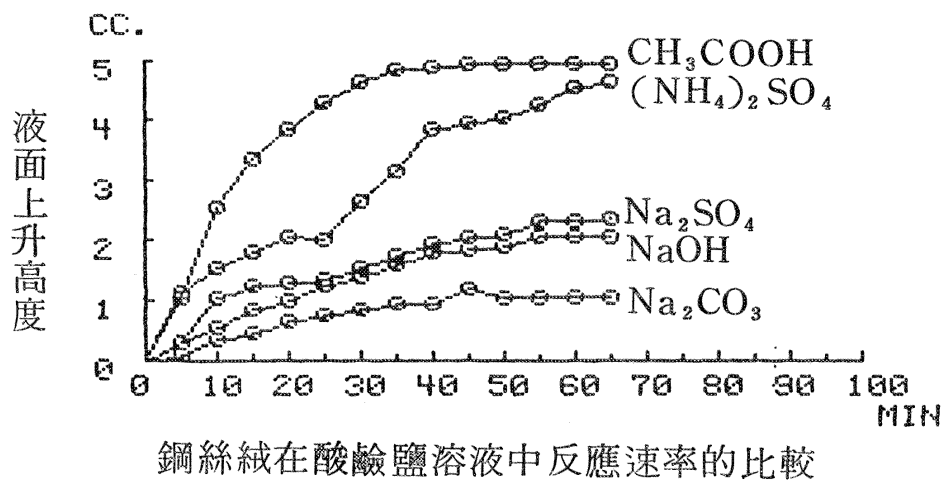


圖 1

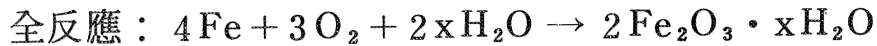
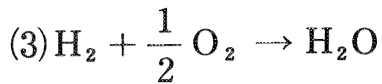
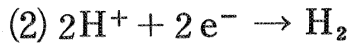
(五) 結論：

- (1) 鋼絲絨沒有浸過蒸餾水，僅曝露在空氣中不易生銹。
- (2) 鋼絲絨浸過蒸餾水後，曝露空氣中可以生銹。
- (3) 鋼絲絨浸過酸後容易生銹，亦即與 O_2 之反應速率較快（如圖一）。
- (4) 鋼絲絨浸過鹼後不易生銹，亦即與 O_2 之反應速率較慢（如圖一）。
- (5) 鋼絲絨浸過水解成酸性之鹽類（如 $(NH_4)_2SO_4$, NH_4Cl ）容易生銹。
- (6) 鋼絲絨浸過水解成鹼性之鹽類（如 Na_2CO_3 , CH_3COONa ）不易生銹。
- (7) 滴入赤血鹽有藍色反應的表示鐵較易形成 Fe^{2+} —— 如在各種酸中或銨鹽中 $K^+ + Fe(CN)_6^{-3} \rightarrow KFeFe(CN)_6 \downarrow$ （藍色）。
- (8) 在瓊脂溶液中，藍色的出現表示有 Fe^{2+} ，水紅色的出現表示有 OH^- 之存在。

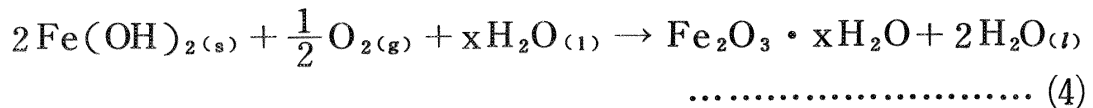
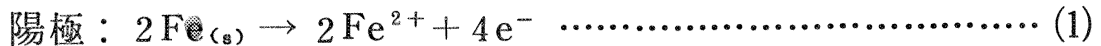
(六) 討論：

1. 由以上觀察及結論可以印證鐵生銹，必須要有 O_2 與 H_2O ，若有酸或水解後為酸性的鹽類，則可加速鐵生銹，因為有 H^+ 作催化劑。其反應機構如下：

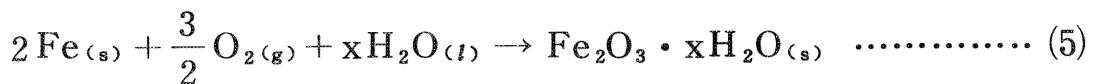




2. 鐵生銹也可以視為一種電化學反應：



由(3)+(4)得鐵生銹之全反應：



若有腐蝕作用發生，在陽極表面必有陽離子產生而釋出電子，即鐵金屬發生氧化作用或變質損壞，同時陰極接受了來自陽極移來的電子，接受的電子可以用來中和氫離子或直接形成 OH^- ，陽極與陰極的反應在同時發生，其速率也相同，但腐蝕作用僅發生在陽極片。

3. 鋼絲絨浸於 HCl ， HNO_3 ， H_2SO_4 溶液中，會產生劇烈的作用，形成氫氣泡，在此種情形下鐵金屬被很快地腐蝕，金屬的溶解僅發生在陽極片。

而氫氣泡也僅在陰極表面形成，雖然看起來氫氣好像是在金屬全面形成而非僅限於確定的陰極片，可能是同為陽極片和陰極片隨時在改變使得鋼絲絨的腐蝕頗為均勻。

4. 從以上實驗結果我們得知 Fe 在 HNO_3 ， HCl ， H_2SO_4 等無機酸中容易溶解，但不易溶解在 CH_3COOH ，故我們選定 CH_3COOH 作為 Fe 與 O_2 反應的催化劑，以測定空氣中 O_2 之含量，並進一步探討該反應有關動力學的數據。如：反應次數、速率常數、半衰期與活化能等。

