

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組化學科

040220

桃園縣私立新興高級中學

指導老師姓名

王建民

作者姓名

吳俊益

黃嘉慶

黃如鴻

鄧立敏

中華民國第 44 屆中小學科學展覽會 作品說明書

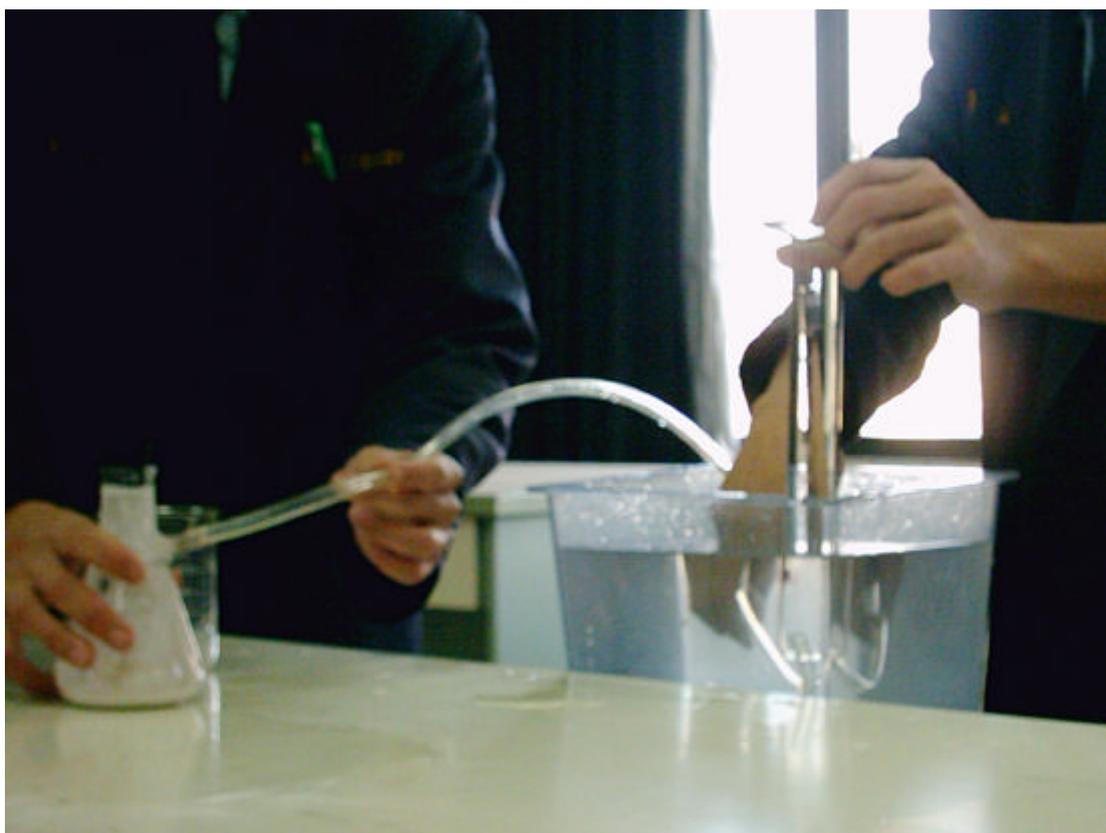
科 別： 化學科

組 別： 高中組

作品名稱：超細粉體之特性

關 鍵 詞：奈米科技、活化能、蛋殼

編號：



目 錄

壹、摘要	1
貳、研究動機	2
參、研究目的	3
肆、研究設備及器材	4
一、研究設備器材	4
二、自製滾動式研磨機	5
伍、研究過程或方法	6
一、研究原理	6
二、研究過程或方法	9
陸、研究結果	14
一、氧化鋁研磨球的重量及直徑	14
二、氧化鋁研磨球體積	14
三、相同體積之氧化鋁研磨球總表面積	14
四、影響研磨速率的因素-滾輪轉速	14
五、影響研磨速率的因素-氧化鋁研磨球粒徑大小	15
六、粉體粒徑大小測試結果	15
七、CO ₂ 檢驗-石灰水試驗	15
八、CO ₂ 排水速率試驗	16
九、反應速率定律式之算法	17
十、活化能之計算	18
十一、蛋殼中碳酸鈣成份之計算	18
十二、氧化鋁研磨球在研磨前後的重量變化	19
十三、膠體溶液試驗-廷得耳效應	19
十四、膠體溶液試驗-帶電性	20
十五、氧化鋁粉體溶液之靜置實驗	20
十六、蛋殼研磨時間與粉體總數之比值	21
柒、討論	22
一、CO ₂ 易溶於水，為何以排水集氣法收集	22
二、以排水集氣法收集 CO ₂ 時，飽和水蒸氣壓之影響	22
三、影響研磨速率的因素	22
四、CO ₂ 排水速率與研磨時間之關係	23
五、反應速率定律式與活化能	23
六、蛋殼中碳酸鈣成份之計算	23
七、氧化鋁研磨球研磨前後的重量變化對研磨粉體之影響	23
八、為何以雷射光進行廷得耳試驗	24
九、凝聚現象之解釋	24

十、為何靜置試驗中，研磨時間愈長的粉體愈不易沉澱	24
十一、平均粒徑測試結果	24
十二、蛋殼研磨時間與粉體總數比值之關係	24
十三、蛋殼滅火器	24
捌、結論	25
玖、參考資料及其他	26

圖 目 錄

1. 圖 4-1.自製滾動式研磨機完成圖	5
2. 圖 5-1.真溶液與膠體溶液之廷得耳效應比較	8
3. 圖 5-2.氧化鋁研磨球直徑測量的方式	9
4. 圖 5-3.氧化鋁研磨球體積測量過程	9
5. 圖 5-4.排水集氣法過程	11
6. 圖 5-5.CO ₂ 排水速率	12
7. 圖 5-6.測量活化能裝置圖	12
8. 圖 6-1.D _{2.0} 及 D _{2.5} 的氧化鋁研磨球	14
9. 圖 6-2.CO ₂ 之檢驗	15
10. 圖 6-3.研磨時間與 CO ₂ 排水速率之關係圖	16
11. 圖 6-4.蛋殼研磨 3 小時及 6 小時與冰醋酸反應產生的 CO ₂ 比較圖	16
12. 圖 6-5.阿瑞尼士方程式作圖	18
13. 圖 6-6.氧化鋁粉體(研磨 7 小時及市售)溶液之廷得耳效應	19
14. 圖 6-7.氧化鋁粉體(研磨 7 小時及市售)溶液加入食鹽之凝聚現象	20
15. 圖 6-8.氧化鋁粉體溶液之靜置試驗結果	20

表 目 錄

1. 表 6-1.滾輪轉速對於研磨速率之影響	14
2. 表 6-2.氧化鋁研磨球粒徑大小對於研磨速率之影響	15
3. 表 6-3.氧化鋁粉體平均粒徑大小	15
4. 表 6-4.蛋殼粉體平均粒徑大小	15
5. 表 6-5.研磨時間與 CO ₂ 排水速率關係及蛋殼粉體粒徑之比較	16
6. 表 6-6.鹽酸稀釋前後 CO ₂ 排水速率之結果	17
7. 表 6-7.不同溫度下之反應速率定律式	17
8. 表 6-8.計算活化能所須數據	18
9. 表 6-9.氧化鋁研磨球重量變化	19
10. 表 6-10.蛋殼研磨時間與粉體總數比値之比較	21

