

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

040217

從口到口的旅行

— 由電子的傳遞理解反應速率與化學平衡

學校名稱：國立宜蘭高級中學

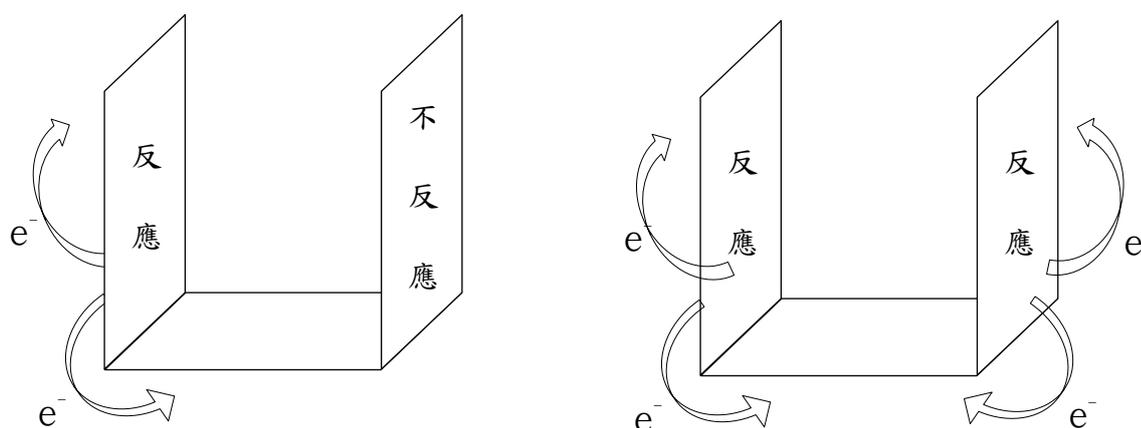
作者： 高二 鄭葦彥 高二 朱柏彥 高二 尤柏勛	指導老師： 游春祥 陳建欣
---	-----------------------------

關鍵詞：自製儀器、反應速率、化學平衡

摘要

當兩金屬相接後置於電解質溶液中，經由測量兩端氫氣產生量，分析(1)僅一端金屬可與電解液反應時，電子的流動狀況。及(2)兩端金屬皆可與電解液反應，電子的流動狀況。藉此探討金屬還原力及反應速率對於電子流動的影響。

為進行定量分析，經過不斷嘗試錯誤，成功自製安全方便的排水集氣實驗裝置(圖 7-1)進行研究。



壹、研究動機

偶然在翻閱參考書時，看到一道有趣的題目：鋅與銅分別放入酸液中，發現鋅端產生氫氣銅端則否，當鋅銅兩金屬相接，則僅銅端產生氫氣，鋅端則否。我們懷疑題目有誤，再加上參加科學營隊中玩過氫氣槍，對氫氣頗感興趣，於是，開始了我們的研究。

貳、研究目的

- 一、了解不同金屬材料組合與電解液反應，比較生成氫氣的速率與金屬組合之關係。
- 二、了解金屬在不同種類電解液反應，比較電解液對生成氫氣速率之影響。
- 三、了解不同濃度下，比較濃度對生成氫氣速率之影響。
- 四、了解不同溫度下，比較溫度對生成氫氣速率之影響。
- 五、比較不同接觸面積對生成氫氣速率之影響。
- 六、比較不同傳導面積對生成氫氣速率之影響。
- 七、比較不同裝置(□型與L型)對生成氫氣速率之影響。

八、將平時課程所學與實際操作結合並驗證，藉此修正及驗證試卷上的瑕疵。

九、經由研究，了解反應速率與化學平衡的差異。

十、了解電子在實驗中傳遞的方式及速率關係。

參、實驗原理

當反應電位($\Delta E^0 > 0$)，金屬即可與電解液反應生成氫氣，再由兩性金屬方程式，推測

兩性金屬在鹼性電解液中反應的結果。運用以下的化學方程式作為反應之基礎：

$M + nH^+ \rightarrow M^{n+} + n/2 H_2$ (M 為金屬)	$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$	$E^0 = 1.66$	
$Zn + 2OH^- + 2H_2O \rightarrow Zn(OH)_4^{2-} + H_2$	$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$	$E^0 = 0.76$	
$2Al + 2OH^- + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_4^- + 3H_2$	$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$	$E^0 = 0.44$	
$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2$	$Ni \rightarrow Ni^{2+} + 2e^-$	$E^0 = 0.23$	
$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$E^0 = 0$	$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$	$E^0 = -0.34$
$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$	$E^0 = -0.83$	$Al(OH)_4^- + 3e^- \rightarrow Al_{(s)} + 4OH^-$	$E^0 = -2.33$

