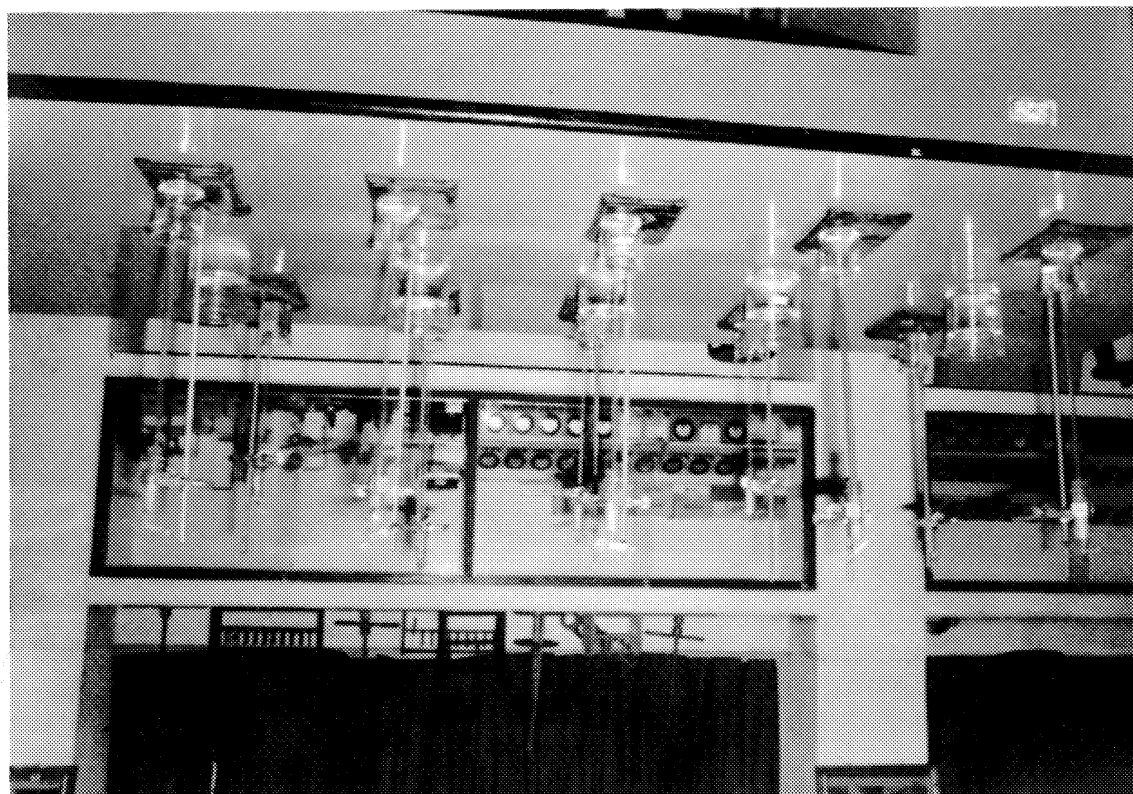


改良「測定空氣中氧含量」的實驗並探討 「影響鐵氧化銹蝕速率的因素」 國中學生組化學科第二名

基隆市立中正國中

作者：王維文、潘正良
王中允、張傳旺
指導教師：潘森熊、廖本良



一、研究動機

本校新建大樓的鐵窗裝上幾天就銹蝕了，氧化銹蝕之速率驚人，為什麼？使我們聯想到化學課本第一冊第二章習題作業中「鐵生銹非有水及空氣兩種東西不可」，而基隆氣候多雨水，同時靠近海邊，空氣中含有海水中之鹽類較多，是否鹽或其他物質

也會使鐵銹蝕之速率增快？因此我們着手研究。

二、研究目的

- 1.我們利用化學課本第一冊第三章「測定空氣中氧的含量」的改良實驗，來測定鋼絨（鐵）經海水、食鹽水，各種鹽類，甚而酸、鹼水溶液處理後，其氧化銹蝕速率的比較。
- 2.利用鐵氧化銹蝕的原理來定量空氣中的含氧量。