壹、摘要

本研究以自製滾動式研磨機，將蛋殼和氧化鋁粉研磨成超細粉體(小於 10^{-6}m)。在蛋殼方面，研磨時間愈長，粉體粒徑愈小，與冰醋酸⁽³⁾之接觸面積愈大，故 CO_2 排水速率愈大，並由此推算出不同研磨時間之粉體總數比。在30時，由不同鹽酸濃度之 CO_2 排水速率可求出反應速率定律式⁽⁵⁾為 $r=4.85 \times 10^{-3} [\text{H}^+]^{0.34}$ ，同理可求出5、60之速率定律式，再由阿瑞尼士方程式作圖⁽¹⁰⁾，求出活化能 $E_a=4.85 \times 10^{-3} \text{J/mol}$ 。在氧化鋁粉溶液，以雷射光照射，產生一條光通路；加入食鹽產生凝聚現象；靜置一段時間後，無沉澱現象，證實已研磨到膠體溶液範圍($10^{-7}\text{m} \sim 10^{-9}\text{m}$)⁽⁷⁾。最後在相同粒徑下，將蛋殼粉體與市售碳酸鈣的 CO_2 排水速率做比較，算出蛋殼中碳酸鈣成份為97.02%，與文獻97%⁽⁹⁾相近，更說明本實驗之正確性。

貳、研究動機

我們從老師上課中多次談到奈米相關的訊息，且日常生活中的各種產品，幾乎都強調「輕、薄、短、小」，因此，我們進而想試試看能否將粉體研磨成奈米的大小。我們根據物質科學化學篇上冊第三章「溶液」單元中學習到膠體溶液的特性，以及物質科學化學篇下冊第六章「化學反應速率」單元中也學習到接觸面積與反應速率成正比，經過與老師的討論後，引起了這一次的實驗計畫！由於市面上的奈米研磨機器複雜且價格昂貴，所以想利用自製的滾動式研磨機，來研磨蛋殼及氧化鋁粉，試著揭開超細粉體的神秘面紗。

參、研究目的

- 一、了解影響研磨速率快慢的因素。
- 二、利用物質科學化學篇第六章「化學反應速率」，來了解蛋殼粉體大小與 CO_2 排水速率的關係。
- 三、了解蛋殼成份中碳酸鈣比例。
- 四、利用物質科學化學篇上冊第三章所敘述到的「膠體溶液」，探討氧化鋁粉體研磨後之特性。
- 五、由 CO_2 排水速率與平均粒徑推算出粉體總數比。
- 六、由不同鹽酸濃度之 CO_2 排水速率，來求出反應速率定律式。
- 七、由阿瑞尼士方程式求出鹽酸與蛋殼粉體反應之活化能。

肆、研究設備及器材

一、研究設備器材

PE 瓶	26 瓶
游標尺	1 把(30cm)
粒徑大的氧化鋁球 ^(註)	數顆(平均直徑 2.5cm)以 $D_{2.5}$ 表示
粒徑小的氧化鋁球	數顆(平均直徑 2.0cm)以 $D_{2.0}$ 表示
量筒 50ml	1 個
量筒 100ml	1 個
量筒 500ml	1 個
水銀溫度計	1 支(150)
大氣壓力計	1 支(65 82cmHg)
塑膠管	2 條
水槽	1 個
塞子	2 個
抽濾瓶	2 個
蛋殼	500 克
馬錶	1 個
鹽酸(小島化學)	12M
冰醋酸	500ml(純度 99 ⁰ / ₁₀₀ , d=1.049)
碳酸鈣(小島化學)	500 克(純度 98 ⁰ / ₁₀₀)
氫氧化鈣(小島化學)	500 克(純度 98 ⁰ / ₁₀₀)
食鹽(臺鹽實業)	250 克(純度 99.5 ⁰ / ₁₀₀)
雷射筆	1 支
氧化鋁粉(First Chemical Ltd)	500 克(粒徑 45 μ m , 純度 99.6 ⁰ / ₁₀₀)
電子秤	1 台(小數點三位)
電磁加熱器	1 台(400)
去離子? 水製造機	1 台

註：氧化鋁球為研磨球。

二、自製滾動式研磨機：

(一)目的：

簡單省力，又可研磨到所需的超細粉體。

(二)使用材料：

鐵材	數個
帶動鏈	1 條
加強固定鐵板	1 片
控制面板	1 個(含有開關、變頻器、啟動鈕、計時器、保險絲)
氧化鋁墊	4 個
滾輪	6 個(長 30cm)

(三)功能：藉由滾輪轉動，帶動 PE 瓶內氧化鋁研磨球相互碰撞，撞擊粉體，達到研磨效果。



圖 4-1.自製滾動式研磨機完成圖

(四)使用方法：

- 1.將粉體和氧化鋁研磨球一起裝進 PE 瓶裡，然後放在自製滾動式研磨機的滾輪上。
- 2.打開總開關，設定時間、調整滾輪轉速，按下啟動鈕即可。

伍、 研究過程或方法

一、 研究原理：

(一)何謂奈米⁽¹⁾：

奈米(nanometer)是一個長度的單位。奈米結構大小約為 1 ~ 100 奈米，及介於分子和次微米之間。1 奈米 = 十億分之 1 米(10^{-9} meter)。

(二)算術平均數⁽²⁾：

設 n 筆資料為 X_1, X_2, \dots, X_n ，則其算術平均數(簡稱為平均數)定義為

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$$

(三)以氧化鋁球為研磨球之原因：

適用於陶瓷業的研磨球，體積小、硬度高、且比重大，具有高粉碎能力，耐磨耗性強、壽命長等特性。

(四)影響研磨速率之因素：

1. 研磨機滾輪轉速：

利用研磨機滾輪轉速不同，轉速大者，氧化鋁研磨球碰撞頻率快，研磨速率快。

2. 氧化鋁研磨球粒徑大小：

同體積下，不同粒徑之氧化鋁研磨球做比較，粒徑小者，總表面積大，研磨速率快。

(五)CO₂ 的產生⁽³⁾：

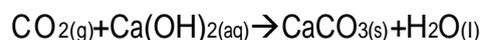
利用蛋殼主要成份碳酸鈣與酸反應生成 CO₂。



為了易於計算 CO₂ 的排水速率，所以使用解離度較弱的冰醋酸做排水集氣法，而非鹽酸。

(六)CO₂ 驗證⁽⁴⁾：

CO₂ 通入澄清石灰水溶液，可生成白色碳酸鈣沉澱(混濁)。



(七)CO₂ 排水速率：

由於本研究是以預先配好的 CO₂ 飽和水溶液收集 CO₂，故可假設 CO₂ 排水速率=CO₂ 生成速率。

(八)反應速率定律式⁽⁵⁾：

蛋殼粉體與鹽酸之反應如下 $\text{CaCO}_{3(s)} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ ，因 CaCO₃ 為固體，濃度為常數，故反應速率定律式可寫成 $r = k[\text{H}^+]^m$ ，其中 k：速率常數，m：反應級數。

(九)速率常數 k 與反應級數之求法：

$$\text{由速率定律式 } r = k[\text{H}^+]^m \text{-----(1)}$$

在不同 HCl 濃度(12M、6M、3M)下，之排水速率分別帶入(1)式即可求出 k 及 m。

(十)活化能之求法-阿瑞尼士方程式(Arrhenius equation)⁽¹⁰⁾：

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}} \text{阿瑞尼士方程式-----(1)}$$

k：速率常數

A：與碰撞頻率有關之常數

e：自然對數底

R：氣體常數

T：絕對溫度

E_a：活化能

將(1)式兩邊取對數得

$$\log k = \log A - \frac{E_a}{2.303 RT} \text{----- (2)}$$

做實驗時，將速率常數取對數，溫度取倒數，log k 對 $\frac{1}{T}$ 作圖，可得到一直線方程式，從斜率可求出 E_a。

(十一)蛋殼中的碳酸鈣成份之算法：

1. 取和市售碳酸鈣粒徑接近的蛋殼粉體。
2. 設市售碳酸鈣純度為 100⁰%。
3. 用蛋殼之 CO₂ 排水速率除以市售碳酸鈣 CO₂ 排水速率，再乘以原市售碳酸鈣純度(98⁰%).

