

鐵鏽蝕暨常見金屬腐蝕動力與熱力的探討

高中組化學科第三名

省立板橋高中

作者：蔡岳霖、廖宮慶、洪世宗、趙宏杰
指導教師：黃啟淵

一、研究動機

鐵鏽蝕過程一般視為是無用的電池（電化學），若我們能將這化學能轉變為電能再轉變為熱能加以利用，是科學展覽作品中的一新研究領域；況且高中化學（三）鐵鏽蝕實驗，僅定性驗證鐵鏽蝕陰、陽極產物及酸性物加速鏽蝕的變因而已；在歷屆高、國中科展作品中也沒有出現量化的資料。因此，本研究希望從鐵鏽蝕暨常見金屬腐蝕動力與熱力的問題著手於量化方面的探討。

在應用方面，若能提高鐵鏽蝕過程的發熱速率，降低材料成本，化腐朽為神奇，將這些自發性的金屬腐蝕有效的利用，在創造能源並兼顧環保概念的實驗設計中，為維護地球資源盡心力，這些就是我們的研究動機。

二、研究目的

1. 加速鐵鏽蝕較佳變因量範圍的探討
2. 鐵鏽蝕平均反應速率與測出其平均反應熱的探討
3. 常見金屬腐蝕平均反應速率與測出其平均反應熱的探討
4. 歸類金屬腐蝕高溫發熱類型的探討
5. 提出應用本研究成果的探討

三、研究步驟（原研究步驟分成五部份，因篇幅因素，僅將第一至四部份列出研究問題）

『第一部份』加速鐵鏽蝕較佳變因量範圍的探討

實驗1

問題：找出加速鐵鏽蝕的較佳變因量範圍？

『第二部份』鐵鏽蝕平均反應速率與測出其平均反應熱的探討

實驗2-1

問題：找出較佳變因量範圍組合中，何者是加速鐵鏽蝕的最佳變因量組？

實驗2-2

問題：在不同鐵顆粒大小下，則鐵鏽蝕平均反應速率？

實驗2-3

問題：在純氧氣濃度下，則鐵鏽蝕平均反應速率？

實驗2-4

問題：在溫度每改變 10°C 下，則鐵鏽蝕平均反應速率比？

實驗2-5

問題：在不同品牌活性碳下，則鐵鏽蝕平均反應速率？

實驗2-6

問題：10克鐵顆粒大小(100 mesh)鐵鏽蝕平均反應熱的測定？

『第三部份』常見金屬腐蝕平均反應速率與測出其平均反應熱的探討

實驗3-1

問題：常見金屬（顆粒大小50 mesh）腐蝕平均反應速率的測定？

實驗3-2

問題：錳、鋅（顆粒大小100 mesh）腐蝕平均反應熱的測定？

『第四部份』歸類金屬腐蝕高溫發熱類型的探討

實驗4-1

問題：鐵、錳、鋅粉末（50 mesh）在不同氯化鹽下的熱反應速率測定？

實驗4-2

問題：鐵、錳、鋅粉末（50 mesh）在其它金屬粉末下的熱反應速率測定？

『第五部份』提出應用本研究成果的探討

實驗5-1

1.問題：應用金屬氧化腐蝕的原理來定量空氣中的含氧量？

2.實驗設計：

步驟：1.將20克鐵末（100 mesh）、醫藥用活性碳吸附劑：0.8克、氯化鈉濃度1.0m、3.0克放入錐形瓶（150mL）中均勻混合後，裝置如圖1。

2.一小時後，記下滴定管內水位的位置；再利用水量出整個裝置的體積及滴定管內水位的體積，重複操作十次，結果如表1。

3.結果：

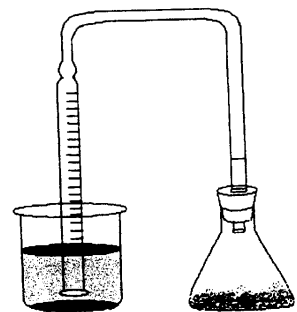


圖1

表1. 應用金屬氧化腐蝕的原理來定量空氣中的含氧量

結果 項目	次數										平均
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
(A)水位上升體積mL	49.4	46.4	51.5	48.9	49.2	46.6	49.4	49.2	51.3	49.6	49.15
(B)原容器體積mL	235	232	234	233	234	233	235	234	233	236	233.9
[(A)/(B)] ×100%	21.2	20.0	22.0	21.0	20.5	21.0	21.0	21.0	22.0	21.1	21.0