第二部份：空氣中氧含量的測定

(一)實驗手續：

1. 取特定重量的鋼絲絨分別浸入特定濃度的醋酸中約一分鐘後取出，甩掉表面附著殘餘液滴。
2. 將鋼絲絨浸入 200 ml 之蒸餾水中，經固定時間後取出，甩掉表面附著之水滴。
3. 將鋼絲絨迅速裝入 25 ml 之測氣管中，倒插入水中。
4. 每隔 5 分鐘記錄液面上升體積 (ml) 至 60 分鐘。
5. 當液面高度停止變化時，記錄最後數據，並計算 O_2 改變之體積。

(二)實驗結果：(應用微電腦處理數據與繪圖)

1. 使用不同重量的鋼絲絨：

(1) 浸入 17.5 M 醋酸中後，再浸入蒸餾水中 15 秒。結果如表 1 。

時間(分) 重(克)	5	10	15	20	25	30	35	40
0.25 g	0.43	0.82	1.25	1.52	1.83	2.02	2.32	2.51
0.50 g	1.09	1.82	2.57	3.06	3.42	3.73	4.06	4.28
0.75 g	1.42	2.53	3.26	3.71	4.13	4.42	4.64	4.75
1.00 g	1.72	2.94	3.62	4.13	4.42	4.63	4.82	4.91
1.25 g	3.06	4.12	4.63	4.81	4.90	4.92	4.92	4.92
1.50 g	3.14	4.33	4.82	4.91	5.00	5.00	5.01	5.02

(液面上升體積 ml)

重 (克) \ 時間 (分)	45	50	55	60	FINAL RESULT	
	0.25 g	2.72	2.94	3.11	3.26	4.93
0.50 g	4.35	4.51	4.62	4.76	5.00	20.00 %
0.75 g	4.87	4.93	5.00	5.00	5.10	20.40 %
1.00 g	4.97	5.01	5.01	5.02	5.03	20.12 %
1.25 g	4.92	4.92	4.92	4.92	4.92	19.73 %
1.50 g	5.02	5.02	5.02	5.02	5.03	20.12 %

(液面上升體積 ml)

表 2

(2)浸入 6 M 醋酸中後，再浸入蒸餾水中 15 秒。結果如表 3。

重 (克) \ 時間 (分)	5	10	15	20	25	30	35	40
	0.25 g	0.42	0.85	1.24	1.42	1.83	2.14	2.32
0.50 g	0.73	1.36	1.83	2.25	2.67	2.92	3.28	3.54
0.75 g	1.05	1.92	2.56	3.09	3.54	3.83	4.12	4.33
1.00 g	1.42	2.48	3.14	3.62	4.18	4.34	4.57	4.82
1.25 g	1.94	3.51	3.73	4.27	4.52	4.61	4.76	4.87
1.50 g	2.55	3.72	4.38	4.53	4.76	4.80	4.81	4.81

(液面上升體積 ml)

時間 (分) 重 (克)	45	50	55	60	FINAL RESULT	
	0.25 g	2.82	3.01	3.13	3.32	4.95
0.50 g	3.71	3.90	4.03	4.21	5.03	20.12 %
0.75 g	4.51	4.63	4.74	4.85	5.15	20.60 %
1.00 g	4.85	4.87	4.92	4.97	5.05	20.20 %
1.25 g	4.90	4.92	4.92	4.93	4.93	19.72 %
1.50 g	4.82	4.82	4.82	4.83	4.83	19.32 %

(液面上升體積 ml)

2. 改變浸於蒸餾水中的時間：

取 1 g 鋼絲絨浸於 17.5 M 的醋酸。結果如圖 2

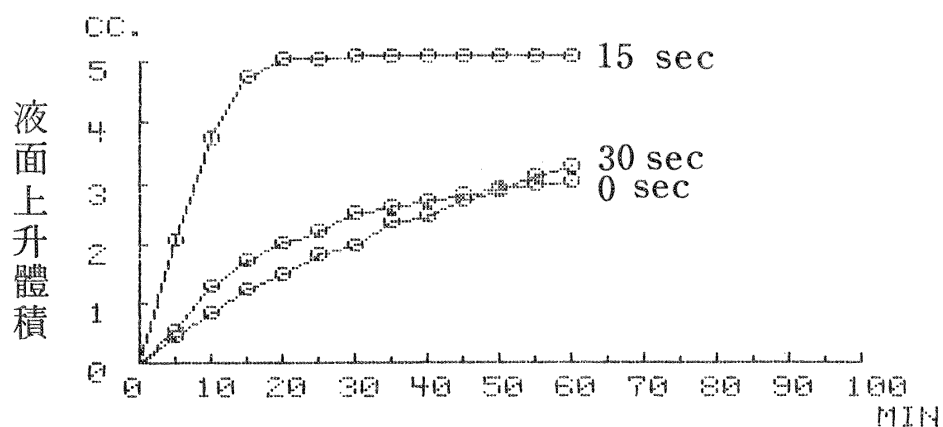


圖 2

3. 使用不同濃度的醋酸：

取 1 g 鋼絲絨

(1) 無浸入蒸餾水中。結果如表 4

時間(分) 重(克)	5	10	15	20	25	30	35	40
17.5 M	0.51	1.25	1.75	2.03	2.25	2.52	2.38	2.75
6 M	1.83	2.84	3.42	3.85	4.07	4.28	4.51	4.80
2 M	1.92	3.34	3.93	4.21	4.30	4.37	4.54	4.76
1 M	1.02	2.54	3.34	3.82	4.26	4.61	4.82	4.90
0.5 M	1.04	1.51	2.12	2.62	3.18	3.64	3.90	4.23
0.2 M	1.02	2.08	2.84	3.42	3.85	4.13	4.32	4.52

(液面上升體積 ml)