(十二)粒徑測量：

我們委託中央大學化工研究所，以雷射(Laser)光，從不同角度照射樣品，再從雷射光的強度算出粒徑大小分布。本研究取粒徑分布大者求平均粒徑。

(十三)膠體溶液特性⁽⁷⁾：

根據物質科學化學篇上冊第三章「溶液」，膠體溶液溶質顆粒直徑為 10^{-7}m - 10^{-9}m 遠大於溶劑分子(直徑約 10^{-10}m)，膠體溶液具有廷得耳效應、布朗運動及帶電性。

1.廷得耳效應：

當光線通過膠體溶液時，由於膠體粒子較大，可以散射光線，所以會顯現一條光亮的通路，此現象為廷得耳效應，(如圖 5-1)。本研究以研磨後氧化鋁粉體及蛋殼粉體進行本試驗，來驗證粉體大小。

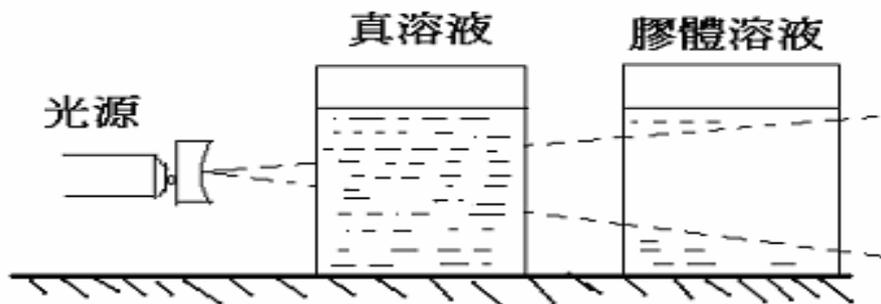


圖 5-1.真溶液與膠體溶液之廷得耳效應比較

2.布朗運動：

因為當光線通過膠體溶液，以顯微鏡在光線垂直方向觀察，可以看到膠質粒子成無數光點，不停的做不規則運動。本研究以布朗運動，來說明靜置試驗結果。

3.帶電性：

在膠體溶液中加入少許電解質，使膠體粒子所帶的電荷與電性相反之離子電荷中和，膠體粒子就會凝結成較大的顆粒從水中凝聚析出，而金屬氧化物常帶正電荷⁽⁶⁾。本研究以食鹽加入氧化鋁粉體溶液，來證明其帶電性。

二、研究過程與方法

(一)氧化鋁研磨球直徑測量的方法：

1. 將氧化鋁研磨球以不同部位的直徑量 4 次，求平均。(如圖 5-2)
2. 重複測量 10 個，相加求平均 (設氧化鋁研磨球的直徑為 D)。

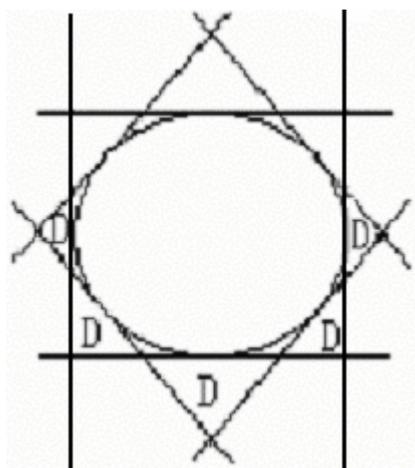


圖 5-2.氧化鋁研磨球直徑測量的方式

(二)氧化鋁研磨球體積測量的方法：

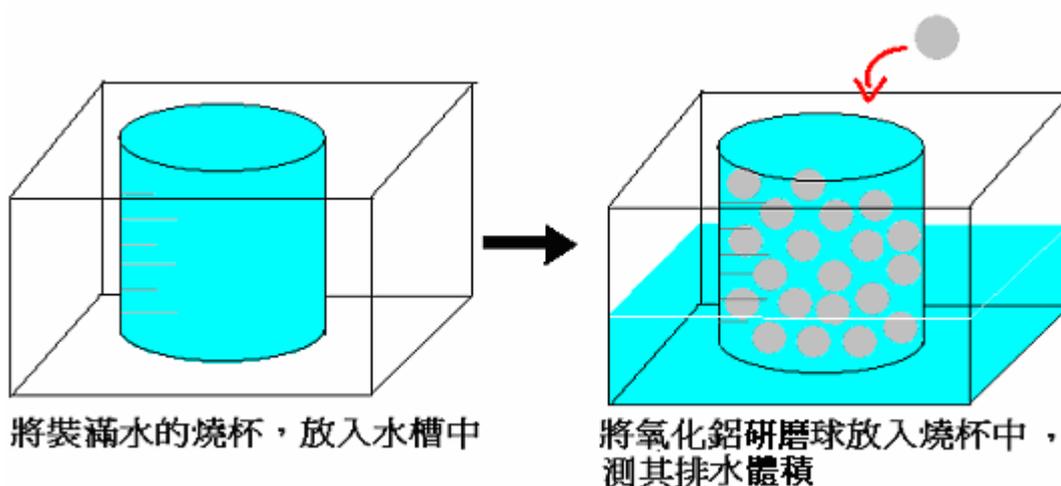


圖 5-3.氧化鋁研磨球體積測量過程

藉由體積測量來決定 $D_{2.5}$ 及 $D_{2.0}$ 之數量。

(三)影響研磨速率之因素-滾輪轉速：

- 1.將研磨機之滾輪分別設定轉速 60rpm 及 120rpm。
- 2.把裝好 10g 蛋殼及 D_{2.0} 氧化鋁研磨球的 PE 瓶，放置在滾輪上(共 2 瓶)，設定同時間(7 小時)，使它研磨。
- 3.將 10g 蛋殼粉體放入抽濾瓶內。
- 4.將 20ml 冰醋酸倒入抽濾瓶內，並迅速蓋上塞子。
- 5.將蛋殼粉體與冰醋酸所生成的氣體用 100ml 量筒收集，測其排水速率。
- 6.以馬錶測量 CO₂ 排開 100ml 水所需時間 s 秒。

$$\text{排水速率} = \frac{100}{s} \quad (\text{ml/s})$$

7.過程如圖 5-4。

(四)影響研磨速率因素-氧化鋁研磨球粒徑大小：

- 1.將 10 顆 D_{2.5} 氧化鋁研磨球及 20 顆 D_{2.0} 氧化鋁研磨球，與 10g 蛋殼分別放入 PE 瓶中。
- 2.設定研磨時間(5 小時)，使其研磨。
- 3.重複上述 3~7 步驟。

(五)利用澄清石灰水，證明 CO₂ 的存在與否：

- 1.先將氫氧化鈣(Ca(OH)₂)加入水中，過濾此溶液，使其成為澄清飽和石灰水溶液。
- 2.再將蛋殼粉體與冰醋酸所產生的氣體通入澄清石灰水中。

(六)CO₂ 飽和水溶液之配製：

由於 1 升的水在 20 時可以溶解 0.88 公升的 CO₂⁽¹³⁾，為了更精確的量測 CO₂ 排水速率，在以排水集氣法收集 CO₂ 前，先配製 CO₂ 飽和溶液，配製方法如下：