實驗5-2

1.問題：應用金屬腐蝕後的混合物與雙氧水、氯酸鉀反應能製氧氣嗎？

2.實驗設計：

步驟：1.取實驗3-2、4-1、4-2後的粉末取4公克，加入5% H₂O₂ 50毫升，在250錐形瓶中以排水法收集氧氣，並記錄時間。另取二氧化錳粉末4公克，加入5% H₂O₂ 50毫升，在250錐形瓶中以排水法收集氧氣。收集的氧氣以火柴餘燼檢驗其助燃性。

2.方法同1，僅將5% H₂O₂ 50毫升改成20公克氯酸鉀均勻混合加熱。

3.結果：

(1)實驗3-2、4-1、4-3反應後的混合物與雙氧水、氯酸鉀產生的氧氣，以火柴餘燼檢驗，其有助燃性。

(2)實驗3-2、4-1、4-2反應後的混合物與雙氧水、氯酸鉀產生的250mL氧氣所需的時間與二氧化錳當催化劑時相近。因此它們催化氧產生的速率與二氧化錳的效果一樣好。

實驗5-3

1.問題：應用金屬腐蝕的放熱原理能否去溫熱食物？

2.實驗設計：

步驟：1.在燒杯中放入鐵（錳、鋅）50 mesh 粉40公克、鎂粉（鋁粉）5公克、氯化鈉0.5公克、水6公克混合，在十分鐘內測溫度變化。

2.同(1)步驟，加活性碳2公克。

3.在燒杯中放入鐵（錳、鋅）40公克、銅粉5公克、氯化鈉0.5公克、水6公克活性碳2公克混合，在十分鐘內測溫度變化。

4.重複(2~3)僅將氯化鈉改為氯化銅。

3.結果：

- (1)在燒杯中放入鐵（錳、鋅）粉40公克、鎂粉（鋁粉）5公克、氯化鈉0.5公克、水6公克混合，溫度上升7°C而已。
- (2)在燒杯中放入鐵（錳、鋅）粉40公克、鎂粉（鋁粉）5公克、氯化鈉0.5公克、水6公克、活性碳2公克混合，三分鐘內溫度高達99°C，可以應用去溫熱食物。有鋁粉時，溫度變化較慢些。
- (3)在燒杯中放入鐵（錳、鋅）40公克、銅5公克、氯化鈉0.5公克、水6公克、活性碳2公克混合，三分鐘內溫度高達99°C，可以應用去溫熱食物。
- (4)在燒杯中放入鐵（錳、鋅）粉40公克、鎂粉（鋁粉）5公克、氯化鈉0.5公克、水6公克、活性碳2公克混合，三分鐘內溫度高達99°C，可以應用去溫熱食物。
- (5)在燒杯中放入鐵（錳、鋅）40公克、銅5公克、氯化鈉0.5公克、水6公克、活性碳2公克混合，30秒內溫度高達99°C，可以應用去溫熱食物。

實驗5-4

1.問題：金屬腐蝕由化學能→電能→熱能看得見？

2.實驗設計：如圖2。

操作方法：

- (1)將40公克鐵 50 mesh 放入裝置中，如圖.2。測電流、溫度變化。
- (2)再加5mL水於(1)中，測電流、溫度變化。
- (3)再加1克氯化鈉於(2)中，測電流、溫度變化。
- (4)再加1克活性碳於(3)中，測電流、溫度變化。
- (5)可重複實驗4-1與實驗4-2，測電流、溫度變化。