時間(分) 濃度 (M)	45	50	55	60	FINAL RESULT	
17.5 M	2.84	2.92	3.01	3.02	3.04	——
6 M	4.90	4.91	4.92	4.93	4.93	19.72 %
2 M	4.90	4.93	4.93	4.95	4.95	19.80 %
1 M	4.91	4.92	4.93	4.93	4.93	19.72 %
0.5 M	4.51	4.78	4.91	4.92	4.93	19.72 %
0.2 M	4.70	4.82	4.93	4.97	5.00	20.00 %

(液面上升體積 ml)

(2) 浸入蒸餾水中 15 秒。結果如表 5。

時間 (分) \ 濃度 (M)	5	10	15	20	25	30	35	40
17.5 M	1.82	2.52	3.20	3.70	4.10	4.31	4.52	4.60
6 M	1.42	2.54	3.24	3.72	4.00	4.30	4.50	4.64
2 M	0.22	0.42	0.60	0.74	0.94	1.16	1.24	1.40
1 M	0.24	0.42	0.62	0.70	0.92	1.11	1.22	1.42
0.5 M	0.12	0.34	0.44	0.52	0.72	0.81	0.92	1.04
0.2 M	0.14	0.22	0.23	0.34	0.44	0.45	0.52	0.62

時間 (分) \ 濃度 (M)	45	50	55	60	FINAL RESULT	
17.5 M	4.72	4.74	4.82	4.82	4.88	19.52 %
6 M	4.72	4.80	4.84	4.84	4.95	19.80 %
2 M	1.50	1.70	1.80	1.94	5.05	20.20 %
1 M	1.52	1.72	1.82	1.90	5.18	20.72 %
0.5 M	1.14	1.24	1.34	1.42	5.08	20.32 %
0.2 M	0.62	0.70	0.80	0.84	5.00	20.00 %

(3) 浸入蒸餾水中 30 秒，結果如表 6 與圖 2。

時間 (分) \ 濃度 (M)	5	10	15	20	25	30	35	40
17.5 M	0.20	0.34	0.42	0.52	0.72	1.02	1.52	1.80
6 M	0.20	0.32	0.50	0.64	0.82	1.52	1.80	2.52
2 M	0.20	0.30	0.32	0.42	0.52	0.92	1.52	2.12
1 M	0.00	0.00	0.12	0.22	0.50	0.72	1.02	1.34
0.5 M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.32	0.82
0.2 M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.30	1.02

時間 (分) \ 濃度 (M)	45	50	55	60	FINAL RESULT	
17.5 M	2.52	3.00	3.52	----	----	-----
6 M	2.80	3.00	3.50	----	----	-----
2 M	2.52	3.00	3.50	----	----	-----
1 M	1.52	2.00	3.00	----	----	-----
0.5 M	1.24	1.52	2.32	----	----	-----
0.2 M	1.22	1.50	1.82	----	----	-----