肆、研究設備與器材

一、化學藥品：NaOH、HCl、H₂SO₄、pH計校正溶液。

二、金屬片：鋁片、銅片、鋅片、鎳片。

三、實驗器材：1. 止水帶、2. 封口臘膜(PARAFILM)、3. 橡皮軟管、4. 恆溫槽

5. 量筒、6. 自行研發器材



伍、研究流程圖



陸、研究過程

一、自製器材的目的：

為了方便收集 H_2 並定量及觀察其他變因之關係。

二、自製器材的演進：

(一)第一代裝置：

在反應槽中以針筒倒立放置藉以做為排水集氣的裝置，並從針筒口接出電線以膠帶纏繞連接兩金屬片，再以另一針筒接橡膠管伸入針筒中抽出氣體。

缺點：反應時，因為排水集氣過程中溶液液面下降，使金屬片上緣露出，反應面積改變，無法有效正確的測量此反應速率。



(二) 第二代裝置

裝置改良：

為解決第一代之問題，故將金屬片捲起，但不互相接觸，並放置在針筒倒立後之下緣，在液面到達金屬片上方固定刻度時結束反應測量。

缺點：

1. 在反應過程中，發現陰極反應速度緩慢，甚至無法反應，推測電線截面積過小使電阻過大，陽極電子直接和溶液中離子反應而不經由電線到陰極。
2. 電線因膠帶易被溶液侵蝕導致脫落。
3. 電線容易被拉扯斷裂。



(三) 第三代裝置

裝置改良：因為電線使用不方便，所以以細銅棒代替電線。

缺點：電子傳遞效果並未明顯改進。

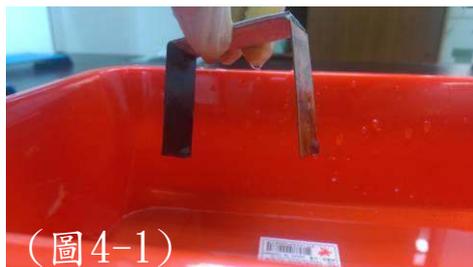


(四) 第四代裝置

裝置改良：為了減少其電阻影響問題，故將(2x10)的金屬片在一半(5cm)處重疊，以止水帶纏繞後，將對摺成冂字型。

註：此裝置只能定性，無法定量做量化分析，所以此裝置只能確定兩金屬片在溶液

中有無反應。



(五) 第五代裝置

裝置改良：

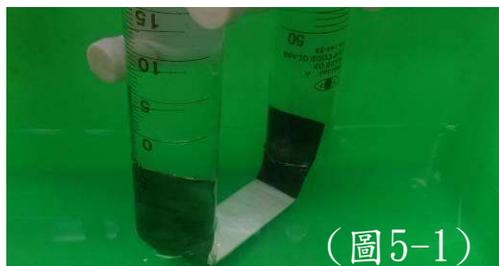
1. 為定量產生氣體的體積，故將兩量筒倒置固定於支撐架上，分別置於口字型金屬片上，以針筒接橡皮管伸入量筒中抽取氣體，進行排水集氣法，收集氫氣，藉以測量氫氣產生速率間接了解實驗反應速率。