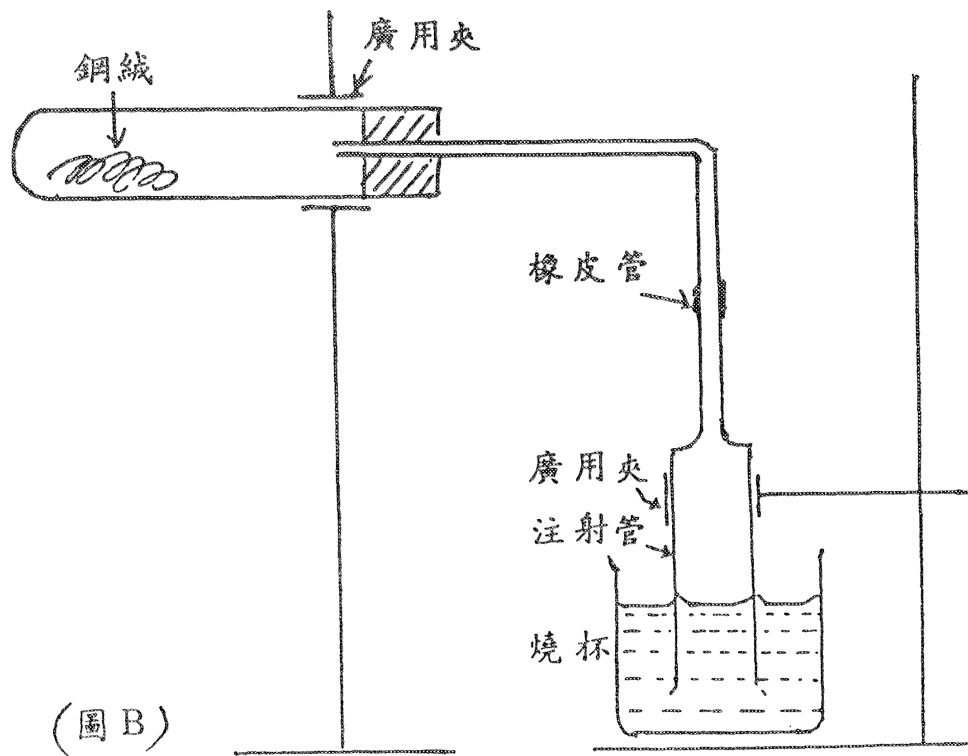
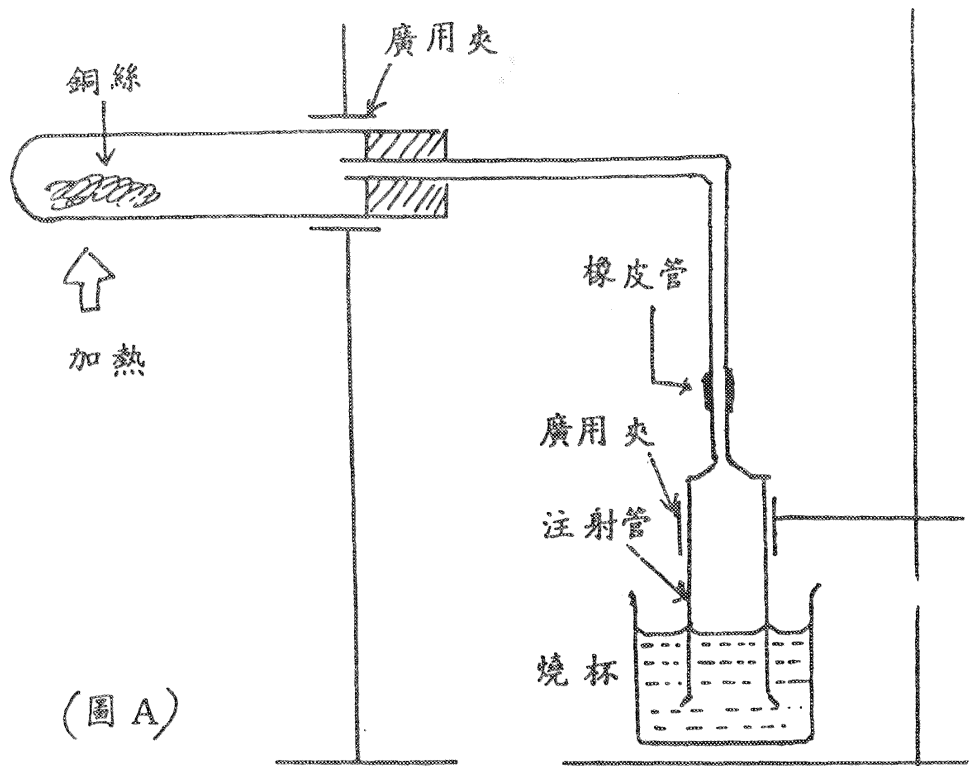
三、研究設備器材