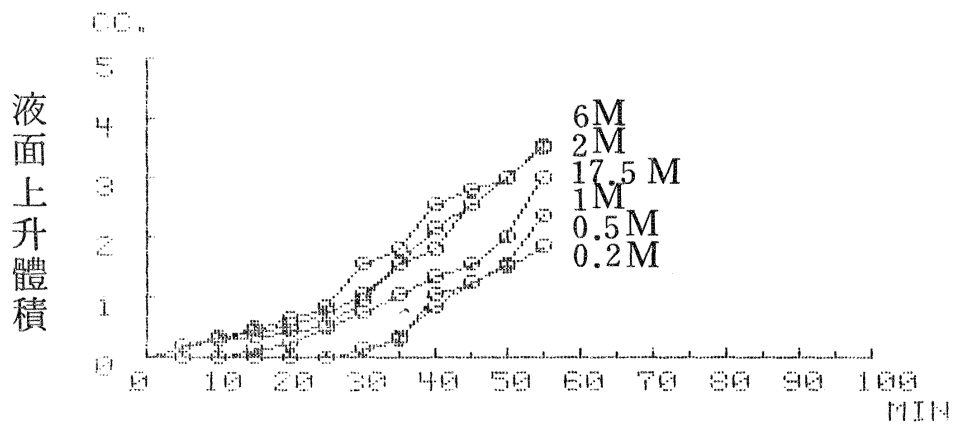


圖 2

4. 鋼絲絨表面酸殘餘量測定：

經過不同方式處理後之各種鋼絲絨浸入 200 ml 之蒸餾水，用 PH 計測定溶液中之 PH 值。結果如表 7 與圖 3。

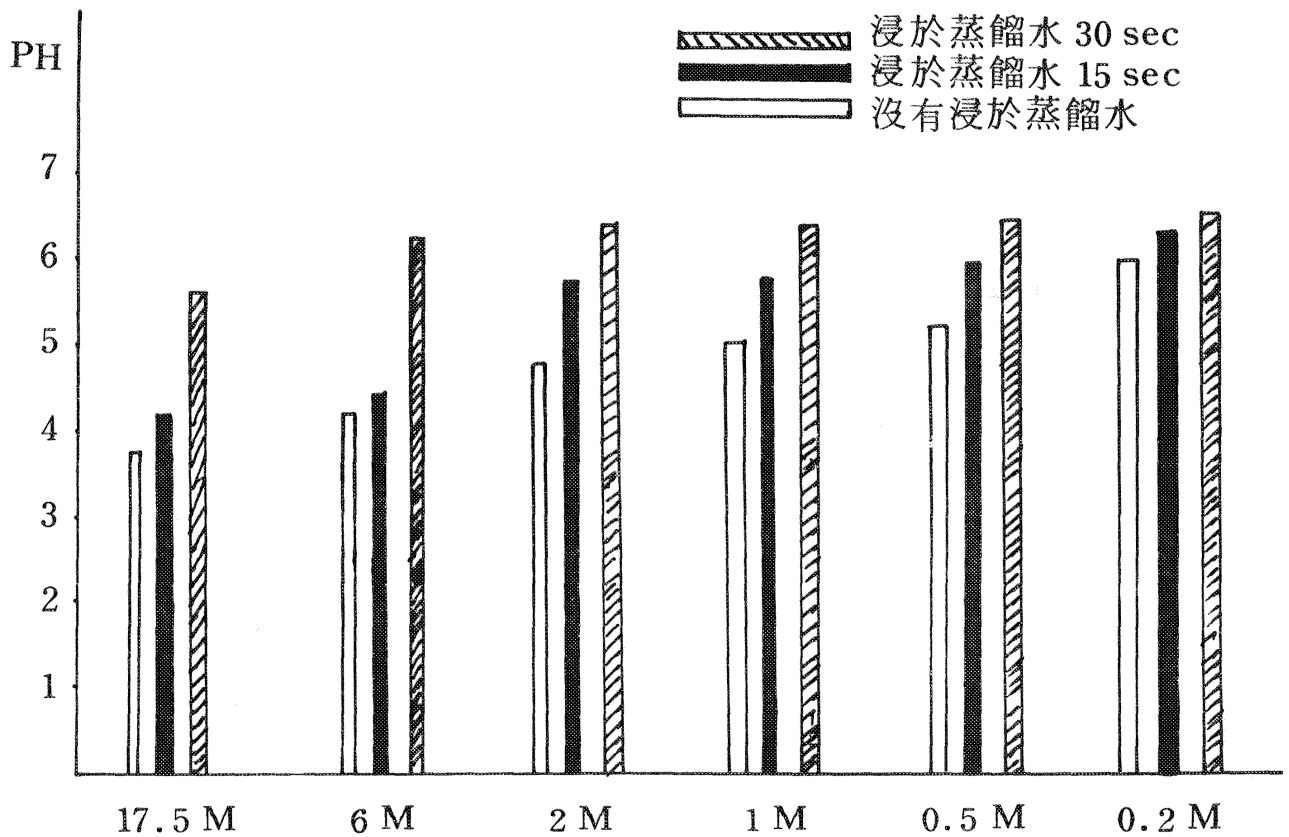


圖 3

(三)結論：

1. 由改變重量的實驗得知，使用 0.5 g ~ 1.0 g 的鋼絲絨可以得到 O₂ 的理想體積百分率實驗值。
2. 雖然重量較大的，反應速率較快。但因重量太大時，潮濕的鋼絲絨所佔有體積會影響實驗值，導致實驗的誤差。
3. 由於浸入蒸餾水中時間的差異，殘餘在鋼絲絨上酸的量亦不同，對於反應的催化作用也不一樣。
4. 從實驗數據知，浸於蒸餾水中 15 秒可得最理想 O₂ 的體積百分率，且反應速率也最快。
5. H⁺ 固然可以加速反應進行，但是如果 H⁺ 過量的話，會產生 H⁺，而得到不良的實驗結果。
6. 本實驗得知 O₂ 在空氣中體積百分組成爲 (19.98 ± 0.31) %，即測定值之範圍爲 19.67 % ~ 20.29 %。
7. O₂ 在乾燥空氣中體積組成爲 20.95 % (查自中山自然科學大辭典第五冊化學) 若視爲公認值，則本實驗百分誤差：4.6 %。

第三部份：利用微電腦分析處理資料以研究鐵與氧反應動力學

(一)原理：

1. 一次反應的原理：

$$(1) \log C = -K/2.303 \times t + \text{常數}$$

由上式得知，一次反應時，log C 與 t 間有直線關係。又由該直線之斜率乘以 -2.303 即得速率常數 K。

$$(2) K = 2.303/t \times \log a/a-x$$

上式中，a 表反應物的最初濃度，t 秒後其中有 x M 發生變化，(a - x) M 爲反應物所剩濃度，所以由測得各時間 t 之反應物濃度 (a - x) M，利用上式計算得 K。

$$(3) T_{\frac{1}{2}} = \frac{2.303}{K} \log \frac{a}{a/2} = \frac{2.303}{K} \log 2 = \frac{0.693}{K}$$

上式中，a 爲最初濃度，T_{1/2} 爲初濃度減至一半之反應時間，

稱爲半生期或半減期 (Period of half-life)，一次反應之半生期爲一不受初濃度影響的常數。

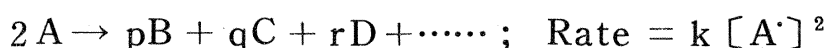
$$(4) \log K = -\Delta H_a / 2.303 R \times \frac{1}{T} + C \text{ 或 } \log \frac{K_2}{K_1} = \Delta H_a / 2.303 R$$

$\times \frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1}$ 上式中， ΔH_a 稱爲該反應之活化能，以 cal/mole

表示之。R 爲理想氣體常數。設於溫度 T_1 及 T_2 之反應速率常數各爲 K_1 及 K_2 ，若由實驗測得 K_1 與 K_2 ，則可依上式計算活化能 ΔH_a 。

2. 二次反應原理：

(1) 同一種物質之分子互相反應生成產物，即



設 A 之初濃度爲 a ，經 t 秒後，因反應而減少之濃度爲 x 則

$$\hookrightarrow \frac{1}{a-x} = kt + \frac{1}{a} \text{ (濃度之倒數對反應時間作圖爲一直線函數}$$

，斜率即爲速率常數)。

$$\hookrightarrow k = \frac{1}{t} \cdot \frac{x}{a(a-x)}$$

$$\square. \text{半生期 } T_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{ka} \text{ (初濃度愈大，半生期愈短)}$$

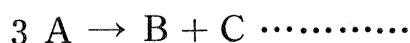
(2) 異種物質之兩分子互相反應生成產物者，即 $A + B \rightarrow qC + rD + \dots; \text{Rate} = k[A][B]$