2. 利用量筒刻度可以更方便測量

缺點：量筒截面積過大，可能使實驗誤差變大。因為要用手將橡皮管伸入量筒中抽取氣體，在濃度較高的溶液中有危險。

(六) 第六代裝置

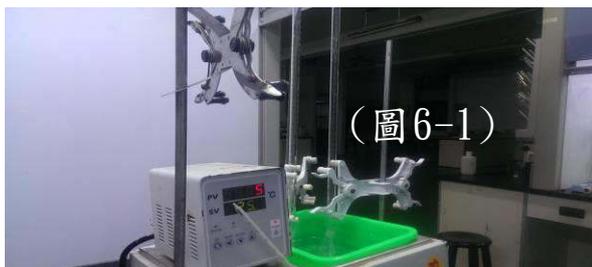
裝置改良：



1. 將量筒改成滴定管，並在滴定管口以止水帶(因膠帶易被溶液侵蝕)纏繞上一漏斗，且在開關端上接一橡膠管藉以抽取氣體，手即可不必直接接觸溶液。

2. 因滴定管相較與量筒而言，截面積較小，測量會更精準。

缺點：滴定管與漏斗連接處常因溶液侵蝕，所以滴定管會與漏斗分離，需重新纏繞。



(七)第七代裝置

裝置改良：訂做一特殊裝置，將漏斗與滴定管燒成一體，使接合處完全密合。



三、H₂反應速率的定量分析：

- (一) 酸洗的必要性: 進行實驗時，每組的速率均隨時間增加而加速直至穩定，推測反應過程中接觸面積一直增大至穩定。為使接觸面積為控制變因，故實驗前須先酸洗金屬組至速率穩定，此時可視為接觸面積固定。
- (二) 將 Al、Zn、Cu、Ni 四金屬組成六種口字型的金屬組合，定溫下分別與 1M HCl 反應，測量並記錄氫氣產生體積與時間。
- (三) 將 Al、Zn、Cu 三金屬組成三種口字型的金屬組合，定溫下分別與 1M 與 5M NaOH 反應，測量並記錄氫氣產生體積與時間。
- (四) 將 Al、Cu 分別製成三種金屬組，分別是口型(Al-Al、Al-Cu)和 L 型(Al)，分別與 5M NaOH 反應，測量並記錄氫氣產生體積與時間。
- (五) 將 Zn、Cu 組成口字型的金屬組合，分別改變與電解質溶液的反應面積及兩金屬相接的傳導面積。接觸面積分別為 2*5、4*5 cm²，傳導面積分別為 1*5、2*5、4*5 cm²，分別與 1M HCl 反應，測量並記錄氫氣產生體積與時間。
- (六) 將 Zn、Cu 金屬組成口字型的金屬組合，分別在 25°C 與 35°C 下和 1M HCl 反應，測量並記錄氫氣產生體積與時間。
- (七) 將 Al、Cu 組成口字型的金屬組合，定溫下與 5M HCl 反應，測量並記錄氫氣產生體積與時間。
- (八) 將 Al、Cu 組成口字型的金屬組合，分別在 25°C 與 35°C 下和 1M H₂SO₄ 反應，測量

並記錄氫氣產生體積與時間。

柒、研究結果

一、溶液 1M HCl：

(一)Zn-Cu：

Zn-Cu(third)				1M HCl	R (Zn)	R (Cu)	R(total)
次數	Zn 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Cu 之 H ₂ (ml)			
1	5	38.9	38.9	2.5	0.1285	0.0643	0.1928
2	10	78.4	39.5	4.9	0.1266	0.0608	0.1873
3	15	116.6	38.2	7	0.1309	0.0550	0.1859
4	20	154.8	38.2	9	0.1309	0.0524	0.1832
5	25	191.7	36.9	10.9	0.1355	0.0515	0.1870
6	30	229	37.3	12.8	0.1340	0.0509	0.1850
7	35	265.2	36.2	14.4	0.1381	0.0442	0.1823
					0.1321	0.0541	0.1862

(二)Zn-Ni：

Zn-Ni(third)				1M HCl	R (Zn)	R (Ni)	R(total)
次數	Zn 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Ni 之 H ₂ (ml)			
1	5	31.7	31.7	1.4	0.1577	0.0442	0.2019
2	10	65.6	33.9	2.8	0.1475	0.0413	0.1888
3	15	100.5	34.9	4.4	0.1433	0.0458	0.1891
4	20	133.7	33.2	5.7	0.1506	0.0392	0.1898
5	25	167.1	33.4	7.2	0.1497	0.0449	0.1946
6	30	200.6	33.5	9.7	0.1493	0.0746	0.2239
7	35	233.8	33.2	10.2	0.1506	0.0151	0.1657
					0.1498	0.0436	0.1934

(三)Al-Cu：

Al-Cu(third)				1M HCl	R (Al)	R (Cu)	R(total)
次數	Al 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Cu 之 H ₂ (ml)			
1	1	80.4	80.4	0.4	0.0124	0.0050	0.0174
2	2	150.7	70.3	0.8	0.0142	0.0057	0.0199
3	3	230.3	79.6	1.2	0.0126	0.0050	0.0176
4	4	307.6	77.3	1.5	0.0129	0.0039	0.0168
5	5	377.1	69.5	2	0.0144	0.0072	0.0216
					0.0130	0.0039	0.0169

6	6	454	76.9	2.3	0.0138	0.0055	0.0193
7	7	526.6	72.6	2.7	0.0133	0.0052	0.0185

(四)Al-Ni :

Al-Ni(third)				1M HCl	R (Al)	R (Ni)	R(total)
次數	Al 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Ni 之 H ₂ (ml)			
1	1	52.7	52.7	0.1	0.0190	0.0019	0.0209
2	2	97.5	44.8	0.2	0.0223	0.0022	0.0246
3	3	137.7	40.2	0.3	0.0249	0.0025	0.0274
4	4	174.8	37.1	0.4	0.0270	0.0027	0.0296
5	5	208.1	33.3	0.4	0.0300	0.0000	0.0300
6	6	239.8	31.7	0.5	0.0315	0.0032	0.0347
7	7	269.6	29.8	0.6	0.0336	0.0034	0.0369
					0.0269	0.0023	0.0292

(五)Al-Zn

Al-Zn(third)				1M HCl	R (Al)	R (Zn)	R(total)
次數	Zn 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Al 之 H ₂ (ml)			
1	2	22	22	0.2	0.0091	0.0909	0.1000
2	4	43.7	21.7	0.4	0.0092	0.0922	0.1014
3	6	65.3	21.6	0.5	0.0046	0.0926	0.0972
4	8	87.7	22.4	0.7	0.0089	0.0893	0.0982
5	10	108.9	21.2	0.9	0.0094	0.0943	0.1038
6	12	130.3	21.4	1	0.0047	0.0935	0.0981
7	14	150.7	20.4	1.2	0.0098	0.0980	0.1078
					0.0080	0.0930	0.1009