燒杯、玻璃管、硬試管、鐵架、注射筒、橡皮管、尺、橡皮塞、鋼絨（鐵）、滴管、試管刷、夾子、溫度計、天平、鹽、酸、鹼等。

四、研究過程及方式

- 1.探討海水、食鹽水，各種鹽類以及酸和鹼的水溶液對鐵氧化銹蝕速率的影響：
 - (1)利用化學課本第三章「測定空氣中氧含量」的實驗裝置（如圖A）將鋼絨2公克浸入海水中，立刻取出甩乾後塞入大試管中每隔10分鐘記錄注射筒內水面高度，直到80分鐘，再依次用0.25 M醋酸、0.5 M醋酸、1 M硫酸銅水溶液，依法實驗，並記錄久。（如圖B）
 - (2)將實驗裝置改良如圖C之裝置：

稱取1公克之鋼絨浸入5%之食鹽水中，立刻取出，甩乾後用夾子把鋼絨塞入附玻管之注射筒內，塞緊橡皮塞，把玻璃管另一端浸入燒杯水中，使管內外水面等高，然後把注射筒另一端之橡皮管用夾子夾緊，筒內鋼絨漸氧化，氧量漸減少，管內壓力也隨之減小，玻管內水面上升，每隔10分鐘，記錄管內水面上昇高度，直到80分鐘，再依次用各種濃度之食鹽水、酸、鹼、塩、海水依法實驗並記錄之。
- 2.利用鐵氧化銹蝕的原理來定量空氣中的含氧量