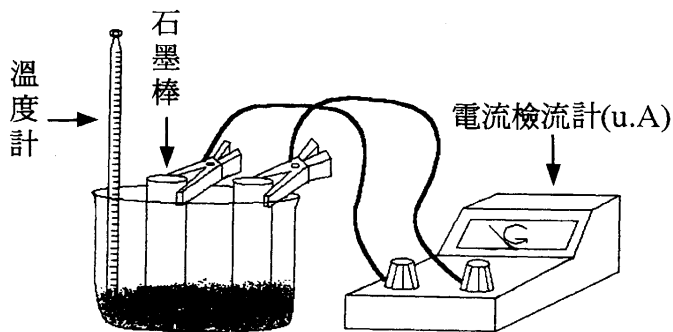


圖2

3.結果：（以實驗4-1為例）

(1)化學能：將鐵（錳、鋅）粉40公克、鎂粉5公克、氯化鈉0.5公克、水6克、活性碳2克，放入試管中，具有化學能。

(2)電能：由本實驗檢流計指針偏動方向，可了解電流方向隨時改變，是亂流動的電流。

(3)熱能：由於亂流動的電流無法使用，因此它轉換產生熱量，這可由溫度計瞭解有熱能的產生。

實驗5-5

1.問題：金屬腐蝕中亂流動的電流可能長時間成為單方向電流嗎？

2.實驗設計：

操作方法：（以鐵粉為例）

(1)每一分鐘測1m氯化鈉溶液電流一次，共10次，紀錄如表2。

(2)各二份40公克鐵50mesh分別放入裝置中，如圖3。再各加5mL水於(1)中，抽出隔板，測電流。紀錄如表3。

(3)步驟同(2)，僅將左邊改成加入1m氯化鈉溶液5mL，抽出隔板，測電流，紀錄如表4。

(4)步驟同(3)，僅將左邊再加入1克活性碳，均勻攪拌後抽出隔板，測電流，紀錄如表5。

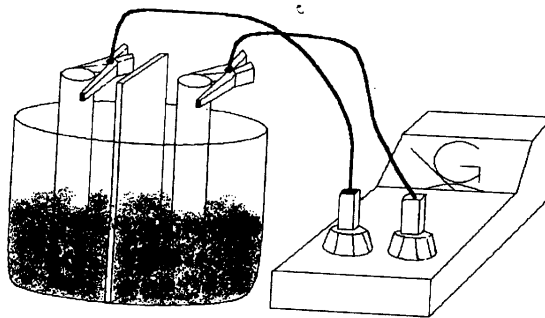


圖 3

3.結果：

(1)表2 氯化鈉溶液（1m）電流變化

實驗編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(uA)	+44.5	-26.8	-21.3	+7.5	+25.2	-35.4	-24.5	-45.9	+12.8	+8.2

(2)表3 40公克鐵 (50mesh) 5mL水中電流變化

實驗編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(μA)	+0.3	+0.5	-1.2	+0.1	-0.9	-0.6	-0.9	+0.2	+0.6	+0.3

(3)表4 40公克鐵 (50mesh) 在5mL氯化鈉溶液 (1m) 中電流變化

實驗編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(μA)	14.3	20.5	32.2	42.1	44.9	65.6	84.9	95.5	124.6	107.2

(4)表5 40公克鐵 (50mesh) 在5mL氯化鈉溶液 (1m)、1克活性碳中電流變化

實驗編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
電流(μA)	4.3	6.5	25.2	87.1	105.9	125.6	174.9	215.3	244.6	272.5