(六)Ni-Cu : (不反應)

(七)Zn-Fe:

Zn-Fe(first)				1M HCl	R (Zn)	R (Fe)	R(total)
次數	Zn 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Fe 之 H ₂ (ml)			
1	2	89.4	89.4	2.2	0.0224	0.0246	0.0470
2	4	161.9	72.5	3.5	0.0276	0.0179	0.0455
3	6	224.8	62.9	5.5	0.0318	0.0318	0.0636
4	8	282.6	57.8	6.9	0.0346	0.0242	0.0588
5	10	335	52.4	8.1	0.0382	0.0229	0.0611
6	12	382.8	47.8	9.2	0.0418	0.0230	0.0649
					0.0467	0.0234	0.0701

7	14	425.6	42.8	10.2	0.0347	0.0240	0.0587
---	----	-------	------	------	--------	--------	--------

二、 1M NaOH :

(一) Zn-Cu : (不反應)

(二) Ni-Cu : (不反應)

(三) Al-Cu :

Al-Cu(third)				1M NaOH	R (Al)	R (Cu)	R(total)
次數	Al 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Cu 之 H ₂ (ml)	0.0299	0.0015	0.0314
1	5	167	167	0.25	0.0282	0.0000	0.0282
2	10	344	177	0.25	0.0279	0.0014	0.0293
3	15	523	179	0.5	0.0272	0.0000	0.0272
4	20	707	184	0.5	0.0279	0.0014	0.0293
5	25	886	179	0.75	0.0286	0.0000	0.0286
6	30	1061	175	0.75	0.0294	0.0000	0.0294
7	35	1231	170	0.75	0.0285	0.0006	0.0291

(四) Al-Zn :

Al-Zn(third)				1M NaOH	R (Al)	R (Zn)	R(total)
次數	Al 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Zn 之 H ₂ (ml)	0.0235	0.0012	0.0247
1	5	212.8	212.8	0.25	0.0238	0.0019	0.0257
2	10	422.9	210.1	0.65	0.0293	0.0006	0.0299
3	15	593.3	170.4	0.75	0.0252	0.0023	0.0274
4	20	792	198.7	1.2	0.0243	0.0005	0.0248
5	25	997.5	205.5	1.3	0.0245	0.0022	0.0267
6	30	1201.6	204.1	1.75	0.0254	0.0013	0.0266
7	35	1398.7	197.1	2	0.0251	0.0014	0.0266

(五) Al-Ni :

Al-Ni(third)				1M NaOH	R (Al)	R (Ni)	R(total)
次數	Al 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Ni 之 H ₂ (ml)	0.0373	0.0037	0.0410
1	5	134	134	0.5	0.0314	0.0016	0.0330
2	10	293	159	0.75	0.0318	0.0032	0.0350

3	15	450	157	1.25	0.0298	0.0030	0.0327
4	20	618	168	1.75	0.0278	0.0042	0.0319
5	25	798	180	2.5	0.0299	0.0030	0.0329
6	30	965	167	3	0.0299	0.0045	0.0344
7	35	1132	167	3.75	0.0311	0.0033	0.0344

三、5M NaOH：

(一)Zn-Cu：

Zn-Cu(third)				5M NaOH	R (Zn)	R (Cu)	R(total)
次數	Zn 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Cu 之 H ₂ (ml)			
1	5	67.6	67.6	0.5	0.0740	0.0074	0.0814
2	10	129	61.4	1	0.0814	0.0081	0.0896
3	15	197.3	68.3	1.5	0.0732	0.0073	0.0805
4	20	252.8	55.5	2	0.0901	0.0090	0.0991
5	25	313.7	60.9	3	0.0821	0.0164	0.0985
6	30	373	59.3	3.5	0.0843	0.0084	0.0927
7	35	434.2	61.2	4	0.0817	0.0082	0.0899
					0.0810	0.0093	0.0902

(二)Al-Al：

Al-Al(third)				5M NaOH	R (Al)	R (Al)	R(total)
次數	Al 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Al 之 H ₂ (ml)			
1	5	34.6	34.6	6	0.1445	0.1734	0.3179
2	10	69.3	34.7	12	0.1441	0.1729	0.3170
3	15	101.9	32.6	18	0.1534	0.1840	0.3374
4	20	142.2	40.3	26	0.1241	0.1985	0.3226
5	25	167.1	24.9	31	0.2008	0.2008	0.4016
6	30	201.9	34.8	37	0.1437	0.1724	0.3161
7	35	236.9	35	42	0.1429	0.1429	0.2857
					0.1505	0.1779	0.3283

(三)Al-Cu：

Al-Cu(third)				5M NaOH	R (Al)	R (Cu)	R(total)
次數	Al 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Cu 之 H ₂ (ml)			
1	5	35.2	35.2	0.3	0.1420	0.0085	0.1506
2	10	72.5	37.3	0.6	0.1340	0.0080	0.1421
					0.1295	0.0104	0.1399