(1)利用課本中的實驗裝置和方法來操作

①直接加熱銅箔

②以稀鹽酸處理銅箔，並用蒸餾水沖洗乾淨、乾燥之後加熱

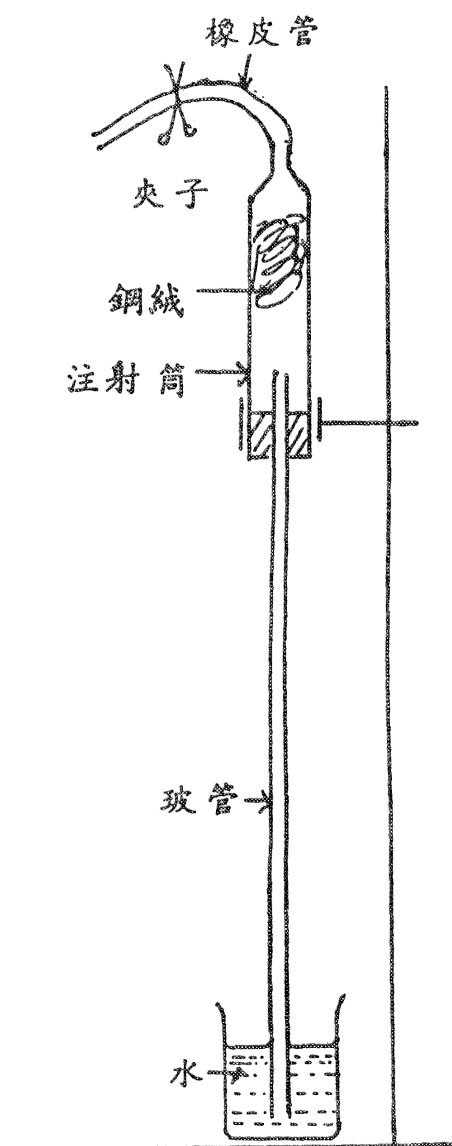
③以鋼絨代替銅箔，重覆甲、乙之實驗

(2)由實驗步驟(-)之結果中，找出使鐵氧化銹蝕的物質，如：

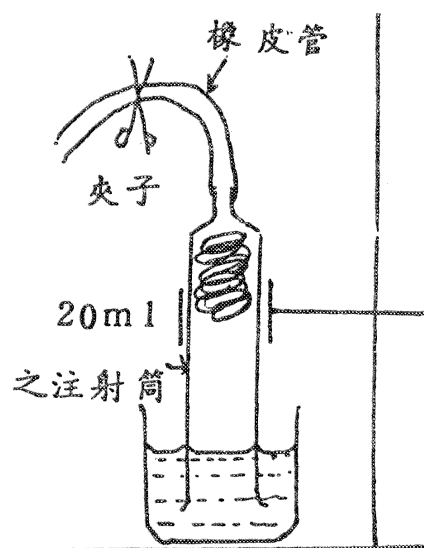
0.25 M之醋酸，0.5 M之醋酸鈉

50 ml + 0.5 M鹽酸 50 ml，5%的硫酸銅。

將圖C之裝置改為如圖D之裝置，依步驟(-)之第(2)項方法操作實驗。



(圖 C)



(圖 D)

五、實驗結果

表一：利用課本之實驗裝置測鋼絨氧化速率：

物質 (aq) \ 注射筒內上升之 ml 數 \ 歷時 (分)	10	20	30	40	50	60	70	80
海水 (1 M)	0	0	1	2	2	3	3	4
硫酸銅 (1 M)	1	2	3	4	5	6	6.5	7.5
醋酸 (1 M)	2	5.5	6.5	8	8.5	9	9	9
醋酸 (0.25M)	4	6.5	8	9	10.5	11	11	12

註：全部體積 110 ml

表二：海水：蒸餾水、食鹽水

物質的水溶液 \ 升高高度 (mm) \ 時間 (分)	10	20	30	40	50	60	70	80
海水	6	10	17	25	26	29	33	36
蒸餾水	1	3	4	6	6	8	8	8
食鹽水 (5%)	1	7	11	20	20	21	26	30
食鹽水 (10%)	3	8	11	16	20	23	25	27
食鹽水 (15%)	2	3	6	8	10	11	13	14
食鹽水 (20%)	4	8	9	11	13	17	18	19
食鹽水 (25%)	1	2	3	4	5	6	7	9

表三：酸

物質水溶液	升高高度 (mm)		時間 (分)						
	10	20	30	40	50	60	70	80	
醋酸 (1 M)	70	109	135	157	180	193	206	211	
鹽酸 (1 M)	12	20	31	43	55	66	78	88	
硫酸 (1 M)	41	59	80	94	109	124	137	144	
硝酸 (1 M)	12	27	36	39	40	41	44	47	
草酸 (1 M)	8	11	13	15	16	18	20	23	
硼酸 (1 M)	10	13	15	16	17	18	20	21	
檸檬酸 (1 M)	48	68	84	94	103	111	118	122	
酒石酸 (1 M)	26	37	44	49	53	56	57	60	

表四：鹼

物質水溶液	升高高度 (mm)		時間 (分)						
	10	20	30	40	50	60	70	80	
氫氧化鈉 (1 M)	2	6	1	1	0	0	-1	-1	
氫氧化鉀 (1 M)	2	6	1	2	1	0	-1	0	
氫氧化鈣 (1 M)	0	0	-1	0	-2	-2	-2	-2	
氫氧化銦 (1 M)	1	3	2	2	3	3	2	2	