實驗5-6

- 1.問題：金屬腐蝕過程需要氧氣、產生腐蝕電流、放熱等，這三者反應能同時看得到嗎？
- 2.實驗設計：如圖4。

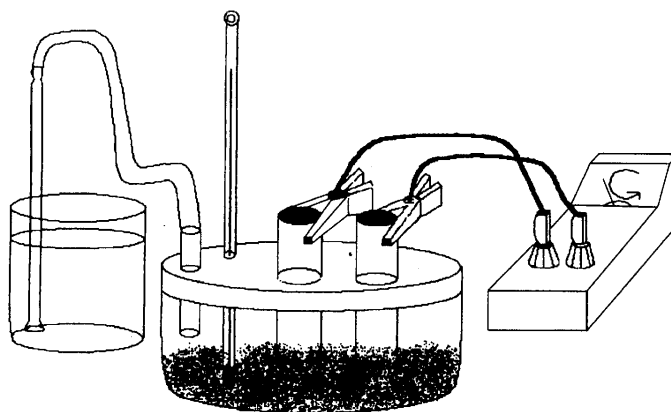


圖 4

3. 結果：金屬腐蝕過程需氧氣、產生腐蝕電流、放熱等，可以同時看得到。
日後也可以利用這實驗設計進行三者間的分析、討論、研究。

四、綜合討論：（僅列出應用方面）

1. 我們發現達高溫度發熱類型有四類：

第一類型：鐵（錳、鋅）粉末＋氯化鈉＋活性碳＋水。

第二類型：鐵（錳、鋅）粉末＋氯化銅＋活性碳＋水。

第三類型：鐵（錳、鋅）粉末＋金屬粉末＋氯化鈉＋活性碳＋水。

第四類型：鐵（錳、鋅）粉末＋金屬粉末＋氯化銅＋活性碳＋水。

(1) 第一類型：鐵、錳、鋅氧化膜應該較相同，所以可以高溫度發熱。

(2) 第二類型：鐵（錳、鋅）與可溶性氯化銅反應先發生

『鐵—銅電池』反應 $\text{Fe} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}$ （快）

另一部份發生第一類型。

(3) 第三類型：鐵（錳、鋅）粉末＋金屬粉末＋氯化鈉＋活性碳＋水。

其中一部份：發生鐵（錳、鋅）與活性小的金屬Cu、Ag接觸，會加速鐵的腐蝕。鐵（錳、鋅）與活性大的金屬Mg接觸，會加速鎂的腐蝕反應放熱，屬於同相金屬間的腐蝕。

另一部份發生第一類型。

(4) 第四類型：鐵（錳、鋅）＋金屬粉末＋氯化銅＋活性碳＋水。

是第一、第二、第三類型的混合。

2. 氧化鐵(Fe_2O_3)、錳的氧化物、氧化鋅(ZnO)等都是與雙氧水、氯酸鉀反應製氧氣時的催化劑（楊寶旺，民73）。本實驗反應後的混合物中有少量活性碳，與雙氧水反應是安全的；但此混合物與氯酸鉀反應製氧前要特別小心處理。本實驗反應後的混合物中去除少量活性碳後使用情況良好，其清洗步驟如下：

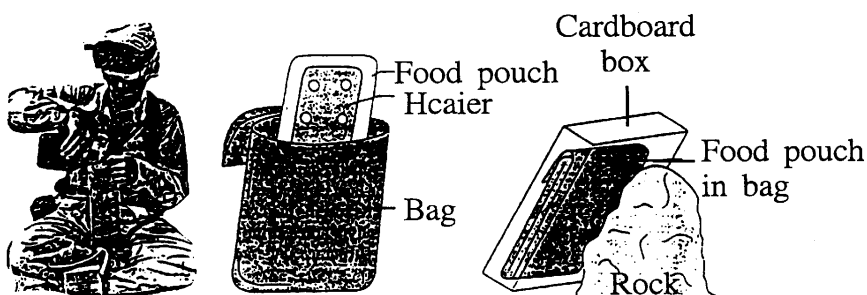
(1) 先以布當濾網，將反應後的混合物置在其上，以水慢慢沖洗、掏洗之，確定沒有黑色液流出。將混合物烘乾後，再以本生燈強熱去除極少量的活性碳。

(2) 為了更安全起見，先將少量混合物與少量氯酸鉀加熱，細心觀察有無爆炸聲，如有爆炸聲，萬萬不可使用，以免造成爆炸的不幸事情發生。

3. 美軍利用放熱反應去溫熱食物？

現在市面上有一種溫熱便當是利用石灰與水放熱原理製成的，可是軍隊

的溫熱便當不可以是這類型。因為野戰便當非常容易被壓破而使石灰遇水放熱，以所美軍陸軍野外演習作戰時，如欲吃溫熱食物，將食物放入特殊溫熱袋加一點水，即可溫熱食物，如圖.5。