設 A、B 之初濃度各爲 a 、 b (mole/l)，經 t 秒後，同反應而減少之濃度爲 x mole/l

$$\hookrightarrow k = \frac{2.303}{t(a-b)} \log \frac{b(a-x)}{a(b-x)}$$

$$\hookrightarrow \text{若 A 與 B 之初濃度相差不大時可以簡化成 } k = \frac{1}{t} \cdot \frac{x}{a(a-x)}$$

(3) 三次反應原理：



$$\text{Rate} = k [A]^2$$

設 A 之初濃度為 a (mole/l)，經 t 秒後，因反應而減少濃度為 x mole/l

$$\text{∴} \frac{1}{2(a-x)^2} = kt + \text{Cont}$$

$$\text{又} \frac{1}{2(a-x)^2} = kt + \frac{1}{2a^2}$$

(二)資料整理：

1.資料選用：

第二部份空氣中氧含量之測定所得之較理想實驗資料（以 $\log C$ 對 t 作圖近似直線）共有三組：

- (1)使用不同重量鋼絲絨浸過 17.5 M 的 CH_2COOH ，再浸入蒸餾水中 15 秒。
- (2)使用不同重量鋼絲絨浸過 6 M CH_3COOH ，再浸入蒸餾水 15 秒。
- (3) 1 g 之鋼絲絨浸過各種不同濃度 CH_3COOH 再浸入蒸餾水 15 秒。

2.資料處理的結果：

- (1)不同重量鋼絲絨浸過 17.5 M CH_3COOH ，再浸入蒸餾水 15 秒。其數據見表 8、表 9。

(表 8 t : 反應時間, C : O₂ 之濃度 mole/l, W : 表鋼絲絨重量)

W \ C \ t	5 分	10 分	15 分	20 分	25 分	30 分
0.25 g	7.51×10^{-3}	6.97×10^{-3}	6.35×10^{-3}	5.95×10^{-3}	5.48×10^{-3}	5.19×10^{-3}
0.50 g	6.70×10^{-3}	5.62×10^{-3}	4.44×10^{-3}	3.62×10^{-3}	3.00×10^{-3}	2.45×10^{-3}
0.75 g	6.40×10^{-3}	4.69×10^{-3}	3.47×10^{-3}	2.68×10^{-3}	1.91×10^{-3}	1.35×10^{-3}
1.00 g	5.33×10^{-3}	3.88×10^{-3}	2.70×10^{-3}	1.76×10^{-3}	1.21×10^{-3}	8.04×10^{-4}
1.25 g	3.48×10^{-3}	1.58×10^{-3}	5.94×10^{-3}	2.30×10^{-3}	5.10×10^{-5}	1.02×10^{-5}
1.50 g	3.54×10^{-3}	1.39×10^{-3}	4.27×10^{-4}	2.45×10^{-4}	6.15×10^{-5}	6.15×10^{-5}

W \ C \ t	35 分	40 分	45 分	50 分	55 分	60 分
0.25 g	4.72×10^{-3}	4.41×10^{-3}	4.07×10^{-3}	3.70×10^{-3}	3.41×10^{-3}	3.15×10^{-3}
0.50 g	1.84×10^{-3}	1.42×10^{-3}	1.29×10^{-3}	9.80×10^{-4}	7.64×10^{-4}	4.86×10^{-4}
0.75 g	9.26×10^{-4}	7.08×10^{-4}	4.68×10^{-4}	3.47×10^{-4}	2.05×10^{-4}	2.05×10^{-4}
1.00 g	4.27×10^{-4}	2.45×10^{-4}	1.23×10^{-4}	4.10×10^{-5}	4.10×10^{-5}	2.05×10^{-4}
1.25 g	1.02×10^{-5}	1.02×10^{-5}	1.02×10^{-5}	1.02×10^{-5}	1.02×10^{-5}	1.02×10^{-5}
1.50 g	4.10×10^{-5}	2.05×10^{-5}	2.05×10^{-5}	2.05×10^{-5}	2.05×10^{-5}	2.05×10^{-5}

(表9 t : 反應時間, log C : log([O₂]), W : 鋼絲絨之重量)

$\begin{matrix} t \\ \log C \\ W \end{matrix}$	5分	10分	15分	20分	25分	30分	35分	40分
0.25 g	-2.12	-2.16	-2.20	-2.23	-2.26	-2.28	-2.33	-2.36
0.50 g	-2.17	-2.25	-2.35	-2.44	-2.52	-2.61	-2.74	-2.85
0.75 g	-2.19	-2.33	-2.46	-2.57	-2.72	-2.87	-3.03	-3.15
1.00 g	-2.23	-2.41	-2.57	-2.75	-2.92	-3.09	-3.37	-3.61
1.25 g	-2.46	-2.80	-3.23	-3.63	-4.29	-4.99	-4.99	-4.99
1.50 g	-2.45	-2.86	-3.37	-3.61	-4.21	-4.21	-4.39	-4.69

$\begin{matrix} t \\ \log C \\ W \end{matrix}$	45分	50分	55分	60分	速率常數K(sec ⁻¹)	半生期(分)
0.25 g	-2.39	-2.43	-2.47	-2.50	2.98×10^{-4}	38.8
0.50 g	-2.89	-3.01	-3.12	-3.32	7.55×10^{-4}	15.3
0.75 g	-3.33	-3.46	-3.69	-3.69	1.09×10^{-3}	10.6
1.00 g	-3.91	-4.39	-4.39	-4.89	1.40×10^{-3}	8.3
1.25 g	-4.99	-4.99	-4.99	-4.99	3.11×10^{-3}	3.7
1.50 g	-4.69	-4.69	-4.69	-4.69	3.27×10^{-3}	3.5

(2)不同重量鋼絲絨浸過 6 M CH₃COOH，再浸入蒸餾水 15 秒。

其數據見表 10，表 11。

(表 10 t：反應時間，C：O₂之濃度 mole/l，W：鋼絲絨之重量)