表五：氯化物

物質的水溶液 升高高度 (mm)	時間 (分)							
	10	20	30	40	50	60	70	80
氯化銅 (1 M)	36.5	50.5	80.5	95.5	110.5	126.5	131.5	134
氯化鈉 (1 M)	14	28	37	46	53	59	65	71
氯化鈣 (1 M)	16	25	33	39.5	49	59	61	67
氯化鉀 (1 M)	6	12	21	24.5	27.5	30.5	39.5	45.5
氯化鎂 (1 M)	17	22	36	43	53	59	66	71

表六：硫酸鹽

物質的水溶液 升高高度 (mm)	時間 (分)							
	10	20	30	40	50	60	70	80
硫酸銅 (1 M)	29.5	60	73	87	99	110	124	132
(飽和) 硫酸鉀	11	24	34	41	48	55	70	71
硫酸鎂 (1 M)	5	9	15	18	22	25	28	31
(飽和) 硫酸鈉	4.5	9	11	14	16	19	19	20

表六：碳酸鹽

物質的水溶液 升高高度 (mm)	時間 (分)							
	10	20	30	40	50	60	70	80
碳酸鉀 (1 M)	3	5	5	5	4	4	4	4
碳酸鈉 (1 M)	0	0	1	1	-1	-2	-2	-3
碳酸氫鈉 (1 M)	0	-4	-5	-8	-9	-8	-9	-10

表八：硝酸鹽

物質水溶液	升高高度 (mm)		時間 (分)						
	10	20	30	40	50	60	70	80	
硝酸銅 (1 M)	39	53	65	78	90	103	118	126	
硝酸鈉 (1 M)	5	12	17	19	24	30	32	38	
硝酸鉀 (1 M)	6	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	8.5	10	
亞硝酸鈉 (1 M)	1	5	2	2	1	2	1	1	

表九：各種濃度的醋酸

物質水溶液	升高高度 (mm)		時間 (分)						
	10	20	30	40	50	60	70	80	
醋酸 (1 M)	53	84	105	117	128	136	138	147	
醋酸 (0.5 M)	51	83	109	129	144	160	166	176	
醋酸 (0.25 M)	61	102	169	188	203	210	212	214	
醋酸 (0.1 M)	24	44	61	76	91	105	117	131	
醋酸 (0.01 M)	8	12	17	19	23	28	31	35	

表十：銅鹽

物質水溶液	升高高度 (mm)		時間 (分)						
	10	20	30	40	50	60	70	80	
醋酸銅 (1 M)	7	16	35	55	82	110	136	154	
氯化銅 (1 M)	37	51	81	96	111	127	132	134	
硫酸銅 (1 M)	29.5	60	73	87	99	110	124	132	
硝酸銅 (1 M)	40	53	66	78	91	104	111	121	

表十一；鹵化物

物質 水溶液	升高高度 (mm)		時間 (分)							
	10	20	30	40	50	60	70	80		
氟化鈉 (1 M)	5.5	7.5	10	11	13	15.5	17.5	18.5		
氯化鉀 (1 M)	6	12	21	24.5	27.5	30.5	39.5	45.5		
溴化鉀 (1 M)	11	16.5	23	27.5	34	39.5	45	50		
碘化鉀 (1 M)	8	12.5	17	21	24	29	32	34.5		