我們也依照上面的成份 $Mg+Fe+NaCl+H_2O$ 混合可能是因為鎂粉表面有氧化膜的原因，此反應溫度變化不大。又根據我們的歸納這應該屬於上述的第三類型，必須加活性碳。當我們再加入活性碳馬上產生高溫放熱反應—這是新發現喔！也可能是書本沒有完全說明清楚吧！因此，自己動手實驗是重要的。

4. 從歷屆國中、高中科展資料得知，測量空氣中氧氣的方法有(1)鋼絲絨加一點醋酸(2)銅箔加熱(3)五倍子酚加氫氧化鈉。他們測量的數字沒有超過20%以上，尤其五倍子酚是有毒性的。本研究的配方具有高吸氧功能，水蒸氣也會吸收，因此是目前最沒有污染、最簡單省時又準確的方法，值得在教育課程上推廣。
5. 大學入學考試中心在八十七學年度學科能力測驗自然考科試題，單一選擇題第7題有爭議：其公佈答案為(B)，但我們認為正確答案應為(B)與(D)，如下說明：
6. 溫熱包（或稱懷爐）是一種可用來飽暖、熱敷的裝備。鐵粉、碳粉、木屑、食鹽和泡沸石粉末在真空混合包裝而成。使用時，將封口打開接觸空氣就發熱。其中的化學反應主要是利用鐵粉在催化條件下與空氣中的那一種物質反應而放熱？
(A) N_2 (B) O_2 (C) CO_2 (D) H_2O (E)Ar

以本研究的資料可以瞭解原題目有爭議點是：

- (1) 碳粉應該是活性碳才正確
- (2) 溫熱包（或稱懷爐）是利用鐵粉在催化條件下，所發生的鏽蝕放熱過程與木屑無關。

(3)鐵鏽蝕放熱過程的原料是：鐵粉、氯化鈉、活性碳、水和空氣中的氧氣反應而成的，也就是本研究所歸納的高溫度發熱第一類型。所以正確答案應該為(B)與(D)才對。

五、結論

第一部份

- 1.以萬能電磁器改變電壓產生磁力，無顯著影響鐵鏽蝕的發現。而吸附劑粉末以實驗用活性碳（甲）加速鐵鏽蝕效果佳，其它蔗糖、洋菜膠、澱粉、明礬則無影響鐵鏽蝕的發現。
- 2.10克鐵顆粒(50mesh)在空氣（1/5氧氣）與溫度（20℃）下，找出加速鐵鏽蝕的較佳變因量範圍分別是：
(1)水量1.0~2.0克 (2)醋酸溶液（1.5克）pH值=6.00~7.00 (3)氯化鈉濃度（1.5克）0.5m~2m (4)在水重1.5克下，實驗用活性碳（甲）吸附劑：0.2~0.6克。

第二部份

- 1.在較佳變因量範圍組合中，氯化鈉（1.5克）濃度1.0m與實驗用活性碳（甲）0.4克是加速鐵鏽蝕的最佳變因量組。
- 2.10克鐵顆粒(50mesh)平均鏽蝕反應速率(mL/min) = 1.56；而10克鐵顆粒(10mesh)平均鏽蝕反應速率(mL/min)=3.48。因此，鐵顆粒(100mesh)平均鏽蝕反應速率是鐵顆粒(50mesh)平均鏽蝕反應速率的2.23倍。
- 3.在空氣（1/5氧）下，鐵鏽蝕的平均反應速率(mL/min)=1.56；而在純氧氣下，鐵鏽蝕的平均反應速率(mL/min)=2.33。因此，在純氧氣下，鐵鏽蝕的平均反應速率是在空氣（1/5氧）下，鐵鏽蝕的平均反應速率1.49倍。
- 4.鐵顆粒(50mesh)在溫度0、10、20、30、40℃下鏽蝕平均反應速率(mL/min)為0.073、0.42、1.56、1.93、0.55及其反應速率比為0.0047：0.269：1：1.24：0.353。
- 5.鐵顆粒(50mesh)在實驗用活性碳（甲）、實驗用活性碳（乙）、醫要用活性碳下，鏽蝕平均反應速率(mL/min)為1.56、1.23、2.89及其反應速率比為1：0.79：1.85。