- 1.將 10 升的水裝入水槽中。
- 2.將 6M HCl 20ml 加入裝有 10 克 CaCO₃ 之抽濾瓶中，以大約 30ml/s 之速率通入水槽 15 分鐘即完成配製。

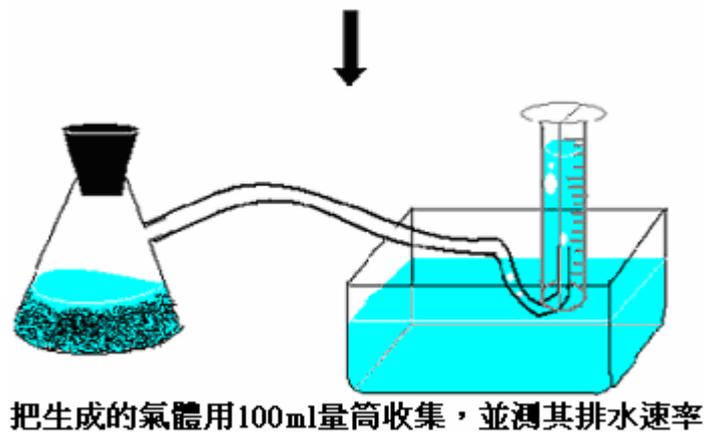


圖 5-4.排水集氣法過程

(七)蛋殼研磨時間對 CO_2 排水速率影響試驗：

- 1.測量氧化鋁研磨球研磨粉體前重量。
- 2.剝取蛋殼，將 40g 的蛋殼分別放入貼有標籤 1、3、4、5、6、7 小時的 PE 瓶中，(每小時各兩瓶)。
- 3.在 PE 瓶中，分別放入 10 顆 $\text{D}_{2.5}$ 及 20 顆 $\text{D}_{2.0}$ 的氧化鋁研磨球
- 4.將 PE 瓶放置在滾輪上，固定滾輪轉速。
- 5.測量氧化鋁研磨球研磨粉體後重量。
- 6.秤取蛋殼粉體 10g 與 20ml 冰醋酸反應，測 CO_2 排水速率，如圖 5-5。



圖 5-5.CO₂ 排水速率

(八)反應速率定律式與活化能 E_a 之求法：

- 1.將 12M HCl 30ml 加入裝有 5 克研磨 5 小時蛋殼粉體之抽濾瓶中。
- 2.以電磁加熱器隔水加熱抽濾瓶，從抽濾瓶內之溫度計讀出溫度為 30 。
- 3.以預先配製好的 CO₂ 飽和水溶液收集氣體，並以馬錶計時。
- 4.將 12M HCl 30ml 分別稀釋為 6M 及 3M，重複以上步驟，即可求得 30 時之速率常數 k 及反應級數 m ，即可知反應速率定律式 $r=k[H^+]^m$ 。
- 5.調整電磁加熱器，使得瓶內溫度為 60 ，再分別以 12M、6M、3M 之 HCl 進行試驗，即可求得 60 時之速率常數 k 及 m 。
- 6.為了避免高溫所產生之 HCl 蒸氣壓過高，移去電磁加熱器，改以冰浴進行實驗，並測得抽濾瓶內之溫度為 5 ，再分別以 12M、6M、3M 之 HCl 進行試驗，即可求出 5 時之速率常數 k 及 m 。
- 7.再由 5 、 30 、 60 之速率常數 k ，帶入阿瑞尼士方程式即可求出活化能 E_a (原理參閱 P.7)。
- 8.裝置如圖 5-6：

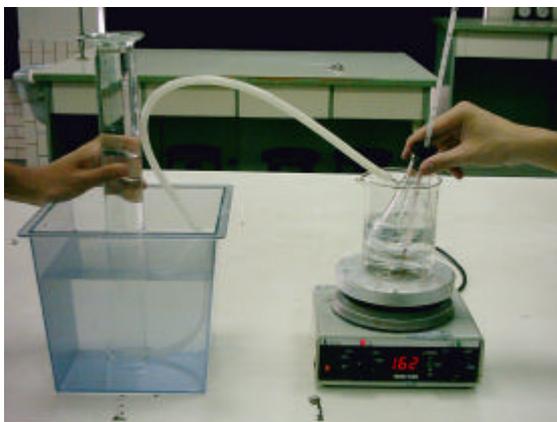


圖 5-6.測量活化能裝置圖

(九)膠體溶液-廷得耳效應：

1. 把氧化鋁粉及蛋殼(約 40g)分別放入貼有標籤 3、4、5、6、7 小時的 PE 瓶中，
2. 將 20 顆 $D_{2.0}$ 的氧化鋁研磨球裝進 PE 瓶中，並放置於滾輪上，開始研磨。
3. 將研磨好的氧化鋁粉及蛋殼粉各量取 20g 放入 80ml 水的燒杯中。
4. 攪拌成水溶液，然後以雷射筆照射，看此溶液是否符合廷得耳效應，證明其為膠體溶液(如圖 6-6)。

(十)膠體溶液-凝聚性：

1. 將研磨好的氧化鋁粉，量取 20g 放入 80ml 水的燒杯中，調成水溶液。
2. 將此水溶液加入 10g 食鹽後並等待一段時間，觀察溶液是否有凝聚現象(如圖 6-7)。

(十一)氧化鋁粉體靜置試驗⁽⁹⁾：

1. 將氧化鋁粉 40g 及 20 顆 $D_{2.0}$ 氧化鋁研磨球，放入裝有 150ml 水的 PE 瓶中，分別研磨 3、6 小時。
2. 將 80ml 未研磨氧化鋁粉體溶液及研磨 3、6 小時氧化鋁粉體的溶液倒入燒杯中經電磁攪拌一分鐘後，以每 10 秒鐘照相做紀錄，觀察它沉降速率的快慢(如圖 6-8)。

陸、研究結果

一、 氧化鋁研磨球的重量及直徑：

D_{2.5} 氧化鋁研磨球：秤重量 10 次取平均為 28.23g，游標尺量測直徑 4 次取平均為 2.5cm。

D_{2.0} 氧化鋁研磨球：秤重量 10 次取平均為 14.87g，游標尺量測直徑 4 次取平均為 2.0cm。



圖 6-1. D_{2.0} 及 D_{2.5} 的氧化鋁研磨球

二、 氧化鋁研磨球體積：

20 顆 D_{2.0} 氧化鋁研磨球體積等於 10 顆 D_{2.5} 氧化鋁研磨球體積，為 50ml

三、 相同體積之氧化鋁研磨球總表面積：

D_{2.5} 氧化鋁研磨球總表面積為 $4 \times (2.5/2)^2 \times 3.14 \times 10$ 顆 = 196.25 cm²

D_{2.0} 氧化鋁研磨球總表面積為 $4 \times (2.0/2)^2 \times 3.14 \times 20$ 顆 = 251.20 cm²

四、 影響研磨速率的因素-滾輪轉速：

表 6-1. 滾輪轉速對於研磨速率之影響

研磨機滾輪轉速(rpm)	60rpm	120rpm
研磨機研磨蛋殼時間(hr)	7	7
CO ₂ 排水速率(ml/s)	2.655	4.244

由於滾輪轉速 120rpm 之研磨速率較快，故本研究以滾輪轉速 120rpm 進行所有試驗。

五、影響研磨速率的因素-氧化鋁研磨球粒徑大小：

表 6-2. 氧化鋁研磨球粒徑大小對於研磨速率之影響

氧化鋁研磨球粒徑大小	D _{2.5} , 10 顆	D _{2.0} , 20 顆
研磨機研磨蛋殼時間(hr)	5	5
CO ₂ 排水速率(ml/s)	2.968	3.445
氧化鋁研磨球總表面積(同體積)cm ²	196.25	251.2