3	15	111.1	38.6	1	0.1302	0.0078	0.1380
4	20	149.5	38.4	1.3	0.1282	0.0103	0.1385
5	25	188.5	39	1.7	0.1272	0.0076	0.1349
6	30	227.8	39.3	2	0.1250	0.0100	0.1350
7	35	267.8	40	2.4	0.1309	0.0089	0.1398

(四) Al-Zn :

Al-Zn(third)				5M NaOH	R (Al)	R (Zn)	R(total)
次數	Al 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Zn 之 H ₂ (ml)			
1	5	35.2	35.2	1.5	0.1420	0.0426	0.1847
2	10	71.4	36.2	3	0.1381	0.0414	0.1796
3	15	106.1	34.7	4.5	0.1441	0.0432	0.1873
4	20	141	34.9	6.1	0.1433	0.0458	0.1891
5	25	177	36	7.8	0.1389	0.0472	0.1861
6	30	214.7	37.7	9.4	0.1326	0.0424	0.1751
7	35	250.2	35.5	10.9	0.1408	0.0423	0.1831
					0.1400	0.0436	0.1836

(五) Al :

Al(second)			R (Al)
次數	Al 之 H ₂ (ml)	time(s)	
1	5	47.6	0.1050
2	10	32.7	0.1529
3	15	33.8	0.1479
4	20	35.1	0.1425
5	25	34.7	0.1441
6	30	36	0.1389
7	35	36.9	0.1355
8	40	36.8	0.1359
9	45	36.9	0.1355
10	50	38.4	0.1302
			0.1368

(六) Zn : (幾乎不反應)

四、反應面積與傳導面積

(一) 反應 2*5 + 傳導 2*5 :

Zn-Cu(third)				1M HCl	R (Zn)	R (Cu)	R(total)
次數	Zn 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Cu 之 H ₂ (ml)			
1	5	38.9	38.9	2.5	0.1285	0.0643	0.1928
2	10	78.4	39.5	4.9	0.1266	0.0608	0.1873
3	15	116.6	38.2	7	0.1309	0.0550	0.1859
4	20	154.8	38.2	9	0.1309	0.0524	0.1832
5	25	191.7	36.9	10.9	0.1355	0.0515	0.1870
6	30	229	37.3	12.8	0.1340	0.0509	0.1850
7	35	265.2	36.2	14.4	0.1381	0.0442	0.1823
					0.1321	0.0541	0.1862

(二) 反應 2*5 + 傳導 4*5 :

Zn-Cu(Fourth)	中間 4*5			1M HCl	R (Zn)	R (Cu)	R(total)
次數	Zn 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Cu 之 H ₂ (ml)			
1	5	31.3	31.3	0.6	0.1597	0.0192	0.1789
2	10	61.6	30.3	1.2	0.1650	0.0198	0.1848
3	15	92.3	30.7	1.8	0.1629	0.0195	0.1824
4	20	122.8	30.5	2.4	0.1639	0.0197	0.1836
5	25	152.9	30.1	2.9	0.1661	0.0166	0.1827
6	30	183.4	30.5	3.5	0.1639	0.0197	0.1836
7	35	210.4	27	3.9	0.1852	0.0148	0.2000
					0.1667	0.0185	0.1852

(三) 反應 2*5 + 傳導 1*5 :

Zn-Cu(Fourth)	中間 1*5			1M HCl	R (Zn)	R (Cu)	R(total)
次數	Zn 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Cu 之 H ₂ (ml)			
1	5	23.4	23.4	0.5	0.2137	0.0214	0.2350
2	10	46.2	22.8	1	0.2193	0.0219	0.2412
3	15	69.5	23.3	1.5	0.2146	0.0215	0.2361
4	20	93.3	23.8	2	0.2101	0.0210	0.2311
5	25	116.3	23	2.5	0.2174	0.0217	0.2391
6	30	140.2	23.9	3	0.2092	0.0209	0.2301
7	35	162.7	22.5	3.5	0.2222	0.0222	0.2444
					0.2152	0.0215	0.2367

(四) 反應 4*5 + 傳導 4*5 :

Zn-Cu(second)	4*10			1M HCl	R (Zn)	R (Cu)	R(total)
次數	Zn 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Cu 之 H ₂ (ml)			
					0.1992	0.0159	0.2151

1	5	25.1	25.1	0.4	0.2058	0.0123	0.2181
2	10	49.4	24.3	0.7	0.2110	0.0211	0.2321
3	15	73.1	23.7	1.2	0.2146	0.0172	0.2318
4	20	96.4	23.3	1.6	0.2101	0.0084	0.2185
5	25	120.2	23.8	1.8	0.2110	0.0127	0.2236
6	30	143.9	23.7	2.1	0.2155	0.0172	0.2328
7	35	167.1	23.2	2.5	0.2096	0.0150	0.2246

五、溫度

(一)25°C :