W \ C \ t	5 分	10 分	15 分	20 分	25 分	30 分
0.25 g	7.57×10^{-3}	6.98×10^{-3}	6.42×10^{-3}	6.00×10^{-3}	5.53×10^{-3}	5.05×10^{-3}
0.50 g	7.28×10^{-3}	6.38×10^{-3}	5.67×10^{-3}	5.02×10^{-3}	4.34×10^{-3}	3.93×10^{-3}
0.75 g	7.03×10^{-3}	5.75×10^{-3}	4.74×10^{-3}	3.86×10^{-3}	3.08×10^{-3}	2.56×10^{-3}
1.00 g	6.32×10^{-3}	4.69×10^{-3}	3.59×10^{-3}	2.75×10^{-3}	1.72×10^{-3}	1.41×10^{-3}
1.25 g	5.33×10^{-3}	2.71×10^{-3}	2.32×10^{-3}	1.31×10^{-3}	8.23×10^{-4}	6.54×10^{-4}
1.50 g	4.17×10^{-3}	2.14×10^{-3}	8.97×10^{-4}	6.02×10^{-4}	1.42×10^{-4}	6.10×10^{-5}

W \ C \ t	35 分	40 分	45 分	50 分	55 分	60 分
0.25 g	4.76×10^{-3}	4.26×10^{-3}	3.94×10^{-3}	3.62×10^{-3}	3.41×10^{-3}	3.09×10^{-3}
0.50 g	3.31×10^{-3}	2.85×10^{-3}	2.55×10^{-3}	2.20×10^{-3}	1.96×10^{-3}	1.62×10^{-3}
0.75 g	2.40×10^{-3}	1.63×10^{-3}	1.28×10^{-3}	1.05×10^{-3}	8.31×10^{-4}	6.12×10^{-4}
1.00 g	9.65×10^{-4}	4.68×10^{-4}	4.08×10^{-4}	3.67×10^{-4}	2.66×10^{-4}	1.64×10^{-4}
1.25 g	3.45×10^{-4}	1.22×10^{-4}	6.13×10^{-5}	2.05×10^{-5}	2.05×10^{-5}	3.90×10^{-9}
1.50 g	4.07×10^{-5}	4.07×10^{-5}	2.04×10^{-5}	2.04×10^{-5}	2.04×10^{-5}	3.89×10^{-9}

(表 11 t : 反應時間, log C : log ([O₂]), W : 鋼絲絨之重量)

$\begin{matrix} t \\ \log C \\ W \end{matrix}$	5分	10分	15分	20分	25分	30分	35分	40分
0.25 g	-2.12	-2.16	-2.19	-2.22	-2.26	-2.30	-2.32	-2.37
0.50 g	-2.14	-2.20	-2.25	-2.30	-2.36	-2.41	-2.48	-2.54
0.75 g	-2.15	-2.24	-2.32	-2.41	-2.51	-2.59	-2.62	-2.79
1.00 g	-2.20	-2.33	-2.44	-2.56	-2.77	-2.85	-3.02	-3.33
1.25 g	-2.27	-2.57	-2.63	-2.88	-3.08	-3.19	-3.46	-3.91
1.50 g	-2.38	-2.67	-3.05	-3.22	-3.85	-4.21	-4.39	-4.39

$\begin{matrix} t \\ \log C \\ W \end{matrix}$	45分	50分	55分	60分	速率常數K(sec ⁻¹)	半生期(分)
0.25 g	-2.40	-2.44	-2.47	-2.51	3.06×10^{-4}	37.7
0.50 g	-2.59	-2.66	-2.71	-2.79	4.89×10^{-4}	23.6
0.75 g	-2.89	-2.98	-3.08	-3.21	7.46×10^{-4}	15.5
1.00 g	-3.39	-3.43	-3.58	-3.78	1.08×10^{-3}	10.7
1.25 g	-4.21	-4.69	-4.69	-8.41	1.58×10^{-3}	7.3
1.50 g	-4.69	-4.69	-4.69	-8.41	2.36×10^{-3}	4.9

(3) 1 g 的鋼絲絨浸過各種不同濃度 CH_3COOH ，再浸入蒸餾水 15 秒。數據見表 12、表 13。

(表 12 t : 反應時間, C : O_2 之濃度 mole/l, M : CH_3COOH 之濃度)

$\begin{matrix} t \\ M \\ C \end{matrix}$	5 分	10 分	15 分	20 分	25 分	30 分
1.75 M	5.43×10^{-3}	4.32×10^{-3}	3.17×10^{-3}	2.28×10^{-3}	1.53×10^{-3}	1.13×10^{-3}
6 M	6.15×10^{-3}	4.41×10^{-3}	3.23×10^{-3}	2.37×10^{-3}	1.86×10^{-3}	1.29×10^{-3}
2 M	8.01×10^{-3}	7.74×10^{-3}	7.50×10^{-3}	7.30×10^{-3}	7.02×10^{-3}	6.71×10^{-3}
1 M	8.20×10^{-3}	7.96×10^{-3}	7.69×10^{-3}	7.58×10^{-3}	7.27×10^{-3}	7.00×10^{-3}
0.5 M	8.19×10^{-3}	7.90×10^{-3}	7.77×10^{-3}	7.66×10^{-3}	7.38×10^{-3}	7.26×10^{-3}
0.2 M	8.18×10^{-3}	7.93×10^{-3}	7.91×10^{-3}	7.77×10^{-3}	7.63×10^{-3}	7.62×10^{-3}