由於 D_{2.0} 氧化鋁研磨球之研磨速率較快，故本研究以 D_{2.0} 氧化鋁研磨球進行所有試驗。

六、粉體粒徑大小測試結果：

為了更精確了解粉體粒徑大小，所以我們委託中央大學化工研究所，以雷射(Laser)光從不同角度照射樣品，再從雷射光的強度算出粒徑大小分布，取粉體粒徑分布大者求平均粒徑結果。(如表 6-3、6-4)

表 6-3. 氧化鋁粉體平均粒徑大小

研磨時間	3 小時	4 小時	5 小時	6 小時	7 小時	市售氧化鋁粉
平均粒徑(μm)				0.67	0.41	45

表 6-4. 蛋殼粉體平均粒徑大小

研磨時間	1 小時	3 小時	4 小時	5 小時	6 小時	7 小時	市售 CaCO ₃
平均粒徑(μm)	5.2	2.4	1.83	0.33	0.19	0.19	0.3

七、CO₂ 檢驗-石灰水試驗：

蛋殼加冰醋酸，所產生的氣體通入澄清石灰水中，澄清石灰水產生混濁現象 ($\text{CO}_2(\text{g}) + \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$)⁽⁴⁾，由此來檢驗產生的氣體為 CO₂ (如圖 6-2)。



澄清石灰水

混濁石灰水

圖 6-2 .CO₂ 之檢驗

八、CO₂ 排水速率試驗：

我們以市售碳酸鈣(CaCO₃)和蛋殼粉體的 CO₂ 排水速率做比較(如表 6-5)。

表 6-5. 研磨時間與 CO₂ 排水速率關係及蛋殼粉體粒徑之比較

蛋殼研磨時間	未研磨	1 小時	3 小時	4 小時	5 小時	6 小時	7 小時	市售 CaCO ₃
CO ₂ 排水速率(ml/s)	0.005	0.364	1.267	2.171	3.445	4.237	4.244	3.447
平均粒徑(μm)		5.2	2.4	1.83	0.33	0.19	0.19	0.3

註：平均粒徑如圖表 6-4

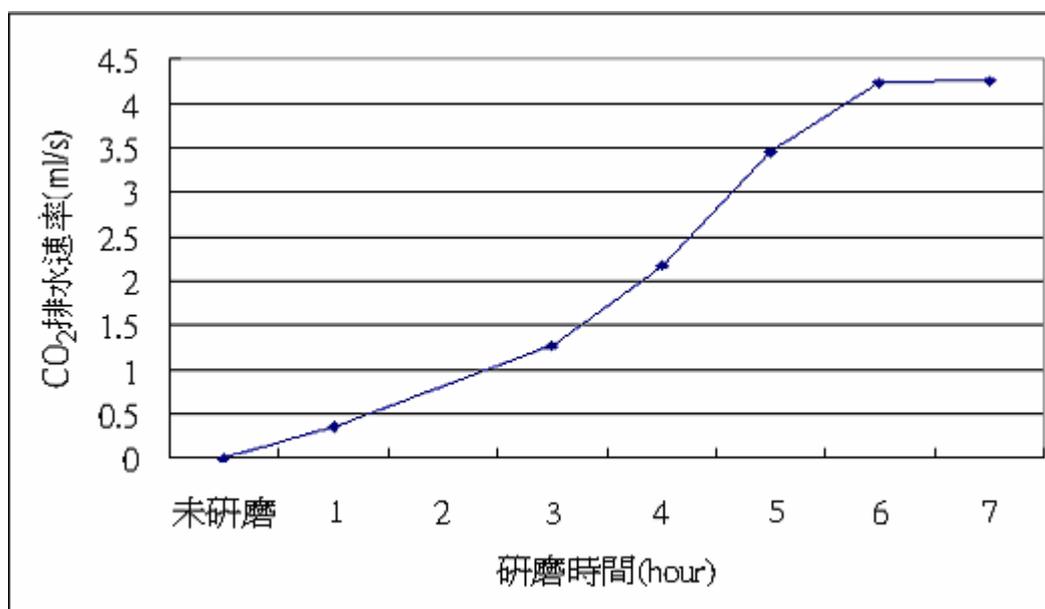


圖 6-3. 研磨時間與 CO₂ 排水速率之關係圖



蛋殼研磨 3 小時

蛋殼研磨 6 小時(激烈)

圖 6-4. 蛋殼研磨 3 小時及 6 小時與冰醋酸反應產生的 CO₂ 比較圖

九、反應速率定律式之算法：

表 6-6.鹽酸稀釋前後 CO₂ 排水速率之結果

	第一次試驗			第二次試驗			第三次試驗		
鹽酸稀釋前後	未稀釋(12M)			等體積稀釋(6M)			再等體積稀釋(3M)		
蛋殼研磨時間(hr)	5			5			5		
鹽酸溫度()	5	30	60	5	30	60	5	30	60
CO ₂ 排水速率(ml/s) ^(註)	104.17	112.04	121.95	80.97	88.50	98.26	64.00	70.42	80.97

註：以預先配好之 CO₂ 飽和水溶液收集 CO₂ 時，可以假設 CO₂ 排水速率=CO₂ 生成速率。

$$112.04 = k [12]^m \text{ —— ①}$$

$$88.5 = k \left[\frac{12}{2}\right]^m \text{ —— ②}$$

$$70.42 = k \left[\frac{12}{4}\right]^m \text{ —— ③}$$

我們由①、②可求出 $m=0.34$ ，另由 $PV=nRT$ 算出莫耳數，而已知 $P=0.99\text{atm}$ ， $T=30^{\circ}\text{C}$ $\Rightarrow 0.99 \times 112.04 \times 10^{-3} = n \times 0.082 \times 303$
 $\Rightarrow n=4.46 \times 10^{-3}$ (莫耳/s)，又量筒體積為 400ml 則 $r=1.12 \times 10^{-2}$ (M/s) 再帶入 $r=k[\text{H}^+]^m$ 則算出 $k=4.81 \times 10^{-3}$ ，同理，由②、③可算出 $m=0.33$ 、 $k=4.89 \times 10^{-3}$ ，取平均值 $m=0.34$ 、 $k=4.85 \times 10^{-3}$ 則反應速率定律式為 $r=4.85 \times 10^{-3} [\text{H}^+]^{0.34}$ 。同理可求得 5 及 60 時之反應速率定律式為 $r=4.71 \times 10^{-3} [\text{H}^+]^{0.35}$ 及 $r=5.28 \times 10^{-3} [\text{H}^+]^{0.3}$ 。

表 6-7.不同溫度下之反應速率定律式

溫度	反應速率定律式
5	$r=4.71 \times 10^{-3} [\text{H}^+]^{0.35}$
30	$r=4.85 \times 10^{-3} [\text{H}^+]^{0.34}$
60	$r=5.28 \times 10^{-3} [\text{H}^+]^{0.3}$

十、活化能之計算：

表 6-8.計算活化能所須數據

	$k \times 10^3$	$\log k$	T	$(1/T) \times 10^3$
5	4.71	-2.33	278K	3.597
30	4.85	-2.31	303K	3.300
60	5.28	-2.28	333K	3.003