Zn-Cu(third)				1M HCl	R (Zn)	R (Cu)	R(total)
次數	Zn 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Cu 之 H ₂ (ml)	0.1285	0.0643	0.1928
1	5	38.9	38.9	2.5	0.1266	0.0608	0.1873
2	10	78.4	39.5	4.9	0.1309	0.0550	0.1859
3	15	116.6	38.2	7	0.1309	0.0524	0.1832
4	20	154.8	38.2	9	0.1355	0.0515	0.1870
5	25	191.7	36.9	10.9	0.1340	0.0509	0.1850
6	30	229	37.3	12.8	0.1381	0.0442	0.1823
7	35	265.2	36.2	14.4	0.1321	0.0541	0.1862

(二)35°C :

Zn-Cu(fourth)	35°C			1M HCl	R (Zn)	R (Cu)	R(total)
次數	Zn 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Cu 之 H ₂ (ml)	0.3378	0.0068	0.3446
1	5	14.8	14.8	0.1	0.3401	0.0068	0.3469
2	10	29.5	14.7	0.2	0.3378	0.0068	0.3446
3	15	44.3	14.8	0.3	0.3356	0.0067	0.3423
4	20	59.2	14.9	0.4	0.3311	0.0066	0.3377
5	25	74.3	15.1	0.5	0.3205	0.0000	0.3205
6	30	89.9	15.6	0.5	0.3125	0.0063	0.3188
7	35	105.9	16	0.6	0.3185	0.0064	0.3248
8	40	121.6	15.7	0.7	0.3165	0.0063	0.3228
9	45	137.4	15.8	0.8	0.3086	0.0031	0.3117
10	50	153.6	16.2	0.85	0.3259	0.0056	0.3315

六、5M HCl

(一)Al-Cu :

Al-Cu(first)				1M HCl	R (Al)	R (Cu)	R(total)
次數	Al 之 H ₂ (ml)	time(s)	time(s)	Cu 之 H ₂ (ml)	1.2195	0.0488	1.2683
1	5	4.1	4.1	0.2	2.7778	0.1111	2.8889
2	10	5.9	1.8	0.4	2.5000	0.1000	2.6000
3	15	7.9	2	0.6	2.2727	0.0909	2.3636
4	20	10.1	2.2	0.8	2.1739	0.0870	2.2609
5	25	12.4	2.3	1	2.1739	0.0870	2.2609
6	30	14.7	2.3	1.2	2.0000	0.0800	2.0800
7	35	17.2	2.5	1.4	1.7857	0.0714	1.8571
8	40	20	2.8	1.6	1.6129	0.0645	1.6774
9	45	23.1	3.1	1.8	1.9231	0.0769	2.0000
10	50	25.7	2.6	2	2.0440	0.0818	2.1257

七、1M H₂SO₄ :

(一)Al-Cu : (不反應)

捌、結論與討論

一、第一代裝置到第三代裝置時，得到的結果呈現不反應極(Cu)產生的氫氣微乎其微，與想像中相差甚遠。經討論後，認為銅線電阻太大，電子不易通行，故進行裝置改良，製作口字型的反應裝置。

二、所有的實驗進行時，均發現隨著實驗的次數，反應速率漸增至穩定。經討論後，推測金屬經酸洗後，依接觸面積不同，反應速率也不同；當接觸面積趨於穩定後，反應速率即達穩定。

三、實驗一 1M HCl

		R(Al)	R(Zn)	R(Fe)	R(Ni)	R(Cu)	R(total)
1	Zn-Cu		0.13208			0.05414	0.18622
2	Ni-Cu				0	0	0
3	Al-Cu	0.01333				0.00517	0.01850
4	Zn-Ni		0.14981		0.04358		0.19339
5	Al-Zn	0.00797	0.09297				0.10094
6	Al-Ni	0.02689			0.00226		0.02915
7	Zn-Fe		0.03473	0.02398			0.05870
8	Al	0.01622					
9	Zn		0.36589				

(一)實驗 1、2、3 (Zn-Cu、Ni-Cu、Al-Cu)：

比較上表三種金屬組合陰極金屬相同，故可由陽極的氫氣產生速率及總速率得知其活化能之大小應為 $Zn < Al < Ni$ 。其中 Al 在 HCl 中反應產生 $AlCl_3$ 附著於 Al 金屬片上使接觸面積減少，速率較 Zn 慢；Ni 以還原電位判斷應可產生氫氣，但在 1M HCl 中未反應。

(二)實驗 1、2、4 (Zn-Cu、Ni-Cu、Zn-Ni)：

比較三組實驗數據，發現陽極端產生氫氣速率 $Zn-Ni > Zn-Cu > Ni-Cu$ ，陰極端產生氫氣速率 $Zn-Cu > Zn-Ni > Ni-Cu$ ，總產量速率為 $Zn-Ni > Zn-Cu > Ni-Cu$ 。因為 Zn-Cu、Zn-Ni 均僅 Zn 放出電子，且電阻為 $Ni > Cu$ ，由實驗結果知，電阻愈大陽極速率及總速率愈快，陰極速率愈慢。