$\begin{matrix} t \\ M \\ C \end{matrix}$	35 分	40 分	45 分	50 分	55 分	60 分
1.75 M	7.23×10^{-4}	5.64×10^{-4}	3.24×10^{-4}	2.84×10^{-4}	1.22×10^{-4}	1.22×10^{-4}
6 M	9.02×10^{-4}	6.26×10^{-4}	4.66×10^{-4}	3.05×10^{-4}	2.24×10^{-4}	2.24×10^{-4}
2 M	6.59×10^{-3}	6.36×10^{-3}	6.21×10^{-3}	5.91×10^{-3}	5.76×10^{-3}	5.54×10^{-3}
1 M	6.85×10^{-3}	6.55×10^{-3}	6.41×10^{-3}	6.11×10^{-3}	5.96×10^{-3}	5.84×10^{-3}
0.5 M	7.10×10^{-3}	6.93×10^{-3}	6.79×10^{-3}	6.64×10^{-3}	6.50×10^{-3}	6.38×10^{-3}
0.2 M	7.52×10^{-3}	7.39×10^{-3}	7.33×10^{-3}	7.27×10^{-3}	7.13×10^{-3}	7.08×10^{-3}

(表 13 t : 反應時間, log C : $\log([\text{O}_2])$, M : CH_3COOH 之濃度)

M \ log C \ t	5分	10分	15分	20分	25分	30分	35分	40分
17.5 M	-2.27	-2.36	-2.50	-2.64	-2.81	-2.95	-3.14	-3.25
6 M	-2.21	-2.36	-2.49	-2.62	-2.73	-2.89	-3.04	-3.20
2 M	-2.10	-2.11	-2.13	-2.14	-2.15	-2.17	-2.18	-2.20
1 M	-2.09	-2.10	-2.11	-2.12	-2.14	-2.15	-2.16	-2.18
0.5 M	-2.09	-2.10	-2.11	-2.12	-2.13	-2.14	-2.15	-2.16
0.2 M	-2.09	-2.10	-2.10	-2.11	-2.12	-2.12	-2.12	-2.13

M \ log C \ t	45分	50分	55分	60分	速率常數K(sec ⁻¹)	半生期(分)
17.5 M	-3.49	-3.55	-3.91	-3.91	1.20×10^{-3}	9.6
6 M	-3.33	-3.52	-3.65	-3.65	1.16×10^{-3}	10
2 M	-2.21	-2.23	-2.24	-2.26	1.34×10^{-4}	86.2
1 M	-2.19	-2.21	-2.22	-2.23	1.34×10^{-4}	86.2
0.5 M	-2.17	-2.18	-2.19	-2.20	9.22×10^{-5}	125.3
0.2 M	-2.13	-2.14	-2.15	-2.15	5.70×10^{-5}	202.6

(4) 不同重量鋼絲絨浸過 1.75 M CH_3COOH ，再浸入蒸餾水中 15 秒。於 0°C ， 20°C ， 27°C ， 37°C ，測得速率常數，並計算活化能 ΔH_a ，其數據見表 14、15、16、17、18。

表 14

W ΔV	時間					
	5 分	10 分	15 分	20 分	25 分	30 分
0.25 g	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36
0.50 g	0.11	0.21	0.31	0.41	0.50	0.60
0.70 g	0.15	0.30	0.44	0.58	0.71	0.84
1.00 g	0.20	0.39	0.58	0.76	0.93	1.09
1.25 g	0.26	0.51	0.75	0.97	1.19	1.39
1.50 g	0.34	0.61	0.91	1.24	1.50	1.74

W ΔV	時間					
	35 分	40 分	45 分	50 分	55 分	60 分
0.25 g	0.42	0.47	0.53	0.58	0.64	0.69
0.50 g	0.69	0.78	0.87	0.96	1.04	1.13
0.75 g	0.97	1.09	1.21	1.32	1.43	1.54
1.00 g	1.25	1.40	1.54	1.68	1.81	1.94
1.25 g	1.58	1.76	1.93	2.09	2.25	2.39
1.50 g	1.96	2.17	2.36	2.54	2.70	2.86

(20°C)

表 15

$\begin{array}{l} \text{時間} \\ \text{W} \quad \Delta V \end{array}$	5分	10分	15分	20分	25分	30分
0.25 g	0.24	0.46	0.68	0.89	1.08	1.26
0.50 g	0.41	0.78	1.12	1.43	1.72	1.99
0.75 g	0.59	1.11	1.57	1.98	2.34	2.66
1.00 g	0.79	1.46	2.03	2.45	2.90	3.23
1.25 g	1.05	1.88	2.54	3.06	3.48	3.81
1.50 g	1.36	2.35	3.06	3.58	3.96	4.23

$\begin{array}{l} \text{時間} \\ \text{W} \quad \Delta V \end{array}$	35分	40分	45分	50分	55分	60分
0.25 g	1.44	1.61	1.71	1.92	2.06	2.20
0.50 g	2.23	2.46	2.67	2.86	3.03	3.19
0.75 g	2.94	3.18	3.40	3.60	3.77	3.92
1.00 g	3.52	3.76	3.96	4.13	4.27	4.39
1.25 g	4.07	4.28	4.44	4.57	4.68	4.76
1.50 g	4.43	4.57	4.67	4.75	4.81	4.85

(37°C)

表 17

時間 W ΔV	5分	10分	15分	20分	25分	30分
0.25 g	0.87	1.59	2.19	2.67	3.08	3.41
0.50 g	1.37	2.37	3.10	3.63	4.01	4.29
0.75 g	1.90	3.10	3.85	4.33	4.63	4.82
1.00 g	2.70	3.96	4.54	4.81	4.94	5.00
1.25 g	3.75	4.65	4.86	4.91	4.92	4.92
1.50 g	4.25	4.76	4.82	4.82	4.82	4.82