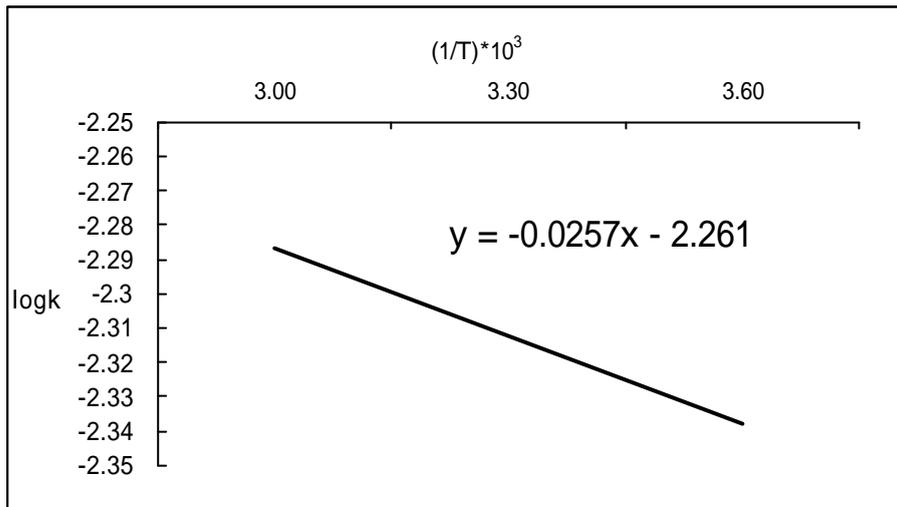


圖 6-5.阿瑞尼士方程式作圖

經由線性迴歸可得 $y = -0.0257x - 2.261$

$$y = -0.0257x - 2.261 \Rightarrow \log k = \log A - \frac{E_a}{2.303 RT} \Rightarrow \log A = -2.261$$

$$\Rightarrow A = 0.005483 \quad \text{而斜率爲} \quad -\frac{E_a}{2.303 RT} = -0.0257$$

$$\Rightarrow E_a = 4.85 \times 10^{-3} \text{ J/mol}$$

十一、蛋殼中碳酸鈣成份之計算：

1. 我們取與市售碳酸鈣粒徑相近之蛋殼粉體做比較(研磨 5 小時粒徑 $0.33 \mu\text{m}$ ，市售碳酸鈣粒徑 $0.3 \mu\text{m}$)，因為在相同粒徑下， CO_2 排水速率與碳酸鈣濃度成正比。
2. [蛋殼研磨 5 小時之 CO_2 排水速率 $3.445(\text{ml/s}) \div$ 市售碳酸鈣之 CO_2 排水速率 $3.447(\text{ml/s})] \times 100\% = 99\%$
3. 原市售碳酸鈣純度 $98\% \times 99\% = 97.02\%$

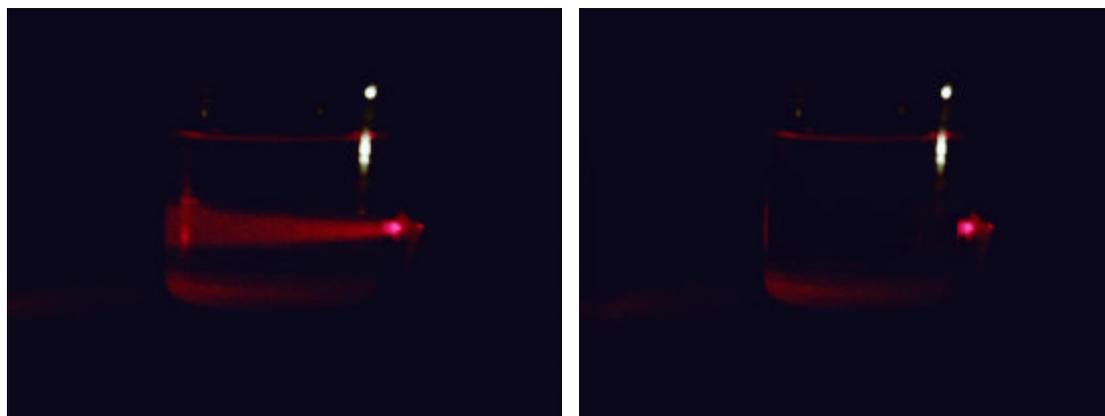
十二、氧化鋁研磨球在研磨前後的重量變化：

表 6-9.氧化鋁研磨球重量變化

	D _{2.0} 的氧化鋁研磨球
氧化鋁研磨球研磨前重量(g)	14.87
氧化鋁研磨球研磨後重量(g)	14.61
研磨前及研磨後相差重量(g)	0.26
減少重量佔原重量之百分比	1.7 %
減少重量佔蛋殼粉體重量之百分比	0.65 %

十三、膠體溶液試驗-廷得耳效應：

以雷射光線通過研磨 6 小時及 7 小時氧化鋁粉體溶液及市售氧化鋁粉體溶液，研磨 6、7 小時氧化鋁粉體溶液顯現一條光亮的通路，而市售氧化鋁粉溶液則無。(如圖 6-6)



氧化鋁粉體溶液(研磨 7 小時)

市售氧化鋁粉體溶液

圖 6-6.氧化鋁粉體(研磨 7 小時及市售)溶液之廷得耳效應

我們曾經以研磨 5 小時以上之蛋殼粉體溶液及市售碳酸鈣粉體溶液做廷得耳試驗，結果與上圖 6-6.之左圖相同。

十四、膠體溶液試驗-帶電性：

以食鹽加入研磨6小時及7小時氧化鋁粉體溶液及市售氧化鋁粉體溶液，研磨6、7小時氧化鋁粉體溶液皆有凝聚現象，而市售氧化鋁粉體溶液則無。(如圖 6-7)



研磨 7 小時氧化鋁粉體溶液加入食鹽產生凝聚現象

市售氧化鋁粉體溶液加入食鹽無凝聚現象

圖 6-7. 氧化鋁粉體(研磨 7 小時及市售)溶液加入食鹽之凝聚現象

十五、氧化鋁粉體溶液之靜置試驗：



經電磁攪拌 1 分鐘後的氧化鋁粉體溶液之靜置試驗



經過 3 分鐘後的氧化鋁粉體溶液之靜置試驗

圖 6-8. 氧化鋁粉體溶液之靜置試驗結果

十六、蛋殼研磨時間與粉體總數之比值：

(一)不同研磨時間粉體總數比：

表 6-10.蛋殼研磨時間與粉體總數比值之比較

研磨時間	1 小時	3 小時	4 小時	5 小時	6 小時	7 小時
$\frac{X}{X_{(1hr)}}$	1	16.64	48.9	3326.88	9546.66	9563.14

註 1： $\frac{X}{X_{(1hr)}}$ 粉體總數比值

註 2： $X_{(1hr)}$ = 蛋殼研磨 1 小時之粉體數

(二)計算過程：

蛋殼研磨 3 小時與 1 小時之粉體數比值計算過程如下(假設粉體為球形)

$$\begin{aligned} & \frac{\text{蛋殼研磨 3 小時排水速率}}{\text{蛋殼研磨 1 小時排水速率}} = \frac{\text{研磨 3 小時總表面積}}{\text{研磨 1 小時總表面積}} \\ & = \frac{4 \times \pi \times (3 \text{ 小時粉體半徑})^2 \times (\text{研磨 3 小時粉體總數})}{4 \times \pi \times (1 \text{ 小時粉體半徑})^2 \times (\text{研磨 1 小時粉體總數})} \\ \Rightarrow & \frac{1.267 \text{ ml/s}}{0.364 \text{ ml/s}} = \frac{4 \times 3.14 \times \left(\frac{2.4 \mu\text{m}}{2}\right)^2 \times X}{4 \times 3.14 \times \left(\frac{5.2 \mu\text{m}}{2}\right)^2 \times X_{(1hr)}} \quad \Rightarrow \quad \frac{X}{X_{(1hr)}} = 16.64 \end{aligned}$$