表十二：各種不同濃度的物質比較

物質水溶液	升高高度 (mm)		時間 (分)						
	10	20	30	40	50	60	70	80	
硝酸銅 (5%)	38	66	88	107	125	144	158	170	
硝酸銅 (10%)	40	50	66	78	91	104	111	120	
氯化銅 (5%)	26	41	46	52.5	61	67	74	81	
氯化銅 (10%)	22	36	40	45	52.5	59.5	64	72	
硫酸銅 (5%)	57	80	106	130	147	162	180	192	
硫酸銅 (10%)	25	40	55	68	79	94	104	117	
硝酸鉀 (5%)	6	10	13	18	22	26	30	34	
硝酸鉀 (10%)	1	5	8	10	13	15	17	20	
硫酸鉀 (5%)	12	21	27	31	34	40	45	49	
硫酸鉀 (10%)	7	13	16	19	22	25	28	31	
硝酸鋅 (5%)	8	13	21	27	33	38	43	46	
硝酸鋅 (10%)	4	6	10	10	11	13	15	16	
硝酸鈉 (5%)	5	12.5	15	19	24	29	32	33	
硝酸鈉 (10%)	4.5	8	12	15	17	19	21	24	
亞硝酸鈉 (5%)	2	3	3	3	3	3	3	3	
亞硝酸鈉 (10%)	0	0	0	0	0	0	0	0	
食鹽水 (5%)	1	7	11	20	20	21	26	30	
食鹽水 (10%)	3	8	11	16	20	23	25	27	
蒸餾水	1	3	4	6	6	8	8	8	

表十三：

物質 水溶液	升高 高度 (mm)	時間 (分)							
		10	20	30	40	50	60	70	80
NaNO ₃	(1 M)	5	12	17	19	24	30	32	38
NaCl	(1 M)	14	28	37	46	53	59	65	71
Na ₂ CO ₃	(1 M)	0	0	1	1	-1	-2	-2	-3
NaHCO ₃	(1 M)	0	-4	-5	-8	-9	-8	-9	-10
Na ₂ SO ₄	(1 M)	4.5	9	11	14	16	19	19	20
NaOH	(1 M)	2	6	1	1	0	0	-1	20
NaCH ₃ COO	(1 M)	1	1.5	1.5	1	1	1	1	1.5
NaNO ₂	(1 M)	1	5	2	2	1	2	1	1

表十四：

物質水溶液	升高高度 (mm)		時間 (分)						
	10	20	30	40	50	60	70	80	
鉻酸鉀 (1 M)	1	0	1	-2	1	1	0	1	
鉻酸鈉 (1 M)	4	-2	2	2	3	3	3	4	
重鉻酸鉀 (飽和)	1	0	0	1	0	-1	0	2	
過錳酸鉀 (飽和)	0	3	1	1	4	1	1	2	
亞硝酸鈉 (1 M)	1	5	2	2	1	2	1	1	
海 水	5	7	9	12	15	16	21	25	
10 % 鉻酸鉀 + 90 % 海水，	1	1	1	1	1	1	1	1	
10 % 鉻酸鈉 + 90 % 海水，	0	0	0	0	0	0	0	0	
10 % 亞硝酸鈉 + 90 % 海水	1	1	1	1	1	1	1	1	
10 % 過錳酸鉀 + 90 % 海水	14	34	52	68	82	91	110	126	
0.25M 醋酸 (95ml) + 過錳酸鉀 (5 g)	1	1	0	0	0	0	0	0	

表十五：

物質 升高高度 (mm) 水溶液	時間 (分)	10	20	30	40	50	60	70	80
自來水		5	8	9	11	17	22	25	28
海水		3	7	12	19	24	27	35	39
0.25M醋酸 (95 ml) +氯化銅 (5 g)		20	32	47	52	63	74	80	89
0.5M醋酸鈉 (50 ml) + 0.5M鹽酸 (50 ml)		41	82	135	149	167	182	193	200
0.5M醋酸 (50 ml) + 0.5 食鹽 (50 ml)		34	64	91	109	125	141	155	165
0.5M醋酸 (50 ml) + 0.5M鹽酸 (50 ml)		54	94	103	110	110	107	104	99
醋酸 (0.25M)		61	102	169	188	203	210	212	214
0.25M醋酸 (以海水做溶劑)		57	91	112	124	134	140	143	144
0.25M醋酸 (90 ml) +氯化銅 (10 g)		49	83	98	113	127	140	147	160
0.25M醋酸 (95 ml) +食鹽 (5 g)		35	66	90	108	123	137	148	159
0.25M醋酸 (90 ml)+食鹽 (5g)+硫酸銅 (5g)		49	82	106	125	138	151	159	167