時間 W ΔV	35分	40分	45分	50分	55分	60分
0.25 g	3.68	3.90	4.09	4.24	4.37	4.47
0.50 g	4.49	4.64	4.74	4.82	4.88	4.92
0.75 g	4.94	5.02	5.07	5.10	5.12	5.13
1.00 g	5.03	5.04	5.04	5.05	5.05	5.05
1.25 g	4.92	4.92	4.92	4.93	4.93	4.93
1.50 g	4.82	4.83	4.83	4.83	4.83	4.83

(27°C)

表 16

W △V	時間					
	5分	10分	15分	20分	25分	30分
0.25 g	0.48	0.82	1.27	1.54	1.89	2.11
0.50 g	0.77	1.36	1.85	2.24	2.62	2.90
0.75 g	1.02	1.94	2.57	3.08	3.51	3.84
1.00 g	1.45	2.47	3.14	3.68	4.12	4.37
1.25 g	1.93	3.01	3.71	4.24	4.51	4.62
1.50 g	2.52	3.79	4.34	4.52	4.73	4.80

W △V	時間					
	35分	40分	45分	50分	55分	60分
0.25 g	2.34	2.67	2.82	3.04	3.12	3.36
0.50 g	3.29	3.58	3.77	3.94	4.03	4.25
0.75 g	4.12	4.33	4.52	4.64	4.72	4.88
1.00 g	4.59	4.80	4.83	4.85	4.91	4.96
1.25 g	4.74	4.87	4.90	4.91	4.92	4.92
1.50 g	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82	4.82

表 18

T K	W					
	0.25 g	0.50 g	0.75 g	1.00 g	1.25 g	1.50 g
0°C	4.23×10^{-5}	7.06×10^{-5}	1.01×10^{-4}	1.37×10^{-4}	1.80×10^{-4}	2.41×10^{-4}
20°C	1.69×10^{-4}	2.80×10^{-4}	4.15×10^{-4}	5.73×10^{-4}	7.71×10^{-4}	1.07×10^{-3}
27°C	3.06×10^{-4}	4.89×10^{-4}	7.46×10^{-4}	1.08×10^{-3}	1.58×10^{-3}	2.36×10^{-3}
37°C	6.47×10^{-4}	1.07×10^{-3}	1.53×10^{-3}	2.55×10^{-3}	4.78×10^{-3}	7.09×10^{-3}
活化能 △H _a	13.22	13.07	13.05	14.36	16.64	17.31

(三)結論：

- 1.由前面資料整理，可知在我們的許多實驗中，數據較佳者氧之體積變化之速率，即鐵與氧之反應速率為一次反應（first order reaction）。因以 $\log [O_2]$ 對反應時間作圖，圖為一直線但 $\frac{1}{[O_2]}$ 對反應時間作圖為曲線，故知非二次反應，以 $\frac{1}{[O_2]^2}$ 對反應時間作圖為曲線，故知非三次反應。
- 2.鋼絲絨重量不同測得速率常數K，亦不同，重量較大者K較大，因反應速率與接觸面積有關。
- 3.當 CH_3COOH 濃度不同時，速率常數K亦不同。由此推知，鐵與氧之反應速率與催化劑濃度有關， $[H^+]$ 較大者，K值較大。
- 4.不同溫度，反應速率不同。在 H^+ 的催化下升高溫度 $10^\circ C$ 反應速率改變均為原來的2倍。
- 5.鋼絲絨重量愈大， CH_3COOH 濃度愈大溫度愈高半生期愈短。
- 6.實驗測得在 H^+ 的催化下活化能顯示約 $13 \sim 14 \text{ Kcal / mole}$ 。

四、研究總結論：

- (一)鐵的生銹是因空氣有 O_2 與 H_2O ；腐蝕作用是鐵被潮濕空氣的氧化作用。
- (二) H^+ 是鐵生銹反應的催化劑，故在酸性溶液中，鐵的腐蝕作用速率更快。
- (三) OH^- 可抑制生銹，故在鹼性溶液中，如： $KOH, NaOH, Na_2CO_3$ ，鐵的腐蝕作用較緩慢。
- (四)本實驗測得 O_2 在空氣中百分組成爲 $(19.98 \pm 0.31)\%$ ，即測定值範圍爲 $19.67\% \sim 20.29\%$ 。
- (五)利用微電腦分析處理資料，可求得各種變因之反應速率，顯示 Fe 與 O_2 之反應為一次反應。
- (六)利用微電腦分析處理資料，可得 Fe 與 O_2 之反應在各種不同情況（鋼絲絨重量變化， CH_3COOH 濃度變化，溫度變化的速率常數，半生期，活化能）。

參考資料

1. Fundamentals of chemistry
Brescia Arents Meislich Turk
2. Chemistry with Inorganic Qualitative Analgsis
Therald Moeller John C. Bailar
Jr. Jacob Kleinberg Cyrus.O. Guss
Mary E. Castellion clyde Metz
3. Basic Inorganic Chemistry
Cotton and Wilkinson
4. 普通化學 蔡子氓，鄭鍾芬主編，大中國圖書公司印行。
5. 物理化學實驗—曹簡禹、黃定加編著
國立編譯館出版 正中書局印行
6. 高中化學課本—東華書局印行
7. 高中化學實驗—東華書局印行
8. Journal of Chemical Education Volume 58
Number 10 October 1981
9. 中山自然科學大辭典第五冊化學
10. 電腦 PA . 800 C. 實習手冊—
全華科技圖書公司印行
11. BASIC 程式語言—關保新 王銘傑合譯
儒林書局印行
12. BASIC 應用 50 題—陳金追譯 儒林書局
13. 電腦與資料處理—陳偉健譯 儒林書局

評語：

優點：

探討鋼絲絨在各種化學溶液中生銹的情形，經定性定量研究測定反應速率，進一步以生銹法測定空氣中含氧量，着眼點很好，實驗數值豐富。

建議：

所用化學試劑的濃度，希使用正確方法標定後才使用，以免影響整個實驗數值。