同理可推算出不同時間之粉體總數比。

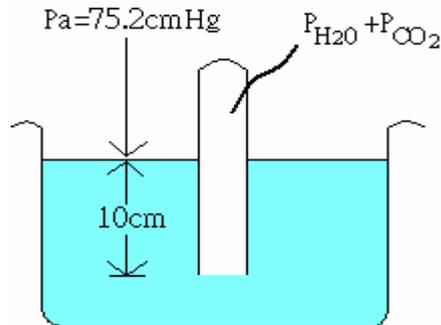
柒、討論

一、CO₂ 易溶於水，為何以排水集氣法收集：

在一般的環境下(也就是一大氣壓，20)，一公升的水大約可以溶解 0.88 公升之 CO₂，理論上應以向上排空氣法收集，但是為了計算 CO₂ 生成速率(排水速率)與得到較? 之 CO₂，故本研究以排水集氣法收集 CO₂，為了降低誤差，實驗前，先配製 10 公升之 CO₂ 飽和水溶液(詳細步驟如 P.10)。

二、以排水集氣法收集 CO₂ 時，飽和水蒸氣壓之影響：

由於以排水集氣法收集氣體時，一定會有飽和水蒸氣壓之影響，為了解影響程度，而有以下的驗證。



$$20 \text{ } , P_{H_2O}=17.54\text{mmHg}^{(11)} \quad (1)$$

$$\text{由理想氣體方程式：} PV=nRT^{(12)} \Rightarrow 17.54/760 \times 0.1 = n \times 0.082 \times 293$$

$$\text{求出水蒸氣之莫耳數 } n = 9.6 \times 10^{-5} \text{ 莫耳} \quad (2)$$

$$\text{另外從 } P_{H_2O} + P_{CO_2} = 752 + 100/13.6$$

$$\text{可知 } P_{CO_2} = 741.81\text{mmHg} \quad (3)$$

$$\text{由(1)、(3)} \Rightarrow P_{H_2O} / P_{CO_2} \times 100\% = 2.4\% \quad (4)$$

再由(2)、(4)可得知，水蒸氣之影響可忽略。

三、影響研磨速率的因素：

(一)滾輪轉速：

由表 6-1.得知，蛋殼研磨 7 小時，滾輪轉速 60rpm 之 CO₂ 排水速率為 2.655ml/s，滾輪轉速 120rpm 之 CO₂ 排水速率為 4.244ml/s。得知轉速快者，氧化鋁研磨球彼此間碰撞頻率增加，研磨速率愈快，CO₂ 排水速率愈快。

(二)氧化鋁研磨球粒徑大小：

經過測量後，粒徑大者平均直徑為 2.5cm，粒徑小者平均直徑為 2.0cm，如圖 6-1.，在同體積下(50ml)，20 顆 D_{2.0} 氧化鋁研磨球總表面積 (251.2cm²)大於 10 顆 D_{2.5} 氧化鋁研磨球之總表面積(196.25 cm²)，從表 6-2. 得知，在相同時間(5 小時)下，D_{2.0} 氧化鋁研磨球所研磨出的蛋殼粉體其 CO₂ 排水速率(3.445ml/s)比 D_{2.5} 氧化鋁研磨球所研磨蛋殼粉體的 CO₂ 排水速率(2.968ml/s)來的快。原因是在同體積下，研磨球總表面積愈大，研磨速率愈快，CO₂ 排水速率愈快。

四、CO₂ 排水速率與研磨時間之關係：

根據物質科學化學篇下冊第六章「反應速率」，在非均勻反應系中，接觸面積與反應速率成正比⁽⁵⁾。由表 6-5.之結果可知，研磨時間愈長，蛋殼粉體粒徑愈小，與冰醋酸接觸面積愈大，CO₂ 排水速率愈快，研磨 6 小時及 7 小時之排水速率(分別為 4.237ml/s 4.244 ml/s)及粒徑相當(分別為 0.19 μm 0.19 μm)，由此可知研磨 6 小時已達極限，可從圖 6-3.看出趨勢。另外，從圖 6-4.CO₂ 產生情形亦可以明顯看出研磨 6 小時之蛋殼粉體(粒徑 0.19 μm)較 3 小時(粒徑 2.4 μm)激烈。

五、反應速率定律式與活化能：

(一)反應速率定律式：

由表 6-6.之結果，在 30 時，以不同鹽酸濃度所測之 CO₂ 排水速率可算出反應級數為 0.34，速率常數為 4.85×10^{-3} ，因此可求出蛋殼粉體與鹽酸反應之速率定律式為 $r = 4.85 \times 10^{-3} [H^+]^{0.34}$ ，同理可求出 5、60 時之反應速率定律式，結果如表 6-7.，從表中可看出溫度越高，速率常數 k 越大，對於反應級數 m 並無影響，這和我們在物質科學化學篇第六章⁽⁵⁾所學吻合。

另外從表 6-6.中可看出，在相同溫度，不同濃度之 CO₂ 排水速率並無很大的差距，這可以說明反應級數不大(0.34)的原因。

(二)活化能：

在求得不同溫度之速率常數 k 後，可從阿瑞尼士方程式 $k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$ 作圖(如圖 6-5.)，從斜率即可求得活化能 $E_a = 4.85 \times 10^{-3} \text{J/mol}$ ，活化能越小，反應速率越大，這可以從表 6-6.所得之 CO₂ 排水速率得知驗證。

六、蛋殼中碳酸鈣成份之計算：

由表 6-5.得知，蛋殼研磨時間與 CO₂ 排水速率成正比，且在相同粒徑下，CO₂ 排水速率與 CaCO₃ 濃度成正比，因此以市售碳酸鈣(粒徑 0.3 μm)和研磨 5 小時蛋殼粉體(粒徑 0.33 μm)，做計算蛋殼碳酸鈣成份的依據。為了方便計算，所以設市售碳酸鈣純度為 100% (本為 98%)，研磨 5 小時蛋殼粉體之 CO₂ 排水速率佔市售碳酸鈣 CO₂ 排水速率 99%，再乘以市售碳酸鈣之原純度(98%)，得到蛋殼中碳酸鈣成份為 97.02%，此結果與我們找到的文獻數據 97% 相近⁽⁹⁾，說明我們所做的實驗是正確的。

七、氧化鋁研磨球研磨前後的重量變化對研磨粉體之影響：

由表 6-9.可看出，氧化鋁研磨球研磨前重量為 14.87g，研磨後重量減少為 14.61g。原因為滾輪轉動時，帶動氧化鋁研磨球相互的碰撞、摩擦，使得重量減少。而減少的重量很少，佔原重百分比只有 1.7%。又因成份相同，所以也不影響其粉體。另外在氧化鋁研磨球研磨蛋殼粉體方面，因氧化鋁球研磨後減少的重量佔蛋殼粉體的比例只有 0.65%，因此對蛋殼粉體也可以忽略不計。