第三部份

- 1.10克鐵顆粒大小(100mesh)鐵鏽蝕平均反應熱的測定為326cal／克。
- 2.10種常見金屬中（顆粒大小50mesh）在與鐵相同的變因操作下，僅有錳、鋅與鐵有相近的平均反應速率。

- 3.測出鐵、錳、鋅有相近的腐蝕速率後，再測出其顆粒大小100mesh的平均反應熱（卡／克）：錳（403）>鋅（374）>鐵（326）。

第四部份

- 1.在本實驗控制變因條件下，鐵、錳、鋅粉末（50mesh）在四種氯化鹽 NaCl、KCl、MgCl₂、CuCl₂下的熱反應速率大致是：CuCl₂>MgCl₂>KCl>NaCl。
- 2.在本實驗控制變因條件下，鐵粉末（50mesh）在三種金屬、鎂、鋁、銅粉末（50mesh）下的熱反應速率大致是：銅（Cu）>鎂（Mg）>鋁（Al）。

第五部份

- 1.應用金屬氧化鏽蝕的原理來定量空氣中氧體積百分組成20~21%，方便操作又快速完成。
- 2.應用金屬鏽蝕『後』的混合物與雙氧水、氯酸鉀反應均能製氧氣，催化效果和二氧化錳一樣好。
- 3.應用金屬鏽蝕的放熱原理能溫熱食物，歸納有四種新類型：
第一類型：鐵（錳、鋅）粉末＋氯化鈉＋活性碳＋水。
第二類型：鐵（錳、鋅）粉末＋氯化銅＋活性碳＋水。
第三類型：鐵（錳、鋅）粉末＋金屬粉末＋氯化鈉＋活性碳＋水。
第四類型：鐵（錳、鋅）粉末＋金屬粉末＋氯化銅＋活性碳＋水。
- 4.金屬腐蝕由化學能→電能→熱能的過程，利用簡單器材可以看得見它們的變化過程。

在本研究中，金屬腐蝕過程需氧氣、產生腐蝕電流、放熱等，能同時間看得到它們的過程變化，並且操控實驗將金屬腐蝕中亂流動的電流可以長時間成為單方向的電流。

六、參考資料

- 1.第23屆全國高中科展優勝作品專輯：國立科教館。
- 2.第23屆全國國中科展優勝作品專輯：國立科教館。
- 3.高中化學課本（二）（三）（民84）：國立編譯館。
- 4.鮮祺振（民84）：金屬腐蝕及其控制，P.124，徐氏基金會初版。
- 5.田福助（民76）：電化學——理論與應用，P.450，高立圖書有限公司。
- 6.楊水平（民85）：科學教育月刊，187期，P.56—62。國立臺灣師範大學科學教育中心發行。
- 7.朱樹恭 等合編（民62）：中山自然科學大辭典第五冊 化學，P.128，臺

灣商務印書館。

8.楊寶旺、雷敏宏、廖德章(民73)：化學實驗(上)，P.149，高立圖書有限公司。

9.Theodore L. Brown, H. Eugene Lemay. Jr, Bruce E. Burstew Chemistry The Central Science, Sixth Edition, 1994, Prentice Hall Intemational (UK) Limited, Londn.

評語

本作品利用鐵鏽蝕，進而研究其動力與熱力，研究過程中，思維細密，能控制變因，找出變因對鏽蝕的影響，對高中化學的改進與教學甚有助益。可是仍有一些小缺失：

- 1.沒有考慮水蒸氣壓的問題，應尋求另一方法，取代水位上升法，以計量氧氣的消耗量。
- 2.考慮反應生成物的問題，例如鐵在醋酸溶液中，易形成醋酸鐵，此一反應是否進行決定於醋酸濃度，此一問題讓pH值（或酸之濃度）對鐵鏽蝕複雜化。
- 3.數據的取捨。
- 4.溫度變因的實驗，高溫實驗部份應捨去不用。