(三)實驗 1、3、5 (Zn-Cu、Al-Cu、Al-Zn)：

比較三組實驗數據，發現 Al 的速率 $Al-Zn < Al-Cu$ ，且 Zn 的速率 $Al-Zn < Zn-Cu$ ，固可判斷，Al-Zn 實驗中 Al 與 Zn 速率皆減慢，推測 Al-Zn 時，兩金屬間產生內電阻導致速率變慢。總產量速率為 $Zn-Cu > Al-Zn > Al-Cu$ 。原推測 Zn-Cu 間僅 Zn

放出電子、Al-Cu 間僅 Al 放出電子，而 Al-Zn 中兩電極均可放出電子，推測應總量速率 $Al-Zn > Zn-Cu > Al-Cu$ ，與實驗結果不符，其中 Al-Zn 兩電極均可放出電子，兩金屬間產生內電阻導致速率最慢。

(四) 實驗 2、3、6 (Ni-Cu、Al-Cu、Al-Ni)：

與實驗(二)結果一致，電阻愈大陽極速率及總速率愈快，陰極速率愈慢。

(五) 實驗 1、4、5、9 (Zn-Cu、Zn-Ni、Al-Zn、Zn)：

比較四組實驗數據，發現 Zn 的速率 $Al-Zn < Zn-Cu < Zn-Ni < Zn$ ，所以單向反應之速率最大，又因電子移動導致速率減慢，電阻愈小，愈易於移動，速率下降愈多，其中 Al-Zn 兩電極均可放出電子，兩金屬間產生內電阻導致速率最慢。

(六) 實驗 3、5、6、8 (Al-Cu、Al-Zn、Al-Ni、Al)：

比較四組實驗數據，發現 Al 的速率 $Al-Zn < Al-Cu < Al < Al-Ni$ ，原本推測單向反應之速率最大，然實驗結果顯現 $Al < Al-Ni$ ，與 Zn 的實驗數據有所不同，猜測因為 Al 單向時與 HCl 反應生成 $AlCl_3$ ，不易擴散，其餘與實驗(五)相同。

(七) 結論：

1. 由還原電位知還原力 $Al > Zn > Ni > H_2 > Cu$ ，且知反應速率愈快，活化能愈小，由實驗結果得知，在酸性溶液中，其活化能為 $Zn < Al$ 。由還原力知，Cu 無法產生氫氣，Ni 應可以，然而實驗結果卻兩者皆無法產生氫氣，以此判斷 Ni 與 1M HCl 之活化能頗大，故皆為無效碰撞，亦屬不可反應極。
2. 反應總速率：兩端皆可反應 $<$ 僅一端可反應，判斷兩端皆可反應時因產生內電阻，導致總產率低於兩原產率之和，而此內電阻也導致兩可反應之金屬速率皆減慢。
3. 1M HCl 中，僅一端可反應時，電阻愈大陽極速率及總速率愈快，陰極速率愈慢。
4. 1M HCl 中，僅一端可反應時，產氫速率必陽極 $>>$ 陰極，且電阻愈大，落差愈大。
5. 1M HCl 中，比較單向反應(L)與雙向反應(□)，無論 Al 或 Zn 皆為單向者 $>$ 雙向

者，又雙向者電阻越大，電子越不易移動，速率下降越少。

四、實驗二 1M NaOH

		R(Al)	R(Zn)	R(Fe)	R(Ni)	R(Cu)	R(total)
1	Zn-Cu		0			0	0
2	Ni-Cu				0	0	0
3	Al-Cu	0.0285				0.0006	0.0291
4	Zn-Ni		0		0		0
5	Al-Zn	0.0251	0.0014				0.0266
6	Al-Ni	0.0311			0.0033		0.0344

(一)由反應結果，僅Al為可反應極，Zn雖亦為兩性金屬，但25°C、1M NaOH之條件下無法反應。

(二)實驗3、5、6(Al-Cu、Al-Zn、Al-Ni)：

總反應速率與陽極反應速率均為Al-Ni>Al-Cu>Al-Zn，陰極反應速率為Al-Ni>Al-Zn>Al-Cu。無法看出其規律。

五、實驗三 5M NaOH

		R(Al)	R(Zn)	R(Fe)	R(Ni)	R(Cu)	R(total)
1	Zn-Cu		0.081			0.001	0.090
2	Al-Cu	0.131				0.009	0.140
3	Al-Zn	0.140	0.044				0.184
4	Al-Al	0.151	0.178				0.328

(一)由實驗2、3、4(Al-Cu、Al-Zn、Al-Al)：總速率Al-Al>2(Al-Cu)>Al-Zn>Al-Cu，由此可知當Al-Al中兩端電子直接放出電子，反應速率較Al的電子須移至另一極時來得快。