表十六：

物質的種類及處理情形	體積 (ml)	1		2		3		平均消耗空氣百分比
		空氣	水面上升	空氣	水面上升	空氣	水面上升	
直接加熱銅箔		108	15	109	15	110	15.5	13.91 %
用稀鹽酸洗淨再用蒸餾水洗淨後加熱		110	19	109	19.5	108	18.5	17.43 %
直接加熱鋼絨		137.5	19	138.5	18	135	17	13.14 %
用稀鹽酸洗淨鋼絨後加熱		161	29	141	25	137	24	17.75 %

表十七：

物質水溶液	升高高度 (mm)	時間 (分)								
		5	10	15	20	25	30	35	40	
醋酸 (0.25 M)		2	3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.25	16.25 %
0.5M醋酸鈉 (50ml) + 0.5M鹽酸 (50ml)		1	2.5	2.25	3	3.5	3.75	3.75	4	20 %
0.5M醋酸 (50ml) + 0.5M食鹽 (50ml)		1.25	2.5	3.25	3.75	3.75	3.75	4	4	20 %
硫酸銅 (5 %)		1.25	2.25	2.75	3	3.25	3.5	3.5	4	20 %

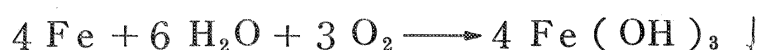
六、討 論

1. 本實驗最初利用課本中「測定空氣中氧含量」用之裝置，但因注射筒內水面高度不易調整與外面燒杯之水面等高，且上升不明顯，若把注射筒換成細玻璃管後，由於塞入橡皮塞時仍會壓縮空氣，使試管內之壓力大於大氣壓力，而使玻璃管內之液面低

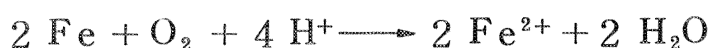
於管外之液面，所以經研究設計後，才改成本實驗之裝置，可以排除上述困難。

2. 本實驗氣溫、壓力都可能影響鐵氧化銹蝕速率的因素，應在同一狀況下進行實驗，才夠準確，但氣溫和壓力很難保持恒定，故實驗結果可能有誤差。每次實驗完畢，整套裝置都應清洗烘乾，否則會影響下一實驗之準確度。
3. 爲了便於比較說明不同物質對鐵氧化銹蝕之速率，故本實驗主要採用容積莫耳濃度，部分採用重量百分率濃度。（同種物質部分採用重量百分率濃度）。

4. 金屬在清水、海水、鹽類溶液及鹼性溶液中如有溶氧存在時，也會發生腐蝕，鐵在水中或潮濕空氣中生銹之反應式爲：



鐵在溶氧的酸中生銹之反應式爲：



5. 依表三、四對鐵氧化銹蝕速率的影響，酸大於鹼，其原因爲；酸中之氫離子會使腐蝕率增加，而使鐵的鈍化發生困難；而在鹼溶液中鐵的腐蝕是受氧擴散通過沉澱的腐蝕生成物〔通常爲 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 〕的速率所控制，而鐵在鹼溶液中也很容易鈍化，故腐蝕率較低。
6. 各種鹽類中以銅鹽對鐵氧化銹蝕的影響最大，究其原因，可能爲當鋼絨浸入銅鹽的水溶液中時，由於發生氧化還原反應，部分鋼絨的表面有銅生成，結果造成了鐵—銅電池，就像馬口鐵罐有部分的錫脫落時，鐵更易腐蝕生銹一樣，所以浸有銅鹽的鋼絨更易腐蝕。
7. 由表（十四）可知鉻酸鉀、鉻酸鈉、重鉻酸鉀、亞硝酸鈉、過錳酸鉀等水溶液對於鐵的生銹均有抑制作用，百分之十的鉻酸鉀、鉻酸鈉、亞硝酸鈉等水溶液均可抑制海水對鐵的銹蝕。加 5% 的過錳酸鉀於醋酸中，可抑制醋酸對鐵的銹蝕，但在海水中却無法抑制反而增快，究其原因可能爲：在弱酸中 $\text{MnO}_4^- + 4 \text{H}^+ + 3 \text{Fe}^{2+} \rightleftharpoons 3 \text{Fe}^{3+} + \text{MnO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ 產生 MnO_2 及