八、為何以雷射光進行廷得耳試驗：

根據基礎物理第五章「光的傳播」得知，雷射光為單色光，光束集中，而且很準直，即使在遠處都不容易發散⁽⁸⁾，在廷得耳效應試驗中⁽⁷⁾ (圖 6-6).，可看出，氧化鋁粉體溶液(研磨 6、7 小時)，及蛋殼粉體溶液(研磨 5 小時以上)皆呈現一條光通路，表示已研磨到膠體溶液的範圍，而市售氧化鋁粉體溶液(45 μm)則沒有此現象。

九、凝聚現象之解釋：

從表 6-3.得知研磨 6、7 小時之氧化鋁粉體，均達到膠體溶液的範圍，而根據膠質粒子之帶電性，若在膠體溶液中加入電解質(食鹽)，會使膠體粒子所帶的電荷與電性相反之離子電荷中和，膠體粒子就凝結成較大的顆粒從水中析出⁽⁷⁾，如圖 6-7.所示。

十、為何靜置試驗中，研磨時間愈長的粉體愈不易沉澱：

由圖 6-8.得知，研磨時間 0 小時(粒徑 45 μm)的氧化鋁粉體溶液，其顆粒較大，重力影響也愈大，愈容易沉澱，而研磨時間 6 小時(粒徑 0.67 μm)氧化鋁粉體溶液則反之，是根據膠體溶液之布朗運動原理，粒子間不斷的碰撞，可以克服重力的影響，不至於沉澱⁽⁷⁾。

十一、平均粒徑測試結果：

不論從蛋殼粉體之 CO_2 排水速率或氧化鋁粉體廷得耳效應之結果，都可得知我們的確已研磨到超細粉體(小於 10^{-6}m)，但為了直接證明，所以我們委託中央大學化工所，測得粉體平均粒徑(如表 6-3.及 6-4.所示)，由此證實研磨 6、7 小時之氧化鋁粉體(粒徑為 0.67 μm 及 0.41 μm)及研磨 5 小時(粒徑為 0.33 μm)以上之蛋殼粉體確已達膠體溶液範圍(10^{-7} - 10^{-9}m)粒徑大小。

十二、蛋殼研磨時間與粉體總數比值之關係：

由表 6-5.得知， CO_2 排水速率與接觸面積成正比，又接觸面積與粒徑的平方成正比，由此可推算不同研磨時間粉體總數之比值，結果如表 6-10.可知，研磨時間愈長，粉體粒徑愈小，在相同重量下(40g)，粉體粒子數愈多，所以粉體數之比值愈大。

十三、蛋殼滅火器：

由本研究結果可知，我們所自製的滾動式研磨機，只能將粉體研磨到 10^{-7}m ，假如能將粉體研磨到奈米(10^{-9}m)，則與所研磨的粉體粒徑相差 100 倍，接觸面積相差 100^2 倍，又接觸面積與排水速率成正比，則可預測 CO_2 排水速率為

$$\frac{4.244 \text{ mL}}{\text{s}} \times 100^2 = \frac{42.44 \text{ L}}{\text{s}}$$

(蛋殼研磨 7 小時之 CO_2 排水速率為 4.244 ml/s)

則每分鐘為 $42.44 \text{ L} \times 60 \text{ (s)}$ 約為 2520 L，如此大的產生量，一定可用來滅火，以上皆適用冰醋酸($K_a=1.8 \times 10^{-5}$)進行試驗，假如我們用鹽酸($K_a=$)代替冰醋酸進行試驗，則每分鐘所產生量也就更可觀了，也就是說我們可自製「蛋殼滅火器」。

捌、結論

- 一、在相同時間研磨下，滾輪轉速愈快者，研磨速率愈快，CO₂ 排水速率愈快。
- 二、同體積下，氧化鋁研磨球粒徑愈小，總表面積愈大，CO₂ 排水速率愈快。
- 三、相同粒徑下，由蛋殼與市售碳酸鈣的 CO₂ 排水速率做比較，算出蛋殼中碳酸鈣成份為 97.02⁰%，與文獻相近。
- 四、氧化鋁研磨球研磨後所減少的重量很少，佔蛋殼粉體之百分比為 0.65⁰%，因此可忽略不計。
- 五、在 30 時，鹽酸與蛋殼粉體反應之速率定律式為 $r=4.85 \times 10^{-3} [H^+]^{0.34}$ ，同理可求出 5、60 之速率定律式，再由阿瑞尼士方程式作圖可求出活化能 $E_a=4.85 \times 10^{-3} \text{J/mol}$ 。
- 六、不論從廷得耳試驗、靜置試驗或凝聚現象，都證實了我們的滾動式研磨機已可研磨至膠體溶液的範圍(10^{-7} - 10^{-9} m)，這也可以從粒徑測試結果得到印證。
- 七、研磨時間愈長，粒徑愈小，在相同重量下，粉體數愈多，由 CO₂ 排水速率與粒徑所得數據，可推算出不同時間之粉體數比。
- 八、我們的自製滾動式研磨機，只能研磨到 10^{-7} m，未能研磨到奈米(10^{-9} m)，是本研究的遺憾，所以未來我們將會改變我們的研磨方式，使粉體研磨到奈米範圍，讓我們的研究能應用到更廣的範圍。(自製蛋殼滅火器)。

玖、參考資料及其他

- 一、林中一、孫允武、管傑雄、羅芳晁 基礎物理 修訂二版二刷
三民書局 第一章 物理學簡介 P.15 1-3 物理學與測量 九十一年二月
- 二、吳隆盛、楊維哲、蔡聰明數學 四 初版三刷
三民書局 第三章 機率與統計() P.191 3-6.1 算術平均數 九十三年一月
- 三、黃芳裕、黃長司、鍾崇燊 物質科學化學篇 上冊 修訂一版
康熙圖書 第四章 酸與鹼 P.97 4-1 酸鹼的定義 八十九年八月
- 四、楊永華、張麗英、羅世焜、何金錫 基礎化學 修訂二版二刷
三民書局 第二章 自然界的物質 P.15 2-1.2 硬水與軟水 九十一年二月
- 五、黃芳裕、黃長司、鍾崇燊 物質科學化學篇 下冊 修訂一版
康熙圖書 第六章 化學反應速率 P.10 6-3 影響反應速率的因素、6-4 反應速率定律 P.16 九十年八月
- 六、曾國輝 觀念叢書 4 溶液 再版
建宏出版社 第五章 膠體 P.92 九十一年二月
- 七、黃芳裕、黃長司、鍾崇燊 物質科學化學篇 上冊 修訂一版
康熙圖書 第三章 溶液 P.71 3-2.3 重量莫耳濃度補充資料 八十九年八月
- 八、林中一、孫允武、管傑雄、羅芳晁 基礎物理 修訂二版二刷
三民書局股份有限公司 第五章 光 P.101 5-2 光的傳播 九十一年二月
- 九、生活智庫 9 http://japanonline.hypermart.net/new_page_300.htm
- 十、曾國輝 觀念叢書 5 化學平衡 再版
建宏出版社 第一章 反應速率 P.25 九十一年二月
- 十一、曾國輝 觀念叢書 3 水 再版
建宏出版社 附錄 1 水的性質 P.107 九十一年二月
- 十二、黃芳裕、黃長司、鍾崇燊 物質科學化學篇 上冊 修訂一版
康熙圖書 第二章 物質狀態與氣體性質 P.35 2-2.4 理想氣體方程式
八十九年八月
- 十三、科學小芽子 <http://www.bud.org.tw/answer/0203/020359.htm>

040220 高中組化學科

佳作

1. 學以致用。

以簡單的材料 蛋殼 磨成細粉實用在滅火器上。