(二)由實驗 2、3、4 (Al-Cu、Al-Zn、Al-Al)：電子移動導致速率減慢，電阻愈小，愈易於移動，速率下降愈多。

(三)由實驗 2、3、4 (Al-Cu、Al-Zn、Al-Al)：與 1M NaOH 比較時，Zn 在 5M NaOH 時可緩慢反應，導致總速率變快(Al-Zn > Al-Cu)。

(四)由實驗 1、3(Zn-Cu、Al-Zn)與實驗 2、3 (Al-Cu、Al-Zn)交叉分析，發現 Al-Zn 中 Al 與 Zn 的反應速率皆下降

(五)比較 Al-Cu 與 Al-Zn 分別與 1M NaOH 和 5M NaOH 反應，發現濃度上升 5 倍，反應速率也大約加速 5 倍，推測 NaOH 與 Al 的反應為一級反應。

六、實驗四 金屬與電解質溶液的反應面積及兩金屬相接的傳導面積(Zn-Cu)

	R (Zn)	R (Cu)	R(total)
反應 2*5 + 傳導 1*5	0.2152	0.0215	0.2367
反應 2*5 + 傳導 2*5	0.1321	0.0541	0.1862
反應 2*5 + 傳導 4*5	0.1667	0.0185	0.1852
反應 4*5 + 傳導 4*5	0.2096	0.0150	0.2246

(一)本實驗目前無法看出其規律性，打算重新進行實驗，再做確認。

七、實驗五 不同溫度下 Zn-Cu 與 1M HCl 反應

溫度	R (Zn)	R (Cu)	R(total)
25°C	0.1321	0.0541	0.1862
35°C	0.3259	0.0056	0.3315

(一)溫度上升 10°C 時，Zn 端速率變為 2.5 倍，Cu 速率約變為 0.1 倍，總速率約變為 1.78 倍。溫度提高，超過低限能的粒子數增加，故 Zn 極反應速率加快，此時電阻變大，故 Cu 極反應速率大幅減少。

八、實驗六 Al-Cu 分別與 1M 和 5M HCl 反應

	R (Al)	R (Cu)	R(total)
1M HCl	0.0133	0.0052	0.0185
5M HCl	2.0440	0.0818	2.1257

(一)由此實驗得知，濃度提高 5 倍時，Al 端氫氣生成速率約上升 150 倍，約為三級反應，Cu 端氫氣生成速率約上升 15.7 倍，氫氣總生成速率約上升 115 倍。但本實驗 5M 時反應速率太快，部分氣體外洩，誤差較大。

九、實驗七 Al-Cu 與 1M H₂SO₄ 反應

(一)此實驗產生氫氣的反應速率極慢，無法有效收集氫氣。

玖、總結

- 一、活化能愈大者，反應速率愈小
- 二、Ni 與溶液反應時，活化能頗大，故皆為無效碰撞，亦屬不可反應極。
- 三、無論在酸性或鹼性溶液中，僅一端可反應時，產氫速率必陽極>>陰極，且電阻愈大，落差愈大。
- 四、兩端皆可反應時，因產生內電阻，導致總產率變小，而此內電阻也導致兩可反應之金屬速率皆減慢。
- 五、比較單向反應(L)與雙向反應(□)，皆為單向者>雙向者，又雙向者電阻越大，電子越不易移動，速率下降越少。
- 六、以 Al-Cu 組成□型後，置於不同電解液時，Al 端氫氣生成速率：NaOH > HCl > H₂SO₄；Cu 端氫氣生成速率：HCl > NaOH > H₂SO₄。顯示酸鹼性與陰離子種類均會影響反應速率。
- 七、以 Al-Cu 組成□型後，置於不同濃度且不同電解液時，(1) 1M、5M 的 NaOH 時，Al 端氫氣生成速率約上升 5 倍，約為一級反應。(2) 1M、5M 的 HCl 時，Al 端氫氣生成速率約上升 150 倍，約為三級反應。(3) 1M、5M 的 H₂SO₄，Al 端氫氣生成速率均甚慢，難以收集定量。
- 八、溫度上升 10°C 時，Zn 端速率變為 2.5 倍，Cu 速率約變為 0.1 倍，總速率約變為 1.78 倍。溫度提高，超過低限能的粒子數增加，故 Zn 極反應速率加快，此時電阻變大，故 Cu 極反應速率大幅減少。
- 九、金屬與電解質溶液的反應面積及兩金屬相接的傳導面積(Zn-Cu)，目前無法看出其規律性，打算重新進行實驗，再做確認。

壹拾、參考資料與其他

- 一、第 47 屆中小學科學展覽 編號 040202 電子流動的真相
- 二、高中化學課本
- 三、化學反應平衡網站 <http://www.webqc.org/balance.php>

【評語】 040217

研究的主要內容為探討僅一端可產氫及兩端金屬皆可產生氫之反應速率，研究內容相當豐富，研究之學術及應用價值較不明確，內電阻宜有微觀的解釋。