Fe_2O_3 等安定的氧化物，但在中性的水中 $3 \text{Mn}^{2+} + 2 \text{MnO}_4^- + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4 \text{H}^+ + 5 \text{MnO}_2$ 產生出 H^+ ，氫離子而加速了銹蝕的速率。

8. 課本中定量「空氣中的含氧量」的實驗結果欠佳，雖曾經被紀恭謙先生改良為銅箔來實驗，但其結果仍只達到 17.27%。若改用經鹽酸處理過的鋼絨，可達到 17.75%，但均需用強大的火力去加熱，不易操作，爲了克服這個難題，遂參考化學教育雜誌所登載的實驗，並將該實驗中所用的量筒改爲注射筒，以使注射筒內的氣體壓力與外界相等，並便於記錄，又根據表（十七）的顯示除了該實驗採用的 0.25 M 醋酸以外，我們發現 5% 的硫酸銅溶液以及表（十七）所列的溶液，效果均甚佳，可準確迅速地定量空氣中的含氧量。

七、結 論

1. 鐵的氧化銹蝕與水分有關，濕的空氣比乾燥空氣強，而且鹽水對鐵之氧化銹蝕更甚。
2. 對鐵氧化銹蝕速率的影響，酸大於鹼，而各種酸中，醋酸（ CH_3COOH ）尤甚（由表三、四得知）
3. 各種濃度之食鹽水中，以濃度 5% 之食鹽水影響鐵氧化銹蝕之速率最大。
4. 海水對鐵之氧化銹蝕速率影響比 5% 之食鹽水要大，這可能海水中除含有氯化鈉成分外，尚有多種物質的影響。
5. 各種鹽類中，以銅鹽對鐵氧化銹蝕速率影響最大（如表五、六、八）。
6. 依表六可歸納出各種陽離子對鐵銹蝕氧化速率影響： $\text{Cu}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$
7. 依表十一可知各種鹵素離子對鐵銹蝕氧化速率的影響爲： $\text{Br}^- > \text{Cl}^- > \text{I}^- > \text{F}^-$
8. 依表十三可知 Cl^- ， NO_3^- 等陰離子對鐵銹蝕氧化速率的影響以 Cl^- 最大，其次爲 NO_3^- ，再其次爲 SO_4^{2-} ，其他離子如 CO_3^{2-}

- ，碳酸氫根離子、氫氧根離子、亞硝酸根離子，均不太顯著。
9. 依表十二可知各種鹽類的水溶液對鐵氧化銹蝕速率的影響：濃度 5 % 者較濃度 10 % 者為甚。
 10. 由本實驗得知，基隆地區（本校）鐵容易氧化銹蝕，是由於多雨，靠近海邊，濕空氣中含鹽之故；欲使鐵不易氧化銹蝕，必須使鐵器保持乾燥，隔離空氣，少與酸、鹽類接觸。
 11. 利用本實驗之改良裝置除了可以測定「鐵氧化銹蝕之速率」外尚可迅速準確地測量「空氣中之含氧量」，以改進課本之實驗裝置。

評語：1. 能參考已發表之文獻及應用國中所習之實驗，作進一步之研究，頗有聯想。

2. 實驗過程，尚屬完整，亦有結果。

3. 有部分結論，尚有作進一步研究之必要。